



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U  
NOVOM SADU



Bojan Batinić

**MODEL ZA PREDVIĐANJE KOLIČINE  
AMBALAŽNOG I BIORAZGRADIVOG  
OTPADA PRIMENOM NEURONSKIH  
MREŽA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2015.



## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj, <b>RBR</b> :			
Identifikacioni broj, <b>IBR</b> :			
Tip dokumentacije, <b>TD</b> :	Monografska dokumentacija		
Tip zapisa, <b>TZ</b> :	Tekstualni štampani materijal		
Vrsta rada, <b>VR</b> :	Doktorska disertacija		
Autor, <b>AU</b> :	Bojan Batinić, master		
Mentor, <b>MN</b> :	Prof. dr Goran Vujić, vanredni profesor		
Naslov rada, <b>NR</b> :	Model za predviđanje količine ambalažnog i biorazgradivog otpada primenom neuronskih mreža		
Jezik publikacije, <b>JP</b> :	Srpski		
Jezik izvoda, <b>Jl</b> :	Srpski/Engleski		
Zemlja publikovanja, <b>ZP</b> :	Republika Srbija		
Uže geografsko područje, <b>UGP</b> :	Autonomna Pokrajina Vojvodina		
Godina, <b>GO</b> :	2015.		
Izdavač, <b>IZ</b> :	Autorski reprint		
Mesto i adresa, <b>MA</b> :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6		
Fizički opis rada, <b>FO</b> : (poglavlja/strana/ citata/tabela/slika/grafika/priloga)	8/110/165/29/12/52/1		
Naučna oblast, <b>NO</b> :	Inženjerstvo zaštite životne sredine		
Naučna disciplina, <b>ND</b> :	Upravljanje otpadom		
Predmetna odrednica/Ključne reči, <b>PO</b> :	Ambalažni otpad, biorazgradivi komunalni otpad, veštačke neuronske mreže, model, predviđanje, upravljanje otpadom.		
<b>UDK</b>			
Čuva se, <b>ČU</b> :	Biblioteka Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad		
Važna napomena, <b>VN</b> :			
Izvod, <b>IZ</b> :	U okviru disertacije, korišćenjem veštačkih neuronskih mreža razvijeni su modeli za predviđanje količina ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada u Republici Srbiji do kraja 2030. godine. Razvoj modela baziran je na zavisnosti između ukupne potrošnje domaćinstva i generisane količine dva posmatrana toka otpada. Pored toga, na bazi zavisnosti sa bruto domaćim proizvodom (BDP), definisan je i model za projekciju zastupljenosti osnovnih opcija tretmana komunalnog otpada u Republici Srbiji za isti period. Na osnovu dobijenih rezultata, stvorene su polazne osnove za procenu potencijala za reciklažu ambalažnog otpada, kao i za procenu u kojoj meri se može očekivati da određene količine biorazgradivog otpada u narednom periodu ne budu odložene na deponije, što je u skladu sa savremenim principima upravljanja otpadom i postojećim zahtevima EU u ovoj oblasti.		
Datum prihvatanja teme, <b>DP</b> :	26.03.2014.		
Datum odbrane, <b>DO</b> :			
Članovi komisije, <b>KO</b> :	Predsednik:	dr Dejan Ubavin, docent	
	Član:	dr Milan Trumić, redovni profesor	
	Član:	dr Katerina Donevska, redovni profesor	Potpis mentora
	Član:	dr Srđan Vukmirović, docent	
	Član, mentor:	dr Goran Vujić, vanredni profesor	



## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, <b>ANO</b> :	
Identification number, <b>INO</b> :	
Document type, <b>DT</b> :	Monograph documentation
Type of record, <b>TR</b> :	Textual printed material
Contents code, <b>CC</b> :	Ph.D. Thesis
Author, <b>AU</b> :	Bojan Batinić, M.Sc.
Mentor, <b>MN</b> :	Dr. Goran Vujić, Associate professor
Title, <b>TI</b> :	Model for prediction of the quantity of packaging and biodegradable waste using neural networks
Language of text, <b>LT</b> :	Serbian
Language of abstract, <b>LA</b> :	Serbian/English
Country of publication, <b>CP</b> :	Republic of Serbia
Locality of publication, <b>LP</b> :	Autonomous Province of Vojvodina
Publication year, <b>PY</b> :	2015.
Publisher, <b>PB</b> :	Author's reprint
Publication place, <b>PP</b> :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, <b>PD</b> : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	8/110/165/29/12/52/1
Scientific field, <b>SF</b> :	Environmental Engineering
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Waste Management
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	Packaging waste, biodegradable municipal waste, artificial neural networks, model, prediction, waste management.
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD</b> :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Novi Sad
Note, <b>N</b> :	
Abstract, <b>AB</b> :	By using artificial neural networks, models for prediction of the quantity of packaging and biodegradable municipal waste in the Republic of Serbia by the end of 2030, were developed. Models were based on dependence between total household consumption and generated quantities of two observed waste streams. In addition, based on dependence with the Gross Domestic Product (GDP), a model for the projection of share of different municipal solid waste treatment options in the Republic of Serbia for the same period, was created. Obtained results represent a starting point for assessing the potential for recycling of packaging waste, and determination of biodegradable municipal waste quantities which expected that in the future period will not be disposed at landfills, in accordance with modern principles of waste management and existing EU requirements in this area.
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	26.03.2014.
Defended on, <b>DE</b> :	
Defended Board, <b>DB</b> :	
President:	Dr. Dejan Ubavin, Assistant professor
Member:	Dr. Milan Trumić, Full professor
Member:	Dr. Katerina Donevska, Full professor
Member:	Dr. Srđan Vukmirović, Assistant professor
Member, Mentor:	Dr. Goran Vujić, Associate professor
	Menthor's sign

## APSTRAKT

---

Ambalažni i biorazgradivi otpad predstavljaju tokove komunalnog otpada koji u okviru savremenih sistema za upravljanje otpadom zahtevaju posebna rešenja. Ključne aktivnosti podrazumevaju definisanje odgovarajućih opcija za njihov tretman, kojima bi se smanjilo opterećenje na životnu sredinu, nastalo kao posledica upotrebe sve većih količina ambalažnih materijala i direktnog deponovanja biorazgradivog otpada. Polaznu osnovu u cilju uspostavljanja održivih sistemskih rešenja upravljanja ambalažnim i biorazgradivim kategorijama komunalnog otpada, predstavlja poznavanje informacija o njihovim trenutnim, ali i projektovanim generisanim količinama u budućem periodu.

Cilj istraživanja u okviru doktorske disertacije predstavlja definisanje modela za predviđanje količina ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada u Republici Srbiji do kraja 2030. godine. Dobijeni podaci mogu da se iskoriste u cilju procene potencijala za reciklažu i ponovnu upotrebu ambalažnog otpada, kao i za određivanje količina biorazgradivog komunalnog otpada koje u skladu sa postojećim zahtevima EU u ovoj oblasti neće biti dozvoljeno deponovati u budućem periodu. Istraživanje obuhvata i razvoj modela za predviđanje zastupljenosti osnovnih opcija za tretman komunalnog otpada, kako bi se utvrdilo u kojoj meri je realno za očekivati da će Srbija sa deponovanja otpada, kao konvencionalne metode, preći na primenu naprednijih opcija za tretman otpada koje uključuju reciklažu, biološke metode (kompostiranje i anaerobnu digestiju) i insineraciju.

Svi modeli razvijeni su korišćenjem veštačkih neuronskih mreža, koje funkcionišu na bazi zavisnosti između zadatih ulaznih i izlaznih parametara. U okviru modela za predviđanje količina ambalažnog i biorazgradivog otpada, ulazne parametre predstavljali su podaci o ukupnoj potrošnji domaćinstva, dok su generisane količine ova dva toka otpada predstavljali izlaze neuronske mreže. Na sličan način definisan je i model za predviđanje buduće zastupljenosti opcija za tretman komunalnog otpada, gde su ulazni parametri određeni na osnovu bruto domaćeg proizvoda (BDP).

Evaluacija odabranih neuronskih mreža i mogućnost primene definisanih modela u cilju predviđanja izlaznih parametara, proverena je utvrđivanjem razlike između realnih vrednosti i vrednosti izlaznih parametara koje je generisala neuronska mreža. Nakon toga, predstavljanjem trenda promena za sve ulazne parametre u budućem periodu, izvršena je projekcija posmatranih izlaznih veličina. S obzirom na to da je budući rast BDP-a i indikatora prosečne potrošnje domaćinstva, usled velikog broja uticajnih faktora teško odrediti sa velikom preciznošću, posmatrana su dva različita scenarija ekonomskog razvoja Srbije, koji se mogu okarakterisati kao pesimistički i optimistički scenario.

Dobijeni rezultati prosečnih vrednosti dva posmatrana scenarija, pokazali su da će količina generisanog ambalažnog otpada u Srbiji do kraja 2030. godine iznositi oko 590.000 t, što u odnosu na 2008. godinu predstavlja povećanje od 27,6%. U odnosu na 2008., potencijalno referentnu godinu, i ukupnu količinu od 1.602.525 t, projektovane količine biorazgradivog komunalnog otpada za Srbiju će 2030. godine dostići vrednost od skoro 1.920.000 t, što je više za 24,8%. Rezultati predviđanja zastupljenosti osnovnih opcija za tretman komunalnog otpada, pokazuju da će se količine deponovanog otpada u Srbiji smanjivati, ali da će deponovanje i u narednom periodu biti najdominantniji oblik tretmana komunalnog otpada sa udelom od 52,3% u 2030. godini. Zastupljenost reciklaže komunalnog otpada će biti u stalnom porastu, i prema projekcijama 2030. godine iznosiće 16,9%, dok bi za istu godinu projektovana vrednost udela termičkih metoda iznosila 6,9%. Biološke metode za tretman komunalnog otpada pokazuju najveći projektovani trend rasta, koji bi 2030. godine dostigao približno 24%.

Rezultati dobijeni istraživanjem su od suštinske važnosti u cilju definisanja odgovarajuće strategije za upravljanje komunalnim otpadom u Srbiji i ispunjavanje budućih ciljeva definisanih domaćim zakonodavstvom i EU Direktivama.

## **ABSTRACT**

---

Packaging and biodegradable waste are the municipal waste streams requiring special solutions in the context of modern waste management systems. Key activities involves the defining of appropriate options for their treatment, aimed at reducing the negative environmental impact that results from constantly increasing use of packaging materials and directly landfilling of biodegradable waste. The starting point in order to establishing a sustainable future systemic solutions for management of packaging and biodegradable municipal waste categories, is the knowledge of information about their current, but also projections of generated quantities in the future.

The aim of this research is to define the models for forecasting the amounts of packaging and biodegradable municipal waste in the Republic of Serbia until the end of the year 2030. The obtained data can be used to assess the potential for recycling and re-use of packaging waste, as well as to determine the amounts of biodegradable municipal waste, which, in accordance with the valid EU requirements in this field, will not be allowed to be deposited in the future. Research also concerns the defining of the model for forecasting of the future share of basic options for municipal waste treatment, in order to determine the extent up to which it is realistic to expect that Serbia will transfer from waste disposal as a conventional method, to implementation of contemporary waste treatment options that include recycling, biological methods (composting and anaerobic digestion) and incineration.

All models are developed using artificial neural networks, which operate on the basis of dependence between the set input and output parameters. Within the framework of the forecasting model for the amounts of packaging and biodegradable waste, the input parameters include the data on total household consumption, while the generated amounts of these two waste streams make the neural networks outputs. The forecasting model for future share of basic options for municipal waste treatment was defined in a similar manner, where the input parameters were determined on the basis of GDP.

The evaluation of the selected neural networks and the possibility of applying the defined models to forecast the output parameters is checked by analyzing the extent to which the actual data differ from the values of output parameters generated by neural network. That was followed by a presentation of change trends for all input parameters in the future period, and elaboration of projections of the observed output values for the future period. Taking into account that the future GDP growth and indicators of average household consumption are difficult to determine with high precision due to the large number of influencing factors, two different scenarios of economic development of Serbia were considered, which can be characterized as pessimistic and optimistic scenario.

Obtained results of the average values of the two scenarios, show that the amount of packaging waste generated in Serbia by the end of 2030 will reach nearly 590,000 t, which compared to 2008 makes an increase of 27.6%. Compared to 2008, as a potentially reference year, and the total amount of 1,602,525 t, projected amounts of biodegradable municipal waste in Serbia will reach about 1.92 million tons by 2030, which makes the increase of 24.8%. The results related to forecasting of share of basic options for municipal waste treatment show that the amounts of waste deposited in Serbia will decline, but that landfilling will continue to be the most dominant form of municipal waste treatment in Serbia, with the share of 52.3% in 2030. The share of municipal waste recycling will constantly increase and, according to the forecasts, it will make 16.9% in 2030, while for the same year, the forecasts tell us that the share of thermal treatment methods will make 6.9%. Biological methods of municipal waste treatment show the highest forecasted growth trend that would reach almost 24% by 2030.

Results from research are essential in order to define appropriate strategies for the management of municipal waste in Serbia and to fulfill future goals defined by national legislation and EU Directives.

## SADRŽAJ

---

SPISAK TABELA.....	4
SPISAK GRAFIKA.....	5
SPISAK SLIKA .....	7
LISTA SKRAĆENICA.....	8
<b>1. UVODNA RAZMATRANJA .....</b>	<b>9</b>
<b>2. PREGLED AKTUELNOG STANJA U OBLASTI ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>11</b>
2.1 OPCIJE TRETMANA KOMUNALNOG OTPADA.....	11
2.2 KOLIČINA I SASTAV KOMUNALNOG OTPADA.....	16
2.3 UPRAVLJANJE AMBALAŽNIM I BIORAZGRADIVIM KOMUNALNIM OTPADOM U SKLADU SA ZAKONSKOM REGULATIVOM EU I SRBIJE .....	21
2.3.1 UPRAVLJANJE AMBALAŽNIM OTPADOM .....	23
2.3.2 UPRAVLJANJE BIORAZGRADIVIM KOMUNALNIM OTPADOM .....	30
<b>3. OSNOVE I MOTIV ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>35</b>
3.1 DEFINISANJE ISTRAŽIVAČKIH CILJEVA I POSTAVLJANJE HIPOTEZA .....	36
<b>4. PREGLED POSTOJEĆIH METODA ZA PREDVIĐANJE BUDUĆIH KARAKTERISTIKA OTPADA</b>	<b>38</b>
4.1 VEŠTAČKE NEURONSKE MREŽE KAO METOD ZA PREDVIĐANJE I KLASIFIKACIJU PODATAKA ...	43
4.1.1 PRIMENA VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA U OBLASTI UPRAVLJANJA OTPADOM .....	49
<b>5. DEFINISANJE MODELA ZA PREDVIĐANJE KOLIČINA AMBALAŽNOG I BIORAZGRADIVOG KOMUNALNOG OTPADA I ZASTUPLJENOSTI OPCIJA TRETMANA OTPADA .....</b>	<b>51</b>
5.1 MODEL NEURONSKE MREŽE ZA PREDVIĐANJE KOLIČINA AMBALAŽNOG OTPADA .....	58
5.2 MODEL NEURONSKE MREŽE ZA PREDVIĐANJE KOLIČINA BIORAZGRADIVOG KOMUNALNOG OTPADA .....	63
5.3 MODEL NEURONSKE MREŽE ZA PREDVIĐANJE ZASTUPLJENOSTI OPCIJA TRETMANA KOMUNALNOG OTPADA .....	67
<b>6. REZULTATI PREDVIĐANJA KOLIČINA AMBALAŽNOG I BIORAZGRADIVOG KOMUNALNOG OTPADA I ZASTUPLJENOSTI OPCIJA TRETMANA OTPADA U REPUBLICI SRBIJI.....</b>	<b>72</b>
6.1 REZULTATI PREDVIĐANJA KOLIČINA AMBALAŽNOG OTPADA .....	74
6.2 REZULTATI PREDVIĐANJA KOLIČINA BIORAZGRADIVOG KOMUNALNOG OTPADA .....	76
6.3 REZULTATI PREDVIĐANJA ZASTUPLJENOSTI OPCIJA TRETMANA KOMUNALNOG OTPADA .....	80
6.4 PROCENA MOGUĆNOSTI ZA DOSTIZANJE CILJEVA DEFINISANIH EU DIREKTIVAMA NA OSNOVU DOBIJENIH REZULTATA.....	83
<b>7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA.....</b>	<b>85</b>
<b>8. KORIŠĆENA LITERATURA .....</b>	<b>88</b>
<b>PRILOG .....</b>	<b>96</b>

## SPISAK TABELA

Tabela 2.1 Poređenje osnovnih elemenata sistema upravljanja otpadom u zavisnosti od ekonomske razvijenosti zemalja .....	12
Tabela 2.2 Zastupljenost različitih opcija tretmana komunalnog otpada za zemlje EU-27 u periodu od 1995. do 2011. godine.....	13
Tabela 2.3 Generisanje otpada, populacija i BDP za zemlje EU-27 u periodu od 1995. do 2011. godine .....	16
Tabela 2.4 Opšti i specifični ciljevi za reciklažu ambalažnog otpada .....	23
Tabela 2.5 Ciljevi definisani Direktivom EU o deponijama i rokovi za njihovo ispunjenje za zemlje EU .....	31
Tabela 4.1 Podela modela za modelovanje karakteristika otpada prema odabranim kriterijumima .....	40
Tabela 4.2 Prikaz najčešće korišćenih aktivacionih funkcija u okviru neuronskih mreža .....	44
Tabela 5.1 Evaluacija modela VNM za ambalažni otpad na bazi različitih tipova grešaka .....	61
Tabela 5.2 Evaluacija modela VNM za biorazgradivi komunalni otpad na bazi različitih tipova grešaka .....	65
Tabela 5.3 Evaluacija modela VNM za zastupljenost opcija tretmana otpada na bazi različitih tipova grešaka ....	70
Tabela 6.1 Projekcija osnovnih ekonomskih parametara za dva posmatrana scenarija (2012 - 2030) .....	73
Tabela 6.2 Projektovana količina generisanog ambalažnog otpada za Srbiju u periodu od 2013. do 2030. godine	74
Tabela 6.3 Projektovana količina generisanog biorazgradivog otpada za Srbiju u periodu od 2013. do 2030. godine .....	76
Tabela 6.4 Količine ambalažnog i biorazgradivog otpada koje je neophodno tretirati u cilju usklađivanja sa Direktivama EU.....	79
Tabela P.1 Detaljan prikaz svih vrednosti ulaznih i izlaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju količine ambalažnog otpada.....	96
Tabela P.2 Performanse svih analiziranih modela neuronskih mreža za projekciju količine ambalažnog otpada ...	97
Tabela P.3 Detaljan prikaz svih vrednosti ulaznih i izlaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju količine biorazgradivog komunalnog otpada .....	98
Tabela P.4 Performanse svih analiziranih modela neuronskih mreža za projekciju količine biorazgradivog komunalnog otpada .....	99
Tabela P.5a Detaljan prikaz svih vrednosti I ulaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada.....	100
Tabela P.5b Detaljan prikaz svih vrednosti II ulaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada.....	101
Tabela P.5c Detaljan prikaz svih vrednosti I izlaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada.....	102
Tabela P.5d Detaljan prikaz svih vrednosti II izlaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada.....	103
Tabela P.5e Detaljan prikaz svih vrednosti III izlaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada.....	104
Tabela P.5f Detaljan prikaz svih vrednosti IV izlaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada.....	105
Tabela P.5g Detaljan prikaz svih vrednosti V izlaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada.....	106
Tabela P.6 Performanse svih analiziranih modela neuronskih mreža za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada .....	107
Tabela P.7a Pretpostavljene vrednosti ulaznih parametara u okviru modela za ambalažni otpad u periodu od 2013. do 2030. godine za Srbiju i projektovane izlazne vrednosti.....	108
Tabela P.7b Pretpostavljene vrednosti ulaznih parametara u okviru modela za biorazgradivi komunalni otpad u periodu od 2013. do 2030. godine za Srbiju i projektovane izlazne vrednosti .....	109
Tabela P.7c Pretpostavljene vrednosti ulaznih parametara u okviru modela za zastupljenost tretmana otpada u periodu od 2013. do 2030. godine za Srbiju i projektovane izlazne vrednosti .....	110

## SPISAK GRAFIKA

Grafik 2.1 Zastupljenost različitih opcija tretmana komunalnog otpada na globalnom nivou .....	11
Grafik 2.2 Procentualna zastupljenost različitih opcija tretmana komunalnog otpada za evropske zemlje .....	13
Grafik 2.3 Broj deponija u zavisnosti od njihove zapremine i količine otpada koja se deponuje .....	14
Grafik 2.4 Procenat otpada koji se trenutno odlaže na sanitarne deponije u Srbiji .....	15
Grafik 2.5 Količine generisanog komunalnog otpada na globalnom nivou.....	16
Grafik 2.6 Trend rasta populacije, BDP-a i stope generisanja otpada za zemlje EU-27 u odnosu na 1995. godinu .	17
Grafik 2.7 Poređenje količine generisanog komunalnog otpada u Srbiji i drugim zemljama .....	18
Grafik 2.8 Morfološki sastav komunalnog otpada na globalnom nivou .....	19
Grafik 2.9 Poređenje prosečnog udela osnovnih kategorija komunalnog otpada za zemlje EU-15, SAD i Srbiju.....	19
Grafik 2.10 Prosečan morfološki sastav komunalnog otpada u Republici Srbiji.....	20
Grafik 2.11 Zastupljenost ambalažnih i biorazgradivih frakcija u okviru komunalnog otpada u Republici Srbiji.....	20
Grafik 2.12 Pregled zakonske regulative EU u oblasti upravljanja otpadom .....	21
Grafik 2.13 Količina ambalaže stavljene na tržište EU u periodu od 1998. do 2010. godine .....	25
Grafik 2.14 Poređenje u količini generisanog, recikliranog i deponovanog ambalažnog otpada za zemlje EU-15..	25
Grafik 2.15 Ispunjenost ciljeva definisanih Direktivom EU za ambalažu i ambalažni otpad za zemlje EU u 2010. godini.....	26
Grafik 2.16 Količina reciklirane ambalaže u odnosu na ciljeve definisane Direktivom EU za zemlje EU-27 u 2010. godini.....	28
Grafik 2.17 Udeo različitih ambalažnih materijala u odnosu na ukupnu količinu ambalaže stavljene na tržište Srbije.....	29
Grafik 2.18 Poređenje rokova za smanjenje deponovane količine biorazgradivog komunalnog otpada u Srbiji i EU .....	31
Grafik 2.19 Količina generisanog biorazgradivog komunalnog otpada za određene evropske zemlje .....	32
Grafik 2.20 Zastupljenost različitih kategorija biorazgradivog komunalnog otpada u Srbiji .....	33
Grafik 2.21 Procenat deponovanog biorazgradivog otpada za evropske zemlje 2006. godine u odnosu na referentnu godinu .....	34
Grafik 4.1 Primer moguće greške u predviđanju budućih količina otpada korišćenjem ekstrapolacije poznatog trenda podataka.....	39
Grafik 5.1 Procentualni udeo potrošnje domaćinstava na različite grupe proizvoda i usluga za zemlje EU .....	54
Grafik 5.2 Trend promene ukupne potrošnje domaćinstava i količine ambalaže stavljene na tržište za zemlje EU-15 .....	55
Grafik 5.3 Doprinosi različitih aktivnosti u okviru domaćinstava na količinu i vrstu generisanog otpada .....	55
Grafik 5.4 Grupisanje zemalja EU u odnosu na BDP i zastupljenost osnovnih opcija za tretmana komunalnog otpada .....	57
Grafik 5.5 Zavisnost između količine ambalažnog otpada i prvog ulaznog parametra u okviru modela .....	60
Grafik 5.6 Srednja kvadratna greška (MSE) u sklopu učenja VNM za ambalažni otpad tokom 1000 epoha .....	61
Grafik 5.7 Poređenje realnih i modelovanih podataka o količini ambalažnog otpada tokom faze testiranja .....	62
Grafik 5.8 Poređenje realnih vrednosti i vrednosti količina ambalažnog otpada dobijenih modelom .....	62
Grafik 5.9 Udeo ambalažnog otpada u sklopu biorazgradivog komunalnog otpada za zemlje EU-15 .....	64
Grafik 5.10 Zavisnost između količine biorazgradivog komunalnog otpada i prvog ulaznog parametra u okviru modela .....	64
Grafik 5.11 Srednja kvadratna greške (MSE) u sklopu učenja VNM za biorazgradivi komunalni otpad tokom 100 epoha .....	65
Grafik 5.12 Poređenje realnih i modelovanih podataka o količini biorazgradivog otpada tokom faze testiranja ...	66
Grafik 5.13 Poređenje realnih vrednosti i vrednosti količina biorazgradivog komunalnog otpada dobijenih modelom .....	66



Grafik 5.14 Zavisnost BDP-a u odnosu na procenat insineracije i deponovanja za posmatrane zemlje u okviru modela .....	69
Grafik 5.15 Srednja kvadratna greške (MSE) u sklopu učenja VNM za zastupljenost opcija tretmana otpada tokom 500 epoha.....	70
Grafik 5.16 Poređenje realnih i modelovanih podataka o udelu reciklaže tokom faze testiranja .....	71
Grafik 5.17 Poređenje realnih vrednosti i vrednosti zastupljenosti reciklaže komunalnog otpada dobijenih modelom .....	71
Grafik 6.1 Prosečna godišnja stopa rasta BDP za zemlje u okruženju u periodu od 1998. do 2007. godine .....	73
Grafik 6.2 Predviđene količine generisanog ambalažnog otpada u Srbiji za dva scenarija do kraja 2030. godine..	74
Grafik 6.3 Predviđene količine generisanog biorazgradivog komunalnog otpada u Srbiji za dva scenarija do kraja 2030. godine.....	76
Grafik 6.4 Količina biorazgradivog komunalnog otpada generisana u referentnoj godini za određene evropske zemlje .....	77
Grafik 6.5 Predviđene količine biorazgradivog komunalnog otpada koje nije dozvoljeno deponovati u budućem periodu .....	78
Grafik 6.6 Projekcija ukupne količine komunalnog otpada u Srbiji zaključno sa 2030. godinom .....	79
Grafik 6.7 Projekcija procenta odlaganja komunalnog otpada u Srbiji za dva scenarija zaključno sa 2030. godinom .....	80
Grafik 6.8 Projekcija procenta reciklaže komunalnog otpada u Srbiji za dva scenarija zaključno sa 2030. godinom .....	81
Grafik 6.9 Projekcija procenta insineracije komunalnog otpada u Srbiji za dva scenarija zaključno sa 2030. godinom .....	81
Grafik 6.10 Projekcija procenta kompostiranja komunalnog otpada u Srbiji za dva scenarija zaključno sa 2030. godinom .....	82
Grafik 6.11 Projekcija osnovnih opcija za tretman komunalnog otpada u Srbiji zaključno sa 2030. godinom .....	82
Grafik 6.12 Projekcija dostizanja ključnog cilja prema Direktivi EU o ambalaži i ambalažnom otpadu za Srbiju ....	83
Grafik 6.13 Projekcija dostizanja ciljeva prema Direktivi EU o deponijama za Srbiju .....	84

## SPISAK SLIKA

---

Slika 4.1 Uticajni faktori na segmente sistema upravljanja otpadom u zavisnosti od postavljenih granica sistema .....	38
Slika 4.2 Osnovni elementi biološke i veštačke neuronske mreže .....	43
Slika 4.3 Šematski prikaz neuronske mreže sa tri sloja.....	45
Slika 4.4 Tipovi mreža u zavisnosti od vrste veze između neurona .....	46
Slika 4.5 Vrste neuronskih mreža u zavisnosti od smera prostiranja informacija .....	46
Slika 4.6 Prikaz odstupanja stvarnog izlaza kroz iteracije .....	47
Slika 5.1 Prikaz načina za procenu karakteristika otpada indirektnim putem i uticajni faktori .....	51
Slika 5.2. Uopšten model za proveru postojanja zavisnosti između nivoa potrošnje i određenih tokova generisanog otpada .....	54
Slika 5.3 Prikaz glavnih uticaja na mogućnost implementacije određene opcije za tretman otpada .....	56
Slika 5.4 Arhitektura korišćene neuronske mreže u okviru modela za ambalažni otpad .....	60
Slika 5.5 Arhitektura korišćene neuronske mreže u okviru modela za biorazgradivi komunalni otpad .....	65
Slika 5.6 Arhitektura korišćene neuronske mreže u okviru modela za projekciju zastupljenosti opcija tretmana otpada .....	69

## LISTA SKRAĆENICA

---

ANN - Veštačke neuronske mreže (Artificial Neural Networks)

BDP - Bruto domaći proizvod

CPI - Indeks potrošačkih cena

EAP - Akcioni program za zaštitu životne sredine (Environment Action Programme)

EC - Evropska Komisija (European Commission)

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

EU-15 - Države članice Evropske Unije zaključno sa 31.12.2003.

EU-27 - Države članice Evropske Unije zaključno sa 30.06.2013.

GDP - Bruto Domaći Proizvod (Gross Domestic Product)

GHG - Gasovi sa efektom staklene bašte (Greenhouse gases)

MAE - Srednja apsolutna greška (Mean absolute error)

MAPE - Srednja apsolutna procentualna greška (Mean absolute percentage error)

MBT - Mehaničko biološki tretman

MSE - Srednja kvadratna greška (Mean squared error)

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

r - Koeficijent korelacije

$r^2$  - Koeficijent determinacije

RMSE - Koren srednje kvadratne greške (Root mean squared error)

VNM - Veštačke neuronske mreže

## 1. UVODNA RAZMATRANJA

---

Ubrzan industrijski razvoj, sve veći stepen urbanizacije i stvaranje potrošačkog društva uzrok su značajnih negativnih posledica na životnu sredinu i zdravlje ljudi (UNEP, 2005; WB, 2012; Kumar, 2011). Jedan od glavnih elemenata degradacije životne sredine, kao neminovna posledica pomenutih tendencija, predstavlja i produkcija sve veće količine komunalnog otpada. Konstantno povećanje količine generisanog otpada stvara sve veće opterećenje na postojeće sisteme upravljanja otpadom i po životnu sredinu. Ukoliko se ovakav trend nastavi, a pri tome ne bude praćen adekvatnim rešenjima iz oblasti upravljanja otpadom, osnovni principi održivog razvoja biće dovedeni u pitanje (EC/JRC, 2003).

Podaci pokazuju da stopa generisanja komunalnog otpada u većini slučajeva ima čak veći rast u odnosu na stepen urbanizacije društva i ekonomsku razvijenost određene zemlje iskazanu kroz BDP (WB, 2012). Ipak, treba imati u vidu da ekonomski razvijene zemlje, pored činjenice da generišu veće količine otpada u odnosu na druge zemlje, imaju i veoma razvijene sisteme upravljanja otpadom sa adekvatnim postrojenjima za njegov tretman, uz jak institucionalni i zakonodavni okvir koji reguliše ovu oblast. Sa druge strane, nerazvijene zemlje i zemlje u razvoju imaju manju stopu generisanja otpada, ali slabo razvijeni sistemi upravljanja otpadom, odnosno nepostojanje odgovarajućih postrojenja za njegov tretman, kao i slaba zakonska regulativa, čine da su negativni uticaji na životnu sredinu uzrokovani generisanjem otpada takođe značajni (Kumar, 2011). Do 2000-ih godina na globalnom nivou, bilo je oko 2,9 milijardi stanovnika koji su živeli u urbanim područjima i koji su u proseku generisali oko 0,64 kg otpada dnevno. Poslednja istraživanja pokazuju da se broj urbanog stanovništva povećao na preko 3 milijarde, dok ukupna produkcija otpada u proseku iznosi 1,2 kg po stanovniku dnevno. Do kraja 2025. godine, očekuje se da će 4,3 milijarde stanovnika iz urbanih područja generisati čak oko 1,42 kg/st/dn, odnosno ukupno 2,2 milijarde tona na godišnjem nivou (WB, 2012). Zemlje članice OECD-a, kroz dokumenta koja daju osvrt na sektor zaštite životne sredine, stepen povećanja stope generisanja komunalnog otpada označile su kao jedno od pet ključnih problema koji stvaraju negativne posledice po životnu sredinu i koji predstavljaju prioritet u smislu definisanja odgovarajućih rešenja u budućem periodu. Istraživanja sprovedena u OECD zemljama, pokazuju da će stepen povećanja generisanja komunalnog otpada u periodu od 1995. do 2020. godine iznositi 43% (EC/JRC, 2003).

Pored postojećeg trenda rasta produkcije otpada, i različite opcije za tretman u znatnoj meri određuju stepen uticaja na životnu sredinu. Na primer, emisije gasova sa efektom staklene bašte (GHG) koje su posledica tretmana komunalnog otpada, prema procenama doprinose sa skoro 5% u odnosu na ukupne globalne GHG emisije. Emisija metana (CH<sub>4</sub>) sa deponija predstavlja 12% ukupne emisije CH<sub>4</sub> na globalnom nivou (USEPA, 2006). Ipak, povećanje ispunjenja sve većih zahteva sa stanovišta zaštite životne sredine kod sistema za upravljanje otpadom, uglavnom u znatnoj meri rezultuje povećanjem troškova takvih sistema. Globalno posmatrajući, procenjuje se da će se troškovi upravljanja otpadom sa današnjih 205,4\$ milijarde povećati na 375,5\$ milijardi u 2025. godini (Christensen, 2011). Evidentno je da pitanje upravljanja otpadom predstavlja veoma kompleksan problem i da ne postoje jednostavna rešenja, odnosno da se sistemi za upravljanje otpadom moraju posmatrati sa više aspekata, uključujući tehničke, socio-ekonomske i aspekte zaštite životne sredine, koji su često u konfrontaciji, što dovodi do usvajanja kompromisnih i alternativnih rešenja (Dubois i dr., 2004; Balkwaste, 2011a; Worrell i Vesilind, 2012).

U okviru savremenih sistema za upravljanje otpadom, akcenat je stavljen na definisanje odgovarajućih rešenja za sve pojedinačne kategorije i tokove generisanog komunalnog otpada. U tom kontekstu, ambalažni otpad je posebno izdvojen kao jedan od najvažnijih tokova, pre svega zbog velikog potencijala za reciklažu i ponovnu upotrebu, ali i količine koja je u konstantnom porastu poslednjih godina. Sa druge strane, neiskorišćenjem ambalažnog otpada kao sekundarne sirovine i njegovim deponovanjem, stvara se negativan uticaj po životnu sredinu (EEA, 2005a; Christensen, 2011).

Pored navedenog toka, biorazgradivi komunalni otpad značajno doprinosi degradaciji životne sredine, pre svega ukoliko se deponuje i zbog činjenice da proces razgradnje ove vrste otpada rezultuje stvaranjem procednih voda i emisijom gasova sa efektom staklene bašte, uglavnom metana. Ipak, ukoliko se izbegne deponovanje pomenute frakcije otpada, kao rezultat korišćenja tretmana poput kompostiranja i anaerobne digestije, mogu se dobiti korisni produkti poput komposta i biogasa (EC/Eunomia, 2007).

Zbog prepoznavanja kompleksnosti pitanja upravljanja ambalažnim i biorazgradivim komunalnim otpadom, u želji da se pronađu što je moguće optimalnija rešenja, zakonodavnim merama, Direktivama ali i ekonomskim instrumentima, mnoge zemlje su dale podsticaj za stvaranje održivih sistema za upravljanje navedenim tokovima komunalnog otpada. Na nivou država članica EU, 1999. godine, uz dopunu iz 2004. godine, usvojena je posebna Direktiva EU koja se odnosi na ambalažu i ambalažni otpad (*Directive on packaging and packaging waste - 1994/62/EC, 2004/12/EC*) i koja sadrži tačno definisane ciljeve koje su zemlje članice morale da ispune do kraja 2008. godine. Krajnji cilj predstavljao je reciklažu najmanje 55% ambalažnog otpada, uz dostizanje 60% ponovne upotrebe ove vrste otpada. Usled sve veće zabrinutosti zbog popunjenosti kapaciteta postojećih deponija u određenim evropskim zemljama, ali i svesti o negativnim uticajima deponija na životnu sredinu, poput emisije metana i drugih gasova u atmosferu, zagađenja podzemnih i površinskih voda, degradacije zemljišta i sl., proizašla je Direktiva EU o deponijama (*Directive on the landfill of waste - 1999/31/EC*). Stupivši na snagu 1999. godine, Direktiva je predstavljala prekretnicu u smislu definisanja ciljeva za postepeno smanjenje dozvoljene količine deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada u budućem periodu, zaključno sa 2016. godinom.

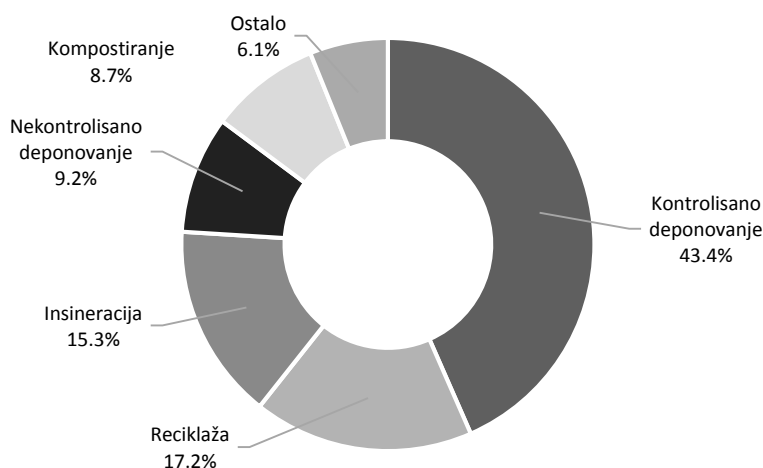
U cilju harmonizacije sa regulativom EU iz oblasti upravljanja otpadom, Srbija je takođe usvojila set sličnih Zakona i Uredbi, poštujući sve specifičnosti u kojoj se trenutno nalazi. *Uredba o utvrđivanju plana smanjenja ambalažnog otpada za period od 2010. do 2014. godine - Službeni glasnik RS - 88/2009*, utvrđuje opšti cilj, odnosno reciklažu najmanje 25% od ukupne količine generisanog ambalažnog otpada do kraja 2014. godine. Na sličan način, *Uredba o odlaganju otpada na deponije - Službeni glasnik RS - 92/2010*, određuje ciljeve koji se odnose na smanjenje količine deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada u budućem periodu, pri čemu je predviđeno da se u periodu od 2020. do 2026. godine, dostigne konačni cilj koji podrazumeva da najmanje 65% od ukupno generisane količine ne bude odloženo na deponije.

Da bi se odredio ukupan potencijal za reciklažu i ponovnu upotrebu ambalažnog otpada i definisao odgovarajući sistem za tretman biorazgradivog komunalnog otpada na nacionalnom nivou, neophodne su informacije o generisanim količinama dva posmatrana toka otpada, koje uključuju i projekciju, odnosno predviđanje njihovog trenda u budućem periodu. Dodatnu potrebu za ovim podacima, predstavlja i činjenica da će Republika Srbija u sklopu usklađivanja sa Direktivama EU koje definišu konkretne nacionalne ciljeve u vezi sa tretmanom pomenutih tokova otpada, takođe biti u obavezi da ispuni definisane ciljeve u budućnosti, pri čemu prvi preduslov predstavlja istraživanje koje će omogućiti dobijanje rezultata o projektovanim količinama ambalažnog i biorazgradivog otpada za Srbiju u narednom periodu.

## 2. PREGLED AKTUELNOG STANJA U OBLASTI ISTRAŽIVANJA

### 2.1 OPCIJE TRETMANA KOMUNALNOG OTPADA

Koja vrsta tretmana komunalnog otpada će se koristiti na lokalnom ili nacionalnom nivou, zavisi od velikog broja faktora, uključujući pre svega: ekonomske, zakonodavne, georafsko-klimatske, sociološke i slične faktore (Daskalopoulos i dr., 1998; Beigl i dr., 2004; Nilanthi i dr., 2007; Žičkiene i dr., 2005). Prema podacima Bahor i dr. (2009) i WB (2012), najzastupljeniju opciju tretmana komunalnog otpada, na globalnom nivou, i dalje predstavlja deponovanje, iako se prema mnogim strateškim dokumentima iz oblasti upravljanja otpadom, kao što je na primer Okvirna Direktiva EU o otpadu, ova opcija smatra najmanje poželjnom u hijerarhiji upravljanja otpadom. Razlog za ovakvu situaciju jeste pre svega činjenica da je ovakav tretman i dalje najjednostavniji i najjeftiniji, kao i da je na ovaj način moguće tretirati sav komunalni otpad, a ne samo određene frakcije. Nakon deponovanja, najzastupljeniji oblik tretmana otpada je reciklaža, iskorišćenje u energetske svrhe (insineracija), biološki tretmani (kompostiranje) i ostalo. Veliki udeo ima i nesanitarno deponovanje, odnosno odlaganje otpada na takozvane „divlje deponije“ i nekontrolisana smetlišta.



Grafik 2.1 Zastupljenost različitih opcija tretmana komunalnog otpada na globalnom nivou (Bahor i dr., 2009; WB, 2012)

Primena određenih opcija za tretman komunalnog otpada u najvećoj meri zavisi od ekonomskih pokazatelja, odnosno od razvijenosti određene zemlje ili posmatranog regiona. Opis zastupljenosti različitih opcija tretmana i njihove karakteristike u zavisnosti od ekonomske razvijenosti zemalja, date su u Tabeli 2.1.

Posmatrajući podatke o zastupljenosti različitih opcija tretmana komunalnog otpada za zemlje EU, u periodu od 1995. do 2011. godine, može se zaključiti da iako deponovanje još uvek predstavlja najzastupljeniji tretman, postoji očigledan trend smanjenja količina komunalnog otpada koji se tretira na ovaj način. Razlog za to je pre svega stupanje na snagu i primena Direktive EU o deponijama u okviru nacionalnih programa za upravljanje otpadom, kojom su tačno definisani ciljevi za smanjenje odlaganja biorazgradivog otpada. Kao još jedna direktna posledica pomenute Direktive jeste i progres u primeni kompostiranja, kao tretmana sa najvećim rastom zastupljenosti u periodu od 1995. do 2011. godine. Pored toga, slični ciljevi koji se odnose na povećanje stepena reciklaže, odnosno povećanje iskorišćenja otpada u energetske svrhe, definisani u sklopu Okvirne Direktive o otpadu, uzrok su sve veće primene reciklaže i insineracije. Konkretno, i pored povećanja stope generisanja komunalnog otpada, zabeleženo je da se njegovo deponovanje za zemlje EU-27 smanjilo za  $49 \times 10^6$  t, odnosno za 34,7%.

U odnosu na 296 kg/st/god, koliko je zabeleženo 1995. godine, količina deponovanog otpada je smanjena na 180 kg/st/god u 2011. godini, što odgovara prosečnom smanjenju od oko 2,3% godišnje. Kao posledica pomenutog, ukupna zastupljenost deponovanja je smanjena sa 68% na 36% u 2011. godini. Za razliku od deponovanja, količina recikliranog otpada je porasla sa  $21,8 \times 10^6$  tona (46 kg/st/god) na  $60,5 \times 10^6$  tona (121 kg/st/god) u istom periodu, što predstavlja godišnji rast od 9,6%. Ukupan udeo komunalnog otpada koji se reciklira, povećao se sa 11% iz 1995. godine, na 24% u 2011. godini.

Tabela 2.1 Poređenje osnovnih elemenata sistema upravljanja otpadom u zavisnosti od ekonomske razvijenosti zemalja (WB, 2012)

Segmenti sistema upravljanja otpadom	Stepen razvijenosti zemalja		
	Slabo razvijene	Srednje razvijene	Visoko razvijene
<b>Sakupljanje otpada</b>	Nedovoljno, uglavnom samo u gradskim područjima. Nedovoljan broj i kvalitet mehanizacije za sakupljanje. Udeo stanovnika obuhvaćenih organizovanim sakupljanjem je uglavnom ispod 50%.	Relativno razvijen sistem sakupljanja uz velik procenat obuhvata gradskog stanovništva. Otpad iz ruralnih oblasti se sakuplja u manjoj meri. Solidan broj i funkcionalnost vozila za sakupljanje. Procenat sakupljanja se kreće od 50% do 80%.	Visok procenat sakupljanja, uglavnom preko 90%. Organizovano sakupljanje i u ruralnim delovima. Koristi se savremena mehanizacija za sakupljanje.
<b>Primarno i sekundarno izdvajanje otpada</b>	Ne postoji primarna separacija, dok je sekundarna veoma slabo razvijena. Tržište sekundarnim sirovinama je slabo razvijeno, najveći uticaj na tržištu imaju neformalni sakupljači otpada.	Primarna selekcija je slabo razvijena, uglavnom na principu postavljanja kontejnera na javnim mestima, dok na nivou domaćinstava nema primarnog izdvajanja. Sekundarna separacija je delimično zastupljena.	Veoma razvijena primarna separacija, domaćinstva poseduju više kanti/kontejnera za razvrstavanje komponenti iz otpada. Razvijen adekvatan sistem postrojenja za sekundarnu separaciju.
<b>Deponovanje</b>	Praktično jedini oblik tretmana otpada. Deponije ne ispunjavaju minimum tehničko-tehnoloških standarda. Postojanje velikog broja nekontrolisanih smetlišta.	Najdominantniji način tretmana otpada. Postojanje sanitarnih deponija, uz još uvek značajan broj deponija koje ne ispunjavaju minimum kriterijuma zaštite životne sredine. Postojanje i određenog broja nekontrolisanih smetlišta.	Teži se smanjenju deponovanja kao najmanje poželjnog tretmana otpada. Deponije ispunjavaju sve kriterijume i tendencija je da se koriste samo kao opcija odlaganja ostataka koji ostaju nakon drugih opcija tretmana otpada (Insineracije, MBT...).
<b>Reciklaža</b>	Jedini oblik reciklaže je praktično zasnovan na radu neformalnog sektora. Tržište je slabo razvijeno i zakonski neuređeno. Velika razlika u cenama reciklabilnih materijala.	Neformalni sektor i dalje prisutan. Postojanje određenog broja postrojenja za sortiranje reciklabilnih komponenti iz otpada. Zbog nepostojanja dovoljnog broja postrojenja za obradu materijala, reciklabilne sirovine se često izvoze na dalji tretman. Cena reciklažnih sirovina su uglavnom ujednačene.	Organizovano sakupljanje reciklabilnih komponenti iz otpada uz postojanje adekvatnih postrojenja za sortiranje i obradu. Tržište je jasno definisano i zakonski uređeno. Uvođenje principa produžene odgovornosti proizvođača.
<b>Kompostiranje</b>	Izuzetno malo zastupljeno, iako je udeo organske frakcije u otpadu najveći. Jedini oblik kompostiranja predstavlja neformalno kućno kompostiranje. Nepostojanje tržišta za kompost.	Postoji određen broj postrojenja za kompostiranje, pri čemu je kompost kao proizvod uglavnom kontaminiran i slabog kvaliteta zbog nedovoljne primarne separacije. Sve veća primena tretmana anaerobne digestije.	Zastupljeno je i na nivou domaćinstva kao i na nivou centralnih, velikih postrojenja. Kompost je uglavnom dobrog kvaliteta zbog razvijene primarne separacije i postoji mogućnost za plasman na tržište. Anaerobna digestija je veoma zastupljena.
<b>Insineracija</b>	Praktično ne postoji, zbog velikih kapitalnih i operativnih troškova, deficita u stručnom kadru, ali i zbog velikog udela vlage u otpadu i nisko kaloričnih komponenti.	Određen broj insineratora postoji, ali uz velike finansijske i operativne poteškoće pri funkcionisanju. Postojeći sistemi za kontrolu zagađenja vazduha su uglavnom prevaziđeni. Slab monitoring emisija na izlazu.	Velika zastupljenost insineracije, uz iskorišćenje energije i sofisticirane tehnologije za redukciju koncentracije zagađujućih materija. Razvijen sistem monitoringa, odnosno kontrole kvaliteta izlaznih emisija u skladu sa definisanim standardima.

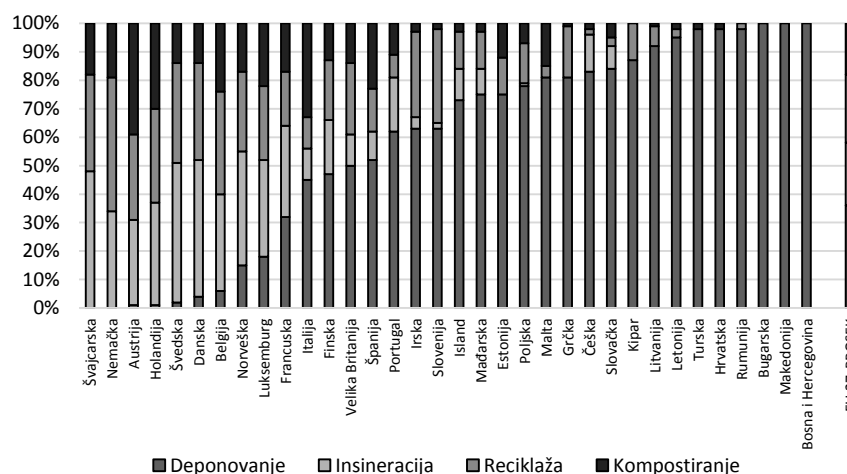
Posledica smanjenja količine biorazgradivog otpada koji se deponuje, sa druge strane uticala je na povećanje zastupljenosti kompostiranja, čija je primena značajno porasla u posmatranom periodu. Povećanje se ogleda u godišnjem rastu od 13,0 %, i sa 28 kg/st/god u 1995. godini, dostiglo je 90 kg/st/god, 2011. godine. Reciklaža i kompostiranje su zajedno 2011. godine, predstavljali 42,0 % svih opcija tretmana otpada, i prvi put počevši od 2008. godine bili su zastupljeniji od deponovanja kao najdominantnije opcije za tretman komunalnog otpada.

Iako u manjoj meri, u odnosu na kompostiranje i reciklažu, insineracija je takođe zabeležila blagi rast u navedenom periodu. Zemlje EU-27, 1995. godine termički su tretirale  $31,1 \times 10^6$  t komunalnog otpada, dok je 2011. godine dostignuta vrednost od  $55,7 \times 10^6$  t, što je više za 70,8%. Ovaj rast odgovara povećanju sa 65 kg/st/god na 111 kg/st/god u posmatranom periodu.

Tabela 2.2 Zastupljenost različitih opcija tretmana komunalnog otpada za zemlje EU-27 u periodu od 1995. do 2011. godine (Eurostat, 2011, 2013d)

Godina	Opcije tretmana komunalnog otpada (kg/st/god)			
	Deponovanje	Reciklaža	Kompostiranje	Insineracija
1995.	296	46	28	65
1996.	290	48	31	66
1997.	293	58	33	70
1998.	285	62	37	71
1999.	287	77	44	76
2000.	288	78	55	79
2001.	278	83	58	81
2002.	269	95	65	85
2003.	254	97	69	84
2004.	239	100	74	89
2005.	221	105	78	95
2006.	219	109	82	99
2007.	213	116	85	100
2008.	201	118	88	102
2009.	191	118	89	108
2010.	188	120	88	110
2011.	180	121	90	111
<b>Promena</b>	<b>-39,2%</b>	<b>+163,0%</b>	<b>+221,4%</b>	<b>+70,8%</b>

I pored značajnih pomaka u kontekstu smanjenja deponovanja i povećanja udela ostalih tretmana otpada na nivou EU, nisu sve zemlje članice podjednako doprinele ovakvoj situaciji, odnosno još uvek postoji velika razlika u odnosu na konkretnu posmatranu zemlju (Grafik 2.2). Nekoliko država postiglo je najveće rezultate kada je reč o smanjenju biorazgradivog ali i ukupnog komunalnog otpada koji se deponuje. Zbog uspešne implementacije zakonskih odredbi i mera, zemlje poput Švajcarske, Nemačke, Holandije, Švedske, Austrije, Danske i Belgije, trenutno deponuju manje od 5% komunalnog otpada.



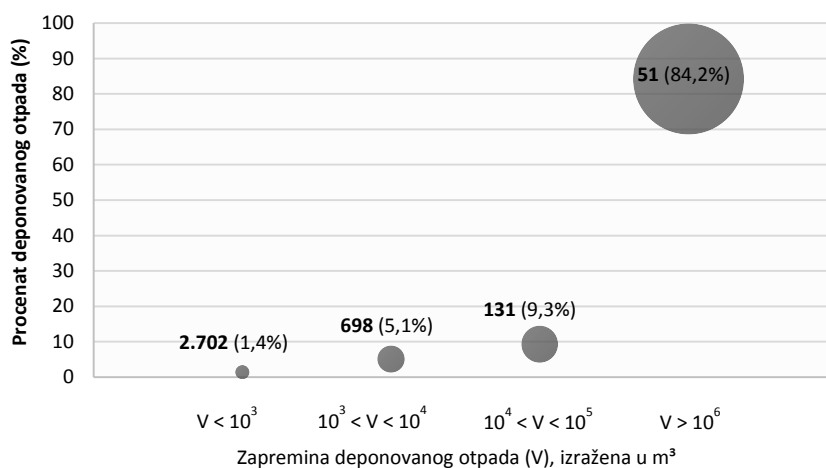
Grafik 2.2 Procentualna zastupljenost različitih opcija tretmana komunalnog otpada za evropske zemlje (Eurostat, 2011, 2013d)

Udeo deponovanja između 14% i 17% imaju Norveška i Luksemburg, dok Francuska, Italija, Finska i Velika Britanija još uvek deponuju trenutno između 32% i 50%. Među tzv. „starim“ članicama EU, preko 50% otpada deponuju još uvek Španija (52%), Irska (62%), Portugal (62%) i Grčka (81%). Najveću stopu reciklaže beleže Nemačka sa 48%, Švedska i Belgija sa 36%, dok Austrija i Holandija sa 40%, odnosno 28% kompostiranog otpada, predstavljaju vodeće zemlje po pitanju korišćenja ove vrste tretmana.



U Srbiji, implementacija naprednih tehnologija još uvek je teško dostižna i deponovanje predstavlja praktično jedini oblik tretmana komunalnog otpada. Sistem upravljanja komunalnim otpadom u Srbiji je i dalje zasnovan na početnim, tj. elementarnim fazama, koje se odnose na sakupljanje i odlaganje otpada na deponije, tj. gradska kontrolisana smetlišta, koja u najvećem broju slučajeva ne ispunjavaju osnovne tehničko-tehnološke standarde za deponije čvrstog otpada.

Pored toga, identifikovano je i 3.582 divljih deponija, koje su posledica činjenice da u Srbiji skoro 30% stanovništva nije obuhvaćeno organizovanim sistemom sakupljanja otpada (Vujić i dr., 2011; Stanisavljević i dr., 2012).



Grafik 2.3 Broj deponija u zavisnosti od njihove zapremine i količine otpada koja se deponuje (Stanisavljević i dr., 2012)

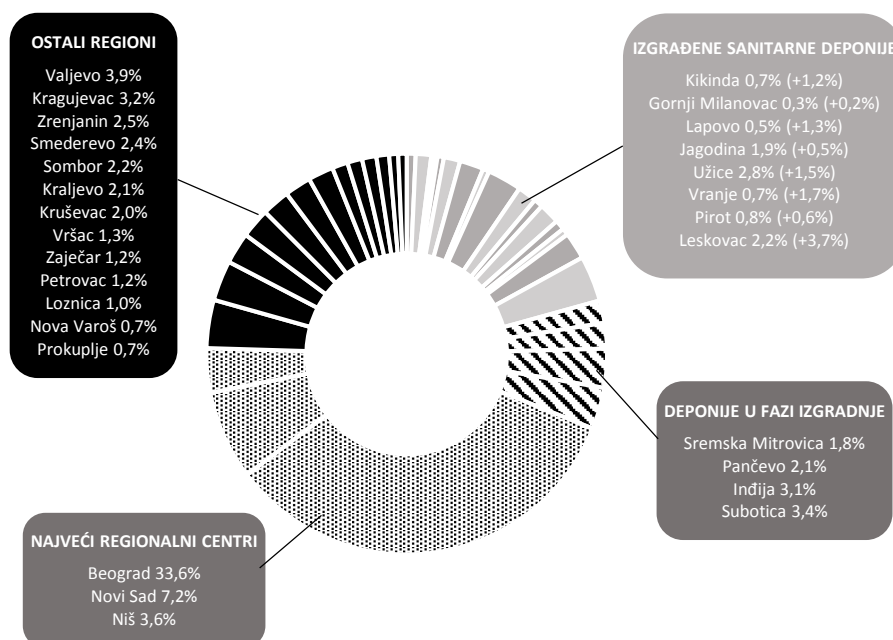
Evidentno je da se pred Srbijom u sklopu približavanja EU, nalazi period fundamentalnih promena u oblasti upravljanja otpadom, pri čemu je trenutni strateški pravac zasnovan na formiranju 28 regiona upravljanja otpadom, sačinjenih od više opština i najmanje 200.000 stanovnika. Ovakav pristup je definisan u sklopu nacionalne *Strategije upravljanja otpadom za period 2010. - 2019. godine - Službeni glasnik RS - 29/2010* i baziran je na ideji da svaki regionalni centar ima izgrađenu sanitarnu deponiju sa pratećom infrastrukturom, kao i eventualna dodatna postrojenja za tretman otpada, u zavisnosti od lokalnih uslova i karakteristika posmatranog regiona.

Kao što je prikazano na Grafiku 2.4, trenutno je izgrađeno 8 sanitarnih deponija (Kikinda, Gornji Milanovac, Lapovo, Jagodina, Užice, Vranje, Pirot i Leskovac), na koje se deponuje oko 10% od ukupno generisane količine komunalnog otpada u Srbiji. Povećanjem broja stanovnika uključenih u organizovan sistem sakupljanja otpada u navedenim regionima, pomenuta vrednost može potencijalno iznosti preko 20%.

U narednom periodu očekuje se puštanje u rad sanitarnih deponija u Sremskoj Mitrovici, Inđiji, Pančevu i Subotici, čime će biti omogućeno da se 20,3% generisanog otpada u Srbiji deponuje na adekvatan način, uz ispunjenje svih sanitarnih i tehničko-tehnoloških uslova. Ipak, najveći doprinos podrazumeva izgradnju sanitarnih deponija sa pratećom infrastrukturom u najvećim regionalnim centrima, pre svega u Beogradu, Novom Sadu i Nišu, koji zajedno generišu skoro 45% ukupnog komunalnog otpada u Srbiji (FTN, 2013).

Osim sanitarnog deponovanja, ostali savremeni tretmani komunalnog otpada u Srbiji praktično još uvek nisu implementirani. Za sada, jedini konkretniji rezultati ostvaruju se u domenu reciklaže komunalnog otpada, pri čemu zvanični podaci pokazuju da se tokom 2010. godine recikliralo 94.884 t komunalnog otpada (RZS, 2012), odnosno svega oko 4% u odnosu na ukupno generisanu količinu.

Na osnovu godišnjih Izveštaja Agencije za zaštitu životne sredine o količini recikliranog ambalažnog otpada (AZŽS, 2013, 2014), kao i uz pretpostavku da ta količina predstavlja 70% ukupno recikliranog komunalnog otpada, procenjuje se da je u Srbiji 2012. godine reciklirano 4,1% komunalnog otpada. Vrednost za 2013. godinu iznosila je 5,2%, što je oko pet puta manje od prosečne stope reciklaže zabeležene u zemljama EU tokom 2011. godine (Eurostat, 2011).



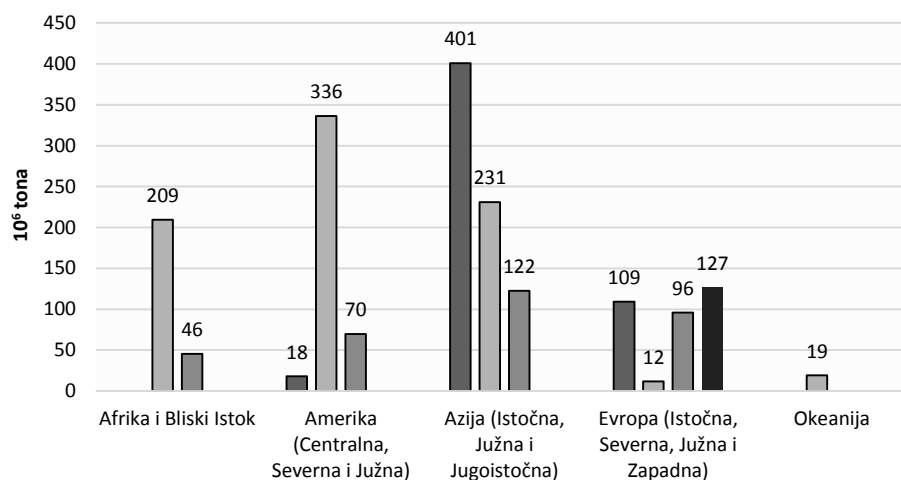
Grafik 2.4 Procenat otpada koji se trenutno odlaže na sanitarne deponije u Srbiji (FTN, 2013)

Kada je reč o termičkim metodama za tretman komunalnog otpada, treba naglasiti da u Srbiji nema izgrađenih klasičnih insineratorskih postrojenja, ali da postoje primeri sagorevanja određenih visokokaloričnih frakcija komunalnog otpada u cementnim pećima. Ipak, radi se o malim količinama otpada, reda 24.000 tona na godišnjem nivou, što predstavlja kapacitet za sagorevanje komunalnog otpada u jednoj od tri postojeće cementare u Srbiji (FTN, 2014).

Biološki tretmani otpada su takođe zastupljeni u određenoj meri, ali se oni uglavnom svode na rad nekoliko preduzeća manjih kapaciteta, koja kao ulaznu sirovinu koriste deo komunalnog otpada organskog porekla. Postoje i primeri pilot projekata biološkog sušenja tzv. „zelenog otpada“ (nastalog uređenjem parkova i javnih površina), od strane javnih preduzeća koja su odgovorna za njegovo sakupljanje. U izvesnoj meri zastupljen je i tretman biorazgradivog otpada na nivou domaćinstava pretežno iz seoskih područja, korišćenjem najelementarnijih tehnika biološke razgradnje otpada. Prema procenama, količina komunalnog otpada koji se kompostira, ne prelazi 2% od ukupno generisane količine.

## 2.2 KOLIČINA I SASTAV KOMUNALNOG OTPADA

Zbog svoje heterogenosti, kompleksnosti sa aspekta upravljanja, uticaja na životnu sredinu, ali i potencijala za iskorišćenje, analizi fizičkih karakteristika komunalnog otpada, pre svega utvrđivanju njegove količine i morfološkog sastava, posvećuje se najveća pažnja. Prema procenama iz 2004. godine, globalno se generisalo oko  $1,8 \times 10^9$  t komunalnog otpada na godišnjem nivou, pri čemu su najveću produkciju imale Istočna Azija sa preko  $400 \times 10^6$  t i Severna Amerika sa  $336 \times 10^6$  t. U Evropi se prema istim podacima generisalo ukupno  $344 \times 10^6$  t komunalnog otpada, od čega najviše, 36,9% u Zapadnoj Evropi (Bahor i dr., 2009).



Grafik 2.5 Količine generisanog komunalnog otpada na globalnom nivou (Bahor i dr., 2009)

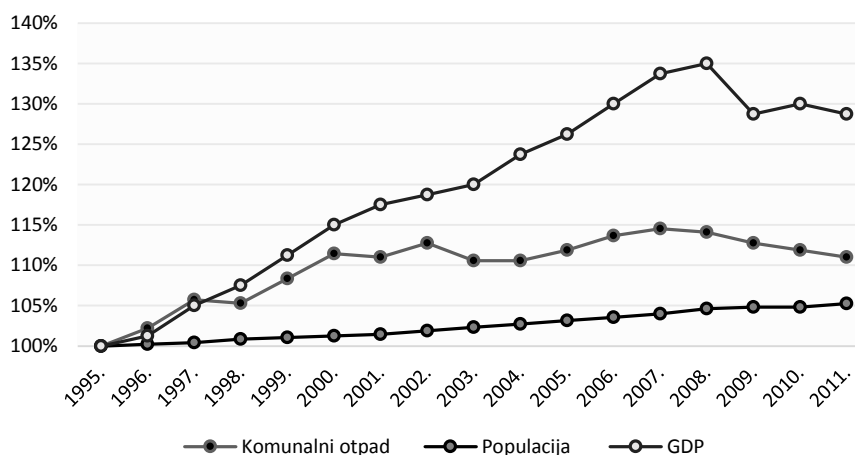
Prosečna vrednost generisane količine komunalnog otpada za 27 zemalja u okviru EU, 1995. godine iznosila je 474 kg/st/god, dok je 2011. godine ta vrednost iznosila 500 kg/st/god, što znači da je u tom periodu došlo do povećanja od 5,5%. Poredeći podatke u odnosu na 1995. godinu, može se primetiti da za 23 od 31 zemlje, postoji povećanje stope generisanja komunalnog otpada, pri čemu je najveći rast zabeležen u slučaju Malte (3,9%), Grčke (3,3%) i Danske (3,0%).

Tabela 2.3 Generisanje otpada, populacija i BDP za zemlje EU-27 u periodu od 1995. do 2011. godine (Eurostat, 2011, 2013a, 2013b)

Godina	Komunalni otpad (10 <sup>6</sup> t)	Komunalni otpad (kg/st/god)	Br. stanovnika (10 <sup>6</sup> )	BDP (10 <sup>12</sup> €)
1995.	227	474	477	8,0
1996.	232	486	478	8,1
1997.	240	500	479	8,4
1998.	239	496	481	8,6
1999.	246	510	482	8,9
2000.	253	523	483	9,2
2001.	252	521	484	9,4
2002.	256	526	486	9,5
2003.	251	514	488	9,6
2004.	251	513	490	9,9
2005.	254	516	492	10,1
2006.	258	522	494	10,4
2007.	260	523	496	10,7
2008.	259	519	499	10,8
2009.	256	512	500	10,3
2010.	254	505	500	10,4
2011.	252	500	502	10,3
<b>Promena</b>	<b>+11,0%</b>	<b>+5,5%</b>	<b>+5,2%</b>	<b>+28,7%</b>

Iz Tabele 2.3 takođe se vidi da je u proseku, ukupna produkcija komunalnog otpada uvećana za 11%, kao i da je rast BDP-a u pomenutom periodu iznosio blizu 29%. Posmatrajući generisane količine komunalnog otpada pojedinačno za svaku zemlju, evidentno je da postoje značajne razlike i da vrednost varira od 316 kg u Češkoj, do 831 kg u Danskoj (Eurostat, 2011). Ako se 1995. godina posmatra kao početna, vidi se da je količina generisanog komunalnog otpada pokazivala umereno, ali konstantno povećanje sve do 2002. godine. U tom periodu, količina produkovanog otpada uvećala se za  $29,1 \times 10^6$  tona ili za 13%, što je odgovara prosečnom godišnjem rastu od 1,7%. U naredne dve godine ovaj rastući trend je na kratko prekinut, što može da se objasni i promenama kada su u pitanju nacionalne metodologije, korišćene za proračun količina otpada i njegove klasifikacije za potrebe izveštavanje ka EEA, tokom 2002. godine. (Eurostat, 2011).

Nakon pomenutog smanjenja, u periodu od 2004. do 2007. godine nastavljen je dalji rast generisanih količina komunalnog otpada koji je iznosio 8,1 miliona tona, a zatim i novo smanjenje zaključno sa 2011. godinom, koje se objašnjava padom BDP-a u tom periodu, ali i sve većoj primeni mera za prevenciju nastajanja otpada. Sve do 2008. godine, beležen je konstantan rast BDP-a od 2,3% godišnje, nakon čega sledi smanjenje koje je rezultovalo da vrednost BDP-a u 2011. godini bude praktično izjednačena sa vrednošću iz 2006. godine.



Grafik 2.6 Trend rasta populacije, BDP-a i stope generisanja otpada za zemlje EU-27 u odnosu na 1995. godinu (Eurostat, 2011, 2013a, 2013b)

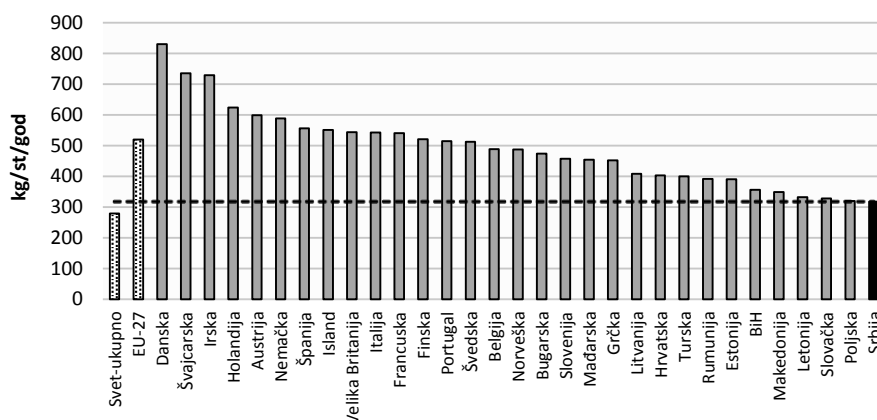
Prema podacima američke Agencije za zaštitu životne sredine (USEPA, 2011), u 2010. godini u SAD je generisano ukupno oko  $250 \times 10^6$  t komunalnog otpada, što je samo za 0,4% manje nego količina koju su 2009. produkovale zemlje članice EU-27. Ipak, kada se generisana količina komunalnog otpada posmatra po stanovniku godišnje, uočava se da je produkcija komunalnog otpada u SAD veća za čak 45% u odnosu na prosek zemalja EU. Prosečan stanovnik SAD je u 2010. godini generisao oko 743 kg komunalnog otpada, za razliku od 512 kg/st/god., koliko je iznosio prosek u evropskim državama 2009. godine. U SAD je davne 1980. godine generisano u proseku 496 kg/st/god, što je vrednost koju su stanovnici EU prvi put dostigli 1998. godine.

Veliki broj istraživanja pokazuje da se količine generisanog komunalnog otpada na nacionalnom nivou mogu grupisati na osnovu ekonomske razvijenosti određene zemlje. U tom kontekstu, slabo razvijene zemlje generišu u proseku od 0,6 kg do 1,0 kg komunalnog otpada po stanovniku dnevno, srednje razvijene zemlje od 0,8 kg do 1,5 kg, dok stanovnici najrazvijenijih država produkuju između 1,1 kg do čak 4,5 kg dnevno (Brunner i Fellner, 2007; WB, 2012; Troschinetz i Mihelčić, 2009). Ovakvi pokazatelji odgovaraju i podacima o količini generisanog komunalnog otpada u Republici Srbiji, uzimajući u obzir da se Srbija u zavisnosti od literaturnog izvora kategoríše kao slabo ili srednje razvijena zemlja i da produkuje 0,87 kg komunalnog otpada po stanovniku dnevno (Vujić i dr., 2010).

Na osnovu metodologije opisane u radu *Vujić i dr. (2010)*, proizašao je *Pravilnik o metodologiji za prikupljanje podataka o sastavu i količinama komunalnog otpada na teritoriji jedinice lokalne samouprave - Službeni glasnik RS - 61/2010*. Na osnovu Pravilnika, jedinica lokalne samouprave, preko svojih javnih komunalnih preduzeća i drugih pravnih lica koja obavljaju komunalnu delatnost, dužna je da obezbedi merenje količine i sastava komunalnog otpada na svojoj teritoriji i dobijene podatke prosledi Republičkoj Agenciji za zaštitu životne sredine. Međutim i pored usvojenog Pravilnika i razvijene metodologije, najveći broj opština u praksi nažalost ne vrši merenja količine i analizu morfološkog sastava komunalnog otpada na svojoj teritoriji.

Najveći problem, kada je reč o podacima u vezi sa količinom otpada, predstavlja činjenica da mali broj opština ima kolske vage u sklopu deponija, tako da za sada jedini pouzdani podaci o generisanim količinama komunalnog otpada postoje na osnovu merenja izvršenih 2008. godine, kada su rezultati za 10 reprezentativnih opština projektovani na celu državu. Na osnovu tih podataka, u Srbiji je 2008. godine produkovano 2.374.375 t komunalnog otpada, odnosno 318 kg po stanovniku na godišnjem nivou (*FTN, 2009; Vujić i dr., 2010*).

Na Grafiku 2.7 može se videti količina generisanog otpada u Srbiji u poređenju sa određenim brojem Evropskih zemalja i svetskim prosekom iz 2008. godine. Uočava se da su stanovnici Srbije generisali nešto više komunalnog otpada u odnosu na svetski prosek, koji je iznosio 278 kg po stanovniku godišnje, ali istovremeno znatno manje nego većina evropskih zemalja.



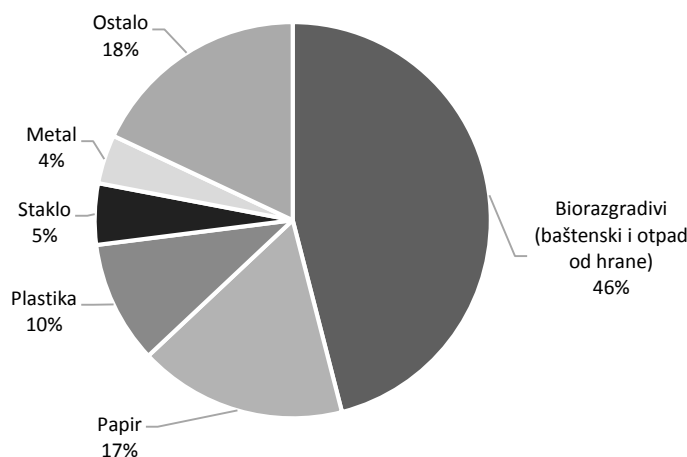
Grafik 2.7 Poređenje količine generisanog komunalnog otpada u Srbiji i drugim zemljama (*Vujić i dr., 2015; Eurostat, 2013c*)

Sastav komunalnog otpada je u velikoj meri određen ekonomskim pokazateljima u određenoj zemlji, odnosno kupovnom moći i potrošnjom njenih građana. Na osnovu rezultata o sastavu otpada za 105 zemalja, na Grafiku 2.8 prikazan je procenjen sastav komunalnog otpada na globalnom nivou za 2009. godinu (*WB, 2012*).

Biorazgradiva komponenta predstavlja gotovo polovinu u ukupnom sastavu, nakon čega slede papir i karton, plastika, staklo i metal. Sve preostale kategorije koje se mogu naći u komunalnom otpadu, ukupno čine manje od 20%. Kako društvo postaje bogatije i urbanizovanije, tako se povećava i potrošnja neorganskih komponenti koje postaju otpad, poput plastike, stakla, metala i slično, dok se organska frakcija u otpadu smanjuje.

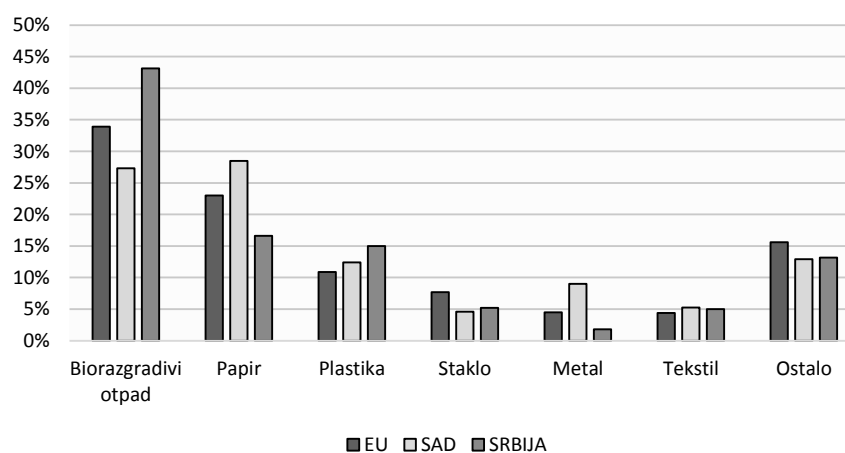
Po pravilu, slabo i srednje razvijene zemlje imaju veći udeo biorazgradivih komponenti u komunalnom otpadu, koji se generalno kreće od 40% pa sve do 85%. Kategorije otpada poput papira, kartona, plastike, stakla i metala više su zastupljene u visoko razvijenim zemljama.

Prema podacima WB (2012), u odnosu na ukupan sastav komunalnog otpada, maseni udeo biorazgradivih frakcija za grupu slabo razvijenih zemalja, u proseku je iznosio 64%, uz udeo papira od svega 5%. Sa druge strane, kod veoma razvijenih zemalja, vrednost za udeo organskih kategorija otpada je u proseku iznosila 28%, odnosno 31% kada je u pitanju papir. Ipak, treba imati u vidu da pored ekonomskih faktora koji imaju najveći uticaj, na sastav otpada u velikoj meri utiču i geografska lokacija, klimatski uslovi, socijalne i kulturološke karakteristike, vrsta stanovanja, sezonske varijacije i slično (Beigl i dr., 2004; Batinić i dr., 2011; Nilanthy i dr., 2007; Žičkiene i dr., 2005).



Grafik 2.8 Morfološki sastav komunalnog otpada na globalnom nivou (WB, 2012)

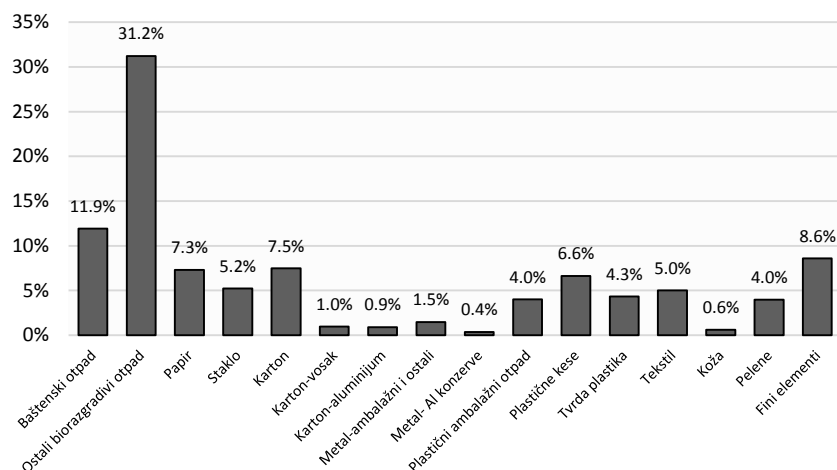
Prosečan sastav komunalnog otpada u Republici Srbiji, slično kao i za generisane količine, uglavnom se zasniva na rezultatima nekoliko studija realizovanih u reprezentativnim opštinama, s obzirom na to da veoma mali broj opština sprovodi redovnu analizu morfološkog sastava otpada na osnovu propisane metodologije. Poređenjem sastava otpada za EU-15 zemlje, SAD i Srbiju (Grafik 2.9), uočava se da je biorazgradiva komponenta otpada najzastupljenija u slučaju Srbije.



Grafik 2.9 Poređenje prosečnog udela osnovnih kategorija komunalnog otpada za zemlje EU-15, SAD i Srbiju (EC/JRC, 2003; USEPA, 2011; Vujić i dr. 2011)

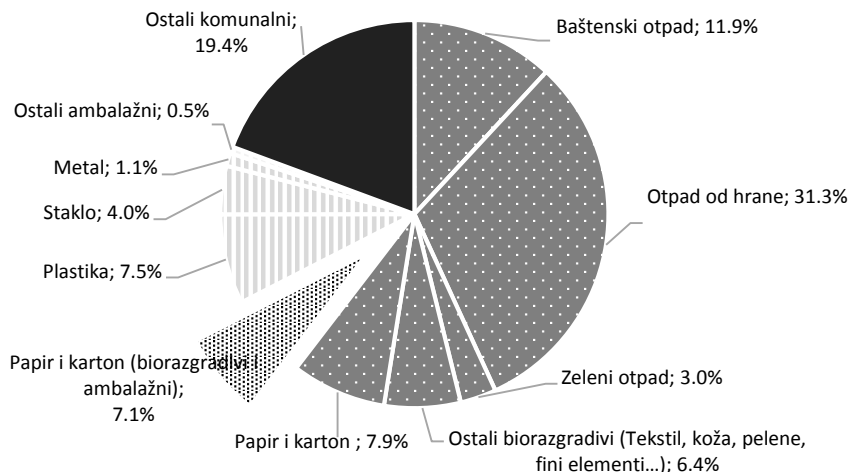
Papira i metala ima najviše u SAD, stakla u EU-15, dok je pomalo neočekivana činjenica da plastike u komunalnom otpadu ima najviše u Srbiji. Ovo je verovatno posledica toga što se u Srbiji još uvek u velikim količinama koriste plastične kese (6,6%), koje čine oko 44% svih plastičnih komponenti u otpadu.

Detaljan sastav otpada, koji u skladu sa propisanom metodologijom podrazumeva 16 različitih kategorija otpada, prikazan je na Grafiku 2.10. Može se zaključiti da u sastavu komunalnog otpada u Srbiji, preko 43% predstavlja biorazgradiva frakcija, uključujući baštenski otpad sa skoro 12% i otpad od hrane sa 31,2%. Slede papir i karton, koji čine 16,6%, dok je plastika zastupljena sa nešto manje od 15%. Frakcije sa najmanjim udelom su staklo (5,2%), tekstil (5,0%) i metal (1,8%), dok preostale kategorije kao što su koža, pelene, fini elementi itd., čine zajedno oko 13,2%.



Grafik 2.10 Prosečan morfološki sastav komunalnog otpada u Republici Srbiji (FTN, 2009)

Sve navedene komponente komunalnog otpada moguće je grupisati na biorazgradive, ambalažne i ostale, što je od interesa za samu disertaciju. Biodegradabilne komponente su dominantne sa skoro 68%, dok ambalažni otpad čini nešto preko 20% komunalnog otpada u Srbiji. Treba napomenuti da jedan deo kategorija otpada spada istovremeno i u grupu biorazgradivih ali i ambalažnih komponenti, što se pre svega odnosi na frakcije poput papira i kartona (Grafik 2.11).

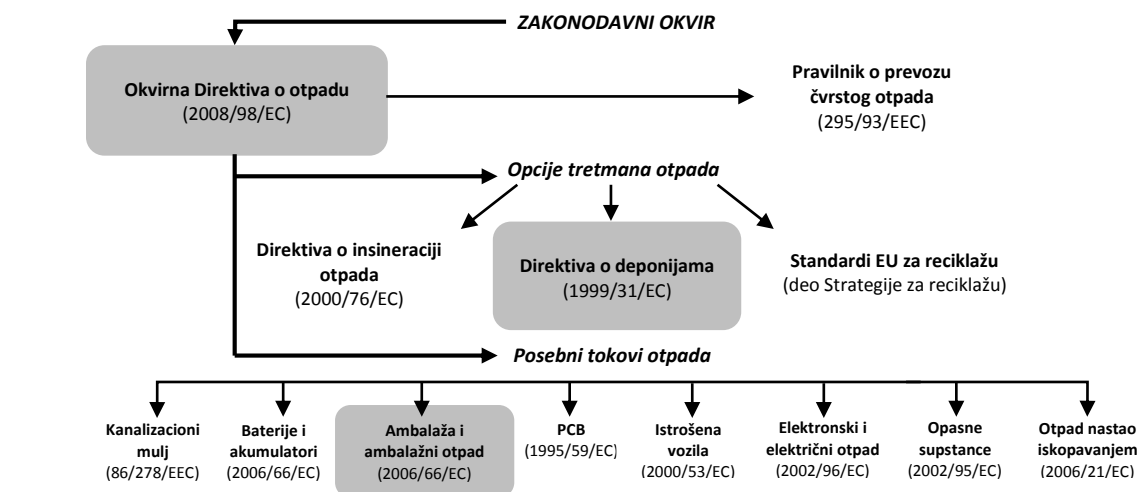


Grafik 2.11 Zastupljenost ambalažnih i biorazgradivih frakcija u okviru komunalnog otpada u Republici Srbiji (FTN, 2009)

## 2.3 UPRAVLJANJE AMBALAŽNIM I BIORAZGRADIVIM KOMUNALNIM OTPADOM U SKLADU SA ZAKONSKOM REGULATIVOM EU I SRBIJE

Razvoj zakonodavnih mera u oblasti zaštite životne sredine i upravljanja otpadom, predstavlja dinamičan proces koji traje više od 40 godina (WB, 2011). Šesti akcioni program za zaštitu životne sredine (*Decision 1600/2002/EC*) postavio je osnovne principe i ciljeve politike zaštite životne sredine za zemlje EU do 2002. godine, uz definisanje mera koje bi trebalo preduzeti u tom pravcu. Glavni cilj šestog akcionog programa bilo je obezbeđenje ekonomskog razvoja uz ograničenu potrošnju prirodnih resursa, i stvaranje održivog razvoja uz smanjenje količine generisanog otpada. U okviru ovog programa, povećanje stope generisanja otpada označeno je kao glavni problem/izazov. Konkretni ciljevi EAP-a u vezi sa sektorom upravljanja otpadom, odnosili su se između ostalog na minimizaciju opasnih svojstava i smanjenje rizika po zdravlje ljudi i životnu sredinu svake vrste generisanog otpada, smanjenje zapremine otpada kroz inicijative za prevenciju otpada, kao i podsticanje ponovnog iskorišćenje otpada koji se generiše, uz smanjenje količine otpada koja se deponuje.

Krajem 2013. godine, usvojen je i Sedmi akcioni program za zaštitu životne sredine (*Decision 1386/2013/EC*) koji u domenu upravljanja otpadom definiše ciljeve do kraja 2020. godine, uključujući: bezbedno upravljanje otpadom kao resursom, smanjenje prosečne stope generisanja otpada po stanovniku, ograničeno iskorišćenje energije samo na materijale koji nisu reciklabilni, izbegavanje deponovanja reciklabilnih i biorazgradivih komponenti u otpadu, itd.



Grafik 2.12 Pregled zakonske regulative EU u oblasti upravljanja otpadom (WB, 2011)

Zakonska regulativa koja bliže definiše ciljeve EU koji se odnose na sektor upravljanja otpadom, sadržana je u sklopu Direktiva EU iz ove oblasti (Grafik 2.12). Najznačajnija Direktiva je Okvirna Direktiva o otpadu (*Directive on waste and repealing certain Directives - 2008/98/EC*), koja definiše osnovne principe, pravila i uslove koje moraju ispunjavati sve države članice u vezi sa upravljanjem čvrstim otpadom.

Dokumenti poput Direktive o insineraciji otpada (*Directive on the incineration of waste - 2000/76/EC*) i Direktive o deponijama (*Directive on the landfill of waste - 1999/31/EC*), bliže uređuju uslove koji se odnose na implementaciju konkretnih opcija za tretman otpada, pri čemu su definisani ciljevi koje zemlje članice u tom pogledu moraju da ispune. Pored pomenutih Direktiva, postoji još veliki broj Direktiva koje se odnose na specifične tokove otpada, među kojima je jedna od najvažnijih i Direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu (*Directive on packaging and packaging waste - 1994/62/EC, 2004/12/EC*).



Najveći akcenat u sklopu Okvirne Direktive stavljen je na prevenciju nastajanja otpada, kao i na ponovno iskorišćenje i reciklažu otpada. Konkretni ciljevi koji proizilaze iz ove Direktive, podrazumevaju da se najkasnije do kraja 2015. godine implementira primarna separacija određenih kategorija otpada, uključujući papir, metal, plastiku i staklo, gde god je to tehnički, ekonomski i ekološki opravdano. Zemlje članice su u obavezi da preduzmu sve mere u cilju podsticanja primarne separacije biootpada, kao osnovnog preduslova za uvođenje procesa kompostiranja i anaerobne digestije uz iskorišćenje produkata koji nastaju u okviru ovih tretmana. Direktiva takođe definiše dostizanje nivoa povećanja ponovne upotrebe i reciklaže otpadnih materijala kao što su papir, metal, plastika i staklo, na najmanje 50%. Pored opšteg cilja, Okvirna Direktiva o otpadu ne uključuje posebne ciljeve za pojedinačne materijale u sklopu komunalnog otpada, koji su sadržani u drugim Direktivama.

U domenu domaćeg zakonodavstva, dva ključna dokumenta koja definišu sistem upravljanja otpadom na nacionalnom nivou su *Strategija upravljanja otpadom za period 2010. - 2019. godine - Službeni glasnik RS - 29/2010*, i *Zakon o upravljanju otpadom - Službeni glasnik RS - 36/2009 i 88/2010*. Strategija upravljanja otpadom za period 2010. - 2019. godine, predstavlja bazni dokument sa ciljem da se obezbede uslovi za racionalno i održivo upravljanje otpadom na nivou Republike Srbije. Implementacija strategije uključuje sve nivoe vlasti - od lokalne samouprave do republičkog nivoa. Kao najvažniji ciljevi definisani strategijom mogu se izdvojiti:

- Usklađivanje sa zakonodavstvom EU iz oblasti upravljanja otpadom
- Obezbeđivanje organizovanog sistema sakupljanja otpada za najmanje 90% stanovnika do kraja 2020. godine
- Izgradnja regionalnih centara sa sanitarnim deponijama za najmanje 90% stanovnika do kraja 2020. godine
- Smanjenje količine biorazgradivog otpada koji se deponuje u narednih 15 godina, u skladu sa ciljevima Direktive EU o deponijama
- Dostizanje ciljeva definisanih u okviru EU Direktiva u vezi sa reciklažom i ponovnom upotrebom otpada do kraja 2025. godine.

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

Zakon o upravljanju otpadom, koji je zvanično stupio na snagu 2009. godine, definiše i uređuje sledeće segmente upravljanja otpadom u Republici Srbiji: vrste i klasifikaciju otpada, planiranje upravljanja otpadom, subjekte, odgovornosti i obaveze u upravljanju otpadom, upravljanje posebnim tokovima otpadom, uslove i postupak izdavanja dozvola, prekogranično kretanje otpada, izveštavanje, finansiranje upravljanja otpadom, nadzor i druga pitanja od značaja za upravljanje otpadom. Prema ovom Zakonu, upravljanje otpadom predstavlja delatnost od opšteg interesa, a podrazumeva sprovođenje propisanih mera za postupaње sa otpadom u okviru sakupljanja, transporta, skladištenja, tretmana i odlaganja otpada, uključujući nadzor nad tim aktivnostima i brigu o postrojenjima za upravljanje otpadom posle njihovog zatvaranja.

Komunalni otpad treba da se prikuplja, tretira i odlaže u skladu sa Zakonom o upravljanju otpadom. Mešanje čvrstog komunalnog otpada sa opasnim otpadom je zabranjeno. Zakon obavezuje sve opštine da izrade lokalne planove upravljanja otpadom, kao i da definišu i uspostave Regione za upravljanje otpadom. Zakon o upravljanju otpadom je dopunjen nizom Uredbi koje definišu i uređuju segmente upravljanja otpadom kao što su posebni tokovi otpada, prekogranično kretanje otpada, deponovanje i slično. Pored toga, postoji i preko 20 Pravilnika koji detaljno opisuju sve procedure u vezi sa praktičnom primenom Zakona.

### 2.3.1 UPRAVLJANJE AMBALAŽNIM OTPADOM

Upravljanje ambalažom i ambalažnim otpadom na nivou zemalja EU, uređeno je Direktivom EU o ambalaži i ambalažnom otpadu, koja ima za cilj da harmonizuje nacionalne mere za upravljanje otpadom od ambalaže, da minimizira uticaje otpada od ambalaže na životnu sredinu i da izbegne trgovinske barijere u EU koje mogu da spreče konkurenciju. Direktiva tretira svu ambalažu koja je na tržištu Evropske Unije, kao i sav otpad od ambalaže, bez obzira na poreklo nastajanja: industrija, komercijalni sektor, radnje, usluge, domaćinstva.

Kako bi ispoštovale odredbe Direktive, zemlje članice su u obavezi da sprovedu neophodne mere za dostizanje ciljeva reciklaže ambalažnog otpada na nacionalnom nivou. U januaru 2004. godine, usvojeni su novi ciljevi za ponovno iskorišćenje i reciklažu ambalažnog otpada, koji su podrazumevali da se ne kasnije od 2008. godine, između 55% kao minimum i 80% kao maksimum ambalažnog otpada mora reciklirati, kao i da se najmanje 60% mora ponovo iskoristiti ili termički tretirati uz iskorišćenje energije. Takođe, ovom Direktivom propisuju se i ciljevi za reciklažu pojedinačnih ambalažnih materijala i ambalažnog otpada, uključujući:

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

Države koje su kasnije postale članice EU su u sklopu pregovora o pridruživanju, svoje obaveze u vezi sa ispunjenjem navedenih ciljeva prolongirale za nekoliko godina kasnije u odnosu na 2008. godinu, koja je definisana Direktivom. U Srbiji, ova oblast je uređena *Zakonom o ambalaži i ambalažnom otpadu - Službeni glasnik RS - 36/2009*. Ovaj Zakon uređuje: uslove zaštite životne sredine koje ambalaža mora da ispunjava prilikom stavljanja u promet, upravljanje ambalažom i ambalažnim otpadom, izveštavanje o ambalaži i ambalažnom otpadu, ekonomske instrumente, kao i druga pitanja od značaja za upravljanje ambalažom i ambalažnim otpadom.

Tabela 2.4 Opšti i specifični ciljevi za reciklažu ambalažnog otpada  
(Sl. glasnik RS - 88/2009)

Opšti ciljevi						
Godina		2010.	2011.	2012.	2013.	2014.
Ponovno iskorišćenje	[%]	5,0	10,0	16,0	23,0	30,0
Reciklaža	[%]	4,0	8,0	13,0	19,0	25,0
Specifični ciljevi za reciklažu						
Godina		2010.	2011.	2012.	2013.	2014.
Papir/Karton	[%]	0,0	0,0	14,0	23,0	28,0
Plastika	[%]	0,0	0,0	7,5	9,0	10,5
Staklo	[%]	0,0	0,0	7,0	10,0	15,0
Metal	[%]	0,0	0,0	9,5	13,5	18,5
Drvo	[%]	0,0	0,0	2,0	4,5	7,0

Nacionalni ciljevi koji se odnose na ponovno iskorišćenje i reciklažu ambalažnog otpada definisani su u okviru *Uredbe o utvrđivanju plana smanjenja ambalažnog otpada za period od 2010. do 2014. godine* i prikazani su u Tabeli 2.4. Cilj koji se odnosi na reciklažu ambalažnog otpada, postavljen za 2014. godinu identičan je sa ciljem koji su zemlje EU morale da ispune do kraja 2001. godine. Zbog potpune usklađenosti sa *EU Direktivom 94/62/EC*, sledeći cilj, odnosno godina do kada se mora obezbediti dostizanje stope reciklaže od 55% i ponovnog iskorišćenja od 60%, treba biti definisana.

Na osnovu raspoloživih podataka iz Izveštaja o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom za 2013. godinu, izdatog od strane Agencije za zaštitu životne sredine (*AZŽS, 2014*), svi postavljeni nacionalni ciljevi bili su ispunjeni, uz dostignut nivo ponovog iskorišćenja ambalažnog otpada od 27,7%.

Srbija se usvajanjem seta Zakona o ambalažnom otpadu pridružila porodici Evropskih zemalja koje imaju uspostavljen sistem „zelene tačke“ (engl. *Green dot system*), baziran na zajedničkoj odgovornosti svih učesnika i principu „zagađivač plaća“ tokom celog životnog ciklusa proizvoda. Ovakav sistem podrazumeva da je proizvođač proizvoda, odgovoran za ambalažni otpad koji nastaje nakon korišćenja plasirane ambalaže na tržište. Proizvođač svoju odgovornost, odnosno obaveze može izvršavati samostalno ili ih uz plaćanje nadoknade preneti ovlašćenom operateru. Prema podacima Agencije za zaštitu životne sredine (AZŽS, 2014), u 2013. godini poslovalo je pet registrovanih operatera za upravljanje ambalažnim otpadom. Uloga operatera je da posluju kao posrednik između industrije, lokalne samouprave i građana, sa ciljem da se obezbedi ponovna upotreba i reciklaža ambalažnog otpada na ekonomski najefikasniji način. Ovakav sistem upravljanja ambalažnim otpadom uspostavljen je i u okviru osam zemalja članica EU (EC/Argus, 2001).

U okviru Zakona o ambalaži i ambalažnom otpadu, ambalaža se definiše kao: „proizvod napravljen od materijala različitih svojstava, koji služi za zaštitu robe, smeštaj, čuvanje, isporuku, a uključuje i predmete koji se koriste kao pomoćna sredstva za pakovanje, umotavanje, vezivanje, nepropusno zatvaranje, pripremu za otpremu i označavanje robe“.

Predmeti kao što su staklene boce, plastični kontejneri, aluminijumske konzerve, omotači za hranu, drvene palete i burad se klasifikuju kao ambalaža koja se može podeliti na:

- Primarnu ambalažu - najmanja ambalažna jedinica u kojoj se proizvod prodaje konačnom kupcu
- Sekundarnu ambalažu - ambalažna jedinica koja sadrži više proizvoda u primarnoj ambalaži sa namenom da na prodajnom mestu omogući grupisanje određenog broja jedinica za prodaju, bez obzira da li se prodaje krajnjem korisniku ili se koristi za snabdevanje na prodajnim mestima
- Tercijalnu (transportnu) ambalažu - namenjenu za bezbedan transport i rukovanje proizvoda u primarnoj ili sekundarnoj ambalaži.

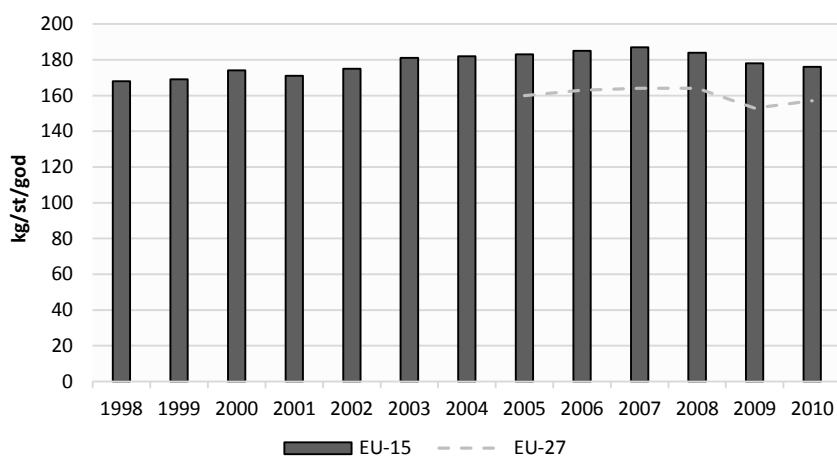
Zakon definiše i ambalažni otpad kao: „svaku ambalažu ili ambalažni materijal koji ne može da se iskoristi u prvobitne svrhe, izuzev ostataka nastalih u procesu proizvodnje“. Ambalažni otpad može nastati u supermarketima, maloprodajnim objektima, domaćinstvima i slično.

Pregledni podaci o ambalažnom otpadu na nivou evropskih zemalja postoje od 1998. godine, kao posledica izveštavanja EU-15 zemalja ka Evropskoj Komisiji. Države koje su se pridružile EU 2004. godine, imale su obavezu da dostave podatke o ambalažnom otpadu, počevši od te godine, iako su Češka i Mađarska prve izveštaje poslale 2002. godine, odnosno Slovačka koja zvanične podatke šalje od 2003. godine. Podaci o količini i karakteristikama ambalažnog otpada za svih 27 zemalja EU prvi put su kompletirani 2005. godine, kada su to učinile Bugarska i Rumunija (Europen, 2013).

Kada je reč o izveštavanju ka Evropskoj Komisiji, treba obratiti pažnju na terminologiju koja se odnosi na ambalažu i ambalažni otpad. Zemlje članice su u obavezi da izveštavaju o količini ambalažnog otpada, iako se pod ovim terminom u stvari podrazumevaju podaci o količini ambalaže stavljene na tržište. S obzirom na to da zemlje članice koriste različit pristup, odnosno metodologiju za potrebe proračuna količine ambalaže stavljene na tržište, određeni podaci mogu biti neadekvatni za poređenje.

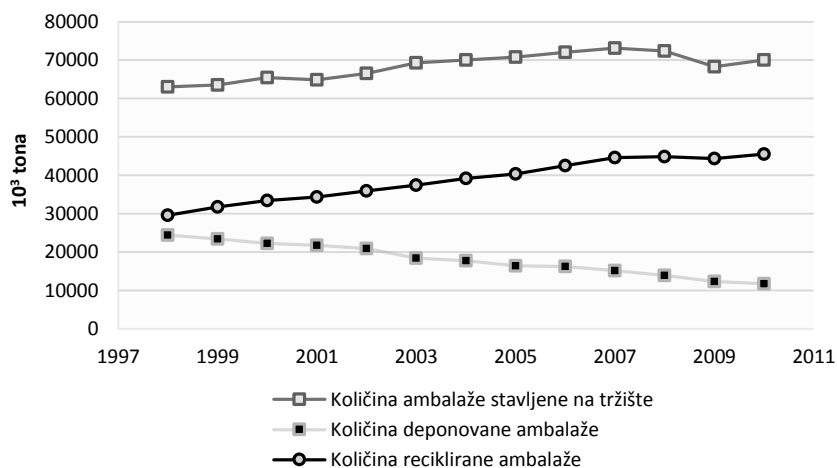
U Srbiji je na osnovu zakonskih odredbi, prikupljanje podataka o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom počelo 2010. godine. Podaci o količini ambalaže stavljene na tržište kao i podaci o količini recikliranog i ponovo iskorišćenog ambalažnog otpada, dostavljaju se Agenciji za zaštitu životne sredine na osnovu *Pravilnika o obrascima izveštaja o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom - Službeni glasnik RS - 21/10 i 10/13*. Između 1998. i 2010. godine, količina ambalaže stavljene na tržište EU-15 zemalja porasla je za 11,1%, što odgovara prosečnom godišnjem uvećanju od 0,91%. Potrošnja ambalaže po stanovniku porasla je za 4,8% u posmatranom periodu.

Količina ambalaže stavljene na tržište EU se konstantno povećavala sve do kraja 2007. godine. Kao posledica globalne ekonomske krize, nastale 2008. godine, količina ambalaže 2009. godine je bila manja u odnosu na 2007. godinu (Europen, 2013).



Grafik 2.13 Količina ambalaže stavljene na tržište EU u periodu od 1998. do 2010. godine (Europen, 2013)

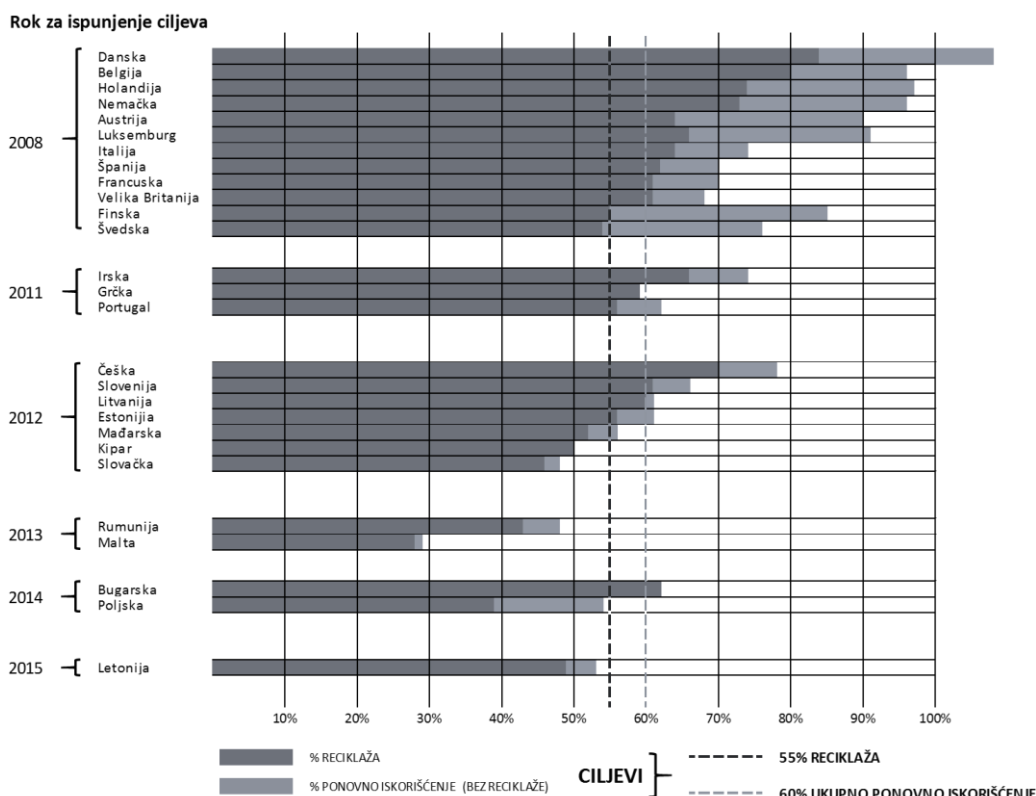
Implementacijom EU Direktiva, količina ambalažnog otpada koja se deponuje u evropskim zemljama značajno se smanjila, dok se sa druge strane nastavlja trend povećanja stope reciklaže ove vrste otpada. Prema podacima iz 2010. godine, oko 65% ambalaže stavljene na tržište EU-15 zemalja se recikliralo, dok je procenat reciklaže za novije države članice bio nešto manji, i iznosio je 47%. Ovo u znatnoj meri prevazilazi ciljeve postavljene u okviru Direktive EU o ambalaži i ambalažnom otpadu. Posmatrajući period između 1998. i 2010. godine i količinu ambalaže stavljene na tržište, kao i količinu koja se reciklirala (Grafik 2.14), može se uočiti da je količina ambalaže stavljene na tržište porasla za 11,1%, ali je istovremeno i udeo reciklaže ambalažnog otpada uvećan za 53,5% u istom periodu.



Grafik 2.14 Poređenje u količini generisanog, recikliranog i deponovanog ambalažnog otpada za zemlje EU-15 (Europen, 2013)

Količina deponovanog ambalažnog otpada praktično je prepolovljena u ovom periodu, odnosno sa oko 30 miliona tona u 1998. godini, na oko 15 miliona tona tokom 2010. godine. Izraženo u masi po stanovniku, količina ambalažnog otpada koja se deponovala, smanjena je sa 65kg na 29 kg po stanovniku godišnje. Najveći doprinos smanjenju deponovane količine ambalažnog otpada predstavlja činjenica da su zemlje EU u proseku ispunile ciljeve definisane u okviru EU Direktive o ambalaži i ambalažnom otpadu, a koji se odnose na dostizanje stope reciklaže ove vrste otpada od minimum 55%.

Na Grafiku 2.15, prikazano je pojedinačno u kojoj meri su zemlje članice uspele da ispune zadate ciljeve, uz napomenu da se prikazani podaci odnose se na presek stanja iz 2010. godine. Osim u slučaju Švedske koja je na samoj granici, evidentno je da su praktično sve ostale zemlje koje su imale obavezu da cilj definisan Direktivom dostignu 2008. godine, uspele u tome, pri čemu su najveće rezultate (čak preko 70% reciklirane količine ambalažnog otpada) postigle Danska, Belgija, Holandija i Nemačka. Zemlje koje su obavezu morale ispuniti do kraja 2011. godine, takođe su ostvarile zacrtane ciljeve već u 2010. godini, dok se za preostale države koje su u tom momentu imale na raspolaganju još nekoliko godina za ispunjenje cilja, moglo zaključiti da su na dobrom putu da dostignu željenu stopu reciklaže ambalažnog otpada.



Grafik 2.15 Ispunjenost ciljeva definisanih Direktivom EU za ambalažu i ambalažni otpad za zemlje EU u 2010. godini (Europen, 2013)

Direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu propisuje i da se najmanje 60% ambalažnog otpada mora ponovo iskoristiti ili termički tretirati uz iskorišćenje energije. Ovo znači da se zajedno sa stopom reciklaže u okviru dostizanja ovog cilja, ubraja i svaka vrsta termičke obrade ambalažnog otpada, ali pod uslovom da se toplotna energija nastala termičkim tretmanom direktno iskoristi ili pretvori u električnu energiju.

Na Grafiku 2.15 takođe se može videti u kojoj meri je ambalažni otpad ponovno iskorišćen (ne računajući reciklažu), uz konstataciju da se ponovno iskorišćenje odnosilo uglavnom na termički tretman ambalažnog otpada. Države koje osim reciklaže ambalažnog otpada, imaju zastupljene i druge oblike ponovnog iskorišćenja ove vrste otpada od preko 20% su: Finska (30%), Austrija (26%), Luksemburg (25%), Danska (24%), Nemačka (23%), Holandija (23%) i Švedska (22%).

Ovakvi podaci su i očekivani, s obzirom na to da se u pomenutim zemljama sistem upravljanja otpadom u velikoj meri bazira na primeni insineracije, odnosno termičke obrade otpada uz iskorišćenje energije. Procentualna zastupljenost svih vrsta ponovnog iskorišćenja ambalažnog otpada, izuzimajući reciklažu, je u 2010. godini u proseku za zemlje EU iznosila oko 13%, dok je zajedno sa reciklažom, ukupno ponovno iskorišćenje ambalažnog otpada bilo skoro 80%.

Iako u okviru EU Direktive o ambalaži i ambalažnom otpadu, ne postoje konkretni ciljevi koji se odnose na prevenciju nastajanja ambalažnog otpada, treba napomenuti da određene zemlje imaju definisane ciljeve u sklopu svojih nacionalnih regulativa. Tako je na primer Holandija imala cilj da količina generisane ambalaže u 2001. godini, mora biti najmanje za 10% manja u odnosu na količinu iz 1986. godine. U Finskoj, u odnosu na 1995. godinu, na tržište je trebalo biti stavljeno minimum 6% manje ambalaže, slično kao u Španiji gde je postavljeni cilj bio da se količina ambalaže smanji za 10% do 2001. godine, u odnosu na količinu iz 1997. godine (*EC/Argus, 2001*).

Prema podacima iz Izveštaja o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom u 2013. godini (*AZŽS, 2014*), ukupna količina ambalaže stavljene na tržište Srbije, iznosila je nešto više od 320.000 t, od čega je oko 27.7% ponovno iskorišćeno. Na osnovu ovog podatka, zaključak je da je opšti cilj za 2013. godinu definisan Uredbom bio u potpunosti ispunjen (Tabela 2.4). Ipak, ukoliko se ovaj rezultat poredi sa ostalim evropskim zemljama, jasno je da je Srbija još uvek daleko od evropskog proseka i ciljeva koje propisuje Direktiva EU.

Posmatrajući količinu pojedinačnih ambalažnih materijala stavljenih na tržište EU u periodu od 1998. do 2010. godine, konkretno kada je reč o staklenoj ambalaži, uočava se trend smanjenja od 0,6% godišnje. Ukoliko se posmatra primena stakla kao materijala, podaci pokazuju da se u zemljama EU preko 60% stakla koristi upravo za potrebe pakovanja proizvoda. Međutim, smanjenje količine staklene ambalaže, posledica je činjenice da se kod pakovanja sve većeg broja proizvoda, staklo kao ambalaži materijal zamenilo drugim, lakšim ambalažnim materijalima (*ETC/SCP, 2009*). U zavisnosti od posmatrane zemlje, postoje primeri drastičnog smanjenja količine staklene ambalaže u pomenutom periodu, poput Danske (- 59%) i Nemačke (- 27%), ali i primeri zemalja gde je količina ove vrste ambalaže stavljene na tržište značajno porasla, kao što su Luksemburg (57%), Portugal (38%), Irska (28%) i Velika Britanija (23%). U proseku, količina staklene ambalaže stavljene na tržište EU je 2010. godine iznosila  $15.980 \times 10^3$  t, odnosno 32 kg po stanovniku na godišnjem nivou, dok se za Srbiju ta vrednost kreće oko 8,6 kg (*Europen, 2013; AZŽS, 2014*).

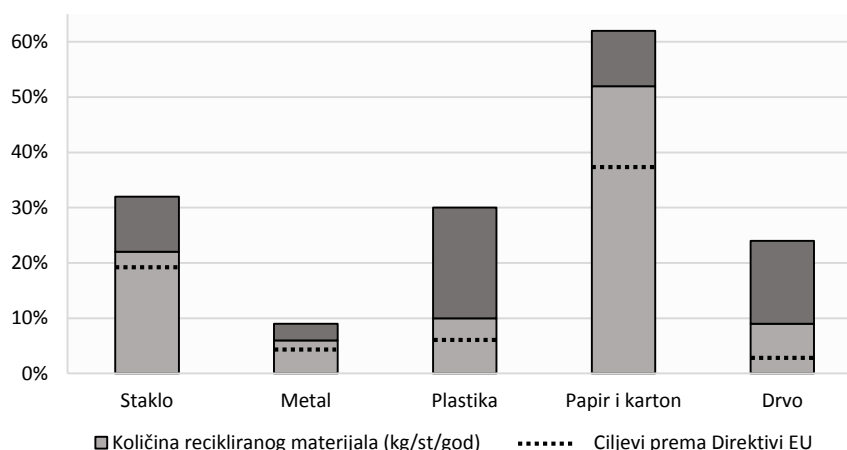
Direktiva EU o ambalaži i ambalažnom otpadu propisuje i ciljeve koje je neophodno ispuniti po pitanju pojedinačnih ambalažnih materijala. U slučaju staklene ambalaže, definisan cilj postavljen za 2008. godinu, koji se odnosio na reciklažu najmanje 60% generisane količine, ispunile su sve zemlje sa prosekom od čak 82%. Od grupe zemalja koje su isti cilj morale da ispune najkasnije 2011. godine, prema podacima iz 2010. godine, ciljeve su već tada ostvarile Češka, Irska, Litvanija i Slovenija (*Europen, 2013*). U Srbiji se 2013. godine recikliralo 14,7 % staklene ambalaže, čime je cilj za tu godinu od najmanje 10%, definisan domaćim zakonodavstvom, bio u potpunosti ispunjen (*AZŽS, 2014*).

Iako rezultati pokazuju visok procenat reciklaže staklene ambalaže u odnosu na količinu stavljenju na tržište, za određen broj zemalja, posmatrano količinski, reciklaža je relativno mala. Ovo je uglavnom posledica funkcionisanja sistema sa povratnom ambalažom od stakla. Posmatrajući uopšteno reciklažu stakla kao materijala, treba napomenuti da se ona u najvećoj meri odnosi upravo na staklenu ambalažu, dok je reciklaža ravnog (prozorskog) stakla zastupljena u znatno manjoj meri (*ETC/SCP, 2009*).

Količina ambalaže od metala stavljenja na tržište evropskih zemalja, takođe je umanjena u poslednjih 15-ak godina, sa prosečnim godišnjim smanjenjem od 1,1%. Potrošnja metalne ambalaže po stanovniku je u okviru EU-15 zemalja u posmatranom periodu opadala u proseku za 1,6% godišnje, dok je kod ostalih 12 zemalja EU zabeležen blagi porast od 0,1% na godišnjem nivou.

U proseku, oko 9 kg po stanovniku ove vrste ambalažnog materijala generisalo se u zemljama EU tokom 2010. godine, što odgovara količini od  $4.540 \times 10^3$  t, dok prema dostupnim podacima ta vrednost za Srbiju iznosi oko 2 kg. Najveće količine metalne ambalaže u 2010. godini imali su Velika Britanija (13 kg), Belgija (12 kg), Irska (11 kg) i Holandija (11 kg), dok su najmanje vrednosti prijavile Rumunija (3kg) i Bugarska (2 kg).

Cilj za 2008. godinu, koji se odnosio na reciklažu najmanje 50% od ukupne količine ambalaže od metala stavljene na tržište, sve zemlje iz te grupe ispunile su već 2 godine ranije. Prosečna stopa reciklaže metalne ambalaže u okviru EU-15 zemalja za 2010. godinu iznosila je 74%, što je u velikoj meri posledica uspostavljenog depozitnog sistema za aluminijumske limenke kod većine zemalja iz ove grupe. Najveću stopu reciklaže beleže Nemačka (93%), Finska (78%), Norveška (78%), Danska (77%) i Švedska (76%). Reciklaža metalne ambalaže u Srbiji je na zadovoljavajućem nivou, s obzirom na to da su nacionalni operateri tokom 2013. godine reciklrali 27,6% ove vrste ambalažnog materijala, što je bilo značajno više od zacrtanog cilja od 13,5% za pomenutu godinu (*Europen, 2013; AZŽS, 2014*).



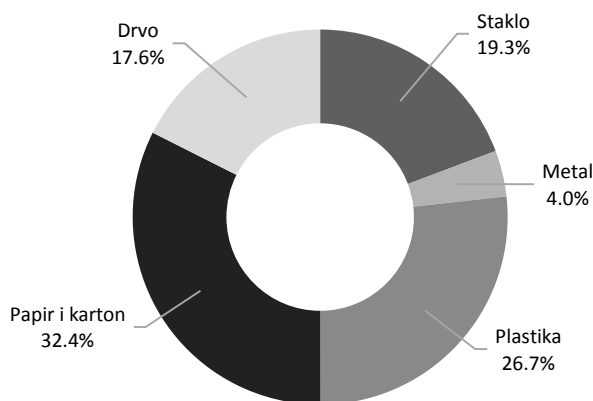
Grafik 2.16 Količina reciklirane ambalaže u odnosu na ciljeve definisane Direktivom EU za zemlje EU-27 u 2010. godini (*Europen, 2013*)

Za razliku od stakla i metala, plastična ambalaža beleži značajan rast u pogledu količina stavljenih na tržište evropskih zemalja. Od svih plastičnih materijala, čak 37% se odnosi na ambalažu, tj. koristi se u svrhu pakovanja proizvoda (*EC/Argus, 2001*). U periodu od 1998. do 2010. godine, količina ambalaže od plastike porasla je za 31,3%, što je u proseku 2,3% po godini. Najveći rast imali su Luksemburg (preko 100%), Nemačka (67%) i Belgija (45%). Posmatrajući količinu plastične ambalaže stavljene na tržište po stanovniku, beleži se godišnji rast od 1,8% na godišnjem nivou za isti period, pri čemu je količina u 2010. godini za zemlje EU-27 iznosila  $14.847 \times 10^3$  t, odnosno 30 kg po stanovniku (*Europen, 2013*). U Srbiji se godišnje na tržište plasira oko 12 kg ove vrste ambalaže po stanovniku (*AZŽS, 2014*).

Zemlje kojima je krajnji rok bila 2008. godina, ispunile su cilj koji se odnosio na reciklažu najmanje 22,5% plastičnog ambalažnog otpada. Prema dostupnim podacima za 2010. godinu, prosečna stopa reciklaže plastičnog ambalažnog otpada za države EU-15 iznosila je 34%, pri čemu su najbolje rezultate postigle Nemačka (49%) i Norveška (36%). Osim u slučaju Nemačke, sve zemlje EU recikliraju u proseku manje od 15 kg plastičnog ambalažnog otpada po stanovniku, dok je u većini slučajeva ta vrednost manja od 5 kg, posebno kada je reč o novijim članicama EU, gde se ta vrednost kreće od 3 do 6 kg (*ETC/SCP, 2009*). Količina od 1,9 kg reciklirane plastične ambalaže po stanovniku u Srbiji tokom 2013. godine, predstavlja daleko slabiji rezultat u odnosu na prosek u EU, uz napomenu da je i pored toga ovom vrednošću ispunjen cilj od 9%, postavljen za pomenutu godinu (*AZŽS, 2014*).

U odnosu na sve vrste ambalažnih materijala stavljenih na tržište zemalja EU, ambalaža do papira i kartona predstavlja najdominantniju kategoriju, što je u najvećoj meri posledica pakovanja proizvoda za potrebe transporta (*Europen, 2013; EC/Argus, 2001*). Ambalažni papir i karton u periodu od 1998. do 2010. godine, beleže rast od 12,5% po pitanju količina stavljenih na tržište, pri čemu su najveće stope rasta imali Portugal (47%), Španija (33%), Nemačka (27%) i Belgija (20%). Ipak, za određen broj zemalja se na osnovu godišnjih izveštaja, mogao uočiti trend smanjenja u proizvedenoj količini ove vrste ambalaže, poput Holandije i Švedske (po 13%), zatim Danske (12%), Velike Britanije (5%) i Austrije (1%).

U zemljama EU-27 se u proseku na tržište stavlja oko 62 kg papirne ambalaže po stanovniku, dok ista vrednost za Srbiju iznosi oko 15 kg (*Europen, 2013; AZŽS, 2014*). Iako se ova vrsta ambalažnog otpada jedina može koristiti kao ulazna sirovina za sve vrste tretmana otpada (*EC/JRC, 2007*), postavljen cilj koji se odnosi isključivo na reciklažu papirne i kartonske ambalaže je relativno visok i iznosi 60% u odnosu na ukupnu količinu stavljenju na tržište. I pored toga, od svih država članica, samo Poljska (57%), Malta (51%) i Slovačka (51%) nisu ispunile ovaj cilj u 2010. godini, ali uz napomenu da su u tom momentu imale još dve godine ispred sebe za njegovo ostvarenje.



Grafik 2.17 Udeo različitih ambalažnih materijala u odnosu na ukupnu količinu ambalaže stavljenju na tržište Srbije (AZŽS, 2014)

Prema podacima *ETC/SCP (2009)*, količina recikliranog ambalažnog papira i kartona veoma se razlikuje u odnosu na posmatranu zemlju, pa tako podaci za Portugal i Španiju pokazuju da se po stanovniku reciklira oko 10 kg ove vrste ambalaže, dok je u slučaju Irske, ta vrednost oko 140 kg. Za većinu zemalja količina recikliranog papira i kartona se kreće u opsegu od 60 do 80 kg po stanovniku godišnje. U Srbiji, prema podacima Agencije, postavljeni cilj od najmanje 23% recikliranog papira i kartona je za 2013. godinu bio ispunjen, imajući u vidu da se recikliralo 54%, odnosno nešto manje od 8 kg po stanovniku.

Sve do 2005. godine, za zemlje EU izveštavanje o količini ambalažnog otpada od drveta, bilo je opciono. Drvena ambalaža se gotovo isključivo koristi za potrebe pakovanja proizvoda prilikom transporta, kada se upotrebljavaju drvene palete. Na osnovu raspoloživih podataka, u periodu između 2003. i 2010. godine, količina ambalaže od drveta stavljenju na tržište evropskih zemalja, opadala je u proseku za oko 1,1% godišnje, odnosno 7,2% ukupno. Podaci o količini ambalaže od drveta stavljenju na tržište zemalja EU-27 u 2010. godini značajno se razlikuju od posmatrane zemlje, i kreću se od čak 42 kg po stanovniku u slučaju Finske, do 2 kg u Bugarskoj. Količina ambalaže od drveta stavljenju na tržište Srbije, iznosi oko 7,8 kg po stanovniku (*Europen, 2013; AZŽS, 2014*).

Ciljevi za dostizanje stope reciklaže ove vrste ambalažnog otpada, prvi put su definisani u okviru revidirane verzije Direktive EU za ambalažu i ambalažni otpad iz 2004. godine. Postavljeni cilj za 2008. godinu ispunile su sve zemlje, uz napomenu da podaci o količini reciklirane ambalaže od drveta mogu biti prilično nepouzdana s obzirom na činjenicu da je teško napraviti jasnu razliku između reciklaže i ponovne upotrebe, pogotovo kada je reč o drvenim paletama. Ovo se može videti na primeru Letonije, koja je 2005. godine prijavila da se 57% ove ambalaže reciklira, dok je Litvanija prijavila svega 1%, što je velika razlika imajući u vidu da se radi o dve susedne baltičke zemlje, koje za ostale ambalažne materijale imaju veoma slične stope reciklaže (*Europen, 2013*). U Srbiji se prema podacima Agencije za zaštitu životne sredine, 2013. godine recikliralo oko 12% drvene ambalaže.



### 2.3.2 UPRAVLJANJE BIORAZGRADIVIM KOMUNALNIM OTPADOM

Deponovanje biorazgradivog otpada ima potencijalno negativan uticaj na životnu sredinu, pre svega zbog generisanja deponijskog gasa, koji u sebi dominantno sadrži metan i koji nastaje kao posledica biološke razgradnje otpada. Procenjuje se da na globalnom nivou emisije metana sa deponija komunalnog otpada doprinose sa 3% do 19% u odnosu na ukupne antropogene emisije metana (USEPA, 1994), dok se u odnosu na ukupne emisije gasova sa efektom staklene bašte, oko 4% generiše iz sektora upravljanja otpadom (Papageorgiou i dr., 2009). U Srbiji se 2008. godine generisalo oko  $67 \times 10^3$  tona  $\text{CH}_4$  sa deponija komunalnog otpada, odnosno 9,12 kg po stanovniku (Ubavin, 2011).

Zbog navedenog negativnog uticaja na životnu sredinu, koji se javlja kao posledica deponovanja biorazgradive frakcije, zemlje EU su 1999. godine usvojile Direktivu EU o deponijama. Direktiva ima za cilj da se uvođenjem strogih tehničkih zahteva redukuju negativni efekti odlaganja otpada na životnu sredinu, naročito na zemljište, podzemne i površinske vode, uključujući i efekte na zdravlje stanovništva. Direktivom se između ostalog definišu kategorije otpada (opasan, neopasan i inertan), zatim klase deponija za pomenute kategorije otpada, kao i zahtevi za tretman otpada pre njegovog odlaganja. Takođe, uspostavlja se sistem dozvola za rad deponija i zabranjuje odlaganje sledećih vrsta otpada: tečnog, zapaljivog ili izuzetno zapaljivog, eksplozivnog, infektivnog medicinskog otpada, starih guma i slično. Dozvoljeno je odlaganje otpada isključivo na deponije koje su projektovane i rade u skladu sa odredbama Direktive. Od zemalja članica zahteva se uspostavljanje kontrole odlaganja otpada i izrada nacionalnih strategija za sprovođenje plana smanjenja količine deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada, uspostavljanjem opcija za tretman otpada poput reciklaže, kompostiranja, proizvodnje biogasa i/ili energije.

Ciljevi postavljeni Direktivom, odnose se na količinu biorazgradivog komunalnog otpada generisanog 1995. godine, koja predstavlja referentnu godinu (za EU-15 zemlje) ili nekog drugog datuma predloženog i dogovorenog tokom procesa pregovaranja. Krajnji cilj jeste da se zaključno sa 2016. godinom, deponovana količina biorazgradivog komunalnog otpada smanji na najmanje 35% u odnosu na količinu generisanu 1995. godine. Konkretno, ciljevi za postepeno smanjenje količine deponovanog biorazgradivog otpada su sledeći:

- Do kraja 2006. godine, količina biorazgradivog komunalnog otpada koja se deponuje, mora biti smanjena najmanje na 75 % od ukupne količine biorazgradivog komunalnog otpada koji je generisan 1995. godine
- Do kraja 2009. godine, količina biorazgradivog komunalnog otpada koja se deponuje, mora biti smanjena najmanje na 50 % od ukupne količine biorazgradivog komunalnog otpada koji je generisan 1995. godine
- Do kraja 2016. godine, količina biorazgradivog komunalnog otpada koja se deponuje, mora biti smanjena najmanje na 35 % od ukupne količine biorazgradivog komunalnog otpada koji je generisan 1995. godine.

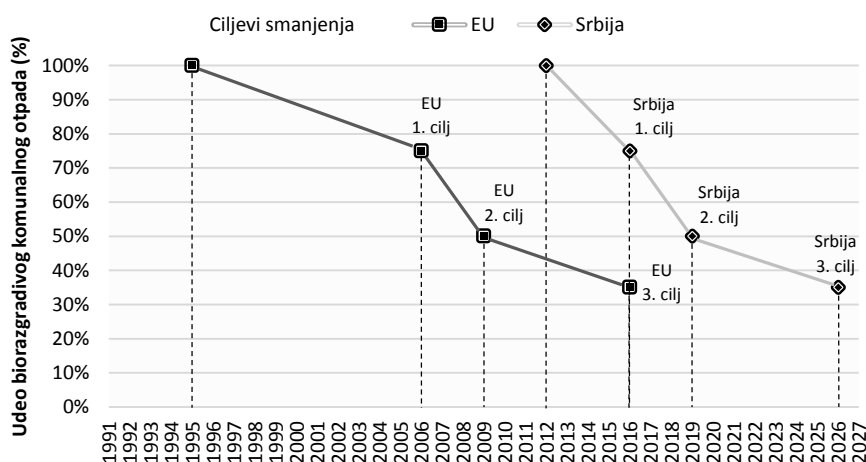
Ovako definisani ciljevi bili su obavezujući za sve zemlje koje su u tom trenutku bile članice EU, osim u slučaju Grčke i Velike Britanije kod kojih se u referentnoj godini deponovalo preko 80% generisanog komunalnog otpada i kojima je bilo neophodno dodatno vreme kako bi se u okviru postojećih sistema upravljanja otpadom implementirali dodatni tretmani, poput kompostiranja, anaerobne digestije, sagorevanja uz iskorišćenje energije i slično (Balkwaste, 2011b).

Za države koje su kasnije konkurisale za članstvo u EU, takođe su bila dozvoljena određena odstupanja od navedenih ciljeva, ali su ciljevi smatrani obavezujućim čim su započeti pregovori o pridruživanju. Osim u slučaju Mađarske, za sve ostale zemlje koje su se kasnije pridružile EU, dozvoljeno je odstupanje za 4 godine, kako bi se ispunili definisani ciljevi (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 Ciljevi definisani Direktivom EU o deponijama i rokovi za njihovo ispunjenje za zemlje EU (Ernst & Young, 2011)

Postavljeni ciljevi za smanjenje deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada	EU-15 *Osim Grčke i Velike Britanije **Uključujući i Mađarsku	Grčka Velika Britanija Bugarska Češka Letonija Poljska Rumunija Slovačka Slovenija	Estonija	Litvanija	Hrvatska
1. 75% u odnosu na količinu iz referentne godine	2006	2010	45% - 2010	2010	2013
2. 50% u odnosu na količinu iz referentne godine	2009	2013	30% - 2013	2013	2016
3. 35% u odnosu na količinu iz referentne godine	2016	2020	20% - 2020	2020	2020
Referentna godina	1995	1995	U odnosu na posmatranu godinu	2000	1997

Srbija je 2010. godine, usvajanjem Uredbe o odlaganju otpada na deponije, započela usklađivanje sa Direktivom EU o deponijama. Uredba je donesena u skladu sa odredbama EU Direktive, s tim da se razlikuje vremenski okvir u kojem određeni ciljevi treba da se implementiraju. Poslednji cilj koji se odnosi na smanjenje količine deponovanog biorazgradivog otpada u sklopu navedene Uredbe, odložen je za 10 godina u odnosu na isti cilj definisan EU Direktivom o deponijama (Grafik 2.18).



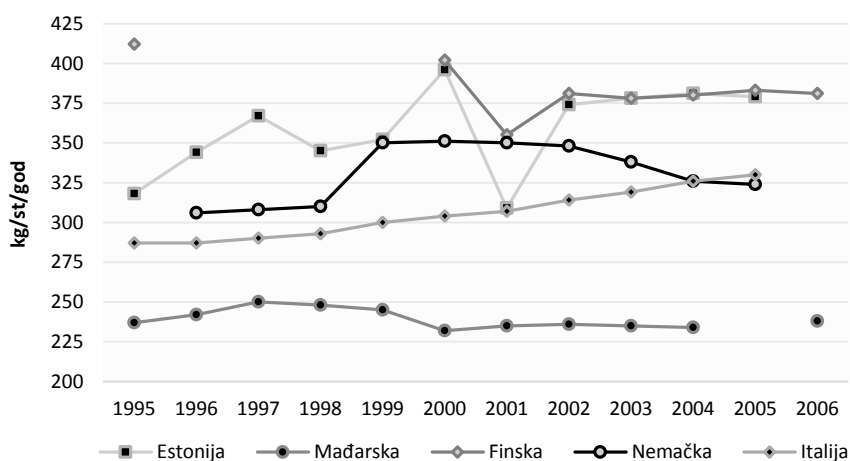
Grafik 2.18 Poređenje rokova za smanjenje deponovane količine biorazgradivog komunalnog otpada u Srbiji i EU (Službeni glasnik RS - 92/2010)

I pored toga, evidentno je da su definisani ciljevi postavljeni veoma optimistički i da je praktično nemoguće za očekivati da će do kraja 2016. godine, količina deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada biti smanjena za 25%. Ovo znači da će se u toku pregovora o pridruživanju u budućem periodu morati odrediti novi vremenski okviri u odnosu na koje će se pratiti ispunjenje postavljenih ciljeva. Takođe, za razliku od EU Direktive, u okviru srpskog zakonodavstva još uvek nije definisana referentna godina u odnosu na koju bi se posmatralo smanjenje deponovane količine biorazgradivog komunalnog otpada. Kako bi se regulativa iz ove oblasti u potpunosti uskladila sa evropskom, neophodno je postaviti referentnu godinu u odnosu na koju će se određivati ispunjenost ciljeva za smanjenje količine biorazgradivog komunalnog otpada koji se deponuje.

Ako se posmatra definicija, pod pojmom „biorazgradivi otpad“ se u domaćem Zakonu o upravljanju podrazumeva „otpad koji je pogodan za anaerobnu ili aerobnu razgradnju, kao što su hrana, baštenski otpad, papir i karton“.

Pored ove opšte definicije biorazgradivog otpada, u najvažnijim zakonskim dokumentima EU, koristi se i termin „biootpad“, koji se u sklopu Okvirne Direktive EU o otpadu definiše kao „biorazgradivi otpad iz bašte i parkova, kao i otpad od hrane koji potiče od domaćinstava, restorana, prodavnica i maloprodajnih objekata, a uključuje i otpad koji nastaje iz procesa prerade hrane“. Biorazgradivi komunalni otpad je širi pojam od biootpada, jer podrazumeva sve biorazgradive frakcije koje se nalaze u komunalnom čvrstom otpadu i koje doprinose povećanju emisije deponijskog gasa, odnosno metana prilikom njegovog deponovanja (EEA, 2009). Ciljevi propisani Direktivom EU o deponijama, odnose se na smanjenje deponovanja upravo ove vrste biorazgradivog otpada.

Produkcija biorazgradivog komunalnog otpada na nivou EU, bila je relativno stabilna u periodu od 1995 do 2006. godine, i za većinu evropskih zemalja, biorazgradive komponente u komunalnom otpadu imaju udeo od oko 60% - 70%. Nepostojanje jedinstvene metodologije za proračun ili procenu količine generisanog biorazgradivog komunalnog otpada, u velikoj meri otežava poređenje rezultata o produkciji među zemljama EU. Za razliku od količine biorazgradive frakcije koja se odvojeno sakuplja (uglavnom biootpad, papir i karton) i koja se može direktno izmeriti, udeo biorazgradivih komponenti u mešanom komunalnom otpadu nije lako odrediti i uglavnom se ta količina procenjuje (EEA, 2009).

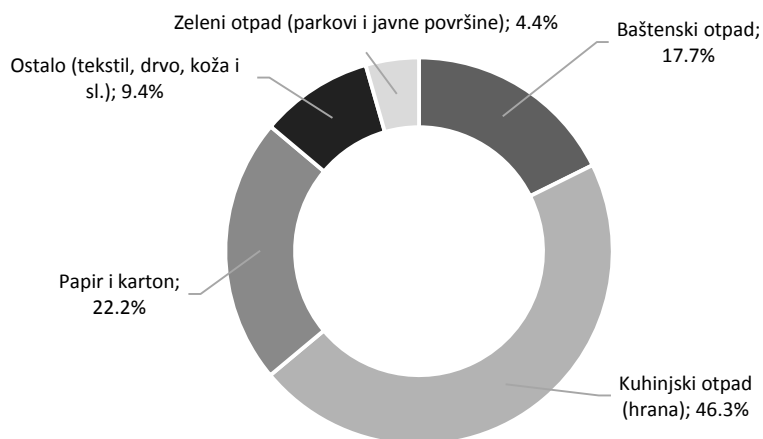


Grafik 2.19 Količina generisanog biorazgradivog komunalnog otpada za određene evropske zemlje (EEA, 2009)

Prema dostupnim podacima, u zemljama EU generiše se u proseku oko 300 kg biorazgradivog komunalnog otpada po stanovniku godišnje, iako postoje značajne varijacije u odnosu na posmatranu zemlju (EEA, 2002a). Udeo biorazgradive frakcije u komunalnom otpadu se razlikuje, pa tako na primer u Estoniji navedeni udeo iznosi 65%, u Nemačkoj 57%, Italiji 62%, Mađarskoj 52% i slično. Na Grafiku 2.19, prikazane su količine generisanog biorazgradivog komunalnog otpada za pomenute zemlje u periodu od 1995. do 2006. godine.

U Srbiji, proračun ukupne količine biorazgradivog komunalnog otpada baziran je na dobijenim rezultatima merenja i sprovedenim analizama morfološkog sastava otpada u reprezentativnim opštinama (FTN, 2009). Na osnovu rezultata merenja na terenu, identifikovani su sledeći izvori i udeli biorazgradivog komunalnog otpada koji su uzeti u obzir: baštenski otpad i otpad od hrane (100%), papir i karton (90%) i preostali otpad (35%) koji sadrži biorazgradive kategorije poput tekstila, drveta, kože, finih elemenata itd. Količina biorazgradivog otpada koji potiče iz parkova, javnih površina i slično, tzv. „zeleni otpad“, takođe je posmatrana. S obzirom na mali broj podataka o količini ove vrste biorazgradivog otpada, a uzimajući u obzir rezultate sa kolskih vaga gde se ova vrsta otpada posebno meri (Novi Sad - 4.4%, Pančevo - 2.8%, Subotica - 1.4%), za sve opštine u Srbiji usvojena je prosečna vrednost od 3% u odnosu na ukupnu količinu komunalnog otpada.

Na ovaj način, dolazi se do podatka da 67,5% ukupne količine generisanog komunalnog otpada predstavlja biorazgradivi otpad, što odgovara količini od 1.602.525 t biorazgradivog komunalnog otpada, odnosno 214 kg po stanovniku godišnje. Udeli pojedinačnih kategorija otpada koje sačinjavaju biorazgradivi komunalni otpad, prikazani su na Grafiku 2.20.



Grafik 2.20 Zastupljenost različitih kategorija biorazgradivog komunalnog otpada u Srbiji (FTN, 2009)

Direktiva EU o deponijama utvrđuje ciljeve smanjenja količine deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada, zaključno sa 2016. godinom, kada će biti dozvoljeno deponovanje svega 35% količine biorazgradivog komunalnog otpada u odnosu na količinu generisanu 1995. godine. U zavisnosti od posmatrane države, ovako definisani ciljevi su u različitoj meri uticali na neophodnost promene postojećih sistema upravljanja otpadom na nacionalnom nivou, pre svega zbog činjenice da se među državama članicama primenjene opcije za tretman biorazgradivog komunalnog otpada u velikoj meri razlikuju.

Zemlje poput Austrije, Belgije, Nemačke i Danske su još i pre stupanja na snagu Direktive EU, za tretman različitih komponenti biorazgradivog otpada u najvećoj meri koristili kompostiranje, anaerobnu digestiju, MBT postrojenja i insineraciju, pri čemu je procenat deponovanog biorazgradivog otpada bio manji od 20%. Sa druge strane, države poput Velike Britanije, Irske i Španije su upravljanje biorazgradivim komunalnim otpadom tradicionalno zasnivale na deponovanju, čineći da preko 70% biorazgradive frakcije bude tretirano na taj način (EEA, 2002b).

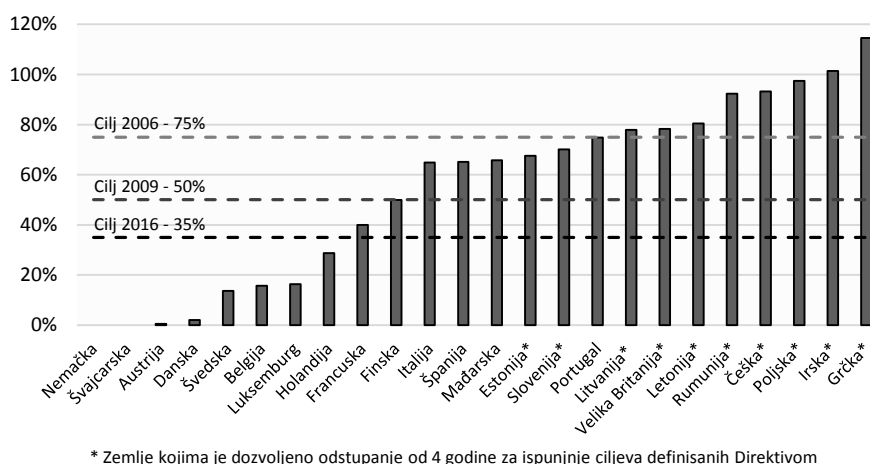
Da bi se omogućilo smanjenje količine biorazgradivog komunalnog otpada koja se deponuje, neophodno je implementirati napredne sisteme upravljanja otpadom, bazirane pre svega na biološkim metodama koje podrazumevaju kompostiranje i anaerobnu digestiju, ali i na energetskom iskorišćenju otpada poput insineracije, kao i na reciklaži koja je pogodna u najvećoj meri za tretman papira i kartona kao biorazgradivih komponenti. Jedan od glavnih preduslova za uspostavljanje odgovarajućih sistema jeste i primarno izdvajanje biorazgradivih frakcija komunalnog otpada.

Ipak, korišćenje pre svega anaerobne digestije i/ili insineracije za tretman biorazgradivog otpada, zahteva značajna finansijska ulaganja, koja prate i veliki troškovi održavanja (EEA, 2002a). Ovo je glavni razlog što i pored jasno zadatih ciljeva, ekonomski slabije razvijene evropske zemlje još uvek upravljanje biorazgradivim otpadom u najvećoj meri baziraju na deponovanju, pri čemu treba napomenuti da je većina ovih država usvojila nacionalne planove i strategije gde su definisani prioriteti i alternativni načini za tretman biorazgradivog otpada u budućem periodu.

Najrazvijenije evropske zemlje su sa druge strane, još 2000-ih godina koristile adekvatne opcije za tretman biorazgradivog otpada, čime je deponovanje ove frakcije bilo svedeno na minimum. Treba napomenuti da su i među ovim zemljama postojale značajne razlike kada je reč o dominantnim opcijama za tretman biorazgradivog otpada, pa se tako na primer u Danskoj preko 55% biorazgradivog otpada spaljivalo, a oko 30% kompostiralo, dok se u Austriji insineracijom tretiralo tek oko 10%, dok je 57% ove frakcije tretirano u postrojenjima za biološki tretman (COWI, 2004).

Ako se posmatraju konkretne količine, u Nemačkoj se na primer godišnje kompostira i tretira anaerobnom digestijom oko  $12 \times 10^6$  t biorazgradivog otpada, pri čemu postoji i oko 50 MBT postrojenja, gde se dodatno stabilizuje još blizu 5,5 miliona tona biorazgradive frakcije. Poređenja radi, 11 država koje su kasnije postale članice EU, su zajedno tokom 2010. godine praktično istu količinu biorazgradivog komunalnog otpada, odnosno 17,7 miliona tona, isključivo deponovale (EC/JRC, 2014; Ernst & Young, 2011).

U 2006. godini, krajnji cilj smanjenja količine deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada na 35 % od ukupne količine koja je generisana u referentnoj godini, već je bio dostignut u Nemačkoj, Švajcarskoj, Austriji, Danskoj, Švedskoj, Belgiji, Luksemburgu i Holandiji. Cilj postavljen za 2009. godinu je u tom momentu bio ispunjen u Francuskoj, dok je Finska bila veoma blizu njegovog ispunjenja. Sa druge strane, na osnovu Grafika 2.21, evidentno je da postoje i primeri zemalja poput Portugala, koji nije u zadatom roku ispunio prvi cilj za 2006. godinu, kao i država koje su u tom momentu bile daleko od ispunjenja narednog cilja, uključujući Italiju, Španiju i Mađarsku (EEA, 2012).



Grafik 2.21 Procenat deponovanog biorazgradivog otpada za evropske zemlje 2006. godine u odnosu na referentnu godinu (EEA, 2012)

Srbija je i pored započetog usklađivanja sa Direktivom EU o deponijama, i definisanim ciljevima za smanjenje količine deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada, po pitanju njegovog upravljanja daleko od razvijenih evropskih zemalja. Osim u slučaju male količine papira koja se reciklira i primera kompostiranja tzv. zelenog otpada u pojedinim opštinama, praktično sve kategorije biorazgradivog otpada se deponuju na gradske (kontrolisane) i divlje deponije.

Adekvatna sistemski rešenja za tretman ove kategorije komunalnog otpada, poput postrojenja za mehaničko biološki tretman ili anaerobnu digestiju, još uvek nisu implementirana. Pored toga, osnovni preduslov za funkcionisanje ovakvih sistema, u vidu primarnog izdvajanja biorazgradivih frakcija u komunalnom otpadu, takođe ne postoji.

### 3. OSNOVE I MOTIV ISTRAŽIVANJA

---

U okviru savremenih sistema za upravljanje komunalnim otpadom posebna pažnja usmerena je na ambalažni tok otpada zbog svog velikog potencijala za reciklažu i ponovnu upotrebu, kao i na biorazgradive kategorije komunalnog otpada čijim se odlaganjem na deponije stvaraju značajni negativni uticaji na životnu sredinu. Nažalost, za razliku od država EU, gde se u proseku reciklira oko 25% materijala iz komunalnog otpada, u Srbiji se taj procenat kreće tek oko 4% (*Eurostat, 2011; MZŽS, 2011*). Osim zanemarljive količine biorazgradivog otpada, uglavnom u vidu tzv. zelenog otpada sa parkova i javnih površina, koji se kompostira najjednostavnijim metodama, celokupna preostala biorazgradiva frakcija završava na deponijama. Moderni sistemi upravljanja biorazgradivim komunalnim otpadom, sa druge strane, bazirani su na različitim tehnikama kompostiranja i primeni anaerobne digestije.

Za uspešno ostvarivanje strateških inicijativa koje se odnose na uspostavljanje odgovarajućeg sistema za reciklažu ambalažnog i implementaciju modernih opcija za tretman biorazgradivog komunalnog otpada u Srbiji, neophodno je poznavanje njihovih generisanih količina, ali ne samo u sadašnjem, već i u budućem periodu. Projekcija generisanih količina komunalnog otpada sa akcentom na ambalažni i biorazgradivi otpad u budućem periodu je zbog toga od izuzetnog značaja za Srbiju, i predstavlja neizostavan korak u procesu uspešnog planiranja i donošenja strateških odluka.

U skladu sa postojećim EU Direktivama koje države članice obavezuju na implementaciju adekvatnih rešenja u sklopu upravljanja ambalažnim i biorazgradivim otpadom, Republika Srbija je takođe, zakonskim Uredbama u ovoj oblasti, definisala posebne ciljeve koji se odnose na tretman budućih količina pomenutih kategorija otpada. S obzirom na to da se definisani ciljevi za povećanje stepena reciklaže ambalažnog otpada, odnosno ciljevi za smanjenje količine biorazgradivog komunalnog otpada koja sme da se deponuje, odnose na budući period, glavni motiv istraživanja u okviru disertacije predstavlja razvoj modela koji će omogućiti projekciju količina pomenutih kategorija otpada u Republici Srbiji do kraja 2030. godine. Jedan deo istraživanja podrazumeva razvijanje modela za predviđanje zastupljenosti različitih opcija za tretman komunalnog otpada za Srbiju u budućem periodu. Cilj je da se utvrdi u kom vremenskom intervalu i u kojoj meri se može očekivati da će tradicionalni sistem upravljanja komunalnim otpadom baziran na deponovanju biti zamenjen modernim sistemima, koji prevashodno uključuju reciklažu, kompostiranje i insineraciju.

Modelovanje i predviđanje budućih karakteristika određene grupe podataka obuhvata širok spektar različitih metoda koje se mogu koristiti u tu svrhu. Generalno, sve poznate metode za modelovanje mogu se kategorisati na osnovu broja nezavisnih promenljivih. U tom kontekstu, metode koje koriste jednu nezavisnu promenljivu, zasnivaju se uglavnom na analizi vremenskih serija grupe podataka, korelaciji i regresionim analizama. Pristup sa više nezavisnih promenljivih, odnosno multivarijabilne metode, najčešće obuhvataju višestruku regresionu analizu, dinamičke sisteme i analize bazirane na principu ulaz-izlaz (*Beigl i dr., 2008*).

U okviru disertacije, modelovanje podataka realizovano je korišćenjem veštačkih neuronskih mreža (engl. *Artificial Neural Networks – ANN*), koje spadaju u grupu softverskih alata i programa čije je funkcionisanje zasnovano na bazi modelovanja zadatih ulaznih i izlaznih parametara. Neuronske mreže predstavljaju skup jednostavnih procesnih elemenata (neurona), međusobno povezanih matematičkim funkcijama, čija je uređenost definisana na bazi paradigme obrade informacija u ljudskom mozgu (*Krose i Smagt, 1996; Kriesel, 2007; Suzuki, 2011*). Njihova mogućnost da se lako prilagođavaju različitim vrstama istraživačkih problema, čine ih veoma primenljivim kada su u pitanju klasifikacija i projekcija bilo koje vrste nelinearnih funkcija. Primena neuronskih mreža predstavlja relativno novi pristup u cilju projektovanja određenih karakteristika otpada (*Ponce i dr., 2004*).

### 3.1 DEFINISANJE ISTRAŽIVAČKIH CILJEVA I POSTAVLJANJE HIPOTEZA

Cilj istraživanja jeste da se razviju modeli koji će omogućiti da se izvrši projekcija količine ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada u Republici Srbiji. Na taj način, izgrađiće se polazna osnova za procenu potencijala za reciklažu ambalažnog otpada, kao i za procenu u kojoj meri je realno za očekivati da određene količine biorazgradivog otpada u narednom periodu ne budu odložene na deponije, u skladu sa savremenim principima upravljanja otpadom i postojećim zahtevima EU u ovoj oblasti. Pored toga, cilj istraživanja predstavlja i definisanje modela za projekciju zastupljenosti osnovnih opcija tretmana komunalnog otpada u narednom periodu.

Prvi korak u cilju razvoja svih modela, predstavlja odabir odgovarajućih ulaznih parametara, u konkretnom slučaju različitih socio-ekonomskih indikatora, dok izlazne veličine predstavljaju količine ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada, odnosno procenat zastupljenosti osnovnih opcija za tretman komunalnog otpada. Primenom linearne regresije, na osnovu dobijenog koeficijenta determinacije, moguće je utvrditi nivo zavisnosti između posmatranih ulaznih i izlaznih parametara. Nakon utvrđivanja pozitivne zavisnosti između ulaznih i izlaznih parametara, sledeći korak predstavlja modelovanje svih vrednosti ulaznih i izlaznih parametara korišćenjem više vrsta neuronskih mreža, nakon čega se izračunavanjem različitih tipova grešaka koje se koriste u statistici, vrednuje i određuje tip neuronske mreže sa najboljim performansama u cilju predviđanja izlaznih veličina.

Mogućnost primene definisanih modela u svrhu predviđanja izlaznih parametara, moguće je dodatno izvršiti i poređenjem podataka dobijenih modelom, sa stvarnim vrednostima količine ambalažnog i biorazgradivog otpada, odnosno procenta zastupljenosti određene opcije za tretman komunalnog otpada.

Poslednji korak odnosi se na projekciju vrednosti posmatranih izlaznih veličina za budući period. Predviđanje budućih vrednosti suštinski se zasniva na predstavljanju neuronskoj mreži trenda promena vrednosti ulaznih parametara u budućem periodu, na osnovu kojeg odabrani modeli definišu odgovarajuće izlazne rezultate koji su od interesa.

Na osnovu navedenih ciljeva u okviru disertacije postavljeni su sledeći istraživački zadaci:

- Prikupljanje i analiza podataka o količini ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada u Republici Srbiji i zemljama EU
- Prikupljanje i analiza podataka o zastupljenosti različitih tretmana komunalnog otpada u Republici Srbiji i zemljama EU
- Sagledavanje postojećih metoda za modelovanje budućih količina različitih tokova komunalnog otpada i opcija za njegov tretman
- Definisanje odgovarajućih ulaznih i izlaznih parametara u cilju razvoja modela za predviđanje količine ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada
- Definisanje odgovarajućih ulaznih i izlaznih parametara u cilju razvoja modela za predviđanje zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada
- Verifikacija rezultata dobijenih modelovanjem na osnovu poređenja sa realnim rezultatima dobijenih na osnovu merenja
- Evaluacija i izbor optimalnih modela i njihova primena u cilju predviđanja budućih količina ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada, kao i zastupljenosti opcija za njihov tretman za Republiku Srbiju
- Interpretacija rezultata dobijenih pomoću modela i analiza mogućnosti za ispunjenje specifičnih ciljeva definisanih Direktivama EU iz date oblasti za Republiku Srbiju.

U skladu sa izloženim problemom istraživanja i definisanim ciljevima, uz uvažavanje stavova i rezultata koji se navode u literaturi, pošlo se od nekoliko ključnih pretpostavki, odnosno hipoteza u okviru doktorske disertacije.

#### Opšte hipoteze

- Moguće je razviti modele za projekciju količina ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada u budućem periodu, na bazi zavisnosti između ukupne potrošnje domaćinstva i generisane količine ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada.
- Moguće je razviti model za projekciju zastupljenosti osnovnih opcija tretmana komunalnog otpada u budućem periodu, na bazi zavisnosti između bruto domaćeg proizvoda (BDP) i korišćenih opcija za tretman komunalnog otpada na nacionalnom nivou.

#### Posebne hipoteze

- Primenom neuronskih mreža, a na bazi zavisnosti sa segmentima ukupne potrošnje domaćinstava, moguće je izvršiti projekciju budućih količina ambalažnog otpada u Republici Srbiji do kraja 2030. godine.
- Primenom neuronskih mreža, a na bazi zavisnosti sa segmentima ukupne potrošnje domaćinstava, moguće je izvršiti projekciju budućih količina biorazgradivog komunalnog otpada u Republici Srbiji do kraja 2030. godine.
- Primenom neuronskih mreža, a na bazi zavisnosti sa pokazateljima bruto domaćeg proizvoda (BDP), moguće je izvršiti projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada u Republici Srbiji do kraja 2030. godine.

Nakon realizacije istraživačkih zadataka moguće je izvršiti proveru, odnosno verifikaciju navedenih hipoteza u okviru doktorske disertacije.

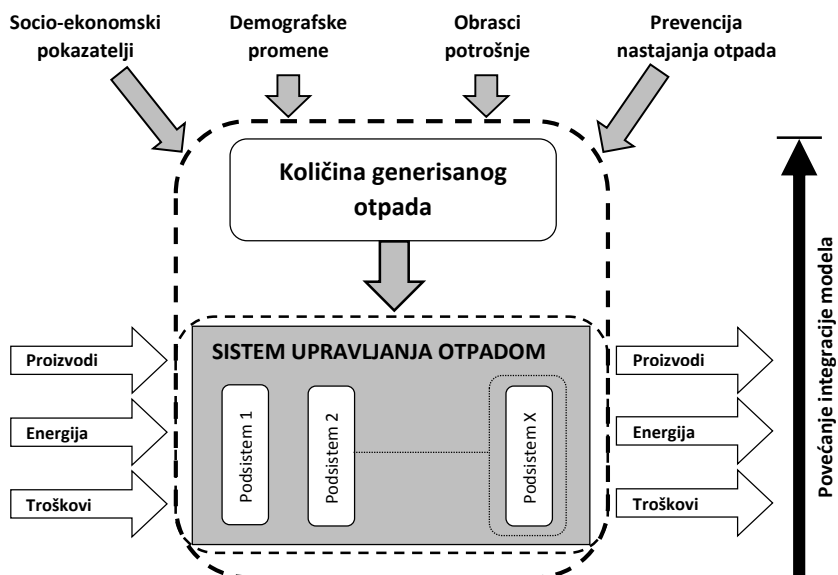


## 4. PREGLED POSTOJEĆIH METODA ZA PREDVIĐANJE BUDUĆIH KARAKTERISTIKA OTPADA

Direktive EU i buduće usklađivanje u velikoj meri definišu ciljeve upravljanja otpadom koji se odnose na budući period, uključujući količine koje će se proizvoditi, uz poseban osvrt na količine biorazgradivog komunalnog otpada i ambalažnog otpada. Predviđanje količine i sastava komunalnog otpada zbog velikog broja uticajnih faktora nije lako odrediti sa izuzetno velikim pouzdanošću, i samim tim predstavlja veoma kompleksan zadatak.

Ipak, u cilju efikasnog planiranja u oblasti upravljanja otpadom, predviđanje budućih karakteristika otpada predstavlja jedan od ključnih i nezaobilaznih koraka (Beigl i dr., 2005; Dyson i Chang, 2005; Navarro-Esbri i dr., 2002; Chung, 2010), posebno imajući u vidu činjenicu da se najčešće greške prilikom planiranja budućih sistema upravljanja otpadom dešavaju upravo kao posledica korišćenja nepouzdanih informacija o količini i sastavu budućeg otpada, što dovodi do pogrešne procene u dimenzionisanju postrojenja a samim tim i nepotrebnih operativnih troškova (Den Boer i dr., 2007; Beigl i dr., 2005).

Predviđanje i planiranje budućih sistema komunalnog otpada na nacionalnom nivou je od izuzetnog značaja. Ovaj segment posebno je važan za zemlje EU i zemlje koje su u procesu pridruživanja, kako bi se sagledalo na koji način i u kojoj meri će one biti u mogućnosti da implementiraju odredbe definisane brojnim EU Detektivima i dostignu vremenski određene ciljeve za ispunjenje njihovih zahteva. Zbog ove činjenice neophodno je planiranje najmanje za period od narednih 20 godina. Iz ovog razloga, određivanje modela, odnosno postojanje adekvatnih podataka o procenjenim budućim količinama i sastavu komunalnog otpada, u velikom broju slučajeva, definisano je i zakonskim odredbama (Balkwaste, 2011b; Beigl i dr., 2008).

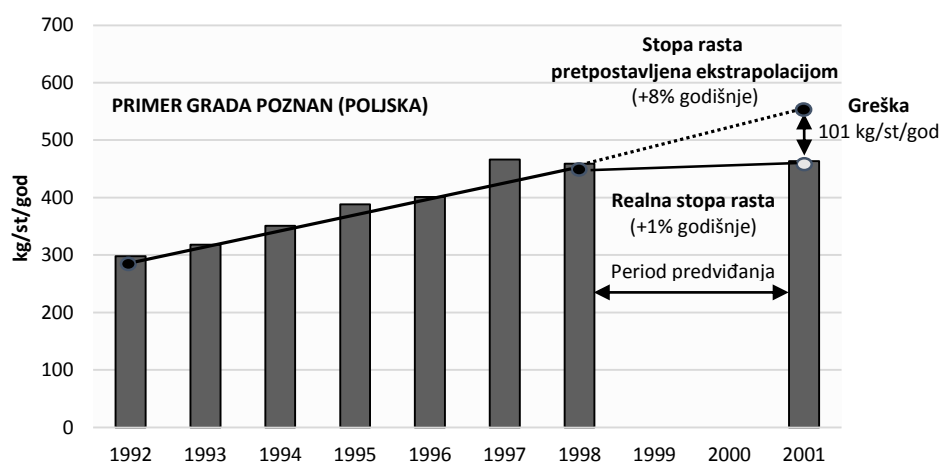


Slika 4.1 Uticajni faktori na segmente sistema upravljanja otpadom u zavisnosti od postavljenih granica sistema (Beigl i dr., 2004)

Poslednjih 15 godina, velika pažnja posvećena je razvoju modela i pomoćnih alata za donošenje odluka, koji imaju za cilj da pomognu svim učesnicima u okviru sistema upravljanja otpadom radi lakšeg sagledavanja budućih trendova i donošenja adekvatnih odluka i održivih rešenja u ovom sektoru životne sredine.

U ranijem periodu, predviđanje budućih trendova u segmentu količine i sastava otpada nije bilo posmatrano, već je sva pažnja bila posvećena na modelovanje i upravljanje različitim vrstama podsistema upravljanja otpadom, kao što su definisanje ruta kamiona (Matsuto i Tanaka, 1993), raspored kontejnera i postrojenja za tretman i odlaganje (Grossman i dr., 1974; Dennison i dr., 1996; Chang i Lin, 1997) i slično, sa akcentom na veoma mali broj zadatih kriterijuma, najčešće samo na cenu. Kod ovih modela, karakteristike otpada, uključujući količinu i sastav predstavljali su ulazni parametar u cilju sagledavanja navedenih uticaja na podsisteme upravljanja otpadom, čime se uticaj demografskih, socio-ekonomskih i širok spektar ostalih uticajnih faktora (npr. potrošnja domaćinstva, BDP, stopa nezaposlenosti, prosečan broj članova domaćinstva, itd.) nije posmatrao, odnosno nisu postojali elementi za predviđanje budućih karakteristika komunalnog otpada (Beigl i dr., 2004).

Predviđanje budućeg trenda i promene u količini i sastavu otpada, praktično je nemoguće preciznije odrediti bez poznavanja potencijalnih uticajnih faktora na karakteristike otpada. Primena pojednostavljenih kvantitativnih pretpostavki, na primer korišćenje klasične ekstrapolacije isključivo na bazi poznatog trenda rasta stope generisanja otpada (Grafik 4.1), može imati za posledicu pogrešno dimenzionisano buduće postrojenje za tretman otpada (Beigl i dr., 2005).



Grafik 4.1 Primer moguće greške u predviđanju budućih količina otpada korišćenjem ekstrapolacije poznatog trenda podataka (Beigl i dr., 2005)

Prvi i najjednostavniji modeli za predviđanje promena u količini i sastavu otpada, bili su zasnovani na klasičnim metodama za određivanje prisutnosti i jačine povezanosti između promenljivih i podrazumevali su primenu regresione analize i sličnih statističkih metoda. Sa druge strane, moderne metode odnose se na ekspertske sisteme, fazi logiku, evolutivno programiranje, veštačke neuronske mreže i različite kombinacije ovih metoda (Dyson i Chang, 2005).

U okviru istraživanja, Beigl i dr. (2008), izvršen je pregled i grupisanje dostupnih metoda za modelovanje karakteristika otpada, pri čemu je pokazano da postoji veliki broj korišćenih tehnika modelovanja, različitih nivoa kompleksnosti u zavisnosti od problema koji se izučava. Modeli su grupisani na osnovu broja i karakteristika nezavisnih promenljivih, zatim veličine generatora otpada koji se posmatra, odgovarajućeg toka komunalnog otpada, i što je najvažnije na osnovu odabrane metode koja je korišćena za potrebe modelovanja karakteristika otpada (Tabela 4.1).

Modeli koji koriste isključivo jednu nezavisnu promenljivu uglavnom su zasnovani na primeni vremenske serije podataka, korelaciji i prosto regresionoj analizi, kao i poređenju grupe podataka. Zajednička karakteristika ovih modela jeste da je njihova validacija bazirana na konkretnim, tj. realnim podacima o otpadu.

Multivarijantne analize, kao što su višestruka regresiona analiza, sistemska dinamika i analiza zasnovana na principu ulaz-izlaz, predstavljaju daleko složenije metode s obzirom na veliki broj interakcije među odabranim parametrima. Iz tog razloga, veoma je teško, a ponekad i nemoguće izvršiti adekvatnu validaciju modela (Beigl i dr., 2008).

Tabela 4.1 Podela modela za modelovanje karakteristika otpada prema odabranim kriterijumima (Beigl i dr., 2008)

KRITERIJUMI			
Prema metodi modelovanja	Prema fazi životnog ciklusa na koji se odnose izabrane nezavisne promenljive	Prema veličini generatora otpada	Prema toku otpada
<ul style="list-style-type: none"> <li>Vremenska serija podataka</li> <li>Korelacija</li> <li>Prosta i višestruka regresiona analiza</li> <li>Poređenje grupe podataka</li> <li>Analiza na principu ulaz-izlaz</li> <li>Sistemska dinamika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proizvodnja i trgovina (plasman proizvoda na tržište)</li> <li>Potrošnju proizvoda</li> <li>Finalno odlaganje tj. tretman otpada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Domaćinstvo</li> <li>Naselje/Grad</li> <li>Oblast/Region</li> <li>Država</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kategorije komunalnog otpada (Papir, staklo, biorazgradivi...)</li> <li>Materijali/proizvodi</li> <li>Tokovi otpada koji se posebno sakupljaju (komunalni, građevinski, industrijski...)</li> </ul>

Karakteristike primenjenog modela u najvećoj meri zavise od odabranih nezavisnih promenljivih kojima se želi objasniti, odnosno naći zavisnost sa količinom i sastavom generisanog otpada. U okviru istraživanja Beigl i dr. (2008), varijable su grupisane u odnosu na 3 glavne faze u životnom ciklusu proizvoda, koji kasnije postaje otpad, odnosno na:

- Proizvodnju i trgovinu (plasman proizvoda na tržište)
- Potrošnju proizvoda
- Finalno odlaganje tj. tretman otpada.

Podaci koje se odnose na proizvodnju i trgovinu određenog materijala, odnosno proizvoda, na direktan ili indirektan način sadrže informaciju o količini nastalog proizvoda i tokovima otpada koji se generišu u ovoj fazi životnog ciklusa. S obzirom na to da su direktne informacije o količini, tj. masi proizvoda (materijala) u ovoj fazi slabo dostupne (Joosten i dr., 1999), uglavnom se koriste ekonomski pokazatelji, poput cene proizvoda (Dyson i Chang, 2005), ili pokazatelji ekonomskog stanja u jednoj državi izraženog preko BDP (Sufian i Bala, 2007; Liu i Yu, 2007; Chung, 2010), čime se indirektno može proceniti njegova količina.

Parametri koji se odnose na potrošnju materijala ili proizvoda u najvećoj meri reflektuju zavisnost između načina i uslova života sa karakteristikama otpada, odnosno potrošnje proizvoda. Ekonomski parametri koji spadaju u ovu grupu odnose se u najvećoj meri na prosečne zarade i pokazatelje o potrošnji domaćinstava na određene proizvode (Andersen i Larsen, 2012; Ojeda i dr., 2008; EEA, 1999; Daskalopoulos i dr., 1998).

U ostale značajne promenljive koje pokazuju zavisnost sa karakteristikama generisanog otpada spadaju tip stanovanja, veličina domaćinstva, stopa zaposlenosti, gustina naseljenosti i stepen urbanizacije (Dyson i Chang, 2005; Batinić i dr., 2011, 2012; Srivastava i Nema, 2008; Ponce i dr., 2004), kao i indikatori koji se odnose na zdravlje stanovništva i uslove života, kao što su očekivani životni vek, stopa mortaliteta, prosečna starost i slično (Batinić i dr., 2011; Beigl i dr., 2004, 2005). Treća grupa faktora povezuje elemente sistema upravljanja otpadom sa njegovim karakteristikama. Određena zavisnost postoji kada je u pitanju stopa reciklaže, vrsta i veličina kontejnera za sakupljanje otpada, naknade za upravljanje otpadom i slično (Sufian i Bala, 2007; Abuhress, 2013). Odabir odgovarajuće metode u velikoj meri zavisi i od posmatrane veličine uzorka, odnosno prostornog okvira koji se posmatra. Karakteristike generisanog otpada mogu da se posmatraju na nivou domaćinstva, na nivou gradova ili opština, ali isto tako i na nacionalnom nivou.

U zavisnosti od elementa istraživanja, razlikuju se i korišćeni parametri u cilju dobijanja zavisnosti sa karakteristikama otpada, pa se tako na primer broj članova domaćinstva, njihova prosečna starost i nivo obrazovanja češće koriste kada se želi utvrditi zavisnost sa karakteristikama generisanog otpada iz domaćinstava (Abuhress, 2013; Dyson i Chang, 2005), dok parametri poput gustine naseljenosti i tip stanovanja više odgovaraju kada se analizira otpad generisan na nivou određenog grada ili opštine (Batinić i dr., 2011. Srivastava i Nema, 2008). Parametri poput BDP-a ili prosečne potrošnje stanovništva, uglavnom se koriste kada se želi naći zavisnost sa karakteristikama otpada na nivou određene države (Andersen i Larsen, 2012).

Korišćeni modeli se razlikuju i u zavisnosti od posmatranog toka otpada, odnosno da li posmatrani model uključuje pojedinačne materijale ili frakcije komunalnog otpada (Joosten i dr., 1999; EEA, 1999; Batinić i dr., 2011) ili se posmatra komunalni otpad kao celina (Sufian i Bala, 2007; Liu i Yu, 2007; Biegl i dr., 2004, 2008; Srivastava i Nema, 2008). Takođe, moguće je modelovati i grupu određenih kategorija sličnih karakteristika, kao što su reciklabilni materijali ili organske komponente.

Ipak, suštinski najznačajnije razlike među istraživanjima koja podrazumevaju sagledavanje uticaja različitih socio-ekonomskih i demografskih parametara na fizičke karakteristike otpada, odnose se na primenjen pristup, odnosno odabranu metodu kojom se utvrđuje nivo zavisnosti i potencijal za predviđanje budućih karakteristika otpada.

U okviru istraživanja Dyson i Chang (2005), korišćen je model za predviđanje količine generisanog otpada u domaćinstvima urbanih područja grada San Antonio (SAD), baziran na sistemskoj dinamici kao metodi za proučavanje složenih sistema sa povratnim petljama. Kao uticajni faktori posmatrani su: stopa rasta populacije, prosečan broj stanovnika po domaćinstvu, prosečna primanja po domaćinstvu i indeks potrošačkih cena (CPI).

U radu Sufian i Bala (2007), takođe je korišćen isti metod za projekciju budućih količina komunalnog otpada u gradu Daka (Bangladeš), pri čemu je model koristio velik broj uticajnih parametara, uključujući ekonomske: opštinski budžet, BDP, prosečnu potrošnju po stanovniku, zatim socio-demografske: broj stanovnika, stopa rasta broja stanovnika, nivo javne svesti, ali i faktore u vezi sa sistemom upravljanja otpadom poput: procenta pokrivenosti organizovanim sakupljanjem otpada, količina reciklabilnih materijala i slično.

Jedan od relativno novih pristupa u sklopu modelovanja i predviđanja budućih karakteristika otpada predstavljen je u okviru istraživanja Liu i Yu (2007), gde je za potrebe predviđanja budućih količina generisanog otpada u kineskom gradu Šangaj korišćena metoda „sivog“ koeficijenta korelacije (engl. *Gray theory*). Ovaj pristup je pogodan za modelovanje u situacijama kada ne postoji dovoljan broj dostupnih podataka od interesa. Kod ove metode, promenljive su predstavljene vrednostima koje mogu da se menjaju u okviru određenog intervala („siva zona“) u zavisnosti od uticajnog faktora, odnosno promenljive su određene delimično poznatim i delimično nepoznatim informacijama. Posmatrani uticajni faktori bili su BDP, broj stanovnika, prosečna zarada, indeksi potrošnje gasa, vode i struje, koji su ujedno pokazali i najveći stepen korelacije sa količinom generisanog otpada.

Sličan pristup korišćen je prethodno i u istraživanju Chen i Chang (2000), pri čemu je dodatno korišćena i fazi logika koja dozvoljava i uključivanje promenljivih veličina definisanih na osnovu ekspertskog mišljenja. Model je primenjen na slučaju grada Tainan (Tajvan) u cilju predikcije količine generisanog otpada u budućem periodu od 10 godina. Za potrebe definisanja modela za projekciju količine generisanog komunalnog otpada za grad Meksikali (Meksiko), u radu Ojeda i dr. (2008), korišćene su tri nezavisne promenljive na nivou domaćinstava: stepen obrazovanja, broj ukućana i ukupna primanja po domaćinstvu. Primenom linearne regresije, pokazano je da postoji zavisnost između pomenutih nezavisnih promenljivih i količine generisanog komunalnog otpada na zadovoljavajućem nivou i da se ona može iskoristiti u cilju projekcije u budućnosti.

Za razliku od pomenutog rada, u istraživanju *Chung (2010)* se zbog velike međusobne zavisnosti odabranih parametara, umesto klasične linearne regresije, za projekciju karakteristika komunalnog otpada za Hong Kong do 2036. godine, koristio model baziran na autoregresiji. Odabrani parametri na bazi kojih se vršila projekcija budućih karakteristika komunalnog otpada bili su BDP po stanovniku, promena broja stanovnika i broj domaćinstava uključenih u program primarnog izdvajanja otpada.

Većina navedenih istraživanja odnosila se na posmatranje karakteristika komunalnog otpada i uticajnih faktora na nivou gradova. Istraživanje *Andersen i Larsen (2012)*, se odnosi na nivo države, konkretno Dansku. Prosečna potrošnja po stanovniku, BDP, nivo proizvodnje po privrednim sektorima, broj domaćinstava i količina energenata utrošenih za proizvodnju električne energije, su korišćenjem linearne funkcije modelovani u cilju projekcije ukupne količine čvrstog otpada koja će se generisati u ovoj državi, zaključno sa 2018. godinom.

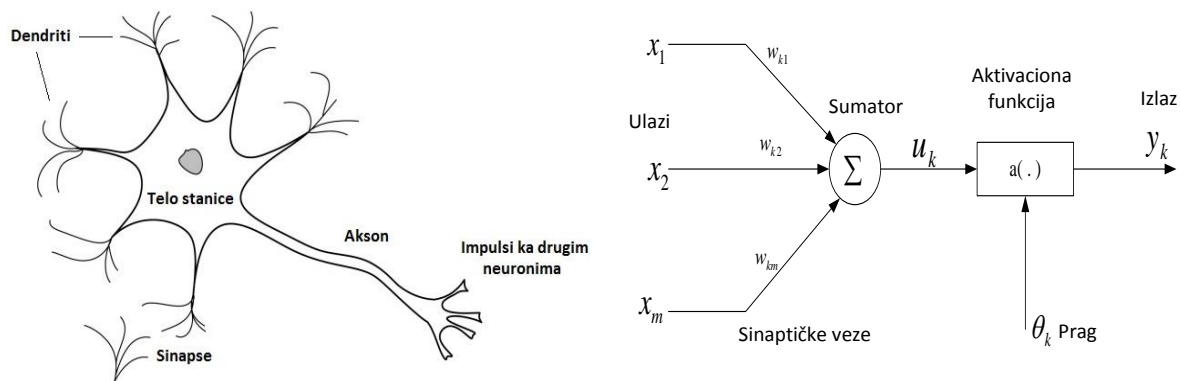
U sklopu rada *Navarro-Esbri i dr. (2002)*, posmatrana su dva modela za predviđanje količine generisanog otpada u tri različita evropska grada. U prvom modelu su rezultati o količini otpada posmatrani kao vremenska serija podataka, pri čemu je uz eliminisanje sezonskih uticaja na količinu generisanog otpada i primenom autoregresije, definisana linearna funkcija koja opisuje njihov trend. U drugom slučaju podaci o generisanju otpada posmatrani su kao jedan nelinearni dinamičan sistem opisan odgovarajućom polinomnom funkcijom. Poređenjem karakteristika primenjenih modela, pokazano je da su oba pokazala dobre performanse, uz napomenu da je za predviđanje rezultata na dnevnom i mesečnom nivou prvi model pogodniji.

Pored navedenih literaturnih istraživanja, koja su se uglavnom odnosila na projekciju generisanih količina otpada, postoje istraživanja koja se odnose i na predviđanje sastava komunalnog otpada. U konkretnom slučaju, *Srivastava i Nema (2008)*, model baziran na fazi regresiji, korišćen je u cilju određivanja budućeg sastava komunalnog otpada za Delhi (Indija) do kraja 2024. godine. U tu svrhu posmatrana je veza između prosečne zarade, BDP-a, ukupnog broja stanovnika i gustine naseljenosti sa prosečnim sastavom otpada, odnosno udelima otpada od hrane, papira, plastike, metala i stakla u ukupnom otpadu. Dobijeni rezultati pokazuju da će u posmatranom slučaju, udeo plastike porasti, dok će se udeo papira i otpada od hrane postepeno smanjivati u posmatranom periodu.

## 4.1 VEŠTAČKE NEURONSKE MREŽE KAO METOD ZA PREDVIĐANJE I KLASIFIKACIJU PODATAKA

Jedna od mogućih metoda za određivanje postojanja i jačine zavisnosti između karakteristika otpada i odabranih uticajnih faktora uz mogućnost projektovanja rezultata, zasnovana je na primeni veštačkih neuronskih mreža. Generalno posmatrano, veštačke neuronske mreže (VNM), nastale kao posledica razvoja informacionih tehnologija, postale su veoma korišćene u različitim realnim problemima, uključujući predviđanje i projekciju, aproksimaciju funkcija, grupisanje, klasifikaciju i mnoge druge. Princip funkcionisanja veštačkih neuronskih mreža je u opštem smislu zasnovan na osnovnim elementima funkcionisanja bioloških neuronskih mreža, odnosno veštačke neuronske mreže su pojednostavljeni matematički modeli funkcija ljudskog mozga (Suzuki, 2011; Kriesel, 2007; Bašić i dr., 2008).

Ljudski mozak i biološku neuronsku mrežu čini oko  $10^{11}$  nervnih ćelija, tj. neurona, raspoređenih prema definisanom rasporedu u skladu sa funkcijom koju obavljaju, pri čemu je u proseku svaki neuron povezan sa  $10^4$  drugih neurona, čineći na taj način ukupno oko  $10^{15}$  konekcija (Kriesel, 2007; Bašić i dr., 2008). Na Slici 4.2, prikazana su četiri osnovna elementa svakog neurona, odnosno: telo (soma), skup razgranatih ulaznih i izlaznih niti (dendriti), mali kanali za prenos impulsa (akson), kao i spojevi sa dendritima drugih neurona (sinapse).



Slika 4.2 Osnovni elementi biološke i veštačke neuronske mreže (Bašić i dr., 2008; Fedajev i dr., 2009)

Svaki neuron u sebi sadrži informaciju u obliku električnog potencijala između spoljašnjeg i unutrašnjeg dela tela neurona. Informacije od drugih neurona se u obliku sinaptičkog potencijala prenose putem sinapsi, čime se povećava ili smanjuje ukupni postojeći potencijal u telu neurona. Ukoliko ovaj potencijal dostigne određenu vrednost, šalje se informacija putem novog „aktivacionog“ potencijala, koji u zavisnosti od svoje veličine aktivira odgovarajuća hemijska jedinjenja, odnosno neurotransmitere. Ovako pojednostavljen princip funkcionisanja bioloških neuronskih mreža omogućava izvođenje vrlo važnih funkcija kao što su razmišljanje, učenje, emocije, percepcija, motorika i slično (Kriesel, 2007; Pfeifer i dr., 2010; Popčević i dr., 2012).

Funkcionisanje veštačkih neuronskih mreža zasnovano je na sličnom principu, pri čemu telo neurona predstavlja sumator, ulazne promenljive veličine imaju ulogu dendrita, dok je izlazna veličina akson. Aktivaciona funkcija je u ovom slučaju odgovarajuća matematička funkcija dobijena obradom ulaznih parametara (Slika 4.2). Funkciju sinapsi u slučaju veštačkog neurona preuzimaju tzv. težinski faktori na taj način što povezuju izlazne promenljive iz dugog neurona sa ulazima posmatranog sumatora. Težinski faktori su predstavljeni pozitivnim ili negativnim brojem, pri čemu je intenzitet veze definisan veličinom, tj. iznosom samog težinskog faktora (koeficijenta), a vrsta te veze predznakom.

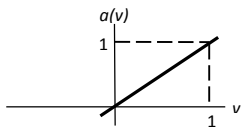
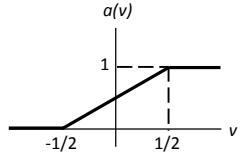
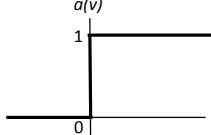
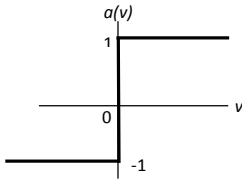
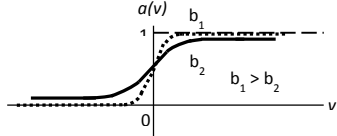
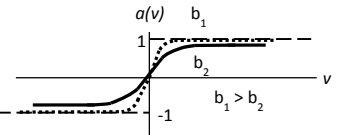
Matematički opisano, ukoliko su ulazne vrednosti u neuron predstavljene realnim brojevima  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) i ako se svaka ulazna vrednost množi sa odgovarajućim težinskim koeficijentom  $w_{ki}$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), tada se zbirna vrednost  $u_k$ , dobijena sabiranjem ponderisanih ulaza može predstaviti sledećim matematičkim izrazom:

$$u_k = \sum_{i=1}^m w_{ki} x_i \quad \text{Formula 4.1}$$

Ovako dobijena suma  $u_k$  obrađuje se pomoću funkcije prenosa ( $a$ ), tj. aktivacione funkcije  $f_{(u_k)}$ . Vrednost izlaza  $y_k$ , dobija se oduzimanjem vrednosti praga aktivacije  $\theta_k$  od vrednosti  $u_k$ , odnosno:

$$y_k = a(u_k - \theta_k) \quad \text{Formula 4.2}$$

Tabela 4.2 Prikaz najčešće korišćenih aktivacionih funkcija u okviru neuronskih mreža (Wilde, 1998)

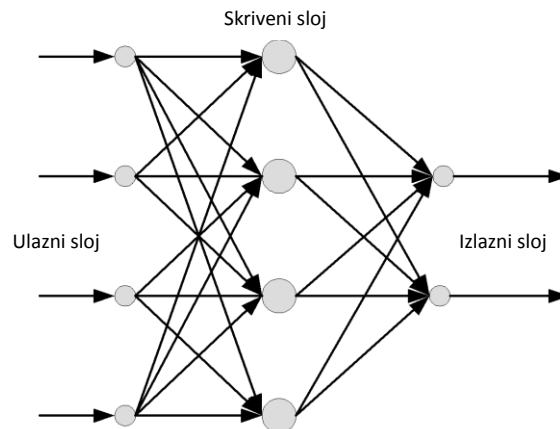
Tip aktivacione funkcije	Izgled funkcije	Matematički izraz
Linearna funkcija		$a(v) = v$
Funkcija linearna po delovima		$a(v) = \begin{cases} 1, & v \geq \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} + v, & -\frac{1}{2} < v < \frac{1}{2} \\ 0, & v \leq -\frac{1}{2} \end{cases}$
Funkcija praga		$a(v) = \begin{cases} 1, & v \geq 0 \\ 0, & v < 0 \end{cases}$
Bipolarna aktivaciona funkcija praga		$a(v) = \begin{cases} 1, & v \geq 0 \\ 0, & v = 0 \\ -1, & v < 0 \end{cases}$
Sigmoidalna (logistička) funkcija		$a(v) = \frac{1}{1 + e^{(-bv)}}$
Bipolarna sigmoidalna funkcija		$a(v) = \tanh\left(\frac{v}{2}\right) = \frac{1 - e^{(-v)}}{1 + e^{(-v)}}$

Kod veštačke neuronske mreže, neuroni su obično raspoređeni po grupama ili slojevima u kojima se paralelno obrađuju informacije. Klasična neuronska mreža se najčešće sastoji od nekoliko slojeva, pri čemu je prvi uvek ulazni, a poslednji izlazni sloj, dok se jedan ili više međuslojeva nazivaju skriveni slojevi. Ulazni sloj služi za učitavanje podataka iz okoline, izlazni sloj prikazuje rezultat mreže za zadani ulaz, dok se unutar skrivenih slojeva definiše odgovarajuća prenosna funkcija.

Funkcije prenosa ili aktivacione funkcije mogu biti linearne, ali i nelinearne, što je od posebnog značaja ako se ima u vidu da je kod većina realnih problema koji se izučavaju, priroda veze između posmatranih ulaza i izlaza nelinearna (Kriesel, 2007; Popčević i dr., 2012). Najjednostavnija aktivaciona funkcija je linearna funkcija, kod koje je izlaz iz posmatranog neurona jednak težinskoj sumi njegovih ulaza. Korišćena funkcija može biti i linearna po delovima, odnosno kada su zadate vrednosti u okviru određenog intervala predstavljane linearnom funkcijom, dok se svim preostalim vrednostima (iznad i ispod tog intervala) dodeljuje maksimalna, odnosno minimalna vrednost.

Za ulazne vrednosti pri kojima se funkcija ponaša linearno se uglavnom uzima interval od -0,5 do +0,5, dok se za sve preostale ulazne vrednosti iznad i ispod pomenutog intervala dodeljuje 1, odnosno 0. Kod funkcije skoka ili praga, se svim vrednostima koje pređu određenu granicu (prag) dodeljuje neka fiksna vrednost, dok se sve vrednosti koje se nalaze ispod zadate granice preslikavaju u nulu. Najčešće se za vrednost praga uzima 0, dok se svim vrednostima iznad definisanog praga dodeljuje broj 1, čime se dobija binarni izlaz iz neurona. Kada je izlaz funkcije određen intervalom od -1 do 1, tada je reč bipolarnoj aktivacionoj funkciji. Sigmoidna ili logistička funkcija spada u grupu najčešće korišćenih aktivacionih funkcija, pre svega zbog činjenice da je derivabilna, odnosno uključuje i parametar „b“ kojim se određuje nagib funkcije. Sigmoidna funkcija u stvari ima slične karakteristike kao i funkcija praga, uz postojanje područja nesigurnosti unutar određenog intervala što je čini najčešće korišćenom aktivacionom funkcijom.

Pored različitih tipova aktivacionih funkcija, neuronske mreže mogu se razlikovati i po načinu na koji su neuroni povezani u mreži, odnosno od načina na koji su neurona grupisani u slojeve posmatrane mreže. Najjednostavnije mreže mogu biti predstavljene samo sa dva osnovna sloja, ali se svaka složenija funkcija realizuje sa najmanje jednim skrivenim slojem. Broj slojeva i način na koji su organizovani, tj. povezani slojevi unutar neuronske mreže, određuje njenu arhitekturu, odnosno topologiju.



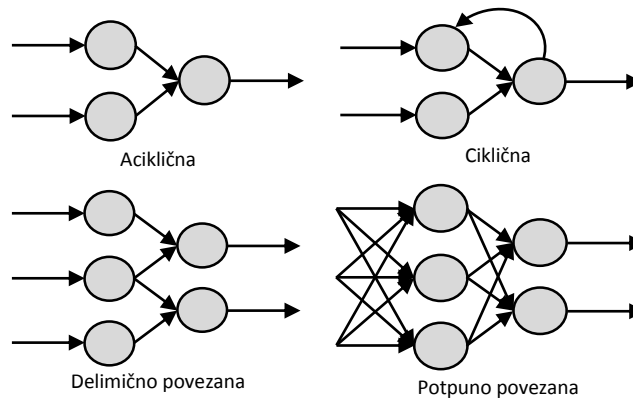
Slika 4.3 Šematski prikaz neuronske mreže sa tri sloja (Milosavljević, 2005)

U zavisnosti od broja slojeva, neuronske mreže se dele na jednoslojne i višeslojne. Iako pored izlaznog sloja neurona, jednoslojna mreža sadrži i ulazni sloj, on se suštinski ne računa jer unutar njega nema matematičkih operacija. Ulazi u mrežu predstavljaju ujedno i ulaze neurona izlaznog sloja, a izlazi neurona predstavljaju i izlaz mreže. Takođe, ne postoje povratne veze s izlaza na ulaz.

Višeslojne neuronske mreže, imaju jedan ili više skrivenih slojeva, pri čemu se upravo u ovim slojevima obrađuju informacije i krajnji rezultat prosleđuje neuronima izlaznog sloja (Ponce i dr., 2004; Kriesel, 2007). Izlazi neurona iz posmatranog skrivenog sloja predstavljaju istovremeno i ulaze narednog skrivenog sloja. Po istom principu se posmatra svaki naredni skriveni sloj, sve dok se ne dođe do krajnjeg, tj. izlaznog sloja. Na Slici 4.3. prikazan je opšti tip višeslojne mreže sa jednim skrivenim slojem.

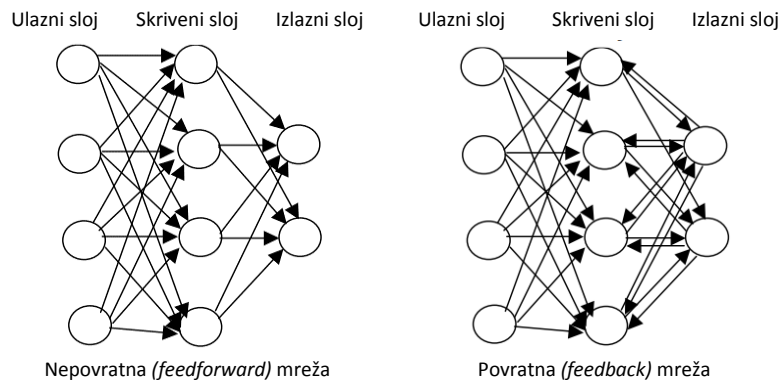


Neuronske mreže se u zavisnosti od korišćene veze među neuronima različitih slojeva, u opštem smislu dele se na aciklične i ciklične, odnosno potpuno i delimično povezane neuronske mreže (Slika 4.4). Za razliku od acikličnih, ciklične mreže sadrže povratne veze između neurona susednih slojeva. Ako je svaki neuron prethodnog sloja povezan sa svakim neuronom narednog sloja, reč je o potpuno povezanoj neuronskoj mreži, a kada to nije nužno pravilo radi se o delimično povezanoj neuronskoj mreži (Popčević i dr., 2012).



Slika 4.4 Tipovi mreža u zavisnosti od vrste veze između neurona (Popčević i dr., 2012)

Prema smeru prostiranja informacija kroz neuronsku mrežu, one se mogu podeliti na nepovratne i povratne mreže. Kod nepovratne ili nerekurzivne mreže (engl. *Feedforward*) se prostiranje informacija vrši samo u jednom smeru, odnosno od ulaza ka izlazu. Ovo znači da posmatrani neuron prenosi informaciju, tj. utiče isključivo na neuron koji se nalazi u narednom sloju bliže izlazu. Nepovratne mreže obično za zadati ulaz daju brz odgovor na izlazu i pogodne su za prepoznavanje oblika.



Slika 4.5 Vrste neuronskih mreža u zavisnosti od smeru prostiranja informacija (Lojanica, 2001)

Povratne ili rekurzivne mreže (engl. *Feedback*) dozvoljavaju mogućnost da se informacije sa viših slojeva vraćaju u niže slojeve ili isti sloj. Povratne mreže imaju mnogo veće procesne sposobnosti od nerekurzivnih mreža, zbog čega se koriste za rešavanje dinamičkih problema, ali im je zbog svoje kompleksnosti potrebno više vremena da generišu izlaz.

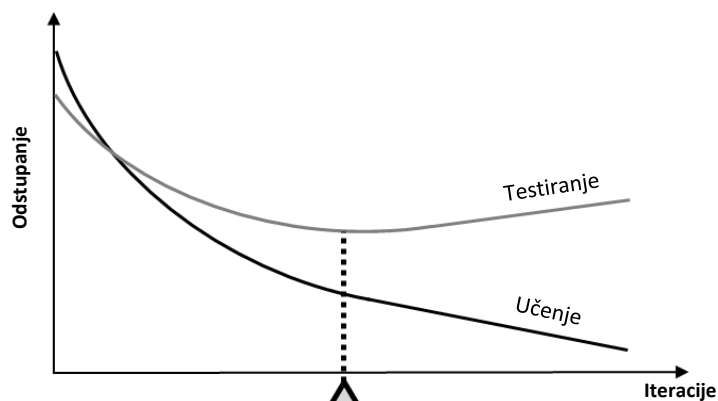
Dve osnovne faze na kojima je baziran princip rada neuronskih mreža se odnose na fazu učenja i fazu testiranja. Poznavanje izlaznih informacija kao funkcije ulaza, sadržane su u sklopu težinskih koeficijenata koji se kroz proces učenja postepeno prilagođavaju sve dok izlaz iz neuronske mreže koji se proverava u okviru grupe podataka odabranih za testiranje, ne da zadovoljavajuću vrednost. Proces učenja kod neuronskih mreža, predstavlja proces menjanja težinskih faktora u mreži, koji nastaje kao posledica upoređivanja dobijene vrednosti sa željenom, sve dok se podešavanjem težina i vraćanjem na prvi korak ne dobiju odgovarajuće izlazne vrednosti (Ponce i dr., 2004; Bašić i dr., 2008).

Da bi se proces učenja adekvatno odvijao, neophodno je da se definišu ulazne i izlazne varijable, kao i da se izvrši grupisanje podataka na tri skupa, tačnije skup podataka za treniranje, testiranje i konačnu proveru tj. validaciju. Preporuka je da se najveći deo podataka iskoristi za potrebe treniranja mreže (oko 70%), dok je ostatak namenjen za potrebe testiranja i validacije. Uglavnom se vrši slučajan odabir podataka, osim u slučajevima kada se radi o vremenskim serijama podataka (Popčević i dr., 2012).

Korišćen algoritam, odnosno tip učenja u okviru neuronskih mreža može biti:

1. Učenje koje se nadgleda (nadgledano učenje) - kod kojeg su poznate sve vrednosti izlaznih varijabli u okviru skupa za treniranje. Razlika između dobijenih i realnih vrednosti se koristi za podešavanje težinskih faktora u mreži. Konvergencijom greške, odnosno smanjivanjem razlike između željene i izračunate vrednosti, povećava se uspešnost učenja
2. Učenje koje se ne nadgleda (nenadgledano učenje) - gde vrednosti izlaznih varijabli iz skupa za učenje nisu poznate. Ova vrsta učenja je samoorganizujućeg tipa, odnosno mreži se predstavljaju samo stimulatívni ulazi, na bazi kojih se mreža interno organizuje i daje izlaze čiji kvalitet i korisnost određuje osoba koja trenira mrežu.

Podešavanje težinskih faktora u mreži, odnosno faza učenja se odvija kroz više iteracija, odnosno prolaza kroz mrežu. Pod iteracijom se podrazumeva podešavanje jednog izlaznog vektora u odnosu na ulazni, pri čemu se često u tokom jedne iteracije obrađuje i više paralelnih podešavanja, što se onda naziva epoha (Lojanica, 2001; Bašić i dr., 2008). Mreže se obično treniraju u nekoliko hiljada iteracija, uz napomenu da mreža može i da se „pretrenira“, odnosno da izgubi sposobnost obrade onih podataka koji se nalaze izvan grupe podataka za učenje.



Slika 4.6 Prikaz odstupanja stvarnog izlaza kroz iteracije (Bašić i dr., 2008)

Posmatranjem izlaza koje mreža daje za odgovarajuće ulazne vrednosti iz skupa za testiranje, može se odrediti iteracija u kojoj izlazna veličina ima najmanje odstupanje u odnosu na željenu vrednost (Slika 4.6). Konačna provera tačnosti i preciznosti obrade podataka vrši se u okviru skupa za validaciju. Drugu ključnu fazu u radu neuronske mreže predstavlja njeno testiranje, odnosno ocenjivanje performansi posmatrane mreže. Za razliku od faze treniranja, u ovoj fazi se više ne odvija proces učenja, već se samo posmatraju konačni težinski koeficijenti dobijeni kao krajnji rezultat prethodne faze. Proces testiranja sprovodi se tako što se mreži predstavljanju nove ulazne varijable koje nisu učestvovala u procesu učenja, nakon čega se posmatra kakav izlaz je dala mreža na zadati ulaz u odnosu na stvarnu izlaznu vrednost. Na osnovu izračunate greške, vrši se ocenjivanje neuronske mreže.

Mogućnost primene neuronske mreže u domenu predviđanja budućih podataka, određuje se na osnovu izračunate greške koju daje mreža u okviru skupa podataka odabranih za validaciju (Suzuki, 2011; Kriesel, 2007). Najčešće vrste grešaka koje se koriste u cilju evaluacije uspešnosti određene neuronske mreže su koren srednje kvadratne greške (RMSE) i srednja apsolutna greška (MAE), kao i koeficijent korelacije ( $r$ ), odnosno koeficijent determinacije ( $r^2$ ).

Koren srednje kvadratne greške (engl. *Root mean squared error - RMSE*) - koristi se kao mera razlike vrednosti prognoziranih modelom i realnih vrednosti. Definiše se kao kvadratni koren srednje kvadratne greške (engl. *Mean squared error - MSE*), odnosno:

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - y_i)^2} \quad \text{Formula 4.3}$$

pri čemu u okviru  $n$  posmatranih vrednosti,  $f_i$  predstavljaju prognozirane, dok  $y_i$  predstavljaju izmerene vrednosti. RMSE se izražava u jedinicama promenljive, što omogućava lakšu interpretaciju, dobijenih rezultata odnosno karakteristika modela. Što je koren srednje kvadratne greške manji, to je preciznost modela veća.

Srednja apsolutna greška (engl. *Mean absolut error - MAE*) - odnosi se na srednju vrednost apsolutnih vrednosti razlika vrednosti prognoziranih modelom i realnih vrednosti ( $e_i$ ), odnosno:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - y_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad \text{Formula 4.4}$$

Srednja apsolutna greška je praktična za evaluaciju modela, s obzirom na to da prati intuiciju korisnika izražavajući vrednost greške u istim jedinicama kao i promenljiva koja je predmet modelovanja. Srednja apsolutna greška - MAE teži ka nuli, što se dešava u idealnom slučaju kada ne postoji razlika između modelovanih i realnih vrednosti.

Srednja apsolutna procentualna greška (engl. *Mean absolute percentage error - MAPE*) - predstavlja meru tačnosti predviđenih vrednosti u odnosu na izmerene, izraženu u procentima:

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - f_i|}{|y_i|} \quad \text{Formula 4.5}$$

Za razliku od prethodna dva tipa greške, MAPE se ne izražava u jedinicama promenljive, već se posmatra srednja vrednost procentualne razlike između svih realnih i modelovanih vrednosti. Srednja apsolutna procentualna greška teži da ima vrednost nula kada su predviđene vrednosti bliže izmerenim vrednostima.

Koeficijent korelacije ( $r$ ) - predstavlja statističku meru povezanosti prognoziranih vrednosti dobijenih modelom i realnih vrednosti, odnosno reflektuje stepen linearne korelacije između izmerene i prediktovane vrednosti. Računa se pomoću sledećeg izraza:

$$r = \frac{n \sum f_i y_i - \sum f_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum f_i^2 - (\sum f_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad \text{Formula 4.6}$$

Koeficijent korelacije se kreće u intervalu od 1 (idealna pozitivna linearna korelacija promenljivih), do -1 (idealna negativna linearna korelacija promenljivih). Ukoliko je vrednost koeficijenta korelacije  $r=0$ , tada se radi o nezavisnim promenljivima. U slučajevima kada se želi izraziti u kojoj meri promene vrednosti jedne promenljive utiču na promenu vrednosti druge promenljive, koristi se koeficijent determinacije ( $r^2$ ). Koeficijent determinacije označava u kom procentu se varijacija zavisne promenljive može objasniti linearnom vezom sa nezavisnom promenljivom.

#### 4.1.1 PRIMENA VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA U OBLASTI UPRAVLJANJA OTPADOM

Veštačke neuronske mreže predstavljaju pogodan metod za definisanje zavisnosti među varijablama i njihovu projekciju u mnogim oblastima istraživanja, pre svega zbog dobrih performansi ali i relativno jednostavnog načina implementacije. S obzirom na to da se neuronske mreže primenjuju za rešavanje problema kod kojih rešenja nisu u potpunosti određena, kao i problema koji se odnose na predviđanje i projekciju određene grupe parametara, nemoguće je očekivati da dobijena rešenja budu apsolutno tačna. Ipak i pored ove činjenice, neuronske mreže pronalaze široku primenu u mnogim područjima ljudske aktivnosti i oblasti istraživanja kao što su obrada signala, analiza podataka, prepoznavanje govora, predviđanje kretanja na tržištu, analizi medicinskih testova, uključujući i oblast zaštite životne sredine, predikcije kontaminacije i slično (Ponce i dr., 2004; Mas i dr., 2004; Kriesel, 2007; Vujić, 2009).

Mogućnost primene veštačkih neuronskih mreža u različitim segmentima upravljanja otpadom, takođe je potvrđena je kroz veliki broj istraživanja. U radu Dong i dr. (2003), posmatrana je zavisnost između morfološkog sastava otpada i njegove donje toplotne moći u cilju povećanja efikasnosti procesa sagorevanja u insineratorima komunalnog otpada. Takođe, nepovratna neuronska mreža iskorišćena je za predviđanje toplotne moći komunalnog otpada na bazi njegovog sastava.

Slično istraživanje, sa ciljem procene donje toplotne vrednosti različitih komponenti u otpadu, odnosno određivanja stvarne raspoložive energije koja može da se pretvori u toplotu ili električnu energiju, opisano je u radu Ogwueleka T. i Ogwueleka F. (2010). U ovom slučaju, korišćen je tip neuronske mreže sa prostiranjem greške unazad (engl. *Back propagation algorithm*). Poređenjem stvarnih i projektovanih vrednosti u okviru skupa za treniranje i validaciju, srednja apsolutna greška iznosila je manje od 9,4%.

Predviđanje karakteristika procesa gasifikacije u zavisnosti od sastava otpada, je u okviru istraživanja Xiao i dr. (2009), takođe izvršeno primenom veštačkih neuronskih mreža. Ulazne parametre predstavljalo je pet različitih kategorija komunalnog otpada i temperatura topljenja, dok su izlazni parametri donja toplotna moć i količina nastalog gasa. Poređenjem stvarnih i predviđenih vrednosti, primenjena neuronska mreža je pokazala grešku od 15% na obučavajućem skupu.

Neuronska mreža sa 4 neurona u ulaznom sloju, 10 u skrivenom i 1 neuronom na izlazu, primenjena je u okviru istraživanja, Ozcan i dr. (2006), gde je izvršena projekcija očekivane količine metana u okviru deponijskog gasa koji nastaje na deponiji komunalnog otpada. Ulazni parametri predstavljali su rezultate jednogodišnjeg praćenja koncentracije metana (CH<sub>4</sub>), ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>), kiseonika (O<sub>2</sub>), i temperature na deponiji. Koeficijent korelacije između izmerenih i projektovanih vrednosti u okviru obučavajućeg skupa iznosio je visokih 0,98.

Ipak, najveću primenu u oblasti upravljanja otpadom neuronske mreže imaju kada je reč o sagledavanju uticajnih faktora na količinu i sastav otpada, kao i predviđanje budućih karakteristika otpada. U okviru istraživanja Ponce i dr. (2004), pomoću višeslojne neuronske mreže posmatrana je zavisnost između socio -demografskih parametara i količine generisanog otpada, pri čemu je dobijen veoma velik koeficijent korelacije ( $r = 0,9$ ). Na bazi dobijene zavisnosti izvršena je i projekcija količine generisanog otpada za period 2004. - 2010. godina.

Nešto manja vrednost koeficijenta korelacije ( $r = 0,86$ ) dobijena je u sklopu istraživanja Zade i Noori (2008), gde je vremenska serija podataka o generisanim količinama otpada obrađena pomoću nepovratne neuronske mreže. Na sličan način, odnosno korišćenjem vremenske serije podataka, tačnije količine generisanog otpada na mesečnom nivou u periodu od 2000 do 2010. godine za grad Mašad (Iran) definisani su ulazni parametri u višeslojnu neuronsku mrežu u okviru istraživanja Abdoli i dr. (2012).

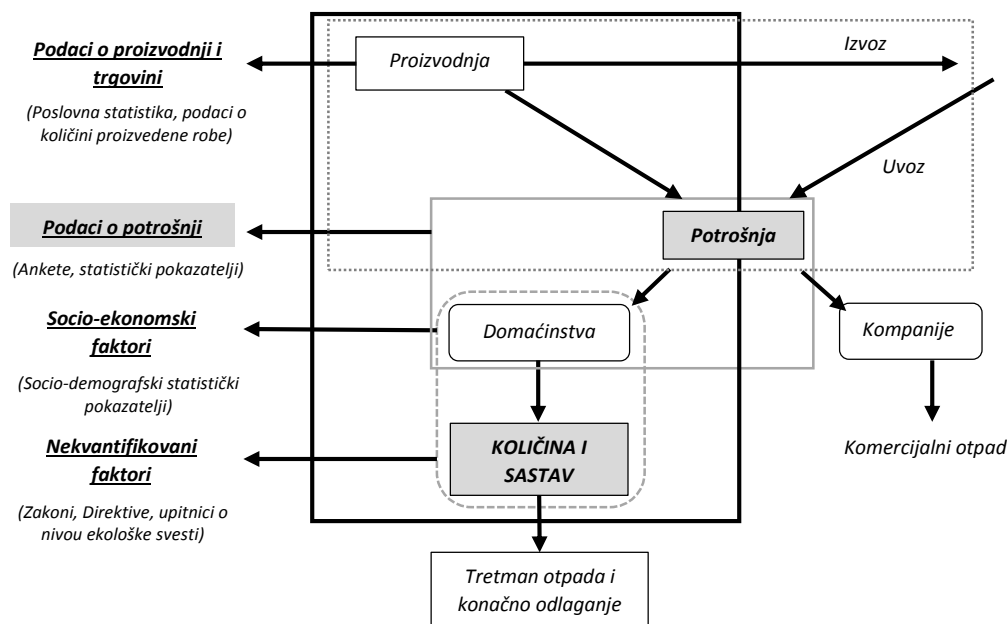
Još jedan primer korišćenja vremenske serije podataka, opisan je u radu *Shahabi i dr. (2012)*, gde je primenom nepovratne višeslojne neuronske mreže u okviru skupa za testiranje dobijen koeficijent determinacije od  $r^2 = 0,65$  i srednja apsolutna greška od 2,17%. U radu *Kumar i dr. (2011)*, predviđanje količine generisanog otpada za grad Eluru (Indija) u periodu od 2010 do 2026. godine izvršeno je primenom neuronske mreže na bazi radijalne funkcije, pri čemu su ulazne promenjive bile ukupan broj stanovnika, procenat urbanog stanovništva i nacionalni BDP.

Predviđanje količine generisanog otpada u budućem periodu na nacionalnom nivou bilo je predmet istraživanja *Anastasijević i dr. (2013)*, gde su podaci o količini generisanog otpada za 26 evropskih zemalja iskorišćeni za predikciju ukupno generisane količine komunalnog otpada za slučaj Bugarske i Srbije. Pored predviđanja količine otpada u budućem periodu, neuronske mreže moguće je koristiti i kada je u pitanju projekciju budućeg sastava otpada, kao što je opisano u istraživanju *Batinić i dr. (2011)*, gde je na bazi četiri različita socio-ekonomskih parametara, odnosno ulaza u višeslojnu neuronsku mrežu, izvršeno predviđanje zastupljenosti šest osnovnih kategorija komunalnog otpada za Srbiju, zaključno sa 2026. godinom. Primenjena mreža je u okviru skupa za testiranje pokazala srednju apsolutnu grešku od 5,32%.

## 5. DEFINISANJE MODELA ZA PREDVIĐANJE KOLIČINA AMBALAŽNOG I BIORAZGRADIVOG KOMUNALNOG OTPADA I ZASTUPLJENOSTI OPCIIJA TRETMANA OTPADA

Postoje različiti pristupi i metode za procenu budućih karakteristika otpada. Mnogobrojna istraživanja, sprovedena u poslednjih 15-ak godina, uticala su na povećanje razumevanja karakteristika veze između količine i sastava otpada sa jedne i socio-ekonomskih aspekata sa druge strane (Beigl i dr., 2008). Međutim i pored velikog broja različitih metodologija i pristupa, ne postoji niti jedan univerzalan, koji bi svojim performansama omogućio rešavanje širokog spektra problema predviđanja budućih karakteristika otpada na dovoljno zadovoljavajućem nivou. Iz tog razloga, definisanje pogodne metode u velikoj meri zavisi od problema koji se istražuje, odnosno rezultata (ciljeva) koji se žele postići.

Da li će neki materijal i u kojoj meri postati otpad, zavisi od velikog broja faktora, koji mogu da se grupišu u: ekonomske, sociološke, kulturološke, klimatske, zakonodavne i druge faktore (Sufian i Bala, 2007; Liu i Wu, 2010; Kum i dr., 2005). Zbog prirode pomenutih faktora, može se zaključiti da količina i sastav otpada u znatnoj meri variraju u odnosu na posmatranu prostornu (geografsku) i vremensku dimenziju (Dong i dr., 2003; Srivastava i Nema, 2008; Christensen, 2011).



Slika 5.1 Prikaz načina za procenu karakteristika otpada indirektnim putem i uticajni faktori (Beigl i dr., 2003)

Prema Biegl i dr. (2003), prethodna istraživanja, odnosno studije koje su sprovedene u cilju određivanja uticaja određenog faktora (ili grupe faktora) na buduće karakteristike komunalnog otpada (ili njegovih segmenata, npr. reciklabila) mogu se klasifikovati na:

1. Istraživanja bazirana na podacima o proizvodnji i trgovini dobara
2. Posmatranje potrošnje domaćinstava
3. Analiza demografskih i socio-ekonomskih parametara
4. Korišćenje nekvantifikovanih faktora (Zakoni, Direktive i slično)
5. Istraživanja zasnovana na kombinaciji dva ili više prethodnih pristupa.

### 1. Istraživanja koja su bazirana na podacima o proizvodnji i trgovini dobara

Ovakva istraživanja u literaturi u najvećem broju slučajeva podrazumevaju praćenje određene grupe proizvoda od faze nastajanja, odnosno dok su još u obliku sirovine, pa sve do faze konačne potrošnje i prelaska u određenu kategoriju otpada. U tu svrhu najčešće se koriste nacionalne statističke baze podataka iz sektora proizvodnje i ekonomskih aktivnosti.

Ovakvi modeli se uglavnom koriste za praćenje određenih tokova otpada poput papira, plastike, metala i slično na nacionalnom nivou. Nepostojanje podataka od interesa ili njihova netačnost, kao i upotreba različitih definicija za istu grupu proizvoda predstavljaju glavna ograničenja primene ovakvih metoda.

### 2. Posmatranje potrošnje domaćinstava

Podaci o potrošnji domaćinstava pružaju informaciju o nacionalnom proseku potrošnje domaćinstava na različite vrste dobara i usluga. Kroz literaturu, veza između potrošnje domaćinstva na određen proizvod i generisanja komunalnog otpada uglavnom se koristi za projekciju budućih količina određene vrste komunalnog otpada na nacionalnom nivou. U tu svrhu, najčešće se koriste vremenske serije podataka uz primenu regresione analize.

### 3. Analiza demografskih i socio-ekonomskih parametara

Uticaj demografskih i socio-ekonomskih faktora na karakteristike otpada su analizirani u brojnim studijama, uglavnom na bazi upitnika tj. ankete sprovedene na nivou domaćinstva ili područja određenog naselja. U tu svrhu, u najvećem broju slučajeva se vrši analiza količine i sastava otpada i prikupljaju željeni demografski i socio-ekonomski podaci.

Podaci se analiziraju primenom deskriptivne statistike i metoda klasifikacije. Rezultati pokazuju relevantnost određenih indikatora na karakteristike otpada, kao što su veličina domaćinstva, primanja domaćinstva, tip stanovanja i način grejanja i slično. Najveći broj istraživanja je baziran na pojedinačnim i nestandardizovanim studijama slučaja.

### 4. Korišćenje nekvantifikovanih faktora (Zakoni, Direktive, i sl.)

Određen broj istraživanja, baziran je na posmatranju nekvantifikovanih faktora kao što su ekološka svest, Zakoni, Pravilnici i slično, u odnosu na karakteristike otpada. Iako je uticaj pomenutih faktora nesumnjiv, što potvrđuju i literaturna istraživanja, najveći problem kod ovakvih modela predstavlja kvantifikovanje, odnosno pretvaranje ovih deskriptivnih faktora u oblik pogodan za statističku obradu.

U konkretnom slučaju, neophodno je da se definiše odgovarajući model u cilju procene budućih količina biorazgradive i ambalažne frakcije u okviru komunalnog otpada u Republici Srbiji. Prvi korak predstavlja odabir odgovarajućih faktora, odnosno ulaznih parametara koji pokazuju visok stepen zavisnosti i korelacije u odnosu na generisanje pomenuta dva toka komunalnog otpada.

Međutim, iako se može reći da je ovo najvažniji preduslov, nije i jedini dovoljan za definisanje odgovarajućeg modela. Na primer, određeni parametri ne postoje na nacionalnom nivou, neki nisu uporedivi za različite zemlje, za neke je trend u budućem periodu nedovoljno pouzdan, a neki su previše složeni i neadekvatni za buduće korišćenje i slično. Zbog toga, u cilju definisanja što uspešnijeg modela, potrebno je izvršiti određenu vrstu preselekcije potencijalnih ulaznih parametara i njihovog broja.

Preduslovi koje su potencijalni faktori trebali da ispune kako bi bili iskorišćeni za definisanje modela ambalažnog i biorazgradivog otpada, ogledali su se u sledećem:

- a. Pregledom literature i dosadašnjih istraživanja, utvrditi da posmatrani faktor pokazuje dobar nivo zavisnosti u odnosu na generisanje komunalnog otpada u celosti ili za njegove ambalažne i biorazgradive komponente
- b. Pošto je cilj istraživanja određivanje budućih karakteristika otpada na nivou države, neophodno je koristiti vrednosti, tj. parametre koje postoje na nacionalnom nivou
- c. Mogućnost predviđanja trenda potencijalnih ulaznih parametra treba da bude relativno laka, kako bi se na osnovu njih moglo izvršiti i predviđanje izlaznih parametra od interesa
- d. Broj ulaznih faktora treba pažljivo odrediti, a pre svega neophodno je izbeći mogućnost kolinearnosti ulaznih parametara, odnosno njihovog značajnog međusobnog uticaja, jer se na taj način slabe karakteristike modela
- e. Poželjno je da ulazni faktor bude relativno lako dostupan za eventualne buduće korisnike, odnosno da ulazna vrednost ne predstavlja određenu komplikovan matematički izraz ili definiciju.
- f. Ulazni parametar treba da je komparativan na međunarodnom nivou, odnosno da je dostupan i ima isto značenje za sve posmatrane zemlje
- g. Poželjno je da potencijalni parametri sami po sebi imaju kvantifikovane vrednosti, odnosno da se izbegne subjektivno određivanje vrednosti za dati parametar (npr. kvantifikacija nivoa javne svesti).

Sagledavanjem navedenih uslova, u cilju definisanja modela za predviđanje budućih količina ambalažnog i biorazgradivog otpada u Republici Srbiji, odabrani su ulazni parametri bazirani na potrošnji domaćinstva.

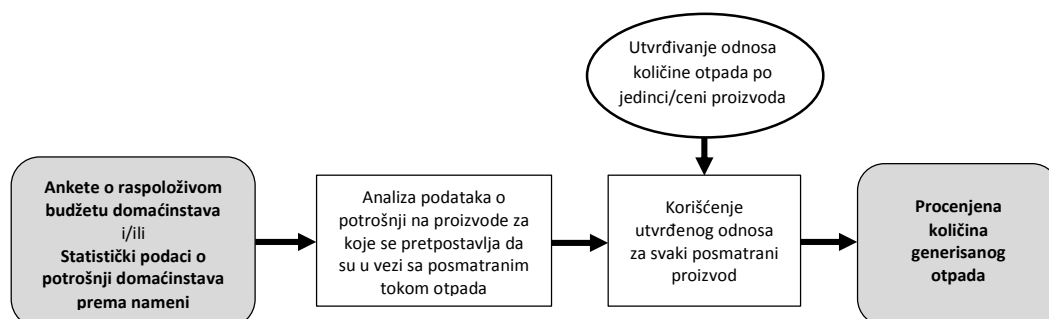
Ukupna potrošnja domaćinstava, prema definiciji *RZS (2010)*, predstavlja potrošnju domaćinstava na proizvode i usluge lične potrošnje za sledeće namene:

- Hrana i bezalkoholna pića
- Alkoholna pića i duvan
- Odeća i obuća
- Stanovanje, voda, struja, gas i druga goriva
- Nameštaj, opremanje domaćinstva i održavanje
- Zdravstvo
- Transport
- Komunikacije
- Rekreacija i kultura
- Obrazovanje
- Restorani i hoteli
- Ostala dobra i usluge

Pored navedenih 12 osnovnih grupa potrošnje, treba napomenuti da svaka od njih sadrži i odgovarajuće podgrupe, pri čemu ih ukupno ima 46. Osnovna prednost korišćenja podatka o potrošnji domaćinstava ogleda se u činjenici da postoji relativno precizna podela potrošnje na različite vrste proizvoda i usluga, na bazi čega se može pretpostaviti koji sve tokovi otpada će biti generisani. U odnosu na generalne statističke pokazatelje koji se odnose na proizvodnju i trgovinu, lakše se dolazi do podataka o korišćenju konkretnih proizvoda koji će postati otpad. Poredeći na primer podatke o potrošnji domaćinstava sa socio-ekonomskim parametrima, veza potrošnje domaćinstava sa različitim tokovima otpada je mnogo „vidljivija“, za razliku od socio-ekonomskih faktora koji daju samo kvalitativni pokazatelj potrošnje (*Biegl i dr., 2003*). Učestalost, dostupnost i standardizovan pristup u sakupljanju podataka o potrošnji domaćinstava, takođe predstavlja značajnu prednost u odnosu na ostale potencijalne posmatrane parametre.

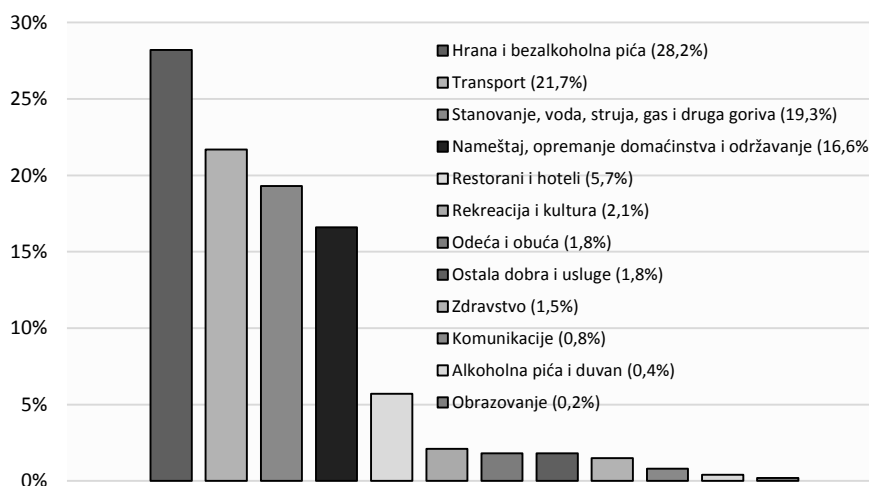


Za razliku od velikog broja statističkih pokazatelja koji se prate na svakih pet ili deset godina, učestalost istraživanja o potrošnji domaćinstava se vrši na godišnjem nivou, nekada čak i kvartalno. Pomenuta definicija, odnosno podela proizvoda i usluga je identična sa definicijom koja se koristi u zemljama EU, čime praktično sve evropske zemlje poseduju podatke o potrošnji domaćinstava prema standardizovanoj metodologiji, što omogućava relativno lako poređenje podataka za velik broj različitih evropskih država za duži vremenski period.



Slika 5.2. Uopšten model za proveru postojanja zavisnosti između nivoa potrošnje i određenih tokova generisanog otpada (Beigl i dr., 2003)

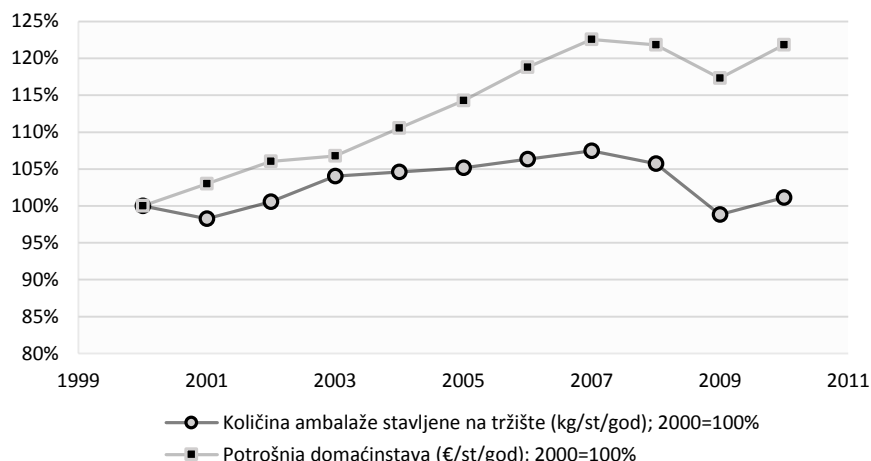
Nivo potrošnje domaćinstava na određene proizvode i usluge, zavisi od mnoštva međusobno povezanih faktora kao što su prihodi domaćinstva i cena proizvoda, sistem trgovine, politika i infrastruktura, kao i demografskih, društvenih, kulturnih i psiholoških faktora. Prema podacima EEA (2010), Prosečna potrošnja je u zemljama EU porasla za 35% u periodu između 1990. i 2007. godine, pri čemu je taj rast najviše zabeležen kod zemalja koje su se pridružile EU posle 2004. godine, i iznosio je čak 75% u istom periodu. Države izvan EU, kao što su zemlje Zapadnog Balkana i Turske, takođe su imale povećanje potrošnje za čak 130%, odnosno 54%, ali i pored toga njihova potrošnja je oko 2 do 2,5 puta manja u odnosu na zemlje EU. Najveći deo potrošnje domaćinstava odnosi se na hranu i piće, transport i stanovanje, pri čemu udeo potrošnje na hranu i piće opada sa povećanjem primanja (Grafik 5.1).



Grafik 5.1 Procentualni udeo potrošnje domaćinstava na različite grupe proizvoda i usluga za zemlje EU (EEA, 2010)

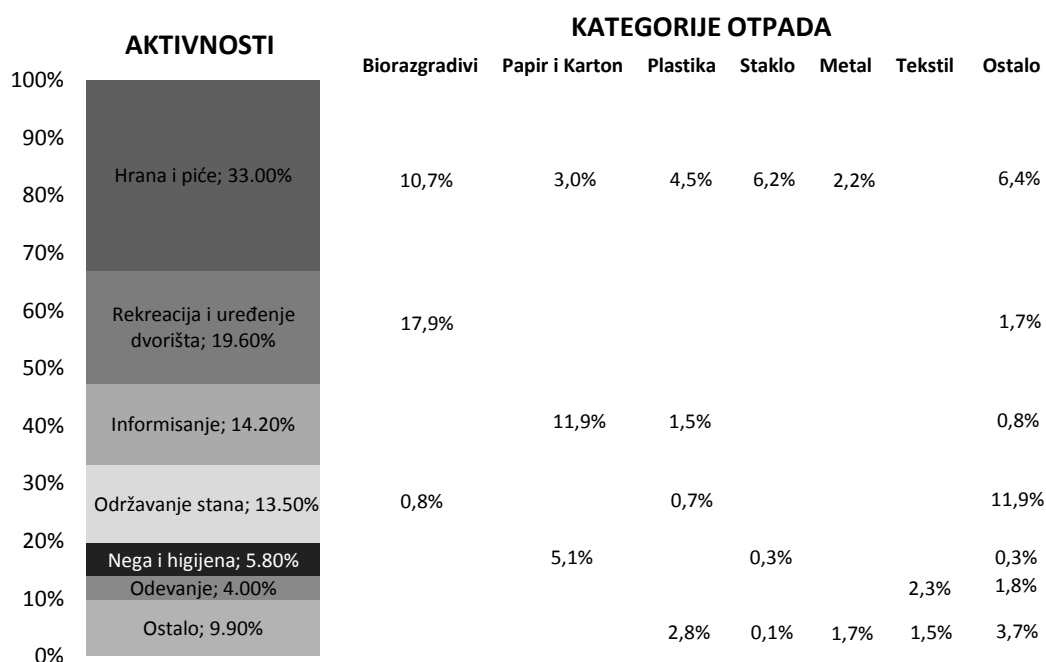
Udeo potrošnje na hranu i piće u odnosu na ukupnu potrošnju je najdominantniji kada su siromašnija domaćinstva, odnosno društva i države u pitanju. U razvijenim zemljama, apsolutna vrednost potrošnje na hranu i piće je prilično stabilna i povećala se u protekloj deceniji za svega 10%, dok je udeo u ukupnoj potrošnji smanjen sa 14% na 12%. Evidentno je da se potrošnja stanovnika ekonomski slabije razvijenih zemalja u najvećoj meri odnosi upravo na ovaj segment, za razliku od stanovnika razvijenih zemalja poput Norveške, Švajcarske, Nemačke i slično (EEA, 2010).

Na bazi pomenutog, pošlo se od pretpostavke da se generisanje ambalažnog i biorazgradivog otpada može povezati sa nivoom potrošnje domaćinstava, što je kasnije i potvrđeno je kroz matematičku obradu sakupljenih podataka i primenu regresione analize, a slični primeri mogu se naći u literaturi (Biegl i dr., 2003; EEA, 1999, 2010). Na osnovu analize dostupnih podataka o ambalažnom otpadu u okviru Izveštaja *Europen (2013)*, može se zaključiti da količina ambalaže stavljen na tržište raste u manjoj meri od stope potrošenja domaćinstava, ali da postoji značajna zavisnost (Grafik 5.2).



Grafik 5.2 Trend promene ukupne potrošnje domaćinstava i količine ambalaže stavljen na tržište za zemlje EU-15 (Europen, 2013)

Prema istraživanjima *EC/JRC (2003)*, sprovedenih u okviru EU-15 zemalja, glavne aktivnosti sa aspekta generisanja različitih tokova otpada u domaćinstvima, mogu se podeliti na: ishranu, rekreaciju i uređenje dvorišta, informisanje, održavanje stana, ličnu negu i higijenu, odevanje i ostalo. Na Grafiku 5.3, prikazana je i podela potrošnje domaćinstva na proizvode i usluge u skladu sa pomenutim aktivnostima, gde je pokazano u kojoj meri svaka od pomenutih aktivnosti doprinosi ukupnom generisanju otpada u prosečnom domaćinstvu.

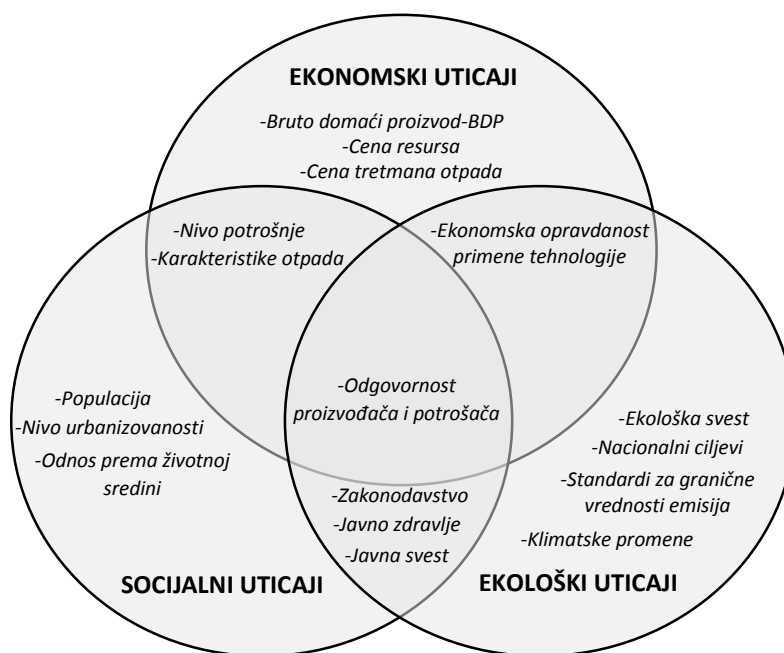


Grafik 5.3 Doprinos različitih aktivnosti u okviru domaćinstava na količinu i vrstu generisanog otpada (EC/JRC, 2003)

Skoro jedna trećina otpada generisanog u prosečnom domaćinstvu nastaje kao posledica ishrane. Nakon toga, sa oko 20% od ukupno generisane količine otpada, doprinose aktivnosti koje se odnose na rekreaciju i uređenje dvorišta, zatim sa preko 14% informisanje i sa 13,5% održavanje stana, dok preostale aktivnosti imaju nešto manji doprinos u generisanju otpada. Na Grafiku 5.3, prikazane su i glavne kategorije otpada, čije generisanje je posledica određene aktivnosti. Na osnovu ovih podataka može se zaključiti da elementi potrošnje domaćinstva, pre svega oni koji se odnose na ishranu i uređenje dvorišta mogu da se povežu sa generisanjem biorazgradivog otpada u domaćinstvu, tj. otpada od hrane i baštenskog otpada.

Kada je reč o sistemima upravljanja otpadom na nacionalnom nivou, tačnije o primenjenim opcijama za njegov tretman, postoje značajne razlike u odnosu na posmatranu državu. Osim zbog različitih karakteristika otpada, pomenuti sistemi upravljanja otpadom razlikuju se i zbog mnogih drugih faktora koji se najčešće vezuju za stepen ekonomske razvijenosti, socio-demografske karakteristike, nivo postojeće infrastrukture, važeće zakone u datoj oblasti, nivo ekološke svesti, kulturološke i klimatske karakteristike i slično (*Daskalopoulos i dr., 1998; Beigl i dr., 2004; Nilanthi i dr., 2007; Žičkiene i dr., 2005*).

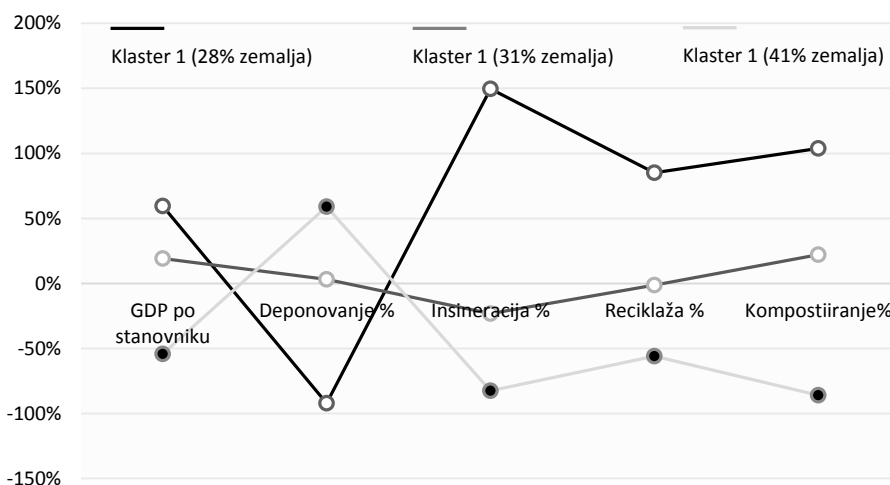
Međutim, i pored očigledne i logične povezanosti pomenutih faktora sa primenjenim sistemom upravljanja otpadom, veoma je teško odrediti veličinu uticaja i nivo zavisnosti svakog od njih (*Kollikkathara i dr., 2010, Economopoulos, 2010*). Prema istraživanju *Zaman (2009)*, glavni uticaji na primenu određene opcije za tretman otpada mogu da imaju lokalni i globalni karakter, pri čemu se razlikuju tri osnovne grupe uticaja, odnosno ekonomski, sociološki i uticaji sa aspekta zaštite životne sredine (Slika 5.3).



Slika 5.3 Prikaz glavnih uticaja na mogućnost implementacije određene opcije za tretman otpada (*Zaman, 2009*)

U radu *Batinić i dr. (2012)*, posmatran je određen broj potencijalno uticajnih faktora na sistem upravljanja otpadom za različite evropske zemlje, tačnije na udeo zastupljenosti osnovnih opcija za tretmana otpada, uključujući: deponovanje, insineraciju, reciklažu i kompostiranje. U tu svrhu, faktori su grupisani na socio - demografske, ekonomske i indikatore upravljanja otpadom. Posmatranjem navedenih faktora za 29 evropskih zemalja i korišćenjem regresione analize, utvrđeno je da najveći uticaj na različite opcije tretmana otpada ima BDP.

U istraživanju je korišćen i metod grupisanja (engl. *Clustering method*) na osnovu kojeg se svi posmatrani podaci grupišu prema sličnom opsegu vrednosti, sa ciljem da se jasnije identifikuju njihovi trendovi i međusobni odnos. Izvršena je podela zemalja na tri grupe (klastera) u zavisnosti od ekonomske razvijenosti. Na ovaj način, može se primetiti da na primer insineracija predstavlja dominantnu opciju za tretman komunalnog otpada za zemlje sa visoko razvijenim ekonomijama. Sa druge strane, slabije razvijene zemlje su uglavnom orijentisane na deponovanje (Grafik 5.4).



Grafik 5.4 Grupisanje zemalja EU u odnosu na BDP i zastupljenost osnovnih opcija za tretmana komunalnog otpada (Batinić i dr., 2012)

Slična istraživanja poput *Brunner i Fellner (2006)*; *Okumura i dr.(2014)*, koja pokazuju jasnu zavisnost između BDP i primenjene vrste tretmana komunalnog otpada, uticala su na to da model koji se odnosi na projekciju zastupljenosti različitih opcija za tretman komunalnog otpada u budućem periodu za Republiku Srbiju, bude baziran na posmatranju zavisnosti pojedinačnih opcija tretmana otpada u odnosu na BDP.

Pored toga, nacionalno zakonodavstvo, kao i međunarodna pravila i standardi, predstavljaju jedan od najvećih uticajnih faktora na buduće sisteme upravljanja otpadom, odnosno regulative iz oblasti upravljanja otpadom jedne su od glavnih pokretača promena i unapređenja postojećih sistema upravljanja otpadom (*Zaman, 2009*). Direktiva EU o deponijama predstavlja konkretan primer, imajući u vidu da kao posledica njene primene razvijene zemlje EU danas praktično i nemaju deponije za odlaganje komunalnog otpada, iako su do sredine 90-ih bile najzastupljeniji metod za tretman komunalnog otpada.

Zbog toga je u cilju što boljih performansi modela VNM, pored BDP-a posmatran i broj godina, odnosno rok za dostizanje konačnih ciljeva definisanih u okviru Direktive EU o deponijama i Direktive EU o ambalaži i ambalažnom otpadu za sve zemlje članice EU. U nastavku su detaljno objašnjene karakteristike svih modela, uključujući opis svih ulaznih i izlaznih parametara, karakteristike korišćenih neuronskih mreža i evaluacija dobijenih modela, kao i mogućnost njihove primene u cilju predviđanja izlaznih parametara od interesa.

## 5.1 MODEL NEURONSKE MREŽE ZA PREDVIĐANJE KOLIČINA AMBALAŽNOG OTPADA

U cilju definisanja modela VNM za ambalažni otpad, neophodno je da se utvrdi odgovarajuća zavisnost između socio-ekonomskih indikatora i generisane količine ambalažnog otpada na nacionalnom nivou. Na bazi dobijenog modela, odnosno karakteristika zavisnosti između ulaznih i izlaznih parametara, stvaraju se uslovi da se izvrši predviđanje budućih količina ambalažnog otpada u Republici Srbiji za period do 2030. godine.

Posmatrani su relevantni podaci za 39 evropskih zemalja, a kako je model zasnovan na vremenskoj seriji podataka, kao vremenski okvir uzete su u obzir 1995., 2000., 2005. i 2010. godina. Ulazni i izlazni parametri posmatrani su isključivo za evropske zemlje, kako bi se smanjio potencijalni uticaj klimatskih, geografskih i kulturoloških faktora na količinu ambalažnog otpada. Bitno je napomenuti da pored „starih“ zemalja članica EU, model uključuje i grupu zemalja koje su tek u skorijem periodu stekle punopravno članstvo, ali i zemlje koje još uvek nisu članice EU, poput Srbije. Ovo predstavlja bitan element kako bi primenjeni model VNM što jasnije mogao da „sagleda“ vezu između ulaznih i izlaznih parametara za različite grupe zemalja, posebno imajući u vidu razlike koje proističu primenom Direktive EU o ambalaži i ambalažnom otpadu, koja je obavezujuća za zemlje EU, za razliku od ostalih evropskih zemalja. Vremenski okvir od 1995. do 2010. godine predstavlja dovoljno dugačak period u kojem može da se utvrdi trend promena ulaznih i izlaznih parametara.

Pod pretpostavkom da postoji zavisnost u odnosu na količinu generisanog ambalažnog otpada, u okviru modela korišćena su sledeća dva ulazna parametra:

1. Potrošnja domaćinstva na: hranu i bezalkoholna pića, alkoholna pića i duvan, i ugostiteljske usluge, izražena u €/stanovnik/godišnje
2. Potrošnja domaćinstva na: sve preostale proizvode i usluge lične potrošnje, izražena u €/stanovnik/godišnje.

Sa druge strane, količina ambalažnog otpada predstavljena je preko jednog izlaznog parametra, tj.:

1. Količina ambalažnog otpada, izražena u kg/stanovnik/godišnje.

Ulazni parametri su određeni na osnovu podataka o ukupnoj potrošnji domaćinstava i uslovno podeljeni na grupu potrošnje domaćinstava koja je u direktnoj vezi sa potrošnjom na hranu i piće i drugu grupu koja se odnosi na sve preostale vidove potrošnje koji potencijalno imaju uticaj na generisanje ambalažnog otpada, kao što je opremanje domaćinstava, potrošnja na odeću i obuću, zdravstvo i slično.

U skladu sa podelom ukupne potrošnje domaćinstava na grupe proizvoda i usluga, prvi ulazni parametar predstavlja zbirnu vrednost potrošnje domaćinstava na sledeće podkategorije ukupne potrošnje:

- a. Potrošnja domaćinstva na hranu i bezalkoholna pića – odnosi se na potrošnju domaćinstava na sve prehrambene proizvode, uključujući hleb i žitarice, meso i prerađevine od mesa, ribu i prerađevine od ribe, voće i povrće, konditorske proizvode i ostalo, kao i bezalkoholna pića, uključujući kafu, čaj, gaziranu i negaziranu vodu, gazirane i negazirane sokove itd. Prema definiciji ova vrsta potrošnje odnosi se isključivo na potrošnju u okviru samog domaćinstva, odnosno isključuje potrošnju na pomenute proizvode u okviru restorana, hotela i sličnih ugostiteljskih objekata
- b. Potrošnja domaćinstva na alkoholna pića i duvan - predstavlja potrošnju domaćinstava na sve proizvode na bazi alkoholnih pića, odnosno žestoka pića, vino i pivo, kao i sve vrste cigareta, odnosno duvanskih proizvoda. Slično kao i u slučaju prethodnog indikatora, prema definiciji ova vrsta potrošnje se odnosi isključivo na potrošnju u okviru samog domaćinstva, ne računajući restorane, hotela i slične ugostiteljske objekte

- c. Potrošnja domaćinstva na usluge restorana i hotela - podrazumeva ukupnu potrošnju na sve ugostiteljske objekte koji rade na bazi ponude hrane i pića, uključujući restorane, kantine, kafe barove, i slično, kao i ugostiteljske objekte koji pored pomenutog nude i uslugu smeštaja, odnosno hoteli, moteli, hosteli, bungalovi i slično.

Drugi ulazni parametar koji je korišćen za potrebe definisanja modela, podrazumeva zbir svih ostalih proizvoda i usluga lične potrošnje, za koje se takođe pretpostavlja da za posledicu imaju produkciju ambalažnog otpada. Devet podkategorija ukupne potrošnje domaćinstva koje su uključene u okviru drugog ulaznog indikatora, uz primere proizvoda čijom upotrebom se generiše ambalažni otpad su:

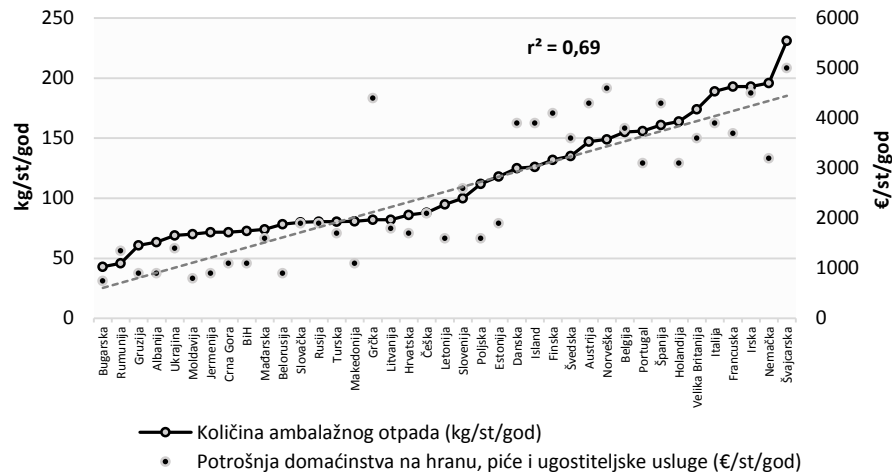
- a. Odeća i obuća (obuća i odevni predmeti...)
- b. Stanovanje, vodu, struju, gas i druga goriva (materijal za održavanje i popravku stanova...)
- c. Nameštaj, opremanje domaćinstva i održavanje (veliki i mali kućni aparati, alati i prateća oprema, proizvodi za čišćenje i održavanje domaćinstva...)
- d. Zdravstvo (lekovi i medicinski proizvodi...)
- e. Transport (delovi i pribor za održavanje automobila...)
- f. Komunikacije (računari i prateća oprema, telefonski uređaji...)
- g. Rekreaciju i kulturu (oprema za sport, kampovanje i rekreaciju, igračke, proizvodi za kućne ljubimce...)
- h. Obrazovanje (školski pribor i prateća oprema...)
- i. Ostala dobra i usluge (proizvodi za ličnu higijenu, predmeti za putovanja...).

Izlazni parametar, odnosno podaci o vrednosti količine ambalažnog otpada izraženi u kg/st/god, za najveći broj evropskih zemalja postoje od 1995. godine, kao posledica izveštavanja ka Eurostatu, odnosno Evropskoj Agenciji za zaštitu životne sredine. Određen broj ovih podataka odnosi se na količinu ambalaže stavljen na tržište, što se u izvesnoj meri razlikuje od podataka o ambalažnom otpadu dobijenih analizom morfološkog sastava komunalnog otpada, pre svega zbog uticaja vlažnosti i nečistoća na ambalažne materijale kada postanu deo otpadnog toka. Ipak, s obzirom na to da razlike nisu značajne, ali i činjenice da je za potrebe modela suštinski najbitniji trend promene količine ambalažnog otpada u zavisnosti od ulaznih parametara tokom vremena, sve vrednosti koje se odnose na količinu ambalaže stavljen na tržište usvojene su ujedno i kao vrednosti koje se odnose generisane količine ambalažnog otpada.

Za određen broj zemalja ne postoje izdvojeni podaci koji se odnose isključivo na količinu generisanog ambalažnog otpada, zbog čega je ta vrednost računata na osnovu podataka o prosečnom morfološkom sastavu komunalnog otpada za te zemlje, pri čemu su usvojeni sledeći udeli ambalažnih materijala u okviru osnovnih kategorija otpada: plastika (60%), papir i karton (50%), staklo (70%), metal (70%) i ostali otpad (5%). Detaljan prikaz svih ulaznih i izlaznih parametara za 39 evropskih zemalja korišćenih u modelu, nalazi se u Prilogu (Tabela P.1).

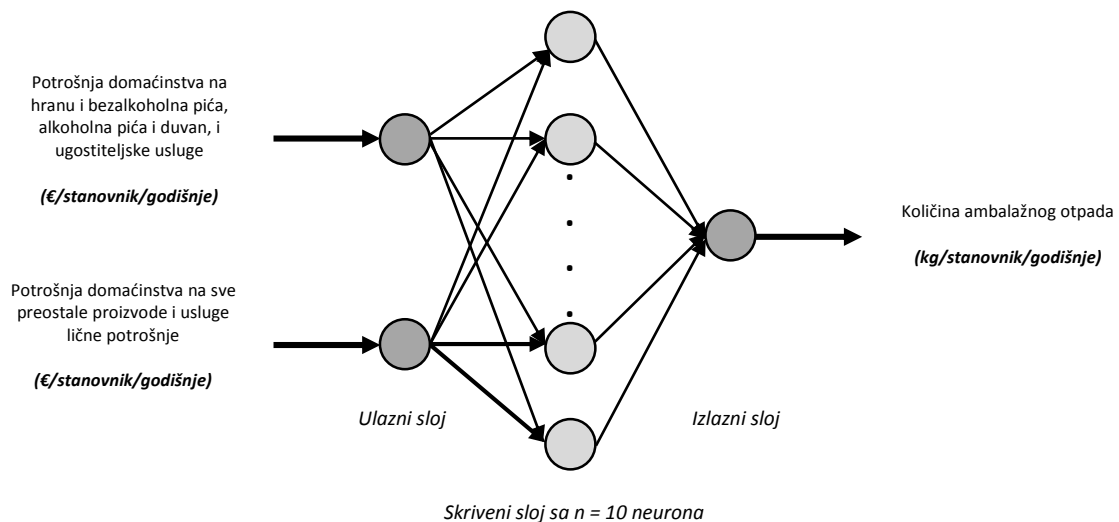
Zavisnosti između količine generisanog ambalažnog otpada i ukupne potrošnje domaćinstava, evidentna je posebno u segmentu potrošnje na hranu i piće kao najveće generatore ambalažnog otpada. Na Grafiku 5.5 pokazana je zavisnost između prvog ulaznog parametra u odnosu na produkciju ambalažnog otpada za zemlje korišćene u modelu, pri čemu je u cilju kvantifikacije veličine zavisnosti između ulaznog i izlaznog parametra korišćena linearna regresija.

Primenom linearne regresije pokazano je da je izlazni parametar, odnosno količina ambalažnog otpada u direktnoj vezi sa potrošnjom domaćinstva na pomenute proizvode i usluge. Koeficijent determinacije je relativno visok i iznosi  $r^2=0,69$ , odnosno može se reći da je 69% izlazne promenljive (količina ambalažnog otpada - izražena u kg/stanovnik/godišnje) objašnjeno ulaznom promenljivom (potrošnja domaćinstva na hranu, piće i ugostiteljske usluge - izražena u €/stanovnik/godišnje).



Grafik 5.5 Zavisnost između količine ambalažnog otpada i prvog ulaznog parametra u okviru modela

Na bazi ove pozitivne vrednosti korelacije, opisani ulazni i izlazni parametar modelovani su u okviru softverskog programa „NeuroSolutions v.6“, korišćenjem velikog broja različitih vrsta veštačkih neuronskih mreža (Prilog - Tabela P.2). Sve obrađene neuronske mreže, koristile su ukupno 154 grupe podataka, poređanih prema odgovarajućim ulazno-izlaznim parametrima. Za potrebe obuke i definisanja postojeće zavisnosti, korišćene su 92 grupe podataka, odnosno 60% od ukupnog broja. Takođe, 15% je korišćeno za validaciju, dok je 25% grupe podataka iskorišćeno za potrebe testiranja i provere uspešnosti modela. Najbolje performanse pokazala je višeslojna neuronska mreža nepovratnog tipa, čija je arhitektura prikazana na Slici 5.4. Korišćena neuronska mreža imala je 2 ulaza i jedan izlaz, a pored ulaznog i izlaznog sloja sastojala i od 1 skrivenog sloja sa 10 neurona u okviru njega. Kao aktivaciona funkcija korišćena je bipolarna sigmoidalna funkcija.



1Slika 5.4 Arhitektura korišćene neuronske mreže u okviru modela za ambalažni otpad

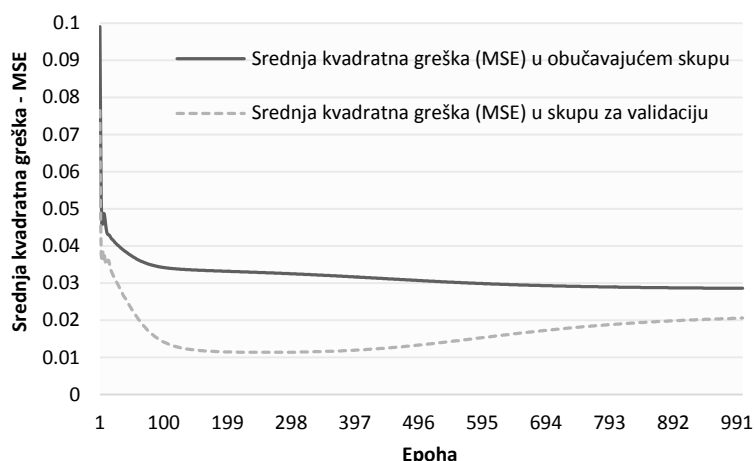
Ocenjivanje performansi određene neuronske mreže bazira se na korišćenju klasičnih statističkih metoda za izračunavanje različitih tipova grešaka. Evaluacija modela za predviđanje količine ambalažnog otpada izvršena je pomoću korena srednje kvadratne greške (RMSE), srednje apsolutne greške (MAE), srednje apsolutne procentualne greške (MAPE) i koeficijenta korelacije (r). Koren srednje kvadratne greške (RMSE) u skupu za obuku iznosio je 27,9, dok je srednja apsolutna greška (MAE) iznosila 22,5. Najmanje vrednosti greške, odabrana neuronska mreža pokazala je okviru skupa podataka odabranih za validaciju (RMSE = 16,7 i MAE = 14,7).

U okviru grupe podataka koje je model slučajnim odabirom uzeo u razmatranje za potrebe testiranja, RMSE je iznosila 33,5, dok je vrednost MAE bila 24,9. Drugim rečima, srednja vrednost razlika između modelovanih i stvarnih rezultata o količini ambalažnog otpada, izraženih u kg/st/god, iznosila je 24,9 kg/st/god. Mera povezanosti vrednosti dobijenih modelom i realnih vrednosti, izražena preko koeficijenta korelacije, pokazala je visoke vrednosti za sve tri grupe podataka, odnosno  $r = 0,86$  za obučavajući skup,  $r = 0,97$  za validaciju i  $r = 0,83$  u skupu podataka za testiranje.

Tabela 5.1 Evaluacija modela VNM za ambalažni otpad na bazi različitih tipova grešaka

Tip greške/skup podataka	Obuka	Validacija	Testiranje
# Redova	92 (60%)	23 (15%)	39 (25%)
RMSE	27,9	16,7	33,5
MAE	22,5	14,7	24,9
Koeficijent korelacije (r)	0,86	0,97	0,83

Definisani model neuronske mreže je u fazi treniranja tj. procesa podešavanja težina u mreži, pokazala dobre karakteristike. Nakon 1000 epoha (broj posmatranja koji se obrađuju u jednoj iteraciji-posmatranje jednog ulaznog i izlaznog vektora), srednja kvadratna greška u obučavajućem skupu iznosila je  $MSE = 0,03$ , dok je u grupi podataka određenih za validaciju MSE iznosila 0,02.



Grafik 5.6 Srednja kvadratna greška (MSE) u sklopu učenja VNM za ambalažni otpad tokom 1000 epoha

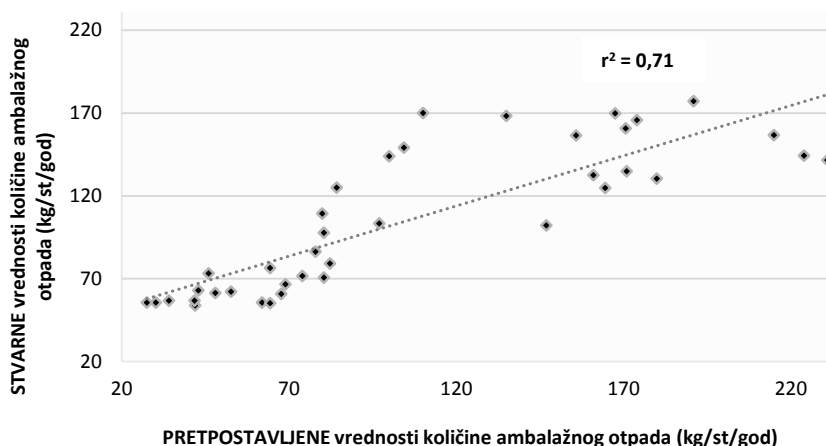
Kao rezultat prethodne faze učenja, odnosno treniranja mreže, dobijene su fiksne vrednosti izlaznih parametara koje je definisala neuronska mreža na bazi zavisnosti između ulaznih i izlaznih parametara.

Faza testiranja je odlučujuća za ocenu uspešnosti definisanog modela. U procesu testiranja, mreži su predstavljeni novi ulazni podaci koji nisu sudelovali u procesu učenja, pri čemu je mreža za predstavljen novi ulazni vektor proizvela izlaz, tj. pretpostavljenu količinu ambalažnog otpada. Ocena mreže izvršena je izračunavanjem korena srednje kvadratne greške (RMSE), koja je u datom slučaju iznosila  $RMSE=32,8$ , kao i vrednošću srednje apsolutne greške ( $MAE = 24,8$ ).

Na Grafiku 5.7, prikazano je poređenje realnih podataka o količini ambalažnog otpada sa vrednostima koje je pretpostavila definisana neuronska mreža. U cilju još lakšeg sagledavanja uspešnosti mreže tokom faze testiranja, koristi se i srednja apsolutna procentualna greška (MAPE), kod koje se razlika između stvarnih i pretpostavljenih vrednosti izražava u procentima. MAPE je za korišćenu neuronsku mrežu u okviru modela za ambalažni otpad iznosila 23,3%.

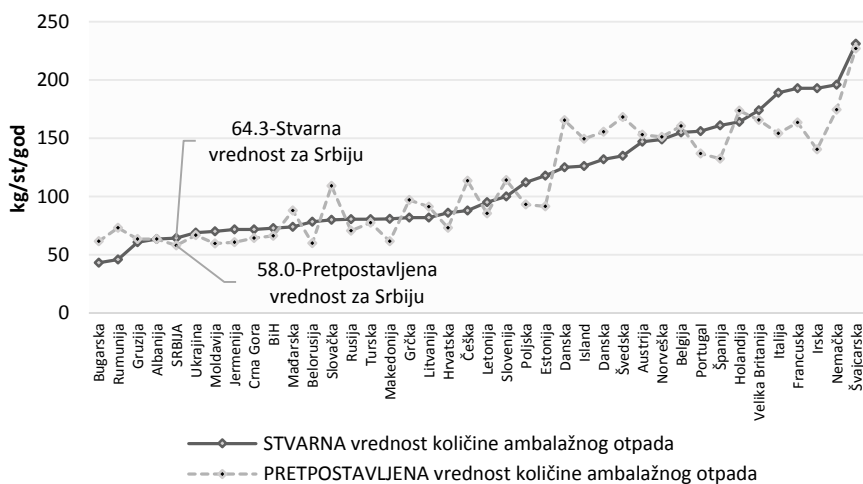


Pretpostavljene izlazne vrednosti dobijene modelom u najvećoj meri odgovaraju realnim vrednostima, što potvrđuje i vrednost koeficijenta korelacije ( $r = 0,83$ ), odnosno koeficijenta determinacije,  $r^2 = 0,71$ . Kako bi se dodatno proverila uspešnost definisanog modela za predviđanje količine ambalažnog otpada, mreži su zadate konkretne ulazne vrednosti, odnosno 2 definisana parametra koja se odnose na potrošnju domaćinstva tokom 2010. godine za sve posmatrane zemlje. Vrednosti količine ambalažnog otpada, izraženog u kg/st/god, koje je pretpostavila neuronska mreža su upoređene sa realnim vrednostima za svaku zemlju.



Grafik 5.7 Poređenje realnih i modelovanih podataka o količini ambalažnog otpada tokom faze testiranja

Dobijeni rezultati su prikazani na Grafiku 5.8. Prosečna razlika između stvarnih i modelovanih vrednosti količine ambalažnog otpada za posmatrane zemlje iznosila je 16,5%, na osnovu čega se može zaključiti da je primenjeni model VNM u dobroj meri prepoznao zavisnost između ulaznih parametara i generisane količine ambalažnog otpada za evropske zemlje.



Grafik 5.8 Poređenje realnih vrednosti i vrednosti količina ambalažnog otpada dobijenih modelom

Na osnovu ulaznih parametara za Republiku Srbiju za 2008. godinu, model je pretpostavio da izlazna vrednost količine ambalažnog otpada po stanovniku na godišnjem nivou iznosi 58 kg/st/god, što je veoma blizu vrednosti od 64,3 kg/st/god, dobijene analizom sastava otpada u opštinama Srbije u sklopu projekta *FTN (2009)*. Na bazi prikazanih karakteristika modela i dobijenih rezultata, zaključak je da se ovaj model, uz adekvatne ulazne podatke, može koristiti u cilju predviđanja budućih količina ambalažnog otpada u Srbiji.

## 5.2 MODEL NEURONSKE MREŽE ZA PREDVIĐANJE KOLIČINA BIORAZGRADIVOG KOMUNALNOG OTPADA

Razvoj modela za projekciju količine biorazgradivog komunalnog otpada, podrazumeva definisanje odgovarajuće zavisnosti između posmatranih indikatora, prikazanih preko segmenata potrošnje domaćinstava sa jedne, i generisane količine biorazgradivog otpada na nacionalnom nivou sa druge strane. Na bazi te zavisnosti, sledeći korak je da se izvrši procena budućih količina biorazgradivog komunalnog otpada u Republici Srbiji zaključno sa 2030. godinom. Slično kao i u slučaju modela za predviđanje količine ambalažnog otpada, posmatrani su odgovarajući ulazni i izlazni podaci za istih 39 evropskih zemalja, kao i za isti vremenski period, odnosno za 1995., 2000., 2005. i 2010. godinu. Odabir pomenutog perioda, poklapa se i sa glavnim odredbama Direktive EU o deponijama, u smislu da je referentna godina u odnosu na koju se posmatraju ciljevi smanjenja količine biorazgradivog komunalnog otpada koji se deponuje za EU-15 zemlje, upravo 1995. godina.

U cilju razvoja modela VNM za predviđanje količine generisanog biorazgradivog komunalnog otpada, uz početnu pretpostavku da su u direktnoj zavisnosti sa ovom izlaznom veličinom, korišćena su sledeća dva ulazna parametra:

1. Potrošnja domaćinstva na hranu i ugostiteljske usluge, izražena u €/stanovnik/godišnje
2. Potrošnja domaćinstva na sve preostale proizvode i usluge lične potrošnje, izražena u €/stanovnik/godišnje.

Izlazni parametar, odnosno količina generisanog biorazgradivog komunalnog otpada, predstavljena je preko jednog izlaznog parametra, u obliku:

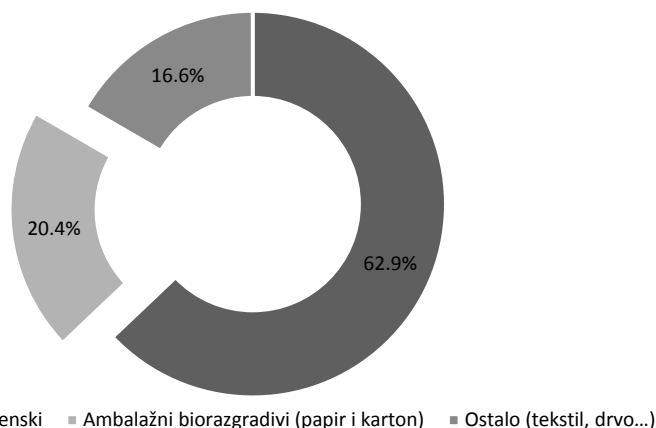
1. Količina biorazgradivog komunalnog otpada, izražena u kg/stanovnik/godišnje.

Segment ukupne potrošnje domaćinstava, tačnije potrošnja na hranu i ugostiteljstvo posmatrao se kao poseban ulaz u okviru modela, zbog pretpostavke da ima najveći uticaj na generisanje biorazgradivog komunalnog otpada. Za razliku od prvog ulaza koji je korišćen za potrebe prethodnog modela, u slučaju modela za biorazgradivi otpad nisu posebno uračunati podaci o potrošnji na bezalkoholna pića, pod pretpostavkom da ne doprinose generisanju biorazgradivog otpada. Koristili su se podaci bazirani isključivo na potrošnji domaćinstava na hranu, uz potrošnju domaćinstva na usluge restorana i hotela koji je već definisan u sklopu prethodnog modela.

Drugi ulazni parametar, potrošnja domaćinstva na sve preostale proizvode i usluge treba da odgovara generisanju ostalih podkategorija biorazgradivog komunalnog otpada, podrazumevajući pre svega baštenski otpad, koji može da se poveže sa segmentom potrošnje na održavanje dvorišta, ali i ostalih biorazgradivih kategorija poput papira, kartona, tekstila i slično.

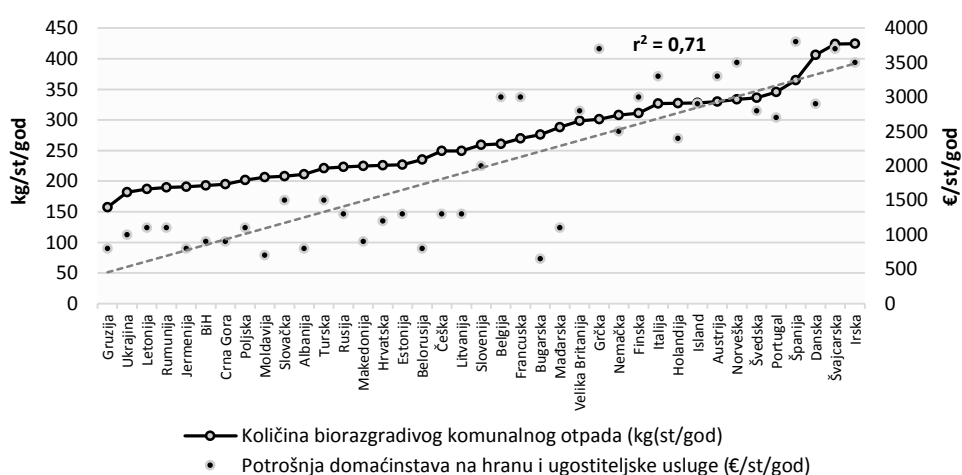
Izlazni parametar, odnosno podaci o količini generisanog biorazgradivog komunalnog otpada za određen broj zemalja se posebno prate i evidentiraju, dok je kod određenog broja država ta vrednost dobijena proračunom, odnosno indirektno na osnovu podataka o morfološkom sastavu komunalnog otpada. Sve vrednosti ulaznih i izlaznog parametara korišćenih za potrebe ovog modela, detaljno su prikazani u Prilogu (Tabela P.3). Treba napomenuti da jedan deo biorazgradivog komunalnog otpada, pre svega papir i karton, predstavlja ujedno i ambalažni otpad (Grafik 5.9).

Za potrebe definisanja modela za ambalažni i biorazgradivi otpad, pomenute kategorije i njihove odgovarajuće količine su uračunate u sklopu oba modela. Ovakav pristup je odabran pre svega zbog sagledavanja budućih opcija tretmana pomenutih kategorija, jer se na primer reciklažom papira postiže ispunjenje ciljeva u sklopu Direktive EU za ambalažni otpad, ali ujedno i ciljevi u vezi sa smanjenjem količine biorazgradivog komunalnog otpada koja se deponuje, prema Direktivi EU o deponijama.



Grafik 5.9 Udeo ambalažnog otpada u sklopu biorazgradivog komunalnog otpada za zemlje EU-15 (EEA, 2002b)

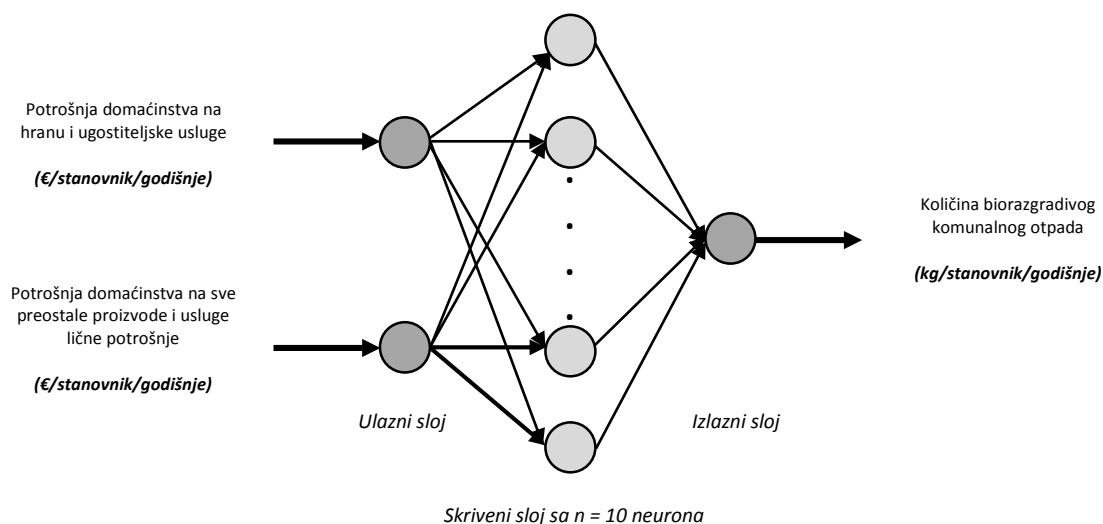
Kako bi se utvrdila opravdanost izbora definisanih ulaznih parametara, izvršena je preliminarna provera zavisnosti ulaznih i izlazne veličine primenom linearne regresione analize. Na Grafiku 5.10, prikazana je zavisnosti između količine generisanog biorazgradivog otpada i ukupne potrošnje domaćinstava na hranu i ugostiteljske usluge. Koeficijent determinacije iznosi  $r^2 = 0,71$ , čime se zaključuje da je 71% izlazne promenljive (količina biorazgradivog otpada) objašnjeno ulaznom promenljivom, odnosno potrošnjom domaćinstva na hranu i ugostiteljstvo.



Grafik 5.10 Zavisnost između količine biorazgradivog komunalnog otpada i prvog ulaznog parametra u okviru modela

Uzimajući u obzir visok stepen korelacije, definisani ulazni i izlazni parametar u vidu količine biorazgradivog komunalnog otpada, modelovani su korišćenjem preko 25 različitih vrsta neuronskih mreža (Prilog - Tabela P.4), pri čemu je najbolje karakteristike pokazala višeslojna neuronska mreža nepovratnog tipa. Od ukupno 154 grupe podataka, za obuku neuronske mreže i definisanja postojeće zavisnosti na bazi slučajnog odabira model je koristio 60% podataka, 15% je korišćeno za validaciju, dok je 25% grupe podataka model koristio u cilju testiranja i provere uspešnosti. Arhitektura odabrane neuronske mreže prikazana je na Slici 5.5, gde se može uočiti 1 skriveni sloj, uz konstataciju da je u okviru ovog sloja korišćeno 10 neurona u cilju podešavanja težina u mreži. Bipolarna sigmoidalna funkcija predstavljala je aktivacionu funkciju u okviru posmatrane neuronske mreže.

Evaluacija karakteristika opisanog modela za predviđanje količine biorazgradivog komunalnog otpada zasnovana je na analizi tri tipa greške, odnosno korena srednje kvadratne greške (RMSE), srednje apsolutne greške (MAE) i srednje apsolutne procentualne greške (MAPE).



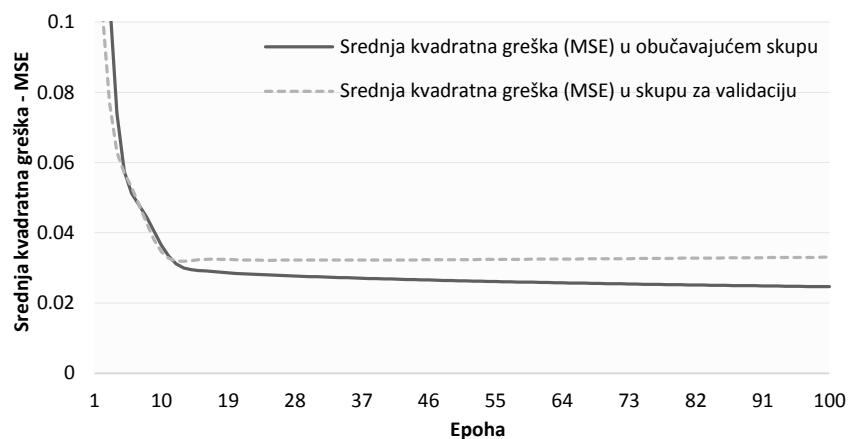
Slika 5.5 Arhitektura korišćene neuronske mreže u okviru modela za biorazgradivi komunalni otpad

U cilju provere povezanosti prognoziranih vrednosti dobijenih modelom i realnih vrednosti izračunat je i koeficijent korelacije ( $r$ ). Vrednosti pomenutih grešaka i koeficijenta korelacije, za dati model prikazane su u Tabeli 5.2. Srednja vrednost razlika između modelovanih i izmerenih vrednosti količine biorazgradivog otpada, izraženih u kg/st/god, u okviru obučavajućeg skupa podataka, iznosila je 34,4 kg/st/god. Koren srednje kvadratne greške (RMSE) u istom skupu iznosio je 44,4, a zabeležen je i prilično visok koeficijent korelacije,  $r = 0,85$ . Za nijansu slabije karakteristike, model je pokazao u okviru grupe podataka za potrebe testiranja, gde je RMSE iznosila 49,4, dok je MAE bila 38,8, uz koeficijent korelacije koji je iznosio  $r = 0,82$ . Najslabije ali i dalje dobre karakteristike, korišćena neuronska mreža pokazala je u sklopu podataka korišćenih za validaciju (RMSE = 53,9; MAE = 43,1;  $r = 0,81$ ).

Tabela 5.2 Evaluacija modela VNM za biorazgradivi komunalni otpad na bazi različitih tipova grešaka

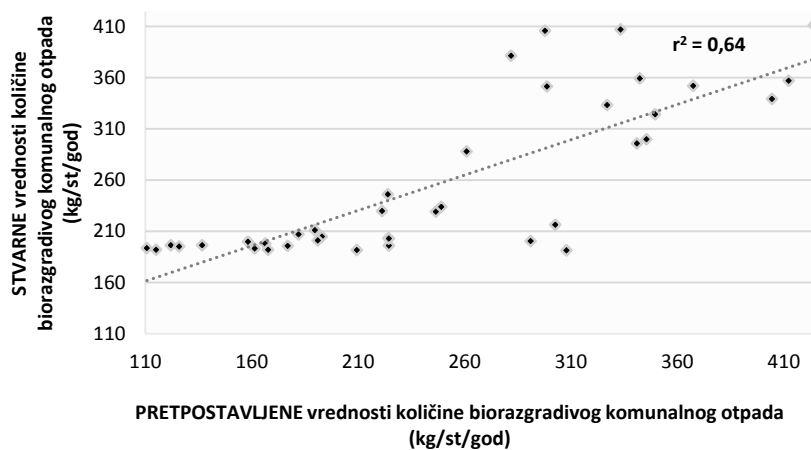
Tip greške/skup podataka	Obuka	Validacija	Testiranje
# Redova	92 (60%)	23 (15%)	39 (25%)
RMSE	44,4	53,9	49,4
MAE	34,4	43,1	38,8
Koeficijent korelacije ( $r$ )	0,85	0,81	0,82

Tokom procesa podešavanja težina u mreži u sklopu faze učenja, korišćena neuronska mreža je već nakon 100 epoha pokazala dobre karakteristike, pri čemu je srednja kvadratna greška u obučavajućem skupu iznosila MSE = 0,02, dok je u grupi podataka određenih za validaciju MSE = 0,03.



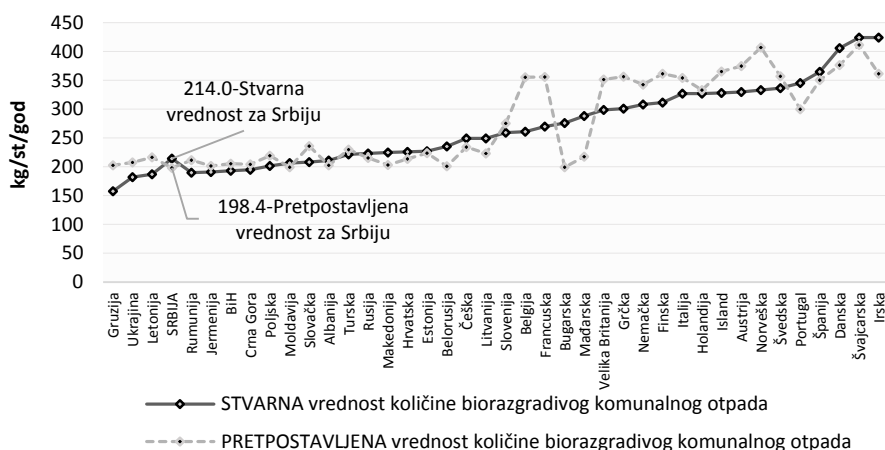
Grafik 5.11 Srednja kvadratna greške (MSE) u sklopu učenja VNM za biorazgradivi komunalni otpad tokom 100 epoha

U drugom koraku, odnosno procesu testiranja, ocena mreže izvršena je izračunavanjem korena srednje kvadratne greške (RMSE) i srednje apsolutne greške (MAE). Konkretno vrednosti, iznosile su RMSE = 52,7, odnosno MAE = 42,9. Razlika između stvarnih i modelovanih vrednosti iskazana procentualno, preko srednje apsolutne procentualne greške (MAPE) iznosila je 18,9%. Na osnovu vrednosti koeficijenta korelacije ( $r = 0,80$ ) i koeficijenta determinacije ( $r^2 = 0,64$ ) koji predstavljaju meru poklapanja realnih podataka o količini biorazgradivog otpada sa vrednostima koje je pretpostavila definisana neuronska mreža, može se zaključiti da pretpostavljene izlazne vrednosti dobijene modelom u najvećoj meri odgovaraju realnim vrednostima (Grafik 5.12).



Grafik 5.12 Poređenje realnih i modelovanih podataka o količini biorazgradivog otpada tokom faze testiranja

Na Grafiku 5.13 prikazani su rezultati testiranja kada su mreži zadate vrednosti od strane korisnika. Poređenjem realnih vrednosti za količinu generisanog biorazgradivog komunalnog otpada za različite evropske zemlje tokom 2010. godine, sa vrednostima koje je pretpostavila neuronska mreža, evidentno je da su najvećem broju slučajeva one bile vrlo približne. Prosečna razlika između stvarnih i modelovanih vrednosti količine biorazgradivog komunalnog otpada za posmatrane zemlje iznosila je 28,2%.



Grafik 5.13 Poređenje realnih vrednosti i vrednosti količina biorazgradivog komunalnog otpada dobijenih modelom

Posmatrajući rezultate za Srbiju, u odnosu na izmerenu vrednost generisane količine biorazgradivog komunalnog otpada od 214 kg/st/god (FTN, 2009), pretpostavljena vrednost dobijena modelom se razlikovala za svega 7,5% i iznosila je 198 kg/st/god, što dovodi do zaključka da je posmatrani model VNM pokazao dobre performanse i da se može iskoristiti za potrebe projekcije budućih količina biorazgradivog komunalnog otpada u Srbiji.

### 5.3 MODEL NEURONSKE MREŽE ZA PREDVIĐANJE ZASTUPLJENOSTI OPCIIJA TRETMANA KOMUNALNOG OTPADA

Za razliku od prethodna dva modela, koji su se odnosili na posmatranje zavisnosti između elemenata potrošnje domaćinstava i generisane količine ambalažnog i biorazgradivog otpada, model za predviđanje buduće zastupljenosti tretmana komunalnog otpada zahteva nešto drugačiji pristup. U tu svrhu, ulazni parametri su umesto potrošnje domaćinstava predstavljeni preko bruto domaćeg proizvoda (BDP), kao i neophodnog broja godina za dostizanje ciljeva definisanih Direktivom EU za ambalažu i ambalažni otpad, odnosno Direktivom EU o deponijama.

Svrha posmatranog modela jeste da se na bazi dobijene zavisnosti izvrši predviđanje zastupljenosti tretmana u Republici Srbiji u budućem periodu do kraja 2030. godine. Ulazni i izlazni podaci posmatrani su za 28 zemalja članica EU na koje se pomenute Direktive direktno odnose, ali i za 11 zemalja koje trenutno nisu članice EU. Ovakav pristup je izabran kako bi model mogao što bolje da sagleda zavisnost između pokazatelja ekonomske razvijenosti i korišćenih tretmana komunalnog otpada za različite grupe evropskih zemalja.

Posmatrajući model u kontekstu primenljivosti za Srbiju, treba imati u vidu proces pridruživanja EU, ali i tranzicioni period koji uslovljava kašnjenje u implementaciji savremenih rešenja iz oblasti upravljanja otpadom za ekonomski razvijenim evropskim zemljama. Ipak, realno je za očekivati da će Srbija u budućem periodu morati proći slične etape u procesu formiranja održivog sistema za upravljanje otpadom, kao što su ih prošle razvijene evropske zemlje, što je i suštinska pretpostavka u cilju definisanja što realnijeg modela u smislu njegovih performansi i očekivanih rezultata.

Skup podataka korišćenih u okviru modela obuhvata zemlje koje su znatno ranije uredile sistem upravljanja otpadom (Austrija, Nemačka, Danska, Holandija i slično), zatim zemlje koje su proces implementacije održivih rešenja započele pre izvesnog vremena (Slovenija, Bugarska, Češka, Slovačka, Hrvatska), kao i zemlje koje se trenutno nalaze u sličnoj poziciji poput Srbije (Crna Gora, Makedonija, Ukrajina, itd.), odnosno koje su još uvek na početku ovog procesa.

Kako bi rezultati dobijeni modelom bili komparativni sa rezultatima modelovanja količine ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada, kao i zbog činjenice da su na poboljšanje sistema za upravljanje otpadom veliki uticaj imale i EU Direktive u zadnjih 20-ak godina, model je obuhvatio period od 1995. - 2010. godine. Nakon što su odredbe i ciljevi pomenutih Direktiva EU postali obavezujući, kod većine zemalja članica može se jasno uočiti trend povećanja zastupljenosti reciklaže ambalažnog otpada, kao smanjenja deponovanja biorazgradivog otpada sa druge strane u pomenutom periodu.

Struktura modela neuronske mreže za zastupljenost tretmana komunalnog otpada sastoji se od sledeća dva ulazna parametara:

1. Bruto domaći proizvod - BDP, izražen kao €/stanovnik/godišnje
2. Prosek broja godina neophodnih za dostizanje krajnjih ciljeva prema Direktivama EU za deponije i ambalažni otpad.

Izlazni parametri bili određeni procentualnim udelom, odnosno zastupljenošću pet grupa tretmana komunalnog otpada za posmatrane države, uključujući:

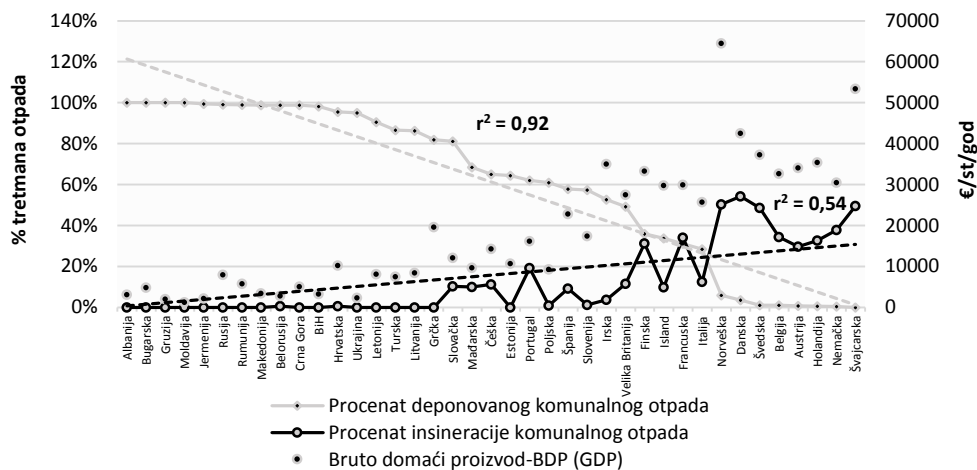
1. Procenat deponovanog otpada na kontrolisanim i sanitarnim deponijama
2. Procenat deponovanog otpada na nekontrolisanim smetlištima
3. Procenat reciklaže
4. Procenat kompostiranja i ostalih vrsta biološkog tretmana otpada
5. Procenat insineracije i ostalih vrsta termičkog tretmana otpada

BDP - Bruto domaći proizvod (engl. *Gross domestic product - GDP*), prema definiciji predstavlja zbir dodatih vrednosti po delatnostima u baznim cenama i ukupnih poreza na proizvode umanjenih za iznos subvencija na te proizvode na nivou ukupne ekonomije. BDP predstavlja parametar koji odslikava ekonomsku razvijenost određene države i jedan je od najčešće korišćenih indikatora u cilju poređenja posmatranih država sa ekonomskog aspekta. U konkretnom slučaju, za potrebe definisanja neuronske mreže BDP je izražen u €/stanovniku. Drugi ulazni parametar odnosi se na preostali broj godina koji evropske države imaju na raspolaganju kako bi ostvarile krajnje ciljeve definisane u okviru Direktiva EU za deponije i ambalažni otpad. S obzirom na to da pored ekonomskih mogućnosti određene države, zakonska regulativa predstavlja jedan od glavnih pokretača u smislu implementacije i povećanja zastupljenosti određenog tretmana otpada, na ovaj način izvršena je kvantifikacija glavnih odredbi pomenutih Direktiva, čime je omogućeno da i ovaj uticajni aspekt bude uključen u okviru modela neuronske mreže.

Primenom Direktive EU o deponijama, zemlje članice su u obavezi da smanje količinu deponovanog biorazgradivog otpada, što direktno utiče na povećanje postojećih kapaciteta za kompostiranje i drugih bioloških metoda za tretman ove vrste otpada. Isto tako, Direktiva EU o ambalaži i ambalažnom otpadu direktno utiče na povećanje stepena reciklaže u odnosu na ostale tretmane. Imajući u vidu da rokovi za ispunjenje krajnjih ciljeva nisu isti za sve države EU (Tabela 2.5 i Grafik 2.15), pošlo se od pretpostavke da model na ovaj način može da prepozna u kojoj meri i kojom brzinom zakonske odredbe pomenutih Direktiva utiču na implementaciju određenih opcija za tretman komunalnog otpada. Takođe, treba napomenuti da je za zemlje koje još uvek nisu članice EU, poslednja godina obuhvaćena modelom, odnosno 2010. godina, hipotetički uzeta kao početna godina za ostvarivanje definisanih ciljeva. Uz to, teoretski postavljen rok njihovo ispunjenje bio je isti kao i period koji su na raspolaganju imale zemlje EU -15, odnosno 14 godina za dostizanje krajnjeg cilja prema Direktivi EU za ambalažni otpad i 17 godina za konačan cilj smanjenja deponovane količine biorazgradivog otpada.

Udeli različitih opcija za tretman komunalnog otpada na nivou posmatranih država predstavljaju izlazne parametre u okviru modela. Procenat deponovanog otpada podrazumeva udeo komunalnog otpada koji se odlaže na sve tzv. kontrolisane, odnosno zvanične gradske/opštinske deponije. Pored sanitarnih deponija, ovaj parametar uključuje i procenat deponovanog otpada na ostale deponije na koje se, iako ne ispunjavaju sve sanitarne i tehničko-tehnološke uslove, odlaže sav otpad koji se organizovano sakuplja od strane odgovornih komunalnih preduzeća. Za razliku od pomenutih deponija, procenat odlaganja komunalnog otpada na nekontrolisana smetlišta, odnosno „divlje deponije“ posmatran je kao poseban izlazni parametar u okviru modela. Za određen broj zemalja postoje podaci o procenjenoj količini, odnosno udelu otpada koji se odlaže na deponije ove vrste, dok se za sve ostale države posmatrao procenat generisanog otpada koji se ne sakuplja organizovano, uz pretpostavku da ta količina otpada završava upravo na nekontrolisanim smetlištima. Procenat reciklaže podrazumevao je udeo svih kategorija komunalnog otpada, odnosno otpadnih materijala koji su putem mehaničke obrade prerađeni u proizvode, materijale ili supstance za prvobitnu ili drugu namenu na nivou posmatrane države. Parametar koji se odnosi na procenat zastupljenosti kompostiranja, uključuje sve biološke metode za tretman komunalnog otpada, odnosno sve poznate metode kompostiranja i anaerobne digestije. Na sličan način, poslednji izlazni parametar podrazumeva pored klasične insineracije i procenat zastupljenosti svih ostalih vrsta termičke obrade komunalnog otpada sa ili bez iskorišćenja energije. Svi korišćeni ulazni i izlazni parametri u okviru modela prikazani su u Prilogu (Tabela P.5a - P.5g).

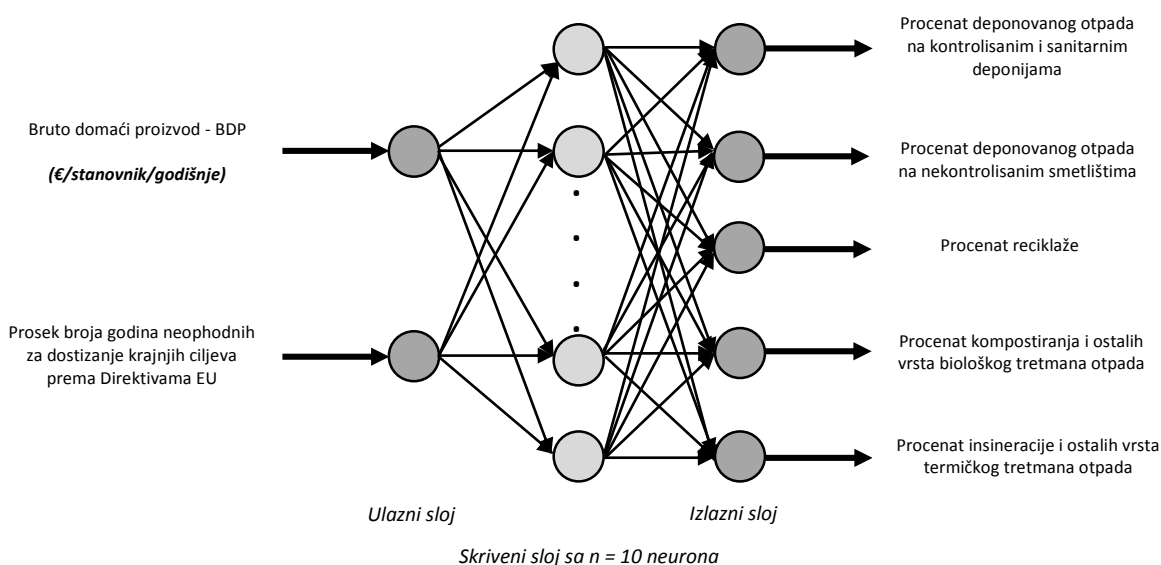
Iako je u prethodnim poglavljima u više navrata napomenuto kako uspostavljanje određenog sistema upravljanja otpadom direktno zavisi od ekonomske razvijenosti posmatranog regiona, u cilju potvrde ove pretpostavke, izvršena je preliminarna provera zavisnosti ulaznih i izlaznih parametara primenom linearne regresione analize. Grafik 5.14 pokazuje zavisnost između prvog ulaznog parametra, odnosno BDP-a i zastupljenosti deponovanja i insineracije za zemlje koje su posmatrane u okviru modela.



Grafik 5.14 Zavisnost BDP-a u odnosu na procenat insineracije i deponovanja za posmatrane zemlje u okviru modela

Evidentno je da ekonomski najrazvijenije evropske zemlje svoje sisteme upravljanja otpadom u značajnoj meri baziraju na insineraciji, dok se kod ekonomski slabije razvijenih zemalja upravljanje otpadom još uvek uglavnom svodi na deponovanje. Rezultati regresione analize, odnosno veličina koeficijenta determinacije za odnos BDP-a i procentualne zastupljenosti deponovanja iznosi  $r^2 = 0,92$ , što ukazuje da je 92% izlazne promenljive (procenat deponovanog otpada) objašnjeno preko ulaznog parametra, odnosno BDP-a za odabrane zemlje. Koeficijent determinacije u slučaju zavisnosti BDP-a i procenta insineracije je manji i iznosi  $r^2 = 0,54$ .

Nakon potvrđene pretpostave o međusobnoj zavisnosti, ulazni i izlazni parametri koji su činili grupu od 622 podatka, modelovani su korišćenjem velikog broja neuronskih mreža različitih performansi (Prilog - Tabela P.6). Sve neuronske mreže su u sklopu treniranja, odnosno obuke koristile 60% slučajno odabranih vrednosti, dok je 15% korišćeno za validaciju, a 25% podataka za potrebe testiranja i provere uspešnosti modela. Evaluacijom svih posmatranih neuronskih mreža, pokazalo se da je najveću uspešnost modelovanja ulaznih i izlaznih parametara imala višeslojna neuronska mreža nepovratnog tipa, sa arhitekturom prikazanoj na Slici 5.6., gde se pored ulaznog i izlaznog sloja, mreža sastojala i od 1 skrivenog sloja sa 10 neurona, pri čemu je odabrana aktivaciona funkcija bila bipolarna sigmoidalna funkcija.



Slika 5.6 Arhitektura korišćene neuronske mreže u okviru modela za projekciju zastupljenosti opcija tretmana otpada



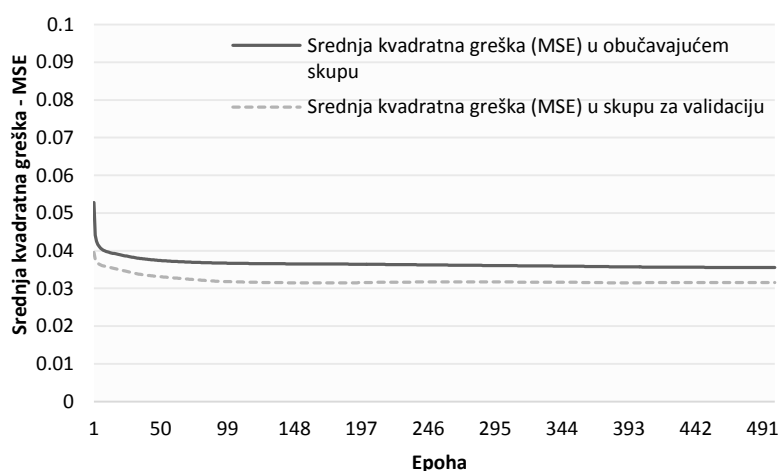
Kao i u slučaju modela za predviđanje količine ambalažnog i biorazgradivog otpada, karakteristike modela za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana otpada u budućem periodu bazirane su na analizi različitih tipova greški, čije su vrednosti prikazane u Tabeli 5.3. Takođe, za proveru prognoziranih vrednosti dobijenih modelom i realnih vrednosti analiziran je i koeficijent korelacije ( $r$ ). Koren srednje kvadratne greške u obučavajućem skupu iznosio je 8,9, dok je u okviru grupe podataka za testiranje ova greška bila 10,0. Najmanju grešku ovog tipa, korišćena neuronska mreža zabeležila je u sklopu podataka korišćenih za validaciju (RMSE = 8,4).

Srednja vrednost razlika između modelovanih i realnih vrednosti, izraženih u istim jedinicama kao izlazna veličina (% zastupljenosti tretmana), u okviru obučavajućeg skupa podataka iznosila je MAE = 5,7, u okviru podataka korišćenih za testiranje MAE = 6,8, dok je kod grupe podataka iskorišćenih za validaciju ona iznosila MAE = 5,2. Neuronska mreža je pokazala visoke vrednosti koeficijenta korelacije za sve tri grupe podataka, pri čemu je najveća vrednost zabeležena u obučavajućem skupu ( $r = 0,88$ ).

Tabela 5.3 Evaluacija modela VNM za zastupljenost opcija tretmana otpada na bazi različitih tipova grešaka

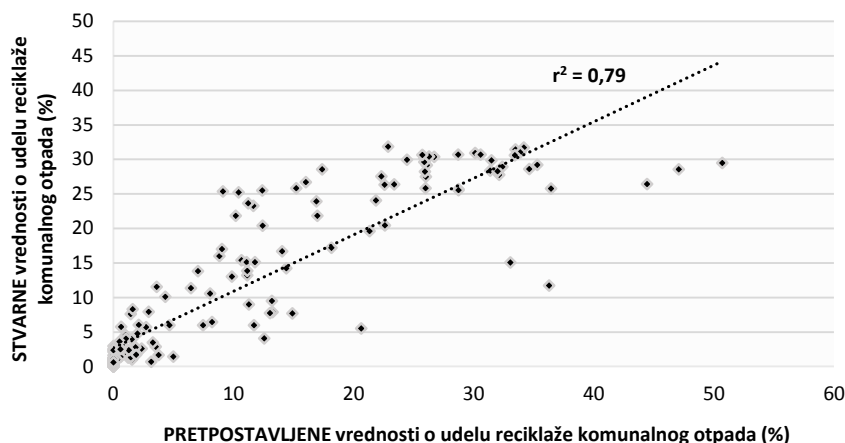
Tip greške/skup podataka	Obuka	Validacija	Testiranje
# Redova	372 (60%)	94 (15%)	156 (25%)
RMSE	8,9	8,4	10,0
MAE	5,7	5,2	6,8
Koeficijent korelacije ( $r$ )	0,88	0,87	0,82

U fazi učenja, neuronska mreža je nakon 500 epoha pokazala dobre karakteristike, što je potvrđeno činjenicom da je srednja kvadratna greška u obučavajućem skupu, kao i u okviru grupe podataka za validaciju iznosila MSE = 0,03 (Grafik 5.15).



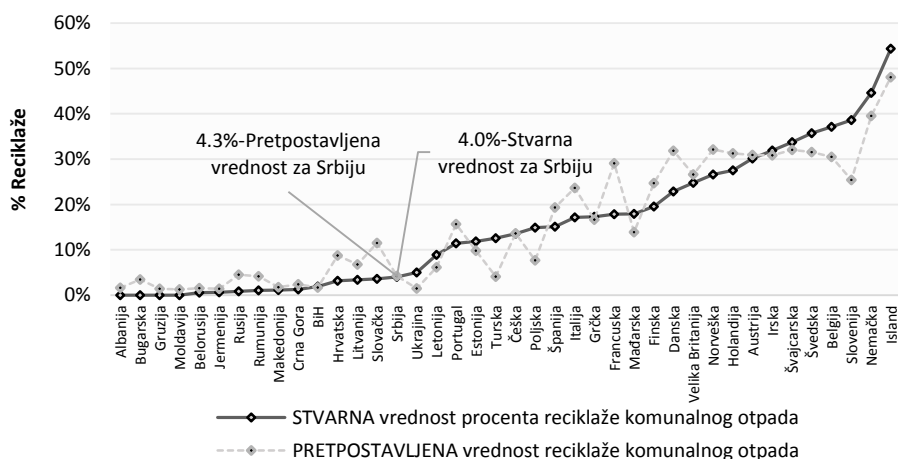
Grafik 5.15 Srednja kvadratna greške (MSE) u sklopu učenja VNM za zastupljenost opcija tretmana otpada tokom 500 epoha

U sklopu procesa testiranja, za svaki od 5 izlaznih parametara izvršena je ocena mreže izračunavanjem korena srednje kvadratne greške (RMSE), srednje apsolutne greške (MAE), kao i koeficijenta korelacije ( $r$ ) i koeficijenta determinacije ( $r^2$ ). Posmatrajući vrednosti za navedene tipove greške, zaključuje se da je najbolje performanse mreža pokazala za izlazni parametar koji se odnosi na predviđanje zastupljenosti reciklaže (RMSE = 5,8 i MAE = 3,7). Koeficijenti korelacije ( $r = 0,89$ ) i determinacije ( $r^2 = 0,79$ ) takođe su zabeležili najveće vrednosti za pomenuti izlazni parametar, u odnosu na ostale. Najslabije karakteristike, sa aspekta greške, mreža je pokazala za izlazni parametar koji se odnosi na procenat deponovanja otpada nakon organizovanog sakupljanja (RMSE = 15,9 i MAE = 12,5), dok je najmanji nivo zavisnosti u odnosu na ulazne parametre pokazao izlaz koji se odnosi na zastupljenost kompostiranja ( $r = 0,69$  i  $r^2 = 0,47$ ).



Grafik 5.16 Poređenje realnih i modelovanih podataka o udelu reciklaže tokom faze testiranja

Provera predloženog modela u cilju njegovih sposobnosti za predviđanje zastupljenosti opcija za tretman komunalnog otpada u budućem periodu, najjasnije se može sagledati ukoliko se mreži zadaju ulazne vrednosti, a dobijeni izlazni rezultati porede sa realnim podacima. Na Grafiku 5.17, prikazane su prave vrednosti o procentualnoj zastupljenosti reciklaže komunalnog otpada u posmatranim evropskim zemljama, ali istovremeno i vrednosti koje je predvideo model odabrane neuronske mreže.



Grafik 5.17 Poređenje realnih vrednosti i vrednosti zastupljenosti reciklaže komunalnog otpada dobijenih modelom

Model je za najveći broj država veoma dobro pretpostavio vrednosti koje se odnose na udeo posmatrane opcije tretmana komunalnog otpada. Prosečna razlika između stvarnih i modelovanih vrednosti za udeo reciklaže u posmatranim državama iznosila je 4,4%, što predstavlja dobar rezultat. Za ostale opcije tretmana otpada, odnosno njihovu procentualnu zastupljenost, primenjena neuronska mreža je pokazala takođe dobre karakteristike u pogledu predviđanja, imajući u vidu da je prosečna razlika između stvarnih i modelovanih vrednosti za udeo deponovanja u posmatranim državama iznosila 9,5%, u slučaju kompostiranja 8,1%, dok je za insineraciju prosečna razlika bila 5,1%.

Model je na primeru Srbije, takođe pokazao vrlo približne vrednosti izlaznih parametara u odnosu na stvarne podatke. Prema podacima *FTN (2013)*, u Srbiji se deponuje oko 92,5% od ukupne količine generisanog komunalnog otpada dok projektovana vrednost dobijena modelom iznosi 95,6%. Na sličan način, u odnosu na realan procenat reciklaže od oko 4,0% (*RZS, 2011; AZŽS, 2013, 2014*), modelovana vrednosti je iznosila 4,3%. Projektovane vrednosti za procenat otpada koji se kompostira (1,3%) i spaljuje (1,2%) takođe su vrlo približne zvaničnim vrednostima od 2%, odnosno 1,5% za udeo pomenutih tretmana (*FTN, 2014*).

## 6. REZULTATI PREDVIĐANJA KOLIČINA AMBALAŽNOG I BIORAZGRADIVOG KOMUNALNOG OTPADA I ZASTUPLJENOSTI OPCIJA TRETMANA OTPADA U REPUBLICI SRBIJI

---

Sušтина projekcije budućih rezultata ogleda se u tome da uz pretpostavljen trend promena u budućem periodu za sve ulazne parametre, model pokaže i očekivane promene rezultata na izlazu. Prvi korak predstavlja projekcija vrednosti ulaznih veličina (parametara) za budući period. S obzirom na to da su za sve prethodno opisane modele, ulazni parametri predstavljali određenu vrstu ekonomskih pokazatelja, neophodno je definisati očekivani trend promene ekonomskih indikatora za Srbiju u budućem periodu.

Većina Evropskih zemalja koje su prošle kroz period tranzicije, su prelazak na tržišno orijentisanu privredu i prateće reforme privrednog sistema započele početkom 90-ih godina, uz njihovo intenziviranje u prethodnoj deceniji. Sa druge strane, Srbija svoj privredni oporavak započinje tek 2001. godine. U periodu od 2000 - 2010, pokušao se ostvariti privredni rast na bazi istovremenog rasta lične i javne potrošnje uz adekvatne tržišne reforme, privatizaciju i priliv inostranih investicija. Ipak, ostvareni rezultati pokazali su da su zacrtani ciljevi bili polovično ostvareni. Prosečna godišnja stopa rasta BDP-a u posmatranom periodu iznosila je 3,8% (*IMF, 2013a; WB, 2013a*) što je bilo nedovoljno da se nadoknadi veliki ekonomski i razvojni pad nastao 90-ih godina. Ekonomski razvoj Srbije u budućem periodu biće određen pre svega nasleđenim problemima ali i budućim izazovima.

Ekonomski pokazatelji ukazuju na to da će inflacija verovatno biti relativno visoka, uz očekivani porast nezaposlenosti i pad zarada. Ograničavajuće faktore predstavljaju i mogućnost, odnosno realni dometi u pogledu potpune reforme javnog sektora, kao i rast spoljnog duga u posmatranom periodu (*USAID/Ekonomski fakultet, 2010*). Većina istraživanja koja se odnose na projekciju rasta BDP-a za Srbiju u budućnosti, predviđaju umerenu stopu godišnjeg rasta, ali se vrednosti u izvesnoj meri ipak razlikuju. Prema podacima *HSBC Global Research (2012)*, očekivana prosečna godišnja stopa rasta BDP-a za Srbiju u periodu od 2010. do 2020. godine iznosila bi relativno visokih 6,5%, dok bi u narednoj dekadi, odnosno do 2030. godine, prosečni godišnji rast BDP-a bio 5,9%. Nešto slabiji očekivani rezultati ekonomskog razvoja, dobijeni su o okviru istraživanja *USAID/Ekonomski fakultet (2010)*, gde su analizirane dve mogućnosti rasta BDP-a za pomenuti period, u zavisnosti od društveno političkog kretanja Srbije u budućnosti. Prema prvoj varijanti može se očekivati prosečan rast BDP-a od 5,8%, dok se u drugoj varijanti predviđa povećanje od 4,9% na godišnjem nivou. Više scenarija očekivanog rasta godišnje stope BDP-a do kraja 2030. godine za Srbiju, zabeleženo je i u okviru istraživanja *IPEMED (2009)*, gde najmanja očekivana stopa iznosi 3,1%, dok optimistički scenario podrazumeva stopu rasta BDP-a od 4,1%. Pomenuti prvi scenario projektovane vrednosti prosečne godišnje stope rasta BDP-a za Srbiju u periodu 2010 - 2030., praktično odgovara vrednosti od 3,2% koliko je pretpostavljeno istraživanjem *USDA-ERS (2013)*.

Zbog nemogućnosti tačne prognoze kretanja ekonomske situacije u Srbiji u budućem periodu, a u cilju smanjenja potencijalno negativnog uticaja na kvalitet (tačnost) izlaznih rezultata u okviru modela, uređena je određena vrsta analize osetljivosti. Predložena su dva različita scenarija budućeg ekonomskog razvoja u Republici Srbiji, zaključno sa 2030. godinom. Uslovno posmatrano, odabrana dva scenarija predstavljaju „optimistički“ i „pesimistički“ trend razvoja Srbije u ekonomskom smislu. Optimistički scenario godišnjih stopa rasta BDP-a do 2030. godine, korišćen u okviru modela neuronskih mreža prikazan je u Tabeli 6.1. Ovakav trend rasta od prosečnih 5,8% na godišnjem nivou, definisan je i u okviru dokumenta *Strategija i politika razvoja industrije Republike Srbije od 2011. do 2020. godine*, izdatog od strane Ministarstva ekonomije i regionalnog razvoja, čime se podrazumeva značajan privredni rast i ekonomski razvoj koji je orijentisan pre svega na investicije i izvoz.

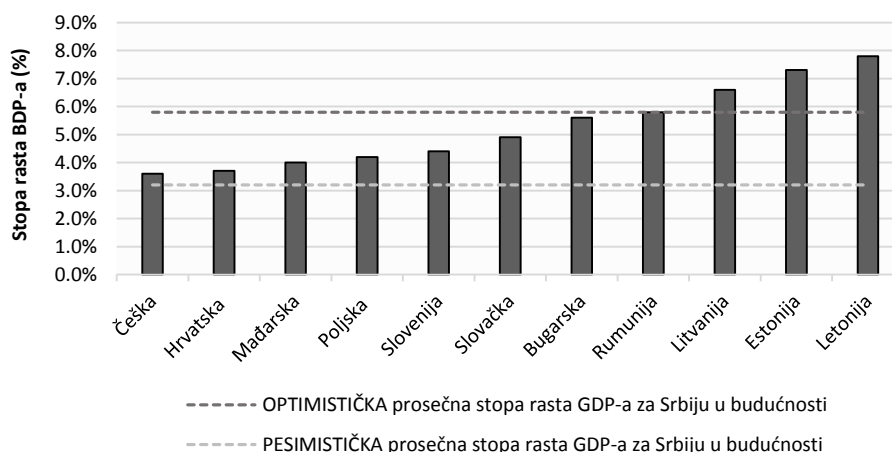
U okviru ovog scenarija podrazumeva se i sticanje punopravnog članstva u EU oko 2020 godine, što uključuje i sve ekonomske pogodnosti koji bi bili direktna posledica ovakvog političkog razvoja. Takođe, u odnosu na 2011. godinu, ovaj scenario podrazumeva povećanje stope zaposlenosti za 16,9% (oko 428.000 radnih mesta), kao i produktivnosti za 51,5%, do kraja 2020. godine (USAID/Ekonomski fakultet, 2010).

Godišnji rast prosečne potrošnje domaćinstava koji je takođe korišćen kao ulazni parametar u modelima neuronskih mreža, u optimističkom scenariju do kraja 2020. godine, može se videti u Tabeli 6.1. Za kasniji period, odnosno od 2020. do 2030. godine, usvojeno je prosečno povećanje od 4,8% na godišnjem nivou. Pesimistički scenario, baziran na istraživanju USDA-ERS (2013), za razliku od prethodnog, za budući period podrazumeva nešto nižu stopu privrednog rasta, odnosno usvojeno povećanje stope rasta BDP-a na godišnjem nivou u periodu od 2010. do 2030. godine u proseku iznosi 3,2%. Kao i u slučaju manje stope rasta BDP-a, rast potrošnje domaćinstava u sklopu pesimističkog scenarija je niži u odnosu na prethodni scenario i iznosi 2,6%.

Tabela 6.1 Projekcija osnovnih ekonomskih parametara za dva posmatrana scenarija (2012 - 2030) (USAID/Ekonomski fakultet, 2010; USDA-ERS, 2013)

Godišnje stope rasta (%)	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2020-2030 (prosek)
<b>Optimistički scenario</b>									
BDP	5,5	5,7	5,8	6,1	6,2	6,8	6,8	6,9	5,8
Potrošnja domaćinstava	3,3	3,4	3,3	4,3	5,1	5,9	5,9	6,0	4,8
<b>Pesimistički scenario</b>									
BDP	2,9	1,5	2,8	3,6	4,2	4,5	4,5	4,5	3,7
Potrošnja domaćinstava	1,8	0,9	1,6	2,6	3,4	3,9	3,9	3,9	3,1

Na Grafiku 6.1 prikazane su prosečne stope rasta BDP-a tokom 2000-ih, za zemlje u okruženju. Imajući u vidu da su neke od njih u tom periodu bile na putu pridruživanja ka EU, slično kao što je trenutno Srbija, može se zaključiti da je opseg očekivanih vrednosti prosečnih godišnjih stopa rasta BDP-a u budućem periodu realno postavljen.

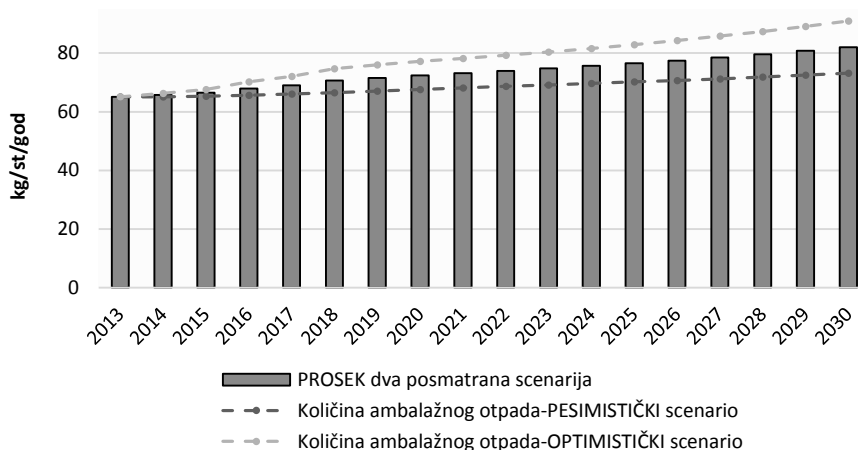


Grafik 6.1 Prosečna godišnja stopa rasta BDP za zemlje u okruženju u periodu od 1998. do 2007. godine (USAID/Ekonomski fakultet, 2010)

Navedene stope rasta BDP-a i ukupne potrošnje domaćinstava za budući period u okviru oba scenarija, iskorišćeni su kako bi se definisali odgovarajući ulazni parametri za sva tri odabrana modela neuronskih mreža, sa ciljem projekcije budućih količina ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada, kao i procentualne zastupljenosti osnovnih tretmana otpada do 2030. godine za Republiku Srbiju. Detaljan prikaz svih vrednosti ulaznih parametara koje su koristile definisane neuronske mreže, uz odgovarajuće izlazne vrednosti koje su pretpostavili posmatrani modeli, nalaze se u Prilogu - Tabela P.7a - 7.c.

## 6.1 REZULTATI PREDVIĐANJA KOLIČINA AMBALAŽNOG OTPADA

Na osnovu zadatih kriterijuma, odnosno ulaznih podataka za budući period u okviru modela VNM za ambalažni otpad (Prilog - Tabela P.7a), dobijeni su podaci o količini ambalažnog otpada za period do 2030 godine (Grafik 6.2). U okviru pesimističkog scenarija, model je pokazao da će se količina ambalažnog otpada po stanovniku povećati za 13,8%, odnosno sa 64,3 kg/st/god, koliko je bilo utvrđeno 2008 godine, na 73,2 kg/st/god u 2030. godini. Kod drugog (optimističkog) scenarija, ovo povećanje je izraženije i model predviđa da će prosečno generisanje ambalažnog otpada po stanovniku na godišnjem nivou 2030. godine iznositi 90,9 kg, što je za 41,4% više u odnosu na 2008. godinu. Na osnovu rezultata, može se zaključiti da je projektovana količina ambalažnog otpada u optimističkom scenariju u proseku veća za 11,3% u odnosu na pesimistički.



Grafik 6.2 Predviđene količine generisanog ambalažnog otpada u Srbiji za dva scenarija do kraja 2030. godine

Posmatrajući prosečne vrednosti dva scenarija, u odnosu na trenutnih nešto više od 467.000 t, u Srbiji se do kraja 2030. godine, može očekivati produkcija od skoro 590.000 t ambalažnog otpada godišnje (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 Projektovana količina generisanog ambalažnog otpada za Srbiju u periodu od 2013. do 2030. godine

Godina	kg/st/god			t/god		
	Pesimistički scenarijo	Optimistički scenarijo	PROSEK	Pesimistički scenarijo	Optimistički scenarijo	PROSEK
2013.	65,0	65,0	<b>65,0</b>	467.409	467.409	<b>467.409</b>
2014.	65,1	66,3	<b>65,7</b>	468.132	476.776	<b>472.454</b>
2015.	65,3	67,6	<b>66,5</b>	469.436	486.047	<b>477.742</b>
2016.	65,6	70,3	<b>67,9</b>	471.596	504.900	<b>488.248</b>
2017.	66,0	72,0	<b>69,0</b>	474.599	517.671	<b>496.135</b>
2018.	66,5	74,7	<b>70,6</b>	478.185	536.809	<b>507.497</b>
2019.	67,1	76,0	<b>71,5</b>	481.911	546.448	<b>514.179</b>
2020.	67,6	77,2	<b>72,4</b>	485.826	554.684	<b>520.255</b>
2021.	68,1	78,2	<b>73,1</b>	489.533	561.876	<b>525.704</b>
2022.	68,6	79,3	<b>73,9</b>	493.324	569.559	<b>531.441</b>
2023.	69,2	80,4	<b>74,8</b>	497.057	577.770	<b>537.413</b>
2024.	69,7	81,6	<b>75,6</b>	500.786	586.547	<b>543.667</b>
2025.	70,2	82,9	<b>76,5</b>	504.343	595.933	<b>550.138</b>
2026.	70,6	84,3	<b>77,5</b>	507.722	605.970	<b>556.846</b>
2027.	71,2	85,8	<b>78,5</b>	512.051	616.705	<b>564.378</b>
2028.	71,9	87,4	<b>79,6</b>	516.506	628.185	<b>572.346</b>
2029.	72,5	89,1	<b>80,8</b>	521.087	640.460	<b>580.774</b>
2030.	73,2	90,9	<b>82,1</b>	525.853	653.578	<b>589.716</b>
<b>Promena (2008. - 2030.)</b>	<b>+13,8%</b>	<b>+41,4%</b>	<b>+27,6%</b>	<b>+13,8%</b>	<b>+41,4%</b>	<b>+27,6%</b>

Ako se bi se posmatrao period od 2008. do 2030. godine, prosečna godišnja stopa rasta količine ambalažnog otpada u Srbiji bi iznosila 1,2%, dok je poređenja radi, količina ambalaže stavljene na tržište EU-15 zemalja u periodu između 1998. i 2010. godine porasla za 11,1%, odnosno 0,91% godišnje (*Europen, 2013*). Ipak, i pored većeg godišnjeg rasta, pretpostavka je da će Srbija 2027. godine generisati dvostruko manju količinu ambalažnog otpada u odnosu na prosečnu količinu koju su zemlje EU-27 generisale 2010. godine.

Srbija je na osnovu *Uredbe o utvrđivanju plana smanjenja ambalažnog otpada za period od 2010. do 2014. godine - Službeni glasnik RS - 88/2009*, usvojila plan smanjenja količine netretiranog ambalažnog otpada, odnosno nacionalne ciljeve koji se odnose na ponovno iskorišćenje i reciklažu ambalažnog otpada. Prema pomenutoj Uredbi, opšti cilj je bio da se do kraja 2014. godine, ponovo iskoristi minimum 30%, a reciklira 25% generisanog ambalažnog otpada (Tabela 2.4). Prema poslednjim dostupnim podacima Agencije za zaštitu životne sredine, nacionalni cilj za 2013. godinu u pogledu ponovnog iskorišćenja najmanje 23% ambalažnog otpada je ispunjen i iznosio je 27,7%.

Treba napomenuti da se u okviru Izveštaja *AZŽS (2014)*, kao zvaničnog dokumenta na osnovu kojeg se određuje da li su postignuti nacionalni ciljevi, procenat reciklaže i ponovnog iskorišćenja ambalažnog otpada, računa u odnosu na količinu ambalaže stavljene na tržište, a ne u odnosu na količinu generisanog ambalažnog otpada. Ukoliko bi količina od 87.950 t ponovno iskorišćenog ambalažnog otpada u 2013. godini (*AZŽS, 2014*), bila posmatrala u odnosu na generisanu količinu ambalažnog otpada dobijenu modelom (Tabela 6.2), procenat ponovnog iskorišćenja bi u tom slučaju iznosio 18,8%.

Na osnovu Direktive EU o ambalaži i ambalažnom otpadu, članice EU-15 imale su obavezu da u roku od 14 godina ispune glavne ciljeve za reciklažu i ponovno iskorišćenje ambalažnog otpada, uz napomenu da je državama koje su kasnije pristupile EU omogućeno da u ciljeva realizuju nekoliko godina kasnije u odnosu na 2008. godinu (Grafik 2.15). Ukoliko se napravi paralela sa ovom Direktivom, gde je pomenuti cilj od 25% recikliranog ambalažnog otpada za zemlje članice bio određen za 2001. godinu, a naredni od najmanje 55% za 2008. godinu, odnosno sa vremenskom distancom od 7 godina, hipotetički posmatrano naredni cilj bi za Srbiju u tom slučaju bio postavljen za 2021. godinu.

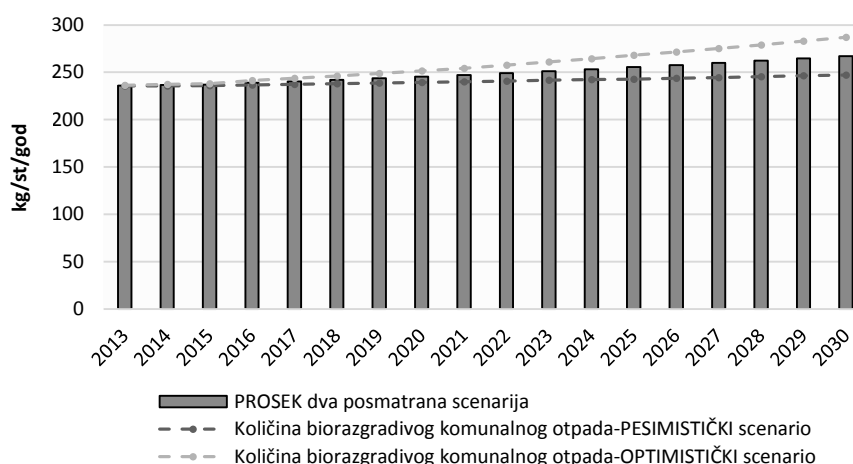
Ipak, i pored činjenice da su svi dosadašnji ciljevi u vezi sa reciklažom i ponovnim iskorišćenjem ambalažnog otpada definisani u okviru domaćeg zakonodavstva bili ostvareni prema planiranoj dinamici, rok za dostizanje ciljeva u skladu sa glavnim odredbama Direktive EU o ambalaži i ambalažnom otpadu, treba biti pažljivo odabran. Trenutno, najveći deo sakupljenog i tretiranog ambalažnog otpada potiče iz komercijalnog sektora, dok će za dostizanje cilja od 55% do 80% recikliranog, odnosno najmanje 60% ponovo iskorišćenog ambalažnog otpada, biti neophodno da se pored toga tretiraju i daleko veće količine ambalažnog otpada koji se generiše u okviru domaćinstava. To podrazumeva značajno unapređenje postojećih sistema upravljanja otpadom, posebno u segmentu implementacije sakupljanja primarno izdvojenih kategorija ambalažnog otpada.

S obzirom na to da je trenutna situacija po pitanju sakupljanja i reciklaže pojedinačnih kategorija ambalažnog otpada iz domaćinstava na veoma niskom nivou, stopa reciklaže ambalažnog otpada od najmanje 55% do kraja 2021. godine, verovatno je teško dostižna. Ovo potvrđuje i Izveštaj *IMG (2014)*, rađen za potrebe revizije nacionalne Strategije upravljanja otpadom u cilju usaglašavanja sa ključnim Direktivama EU, gde je kao rok za ostvarenje krajnjeg cilja za reciklažu i ponovno iskorišćenje ambalažnog otpada, predložena 2025. godina, što predstavlja realniju opciju.

U skladu sa navedenim i na osnovu rezultata dobijenih modelom, uzimajući srednju vrednost dva posmatrana scenarija, očekivana ukupna količina ambalažnog otpada 2025. godine će iznositi 550.138 t. Na taj način, u cilju dostizanja stope reciklaže od najmanje 55% bilo bi potrebno reciklirati 302.576 t ambalažnog otpada, što je za oko 215.000 t više od količine ambalažnog otpada koja se trenutno reciklira.

## 6.2 REZULTATI PREDVIĐANJA KOLIČINA BIORAZGRADIVOG KOMUNALNOG OTPADA

Buduće količine biorazgradivog komunalnog otpada dobijene primenom odgovarajućeg modela VNM, u proseku pokazuju nešto manji porast u odnosu na količine ambalažnog otpada. Zaključno sa 2030. godinom, a posmatrano u odnosu na 2008. godinu, to povećanje u okviru pesimističkog scenarija iznosi 15,5%, dok je kod optimističkog scenarija zabeležen rast od 34,1%. Model je pretpostavio da će se u 2030. godini generisati 247,2 kg/st/god, odnosno 287,1 kg/st/god u zavisnosti od posmatranog scenarija (Grafik 6.3). U proseku, razlika između dva analizirana scenarija iznosi 6,1%, što ukazuje na činjenicu da je količina biorazgradivog komunalnog otpada manje podložna promenama usled ekonomskog rasta, u odnosu na ambalažni otpad gde je ta razlika iznosila 11,3%.



Grafik 6.3 Predviđene količine generisanog biorazgradivog komunalnog otpada u Srbiji za dva scenarija do kraja 2030. godine

U okviru Tabele 6.3, nalaze se projektovane vrednosti ukupne količine biorazgradivog komunalnog otpada izražene u tonama po godini za period do 2030. godine.

Tabela 6.3 Projektovana količina generisanog biorazgradivog otpada za Srbiju u periodu od 2013. do 2030. godine

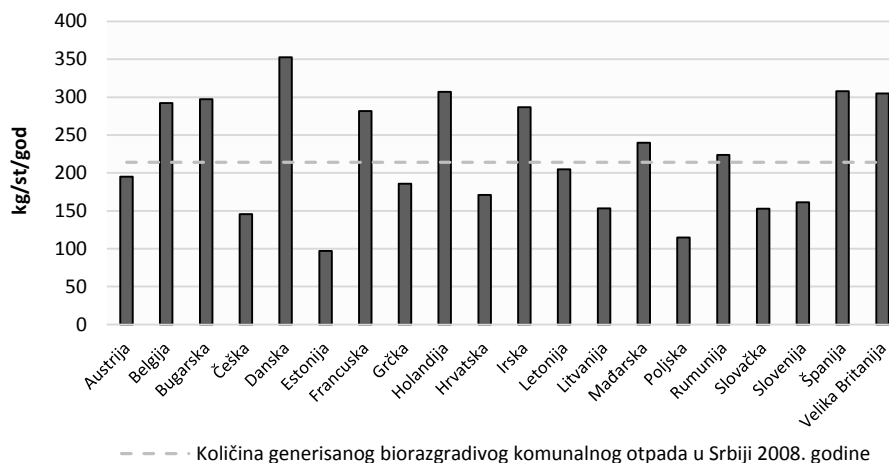
Godina	kg/st/god			t/god		
	Pesimistički scenarij	Optimistički scenarij	PROSEK	Pesimistički scenarij	Optimistički scenarij	PROSEK
2013.	235,5	235,5	<b>235,5</b>	1.692.646	1.692.646	<b>1.692.646</b>
2014.	235,7	237,2	<b>236,5</b>	1.694.285	1.704.797	<b>1.699.541</b>
2015.	236,1	238,0	<b>237,0</b>	1.697.019	1.710.155	<b>1.703.587</b>
2016.	236,7	241,2	<b>239,0</b>	1.700.872	1.733.818	<b>1.717.345</b>
2017.	237,3	243,7	<b>240,5</b>	1.705.543	1.751.208	<b>1.728.375</b>
2018.	238,0	246,1	<b>242,0</b>	1.710.477	1.768.670	<b>1.739.573</b>
2019.	238,7	248,8	<b>243,7</b>	1.715.684	1.787.883	<b>1.751.784</b>
2020.	239,4	251,5	<b>245,4</b>	1.720.687	1.807.232	<b>1.763.960</b>
2021.	240,1	254,4	<b>247,3</b>	1.725.794	1.828.111	<b>1.776.953</b>
2022.	240,8	257,5	<b>249,2</b>	1.730.869	1.850.527	<b>1.790.698</b>
2023.	241,5	260,9	<b>251,2</b>	1.735.959	1.874.789	<b>1.805.374</b>
2024.	242,2	264,4	<b>253,3</b>	1.740.862	1.899.992	<b>1.820.427</b>
2025.	242,9	268,0	<b>255,5</b>	1.745.547	1.926.425	<b>1.835.986</b>
2026.	243,7	271,6	<b>257,6</b>	1.751.435	1.951.751	<b>1.851.593</b>
2027.	244,6	275,2	<b>259,9</b>	1.757.645	1.977.984	<b>1.867.814</b>
2028.	245,5	279,0	<b>262,2</b>	1.764.078	2.005.214	<b>1.884.646</b>
2029.	246,4	283,0	<b>264,7</b>	1.770.814	2.033.544	<b>1.902.179</b>
2030.	247,2	287,1	<b>267,2</b>	1.776.897	2.063.086	<b>1.919.991</b>
<b>Promena (2008. - 2030.)</b>	<b>+15,5%</b>	<b>+34,1%</b>	<b>+24,8%</b>	<b>+15,5%</b>	<b>+34,1%</b>	<b>+24,8%</b>

Na osnovu prosečnih vrednosti dva posmatrana scenarija, u odnosu na 2008. godinu i ukupnu količinu generisanog biorazgradivog otpada od 1.602.525 t koja je tada izmerena (FTN, 2009), u Srbiji će se 2030. godine generisati oko 1.920.000 t, što predstavlja povećanje od 24,8%.

Za razliku od većine zemalja EU koje su prema odredbama Direktive EU o deponijama, u obavezi da smanje količinu deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada u odnosu na količinu koja se generisala 1995. godine, Republika Srbija još uvek nije odredila referentnu godinu.

Najvažnije je da odabrana referentna godina bude ona za koju postoje pouzdani podaci o količini generisanog biorazgradivog otpada. Ukoliko bi Srbija trebala da pregovarala o odabiru referente godine za određeni period pre 2008. godine, kada su podaci o količini bili zasnovani isključivo na procenama, to bi moglo imati negativne posledice po ostvarenje definisanih ciljeva. Činjenica da u Srbiji nisu sprovedena konkretna merenja karakteristika otpada na terenu, pre 2008. godine, nameće logičan zaključak da referentna godina bude upravo 2008.

U Tabeli 2.5 (Poglavlje 2.3) navedene su odabrane referentne godine za sve evropske zemlje, dok su odgovarajuće količine biorazgradivog komunalnog otpada generisane u posmatranim godinama za određen broj zemalja prikazane na narednom grafiku.



Grafik 6.4 Količina biorazgradivog komunalnog otpada generisana u referentnoj godini za određene evropske zemlje (EEA, 2002b; Ernst & Young, 2011)

Direktiva EU o deponijama stupila je na snagu u 1999. godine i u tom momentu članice EU-15 imale su na raspolaganju 17 godina kako bi ispunile krajnji cilj definisan Direktivom, odnosno da najkasnije do kraja 2016. godine, smanje količinu deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada za najmanje 65% u odnosu na generisanu količinu iz 1995. godine. Državama koje su kasnije pristupile EU (2004. i 2007. godine), dozvoljeno je odstupanje od 4 godine, uz poslednji primer Hrvatske, koja je 1997. godinu definisala kao referentnu, a postavljeni ciljevi su se odnosili na 2013., 2016. i 2020. godinu (Tabela 2.5).

Srbija u procesu usklađivanja sa odredbama Direktive EU o deponijama, treba da postavi rokove za ispunjenje ciljeva u skladu sa realnim mogućnostima. U tom kontekstu, najvažnije je sagledati realnu situaciju u pogledu vremena koje će biti potrebno za formiranje regiona za upravljanje otpadom i puštanje u rad objekata namenjenih za tretman biorazgradivog komunalnog otpada.

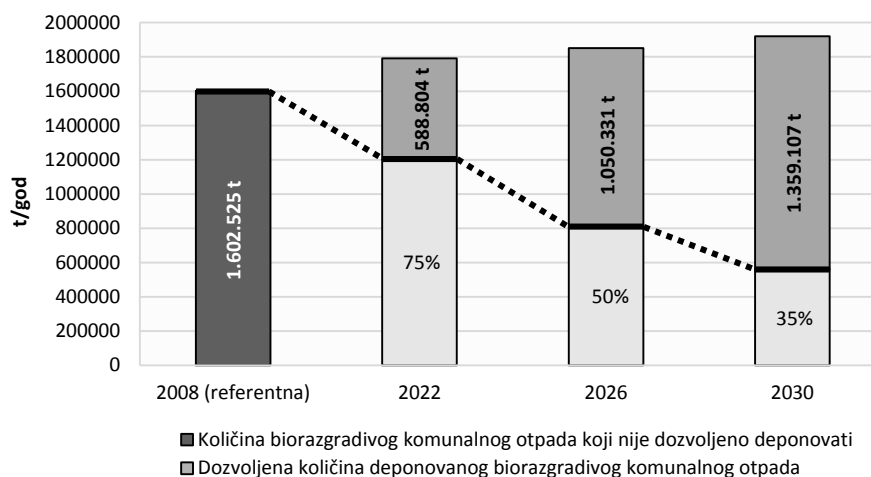
Za dostizanje prvog cilja, odnosno smanjenja količine deponovanog biorazgradivog otpada za 25% u odnosu na generisanu količinu iz referentne godine, glavni fokus treba da bude na regionima koji već imaju izgrađene sanitarne deponije ili će ih imati u bliskoj budućnosti (Kikinda, Gornji Milanovac, Lapovo, Jagodina, Užice, Vranje, Pirot, Leskovac, Sremska Mitrovica, Pančevo, Subotica i Indija).



Glavni razlog za ovakav pristup je realno očekivanje da će pomenuti regioni stvoriti uslove za implementaciju određene vrste tretmana biorazgradivog komunalnog otpada, ranije u odnosu na ostale regione. Značajan doprinos u ostvarenju cilja potencijalno može imati i podrška razvoju tzv. kućnog kompostiranja, pre svega u ruralnom oblastima, posebno ako se uzme u obzir da se najveće količine biorazgradive frakcije generišu upravo u seoskim domaćinstvima.

Ipak, ispunjenje krajnjeg cilja, odnosno deponovanje najviše 35% količine biorazgradivog otpada generisanog u referentnoj godini, u realnim uslovima teško može da se očekuje bez uključivanja najvećih regiona, pre svega Beograda, Novog Sada, Niša, Kragujevca i slično, pogotovo imajući u vidu da će ovi regioni u budućnosti biti generatori skoro 80% biorazgradivog komunalnog otpada u odnosu na količinu generisanu u potencijalnoj referentnoj godini (IMG, 2014).

Ako se pretpostavi da je referentna godina, tačnije referentna količina biorazgradivog komunalnog otpada u Srbiji, ona iz 2008. godine, kao i da su rokovi za ispunjenje ciljeva postepenog smanjenja deponovane količine ove vrste otpada (2022., 2026. i 2030. godina) određeni na bazi pomenutog Izveštaja IMG (2014), na Grafiku 6.5 može se videti koje količine bi se u tom slučaju morale tretirati na drugi način.



Grafik 6.5 Predviđene količine biorazgradivog komunalnog otpada koje nije dozvoljeno deponovati u budućem periodu

Uzimajući u obzir prosečne vrednosti dva scenarija u okviru modela VNM za biorazgradivi otpad, do kraja 2022. godine za dostizanje cilja koji podrazumeva da je dozvoljeno deponovati najviše 75% količine biorazgradivog komunalnog otpada generisane 2008. godine, znači da bi se drugim opcijama moralo tretirati oko 590.000 t ove vrste otpada. Po istom principu, za dostizanje cilja u 2026. godini, ta vrednost iznosila bi 1.050.331 t, dok bi konačno 2030. godine trebalo obezbediti uslove da količina od skoro 1.360.000 t biorazgradivog komunalnog otpada ne bude deponovana.

Kao određena vrsta rekapitulacije, u narednoj Tabeli 6.4, prikazani su podaci o količinama ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada dobijenih pomoću modela VNM, koje bi u budućem periodu trebalo tretirati na odgovarajući način, kako bi se izvršilo usklađivanje i ispunili ključni ciljevi definisani u okviru Direktiva EU koje se odnose na ova dva toka komunalnog otpada.

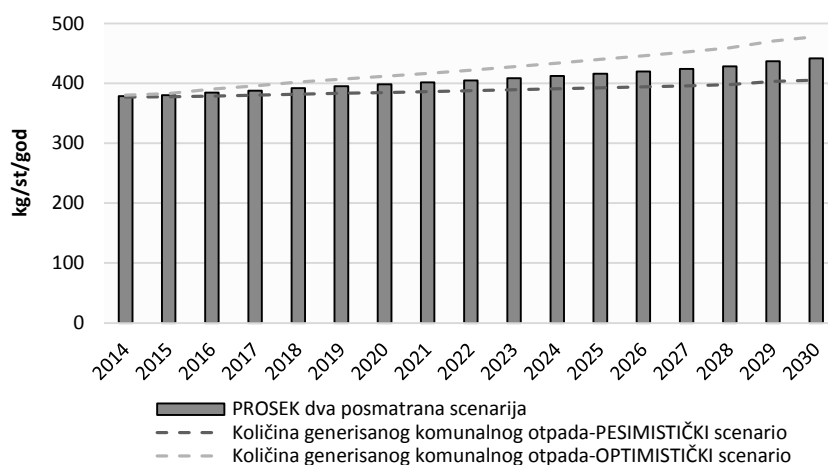
Treba napomenuti da su za potrebe proračuna rokovi za ispunjenje navedenih ciljeva hipotetički postavljeni, odnosno da će zvanični rokovi biti definisani u budućem periodu, zajednički od strane Ministarstva i ostalih nadležnih državnih institucija i odgovarajućih subjekata u okviru EU zaduženih za ova pitanja.

Tabela 6.4 Količine ambalažnog i biorazgradivog otpada koje je neophodno tretirati u cilju usklađivanja sa Direktivama EU

DEFINISANI CILJEVI		PRETPOSTAVLJENI ROKOVI	KOLIČINA (t/god)		
			Pesimistički scenario	Optimistički scenario	PROSEK
<i>Usklađivanje sa Direktivom EU o ambalaži i ambalažnom otpadu (Directive 1994/62/EC, 2004/12/EC)</i>					
Reciklaža	najmanje 55%	2025. godina	277.389	327.763	<b>302.576</b>
	najviše 80%		403.475	476.746	<b>440.111</b>
Ponovno iskorišćenje	najmanje 60%		302.606	357.560	<b>330.083</b>
<i>Usklađivanje sa Direktivom EU o deponijama (Directive 1999/31/EC)</i>					
Smanjenje deponovane količine u odnosu na generisanu količinu u referentnoj godini	na 75%	2022. godina	528.975	648.633	<b>588.804</b>
	na 50%	2026. godina	950.173	1.150.489	<b>1.050.331</b>
	na 35%	2030. godina	1.216.012	1.502.202	<b>1.359.107</b>

Rezultati o projektovanim količinama ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada se mogu iskoristi i za predviđanje ukupno generisane količine komunalnog otpada za posmatrani period, uz napomenu da bi za preciznije rezultate trebalo koristiti posebno prilagođen model VNM u tu svrhu.

Na bazi dobijenih rezultata i pretpostavke da količina komunalnog otpada koja ne spada u ambalažne ili biorazgradive kategorije otpada ne menja svoj udeo u ukupnoj količini za budući period u odnosu na rezultate merenja iz 2008. godine (Grafik 2.11), moguće je doći do pokazatelja o ukupnoj količini komunalnog otpada zaključno sa 2030. godinom. Vrednosti dobijene na ovaj način, za oba posmatrana scenarija, prikazane su na Grafiku 6.6.



Grafik 6.6 Projekcija ukupne količine komunalnog otpada u Srbiji zaključno sa 2030. godinom

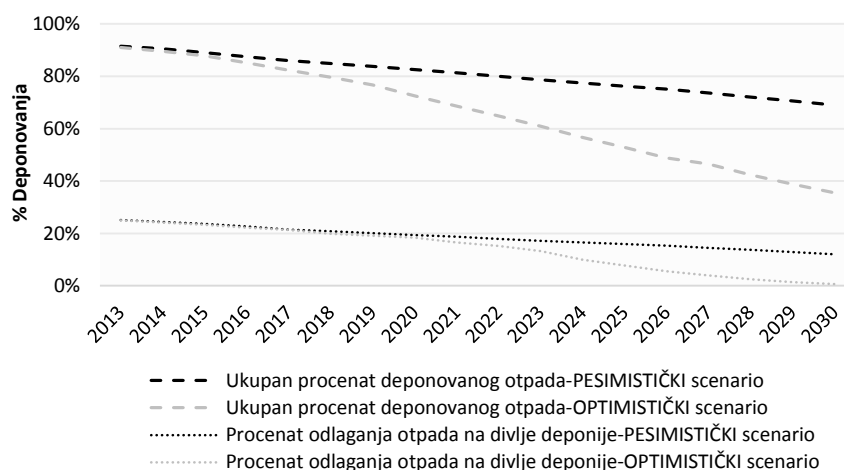
Uzimajući u obzir prosečne vrednosti dva analizirana scenarija, sa 318 kg/st/godišnje koliko se produkovalo 2008. godine (FTN, 2009), generisanje komunalnog otpada će do kraja 2030. godine porasti na 441,8 kg/st/god, što bi predstavljalo povećanje od 39,1%, odnosno u proseku 1,7% godišnje.

Gotovo identičan rast na godišnjem nivou u periodu od 1995. do 2002. godine su zabeležile u proseku i države EU (Eurostat, 2011, 2013a). Izraženo u formi dnevne produkcije po stanovniku, vrednost za 2030. godinu iznosi 1,21 kg/st/dn, dok bi se ukupno generisana količina sa 2.374.375 t iz 2008. godine, povećala na 3.174.835 t.

## 6.3 REZULTATI PREDVIĐANJA ZASTUPLJENOSTI OPCIIJA TRETMANA KOMUNALNOG OTPADA

Primenom modela VNM za definisanje zastupljenosti četiri osnovne grupe tretmana komunalnog otpada na nacionalnom nivou, uz korišćenje dva odabrana scenarija i promene odgovarajućih ekonomskih pokazatelja u budućem periodu, moguće je utvrditi na koji način model predviđa promene po pitanju zastupljenosti pomenutih tretmana komunalnog otpada u budućnosti.

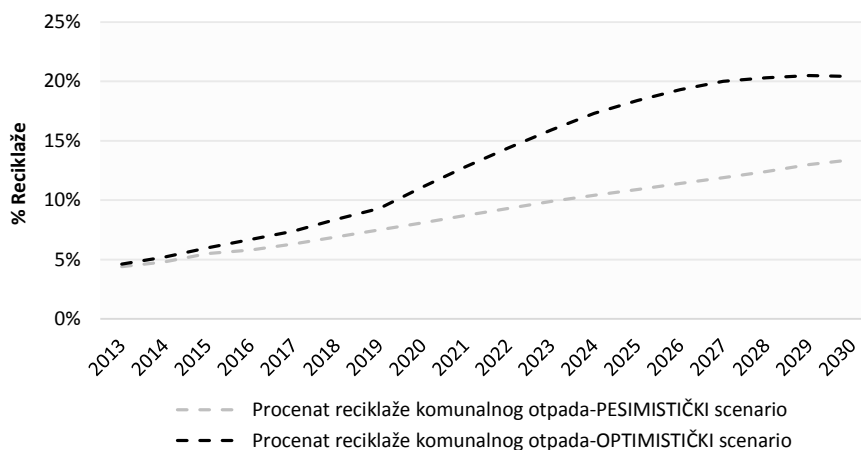
Na osnovu dobijenih podataka, model VNM za oba posmatrana scenarija predviđa da će procenat deponovanog komunalnog otpada prema projekcijama opadati, pri čemu je taj trend izraženiji u optimističkom scenariju, prema kojem će se 2030. godine deponovati svega 35,5% komunalnog otpada. Nasuprot tome, za pomenutu godinu pesimistički scenario predviđa da će od ukupne količine generisanog komunalnog otpada, 69,0% biti deponovano (Grafik 6.7). Treba naglasiti da je smanjenje procenta deponovanog otpada u budućem periodu povezano sa povećanjem procenta zastupljenosti ostalih tretmana otpada. Prema dobijenim rezultatima, uzimajući u obzir prosečne vrednosti dva analizirana scenarija, u Srbiji se može očekivati da će deponovanje prvi put biti manje zastupljeno od svih ostalih tretmana zajedno, tek nakon 2030. godine, što se na nivou zemalja EU-27, dogodilo 2004. godine (Eurostat, 2011, 2013d).



Grafik 6.7 Projekcija procenta odlaganja komunalnog otpada u Srbiji za dva scenarija zaključno sa 2030. godinom

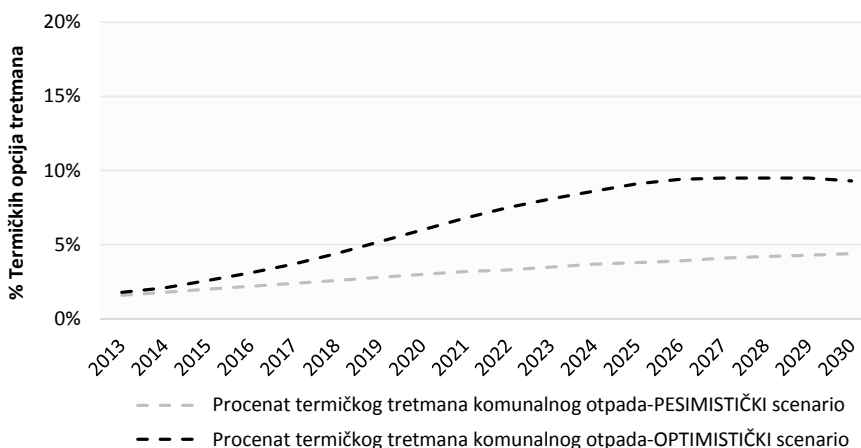
Na Grafiku 6.7 prikazan je i projektovan trend smanjenja količine generisanog otpada koji će se odlagati na divljim deponijama. Rezultati dobijeni modelom VNM, pokazuju da se značajnije smanjenje procenta komunalnog otpada koji se odlaže na divlje deponije može očekivati nakon 2018. godine. Pri tome, ovaj trend smanjenja izraženiji je u slučaju optimističkog scenarija, prema kojem se potpuna pokrivenost stanovništva organizovanim sakupljanjem otpada prema modelovanim rezultatima može očekivati oko 2030. godine. Sa druge strane, u slučaju pesimističkog scenarija, za istu godinu model predviđa da će se oko 12% komunalnog otpada još uvek deponovati na ovaj način.

Za razliku od prethodnog izlaznog parametra koji pokazuje smanjenje, projektovane vrednosti koje se odnose na procenat zastupljenosti reciklaže komunalnog otpada u budućem periodu rastu. U odnosu na početnu 2013. godinu, oba analizirana scenarija pokazuju umeren rast stope reciklaže komunalnog otpada do kraja 2019. godine, koja bi prema rezultatima modelovanja u proseku iznosila oko 8,4%. U odnosu na pesimistički scenario, gde zastupljenost reciklaže komunalnog otpada nastavlja umereno da raste i u budućem periodu, dostižući vrednost od 13,4% u 2030. godini, u slučaju optimističkog scenarija ovaj rast je izraženiji i zaključno sa 2030. godinom model predviđa da će ta vrednost iznositi oko 20,4% (Grafik 6.8).



Grafik 6.8 Projekcija procenta reciklaže komunalnog otpada u Srbiji za dva scenarija zaključno sa 2030. godinom

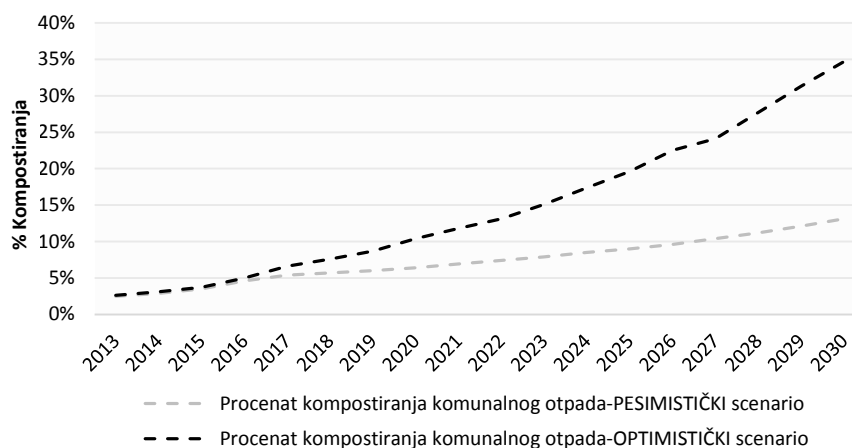
Na Grafiku 6.9, se vidi da termičke metode prema dobijenim rezultatima modela za oba scenarija generalno neće predstavljati dominantniji oblik tretmana komunalnog otpada u Srbiji u budućnosti. Iako se predviđa njihov konstantan rast, prema projekcijama, 2020. godine u proseku oko 4,5% komunalnog otpada u Srbiji biće tretirano nekom od termičkih metoda. U poslednjoj godini koja je razmatrana u okviru modela, prema optimističkom scenariju zastupljenost termičkih metoda za tretman komunalnog otpada će dostići oko 9,3%, dok se u okviru pesimističkog predviđa zastupljenost od svega 4,4%.



Grafik 6.9 Projekcija procenta insineracije komunalnog otpada u Srbiji za dva scenarija zaključno sa 2030. godinom

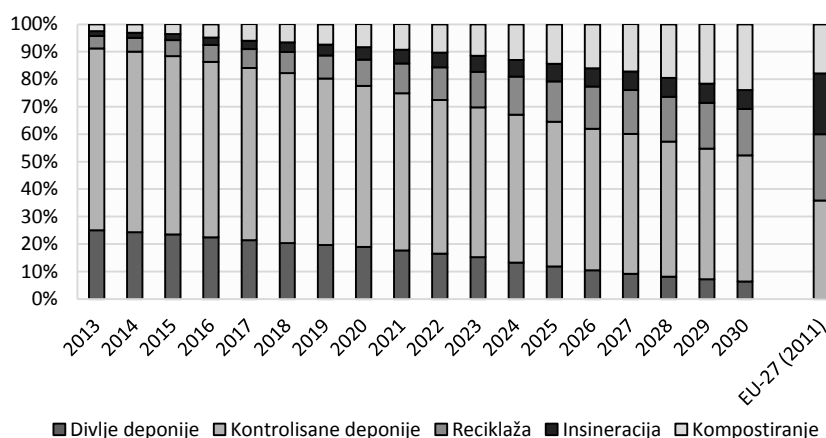
Najveće promene po pitanju zastupljenosti tretmana, model je pokazao u slučaju kompostiranja, odnosno budućeg udela bioloških metoda za tretman komunalnog otpada. Rezultati dobijeni u okviru modela za oba posmatrana scenarija pokazuju da se značajniji rast može očekivati od 2017. godine, rezultujući da 2030. godine u Srbiji, projektovan udeo kompostiranja komunalnog otpada dostigne skoro 35% u slučaju optimističkog scenarija, odnosno 13,1% u okviru pesimističkog (Grafik 6.10).

U cilju dobijanja sveobuhvatnije slike, na Grafiku 6.11, prikazani su uporedni rezultati očekivanih promena zastupljenosti svih osnovnih tretmana komunalnog otpada za Srbiju, u budućem periodu do kraja 2030. godine. Prikazane vrednosti predstavljaju prosek dva analizirana scenarija, dok se detaljni podaci za oba scenarija nalaze u Prilogu - Tabela P.7c. Rezultati modelovanja ukazuju na to da će u odnosu na ostale opcije tretmana komunalnog otpada, deponovanje i u budućem periodu predstavljati ubedljivo najdominantniji oblik, ali da će generalno procentualna zastupljenost ovog tretmana opadati.



Grafik 6.10 Projekcija procenta kompostiranja komunalnog otpada u Srbiji za dva scenarija zaključno sa 2030. godinom

U odnosu na 2013. godinu i preko 91% deponovanog komunalnog otpada, prema projekcijama modela, ta vrednost će do kraja 2030. godine iznositi 52,3%, od čega će oko 6,3% još uvek završavati na tzv. divljim deponijama. Ipak, i pored očiglednog smanjenja udela komunalnog otpada koji će se u budućnosti odlagati na deponije, Srbija će prema projekcijama u poslednjoj godini koja je obuhvaćena modelom deponovati za 16,4% više otpada u odnosu na prosek koji su zemlje EU-27 deponovale tokom 2011. godine (Eurostat, 2011, 2013d).



Grafik 6.11 Projekcija osnovnih opcija za tretman komunalnog otpada u Srbiji zaključno sa 2030. godinom

Reciklaža komunalnog otpada će prema projekcijama biti u stalnom porastu, uz očekivanje da će se 2030. godine reciklirati četiri puta veća količina komunalnog otpada u odnosu na 2013. godinu. Projektovana vrednost zastupljenosti reciklaže od 16,9% u 2030. godini za Srbiju, biće manja od prosečne vrednosti za zemlje EU-27 tokom 2011. godine, koja je iznosila 24,1% (Tabela 2.2). Termičke metode za tretman komunalnog otpada i pored projektovanog rasta u budućem periodu, neće imati značajniji udeo u odnosu na ostale opcije.

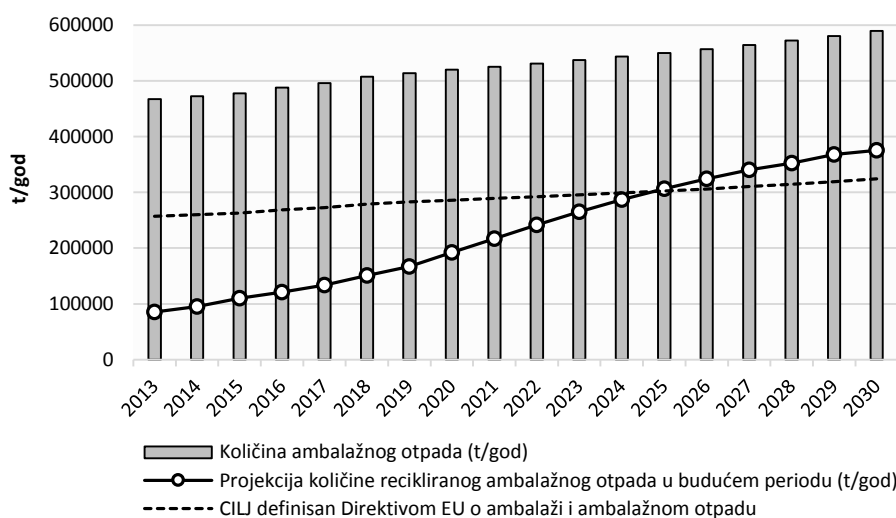
Vrednost od 6,9% komunalnog otpada koji će se prema projekcijama tretirati na ovaj način, daleko je manja od 22,1% koliko su 2011. godine u proseku zabeležile zemlje EU. Nasuprot tome, biološke metode za tretman komunalnog otpada pokazuju najveći trend rasta. Sa pretpostavljenim udelom od 2,0% iz 2012. godine, ta vrednost će prema projekcijama iznositi skoro 24% u 2030. godini, što je za 6% više u odnosu na procenat kompostiranja komunalnog otpada za članice EU tokom 2011. godine (Eurostat, 2011, 2013d).

## 6.4 PROCENA MOGUĆNOSTI ZA DOSTIZANJE CILJEVA DEFINISANIH EU DIREKTIVAMA NA OSNOVU DOBIJENIH REZULTATA

Podaci dobijeni modelovanjem koji se odnose na predviđanje budućih količina ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada, kao i na zastupljenost osnovnih tretmana otpada u budućem periodu, mogu da se iskoriste kako bi se izvršila gruba procena u kojem momentu se može očekivati da će Srbija dostići ključne ciljeve definisane Direktivama EU.

Direktiva EU o ambalaži i ambalažnom otpadu, podrazumeva da najmanje 55% ambalažnog otpada bude reciklirano u budućem periodu. Kako bi se izvršila analiza mogućnosti za dostizanje pomenutog cilja, prvo su posmatrani podaci o projektovanim količinama ambalažnog komunalnog otpada do kraja 2030. godine (Tabela 6.2). Pored toga, uzeti su u obzir i modelovani podaci o udelu reciklaže komunalnog otpada za isti period (Prilog -Tabela P.7c).

S obzirom na to da se podaci o udelu reciklaže odnose na celokupan komunalni otpad, na osnovu literaturnih podataka i proseka za članice EU (*Europen, 2013; Eurostat, 2011, 2013d*), za potrebe proračuna, pretpostavljeno je da 70% od ukupno recikliranog komunalnog otpada predstavlja ambalažni otpad. Ako se uzmu u obzir vrednosti izlaznih parametara odgovarajućih modela VNM, tačnije prosečne vrednosti dva posmatrana scenarija, a zatim poredi sa količinom ambalažnog otpada koju je neophodno reciklirati kako bi se dostigla predviđena stopa reciklaže od 55%, moguće je utvrditi u kojoj meri je na bazi rezultata dobijenih modelima pomenuti cilj realan i dostižan.

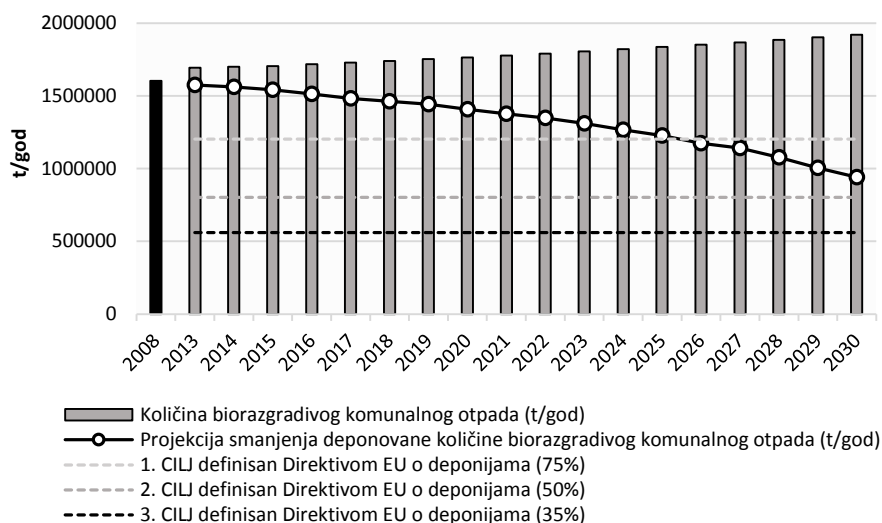


Grafik 6.12 Projekcija dostizanja ključnog cilja prema Direktivi EU o ambalaži i ambalažnom otpadu za Srbiju

Na Grafiku 6.12, se vidi da bi cilj definisan Direktivom EU za Srbiju bio ostvariv 2025. godine, uz napomenu da je pomenuti cilj posmatran u odnosu na generisanu količinu ambalažnog otpada, za razliku od količine ambalaže stavljen na tržište Srbije na bazi koje Agencija za zaštitu životne sredine posmatra ispunjenost ciljeva definisanih domaćim Uredbama. S obzirom na činjenicu da je količina ambalaže stavljen na tržište zbog uticaja vlažnosti i nečistoća, po pravilu manja od količine kada ti isti ambalažni materijali postanu otpad, ostvarivanje cilja bi u tom slučaju bilo dostižno i ranije.

Rezultate dobijene modelima VNM moguće je iskoristiti i kako bi se utvrdio očekivani vremenski period u kojem bi Srbija bila mogla da ispuni ciljeve u skladu sa Direktivom EU o deponijama, a koji se odnose na postepeno smanjenje količine deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada.

U tu svrhu, korišćeni su podaci o budućim količinama biorazgradivog komunalnog otpada dobijeni modelom VNM za biorazgradivi otpad (Tabela 6.3), kao i rezultati o udelu osnovnih tretmana otpada u Srbiji u istom periodu, odnosno do 2030. godine (Prilog -Tabela P.7c). S obzirom na to da referentna godina, u odnosu na koju se posmatra u kojoj meri su dostignuti definisani ciljevi, još uvek nije određena, za potrebe ove analize pretpostavljena je 2008. godina, odnosno odgovarajuća količina biorazgradivog otpada koji je generisan u toj godini.



Grafik 6.13 Projekcija dostizanja ciljeva prema Direktivi EU o deponijama za Srbiju

Da bi se procenila količina biorazgradivog komunalnog otpada koja u budućnosti neće biti deponovana, doprinoseći time ispunjenju ciljeva, iskorišćeni su modelovani podaci o udelu bioloških metoda (kompostiranja) za tretman komunalnog otpada, uz pretpostavku da celokupna količina komunalnog otpada predstavlja biorazgradivu frakciju.

S obzirom na to da jedan deo biorazgradive frakcije, koja se odnosi pre svega na papir i karton spada i u grupu reciklabilnih kategorija, pretpostavljeno je da će se reciklažom ove vrste otpada dodatno doprineti ostvarenju ciljeva prema Direktivi EU. U odnosu na sve reciklabilne kategorije komunalnog otpada u Srbiji, papir i karton čine oko 35% (FTN, 2009), zbog čega je razmatran najpovoljniji scenario koji podrazumeva da će u ukupnoj količini recikliranog otpada u budućem periodu i pomenute frakcije biti zastupljene u toj meri.

Po sličnom principu, pretpostavka je i da će od celokupne količine komunalnog otpada koji bude termički tretiran, oko 15% ulaznih sirovina predstavljati biorazgradiva frakcija veće kalorijske vrednosti (papir, karton, drvo i sl.). Na kraju, razlika količine generisanog biorazgradivog komunalnog otpada i količine ove vrste otpada koja će biti tretirana jednom od pomenutih opcija, predstavlja deponovanu količinu na osnovu koje se utvrđuje u kojoj meri se u budućem periodu može očekivati ispunjenje ciljeva u skladu sa Direktivom EU o deponijama.

Rezultati dobijeni na ovaj način, prikazani na Grafiku 6.13, pokazuju da su definisani ciljevi teško dostižni u bliskoj budućnosti. Prvi cilj, odnosno smanjenje deponovane količine biorazgradivog komunalnog otpada za 25% u odnosu na količinu koja je generisana 2008. godine, može se prema projektovanim vrednostima očekivati tek nakon 2026. godine. Naredni, kao i konačni cilj koji dozvoljava da u odnosu na količinu biorazgradivog komunalnog otpada iz referentne godine, najviše 35% bude deponovano, prema projektovanim podacima ne bi se ostvarili do kraja 2030. godine.

## 7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

---

Količine komunalnog otpada koje se trenutno generišu, uz tendenciju daljeg rasta, predstavljaju jedan od ključnih faktora koji doprinose ubrzanju degradaciji životne sredine. Postojeće opterećenje na životnu sredinu može se umanjiti implementacijom adekvatnih rešenja, odnosno uspostavljanjem odgovarajućih opcija za tretman otpada, pogotovo ako se uzme u obzir činjenica da se određene frakcije u komunalnom otpadu mogu posmatrati i kao resurs.

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije odnosio se na sagledavanje ambalažnog i biorazgradivog otpada, kao dva toka komunalnog otpada kojima se posvećuje posebna pažnja u okviru savremenih sistema za upravljanje otpadom. Razlog za to je činjenica da ambalažani otpad poseduje veliki potencijal za reciklažu, dok se njegovim deponovanjem, koristan materijal u vidu sekundarne sirovine nepovratno gubi. Sa druge strane, deponovanjem biorazgradivog komunalnog otpada takođe se stvaraju negativne posledice po životnu sredinu, pre svega zbog značajnog doprinosa ukupnoj emisiji gasova sa efektom staklene bašte.

Cilj i zadatak istraživanja doktorske disertacije bio je da se definišu odgovarajući modeli na osnovu kojih će se odrediti očekivane količine ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada u Srbiji do kraja 2030. godine, kao i da se modeluje buduća zastupljenost opcija za tretman komunalnog otpada. Dobijeni rezultati neophodni su u cilju procene potencijala za reciklažu ambalažnog otpada i mogućnosti implementacije savremenih opcija za tretman biorazgradivog otpada koje ne uključuju deponovanje.

U cilju smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu, kao posledica neadekvatnog tretmana pomenutih kategorija komunalnog otpada, na nivou zemalja članica EU usvojene su i dve ključne Direktive koje se odnose na ambalažni, odnosno biorazgradivi komunalni otpad. Republika Srbija, kao kandidat za sticanje punopravnog članstva u EU, na putu pridruživanja biće u obavezi da izvrši transpoziciju i sprovođenje evropskih pravnih normi u vezi sa zaštitom životne sredine, uključujući i zakonsku regulativu iz oblasti upravljanja otpadom. Imajući u vidu činjenicu da se odredbe pomenutih EU Direktiva odnose na dostizanje ciljeva, odnosno konkretnih količina ambalažnog i biorazgradivog otpada koje je neophodno adekvatno tretirati u budućnosti, postojala je potreba za istraživanjem koje će doprineti sagledavju mogućnosti za njihovo dostizanje u slučaju Srbije.

U okviru disertacije analizirane su različite metode pomoću kojih je moguće izvršiti predviđanje budućih karakteristika otpada. U disertaciji je razvijen metod zasnovan na primeni veštačkih neuronskih mreža, koje su razvojem informacionih tehnologija postale sve češće primenjen alat za rešavanje realnih problema koji uključuju predviđanje i projekciju, aproksimaciju funkcija, grupisanje, klasifikaciju i slično. Princip rada veštačkih neuronskih mreža zasnovan je na definisanju zavisnosti između ulaznih varijabli i posmatrane izlazne veličine od interesa, pri čemu su u okviru modela za predviđanje budućih količina ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada u Republici Srbiji, odabrani ulazni parametri predstavljali podatke o potrošnji domaćinstva.

Zavisnost između podataka o prosečnoj potrošnji domaćinstava i odgovarajućih podataka o generisanoj količini ambalažnog otpada, proverena je pomoću linearne regresije, pri čemu je koeficijent determinacije bio relativno visok i iznosio je  $r^2 = 0,69$ . Na sličan način, zavisnost između potrošnje domaćinstva i generisane količine biorazgradivog komunalnog otpada potvrđena je kroz vrednost koeficijenta determinacije od  $r^2 = 0,71$ . Na osnovu toga, zaključeno je da su primenjeni modeli u velikoj meri prepoznali zavisnost između podataka o prosečnoj potrošnji domaćinstava i odgovarajućih podataka o generisanoj količini ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada, čime je ranije definisana opšta hipoteza potvrđena. Na bazi ove pozitivne zavisnosti, sledeći korak predstavljalo je modelovanje ulaznih i izlaznih parametara primenom velikog broja različitih vrsta neuronskih mreža.



Korišćenjem klasičnih statističkih metoda za izračunavanje različitih tipova grešaka, izvršena je evaluacija odabranih neuronskih mreža, uz konstataciju da su one pokazale odgovarajuće performanse. Mogućnost primene definisanih modela u cilju predviđanja izlaznih parametara, proverena je poređenjem podataka o izmerenim vrednostima količine ambalažnog i biorazgradivog otpada sa vrednostima dobijenih modelom. Uzimajući u obzir odgovarajuće podatke za Srbiju, vrednost količine ambalažnog otpada koju je pretpostavila neuronska mreža pokazala je odstupanje od 9,8% u odnosu na izmerenu vrednost, dok se modelovana vrednost količine biorazgradivog komunalnog otpada razlikovala za 7,5% u odnosu na realnu, što u domenu koji se odnosi na predviđanje podataka, predstavlja vrlo prihvatljiv rezultat.

Definisani su i modeli koji se odnosio na predviđanje zastupljenosti osnovnih opcija za tretman komunalnog otpada, pri čemu se umesto elemenata potrošnje domaćinstva, kao ulazni parametar koristio bruto domaći proizvod (BDP) i neophodan broj godina za dostizanje ciljeva definisanih u okviru posmatranih Direktiva EU. Primenom linearne regresije pokazano je da se čak 92% izlazne promenljive u vidu procenta depovanog otpada može objasniti preko BDP-a kao ulaznog parametra. U skladu sa navedenim, može se zaključiti da je potvrđena i druga opšta hipoteza u okviru doktorske disertacije. Sposobnost modela za potrebe predviđanja, testirana je poređenjem konkretnih izlaznih rezultata dobijenih modelom sa realnim podacima o udelu zastupljenosti osnovnih opcija za tretman komunalnog otpada. Primljeni model neuronske mreže pokazao je najbolje karakteristike u pogledu predviđanja zastupljenosti reciklaže, sa prosečnom razlikom između stvarnih i modelovanih vrednosti od 4,4%, dok je najveću razliku od 9,5% model pokazao u segmentu koji se odnosio na predviđanje procenta količine deponovanog otpada.

Projekcija i predviđanje budućih rezultata izvršeno je tako što je modelima neuronskih mreža predstavljen trend promena u budućem periodu za sve ulazne parametre, na osnovu čega su modeli definisali odgovarajuće rezultate na izlazu. S obzirom na to da su za sve posmatrane modele ulazni parametri predstavljali određenu vrstu ekonomskih pokazatelja, bilo je potrebno definisati očekivani trend promene ekonomskih indikatora za Srbiju u budućnosti. Usled velikog broja uticajnih faktora, budući rast BDP-a i indikatora prosečne potrošnje domaćinstava za Srbiju, teško je odrediti sa velikom preciznošću, što potvrđuju i značajne razlike u dostupnim literaturnim podacima koji kvantifikovano opisuju stepen budućeg ekonomskog razvoja Srbije. Kako se nemogućnost sagledavanja jasnog trenda promene ulaznih parametara ne bi reflektovalo i na tačnost izlaznih rezultata u okviru odabranih modela, posmatrana su dva različita scenarija razvoja Srbije u ekonomskom smislu, koji se mogu okarakterisati kao pesimistički i optimistički scenario.

Model neuronske mreže za predviđanje budućih količina ambalažnog otpada je na bazi zadatih ulaznih vrednosti u okviru pesimističkog scenarija pretpostavio da će količina generisanog ambalažnog otpada u Srbiji do kraja 2030. godine iznositi oko 525.000 t. Sa druge strane, posmatrajući optimistički scenario, pretpostavljena količina ambalažnog otpada u istoj godini bi iznosila preko 653.000 t. Uzimajući u obzir prosečne vrednosti dva scenarija, model predviđa da će se količina ambalažnog otpada po stanovniku u periodu od 2008. do 2030. godine povećati za 27,6%, odnosno sa 64,3 kg/st/god na 82,1 kg/st/god, čime bi prosečna godišnja stopa rasta količine ambalažnog otpada u Srbiji iznosila 1,2%.

Projektovane količine biorazgradivog komunalnog otpada za Srbiju na bazi prosečnih vrednosti dva posmatrana scenarija, ukazuju na to da će se u odnosu na 2008. godinu i ukupnu količinu od 1.602.525 t, u Srbiji 2030. godine generisati oko 1.920.000 t ove vrste otpada, što predstavlja povećanje od 24,8%, odnosno 1,1% godišnje. Prosečno generisanje biorazgradivog komunalnog otpada po stanovniku na godišnjem nivou će 2030. godine iznositi 267,2 kg, za razliku od 214 kg/st/god koliko je iznosilo 2008. godine. U okviru optimističkog scenarija, ovo povećanje je još izraženije i iznosi 34,1%, dok je model na osnovu ulaznih podataka za pesimistički scenario predvideo da će se količina biorazgradivog komunalnog otpada za posmatrani period uvećati za 15,5%.

Rezultati modela za predviđanje promena zastupljenosti osnovnih opcija za tretman komunalnog otpada u budućnosti, pokazuju da će deponovanje u Srbiji biti najdominantniji oblik tretmana komunalnog otpada i u narednom periodu. Ipak, udeo deponovanog komunalnog otpada će se kao posledica sve veće zastupljenosti ostalih tretmana, postepeno smanjivati. Prema projekcijama, uzimajući u obzir prosečne vrednosti dva analizirana scenarija, 2030. godine deponovaće se 52,3% od ukupno generisane količine komunalnog otpada, pri čemu će 6,3% još uvek završavati na tzv. divljim deponijama. Zastupljenost reciklaže komunalnog otpada će sa druge strane biti u stalnom porastu i prema projekcijama će u odnosu na trenutnih oko 4,0 %, do kraja 2030. godine iznositi 16,9%. Model predviđa rast udela termičkih metoda, ali projektovana vrednost od 6,9% komunalnog otpada koji će se tretirati na ovaj način je najmanja u odnosu na udeo ostalih opcija tretmana. Za razliku od termičkih metoda, biološke metode za tretman komunalnog otpada pokazuju najveći projektovani trend rasta, koji bi rezultovao da se 2030. godine kompostira skoro 24% generisanog komunalnog otpada.

Navedeni rezultati koji se odnose na projekciju budućih količina ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada, kao i zastupljenosti osnovnih tretmana otpada u Republici Srbiji do kraja 2030. godine, dobijeni primenom neuronskih mreža, dovode do zaključaka da su sve postavljene posebne hipoteze u okviru disertacije potvrđene.

Povezivanjem projektovanih vrednosti budućih količina ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada, sa podacima o zastupljenosti osnovnih opcija za tretman komunalnog otpada, može se izvršiti procena očekivanog vremenskog perioda u kojem će Srbija dostići ključne ciljeve definisane Direktivom EU o ambalaži i ambalažnom otpadu, kao i ciljeve u sklopu Direktive EU o deponijama u delu koji se odnosi na tretman biorazgradivog komunalnog otpada. Na bazi rezultata dobijenih modelima, cilj koji podrazumeva reciklažu najmanje 55% ambalažnog otpada, za Srbiju bi bio ostvariv 2025. godine, dok se cilj smanjenja deponovane količine biorazgradivog komunalnog otpada za 65% u odnosu na količinu generisanu u referentnoj godini, ne bi ostvario do kraja 2030. godine.

Definisanje sistema za upravljanje komunalnim otpadom koji su efikasni, ekonomsko i socijalno prihvatljivi, ali istovremeno i u skladu sa principima zaštite životne sredine, predstavlja veliki izazov, pogotovo za zemlje poput Srbije, koje se nalaze u tranzicionom periodu i koje su praktično u početnoj fazi unapređenja postojećeg sistema upravljanja otpadom, kao jednog od ključnih elemenata očuvanja životne sredine. Interdisciplinarna istraživanja u okviru doktorske disertacije iz domena razvoja modela za predviđanje budućih količina ambalažnog i biorazgradivog komunalnog otpada primenom neuronskih mreža, prvi put su sprovedena u Republici Srbiji. Evaluacijom dobijenih rezultata, dat je vidan naučni ali i aplikativni doprinos donošenju adekvatnih strateških odluka u pogledu organizacije budućeg sistema za upravljanje komunalnim otpadom na nacionalnom nivou.

## 8. KORIŠĆENA LITERATURA

---

- **Abdoli M.A., Nezhad M.F., Sede R.S., Behboudian S. (2012);** *Longterm forecasting of solid waste generation by the artificial neural networks*, Environmental Progress & Sustainable Energy, 31, 628 - 636.
- **Abuhress O.A. (2013);** *Prediction of municipal solid waste generation in Maghreb countries by use of mathematical modeling: A case of Zliten - Libya*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu.
- **AZŽS - Agencija za zaštitu životne sredine (2013);** *Izveštaj o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom u 2012. godini.*
- **AZŽS - Agencija za zaštitu životne sredine (2014);** *Izveštaj o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom u 2013. godini.*
- **Andersen F.M., Larsen H.V. (2012);** *FRIDA: A model for the generation and handling of solid waste in Denmark*, Resources, Conservation and Recycling, 65, 47 - 56.
- **Antanasijević D., Pocaĳt V., Popović I., Redžić N., Ristić M. (2013);** *The forecasting of municipal waste generation using artificial neural networks and sustainability indicators*, Sustainability Science, 8, 37 - 46.
- **Arzumanyan G. (2004);** *Municipal Solid Waste Management in Armenia Current Trends and Steps Forward*, Lund (Sweden).
- **Bahor B., Van Brunt M., Stovall J., Blue K. (2009);** *Integrated waste management as a climate change stabilization wedge*, Waste Management & Research, 27, 839 - 49.
- **Balkwaste (2011a);** *Report on the criteria for the assessment of alternative technologies*, Waste Network for Sustainable Solid Waste Management Planning and Promotion of Integrated Decision Tools in the Balkan Region, Maribor (Slovenia).
- **Balkwaste (2011b);** *Report on the design and implementation of integrated waste management planning*, Waste Network for Sustainable Solid Waste Management Planning and Promotion of Integrated Decision Tools in the Balkan Region, Maribor (Slovenia).
- **Balkwaste (2011c);** *Municipal Solid Waste Composition in Romania and Bulgaria*, Waste Network For Sustainable Solid Waste Management Planning and Promotion of Integrated Decision Tools in the Balkan Region, Maribor (Slovenia).
- **Balkwaste (2011d);** *National Report - Slovenia*, Waste Network For Sustainable Solid Waste Management Planning and Promotion of Integrated Decision Tools in the Balkan Region, Maribor(Slovenia).
- **Bašić B.D., Čupić M., Šnajder J. (2008);** *Umjetne neuronske mreže*, Fakultet elektrotehnike i računarstva - Zavod za elektorniku, mikroelektroniku i inteligentne sustave - Zagreb, Zagreb (Hrvatska).
- **Batinić B., Ubavin D., Stanisavljević N., Vujić G., Tot B. (2012);** *Analysis of relation between socioeconomic factors and MSW practice using ANN Models*, Proceedings of the ISWA World Congress, Florence (Italy).
- **Batinić B., Vukmirović S., Vujić G., Stanisavljević N., Ubavin D., Vukmirović G. (2011);** *Using ANN model to determine future waste characteristics in order to achieve specific waste management targets -case study of Serbia*, Journal of Scientific & Industrial Research, 70, 513 - 518.
- **Beigl P., Gamarra P., Linzner R. (2005);** *Waste forecasts without "rule of thumb": improving decision support for waste generation estimations*, Proceedings of the 10th International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari (Italy).
- **Beigl P., Lebersorger S., Salhofer S. (2008);** *Modelling municipal solid waste generation: A review*, Waste Management, 28, 200 - 214.

- **Beigl P., Wassermann G., Schneider F., Salhofer S. (2003)**; *Municipal waste generation trends in European countries and cities*, Proceedings of the 9th International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari (Italy).
- **Beigl P., Wassermann G., Schneider F., Salhofer S. (2004)**; *Forecasting municipal solid waste generation in major European cities*, Proceedings of the International Environmental Modeling & Software Society (IEMSS) Conference, Osnabruck (Germany).
- **Benesova L., Dolezalova M., Hnatukova P., Cernik B., Kotoulova Z., Zavodska A. (2010)**; *Assessing the composition of municipal solid waste in the Czech Republic*, Journal of Solid Waste Technology & Management, 36, 1164 - 1175.
- **Bineri O., Huqi B., Sallaku F. (2012)**; *Strategies and technologies for sustainable urban waste management in Albania*, Proceedings of BALWOIS, Ohrid (Macedonia).
- **Brunner P.H., Fellner J. (2006)**; *From 1 to 10 to 100 €/person and year - Uniform waste solutions for everyone?*, Proceedings of the ISWA World Environment Congress and Exhibition, Copenhagen (Denmark).
- **Brunner P.H., Fellner J. (2007)**; *Setting priorities for waste management strategies in developing countries*, Waste Management & Research, 25, 234 - 240.
- **Chang N.B., Lin Y.T. (1997)**; *An analysis of recycling impacts on solid waste generation by time series intervention modeling*, Resources, Conservation and Recycling, 19, 165 - 186.
- **Chen H.W., Chang N.B. (2000)**; *Prediction analysis of solid waste generation based on grey fuzzy dynamic modeling*, Resources, Conservation and Recycling, 29, 1 - 18.
- **Christensen T.H. (2011)**; *Solid waste technology & management - Volume 1*, John Wiley & Sons Ltd, ISBN: 978-1-4051-7517-3, West Sussex (United Kingdom).
- **Chung S.S. (2010)**; *Projecting municipal solid waste: The case of Hong Kong SAR*, Resources, Conservation and Recycling, 54, 759 - 768.
- **COWI (2004)**; *Preliminary impact assessment for an initiative on the biological treatment of biodegradable waste*, Lyngby (Denmark).
- **Daskalopoulos E., Badr O., Probert S.D. (1998)**; *Municipal solid waste: a prediction methodology for the generation rate and composition in the European Union countries and the United States of America*, Resources, Conservation and Recycling, 24, 155 - 166.
- **Decision 1386/2013/EC of the European Parliament and of the Council (2002)** on a General Union Environment Action Programme to 2020 'Living well, within the limits of our planet', Official Journal of the European Communities.
- **Decision 1600/2002/EC of the European Parliament and of the Council (2002)** laying down the Sixth Community Environment Action Programme, Official Journal of the European Communities.
- **Den Boer E., Jedrczak A., Kowalski Z., Kulczycka J., Szpadt R. (2010)**; *A review of municipal solid waste composition and quantities in Poland*, Waste Management Journal, 30, 369–377.
- **Den Boer J., Den Boer E., Jager J. (2007)**; *LCA-IWM: A decision support tool for sustainability assessment of waste management systems*, Waste Management, 27, 1032 - 1045.
- **Dennison G.J., Dodd V.A., Whelan B. (1996)**; *A socio-economic based survey of household waste characteristics in the city of Dublin, Ireland. I. Waste composition*, Resources, Conservation and Recycling, 17, 227 - 244.
- **Directive 1999/31/EC of the European Parliament and of the Council (2004)** on the landfill of waste, Official Journal of the European Communities.
- **Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council (2004)** on the incineration of waste, Official Journal of the European Communities.
- **Directive 2004/12/EC of the European Parliament and of the Council amending Directive 94/62/EC (2004)** on packaging and packaging waste, Official Journal of the European Communities.
- **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.
- **Dong C., Jin B., Li D. (2003)**; *Predicting the heating value of MSW with a feed forward neural network*, Waste Management, 23, 103 - 106.

- **Dubois M., González A.M.M., Knadel M. (2004)**; *Municipal solid waste treatment in the EU*, Centre for Environmental Studies - University of Aarhus, ISBN: 87-7785-158-7.
- **Dyson B., Chang N.B. (2005)**; *Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modelling*, *Waste Management*, 25, 669 - 679.
- **EC - European Commission (2002)**; *Municipal waste management in Accession Countries*, ISBN: 92-894-4496-7, Luxembourg.
- **EC - European Commission (2004)**; *Study on the implementation of Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste and options to strengthen prevention and re-use of packaging*, Belgium.
- **EC - European Commission (2005)**; *Waste generated and treated in Europe - Data 1995-2003*, ISBN: 92-894-9996-6, Luxembourg.
- **EC - European Commission (2007)**; *Benefits for fYRoM and other Countries of SEE of compliance with the environmental acquis - Country specific Report Albania*, Belgium.
- **EC - European Commission (2011)**; *Evolution of (bio-) waste generation/prevention and (bio-) waste prevention indicators*, Luxembourg.
- **EC/Arcadis - European Commission/Arcadis (2010)**; *Assessment of the options to improve the management of bio-waste in the European Union*, Deurne (Belgium).
- **EC/Argus - European Commission/Argus (2001)**; *European Packaging Waste Management Systems*.
- **EC/Bipro - European Commission/Bipro (2012)**; *Screening of waste management performance of EU Member States*, Brussels (Belgium).
- **EC/Eunomia - European Commission/Eunomia (2007)**; *Economic analysis of options for managing biodegradable municipal waste*, Bristol (United Kingdom).
- **EC/JRC - European Commission/Joint Research Centre (2003)**; *Scenarios of household waste generation in 2020*, ISBN: 92-894-5881-X.
- **EC/JRC - European Commission/Joint Research Centre (2007)**; *Environmental assessment of municipal waste management scenarios: Part I – Data collection and preliminary assessments for life cycle thinking pilot studies*, ISBN: 978-92-79-07449-3, ISSN: 1018-5593, Luxembourg.
- **EC/JRC - European Commission/Joint Research Centre (2011)**; *Supporting environmentally sound decisions for bio-waste management*, ISBN: 978-92-79-21019-8, ISSN: 1831-9424, Luxembourg.
- **EC/JRC - European Commission/Joint Research Centre (2014)**; *End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate)*, ISBN: 978-92-79-35062-7, ISSN: 1831-9424, Luxembourg.
- **Economopoulos A.P. (2010)**; *A methodology for developing strategic municipal solid waste management plans with an application in Greece*, *Waste Management & Research*, 0, 1 - 13.
- **EEA - European Environment Agency (1999)**; *Baseline projections of selected waste streams - Development of a methodology*, Copenhagen (Denmark).
- **EEA - European Environment Agency (2002a)**; *Review of selected waste streams: Sewage sludge, construction and demolition waste, waste oils, waste from coal-fired power plants and biodegradable municipal waste*, Copenhagen (Denmark).
- **EEA - European Environment Agency (2002b)**; *Biodegradable municipal waste management in Europe*, Copenhagen (Denmark).
- **EEA - European Environment Agency (2005a)**; *Effectiveness of packaging waste management systems in selected countries*, ISSN: 1725-9177, Copenhagen (Denmark).
- **EEA - European Environment Agency (2005b)**; *Waste management in Europe and the Landfill Directive*, Copenhagen (Denmark).
- **EEA - European Environment Agency (2009)**; *Diverting waste from landfill - Effectiveness of waste-management policies in the European Union*, ISBN: 978-92-9167-998-0, ISSN: 1725-9177, Copenhagen (Denmark).
- **EEA - European Environment Agency (2010)**; *The European environment state and outlook 2010 - Consumption and the environment*, ISBN: 978-92-9213-154-8, Copenhagen (Denmark).
- **EEA - European Environment Agency (2012)**; *Material resources and waste - 2012 Update*, ISBN: 978-92-9213-314-6, Copenhagen (Denmark).

- **EEA - European Environment Agency (2013)**; *Managing municipal solid waste - a review of achievements in 32 European Countries*, ISBN: 978-92-9213-355-9, ISSN: 1725-9177, Copenhagen (Denmark).
- **ENPI East – Waste Governance Project (2011)**; *Development of options for waste management in Lori Marz (Armenia)*.
- **Ernst & Young (2011)**; *Key issues in municipal waste management in EU-11 countries*, Warsaw (Poland).
- **ETC/RWM - European Topic Centre on Resource and Waste Management (2008)**; *Evaluation of waste policies related to the Landfill Directive - Estonia*, Copenhagen (Denmark).
- **ETC/RWM - European Topic Centre on Resource and Waste Management (2007)**; *Environmental outlooks: Municipal waste*, Copenhagen (Denmark).
- **ETC/SCP - European Topic Centre on Sustainable Consumption and Production (2009)**; *EU as a recycling society - Present recycling levels of municipal waste and construction & demolition waste in the EU*, Copenhagen (Denmark).
- **Europen - The European Organization for Packaging and the Environment (2013)**; *Packaging and Packaging Waste Statistics 1998-2010*, Brussels (Belgium).
- **Eurostat (2011)**; *Environment and energy - Generation and treatment of municipal waste*, ISSN: 1977-0316, Luxembourg.
- **Eurostat (2013a)**; *Online database - Demographic balance and crude rates at national level*, link: [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=demo\\_gind&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=demo_gind&lang=en), Pristup: 23.10.2013.
- **Eurostat (2013b)**; *Online database - GDP and main components - volumes*, link: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>, Pristup: 23.10.2013.
- **Eurostat (2013c)**; *Online database - Municipal waste - volumes*, link: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>, Pristup: 13.11.2013.
- **Eurostat (2013d)**; *Online database - Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method*, link: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=tsdpc240&language=en>, Pristup: 29.10.2013.
- **Eurostat (2013e)**; *Online database - Final consumption expenditure of households by consumption purpose - COICOP 3 digit aggregates at current prices*, link: [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nama\\_co3\\_c&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nama_co3_c&lang=en), Pristup: 12.09.2013.
- **Eurostat (2013f)**; *Online database - GDP per capita - annual data, GDP and main components - volumes*, link: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>, Pristup: 23.10.2013.
- **Fedajev A., Mihajlović V., Lovrić M. (2009)**; *Neuronske mreže kao metod multivarijacione analize*, Ekonomski fakultet - Univerzitet u Kragujevcu.
- **FMOT - Federalno Ministarstvo okoliša i turizma (2011)**; *Federalni Plan upravljanja otpadom 2012-2017*, Sarajevo (Bosna i Hercegovina).
- **FTN - Fakultet tehničkih nauka (2009)**; *Utvrđivanje sastava otpada i procene količine u cilju definisanja strategije upravljanja sekundarnim sirovinama u sklopu održivog razvoja Republike Srbije*, FTN - Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu, Univerzitet u Novom Sadu.
- **FTN - Fakultet tehničkih nauka (2013)**; *Izveštaj o sprovedenim merenjima količine i morfološkog sastava komunalnog otpada za kolubarski region upravljanja otpadom*, FTN - Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu, Univerzitet u Novom Sadu.
- **FTN - Fakultet tehničkih nauka (2014)**; *Studija o proceni uticaja na životnu sredinu projekta izgradnje postrojenja za pripremu, merenje, transport i doziranje komunalnog i industrijskog otpada u kalcinatorsku komoru u fabrici cementa Lafarge BFC*, FTN - Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu, Univerzitet u Novom Sadu.

- **Gavrilita P. (2006)**; *Environmental systems analysis of municipal solid waste management in Chisinau, Moldova - current situation and future perspectives*, Royal Institute of Technology - Industrial Ecology, Stockholm (Sweden).
- **Green Alternative (2006)**; *Tbilisi municipal waste management system*, ISBN: 99940-65-07-6, Tbilisi (Georgia).
- **Grossman D., Hudson J.F., Mark D.H. (1974)**; *Waste generation methods for solid waste collection*, Journal of Environmental Engineering, 6, 1219 - 1230.
- **Hristovski K., Olson L., Hild N., Peterson D., Burge S. (2007)**; *The municipal solid waste system and solid waste characterization at the municipality of Veles, Macedonia*, Waste Management Journal, 27, 1680–1689.
- **HSBC Global Research (2012)**; *The World in 2050 - From the top 30 to the top 100*, London (United Kingdom).
- **IFC - International Finance Corporation (2008a)**; *Municipal solid waste management - Opportunities for Russia*, Moscow (Russia).
- **IFC - International Finance Corporation (2008b)**; *Municipal solid waste management - Opportunities for Ukraine*, Moscow (Russia).
- **IMF - International Monetary Fund (2013a)**; *Online database - Annual percentages of constant price GDP year-on-year changes by Countries*, link: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2014/01/weodata/download.aspx>, Pristup: 21.03.2013.
- **IMF - International Monetary Fund (2013b)**; *Online database - Gross domestic product per capita, constant prices*, link: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2014/01/weodata/download.aspx>, Pristup: 21.03.2013.
- **IMG - International Management Group (2014)**; *EU Directive targets for waste management*, Draft Report as a part of Revision of National waste management Strategy, Belgrade (Serbia).
- **IPEMED - Institut de Prospective Economique du Monde Mediterranéen (2009)**; *Tomorrow, the Mediterranean scenarios and projections for 2030*, Paris (France).
- **Joosten L.A.J., Hekkert M.P., Worrell E., Turkenburg W.C. (1999)**; *STREAMS: a new method for analysing material flows through society*, Resources, Conservation and Recycling, 27, 249 - 266.
- **Klien M., Loser P. (2009)**; *Austrian waste sector*, Institute of Public Sector Economics - University of Economics and Business - Vienna, ISSN: 2070-8289, Vienna (Austria).
- **Kloek W., Küchen V., Mehlhart G. (2010)**; *Municipal waste in the EU 1995 to 2008: progress towards sustainability?*, Proceeding of the ISWA World Congress, Hamburg (Germany).
- **Kollikkathara N., Feng H., Yu D. (2010)**; *A system dynamic modeling approach for evaluating municipal solid waste generation, landfill capacity and related cost management issues*, Waste Management, 30, 2194 - 2203.
- **Kriesel, D. (2007)**; *A brief introduction to neural networks*.
- **Kröse B., Smagt P. (1996)**; *An introduction to neural networks*, University of Amsterdam, Amsterdam (Netherlands).
- **Kum V., Sharp A., Harnpornchai N. (2005)**; *Improving the solid waste management in Phnom Penh city: A strategic approach*, Waste Management, 25, 101 - 109.
- **Kumar E.S. (2011)**; *Integrated waste management – Volume I*, InTech, ISBN: 978-953-307-469-6, Rijeka (Croatia).
- **Kumar J.S., Subbaiah K.V., Rao P.V.V.P. (2011)**; *Prediction of municipal solid waste with RBF Net Work - A case study of Eluru, A.P, India*, International Journal of Innovation, Management and Technology, 2, 238 - 243.
- **Liu C., Wu X.W. (2010)**; *Factors influencing municipal solid waste generation in China: A multiple statistical analysis study*, Waste Management & Research, 29, 371 - 378.
- **Liu G., Yu J. (2007)**; *Gray correlation analysis and prediction models of living refuse generation in Shanghai city*, Waste Management, 27, 345 - 351.
- **Lojanica V. (2001)**; *Uloga veštačkih neuronskih mreža u predviđanju*.

- **Mas J.F., Puig H., Palacio J.L., Sosa-Lopez A. (2004);** *Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks*, Environmental Modelling & Software, 19, 461 - 471.
- **Matsuto T., Tanaka N. (1993);** *Data analysis of daily collection tonnage of residential solid waste in Japan*, Waste Management & Research, 11, 333 - 343.
- **Milosavljević M.M. (2005);** *Veštačka inteligencija i neuronske mreže*, Elektrotehnički fakultet - Univerzitet u Beogradu.
- **Ministarstvo ekonomije i regionalnog razvoja - Republički zavod za razvoj (2011);** *Strategija i politika razvoja industrije Republike Srbije 2011. - 2020.*, Beograd (Srbija).
- **MZŠS - Ministarstvo zaštite životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja (2011);** *Nacionalna Strategija Republike Srbije za aproksimaciju u oblasti životne sredine*.
- **Nahibina A. (2006);** *Government regulation in waste management in Sweden/Belarus*, KTH - Royal Institute of Technology, Stockholm (Sweden).
- **Navarro-Esbrí J., Diamadopoulos E., Ginestar D. (2002);** *Time series analysis and forecasting techniques for municipal solid waste management*, Resources, Conservation and Recycling, 35, 201 - 214.
- **Nilanthi J., Bandara J., Patrick J., Hettiaratchi A., Wirasinghe S.C., Pilapiiya S. (2007);** *Relation of waste generation and composition to socio-economic factors: a case study*, Environmental Monitoring and Assessment, 135, 31 - 39.
- **OECD - The Organization for Economic Co-operation and Development (2007);** *Environmental data - Waste, Compendium 2006-2008*.
- **Ogwueleka T.C., Ogwueleka F.N. (2010);** *Modelling energy content of municipal solid waste using artificial neural network*, Journal of Environmental Health Science and Engineering, 7, 259 - 266.
- **Ojeda S., Lozano-Olvera G., Adalberto R., Armijo C., Vega D. (2008);** *Mathematical modeling to predict residential solid waste generation*, Waste Management, 28, 7-13.
- **Okumura S., Tasaki T., Moriguchi Y. (2014);** *Economic growth and trends of municipal waste treatment options in Asian countries*, Journal of Material Cycles and Waste Management, 16, 335 - 346.
- **Ozcan H.K., Ucan O.N., Sahin U., Borat M., Bayat C. (2006);** *Artificial neural network modeling of methane emissions at Istanbul Kemerburgaz-Odayeri landfill site*, Journal of Scientific & Industrial Research, 65, 128 - 134.
- **Papageorgiou A., Barton J.R., Karagiannidis A. (2009);** *Assessment of the greenhouse effect impact of technologies used for energy recovery from municipal waste: A case for England*, Journal of Environmental Management, 90, 2999 - 3012.
- **Pfeifer R., Damian D., Fuchslin R. (2010);** *Neural Networks*, University of Zurich, Zurich (Switzerland).
- **Ponce E.O., Samarasinghe S., Torgerson L. (2004);** *A model for assessing waste generation factors and forecasting waste generation using artificial neural networks: A case study of Chile*, Proceedings of the Waste and Recycle Conference - Fremantle, (Australia).
- **Popčević J., Varga I., Žuvela P., Gusić I. (2012);** *Izračunavanje temperature vrelišta uz pomoć umjetnih neuronskih mreža*, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije - Sveučilište u Zagrebu, Zagreb (Hrvatska).
- **REC - The Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe (2009);** *EU i zaštita okoliša - gospodarenje otpadom na lokalnoj razini*, Zagreb (Hrvatska).
- **REC - The Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe (2001a);** *Waste management policies in Central and Eastern European Countries: Current policies and trends*, ISBN: 963 8454 96 2, Szentendre (Hungary).
- **REC - The Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe (2001b);** *Developing new opportunities for municipal waste management in three Baltic States*.
- **RZS - Republički zavod za statistiku (2010);** *Statistički godišnjak Srbije*, ISSN: 0354-4206.
- **RZS - Republički zavod za statistiku (2012);** *Statistika otpada i upravljanje otpadom u Republici Srbiji*, ISBN: 978-86-6161-016-5.



- **SAEFL - Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (2004)**; *A survey of the composition of household waste 2001/02*, Bern (Switzerland).
- **SEPA - Swedish Environmental Protection Agency (2009)**; *Comparative study of solid waste management in Macedonia and Sweden*, Stockholm (Sweden).
- **Shahabi H., Khezri S., Ahmad B.B., Zabihi H. (2012)**; *Application of artificial neural network in prediction of municipal solid waste generation (Case study: Saqqez City in Kurdistan Province)*, World Applied Sciences Journal, 20, 336 - 343.
- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 21/10 i 10/13**; *Pravilnik o obrascima izveštaja o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom*.
- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 29/2010**; *Strategija upravljanja otpadom za period 2010. - 2019. godine*.
- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 36/2009 i 88/2010**; *Zakon o upravljanju otpadom*.
- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 36/2009**; *Zakon o ambalaži i ambalažnom otpadu*.
- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 61/2010**; *Pravilnik o metodologiji za prikupljanje podataka o sastavu i količinama komunalnog otpada na teritoriji jedinice lokalne samouprave*.
- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 88/2009**; *Uredba o utvrđivanju plana smanjenja ambalažnog otpada za period od 2010. do 2014. godine*.
- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 92/2010**; *Uredba o odlaganju otpada na deponije*.
- **Srivastava A.K., Nema A.K. (2008)**; *Forecasting of solid waste composition using fuzzy regression approach: a case of Delhi*, International Journal of Environment and Waste Management, 2, 65 - 74.
- **Stanisavljević N., Ubavin D., Batinić B., Fellner J., Vujić G. (2012)**; *Methane emissions from landfills in Serbia and potential mitigation strategies: a case study*, Waste Management & Research, 0, 1 - 9.
- **Sufian M.A., Bala B.K. (2007)**; *Modeling of urban solid waste management system: the case of Dhaka city*, Waste Management, 27, 858 - 868.
- **Suzuki K. (2011)**; *Artificial neural networks - methodological advances and biomedical applications*, InTech, ISBN: 978-953-307-243-2, Rijeka (Croatia).
- **Troschinetz A.M., Mihelcic J.R. (2009)**; *Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries*, Waste Management, 29, 915 - 923.
- **Ubavin D. (2011)**; *Model emisije i redukcije metana - gasa staklene bašte generisanog na deponijama komunalnog otpada u Srbiji*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu.
- **UNEP - United Nations Environment Programme (2005)**; *Solid waste management*, ISBN: 92-807-2676-5.
- **USAID/Ekonomski fakultet - Američka agencija za međunarodni razvoj/Ekonomski fakultet (2010)**; *Postkrizni model ekonomskog rasta i razvoja Srbije 2011. - 2020.*, Beograd (Srbija).
- **USDA-ERS - United States Department of Agriculture - Economic Research Service (2013)**; *Online database - Real GDP projections by Countries*, link: <http://ers.usda.gov/data-products/international-macroeconomic-data-set.aspx>, Pristup: 25.03.2013.
- **USEPA - United States Environmental Protection Agency (1994)**; *International anthropogenic methane emissions: estimates for 1990*, Washington (USA).
- **USEPA - United States Environmental Protection Agency (2006)**; *Solid waste management and greenhouse gases - A life-cycle assessment of emission and sinks*, 3rd Edition, Washington (USA).
- **USEPA - United States Environmental Protection Agency (2011)**; *Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2010*, Washington (USA).
- **Vlada CG - Službeni list Crne Gore, broj 16/2008**; *Plan upravljanja otpadom u Crnoj Gori za period od 2008 - 2012. godine*, Podgorica (Crna Gora).
- **Vlada RH - Narodne Novine Republike Hrvatske, broj 85/2007**; *Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. - 2015. godine*, Zagreb (Hrvatska).
- **Vujić B. (2009)**; *Razvijanje opšteg modela za definisanje procene nivoa koncentracije suspendovanih čestica primenom neuronskih mreža*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu.

- **Vujić G., Batinić B., Stanisavljević N., Ubavin D., Živančev M. (2011);** *Analiza stanja i strateški okvir upravljanja otpadom u Republici Srbiji*, Reciklaža i održivi razvoj, 4, 14 - 19.
- **Vujić G., Jovičić N., Redžić N., Jovičić G., Batinić B., Stanisavljević N., Abuhress O.A. (2010);** *A fast method for the analysis of municipal solid waste in developing countries - case study of Serbia*, Environmental Engineering and Management Journal, 9, 1021 - 1029.
- **Vujić G., Stanisavljević N., Batinić B., Jurakić Z., Ubavin D. (2015);** *Barriers for implementation of "waste to energy" in developing countries – A case of Serbia*, Journal of Material Cycles and Waste management (\*Accepted for publication).
- **WB - World Bank (2011);** *Solid Waste Management in Bulgaria, Croatia, Poland, and Romania - A cross-country analysis of sector challenges towards EU harmonization*, Washington (USA).
- **WB - World Bank (2012);** *What a waste - A global review of solid waste management*, Washington (USA).
- **WB - World Bank (2013a);** *Online database - GDP growth (annual %) by Countries*, link: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG>, Pristup: 21.03.2013.
- **WB - World Bank (2013b);** *Online database - GDP per capita by Countries*, link: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD/countries>, Pristup: 21.03.2013.
- **Wilde I.F. (1998);** *Neural networks*, Mathematics Department of King's College, London (United Kingdom).
- **Worrell A.W., Vesilind A.P. (2012);** *Solid waste engineering*, Cengage Learning, ISBN: 978-1-4390-6217-3, 2nd Edition, Stamford (USA).
- **Xiao G., Ni M.J., Chi Y., Jin B.S., Xiao R., Zhong Z.P., Huang Y.J. (2009);** *Gasification characteristics of MSW and an ANN prediction model*, Waste Management, 29, 240 - 244.
- **Zade J.G.M., Noori R. (2008);** *Prediction of municipal solid waste generation by use of artificial neural network: A case study of Mashhad*, International Journal of Environmental Research, 2, 13-22.
- **Zaman A.U. (2009);** *Technical development of waste sector in Sweden: Survey and life cycle environmental assessment of emerging technologies*, KTH - Royal Institute of Technology, Department of Urban Planning and Environment Division of Environmental Strategies Research, Stockholm (Sweden).
- **Žičkiene S., Tričys V., Kovieriene A. (2005);** *Municipal solid waste management: data analysis and management options*, Environmental Research, Engineering & Management, 33, 47 - 54.

## PRILOG

Tabela P.1 Detaljan prikaz svih vrednosti ulaznih i izlaznih parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju količine ambalažnog otpada

PARAMETRI	ULAZNI PARAMETRI								IZLAZNI PARAMETAR			
	1. Ukupna potrošnja domaćinstva na: hranu i bezalkoholna pića, alkoholna pića i duvan, ugostiteljske usluge (€/stanovnik/godišnje)				2. Ukupna potrošnja domaćinstva na: sve preostale proizvode i usluge lične potrošnje koji nisu sadržani u prvom parametru (€/stanovnik/godišnje)				Količina ambalažnog otpada (kg/stanovnik/godišnje)			
Država/Godina	1995.	2000.	2005.	2010.	1995.	2000.	2005.	2010.	1995.	2000.	2005.	2010.
1. Albanija	500	700	900	900	1000	900	1000	1700	25,8	32,1	44,4	63,5
2. Jermenija	400	500	800	900	700	800	900	1400	28,1	42,9	57,4	71,8
3. Austrija	3100	3200	3700	4300	9800	11200	12900	14600	137,0	146,0	135,0	147,0
4. Belorusija	400	500	800	900	600	800	800	1300	30,3	44,5	64,9	78,4
5. Belgija	2700	2800	3200	3800	8600	9900	11200	12900	133,0	146,0	158,0	155,0
6. Bosna i Hercegovina	500	600	1000	1100	800	1200	1800	1900	29,2	42,4	61,2	72,7
7. Bugarska	300	450	700	750	500	750	1400	1550	43,0	39,0	67,2	43,0
8. Hrvatska	500	800	1300	1700	1300	1700	2300	2300	34,7	50,2	72,4	86,0
9. Češka	700	1100	1500	2100	1500	2200	3700	5400	78,0	85,0	82,8	88,0
10. Danska	3000	3200	3500	3900	10500	12100	14700	16300	172,0	159,6	181,4	125,0
11. Estonija	500	800	1600	1900	700	1900	3200	3800	76,0	88,0	102,0	118,0
12. Finska	2800	3000	3500	4100	7000	9200	11300	13500	81,4	85,5	131,3	132,0
13. Makedonija	500	600	800	1100	700	800	1000	1400	32,8	45,0	65,3	80,7
14. Francuska	2600	3000	3500	3700	8700	10100	11700	13100	190,0	206,0	196,0	193,0
15. Gruzija	300	400	800	900	600	900	1000	1700	28,4	38,8	49,3	60,7
16. Nemačka	2700	2800	2800	3200	10200	11000	12200	13400	167,2	183,9	187,6	196,0
17. Grčka	2300	3100	4000	4400	4700	6500	8700	10400	68,0	85,6	95,6	82,0
18. Mađarska	700	900	1300	1600	1200	2000	3600	3600	86,0	94,0	84,6	74,0
19. Island	3100	5000	5400	3900	7800	13600	18500	10800	83,0	101,0	105,0	126,0
20. Irska	2600	3900	4600	4500	4900	9200	12500	11700	164,0	209,0	222,0	193,0
21. Italija	2300	3100	3600	3900	6800	9700	11000	11800	166,0	196,0	204,0	189,0
22. Letonija	400	800	1000	1600	600	1400	2400	3400	58,0	63,0	114,7	95,0
23. Litvanija	400	1000	1500	1800	500	1300	2500	3800	85,0	78,0	77,3	82,0
24. Moldavija	300	400	650	800	500	600	850	1300	48,1	44,8	53,7	70,2
25. Crna Gora	500	700	900	1100	900	900	1100	1700	31,8	42,2	59,6	71,8
26. Holandija	2100	2400	2700	3100	7900	10500	12300	12700	176,0	182,0	205,0	164,0
27. Norveška	3300	4100	4700	4600	9100	12500	16200	21000	178,0	175,0	132,0	149,0
28. Poljska	600	1000	1300	1600	1100	2100	2700	4000	71,0	85,0	91,9	112,0
29. Portugal	1800	2400	2800	3100	4100	5600	6700	7700	84,0	122,0	142,0	156,0
30. Rumunija	330	500	1000	1350	370	700	1500	2450	38,0	42,0	52,7	46,0
31. Rusija	800	1100	1500	1900	800	800	1100	2000	30,3	41,8	67,8	80,5
32. Slovačka	600	800	1200	1900	900	1500	2800	5100	62,0	48,0	64,4	80,0
33. Slovenija	1500	1700	2000	2600	3500	4700	6200	7900	78,0	97,0	84,3	100,0
34. Španija	2700	3200	4100	4300	4600	6700	8500	9300	147,0	164,6	180,0	161,0
35. Švedska	2400	2900	3200	3600	8200	11300	12200	14000	104,4	110,1	167,5	135,0
36. Švajcarska	3400	4300	4800	5000	16300	17500	18400	21500	191,0	215,0	224,0	231,0
37. Turska	700	900	1300	1700	800	2500	3000	4300	64,4	74,1	82,3	80,5
38. Ukrajina	600	900	1200	1400	900	900	1500	1800	27,5	34,2	43,0	69,0
39. Velika Britanija	2300	4000	4000	3600	7000	13000	14800	13200	171,0	155,9	170,7	174,0

Izvor podataka: Arzumanyan, 2004; Balkwaste, 2011c; Balkwaste, 2011d; Benesova i dr., 2010; Bineri i dr., 2012; Den Boer i dr., 2010; EC, 2002; EC, 2004; EC, 2005; EC, 2007; EC/Argus, 2001; EC/Bipro, 2012; EEA, 2005a; EEA, 2009; EEA, 2013; ENPI, 2011; Ernst & Young, 2011; ETC/RWM, 2008; European, 2013; Eurostat, 2013e; FMOT, 2011; Gavrilita, 2006; Green Alternative, 2006; Hristovski i dr., 2007; IFC, 2008a; IFC, 2008b; Nahibina, 2006; OECD, 2007; REC, 2001a; REC, 2001b; REC, 2009; SAEFL, 2004; SEPA, 2009; Vlada CG, 2008; Vlada RH, 2007; WB, 2011.

Tabela P.2 Performanse svih analiziranih modela neuronskih mreža za projekciju količine ambalažnog otpada

Express Report

Summary of All Networks

Performance Metrics	Training			Cross Validation			Testing		
	MSE	r	MAE	MSE	r	MAE	MSE	r	MAE
	Model Name								
MLP-1-O-M (Multilayer Perceptron)	1049,485	0,851529	26,32522	263,2002	0,966065	11,75836	1409,106	0,797449	29,9003
LR-0-B-M (Linear Regression)	1060,163	0,799296	25,08913	1035,947	0,806133	25,11193	499,026	0,941462	18,48094
LR-0-B-L (Linear Regression)	1022,948	0,807186	24,49495	1104,329	0,794442	25,51176	588,7065	0,913429	18,63063
MLP-1-B-L (Multilayer Perceptron)	762,3246	0,860537	22,04844	271,9479	0,968022	14,62141	1182,064	0,816977	25,40797
PNN-0-N-N (Probabilistic Neural Network)	371,836	0,935079	14,67688	570,8027	0,917744	17,56852	1760,324	0,702342	28,9472
RBF-1-B-L (Radial Basis Function)	724,0673	0,87344	21,38586	560,1778	0,913624	18,33263	2010,091	0,646579	32,61073
GFF-1-B-L (Generalized Feedforward)	675,0152	0,87829	20,24539	578,4145	0,915104	17,82467	2280,154	0,589106	33,80048
MLPPCA-1-B-L (MLP with PCA)	814,4105	0,858011	22,61134	270,7688	0,958536	14,71808	1014,408	0,841815	24,27148
SVM-0-N-N (Classification SVM)	1644,243	0,861301	34,69183	1918,451	0,803549	38,48953	2803,91	0,63671	47,28762
TDNN-1-B-L (Time-Delay Network)	997,165	0,848501	26,59393	731,8239	0,864383	23,37578	1094,276	0,867298	28,57386
TLRN-1-B-L (Time-Lag Recurrent Network)	6756,073	0,030705	67,78167	6631,114	-0,01665	66,99705	6967,593	0,009154	67,35726
RN-1-B-L (Recurrent Network)	1186,219	0,783837	25,60914	1326,063	0,770505	29,96547	998,004	0,849556	22,60757
MLP-2-B-L (Multilayer Perceptron)	750,9687	0,875945	22,56195	358,0351	0,94448	15,2749	1998,183	0,658472	36,77866
MLP-1-B-M (Multilayer Perceptron)	780,278	0,856911	22,46706	279,087	0,96677	14,69035	1120,038	0,82972	24,87028
MLP-2-O-M (Multilayer Perceptron)	862,4498	0,859444	23,9646	279,9012	0,96598	13,62594	1447,279	0,779582	28,98567
MLP-2-B-M (Multilayer Perceptron)	886,4122	0,836509	24,09599	461,5819	0,932188	18,02144	776,084	0,903316	21,90577
MLPPCA-1-O-M (MLP with PCA)	999,9596	0,833235	25,32063	367,5923	0,93847	15,45787	934,0312	0,896221	24,97067
MLPPCA-1-B-M (MLP with PCA)	910,0402	0,830823	24,04314	605,9898	0,892782	20,40543	659,6125	0,910267	20,78397
GFF-1-O-M (Generalized Feedforward)	1028,424	0,849507	26,33627	328,1561	0,958493	14,07518	1175,747	0,859024	28,49386
GFF-1-B-M (Generalized Feedforward)	888,1388	0,835408	23,71512	591,1404	0,892416	20,29373	643,3596	0,911504	20,34336
RBF-1-O-M (Radial Basis Function)	761,1824	0,86647	22,0291	301,7764	0,964439	13,76009	1510,921	0,762242	30,51763
RBF-1-B-M (Radial Basis Function)	1009,779	0,811127	26,24023	563,7019	0,926049	19,58394	1064,878	0,859892	24,64341
TDNN-1-O-M (Time-Delay Network)	599,351	0,906224	19,87291	1418,87	0,713595	31,00842	1814,256	0,738028	35,26447
TDNN-1-B-M (Time-Delay Network)	523,3035	0,907571	18,29525	681,8008	0,883509	21,25204	1075,839	0,833685	25,42001
RN-1-O-M (Recurrent Network)	933,7615	0,837249	24,26673	861,7389	0,830466	22,05663	757,0967	0,90126	22,18222
RN-1-B-M (Recurrent Network)	985,3251	0,81543	24,22718	944,9958	0,822	23,27636	567,7239	0,923317	19,38496
TLRN-1-O-M (Time-Lag Recurrent Network)	385,6531	0,935195	15,61792	606,7448	0,883174	19,74629	1232,32	0,814517	28,24702
TLRN-1-B-M (Time-Lag Recurrent Network)	723,5916	0,868747	21,62957	752,538	0,868017	21,78139	743,0124	0,894195	22,29984

Tabela P.3 Detaljan prikaz svih vrednosti ulaznih i izlaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju količine biorazgradivog komunalnog otpada

PARAMETRI	ULAZNI PARAMETRI								IZLAZNI PARAMETAR			
	1. Ukupna potrošnja domaćinstva na: hranu i ugostiteljske usluge (€/stanovnik/godišnje)				2. Ukupna potrošnja domaćinstva na: sve preostale proizvode i usluge lične potrošnje koji nisu sadržani u prvom parametru (€/stanovnik/godišnje)				Količina biorazgradivog komunalnog otpada (kg/stanovnik/godišnje)			
Država/Godina	1995.	2000.	2005.	2010.	1995.	2000.	2005.	2010.	1995.	2000.	2005.	2010.
1. Albanija	400	600	800	800	1100	1000	1100	1800	101,2	122,0	133,8	211,0
2. Jermenija	300	400	700	800	800	900	1000	1500	100,2	132,8	166,4	191,1
3. Austrija	2400	2500	2900	3300	10500	11900	13700	15600	272,3	349,7	367,6	329,9
4. Belorusija	300	400	700	800	700	900	900	1400	115,1	155,7	196,8	235,1
5. Belgija	2200	2100	2500	3000	9100	10600	11900	13700	261,0	255,0	267,0	261,0
6. Bosna i Hercegovina	400	500	800	900	900	1300	2000	2100	110,8	142,1	170,6	193,0
7. Bugarska	300	400	600	650	500	800	1500	1650	308,0	295,8	291,5	276,0
8. Hrvatska	400	600	900	1200	1400	1900	2700	2800	126,0	157,0	202,2	226,0
9. Češka	500	700	1000	1300	1700	2600	4200	6200	203,3	224,4	237,9	249,2
10. Danska	2200	2300	2600	2900	11300	13000	15600	17300	346,7	423,2	412,4	406,1
11. Estonija	400	600	1100	1300	800	2100	3700	4400	318,2	396,3	377,8	385,4
12. Finska	2000	2100	2500	3000	7800	10100	12300	14600	314,2	324,5	323,5	311,4
13. Makedonija	400	500	700	900	800	900	1100	1600	121,5	152,5	194,3	224,6
14. Francuska	2100	2400	2800	3000	9200	10700	12400	13800	244,8	245,1	274,6	269,7
15. Gruzija	200	300	700	800	700	1000	1100	1800	105,6	129,5	149,3	157,4
16. Nemačka	2000	2100	2100	2500	10900	11700	12900	14100	341,0	368,0	335,3	308,1
17. Grčka	1900	2600	3400	3700	5100	7000	9300	11100	224,1	278,2	276,9	301,1
18. Mađarska	500	600	900	1100	1400	2300	4000	4100	237,4	232,1	269,6	288,0
19. Island	2400	3900	4100	3900	8500	14700	19800	11800	261,3	282,0	297,9	328,0
20. Irska	2000	3000	3600	3500	5500	10100	13500	12700	333,4	413,4	471,1	424,5
21. Italija	2000	2700	3000	3300	7100	10100	11600	12400	287,1	303,9	329,5	336,7
22. Letonija	300	600	800	1100	700	1600	2600	3900	167,8	170,1	190,5	186,9
23. Litvanija	300	800	1100	1300	600	1500	2900	4300	209,4	224,0	245,0	249,4
24. Moldavija	200	300	550	700	600	800	950	1400	143,6	151,2	171,2	206,3
25. Crna Gora	400	600	800	900	1000	1000	1200	1900	120,1	136,8	160,8	195,1
26. Holandija	1700	1900	2200	2400	8300	11000	12800	13400	288,3	337,5	370,9	327,1
27. Norveška	2400	3000	3400	3500	10000	13600	17500	22100	355,9	363,8	326,9	333,4
28. Poljska	500	700	900	1100	1200	2400	3100	4500	177,0	191,8	203,8	201,7
29. Portugal	1500	2000	2400	2700	4400	6000	7100	8100	246,6	305,2	308,7	345,6
30. Rumunija	230	400	800	1100	470	800	1700	2700	148,6	161,5	185,6	189,8
31. Rusija	600	800	1100	1300	1000	1100	1500	2600	147,8	158,3	200,0	223,3
32. Slovačka	500	700	900	1500	1000	1600	3100	5500	179,8	160,4	192,0	208,2
33. Slovenija	1100	1300	1500	2000	3900	5100	6700	8500	302,8	263,6	267,4	259,3
34. Španija	2400	2800	3600	3800	4900	7100	9000	9800	327,2	467,0	404,6	365,1
35. Švedska	1700	2100	2400	2800	8900	12100	13000	14800	281,2	299,3	333,0	336,3
36. Švajcarska	2500	3200	3500	3700	17200	18600	19700	22800	372,7	420,5	395,5	424,3
37. Turska	600	800	1200	1500	900	2600	3100	4500	224,4	226,7	236,3	221,4
38. Ukrajina	500	700	900	1000	1000	1100	1800	2200	116,4	130,5	147,0	182,1
39. Velika Britanija	1800	3100	3100	2800	7500	13900	15700	14000	314,3	342,5	331,9	298,8

Izvor podataka: Arzumanyan, 2004; Balkwaste, 2011c; Balkwaste, 2011d; Benesova i dr., 2010; Bineri i dr., 2012; COWI, 2004; Den Boer i dr., 2010; EC, 2002; EC, 2005; EC, 2007; EC, 2011; EC/Arcadis, 2010; EC/Bipro, 2012; EC/Eunomia, 2007; EC/JRC, 2014; EEA, 2002a; EEA, 2002b; EEA, 2005b; EEA, 2009; EEA, 2013; ENPI, 2011; Ernst & Young, 2011; ETC/RWM, 2008; Eurostat, 2013e; FMOT, 2011; Gavrilita, 2006; Green Alternative, 2006; IFC, 2008a; IFC, 2008b; Klien i Loser, 2009; Nahibina, 2006; OECD, 2007; REC, 2001a; REC, 2001b; REC, 2009; SAEFL, 2004; Vlada CG, 2008; Vlada RH, 2007; WB, 2011.

Tabela P.4 Performanse svih analiziranih modela neuronskih mreža za projekciju količine biorazgradivog komunalnog otpada

Express Report

Summary of All Networks

Model Name	Training			Cross Validation			Testing		
	MSE	r	MAE	MSE	r	MAE	MSE	r	MAE
	MLP-1-O-M (Multilayer Perceptron)	2190,252	0,842328	37,68835	2811,634	0,811272	43,96225	2533,496	0,820906
LR-0-B-M (Linear Regression)	2124,498	0,838722	36,04966	2701,664	0,819792	41,44015	2951,119	0,798915	41,51733
LR-0-B-L (Linear Regression)	2092,771	0,84092	35,63017	2778,951	0,816289	42,49308	2998,369	0,798266	41,32885
MLP-1-B-L (Multilayer Perceptron)	1705,007	0,872681	31,22083	3267,488	0,792451	44,62598	3052,203	0,796957	41,73726
PNN-0-N-N (Probabilistic Neural Network)	931,1704	0,933305	22,85272	3042,894	0,805158	40,3846	3589,778	0,769812	43,70699
RBF-1-B-L (Radial Basis Function)	1772,948	0,869464	31,63119	3065,568	0,794849	42,24535	2682,375	0,812132	40,11626
GFF-1-B-L (Generalized Feedforward)	1694,061	0,878411	33,81433	3015,056	0,795559	44,15877	4226,596	0,752474	46,28564
MLPPCA-1-B-L (MLP with PCA)	1703,497	0,872764	31,83255	3035,74	0,804045	41,44912	3020,204	0,790877	41,89725
SVM-0-N-N (Classification SVM)	11174,04	0,82116	88,4803	8943,973	0,781417	72,57127	7967,195	0,745566	73,53256
TDNN-1-B-L (Time-Delay Network)	1616,459	0,88317	31,15727	2313,256	0,850442	38,56737	3158,141	0,769093	46,93268
TLRN-1-B-L (Time-Lag Recurrent Network)	1999,892	0,850749	36,61809	4524,163	0,706213	53,74526	3280,519	0,799235	44,58799
RN-1-B-L (Recurrent Network)	2410,007	0,815761	39,07122	2649,372	0,824067	39,50814	3461,422	0,765637	44,8443
MLP-2-B-L (Multilayer Perceptron)	2166,979	0,841021	36,46841	2859,221	0,810271	44,02469	2456,233	0,821794	40,16442
MLP-1-B-M (Multilayer Perceptron)	2162,739	0,83641	36,34619	2732,816	0,816335	41,72438	2593,453	0,815164	40,23536
MLP-2-O-M (Multilayer Perceptron)	2372,378	0,821065	39,44619	2764,339	0,814971	43,33396	2869,621	0,80382	42,26189
MLP-2-B-M (Multilayer Perceptron)	1974,182	0,851504	34,44759	2908,216	0,805694	43,10248	2444,884	0,824885	38,8053
MLPPCA-1-O-M (MLP with PCA)	2550,584	0,804548	39,11963	2943,218	0,807241	43,26838	3010,314	0,800292	41,76077
MLPPCA-1-B-M (MLP with PCA)	2210,904	0,84192	37,6472	2771,41	0,814479	43,67885	2573,63	0,817483	41,65222
GFF-1-O-M (Generalized Feedforward)	2255,535	0,831664	37,67369	2767,266	0,818189	42,20534	2858,07	0,811188	41,49699
GFF-1-B-M (Generalized Feedforward)	2196,686	0,832614	37,30068	2803,382	0,812472	42,85419	2780,226	0,806928	40,94265
RBF-1-O-M (Radial Basis Function)	1532,669	0,886353	30,42313	3227,631	0,795669	41,0455	2535,624	0,831405	38,58576
RBF-1-B-M (Radial Basis Function)	2195,421	0,84287	35,21134	3472,319	0,765311	45,75158	2926,701	0,787122	41,87777
TDNN-1-O-M (Time-Delay Network)	2021,287	0,858247	35,16874	3083,415	0,803497	44,13779	3491,88	0,785706	46,32463
TDNN-1-B-M (Time-Delay Network)	1938,233	0,853892	34,16457	2629,311	0,827271	39,99185	2776,828	0,804991	39,73021
RN-1-O-M (Recurrent Network)	3505,431	0,727668	47,8491	3101,576	0,798637	46,91237	3955,435	0,758161	50,95071
RN-1-B-M (Recurrent Network)	2577,07	0,806521	39,84079	2520,037	0,83979	40,98778	3738,496	0,758219	45,95053
TLRN-1-O-M (Time-Lag Recurrent Network)	2228,979	0,829666	37,52144	2925,394	0,813596	40,63379	3058,316	0,776995	43,58911
TLRN-1-B-M (Time-Lag Recurrent Network)	2166,822	0,83553	36,90447	2553,22	0,831303	41,31172	2836,566	0,795921	42,43553

Tabela P.5a Detaljan prikaz svih vrednosti I ulaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada

PRVI ULAZNI PARAMETAR																
Bruto domaći proizvod (€/stanovnik/godišnje)																
Država/Godina	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.
1. Albanija	630	650	700	721	951	1290	1482	1525	1627	1886	2093	2276	2483	2798	2737	3080
2. Jermenija	307	392	447	521	534	641	736	783	774	897	1223	1583	2089	2451	1909	2168
3. Austrija	23000	23200	23000	23900	24900	26000	26600	27300	27700	28700	29800	31300	33000	33900	33000	34100
4. Belorusija	1050	1100	1200	1250	1350	1500	1393	1563	1595	1891	2476	2500	2570	2650	2700	2780
5. Belgija	21500	21400	21700	22400	23400	24600	25300	26000	26600	28000	29000	30200	31600	32299	31600	32700
6. Bosna i Hercegovina	1200	1400	1500	1550	1600	1606	1705	1863	1959	2122	2291	2572	2906	3295	3200	3271
7. Bugarska	1200	800	1100	1400	1500	1700	2000	2200	2400	2600	3000	3400	4000	4600	4600	4800
8. Hrvatska	3600	4100	4500	5000	4800	5300	5800	6300	6800	7400	8100	8900	9800	10700	10100	10200
9. Češka	4300	5000	5100	5600	5700	6200	7000	8200	8300	9000	10200	11500	12800	14800	13600	14300
10. Danska	26600	27600	28500	29300	30700	32500	33500	34400	35000	36500	38300	40200	41700	42800	40600	42500
11. Estonija	2000	2600	3200	3600	3900	4500	5100	5700	6400	7200	8300	10000	12000	12100	10300	10700
12. Finska	19600	19700	21100	22500	23700	25500	26800	27600	27900	29100	30000	31500	34000	34900	33299	33300
13. Makedonija	1700	1700	1700	1600	1700	1900	1900	2000	2100	2200	2400	2600	2900	3300	3300	3400
14. Francuska	20200	20800	21000	21900	22700	23700	24500	25000	25600	26500	27300	28400	29600	30100	29200	29900
15. Gruzija	467	517	680	715	955	749	804	819	813	956	1190	1405	1692	1989	1760	1982
16. Nemačka	23600	23400	23200	23700	24400	24900	25500	25900	26000	26600	27000	28100	29500	30100	29000	30500
17. Grčka	9500	10200	11100	11300	12100	12600	13400	14300	15600	16700	17400	18700	19900	20800	20500	19600
18. Mađarska	3400	3500	4000	4200	4400	4900	5800	6900	7300	8100	8800	8900	9900	10500	9100	9700
19. Island	20100	21400	24200	27000	29600	33500	31000	32900	33600	36500	44300	43800	48000	32200	27200	29800
20. Irska	14400	16100	19600	21200	24200	27800	30400	33300	35200	36900	39200	41700	43200	40300	36100	35000
21. Italija	15200	17500	18600	19200	19900	21000	22000	22800	23300	24000	24500	25300	26200	26300	25200	25700
22. Letonija	1500	1800	2300	2600	2900	3600	3900	4200	4300	4800	5600	7000	9200	10100	8200	8100
23. Litvanija	1400	1800	2500	2800	2900	3600	3900	4400	4800	5300	6100	7100	8500	9700	8000	8400
24. Moldavija	256	312	466	412	302	382	455	485	486	580	667	757	900	1153	1092	1230
25. Crna Gora	1500	1550	1600	1650	1700	1743	2106	2209	2442	2444	2916	3453	4290	4917	4731	5035
26. Holandija	20700	21200	21900	22900	24400	26300	27900	28800	29400	30200	31500	33100	34900	36200	34700	35400
27. Norveška	26100	28800	31700	30400	33500	40700	42300	45000	43600	45600	52900	58100	61100	65300	55900	64500
28. Poljska	2800	3200	3600	4000	4100	4900	5600	5500	5000	5300	6400	7100	8200	9500	8100	9300
29. Portugal	9000	9500	10100	10800	11700	12500	13100	13600	13700	14200	14600	15200	16000	16200	15800	16200
30. Rumunija	1200	1300	1400	1700	1500	1800	2000	2200	2400	2800	3700	4500	5800	6500	5500	5800
31. Rusija	1848	2334	2621	1735	1297	1917	2350	2518	2643	3320	4294	5560	6700	7956	6213	7945
32. Slovačka	2800	3100	3500	3700	3600	4100	4400	4800	5500	6300	7100	8300	10200	11900	11600	12100
33. Slovenija	8100	8400	9100	9800	10500	10800	11500	12300	12900	13600	14400	15500	17100	18400	17400	17400
34. Španija	11600	12400	12800	13500	14500	15600	16700	17700	18600	19700	21000	22400	23500	23900	22800	22800
35. Švedska	22000	24600	25300	25700	27400	30200	28500	29900	31100	32400	33000	35000	36900	36100	31500	37300
36. Švajcarska	35000	34600	33800	35000	35800	38500	40300	41500	40000	40400	41300	42700	43200	46400	47100	53400
37. Turska	2200	2400	2700	3800	3700	4500	3300	3700	4000	4600	5600	6000	6700	7000	6100	7500
38. Ukrajina	631	772	952	792	620	687	872	930	928	1102	1469	1841	2248	2650	1839	2300
39. Velika Britanija	15400	16700	20700	22300	24000	27200	27700	28600	27600	29500	30700	32299	33800	29500	25500	27500

Izvor podataka: Eurostat, 2013b; IMF, 2013b; WB, 2013b.

Tabela P.5b Detaljan prikaz svih vrednosti II ulaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada

DRUGI ULAZNI PARAMETAR																
Prosek broja godina neophodnih za dostizanje krajnjih ciljeva prema Direktivama EU za deponije i ambalažni otpad																
Država/Godina	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.
1. Albanija	30,5	29,5	28,5	27,5	26,5	25,5	24,5	23,5	22,5	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5
2. Jermenija	30,5	29,5	28,5	27,5	26,5	25,5	24,5	23,5	22,5	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5
3. Austrija	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
4. Belorusija	30,5	29,5	28,5	27,5	26,5	25,5	24,5	23,5	22,5	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5
5. Belgija	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
6. Bosna i Hercegovina	30,5	29,5	28,5	27,5	26,5	25,5	24,5	23,5	22,5	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5
7. Bugarska	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
8. Hrvatska	22,5	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5	14,5	13,5	12,5	11,5	10,5	9,5	8,5	7,5
9. Češka	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
10. Danska	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
11. Estonija	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
12. Finska	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
13. Makedonija	30,5	29,5	28,5	27,5	26,5	25,5	24,5	23,5	22,5	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5
14. Francuska	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
15. Gruzija	30,5	29,5	28,5	27,5	26,5	25,5	24,5	23,5	22,5	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5
16. Nemačka	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
17. Grčka	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5	14,5	13,5	12,5	11,5	10,5	9,5	8,5	7,5	6,5	5,5
18. Mađarska	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
19. Island	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5	14,5	13,5	12,5	11,5	10,5	9,5	8,5	7,5	6,5	5,5
20. Irska	18,5	17,5	16,5	15,5	14,5	13,5	12,5	11,5	10,5	9,5	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5
21. Italija	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
22. Letonija	22,5	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5	14,5	13,5	12,5	11,5	10,5	9,5	8,5	7,5
23. Litvanija	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
24. Moldavija	30,5	29,5	28,5	27,5	26,5	25,5	24,5	23,5	22,5	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5
25. Crna Gora	30,5	29,5	28,5	27,5	26,5	25,5	24,5	23,5	22,5	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5
26. Holandija	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
27. Norveška	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
28. Poljska	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
29. Portugal	18,5	17,5	16,5	15,5	14,5	13,5	12,5	11,5	10,5	9,5	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5
30. Rumunija	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5	14,5	13,5	12,5	11,5	10,5	9,5	8,5	7,5	6,5
31. Rusija	30,5	29,5	28,5	27,5	26,5	25,5	24,5	23,5	22,5	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5
32. Slovačka	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
33. Slovenija	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
34. Španija	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
35. Švedska	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
36. Švajcarska	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
37. Turska	30,5	29,5	28,5	27,5	26,5	25,5	24,5	23,5	22,5	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5
38. Ukrajina	30,5	29,5	28,5	27,5	26,5	25,5	24,5	23,5	22,5	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5
39. Velika Britanija	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2

Izvor podataka: EU Directive 1999/31/EC; EU Directive 2004/12/EC; European, 2013; Ernst & Young, 2011.



Tabela P.5c Detaljan prikaz svih vrednosti i izlaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada

PRVI IZLAZNI PARAMETAR																
Procenat deponovanog otpada na kontrolisanim i sanitarnim deponijama (%)																
Država/Godina	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.
1. Albanija	50,0	52,0	56,0	58,0	60,0	62,0	64,0	65,0	66,0	68,0	68,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
2. Jermenija	47,0	50,0	55,0	55,0	55,0	60,0	60,0	60,0	60,0	64,7	64,8	64,8	64,8	64,8	64,6	64,6
3. Austrija	37,1	27,5	25,9	25,2	26,5	25,3	24,3	26,6	23,7	7,4	5,8	3,8	3,2	3,2	0,7	0,7
4. Belorusija	64,6	67,6	69,6	72,6	74,6	79,7	80,7	82,7	84,7	84,7	89,4	94,4	99,4	99,1	98,8	98,8
5. Belgija	43,6	37,6	26,3	22,1	19,7	15,6	11,7	10,7	9,6	7,2	6,9	5,0	5,1	5,1	3,1	1,1
6. Bosna i Hercegovina	52,0	52,0	54,0	54,0	54,0	56,0	56,0	56,0	58,0	58,0	58,0	59,9	59,6	59,2	59,1	58,9
7. Bugarska	70,0	71,0	72,0	73,0	75,9	78,4	80,2	81,1	82,0	84,2	87,8	90,1	92,5	93,0	95,0	96,0
8. Hrvatska	57,0	60,0	64,7	71,7	74,4	79,1	81,1	81,9	83,3	84,3	85,9	85,2	87,0	90,0	91,4	90,7
9. Češka	84,0	86,0	88,0	83,5	77,1	76,8	71,7	67,6	67,5	61,8	63,4	65,2	68,6	63,9	63,9	65,0
10. Danska	16,8	13,3	11,2	11,3	11,0	9,9	7,1	6,0	4,9	4,6	5,2	5,1	4,8	3,9	3,1	3,6
11. Estonija	79,4	81,8	82,8	84,8	84,8	80,8	68,2	66,8	58,9	57,2	57,4	63,4	59,6	58,4	57,5	59,8
12. Finska	66,3	66,3	61,5	55,8	49,6	46,0	45,4	45,2	43,1	42,2	40,8	37,9	36,2	34,5	36,3	36,0
13. Makedonija	60,0	60,0	60,0	62,0	63,0	64,0	65,0	66,0	67,0	67,0	67,8	69,8	69,6	69,4	70,4	71,2
14. Francuska	44,6	46,5	45,8	45,2	44,0	42,4	40,9	38,9	37,9	36,4	34,3	36,2	35,7	31,6	31,4	31,0
15. Gruzija	48,0	48,0	49,0	50,0	50,0	52,0	54,0	55,0	56,0	56,0	56,0	58,0	60,0	62,0	63,0	65,0
16. Nemačka	39,5	35,1	32,7	30,9	28,2	25,9	25,3	21,4	19,1	17,7	8,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,3
17. Grčka	70,4	73,8	76,3	77,3	77,4	78,4	78,4	79,4	79,3	78,7	77,6	78,6	71,9	74,9	73,9	75,3
18. Mađarska	62,1	66,1	68,2	70,2	72,5	74,2	73,0	76,1	78,0	77,9	76,8	74,7	69,3	69,1	70,0	64,8
19. Island	64,1	63,0	60,2	62,6	61,7	62,8	61,2	57,0	52,7	49,5	46,4	43,1	39,0	36,6	35,0	33,7
20. Irska	62,0	63,9	64,1	68,7	71,3	70,5	61,3	57,8	52,2	48,5	48,3	46,9	47,5	48,2	46,6	42,1
21. Italija	89,9	83,4	79,7	77,3	71,9	67,4	60,7	57,3	48,2	47,5	43,0	40,9	38,0	32,2	30,8	28,4
22. Letonija	58,0	60,0	60,0	61,0	61,0	61,0	61,0	60,9	59,5	58,0	60,0	60,4	59,5	59,8	61,8	63,3
23. Litvanija	82,0	83,0	83,0	84,0	85,0	82,5	78,4	71,5	76,3	82,2	83,9	84,9	86,7	85,0	86,1	82,0
24. Moldavija	49,0	50,0	50,0	53,0	53,0	53,0	55,0	58,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	62,0	63,0
25. Crna Gora	45,0	45,0	48,0	48,0	48,0	48,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	49,6	49,6	49,5	49,5	49,4
26. Holandija	28,8	20,3	11,9	9,1	6,7	9,1	8,2	8,1	2,8	1,4	1,8	2,4	2,2	1,3	0,8	0,5
27. Norveška	72,0	66,5	61,4	63,9	54,5	54,1	25,0	23,5	21,2	19,6	17,9	18,1	18,5	17,7	14,1	5,9
28. Poljska	65,8	66,6	66,8	68,6	68,7	69,7	70,0	72,3	74,6	73,4	56,0	58,2	60,9	60,2	55,1	50,6
29. Portugal	55,2	60,3	68,1	73,5	68,7	71,4	71,1	68,9	67,7	65,3	62,7	64,1	63,9	64,7	60,7	62,1
30. Rumunija	46,0	46,0	46,0	48,0	48,0	48,0	47,2	48,0	48,9	48,4	48,1	49,7	51,7	52,6	52,4	53,4
31. Rusija	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	59,8	59,8	64,6	64,6	64,4	64,4
32. Slovačka	84,1	82,6	82,7	80,8	83,4	81,1	85,7	84,8	84,2	81,4	86,2	84,4	83,2	84,1	85,4	81,1
33. Slovenija	71,1	73,8	78,8	83,9	79,7	76,6	73,9	87,3	82,1	62,5	63,5	69,2	65,8	65,7	62,8	57,4
34. Španija	82,1	81,4	79,4	79,9	75,9	72,3	69,3	63,5	63,4	62,7	61,1	59,6	59,5	51,6	58,0	57,8
35. Švedska	35,2	32,2	31,3	27,8	25,0	22,7	22,4	19,7	13,8	9,0	4,7	5,0	3,9	2,9	1,5	1,1
36. Švajcarska	12,7	11,4	11,0	10,8	10,2	6,0	6,1	1,6	1,3	0,5	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
37. Turska	70,4	71,5	71,5	72,5	73,4	73,2	74,4	72,9	73,0	73,7	74,0	71,2	69,7	70,2	70,7	71,0
38. Ukrajina	57,0	58,0	58,0	59,0	59,7	61,7	64,7	64,3	64,4	63,8	66,3	65,9	67,5	67,1	67,2	66,5
39. Velika Britanija	82,9	86,1	86,5	83,9	82,4	81,1	80,0	77,5	74,2	69,3	64,2	60,2	56,7	52,6	49,0	49,1

Izvor podataka: Arzumanyan, 2004; Balkwaste, 2011d; Bineri i dr., 2012; COWI, 2004; EC, 2002; EC, 2005; EC, 2007; EC, 2011; EC/Bipro, 2012; EC/JRC, 2011; EEA, 2002a; EEA, 2005b; EEA, 2013; ENPI, 2011; Ernst & Young, 2011; ETC/RWM, 2007; ETC/RWM, 2008; Eurostat, 2013d; Eurostat, 2013f; FMOT, 2011; Gavrilata, 2006; Green Alternative, 2006; IFC, 2008a; IFC, 2008b; Kloek i dr., 2010; Nahibina, 2006; OECD, 2007; REC, 2001a; REC, 2001b; REC, 2009; SEPA, 2009; Vlada CG, 2008; Vlada RH, 2007; WB, 2011.

Tabela P.5d Detaljan prikaz svih vrednosti II izlaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada

DRUGI IZLAZNI PARAMETAR																
Procenat deponovanog otpada na nekontrolisanim smetlištima (%)																
Država/Godina	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.
1. Albanija	50,0	48,0	44,0	42,0	40,0	38,0	36,0	35,0	34,0	32,0	32,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
2. Jermenija	53,0	50,0	45,0	45,0	45,0	40,0	40,0	40,0	40,0	34,9	34,9	34,9	34,9	34,9	34,8	34,8
3. Austrija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4. Belorusija	34,8	31,8	29,8	26,9	24,9	19,9	18,9	16,9	14,9	14,9	9,9	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5. Belgija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6. Bosna i Hercegovina	48,0	48,0	46,0	46,0	46,0	44,0	44,0	44,0	42,0	42,0	42,0	39,9	39,7	39,5	39,4	39,2
7. Bugarska	30,0	29,0	28,0	27,0	24,1	21,6	19,8	18,9	18,1	15,8	12,2	10,0	7,5	7,0	5,0	4,0
8. Hrvatska	43,0	40,0	34,8	27,9	24,8	19,8	17,8	16,8	14,7	13,7	11,7	11,6	9,7	6,8	5,8	4,8
9. Češka	16,0	14,0	12,0	9,3	7,6	7,6	7,1	5,9	4,3	2,6	2,0	2,0	1,4	0,6	0,0	0,0
10. Danska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11. Estonija	19,8	18,0	17,0	15,0	15,0	14,3	11,1	9,1	6,5	6,0	5,7	6,3	5,2	5,1	4,3	4,5
12. Finska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13. Makedonija	40,0	40,0	40,0	38,0	37,0	36,0	35,0	34,0	33,0	33,0	31,9	29,9	29,8	29,7	28,8	27,7
14. Francuska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15. Gruzija	52,0	52,0	51,0	50,0	50,0	48,0	46,0	45,0	44,0	44,0	44,0	42,0	40,0	38,0	37,0	35,0
16. Nemačka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17. Grčka	15,5	15,1	14,5	13,6	13,7	12,8	12,8	11,9	11,9	10,7	10,6	8,7	8,0	7,4	7,3	6,5
18. Mađarska	13,6	12,1	12,0	11,4	11,3	10,1	9,8	7,9	6,1	6,0	6,3	5,6	5,3	4,5	4,5	3,8
19. Island	7,1	5,5	5,2	3,3	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20. Irska	15,5	16,0	16,0	17,2	17,8	17,6	15,3	14,5	13,0	12,1	12,1	11,7	11,9	12,0	11,7	10,5
21. Italija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22. Letonija	42,0	40,0	40,0	39,0	39,0	39,0	37,4	37,3	36,5	35,6	35,2	35,5	34,9	33,6	30,4	27,1
23. Litvanija	18,0	17,0	17,0	16,0	15,0	12,3	10,7	8,8	9,4	9,1	7,3	6,4	5,0	5,4	4,5	4,3
24. Moldavija	51,0	50,0	50,0	47,0	47,0	47,0	45,0	42,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	38,0	37,0
25. Crna Gora	55,0	55,0	52,0	52,0	52,0	52,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	49,6	49,6	49,5	49,5	49,4
26. Holandija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27. Norveška	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
28. Poljska	32,4	31,4	30,0	29,4	29,4	28,5	25,9	24,1	22,3	20,7	14,9	15,3	13,0	11,0	10,1	10,4
29. Portugal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30. Rumunija	54,0	54,0	54,0	52,0	52,0	52,0	51,1	49,9	50,9	50,4	50,1	49,7	47,7	46,6	46,5	45,5
31. Rusija	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	39,9	39,9	34,8	34,8	34,7	34,7
32. Slovačka	4,4	4,3	3,4	3,4	1,7	0,8	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
33. Slovenija	5,3	4,7	4,1	3,5	2,5	1,6	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
34. Španija	6,2	6,1	6,0	4,2	4,0	3,8	3,6	1,3	1,3	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
35. Švedska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36. Švajcarska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
37. Turska	28,8	27,8	27,8	26,8	25,8	25,7	24,8	24,3	23,1	22,0	20,9	20,1	17,4	16,5	16,6	15,6
38. Ukrajina	43,0	42,0	42,0	41,0	39,8	37,8	34,8	34,6	34,7	34,4	31,2	31,0	28,9	28,7	28,8	28,5
39. Velika Britanija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Izvor podataka: Arzumanyan, 2004; Balkwaste, 2011d; Bineri i dr., 2012; COWI, 2004; EC, 2002; EC, 2005; EC, 2007; EC, 2011; EC/Bipro, 2012; EC/JRC, 2011; EEA, 2002a; EEA, 2005b; EEA, 2013; ENPI, 2011; Ernst & Young, 2011; ETC/RWM, 2007; ETC/RWM, 2008; Eurostat, 2013d; Eurostat, 2013f; FMOT, 2011; Gavrilita, 2006; Green Alternative, 2006; IFC, 2008a; IFC, 2008b; Kloek i dr., 2010; Nahibina, 2006; OECD, 2007; REC, 2001a; REC, 2001b; REC, 2009; SEPA, 2009; Vlada CG, 2008; Vlada RH, 2007; WB, 2011.

Tabela P.5e Detaljan prikaz svih vrednosti III izlaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada

TREĆI IZLAZNI PARAMETAR																
Procenat reciklaže (%)																
Država/Godina	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.
1. Albanija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2. Jermenija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,7	0,6
3. Austrija	23,6	21,3	22,2	23,3	23,6	24,3	24,3	22,7	22,6	22,2	21,7	23,3	26,7	29,4	30,1	30,1
4. Belorusija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6
5. Belgija	11,9	14,2	17,3	22,4	24,6	25,9	29,4	28,4	29,3	30,5	30,7	31,3	32,3	33,5	35,0	37,1
6. Bosna i Hercegovina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	1,5	1,5	1,9
7. Bugarska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8. Hrvatska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,7	1,0	1,0	1,5	2,1	2,3	2,0	1,5	3,2
9. Češka	0,0	0,0	0,0	0,7	0,6	0,6	0,4	0,7	0,7	4,7	5,5	6,8	9,2	8,9	10,8	13,6
10. Danska	20,5	24,6	21,3	22,6	24,6	21,7	22,6	22,3	25,6	24,7	24,5	24,3	26,3	34,2	31,1	22,9
11. Estonija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	2,9	2,0	13,6	23,4	20,6	13,0	20,3	14,8	11,3	11,9
12. Finska	25,1	26,1	26,0	26,0	26,0	26,1	26,0	26,0	26,0	26,0	25,9	26,1	25,9	25,7	24,0	19,6
13. Makedonija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,6	0,9	0,8	1,1
14. Francuska	8,8	9,1	10,3	11,6	12,4	13,0	13,7	14,3	15,0	15,2	16,0	16,6	17,1	17,2	17,4	17,9
15. Gruzija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16. Nemačka	19,1	18,6	22,9	22,4	33,9	34,0	33,5	41,7	43,3	40,4	44,4	45,6	47,1	47,0	45,8	44,6
17. Grčka	8,1	8,3	8,3	8,2	8,2	8,1	8,2	8,1	8,1	9,9	11,2	11,1	18,1	15,7	18,2	17,3
18. Mađarska	0,7	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,5	2,6	11,0	8,7	9,2	10,7	13,2	13,3	17,9
19. Island	10,7	14,1	17,5	19,0	21,3	23,7	26,5	31,4	36,4	39,8	44,4	48,3	50,7	52,0	53,0	54,3
20. Irska	6,4	6,9	7,5	7,8	9,5	11,2	10,4	17,1	22,3	27,8	29,5	31,5	31,8	30,6	28,7	31,9
21. Italija	3,5	4,6	7,1	8,3	9,2	10,0	12,0	9,2	10,4	11,2	11,7	11,8	12,4	16,4	17,4	17,2
22. Letonija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	2,0	3,5	3,5	3,2	4,5	5,7	7,5	8,9
23. Litvanija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1	1,0	2,2	2,9	3,0	3,4
24. Moldavija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25. Crna Gora	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	1,0	1,0	1,3
26. Holandija	16,8	18,3	19,6	20,6	21,6	21,9	22,2	23,4	24,3	25,5	25,0	25,9	26,7	27,1	26,6	27,6
27. Norveška	11,9	17,0	20,1	16,9	21,9	22,0	30,5	31,4	31,3	24,9	26,3	26,8	27,7	28,7	27,2	26,7
28. Poljska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,1	1,5	2,3	3,1	4,0	4,7	7,2	11,7	14,9
29. Portugal	1,0	2,0	2,7	4,0	4,3	7,2	4,3	4,6	4,9	6,8	8,4	9,7	10,7	10,3	11,8	11,5
30. Rumunija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	2,1	0,3	1,2	1,9	0,5	0,5	0,8	1,1	1,1
31. Rusija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6	0,9	0,9
32. Slovačka	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	2,5	3,0	3,3	0,7	0,7	1,6	2,4	2,8	3,6
33. Slovenija	1,8	4,6	4,6	7,7	4,5	4,7	1,5	10,8	15,6	35,6	36,3	30,8	34,2	30,8	33,1	38,6
34. Španija	7,1	7,9	8,4	9,2	7,8	6,7	11,2	14,4	13,9	14,4	14,4	14,0	13,4	15,5	15,2	15,1
35. Švedska	19,9	22,6	23,3	26,2	27,8	28,7	28,7	31,0	32,1	34,6	35,3	36,9	36,8	35,1	35,5	35,7
36. Švajcarska	29,3	30,8	31,3	32,2	31,8	31,8	33,0	32,0	32,4	33,5	35,1	33,4	33,9	33,5	34,2	33,8
37. Turska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	2,6	2,9	3,8	7,9	11,5	12,2	11,6	12,6
38. Ukrajina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6	0,5	1,0	0,9	1,8	2,6	3,1	3,6	4,2	4,0	5,0
39. Velika Britanija	7,0	6,5	7,3	8,7	10,2	8,3	9,1	10,5	13,3	15,6	18,2	20,0	22,1	23,3	24,3	24,8

Izvor podataka: Arzumanyan, 2004; Balkwaste, 2011d; Bineri i dr., 2012; COWI, 2004; EC, 2002; EC, 2005; EC, 2007; EC, 2011; EC/Bipro, 2012; EC/JRC, 2011; EEA, 2002a; EEA, 2005b; EEA, 2013; ENPI, 2011; Ernst & Young, 2011; ETC/RWM, 2007; ETC/RWM, 2008; Eurostat, 2013d; Eurostat, 2013f; FMOT, 2011; Gavrilita, 2006; Green Alternative, 2006; IFC, 2008a; IFC, 2008b; Kloek i dr., 2010; Nahibina, 2006; OECD, 2007; REC, 2001a; REC, 2001b; REC, 2009; SEPA, 2009; Vlada CG, 2008; Vlada RH, 2007; WB, 2011.

1Tabela P.5f Detaljan prikaz svih vrednosti IV izlaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada

ČETVRTI IZLAZNI PARAMETAR																
Procenat kompostiranja i ostalih vrsta biološkog tretmana otpada (%)																
Država/Godina	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.
1. Albanija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2. Jermenija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3. Austrija	27,0	40,7	41,4	41,2	39,8	39,1	40,1	39,8	41,7	45,6	44,2	46,4	40,8	40,2	39,8	39,6
4. Belorusija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5. Belgija	8,4	10,9	16,2	18,2	20,1	22,3	21,3	21,8	23,1	23,9	23,2	23,2	23,4	22,9	22,3	20,6
6. Bosna i Hercegovina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7. Bugarska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8. Hrvatska	0,0	0,0	0,4	0,4	0,8	0,8	0,7	0,7	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
9. Češka	0,0	0,0	0,0	1,4	2,6	2,6	3,5	3,8	3,8	4,3	3,9	3,9	4,2	4,5	4,3	5,9
10. Danska	10,8	12,5	14,0	13,3	14,2	15,7	13,7	15,5	15,4	16,1	16,6	17,4	17,6	13,7	17,6	19,3
11. Estonija	0,5	0,3	0,2	0,2	0,0	0,2	2,1	0,7	1,4	1,3	1,8	4,3	2,9	5,4	9,2	7,7
12. Finska	6,9	7,6	7,6	7,5	7,6	7,6	7,5	7,6	7,5	7,7	7,5	7,5	9,7	8,4	11,9	13,2
13. Makedonija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14. Francuska	9,1	9,5	9,7	10,3	10,5	11,7	12,4	12,8	13,0	13,7	13,6	14,0	14,7	16,1	16,6	17,1
15. Gruzija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16. Nemačka	10,8	10,9	11,1	11,7	13,2	14,3	14,6	14,4	14,6	16,0	16,5	16,5	16,2	16,6	17,2	17,3
17. Grčka	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,6	2,0	2,0	0,7	0,9
18. Mađarska	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	1,1	1,1	0,9	0,9	1,3	1,3	1,8	2,1	3,6
19. Island	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	2,1	2,1	2,0	2,0	1,9	2,0	2,0	1,9	1,9	2,2	2,1
20. Irska	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,7	0,9	1,3	1,4	1,6	1,5	1,6	2,3	3,3	3,0	3,8
21. Italija	1,3	1,8	2,4	7,2	11,4	14,9	18,8	24,5	30,9	30,1	33,3	35,1	37,4	32,9	34,4	37,3
22. Letonija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	1,0	0,3	0,5	0,5	0,6	0,3	0,7
23. Litvanija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8	0,8	1,7	1,0	1,4	1,6
24. Moldavija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25. Crna Gora	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26. Holandija	23,7	24,4	25,2	24,4	23,5	23,7	23,0	23,7	23,2	23,6	23,9	22,8	23,4	22,8	23,5	23,2
27. Norveška	1,9	3,0	4,5	5,6	7,6	8,6	13,9	14,0	14,4	11,6	12,9	13,5	14,9	14,8	15,7	15,6
28. Poljska	1,8	2,0	3,2	2,0	1,9	1,9	2,8	2,2	1,2	2,3	2,5	2,8	3,1	3,1	5,7	6,7
29. Portugal	13,0	15,8	8,7	5,2	3,9	5,5	7,0	6,5	6,0	6,5	6,7	6,3	6,4	7,0	7,7	7,2
30. Rumunija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31. Rusija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32. Slovačka	1,0	1,5	1,5	1,2	1,1	1,2	1,3	2,5	2,7	2,9	1,4	3,3	4,5	4,6	5,0	5,1
33. Slovenija	0,5	0,9	1,8	2,3	2,3	1,6	1,4	1,5	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	2,4	2,7
34. Španija	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	11,7	10,2	14,9	14,9	16,4	17,1	17,3	17,2	24,3	17,9	17,9
35. Švedska	6,2	7,0	7,2	8,0	8,9	9,6	10,0	8,6	8,9	10,3	11,0	11,8	11,8	12,7	13,7	13,5
36. Švajcarska	9,5	10,4	11,0	11,4	11,2	13,6	13,5	14,7	15,0	15,3	15,6	16,6	17,1	16,5	17,1	16,7
37. Turska	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	0,8	1,6	1,3	1,4	1,3	0,8	1,3	1,2	1,1	0,9
38. Ukrajina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
39. Velika Britanija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	3,2	4,0	4,7	7,0	8,6	10,2	11,6	13,2	14,1	14,0

Izvor podataka: Arzumanyan, 2004; Balkwaste, 2011d; Bineri i dr., 2012; COWI, 2004; EC, 2002; EC, 2005; EC, 2007; EC, 2011; EC/Bipro, 2012; EC/JRC, 2011; EEA, 2002a; EEA, 2005b; EEA, 2013; ENPI, 2011; Ernst & Young, 2011; ETC/RWM, 2007; ETC/RWM, 2008; Eurostat, 2013d; Eurostat, 2013f; FMOT, 2011; Gavrilita, 2006; Green Alternative, 2006; IFC, 2008a; IFC, 2008b; Kloek i dr., 2010; Nahibina, 2006; OECD, 2007; REC, 2001a; REC, 2001b; REC, 2009; SEPA, 2009; Vlada CG, 2008; Vlada RH, 2007; WB, 2011.

Tabela P.5g Detaljan prikaz svih vrednosti V izlaznog parametra u okviru korišćenog modela VNM za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada

PETI IZLAZNI PARAMETAR																
Procenat insineracije i ostalih vrsta termičkog tretmana otpada (%)																
Država/Godina	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.
1. Albanija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2. Jermenija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3. Austrija	12,4	10,5	10,5	10,3	10,1	11,2	11,3	10,9	12,0	24,8	26,4	26,5	29,4	27,2	29,4	29,6
4. Belorusija	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6	0,6
5. Belgija	36,1	34,0	37,8	35,5	31,7	32,4	34,0	33,5	34,7	33,5	35,1	33,5	33,3	35,0	33,3	34,3
6. Bosna i Hercegovina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7. Bugarska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8. Hrvatska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5
9. Češka	0,0	0,0	0,0	4,4	6,9	7,0	9,6	10,5	10,5	10,8	9,6	9,7	9,8	8,6	8,3	11,1
10. Danska	51,9	49,7	53,5	52,7	50,2	52,6	56,6	56,2	54,1	54,5	53,8	53,1	51,0	48,0	48,2	54,2
11. Estonija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,3	0,0	0,0
12. Finska	0,0	0,0	4,9	10,7	16,1	20,3	21,1	21,2	23,4	24,1	25,7	28,5	28,3	31,3	27,9	31,3
13. Makedonija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14. Francuska	37,5	35,0	34,3	32,9	33,1	32,9	33,1	34,0	34,0	34,7	36,0	33,2	32,4	35,1	34,6	34,0
15. Gruzija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16. Nemačka	15,6	16,5	16,9	17,3	19,6	20,7	21,4	22,3	22,8	24,5	28,3	32,3	32,3	31,6	36,5	37,7
17. Grčka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18. Mađarska	7,0	6,8	6,6	7,2	7,0	7,6	7,7	6,1	5,2	3,3	6,5	8,3	8,3	8,6	9,5	9,9
19. Island	16,7	16,0	15,7	13,8	12,3	11,4	10,1	9,6	8,9	8,7	7,2	6,6	8,4	9,4	9,7	9,8
20. Irska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	3,8	3,8
21. Italija	5,3	5,9	6,6	7,2	7,4	7,7	8,5	9,0	10,6	11,2	12,0	12,1	12,2	11,2	12,7	12,4
22. Letonija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	1,5	1,7	1,9	1,0	0,5	0,5	0,3	0,0	0,0
23. Litvanija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24. Moldavija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25. Crna Gora	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26. Holandija	25,2	30,4	37,1	33,5	33,8	31,0	32,3	31,3	32,3	32,4	32,4	32,0	31,6	31,9	32,0	32,6
27. Norveška	13,5	12,9	13,4	13,0	15,5	14,7	29,6	30,6	32,6	30,9	33,3	31,6	37,5	37,6	41,5	50,3
28. Poljska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,6	0,9	1,0
29. Portugal	0,0	0,0	0,0	0,0	14,1	15,9	17,5	19,8	21,4	21,4	22,2	19,9	19,0	18,1	19,7	19,3
30. Rumunija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31. Rusija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32. Slovačka	9,5	10,2	10,9	13,1	12,3	15,4	10,5	10,2	10,1	12,4	11,8	11,6	10,7	8,8	6,8	10,2
33. Slovenija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,7	1,9	0,2	0,0	0,0	1,6	1,7	1,2
34. Španija	4,7	4,7	6,3	6,7	5,9	5,5	5,7	5,9	6,5	5,1	7,4	9,1	9,9	8,6	9,0	9,2
35. Švedska	38,3	38,2	36,1	37,9	38,1	38,3	38,2	40,3	44,9	46,2	49,1	46,3	46,5	48,5	48,5	48,6
36. Švajcarska	48,5	47,1	46,7	45,6	46,8	48,7	47,4	51,6	51,3	50,8	49,2	49,6	49,0	50,1	48,7	49,6
37. Turska	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
38. Ukrajina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
39. Velika Britanija	9,0	7,0	5,6	6,8	7,0	7,3	7,3	7,5	7,6	8,0	8,4	9,2	9,3	10,3	11,6	11,5

Izvor podataka: Arzumanyan, 2004; Balkwaste, 2011d; Bineri i dr., 2012; COWI, 2004; EC, 2002; EC, 2005; EC, 2007; EC, 2011; EC/Bipro, 2012; EC/JRC, 2011; EEA, 2002a; EEA, 2005b; EEA, 2013; ENPI, 2011; Ernst & Young, 2011; ETC/RWM, 2007; ETC/RWM, 2008; Eurostat, 2013d; Eurostat, 2013f; FMOT, 2011; Gavrilita, 2006; Green Alternative, 2006; IFC, 2008a; IFC, 2008b; Kloek i dr., 2010; Nahibina, 2006; OECD, 2007; REC, 2001a; REC, 2001b; REC, 2009; SEPA, 2009; Vlada CG, 2008; Vlada RH, 2007; WB, 2011.

Tabela P.6 Performanse svih analiziranih modela neuronskih mreža za projekciju zastupljenosti osnovnih tretmana komunalnog otpada

Express Report

Summary of All Networks

Performance Metrics									
Model Name	Training			Cross Validation			Testing		
	MSE	r	MAE	MSE	r	MAE	MSE	r	MAE
MLP-1-O-M (Multilayer Perceptron)	78,95758	0,877504	5,743627	70,53357	0,872563	5,241993	100,1502	0,824033	6,780987
LR-0-B-M (Linear Regression)	128,2893	0,787589	9,36594	135,1971	0,746886	9,595966	151,9242	0,717355	9,954038
LR-0-B-L (Linear Regression)	128,1164	0,787909	9,387868	133,3168	0,750242	9,514565	152,0202	0,717705	10,02613
MLP-1-B-L (Multilayer Perceptron)	77,6494	0,878443	5,672066	67,49996	0,878225	5,09643	99,48618	0,824589	6,688692
PNN-0-N-N (Probabilistic Neural Network)	74,20886	0,88358	5,52894	97,8744	0,822491	6,354771	111,6017	0,80073	7,032293
RBF-1-B-L (Radial Basis Function)	81,01115	0,871978	5,779587	79,6604	0,857097	5,502469	104,2974	0,815595	6,856951
GFF-1-B-L (Generalized Feedforward)	77,34233	0,878244	5,686884	71,52665	0,872922	5,24813	100,3805	0,823675	6,841078
MLPPCA-1-B-L (MLP with PCA)	98,81645	0,841186	6,670543	111,6502	0,799161	7,386576	140,8033	0,74366	7,902514
SVM-0-N-N (Classification SVM)	57,62865	0,930326	6,218357	132,0828	0,771789	9,601997	165,161	0,698391	10,4704
TDNN-1-B-L (Time-Delay Network)	71,31954	0,890924	5,472968	74,5697	0,864588	5,518518	111,4159	0,804023	7,086049
TLRN-1-B-L (Time-Lag Recurrent Network)	157,4548	0,743067	8,939359	193,3264	0,669737	10,49058	201,129	0,622258	10,38692
RN-1-B-L (Recurrent Network)	359,2521	0,400175	13,11002	292,2753	0,509075	11,20569	348,7176	0,292319	12,82242
MLP-2-B-L (Multilayer Perceptron)	78,0067	0,87715	5,710379	70,79831	0,873369	5,18072	98,69628	0,825894	6,684301
MLP-1-B-M (Multilayer Perceptron)	78,27651	0,876713	5,738823	70,65302	0,873512	5,199854	99,56933	0,824232	6,697363
MLP-2-O-M (Multilayer Perceptron)	82,85133	0,874723	5,892319	74,301	0,866516	5,412631	102,8794	0,822534	6,848927
MLP-2-B-M (Multilayer Perceptron)	88,66143	0,860346	6,423645	90,94523	0,835057	6,398656	116,6243	0,78953	7,344156
MLPPCA-1-O-M (MLP with PCA)	107,8192	0,839418	6,999833	107,3081	0,79933	7,249196	146,4561	0,741617	8,158526
MLPPCA-1-B-M (MLP with PCA)	90,12907	0,860106	6,848216	80,42483	0,860753	6,416803	114,191	0,803361	7,929639
GFF-1-O-M (Generalized Feedforward)	84,09887	0,871635	6,166699	79,99448	0,854645	5,835279	106,3527	0,814265	7,091415
GFF-1-B-M (Generalized Feedforward)	84,12586	0,866824	6,218554	82,76346	0,850614	5,996482	110,596	0,80313	7,288095
RBF-1-O-M (Radial Basis Function)	81,89851	0,872059	5,832096	88,37632	0,838493	5,820068	111,243	0,802458	7,08655
RBF-1-B-M (Radial Basis Function)	126,4115	0,815144	9,219547	135,2364	0,762292	9,563797	159,9714	0,702842	9,836995
TDNN-1-O-M (Time-Delay Network)	99,87339	0,87329	6,982224	96,28822	0,839689	6,811814	137,4904	0,784156	8,411677
TDNN-1-B-M (Time-Delay Network)	81,52077	0,871547	6,088066	82,93037	0,85263	5,976329	113,003	0,800712	7,211281
RN-1-O-M (Recurrent Network)	88,22325	0,859962	6,538627	86,93216	0,842125	6,44065	115,1971	0,794946	7,583055
RN-1-B-M (Recurrent Network)	111,7998	0,818373	7,490465	122,6691	0,774571	8,012017	143,1651	0,737297	8,433393
TLRN-1-O-M (Time-Lag Recurrent Network)	82,05512	0,87486	6,312449	76,49239	0,864201	5,774784	110,4507	0,808618	7,525518
TLRN-1-B-M (Time-Lag Recurrent Network)	84,75378	0,868247	6,463851	83,15851	0,857684	5,896223	113,0333	0,80473	7,560332

Tabela P.7a Pretpostavljene vrednosti ulaznih parametara u okviru modela za ambalažni otpad u periodu od 2013. do 2030. godine za Srbiju i projektovane izlazne vrednosti

Godina	Vrednosti ulaznih parametara				Projektovane izlazne vrednosti		
	1. Ukupna potrošnja domaćinstva na: hranu i bezalkoholna pića, alkoholna pića i duvan, ugostiteljske usluge (€/stanovnik/godišnje)		2. Ukupna potrošnja domaćinstva na: sve preostale proizvode i usluge lične potrošnje koji nisu sadržani u prvom parametru (€/stanovnik/godišnje)		Količina ambalažnog otpada (kg/stanovnik/godišnje)		
	Pesimistički scenario	Optimistički scenario	Pesimistički scenario	Optimistički scenario	Pesimistički scenario	Optimistički scenario	PROSEK
2013.	722	722	1.128	1.128	65,0	65,0	<b>65,0</b>
2014.	729	747	1.138	1.167	65,1	66,3	<b>65,7</b>
2015.	740	771	1.156	1.205	65,3	67,6	<b>66,5</b>
2016.	759	804	1.186	1.257	65,6	70,3	<b>67,9</b>
2017.	785	846	1.227	1.321	66,0	72,0	<b>69,0</b>
2018.	816	895	1.275	1.399	66,5	74,7	<b>70,6</b>
2019.	848	948	1.324	1.482	67,1	76,0	<b>71,5</b>
2020.	880	1.005	1.376	1.570	67,6	77,2	<b>72,4</b>
2021.	911	1.054	1.424	1.647	68,1	78,2	<b>73,1</b>
2022.	942	1.105	1.472	1.726	68,6	79,3	<b>73,9</b>
2023.	972	1.158	1.519	1.810	69,2	80,4	<b>74,8</b>
2024.	1.002	1.214	1.566	1.898	69,7	81,6	<b>75,6</b>
2025.	1.030	1.273	1.610	1.989	70,2	82,9	<b>76,5</b>
2026.	1.057	1335	1.651	2.086	70,6	84,3	<b>77,5</b>
2027.	1.090	1.400	1.703	2.187	71,2	85,8	<b>78,5</b>
2028.	1.124	1.467	1.756	2.293	71,9	87,4	<b>79,6</b>
2029.	1.159	1.538	1.810	2.404	72,5	89,1	<b>80,8</b>
2030.	1.194	1.613	1.866	2.520	73,2	90,9	<b>82,1</b>

Izvor podataka: USAID/Ekonomski fakultet, 2010; USDA-ERS, 2013.

Tabela P.7b Pretpostavljene vrednosti ulaznih parametara u okviru modela za biorazgradivi komunalni otpad u periodu od 2013. do 2030. godine za Srbiju i projektovane izlazne vrednosti

Godina	Vrednosti ulaznih parametara				Projektovane izlazne vrednosti		
	1. Ukupna potrošnja domaćinstva na: hranu i ugostiteljske usluge (€/stanovnik/godišnje)		2. Ukupna potrošnja domaćinstva na: sve preostale proizvode i usluge lične potrošnje koji nisu sadržani u prvom parametru (€/stanovnik/godišnje)		Količina biorazgradivog komunalnog otpada (kg/stanovnik/godišnje)		
	Pesimistički scenario	Optimistički scenario	Pesimistički scenario	Optimistički scenario	Pesimistički scenario	Optimistički scenario	PROSEK
2013.	605	605	1.245	1.245	235,5	235,5	<b>235,5</b>
2014.	610	626	1.256	1.288	235,7	237,2	<b>236,5</b>
2015.	620	646	1.276	1.330	236,1	238,0	<b>237,0</b>
2016.	636	674	1.309	1.387	236,7	241,2	<b>239,0</b>
2017.	658	708	1.354	1.458	237,3	243,7	<b>240,5</b>
2018.	684	750	1.407	1.544	238,0	246,1	<b>242,0</b>
2019.	710	795	1.462	1.635	238,7	248,8	<b>243,7</b>
2020.	738	842	1.518	1.733	239,4	251,5	<b>245,4</b>
2021.	763	883	1.571	1.817	240,1	254,4	<b>247,3</b>
2022.	789	926	1.625	1.905	240,8	257,5	<b>249,2</b>
2023.	815	971	1.677	1.998	241,5	260,9	<b>251,2</b>
2024.	840	1.018	1.728	2.094	242,2	264,4	<b>253,3</b>
2025.	863	1.067	1.776	2.196	242,9	268,0	<b>255,5</b>
2026.	885	1.119	1.822	2.302	243,7	271,6	<b>257,6</b>
2027.	913	1.173	1.880	2.414	244,6	275,2	<b>259,9</b>
2028.	942	1.230	1.938	2.530	245,5	279,0	<b>262,2</b>
2029.	971	1.289	1.998	2.653	246,4	283,0	<b>264,7</b>
2030.	1.001	1.352	2.059	2.782	247,2	287,1	<b>267,2</b>

Izvor podataka: USAID/Ekonomski fakultet, 2010; USDA-ERS, 2013.



Tabela P.7c Pretpostavljene vrednosti ulaznih parametara u okviru modela za zastupljenost tretmana otpada u periodu od 2013. do 2030. godine za Srbiju i projektovane izlazne vrednosti

Godina	Vrednosti ulaznih parametara			Projektovane izlazne vrednosti														
	Bruto domaći proizvod (€/stanovnik/godišnje)		Prosek broja godina neophodnih za dostizanje krajnjih ciljeva prema Direktivama EU	Procenat deponovanog otpada na kontrolisanim i sanitarnim deponijama (%)			Procenat deponovanog otpada na nekontrolisanim smetlištima (%)			Procenat reciklaže (%)			Procenat kompostiranja i ostalih vrsta biološkog tretmana otpada (%)			Procenat insineracije i ostalih vrsta termičkog tretmana otpada (%)		
	Pesimistički scenario	Optimistički scenario		Oba scenarija	Pesimistički scenario	Optimistički scenario	PROSEK	Pesimistički scenario	Optimistički scenario	PROSEK	Pesimistički scenario	Optimistički scenario	PROSEK	Pesimistički scenario	Optimistički scenario	PROSEK	Pesimistički scenario	Optimistički scenario
2013.	4.400	4.400	15,5	66,4	66,0	<b>66,2</b>	25,1	25,0	<b>25,1</b>	4,4	4,6	<b>4,5</b>	2,5	2,6	<b>2,6</b>	1,6	1,8	<b>1,7</b>
2014.	4.466	4.651	14,5	66,1	65,4	<b>65,8</b>	24,4	24,1	<b>24,3</b>	4,8	5,2	<b>5,0</b>	2,9	3,1	<b>3,0</b>	1,8	2,1	<b>2,0</b>
2015.	4.590	4.921	13,5	65,4	64,5	<b>65,0</b>	23,7	23,3	<b>23,5</b>	5,5	6,0	<b>5,8</b>	3,5	3,7	<b>3,6</b>	2,0	2,6	<b>2,3</b>
2016.	4.757	5.221	12,5	64,8	62,9	<b>63,9</b>	22,7	22,2	<b>22,5</b>	5,8	6,7	<b>6,3</b>	4,6	5,0	<b>4,8</b>	2,2	3,1	<b>2,7</b>
2017.	4.956	5.544	11,5	64,5	61,0	<b>62,8</b>	21,5	21,3	<b>21,4</b>	6,3	7,4	<b>6,9</b>	5,4	6,6	<b>6,0</b>	2,4	3,7	<b>3,1</b>
2018.	5.180	5.921	10,5	64,1	59,7	<b>61,9</b>	20,8	19,9	<b>20,4</b>	6,9	8,4	<b>7,7</b>	5,7	7,6	<b>6,7</b>	2,6	4,4	<b>3,5</b>
2019.	5.412	6.324	9,5	63,7	57,6	<b>60,7</b>	20,1	19,1	<b>19,6</b>	7,5	9,3	<b>8,4</b>	6,0	8,7	<b>7,4</b>	2,8	5,2	<b>4,0</b>
2020.	5.653	6.760	8,5	63,2	54,1	<b>58,7</b>	19,4	18,4	<b>18,9</b>	8,1	11,1	<b>9,6</b>	6,4	10,4	<b>8,4</b>	3,0	6,0	<b>4,5</b>
2021.	5.890	7.153	7,5	62,6	52,0	<b>57,3</b>	18,7	16,6	<b>17,7</b>	8,7	12,8	<b>10,8</b>	6,9	11,8	<b>9,4</b>	3,2	6,8	<b>5,0</b>
2022.	6.132	7.567	6,5	62,1	49,7	<b>55,9</b>	17,9	15,2	<b>16,6</b>	9,3	14,4	<b>11,9</b>	7,4	13,1	<b>10,3</b>	3,3	7,5	<b>5,4</b>
2023.	6.369	8.006	5,5	61,5	47,6	<b>54,6</b>	17,2	13,3	<b>15,3</b>	9,9	15,9	<b>12,9</b>	7,9	15,1	<b>11,5</b>	3,5	8,1	<b>5,8</b>
2024.	6.605	8.471	4,5	60,9	46,8	<b>53,9</b>	16,5	9,9	<b>13,2</b>	10,4	17,3	<b>13,9</b>	8,5	17,4	<b>13,0</b>	3,7	8,6	<b>6,2</b>
2025.	6.829	8.962	3,5	60,3	45,2	<b>52,8</b>	15,9	7,7	<b>11,8</b>	10,9	18,4	<b>14,7</b>	9,0	19,6	<b>14,3</b>	3,8	9,1	<b>6,5</b>
2026.	7.041	9.482	2,5	59,8	43,2	<b>51,5</b>	15,3	5,6	<b>10,5</b>	11,4	19,3	<b>15,4</b>	9,6	22,5	<b>16,1</b>	3,9	9,4	<b>6,7</b>
2027.	7.310	10.032	1,5	59,1	42,6	<b>50,9</b>	14,5	3,9	<b>9,2</b>	11,9	20,0	<b>16,0</b>	10,4	24,1	<b>17,3</b>	4,1	9,5	<b>6,8</b>
2028.	7.586	10.614	0,5	58,4	39,9	<b>49,2</b>	13,7	2,5	<b>8,1</b>	12,4	20,3	<b>16,4</b>	11,2	27,7	<b>19,5</b>	4,2	9,5	<b>6,9</b>
2029.	7.868	11.229	-0,5	57,7	37,4	<b>47,6</b>	12,9	1,4	<b>7,2</b>	13,0	20,5	<b>16,8</b>	12,1	31,3	<b>21,7</b>	4,3	9,5	<b>6,9</b>
2030.	8.160	11.880	-1,5	57,0	34,9	<b>46,0</b>	12,0	0,6	<b>6,3</b>	13,4	20,4	<b>16,9</b>	13,1	34,7	<b>23,9</b>	4,4	9,3	<b>6,9</b>

Izvor podataka: USAID/Ekonomski fakultet, 2010; USDA-ERS, 2013.