



[www.ror.tf.bor.ac.rs](http://www.ror.tf.bor.ac.rs)

Naučni rad

UDK 628.4.033(497.113Bačka)

## **ANALIZA SISTEMA UPRAVLJANJA OTPADOM PRIMENOM LCI I LCIA METODA: STUDIJA SLUČAJA JUŽNO-BAČKOG REGIONA ZA UPRAVLJANJE OTPADOM (SRBIJA)**

### **ANALYSIS OF MUNICIPAL WASTE MANAGEMENT SYSTEMS USING LCI AND LCIA: CASE STUDY SOUTH BACKA WASTE MANAGEMENT REGION (SERBIA)**

**Jasna Stepanov<sup>1,#</sup>, Dejan Ubavin<sup>2</sup>, Dunja Prokić<sup>1</sup>, Hristina Stevanović-Čarapina<sup>1</sup>, Nemanja Stanisavljević<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Fakultet zaštite životne sredine, Univerzitet Edukons, Sremska Kamenica, Srbija

<sup>2</sup> Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija

Primljen: 7. septembar 2015.

Prihvaćen: 20. oktobar 2015.

**IZVOD** – Republika Srbija je, kao zemlja kandidat za članstvo u Evropskoj uniji, u obavezi da implementira zakonodavstvo EU u domaće zakonodavstvo, što se neminovno odnosi i na sektor otpada. S tim u vezi, Republika Srbija treba da unapredi sektor upravljanja otpadom, kako bi u potpunosti zadovoljila ciljeve EU u ovoj oblasti. Za razvoj i unapređenje buduće strategije upravljanja otpadom i pospešivanje procesa donošenja odluka u sektoru otpada, neophodna je primena novih alata. Za poređenje i evaluaciju različitih strategija upravljanja otpadom u regionu, moguće je primeniti kombinaciju IWM-2 modela i Impact2002+ metodologije. IWM-2 model podrazumeva drugu fazu (inventar životnog ciklusa, eng. life cycle inventory-LCI), a Impact2002+ treću fazu (ocenjivanje uticaja životnog ciklusa, eng. life cycle impact assessment-LCIA) ocenjivanja životnog ciklusa (eng. Life Cycle Assessment-LCA) čija je procedura definisana standardom ISO 14040. U ovom radu je kombinacija IWM-2 modela i Impact 2002+ metodologije primenjena na Južno-bački region za upravljanje otpadom, da bi se procenilo kako će poboljšanje sistema upravljanja otpadom u navedenom Regionu uticati na životnu sredinu, potrošnju energije i troškove upravljanja otpadom. Razvijen je scenario koji odražava sadašnje stanje i alternativni scenario koji uključuje tehnologije upravljanja otpadom, neophodne da bi se ispunili minimalni zahtevi EU uz pristupačne troškove. Dobijeni rezultati jasno ukazuju kako će implementacija kompostiranja, povećanje stope recikliranja i odlaganje otpada na sanitarnu deponiju imati pozitivan uticaj na karakteristike životne sredine u Južno-bačkom regionu.

**Ključne reči:** komunalni otpad, sistem upravljanja otpadom, ocenjivanje životnog ciklusa

**ABSTRACT** - Republic of Serbia as a candidate for the EU is obliged to comply with EU directives. This refers to waste management sector as well. Different goals need to be fulfilled, and current waste management practice must be improved in order to meet all necessary EU objectives. Thus informations to support future waste management decisions can be very important in developing and streamlining future strategies. The combination of IWM-2 model and Impact2002+ methodology is a base comparison and evaluation of different municipal solid waste management strategies in Serbia. The IWM-2 model involves the second stage (life cycle inventory-LCI) and Impact2002+ third stage (life cycle impact assessment-LCIA) of the Life Cycle Assessment-LCA procedure defined in ISO 14040. In order to evaluate how will improvement of

<sup>#</sup> Kontakt adresa autora: Jasna Stepanov, Fakultet zaštite životne sredine, Univerzitet Edukons, Sremska Kamenica, Srbija. E-mail: [jasnastepanov@gmail.com](mailto:jasnastepanov@gmail.com). Tel.: 021/ 48 93 676, 021/48 93 618

*waste management influence the environmental, energy and cost performance of waste management in Serbia, alternative scenario is developed representative for Novi Sad region. The scenario includes necessary technologies in order to fulfill the minimum of EU requirements at most affordable costs. The more advanced options are not considered. The current and alternative scenario is developed and results are evaluated by IWM-2 and Impact 2002+ methods. Results clearly indicates the difference between scenarios and show how would implementation of composting and increased recycling rates have positive influence environmental performance on MSW management in Novi Sad region.*

**Key words:** *municipal waste, waste management system, life cycle assessment*

## UVOD

Način upravljanja komunalnim otpadom u velikoj meri utiče na kvalitet čimilaca životne sredine. Odluke koje se odnose na sam izbor opcija upravljanja komunalnim otpadom su od ključnog značaja za unapređenje i dostizanje održivog sistema upravljanja otpadom. Glavni cilj istraživanja jeste određivanje nedostataka, prednosti, kao i procena uticaja sistema upravljanja komunalnim otpadom na činioce životne sredine primenom kombinovanog LCI/LCIA pristupa. Pristup baziran na ocenjivanju životnog ciklusa predstavlja jedan od analitičkih instrumenata koji se može primeniti za izbor najpovoljnije opcije upravljanja čvrstim komunalnim otpadom [1].

Direktiva o deponijama [2], Direktiva o spaljivanju otpada [3], Okvirna direktiva o otpadu [4], Direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu [5] predstavljaju osnovu sadašnje, evropske politike o otpadu. Republika Srbija, kao kandidat za članstvo u Evropskoj uniji, ima obavezu da harmonizuje nacionalno zakonodavstvo sa direktivama EU i u oblasti upravljanja otpadom.

Postupanje sa otpadom u Republici Srbiji može se generalno oceniti kao nedovoljno razvijeno i uglavnom je ograničeno samo na njegovo sakupljanje i odlaganje. Do 2000. godine je gotovo sav sakupljen otpad na području naše zemlje odlagan na nekontrolisana odlagališta, koja ne poseduju elemente sanitarne zaštite, ili na divlje deponije [6].

Veći deo odredbi Okvirne direktive o otpadu prenete su 2010. godine u domaće zakonodavstvo, usvajanjem izmena i dopuna Zakona o upravljanju otpadom i pratećim podzakonskim aktima, međutim Okvirna direktiva o otpadu i Direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu još uvek nisu u potpunosti transponovane u Republici Srbiji. Nacionalni ciljevi za ponovno korišćenje i reciklažu ambalažnog otpada definisani su Uredbom o utvrđivanju plana smanjenja ambalažnog otpada za period od 2015. do 2019. godine ("Službeni glasnik Republike Srbije", broj 144/2014) i u skladu su sa ciljevima koje su zemlje članice EU,

shodno Direktivi o ambalaži i ambalažnom otpadu, trebale da ispune do kraja 2008. godine. Direktiva o deponijama otpada i Odluka Saveta o uspostavljanju kriterijuma i procedura za prihvatanje otpada na deponiji transponovane su u domaće zakonodavstvo Zakonom o upravljanju otpadom i Uredbom o odlaganju otpada na deponije [7].

S obzirom da Republika Srbija sada ima sedam regionalnih sanitarnih deponija usklađenih sa zahtevima iz propisa EU, u narednom periodu neophodno je razviti i druge oblike upravljanja otpadom, kako bi se deponije upotrebljavale samo u krajnjoj nuždi. Nove investicije u oblasti upravljanja otpadom bi trebalo u većoj meri usmeriti na razdvajanje i reciklažu otpada. Dodatno je neophodno brže zatvarati deponije koje nisu u skladu sa propisima i pospešiti implementaciju zakonskih propisa u oblasti upravljanja otpadom [8].

Strategija upravljanja otpadom u Republici Srbiji predstavlja bazni dokument za racionalno i održivo upravljanje otpadom na nacionalnom nivou. Prema preporukama iz Strategije, formiranje regiona za upravljanje otpadom, predstavlja jedinu održivu opciju, jer bi se time ostvarila: bolja kontrola celog sistema upravljanja otpadom, zaštita i očuvanje životne sredine, lakša (jeftinija) primena novih tehnologija, ukupno sniženje troškova, dostigao bi se veći obim separacije korisnih sastojaka, a u krajnjoj instanci došlo bi i do ostvarenja profita prodajom sekundarnih sirovina. Tako je u Republici Srbiji planirano formiranje 26 regionalna centra za upravljanje otpadom, među kojima je i Južno-bački Region za upravljanje otpadom, odnosno Regionalni centar za upravljanje otpadom sa sedištem u Novom Sadu, kome gravitiraju sledeće opštine: Bačka Palanka, Bački Petrovac, Beočin, Žabalj, Vrbas, Srbobran i Temerin [9].

## TEORIJSKI DEO

Metodologija ocenjivanja životnog ciklusa (*eng. Life cycle assessment-LCA*) definisana u standardu ISO 14040 predstavlja osnovu za razvoj ovog pristupa. Ova

metodologija se bavi aspektima životne sredine i potencijalnim uticajima na životnu sredinu tokom celog životnog ciklusa proizvoda ili usluge od faze dobijanja sirovina kroz faze proizvodnje, korišćenja do kraja životnog veka, tretmana otpada ili do završne faze odlaganja. S obzirom da se upravljanje otpadom može opisati kao usluga čiji je cilj zbrinjavanje otpada, LCA metoda se sve češće koristi za evaluaciju uticaja koji su u vezi sa sistemom upravljanja otpadom. LCA metoda se izvodi u četiri faze: I) određivanje cilja, predmeta i područja primene, II) inventar životnog ciklusa, III) ocenjivanje uticaja životnog ciklusa i IV) interpretacija rezultata.

Danas postoje brojni modeli koji se primenjuju kao alati podrške u procesu donošenja odluka u oblasti upravljanja otpadom. Veći deo njih je zasnovan na analizi životnog ciklusa [10], dok postoje i metode koje su zasnovane na analizi tokova materijala (MFA) i na analizi tokova supstanci (SFA) [11, 25]. Različiti modeli su fokusirani na različite aspekte. Dok su neki od modela fokusirani na ekonomske faktore, drugi uključuju aspekte životne sredine.

Tokom poslednjih 15 godina razvijeno je nekoliko modela za procenu uticaja na životnu sredinu sistema upravljanja otpada, baziranih na životnom ciklusu.

LCA alat za industrijske proizvode, UMBERTO je fokusiran na upravljanje čvrstim otpadom. Međutim, ovaj model ima veoma malu osetljivost na tipove otpada na ulazu, koje je moguće izabrati u modelu.

ORWARE (eng. Organic Waste Research) model je posebno fokusiran na procenu različitih strategija za organski otpad koji potiče i iz domaćinstava i industrije. Model radi sa nizom funkcionalnih jedinica koje sve moraju biti uzete u obzir prilikom poređenja različitih scenarija.

MIME/WASTE model razvijen je na Tehnološkom Univerzitetu "Chalmers" u Švedskoj i koristi se za poređenje sistema upravljanja otpadom u nekoliko opština ili regiona. Svrha ovog modela je u pronalaženju finansijski najefikasnije opcije upravljanja otpadom koja može da zadovoljivi zahteve u pogledu emisija. Model je zasnovan na minimizaciji troškova i proračunavanju emisija.

EASEWASTE (eng. Environmental Assessment of Solid Waste Systems and Technologies) model je koncipiran za procenu promena u životnoj sredini i potencijalnih uticaja sistema upravljanja čvrstim komunalnim otpadom na životnu sredinu [12].

IWM-2 (eng. Integrated Waste Management Model) model [13] jeste model koji obuhvata inventar životnog ciklusa komunalnog čvrstog otpada (LCI), ali ne i

ocenjivanje uticaja životnog ciklusa i pruža mogućnost procene i komparacije učinka sistema upravljanja otpadom sa aspekta životne sredine i ekonomskog aspekta. Model daje prikaz rezultata u obliku troškova, potrošnje energije, emisija u vodu i emisija u vazduh.

Rezultati dobijeni primenom IWM-2 modela se mogu prevesti u kategorije uticaja na životnu sredinu, tačnije može se sprovesti ocenjivanje uticaja životnog ciklusa (LCIA) sistema upravljanja otpadom na životnu sredinu, čime se omogućava analiza sistema sa aspekta uticaja na životnu sredinu. U literaturi postoji nekoliko dostupnih LCIA metoda [14]: CML 2001 [15], Eco-Indicator 99 [16], EDIP 1997-2003 and Impact 2002+ [17].

Pomoću CML 2001 modela se mogu odrediti indikatori na međupozicijama. Eco-indicator 99 je model za određivanje indikatora na krajnjim pozicijama sa posebnim akcentom na njihovo vrednovanje. EDIP 1997 podržava analizu životnog ciklusa industrijskih proizvoda i analizu uticaja na životnu sredinu. Primenom ovog modela moguće je proceniti uticaj na životnu sredinu, upotrebu resursa i radno okruženje. EPID 2003 obezbeđuje faktore karakterizacije za emisije koje su u vezi sa kategorijama uticaja i bukom.

Impact 2002+ model podrazumeva kombinovani pristup za kategorije uticaja na međupozicijama i krajnjim pozicijama. Povezuje sve vrste rezultata inventara životnog ciklusa preko nekoliko kategorija uticaja na međupozicijama u četiri kategorije na krajnjim pozicijama [14].

U ovom radu kombinacija IWM-2 i Impact2002+ je primenjena na Južno-bački Region za upravljanje otpadom u cilju evaluacije uvođenja: biološkog tretmana otpada (kompostiranja), povećanja stepena reciklaže i odlaganja komunalnog čvrstog otpada na sanitarnu deponiju. Razlog za izbor ove kombinacije IWM-2/Impact2002+ jeste to što se mogu odrediti indikatori na međupozicijama i krajnjim pozicijama uticaja.

## **EKSPERIMENTALNI DEO**

### **Definisanje i razvoj scenarija**

Region za upravljanje otpadom definisan je Strategijom upravljanja otpadom u Republici Srbiji i Zakonom o upravljanju otpadom. Ispitivani Južno-bački Region obuhvata sedam opština (Bačka Palanka, Bački Petrovac, Beočin, Žabalj, Srbobran, Temerin i Vrbas) i Grad Novi Sad u kojima se otpad uglavnom odlaze na deponije koji nisu sanitarno tehnički uređene, što svakako ne predstavlja održiv sistem upravljanja otpadom.

Prema poslednjim podacima Republičkog zavoda za statistiku iz 2011. godine [18], broj stanovnika u ispitivanom Regionu iznosi 532.200, a količina čvrstog komunalnog otpada po stanovniku dnevno iznosi 1,01 kg [19]. Ukupan iznos komunalnog čvrstog otpada na godišnjem nivou, što predstavlja funkcionalnu jedinicu u ovoj analizi, iznosi 195.850 tona, od čega najveći procenat zauzima baštenski i biodegradabilan otpad oko 46%, približno 14% papir i karton, 14% plastika itd. Opšti podaci o stanovništvu i količinama otpada u Regionu dati su u tabeli 1.

**Tabela 1.** Podaci o broju stanovnika i generisanim količinama otpada u regionu [18, 19]

Region za upravljanje otpadom	Vrednost
Broj domaćinstava	194 452
Broj stanovnika	532 200
Prosečan broj stanovnika po domaćinstvu	2,7
Ukupna količina generisanog otpada (tona/godišnje)	195 850
Generisana količina otpada po stanovniku (kg/osoba/godišnje)	368

Za potrebe ovog rada analizirani su sledeći scenariji:

- Scenario 1, je scenario koji reprezentuje trenutno stanje u upravljanju otpadom u Regionu i podrazumeva: sakupljanje neselektovanog otpada, transport i odlaganje komunalnog čvrstog otpada na nesanitarne deponije. Jedino u Gradu Novom Sadu od 2002. godine postoji postrojenje za separaciju otpada na lokaciji odlagališta, međutim izdvajanje određenih frakcija u ovom postrojenju je na izuzetno niskom nivou (0,05% ili 101 tona).
- Scenario 2 podrazumeva: odvojeno sakupljanje selektovanih frakcija i transport otpada, povećanje udela reciklaže (60% papir i staklo, 50% metal i 22% plastika), biološki tretman otpada (kompostiranje) u udelu oko 65% od ukupnih količina biodegradabilnog otpada i odlaganje ostalih količina otpada na regionalnu sanitarnu deponiju, deponiju koja je opremljena sistemom za sakupljanje i tretman deponijskog gasa i procednih deponijskih voda i u skladu sa svim sanitarnotehnološkim zahtevima. Ovaj scenarijo razvijen je u skladu sa ciljevima navedenim u Direktivi o ambalaži i ambalažnom otpadu i Direktivi o deponovanju otpada. Navedeni procentualni udeli

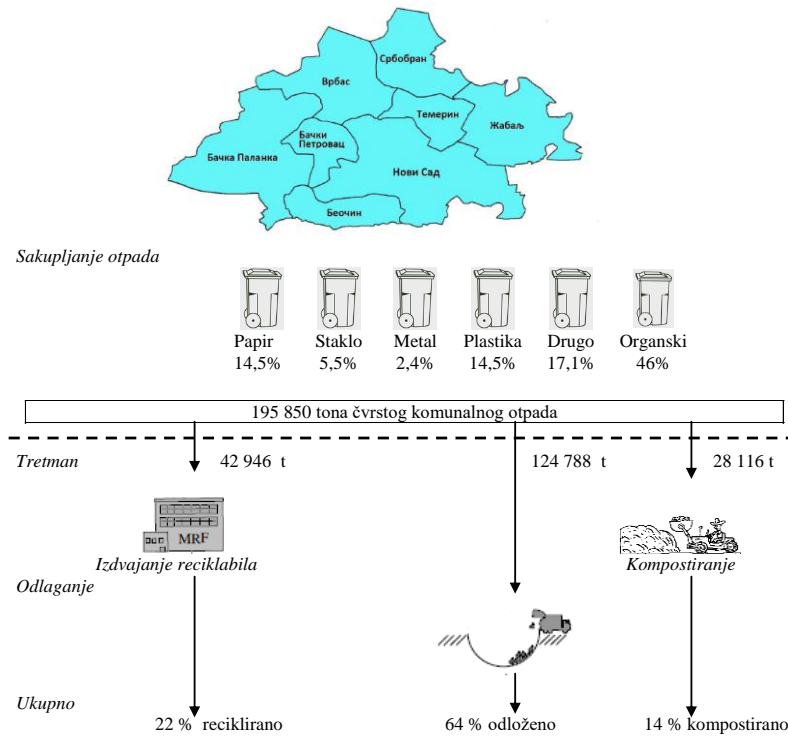
frakcija otpada definisani su na ulazima u procese reciklaže i kompostiranja. Prema modelu IWM-2 svaki od ovih procesa podrazumeva prethodno sortiranje otpada. U proces kompostiranja ulazi 60 710 tona, što predstavlja približno 65% od ukupnog biodegradabilnog otpada ili približno 30% od ukupne količine otpada. Tokom procesa sortiranja, kao predtretmana procesa kompostiranja, definisan je određeni nivo kontaminacije otpadnog toka, koji iznosi oko 8% (4477 tona). Gubitak mase u toku procesa kompostiranja, usled isparavanja i degradacije, iznosi 50% (28 116 tona). Preostalih 50% (28 116 tona) predstavlja sirovinu od koje se pravi kompost, a pretpostavka od koje se polazi jeste da 50% od dobijenog komposta ima tržišnu vrednost (14 058 tona), dok ostatak odlazi na deponiju i koristi se kao inertan materijal za prekrivanje otpada. Najčešća metoda kompostiranja je kompostiranje na otvorenom koje podrazumeva slaganje sirovine u kompostne gomile uz kontrolisane uslove. Proces reciklaže u ovom istraživanju obuhvaćen je samo kao izdvajanje i prodaja sekundarnih sirovina. Proces prerade izdvojenih materijala u sekundarne materijale je izvan granica sistema upravljanja otpadom u modelu IWM-2. Sekundarne sirovine mogu da zamene primarne sirovine i na taj način obezbeđuje se ušteda u potrošnji energije i smanjenje količina emisija. U ovom sistemu, materijali namenjeni za reciklažu napuštaju sistem kao sekundarne sirovine koje su izdvojene na postrojenju za centralno sortiranje.

Na slici 1. predstavljen je sistem upravljanja otpadom u Južno-bačkom Regionu prema scenariju 2.

Tabela 2. daje prikaz svih tretmana u sistemu upravljanja otpadom, količina i tokova otpada za dva scenarija.

**Tabela 2.** Tretmani u sistemu upravljanja otpadom, ulazne količine i tokovi otpada za scenario 1 i scenario 2

Faze procesa upravljanja otpadom/tok otpada	Scenario 1	Scenario 2
Ukupna količina otpada na ulazu (tona)	195 850	195 850
Reciklaža (%)	0,05	22
Kompostiranje (%)	0	14
Odlaganje (%)	99,95 (nesanitarna deponija)	64 (sanitarna deponija)



Slika 1. Tok otpada u alternativnom scenariju

## Modelovanje i indikatori

Razvoj i komparacija scenarija sprovedena je primenom IWM-2 modela i Impact2002+ metodologije. IWM-2 model je softverski paket koji obuhvata LCI fazu; drugu fazu analize životnog ciklusa (LCA). Model IWM-2 daje detaljan opis aktuelne prakse upravljanja otpadom, kroz elemente integralnog sistema upravljanja otpadom i predviđa opterećenja životne sredine (u formi emisija (kg), količina otpada ( $m^3$ ) i potrošnje energije (GJ) ) i ekonomske troškove (troškovi po domaćinstvu ili stanovniku) [13]. Rezultati u vidu količina otpada koji se odlažu na deponiju ( $m^3$ ) i emisija u vazduh (kg) dobijeni u IWM-2 modelu su dalje evaluirani primenom Impact2002+ metodologije koja omogućava povezivanje LCI rezultata u odgovarajuće uticaje na životnu sredinu.

Metodologija Impact2002+ povezuje rezultate inventara životnog ciklusa, preko indikatora na međupozicijama, u indikatore na krajnjim pozicijama [17]. U LCIA fazi se rezultati analize inventara dalje obrađuju u kontekstu uticaja na životnu sredinu [20]. Odabrani indikatori za komparaciju scenarija su: "potrošnja energije", "troškovi po stanovniku", (indikatori koji se mogu odrediti primenom samo IWM-2 modela) "globalno zagrevanje" i "zauzimanje zemljišta" (indikatori koji se mogu odrediti kombinaci-

jom IWM-2/Impact2002+ modela).

"Potrošnja energije" jeste nezaobilazni faktor kada je u pitanju procena održivosti sistema upravljanja otpadom u kontekstu očuvanja resursa. Energetski bilans se upotrebljava u cilju opisivanja veze između proizvodnje energije i neophodne količine energije potrebne za funkcionisanje određenog sistema [11].

"Troškovi po stanovniku"; finansijski parametar predstavlja opredeljujući faktor kada je u pitanju donošenje odluka i evaluacija sistema upravljanja otpadom. Veza između socio-ekonomskog i tehničko-tehnološkog aspekta često predstavlja glavnu prepreku za unapređenje kvaliteta životne sredine. Uvođenje savremenih opcija tretmana otpada je neretko u vezi sa dodatnim troškovima. Troškovi predstavljaju indikator koji je u direktnoj korelaciji sa platežnom moći stanovnika. Ovi troškovi obuhvataju operativne troškove (troškove sakupljanja otpada, sortiranja, opcije tretmana, transporta i konačnog odlaganja otpada na deponiju). Prihodi se ostvaruju od prodaje reciklabilnih sirovina, komposta ili energije. Razlika između prihoda i troškova sistema predstavlja visinu operativnih troškova.

Odabrani indikatori za procenu uticaja i komparaciju različitih sistema upravljanja otpadom u ovom radu su uticaj na "globalno zagrevanje" i "zauzimanje zemljišta" kao indikatori na međupoziciji, a

"kvalitet ekosistema" kao indikator na krajnjoj poziciji (tabela 3.).

**Tabela 3.** Indikatori odabrani za procenu uticaja i za komparaciju različitih sistema upravljanja otpadom

Indikatori na krajnjim pozicijama	Indikatori na međupozicijama
Kvalitet ekosistema (PDF·m <sup>2</sup> ·god/kg)	Globalno zagrevanje (kg CO <sub>2</sub> -eq)
	Zauzimanje zemljišta (m <sup>2</sup> god)

Indikatori na međupozicijama karakterišu elementarne tokove koji doprinose istom uticaju. Ukupan uticaj elementarnog toka se iskazuje u odnosu na ekvivalentan uticaj referentnog toka. Na primer, u okviru uticaja "globalno zagrevanje" uticaj svakog gasa sa efektom staklene bašte (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) se iskazuje zbirno, kroz ekvivalentan uticaj referentne supstance CO<sub>2</sub> [21].

„Zauzimanje zemljišta“ jeste indikator uticaja na međupoziciji i izražava se u m<sup>2</sup>·god. Indikator uticaja na krajnjoj poziciji „kvalitet ekosistema“ izražava se u PDF·m<sup>2</sup>·god. PDF (*eng. Potentially Disappeared Fraction*) ili potencijalno ugrožena vrsta na površini od m<sup>2</sup> tokom vremenskog perioda od godinu dana. PDF jeste jedinica mere za kategoriju "kvalitet ekosistema" i predstavlja broj vrsta koji će usled uticaja nestati na površini od m<sup>2</sup> tokom određenog vremenskog perioda PDF·m<sup>2</sup>·god.

Indikator "globalno zagrevanje"; borba protiv klimatskih promena i smanjenje emisija gasova sa efektom staklene bašte su među najvećim izazovima sa kojima se suočava Evropska unija. Istraživanja pokazuju da udeo sektora upravljanja otpadom u ukupnim emisijama gasova sa efektom staklene bašte u zemljama EU 28 iznosio je 3% [22]. Evropska Strategija 2020 je postavila za cilj smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte za 20 % do 2020. godine, u odnosu na baznu 1990. godinu. Republika Srbija kao kandidat za EU je u obavezi da smanji emisije gasova sa efektom staklene bašte kroz sve sektore, uključujući i sektor upravljanja otpadom.

Indikator "zauzimanje zemljišta" je razmatran, jer je korelacija između zagađenja zemljišta i upravljanja otpadom očigledna. Neadekvatno upravljanje otpadom je dovelo do velikog broja lokacija koje su potencijalno kontaminirane neadekvatnim odlaganjem otpada [6]. Prema EEA iz 2007. godine, oko 250.000 kontaminiranih lokacija zahteva hitnu sanaciju. Jedan od glavnih uzroka zagađenja zemljišta je odlaganje otpada. U Republici Srbiji, prema zvaničnim podacima, 43,7% od ukupnog broja identifikovanih kontaminiranih

lokacija predstavljaju divlje deponije komunalnog otpada.

Međutim, ne mogu se svi indikatori uticaja izračunati direktno iz inventara. Za određene, indikatore, neophodne vrednosti se uzimaju pod pretpostavkom. Za procenu uticaja na indikator "zauzimanje zemljišta" uzete su sledeće pretpostavke: ukupna količina otpada koja se odlaže (m<sup>3</sup>) se podeli sa prosečnom dubinom deponije (pretpostavka je 15 metara) i pomnoži sa prosečnim vremenom zauzimanja zemljišta (pretpostavka je 70 godina, 20 godina za eksploataciju i 50 godina za monitoring) [23].

## REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati analize inventara životnog ciklusa otpada i komparacija scenarija kroz karakteristike sistema upravljanja otpadom; "potrošnju energije (GJ)" i "troškove po stanovniku" sistema upravljanja otpadom prikazani su u narednoj tabeli. Svi rezultati su iskazani u odnosu na godišnje količine otpada (funkcionalnu jedinicu).

**Tabela 4.** Potrošnja energije, troškovi upravljanja otpadom i količine otpada u dva scenarija

Faze procesa	Potrošnja energije (GJ)		Troškovi po stanovniku (€)	
	1	2	1	2
Scenarij	1	2	1	2
Sakupljanje	132.256	137.767	19	30
Sortiranje	62	12.867	-0,02*	-3*
Biološki tretman	0	19.043	0	3
Odlaganje	6.512	-204.650*	5	8
Reciklaža	-4.531*	-764.667*	0	0
Ukupno	134.300	-799.640*	24	38

\*Vrednosti sa negativnim predznakom predstavljaju uštede ili koristi

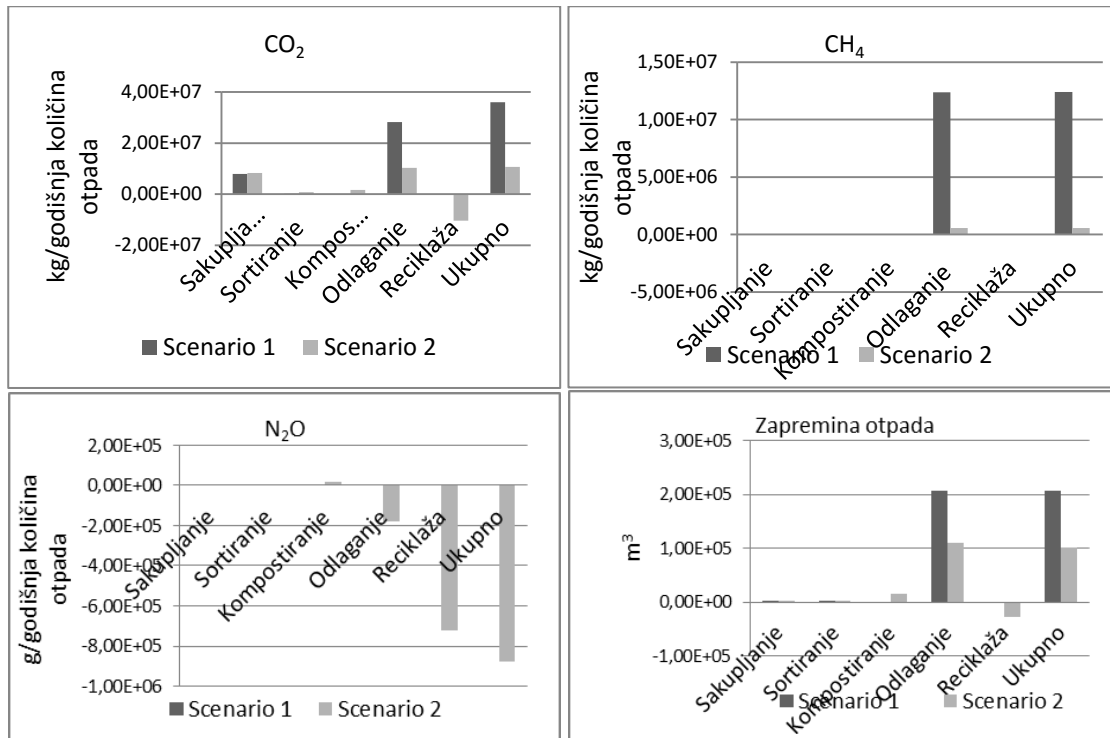
"Potrošnja energije" po tretmanima otpada je negativna u procesu odlaganja otpada na sanitarnu deponiju u scenariju 2 i procesu reciklaže otpada u scenarijima 1 i 2. Dakle, u ovim procesima dobija se korisna energiju u obliku deponijskog gasa i šteti energija zahvaljujući procesu reciklaže otpada.

Troškovi sakupljanja i tretmana otpada predstavljaju značajan deo ukupnih troškova i od izuzetnog su značaja za stanovništvo i kvalitet životne sredine [12]. Troškovi prikazani u tabeli 4. predstavljaju "troškove po stanovniku" u vidu nadoknade za zbrinjavanje otpada. S obzirom da scenario 2 u okviru procesa sakupljanja otpada podrazumeva sakupljanje razdvojenih frakcija otpada, kao i sanitarno

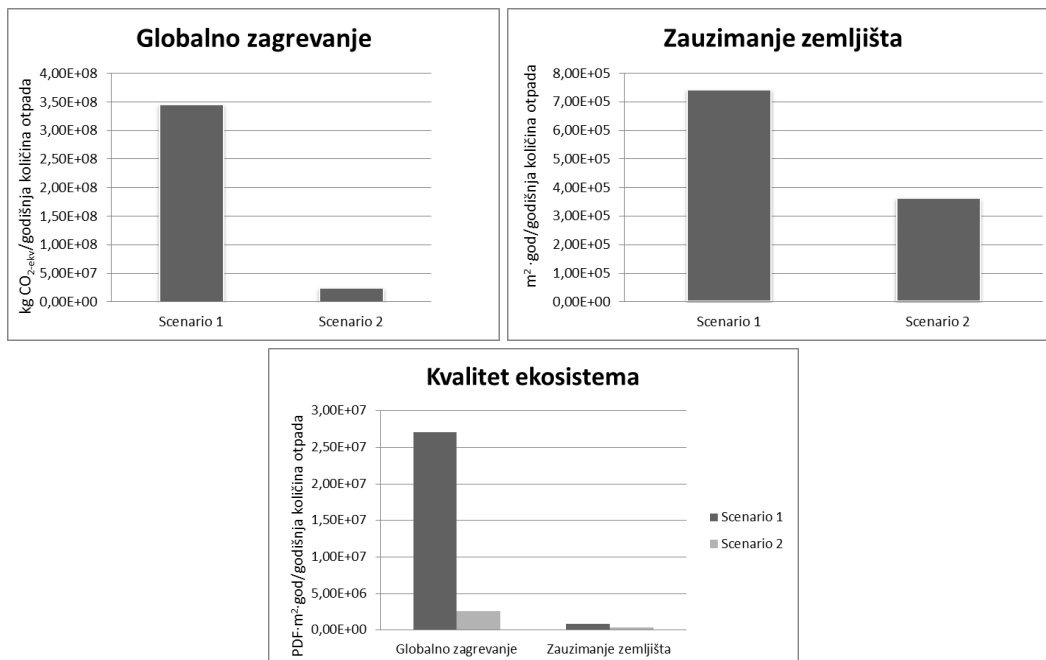
deponovanje, "troškovi po stanovniku" u ovom scenariju su veći u odnosu na postojeći scenario.

Na slici 2. predstavljeni su rezultati dobijeni u IWM-2 modelu koji doprinose izabranim indikatorima i njihova prikazana koncentracija se odnosi na celokupne sisteme za upravljanje otpadom.

Korišćenjem faktora karakterizacije rezultati dobijeni u IWM-2 modelu su konvertovani u „referentne supstance“, primenom metodologije Impact2002+. Na slici 3. predstavljen je uticaj scenarija na izabrane indikatore za procesuirane količine otpada.



Slika 2. Dijagrami prikazuju doprinos opcija tretmana otpada izabranim indikatorima



Slika 3. Komparacija scenarija kroz odabrane indikatore

Alternativni scenario upravljanja otpadom za ispitivani Region pozitivno doprinosi uticaju na izabrane indikatore:

- uticaj na "globalno zagrevanje" je smanjen za 93%
- uticaj na "zauzimanje zemljišta" je smanjen za 51%
- "kvalitet ekosistema" je znatno ugrožen usled dejstva "globalnog zagrevanja", u poređenju sa "zauzimanjem zemljišta" i u slučaju Scenarija 2 "globalno zagrevanje" je čak za 85% više odgovorno za ugroženost "kvaliteta ekosistema" od indikatora "zauzimanje zemljišta".

Uvođenje sistema sakupljanja selektovanih frakcija otpada, biološkog tretmana, reciklaže i sanitarnog deponovanja jeste opcija koja pozitivno doprinosi svim indikatorima odabranim za komparaciju scenarija, osim indikatoru troškovi po stanovniku. S obzirom da alternativni scenario u okviru procesa sakupljanja otpada podrazumeva posebno sakupljanje selektovanih frakcija otpada, kao i sanitarno deponovanje, troškovi po stanovniku se srazmerno tome povećavaju.

## ZAKLJUČAK

Primenom kombinacije modela IWM-2 i metodologije Impact2002+ prikazane su posledice po kvalitet životne sredine usled različitog načina upravljanja komunalnim otpadom u Južno-bačkom regionu. Sprovedena analiza pokazuje koliko određeni tretmani otpada mogu da utiču na razlike u trendovima dva indikatora ("globalno zagrevanje" i "zauzimanje zemljišta"), kao i korelaciju sa "potrošnjom energije", uključujući i "troškove po stanovniku". Dobijeni rezultati ukazuju da se kompostiranjem bioorazgradivog komunalnog otpada i povećanjem stepena izdvajanja sekundarnih sirovina određeni parametri efikasnosti upravljanja otpadom u razmatranom Regionu mogu unaprediti. Rezultati ovakve analize su od izuzetnog značaja donosiocima odluka kao alat podrške prilikom izbora opcije upravljanja otpadom, kako na lokalnom, tako i na regionalnom nivou [24]. Pristup omogućava: evaluaciju i komparaciju sistema upravljanja otpadom kroz brojne indikatore uticaja na životnu sredinu, uočavanje prednosti i mana kompariranih sistema upravljanja otpadom, identifikaciju ne samo optimalnog scenarija upravljanja otpadom, već i doprinosa pojedinačnih tretmana otpada unapređenju karakteristika životne sredine.

Neophodna su dalja istraživanja koja će omogućiti uključivanje većeg broja parametara značajnih za

evaluaciju performansi sistema za upravljanje otpadom, kao i analiza većeg broja scenarija koja bi omogućila donosiocima odluka bolji uvid u posledice različitih budućih pravaca razvoja sistema za upravljanje otpadom u Južno-bačkom regionu.

## LITERATURA

1. Stevanović Čarapina, H.; Stepanov, J.; Prokić, D.; Ćurčić, Lj.; Žugić Drakulić, N.; Mihajlov, A. Značaj pouzdanosti podataka o generisanju otpada u procesu donošenja odluke o izboru opcije upravljanja otpadom u opštini Bor. *Reciklaža i održivi razvoj* **2013**, 6, 1-7.
2. European Commission (1999) *Directive 1999/31/EC of the European Parliament and of the Council of 26 April 1999 on the landfill of waste*, Official Journal of the European Union L182/1.
3. European Commission (2000) *Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste*, Official Journal of the European Union L 332/91.
4. European Commission (2006) *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of the 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives*, Official Journal of the European Union L 312/3.
5. European Commission (2004) *Directive 2004/12/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste*, Official Journal of the European Union L 47/26.
6. Nacionalna strategija Republike Srbije za aproksimaciju u oblasti životne sredine ("Službeni glasnik Republike Srbije", broj 80/2011).
7. Nacionalni program za usvajanje pravnih tekovina Evropske unije, Kancelarija za evropske integracije Vlade Republike Srbije, Beograd, 2014.
8. <http://www.eko.minpolj.gov.rs/wp-content/uploads/razno/fin%20Beleska%20ES%20PG27.pdf> (preuzeto 16.05. 2014.)
9. Prokić, D.; Mihajlov, A. Contaminated sites. Practice of solid waste management in a developing country (Serbia). *Environment Protection Engineering* **2012**, 38(1), 81-90.
10. <http://www.calrecycle.ca.gov/Climate/Organics/LifeCycle/LCAToolEval.pdf> (preuzeto 24.02. 2015.)
11. Stanislavljević, N.; Brunner, P. H. Combination of material flow analysis and substance flow analysis:



- A powerful approach for decision support in waste management. *Waste Management & Research* **2014**, 32(8), 733–744.
12. Kirkeby, J. (2005). *Modelling of life cycle assessment of solid waste management systems and technologies*, PhD thesis, Kongens Lyngby: Technical University of Denmark, Institute of Environment & Resources.
  13. McDougall, F.R.; White, P.R.; Franke, M.; Hindle, P. *Integrated solid waste management: a life cycle inventory*, second edition, Oxford: Blackwell Publishing 2008.
  14. <file:///C:/Users/dunja/Downloads/ILCD-Handbook-LCIA-Background-analysis-online-12March2010.pdf> (preuzeto 18.04.2015.).
  15. Guinee, J.B.; Gorree, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, de A.; Oers, van L.; Sleeswijk, A.W.; Suh, S.; Haes, H.A. *Handbook on Life Cycle Assessment – Operational Guide to the ISO Standards*, Dordrecht Kluwer Academic Publishers 2002.
  16. Goedkoop, M.; Spriensma R. *The Eco-indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact assessment*. Amersfoort: Product Ecology Consultants 2001.
  17. Humbert, S.; Schryver, A.D.; Bengoa, X.; Margni, M.; Jolliet, O.; *Impact 2002+: User Guide*, Draft for version Q2.21 (version adapted by Quantis), Switzerland: Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL) 2012.
  18. Popis stanovništva, domaćinstava i stanova 2011. u Republici Srbiji: Stanovništvo –starost i pol, Republički zavod za statistiku, Republika Srbija, Beograd, 2012.
  19. [http://www.novisad.rs/sites/default/files/documents/regionalni\\_plan\\_-\\_novi\\_sad.pdf](http://www.novisad.rs/sites/default/files/documents/regionalni_plan_-_novi_sad.pdf) (preuzeto 12.06.2014.).
  20. Stypka, T.; Flaga, A. *Application of the integrated waste management model (iwm-1) into the decision process*. Poland: Cracow University of Technology, Institute of Heat Engineering and Air Protection 2005.
  21. <file:///C:/Users/dunja/Downloads/EU%20National%20Greenhouse%20Gas%20Inventory%20Report%20May%202014.pdf> (preuzeto 13.01.2015.).
  22. Stypka, T. *Adopting the Integrated Waste Management Model (IWM-1) into the decision process*. Cracow, Poland: International Polish-Swedish Seminar on Sustainable Municipal Solid Waste Management 2005.
  23. Kiš; Ferenc; Bošković, G. Ocenjvanje uticaja životnog ciklusa biodizela ReCiPe metodom. *Hem. Ind.* **2013**, 67(4), 601-613.
  24. Stevanović-Čarapina, H.; Jovović, A.; Stepanov, J.; *Ocena životnog ciklusa LCA (life cycle assessment) kao instrument u strateškom planiranju upravljanja otpadom*. Fakultet zaštite životne sredine, Univerzitet Educons, Sremska Kamenica 2011.
  25. Stevanovic Carapina, H. MFA and LCA as tools in waste management. Proceedings International Conference 2013 Sustainable landfills and waste management, Novi Sad Serbia 2013; pp. 3-13.