

## METODE ZA MODELOVANJE UPRAVLJANJA OTPADOM

**Dragana Nešković Markić** | JP „DEP-OT“ Regionalna deponija Banja Luka  
**Hristina Stevanović Čarapina** | Fakultet zaštite životne sredine, Univerzitet Educons, Sremska Kamenica, Srbija  
**Ljiljana Stojanović Bjelić** | Fakultet zdravstvenih nauka, Panevropski univerzitet Apeiron, Banja Luka

**Sažetak:** *Otpad je proizvod svakodnevnih ljudskih aktivnosti, a suočeni smo sa velikim količinama otpada svakodnevno. Neadekvatnim načinom tretmana otpada posljedice su višestruke: zagađenje životne sredine i ugrožavanje zdravlja ljudi, gubitak korisnih komponenti iz otpada, odnosno eksploatacija i potrošnja prirodnih resursa. U XXI vijeku održivo upravljanje komunalnim otpadom će postati neophodno u svim fazama, počevši od planiranja do izgradnje, rukovanja, reciklaže i krajnjeg razlaganja. Spektar novih i postojećih tehnologija za tretman otpada i strategije upravljanja otpadom zahtijevaju održavanje kvaliteta životne sredine u ovom trenutku, ali i ispunjavanja održivosti u budućnosti.*

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

*Različiti analitički alati i metode se koriste kao pomoć prilikom donošenja odluka u sistemima upravljanja otpadom. Analitičke metode koje se koriste u sistemu upravljanja otpadom se mogu klasifikovati u dvije grupe: inženjerski modeli i modeli procjene sistema.*

**Ključne riječi:** *otpad, upravljanje otpadom, modelovanje*

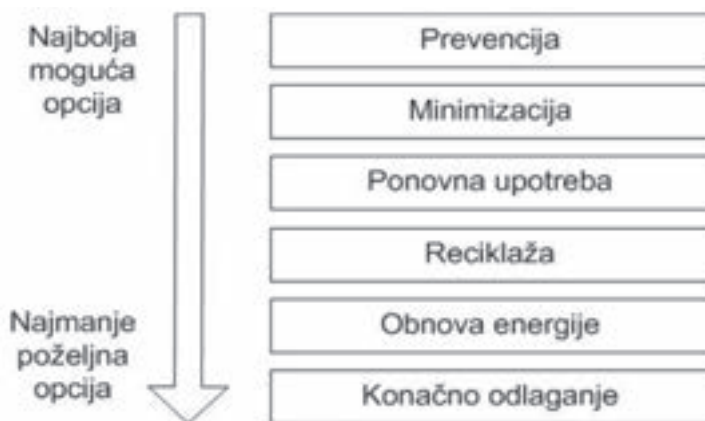
**JEL klasifikacija:** Q53

### UVOD

U Svijetu se godišnje generiše oko 17 milijardi tona komunalnog otpada, a pretpostavke su da će do 2050.godine iznositi oko 27 milijardi tona. Najzastupljeniju opciju tretmana komunalnog otpada, na globalnom nivou i dalje predstavlja depo-

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

Hijerarhija upravljanja otpadom je strategija koja rangira opcije upravljanja u skladu sa svojim ekološkim prednostima, i u skladu je sa okvirnom direktivom o otpadu (Directive 2008/98/EC). Ova strategija propisuje sljedeće operacije za upravljanje otpadom: prevencija, ponovna upotreba, reciklaža, kao i druge operacije iskorišćavanja (npr. iskorišćavanje za dobijanje energije) i kao posljednje sredstvo, bezbjedno i ekološki zdravo odlaganje (slika1).



Slika 1. Hijerarhija upravljanja otpadom

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

Upravljanje otpadom treba sagledati u okviru održivog razvoja. Globalne akcije o održivom razvoju pretočene su u Agendu 21 na konferenciji Ujedinjenih nacija 1992.

godine u Rio de Ženeiru u Brazilu. Sa ciljem održivog upravljanja otpadom, Agenda 21, poglavlje 21 obrađuje zdravo, po životnu sredinu, upravljanje čvrstim otpadom.

## UPRAVLJANJE KOMUNALNIM OTPADOM

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

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

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

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

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

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

## METODE UPRAVLJANJA OTPADOM

U 21. vijeku sagledavanje održivog upravljanja komunalnim otpadom je postalo neophodno u svim fazama, počevši od planiranja do izgradnje, rukovanja i krajnjeg razlaganja. Složenost sistema upravljanja otpadom i mogućnost valorizacije otpada u svijetu je u porastu. Raste povezanost između odlaganja, aktivnosti recikliranja otpada i proizvodnih procesa koji za rezultat imaju složene mreže i kombinacije tre-

tmama otpada. Na primjer, umesto da bude deponovan, miješani komunalni otpad se može koristiti ili kao izvor sekundarnog materijala ili kao izvor energije. Spekatar novih i postojećih tehnologija za tretman otpada i strategije upravljanja zahtijevaju održavanje kvaliteta životne sredine u ovom trenutku, ali i ispunjavanja održivosti u budućnosti. Industrije upravljanja otpadom i vladine agencije treba da ispune zahtjeve za upravljanje otpadom sa najvećim zelenim potencijalom, da recikliraju materijale u tokovima otpada, da se poveća isporuka obnovljive energije, da traže više društveno prihvatljive opcije, i da se očuva biodiverzitet i prirodni ekosistem istovremeno.

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

U prošlosti, analitički alati su se bazirali na detekciji i karakterizaciji stanja životne sredine uz pomoć mjerenja i monitoringa. Od novih alata očekuje se mnogo više, odnosno uspostavljanje veza između stanja životne sredine i dinamičke promjene, zatim rane najave zagađenja, predikcije zagađenja, kao i uspostavljanje veza između zagađenja i drugih aspekata kao što su npr. zdravlje stanovništva ili ekonomski razvoj određene teritorije ili opštine (Stevanović-Čarapina i dr., 2014).

Procjena upravljanja čvrstim otpadom zahtijeva primjenu različitih tehnika analize sistema što omogućava donosiocima odluka da se upoznaju sa ukupnom složenosti sistema. Tehnike analize sistema se mogu klasifikovati u dvije grupe: inženjerski modeli i modeli procjene sistema. Kadafa i dr. (2014) i Pires i dr. (2011) su u svom istraživanju dali pregled modela u upravljanju otpadom, kao i broj studija koji je urađen na teritoriji Evropske unije (tabela 1 i 2).

**Tabela 1.** Inženjerski alati za procjenu sistema upravljanja otpadom (Kadafa i dr., 2014; Pires i dr., 2011)

Model	Doprinosi modela u upravljanju komunalnim otpadom	Broj studija
Analiza troškova i koristi (eng. <i>Cost Benefit Analysis - CBA</i> )	Predstavlja metod koji se koristi za procjenu ukupnih troškova i prihoda planiranog projekta.	12
Model predviđanja (eng. <i>Forecasting Models - FM</i> )	Karakteriše tokove otpada (kvantitativno i kvalitativno); izrađuje informacioni sistem da bi se akumulirale informacije tokom vremena. Služi za predviđanje stvaranja količina otpada.	10
Model stimulacije (eng. <i>Stimulation Models - SM</i> )	Ulazi u trag dužine kontinuiranih ili diskretnih događaja na osnovu odnosa uzročno-posljedičnih koji opisuju operacije u složenom sistemu i pomažu da se istraži dinamičko ponašanje sistema. Modeli: SWIM, GIGO, AWAST.	7

Optimizacioni model ( <i>eng. Optimization Models - OM</i> )	Da se postigne najbolje rješenje između brojnih alternativa, s obzirom na jedan ili nekoliko ciljeva, ovi modeli rješavaju sljedeća pitanja: (1) planiranje jedinične mreže, (2) dinamički investicioni period, (3) veličina i mjesto postrojenja (4) upravljanje infrastrukturom npr. deponijom. Model: WRAP.	7
Integrirani sistem modelovanja ( <i>eng. Integrated Modelling Systems - IMS</i> )	Poboljšava sinergijske veze između različitih modela, nadovezivanjem svoje ukupne funkcionalnosti. IMS obezbjeđuje: (1) dinamičke informacije o nastanku otpada, (2) optimalne obrasce proširenja kapaciteta deponije tokom vremena. Model: ORWARE	12

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

**Tabela 2.** Modeli procjene sistema upravljanja otpadom (Kadafa i dr., 2014; Pires i dr., 2011)

Model	Doprinosi modela u upravljanju komunalnim otpadom	Broj studija
Procjena rizika ( <i>eng. Risk Assessment - RA</i> )	Putem statističke obrade, kvantifikuju se rizici u životnoj sredini i na ljudsko zdravlje. Pomaže u vrednovanju sistema upravljanja otpadom.	13
Procjena uticaja na životnu sredinu ( <i>eng. Environmental Impact Assessment - EIA</i> )	Odnosi se na procjenu uticaja na životnu sredinu planiranih postrojenja. U evropskim zemljama, procjena uticaja na životnu sredinu je obavezna za spalionice i deponije kroz implementaciju EU direktive o procjeni efekata određenih javnih i privatnih projekata na životnu sredinu (Directive 85/337/EEC, Directive 97/11/EC)	2
Strateška procjena uticaja na životnu sredinu ( <i>eng. Strategic Environmental Assessment - SEA</i> )	Sastoji se od procjene uticaja strateškog djelovanja kao politike, plana ili programa. Primjenljivost je naglašena u EU Direktivi o procjeni uticaja određenih planova i programa na životnu sredinu (Directive 2001/42/EC), koja je zadužena za promociju i izradu SAE kod upravljanja komunalnim otpadom.	12
Analiza životnog ciklusa ( <i>eng. Life Cycle Assessment - LCA</i> )	LCA predstavlja alat za donošenje odluka o izradi ili kvalitetu određenog proizvoda uz identifikaciju njegovog uticaja na životnu sredinu. To je proces analize materijala, energije i otpada koje proizvode proizvod, kroz cjelokupan životni ciklus od nastanka tj. počevši od resursa i eksploatacije materijala pa do konačnog odlaganja. Modeli za razvoj upravljanja komunalnim otpadom: IWM, EASETECH WASTED	72
Analiza materijalnih tokova ( <i>eng. Material Flow Analysis - MFA</i> )	Sistematska procjena tokova i zalih materijala u okviru sistema koji je definisan u prostoru i vremenu. MFA softveri: STAN, GaBi, Umberto, FLUX, SFINX	10
Menadžment informacioni sistem ( <i>eng. Management Information System - MIS</i> ), Ekspertski sistemi ( <i>eng. Expert System - ES</i> ), Sistemi podrške prilikom donošenja odluka ( <i>eng. Decision Support System - DSS</i> )	Sadrži različite metode koje se primjenjuju kod razmjene ili upravljanja informacijama a koje služe donosiocima odluka.	26

Razvoj scenarija ( <i>eng.Scenario Development - SD</i> )	Stvara hipotetički slijed događaja izgrađenih za potrebe usmjeravanja pažnje na uzročne procese i odlučivanje. Npr. predviđanje sastava otpada u budućnosti u zavisnosti od razvijenog modela životnog stila.	2
Socioekonomska procjena ( <i>eng. Socioeconomic Assessment - SoEA</i> )	Sastoji se od računarske prakse koja se odnosi na integrisane tržišnoorjentisane i/ili političke zahtjeve koji regulišu upravljanje otpadom. Ovaj model omogućava uključivanje korisnika u regulisanju naknada za odlaganje otpada.	12
Procjena održivosti ( <i>eng. Sustainable Assessment - SA</i> )	Odnosi se na integraciju različitih metodologija na takav način da se dobije analiza, procjena ili plan da se pristupi sa nekoliko aspekata u kojima je održivost naglašena npr. procjena održivog upravljanja čvrstim otpadom sa različitih aspekata.	12

## ZAKLJUČAK

Kadafa i dr. (2014) i Pires i dr. (2011) su u svom istraživanju dali pregled modela u upravljanju otpadom. U inženjerske modele spadaju analiza troškova i koristi (CBA), modeli predviđanja (FM), optimizacioni modeli (OM), itd. U modele procjene sistema su između ostalog svrstane analiza tokova materijala/analiza tokova supstanci (MFA/SFA), ocjena životnog ciklusa (LCA), itd. Osnovni zadaci modela sistema za upravljanje otpadom su da optimizuju upravljanje otpadom, redukuju negativne uticaje na životnu sredinu, te smanje troškove upravljanja otpadom u cilju prihvatanja odabranog sistema upravljanja otpadom od strane javnosti i građana. Primjena modela zavisi od predmeta istraživanja, npr. da li se radi o materijalu ili supstanci, te vrsti uticaja koja se istražuje.

## LITERATURA

- Agenda 21, Ujedinjene nacije: [www.uzzs-rio.com/zakoni/agenda\\_21.pdf](http://www.uzzs-rio.com/zakoni/agenda_21.pdf) (preuzeto 09.01.2016. godine)
- Baccini, P., Brunner, P.H. (2012). *Metabolism of the anthroposphere: analysis, evaluation, design*. The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England.
- Directive 1999/31/EC of the European Parliament and of the Council (2004) on the landfill of waste, *Official Journal of the European Communities L 182*, 16.7.1999, p. 1–19.
- Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council (2008) on waste and repealing certain Directives, *Official Journal of the European Communities L 312*, 22.11.2008, p. 3–30.
- Kadafa, A.A., Manaf, L.A., Sulaiman, W.N.A., Abdullah, S.H. (2014). Applications of system analysis techniques in Solid Waste Management assessment. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(4), 1061-1070.
- Kral, U., Brunner, P. H., Chen, P. C., Chen, S. R. (2014). Sinks as limited resources? A new indica-

- tor for evaluating anthropogenic material flows. *Ecological Indicators*, 46, 596-609.
- Pires, A., Martinho, G., Chang, N.B. (2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, 92(4), 1033-1050.
- Stevanović-Čarapina, H., Žugić-Drakulić, N., Mihajlov, A., Čarapina-Radovanović, I. (2014). MFA i LCA kao analitički instrumenti u oblasti životne sredine. Životna sredina ka Evropi. Limes. Časopis za društvene i humanističke nauke. 1/2014.

---

## METHODS FOR MODELLING OF WASTE MANAGEMENT

Dragana Neskovic Markic<sup>1</sup>, Hristina Stevanovic Carapina<sup>2</sup>, Ljiljana Stojanovic Bjelic<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PU „DEP-OT“ Regional landfill Banja Luka

<sup>2</sup>Faculty of Environmental Protection, Educons University, Sremska Kamenica, Serbia

<sup>3</sup>Faculty of Health Sciences, Pan-European University Apeiron, Banja Luka

**Summary:** *The waste is a product of everyday human activities, and we are faced with large amounts of waste daily. Inadequate method of waste treatment effects are numerous: pollution of the environment and hazards to human health, the loss of useful components from waste, or the exploitation and consumption of natural resources. In the XXI century the sustainable management of municipal waste will become essential in all stages, from planning to construction, handling, recycling and final decomposition. Range of new and existing technologies for waste treatment and waste management strategies require the maintenance of environmental quality at the moment, but also the fulfillment of sustainability in the future.*

*Integrated waste management should meet certain priorities in line with the waste hierarchy, such as requirements for recycling waste, to increase the use of renewable energy in order to looking for more socially acceptable options, and to preserve biodiversity and natural ecosystems simultaneously. Achieving these goals is possible only if all technical and non-technical aspects of solid waste management system are analyzed as a whole, because they are interrelated, and development in one area often influences the practice or activity in another area.*

*Various analytical tools and methods are used to help in decision making in waste management systems. Analytical methods used in the waste management system can be classified into two groups: engineering models and models of assessment system.*

**Key words:** *waste, waste management, modelling*

**JEL classification:** Q53