

Energetski potencijal miješanog komunalnog otpada

Čorak, Valentina

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:898511>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-22**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

Valentina Čorak

ENERGETSKI POTENCIJAL MIJEŠANOG KOMUNALNOG OTPADA

DIPLOMSKI RAD

Voditelj rada: prof.dr.sc Igor Sutlović

Članovi ispitnog povjerenstva: prof.dr.sc. Veljko Filipan,
izv.prof.dr.sc. Vladimir Dananić

Zagreb, rujan 2017.

Zahvaljujem se svom mentoru, prof.dr.sc Igoru Sutloviću, na svoj pomoći, te na razumijevanju i strpljenju pri izradi ovog rada

SAŽETAK

Otpad nastaje kao posljedica svih ljudskih aktivnosti, a njegovo djelovanje može uzrokovati emisije u vode, zrak i tlo, koje mogu štetno utjecati na zdravlje ljudi i okoliš. Koliki će taj utjecaj biti, ovisi o količini i svojstvima otpada te načinu na koji se njime gospodari. Prema redu prvenstva gospodarenja otpadom, prioritet je sprečavanje nastanka otpada, potom slijedi priprema za ponovnu uporabu, zatim recikliranje, dok je postupak energetske oporabe otpada i odlaganje otpada, najmanje poželjan postupak gospodarenja otpadom.

Miješani komunalni otpad je otpad iz kućanstva i otpad iz trgovina, industrije i iz ustanova koji je po svojstvima i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, a iz kojeg posebnim postupkom nisu izdvojeni pojedini materijali (npr.papir, staklo i dr.). Izdvajanje iskoristivih komponenti u Republici Hrvatskoj je na razini od cca 15%, što znači da veći dio komunalnog otpada, od cca 1.700.000 tona/godišnje, završava na odlagalištima i da se ne poštuje red prvenstva gospodarenja komunalnim otpadom.

U ovom radu će se jednostavnim načinom prikazati energetski potencijal miješanog komunalnog otpada na primjeru dostupnih podataka u Republici Hrvatskoj, te iznijeti prednosti zbrinjavanja otpada njegovim spaljivanjem nasprem odlaganja na odlagalištima.

KLJUČNE RIJEČI: *miješani komunalni otpad, energetski potencijal, spaljivanje*

SUMMARY

Waste is the result of all human activities, and its action can cause emissions to water, air and soil, which can adversely affect human health and the environment. What will its impact be, depends on the amount and characteristics of the waste and the way in which it operates. According to the priority of waste management, priority is to prevent waste, followed by reuse preparation, then recycling, while the process of energy recovery and waste disposal is the least desirable waste management process.

Mixed municipal waste is waste from households and waste from commerce, industry and institutions that is similar in nature and composition to household waste, and which are not separated by certain materials (eg paper, glass, etc.). The share of usable components in the Republic of Croatia is about 15%, which means that most of the municipal waste end on landfills, which is about 1,700,000 tons per year and that the priority of municipal waste management is not respected.

In this paper, the energy potential of municipal waste can be illustrated in a simple way on the example of available data in the Republic of Croatia, and the advantages of waste disposal by burning it to disposal at landfills.

KEY WORDS: *municipal waste, energy potential, incineration*

SADRŽAJ

| | |
|---|-----------|
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. OTPAD | 2 |
| 1.2. GOSPODARENJE OTPADOM | 4 |
| 2. KOMUNALNI OTPAD | 7 |
| 2.1. <i>KOLIČINA I SASTAV KOMUNALNOG OTPADA</i> | 7 |
| 2.1.1. <i>Fizikalna svojstva komunalnog otpada</i> | 14 |
| 2.1.2. <i>Kemijska i energetska svojstva komunalnog otpada</i> | 17 |
| 2.1.3. <i>Biološka svojstva komunalnog otpada</i> | 20 |
| 2.2. SPALJIVANJE (IZGARANJE) OTPADA | 21 |
| 2.2.1. <i>Postrojenje za spaljivanje otpada</i> | 22 |
| 2.3. GOSPODARENJE MIJEŠANIM KOMUNALNIM OTPADOM U EUROPI | 26 |
| 2.4. GOSPODARENJE MIJEŠANIM KOMUNALNIM OTPADOM U REPUBLICI HRVATSKOJ | 34 |
| 3. RAČUNSKI DIO | 37 |
| 3.1. <i>Energetski potencijal miješanog komunalnog otpada Osječko-baranjske županije</i> | 38 |
| 3.2. <i>Energetski potencijal miješanog komunalnog otpada Zadarske županije</i> | 40 |
| 3.3. <i>Energetski potencijal miješanog komunalnog otpada Dubrovačko-neretvanske županije</i> | 41 |
| 3.4. <i>Energetski potencijal miješanog komunalnog otpada Grada Zagreba</i> | 43 |
| 4. ZAKLJUČAK | 46 |
| 5. LITERATURA | 48 |
| ŽIVOTOPIS | 52 |

1. UVOD

Upravljanje otpadom i čista proizvodnja jedni su od krajnjih ciljeva ekoizdrživosti, te trendovi koji se ubrzano razvijaju u svijetu. Prestalo je razdoblje gledanja na otpad kao smeća i započelo razdoblje gledanja na otpad kao sirovinu koja, uz pravilan način korištenja, pruža raznorazne mogućnosti uporabe. Michael E. Webber, ko-direktor Inkubatora za čistu energiju i izvanredni profesor strojarstva na Sveučilištu Texas u Austinu je izjavio: „Pelene će gotovo sigurno biti zanimljiv arheološki pronalazak jednog dana, no danas mogu poslužiti kao izvrsno gorivo. Što dovodi do većeg pitanja, koliko se još nerekicilirane plastike moglo pretvoriti u gorivo, a umjesto toga su potraćena na odlagalištima.“¹

Gospodarenje otpadom jedno je od ključnih područja cirkularne ekonomije koje uključuje proizvodnju električne i toplinske energije iz otpada. U EU se u 450 postrojenja za energetske oporabu otpada godišnje obradi oko 78 milijuna tona otpada. Ta količina otpada može energetske zamijeniti 19 posto plina kojeg je 2012. iz Rusije uvezla EU², ovo je samo jedan od primjera mogućnosti koje pruža otpad. U Hrvatskoj je u 2012. godini bilo proizvedeno 1,670.000 tona ili otprilike 370 kg komunalnog otpada po stanovniku godišnje dok je europski prosjek 500 kg otpada po osobi godišnje³, iako se u Hrvatskoj proizvodi manje otpada, problem ne predstavlja njegova količina već način njegova zbrinjavanja. Naime, na hrvatskim odlagalištima trenutno završava više od 90 % komunalnog otpada dok se u Europi prosječno odlaže svega 37% komunalnog otpada, a u najnaprednijim zemljama poput Austrije i Švedske od 2 do 3%.⁴ Koliki ekonomski potencijal predstavlja otpad govori i procjena tržišnog analitičara Grand View Research, koji navodi da će globalno tržište koje pretvara otpad u energiju doseći vrijednost od 37.64 milijuna dolara do 2020. godine.⁵

Bit kvalitetnog gospodarenja otpadom nije se vezati samo na jedan način njegove uporabe, već naći ravnotežu između više mogućnosti (sprječavanje samog nastanka otpada, recikliranje, energetska uporaba) kako bi na samom kraju procesa postojao što manji postotak volumena otpada koji je potrebno odlagati. Otpad će

uvijek postojati i nastajati, te samim time predstavljati izazov koji će, ovisno o proizvodnji i potrošnji, mijenjati svoj oblik. U Hrvatskoj gospodarenje otpadom je još u povojima, te je zato to trend koji će u budućnosti predstavljati široku lepezu mogućnosti profesionalnog razvoja i postignuća.

1.1. OTPAD

Otpad je svaka tvar ili predmet koji posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Otpadom se smatra i svaki predmet i tvar čije su sakupljanje, prijevoz i obrada nužni u svrhu zaštite javnog interesa.⁶ Otpad nastaje kao posljedica svih ljudskih aktivnosti, a njegovo djelovanje može uzrokovati emisije u vode, zrak i tlo, koje pak mogu štetno utjecati na zdravlje ljudi i okoliš. Koliki će taj utjecaj biti, ovisi o količini i svojstvima otpada te načinu na koji se njime gospodari.⁷

Doktor Daniel Knapp sa Sveučilišta Berkley u Kaliforniji smatra da se otpad može razdijeliti na frakcije koje se mogu ponovno upotrijebiti (reciklirati). Dijeli ih na: ponovno upotrebivi otpad, papir, biljne ostatke, ostatke hrane, metale, drvo staklo, zemlju, polimere, tekstil i kemikalije.⁸

S obzirom na mjesto nastanka razlikujemo komunalni i proizvodni otpad. Komunalni otpad nastaje u kućanstvima, dok proizvodni nastaje u proizvodnom procesu u industriji, obrtu i drugim procesima, osim ostatata iz proizvodnog procesa koji se koriste u proizvodnom procesu istoga proizvođača.

Prema utjecaju na zdravlje ljudi i okoliš, otpad se dijeli na opasni, neopasni i inertni.⁹

- *Opasni otpad* je eksplozivan, reaktivan, zapaljiv, nadražljiv, mutagen, kancerogen, teratogen, toksičan, infektivan, ekotoksičan, oksidirajući i nagrizajući te uzrokuje oslobađanje otrovnih plinova u kemijskim reakcijama ili tijekom biološke razgradnje. Opasan je za život i zdravlje ljudi, okoliš i/ili imovinu. Potječe uglavnom iz industrije, poljoprivrede, bolnica, laboratorija i instituta.
- *Neopasni otpad* je otpad koji ne posjeduje niti jedno svojstvo opasnog otpada. Većina komunalnog otpada je neopasna.

- *Inertni otpad* je otpad koji ne podliježe značajnim fizikalnim, kemijskim ni biološkim promjenama. Netopiv je u vodi, ne gori, nije biorazgradiv. Građevinski otpad smatra se inertnim.

Evidentirano je kako je u 2014. godini ukupna količina proizvedenog otpada u Republici Hrvatskoj (komunalnog i proizvodnog) iznosila oko 3,7 milijuna tona što je za 10,5% više u odnosu na 2012. godinu. U ukupnoj količini otpada 97% čini neopasni otpad, dok preostalih 3% čini opasni otpad. Obzirom na porijeklo otpada, najveći udio nastaje u kućanstvima (31%), čime su obuhvaćene različite vrste otpada koje proizvode građani, od komunalnog otpada do drugih vrsta otpada kao što su npr. otpadna vozila. Ako se promatraju gospodarske djelatnosti, najveći proizvođači otpada su sektor uslužnih djelatnosti i sektor građevinarstva, svaki s udjelom od 17%. Zatim slijede sektor prerađivačke industrije s udjelom od 12% i djelatnost sakupljanja, obrade, zbrinjavanja otpada i oporabe materijala s udjelom od 11%. Preostale gospodarske djelatnosti u ukupno proizvedenim količinama otpada sudjeluju s udjelom od 12%, ali treba napomenuti da su podatci o evidentiranim količinama za otpad iz pojedinih sektora još uvijek nezadovoljavajuće kvalitete (građevinarstvo, poljoprivreda i sl.) Također, dio ostataka, npr. iz poljoprivrede, šumarstva ili od vađenja mineralnih sirovina, ne smatra se otpadom i stoga ne prijavljuje. Uz određene vrste komunalnog otpada (npr. miješani komunalni otpad), u ukupno proizvedenim količinama otpada najzastupljenije vrste čine otpadni metali (13%), zemlja (9%), mineralni građevinski otpad (9%), životinjske fekalije, urin i gnojivo (7%) te otpadni papir (6%).¹⁰

1.2. GOSPODARENJE OTPADOM

Gospodarenje otpadom temelji se na uvažavanju načela zaštite okoliša propisanih zakonom kojim se uređuje zaštita okoliša i pravnom stečevinom Europske unije, načelima međunarodnog prava zaštite okoliša te znanstvenih spoznaja, najbolje svjetske prakse i pravila struke, a osobito na sljedećim načelima¹¹:

1. "*načelo onečišćivač plaća*" – proizvođač otpada, prethodni posjednik otpada, odnosno posjednik otpada snosi troškove mjera gospodarenja otpadom, te je financijski odgovoran za provedbu sanacijskih mjera zbog štete koju je prouzročio ili bi je mogao prouzročiti otpad
2. "*načelo blizine*" – obrada otpada mora se obavljati u najbližoj odgovarajućoj građevini ili uređaju u odnosu na mjesto nastanka otpada, uzimajući u obzir gospodarsku učinkovitost i prihvatljivost za okoliš
3. "*načelo samodostatnosti*" – gospodarenje otpadom će se obavljati na samodostatan način omogućavajući neovisno ostvarivanje propisanih ciljeva na razini države, a uzimajući pri tom u obzir zemljopisne okolnosti ili potrebu za posebnim građevinama za posebne kategorije otpada
4. "*načelo sljedivosti*" – utvrđivanje porijekla otpada s obzirom na proizvod, ambalažu i proizvođača tog proizvoda kao i posjed tog otpada uključujući i obradu

Proizvođač proizvoda od kojeg nastaje otpad, odnosno proizvođač otpada snosi troškove gospodarenja tim otpadom.

U svrhu sprječavanja nastanka otpada te primjene propisa i politike gospodarenja otpadom primjenjuje se red prvenstva gospodarenja otpadom, i to¹¹:

1. sprječavanje nastanka otpada (mjere kojima se smanjuju količine otpada uključujući ponovnu uporabu proizvoda ili produženje životnog vijeka proizvoda),

2. priprema za ponovnu uporabu (postupci uporabe kojima se proizvodi ili dijelovi proizvoda koji su postali otpad provjerom, čišćenjem ili popravkom, pripremaju za ponovnu uporabu bez dodatne prethodne obrade),
3. recikliranje (svaki postupak uporabe, kojim se otpadni materijali prerađuju u proizvode, materijale ili tvari za izvornu ili drugu svrhu, osim uporabe otpada u energetske svrhe, odnosno prerade u materijal koji se koristi kao gorivo ili materijal za zatrpavanje),
4. drugi postupci uporabe npr. energetska uporaba i
5. zbrinjavanje otpada.

Prema redu prvenstva gospodarenja otpadom prioritet je sprečavanje nastanka otpada, potom slijedi priprema za ponovnu uporabu, zatim recikliranje, dok je postupak energetske uporabe otpada i odlaganje otpada, najmanje poželjan postupak gospodarenja otpadom.

Gospodarenje otpadom se provodi na način koji ne dovodi u opasnost ljudsko zdravlje i koji ne dovodi do štetnih utjecaja na okoliš, a osobito kako bi se izbjeglo sljedeće¹¹:

1. rizik od onečišćenja mora, voda, tla i zraka te ugrožavanja biološke raznolikosti
2. pojava neugode uzorkovane bukom i/ili mirisom
3. štetan utjecaj na područja kulturno-povijesnih, estetskih i prirodnih vrijednosti te drugih vrijednosti koje su od posebnog interesa
4. nastajanje eksplozije ili požara

Ukratko, gospodarenje otpadom treba biti ekonomski i ekološki razumno upravljanje otpadom tijekom njegova nastanka, skupljanja, transporta, iskorištavanja i obrade do konačna odgađanja, a sve u skladu sa pripadajućom i važećom zakonskom regulativom.



Slika 1. Prikaz prvenstva gospodarenja otpadom¹²

2. KOMUNALNI OTPAD

Zakon o održivom gospodarenju otpadom, definira komunalni otpad kao otpad nastao u kućanstvu i otpad koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstava, a ne uključuje proizvodni otpad i otpad iz poljoprivrede i šumarstva.

Miješani komunalni otpad je otpad iz kućanstva i otpad iz trgovina, industrije i iz ustanova koji je po svojstvima i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, a iz kojeg posebnim postupkom nisu izdvojeni pojedini materijali (npr. papir, staklo i dr.).⁶

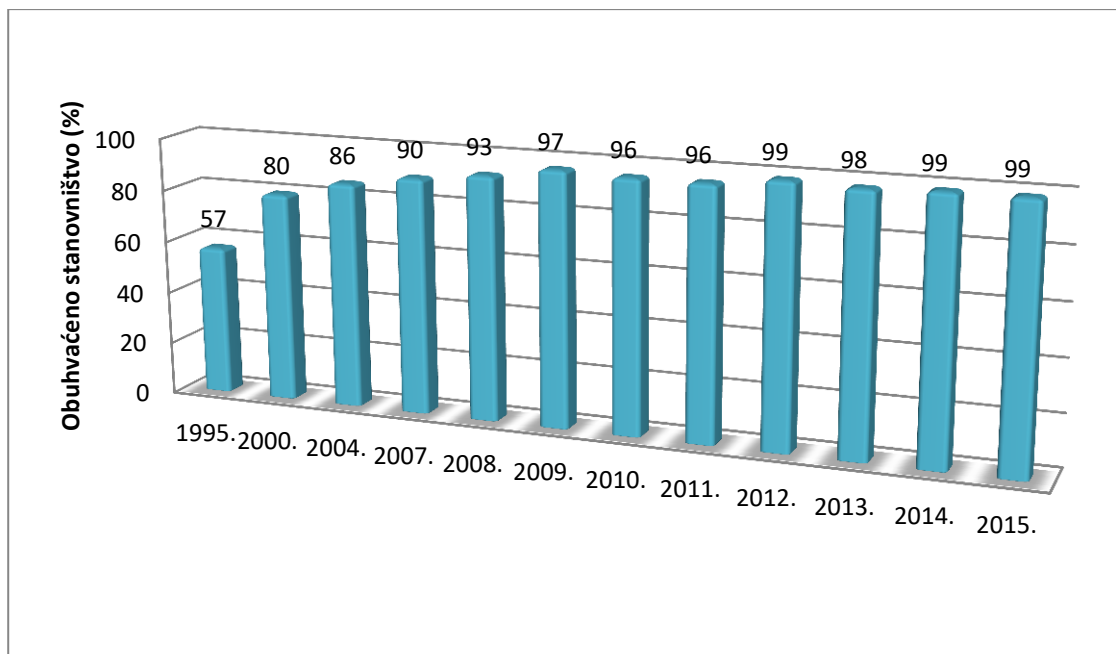
Javna usluga prikupljanja komunalnog otpada u 2015. godini obuhvaćala je 99% stanovništva RH, a nije bila dostupna u jednoj općini. Dugogodišnji rast količina proizvedenog komunalnog otpada u RH zaustavljen je 2008. godine, nakon čega do 2010. godine slijedi smanjenje prijavljenih količina, što se može pripisati gospodarskoj krizi. Od 2010. godine nadalje količine uglavnom stagniraju, s izuzetkom 2013. godine, kada se uslijed sanacije divljih odlagališta bilježe ipak nešto veće količine proizvedenog komunalnog otpada. Od 2011. godine nadalje u ukupne količine komunalnog otpada ubrajaju se i količine koje potječu iz uslužnog sektora, a koji se smatraju komunalnim otpadom (otpadni papir i karton, ambalažni otpad itd).¹⁰

2.1. KOLIČINA I SASTAV KOMUNALNOG OTPADA

Uvid u količinu i sastav otpada, potreban je kako bi se što kvalitetnije mogao izraditi prijedlog rješenja u sklopu cjelovitog sustava gospodarenja otpadom. Postoje određeni parametri koji utječu na konačan rezultat prosječnog sastava i količinu komunalnog otpada. Ti parametri su¹³:

Postojeće stanje odnosi se na infrastrukturu koja trenutno omogućava gospodarenje otpadom. Danas je organiziranim sakupljanjem i odvozom otpada obuhvaćeno 99% stanovništva u Republici Hrvatskoj, što se tiče obrade i odlaganja otpada, još uvijek nisu izgrađeni centri za gospodarenje otpadom s sustavima obrade i odlaganja otpada. Izdvajanje iskoristivih komponenti je na razini od cca 15%, što znači da veći dio komunalnog

otpada, od cca 1.700.000 tona/godišnje završava na odlagalištima i da se ne poštuje red prvenstva gospodarenja komunalnim otpadom. Slika 2. prikazuje kontinuiran porast obuhvaćenog stanovništva organiziranim sakupljanjem komunalnog otpada na području Republike Hrvatske. Dodatno, pojedine komunalne tvrtke, koje ne vode evidenciju o broju članova kućanstva obuhvaćenih njihovom uslugom, od 2013. godine nadalje za procjenu obuhvata koriste posljednji popis stanovništva za 2011. godinu, dok su kod procjena za prethodne godine koristile popis iz 2001. godine, što je isto dijelom doprinijelo spomenutim varijacijama. U 2015. godini organiziranim sakupljanjem komunalnog otpada nije bila obuhvaćena jedna općina (Podravske Sesvete u Koprivničko – križevačkoj županiji).¹⁴



Slika 2. Grafički prikaz obuhvata stanovništva organiziranim sakupljanjem komunalnog otpada u razdoblju od 1995. do 2015. godine u Republici Hrvatskoj¹⁴

Broj stanovnika također je bitan parametar, jer nam omogućuje razumijevanje potrošačke navike korisnika, a samim time i njegovoj razvijenoj svijesnosti o gospodarenju otpadom. Prema procjenama Državnog zavoda za statistiku Republike Hrvatske, najviše stanovništva živi u Gradu Zagrebu, 799 565 ili 19,0% i Splitsko-dalmatinskoj županiji, 453 155 ili 10,8%. Dok najmanje

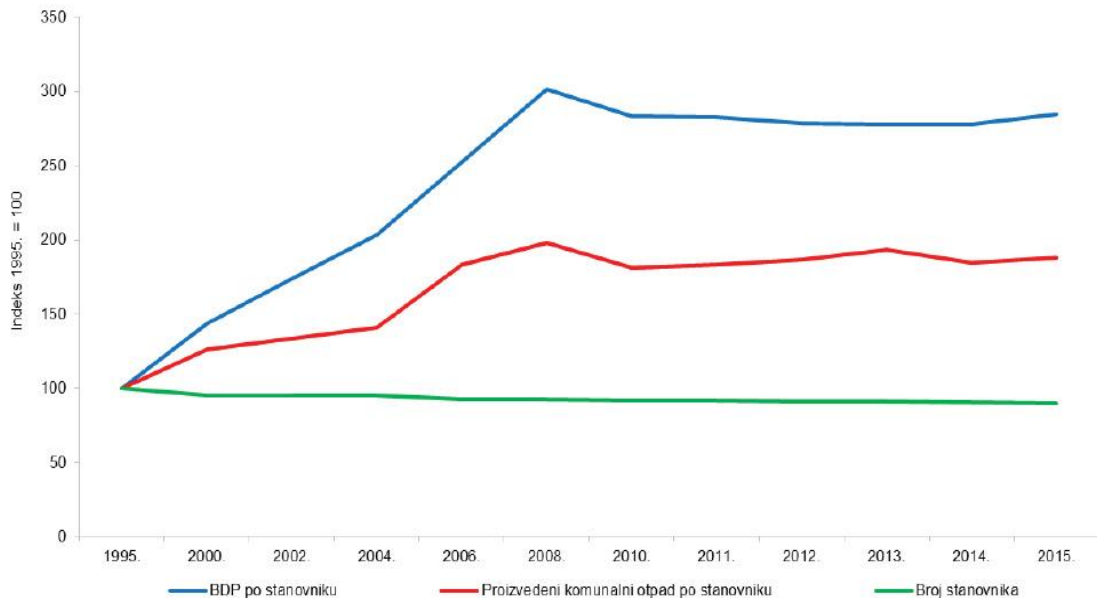
stanovnika imaju Požeško-slavonska županija, 73 473 ili 1,8% i Ličko-senjska županija, 47 634 ili 1,1%, što je vidljivo u Tablici 1.

Tablica 1. Procjena ukupnog stanovništva Republike Hrvatske po županijama sredinom godine od 2011. do 2015. godine¹⁵

| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Republika Hrvatska | 4 280 622 | 4 267 558 | 4 255 689 | 4 238 389 | 4 203 604 |
| Zagrebačka | 317 594 | 318 235 | 318 837 | 318 453 | 316 506 |
| Krapinsko-zagorska | 132 672 | 131 734 | 130 895 | 129 967 | 128 905 |
| Sisačko-moslavačka | 171 725 | 169 379 | 167 036 | 163 975 | 160 292 |
| Karlovačka | 128 495 | 126 997 | 125 688 | 124 127 | 121 840 |
| Varaždinska | 175 771 | 175 150 | 174 434 | 173 454 | 171 879 |
| Koprivničko-križevačka | 115 424 | 114 846 | 114 346 | 113 688 | 112 357 |
| Bjelovarsko-bilogorska | 119 448 | 118 083 | 116 959 | 115 536 | 113 746 |
| Primorsko-goranska | 296 004 | 295 300 | 294 705 | 293 811 | 291 654 |
| Ličko-senjska | 50 697 | 49 942 | 49 364 | 48 670 | 47 634 |
| Virovitičko-podravska | 84 621 | 83 820 | 83 029 | 82 162 | 80 610 |
| Požeško-slavonska | 77 775 | 76 651 | 75 801 | 74 991 | 73 473 |
| Brodsko-posavska | 158 249 | 157 086 | 155 956 | 154 082 | 151 012 |
| Zadarska | 170 212 | 170 955 | 171 594 | 171 462 | 170 168 |
| Osječko-baranjska | 304 541 | 302 751 | 300 950 | 298 272 | 294 233 |
| Šibensko-kninska | 109 072 | 107 595 | 106 540 | 105 532 | 104 315 |
| Vukovarsko-srijemska | 178 959 | 177 583 | 175 932 | 173 441 | 169 224 |
| Splitsko-dalmatinska | 454 683 | 454 777 | 454 711 | 454 627 | 453 155 |
| Istarska | 208 028 | 207 719 | 207 793 | 208 201 | 208 180 |
| Dubrovačko-neretvanska | 122 456 | 122 337 | 122 197 | 122 355 | 122 280 |
| Međimurska | 113 746 | 113 561 | 113 417 | 113 159 | 112 576 |
| Grad Zagreb | 790 450 | 793 057 | 795 505 | 798 424 | 799 565 |

Bruto domaći proizvod (BDP) je ekonomski pokazatelj koja utječe na konačnu količinu komunalnog otpada. Što je veći BDP, veća je potrošačka moć samog korisnika, posljedica je nastajanje veće količine otpada. Slika 3. prikazuje razdvajanje veze između proizvodnje otpada i gospodarskog rasta, koje se prikazuje kao odnos količine proizvedenog, u ovom slučaju komunalnog, otpada po stanovniku i bruto domaćeg proizvoda (BDP), u godini (kg/EUR)¹⁰. Kao što je vidljivo unatoč aktivnostima provedenim u ovom području (naknade vezane uz korištenje prirodnih resursa i onečišćenje okoliša, potrebe praćenja

stanja i trendova u raznim gospodarskim sektorima, razvoj zelenog gospodarstva i dr.) razdvajanje veze između korištenja resursa i gospodarskog rasta još uvijek nije u potpunosti postignuto kao što nije postignuto niti razdvajanje poveznice između proizvodnje otpada i gospodarskog rasta.



Slika 3. *Intenzitet stvaranja otpada u RH od 1995. do 2015. godine (HAOP, 2016.)¹⁰*

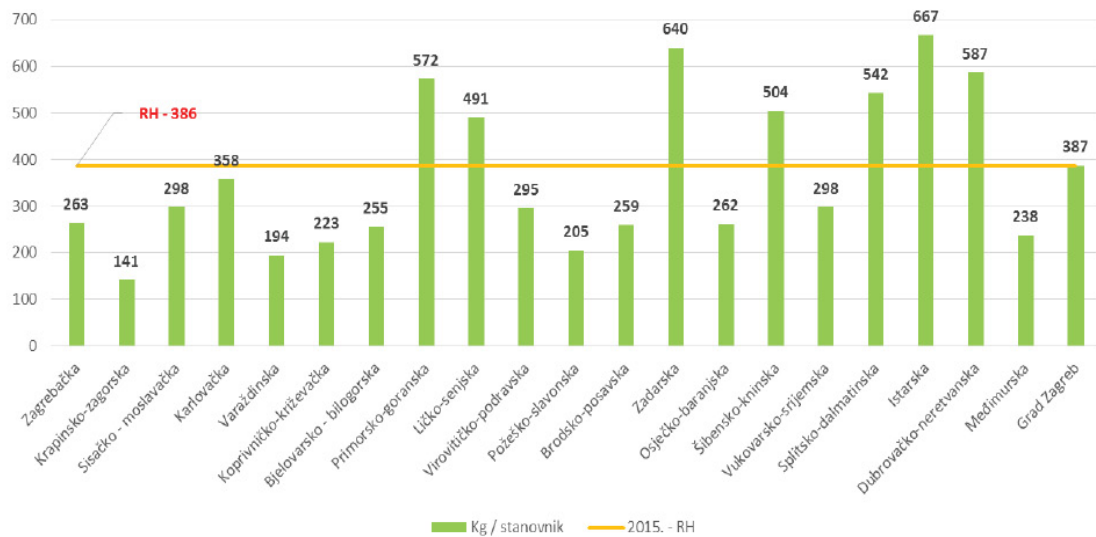
Indeks potrošnje tj. utjecaj osobne potrošnje direktno je vezan uz nastajanje komunalnog otpada. Uzimajući u obzir strukturu izdataka, može se na osnovu pojednostavljene korelacije izvesti međuzavisnost ovog faktora s specifičnom količinom otpada koja nastaje po stanovniku.

Dodatni faktori koji utječu na nastanak otpada: smanjenje seoskog, povećanje urbanog broja stanovnika; starenje stanovništva, migracijske prilike, kultura trošenja i kupovanja, razvoj zakonske regulative u cilju destimuliranja nastanka otpada, razvoj znanosti i tehnologija u dobivanju proizvoda koji se mogu u cijelosti reciklirati i proizvoda s manje ambalaže.

Sezonske varijacije (tzv. „turistički otpad“) također imaju bitan utjecaj na konačnu količinu nastalog otpada. Predvidivi ukupni učinci Strategije razvoja turizma RH do 2020. su takvi da pretpostavljaju rast broja noćenja po stopi od

3,1 %. U periodu do 2025., ta stopa se penje gotovo 5,5%, te se ista može uzeti kao osnova za proračun i za razdoblje do 2030. Specifična količina otpada po noćenju uzeta je kao prosječna vrijednost između 0,9-1,9 kg/noćenju i iznosi 1,4 kg/noćenju. Količina komunalnog otpada iz turizma u 2015. godini je iznosila 98.960 tona što čini oko 6% ukupne količine komunalnog otpada.¹⁰

Tip područja u kojem živi samo stanovništvo, također ima bitan utjecaj na količinu i sastav komunalnog otpada. Potrošačke navike i savjesnost stanovništva o postupanju sa otpadom različita je u ruralnom području od one u urbanom. Što se tiče Republike Hrvatske procjena je kako 55.6% stanovnika živi u urbanom tipu područja, 41,81% u ruralnom tipu područja. Kao zasebno područje istaknuto je otočno stanovništvo koje čini 2,59% ukupnog stanovništva RH. Također, područje koje ima veću koncentraciju turističke aktivnosti, imat će i veću količinu proizvodnje komunalnog otpada. Kao što je vidljivo na Slici 4. rezultat turističkih aktivnosti je veća potrošnja komunalnog otpada u županijama priobalne Hrvatske.



Slika 4. *Specifična količina proizvedenog komunalnog otpada u 2015., po županijama (HAOP, 2016.)¹⁰*

Što se tiče sastava komunalnog otpada, Tablica 2. prikazuje primarne i sekundarne sastavnice komunalnog otpada koje se određuju analizom. Miješani

komunalni otpad također može se podijeliti na organski i anorganski dio. Organski dio čini: otpad od hrane, papir i karton, plastika, odjeća i vlakna, vrtni otpad, drveni otpad i drugi organski otpad. S time vrtni ili zeleni otpad i kuhinjski otpad tj. ostaci od pripreme hrane čine biološki otpad koji se može obrađivati kompostiranjem. Anorganski dio otpada čine metali, staklo, razna prljavština te ostali otpad.

Tablica 2. *Primarne i sekundarne sastavnice miješanog komunalnog otpada koje se određuju analizom¹³*

| Primarna sastavnica | Sekundarna sastavnica |
|----------------------------|---|
| PAPIR I KARTON | <i>Tiskovine – časopisi, novine, knjige, plakati, letci itd</i> |
| | <i>Papirna i kartonska ambalaža</i> |
| METAL | <i>Ambalažni otpad od metala (limenke)</i> |
| | <i>Metalna ambalaža pod tlakom (boce od sprejeva)</i> |
| | <i>Ostali otpad od metala (metalni predmeti i dijelovi)</i> |
| DRVO | <i>Netretirano drvo</i> |
| | <i>Tretirano drvo</i> |
| | <i>Drvena ambalaža</i> |
| STAKLO | <i>Ravno staklo</i> |
| | <i>Staklena ambalaža</i> |
| TEKSTI/ODJEĆA | <i>Odjeća i obuća</i> |
| | <i>Tkanine</i> |
| | <i>Tekstilna ambalaža</i> |
| PLASTIKA | <i>Plastika (meka i tvrda plastika, plastični proizvodi i dijelovi)</i> |
| | <i>Plastična ambalaža (meka i tvrda plastična ambalaža, npr. plastične boce</i> |
| GUMA | <i>Guma</i> |
| ORGANSKI OTPAD | <i>Koža/kosti</i> |
| | <i>Kuhinjski otpad</i> |
| | <i>Vrtni otpad</i> |
| | <i>Jestiva ulja i masti</i> |
| OSTALI OTPAD | <i>Pelene</i> |
| | <i>Složena slojevita ambalaža</i> |
| | <i>Miješana ambalaža</i> |
| | <i>Lijekovi</i> |
| | <i>Baterije, akumulatori</i> |
| | <i>EE otpad</i> |
| | <i>Zemlja, prašina, pijesak, nedefinirano</i> |

Tablica 3. prikazuje procijenjeni sastav miješanog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj 2015. godine. Kao što je vidljivo najveći postotak čini kuhinjski otpad (30,9%), te nakon toga papir i karton (23,2%) i plastika (22,9%).

Tablica 3. *Procijenjeni sastav miješanog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj 2015. godine.*¹⁰

| Sastavnica | Udio (%) |
|-----------------|----------|
| Metal | 2,1 |
| Drvo | 1 |
| Tekstil/odjeća | 3,7 |
| Papir i karton | 23,2 |
| Staklo | 3,7 |
| Plastika | 22,9 |
| Guma | 0,2 |
| Koža/kosti | 0,5 |
| Kuhinjski otpad | 30,9 |
| Vrtni otpad | 5,7 |
| Ostali otpad | 6,3 |
| Ukupno | 100 |

2.1.1. Fizikalna svojstva komunalnog otpada

Fizikalna svojstva koja karakteriziraju komunalni otpad su: gustoća i sadržaj vlage, veličina čestica, kapacitet polja, hidraulična propusnost i smična čvrstoća.¹⁶

Gustoća otpada ovisna je o sastavu, sadržaju vlage i stupnju nabijenosti (kompaktnosti). Procjenjuje se da je gustoća kompaktiranog komunalnog otpada na odlagalištu 200-400m³, a sadržaj vlage 15-40%. Sadržaj vlage bitan je parametar za određivanje toplinske vrijednosti otpada, definiranje veličine odlagališta te određivanje dimenzija reaktora kod anaerobnog kompostiranja. Tablica 4. prikazuje tipičnu gustoću i vlagu u komunalnom otpadu. Vidljivo je kako najveću gustoću ima prašina i različita prljavština, dok najveći postotak vlage u komunalnom otpadu sadrži hrana.

Tablica 4. Prikaz tipične gustoće i vlage u komunalnom otpadu¹⁶

| VRSTA OTPADA | SASTOJCI I VRSTA OTPADA | GUSTOĆA (kg/m ³) | VLAGA (% m/m) |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| Otpad iz domaćinstva | Hrana | 290 | 70 |
| | Papir i karton | 70 | 5 |
| | Plastika | 60 | 2 |
| | Staklo | 200 | 2 |
| | Metal | 200 | 2 |
| | Tekstil / odjeća | 60 | 10 |
| | Prašina / razna prljavština | 500 | 8 |
| Gradski otpad | Nekompaktiran | 100 | 20 |
| | Normalno kompaktiran na odlagalištu | 500 | 25 |
| | Dobro kompaktran na odlagalištu | 600 | 25 |

Kapacitet polja (KP) se definira kao maksimalni udio vlage koji može zadržati uzorak rastresitog otpada pod djelovanje gravitacije. Kada se kapacitet polja prekorači, voda će otjecati. Što je tlak zbog tereta sloja materijala veći to je kapacitet polja manji. Nekompaktni komunalni otpad ima kapacitet polja u rasponu od 0,5 do 0,6. Kapacitet polja bitan je za odlagalište otpada kako bi se mogla utvrditi količina procjedne vode. Empirijski izraz za kapacitet polja je:

$$KP = 0,6 - 0,55\left(\frac{M}{4500+M}\right) \quad (1)$$

gdje je:

KP - kapacitet polja, izražen kao najveći udio vlage u suhoj masi otpada

M – masa suhog otpada iznad sredine visine sloja (kg/m²)

Statistička distribucija veličine (dimenzija) čestica bitna je zbog projektiranja opreme za manipulaciju (kovejeri, trakasti transporteri, za odabir i projektiranje opreme za izgaranje te za odabir i projektiranje opreme za biološku obradu. Tablica 5. prikazuje tipične dimenzije čestica komunalnog otpada. Za svaki sastojak postoje veliki rasponi, no u prosjeku najveće dimenzije u komunalnom otpadu ima plastika, koja kao rezultat tome zauzima veći dio ukupnog volumena komunalnog otpada.

Tablica 5. *Dimenzije komunalnog otpada*¹⁶

| SASTOJCI | RASPON (mm) | PROSJEČNO (mm) |
|----------------------------|----------------|-------------------|
| Hrana | 0 – 200 | 100 |
| Papir i karton | 100 – 500 | 350 |
| Plastika | 0 – 400 | 200 |
| Staklo | 0 – 200 | 100 |
| Metal | 0 – 200 | 100 |
| Tekstil | 0 – 300 | 150 |
| Prašina /razna prljavština | 0 – 100 | 25 |

Hidraulična propusnost sloja jest brzina propuštanja (procjeđivanja) tekućine kroz otpad, a samim time i onoga što se donosi procjeđivanjem i ispiranjem (mikrobiološko i kemijsko onečišćenje). Hidraulična propusnost važna je za definiranje količine procjednih voda, a ovisna je o gustoći (nabijenosti), vrsti i homogenosti otpada. Tablica 6. prikazuje vrijednosti hidraulične propusnosti ovisno o vrsti otpada.

Tablica 6. *Prikaz hidraulične propusnosti otpada*¹⁶

| VRSTA OTPADA | HIDRAULIČNA PROPUSNOST |
|-----------------------|-----------------------------|
| Gusto nabijeni sloj | oko 7×10^{-6} m/s |
| Slabo nabijeni sloj | oko 15×10^{-6} m/s |
| Prosječan sloj otpada | oko 10^{-5} m/s |

Smična čvrstoća sloja otpada predstavlja otpornost na bočne sile, a važna je zbog utvrđivanja načina odlaganja i geometrijskih veličina odlagališta. Smična čvrstoća sloja utječe na statičku stabilnost sloja na odlagalištima, a bitno zavisi o vlažnosti otpada. Smična čvrstoća muljevita sloja je minimalna i približno jednaka nuli. S porastom udjela suhih dijelova, smična čvrstoća se povećava. Kruti otpad ima najveću smičnu čvrstoću neposredno nakon kompaktiranja, s vremenom ona opada i nakon nekoliko godina padne na nulu. Preporuka regulativa Europske unije za otpad koji se odlaže su da smična čvrstoća iznosi manje ili jednako 15 kN/m^2 , a udio suhog bi trebao biti manji ili jednak 30%.

2.1.2. Kemijska i energetska svojstva komunalnog otpada¹⁶

Kako bi se mogla odrediti što bolja tehnologija za ponovno korištenje, recikliranje ili transformiranje (spaljivanje, kompostiranje) otpada, potrebno je što točnije poznavati njegova kemijska svojstva. Okvirno se smatra da otpad čini određen postotak vlage, udio volatnih sastojaka, sadržaj ugljika te udio negorivih sastojaka (pepela).

Vlaga smanjuje iskoristivi dio energetske vrijednosti otpada, odnosno smanjuje njegovu toplinsku (energetsku) vrijednost. Sadržaj ugljika i volatlnih sastojaka čine gorivi dio materijala, povećavaju njegovu toplinsku vrijednost te utječu na sastav i količinu dimnih plinova izgaranja. Negorivi sastojci otpada čini pepeo. Što je veći udio negorivih sastojaka, manja je energetska vrijednost materijala.

Energetska vrijednost određuje se donjom ili gornjom toplinskom vrijednošću.

Donja toplinska vrijednost je količina oslobođene topline pri izgaranju 1 kg materijala, pri čemu se dimni plinovi ne ohlade ispod temperature kondenzacije vodene pare što nastaje iz sadržane vlage te izgaranjem vodika u otpadnom materijalu (vodena para ostaje u dimnim plinovima u parnome stanju).

Gornja toplinska vrijednost uključuje i latentnu toplinu kondenzacije vodene pare koja se vraća kada se dimni plinovi ohlade ispod temperature kondenzacije vodene pare.

Donja toplinska vrijednost komunalnog otpada može se izračunati prema izrazu¹⁶:

$$H_d = B \times H_g - 2445 \times W \text{ (kJ/kg)} \quad (2)$$

gdje je

B – udio gorivih sastojaka (ugljik + volatili), (kg/kg)

H_g- gornja toplinska vrijednost gorivog dijela otpada, (kJ/kg)

W- maseni udio vlage, (kg/kg).

Tipično, gornja toplinska vrijednost komunalnog otpada iznosi oko 20 MJ/kg, a donja toplinska vrijednost oko 12 MJ/kg.

Toplinska vrijednost može se odrediti i na temelju elementarne analize, odnosno iz poznatih masenih udjela (kg/kg): ugljika (m_C), vodika (m_H), kisika (m_O), sumpora (m_S), dušika (m_N), vlage (m_W) i pepela (m_A).

Tada se donja toplinska vrijednost računa pomoću izraza:

$$H_d = 3400m_c + 120000 \left(m_H - \frac{m_o}{8} \right) + 10500m_s - 2500m_w \text{ (kJ/kg)} \quad (3)$$

A gornja toplinska vrijednost se računa prema izrazu:

$$H_g = 3400m_c + 14250 \left(m_H - \frac{m_o}{8} \right) + 10500m_s \text{ (kJ/kg)} \quad (4)$$

Te se razlika između gornje i toplinske vrijednosti dobiva pomoću izraza:

$$H_g - H_d = 2500(m_w + 9m_H) \text{ (kJ/kg)} \quad (5)$$

Tablica 7. prikazuje kemijsku analizu tipičnog komunalnog otpada, a u tablici 8. je prikazan okvirni sastav i energetska vrijednost tipičnog komunalnog otpada. Kao što je prikazano najveći maseni udio ugljika sadrži plastika (60%). Što se tiče energetske vrijednosti iz Tablice 8. vidljivo je kako plastika i masnoće prednjače u toplinskim vrijednostima od ostalih sastavnica otpada.

Tablica 7. Kemijska analiza tipičnog komunalnog otpada¹⁶

| SASTOJAK | MASENI UDIO U SUHOM UZORKU (% m/m) | | | | | |
|-----------------------|------------------------------------|-------|-------|--------|--------|-------|
| | Ugljik | Vodik | Kisik | Dušik | Sumpor | Pepeo |
| Hrana | 48 | 6 | 38 | 2,5 | 0,5 | 5 |
| Papir i karton | 43,5 | 6 | 44 | 0,3 | 0,2 | 6 |
| Plastika | 60 | 7 | 23 | - | - | 10 |
| Staklo | 0,5 | 0,1 | 0,4 | do 0,1 | - | 99 |
| Metali | 5 | 0,6 | 4,3 | 0,1 | - | 90 |
| Tekstil | 55 | 7 | 30 | 5 | 0,2 | 3 |
| Prašina / prljavština | 26 | 3 | 2 | 0,5 | 0,2 | 68 |

Tablica 8. Okvirni sastav i energetska vrijednost tipičnog komunalnog otpada¹⁶

| Vrsta otpada | SASTOJCI (% m/m) | | | | ENERGETSKA VRIJEDNOST (MJ/kg) | | |
|-----------------------------|------------------|----------|--------|----------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|
| | Vlaga | Volatili | Ugljik | Negorivi dio (pepeo) | Prirodni uzorak | Osušeni uzorak | Osušeni uzorak bez negorivog (bez pepela) |
| | | | | | Donja toplinska vrijednost (Hd) | Topl. vrijednost suhi dio (H) | Gornja topl. vrijednost za gorivi dio (Hg) |
| Hrana miješana | 70 | 21 | 3,6 | 5 | 4,2 | 13,9 | 16,7 |
| Masnoće | 2 | 95 | 2,5 | 0,2 | 37,4 | 38,4 | 39,1 |
| Voće | 79 | 16 | 4 | 0,7 | 4 | 18,6 | 19,2 |
| Meso | 39 | 56 | 1,8 | 3,1 | 17,6 | 28,9 | 30,4 |
| Papir razni | 10,2 | 76 | 8,4 | 5,4 | 15,7 | 17,6 | 18,7 |
| Novine | 6 | 81 | 11,5 | 1,4 | 18,5 | 19,7 | 20 |
| Karton | 5,2 | 77 | 12,3 | 5 | 26,2 | 27,1 | 27,4 |
| Plastika razna | 0,2 | 96 | 2 | 2 | 32,7 | 33,4 | 37,1 |
| Polietilen | 0,2 | 98 | <1,0 | 1,2 | 43,4 | 43,4 | 43,9 |
| Polistiren | 0,2 | 99 | 0,7 | 0,5 | 38 | 38,1 | 38,1 |
| Poliuretan | 0,2 | 87 | 8,3 | 4,4 | 26 | 26 | 27,1 |
| PVC | 0,2 | 87 | 10,8 | 2,1 | 22,5 | 22,5 | 22,7 |
| Razni tekstili | 10 | 66 | 17,5 | 6,5 | 18,3 | 20,4 | 22,7 |
| Vrtni otpad | 60 | 30 | 9,5 | 0,5 | 6 | 15,1 | 15,1 |
| Drvo razno | 20 | 68 | 11,3 | 0,6 | 15,4 | 19,3 | 19,3 |
| Metali | - | - | - | ~ 100 | nema | nema | nema |
| Staklo | - | - | - | ~ 100 | nema | nema | nema |
| Otpad iz domaćinstva | 15-40 | 40-60 | 4-15 | 10-30 | 10-12 | 14-16 | 18-20 |
| Uredski otpad | 10-30 | - | - | - | 11-13 | 15-17 | 19-21 |

2.1.3. Biološka svojstva komunalnog otpada¹⁶

Biološka svojstva komunalnog otpada važna su za definiranje tehnologije biološke obrade u cilju proizvodnje energije ili iskoristivih produkata. Biološka obrada otpada može se izvoditi u aerobnim ili anaerobnim uvjetima. Neki organski dijelovi otpada nepovoljni su za procese biološke transformacije (plastika, guma, koža i drvo), što zavisi o njihovim sastojcima (masnoće, ulja, proteini, lignin, celuloza, sastojci topivi u vodi). Općenito, porastom sadržaja lignina u nekoj tvari, smanjuje se njena biorazgradivost. U Tablici 9. prikazana je biorazgradivost nekih sastojaka komunalnog otpada, kao što je vidljivo hrana, uredski papir i vrtni otpad imaju najbolju biorazgradivost.

Tablica 9. Biorazgradivost pojedinih sastojaka komunalnog otpada

| SASTOJAK | Udjel volatila (%) | Udjel lignina u odnosu na volatile (%) | Biorazgradivost (%) |
|----------------|--------------------|--|---------------------|
| Hrana | 7-15 | 0,4 | 0,82 |
| Novinski papir | 94 | 21,9 | 0,22 |
| Uredski papir | 96 | 0,4 | 0,82 |
| Karton | 94 | 12,9 | 0,47 |
| Vrtni otpad | 50-90 | 4,1 | 0,72 |

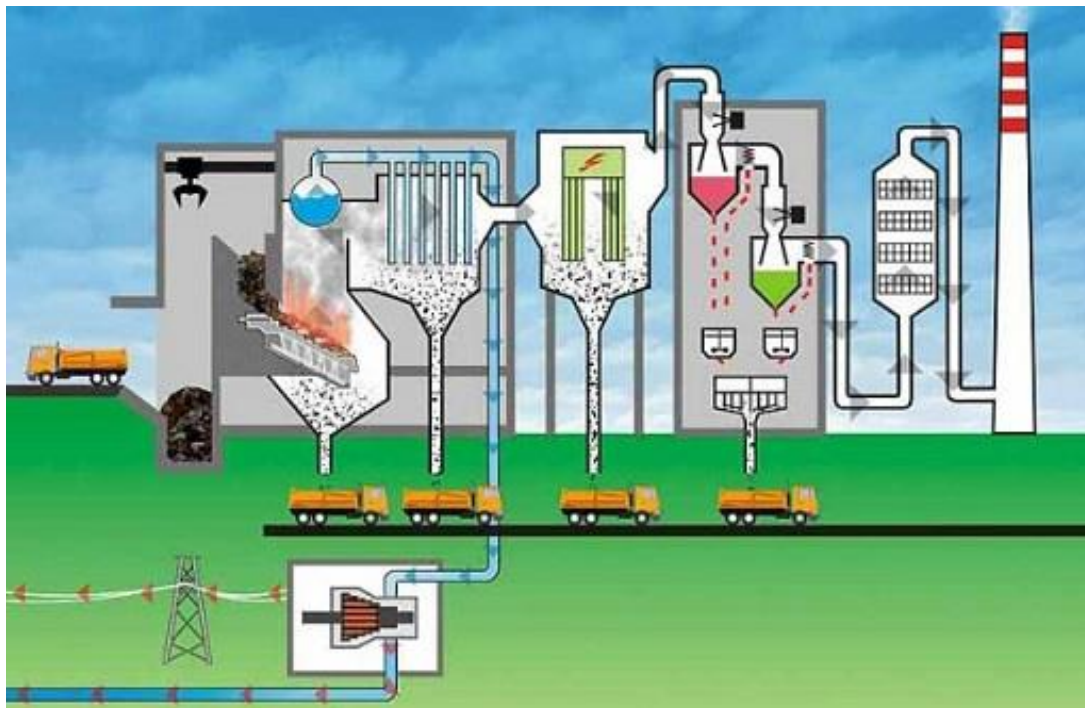
2.2. SPALJIVANJE (IZGARANJE) OTPADA

Cilj ove metode termičke obrade je smanjenje volumena obrađenog otpada uz istodobnu uporabu dobivene energije. Dobivena energija može se koristiti za grijanje, proizvodnju pare ili proizvodnju električne energije. Tipična količina neto energije koja može biti proizvedena po toni komunalnog otpada je oko 0,7 MWh električne energije ili 2 MWh toplinske energije. Ovom metodom volumen miješanog komunalnog otpada može se smanjiti za oko 90%, a njegova težina za oko 75%.¹⁷ Nedostaci spaljivanja jest emisija štetnih plinova u atmosferu, pogotovo zbog velikog udjela plastičnog otpada zbog kojih postoji opasnost od emisije vrlo opasnih spojeva kao što su dioksini i furani. Također, zbog sve strožih propisa o graničnim vrijednostima dimnih plinovima, izgradnja takvih postrojenja su postaje sve složenija i skuplja.

Potrebno je zadovoljiti niz uvjeta kako bi došlo do potpunog izgaranja otpada¹⁷:

- odgovarajući materijal za gorivo i sredstva za oksidaciju u ložištu
- dostatna temperatura paljenja
- omjer prikladne mješavine
- kontinuirano uklanjanje plinova koji nastaju pri izgaranju
- kontinuirano uklanjanje ostataka izgaranja
- održavanje odgovarajuće temperature unutar peći
- turbulentni protok plinova
- odgovarajuće vrijeme zadržavanja otpada na području sagorijevanja

2.2.1. Postrojenje za spaljivanje otpada



Slika 5. Prikaz rada spalionice

Tipično postrojenje za spaljivanje uključuje neke bitne jedinice¹⁷, shema ovog postrojenja prikazana je na Slici 5:

a) *Sustav vaganja*

Sustav za vaganje krutog otpada ima za cilj kontrolu i bilježenje dolaznih opterećenja i mora biti praktičan kako bi se minimaliziralo vrijeme zadržavanja vozila koja dovoze otpad.

b) *Skladište otpada*

Pošto otpad ne dolazi kontinuirano, a potrebno je postići kontinuiranost dobave otpada kako bi rad spalionice mogao biti neometan, potrebno je imati skladište za otpad. Ovaj prostor mora omogućavati što manje vrijeme istovara otpada iz vozila, mogućnost pohrane svog zaprimljenog otpada, homogenost otpada koje se koristi kao gorivo u spalionici te sposobnost konstatne dobave otpada u samo ložište spalionice. Također, pri planiranju izgradnje skladišta potrebno je obratiti pozornost na samanje utjecaja na okoliš. Primjerice,

otpad može se maksimalno zadržati dva dana u skladištu kako bi se izbjegli neugodni mirisi, također je potrebno imati na dnu skladišta sustav za odvodnju procjednih voda iz otpada.

c) *Sustav za prijenos otpada*

Ovaj sustav treba osigurati prijenos otpada dostatnom brzinom i količinom kako bi rad spalionice bio nesmetan.

d) *Prostor izgaranja*

Zapaljivost krutog otpada postiže se korištenjem odgovarajućih ložišta.

Da bi se stvorili uvjeti za učinkovitu termičku obradu otpada, u procesu spaljivanja potrebno je osigurati tzv. „3T+O“ (Temperature, Time, Turbulence, Oxygen) uvjete, odnosno: temperatura u ložištu, vrijeme zadržavanja, brzina plinova u ložištu i sadržaj kisika u ložištu.¹⁸

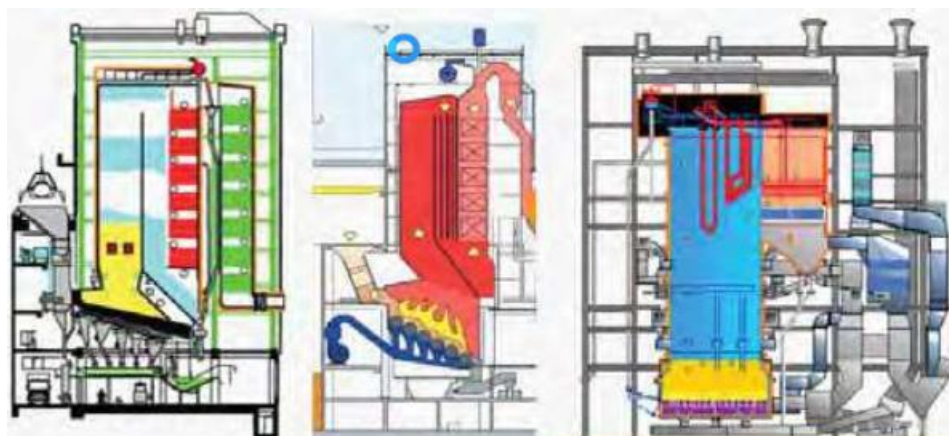
Uređaji za termičku obradu otpada trebaju biti projektirani i izvedeni na način da osiguraju temperaturu u ložištu najmanje 850°C i to tako da se dimni plinovi na toj temperaturi zadržavaju najmanje 2 sekunde. Ako otpad sadrži halogene organske tvari s masenim udjelom više od 1%, izraženo kao klor, temperatura dimnih plinova u ložištu mora doseći najmanje 1100 °C.

Pretičak zraka za izgaranje mora biti takav da višak kisika u suhim izlaznim dimnim plinovima bude najmanje 6 %, da bi bili osigurani uvjeti za postupno izgaranje.¹⁸

Uređaj za spaljivanje mora imati automatski sustav koji sprječava dodavanje otpada u ložište u slučajevima: kada nije postignuta tražena temperatura, ako se ne održava zahtijevana temperatura ili ako emisije u zrak prekoračuju dopuštene vrijednosti. Tablica 10. prikazuje, način rada, prednosti i nedostatke ložišta ovisno o njihovoj izvedbi, a Slika 6. ih prikazuje.

Tablica 10. Način rada, prednosti i nedostaci uređaja za spaljivanje¹⁸

| Tip uređaja | Način rada | Prednosti | Nedostaci |
|---|---|--|--|
| Spaljivanje u ložištu s rešetkom (roštiljem) | Pokretna rešetka omogućuje pokretanje otpada kroz komoru za izgaranje optimizirano kako bi se omogućilo učinkovitije i potpunije izgaranje. | Efikasno za široki raspon vrste i kvalitete otpadna materijala, primjenljivo za razne veličine postrojenja, prikladno za rekuperaciju topline. | Zahtijeva relativno složen sustav za predobradu otpada, relativno velika investicija. |
| Spaljivanje u fluidiziranome sloju | Predgrijani zrak se upuhuje u komoru kroz otvore na ploči, stvarajući fluidizirani sloj s pijeskom ili nekim drugim inertnim materijalom, otpad se uvodi u ložište pomoću pumpe ili pužnog vijka. | Efikasno za široki raspon kvalitete otpada, relativno male emisije putem dimnih plinova u atmosferu. | Zahtijeva predobradu otpada, tehnologija nije prikladna za komunalni otpad. |
| Spaljivanje u rotacijskoj peći | Otpad gravitacijski ili mehanički se ubacuje u cilindričnu peć postavljenu pod kutom kako bi se, uz rotaciju peći, ostvario protok otpada kroz peć. | Efikasno i ekonomično za srednje kapacitete, fleksibilnost u pogonu, relativno lako se vrši regulacija temperature. | Nije primjenljivo za velika postrojenja, zahtijeva relativno složen sustav za predobradu otpada, relativno veliki pogonski troškovi. |



Slika 6. Prikaz ložišta s rešetkom, rotacijske peći i ložišta s fluidiziranim slojem¹⁷

e) *Bojler*

Bojler je sustav u kojem se energija iz gorivog sadržaja, kroz proizvodnju pare, može iskoristiti. Tlak, temperatura i brzina proizvodnje pare su osnovni parametri za učinkovito djelovanje bojlera.

f) *Sustav za uklanjanje ostataka*

U odnosu na početnu količinu otpada, nastaje 20-40% ostataka, i to veći dio ostataka izlazi iz rešetaka, a manji prolazi kroz rešetke. Potrebno je osigurati spremnike sa sustavom hlađenja.

g) *Sustav kontrole emisije*

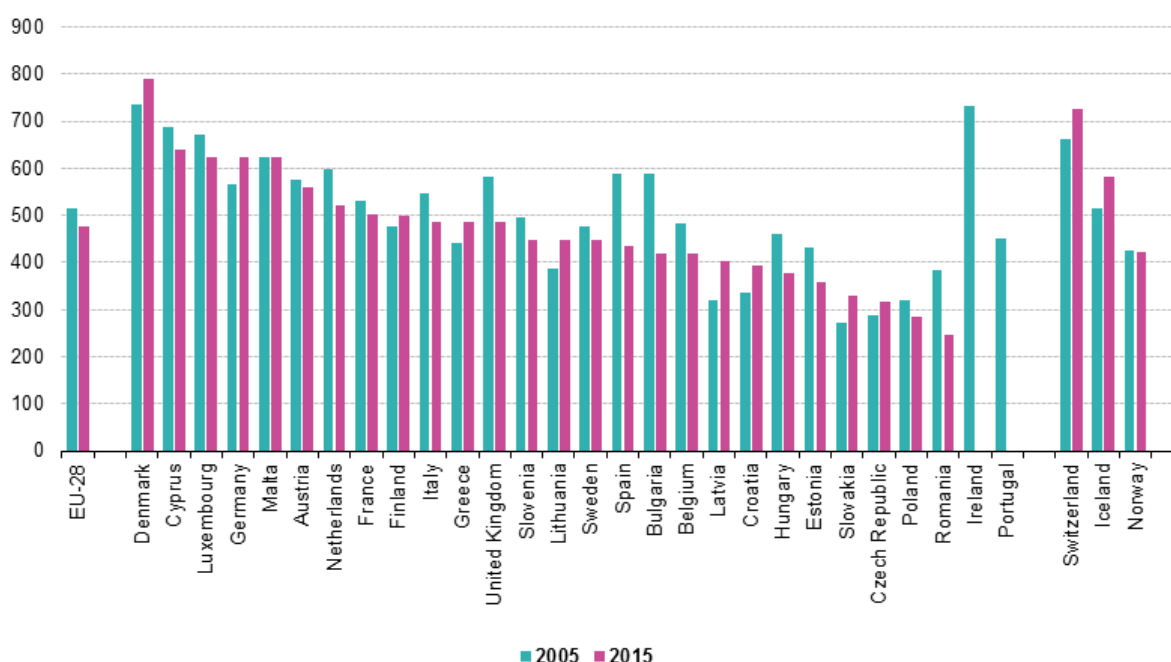
Bazira se na kontroli čestica, HCl, HF, SO₂, dioksina i teških metala u dimnim plinovima. Kako bi se osigurala potrebna kvaliteta izlaznih dimnih plinova koriste se različiti uređaji za pročišćavanje zraka, Tablica 11. prikazuje pregled tih uređaja i njihove karakteristike.

Tablica 11. Karakteristike uređaja za pročišćavanje izlaznih dimnih plinova¹⁸

| Vrsta | Odvajanje čestica | Efikasnost (%) | Karakteristike |
|-----------------------|-------------------|----------------|---|
| Ciklonski | 10 μm | 90 | Niski investicijski troškovi. Veliki pad tlaka (pogonski troškovi). |
| Vrećasti | 0,3 μm | >99 | Niži troškovi od el. filtra. Veći pad tlaka od el. filtera. Zahtijeva temp. <160°C. |
| Elektrostatski | 0,3 μm | >99 | Visoki troškovi ugradnje. Mali pad tlaka. |
| Skruberi | 1-2 μm | >95 | Mali investicijski troškovi. Veliki pad tlaka. Hlađenje plinova. |

2.3. GOSPODARENJE MIJEŠANIM KOMUNALNIM OTPADOM U EUROPI

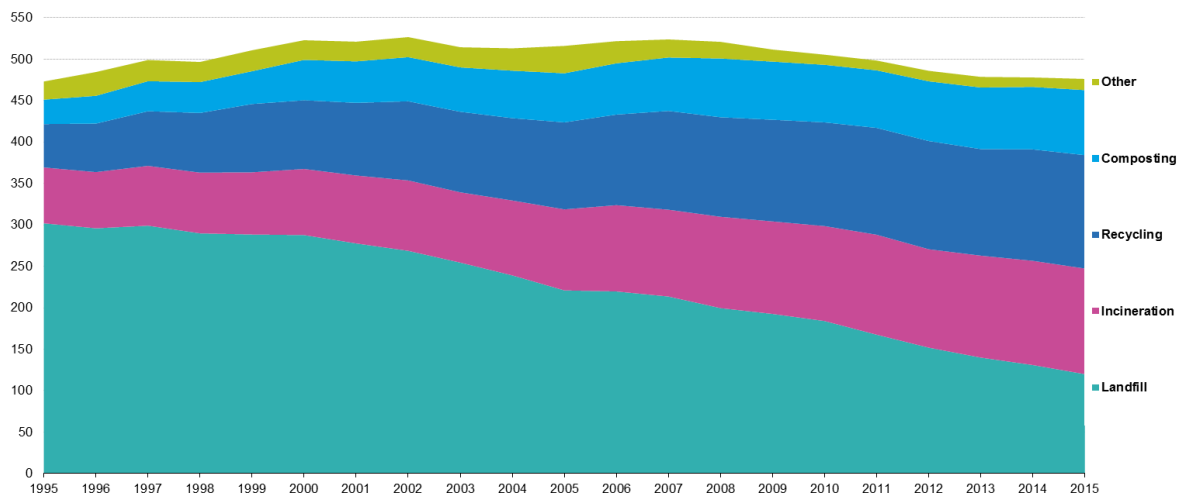
U 2015. godini nastala količina komunalnog otpada znatno varira u Europi, pa je tako u Danskoj nastalo 789 kg/stan, dok je u Rumunjskoj nastalo 247 kg/stan. Ove varijacije odražavaju razlike u potrošnji i kupovnoj moći, ali također ovise i o načinu prikupljanja i upravljanja komunalnim otpadom.¹⁹ Slika 7. grafički prikazuje razlike u skupljenoj količini komunalnog otpada u europskim zemljama u 2005. i 2015. godini.



Slika 7. Grafički prikaz nastale količine komunalnog otpada (kg/stan) 2005 i 2015. godine¹⁹

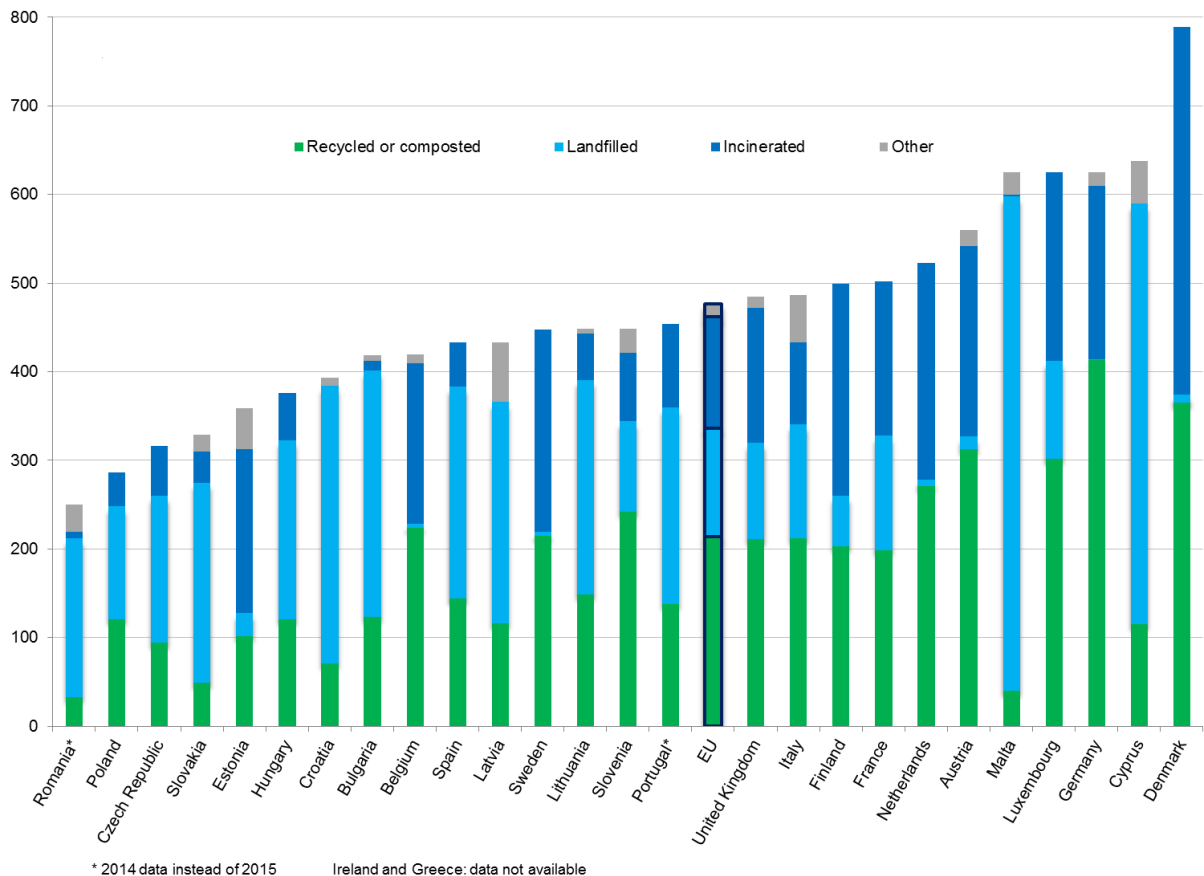
Što se tiče upravljanja komunalni otpadom u Europi, Slika 8. daje presjek razvoja upravljanja otpadom u posljednjih dvadeset godina. U referentnom razdoblju, ukupni komunalni otpad odložen u Europi je smanjen za 83 milijuna tona ili 58%, sa 144 milijuna tona (302 kg po stanovniku) u 1995. godini na 61 milijuna tona (120 kg po glavi stanovnika) u 2015. godini. To odgovara prosječnom godišnjem smanjenju od 4,2%. Tijekom posljednjih deset godina (2005-2015) odlagališta su u prosjeku

pala za čak 5,6% godišnje. Kao rezultat toga, stopa odlaganja u usporedbi s proizvodnjom komunalnog otpada u pala je sa 63,8% 1995. godine na 25,3% u 2015. godini. Od 1995. godine količina komunalnoga otpada spaljena u Europi porasla je za 32 milijuna tona ili 100% i iznosila je 64 milijuna tona u 2015. godini. Spaljeni komunalni otpad tako je porastao od 67 kg po stanovniku do 127 kg po glavi stanovnika.¹⁹



Slika 8. Prikaz gospodarenja komunalnim otpadom u Europi od 1995. do 2015. godine¹⁹

Slika 9. prikazuje gospodarenje komunalnim otpadom u pojedinim europskim zemljama u 2015. godini. Kao što je vidljivo Danska ima najveću količinu nastalog komunalnog otpada po stanovniku. No Danska je i jedna od zemalja koja ima najmanju količinu odloženog komunalnog otpada, samo 9 kg/stan. Prema podacima iz 2015., najmanju količinu odloženog otpada ima Njemačka sa samo 1 kg/stanovniku. Procijenjeno je da je od 625 kg/stanovniku nastalog komunalnog otpada u Njemačkoj 196 kg/stanovniku zbrinuto spaljivanjem. Ostala količina komunalnog otpada zbrinuta je recikliranjem. Danska prednjači u 2015. godini po količini spaljenog komunalnog otpada sa 415 kg/stanovniku spaljenog otpada. Većina spaljivanja otpada koristi se u svrhu energetske uporabe.



Slika 9. Gospodarenje komunalnim otpadom u europskim državama u 2015. godini¹⁹

U posljednjih nekoliko desetljeća mnogo se ulaže u istraživanje novih vrsta goriva koja će djelomično ili potpuno zamijeniti upotrebu fosilnih goriva, nazivaju se alternativnim gorivima, gorivo iz otpada također pripada toj skupini.

Kada govorimo o komunalnom otpadu kao gorivu, najčešće se koriste kratice GIO (gorivi dio otpada) odnosno RDF (Refused Derived Fuel). Zapravo pod gorivom se podrazumijeva dio RDF-a ili podvrsta RDF-a koja se naziva SRF (Solid Recovered Fuel) u skladu sa zahtjevima normi tehničkog odbora CEN/TC 343. Osnovna razlika između RDF i SRF je u tome da se na RDF ne odnose odredbe i klasifikacija prema normi HRN EN 15359:2012, dok se za SRF traže odgovarajuće značajke kao što su ogrjevna vrijednost, sadržaj klora, žive itd. RDF se smatra gorivim dijelom otpada, dakle otpad, dok se SRF smatra alternativnim gorivom i ima status nusprodukta.²⁰

Gorivo iz otpada (GIO) ili RDF najčešće se dobiva iz miješanog komunalnog otpada, industrijskog otpada, građevinskog otpada i otpadnog mulja. Papir i karton, plastika, drvo i tekstil čine osnovni sastav takvog goriva. Da bi bilo korišteno kao gorivo, gorivo proizvedeno iz otpada mora imati što stabilnije karakteristike u pogledu toplinske vrijednosti, sadržaja vode, klora i veličine čestica, te je potrebno da ispunjava i neka druge vrijednosti ovisno o vrsti otpada iz kojeg se RDF proizvodi. Prije upotrebe otpad mora biti selektiran i analiziran, tj. mora imati poznata svojstva. Za proizvodnju RDF-a, koristi se mehaničko-biološka obrada (MBO) otpada, prilikom čega se određene frakcije komunalnog otpada odvajaju mehaničkim putem, dok se druge obrađuju biološkim procesima. Rezultat MBO je: reciklirani materijal (sirovina za industriju), kompost i RDF koji se koristi kao gorivo u cementarama i drugim pogonima za proizvodnju toplinske i električne energije.²¹

Uzima se da je donja toplinska vrijednost RDF-a u rasponu od 20 do 23 MJ/kg. Za usporedbu suho drvo ima donju toplinsku vrijednost u rasponu 14,4-17,4MJ/kg, dok ugljen ima donju toplinsku vrijednost u rasponu 15-27MJ/kg.²² Udio vlage u RDF-u bi trebao biti između 15 i 25%. Koristi od upotrebe RDF-a mogu biti mnoge, a najbitnije su:

- Pretvaranjem otpada u RDF, sprječava se njegovo odlaganje na odlagališta, već se ponovno iskorištava čime se ispunjavanju principi prevencije i ponovnog iskorištavanja
- Industrije koje koriste RDF kao dodatno gorivo, smanjuju troškove goriva i doprinose ukupnom smanjenju troškova zbrinjavanja otpada na samim odlagalištima
- RDF se može spaljivati u širokom spektru ložišta uz minimalne potrebne modifikacije
- RDF ima veću toplinsku vrijednost i manji sadržaj vlage i pepela od konvencionalnih goriva²¹

U EU gorivo iz otpada koristi se već nekoliko desetljeća, a najveći korisnici RDF-a su: cementare, toplane, energane i termoelektrane. Najveći potrošači alternativnih goriva, što uključuje i RDF, su cementare. Tako je u CEMEX grupi korištenje zamjenskih goriva prilikom proizvodnje cementa u nekim članicama i

prešlo 70%. Najuspješnije u tome su Njemačka i Poljska, prosječni udio zamjenskih goriva u 2010. godini u njemačkim tvornicama u Rüdersdorfu i Kollenbachu bio je 74%. Cementare su ujedno i najpogodnija postrojenja za sagorijevanje RDF/SRF, zbog upotrebe rotacijskih peći u samim cementarama. Naime, time se postiže siguran i učinkovit način sagorijevanja otpada, zbog visokih temperatura sagorijevanja, zbog dugog zadržavanja goriva i plinova u peći čime se postepeno smanjenje emisija i efikasna razgradnja organskih tvari, osigurana je filtracija plinova koji se oslobađaju sagorijevanjem kroz sistem protustruje sa sirovinskim brašnom u ciklonskom izmjenjivaču topline, pepeo od sagorijevanja u peći se miješa sa klinkerom i time ulazi kao sirovina u proizvodnji cementa. Što se tiče toplana i energana, one su druge po redu po potrošnji alternativnih goriva i RDF-a. Jedan od primjera je *Simmeringer Haide*, toplana u Beču koja vrlo učinkovito koristi ovu vrstu goriva. I ostale bečke spalionice (Pfaffenau, Spittelau) uspješne su u dobivanju toplinske energije iz otpada. Termoelektrane su posljednje u nizu, s obzirom na korištenje alternativnih goriva i RDF-a zbog niže temperature sagorijevanja koja iznosi 700-900°C. Na ekonomske parametre korištenje RDF/SRF utječe kvaliteta goriva, trenutno stanje tržišta (ponuda i potražnja RDF/SRF) i sama dužina transporta do krajnjih korisnika. Uglavnom je SRF poželjnije gorivo od RDF-a zbog veće energetske vrijednosti i bolje kvalitete. Ukoliko je RDF lošije kvalitete, ne može se prodati, već se potrošačima alternativnih goriva plaća naknada za spaljivanje (20-30 EUR/t RDF), dok se sa SRF većinom trguje kao sa visokovrijednim energentom.²⁰ Suspaljivanje komunalnog otpada jest trend koji je u porastu u zemljama Europske unije što je i prikazano u Tablici 12.

Tablica 12. *Prikaz iskorištavanja komunalnog otpada putem spaljivanja (izraženo u tisućama tona nafte) u Europi²⁰*

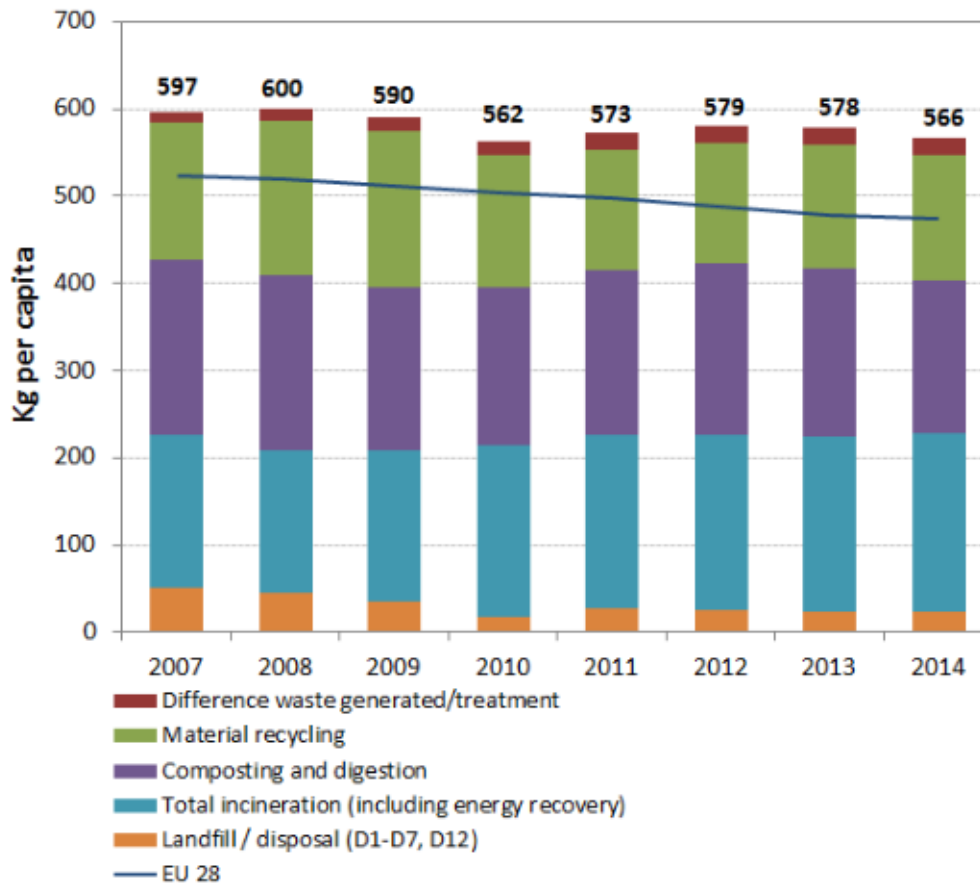
| | 2000 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Belgija | 232 | 490 | 589 | 368 | 562 |
| Češka | 88 | 97 | 95 | 96 | 100 |
| Danska | 726 | 903 | 918 | 935 | 957 |
| Njemačka | 1.362 | 1.662 | 1.838 | 4.933 | 4.923 |
| Španjolska | 229 | 379 | 504 | 618 | 656 |
| Francuska | 1,56 | 2.278 | 2.199 | 2.272 | 3.328 |
| Italija | 273 | 1.111 | 1.281 | 1.400 | 1.278 |
| Luksemburg | 27 | 36 | 38 | 39 | 38 |

| | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mađarska | 58 | 66 | 94 | 108 | 92 |
| Nizozemska | 1.189 | 1.355 | 1.324 | 1.386 | 1.489 |
| Austrija | 108 | 194 | 264 | 249 | 207 |
| Poljska | 2 | 18 | 39 | 43 | 19 |
| Portugal | 174 | 207 | 201 | 188 | 183 |
| Slovačka | 0 | 35 | 42 | 38 | 46 |
| Finska | 45 | 157 | 134 | 172 | 210 |
| Španjolska | 498 | 736 | 765 | 923 | 1.059 |

U velikom broju slučajeva se RDF/SRF uvozi ili izvozi neovisno o tome postoji li proizvodnja tj. korištenje RDF/SRF u nekoj zemlji, cilj je nabaviti što kvalitetnije gorivo po što povoljnijoj cijeni. Prekogranična korištenja otpada, kontrola tokova i količina alternativnih goriva, izvještavanje o spaljenim količinama otpada i sl, provodi se u skladu sa EU *Direktivom o spaljivanju otpada 200/76/EZ*, koja je integrirana u *Direktivu o industrijskim emisijama 2010/75/EZ* i podzakonskim aktom za praćenje prekograničnog kretanja otpada tj. *Uredbom (EZ br. 1013/2006) o otpremi pošiljaka otpada*.

Austrija ima godišnju količinu proizvodnju RDF/SRF oko 680 000 t/god. Najveći potrošači RDF/SRF u Austriji su energane sa godišnjom potrošnjom od 510 000 t/god. Beč ima dugogodišnju tradiciju termičke obrade otpada, a sva termička postrojenja proizvode električnu i toplinsku energiju. Prva spalionica otpada stavljena je u pogon 1963. godine. U Beču postoje spalionice komunalnog otpada, mulja od pročišćenih voda i opasnog otpada, *Pfaffenau, Spittelau i Simmeringer Haideu*, neke su od onih koje iskorištavaju energiju iz otpada. Postoje četiri postrojenja koja koriste RDF/SRF ukupne toplinske snage oko 257 MW. U svim postrojenjima se generira električna i toplinska energija za potrebe stanovništva, energana *Simmeringer Haideu* u ograničenoj mjeri generira električnu energiju za vlastite potrebe. U Niklasdorfu i Lenzingu procesne pare koriste se pri proizvodnji papira i viskoze. U Beču i Linzu toplinska energija koristi se u sistemu daljinskog grijanja. Naime, visoki zahtjevi za isporukom toplinske energije za daljinsko grijanje riješeni su na način da se visokokalorična frakcija iz otpada komprimira u bale za međuskladištenje i toplinski regenerira u pećima sa fluidiziranim slojem. Što se tiče korištenja alternativnih goriva u austrijskoj cementnoj idustriji, najveći udio alternativnih goriva koristi se u grupaciji Lafarge, više od 70%.²⁰ Slika 10. prikazuje kako je stopa

recikliranja komunalnog otpada u Austriji relativno visoka (58%), a stopa odlaganja vrlo niska (4%) i daleko ispod prosjeka Europe (28%). Također je vidljivo kako je stopa termičke obrade komunalnog otpada u Austriji i dalje visoka, te je uz recikliranje glavni način oporabe komunalnog otpada.



Slika 10. *Gospodarenje komunalnim otpadom u Austriji 2007.-2014.*²³

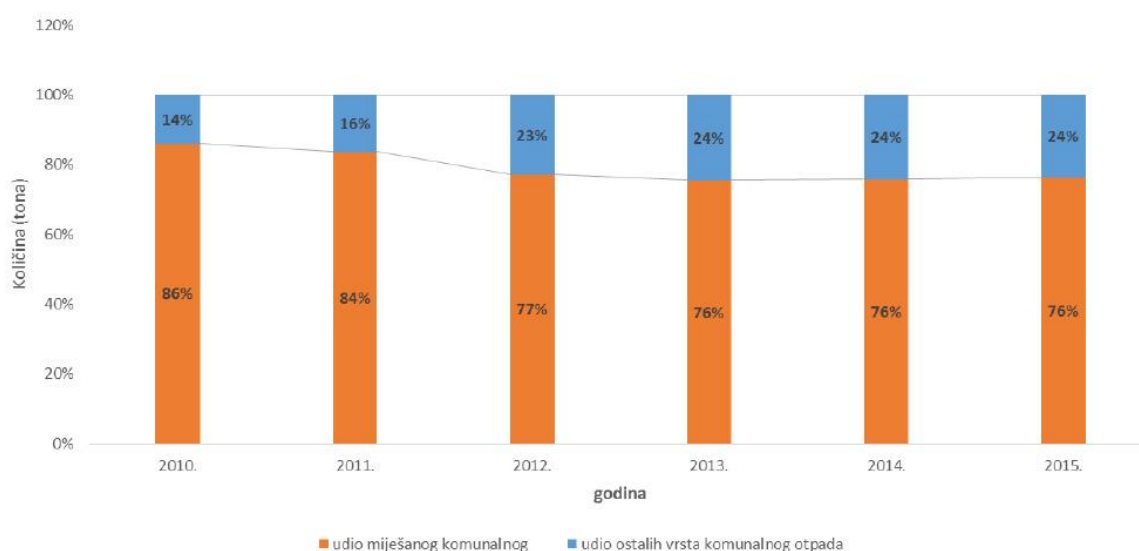
U Njemačkoj, prema podacima iz 2012., postoji čak 36 postrojenja za proizvodnju RDF-a ukupnog kapaciteta proizvodnje 6,3 milijuna t/god, što odgovara energetsom kapacitetu od 78,6 PJ/god i toplinskom kapacitetu od 2 760 MW/god. Od navedenih 6,3 milijuna tona RDF, od komunalnog otpada nastane 4,8 milijuna tona, ostatak se dobiva od industrijskog otpada. Njemačka, također ima vrlo razvijenu i potrošačku industriju RDF-a, korištenu za dobivanje električne i toplinske energije. Prema dostupnim podacima očito je da je potrošnja RDF/SRF u Njemačkoj tri puta veća od ukupne proizvodnje, stoga je Njemačka i veliki uvoznik RDF/SRF. *Ersatzbrennstoff (EBS) Heizkraftwerk Bernburg* (RDF termoelektrana Bernburg), je jedan od

značajnijih korisnika RDF-a, a opskrbljuje energijom susjedno postrojenje Solvay GmbH. Alternativno gorivo u Njemačkoj se koristi i u cementnoj industriji, za sagorijevanje cementnog klinkera i u manjem dijelu za kao toplinska nenergija za potrebe sušenja sirovina i drugih sastojaka. Cementna industrija u Njemačkoj danas koristi oko 72% alternativnih goriva, od čega se oko 40% koristi RDF.²⁰

Slovenija ima dobro razvijenu proizvodnju RDF-a, postoji nekoliko postrojenja u kojima se obrađuje komunalni i industrijski otpad. Kapaciteti sloveskih odlagališta su iscrpljeni te se problem rješava zbrinjavanjem otpada obradom, iskorištavanjem i proizvodnjom goriva iz otpada. Proizvodnja RDF-a odvija se u sklopu mehaničko-bioloških postrojenja za obradu otpada. Najveći centar za upravljanje otpadom u Sloveniji, *Regijski center za ravnanje z odpadki Ljubljana – RCERO Ljubljana*, zbrinjava otpad od otprilike 30% ukupnog stanovništva Slovenije. Proizvodi se oko 60 000 t/god RDF/SRF. Najveći potrošači RDF/SRF u Sloveniji su *Salonit ANHOVO d.d. Deskle – Cementarna ANHOVO* i *Cementarna Trbovlje – Lafarge Cement d.o.o. Trbovlje*. Većinu RDF-a koji se ne iskoristi u gore navedenim industrijama. Slovenija izvozi u Njemačku, Austriju i Mađarsku.²⁰

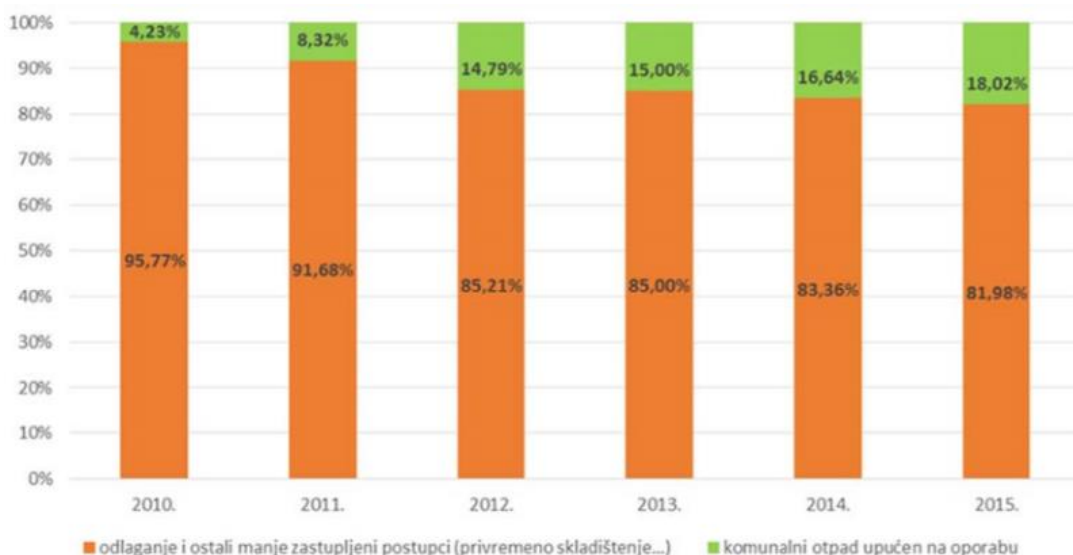
2.4. GOSPODARENJE MIJEŠANIM KOMUNALNIM OTPADOM U REPUBLICI HRVATSKOJ

Prema dostupnim podacima u 2010. godini udio miješanog komunalnog otpada iznosio je čak 86% ukupnoga komunalnog otpada, a od 2012. godine nadalje odnos miješanog i ostalih odvojeno sakupljenih vrsta komunalnog otpada uglavnom je bez promjena u 2015. godini količina miješanog komunalnog otpada je iznosila 1.262.844 tona (76% proizvedenog otpada). Odvojeno je sakupljeno 24% ili 391.074 tona ostalih vrsta proizvedenog komunalnog otpada (Slika 11).¹⁰



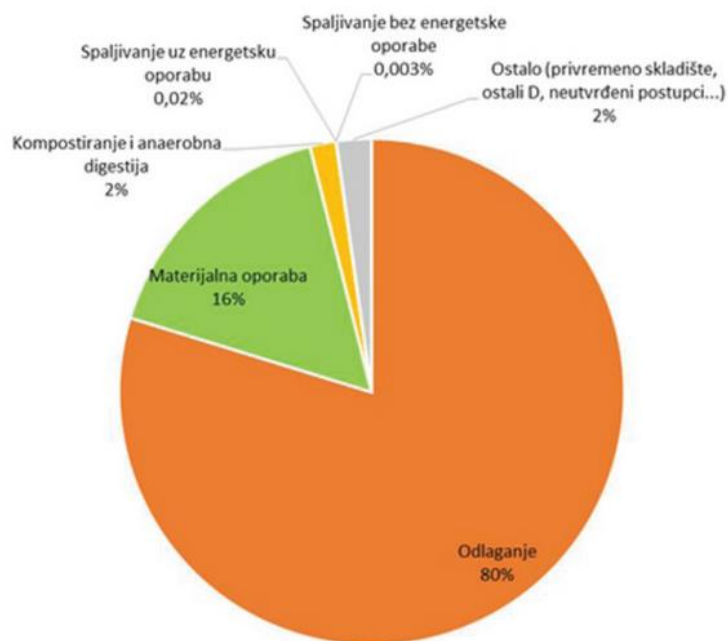
Slika 11. Udjeli miješanog i odvojeno sakupljenog komunalnog otpada u RH u razdoblju od 2010. do 2015.¹⁰

U razdoblju od 2010. do 2015. godine bilježi se porast udjela komunalnog otpada izravno upućenog na uporabu, grafički prikazano na Slici 12. Za 2010. godinu taj udio iznosio je tek 4% (68.947 tona), dok za 2015. godinu iznosi 18% (298.026 tona, u što je uključeno i 8.768 tona miješanog komunalnog otpada upućenog na mehaničko – biološku obradu).

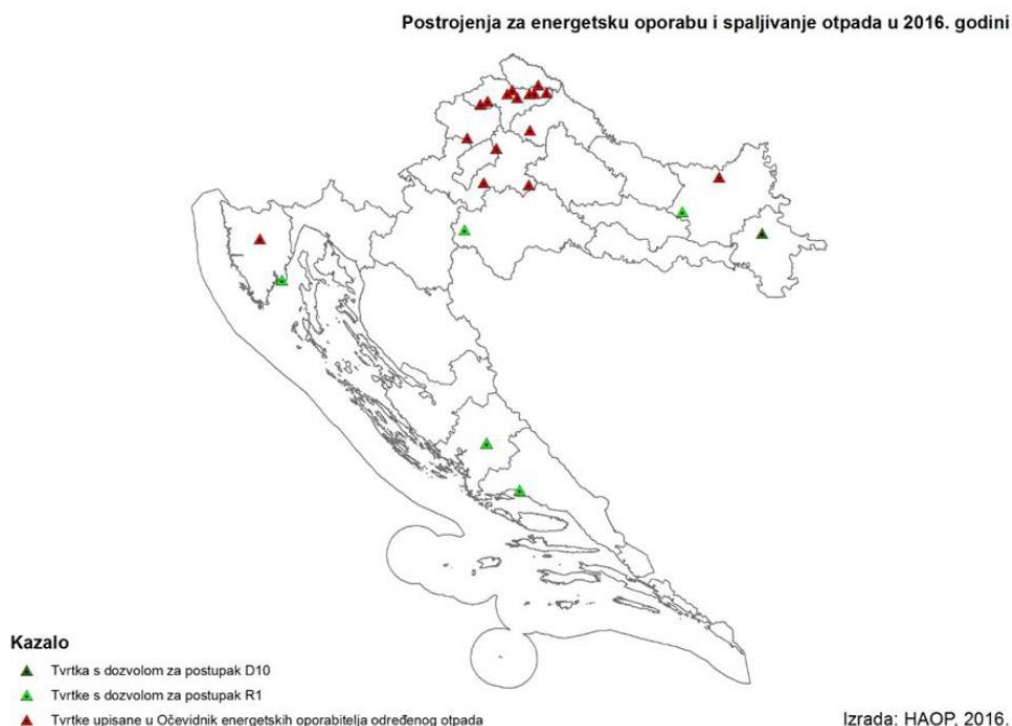


Slika 12. *Gospodarenje komunalnim otpadom u RH u razdoblju od 2010. do 2015.*¹⁰

Pored 18% oporabljenog (pri čemu se tek 2% odnosi na kompostiranje i anaerobnu digestiju) i 80% odloženog otpada u 2015. godini, preostalih 2% čine količine privremeno uskladištenog komunalnog otpada i procijenjene količine za neobuhvaćeni dio stanovništva, za koje nije bilo moguće odrediti način postupanja. Kompostiranjem je u 2015. godini obrađeno svega 27.432 tona, a u bioplinским postrojenjima još 132 tona komunalnog otpada. Energetski je oporabljeno 288 tona komunalnog otpada, a bez uporabe energije svega 56 tona. Količina odloženog komunalnog otpada iznosila je 1.318.740 tona (Slika 13).¹⁰



Slika 13. Udio postupaka oporabe/zbrinjavanja komunalnog otpada u 2015. godini¹⁰



Slika 14. Pregled postrojenja za energetsku uporabu i spaljivanje otpada u 2016. godini¹⁰

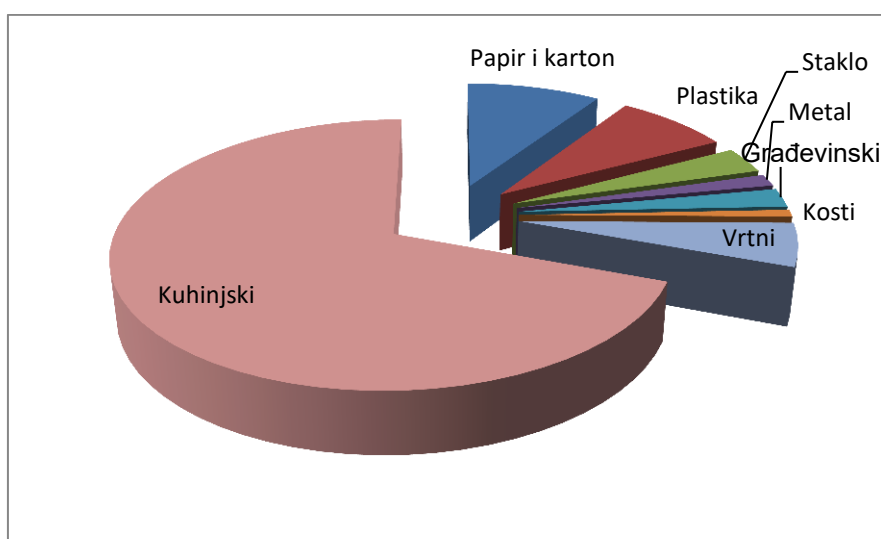
U 2016. godini registrirana su 23 postrojenja za energetsku uporabu otpada, što je prikazano na Slici 14. Primjeri iz europske industrije cementa pokazuju da se mogu koristiti velike količine goriva iz otpada na siguran način, uz značajne koristi, u ponekim zemljama korištenje takvog goriva prelazi 70%, u Hrvatskoj udio korištenja alternativnih goriva iznosi svega 5%, te se uglavnom koriste otpadna ulja, komina masline, koštano brašno, dotrajale automobilske gume i gorivo pripremljeno iz industrijskog otpada.²⁰

Novi Plan gospodarenja otpadom u RH za razdoblje 2017.-2022., u veoma je malo stavaka naveo energetske uporabe otpada. Gospodarenje otpadom u RH za naredno razdoblje bazirano je na recikliranju, kompostiranju i ponovnoj upotrebi.

3. RAČUNSKI DIO

Kako bi se moglo raspravljati o potencijalu energetskog miješanog komunalnog otpada, potrebno je izračunati njegovu približnu energetsku vrijednost. U ovom poglavlju naglasak će biti na izračunu energetskih vrijednosti miješanog komunalnog otpada za četiri područja u Republici Hrvatske. Temelj je Izvješće o komunalnom otpadu iz 2012. godine, a rezultat u obliku masenog udjela pojedinih sastavnica miješanog komunalnog otpada je prikazan u Radu jedinstvene metodologije za analize sastava komunalnog otpada, određivanje prosječnog sastava komunalnog otpada u RH i projekcija količina komunalnog otpada koji je dostupan na web stranicama Agencije za zaštitu okoliša.

Pošto su u izračunima masenog udjela različitih sastavnica komunalnog dijela u Radu sve čestice otpada manje od 40 mm prikazane sumarno kao sitnice koji iznosi oko 25% u svakom sastavu, za izračun u ovome radu uzete su Osječko-baranjska, Zadarska i Dubrovačko-neretvanska županija jer su u tim područjima jedino definirali i sam maseni sastav sitnica. Za Grad Zagreb uzet je prosjek masenog sastava sitnica na razini Republike Hrvatske koji je izračunat upravo na temelju gore navedenih županija (Slika 15). Bitno je definirati maseni sastav sitnica jer ih čine sastavnice različitih donjih toplinskih vrijednosti.



Slika 15. Grafički prikaz masenog sastava sitnica

3.1. Energetski potencijal miješanog komunalnog otpada Osječko-baranjske županije

Tablica 15. Izračun energetskog potencijala miješanog komunalnog otpada Osječko-baranjske županije

| Sastavnica | Donja toplinska vrijednost (MJ/kg) | Miješani komunalni otpad | | Miješani komunalni otpad + sitnice | Donja toplinska vrijednost (MJ/kg) |
|---|------------------------------------|--------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | Maseni udio (%) | Masa (t) | Maseni udio (%) | |
| Metal | 0 | 1,40 | 1051,17 | 1,52 | 0,00 |
| Drvo | 15,4 | 1,00 | 750,83 | 1,00 | 0,15 |
| Tekstil/odjeća | 18,3 | 3,80 | 2853,16 | 3,80 | 0,70 |
| Papir i karton | 21,5 | 23,10 | 17344,24 | 26,20 | 5,63 |
| Staklo | 0 | 2,80 | 2102,33 | 3,53 | 0,00 |
| Plastika | 32,7 | 20,40 | 15316,99 | 24,83 | 8,12 |
| Guma | 30,25 | 0,10 | 75,08 | 0,10 | 0,03 |
| Koža/kosti | 14 | 0,00 | 0,00 | 0,07 | 0,01 |
| Kuhinjski otpad | 4,2 | 12,80 | 9610,66 | 27,68 | 1,16 |
| Vrtni otpad | 6 | 3,90 | 2928,25 | 4,58 | 0,27 |
| Problematicni otpad-pelene | 16,8 | 5,20 | 39,4,33 | 5,20 | 0,87 |
| Ostali otpad (zemlja, prašina, pijesak, nedefinirano) | 0 | 1,30 | 976,08 | 1,52 | 0,00 |
| Sitnica (< 40mm) | - | 24,20 | 18170,15 | - | |
| Ukupno | | 100,00 | 75083,27 | 100,02 | H_{duk}=16,95 |

Tablica 15. prikazuje tijek izračuna energetskog potencijala Osječko-baranjske županije, donje toplinske vrijednosti uzete su iz Tablice 8., dok je donja toplinska vrijednost gume, kože/kosti i pelena uzeta iz drugih dostupnih literatura²⁴. Tablica 16. prikazuje maseni udio različitih sastavnica za sitnice.

Tablica 16. Maseni sastav sitnica Osječko-baranjske županije

| Sitnica | Maseni udio (%) |
|----------------|-----------------|
| Papir i karton | 12,8 |
| Plastika | 18,3 |
| Staklo | 3 |
| Metal | 0,5 |
| Građevinski | 0,9 |
| Kosti | 0,3 |
| Vrtni | 2,8 |
| Kuhinjski | 61,5 |
| Ukupno | 100 |

Temeljem podataka iz gore navedenih dviju tablica te koristeći formulu :

$$H_{duk} = w_1 \times H_{d1} + \dots + w_n \times H_{dn} \text{ (MJ/kg)} \quad (6)$$

dobivamo ukupnu donju toplinsku vrijednost otpada Osječko-baranjske županije koja iznosi 16,95 MJ/kg. Ukoliko dobivenu toplinsku vrijednost pomnožimo sa ukupnom masom miješanog komunalnog otpada, prema formuli:

$$E = m_{uk} \times H_{duk} \text{ (MJ)} \quad (7)$$

Dobit ćemo energiju koja iznosi oko 1272,661x10⁶MJ, ukoliko iskoristimo podatak da je $1 J = 1 Ws = 1/3.600 Wh$, tada se dobiva energija u vrijednosti što je jednako 3,54x10⁸ KWh.

3.2. Energetski potencijal miješanog komunalnog otpada Zadarske županije

Tablica 17. Izračun energetskog potencijala miješanog komunalnog otpada Zadarske županije

| Sastavnica | Donja toplinska vrijednost (MJ/kg) | Miješani komunalni otpad | | Miješani komunalni otpad + sitnice | Donja toplinska vrijednost (MJ/kg) |
|---|------------------------------------|--------------------------|----------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | Maseni udio (%) | Masa (t) | Maseni udio (%) | |
| Metal | 0 | 1,16 | 954,99 | 2,01 | 0,00 |
| Drvo | 15,4 | 0,57 | 469,26 | 0,57 | 0,09 |
| Tekstil/odjeća | 18,3 | 1,79 | 1473,65 | 1,79 | 0,33 |
| Papir i karton | 21,5 | 16,36 | 13468,67 | 18,16 | 3,90 |
| Staklo | 0 | 3,10 | 2552,13 | 3,72 | 0,00 |
| Plastika | 32,7 | 22,00 | 18111,90 | 23,02 | 7,53 |
| Guma | 30,25 | 0,06 | 49,40 | 0,06 | 0,02 |
| Koža/kosti | 14 | 0,07 | 57,63 | 0,47 | 0,07 |
| Kuhinjski otpad | 4,2 | 15,62 | 12859,45 | 32,73 | 1,37 |
| Vrtni otpad | 6 | 9,40 | 7738,72 | 11,52 | 0,69 |
| Problematični otpad-pelene | 16,8 | 4,38 | 3605,92 | 4,38 | 0,74 |
| Ostali otpad (zemlja, prašina, pijesak, nedefinirano) | 0 | 0,51 | 416,87 | 1,56 | 0,00 |
| Sitnica (< 40mm) | - | 24,98 | 20565,24 | - | |
| Ukupno | | 100,00 | 82326,84 | 100,00 | H_{duk}=14,73 |

Tablica 17. prikazuje tijek izračuna energetskog potencijala miješanog komunalnog otpada Zadarske županije, a Tablica 18. prikazuje maseni udio različitih sastavnica sitnica.

Tablica 18. Maseni sastav sitnica Zadarske županije

| Sitnica | Maseni udio (%) |
|----------------|-----------------|
| Papir i karton | 7,2 |
| Plastika | 4,1 |
| Staklo | 2,5 |
| Metal | 3,4 |
| Građevinski | 4,2 |
| Kosti | 1,6 |
| Vrtni | 8,5 |
| Kuhinjski | 68,5 |
| Ukupno | 100 |

Korištenjem izraza (6) dobit ćemo donju toplinsku vrijednost miješanog komunalnog otpada Zadarske županije koja iznosi 14,73 MJ/kg. Ukoliko ovu vrijednost pomnožimo sa ukupnom masom miješanog komunalnog otpada prema izrazu (7) dobit ćemo energiju koja iznosi 1212,674 x10⁶ MJ, što je jednako 3,39x10⁸ kWh.

3.3. Energetski potencijal miješanog komunalnog otpada Dubrovačko-neretvanske županije

Tablica 19. Izračun energetskog potencijala miješanog komunalnog otpada Dubrovačko-neretvanske županije

| Sastavnica | Donja toplinska vrijednost (MJ/kg) | Miješani komunalni otpad | | Miješani komunalni otpad + sitnice | Donja toplinska vrijednost (MJ/kg) |
|---|------------------------------------|--------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | Maseni udio (%) | Masa (t) | Maseni udio (%) | |
| Metal | 0 | 2,70 | 1531,83 | 2,81 | 0,00 |
| Drvo | 15,4 | 1,80 | 1021,22 | 1,80 | 0,28 |
| Tekstil/odjeća | 18,3 | 5,80 | 3290,60 | 5,80 | 1,06 |
| Papir i karton | 21,5 | 19,10 | 10836,29 | 20,72 | 4,45 |
| Staklo | 0 | 2,90 | 1,65 | 3,77 | 0,00 |
| Plastika | 32,7 | 16,70 | 9474,66 | 16,98 | 5,55 |
| Guma | 30,25 | 0,20 | 113,47 | 0,20 | 0,06 |
| Koža/kosti | 14 | 0,50 | 283,67 | 0,64 | 0,09 |
| Kuhinjski otpad | 4,2 | 19,30 | 10949,76 | 35,15 | 1,48 |
| Vrtni otpad | 6 | 7,20 | 4084,88 | 8,15 | 0,49 |
| Problematicni otpad-pelene | 16,8 | 2,50 | 1,418,36 | 2,50 | 0,42 |
| Ostali otpad (zemlja, prašina, pijesak, nedefinirano) | 0 | 1,10 | 624,08 | 1,48 | 0,00 |
| Sitnica (< 40mm) | - | 20,20 | 11460,37 | - | |
| Ukupno | | 100,00 | 56734,50 | 100,00 | H_{duk}=13,88 |

Tablica 19. prikazuje tijek izračuna energetskeg potencijala miješanog komunalnog otpada Dubrovačko – neretvanske županije, a Tablica 20. prikazuje maseni udio različitih sastavnica sitnica.

Tablica 20. Maseni sastav sitnica Dubrovačko-neretvanske županije

| Sitnica | Maseni udio (%) |
|-----------------------|------------------------|
| Papir i karton | 8,02 |
| Plastika | 1,37 |
| Staklo | 4,3 |
| Metal | 0,56 |
| Građevinski | 1,88 |
| Kosti | 0,71 |
| Vrtni | 4,7 |
| Kuhinjski | 78,47 |
| Ukupno | 100 |

Korištenjem izraza (6) dobit ćemo donju toplinsku vrijednost miješanog komunalnog otpada Dubrovačko-neretvanske županije koja iznosi 13,88 MJ/kg. Ukoliko ovu vrijednost pomnožimo sa ukupnom masom miješanog komunalnog otpada prema izrazu (8) dobit ćemo energiju koja iznosi $78,74 \times 10^6$ MJ, što je jednako $3,20 \times 10^7$ kWh.

3.4. Energetski potencijal miješanog komunalnog otpada Grada Zagreba

Tablica 21. Izračun energetskog potencijala miješanog komunalnog otpada Grada Zagreba

| Sastavnica | Donja toplinska vrijednost (MJ/kg) | Miješani komunalni otpad | | Miješani komunalni otpad + sitnice | Donja toplinska vrijednost (MJ/kg) |
|---|------------------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | Maseni udio (%) | Masa (t) | Maseni udio (%) | |
| Metal | 0 | 1,00 | 2325,87 | 1,37 | 0,00 |
| Drvo | 15,4 | 1,00 | 2325,87 | 1,00 | 0,15 |
| Tekstil/odjeća | 18,3 | 3,40 | 7907,96 | 3,40 | 0,62 |
| Papir i karton | 21,5 | 23,60 | 54890,57 | 25,94 | 5,58 |
| Staklo | 0 | 2,80 | 6512,44 | 3,62 | 0,00 |
| Plastika | 32,7 | 21,40 | 49773,65 | 23,39 | 7,65 |
| Guma | 30,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Koža/kosti | 14 | 0,20 | 465,17 | 0,42 | 0,06 |
| Kuhinjski otpad | 4,2 | 11,50 | 26747,52 | 28,93 | 1,22 |
| Vrtni otpad | 6 | 3,30 | 7675,38 | 4,64 | 0,28 |
| Problematicni otpad-pelene | 16,8 | 5,50 | 12792,29 | 5,50 | 0,92 |
| Ostali otpad (zemlja, prašina, pijesak, nedefinirano) | 0 | 1,20 | 2791,05 | 1,78 | 0,00 |
| Sitnica (< 40mm) | - | 25,10 | 58379,38 | - | |
| Ukupno | | 100,00 | 232587,16 | 100,00 | H_{duk}=16,48 |

Tablica 21. prikazuje tijek izračuna energetskog potencijala miješanog komunalnog otpada Grada Zagreba, a Tablica 22. prikazuje maseni udio različitih sastavnica sitnica, dobivenih izračunom prosječnih vrijednosti na temelju vrijednosti iz Tablica 16., 18. i 20.

Tablica 22. Maseni sastav sitnica

| Sitnica | Maseni udio (%) |
|----------------|-----------------|
| Papir i karton | 9,34 |
| Plastika | 7,92 |
| Staklo | 3,27 |
| Metal | 1,49 |
| Građevinski | 2,33 |
| Kosti | 0,87 |
| Vrtni | 5,33 |
| Kuhinjski | 69,46 |
| Ukupno | 100 |

Korištenjem izraza (6) dobit ćemo donju toplinsku vrijednost miješanog komunalnog otpada Grada Zagreba koja iznosi 16,48 MJ/kg. Ukoliko ovu vrijednost pomnožimo sa ukupnom masom miješanog komunalnog otpada prema izrazu (8) dobit ćemo energiju koja iznosi $3833,03 \times 10^6$ MJ, što je jednako $30,6 \times 10^8$ kWh.

Kao što je vidljivo iz prijašnjih tablica, vrtni i kuhinjski otpad imaju veoma nisku donju toplinsku vrijednost u odnosu na ostale sastavnice miješanog komunalnog otpada, samim time ima i visoki udio vlage čime smanjuju kvalitetu miješanog komunalnog otpada kao goriva, stoga je u Tablici 23. prikazan izračun energetskog potencijala komunalnog otpada iz kojeg je izdvojen vrtni i kuhinjski otpad, uz njih izdvojene su i sastavnice koje nemaju nikakvu toplinsku vrijednost. Ovakva vrsta otpada ima potencijalne karakteristike RDF-a, a i sam konačni rezultat dobiven temeljem izraza (6), ukazuje nam kako potencijalni RDF iz miješanog komunalnog otpada Grada Zagreba ima veoma visoku donju toplinsku vrijednost (25,12 MJ/kg).

Tablica 23. Izračun donje toplinske vrijednosti potencijalnog RDF-a Grada Zagreba

| Sastavnica | Donja toplinska vrijednost (MJ/kg) | Miješani komunalni otpad | Miješani komunalni otpad + sitnice | Maseni udio (%) | Donja toplinska vrijednost (MJ/kg) |
|----------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|
| | | Masa (t) | Masa (t) | | |
| Drvo | 15,4 | 2325,87 | 2325,87 | 1,68 | 0,26 |
| Tekstil/odjeća | 18,3 | 7907,96 | 7907,96 | 5,70 | 1,04 |
| Papir i karton | 21,5 | 54890,57 | 60343,20 | 43,49 | 9,35 |
| Plastika | 32,7 | 49773,65 | 54397,30 | 39,21 | 12,82 |
| Koža/kosti | 14 | 465,17 | 973,07 | 0,70 | 0,10 |
| Problematicni otpad-pelene | 16,8 | 12792,29 | 12792,29 | 9,22 | 1,55 |
| Sitnica (< 40mm) | - | 10584,18 | | | |
| Ukupno | | 138739,69 | | 100,00 | H_{duk}=25,12 |

4. ZAKLJUČAK

Tablica 24. *Prikaz energetskeg potencijala miješanog komunalnog otpada u RH*

| Područje | Donja toplinska vrijednost (MJ/kg) | Masa miješanog komunalnog otpada (t) | Energija (MJ) | Energija (kWh) |
|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------|
| Grad Zagreb | 16,48 | 232587,16 | $3833,03 \times 10^6$ | $30,6 \times 10^8$ |
| Osječko-baranjska županija | 16,95 | 75083,27 | $1272,661 \times 10^6$ | $3,54 \times 10^8$ |
| Zadarska županija | 14,73 | 82326,84 | $1212,674 \times 10^6$ | $3,39 \times 10^8$ |
| Dubrovačko-neretvanska županija | 13,88 | 56734,5 | $78,74 \times 10^6$ | $3,20 \times 10^7$ |

Tablica 24. prikazuje energetske potencijale miješovitog komunalnog otpada Grada Zagreba, Osječko-baranjske županije, Zadarske županije i Dubrovačko-neretvanske županije. Kao što je vidljivo iz rezultata najveću donju toplinsku vrijednost ima miješani komunalni otpad Osječko-baranjske županije, što je posljedica najvećeg masenog udjela plastika i papira/kartona. No, krajnji rezultati su veoma zanimljivi, naime literature navode kako se donja toplinska vrijednost kreće rasponu od 10 do 12 MJ/kg, sve prethodno izračunate donje toplinske vrijednosti, su podosta veće od prosjeka. Što se tiče potrebnih energetskeg vrijednosti RDF-a, navodi se kako bi trebala biti u rasponu od 20 do 23 MJ/kg, a konačni rezultat prikazan u Tablici 23. pokazuje nam na primjeru Grada Zagreba kako donja toplinska vrijednost potencijalnog RDF-a iznosi 25,12MJ/kg, što je također iznos koji je podosta veći od prosjeka. Također prema dostupnim podacima, znamo da je cijena RDF oko 80-90 funti/t u 2017. godini.²⁵

Usprkos, dobivenim rezultatima, do kojih je moguće doći veoma jednostavnim postupcima, koristeći podatke koji su javno dostupni, gospodarenje otpadom planirano je u drugom smjeru. Naime, Plan gospodarenja otpadom iz 2017. Ne predviđa energetske oporabu otpada, već se bazira na recikliranju, kompostiranju i ponovnoj upotrebi. I dok je recikliranje i ponovna uporaba, pri samom vrhu odgovornog načina gospodarenja otpadom, otpadom ne gospodari država kao

cjelina, već otpadom gospodari svaki stanovnik tj. proizvođač samog otpada. Puno je vremena i truda potrebno kako bi poučili svakog proizvođača otpada kako njime adekvatno i najbolje gospodariti. Najbolji primjer koliko je to dugotrajan proces su razvijene europske države, poput Njemačke, Austrije i Danske. Prema prethodno navedenim podacima vidljivo je kako je Danska u 2015. godini imala prosječnu nastalu količinu komunalnog otpada od 789 kg/stanovniku, od toga je termički obrađeno 415 kg/stanovnika a odloženo 9 kg/stan, ostatak otpada je recikliran. Slični principi gospodarenja otpadom, slični su u svim razvijenim zemljama Europe.

Prema posljednjim zabilježenim podacima u Hrvatskoj je u 2015. godini odloženo je 80% komunalnog otpada, od ukupno nastalog, reciklirano je svega 18%. Miješani komunalni otpad koji nastaje u Republici Hrvatskoj ima energetske potencijal, te pravilnim postupanjem može postati RDF iznimno visoke kvalitete. Iako je u javnosti uvriježeno mišljenje, kako je energetska oporoba iznimno loš i neodgovoran način zbrinjavanja otpada, uspoređujući statističke i literaturne podatke, dolazimo do zaključka kako je odlaganje otpada još neodgovorniji način. Loše zbrinjavanje komunalnog otpada uzrokuje degradaciju zemljišta i zagađenje zraka i vode te širenje zaraznih bolesti, komunalni deponiji emitiraju metan kao nusprodukt, deponijski plin jedan je od uzročnika stvaranja tzv „efekta staklenika“. Procjedne vode koje nastaju procjeđivanjem vode kroz otpad ili kemijskim i fizikalnim procesima u samom otpadu sadrže teške metale i različite organske spojeve koje su opasne po zdravlje ljudi i okoliša.²⁶ Spaljivanjem otpada smanjujemo mu volumen, ali i omogućavamo lakše nadziranje kvalitetnog i odgovornog odlaganja ostataka od spaljivanja.

Hrvatski miješani komunalni otpad ima energetske potencijal da postane kvalitetno visokokalorično gorivo. Pravilno postupanje s otpadom rasteretiće kapacitete odlagališta i pružiti mogućnost razvitka ekonomije na onome što je stanovništvo odbacilo.

5. LITERATURA

1. Mark Crowder (2013) *New WTE Technologies Turn Trash Into Treasure*
Dostupno na: <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/renewable-energy/new-wte-technologies-turn-trash-into-treasure>
2. (2015) *Energiju proizvedenu iz otpada koristi 14 milijuna građana EU*, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike
Dostupno na: <http://www.mzoip.hr/hr/ministarstvo/vijesti/energiju-proizvedenu-iz-otpada-koristi-14-milijuna-gradana-europske-unije.html>
3. (2014) *U Europskoj uniji posluje preko 450 različitih spalionica otpada*, Poslovni dnevnik
Dostupno na: <http://www.poslovni.hr/hrvatska/u-europskoj-uniji-posluje-preko-450-razlicitih-spalionica-otpada-282381>
4. (2014) *U Europskoj uniji posluje preko 450 različitih spalionica otpada*, Poslovni dnevnik
Dostupno na: <http://www.poslovni.hr/hrvatska/u-europskoj-uniji-posluje-preko-450-razlicitih-spalionica-otpada-282381>
6. *Zakon o održivom gospodarenju otpadom*, NN 94/13, 73/17
Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/657/Zakon-o-odr%C5%BEivom-gospodarenju-otpadom>
7. dr.sc. Tahir Sofilić, *Zdravlje i okoliš*, Metalurški fakultet, Sisak, 2015.
Dostupno na:
https://bib.irb.hr/datoteka/783913.Tahir_Sofili_ZDRAVLJE_I_OKOLI_recenzirano.pdf
8. *Razumijeti otpad – Priručnik za podizanje svijesti*, Zelena akcija, Zagreb, 2012.
Dostupno na: http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/zelena-akcija.production/zelena_akcija/document_translations/843/doc_files/original/Razumijeti_otpad_prijelom.pdf?1339671594
9. Jelena Radošević, dipl.ing.biol., dr. sc. Maja Božičević Vrhovčak, *Potencijali otpada*, Zagreb, 2016.
Dostupno na: <http://www.door.hr/wp-content/uploads/2016/01/Potencijali-otpada1.pdf>

10. *Odluka o donošenju plana gospodarenja otpadom RH za razdoblje 2017.-2022. godine*, NN 3/2017

Dostupno na: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_01_3_120.html

11. *Održivo gospodarenje otpadom*, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike

Dostupno na: <http://www.mzoip.hr/hr/otpad/odrzivo-gospodarenje-otpadom.html>

12. *EU i zaštita okoliša – Gospodarenje otpadom na lokalnoj razini*, Regionalni centar zaštite okoliša, 2009.

Dostupno na: http://www.bef-de.org/fileadmin/files/Publications/Waste/Waste_management_HR.pdf

13. *Izrada jedinstvene metodologije za analize sastava komunalnog otpada, određivanje prosječnog sastava komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj i projekcija količina komunalnog otpada, Jedinstvena metodologija za utvrđivanje sastava komunalnog otpada u RH i procjenu količina –FAZA 2*, ECOINA d.o.o., Zagreb, 2015.

Dostupno na: <http://www.azo.hr/IzradaJedinstveneMetodologije>

14. *Izvjješće o komunalnom otpadu za 2015. godinu*, HAZO, Zagreb, 2016.

Dostupno na: <http://www.azo.hr/Izvjjesca14>

15. *Procjene stanovništva Republike Hrvatske u 2015.*, Državni zavod za statistiku RH, Zagreb, 2016.

Dostupno na: https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/publication/2016/07-01-04_01_2016.htm

16. prof.dr.sc. Z. Prelec, *Porijeklo i osobine otpada – Inženjerstvo zaštite okoliša (9.poglavlje)*, Rijeka

Dostupno na:

http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/katedra4.html

17. Konstantinos Moustakas, Maria Loizidou, *Solid waste management through the application of thermal methods*, Waste Management (2010) 89-124

Dostupno na: http://cdn.intechopen.com/pdfs/9681/InTech-Solid_waste_management_through_the_application_of_thermal_methods.pdf

18. prof.dr.sc. Z. Prelec, *Obrada i zbrinjavanje otpada– Inženjerstvo zaštite okoliša (9.poglavlje)*, Rijeka

Dostupno na:

http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/katedra4.html

19. *Municipal waste statistics*, Eurostat, 2017.

Dostupno na : http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics (pristup 17. rujna 2017.)

20 *Izrada jedinstvene metodologije za analize sastava komunalnog otpada, određivanje prosječnog sastava komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj i projekcija količina komunalnog otpad, Analiza i ocjena postojećeg stanja –FAZA 1*, ECOINA d.o.o., Zagreb, 2015.

Dostupno na: <http://www.azo.hr/IzradaJedinstveneMetodologije>

21 *Analiza iskustava u proizvodnji i korištenju RDF-a u Jugoistočnoj Europi*, ENOVA d.o.o., Sarajevo, 2016.

Dostupno na: <https://rez.ba/wp-content/uploads/2016/12/2016-Analiza-RDF-u-JIE.pdf>

22. Henning Wilts, Laura Galinski, Giovanni Marin, Susanna Paleari, Roberto Zoboli *Assessment of waste incineration capacity and waste shipments in Europe*, ETC/MMGE, 2017.

23. *The EU Environmental Implementation Review Country Report –AUSTRIA*, European Commission, Brussels, 2017.

Dostupno na: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017SC0033&from=EN>


24 D. Lechtenberg, dr. Hansjörg Diller, *Alternative Fuels and Raw Materials Handbook for Cement and Lime Industry – vol.2*, D. Lechtenberg, dr. Hansjörg Diller, Düsseldorf, 2012.

25 *Istraživanje i usporedba EU i hrvatskih standarda u gospodarenju otpadom*, Karlovac, 2005.

Dostupno na: http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/zelena-akcija.production/zelena_akcija/document_translations/7/doc_files/original/MZT_brosura_gospodarenje_otpadom.pdf?1270308667

25. www.letsrecycle.com/prices/efw-landfill-rdf-2/ (pristup 18. rujna 2017.)

ŽIVOTOPIS

 Pohađala je Gimnaziju "Petra Preradovića" u Virovitici, te maturirala sa odličnim uspjehom 2008. godine. 2010. godine upisuje prvu godinu preddiplomskog studija Ekoinženjerstva, na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije u Zagrebu. U isto vrijeme pohađa vojno-civilni program "Kadet" kojim stječem osnovna vojna znanja. U rujnu 2014. stječe akademski naziv sveučilišna prvostupnica inženjerka ekoinženjerstva. U lipnju 2015. godine postaje časnik u OS RH. Trenutno je Zapovjednik voda za RBK dekontaminaciju u Bojni za nuklearno, biološku, kemijsku obranu.