
PREDNOSTI INSINERACIJE KOMUNALNOG ČVRSTOG OTPADA

Zorana Naunović

*Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd
znaunovic@grf.bg.ac.rs*

Rezime

Grad Beograd je u postupku uspostavljanja novog sistema upravljanja komunalnim otpadom kroz projekat javno-privatnog partnerstva. Projekat obuhvata remedijaciju postojeće nesanitarne deponije Vinča, izgradnju nove sanitarne deponije i postrojenja za tretman građevinskog otpada, kao i iskorišćenje otpada nakon izdvajanja reciklabilnih komponenti u energetske svrhe. Postrojenje za insineraciju otpada će imati kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije. U radu je prikazana procena uticaja korišćenja komunalnog otpada kao energenta umesto uglja i prirodnog gasa na emisije gasova staklene bašte. Procenjena je i količina električne i toplotne energije koja se dobija insineracijom otpada u odnosu na ukupnu potrošnju energije u Beogradu.

Ključne reči: insineracija, otpad kao energent, emisije gasova staklene bašte

THE BENEFITS OF MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION

Abstract

The City of Belgrade is in the process of establishing a new waste management system through a public-private partnership. The project includes the construction of a municipal waste to energy recovery system. The recovery system is designed as a combined heat and power municipal solid waste mass burn incinerator. The impact of utilizing residual municipal solid waste for the generation of heat and power in lieu of coal and natural gas was assessed in terms of the reduction of greenhouse gas emissions. The contributions of energy derived from the waste to energy facility to the total energy consumption in Belgrade were also evaluated.

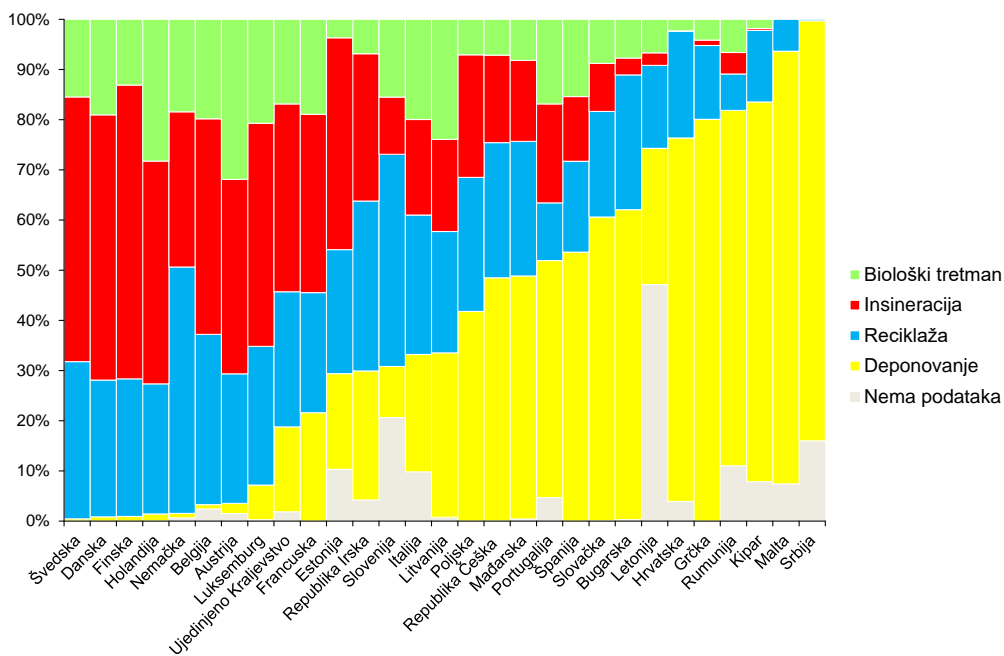
Key words: waste incineration, waste to energy, greenhouse gas emissions

UVOD

Otpad nastaje usled aktivnosti kao što su proizvodnja i potrošnja energije, hrane, dobara i različitih proizvoda. U Evropskoj uniji u 2016. godini najveći deo otpada poticao je od građenja i rušenja (36,4%), iz eksploatacije ruda i mineralnih sirovina (25,3%) i iz industrije (10,3%) **Error! Reference source not found.** Oko 8,5% otpada činio je otpad iz domaćinstva. Otpad iz domaćinstva pripada kategoriji komunalnog otpada, koji uključuje i drugi otpad koji zbog svoje prirode ili sastava sličan otpadu iz domaćinstva.

Komunalni otpad je specifičan usled raznovrsnog sastava na koji utiču ekonomska razvijenost, stepen industrijalizacije i potrošačke navike stanovništva. U nerazvijenim državama, najveći deo komunalnog otpada je organskog porekla, dok sa porastom životnog standarda u razvijenijim državama raste udeo papira, kartona, plastike, metala i stakla. Pravilo je da stanovnici razvijenih država stvaraju više komunalnog otpada nego stanovnici država u razvoju. U Evropskoj uniji se u proseku stvara oko 1,3 kg komunalnog otpada po stanovniku dnevno [2], a u Srbiji oko 0,85 kg komunalnog otpada po stanovniku dnevno [3].

Metode upravljanja komunalnim otpadom su reciklaža, insineracija, biološki tretman i deponovanje. Na slici 1 prikazana je zastupljenost pojedinih metoda upravljanja komunalnim otpadom u državama Evropske unije i u Srbiji u 2017. godini [2,3]. Uočljivo je da je deponovanje otpada najzastupljenija opcija upravljanja komunalnim otpadom u siromašnijim državama, dok se stepen reciklaže i insineracije otpada povećava sa povećanjem ekonomske razvijenosti država.



Slika 1. Zastupljenost metoda upravljanja komunalnim otpadom u Evropskoj uniji i Srbiji

Figure 1. Municipal waste management methods in the European Union and Serbia

Insineracija (spaljivanje) je termički tretman otpada. Insineracijom se zapremina otpada smanjuje za oko 90%, a masa za 70% do 80%. Energija koja se

dobija iz procesa insineracije može se iskoristiti za dobijanje toplotne i električne energije.

U postrojenjima za insineraciju otpada (insineratori) spaljuje se netretirani komunalni otpad ili komunalni otpad iz kojeg su već odvojene reciklabilne i biorazgradive frakcije. Postrojenje za insineraciju otpada čine različite konstrukcije peći i kotlova sa pratećom opremom potrebnom za prethodnu pripremu materijala radi obezbeđenja efikasnog sagorevanja otpada, kontrole emisija i energetskog iskorišćenja topline koja nastaje u procesu oksidacije otpada. U postrojenjima za insineraciju temperatura procesnih gasova mora da dostigne najmanje 850°C i vreme zadržavanja na toj temperaturi mora biti najmanje dve sekunde [4]. Ovim tehničkim kriterijumom obezbeđuje se efikasno sagorevanje otpada i sprečava formiranje organskih jedinjenja štetnih po zdravlje ljudi i životnu sredinu.

Pri sagorevanju otpada izdvajaju se toplotna energija, procesni gasovi i čvrsti ostatak. Energija koja se dobije sagorevanjem otpada može se koristiti direktno kao toplota za grejanje bojlerske vode (koja se koristi u sistemima daljinskog grejanja) ili indirektno za pokretanje gasne turbine i prevođenja u električnu energiju. Čvrste ostatke nakon sagorevanja otpada čine šljaka i pepeo iz ložišta. Iz ovih ostataka mogu se izdvojiti metali za reciklažu kao što su gvožđe, aluminijum i bakar. Šljaka i pepeo se mogu upotrebiti u građevinarstvu kod izgradnje nasipa i puteva ukoliko se analizom pokaže da neće doći do luženja zagađujućih materija koje mogu biti prisutne u šljaci i pepelu. Šljaka i pepeo se mogu odložiti i na deponije.

Procesni gasovi nastaju tokom sagorevanja (oksidacije) otpada i sastoje se uglavnom od suspendovanih čestica, CO₂, H₂O, SO₂, NO_x, HCl i HF. Procesni gasovi mogu sadržati i teške metale ukoliko su bili prisutni u tretiranom komunalnom otpadu. Za prečišćavanje procesnih gasova koristi se kombinacija više tipova uređaja u nizu da bi se zadovoljile granične vrednosti emisije zagađujućih materija propisane Uredbom o vrstama otpada za koje se vrši termički tretman, uslovima i kriterijumima za određivanje lokacije, tehničkim i tehnološkim uslovima za projektovanje, izgradnju, opremanje i rad postrojenja za termički tretman otpada, postupanju sa ostatkom nakon spaljivanja **Error! Reference source not found.**

Insineracija zahteva visoke investicione i eksploatacione troškove, koji se delom mogu nadoknaditi prodajom električne i toplotne energije. Veliki deo troškova nastaje usled potrebe za sofisticiranim sistemom za prečišćavanje otpadnih gasova da bi se zadovoljile granične vrednosti emisije zagađujućih materija propisane zakonskom regulativom. Insineracijom komunalnog otpada ostvaruju se značajni pozitivni efekti kao što su:

- smanjenje količine otpada koji se odlaže na deponije (produžava se radni vek deponija);
- proizvodnja toplotne i električne energije.

Proizvodnjom toplotne i električne energije iz komunalnog otpada može se smanjiti potreba za proizvodnjom energije iz uglja koja prati i smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte koji u tom procesu nastaju.

UPRAVLJANJE KOMUNALNIM OTPADOM U BEOGRADU

Komunalni otpad u Beogradu sakuplja sedam različitih komunalnih preduzeća, koja ga odlažu na pet nesanitarnih deponija. Najveće javno komunalno preduzeće „Gradska čistoća“ opslužuje jedanaest opština koje stvaraju oko 85% komunalnog otpada u Beogradu. Postojeća praksa upravljanja komunalnim otpadom uključuje ograničeno recikliranje i odlaganje otpada na nesanitarnoj deponiji „Vinča“ koja se nalazi na oko 15 km od Beograda, na desnoj obali Dunava. Deponija je u funkciji od 1978. godine i zauzima površinu od oko 70 ha, gde telo deponije ima površinu od 45 ha i visinu od 5 do 50 m. Na deponiji nema sakupljanja deponijskog gasa i procednih voda. Ispod tela deponije protiče Ošljanski potok, koji se uliva u Ošljansku baru **Error! Reference source not found.**

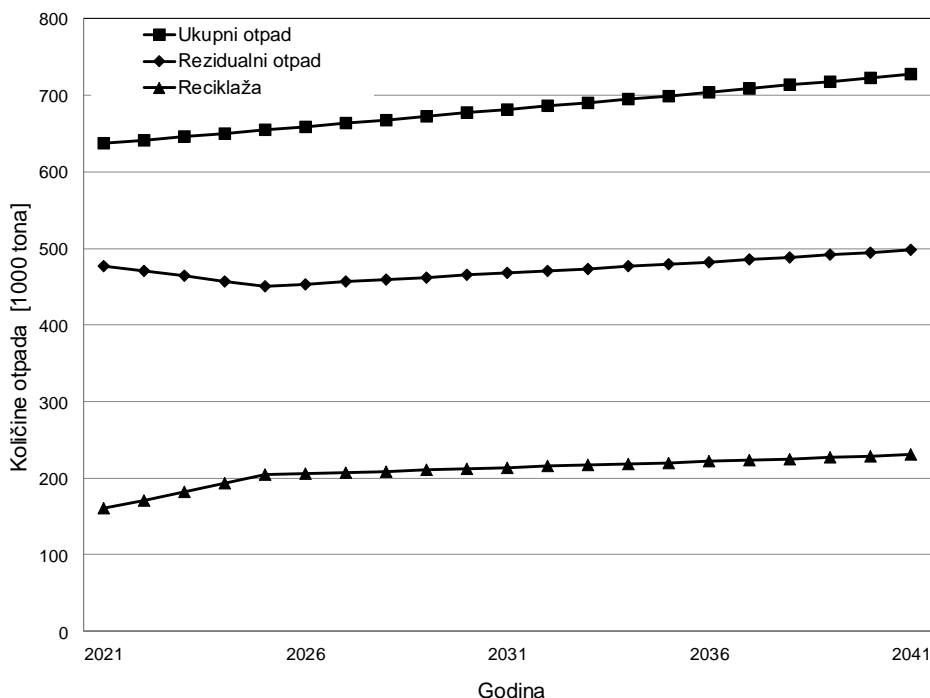
U Beogradu je u toku uspostavljanje novog sistema upravljanja komunalnim čvrstim otpadom kroz projekat javno-privatnog partnerstva. Projekat obuhvata remedijaciju nesanitarnih deponija Vinča, izgradnju nove sanitarne deponije i postrojenja za tretman građevinskog otpada, kao i iskorišćenje otpada nakon izdvajanja reciklabilnih komponenti u energetske svrhe **Error! Reference source not found.** **Error! Reference source not found.** Sakupljanje, reciklaža i transport otpada do novog postrojenja i deponije u Vinči ostaju u nadležnosti JKP „Gradska čistoća“.

Postrojenje za insineraciju otpada će imati kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije i kapacitet da tretira 340.000 tona komunalnog otpada godišnje. Tehnološki postupak koji je izabran je insineracija heterogenog otpada na pokretnoj rešetki. Ova tehnologija ima široku primenu u Evropi i pogodna je za tretman različitih vrsta otpada, i prema sastavu i kalorijskoj vrednosti **Error! Reference source not found.** **Error! Reference source not found.** Predviđeno je da će insinerator imati instalisani proizvodni kapacitet od 29 MW za električnu energiju i 56,5 MW za toplotnu energiju **Error! Reference source not found.**

KARAKTERIZACIJA OTPADA I PROIZVODNJA ENERGIJE

Planirano je da se kroz projekat javno-privatnog partnerstva tretira komunalni čvrsti otpad iz 13 opština koje generišu oko 90% ukupnog komunalnog otpada u Beogradu **Error! Reference source not found.** Oko 80% komunalnog otpada iz ovih opština je otpad iz domaćinstava dok je ostatak komercijalni otpad. Predviđen je rast stope reciklaže do 23% iz domaćinstava i 55% za komercijalni otpad, što će ukupnu stopu recikliranja komunalnog otpada podići na 32%. Na slici 2 prikazane su

predviđene količine ukupnog otpada, količine otpada koji se reciklira i količine rezidualnog otpada (otpad iz kog su prethodno izdvojene reciklabilne komponente) tokom rada postrojenja za insineraciju. Analizom predviđene količine otpada, koja je prikazana na slici 2, postrojenje za insineraciju moći će da tretira oko 66% rezidualnog otpada.



Slika 2. Predviđene količine komunalnog čvrstog otpada u Beogradu
Figure 2. Projected municipal solid waste quantities in Belgrade

Sastav komunalnog čvrstog otpada i donja toplotna moć komponenti otpada prikazani su u tabeli 1. Podaci o sastavu ukupnog otpada preuzeti su od Sekretarijata za zaštitu životne sredine grada Beograda **Error! Reference source not found.**, dok je procena sastava rezidualnog otpada zasnovana na stopama recikliranja komponenti ambalažnog otpada koji su propisani u evropskoj Direktivi EU 2018/852 o ambalaži i ambalažnom otpadu **Error! Reference source not found.** Direktiva je sastavni deo novog paketa mera cirkularne ekonomije Evropske unije. U okviru Direktive postavljeni su sledeći ciljevi za reciklažu komponenti ambalažnog otpada do 2025. godine: 75% za papir i karton; 50% za plastiku; 70% za staklo; 70% za obojene metale; 50% za aluminijum i 25% za drvo. Za izračunavanje toplotne vrednosti rezidualnog čvrstog komunalnog otpada, pretpostavka je da će navedeni ciljevi za reciklažu biti ispunjeni tokom rada insineratora. Vrednosti za donju toplotnu moć pojedinih komponenti otpada preuzete su iz literature **Error! Reference source not**

found.-Error! Reference source not found.. Izračunato je da su donje toplotne moći ukupnog i rezidualnog otpada $10,6 \text{ MJ kg}^{-1}$ i $8,7 \text{ MJ kg}^{-1}$.

Tabela 1. Sastav komunalnog čvrstog otpada i donja toplotna moć komponenti otpada u Beogradu

Table 1. Municipal solid waste composition and lower heating values in Belgrade

Frakcija [%]	Ukupni otpad	Rezidualni otpad	Donja toplotna moć vlažne frakcije [MJ kg^{-1}]
Prehrambeni otpad	26,3	38,8	3,8
Papir i karton	22,2	8,0	12,2
Plastika	13,9	10,0	35,3
Tekstil	3,9	5,6	18,5
Pelene	4,0	5,8	11,1
Koža	1,1	1,6	22,9
Baštenski zeleni otpad	6,7	9,6	5,9
Drvo	1,1	1,2	15,6
Staklo	5,5	2,4	0
Metali	3,6	2,0	0
Inertan otpad	11,2	16,1	0
Opasni otpad	0,5	0	
Ukupno	100	100	

Projektovana nominalna električna snaga insineratora iznosi 29 MW i ona se ostvaruje pri letnjem kondenzacionom režimu rada. U slučaju kogeneracije (zimski toplifikacioni režim rada), proizvodni kapacitet insineratora je 20,5 MW električne energije i 56,5 MW toplotne energije **Error! Reference source not found..** Insinerator će godišnje generisati oko 192 GWh električne energije godišnje i 175 GWh toplotne energije **Error! Reference source not found..**

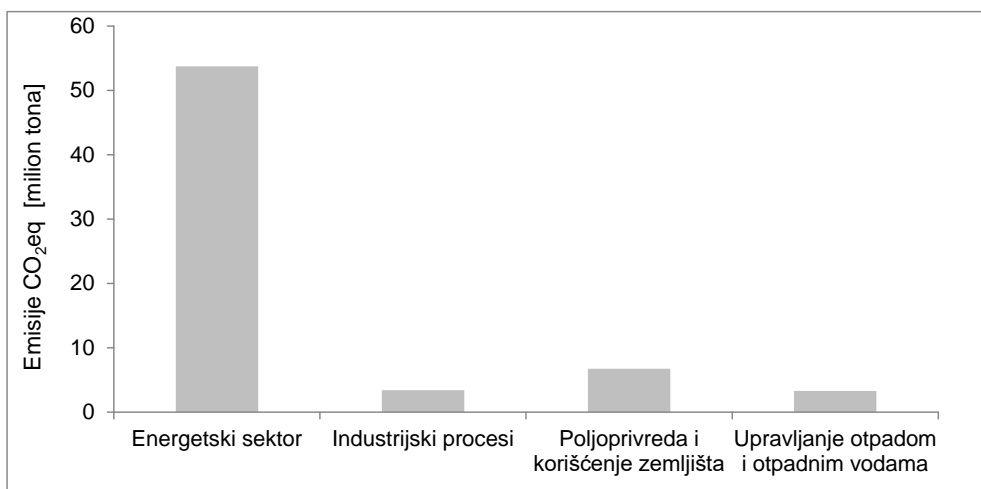
Potrošnja električne energije u domaćinstvima u Beogradu tokom 2019. godine iznosila je 3.607 GWh **Error! Reference source not found..** Insineracijom komunalnog otpada obezbediće se oko 5% od potražnje električne energije u domaćinstvima Beograda. Procenjeno je da je u Beogradu u 2018. godini živelo 1,7 miliona stanovnika **Error! Reference source not found..** Prosečan broj članova domaćinstava u Beogradu je, prema popisu stanovništva iz 2011. godine, bio 2,7 **Error! Reference source not found..** Prema ovim podacima, insineracijom komunalnog otpada moći će da se obezbedi električna energija za oko 33.500 domaćinstava.

Potrošnja toplotne energije u 314.544 stanova koji su bili priključeni na sistem daljinskog grejanja tokom grejne sezone 2018/2019 u Beogradu iznosila je 2.163 GWh **Error! Reference source not found..** Insinerator sa nominalnim kapacitetom sagorevanja od 340.000 tona komunalnog otpada godišnje proizvodi oko 175 GWh

toplotne energije, što je 8% ukupne toplotne energije isporučene stanovima tokom grejne sezone 2018/2019 u Beogradu ili dovoljno toplotne energije za grejanje oko 25.400 stanova.

EMISIJE GASOVA STAKLENE BAŠTE

Ukupne emisije gasova staklene bašte u Srbiji u 2014. godini iznosile su 67,1 miliona tona CO₂eq **Error! Reference source not found.** Najveći deo emisija gasova staklene bašte potiče iz energetskeg sektora u iznosu od oko 80% ukupnih emisija **Error! Reference source not found.** Slede emisije iz poljoprivrede i korišćenja zemljišta i industrijskih procesa. Oko 5% od ukupnih emisija gasova staklene bašte potiče od upravljanja čvrstim otpadom i otpadnim vodama, što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Emisije gasova staklene bašte u Republici Srbiji u 2014. godini
Figure 3. Greenhouse gas emissions in the Republic of Serbia in 2014

Prema metodologiji Međuvladinog panela o klimatskim promenama, proračun količine emitovanih gasova staklene bašte koji nastaju usled insineracije otpada vrši se na osnovu sastava otpada, tj. procentualnog prisustva komponenti otpada koje su nastale upotrebom neobnovljivih resursa (plastika, tekstil, guma, pelene) i sadržaja suve materije u tim komponentama otpada **Error! Reference source not found.**

Usled nedostatka merenja sadržaja suve materije, odnosno udela vlage u različitim frakcijama otpada u Beogradu, preuzeti su izmereni podaci za komunalni otpad u Novom Sadu **Error! Reference source not found.** Izračunato je da faktori emisije gasova staklene bašte za insineraciju ukupnog otpada i rezidualnog otpada (tabela 1) iznose 296 i 228 kg CO₂eq po toni otpada. Za reprezentativnu vrednost tokom operativnog perioda insineratora uzeta je srednja vrednost faktora emisije

gasova staklene bašte za insineraciju otpada od 262 kg CO₂eq po toni otpada. Godišnja vrednost emisija gasova staklene bašte nastalih insineracijom otpada iznosi 89.029 tona CO₂eq.

Izbegnute emisije gasova staklene bašte usled delimične zamene fosilnih goriva koja se koriste za generisanje toplotne i električne energije u Beogradu kvantifikovane su na osnovu faktora emisije gasova staklene bašte za termoelektrane koje koriste lignit kao pogonsko gorivo i za sisteme daljinskog grejanja na bazi prirodnog gasa od 1,7 kg CO₂eq po kWh i 0,26 kg CO₂eq po kWh, redom **Error! Reference source not found.** S obzirom da insinerator može godišnje da proizvede 192 GWh električne energije i 175 GWh toplotne energije **Error! Reference source not found.**, neto izbegnute emisije gasova staklene bašte usled upotrebe komunalnog otpada kao energenta umesto uglja i prirodnog gasa iznose 0,28 miliona tona CO₂eq godišnje.

ZAKLJUČAK

Analizom potrošnje energije u Beogradu i potencijala generisanja električne i toplotne energije insineracijom otpada, izračunato je da bi beogradski insinerator mogao da obezbedi oko 5% od potražnje električne energije u domaćinstvima i oko 8% od potražnje toplotne energije u stanovima priključenim na sistem daljinskog grejanja. Upotreba komunalnog čvrstog otpada umesto uglja i prirodnog gasa smanjuje emisije gasova staklene bašte iz energetskog sektora i povećava udeo obnovljivih izvora u ukupnoj proizvodnji energije.

LITERATURA

1. Evropska komisija (European Commission), Waste statistics (2019) Dostupno na: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics
2. Evropska komisija (European Commission), Municipal waste statistics (2019) Dostupno na: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics
3. Agencija za zaštitu životne sredine, Upravljanje otpadom u Republici Srbiji od 2011. do 2018. godine, (2019)
4. Službeni glasnik Republike Srbije br. 102/10 i 50/12, Uredba o vrstama otpada za koje se vrši termički tretman, uslovima i kriterijumima za određivanje lokacije, tehničkim i tehnološkim uslovima za projektovanje, izgradnju, opremanje i rad postrojenja za termički tretman otpada, postupanju sa ostatkom nakon spaljivanja (2010, 2012)
5. Beo Čista Energija, Studija o proceni uticaja na životnu sredinu projekta: Postrojenje za energetska iskorišćenje komunalnog otpada i deponijskog gasa „Vinča“ u Beogradu (2019)
6. Grad Beograd, Gradska uprava - Sekretarijat za zaštitu životne sredine, Prateća dokumentacija uz poziv za podnošenje kvalifikacija za projekat JPP grada Beograda za pružanje usluga tretmana i odlaganja komunalnog otpada (2015)

-
7. Grad Beograd, Gradska uprava - Sekretarijat za zaštitu životne sredine, Konkursna dokumentacija za fazu dijaloga za projekat JPP grada Beograda za pružanje usluga tretmana i odlaganja komunalnog otpada (2016)
 8. SUEZ, The city of Belgrade chooses SUEZ and ITOCHU for a 25-year waste-to-energy project (2017) Dostupno na: <https://www.suez.com/en/News/Press-Releases/The-city-of-Belgrade-chooses-SUEZ-and-ITOCHE>
 9. Neuwahl, F., Cusano, G., Gómez Benavides, J., Holbrook, S. and Roudier, S., Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control), EUR 29971 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg (2019)
 10. L. Lombardi, E. Carnevale, A. Corti, A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste, *Waste Management*, 37, 26-44 (2015)
 11. Official Journal of the European Union L 150/141, Directive EU 2018/852 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 Amending Directive 94/62/EC on Packaging and Packaging Waste (2018)
 12. C. Riber, C. Petersen, TH Christensen, Chemical composition of material fractions in Danish household waste, *Waste Management*, 29(4) (2009)
 13. C.J. Athanasiou, D.A. Tsalkidis, E. Kalogirou, E.A. Voudrias, Feasibility analysis of municipal solid waste mass burning in the Region of East Macedonia–Thrace in Greece, *Waste Management Research*, 33(6) (2015)
 14. D. Komilis, A. Evangelou, G. Giannakis, C. Lymperis, Revisiting the elemental composition and the calorific value of the organic fraction of municipal solid wastes, *Waste Management*, 32(3) (2012)
 15. Grad Beograd, Sekretarijat za upravu – sektor statistike, Statistički godišnjak Beograda 2018 (2019)
 16. Ministarstvo zaštite životne sredine, Drugi izveštaj Republike Srbije prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih nacija o promeni klime (2017)
 17. H. S. Buendia, L. Miwa, K. Ngara T., K. Tanabe, Intergovernmental Panel on Climate Change guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan (2006)
 18. B. Batinic, N. Stanisavljevic, D. Ubavin, G. Vujic, Determining moisture content in different fractions of MSW - Case study of Novi Sad, Proceeding of the International Solid Waste Association World Congress, Vienna, Austria (2013)
 19. T. Fruergaard, T. Ekvall, T. Astrup, Energy use and recovery in waste management and implications for accounting of greenhouse gases and global warming contributions, *Waste Management & Research* 27: 724-737 (2009)