

Emisija toksičnih komponenti kao faktor izbora najbolje opcije za upravljanje otpadom primenom koncepta ocenjivanja životnog ciklusa

Hristina D. Stevanović-Čarapina, Jasna M. Stepanov, Dunja C. Savić, Anđelka N. Mihajlov

Fakultet zaštite životne sredine, Univerzitet Educons, Sremska Kamenica, Srbija

Izvod

Otpad ima značajan uticaj na zdravlje ljudi i životnu sredinu. Sve faze u životnom ciklusu proizvoda i usluga dovode do generisanja toksičnih komponenti i njihove emisije u činioce životne sredine. Ocenjivanje životnog ciklusa (eng. *life cycle assessment* – LCA) poslednjih godina široko se primenjuje kao metoda za procenu uticaja proizvoda i usluga na opterećenje životne sredine. U radu je prikazana primena LCA studije na sistem upravljanja otpadom u gradu Somboru, poređenjem dve metode konačnog odlaganja komunalnog otpada, a kroz primenu softverskog paketa IWM-2. Kao indikatori uticaja životnog ciklusa otpada na životnu sredinu razmatrane su emisije pojedinih toksičnih komponenti u činioce životne sredine: vazduh i vodu. Rezultati istraživanja pokazuju da je uticaj načina odlaganja otpada u određenom okruženju veoma značajan faktor koji definiše emisije toksičnih komponenti u vazduh i vodu.

Ključne reči: Čvrst otpad • Upravljanje otpadom • Ocenjivanje životnog ciklusa • Emisije toksičnih komponenti

Dostupno na Internetu sa adrese časopisa: <http://www.ache.org.rs/HI/>

Integralno upravljanje otpadom (eng. *integrated waste management* – IMW) predstavlja sistem upravljanja otpadom koji obuhvata tokove otpada, sakupljanje otpada, metode tretmana i odlaganja otpada, s ciljem postizanja koristi u oblasti životne sredine, ekonomske optimizacije i društvene prihvatljivosti [1]. Sistem upravljanja otpadom treba da bude održiv u ekonomskom, društvenom i u smislu zaštite životne sredine. Integralno upravljanje otpadom i korišćenje instrumenata životnog ciklusa u svrhu ocene sistema upravljanja otpadom jeste način kojim se postiže održivost u svakoj oblasti.

Tematska strategija EU o prevenciji i reciklaži otpada ističe neophodnost primene studije ocenjivanja životnog ciklusa (eng. *life cycle assessment* – LCA) na otpad. Ovakva studija naglašava potencijalne koristi koje se mogu ostvariti ako se prate smernice date u Evropskoj direktivi 99/31/EC o deponijama otpada i direktivi 94/62/EEC o ambalaži i ambalažnom otpadu [2].

Upravljanje komunalnim otpadom je tema koja je postala vodeći problem kako u svetu tako i u našoj zemlji. Direktive Evropske zajednice (direktiva o deponijama otpada, direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu i dr.), imaju zajedničku hijerarhiju upravljanja otpadom koja obuhvata: smanjenje otpada na izvoru, tj. prevenciju i minimizaciju (eng. *avoidance and minimisation*), ponovnu upotrebu (eng. *reuse*), reciklažu (eng. *recycling*), spaljivanje otpada uz dobijanje ener-

STRUČNI RAD

UDK 504.5.628.4(497.11Sombor)

Hem. Ind. 65 (2) 205–209 (2011)

doi: 10.2298/HEMIND101006072S

gije (eng. *recovery*) i ograničenje uticaja tretmana i odlaganja otpada na životnu sredinu (eng. *disposal*) [3]. Emisije toksičnih komponenti danas predstavljaju problem globalnih razmera. Jedan od bitnih činilaca koji doprinosi povećanju ovih emisija jeste otpad i način postupanja sa otpadom.

Deponovanje predstavlja najzastupljeniji metod za konačno odlaganje komunalnog otpada u Republici Srbiji. S obzirom da se u domaćinstvima uglavnom ne vrši primarna, niti sekundarna selekcija pojedinih frakcija otpada, sav otpad završava na neuređenim odlagalištima negativno utičući na sve činioce životne sredine (vodu, vazduh, zemljište i bios). Nasuprot neuređenim odlagalištima, koja ne poseduju mere sanitarne zaštite, sanitarna deponija, kao prihvatljiv način tretmana, predstavlja sanitarno-tehnički uređen prostor sa sistemima za kontrolu, sakupljanje i tretman deponijskog gasa i procednih deponijskih voda. Deponovanje jeste jedina opcija konačnog odlaganja otpada, jer svi ostali tretmani, kao što su recikliranje, kompostiranje i termički tretman za sobom ostavljaju ostatak koji se na kraju opet mora odložiti.

Sprovođenje detaljnog ispitivanja životnog ciklusa proizvoda i usluga jeste relativno novi koncept, tj. upravljački instrument koji je nastao kao odgovor na povećanu svest o zaštiti životne sredine. Životni ciklus proizvoda predstavljaju uzastopne i međusobno povezane faze sistema proizvoda, od nabavke sirovina ili dobijanja iz prirodnih sirovina do konačnog odlaganja. Ocenjivanje životnog ciklusa se može definisati kao metoda koja proučava aspekte životne sredine i potencijalni uticaj nekog proizvoda i usluga ili sistema na životnu sredinu, od ekstrakcija sirovine kroz proizvodnju, korišćenje i odlaganje. Kategorije uticaja na životnu sredinu

Prepiska: D. Savić, Fakultet zaštite životne sredine, Univerzitet Educons, Vojvode Putnika bb, 21208 Sremska Kamenica, Srbija.

E-mail: dunjasavic@yahoo.com

Rad primljen: 6. oktobar, 2010

Rad prihvaćen: 24. novembar, 2010

koje treba razmotriti uključuju korišćenje resursa, ljudsko zdravlje i ekološke posledice. Rezultat LCA studije jeste profil životne sredine koji izražava efikasnost ukupnog sistema životnog ciklusa i pojedinačnih faza životnog ciklusa [3].

Metodološka struktura studije ocenjivanja životnog ciklusa data je u seriji standarda ISO 14040:

ISO 14040:1997 – principi i okvir;

ISO 14041:1998 – definisanje cilja i predmeta i analiza inventara;

ISO 14042:2000 – ocenjivanje uticaja životnog ciklusa;

ISO 14043:2000 – interpretacija životnog ciklusa.

Međunarodna organizacija za standardizaciju definiše ocenjivanje životnog ciklusa kao „tehniku koja proučava aspekte zaštite životne sredine i moguće uticaje na životnu sredinu tokom celokupnog životnog veka proizvoda“ (ISO 14040) kroz: izradu inventara relevantnih ulaza i izlaza datog sistema proizvoda, vrednovanje potencijalnih uticaja na životnu sredinu datih ulaza i izlaza, interpretaciju rezultata inventara analize i faze procene uticaja u odnosu na ciljeve studije.

Međunarodna organizacija za standardizaciju takođe je definisala tehnički okvir za ocenjivanje životnog ciklusa koji se sastoji od četiri faze: faza definisanja cilja i predmeta, faza analize inventara, faza ocenjivanja uticaja i faza interpretacije. Svaka od faza igra jednako bitnu ulogu u ovoj studiji.

Sve faze u životnom ciklusu proizvoda i usluga do vode do generisanja otpada, emisija i potrošnje resursa. Ove razmene u životnoj sredini doprinose uticaju na klimatske promene, razaranje stratosferskog ozona, nastajanje smoga, eutrofikaciju, acidifikaciju, toksikološke efekte na zdravlje ljudi i ekosistem, iscrpljivanje resursa, nastajanje buke, i sl. Ocenjivanje životnog ciklusa jeste instrument koji pomaže predstavnicima nadležnih organa da u procesu donošenja odluka uzmu u obzir sve ove doprinose, bez obzira u kojim fazama životnog ciklusa proizvoda oni nastaju [4].

Životni ciklus otpada je faza životnog ciklusa proizvoda koja počinje kada se proizvod baci u smeće, a završava kada se otpadni materijal razgradi, reciklira u nove proizvode ili trajno deponuje kao konačan otpad [5].

Emisije toksičnih komponenti u vodu i vazduh koje nastaju prilikom odlaganja otpada na deponije mogu se u velikoj meri redukovati korišćenjem naprednih sistema upravljanja otpadom. Studija ocenjivanja životnog ciklusa pre svega ističe prednosti naprednih sistema upravljanja otpadom, koji bitno utiču na redukciju emisija i potrošnje resursa [6].

UPRAVLJANJE KOMUNALNIM OTPADOM U GRADU SOMBORU

U ovom radu su predstavljene i analizirane emisije pojedinih toksičnih komponenti u vodu i vazduh, nast-

ale usled neadekvatnog odlaganja otpada na nesantarno odlagalište u gradu Somboru. U tabeli 1 predstavljene su toksikološki efekti pojedinih zagađujućih materija na ljudsko zdravlje, a koje se emituju u vazduh i vodu sa odlagališta otpada [7].

Kroz LCA studiju upoređena su dva scenarija, tj. načina odlaganja komunalnog otpada. Prema scenariju 1, sav otpad se odlaže na neuređenu gradsku deponiju, dok se prema scenariju 2, sav otpad odlaže na sanitarno uređenu deponiju, opremljenu sistemom za sakupljanje deponijskog gasa uz dobijanje energije i sistemom za sakupljanje procednih voda uz tretman tih voda.

Jedina metoda tretmana otpada u razmatranom gradu jeste odlaganje. Otpad se odlaže na gradsku deponiju, koja ne poseduje elemente sanitarne zaštite [8]. Granice sistema za tretman otpada deponovanjem prikazane su šematski na slici 1.

Procena je izvedena uz pomoć softverskog paketa IMW-2 (integralno upravljanje otpadom). Ovaj model omogućava početni uvid u integralno upravljanje otpadom. Relativno ga je lako koristiti, jasan je i sadrži niz unapred definisanih podataka da bi se lakše stvorila slika o osnovnom razumevanju potencijalnih uticaja povezanih sa različitim opcijama upravljanja otpadom iz ugla životnog ciklusa. IWM-2 model zahteva unos podataka o količini i sastavu otpada.

Indikatori životne sredine, obuhvaćeni ovim istraživanjem, jesu emisije pojedinih toksičnih materija u vodu i vazduh, nastale usled odlaganja otpada na neuređenu i sanitarno uređenu deponiju.

Po popisu stanovništva iz 2002. godine u gradu Somboru ukupno živi 97.263 stanovnika, udeo gradskog stanovništva iznosi 53%. Broj domaćinstava iznosi 34.140, a prosečan broj članova po domaćinstvu iznosi 2,84 [9].

Vrednosti za dnevnu količinu generisanog otpada po stanovniku, za potrebe ovog rada, preuzete su iz studije Utvrđivanje sastava i količine otpada na teritoriji Autonomne Pokrajine Vojvodine iz 2008. godine [10].

U tabelama 2 i 3 date su količine i sastav otpada koji su korišćeni kao ulazni podaci za IWM-2 model.

Rezultati dobijeni na osnovu IWM-2 modela prikazani su u tabeli 4.

Rezultati primene ovog softvera za analizu dve opcije upravljanja otpadom pokazuju da se količine emitovanih toksičnih komponenti usled sanitarnog deponovanja, znatno smanjuju, čime se redukuje negativan uticaj na životnu sredinu i ljudsko zdravlje. Samo opremanjem odlagališta u gradu Somboru sistemima za sakupljanje deponijskog gasa i procednih deponijskih voda i njihov tretman, smanjuju se emisije toksičnih komponenti:

$\text{NO}_x \approx 20\%$;

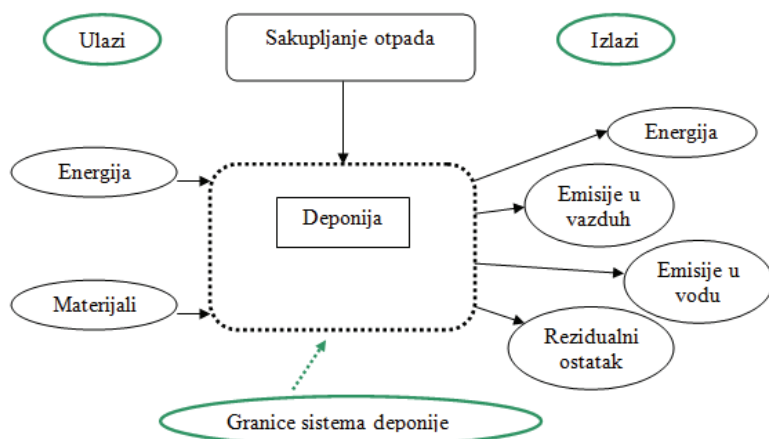
$\text{H}_2\text{S} \approx 90\%$;

Hlorovani ugljovodoni $\approx 75\%$.

Tabela 1. Karakteristike toksičnih komponenti
Table 1. Characteristics of the toxic components

Zagađujuća materija	Toksikološki efekti
Arsen	Putevi unosa: inhalacija, ingestija Toksičnost po životinje: akutna oralna izloženost, LD_{50}^a : 145 mg/kg (miš) Efekti na ljude: kancerogeni efekti; izaziva oštećenja bubrega, pluća i nervnog sistema; veoma opasan u slučaju ingestije, inhalacije, blago opasan u slučaju dodira sa kožom (iritant)
Živa	Putevi unosa: inhalacija, ingestija Toksičnost po životinje: ribe: kalifornijska pastrmka, LC_{50} : 0.16-0.90 mg/l; som, (LC_{50}): 0.35 mg/l Efekti na ljude: razni neuropsihijatrijski poremećaji; udisanjem pare prodire u krv i sistematski se transportuje do tkiva, uključujući mozak; kratkotrajno izlaganje koncentraciji od 1,2 mg/m ³ izaziva bol u grudima, kašalj, a kasnije i stomatitis; u kontaktu sa kožom i očima izaziva iritaciju
Azot-dioksid	Putevi unosa: inhalacija, kontakt sa kožom i očima Toksičnost po životinje: nivo LC_{50} se menja u zavisnosti od ekspozicije: 5 min izloženosti, inhalacija pare, LC_{50} : 790 mg/m ³ (pacov); 30 min izloženosti, inhalacija pare, LC_{50} : 310 mg/m ³ (pacov); 60 min izloženosti, inhalacija pare, LC_{50} : 220 mg/m ³ (pacov) Efekti na ljude: para je jak iritant plućnog trakta; inicijalni simptomi prilikom udisanja: iritacija očiju i grla, stezanje u grudima, glavobolja, mučnina, postepeni gubitak snage; odloženo dejstvo nakon 5 do 7 sati uključuje: cijanozu, otežano disanje, nepravilno disanje; ukoliko se ne leči, usled akutnog edema pluća, dolazi do smrtnog ishoda
Vodonik-sulfid	Putevi unosa: inhalacija, kontakt sa kožom i očima Toksičnost po životinje: nivo LC_{50} se menja u zavisnosti od ekspozicije: 4 sata akutne izloženosti: inhalacija pare, LC_{50} : 700 mg/m ³ (pacov) Veoma je toksičan za akvatične organizme: 96 sati akutne izloženosti u svežoj vodi, $LC_{50} < 2\mu\text{g/l}$ (ribe) Efekti na ljude: akutni: pri koncentraciji od 0,13 do 30 ppm javlja se neprijatan miris pri koncentraciji od 50 ppm, javlja se sušenje i iritacija nosa i grla, a ukoliko se izloženost prolongira moguće su sledeće pojave: curenje nosa, kašalj, promuklost, pneumonija; pri koncentraciji od 100 do 150 ppm javlja se postepeni gubitak čula mirisa; pri koncentraciji od 200 do 250 ppm javlja se glavobolja, mučnina, povraćanje i vrtoglavica, a ukoliko se izloženost prolongira moguće je oštećenje pluća, a nakon 4 do 8 sati nastupa smrt; pri koncentraciji od 500 ppm smrt nastupa nakon 30 min do sata. Hronični: oštećenje pluća, respiratornog trakta, očiju, centralnog nervnog sistema
Polihlorovani bifenili (PCB)	Putevi unosa: inhalacija pregrejane pare, ingestija, apsorpcija preko kože u radnoj sredini Toksičnost po životinje: rezultati proučavanja na glodarima govore da neki PCB kongeneri mogu biti kancerogeni i da mogu uvećati kancerogenost drugih hemikalija. Akutna oralna izloženost, LD_{50} : 8,65 g/kg za 42% hlorovane i 11,9 g/kg za 54% hlorovane (pacov) Efekti na ljude: PCB se talože u masnom tkivu ljudi i izazivaju toksične efekte, posebno ako se radi o višestrukoj izloženosti; najviše utiču na jetru i kožu, ali takođe i na gastrointestinalni trakt, imunološki i nervni sistem

^aSmrtna doza 50% je doza supstanci koja proizvodi smrt kod 50% populacije. Obeležava se simbolom LD_{50} , ako je supstanca uneta u organizam preko kože ili hranom, i LC_{50} ako je ona uneta vodom ili vazduhom



Slika 1. Granice sistema za tretman otpada – deponovanje.
Figure 1. System boundaries of landfilling process.

Tabela 2. Generisana količina otpada po stanovniku dnevno i godišnje, za ukupan broj stanovnika u gradu Somboru
 Table 2. Amount of waste generated per capita per day and per year for the total population of the city of Sombor

Broj stanovnika	Sakupljena količina otpada kg/st/dan	Projekcija generisane količine na godišnjem nivou, t/god	Količina generisanog otpada po stanovniku godišnje, kg/st/god
97.263	0,67	23.785,66	244,55

Tabela 3. Sastav komunalnog otpada u gradu Somboru
 Table 3. The composition of municipal waste in the city of Sombor

Vrsta otpada	Količina, t/god.	Udeo, %
Papir/karton	1.443,79	6,07
Plastika	2.763,89	11,62
Staklo	549,45	2,31
Metal	166,50	0,7
Organski	14.024,03	58,96
Tekstil	2.604,53	10,95
Ostalo	2.233,47	9,39
Ukupno	23.785,66	100

Tabela 4. Poređenje scenarija kroz emisije u vodu i vazduh nastale prilikom odlaganja otpada (g)
 Table 4. Scenario comparison- air and water emission, arising from waste disposal (g)

Materija	Scenario 1	Scenario 2	Razlika
Emisije u vazduh			
NO _x	25.193.065	19.982.580	5.210.685
H ₂ S	903.671	91.709	995.380
Hlorovani ugljovodonici	158.142	56.478	101.664
Emisije u vodu			
Arsen	50	-2.207 (korist)	2.257
Živa	2	-2 (korist)	4
Hlorovani ugljovodonici	3.674	346	3.328

Sanitarnim odlaganjem otpada bi se takođe potpuno eliminisale emisije arsena i žive u vodu.

ZAKLJUČAK

Rezultati prikazani u ovom radu i izraženi kroz primenu LCA studije na dva scenarija upravljanja otpadom u gradu Somboru pokazuju sledeće:

– za određenu količinu otpada, manji negativan uticaj na životnu sredinu, iskazan kroz emisije NO_x, H₂S, hlorovanih ugljovodonika, arsena i žive, pokazuje odlaganje na sanitarnu deponiju sa kontrolisanim sakupljanjem i odvođenjem gasa i preradom otpadnih voda;

– sanitarnim odlaganjem otpada emisije NO_x, H₂S i hlorovanih ugljovodonika su značajno smanjene, a emisije arsena i žive su potpuno eliminisane;

– prema dobijenim rezultatima, a radi poboljšanja uslova životne sredine i sprečavanja uticaja emisije toksičnih komponenti, postoji osnovana potreba za izgradnjom sanitarne deponije u gradu Somboru;

– pored izgradnje sanitarne deponije, a s ciljem unapređenja sistema upravljanja otpadom u gradskom na-

selju Sombor, neophodno je i uvođenje drugih opcija tretmana otpada, kao što su reciklaža, kompostiranje, anaerobna digestija i slično, uz uključivanje troškova neophodnih za njihovu implementaciju.

LITERATURA

- [1] F. McDougall, P. White, M. Franke, P. Hindle, Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory, 2nd Edition, Blackwell Publishing, Oxford, UK, 2008.
- [2] D. Savić, Evropske ekološke vrednosti za dobrobit građana Srbije, sa posebnim osvrtom na praksu postupanja sa otpadom, Evropski standardi u Srbiji, Zbornik radova, Centar za demokratiju, Beograd, 2009, str. 64-77.
- [3] H. Bjarnadottir, G. Friðriksson, T. Johnsen, H. Stetsen, Guidelines for the Use of LCA in the Waste Management Sector, Nordtest, Finland, 2002.
- [4] K. Koneczny, V. Dragusanu, R. Bersani, D. Pennington, Environmental Assessment of Municipal Waste Management Scenarios, Part I, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Italy, 2007.
- [5] H. Stevanović Čarapina, A. Mihajlov, J. Stepanov, D. Savić, Uspostavljanje održivog sistema upravljanja otpa-

- dom – primena koncepta ocenjivanje životnog ciklusa, plenarno predavanje, Zbornik radova 5. simpozijuma Reciklažne tehnologije i održivi razvoj, Tehnički fakultet u Boru, Soko Banja, 2010, str. 29-35.
- [6] H. Stevanović Čarapina, J. Stepanov, D. Savić, A. Mihajlov, Emission of toxic component as a factor of the best practice options for waste management – application of LCA (life cycle assessment), 10th Congress of Toxicologists of Serbia with international participation, Palić, Serbia, 2010.
- [7] www.sciencelab.com
- [8] D. Savić, J. Stepanov, H. Stevanović Čarapina, Doprinos regionalnom planiranju upravljanja čvrstim komunalnim otpadom u Zapadno–Bačkom regionu i Opštini Bač, Zbornik radova Međunarodne konferencije „Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad“, Zlatibor, 2009, str. 203-207.
- [9] D. Savić, Magistarski rad: Doprinos regionalnom planiranju upravljanja čvrstim komunalnim otpadom za Region Sombor, Apatin, Odžaci i Bač, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
- [10] Utvrđivanje sastava i količine otpada na teritoriji Autonomne Pokrajine Vojvodine, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine, Novi Sad, 2008.

SUMMARY

EMISSION OF TOXIC COMPONENTS AS A FACTOR OF THE BEST PRACTICE OPTIONS FOR WASTE MANAGEMENT – APPLICATION OF LIFE CYCLE ASSESSMENT

Hristina D. Stevanović-Čarapina, Jasna M. Stepanov, Dunja C. Savić, Andjelka N. Mihajlov

Faculty of Environmental Governance and Corporate Responsibility, Educons University, Sremska Kamenica, Serbia

(Professional paper)

Health and safety have been the major concerns in waste management. Waste must be managed in a way that minimizes risk to human health. Environmental concerns over the management and disposal of waste can be divided into two major areas: conservation of resources and pollution of the environment. Integrated Waste Management (IWM) systems combine waste streams, waste collection, treatment and disposal methods, with the objective of achieving environmental benefits, economic optimization and societal acceptability. Integrated waste management using Life Cycle Assessment (LCA) attempts to offer the most benign options for waste management. LCA is a compilation and evaluation of the inputs, the outputs and the potential environmental impacts of a product system throughout its life cycle. It can be successfully applied to municipal solid waste management systems to identify the overall environmental burdens and to assess the potential environmental impacts. This paper deals with LCA of two waste management options for final disposal of municipal waste, landfilling (landfill without landfill gas collection or leachate collection) and sanitary landfilling (landfill with landfill gas collection and recovery and leachate collection and treatments) analyzed for town Sombor. The research was conducted by use the Software Package IWM-2. The indicators used in assessment were air and water emissions of toxic compounds. The results indicated that waste disposal practice has a significant effect on the emission of toxic components and environmental burdens. Sanitary landfilling of municipal solid waste importantly reduces toxic emission and the negative influence on the environment.

Keywords: Solid waste • Waste management • Life cycle assessment • Toxic emission