

METODOLOGIJA ZA PREDVIĐANJE KOLIČINE GENERISANJA KOMUNALNOG OTPADA

METHODOLOGY FOR PREDICTION OF QUANTITY MUNICIPAL WASTE GENERATION

Danijela Petrović¹⁾, Nebojša Jovičić²⁾,

Rezime: Razvoj i primena pouzdanih i efikasnih modela za predviđanje proizvodnje komunalnog otpada od primarnog je značaja pri projektovanju i programiranju sistema upravljanja čvrstim otpadom. Glavni problem sa kojim se suočavaju politički stratezi u ovom sektoru je dilema kako predvideti količine i sastav komunalnog otpada koji će se generisati u bliskoj budućnosti, a sve u cilju izbora optimalnog modaliteta za tretman i odlaganje otpada. Zato je važno za menadžere upravljanja otpadom da dobiju precizne prognoze o količinama otpada koje se generišu. Postoje brojni matematički modeli, razvijeni u svetu, za predviđanje količine generisanja otpada. Konvencionalne metode prognoziranja generisanja otpada često koriste demografske i društveno-ekonomske faktore. Međutim, za detaljne analize stvaranja i upravljanja otpadom, problem je nedostatak uporednih definicija i statističkih podataka širom Evrope. Postojeće stanje u opštinama Srbije karakterišu nepouzdati i nepotpuni podaci o količinama i sastavu generisanja komunalnog otpada, pa za razvoj ovakvog matematičkog modela kod nas još uvek ne postoje potrebni podaci. Zato je predviđanje izvršeno na osnovu modela generisanja otpada razvijenog za zemlje EU. Koristeći postojeće podatke i funkcionalne zavisnosti za Evropsku Uniju, analogijom su izvedene veze na osnovu podataka za Grad Kragujevac.

Cljučne reči: Generisanje čvrstog komunalnog otpada, Prognoziranje, Model predviđanja.

Abstract: The development and implementation of reliable and efficient model for predicting the production of waste is of primary importance in the design and programming system of solid waste. The main problem faced by political strategists in this sector is a dilemma as to predict the amount and composition of municipal solid waste to be generated in the near future, in order to select the optimal modality for the treatment and disposal of waste. It is therefore important for managers of waste management to obtain accurate predictions of quantities of waste that are generated. There are numerous mathematical models developed in the world, to predict the amount of waste generated. Conventional methods of forecasting waste generation often use demographic and socio-economic factors. However, a detailed analysis of the creation and management of waste, the problem is the lack of comparable definitions and statistics across Europe. The existing situation in the municipalities of Serbia characterized by unreliable and incomplete information on the quantity and composition of municipal waste generation and the development of this mathematical model in this country still do not have the necessary data. Therefore, the prediction made on the basis of waste generation model developed for the countries of the EU. Using existing data and the functional dependence of the European Union, are derived by analogy based on the data connection to the city of Kragujevac.

Key words: solid waste generation, forecasting, model predictions.

1. UVOD

Čvrsti otpad predstavlja socijalno-ekološki problem i rezultat je ciklusa proizvodnje i potrošnje, jer se svi proizvedeni, komercijalizovani i upotrebljeni proizvodi na kraju konvertuju, barem delimično u otpad. Pošto je potrošnja nezaustavljiva i sve veća, stvaranje otpada i njegovo odlaganje postaje sve veći problem, koji ozbiljno pretili održivom razvoju društva danas. Analizom tokova materijala od trenutka izdavanja sirovina za proizvodnju roba, do njihovog vraćanja

u otpad, primećeno je da problem čvrstog otpada nastaje od trenutka izdavanja sirovina [1].

Ekonomski održivo i ekološki prihvatljivo odlaganje komunalnog čvrstog otpada (MSW) je glavni problem u mnogim industrijskim zemljama. Osnovni problem u sektoru upravljanja otpadom je kako predvideti količinu i sastav komunalnog čvrstog otpada, koji će verovatno biti generisan u bliskoj budućnosti, da bi se osmislili odgovarajući tretmani obrade ili strategije odlaganja [2].

Zbog velikih i rastućih količina MSW, generisanog svake godine u industrijskim

1) Danijela Petrović, student doktorskih studija, Mašinski fakultet Kragujevac, danijela.petrovic@ept.kg.ac.rs

2) Prof. Nebojša Jovičić, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janić 6, njovicic@kg.ac.rs

zemljama, povećava se zabrinutost oko ekonomske održivosti i ekološke prihvatljivosti trenutnih metodologija odlaganja otpada. Planiranje optimalne regionalne ili nacionalne strategije upravljanja otpadom zahteva pouzdan alat za predviđanje količine i sastava MSW, koji bi mogao da bude proizveden. Takav alat bi trebalo da omogući političkim stratezima u sektoru upravljanja otpadom, da izaberu i primene odgovarajuće tretmane obrade ili tehnike odlaganja otpada [2].

2. MODELI ZA PREDVIĐANJE GENERISANJA ČVRSTOG KOMUNALNOG OTPADA

Da bi se planirala strategija upravljanja komunalnim otpadom za dati region, neophodno je poznavanje količine i sastava otpada koji se u njemu generiše. Planiranje i projektovanje sistema upravljanja MSW zahteva precizne procene generisanja MSW, ali nedostatak kompletnih istorijskih podataka o količinama i sastavu komunalnog čvrstog otpada dovodi do situacije da se ne mogu izvršiti kratkoročna i dugoročna planiranja. Tradicionalne metode za predviđanje generisanja komunalnog otpada često koriste demografske i socio-ekonomske faktore izražene po stanovniku [3,4].

Za razvoj integrisanog plana upravljanja, neophodan je niz specifičnih podataka o otpadu. Da bi se odredili neophodni resursi za upravljanje otpadom i kapaciteta upravljanja, neophodno je izračunati sadašnju i buduću količinu generisanja otpada. Količina generisanja otpada po stanovniku je neophodna za predviđanje buduće količine generisanja i računanje trendova generisanja otpada u datim opštinama. Jednom razvijen model se može ekstrapolirati na ostale na ostale opštine sa sličnim socio-ekonomskim uslovima.

Prepoznavanjem važnosti pouzdanog alata za predviđanje karakteristika komunalnog otpada, različiti istraživači su pokušali da izrade model predviđanja ovih parametara i otkrili su da veze među parametrima variraju zavisno od zemlje, što je objašnjeno različitostima u ponašanju i stilu života [5]. Mada postoje modeli za predviđanje generisanja otpada u razvijenim zemljama [2], malo istraživača je radilo na razvoju modela za zemlje u tranziciji. Publikovani modeli se, uglavnom, nose na predviđanje generisanja ukupnih količina otpada na nivou država, tako da nisu evidentirani pristupi koji bi bili pogodni za razvoj planova integrisanog menadženta

upravljanja za opštine ili regione u zemljama u razvoju.

Različiti autori su pokazali da je količina generisanog otpada u zemlji proporcionalna njenom broju stanovnika i životnom standardu stanovnika. Drugi autori povezuju generisanje otpada sa prihodima stanovništva, ali se pokazano je da ovo nije jedini faktor uticaja na generisanje otpada. Među najuticajnijim socio-ekonomskim faktorima su broj stanovnika po domaćinstvu, kultura, obrazovanje i lični stavovi [5]. U literaturi je identifikovano 45 modela generisanja otpada, uključujući mnoge evropske gradove [6]. Podaci iz zemalja EU i US pokazuju vezu između potrošnje i generisanja otpada [2]. Studija za Centralnu i Istočnu Evropu integriše standardne socio-ekonomske parametre sa nekim ne-testiranim faktorima kao što su smrtnost odojčadi, životni vek i struktura života. Praćenje količina otpada je od ključne važnosti za planiranje životne sredine u ovim zemljama, zbog brzih promena ekonomskih uslova, nakon njihovog ulaska u EU [7].

Postoji velika raznolikost metodologija koje se koriste za određivanje količina i sastava otpada i svaka od njih ima svoje prednosti i nedostatke, pa je potrebno odabrati onaj model koji je najprimenljiviji za date uslove. Metodologija koja se ovde koristila je proistekla na osnovu sagledavanja i analize metodologija i iskustava u državama članicama EU. U literaturi se mogu naći podaci za Evropsku Uniju, kojima se hronološki prati količina i sastav generisanog komunalnog otpada [2]. Podaci za period 1980 do 1993 godine, povezani su i dovedeni u funkciju sa porastom broja stanovnika i društvenim bruto proizvodom. Koristeći postojeće publikovane podatke i funkcionalne zavisnosti za Evropsku Uniju, analogijom su izvedene veze na osnovu podataka za Grad Kragujevac.

Kao što je naglašeno, u ovom istraživanju, ključni parametri su bili broj stanovnika i društveni bruto proizvod kao pokazatelj životnog standarda u zajednici. Budući da su promene količine generisanog komunalnog otpada direktna posledica ljudskih aktivnosti, broj stanovnika je izabran kao prvi ključni parametar u procesu definisanja budućih količina otpada, odnosno, veći broj stanovnika proizvodi veću količinu otpada. Društveni bruto proizvod kao pokazatelj životnog standarda zajednice, drugi je ključni parametar koji se može dovesti u vezu sa stepenom generiranja komunalnog otpada. On pokazuje sposobnost populacije da troši robu i proizvode i na taj način proizvodi otpad. Društveni bruto proizvod je izabran kao opšte prihvaćeni parametar koji vrlo kvalitetno opisuje ekonomski prosperitet zajednice.

Navedeni model za predviđanje količine generisanja čvrstog komunalnog otpada koristi sledeće zavisnosti:

- Veza između količine generiranog otpada (MSW – Mt/god) i broja stanovnika (Pop - 10^6 stanovnika):

$$MSW = 0,295 \cdot Pop^{0,971}, \quad (1)$$

- Veza između količine generiranog otpada (MSW) i društvenog bruto proizvoda (GDP - 10^9 \$):

$$MSW = 0,0503 \cdot GDP^{0,8828}, \quad (2)$$

Kombinovanjem prethodnih relacija, formirana je funkcionalna zavisnost koja predviđa količinu proizvedenog komunalnog otpada na godišnjem nivou, uzimajući u obzir promene broja stanovnika i društvenog bruto proizvoda, tj:

$$MSW = 0,1218 \cdot GDP^{0,4414} \cdot Pop^{0,4855}, \quad (3)$$

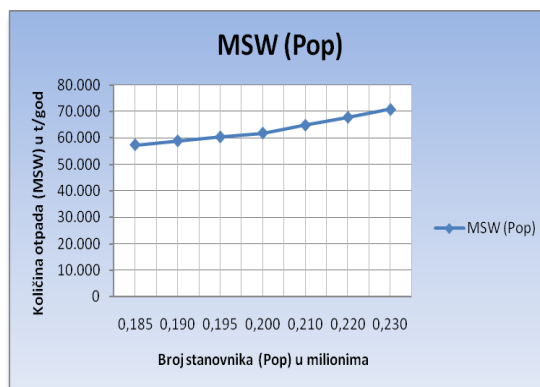
3. PROCENA GENERISANJA ČVRSTOG KOMUNALNOG OTPADA U GRADU KRAGUJEVC

GDP(10^9 \$) Pop=const.	MSW (Mt/god.)	MSW (t/god.)
1,15995	0,057340	57339,64
1,19048	0,058670	58669,70
1,22100	0,059996	59995,76
1,25153	0,061318	61317,95
1,28205	0,062636	62636,36
1,31258	0,063951	63951,09
1,34310	0,065262	65262,25

Koristeći relaciju (1) i podatak o broju stanovnika Grada Kragujevca, može se dobiti tabela 1, koja prikazuje promenu količine otpada u funkciji promene broja stanovnika.

Broj stanovnika (10^6)	MSW (Mt/god.)	MSW (t/god.)
0,185	0,0573120	57.312,03
0,190	0,0588155	58.815,50
0,195	0,0603178	60.317,82
0,200	0,0618190	61.819,02
0,210	0,0648182	64.818,20
0,220	0,0678132	67.813,23
0,230	0,0708043	70.804,32

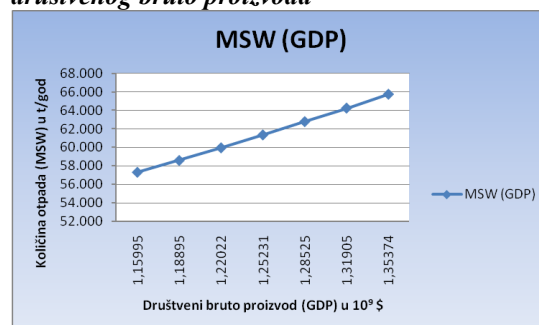
Tabela 1- Generisanje otpada zavisno od broja stanovnika



Slika 1- Količina generisanog otpada prema relaciji (1)

Relacija (2) povezuje količinu generisanog otpada i povećanje životnog standarda. U tabeli 2 je data varijacija društvenog bruto proizvoda Grada Kragujevca na osnovu broja stanovnika iz 2007. godine (Pop=185.000):

Tabela 2- Generisanje otpada zavisno od društvenog bruto proizvoda



Slika 2- Količina generisanog otpada prema relaciji (2)

Relacija (3) najkvalitetnije definiše predviđanje količine generisanog komunalnog otpada, jer

uzima u obzir istovremenu promenu broja stanovnika i životnog standarda.

Broj stanovnika (10 ⁶)	GDP ⁽²⁰⁰⁷⁾ (10 ⁹ \$) Pop=var.	MSW (t/god.)
0,185	1,15995	57319,53
0,190	1,19130	58754,06
0,195	1,22265	60185,83
0,200	1,25400	61614,92
0,210	1,31670	64465,34
0,220	1,37940	67305,84
0,230	1,44210	70136,92

Tabela 3- Generisanje otpada zavisno od broja stanovnika i društvenog bruto proizvoda (Pop=var.)

Broj stanovnika (10 ⁶)	GDP (10 ⁹ \$)	MSW (t/god)
------------------------------------	--------------------------	-------------

4. ZAKLJUČAK

Uspešno planiranje sistema upravljanja otpadom zavisi od preciznog predviđanja generisanja čvrstog otpada. Okolnosti predviđanja generisanja otpada u mnogim razvijenim zemljama se razlikuju od onih u razvijenim zemljama. Nedostatak podataka i analiza vezanih za komunalni otpad u mnogim razvijenim zemljama dovode do nedostataka potrebnih podataka za dugoročna planiranja.

Postoje brojni matematički modeli za predviđanje količine generisanja otpada, a konvencionalne metode za prognoziranje količine generisanog otpada često koriste demografske i društveno-ekonomske faktore. Postojeće stanje u opštinama Srbije karakterišu nepouzdana i nepotpuni podaci o količinama i sastavu generisanja komunalnog otpada, pa za razvoj ovakvog matematičkog modela kod nas još uvek ne postoje potrebni podaci. Zato je predviđanje izvršeno na osnovu modela generisanja otpada razvijenog za zemlje EU u kome je porast generisanja MSW doveden u funkciju sa porastom broja stanovnika i društvenim bruto proizvodom. Koristeći postojeće podatke i funkcionalne zavisnosti za Evropsku Uniju, analogijom su izvedene veze na osnovu podataka za Grad Kragujevac i prikazana je zavisnost količine generisanog komunalnog otpada u zavisnosti od broja stanovnika i životnog standarda.

LITERATURA

- [1] S. O. Benítez, G. Lozano-Olvera, R. A. Morelos, C. A. de Vega: „Mathematical

0,185	1,15995	57319,53
0,190	1,22265	59431,59
0,195	1,28700	61564,03
0,200	1,35300	63716,54
0,210	1,45530	67377,05
0,220	1,56090	71080,30
0,230	1,66980	74825,61

Tabela 4- Generisanje otpada zavisno od broja stanovnika i društvenog bruto proizvoda

Na ovaj način se mogu relativno jednostavno dobiti određene projekcije budućih količina kragujevačkog otpada, što bi trebalo da bude od velike pomoći gradskim stratezima. Dobijeni podaci će pomoći lokalnoj samoupravi da efikasnije vrše tretman i upravljanje ovom vrstom otpada.

- modeling to predict residential solid waste generation“, Waste Management 28 (2008) S7-S13
- [2] E.Daskalopoulos, O.Badr, S.D. Probert: „Municipal Solid Waste: a prediction methodology for the generation rate and composition in the European Union countries and United States of America“, Resources, Conservation and Recycling 24 (1998), 155–166
- [3] Beigl, P., Wassermann, G., Schneider, F. and Salhofer, S.: „Forecasting municipal solid waste generation in major european cities“, In: Pahl-Wostl C., S. Schmidt, and T. Jakeman. (Eds.), iEMSs 2004 International Congress: “Complexity and Integrated Resources Management”, Osnabrueck, Germany. <<http://www.iemss.org/iemss2004/pdf/regional/beigfore.pdf>>.
- [4] H.W.Chen, Ni-Bin Chang: „Prediction analysis of solid waste generation based on grey fuzzy dynamic modeling“, Resources, Conservation and Recycling 29 (2000), 1–18
- [5] Nilanthi J. G. J. Bandara, J. Patrick A. Hettiaratchi, S. C. Wirasinghe, Sumith Pilapiiya: „Relation of waste generation and composition to socio-economic factors: a case study“, Environ Monit Assess (2007) 135:31–39
- [6] P. Beigl, S. Lebersorger, S. Salhofer: „Modelling municipal solid waste generation: A review“, Waste Management 28 (2008) 200–214
- [7] M. Chowdhury: „Searching quality data for municipal solid waste planning“, Waste Management 29 (2009) 2240–224