

INTEGRISANO UPRAVLJANJE OTPADOM U SISTEMU SMANJENJA RIZIKA OD KATASTROFA

Jovana Martinović

Naučno-stručno društvo za upravljanje rizicima u vanrednim situacijama, Beograd;

Međunarodni insitut za istraživanje katastrofa, Beograd

Kontakt: jovanamartino@gmail.com

Apstrakt: U Republici Srbiji i širom sveta, nenaučno upravljanje čvrstim otpadom i dalje predstavlja složen i ozbiljan ekološki problem. Porast urbanizacije, industrijalizacije i eskponencijalnog rasta svetskog stasnovništva odgovorni su za generisanje velikih količina otpadnih materijala, koji su direktno povezani sa zagađenjem zemljišta, vazduha, vodnih resursa i rizicima po zdravlje i sigurnost građana. Loše upravljanje otpadom umnogome podriva uspeh ostvarivanja ciljeva održivog razvoja, čime se naglašava važnost i hitnost prelaska sa tradicionalnih linearnih na integrisane pristupe upravljanju otpadom. Polazeći od činjenice da je upravljanje čvrstim otpadom globalno ekološko pitanje koje sadrži društveno-ekonomske, institucionalne, političke i ekološke aspekte, cilj ove studije je deskripcija i analiza različitih strategija integrisanog upravljanja otpadom u razvijenim zemljama i zemljama u razvoju, sa posebnim fokusom na percepciju i učešće javnosti u aktivnostima upravljanja otpadom, različite izazove i nedostatke sa kojima se suočava upravljanje čvrstim otpadom i identifikovanje inovativnih rešenja u ovoj oblasti. Iako je teško pronaći dobar sistem upravljanja koji bi bio primenljiv u svim zemljama, nalazi su ukazali na sledeće karakteristike efikasnih i održivih sistema: prilagođenost lokalnim potrebama, minimalna upotreba toksičnih hemikalija, očuvanje resursa, smanjivanje otpada, korišćenje obnovljivih izvora, uključivanje neformalnog sektora u aktivnosti upravljanja otpadom (uključujući prikupljanje, sortiranje i oporavak recikliranog otpada), veća tehnološka sofisticiranost i inovacije u upravljanju

otpadom, kontinuirano sprovođenje istraživanja i jasna zakonska regulativa. Imajući u vidu da nijedan sistem nije dovoljno efikasan u rešavanju problema otpada usled prekomerne proizvodnje, trošenja i odlaganja, kao i determinisanost stavova i prakse ljudi u upravljanju otpadom nivoom obrazovanja, starošću i prihodima, neophodno je podizanje svesti i sprovođenje kontinuiranih programa i kampanja obrazovanja javnosti o pravilnom upravljanju otpadom na svim nivoima funkcionisanja društva. Rezultati preglednog rada doprinose unapređenju postojećeg fonda znanja o različitim aspektima integrisanog upravljanja čvrstim otpadom.

Ključne reči: upravljanje otpadom, integrisani pristup, održivi razvoj, percepcija javnosti, inovativna rešenja.

1. Uvod

Ne postoji otpad, samo vredni resursi na pogrešnom mestu.

A. Steffen

Prateći činilac, premda dugoročno neodrživ, savremenog načina i uslova života je intenzivno iscrpljivanje prirodnih resursa koje prati generisanje velikih količina otpada sa sveprisutnim potencijalom ostvarivanja negativnog uticaja na zemljište, vazduh i vodu. Usled ekspanzije rasta stanovništva, masovne urbanizacije i industrijalizacije, promena u tehnološkim trendovima i ekonomske održivosti, odnosno njihove neispraćenosti implementacijom adekvatne politike zaštite životne sredine, došlo je do značajnog povećanja čvrstog komunalnog otpada, naročito u zemljama u razvoju (Nwosu & Chukwueloka, 2020). Globalna proizvodnja čvrstog komunalnog otpada na godišnjem nivou dostiže 2,01 milijardi metričkih tona, dok procene ukazuju na moguće povećanje za dva puta 2050. godine, pri čemu ukupne emisije gasova staklene bašte (CH₄, CO₂ i N₂O) iz upravljanja otpadom doprinose približno 5% ukupnih emisija gasova staklene bašte u atmosferu (Gautam & Agrawal, 2021; Maghmoumi, Marashi, & Houshfar, 2020).

Pored povećane proizvodnje, veliku opasnost predstavlja loše upravljanje otpadom (zastupljeno u više od 50% proizvedenog otpada) koje se, u većini zemalja u razvoju, otvoreno spaljuje ili odlaže na otvorene deponije, čime se pored ekološkog, ostvaruju negativni

uticaji i u društvenom i ekonomskom domenu gradova i država (Boffardi, De Simone, De Pascale, Ioppolo, & Arbolino, 2021; Gautam & Agrawal, 2021). Primera radi, procene u Republici Srbiji ukazuju da se od preko 12 miliona tona otpada koje se odvoji na godišnjem nivou, čak 10 miliona tona ne prerađuje nego zagađuje životnu sredinu (Agencija za zaštitu životne sredine, 2020). Upravo zato, upravljanje čvrstim otpadom nerazdvojni je element sistema upravljanja zaštitom životne sredine (Das *et al.*, 2019) i ključna komponenta u postizanju ciljeva održivog razvoja uspostavljenih od strane Ujedinjenih nacija za 2030. godinu (Díaz-Vázquez, Carrillo-Nieves, Orozco-Nunnally, Senés-Guerrero, & Gradilla-Hernández, 2021). Uključuje recikliranje, spaljivanje, konverziju otpada u energiju, kompostiranje ili odlaganje na deponije (Nanda & Berruti, 2021).

Vrste samog otpada su komunalni (otpad iz domaćinstva), komercijalni i industrijski, dok se u zavisnosti od opasnih karakteristika koje sadrži, a koje ostvaruju uticaj na zdravlje ljudi i životnu sredinu, klasifikuje na neopasan, inertan i opasan (Službeni glasnik RS, br. 29/10). Dalje se čvrsti otpad može podeliti na biorazgradivi i nebio-razgradivi i klasifikovati u različite kategorije poput plastike, smeća, e-otpada itd. (Ravichandran & Venkatesan, 2021). Karakteristike otpada umnogome zavise od geografskog položaja i ekonomskog statusa nacija (Das *et al.*, 2019). Primera radi, proizvodnja organskog otpada, kojim je lakše upravljati, u najvećoj meri je zastupljena kod stanovništva sa niskim do srednjim prihodom, dok je proizvodnja metala, stakla i otpadnog papira dominantnija kod stanovništva sa visokim prihodima (Nanda & Berruti, 2021). Stopa stvaranja otpada takođe varira u različitim nacijama u zavisnosti od nivoa prihoda, načina života, klime i demografije (Pharino, 2017).

Istorjski posmatrano, u malim zajednicama vladala je praksa zakopavanja čvrstog otpada izvan njihovih naselja i odlaganja u reke sve do trenutka nemogućnosti daljeg sprečavanja širenja bolesti i neprijatnih mirisa. Iako su ljudi u gradovima pretežno živeli okruženi otpadom i ustaljenim neprijatnim mirisima, izuzeci takvog načina života mogli su se pronaći u drevnom gradu Mohendžo-daro u dolini Inda do 2000. godine pre nove ere, gde su organizovani procesi upravljanja čvrstim otpadom, zatim prakse u Staroj Grčkoj, gde je na snazi bio Dekret o zabrani odlaganja otpada na ulice i gde je organizovano jedno od prvih „opštinskih odlagališta“, kao i u Kini koja je posedovala policiju za odlaganje otpada čija je odgovornost uključivala sprovođenje Zakona o odlaganju do 200. godine pre nove ere (Marshall &

Farahbakhsh, 2013; Melosi, 1982; Seadon, 2006; Worrell & Vesilind, 2011). Vodeći istorijski pokretači razvoja sistema upravljanja otpadom bila su pitanja javnog zdravlja, koja su dovela do pojave formalizovanih sistema prikupljanja otpada u devetnaestom veku, zaštita životne sredine, klimatske promene, resursna vrednost otpada, trendovi u razvijenim zemljama, institucionalna pitanja i pitanja odgovornosti i svest javnosti. Spomenuti pokretači svakako su se razlikovali među zemljama, u zavisnosti od lokalnih okolnosti i zainteresovanih strana i njihove perspektive (Wilson, 2007). Shodno tome, postoje i razlike u savremenoj praksi upravljanja otpadom razvijenih zemalja i zemalja u razvoju, urbanih i ruralnih područja, kao i prakse stambenih i industrijskih proizvođača (Puthillath & Sasikumar, 2015). U gradskim i ruralnim područjima odgovornost za upravljanje otpadom pripadama opštinama, dok je upravljanje industrijskim otpadom u nadležnosti industrija koje ga proizvode (Pardini, Rodrigues, Kozlov, Kumar, & Furtado, 2019).

Širenje bolesti, zagađenje zemljišta, vode i vazduha, pogoršanje poljoprivrednih aktivnosti i turističke industrije, razvoj skrovišta za lopove i nasilnike, opasnost od požara, blokada drenažnog sistema i zagađenje površinskih voda, uništavanje ekosistema, gubitak stoke zbog potrošnje plastike itd. neke su od mogućih posledica neadekvatnog upravljanja i sakupljanja čvrstog otpada (Makwara & Snodia, 2013; Mudzengerere & Chigwenya, 2012; Nleya, Gunda, Chisadza, & Manyuchi; Zaman & Lehmann, 2011). Putem intervjua sa službenicima gradskog odeljenja za čvrsti otpad, Mir i saradnici (Mir, Cheema, & Singh, 2021) su izneli zaključke o različitim finansijskim, kadrovskim, političkim i logističkim faktorima/ograničenjima koji podrivaju uspešnu implementaciju politike upravljanja otpadom u gradu: u fazi implementacije upravljanja čvrstim otpadom to su administrativna ograničenja poput nedostatka savremene tehnologije i opreme i inkorporiranja iste, nedostatak zemljišta za odlaganje, nedostatak programa integrisanog upravljanja čvrstim otpadom, svest javnosti, nedostatak osoblja i loša primena zakona i propisa. Shodno tome, preporuke spomenute studije su uključile obezbeđivanje potrebnih resursa, podsticanje radnika, pružanje novčanih podsticaja za reciklažne predmete, razvijanje i primenu tehnoloških inovacija, implementiranje snažne politike upravljanja otpadom, podsticanje smanjenja otpada, kompostiranje i recikliranje (Mir *et al.*, 2021).

Pandemija korona virusa dodatno je produbila problem masovnog povećanja medicinskog otpada u pojedinim gradovima, poput Vuha-

na, Manile, Kuala Lumpura, Hanoja i Bangkoka, dok je zatvaranje ljudi generisalo značajno povećanje kućnog otpada u različitim delovima sveta, kao što je slučaj u Ujedinjenom kraljevstvu (You, Sonne, & Ok, 2020). Kao ključ za borbu protiv pandemija u budućnosti u literaturi se apostrofira uvođenje novih održivih tehnologija i prelazak na ekološki prihvatljivije materijale, poput bioplastike (Vanapalli *et al.*, 2021). Premda se izazovi sa kojima se urbana područja suočavaju razlikuju, najčešći generatori ozbiljnog zagađenja i rizika po javno zdravlje i okruženje predstavljaju neadekvatno sakupljanje otpada i neefikasni sistemi upravljanja (Adipah & Kwame, 2019). Stoga je od suštinske važnosti kontinuirano osmišljavanje, planiranje, istraživanje i poboljšavanje postupanja sa sakupljanjem otpada, segregacijom i bezbednim odlaganjem, uz obavezno učešće svih relevantnih aktera sistema smanjenja rizika od katastrofa.

2. Pojmovno određenje integrisanog upravljanja otpadom

Otpad je gori od gubitka. Dolazi vreme kada će svaka osoba koja tvrdi da ima sposobnost stalno držati pred sobom pitanje otpada. Opseg štedljivosti je neograničen.
T. A. Edison

Prema definiciji Programa Ujedinjenih nacija za životnu sredinu (UNEP) iz 1996. godine integrisano upravljanje otpadom predstavlja „referentni okvir za projektovanje i implementaciju novih sistema upravljanja otpadom i za analizu i optimizaciju postojećih sistema“ (Seadon, 2006). Tradicionalni linearni pristup sagledavanju upravljanja otpada (prioritet je na deponijama i spaljivanju i, shodno tome, na neminovnoj degradaciji ekosistema i gubitku resursa) sve snažnije teži tranziciji ka pristupu upravljanja otpadom tokom njegovog celokupnog životnog ciklusa, kao osnovi održivog razvoja (Pharino, 2017). Suštinsku ulogu u tome ima princip 5R (smanjenje, ponovna upotreba, recikliranje, oporavak i vraćanje), koji se u literaturi opsežno raspravlja, a koji se zasniva na pojmovima obnove i regeneracije, minimalne upotrebe toksičnih hemikalija, očuvanja resursa, smanjivanja otpada i korišćenja obnovljivih izvora (Gautam & Agrawal, 2021; Sharma *et al.*, 2020).

Dakle, razmatranje i odabir adekvatnih i bezbednih načina sprečavanja, recikliranja i upravljanja čvrstim otpadom u središtu je pažnje efikasnog integrisanog upravljanja čvrstim otpadom, putem kontinuirane procene lokalnih uslova i potreba (Karunarathne). U tu svrhu primenjuje se veliki broj različitih metoda tretmana otpada, dok su prikupljanje i sortiranje otpada prvi korak i neophodni uslov za postojanje i funkcionisanje integrisanog sistema upravljanja čvrstim otpadom (Puthillath & Sasikumar, 2015). LCA (life cycle assessment) je jedna od široko prihvaćenih i dominantnih tehnika koja omogućava procenu odgovarajućih strategija upravljanja otpadom na životnu sredinu, te je od velikog značaja za projektante čvrstog otpada i donosiće odluka (Barton, Dalley, & Patel, 1996; Finnveden, Johansson, Lind, & Moberg, 2005; Obersteiner, Binner, Mostbauer, & Salhofer, 2007).

Glavne aktivnosti integrisanog upravljanja čvrstim otpadom predstavljaju: sprečavanje/prevencija nastanka otpada, odnosno smanjenje (putem upotrebe manje ambalaže, dizajniranja proizvoda sa dužim vekom trajanja i ponovne upotrebe proizvoda i materijala); recikliranje (sakupljanje, ponovna prerada i /ili oporaba određenih otpadnih materijala, poput stakla, plastike, metala i papira, za izradu novih materijala ili proizvoda); kompostiranje (pretvaranje otpadnih materijala u aditive za tlo); kontrolisano sagorevanje; i odlaganje otpada koji se ne može sprečiti niti reciklirati na pravilno projektovanim, izgrađenim i upravljanim deponijama (USEPA, 2002)(USEPA, 1995)(Karunarathne). Takve su sanitarne deponije nove generacije - bioreaktorske - koje „povećavaju stabilizaciju čvrstog otpada na vremenski efikasan način, kao rezultat kontrolisane recirkulacije procednih voda i gasova“ (Nanda & Berruti, 2021). U poređenju sa uobičajenim deponijama koje ekstrudiraju veliku količinu CH₄, N₂O i otrovnih teških metala, ova savremena tehnologija nudi minimalnu opasnost od zagađenja i pretežno se primenjuje u razvijenim zemljama (Das *et al.*, 2019; Harborth, Fuß, Münnich, Flessa, & Fricke, 2013). Republika Srbija raspolaže sa samo 10 sanitarnih deponija i više od 120 opštinskih koje ne ispunjavaju ni minimalne standarde, dok se procenjuje da je broj divljih deponija, smeštenih u neposrednoj blizini naseljenih mesta i vodotokova, veći od 2.170 (Živković, Petrović, & Protić, 2021).

Efikasno upravljanje čvrstim otpadom predstavlja kolektivnu odgovornost svih aktera, građana, nacije, korporacija i vlade, u cilju smanjenja otpada, odvajanja i recikliranja tokom celokupnog životnog

ciklusa upravljanja. Zainteresovane strane, elementi sistema za otpad i aspekti održivosti ističu se kao važne dimenzije integrisanog upravljanja čvrstim otpadom u literaturi, zajedno sa hijerarhijom upravljanja otpadom (Van de Klundert, Anschütz, & Scheinberg, 2001). Integrisano upravljanje doprinosi gradu, gradskim vlastima i građanima putem nižih troškova, manjeg zagađenja životne sredine, očuvanja sirovina, bolje koordinacije između gradskih službi, aktivnijih građana koji doprinose urbanom razvoju, ljudi koji su zadovoljniji pruženom uslugom i stoga manje skloni subverzivnim aktivnostima, bolje slike o samom gradu, manjih opasnosti po zdravlje, boljeg upravljanja troškovima i većeg povrata troškova, odeljenja za upravljanje otpadom boljih performansi, viših prihoda od turizma, ribolova i poljoprivrede itd. (Van de Klundert *et al.*, 2001). Iz prethodno elaboriranog proizlaze tri osnovna zahteva koje efikasan i održiv integrisani sistem upravljanja čvrstim otpadom treba da zadovolji: ekonomska efikasnost sistema, ekološka osetljivost i odgovornost u društvenom i pravnom aspektu (Asefi, Shahparvari, & Chhetri, 2020).

3. Strategije upravljanja otpadom

Krajnji ispit čovekove savesti može biti njegova spremnost da danas žrtvuje nešto za buduće generacije čije se reči zahvale neće čuti.

G. Nelson

Direktiva EU o otpadu ima za cilj postepeno povećavanje podsticaja potrebnih ulaganja u upravljanje otpadom u svim zemljama članicama i omogućavanje razvoja cirkularne ekonomije u celokupnom procesu od proizvodnje do potrošnje, ponovne upotrebe i vraćanja korisnih sirovina u cirkularnu ekonomiju (Direktiva, 2018). U literaturi se kao najznačajnije strategije upravljanja otpadom ističu društvene i ekonomske strategije koje podstiču promenu obrasca potrošnje i zaštitu zdravlja ljudi; strategije zaštite životne sredine i resursa – u čijem središtu se nalazi zaštita atmosfere, vode, reka, okeana i suočavanje sa čvrstim komunalnim otpadom; implementacione strategije koje uključuju transfer tehnologije, obrazovanje i svest javnosti i izgradnju kapaciteta (Puthillath & Sasikumar, 2015).

Nezavisno od države ili regiona u kojoj se sprovodi, polazište upravljanja otpadom u svakoj strategiji je praćenje proizvodnje otpa-

da, za koje su razvijene napredne tehnologije sa ciljem unapređenja prikupljanja otpada iz kanti i kamiona, poput geografskih informacijskih sistema (GIS), radio-frekvencijske identifikacije (RFID), ultrazvučnih senzora i međunarodnog sistema za mobilnu/opštu radio-paketnu uslugu (GSM/GPRS) (Das *et al.*, 2019; Hassan, Jameel, & Šekeroğlu, 2016). Ipak, uprkos prednostima implementacije spomenutih tehnologija, visoke cene istih neretko onemogućavaju siromašnim zemljama da ih priušte. Budžet, radna snaga, ruta i zona pokrivanja umnogome određuju sposobnost i efikasnost prikupljanja otpada u opštini (Pharino, 2017). Sledeći koraci u upravljanju otpadom su transport otpada, tretman i njegovo odlaganje. Značajni matematički modeli koji se upotrebljavaju radi olakšavanja, ekonomičnijeg i efikasnijeg izvođenja sakupljanja i transporta čvrstog otpada klasifikovani su u sledeće grupe: modeli za rutiranje vozila; modeli za lokaciju objekta; modeli za raspodelu toka (Yadav & Karmakar, 2020).

Menikpura i saradnici (Menikpura, Sang-Arun, & Bengtsson, 2013) su procenjivali razlike u emisiji gasova staklene bašte postojećeg sistema upravljanja čvrstim otpadom u opštini Muangklang, Tajland, i konvencionalnih tretmana. Rezultati su ukazali na značajno smanjenje emisije gasova staklene bašte integrisanog sistema, pri čemu je utvrđeno da tehnologija recikliranja materijala ostvaruje najznačajniji doprinos smanjenju emisija gasova staklene bašte (Menikpura *et al.*, 2013). U Maleziji je takođe utvrđeno da integrisani pristup može dovesti do najvećeg smanjenja emisija gasova sa efektom staklene bašte, odnosno 64%, do 2050. godine, u poređenju sa pristupom reciklaže (50%) i spaljivanja (46%) (Devadoss, Agamuthu, Mehran, Santha, & Fauziah, 2021). Rezultati studije koju su sprovedi Malakahmad i saradnici (Malakahmad, Abualqumboz, Kutty, & Abunama, 2017) ukazuju da anaerobna digestija organskih materija i recikliranje otpada koji se može reciklirati (plastika, staklo, tekstil...) generiše najniže emisije ugljeničnog otiska, u poređenju sa spaljivanjem otpada i odlaganjem otpada na sanitarne deponije opremljene sistemom za oporabu gasa. Nasuprot tome, najveće emisije zabeležene su u scenariju spaljivanja otpada, dok je u scenariju odlaganja otpada na sanitarne deponije evidentno generisanje ogromnih količina procesnih voda i opasnih vazdušnih sastojaka (Malakahmad *et al.*, 2017). U Indoneziji je promovisanje smanjenja otpada na izvorima putem mobilizacije lokalne zajednice za odvajanje otpada i recikliranje rezultovalo izbegavanjem oko 0,2 miliona Mt CO₂-eq emisija sa

lokalnih deponija na godišnjem nivou, dok je ishod aktivnosti recikliranja smanjenje nastalog otpada za 30% (Kurniawan *et al.*, 2020). Proizvodnja energije, toplote i goriva iz otpada (otpada iz domaćinstva, poljoprivrednog itd.), zastupljena u razvijenim zemljama, predstavlja stimulativan i zanimljiv pristup upravljanju otpadu koji ima brojne prednosti; omogućuje dobijanje bioenergije u obliku biogasa, energije vodonika i bioetanola, koji, pored ekoloških dobrobiti, podržavaju ekonomski razvoj stvaranjem novih radnih mesta itd., pri čemu se kao glavne tehnike za pretvaranje otpada u energiju primenjuju: termičke (piroliza, spaljivanje i gasifikacija) i biohemijske (uključuju predtretman biomase, anaerobnu probavu/biometanaciju, aerobno kompostiranje, proizvodnju bioetanola i proizvodnju bio-vodonika) (Alonso, del Río, & García, 2016; Banerjee, Kaushik, & Tomar, 2019; Moya, Aldás, López, & Kaparaju, 2017; Rech *et al.*, 2019; K. R. Reddy *et al.*, 2019; N. L. Reddy *et al.*, 2019; Sharma *et al.*, 2020; Srivastava, Shetti, Reddy, & Aminabhavi, 2020). Anaerobna digestija je preferirana metoda, dok je metoda spaljivanja najmanje poželjna jer oslobađa otrovne gasove i teške metale (Sharma *et al.*, 2020). Primena reciklaže i kompostiranja nudi brojne ekonomske i ekološke dobrobiti, poput stvaranja novih radnih mesta i prihoda, snabdevanja industrije vrednim sirovinama, smanjenja emisije gasova staklene bašte, deponija i objekata za sagorevanje, proizvodnje komposta koji obogaćuje zemljište itd. (USEPA, 2002).

U Republici Srbiji, uprkos lošem stanju životne sredine, još uvek ne postoji sistemski organizovano upravljanje otpadom (Drobnjak, Šerović, Madžgalj, & Jelić, 2019). Prema Strategiji upravljanja otpadom Republike Srbije, za dostizanje ciljeva održivog razvoja potrebno je: racionalno korišćenje sirovina i energije i upotreba alternativnih goriva iz otpada, smanjenje opasnosti od nepropisno odloženog otpada za buduće generacije, osiguranje stabilnih finansijskih resursa i podsticajnih mehanizama za investiranje i sprovođenje aktivnosti prema principima "zagađivač plaća" i/ili "korisnik plaća", uspostavljanje jedinstvenog informacionog sistema o otpadu, povećanje broja stanovnika obuhvaćenih sistemom sakupljanja komunalnog otpada, uspostavljanje standarda i kapaciteta za tretman otpada, smanjenje, ponovna upotreba i reciklaža otpada, razvijanje javne svesti na svim nivoima društva o problematici otpada i dr. Potrebno je stvoriti osećaj odgovornosti za postupanje sa otpadom na svim nivoima, osigurati prepoznavanje problema, obezbediti tačne i potpune informacije, promovisati principe, podsticajne mere i partnerstvo javnog i privatnog sektora u upravljanju otpadom. Inicijative imaju za

cilj da podstaknu stanovništvo na odgovorniji odnos prema otpadu i na postupanje sa otpadom na održiv način, kao što je smanjenje otpada na izvoru, ponovna upotreba otpada, reciklaža, energetska iskorišćenje otpada i odlaganje otpada na bezbedan način“ ("Sl. glasnik RS", br. 29/2010).

Poseban problem u Srbiji predstavlja odsustvo posebne zakonske regulative u oblasti upravljanja biorazgradivim otpadom, imajući u vidu da se čak 99% otpada iz ugostiteljskih objekata odlaže na otvorene deponije, dok postoji ogroman potencijal upotrebe ovog otpada u proizvodnji biodizela i bioetanola, električne energije iz biogasa, kao i u svrhe kompostiranja i hrane za životinje (Živković *et al.*, 2021). U toku je izrada nove Strategije upravljanja otpadom u Republici za period 2021-2030. godine od koje se očekuje propisivanje novih mera, preporuka i ciljeva upravljanja otpadom, uključujući biorazgradivi, dok su izmene i dopune Zakona o upravljanju otpadom planirane za naredni period.

4. Percepcija i učešće javnosti u upravljanju otpadom

Napredak je nemoguć bez promene, a oni koji ne mogu da promene mišljenje ne mogu ništa da promene.
G. B. Shaw

Razlike u stavovima građana različitih država i regiona u pitanjima prakse upravljanja otpadom i raznolikost samog otpada rezultovali su heterogenošću pristupa upravljanju otpadom, čiji je zajednički element isticanje prioritetne uloge lokalnih zajednica u kreiranju najefikasnijih rešenja upravljanja otpadom za svoje područje. Imajući u vidu značajan i direktan uticaj učešća zajednice na efikasno upravljanje čvrstim komunalnim otpadom (Brotosusilo, Nabila, Negoro, & Utari, 2020), istraživanje i razumevanje percepcije javnosti o prednostima i nedostacima aktuelnog upravljanja otpadom u lokalnoj praksi je od ključnog značaja u razvijanju adekvatnih programa, planova i strategija, kao i prilagođavanja postojećih u cilju unapređenja svesti i podsticaja ljudi za preduzimanje odgovarajućih aktivnosti u svom domaćinstvu.

Shodno rezultatima studije koju su sprovedi Olukani i saradnici (Olukanni, Pius-Imue, & Joseph, 2020), najznačajnije determinante percepcije, prakse i stavova ljudi prema upravljanju otpadom predstavljaju starost, nivo obrazovanja i prihodi. U ispitivanim lokalnim samoupravama u Nigeriji spomenute studije odlaganje otpada na otvorene deponije je prisutno kod 36,6% ljudi, dok je među većinom ispitanika (54,4%) prevladao stav o previsokoj ceni sanitarnih usluga; ovi rezultati apostrofiraju ulogu vlade u pravilnom sprovođenju zakona o životnoj sredini kao i napore na izgradnji i unapređenju svesti o pravilnoj praksi upravljanja čvrstim otpadom u školama i na javnim mestima (Olukanni *et al.*, 2020). Slično tome, rezultati studije koju su sprovedi Babaei i saradnici (Babaei *et al.*, 2015) ukazuju na uticaj različitih demografskih faktora poput starosti, nivoa obrazovanja, pola i zanimanja na znanje, stavove i prakse smanjenja čvrstog otpada, dok je spremnost plaćanja za usluge u domenu smanjenja čvrstog otpada bila pod najvećim uticajem zanimanja i nivoa obrazovanja (Babaei *et al.*, 2015). Pozitivan uticaj obrazovanja i poznavanja zdravstvenih efekata na poznavanje problema otpada identifikovan je u studiji sprovedenoj u Kambodži, pri čemu je veće nezadovoljstvo statusom upravljanja i sakupljanja otpada zabeleženo kod stanovnika koji su svesni aktuelnih problema (Seng, Fujiwara, & Spoann, 2018). Kokinos i saradnici (Kokkinos, Karayannis, Lakioti, & Moustakas, 2019) su istakli brigu o životnoj sredini, društvenu percepciju, ekonomski status, način života, zdravlje i higijenu kao primarne socijalne faktore koji determinišu stav javnosti prema reciklaži.

Slabo angažovanje stanovništva u Moskvi u praksi odvojenog sakupljanja otpada, koje podriva proces tamošnjeg integrisanog upravljanja otpadom, bilo je u vezi sa nedostatkom vremena za sortiranje, nedostatkom prostora u stanu za uređenje sortiranja otpada i nedostatkom poverenja u novoosnovanu infrastrukturu. Iz toga je proizašao zaključak o potrebi vođenja kampanji podizanja svesti ali i obrazovanja stanovništva, sa posebnim naglaskom na jačanje ekološke svesti kod dece (Abramova). U studiji koju su sprovedi Aluko i saradnici (Aluko *et al.*, 2021) utvrđeno je da 72% ispitanika, uprkos dobrom znanju i pozitivnom stavu o uočenim opasnostima po zdravlje, odlaže čvrsti otpad na otvorene deponije, 15% ispitanika izrazilo je spremnost za plaćanje usluga prikupljanja otpada, dok je polovina ispitanika istakla spaljivanje kao adekvatnu alternativu otvorenim deponijama. Shodno istraživanju o stavovima u zemljama EU, gde je evidentan značajan ali negativan uticaj percepcije, odnosno stavova ljudi u pogledu prakse smanjenja i recikliranja otpada, samo

razumevanje ličnog doprinosa problemu otpada od strane ispitanika oblikovalo je njihovo povečano angažovanje (Minelgaitė & Liobikienė, 2019).

Za postizanje uspeha u aktivnostima odvajanja otpada na izvoru nužna je spremnost i dobra praksa među stanovnicima (Azizan, Zulkefli, & Azizan, 2020). Istraživanje sprovedeno u Delhiju ukazuje da je spremnost za fizičko i finansijsko angažovanje javnosti radi boljeg upravljanja prisutno kod 60% ispitanika (Kumar & Anand). Sa druge strane, iako u kineskoj javnosti vlada pozitivan stav prema politici razvrstavanja komunalnog otpada, kod polovine ispitanika identifikovane su negativne emocije, čiji su pokretači novčane kazne, pravila razvrstavanja otpada, takse, vreme bacanja otpada i nepravilne procedure recikliranja (Wu, Zhang, Chen, & Wang, 2021). Među različitim socio-demografskim faktorima uticaja na svest javnosti o reciklaži u Kini, Vang i saradnici (Wang *et al.*, 2020) su ukazali da starost ima najznačajniju ulogu. Shodno rezultatima studije, ukazali su da su svest javnosti i znanje o recikliranju čvrstog otpada iz domaćinstva neadekvatni, dok je lošije znanje zabeleženo kod starijih ljudi, radnika, ljudi sa nižim obrazovanjem i onih sa većim mesečnim prihodima.

Polazeći od identifikovanog starosnog jaza u znanju o životnoj sredini i upravljanju otpadom u zemljama u razvoju, sproveden je opsežni pregled literature sa ciljem procene ekološkog znanja, svesti, stavova i prakse u upravljanju otpadom u periodu od 2010. do 2019. godine. Tom prilikom, utvrđena je rasprostranjenost pozitivnih stavova o životnoj sredini i visokog nivoa svesti o pitanjima zaštite životne sredine među učenicima na srednjem i visokom nivou. Ipak, ukazano je na postojanje nedostatka praktične edukacije od strane nastavnika koji bi doprineli primeni upravljanja otpadom u praksi, dok je slabo znanje učenika o životnoj sredini bilo u značajnoj vezi sa nedostatkom praktičnog iskustva nastavnika u upravljanju čvrstim otpadom za održivost životne sredine. Takođe, naglašena je važnost integracije obrazovanja o održivosti životne sredine u škole na svim nivoima kako bi se premostio spomenuti jaz (Debrah, Vidal, & Dinis, 2021).

U Africi, gde je proizvodnja čvrstog otpada na izuzetno visokom nivou, ispitivanje efikasnosti novoinstaliranih kanti za sakupljanje otpada u upravljanju čvrstim otpadom u gradu Mahakos generisalo je uvide o značajnoj ulozi percepcije u pogledu uticaja na upotrebu kanti u domaćinstvima. Utvrđeno je da su niska svest i znanje uticali na percepciju kanti i da je negativna percepcija kanti formirana usled

niskog učešća zajednice u upravljanju otpadom, kao i postojanje prepunih, nagomilanih i smrdljivih kanti za nenaplaćeni otpad (Kanuku, Nzyengy'a, Vundi, & Nzeve, 2020).

Uprkos borbi lokalnih vlasti u ohrabrivanju učešća stanovnika u procesu upravljanja otpadom, stopa njihovog uključivanja je i dalje niska. Stoga je od prioritetne važnosti uspostavljanje sistema koji ima moć uticaja na stanovnike kako bi efikasno i održivo učestvovali u potrebnim aktivnostima. Gazali i saradnici (Tjakraatmadja, Ghazali, & Rahardyan, 2021) su utvrdili nekoliko ključnih vrsta znanja (tehničko iskustvo, znanje o učinku upravljanja otpadom, percepcija koristi, ekološka svest, razumevanje individualne i društvene odgovornosti i razumevanje društvenih normi i propisa) i faktora emocionalnog domena (ekološka efikasnost, motivacija, lične moralne norme i stav prema upravljanju otpadom) koje je potrebno negovati u obrazovnom okruženju kako bi se osiguralo kontinuirano, efikasno i održivo učešće i ponašanje stanovnika u pogledu upravljanja otpadom. U studiji sprovedenoj u Tanzaniji, sa ciljem procene učešća zajednice u upravljanju čvrstim otpadom u lokalnim vlastima, otkriveno je nekoliko sistema koje je gradsko veće Makambako primenjivalo u cilju efikasnog upravljanja na tom području: formulisanje podzakonskih akata, dostupnost objekata za čistoću, takmičenja u čistoći odeljenja, kao i davanje podsticaja čistačima (Swale, 2020).

5. Primeri efikasnih praksi upravljanja otpadom i inovativna rešenja

Ako se ne može smanjiti, ponovo koristiti, popraviti, obnoviti, doraditi, preprodati, reciklirati ili kompostirati, onda ga treba ograničiti, dizajnirati ili ukloniti iz proizvodnje.
P. Seeger

Kao posledica napora zemalja širom sveta u unapređenju svoje prakse upravljanja čvrstim otpadom, postoje pozitivni rezultati sa različitim inicijativama za upravljanje čvrstim otpadom u domaćinstvima u razvijenim zemljama, dok je u zemljama u razvoju efikasnost politika upravljanja otpadom, uprkos naporima, na niskom nivou (Mmereki, Baldwin, & Li, 2016). Neki od razloga takvog neuspeha uključuju neadekvatne usluge, neadekvatno finansiranje, neadekvatne ekološke kontrole, lošu institucionalnu strukturu, neadekvatno razumevanje složenih sistema, neadekvatne sanitarne uslove itd. (Van de Klundert & Lardinois, 1995). Uprkos svim izazovima, zabeležena su nedavna

poboljšanja upravljanja čvrstim otpadom koja dokazuju da je održivo upravljanje u zemljama u razvoju moguće. Efikasne, efektivne i pristupačne gradske sisteme upravljanja otpadom u zemljama u razvoju karakterišu prilagođenost lokalnim potrebama i uslovima i razvijenost uz direktno uključivanje korisnika usluga (Wilson, Velis, & Rodic).

Poređenjem Sjedinjenih Država, Evrope i Azije u pogledu upravljanja komunalnim čvrstim otpadom, uzimajući, pri tome, u obzir parametre poput dominantnih tehnika upravljanja, finansija, otvorenih radnih mesta, stvaranja, sakupljanja, skladištenja i transporta otpada, sastav otpada, energetski oporavak, zdravlje životne sredine i poreze na zemljište, utvrđeno je da je Evropa imala najpovoljniji sistem upravljanja, potom Sjedinjene države, dok je Azija imala najniže rezultate u ispitivanim segmentima (Karim & Wetterhan, 2020). Romano i saradnici (Romano, Marciano, & Fiorelli, 2021) su ukazali na sledeće zajedničke elemente i pokretače efikasnih i održivih sistema upravljanja čvrstim otpadom: inovacije, odgovornost, angažovanje zainteresovanih strana i razmena znanja. Procenjujući različite prakse upravljanja otpadom u razvijenim zemljama i zemljama u razvoju, Korsi i saradnici (Corsi, do Amarante, Pagani, Picinin, & Kovaleski, 2021) su utvrdili da je transfer tehnologije strategija koju karakteriše mogućnost doprinosa održivom razvoju, putem adekvatnog upravljanja čvrstim otpadom (Corsi *et al.*, 2021).

Kina je jedna od zemalja posvećenih izgradnji ekološke civilizacije, odvajanju čvrstog otpada, recikliranju i promovisanju integrisanog razvoja sistema upravljanja otpadom sa sistemom za oporavak obnovljivih izvora. Primera radi, Šangaj je poslednjih godina, uz pomoć značajnih napora na poboljšanju svojih sistema, uspostavio relativno kompletan sistem upravljanja čvrstim otpadom, koga karakterišu sledeće tri inovativne osobine (Xiao *et al.*, 2020):

- Usvajanje i primena prve lokalne uredbe o upravljanju čvrstim otpadom u cilju uspostavljanja obaveznog zakonodavstva o sortiranju otpadnog otpada;
- Program zelenog računa koji se koristi 10 godina za stimulisanje motivacija sortiranja komunalnog otpada;
- Program kombinovane mrežne šeme koja se godinama promoviše radi rešavanja problema recikliranja otpada koji se može reciklirati.

Svakako, spomenuti sistem suočava se i sa određenim izazovima, koji se tiču troškova upravljanja čvrstim otpadom, još uvek nedovoljne

efikasnosti u sortiranju, sakupljanju i prenošenju komunalnog otpada, za koje su autori preporučili sledeća moguća rešenja: pružanje detaljnijih smernica građanima o sortiranju otpada, donošenje politika u pogledu smanjenja izvora na frontu, unapređenje vozila za sakupljanje otpada itd. (Xiao *et al.*, 2020).

Kako ističu Ksin i saradnici (Xin, Zhang, Tsai, Zhai, & Wang, 2020), smanjenje emisije gasova staklene bašte od 70,82% u Pekingu moglo bi se postići razvrstavanjem i recikliranjem kuhinjskog otpada i reciklažnih proizvoda, i spanjivanjem ostataka, dok bi, sa druge strane, deponije emitovale više gasova sa efektom staklene bašte nego spaljivanje i kompostiranje (Xin *et al.*, 2020). Imajući u vidu da se otpad iz domaćinstva u zemljama u razvoju uglavnom reciklira neformalnim sistemima u zemljama u razvoju, Fei i saradnici su (Fei, Qu, Wen, Xue, & Zhang, 2016), prateći sistem reciklaže u Kini koji je istovremeno prisutan u formalnim i u neformalnim sistemima recikliranja, predložili integraciju neformalnog sistema recikliranja od strane vlade u sistem upravljanja otpadom putem organizovanja stručnih obuka za praktičare reciklaže, unapređenja postrojenja za reciklažu, uspostavljanja informacionih platformi itd.

Nemačko iskustvo je, takođe, dominantno u praksama upravljanja otpadom u domaćinstvima. Unakrsna analiza slučaja između nemačkog i brazilskog grada iznedrila je uvide o izuzetnoj efikasnosti upravljanja otpadom u domaćinstvima u Nemačkoj, pri čemu se kao vodeći razlozi za to ističu jasni zakoni, redovne javne kampanje i metodologija plaćanja taksi. Nasuprot tome, sistem upravljanja otpadom u brazilskom gradu pokazao se neefikasnim, pri čemu je primena metodologije Green Dot, sponzorisana od strane industrije i potrošača u Nemačkoj, identifikovana kao moguće rešenje (Azevedo, Scavarda, Caiado, & Fuss, 2021).

Efikasne prakse upravljanja otpadom koje daju najbolje rezultate u Azijskim gradovima ulažu u holističku procenu otpada i posvećene su sprovođenju istraživanja o najboljim načinima upravljanja otpadom iz domaćinstva, primenom dostupnih resursa na lokalnom nivou i multidisciplinarnog pristupa (Adhikari & Paudel, 2020). Jedna od najboljih praksi upravljanja čvrstim otpadom, u pogledu sakupljanja čvrstog otpada, transporta, segregacije, recikliranja i konačnog odlaganja, evidentna je na Institutu za upravljanje poslovanjem u Karačiju, gde je odgovarajući broj kanti označenih bojama postavljen na odgovarajućim lokacijama širom kampusa, uz prisustvo dovoljnog

broja osoblja za upravljanje otpadom. Od ukupno proizvedenog otpada na mesečnom nivou (2,033 kg, odnosno 24,5 tona godišnje) u kampusu, 67,7% čini otpad od plastike, papira i metala koji se može reciklirati i za višekratnu upotrebu, dok ostatak (oko 32%) čini organski otpad. Dalje ekonomske analize pružile su značajne uvide o godišnjoj zaradi od 252.012 pakistanskih rupija od prodaje neorganskog reciklabilnog otpada i za višekratnu upotrebu, kao i o mogućnosti pripreme oko 500 kg komposta dobrog kvaliteta na mesečnom nivou od organskog otpada (hrana i dvorišni otpad za hortikulturne aktivnosti) (Iqbal, 2021).

Ovo je posebno važno imajući u vidu procene da se oko 95% otpada hrane odlaže na deponije, pretvarajući se potom u metan i druge gasove sa efektom staklene bašte, kao i da je, među popularnim metodama tretmana otpada u hrane u zemljama u razvoju (ishrana životinja, kompostiranje, anaerobna digestija, spaljivanje i deponije), najučestalije odlaganje otpada na deponije (Nordin, Kaida, Othman, Akhir, & Hara). U okviru kružne ekonomije, organski otpad, kao najveći deo gradskog otpada, tretira se kao vredan resurs koji se pretvara u poboljšanje tla, biogas i energiju (Boffardi *et al.*, 2021). Pored toga, smanjenje otpada hrane pomaže u suzbijanju rasipanja i sigurnosti hrane, klimatskih promena i prekomernom iscrpljivanju prirodnih resursa doprinoseći ostvarivanju ciljeva održivosti (Nordin *et al.*). Preporuke o načinima smanjenja otpada iz hrane koje bi mogle doprineti nacionalnim ciljevima održivog razvoja uključuju sledećih 6 strategija: odvajanje otpada od hrane (npr. odvojene kante za otpad u kućama) ili ponašanja kompostiranja, ponašanja u ishrani, ponašanja pri kuvanju (poput planiranja, provere zaliha i pravljenja liste pre kupovine itd.), ekološkog znanja potrošača o otpadu iz hrane, ekološke svesti potrošača (putem školskih programa i političkih inicijativa koji su dobra osnova za promenu stavova ljudi) i vladine politike o upravljanju otpadom iz hrane u domaćinstvu (u fokusu političkih pristupa, koji treba da budu višestrani, treba da budu stavovi i logistički aspekti sprečavanja nastanka otpada) (Nordin *et al.*).

Ranije u radu bilo je reči o proizvodnji električne energije iz otpadnih materijala. Polazeći od prakse proizvodnje električne energije u Brazilu koja je podržana Brazilskom nacionalnom politikom čvrstog otpada ali i dalje zahteva različita poboljšanja, Dos Santos i saradnici (Dos Santos *et al.*, 2019) su sprovedli studije sa ciljem procene proizvodnje električne energije iz čvrstog otpada u tri različita sistema - biogas sa sanitarnih deponija, metanizacija organske frakcije u anae-

robnim digesterima i sagorevanje u spalionicama, kada su ekonomsku održivost pronašli samo u pogledu oporavka energije bioplina na deponijama (Dos Santos *et al.*, 2019).

Tehnike veštačke inteligencije neizostavne su u diskusijama o inovativnim rešenjima različitih globalnih problema, poput upravljanja otpadom. Sistemi upravljanja čvrstim otpadom, zasnovani na veštačkoj inteligenciji još uvek su u fazi razvoja i istraživanja ali se pogodnosti njene upotrebe oličavaju u rešavanju loše definisanih problema, učenju na osnovu iskustva, rešavanju neizvesnosti i nepotpunih podataka (Abdallah *et al.*, 2020). Neke od značajnih primena IoT-a su praćenje lokacije kontejnera za otpad, nivoa deponovanog smeća, identifikacija lokacija sa najvećom potražnjom, praćenje vozila i predlaganje najkraćih puteva za optimizaciju prikupljanja čvrstog otpada, podsticanje odlaganja otpada u vreme kada ga kontejner može primiti kako bi se izbeglo nagomilavanje otpada itd. (Pardini *et al.*, 2019).

Rojklaudhari i saradnici (RoyChoudhury, Kumar, & Arutchelvan, 2019) su istakli da nepodeljena heterogena masa čvrstog otpada, koja sa sobom inače nosi ogromnu opasnost po bezbednu preradu i odlaganje čvrstog otpada i neretko povećava troškove, istovremeno sadrži potencijal koji se može valorizovati kroz varenje larvi simbiotske makro kulture, za stvaranje novih ekonomskih niša za malo preduzetništvo u zemljama u razvoju i nerazvijenim zemljama. Sproveli su niz eksperimenata uz pomoć novoformiranog bioreaktora za kompostiranje i ukazali da je vreme potrebno za pretvaranje čvrstog otpada u stajsko gnojivo bogato hranljivim materijama u okviru novog pristupa 14-16 dana (RoyChoudhury *et al.*, 2019). Za problem odlaganja mulja koji generiše negativne uticaje na životnu sredinu predloženo je rešenje upotrebe mulja (koji ima sličan hemijski sastav glini) za dobijanje korisnog građevinskog materijala u obliku cigle, koje dokazano nudi koristi i prednosti pri upotrebi sa proporcionalnom mešavinom i dizajnom. Time se omogućava delimična zamena gline muljem u proizvodnji opeke i doprinosu očuvanju životne sredine i resursa (Patel *et al.*, 2021). Na kraju, integrisani pristup upravljanja otpadom pokazao se efikasnim i u tretmanu e-otpada, poznatog i kao otpadna električna i elektronska oprema, koji raste izuzetno velikom brzinom u svetu i završava na nesanitarnim (nekontrolisanim) deponijama i otvorenim deponijama, izazivajući ozbiljnu zabrinutost u javnosti (Ikhlal, 2018).

6. Zaključak

Ne možemo rešiti svoje probleme istim razmišljanjem koje smo koristili kada smo ih stvarali.
Albert Ajnštajn

Imajući u vidu hitnost preduzimanja mera očuvanja energije i prirodnih resursa, zaštite javnog zdravlja i smanjenja emisija gasova staklene bašte, neophodno je efikasno planiranje i implementacija održivog sistema upravljanja otpadom. Primena politika smanjenja otpada i prelazak sa tradicionalnih linearnih sistema na kružne integrisane sisteme upravljanja otpadom javljaju se kao dva dominantna pravca delovanja na putu rešavanja izazova koje postavlja aktuelni problem rastućeg otpada i njegovog masovnog odlaganja na otvorene deponije. Time se doprinosi ublažavanju emisija gasova sa efektom staklene bašte, i, posledično, smanjenju doprinosa globalnim klimatskim promenama i ostvarivanju društveno-ekonomskih i drugih koristi za životnu sredinu. Temelj promene je princip 5R, koji uključuje strategije smanjenja otpada, ponovne upotrebe, recikliranja, oporavka resursa i vraćanja.

Kontekstualni faktori i tehnički i društveno-ekonomski status umnogome određuju uspeh različitih inicijativa za uspešno upravljanje čvrstim otpadom. Primeri uspešnih inicijativa pronađeni su u Nemačkoj, Kini i drugim relevantnim zemljama čije prakse karakteriše doprinos uštedama u emisijama gasova staklene bašte, putem smanjenja otpada, recikliranja otpadnih materijala, biološkog tretmana i oporavka energije. Spomenuti i slični primeri ukazuju na potrebu primene zakona o upravljanju otpadom i odgovarajućih politika i okvira za planiranje upravljanja otpadom, uključujući konkretnije propise o odgovornosti vlasnika izvora otpada, osnaživanja inspekcije i nadzora, mobilizacije zajednice i odgovornosti pojedinaca u pogledu učešća u upravljanju čvrstim otpadom (uz nametanje podsticaja, poreza i nameta od strane vlade i lokalnih tela), usvajanja savremenih i sofisticiranih tehnika u razvijenim zemljama, sprovođenja istraživanja o najboljim načinima upotrebe lokalno dostupnih resursa, usvajanje holističkih pristupa ili višedimenzionalnih pristupa, sprovođenja programa obuke za zaposlene u sektorima upravljanja otpadom, kao i javnosti itd. Gasifikacija, piroliza i anaerobna digestija neke su od alternativnih tehnologija tretmana otpada koje su poboljšale proces obnavljanja energije iz otpada. Sa druge strane, nemogućnost eliminisanja deponija iz hijerarhije upravljanja otpadom postavila je zahteve za njihovim opremanjem sanitarnim sistemom.

U siromašnim zemljama i zemljama u razvoju prisutne su različite tehničke poteškoće u sakupljanju otpada, transportu i odlaganju, ekonomski izazovi u istraživanju i razvoju novih tehnologija, nedostatak kvalifikovanih ljudskih resursa, slaba infrastruktura itd. Imajući u vidu da ne mogu da priušte napredne tehnologije, usled velikih ulaganja i kvalifikovane radne snage koju zahtevaju, potrebno je promovisati smanjenje otpada i recikliranje. Kompostiranje i vermikompostiranje su tehnike tretmana otpada koje karakteriše značajna ekološka i ekonomska povoljnost, koje bi vlada trebalo da promoviše u poljoprivrednom sistemu. Pored toga, postrojenja za kompostiranje otpada malih dimenzija, koja omogućavaju recikliranje na licu mesta, nude brojne pogodnosti poput promovisanja zapošljavanja, smanjenja siromaštva i generisanja prihoda.

Kako uspešnost sprovođenja planova upravljanja otpadom zahteva participativan pristup, uz podršku i aktivno učešće zajednice, vodeću ulogu imaju domaćinstva koja prioritarno treba da deluju na minimiziranju izvora i sortiranju otpada u cilju smanjenja količine otpada koji zahteva odlaganje, kao i smanjenja uticaja na zdravlje ljudi i životnu sredinu. Ipak, stručnjaci se slažu u pogledu nedovoljne stope edukacije, nedostatka svesti o različitim ekološkim aspektima upravljanja otpadom (prevashodno održivog konzumerizma, odvajanja otpada i recikliranja) i razumevanja ličnog doprinosa u rešavanju globalnog problema otpada. Obrazovanje i starost identifikovani su kao najvažniji faktori koji determinišu stavove i praksu ljudi u tom pogledu. Stoga je od ključnog značaja poboljšanje obrazovanja o životnoj sredini i, uz negovanje nekoliko ključnih vrsta znanja (znanje o učinku upravljanja otpadom, percepcija koristi, ekološka svest, razumevanje individualne i društvene odgovornosti i razumevanje društvenih normi i propisa) i prenošenje praktičnih iskustava i motivisanje mladih za preduzimanje odgovarajućih aktivnosti kako bi se osiguralo efikasno i održivo učešće stanovnika u praksi upravljanja čvrstim otpadom.

Reference

1. Abdallah, M., Talib, M. A., Feroz, S., Nasir, Q., Abdalla, H., & Mahfood, B. (2020). Artificial intelligence applications in solid waste

management: A systematic research review. *Waste Management*, 109, 231-246.

2. Abramova, N. (2020). Raising environmental awareness as a meaningful factor of integrated waste management in Moscow.

3. Adhikari, B., & Paudel, S. (2020). A review of comparative study on solid waste management practices in four different cities in Asian countries. *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, 14(2).

4. Adipah, S., & Kwame, O. N. (2019). A novel introduction of municipal solid waste management. *Journal of Environmental Science and Public Health*, 3(2), 147-157.

5. Alonso, R. M., del Río, R. S., & García, M. P. (2016). Thermophilic and mesophilic temperature phase anaerobic co-digestion (TPAcD) compared with single-stage co-digestion of sewage sludge and sugar beet pulp lixiviation. *Biomass and Bioenergy*, 93, 107-115.

6. Aluko, O. O., Obafemi, T. H., Obiajunwa, P. O., Obiajunwa, C. J., Obisanya, O. A., Odanye, O. H., & Odeleye, A. O. (2021). Solid waste management and health hazards associated with residence around open dumpsites in heterogeneous urban settlements in Southwest Nigeria. *International Journal of Environmental Health Research*, 1-16.

7. Asefi, H., Shahparvari, S., & Chhetri, P. (2020). Advances in sustainable integrated solid waste management systems: lessons learned over the decade 2007–2018. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(13), 2287-2312.

8. Azevedo, B. D., Scavarda, L. F., Caiado, R. G. G., & Fuss, M. (2021). Improving urban household solid waste management in developing countries based on the German experience. *Waste Management*, 120, 772-783.

9. Azizan, M., Zulkefli, A. E., & Azizan, K. (2020). Residents perception of and participation in solid waste recycling in Langkawi. *ESTEEM Journal of Social Sciences and Humanities*, 4, 57-65.

10. Babaei, A. A., Alavi, N., Goudarzi, G., Teymouri, P., Ahmadi, K., & Rafiee, M. (2015). Household recycling knowledge, attitudes and practices towards solid waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 102, 94-100.

11. Banerjee, S., Kaushik, S., & Tomar, R. S. (2019). Global scenario of biofuel production: Past, present and future. In *Prospects of Renewable Bioprocessing in Future Energy Systems* (pp. 499-518): Springer.
12. Barton, J. R., Dalley, D., & Patel, V. S. (1996). Life cycle assessment for waste management. *Waste Management*, 16(1-3), 35-50.
13. Boffardi, R., De Simone, L., De Pascale, A., Ioppolo, G., & Arbolino, R. (2021). Best-compromise solutions for waste management: Decision support system for policymaking. *Waste Management*, 121, 441-451.
14. Brotosusilo, A., Nabila, S. H., Negoro, H. A., & Utari, D. (2020). The level of individual participation of community in implementing effective solid waste management policies. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 6(3), 341-354.
15. Corsi, A., do Amarante, C. C., Pagani, R. N., Picinin, C., & Kovaleski, J. L. (2021). Technology Transfer in Solid Waste Management Practices: Mapping the Techniques and Strategies Implemented. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 47(2), 349-361.
16. Das, S., Lee, S. H., Kumar, P., Kim, K.-H., Lee, S. S., & Bhattacharya, S. S. (2019). Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 228, 658-678.
17. Debrah, J. K., Vidal, D. G., & Dinis, M. A. P. (2021). Raising awareness on solid waste management through formal education for sustainability: A developing countries evidence review. *Recycling*, 6(1), 6.
18. Devadoss, P. S. M., Agamuthu, P., Mehran, S. B., Santha, C., & Fauziah, S. H. (2021). Implications of municipal solid waste management on greenhouse gas emissions in Malaysia and the way forward. *Waste Management*, 119, 135-144.
19. Díaz-Vázquez, D., Carrillo-Nieves, D., Orozco-Nunnally, D. A., Senés-Guerrero, C., & Gradilla-Hernández, M. S. (2021). An Integrated Approach for the Assessment of Environmental Sustainability in Agro-Industrial Waste Management Practices: The Case of the Tequila Industry. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 229.
20. Dos Santos, R. E., Dos Santos, I. F. S., Barros, R. M., Bernal, A. P., Tiago Filho, G. L., & da Silva, F. d. G. B. (2019). Generating electrical energy through urban solid waste in Brazil: An economic and energy

comparative analysis. *Journal of Environmental Management*, 231, 198-206.

21. Drobnjak, D. S., Šerović, R. M., Madžgalj, J. S., & Jelić, I. V. (2019). Sustainable waste management in local communities and protected areas in the Republic of Serbia. *Tehnika*, 74(1), 128-134.

22. Fei, F., Qu, L., Wen, Z., Xue, Y., & Zhang, H. (2016). How to integrate the informal recycling system into municipal solid waste management in developing countries: Based on a China's case in Suzhou urban area. *Resources, Conservation and Recycling*, 110, 74-86.

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

24. Gautam, M., & Agrawal, M. (2021). Greenhouse gas emissions from municipal solid waste management: A review of global scenario. *Carbon Footprint Case Studies*, 123-160.

25. Harborth, P., Fuß, R., Münnich, K., Flessa, H., & Fricke, K. (2013). Spatial variability of nitrous oxide and methane emissions from an MBT landfill in operation: Strong N₂O hotspots at the working face. *Waste Management*, 33(10), 2099-2107.

26. Hassan, S. A., Jameel, N. G. M., & Şekeroğlu, B. (2016). Smart solid waste monitoring and collection system. *International Journal*, 6(10).

27. Ikhlayel, M. (2018). An integrated approach to establish e-waste management systems for developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 170, 119-130.

28. Iqbal, J. (2021). Best Practices of Solid Waste Management at Institute of Business Management, Karachi, Pakistan. *Journal of Sustainability Perspectives*, 1.

29. Kanuku, S. K., Nzyengy'a, D. M., Vundi, N., & Nzeve, J. K. (2020). Effectiveness of solid waste management in Machakos Town, Kenya. *The Strategic Journal of Business & Change Management*, 7(3), 1039-1050.

30. Karim, M. A., & Wetterhan, J. T. (2020). A comparative study of solid waste management in the United States, Europe and Asia. *Environ Eng*, 4, 003-011.

31. Karunarathne, H. (2015). Municipal solid waste management (MSWM) in Sri Lanka.
32. Kokkinos, K., Karayannis, V., Lakioti, E., & Moustakas, K. (2019). Exploring social determinants of municipal solid waste management: survey processing with fuzzy logic and self-organized maps. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(35), 35288-35304.
33. Kumar, A., & Anand, S. Community Perception towards Solid Waste Management in NCT of Delhi, India.
34. Kurniawan, T. A., Avtar, R., Singh, D., Xue, W., Othman, M. H. D., Hwang, G. H., . . . Kern, A. O. (2020). Reforming MSWM in Sukunan (Yogyakarta, Indonesia): A case-study of applying a zero-waste approach based on circular economy paradigm. *Journal of Cleaner Production*, 124775.
35. Maghmoumi, A., Marashi, F., & Houshfar, E. (2020). Environmental and economic assessment of sustainable municipal solid waste management strategies in Iran. *Sustainable cities and society*, 59, 102161.
36. Makwara, E. C., & Snodia, S. (2013). Confronting the reckless gambling with people's health and lives: Urban solid waste management in Zimbabwe. *European Journal of sustainable development*, 2(1), 67-67.
37. Malakahmad, A., Abualqumboz, M. S., Kutty, S. R. M., & Abunama, T. J. (2017). Assessment of carbon footprint emissions and environmental concerns of solid waste treatment and disposal techniques; case study of Malaysia. *Waste Management*, 70, 282-292.
38. Marshall, R. E., & Farahbakhsh, K. (2013). Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. *Waste Management*, 33(4), 988-1003.
39. Melosi, M. V. (1982). *Garbage in the cities: refuse, reform, and the environment, 1880-1980*. TEXAS A & M UNIV. PRESS, DRAWER C, COLLEGE STATION, TX 77843. 1982.
40. Menikpura, S. N. M., Sang-Arun, J., & Bengtsson, M. (2013). Integrated solid waste management: an approach for enhancing climate co-benefits through resource recovery. *Journal of Cleaner Production*, 58, 34-42.

41. Minelgaitè, A., & Liobikienè, G. (2019). Waste problem in European Union and its influence on waste management behaviours. *Science of The Total Environment*, 667, 86-93.
42. Mir, I. S., Cheema, P. P. S., & Singh, S. P. (2021). Implementation analysis of solid waste management in Ludhiana city of Punjab. *Environmental Challenges*, 2, 100023.
43. Mmereki, D., Baldwin, A., & Li, B. (2016). A comparative analysis of solid waste management in developed, developing and lesser developed countries. *Environmental Technology Reviews*, 5(1), 120-141.
44. Moya, D., Aldás, C., López, G., & Kaparaju, P. (2017). Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using Waste-To-Energy Technologies. *Energy Procedia*, 134, 286-295.
45. Mudzengerere, F. H., & Chigwenya, A. (2012). Waste management in Bulawayo City Council in Zimbabwe: In search of sustainable waste management in the city. *Journal of sustainable development in Africa*, 14(1), 228-244.
46. Nanda, S., & Berruti, F. (2021). Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(2), 1433-1456.
47. Nleya, M., Gunda, L., Chisadza, Z., & Manyuchi, M. (2016). Integrated Municipal Solid Waste Management System (IMSWMS).
48. Nordin, N. H., Kaida, N., Othman, N. A., Akhir, F. N. M., & Hara, H. (2020). Reducing Food Waste: Strategies for Household Waste Management to Minimize the Impact of Climate Change and Contribute to Malaysia's Sustainable Development.
49. Nwosu, A. O., & Chukwueloka, H. E. (2020). A Review of Solid Waste Management Strategies in Nigeria.
50. Obersteiner, G., Binner, E., Mostbauer, P., & Salhofer, S. (2007). Landfill modelling in LCA—a contribution based on empirical data. *Waste Management*, 27(8), S58-S74.
51. Olukanni, D. O., Pius-Imue, F. B., & Joseph, S. O. (2020). Public perception of solid waste management practices in Nigeria: Ogun State experience. *Recycling*, 5(2), 8.

52. Pardini, K., Rodrigues, J. J. P. C., Kozlov, S. A., Kumar, N., & Furtado, V. (2019). IoT-based solid waste management solutions: a survey. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 8(1), 5.
53. Patel, A., Divya, C., Patel, A., Katrodiya, Y., Jain, A., & Thakkar, S. (2021). Slu-brick—An innovative sustainable solution for solid waste management. *Materials Today: Proceedings*, 43, 1398-1403.
54. Pharino, C. (2017). Integrated Waste Management System Overview. In *Challenges for Sustainable Solid Waste Management* (pp. 1-13): Springer.
55. Puthillath, B., & Sasikumar, R. (2015). Integrated solid waste management score board-a tool to measure performance in municipal solid waste management. *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS)*, 4(5), 2.
56. Ravichandran, C., & Venkatesan, G. (2021). Toward sustainable solid waste management—challenges and opportunities. In *Handbook of Advanced Approaches Towards Pollution Prevention and Control* (pp. 67-103): Elsevier.
57. Rech, F. R., Fontana, R. C., Rosa, C. A., Camassola, M., Ayub, M. A. Z., & Dillon, A. J. P. (2019). Fermentation of hexoses and pentoses from sugarcane bagasse hydrolysates into ethanol by *Spathaspora hagerdaliae*. *Bioprocess and biosystems engineering*, 42(1), 83-92.
58. Reddy, K. R., Reddy, C. H. V., Nadagouda, M. N., Shetti, N. P., Jaesool, S., & Aminabhavi, T. M. (2019). Polymeric graphitic carbon nitride (g-C₃N₄)-based semiconducting nanostructured materials: synthesis methods, properties and photocatalytic applications. *Journal of Environmental Management*, 238, 25-40.
59. Reddy, N. L., Rao, V. N., Vijayakumar, M., Santhosh, R., Anandan, S., Karthik, M., Nadagouda, M. N. (2019). A review on frontiers in plasmonic nano-photocatalysts for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(21), 10453-10472.
60. Romano, G., Marciano, C., & Fiorelli, M. S. (2021). Key Drivers of Sustainable Urban Solid Waste Management 1. In *Best Practices in Urban Solid Waste Management*: Emerald Publishing Limited.
61. RoyChoudhury, A., Kumar, N. A., & Arutchelvan, V. (2019, 2019). Integrated waste management through symbiotic culture: A holistic approach.

62. Seadon, J. K. (2006). Integrated waste management–Looking beyond the solid waste horizon. *Waste Management*, 26(12), 1327-1336.
63. Seng, B., Fujiwara, T., & Spoann, V. (2018). Households' knowledge, attitudes, and practices toward solid waste management in suburbs of Phnom Penh, Cambodia. *Waste Management & Research*, 36(10), 993-1000.
64. Sharma, S., Basu, S., Shetti, N. P., Kamali, M., Walvekar, P., & Aminabhavi, T. M. (2020). Waste-to-energy nexus: a sustainable development. *Environmental Pollution*, 115501.
65. Srivastava, R. K., Shetti, N. P., Reddy, K. R., & Aminabhavi, T. M. (2020). Sustainable energy from waste organic matters via efficient microbial processes. *Science of The Total Environment*, 722, 137927.
66. Swale, V. (2020). Assessment of community involvement in solid waste management systems in local government authorities in Tanzania.
67. Tjakraatmadja, J. H., Ghazali, A., & Rahardyan, B. (2021). Increasing resident participation in waste management through intrinsic factors cultivation. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 7(2), 287-316.
68. Van de Klundert, A., Anschütz, J., & Scheinberg, A. (2001). Integrated sustainable waste management-the concept. Tools for decision-makers. Experiences from the urban waste expertise programme (1995-2001).
69. Van de Klundert, A., & Lardinois, I. (1995). Community and private (formal and informal) sector involvement in municipal solid waste management in developing countries. *WASTE Consultants, Advisers on Urban Environment and Development*, Nieuwehaven, 201, 2801.
70. Vanapalli, K. R., Sharma, H. B., Ranjan, V. P., Samal, B., Bhattacharya, J., Dubey, B. K., & Goel, S. (2021). Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment*, 750, 141514.
71. Wang, H., Liu, X., Wang, N., Zhang, K., Wang, F., Zhang, S., . . . Matsushita, M. (2020). Key factors influencing public awareness of household solid waste recycling in urban areas of China: A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 158, 104813.

72. Wilson, D. C. (2007). Development drivers for waste management. *Waste Management & Research*, 25(3), 198-207.
73. Wilson, D. C., Velis, C. A., & Rodic, L. (2013). Integrated sustainable waste management in developing countries.
74. Worrell, W. A., & Vesilind, P. A. (2011). *Solid waste engineering: Cengage Learning*.
75. Wu, Z., Zhang, Y., Chen, Q., & Wang, H. (2021). Attitude of Chinese public towards municipal solid waste sorting policy: A text mining study. *Science of The Total Environment*, 756, 142674.
76. Xiao, S., Dong, H., Geng, Y., Francisco, M.-J., Pan, H., & Wu, F. (2020). An overview of the municipal solid waste management modes and innovations in Shanghai, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(24), 29943-29953.
77. Xin, C., Zhang, T., Tsai, S.-B., Zhai, Y.-M., & Wang, J. (2020). An empirical study on greenhouse gas emission calculations under different municipal solid waste management strategies. *Applied Sciences*, 10(5), 1673.
78. Yadav, V., & Karmakar, S. (2020). Sustainable collection and transportation of municipal solid waste in urban centers. *Sustainable cities and society*, 53, 101937.
79. You, S., Sonne, C., & Ok, Y. S. (2020). COVID-19's unsustainable waste management. *Science*, 368(6498), 1438.
80. Zaman, A. U., & Lehmann, S. (2011). Challenges and opportunities in transforming a city into a “zero waste city”. *Challenges*, 2(4), 73-93.
81. Živković, D., Petrović, P., & Protić, M. (2021). Upravljanje otpadom od hrane kao deo cirkularne ekonomije: uticaj na ugostiteljstvo i hotelijerstvo Food waste management as a part of circular economy: impact on restaurant and hotel industry. *ECOLOGICA*, 28(102), 187-192.
82. Strategija upravljanja otpadom za period 2010–2019. godine, „Službeni glasnik RS“, broj 29 od 2. maja 2010.
83. USEPA, (1995) *Decision Maker's Guide to Solid Waste Management, Volume II*, (EPA 530-R-95- 023), Washington DC
84. USEPA, (2002). *Solid Waste Management: A Local Management with Global Impact*

85. Agencija za zaštitu životne sredine, Upravljanje otpadom u Republici Srbiji od 2011. do 2017. godine, Beograd, 2018.

86. Direktiva Saveta Evrope 2008/98/EC o otpadu i Direktiva 2018/851/EC o izmeni direktive 2008/ 98/EC o otpadu.

INTEGRATED WASTE MANAGEMENT IN A DISASTER RISK REDUCTION SYSTEM

Jovana Martinović

Scientific-Professional Society for Disaster Risk Management, Beograd;

jovanamartino@gmail.com

Abstract: In the Republic of Serbia and around the world, unscientific solid waste management remains a complex and serious environmental problem. The rise of urbanization, industrialization, and the exponential growth of the world's population are responsible for generating large amounts of waste materials, which are directly related to pollution of land, air, water resources and risks to the health and safety of citizens. Poor waste management greatly undermines the success of achieving sustainable development goals, emphasizing the importance and urgency of moving from traditional linear to integrated approaches to waste management. Starting from the fact that solid waste management is a global environmental issue that contains socio-economic, institutional, political, and environmental aspects, the aim of this study is to describe and analyze different integrated waste management strategies in developed and developing countries, with a special focus on perception and public participation in waste management activities, various challenges, and shortcomings faced by solid waste management and identification of innovative solutions in this area. Although it is difficult to find a good management system that would be applicable in all countries, the findings indicated the following characteristics of efficient and sustainable systems: adaptation to local needs, minimal use of toxic chemicals, conservation of resources, waste reduction, use of renewable sources, involvement of informal sector waste management (including collection, sorting and recovery of recycled waste), greater technological sophistication and innovation in waste management, continuous research and clear legislation. Bearing in mind that no system is efficient enough to solve the problem of waste due to excessive