Prilog strategiji gospodarenja komunalnim otpadom u Republici Hrvatskoj

Dimnjašević, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2009

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:788788

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

Diplomski rad

Marko Dimnjašević

U Zagrebu, 2009.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

Diplomski rad

Voditelj rada:

Željko Bogdan

Marko Dimnjašević

U Zagrebu, 2009.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove: procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI/ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Marko Dimnjašević** Mat. br.:0035156586

Naslov: **Prilog strategiji gospodarenja komunalnim otpadom u Republici Hrvatskoj**

Opis zadatka:

Sadašnje stanje gospodarenja komunalnim otpadom u Republici Hrvatskoj je nezadovoljavajuće. Reciklira se samo oko 10 % otpada, dok se ostatak odlaže na oko 300 službenih i oko 3000 divljih odlagališta. Odlagališta su potencijalni izvor zaraze, veliki zagađivači okoliša i emiteri stakleničkih plinova. Zbog toga su mnoge eurposke zemlje uvele ili se spremaju uvesti zabranu odlaganja komunalnog otpada bez prethodne mehaničko-biološke ili termičke obrade.
U okviru zadatka potrebno je:
1. opisati sadašnju situaciju gospodarenja komunalnim otpadom u RH i dati zakonski okvir koji je određuje:
2. napraviti globalni tehno-ekonomski model prikupljanja komunalnog otpada;
3. prikazati mehaničko-biološku i konvencionalne tehnologije termičke obrade otpada;
4. optimirati veličinu postrojenja za termičku obradu otpada po kriteriju najmanjih troškova za Republiku Hrvatsku;
5. predložiti strategiju gospodarenja komunalnim otpadom u kratkoročnom razdoblju od pet godina.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualnu dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
14. svibnja 2009.
Zadatak zadao:
Prof. dr. sc. Željko Bogdan

Rok predaje rada:
svibanj 2010.
Predsjednik Povjerenstva:
Prof. dr. sc. Mladen Andrassy

Sažetak rada

Porast standarda življenja kojemu svi težimo donosi sa sobom i neke negativne posljedice kao što je povećanje onečišćenja okoliša putem različitih gospodarskih aktivnosti. Svako ljudsko djelovanje donosi sa sobom neku vrstu utjecaja na okoliš, pa tako gotovo svaka aktivnost s kojom se ljudi bave proizvodi otpad. Postoji direktna povezanost između standarda življenja i generiranog otpada.

Otpad koji odlažemo na već prepuna odlagališta nije opasan samo za prirodu već pridonosi narušavanju izgleda krajobraza ali i šteti ljudskom zdravlju, te je iz tih razloga potrebno održivo gospodariti otpadom.

Stvaranjem otpada se ne zatvara prirodni put materije i energije te se pridonosi nerazboritom iskorištavanju raspoloživih resursa. Pa je kao takav, otpad danas prepoznat kao prioritet očuvanja prirode i okoliša.

Uslijed svih tih činjenica potrebno je sagledati problem gospodarenja otpadom, te ga pokušati riješiti na efikasan, ekonomičan i na kraju što je najvažnije ekološki prihvatljiv način. Da bi mogli ocijeniti ekološki prihvatljiv način treba biti dobro upoznat sa tehnologijama i različitim načinima obrade otpada, u ovom radu je dan pregled najčešće korištenih tehnologija, te je potrebno odabrati najpovoljnije rješenje koje se trenutno nudi na svjetskom tržištu.

U ovom radu je posebni naglasak dan na tehnologiju termičke obrade otpada, te je promatrana ekonomska opravdanost izgradnje takvog postrojenja. Uz troškove same izgradnje postrojenja napravljena je i tehno-ekonomska analiza prikupljanja otpada te izračunata optimalna veličina postrojenja i broj postrojenja u odnosu na troškove prikupljanja otpada.

Također ključna prednost ove tehnologije, te jedna od bitnih, je što se biološki razgradljiv komunalni otpad smatra obnovljivim izvorom energije te može pomoći u implementaciji obnovljivih izvora energije u elektro-energetski sustav te na taj način smanjiti ukupne troškove izgradnje sustava za obradu otpada i sustav ekološki prihvatljivih izvora energije.

Kao uvodno razmatranje u ovom radu je dan kratak pregled zakonske regulative Republike Hrvatske, te smjernice Europske unije u gospodarenju otpadom.

Na samom kraju rada dan je prijedlog strategije gospodarenja komunalnim otpadom za Republiku Hrvatsku u kratkoročnom periodu od 5 godina.

Uzimanjem u obzir svih relevantnih troškova koji ulaze u obzir možemo zaključiti da je s ekonomskog aspekta, za Republiku Hrvatsku, najpovoljnije izgraditi pet spalionica pravilno raspoređenih po teritoriju u cilju smanjenja ukupnih troškova prikupljanja i prijevoza otpada, čiji pojedinačni kapacitet obrade otpada treba biti u iznosu od 350.000 t otpada godišnje.

Izjava

Izjavljujem da sam diplomski rad izradio samostalno koristeći dostupnu literaturu i znanje stečeno tijekom studija.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Željku Bogdanu na stručnim savjetima i pruženoj pomoći tijekom izrade ovoga rada.

Marko Dimnjašević

Sadržaj:

1 Uvod 9

2 Zakonodavni okvir i smjernice Republike Hrvatske i Europske unije za gospodarenje otpadom 10

2.1 Zakonodavni okvir Republike Hrvatske 10

2.1.1 Zakon o otpadu [2] 10

2.1.2 Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske [1] 11

2.1.3 Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007.-2015. godine [9] 13

2.1.4 Zakon o zaštiti okoliša [8] 14

2.1.5 Odluka o dopuštenoj količini otpadnih guma koje se može koristiti u energetske svrhe u 2007 15

2.1.6 Pravilnik o načinima i uvjetima termičke obrade otpada 15

2.2 Trendovi Europske Unije u gospodarenju komunalnim otpadom 17

2.3 Gospodarenje komunalnim otpadom Republici Hrvatskoj 23

2.3.1 Količine i sastav komunalnog otpada 27

2.3.2 Odvojeno skupljanje otpada 29

2.3.3 Odlagališta otpada 31

3 Tehno-ekonomski model prikupljanja otpada na području Republike Hrvatske 34

4 Prikaz tehnologija za obradu komunalnog otpada 41

4.1 Mehaničko-biološka obrada otpada 41

4.1.1 Anaerobna digestija 42

4.1.2 Kompostiranje 44

4.1.3 Bio-sušenje 45

4.2 Termička obrada otpada 45

4.2.1 Izgaranje 47

4.2.2 Rasplinjavanje otpada 51

4.2.3 Piroliza 53

5 Veličina postrojenja za termičku obradu otpada 55

6 Prijedlog strategije gospodarenja komunalnim otpadom za kratkoročno razdoblje od 5 godina 59

7 Zaključak 63

8 Literatura 64

Popis slika:

Slika 1. Količine komunalnog otpada u zemljama EU, 1995. i 2007. godine 17

Slika 2. Količine komunalnog otpada odloženog na odlagališta u zemljama EU, 1995. i 2007. godine 18

Slika 3. Pregled tehnologija zbrinjavanja komunalnog otpada u EU 19

Slika 4. Trend recikliranja u članicama EU 20

Slika 5. Trend kompostiranja u članicama EU 20

Slika 6. Trend energetskog iskorištavanja otpada u članicama 20

Slika 7. Količine proizvedenog komunalnog otpada 28

Slika 8. Udio stanovništva obuhvaćen organiziranim sustavom sakupljanja komunalnog otpada po županijama za 2005. godinu 31

Slika 9. Primjer kamiona za prikupljanje otpada 37

Slika 10. Troškovi prikupljanja otpada 40

Slika 11. Rešetke za spaljivanje komunalnog otpada 48

Slika 12. Shematski prikaz postrojenja za izgaranje otpada na rešetci 49

Slika 13. Izgaranje u fluidiziranom sloju 50

Slika 14. Sustav s rotacijskim ložištem 51

Slika 15. Prikaz vrsta rasplinjača 52

Slika 16. Shematski prikaz termoenergetskog postrojenja s rasplinjavanjem 53

Slika 17. Specifični troškovi postrojenja 57

Slika 18. Ukupni troškovi prikupljanja i izgradnje spalionica otpada 58

Popis tablica:

Tablica 1. Popis djelatnosti koje generiraju otpad 24

Tablica 2. Popis ključnih brojeva koji se koriste za pojedine vrste komunalnog otpada 26

Tablica 3. Prosječni godišnji sastav otpada 29

Tablica 4. Odvojeno skupljene vrste komunalnog otpada u 2007.g., po vrstama 30

Tablica 5. Broj poduzeća koja rade na sakupljanju i odvoženju komunalnog otpada, i broj legalnih odlagališta otpada 32

Tablica 6. Ulazni podaci za proračun cijene prikupljanja otpada 35

Tablica 7. Troškovi prikupljanja otpada 40

Tablica 8. Troškovi izgradnje 56

Tablica 9. Specifični troškovi izgradnje postrojenja 56

Tablica 10. Potreban broj ljudi za vođenje postrojenja 57

Tablica 11. Područja prikupljanja otpada 61

Tablica 12. Godišnje količine otpada po spalionicama 61

1 Uvod

Porast standarda življenja kojemu svi težimo donosi sa sobom i neke negativne posljedice kao što je povećanje onečišćenja okoliša putem različitih gospodarskih aktivnosti. Svako ljudsko djelovanje donosi sa sobom neku vrstu utjecaja na okoliš, pa tako gotovo svaka aktivnost s kojom se ljudi bave proizvodi otpad. Postoji direktna povezanost između standarda življenja i generiranog otpada.

Otpad koji odlažemo na već prepuna odlagališta nije opasan samo za prirodu već pridonosi narušavanju izgleda krajobraza ali i šteti ljudskom zdravlju, te je iz tih razloga potrebno održivo gospodariti otpadom.

Stvaranjem otpada se ne zatvara prirodni put materije i energije te se pridonosi nerazboritom iskorištavanju raspoloživih resursa. Pa je kao takav, otpad danas prepoznat kao prioritet očuvanja prirode i okoliša.

Uslijed svih tih činjenica potrebno je sagledati problem gospodarenja otpadom, te ga pokušati riješiti na efikasan, ekonomičan i na kraju što je najvažnije ekološki prihvatljiv način. Da bi mogli ocijeniti ekološki prihvatljiv način treba biti dobro upoznat sa tehnologijama i različitim načina obrade otpada, u ovom radu je dan pregled najčešće korištenih tehnologija, te je potrebno odabrati najpovoljnije rješenje koje se trenutno nudi na svjetskom tržištu.

U ovom radu je posebni naglasak dan na tehnologiju termičke obrade otpada, te je promatrana ekonomska opravdanost izgradnje takvog postrojenja. Uz troškove same izgradnje postrojenja napravljena je i tehno-ekonomska analiza prikupljanja otpada te izračunata optimalna veličina postrojenja i broj postrojenja u odnosu na troškove prikupljanja otpada.

Kao uvodno razmatranje u ovom radu dan je kratak pregled zakonske regulative Republike Hrvatske, te smjernice Europske unije u gospodarenju otpadom.

Te je na samom kraju rada dan prijedlog strategije gospodarenja komunalnim otpadom za Republiku Hrvatsku u kratkoročnom periodu od 5 godina.

2 Zakonodavni okvir i smjernice Republike Hrvatske i Europske unije za gospodarenje otpadom

2.1 Zakonodavni okvir Republike Hrvatske

2.1.1 Zakon o otpadu [2]

U RH je prvi zakon o otpadu donesen 1995. godine, a aktualni je na snazi od 1. siječnja 2005, godine uz izmjene i dopune zakona iz 2006., 2008. i 2009. godine. Zakon je popraćen nizom pod zakonskih akata koji propisuju gospodarenje posebnim kategorijama otpada te prekograničnim prometom otpadom. Svi propisi su u procesu pridruživanja RH Europskoj Uniji u potpunosti usklađeni s relevantnim europskim zakonodavstvom.

Izvadci važnijih dijelova iz Zakona dani su u nastavku.

Članak 4.

Gospodarenje otpadom je skup aktivnosti, odluka i mjera usmjerenih na sprječavanje nastanka otpada, smanjivanje količine otpada i/ili njegovoga štetnog utjecaja na okoliš, obavljanje skupljanja, prijevoza, oporabe, zbrinjavanja i drugih djelatnosti u svezi s otpadom, te nadzor nad obavljanjem tih djelatnosti i skrb za odlagališta koja su zatvorena.

Gospodarenje otpadom mora se provoditi na način da se ne dovodi u opasnost ljudsko zdravlje i bez uporabe postupaka i/ili načina koji bi mogli štetiti okolišu, a posebice kako bi se izbjeglo onečišćenje mora, voda, tla i zraka, pojava buke, pojava neugodnih mirisa, ugrožavanje biljnog i životinjskog svijeta, štetan utjecaj na područja kulturno povijesnih, estetskih i prirodnih vrijednosti i nastajanje eksplozije ili požara.

Članak 5.

Ciljevi gospodarenja otpadom su:

-izbjegavanje i smanjivanje nastajanja otpada i smanjivanje opasnih svojstava otpada, i to posebice razvojem čistih tehnologija koje koriste manje prirodnih izvora,

tehničkim razvojem i promoviranjem proizvoda koji ne pridonose ili, u najmanjoj mogućoj mjeri pridonose, povećanju štetnog utjecaja otpada i opasnosti onečišćenja, razvojem odgovarajućih metoda zbrinjavanja opasnih tvari sadržanih u otpadu namijenjenom oporabi

-oporaba otpada recikliranjem, ponovnom uporabom ili obnovom odnosno drugim postupkom koji omogućava izdvajanje sekundarnih sirovina, ili uporabu otpada u energetske svrhe,

-zbrinjavanje otpada na propisan način,

-sanacija otpadom onečišćenog okoliša.

2.1.2 Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske [1]

Sabor Republike Hrvatske donio je 14. listopada 2005. godine dokument pod nazivom *Strategija gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj*. Osnovni cilj Strategije je ostvarenje i održanje cjelovitog sustava gospodarenja otpadom prema suvremenim standardima i načelima, sa svrhom smanjenja na najmanju moguću mjeru nepovoljnog utjecaja otpada na okoliš zbog njegovog napuštanja, odbacivanja ili nekontroliranog odlaganja, čime se želi postići cilj da postupanje s otpadom bude u skladu s načelima održivog razvoja.

U nastavku su odabrane važnije točke ovog dokumenta.

Komunalni otpad

Značajan problem u Hrvatskoj je već desetljećima neodrživo „gospodarenje“ komunalnim otpadom koji uglavnom završava na neuređenim odlagalištima i štetno utječe na zdravlje, prostor i okoliš. Ratna zbivanja do sredine devedesetih i gospodarske teškoće još su više potencirale taj problem.

Divljih odlagališta ima oko 3.000 i njihov se broj stalno mijenja jer se neka saniraju, ali se javljaju i nova. Inspekcijski nadzor nije dovoljan, kazne nisu primjerene, a odgoj i obrazovanje nisu dostatni.

Podaci o tokovima otpada potvrđuju potpuno oslanjanje na odlaganje komunalnog otpada na odlagališta (oko 90% komunalnog otpada odlaže se na taj način), a samo se 1% kompostira.

U Hrvatskoj je tjedni odvoz komunalnog otpada češći nego u EU, što stvara povećane troškove. Za građane je destimulativna i naplata za odvoz otpada iz kućanstva po metru stana. Prosječna godišnja cijena za odvoz otpada po kućanstvu za stan od 60 m2 u Hrvatskoj iznosi 246 kn, odnosno 32 eura, bez troškova odlaganja i sanacije odlagališta. U Zagrebu cijena za odvoz komunalnog otpada iznosi 475 kuna/t/ po domaćinstvu/god. ili 64 eura/t.

Postupci gospodarenja otpadom

Gospodarenje otpadom vrlo je složena djelatnost koja zahvaća sve grane gospodarstva, proizvodnje i potrošnje, a sadrži čitav niz postupaka i tehnologija od kojih se velik dio primjenjuje u različitim oblicima u Hrvatskoj.

U okviru cjelovitog sustava gospodarenja otpadom, na bazi hijerarhijskog koncepta **I**zbjegavanje – **V**rednovanje (oporaba) – **O**dlaganje (IVO), u Hrvatskoj su zastupljeni sljedeći važniji postupci:

-Izbjegavanje nastajanja otpada i smanjivanje opasnih svojstava;
-Skupljanje i prijevoz otpada;
-Vrednovanje – oporaba otpada (odvojeno skupljanje, reciklaža i oporaba, mehanička obrada, biološka obrada, termička obrada i kemijsko-fizikalna obrada);
-Konačno zbrinjavanje ostatnog otpada.

Strateški ciljevi

Strategijom se utvrđuju sljedeći strateški ciljevi gospodarenja otpadom:

-Izbjegavanje nastajanja i smanjivanje količina otpada na izvoru te otpada kojega se mora odložiti, uz materijalnu i energetsku oporabu otpada
-Razvitak infrastrukture za cjeloviti sustav gospodarenja otpadom (stvaranje uvjeta za učinkovito funkcioniranje sustava)
-Smanjivanje rizika od otpada
-Doprinos zaposlenosti u Hrvatskoj
-Edukacija upravnih struktura, stručnjaka i javnosti za rješavanje problema gospodarenje otpadom

2.1.3 Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007.-2015. godine [9]

Sabor Republike Hrvatske donio je 19. srpnja 2007. godine dokument pod nazivom *plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007.-2015. godine.*

U nastavku su odabrane važnije točke ovog dokumenta.

Osnovni ciljevi plana gospodarenja otpadom:

-uspostava cjelovitog sustava gospodarenja otpadom,
-sanacija i zatvaranje postojećih odlagališta,
-sanacija »crnih točaka«, lokacija u okolišu visoko opterećenih otpadom, razvoj i uspostava regionalnih i županijskih centara za gospodarenje otpadom, s pred obradom otpada prije konačnog zbrinjavanja ili odlaganja i
-uspostava potpune informatizacije sustava gospodarenja otpadom.

Provedbom ovog plana očekuje se:

1. Uspostava sustava gospodarenja otpadom u svakoj županiji po regionalnom/županijskom konceptu;
2. Povećanje udjela odvojeno prikupljanog otpada;
3. Recikliranje i ponovna oporaba otpada;
4. Prethodna obrada otpada prije konačnog odlaganja;
5. Smanjenje udjela biorazgradivog otpada u komunalnom otpadu;
6. Izdvajanje goriva iz otpada;
7. Smanjenje količina otpada koje se odlažu na odlagalištima;
8. Smanjivanje štetnih utjecaja otpada na okoliš;
9. Samoodrživo financiranje sustava gospodarenja komunalnim otpadom.

Članak 5.2.2. Smanjivanje udjela biorazgradivog otpada

Kako bi se smanjile emisije plinova u okoliš koje nastaju odlaganjem otpada s visokim udjelom biorazgradivih komponenti postavljeni su sljedeći ciljevi smanjivanja udjela biorazgradivog otpada na odlagališta:

-do 2012. udio biorazgradivog komunalnog otpada koji se odlaže na odlagalište mora se smanjiti na 75 % masenog udjela biorazgradivog komunalnog otpada nastalog 1997.;

-do 2015. udio biorazgradivog komunalnog otpada koji se odlaže na odlagalište mora se smanjiti na 50 % masenog udjela biorazgradivog komunalnog otpada nastalog 1997.;

-do 2020. udio biorazgradivog komunalnog otpada koji se odlaže na odlagalište mora se smanjiti na 35 % masenog udjela biorazgradivog komunalnog otpada nastalog 1997.

2.1.4 Zakon o zaštiti okoliša [8]

Sabor Republike Hrvatske donio je 13. listopada 2007. godine dokument pod nazivom *Zakon o zaštiti okoliša*.

U nastavku su odabrane važnije točke ovog dokumenta.

Članak 2.

Zaštitom okoliša osigurava se cjelovito očuvanje kakvoće okoliša, očuvanje biološke i krajobrazne raznolikosti, racionalno korištenje prirodnih dobara i energije na najpovoljniji način za okoliš, kao osnovni uvjet zdravog života i temelj održivog razvitka.

Okoliš je dobro od interesa za Republiku Hrvatsku i ima njezinu osobitu zaštitu.

Zahvatima u okoliš smije se utjecati na kakvoću življenja, zdravlje ljudi, biljni i životinjski svijet u okvirima održivog razvitka.

Cjelovito upravljanje zaštitom okoliša provodi se na način da se ostvari održivi razvitak sukladno ovom Zakonu i posebnim propisima.

Članak 6.

Ciljevi zaštite okoliša u ostvarivanju uvjeta za održivi razvitak jesu:

– zaštita života i zdravlja ljudi,
– zaštita biljnog i životinjskog svijeta, biološke i krajobrazne raznolikosti te očuvanje ekološke stabilnosti,
– zaštita i poboljšanje kakvoće pojedinih sastavnica okoliša,
– zaštita ozonskog omotača i ublažavanje klimatskih promjena,

– zaštita i obnavljanje kulturnih i estetskih vrijednosti krajobraza,
– sprječavanje velikih nesreća koje uključuju opasne tvari,
– sprječavanje i smanjenje onečišćenja okoliša,
– trajna uporaba prirodnih izvora,
– racionalno korištenje energije i poticanje uporabe obnovljivih izvora energije,
– uklanjanje posljedica onečišćenja okoliša,
– poboljšanje narušene prirodne ravnoteže i ponovno uspostavljanje njezinih regeneracijskih sposobnosti,
– ostvarenje održive proizvodnje i potrošnje,
– napuštanje i nadomještanje uporabe opasnih i štetnih tvari,
– održivo korištenje prirodnih dobara, bez većeg oštećivanja i ugrožavanja okoliša,
– unapređenje stanja okoliša i osiguravanje zdravog okoliša.

Članak 32. (gospodarenje otpadom)

Gospodarenje otpadom obuhvaća mjere za sprječavanje nastanka i smanjivanje količina otpada, bez uporabe postupaka i/ili načina koji predstavljaju rizik po okoliš, te mjere za sprječavanje štetnog djelovanja otpada na ljudsko zdravlje i okoliš.

2.1.5 Odluka o dopuštenoj količini otpadnih guma koje se može koristiti u energetske svrhe u 2007

Članak 1.

U 2007. godini dopušteno je u energetske svrhe koristiti 30% (masenih) od ukupno skupljene količine otpadnih guma.

2.1.6 Pravilnik o načinima i uvjetima termičke obrade otpada

Članak 2.

Ciljevi ovog Pravilnika su sprječavanje ili ograničavanje emisija štetnih tvari u zrak, tlo, površinske i podzemne vode i rezultirajućih rizika za ljudsko zdravlje prouzročenih spaljivanjem i suspaljivanjem otpada.

Članak 4.

U smislu ovog Pravilnika neće se smatrati opasnim otpadom sljedeći otpad:

– gorivi tekući/kapljeviti otpad, uključujući i staro ulje, sa specifičnom ogrjevnom vrijednosti od najmanje 30 MJ/kg, čiji maseni udio polikloriranih aromatskih ugljikovodika, kao posebno polikloriranih bifenila (PCB) ili pentaklorfenola (PCP), ne prelazi 5 mg/kg niti pokazuje opasna svojstva propisana odgovarajućim posebnim propisom o vrstama otpada,

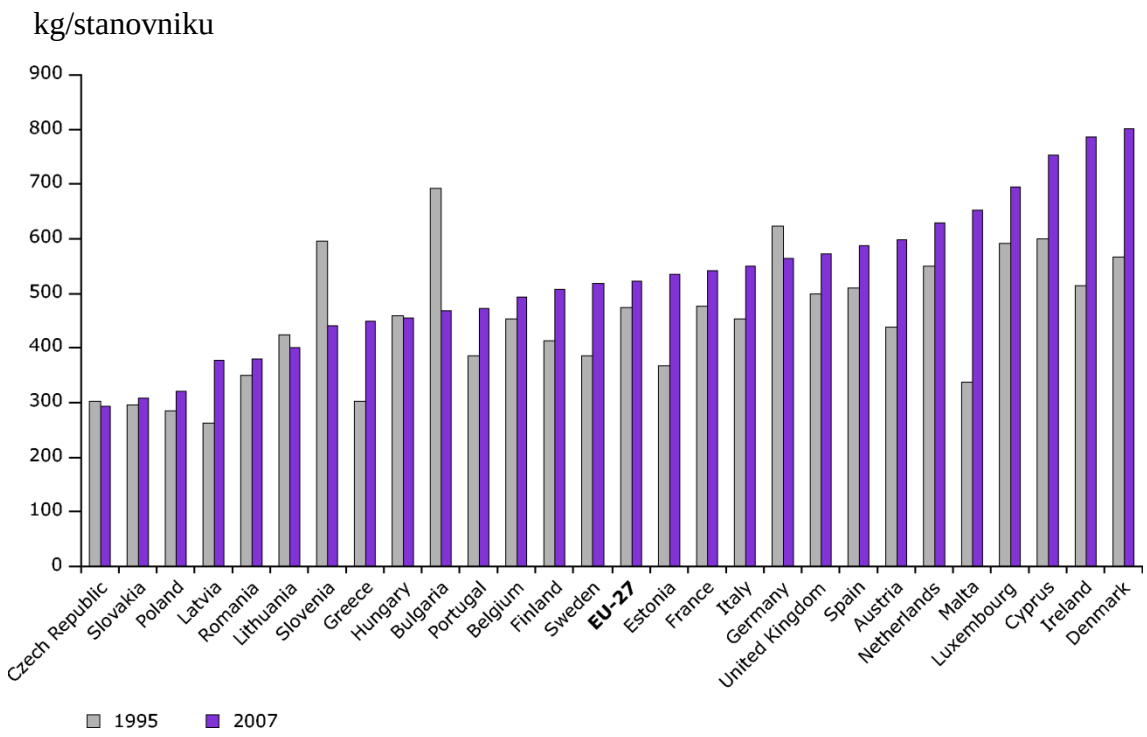
– svi gorivi tekući/kapljeviti otpadi čiji produkti izgaranja ne mogu uzrokovati drugačije emisije ili veće koncentracije emisija od onih koje nastaju izgaranjem ekstra lakog loživog ulja.

Pored spomenutih dokumenata doneseni su i propisi kao na primjer Pravilnik o načinu i postupcima gospodarenja otpadom koji sadrži azbest (NN 42/07), Pravilnik o gospodarenju medicinskim otpadom (NN 72/07), Pravilnik o gospodarenju otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opremom (NN 74/07) i drugi koji čine važan korak u usklađivanju zakonodavnog sustava Republike Hrvatske s pravnom stečevinom i standardima Europske u području zaštite okoliša.

2.2 Trendovi Europske Unije u gospodarenju komunalnim otpadom

Prema dostupnim podacima u Europskoj Uniji se svake godine odbaci 1300 miliona tona otpada od čega je 260 miliona tona komunalnog otpada. Veliki problem predstavlja porast nastalog otpada koji je pratio gospodarski rast sve do 2000. godine, nakon čega je porast otpada rastao nižom stopom.

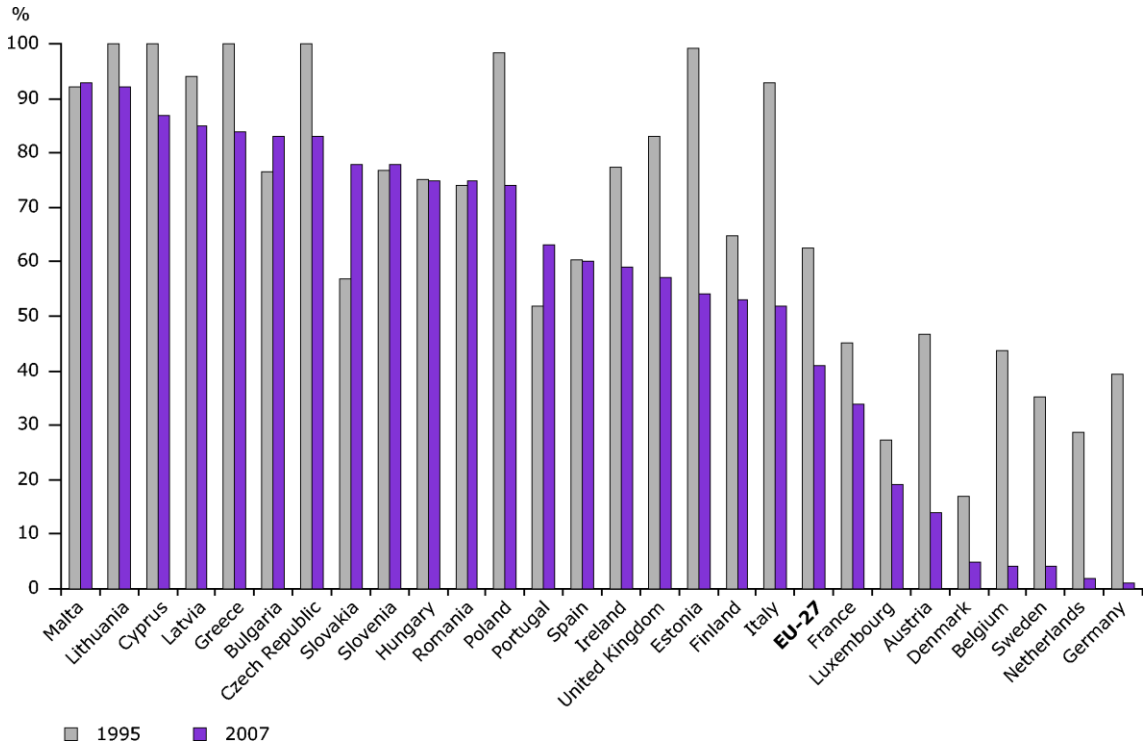
Postoje velike razlike u generiranom komunalnom otpadu među članicama Europske Unije, pa je tako Češka Republika generirala manje od 300 kg/stanovniku dok je Danska generirala čak više od 800 kg/stanovniku u 2007. godini [11]. Na slici 1. prikazan je generirani otpad u pojedinoj zemlji članici u 1995. godini i 2007. godini.



Slika 1. Količine komunalnog otpada u zemljama EU, 1995. i 2007. godine [11]

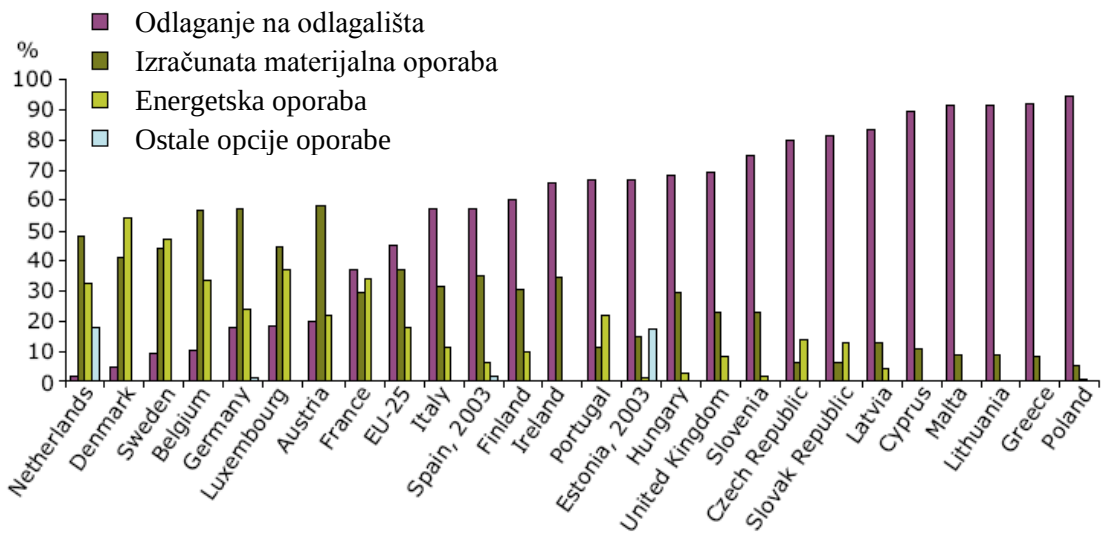
Unatoč kontinuiranom porastu ukupnih količina komunalnog otpada, vrlo je važna promjena postignuta u načinu gospodarenja otpadom – prosječno je 62 % komunalnog otpada odloženo na odlagališta u 1995. godini, a tijekom 2007. godine taj udio je pao na približno 42 %, s time da se predviđa nastavak ovog trenda. Na slici 2. je dana

usporedba odloženog komunalnog otpada na odlagališta u 1995. i 2007. godini iz koje se jasno vidi trend smanjenja odlaganja otpada, ali se isto tako mogu uočiti i velike razlike među članicama EU [11].



Slika 2. Količine komunalnog otpada odloženog na odlagališta u zemljama EU, 1995. i 2007. godine [11]

Pojedine članice Europske Unije odlažu malu količinu otpada na odlagališta ili gotovo ništa, a to postižu upotrebom različitih tehnologija u procesu gospodarenja otpadom. Na slici 3. prikazana su korištene tehnologije u strukturi gospodarenja komunalnim otpadom pojedine članice EU.



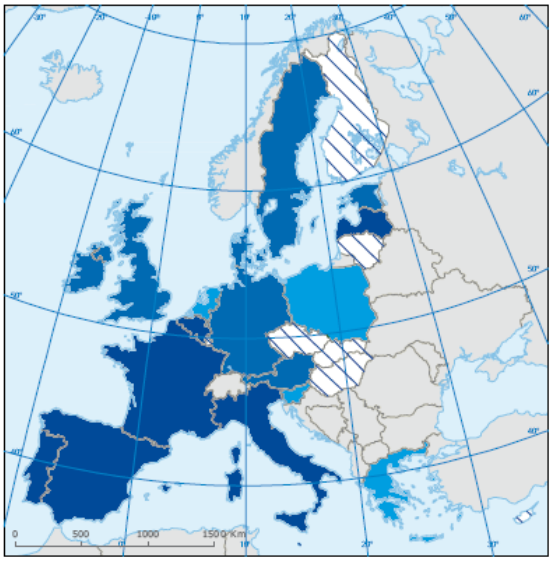
Slika 3. Pregled tehnologija zbrinjavanja komunalnog otpada u EU [27]

Iz slike 3. je uočljiva velika razlika u strukturi gospodarenja otpadom. Izbor optimalnog sustava gospodarenja komunalnim otpadom ponajviše ovisi o lokalnim posebnostima. Prednost pri gospodarenju otpadom se daje recikliranju, kompostiranju i energetskom iskorištavanju otpada ispred odlaganja otpada.

Primjenjuju se sve više alternativni načini gospodarenja otpadom – udio termički obrađenog komunalnog otpada u razdoblju od 1996. godine do 2006. godine porastao je s 14 % na 19 %, a količina komunalnog otpada obrađena recikliranjem i kompostiranjem se udvostručila u istom razdoblju.

Trendovi u gospodarenju komunalnim otpadom su prikazani na političkim kartama Europe, slika 4. prikazuje promjene u recikliranju otpada u odnosu na petogodišnje razdoblje, isto tako je na slikama 5 odnosno 6 prikazana promjena u kompostiranju biorazgradivog otpada i termička upotreba otpada.

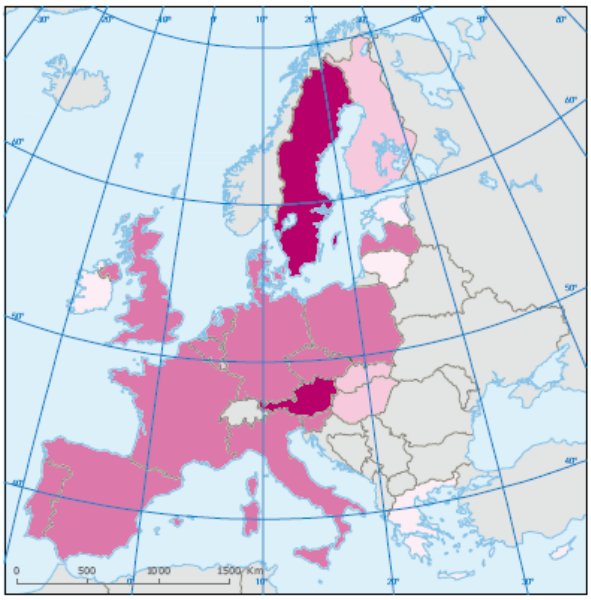
Slika 4. Trend recikliranja u članicama EU [27]



Slika 5. Trend kompostiranja u članicama EU [27]

% change 0–2 3–5 7–9 Reduction
Insufficient data Outside data coverage

% change Reduction 0–1 2–3
Insufficient data Outside data coverage



% change No incineration Reduction
0–3 > 3 Outside data coverage

Slika 6. Trend energetskog iskorištavanja otpada u članicama EU od 2000. do 2005. [27]

Trend rasta energetskog iskorištavanja otpada u zemljama članicama EU za petogodišnje razdoblje uglavnom je pozitivnog predznaka te se za većinu kreće u rasponu do 3 %. Najveći rast od oko 12 % imaju Austrija i Švedska, dok je pad zabilježen u Mađarskoj, Češkoj i Finskoj.

Trendu smanjenja količina odloženog otpada na odlagalištima u EU je ponajprije zaslužan pravni okvir EU u gospodarenju otpadom. EU nastoji smanjiti na najmanju moguću mjeru odlaganje komunalnog otpada na odlagališta, s čime se ujedno i smanjuje rizik od onečišćenja okoliša ovim putem a samim time i njegovih sastavnica (vode, zraka i tla).

Prema Europskoj direktivi *Landfill_Directive 99/31/EC,* koja je nastupila na snagu 16.07.1999., a zadnji rok za implementaciju u regulativu pojedine članice EU bio je 16.07.2001., s kojom se pokušava spriječiti ili smanjiti negativan utjecaj odlagališta otpada na okoliš [10].

Prema spomenutoj direktivi na odlagališta je zabranjeno odlaganje:
-tekućeg otpada
-zapaljivog otpada
-eksplozivni otpad i oksidacijski otpad
-bolnički i drugi klinički otpad koji je zarazan
-korištene automobilske gume i
-ostale vrste otpada koje ne udovoljavaju kriterijima Aneksa II iste direktive.

Isto tako zemlje članice EU su se ovom direktivom obavezale smanjiti količinu biološki razgradljivog komunalnog otpada koji se odlaže na odlagalištima na razinu od:

-75 % do 2006. godine (u odnosu na 1995. godinu),
-50 % do 2009. godine
-35 % do 2016 godine [11]

Zemlje članice koje se 1995. godine odlagale više od 80 % komunalnog otpada na odlagalištima smiju produžiti vremenski period prilagodbe za 4. godine.

Direktiva 2008/98/EC daje nekoliko novih zahtjeva na gospodarenje komunalnim otpadom da bi se postigli zahtjevi smanjenja količina odloženog otpada na odlagalištima. Hijerarhija po kojima se treba obavljati zbrinjavanje otpada je:
-prevencija nastajanja otpada
-priprema za ponovnu upotrebu
-recikliranje
-ostale vrste iskorištavanja, npr. energetsko iskorištavanje

-odlaganje na odlagalištima [12]

Postavljen cilj u direktivi 2008/98/EC za ponovnu upotrebu/recikliranje komunalnog otpada kao što je papir, staklo, metal i plastika je minimalno 50 % (masenog udjela) do 2020. godine [12].

Prema direktivi 2001/77/EC biorazgradivi dijelovi komunalnog i industrijskog otpada su definirani kao obnovljivi izvor energije. Proizvodnjom energije iz komunalnog otpada doprinosi se postizanju cilja od 12 % obnovljivih izvora energije do 2010. godine. Prema Europskoj Komisiji koja je 2008. godine donesla *integrated climate change and energy package (EC, 2008a)* i *proposed directive on renewable energy sources (EC, 2008c)* članice EU očekuju da se definira ambiciozni plan za proizvodnju električne i toplinske energije iz komunalnog otpada, kako bi se dostigao cilj od 20 % proizvodnje energije iz obnovljivih izvora do 2020. godine [11].

Pojedine članice EU su otišle korak naprijed u gospodarenju komunalnim otpadom, pa tako na primjer Njemačka i Flamanska regija Belgije su smanjile odlaganje komunalnog otpada u 2006. godine na samo 1 % [11].

2.3 Gospodarenje komunalnim otpadom Republici Hrvatskoj

Prema Zakonu o otpadu, gospodarenje otpadom je skup aktivnosti, odluka i mjera usmjerenih na:

-sprječavanje nastanka otpada, smanjivanje količine otpada i/ili njegovoga štetnog utjecaja na okoliš,
-obavljanje skupljanja, prijevoza, oporabe, zbrinjavanja i drugih djelatnosti u svezi s otpadom, te nadzor nad obavljanjem tih djelatnosti,
-skrb za odlagališta koja su zatvorena.

Gospodarenje otpadom mora se provoditi na način da se ne dovodi u opasnost ljudsko zdravlje, a posebice kako bi se izbjegao rizik onečišćenja: mora, voda, tla i zraka, pojava buke, neugodnih mirisa, ugrožavanje biljnog i životinjskog svijeta.

U Republici Hrvatskoj gospodarenje otpadom ustrojeno je na [1]:

1. <u>Državnoj razini:</u>

Hrvatski sabor: donošenje zakona i strategija
Vlada RH: donošenje plana gospodarenjem otpadom, donošenje uredbi, određivanje lokacija
Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva:
priprema novog zakonodavstva
donošenje provedbenih propisa
izdavanje zahtjeva za gospodarenje otpadom
inspekcija i nadzor nad provedbom zakona

2. <u>Regionalna razina:</u>

Županijske vlasti: donošenje planova gospodarenja otpadom
određivanje lokacija u prostornim planovima i izdavanje dozvola za odlagališta neopasnog i inertnog otpada
osiguravanje uvjeta i provedba mjera za gospodarenje proizvodnim, ambalažnim, građevinskim i drugim otpadom

izdavanje odgovarajućih dozvola
prikupljanje podataka o otpadu

3. Lokalna i mjesna razina:

Lokalne vlasti: donošenje planova gospodarenja otpadom i određivanje lokacija u prostornim planovima
provedba mjera za gospodarenje komunalnim otpadom
prikupljanje i dostavljanje podataka.

Otpad se može podijeli prema mjestu nastanka na: komunalni otpad i industrijski otpad ovdje razlikujemo ambalažni otpad, građevinski otpad, električki i elektronički otpad, otpadna vozila i otpadne gume. Prema svojstvima otpad se dijeli na opasni, neopasni i inertni.

Otpad se razvrstava prema Katalogu otpada (Uredba o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada). Katalog otpada sadrži popis više od 800 vrsta otpada sistematiziranog prema svojstvima i mjestu nastanka otpada u 20 grupa, koje označavaju djelatnost iz koje potječe otpad. Vrsta otpada uvijek se označava šesteroznamenkastim ključnim brojem. Opasni otpad u Katalogu otpada ima oznaku zvjezdice (*). U katalogu otpada komunalni otpad je obuhvaćen grupom 20, u tu grupu ne spada ambalažni otpad koji je skupljen odvojeno. Isto tako u tu grupu ne spada otpad od građenja ili rušenja kućevlasnika [3].

U tablici 1. dana je lista djelatnosti koje generiraju otpad i svakoj djelatnosti je pridružen ključni broj prema katalogu otpada [1].

Broj	Djelatnosti koje generiraju otpad
01 00 00	Otpad koji nastaje kod istraživanja i kopanja ruda, iskopavanja i drobljenja kamena i od fizičkog i kemijskog obrađivanja ruda
02 00 00	Otpad iz poljodjelstva, vrtlarstva, proizvodnje vodenih kultura, šumarstva, lova i ribarstva, pripremanje hrane i prerade
03 00 00	Otpad od prerade drveta i proizvodnje ploča i namještaja, celuloze, papira i kartona

04 00 00	Otpad iz kožarske, krznarske i tekstilne industrije
05 00 00	Otpad od prerade nafte, pročišćavanja prirodnog plina i pirolitičke obrade ugljena
06 00 00	Otpad iz anorganskih kemijskih procesa
07 00 00	Otpad iz organskih kemijskih procesa
08 00 00	Otpad od proizvodnje, formulacija, prodaje i primjene premaza (boje, lakovi i staklasti emajli), ljepila, sredstva za brtvljenje i tiskarskih boja
09 00 00	Otpad iz fotografske industrije
10 00 00	Otpad iz termičkih procesa
11 00 00	Otpad koji potječe od kemijske površinske obrade i zaštite metala, hidrometalurgije neželjeznih metala
12 00 00	Otpad od oblikovanja i površinske fizičko-kemijske obrade metala i plastike
13 00 00	Otpadna ulja i otpad tekućih goriva (osim jestivog ulja i otpada iz grupe 05, 12 i 19)
14 00 00	Otpadna organska otapala, rashladni i potpisni mediji (osim 07 00 00 i 08 00 00)
15 00 00	Otpadna ambalaža; apsorbensi, materijali za brisanje i upijanje, filtarski materijali i zaštitna odjeća koja nije specificirana na drugi način
16 00 00	Otpad koji nije drugdje specificiran u katalogu
17 00 00	Građevinski otpad i otpad od rušenja objekata (uključujući i otpad od iskapanja onečišćenog tla
18 00 00	Otpad koji nastaje kod zaštite zdravlja ljudi i životinja i/ili srodnih istraživanja (isključujući otpad iz kuhinja i restorana koji ne potječe iz neposredne zdravstvene zaštite)
19 00 00	Otpad iz uređaja za obradu otpada, gradskih otpadnih voda i pripreme pitke vode o vode za industrijsku uporabu
20 00 00	Komunalni otpad (otpad iz domaćinstava, trgovine, zanatstva i slični otpad iz proizvodnih pogona i institucija), uključujući odvojeno prikupljene frakcije

Tablica 1. Popis djelatnosti koje generiraju otpad [1]

Komunalnim otpadom se smatra otpad iz kućanstva, te otpad iz proizvodne ili uslužne djelatnosti ako je po svojstvima i sastavu sličan otpadu iz kućanstava [2].

U tablici 2. nalazi se lista ključnih brojeva, prema katalogu otpada, koji se koriste za pojedine vrste komunalnog otpada, a nekima su dodana i pojašnjenja [3].

	Otpad	Ključni broj	Opis
1	Staklene boce i staklenke od zelenog, smeđeg, prozirnog stakla, miješane	15 01 07	
2	Ravno staklo	20 01 02	
3	Papir	20 01 01	novine, uredski papir, ne ambalaža
4	Karton	15 01 01	kutije od valovitog kartona i druga ambalaža
5	Knjige	20 01 01	
6	Miješani papir i karton	20 01 01	
7	Aluminijske, čelične i miješane	15 01 04	
8	Ostali metalni metali	20 01 40	isključujući napuštena vozila
9	Aluminijska folija	20 01 40	
10	Hladnjaci i zamrzivači	20 01 23*	ključni broj ovisi o teme sadrže li određene klorofluorougljike ili ne
11		20 01 36	
12	Ostala bijela tehnika	20 01 35*	ključni broj ovisi o tome sadrže li opasne tvari ili ne
13		20 01 36	
14	ostala električna roba-TV aparati, video mobiteli, itd	20 01 35*	ključni broj ovisi o tome sadrže li opasne tvari ili ne
15		20 01 36	
16	Plastika	20 01 39	
17	Odjeća i obuća	20 01 10	
18	Ostali tekstili	20 01 11	
19	Ulje	20 01 25	ključni broj ovisi o tome sadrže li opasne tvari ili ne
20		20 01 26*	
21	Samo zeleni otpad	20 02 01	
22	Ostali otpad koji se može kompostirati	20 02 01	
23	Drvo	20 01 37*	
		20 01 38	
24	Namještaj	20 01 38	
25	Šuta	17 01 07	radi jasnoće isključuje se sa liste komunalnog otpada, veće količine ne mogu biti komunalni otpad
		20 02 03	
26	Pomiješani materijali	20 03 01	
27	Fluorescentne cijevi	20 01 21*	Ako se odvojeno skupljaju i zbrinjavaju
28	Akumulatori-automobilski	20 01 33*	
29	Baterije. Ne automobilske	20 01 34	
30	Boja	20 01 28	Na vodenoj bazi
31		20 01 27*	Na bazi organskih otapala
32	Građevinski otpad i otpad od rušenja	17 01 07	Ovaj ključni broj treba koristiti za mješavine betona i cigle i sl.

33	Otpad koji nastaje iz čišćenja divlje odloženih materijala	17 01 07	Vrsta građevinskog otpada i otpada od rušenja
		17 09 04	
		20 03 01	Samo otpad iz kućanstva i slični otpad, treba izbjegavati ovaj broj
34	Ostaci od čišćenja ulica	20 03 03	
35	Glomazni otpad	20 03 07	
36	Obični miješani otpad skupljen iz kućanstva	20 03 01	
37	Odvojeno sakupljeni otpad koji nastaje kod zaštite zdravlja	18 01 04	Otpad koji je prošao postupak obrade i može se zbrinuti kao i ostali otpad
38	Napuštena vozila	16 01 04*	Upotrijebiti prvi broj ako vozila još uvijek sadrže onečišćujuće tekućine
		16 01 06	
39	Otpad od čišćenja plaža	20 03 99	isključen sav otpad osim 20 03 01
40	Gume	16 01 03	
41	Otpad s tržnica	20 03 02	
42	Otpad iz septičkih jama	20 03 04	

Tablica 2. Popis ključnih brojeva koji se koriste za pojedine vrste komunalnog otpada [3]

2.3.1 Količine i sastav komunalnog otpada

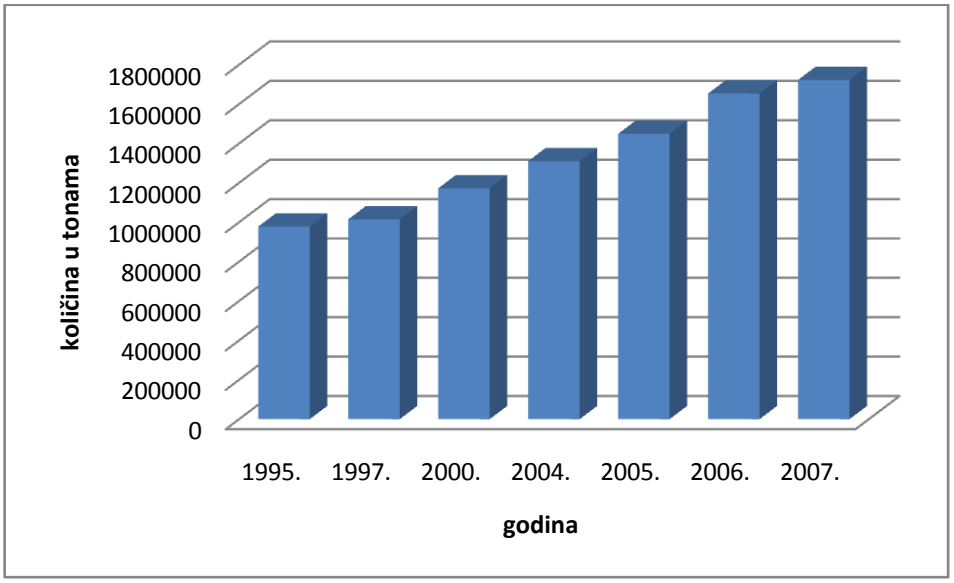
Stanje gospodarenja otpadom je teško opisati zbog nedovoljno sistematiziranih informacija. Podaci o količinama i vrstama otpada su nepotpuni i ne odgovaraju stvarnom stanju. Podaci variraju ovisno o tome tko ih publicira. Svi izvori se slažu u tome da količina otpada stalno raste i da prati gospodarski rast.

Službeni podaci o količinama i sastavu komunalnog otpada mogu se naći u *Izvješću o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj 2007. godine,* kojega izdaje Agencija za zaštitu okoliša i *Katastru otpada* koji je dio Registra o onečišćenju okoliša a kojega isto tako vodi Agencija za zaštitu okoliša (AZO).

Prema katastru otpada iz 2005. godine u hrvatskoj je proizvedeno 2 925 225 t otpada, od čega je 48 % činio komunalni otpad, a 52 % proizvodni otpad. Od ukupno prijavljenog proizvodnog otpada 2 % činio je opasni proizvodni otpad. Prijavu u Katastar otpada izvršio je 3091 proizvođač proizvodnog otpada što je tek 25 % od procijenjenog

ukupnog broja obveznika. Broj prijava je u odnosu na 2004. godinu porastao za 4 %, iako je ukupna količina proizvodnog otpada prijavljena za 2004. godinu bila veća. Za 2005.g. podatke o komunalnom otpadu dostavilo je tek 52 % evidentiranih sakupljača komunalnog otpada što je nakon dodatnog prikupljanja podataka koje je provela Agencija za zaštitu okoliša povećano na 73 % [13].

Podaci o proizvedenom komunalnom otpadu u Republici Hrvatskoj do 2005. godine u većem dijelu su procijenjeni. Za podatke prijavljene za 2006. godinu pa nadalje može se reći da se temelje na podacima prijavljenima od strane obveznika. Slika 7. pokazuje trend porasta količina proizvedenog komunalnog otpada [14].



Slika 7. Količine proizvedenog komunalnog otpada [14]

Za 2007.g. u *Registar onečišćavanja okoliša* skupljači su prijavili 1 652 618 t komunalnog otpada. Nakon što se prijavljenim podacima pribroje procjene za 56 općina za koje podaci nisu dobiveni, tada ukupna količina skupljenog komunalnog otpada za 2007.g. iznosi 1 723 186 t, odnosno 388 kg po stanovniku [14].

Sastav komunalnog otpada mijenja se ovisno o sredini u kojoj nastaje i ovisi o mnoštvu čimbenika kao što su: standard stanovništva, tip naselja, dostignuta razina komunalne infrastrukture i slično.

Do sada se u Republici Hrvatskoj nije sustavno pratio sastav komunalnog otpada. Međutim, postoje rezultati pojedinačnih ispitivanja za neka područja koja su se provodila u razdoblju 1997. godine, što je prikazano u tablici 3.

Komponenta otpada	kontinentalni dio (mas %)	priobalje (mas %)	srednja vrijednost (mas %)	biorazgradivi udio (mas %)
kuhinjski i biootpad	43,1	41,0	42,1	74,5
papir i karton	19,6	20,3	20,0	
koža i kosti	3,0	3,1	3,1	
drvo	1,3	1,2	1,3	
tekstil	7,8	8,2	8,0	
staklo	6,6	7,0	6,8	
metali	4,1	4,0	4,1	
inertni	1,5	2,2	1,9	
plastika	11,6	12,3	12,0	
guma	0,9	0,5	0,7	
posebni	0,4	0,2	0,3	

Tablica 3. Prosječni godišnji sastav otpada [9]

Najzastupljenija komponenta u komunalnom otpadu je biorazgradivi otpad. Biorazgradivi otpad je svaki otpad koji podliježe anaerobnoj ili aerobnoj razgradnji kao što je to slučaj s vrtnim, kuhinjskim otpadom, a u manjem dijelu i papirom te kartonom.

2.3.2 Odvojeno skupljanje otpada

Od ukupne količine skupljenog komunalnog otpada najviše je bilo miješanog komunalnog otpada (87 %), ostalo su činile odvojeno skupljene vrste iz komunalnog otpada (13 %). Gotovo 96 % skupljenog komunalnog otpada predano je na odlaganje, dok je na oporabu predano tek 3,3 % skupljenog otpada. U izvoz je predano 36 t

komunalnog otpada, a ostatak od 14 425 t privremeno je uskladišten (uglavnom balirani miješani komunalni otpad i male količine odvojeno skupljenih vrsta iz komunalnog otpada) [14].

Prema dostupnim podacima u 2007. godini prijavljeno je 213 199 t odvojeno skupljenih vrsta iz komunalnog otpada. Najveća količina odvojeno skupljenih vrsta iz komunalnog otpada prijavljena je u Gradu Zagrebu (47,9%) i Dubrovačko−neretvanskoj županiji (19,3%). Od ukupne količine odvojeno skupljenih vrsta iz komunalnog otpada 42,9% činio je glomazni otpad, 10,6% biorazgradivi otpad iz vrtova i parkova, te 8,6% papir i karton [14]. U tablici 4. prikazane su količine odvojeno skupljenog otpada prema vrsti.

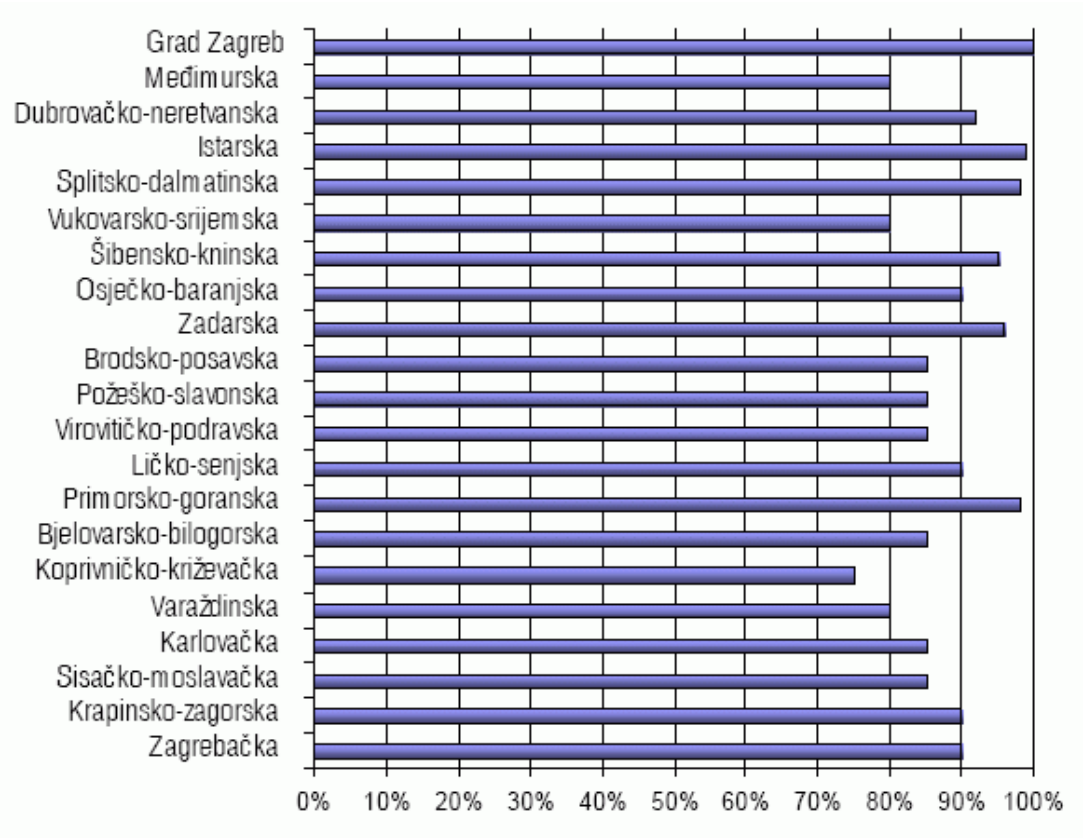
Vrsta otpada	Količina (t)	Udio (%)
Glomazni	91 463	42,9
Biorazgradivi	22 537	10,6
Papir i karton	18 358	8,6
Ostaci od čišćenja ulica	13 924	6,5
Otpad koji nije specificiran na drugi način	13 167	6,2
Biorazgradivi otpad iz kuhinja i kantina	10 056	4,7
Otpad s tržnica	8 337	3,9
Zemlja i kamenje	7 390	3,5
Staklo	6 466	3
Muljevi iz septičkih jama	5 613	2,6
Drvo	4 786	2,2
Plastika	3 431	1,6
Metali	2 789	1,3
Ostalo	4 882	2,3
Ukupno	213 119	100

Tablica 4. Odvojeno skupljene vrste komunalnog otpada u 2007.g., po vrstama [14]

Osim u Gradu Zagrebu na području RH trenutno nema odvojenog sakupljanja biorazgradivog otpada iz kućanstava. U nekim gradovima RH se je ovaj otpad sakupljao odvojeno ali je odlagan zajedno sa ostalim otpadom [4].

2.3.3 Odlagališta otpada

Organiziranim odvozom komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj prosječno je obuhvaćeno 92,8 % stanovništva što je prikazano slikom 8., a taj udio je u stalnom porastu.



Slika 8. Udio stanovništva obuhvaćen organiziranim sustavom sakupljanja komunalnog otpada po županijama za 2005. godinu [9]

Prema prikupljenim podacima danas u hrvatskoj postoje 278 službenih odlagališta otpada, ali isto tako i preko 3000 divljih odlagališta. U tablici 5. Prikazan je broj poduzeća koja skupljaju i odvoze komunalni otpad te broj legalnih odlagališta otpada raspoređenih prema županijama.

	Županija	Br. Komunalnih poduzeća	Br. Odlagališta
1	Zagrebačka	8	9
2	Krapinsko-zagorska	6	6
3	Sisačko-moslavačka	10	11
4	Karlovačka	10	9
5	Varaždinska	7	9
6	Koprivničko-križevačka	9	21
7	Bjelovarsko-bilogorska	8	16
8	Primorsko-goranska	12	16
9	Ličko-senjska	9	13
10	Virovitičko-podravska	7	12
11	Požeško-slavonska	3	2
12	Brodsko-posavska	10	16
13	Zadarska	19	20
14	Osječko-baranjska	15	17
15	Šibensko-kninska	12	10
16	Vukovarsko-srijemska	20	29
17	Splitsko-dalmatinska	23	18
18	Istarska	8	9
19	Dubrovačko-neretvanska	12	7
20	Međimurska	4	27
21	Grad Zagreb	1	1
	Ukupno:	186	278

Tablica 5. Broj poduzeća koja rade na sakupljanju i odvoženju komunalnog otpada [5], i broj legalnih odlagališta otpada [6].

Opremljenost i mjere zaštite na odlagalištima su općenito loši. Utjecaj odlaganja na barem jedan od medija (zrak, voda i zemlja) provodi se na malom broju odlagališta.

Naplata same usluge organiziranog odvoženja komunalnog otpada nije zadovoljavajuća. Način obračuna i cijena usluge veoma se razlikuju, pa tako u 90 % slučajeva obračunava se prema stambenoj površini, s rasponom cijena od 0,2 do 0,75 kn/m^2. [4] Ovakav način obračuna naravno nije nimalo stimulativan za smanjenje količine proizvedenog otpada, kao što bi bio obračun cijene odvoza prema proizvedenoj količini.

Tijekom zadnjih godina situacija u gospodarenju otpadom se počela polagano popravljati, ali još uvijek ima niz problema.

Stav javnosti prema otpadu pretežno je negativan, što rezultira neprijateljskim stavom prema lociranju građevina i postrojenja za gospodarenje otpadom. Nema sustavnog obrazovanja kako javnosti, uprave i političkih struktura tako i djelatnika na poslovima gospodarenja otpadom. Javnost (sve društvene skupine), u pravilu, otpad i gospodarenje otpadom percipira kao problem, ali ne svoj nego tuđi kojega mora riješiti netko drugi (npr. država, grad, njezine agencije, županije i td.) [0].

Do konfliktnih situacija posebno dolazi prigodom određivanja novih lokacija za bilo koju od građevina i postrojenja za gospodarenje otpadom, pa čak i onda kad treba sanirati postojeće neuređeno odlagalište. Uzroci tome su nedovoljno znanje i informiranost o problematici otpada, nepovjerenje, nedovoljno sudjelovanje javnosti u procesima odlučivanja i nepostojanje jedinstvenog i transparentnog načina odštete zbog umanjene vrijednosti nekretnina. [1].

3 Tehno-ekonomski model prikupljanja otpada na području Republike Hrvatske

Djelatnosti gospodarenja otpadom se ponajprije usmjeruju u smanjenje količina nastalog otpada, a kada jednom kao takav nastane potrebno ga je zbrinuti na ekološki prihvatljiv način. Pod djelatnostima zbrinjavanja otpada se podrazumijevaju djelatnosti usmjerene na prikupljanje, recikliranje, oporabu i na kraju odlaganje otpada.

Prvenstveno se treba usredotočiti na recikliranje otpada, te na taj način povratiti korisne resurse ponovno u upotrebu. Sav preostali otpad koji nije moguće reciklirati, potrebno je povrgnuti procesima oporabe dok se kao zadnje rješenje nudi odlaganje otpada.

Oporaba otpada se nameče kao ekološki imperativ, uslijed kojega je potrebno sagraditi i staviti u funkciju postrojenja za oporabu otpada. Pitanje koje se nameće samo po sebi je: koliko postrojenja je potrebno Republici Hrvatskoj i kolika je potrebna investicija u postrojenje. Sam način oporabe može se podijeliti na materijalnu i energetsku oporabu. U ovom radu je posebni naglasak stavljen na postrojenja za energetsku oporabu otpada, pa su sukladno tome i promatrana takva postrojenja.

Potrebni broj postrojenja, u ovom slučaju za Republiku Hrvatsku, direktno ovisi o tehno-ekonomskoj strukturi prikupljanja otpada, iz čega se zaključuje da se ne može odgovoriti na pitanje koliko postrojenja je potrebno dok se ne zna način i cijena prikupljanja otpada i prijevoz do takovog postrojenja. Isto tako se može reći da cijena prikupljanja ovisi direktno o broju postrojenja i to zbog različite udaljenosti prijevoza otpada iz čega zaključujemo da je potrebno optimizirati veličinu i broj postrojenja u ovisnosti o cijeni prikupljanja otpada.

Za potrebe ovog rada izrađen je model prikupljanja otpada, koji bi trebao dati odgovor na pitanje koliko novaca je potrebno za prikupljanje otpada.

Kao relevantni ulazni podatak za proračun prosječnog puta koji kamion prođe u jednoj vožnji korištena je površina županija [15]. Popis stanovništva i proizvedeni komunalni otpad korišteni za potrebe ovog proračuna preuzeti su iz *Plana gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007.-2015. godine*, dan je prikaz ovih podataka u tablici 6. zajedno sa površinom županija korištenih za izradu proračuna.

br.:	Županija:	Popis stanovnika iz 2001. godine	Proizvedeni otpad u 2005. godini [t]	Površina [km^2]
1	Zagrebačka	309.696	81.181	3.078,0
2	Krapinsko-zagorska	142.432	30.640	1.224,2
3	Sisačko-moslavačka	185.387	62.332	4.463,0
4	Karlovačka	141.787	37.174	3.622,0
5	Varaždinska	184.769	40.206	1.261,0
6	Koprivničko-križevačka	124.467	26.249	1.746,0
7	Bjelovarsko-bilogorska	133.084	36.740	2.652,0
8	Primorsko-goranska	305.505	114.984	3.582,0
9	Ličko-senjska	53.677	17.766	5.350,5
10	Virovitičko-podravska	93.389	26.391	2.068,0
11	Požeško-slavonska	85.831	27.658	1.845,0
12	Brodsko-posavska	176.765	54.818	2.043,0
13	Zadarska	162.045	69.659	3.642,0
14	Osječko-baranjska	330.506	126.456	4.152,0
15	Šibensko kninska	112.891	35.367	2.939,0
16	Vukovarsko srijemska	204.768	42.245	2.448,0
17	Splitsko-dalmatinska	463.676	142.423	4.534,0
18	Istarska	206.344	96.400	2.820,0
19	Dubrovačko-neretvanska	122.870	44.410	1.783,0
20	Međimurska	118.426	24.533	648,0
21	Grad Zagreb	779.145	311.749	641,4
	Ukupno:	4.437.460	1.449.381	56.542

Tablica 6. Ulazni podaci za proračun cijene prikupljanja otpada

Podaci o proizvedenom komunalnom otpadu prikazani u tablici 6. su iz 2005. godine. Zbog nedostupnost novijih podatak o proizvedenom otpadu po županijama ovi podaci su korišteni da bi se izračunalo postotno povećanje ukupno proizvedenog otpada u odnosu na 2007. godinu, te se je pretpostavilo da se za isti taj postotak povećala proizvodnja otpada u svakoj županiji. Tako da je uz podatke prikazane u tablici relevantan i podatak proizvedenog komunalnog otpada za 2007. godinu, pa je tako tada proizvedeno 1.652.618 t otpada.

Aproksimacijski model prikupljanja otpada je napravljen za područje Republike Hrvatske tako da je variran broj postavljenih, a samim time i snaga postrojenja koja je potrebna za obradu cjelokupnog generiranog komunalnog otpada, te se je na osnovu toga dobio ekonomski najisplativiji scenarij za izgradnju postrojenja za zbrinjavanje otpada.

Ovisno o broju postrojenja za obradu otpada bilo je potrebno podijeliti Republiku Hrvatsku na cjeline koje spadaju pod područje centara za obradu otpada, u koji je smještena spalionica otpada. Sama podjela je vršena prema županijama i to na taj način da udaljenost prijevoza otpada bude što manja.

Promatrano je šest zasebnih slučajeva prikupljanja otpada za koje je postavljeno:

- prvi slučaj- 1 postrojenje
- drugi slučaj- 2 postrojenja
- treći slučaj- 5 postrojenja
- četvrti slučaj- 9 postrojenja
- peti slučaj- 14 postrojenja, što korespondira sa regionalnim modelom gospodarenja otpadom prema *planu gospodarenja otpadom u RH za razdoblje od 2007.-2015. godine* [9].
- šesti slučaj- 21 postrojenje, što korespondira sa županijskim modelom gospodarenja otpada prema *planu gospodarenja otpadom u RH za razdoblje od 2007.-2015. godine* [9].

Troškovi prikupljanja otpada se mogu podijeliti na fiksne troškove i varijabilne troškove. U fiksne troškove spadaju plače radnika i investicija u kamione za prijevoz otpada, dok u varijabilne troškove možemo svrstati troškove goriva potrošenog za skupljanje otpada.

Broj kamiona koji sudjeluje u prikupljanju otpada direktno ovisi o količini nastalog otpada ali i o udaljenosti na koju je potrebno taj otpad prevesti. O njima kao o fiksnom trošku možemo govoriti samo tada kada se odlučimo za broj postrojenja i podijelimo RH. na regije koje spadaju pod točno određeno postrojenje. Tada nam je poznati broj potrebnih kamiona za prijevoz nastalog otpada i možemo procijeniti potrebno povećanje/smanjenje broja kamiona u odnosu na trend generiranog komunalnog otpada u svakoj pojedinoj regiji prikupljanja otpada.

Prijevoz i prikupljanje otpada promatrano je da se vrši pomoću kamiona za prikupljanje otpada, jedan primjer takvog kamiona je prikazan na slici 9. Karakteristike kamiona koje su uzete u obzir za model prikupljanja otpada su:

Cijena investicije: C_{ik}=140.000 €
Maksimalni utovarni kapacitet: M_k= 10 t
Životni vijek kamiona: T_k=5 god

U ovom slučaju je promatrano da posada i kamion rade u jednoj smjeni te da im radni dan traje osam sati, dok je kao vrijeme efektivnog rada uzet period od pet sati. T= 5 h.

Slika 9. Primjer kamiona za prikupljanje otpada

U efektivni broj radnih sati spada vrijeme potrebno za samo prikupljanje otpada, prijevoz otpada do mjesta istovara, vrijeme potrebno za sami istovar ali i moguće vrijeme potrošeno u gradskim gužvama i stajanjima na semaforu.

U aproksimacijskom modelu koji je napravljen pokušali su se uzeti u obzir svi spomenuti parametri. Pa je tako uzeto vrijeme potrebno za:

istovar: T_{is}=0,4 h
gradsku gužvu i stajanje na semaforima: T_s=0,1 h
utovar: T_{ut}=1,5 h

U samom modelu je napravljena mogućnost mijenjanja ovih parametara za svaku županiju posebno, u odnosu na površinu županije i broj stanovnika koji žive u njoj, odnosno na gustoću naseljenosti i specifičnu proizvodnju komunalnog otpada generiranu po stanovniku. Na taj način, uz dobro odabrane parametre, moguće se je približit više ili manje realnom rješenju.

Vrijeme potrebno za prijevoz otpada je računato u modelu preko prosječne brzine kamiona i prosječnog puta koji kamion prevali svaki dan. Gdje je uzeta prosječna brzina kamiona V_k=30 km/h, to je brzina kamiona samo kada kamion prevozi otpad od točke A do točke B, dok je stvarna prosječna brzina kamiona na osnovi efektivnog vremena rada nešto niža.

Prijevoz i sakupljanje otpada se vrši na razini jednoga dana, pa je ukupni akumulirani otpad sveden na dnevnu razinu. S tim da se sa sveukupnog područja ne odvozi otpad svaki dan već je promatran prijevoz otpada na tjednoj razini, ali tako da je potrebno generirani otpad na promatranom području prevesti radnim danima tijekom tjedna, dok se subotom i nedjeljom ne vrši odvoz otpada.

Prosječni put kamiona je računat tako da je površina promatranog područja zamijenjena sa površinom kruga nekog promjera uvećanog za 13 % te je pretpostavljeno da je upravo to prosječni put koji prođe kamion u jednoj vožnji, odnosno prikazano jednadžbom [27]:

$$s = 1{,}13 * \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \ [m]$$

Gdje A predstavlja površinu promatranog područja s kojega se odvozi otpad, što se dobije zbrajanjem površina županija koje spadaju pod promatrano područje postrojenja prema:

$$A = \sum_{i=1}^{i=n} A_i \ [m^2]$$

Gdje je A_i površina promatranih županija.

Stvarno vrijeme koje je potrebno da se obavi jedan prijevoz izračunato je sljedećom jednadžbom:

$$T_{st} = \frac{s}{V_k} + T_{ut} + T_{is} + T_s \ [h]$$

Tada se na osnovi prosječnog vremena potrebnog za obavljanje jednog prijevoza otpada i vremena efektivnog radnog dana izračunalo koliko je puta moguće povećati broj napravljenih prijevoza u jednom danu prema jednadžbi:

$$P = \frac{T}{T_{st}}$$

Na osnovi toga je moguće izračunati stvarni potreban broj kamiona za prijevoz otpada.

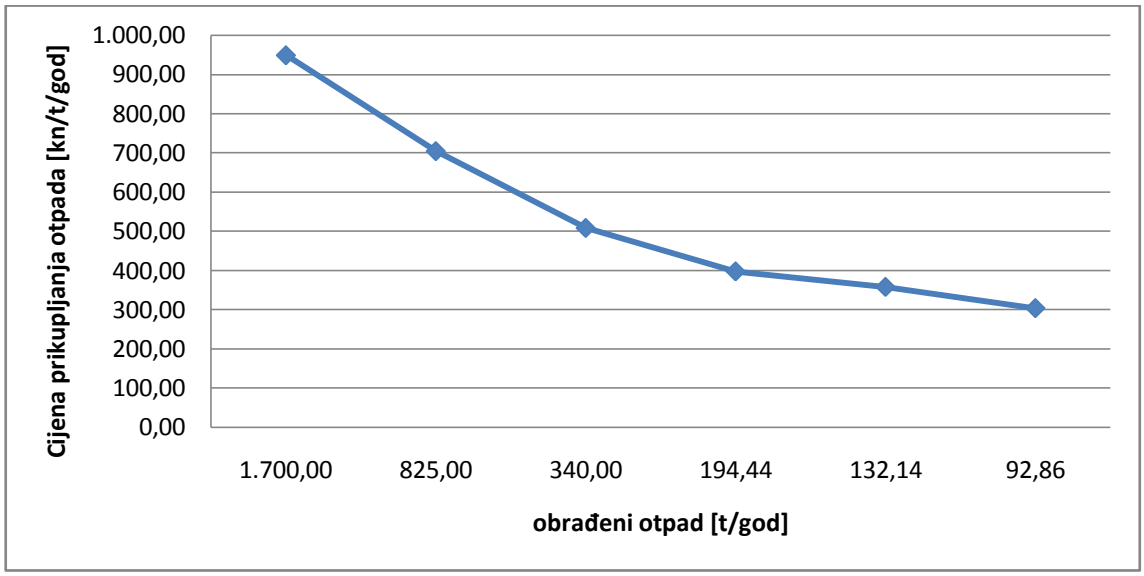
Broj kamiona dobiven na ovaj način je uvećan za 20 %, to je napravljeno zbog kvarova kamiona ali i zbog redovitog održavanja koje kamion mora proći za vrijeme svog životnog vijeka. Gledano na taj način možemo smatrati da je povećanje broja kamiona sigurnost za slučaj nepredviđenih situacija.

Trošak na plače radnika je modeliran na način da je uzet broj potrebnih radnika koji rade ne sakupljanju otpada u odnosu na broj kamiona. Pa je tako promatrano da je za svaki kamion potrebno tri radnika koji pomažu pri utovaru i prijevozu otpada. Na taj način nije obuhvaćen cjelokupni broj radnika koji rade u komunalnom poduzeću, već samo osnovni dio radnika koji rade na sakupljanju otpada. Da bi na neki način obuhvatili i ostatak radnika (uprava poduzeća, administrativne službe i td.) nužno potrebnih da bi se prikupljanje otpada vršilo uzeto je također povećanje broja radnika u iznosu od 40 %, u odnosu na broj radnika potrebnih za samo sakupljanje otpada.

Troškovi prikupljanja otpada dobiveni na opisan način su prikazani u tablici 7, gdje se vidi egzaktna cijena, dok ja na slici 10 prikazana ista cijena prikupljanja, na kojoj se vidi trend opadanja cijene prikupljanja u odnosu na broj postrojenja u Republici Hrvatskoj.

Troškovi prikupljanja otpada	Broj postrojenja	Cijena prikupljanja [kn/god/t]
1	1	906,77
2	2	662,14
3	5	466,21
4	9	355,37
5	14	315,85
6	21	261,64

Tablica 7. Troškovi prikupljanja otpada



Slika 10. Troškovi prikupljanja otpada

Iz slike 10. se vidi opadanje cijene prikupljanja otpada, te se lako može uočiti da sa sve većim brojem postrojenja trend opadanja je sve niži.

Da bi mogli procijeniti optimalni broj i snagu postrojenja u Republici Hrvatskoj moramo poznavati i troškove izgradnje postrojenja. Specifični trošak izgradnje i vođenja postrojenja opada u odnosu na prikupljanje otpada na drugu stranu, jer što je veće postrojenje to je njegova izgradnja ekonomičnija, te ćemo na osnovi toga moći lako zaključiti o optimalnom rješenju. Više o troškovima izgradnje opisano je u poglavlju 5.

4 Prikaz tehnologija za obradu komunalnog otpada

Stalnim povećavanjem broja stanovništva i standarda življenja, kojemu svi težimo, povećavamo i generirani komunalni otpad. Takav trend porasta otpada uzrokuje sve pretrpanija odlagališta otpada, koja su potencijalni izvor zaraze, bolesti ali i šteti izgledu krajobraza. Odlagališta otpada isto tako su i generator stakleničkih plinova koji se stvaraju u različitim procesima truljenja.

Da bi se spriječio štetni utjecaj odlagališta otpada na okoliš potrebno je uvesti i provoditi niz mjera, kao što je odvojeno sakupljanje otpada, reciklaža otpada i td. Ostatak otpada koji se ne može reciklirati ili ponovno upotrijebiti potrebno je obraditi u postrojenjima namijenjenima za obradu otpada, kojima su glavni ciljevi: smanjiti količinu otpada odloženog na odlagalište i smanjiti štetan utjecaj na okoliš. Postrojenja za obradu otpada mogu se temeljiti na četiri bazično različita tehnička postupka:

- mehanička obrada otpada
- biološka obrada otpada
- termička obrada otpada i
- fizikalno-kemijska obrada otpada.

U nastavku je dan pregled nekih važnijih tehnologija koje se danas koriste za obradu otpada, s tim da fizikalno-kemijska obrada otpada nije promatrana, jer to prelazi okvire ovoga rada.

4.1 Mehaničko-biološka obrada otpada

Mehaničko-biološka obrada (MBO) se razvila kao posljedica težnje da se smanji biorazgradiva komponenta otpada koja se odlaže na odlagalištima otpada. Do sada je razvijen veliki broj varijanti MBO-a, te postoji velika razlika u tehničkoj opremljenosti postrojenja i načinu rada.

MBO tehnologija obuhvaća dva ključna procesa: mehaničku i biološku obradu otpada, pri čemu se procesi mogu tehnički konfigurirati na različite načine. Tako konfigurirani procesi se spajaju u cjelinu da bi se maksimizirali specifični ciljevi procesa, kao što su:

- maksimiziranje količine obnovljivih komponenata otpada
- proizvodnja visoko kvalitetnog krutog goriva iz otpada (GIO)
- proizvodnja bio-stabiliziranog materijala za odlaganje
- proizvodnja bio-plina za proizvodnju topline i energije [9].

Mehanička obrada se može izvesti na nekoliko načina, a osnovna joj je svrha priprema otpada za biološku obradu, gdje se odvaja biološki razgradiva komponenta otpada od ostatka. Mehanička obrada može biti izvedena kao: prosijavanje i druge metode mehaničke separacije, usitnjavanje i paletizacija, drobljenje i mljevenje, separacija djelovanjem elektromagnetskih sila.

Biološka obrada prvenstveno služi za razlaganje biološki razgradivih tvari iz otpada, na taj način se stvara nekoliko izlaznih produkata iz procesa ovisno o vrsti i vođenju samog procesa, ali osnovna i zajednička svrha procesa je neutralni ostatak koji se može odložiti na odlagalištima otpada bez opasnosti za okoliš. Sam proces se može izvesti na nekoliko načina, ovisno o željenim svojstvima izlaznog produkta, pa tako razlikujemo:
-kompostiranje
-anaerobna digestija i
-bio-sušenje

4.1.1 Anaerobna digestija

Proces anaerobne digestije uključuje biološku razgradnju otpada u reaktorima uz relativno odsustvo zraka i uz bakterijsko djelovanje. Za potrebe procesa se mogu upotrebljavat dvije vrste bakterija: bakterije za stvaranje metana i bakterije za stvaranje kiseline. Proces anaerobne digestije se koristi za proizvodnju bio-plina bogatog metanom i ugljičnim-monoksidom, koji se može koristiti za proizvodnju topline i/ili energije.

Anaerobna digestija se koristi za direktnu obradu tekućeg otpada, biološkog taloga prethodno dobivenog aerobnim procesom, krutog biološkog otpada i kanalizacijskog mulja. Važno je napomenuti da miješanjem kućnog otpada i kanalizacijskog otpada (fekalije) može se smanjiti utjecaj na okoliš i poboljšati ekonomska isplativost procesa [16].

Za optimalno vođenje procesa potrebno je regulirati i držati u optimalnim granicama temperaturu, vlažnost i PH-vrijednost unutar reaktora [17].

Sami proces anaerobne digestije se odvija u četiri osnovne faze:

1. Hidroliza

Bakterije ne mogu razgradit netopive organske spojeve, pa je zato prva faza anaerobne digestije hidroliza polimera. Složeni polimeri se hidroliziraju u jednostavnije monomere putem hidrolizirajućih enzima (lipaze, proteaze, amilaze…). Dobiveni monomeri ovim putem su: šećeri, aminokiseline i masne kiseline [18].

2. Acidogeneza

U ovoj fazi acetogene bakterije konvertiraju produkte prve faze u jednostavne organske kiseline kao što su: etanol, amonijak, ugljični dioksid i sumporovodik i ostale produkte koji nastaju u manjoj mjeri [19].

3. Acetogeneza

Ovaj proces se često povezuje s acidogenezom, te s njim povezuje u jedan proces. Acetogene bakterije koje proizvode vodik, oksidiraju produkte nastale u prethodnoj fazi procesa i kao produkt nastaju vodik, ugljični dioksid i acetat [19].

4. Metanogeneza

Zadnji stupanj anaerobne digestije je biološki proces proizvodnje metana, koji se može odvijati na dva načina: redukcijom octene kiseline pri čemu nastaje metan i CO_2 ili redukcijom CO_2 s vodikom.

Ovim procesom nastaje bioplin bogat s vodikom, te kvalitetno umjetno gnojivo s oko 2 % dušika [18].

Glavni nedostatak ovog procesa je nemogućnost degradacije lignina (glavni sastojak drveta) [16].

4.1.2 Kompostiranje

Kompostiranje je proces mikrobiološke razgradnje organskog otpada uz pomoć kisika (zraka), što u principu predstavlja aerobni proces.

U postupku pretvorbe organskog otpada u kompost (humus) troši se voda i kisik uz oslobađanje topline, te se tijekom procesa obično izgubi oko 60 % početne mase otpada. Izrazito važni parametri procesa kompostiranja su: sadržaj kisika, vlažnost, temperatura, veličina čestica-struktura, omjer elementarnih sadržaja ugljika i dušika [20].

Optimalna vlažnost procesa je u granicama između 50 do 70 %, što znači da se zbog gubitka vode u procesu mora stalno nadoknađivati izgubljena vlaga.

Za odvijanje procesa kompostiranja vrlo je važan odnos sadržaja ugljika i dušika u kompostnoj masi. Ugljik je izvor energije, dok je dušik potreban za sintezu proteina. U normalnim okolnostima mikroorganizmi trebaju 25 puta više ugljika od dušika. Povećanje odnosa ugljik/dušik iznad 25 usporava proces jer je nedovoljno dušika za mikrobiološki rast da bi se iskoristio sav raspoloživi ugljik. Nasuprot, kod manjih omjera, raspoloživi ugljik nedostatan je za razgradnju sveg dušika, pa se višak dušika transformira u amonijak i druge spojeve, što je popraćeno pojavom neugodnih mirisa.

Idealan omjer ugljik/dušik je od 25-30, ali se i kod omjera u rasponu od 20 do 40 postižu zadovoljavajući rezultati [20].

Sami proces kompostiranja se može podijeliti na 4 osnovne faze i to u ovisnosti o temperaturi kompostne mase:

- **termofilna faza** (40-60 °C) u kojoj se uz pomoć termofilnih mikroorganizama razgrađuju proteini, masti, celuloza.
- **mezofilna faza** (55-60 °C) u kojoj se uz pomoć mezofilnih mikroorganizama razgrađuju topivi i lako razgradivi organski spojevi (šećeri i aminokiseline).

- **faza rashlađivanja** (20-25 °C) u kojoj se snižava temperatura procesa i dopušta rast i razmnožavanje mezofilnih mikroorganizama
- **faza zrenja** (15-20 °C) mezofilni organizmi nastali prethodnim procesom razgrađuju ostale organske spojeve.

Ovim procesom se dobiva kako je već naglašeno kompost odnosno humus, koji je umjetno gnojivo. Da bi se plasiralo ovakvo gnojivo potrebno je imati tržište koje ga može i želi iskoristiti, te se dovodi u pitanje ekonomska isplativost ovakvih postrojenja.

4.1.3 Bio-sušenje

Proces bio-sušenja se odvija uz prisutstvo zraka pa predstavlja aerobni proces.

Prije samog procesa komunalni otpad je potrebno prethodno usitniti, pomoću mehaničke obrade, do odgovarajućih dimenzija što ovisi o karakteristikama samog procesa odnosno postrojenja. Prilikom samog procesa potrebno je upuhivati zrak pri čemu dolazi do razgradnje lako razgradivih organskih spojeva, što se odvija pri temperaturama od 50 do 60 °C.

Sam proces koristi toplinu koja se stvara egzotermnim procesom aerobne razgradnje, pa je iz tog razloga i energetski povoljniji od kompostiranja [19].

Ovim procesom se dobiva stabilizirana i suha frakcija otpada.

4.2 Termička obrada otpada

Termičkom obradom otpada smanjuje se volumen otpada, te se izdvajaju ili uništavaju potencijalno štetne tvari na okoliš. Samim procesom termičke obrade otpada moguće je iskoristiti energetsku vrijednost otpada za proizvodnju toplinske i/ili električne energije. Postrojenje koja iskorištavaju energiju pohranjenu u otpadu nazivaju se energane na

otpad. Posebnim propisom je regulirano da se prilikom same termičke obrade otpada uvijek mora iskorištavati vezana energija u otpadu. Spaljivanje otpada bez iskorištavanja energije dozvoljeno je samo kod opasnog otpada i posebnih vrsta otpada.

Kao glavni ciljevi termičke obrade otpada smatraju se:
- smanjenje udjela organskih tvari u otpadu
- uništavanje organskih tvari
- izdvajanje korisnih resursa iz otpada (metali i dr.)
- smanjenje mase i volumena otpada
- iskorištenje energije pohranjene u otpadu.

Spalionice otpada podliježu različitim zakonima i propisima koji propisuju uvjete rada, zaštitu okoliša odnosno njegovih sastavnica (vode, tla i zraka), te se na taj način osiguravaju visoki standardi koje spalionica mora zadovoljavati. Pa tako *Pravilnik o načinima i uvjetima termičke obrade otpada* propisuje uvjete za početak rada, pogonske uvjete, uvjeti za prekid rada, način ulazne kontrole otpada, pa i gospodarenje ostacima iz procesa termičke obrade otpada.

Otpad koji nastaje termičkom obradom otpada može se podijeliti na:
- otpad koji nastaje samom termičkom obradom (šljaka)
- otpad koji nastaje čišćenjem dimnih plinova (lebdeći pepeo)

Otpad nastao termičkom obradom otpada se može iskoristiti u niskogradnji kao na primjer u proizvodnji asfalta, dok se otpad nastao čišćenjem dimnih plinova dodatno obrađuje i stabilizira nakon čega se odlaže na odlagališta otpada.

U ovisnost i kakvoći otpada koji ulazi u proces termičke obrade otpada možemo podijeliti u dvije skupine:
- spaljivanje prethodno ne obrađenog otpada
- spaljivanje prethodno obrađenog otpada

Prethodna obrada otpada podrazumijeva prethodnu mehaničku obradu (sortiranje, usitnjavanje i td.) ili i samu proizvodnju goriva iz otpada. Takva obrada otpada poskupljuje izgradnju postrojenja za obradu otpada, ali isto tako i poskupljuje održavanje i vođenje postrojenja.

U nastavku je dan pregled najčešće upotrebljavanih tehnologija za termičku obradu otpada.

4.2.1 Izgaranje

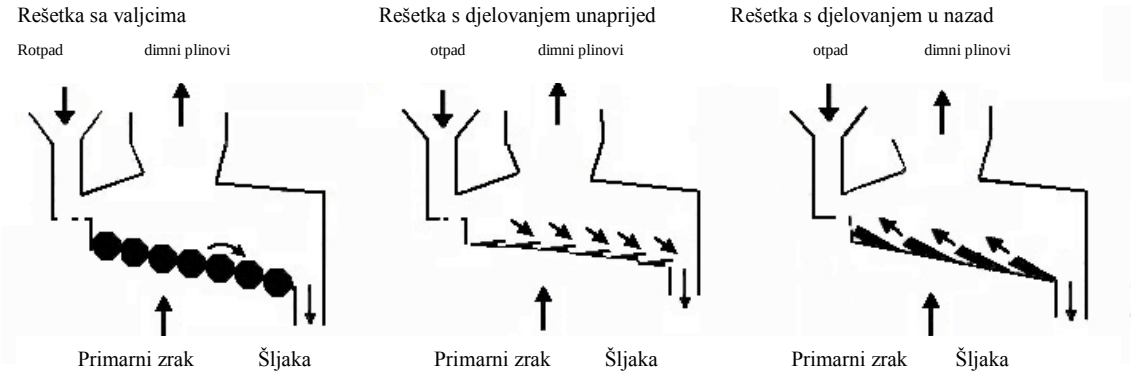
Izgaranje je kemijski proces kod kojega dolazi do oksidacije goriva uz dovoljnu količinu kisika, te dolazi do potpune termičke degradacije tvari.

Primarno obilježje spaljivanja otpada je smanjenje mase otpada do 75 % i volumena otpada do 90 % [21]. Spaljivanjem se uništavaju neke opasne opasne tvari iz otpada, isto tako se uništavaju i bakterije i virusi zbog čega je povoljno koristiti ovaj način obrade za medicinski otpad.

Postoji nekoliko različitih tehnologija koje se temelje na izgaranju otpada:
-izgaranje na rešetci
-izgaranje u fluidiziranom sloju
-izgaranje u rotacijskoj peći.

4.2.1.1 Izgaranje na rešetci

Za potrebe izgaranja otpada se najčešće koriste pomične rešetke postavljene pod kutom u odnosu na horizontalnu ravninu u smjeru kretanja otpada kao što je prikazano na slici 11. Sama rešetka ovisno o izvedbi može vršiti rotacijsko ili oscilatorno kretanje.

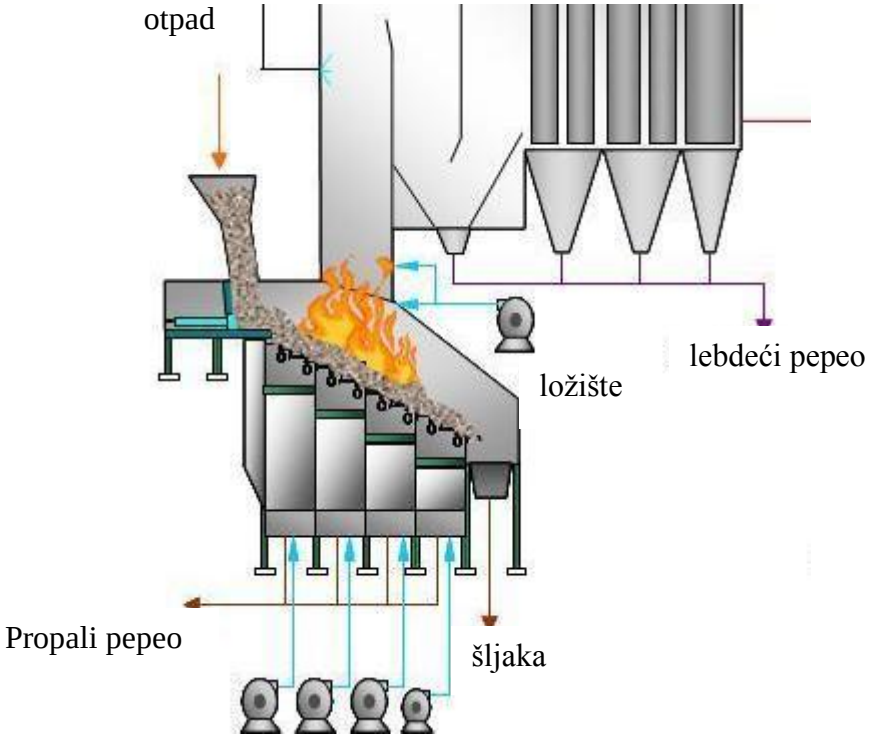


Slika 11. Rešetke za spaljivanje komunalnog otpada [21]

Dodavanje goriva (otpada) na rešetku se vrši automatski pomoću hidrauličkog ili mehaničkog sustava, a služi u svrhu regulacije snage. Primarni zrak za oksidaciju goriva upuhuje se kroz samu rešetku dok je moguće dodavati i sekundarni zrak iznad rešetke da bi se poboljšalo samo izgaranje, odnosno da bi postigli što potpunije izgaranje sa što je manje moguće ne izgorenih komponenti.

Brzina rešetke, visina sloja otpada na njoj, a samim time i vrijeme zadržavanja otpada unutar komore izgaranja ovisi o samoj izvedbi rešetke. Spomenuti parametri uz količinu upuhivanog zraka u ložište određuju koliko će se gorivo zadržati u ložištu i dali će za to vrijeme gorivo u potpunosti oksidirati.

Na slici 12. je dan shematski prikaz postrojenja za izgaranja na rešetci.



Slika 12. Shematski prikaz postrojenja za izgaranje otpada na rešetci [25]

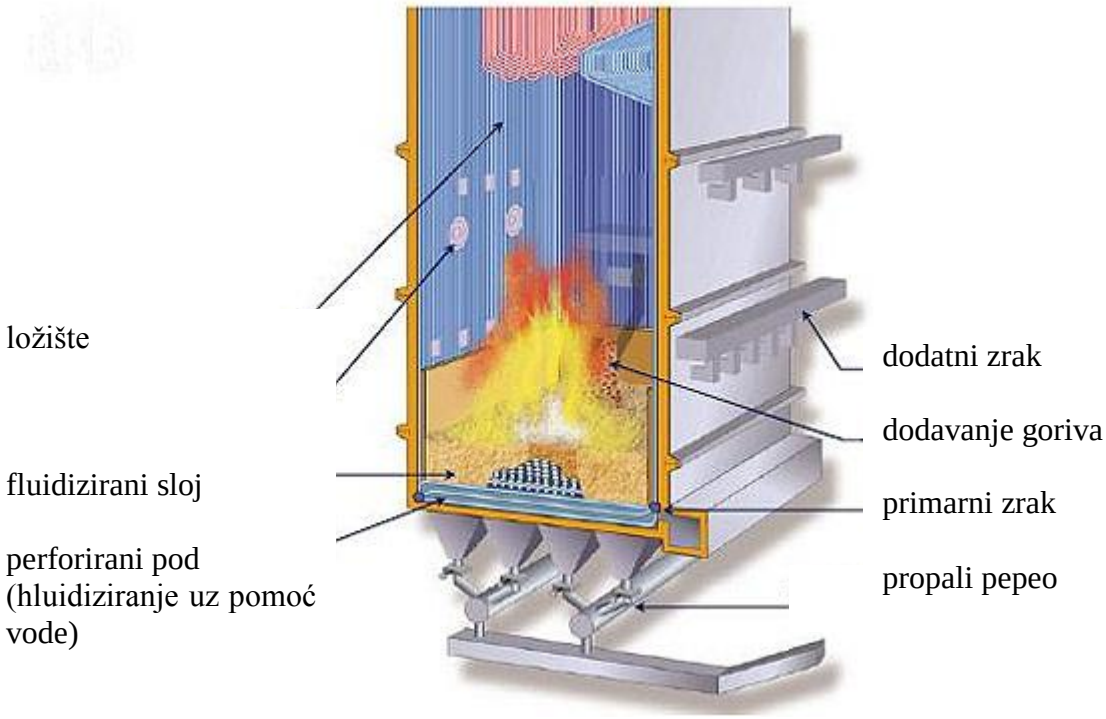
4.2.1.2 Izgaranje u fluidiziranom sloju

Fluidizacija goriva (otpada) se vrši pomoću zraka koji se upuhuje kroz rešetku. Povećanjem brzine strujanja zraka kroz sloj otpada povećava se dinamički tlak u sloju i kada on postane veći od težine čestice otpada ona biva podignuta. Pri tome dolazi do vrtložnog gibanja čestica gore-dolje što se naziva izgaranje u fluidiziranom sloju. Prikaz izgaranja u fluidiziranom sloju dan je na slici 13.

Iz tog razloga tehnologija izgaranja u fluidiziranom sloju se primjenjuje za prethodno obrađen (usitnjen) i homogeniziran otpad, pa tako čestice otpada ne bi smjele biti veće od 50 mm u promjeru. U slučaju ne homogenog goriva praktički ne bi bila moguća fluidizacija, jer bi dolazilo do otpuhivanja manjih i lakših čestica otpada dok bi teže čestice ostale na rešetci.

Da bi se osigurala što bolja homogenost otpada, moguće je dodavati inertan materijal (npr. pjesak) zajedno s otpadom na rešetku, moguće je dodavati i vapnenac koji reagira sa sumporom i na taj način pridonosi smanjenju zagađenja okoliša.

Temperatura u samom sloju je oko 650 °C, dok je iznad sloja unutar komore izgaranja temperatura između 850 i 950 °C [21].



Slika 13. Izgaranje u fluidiziranom sloju [26]

4.2.1.3 Izgaranje u rotacijskoj peći

Izgaranje u rotacijskoj peći postupak je u kojem se otpad gravitacijski ili mehanički ubacuje u cilindričnu peć postavljenu pod kutom kako bi se, uz rotaciju peći, ostvario protok otpada kroz peć. Prolaskom kroz peć, otpad se termički obrađuje spaljivanjem koje se vrši pomoću plamenika. Pri tom nastali plinovi posebno se kasnije filtriraju i spaljuju, a proizvedena toplina koristi se za predgrijavanje otpada, ali i u druge svrhe, ovisno o vrsti postrojenja.

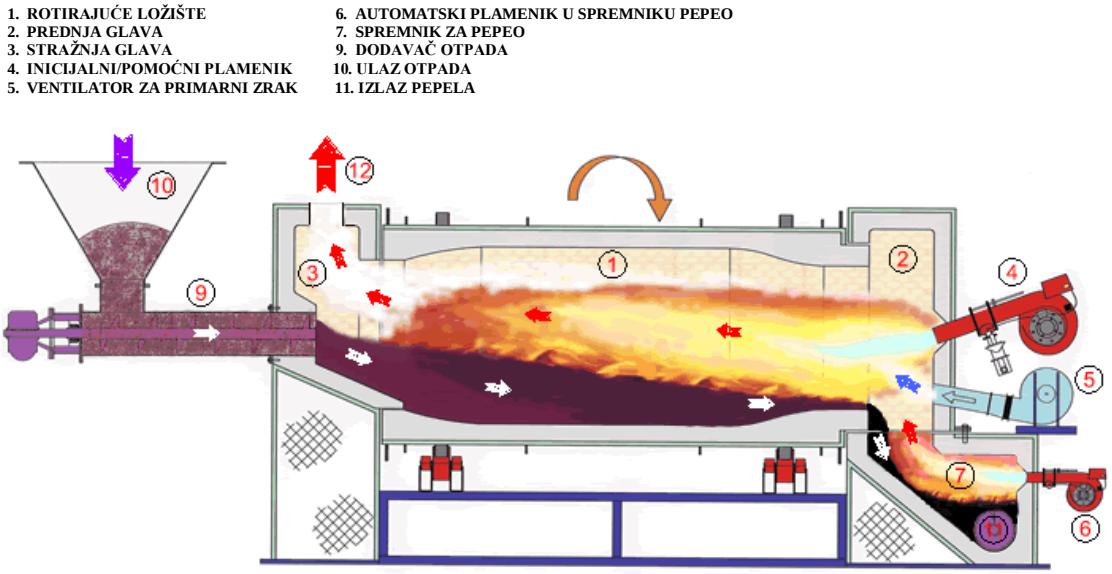
Primjer jednog sustava za izgaranje u rotacijskoj peči je prikazan na slici 14.

Postupak spaljivanja otpada je vrlo robustan, s obzirom na to da se njime može obrađivati gotovo bilo kakav otpad, neovisno o vrsti i sastavu. Ovaj se postupak

naročito široko primjenjuje za spaljivanje opasnog otpada, kliničkog otpada, te manje za spaljivanje komunalnog otpada.

Temperature na kojima se odvija izgaranje u rotacijskim pećima kreću se od 500 °C (za rasplinjavanje) do 1450 °C (za visoko temperaturno taljenje pepela). Moguće su i više temperature, ali nisu uobičajene za postupke oporabe otpada.

Kada se rotacijske peći koriste za konvencionalno izgaranje, temperatura je obično iznad 850 °C, dok su temperature 900-1200 °C karakteristične za spaljivanje opasnog otpada.



Slika 14. Sustav s rotacijskim ložištem [22]

4.2.2 Rasplinjavanje otpada

Rasplinjavanje je postupak djelomične termičke degradacije tvari, tijekom kojeg se pri povišenoj temperaturi u reaktor s gorivom bogatim ugljikom dovodi sredstvo za rasplinjavanje (kisik, vodena para, zrak ili ugljikov dioksid). Izbor oksidansa ovisi o nekoliko faktora:

- tehnološka jednostavnost pridobivanja
- troškovi pridobivanja odnosno osiguranja oksidansa
- utjecaj na ogrjevnu vrijednost sintetskog plina

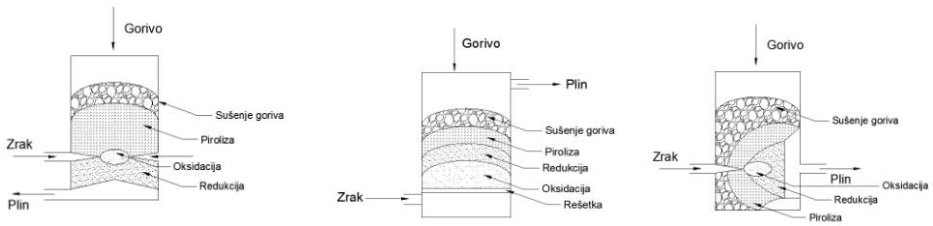
- udio inertnih plinova zagrijanih na procesne temperature
- utjecaj na temperature u procesu i formiranje katrana
- troškovi izgradnje postrojenja

Produkt reakcije je smjesa plinova koja se naziva sintetski plin. Tako dobiveni plin može se spaljivati kao gorivo u energetskim postrojenjima za proizvodnju topline i/ili električne energije.

Kako je za postupak rasplinjavanja potrebno gorivo (otpad) relativno homogenog sastava, to znači da je potrebno prethodno obraditi otpad, te iz tog razloga ova tehnologija nije još raširen postupak termičke obrade otpada. Rasplinjavanje se može primijeniti i kao postupak naknadne obrade krute faze nastale u postupku pirolize.

Rasplinjavanje se može provoditi u uređajima za rasplinjavanje (reaktorima) u fiksnom sloju goriva, s rasplinjavanjem u struji smjese goriva i sredstva za rasplinjavanje, te u postupku s fluidiziranim slojem.

S obzirom na smjer dovođenja goriva (otpada) i odvođenja plinovitih produkata rasplinjavanja razlikujemo:
a) istostrujno,
b) protustrujno i
c) unakrsno rasplinjavanje
što je prokazano na slici 15.

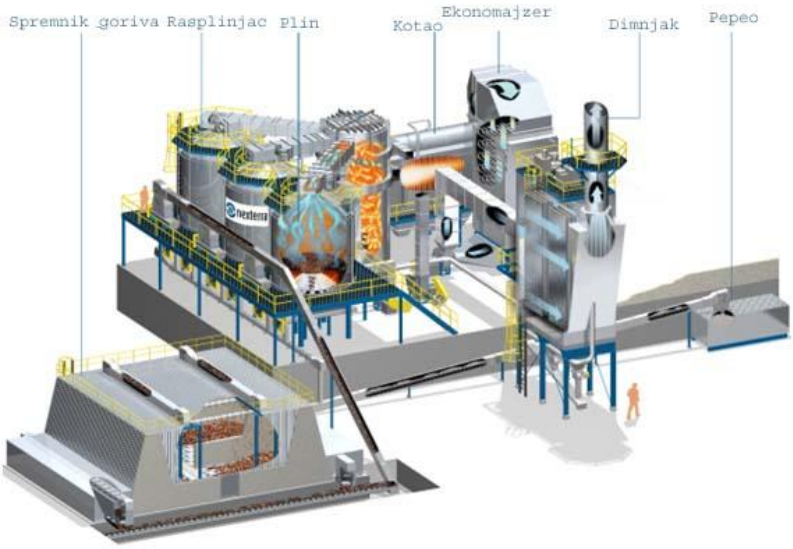


a) Istosmjerno b) protusmjerno c) unakrsni

Slika 15. Prikaz vrsta rasplinjača

Rasplinjavanje se može provoditi pri atmosferskom tlaku ili pri povišenom tlaku. Toplina potrebna za sam proces rasplinjavanja se može dovoditi iz vanjskog izvora ili se kod pojedinih konstrukcija rasplinjača može upotrijebiti toplina koju proizvodi sam proces rasplinjavanja.

Shematski prikaz jednog termoenergetskog postrojenja s rasplinjavanjem je prikazan na slici 16.



Slika 16. Shematski prikaz termoenergetskog postrojenja s rasplinjavanjem

4.2.3 Piroliza

Piroliza je proces suhe destilacije krutog goriva bez dovođenja kisika gorivu, gdje se uz povišenu temperaturu termički razgrađuju organske molekule u otpadu. Produkti pirolize su pirolitički plin, ulje i koks. Ogrjevne vrijednosti u procesu pirolize leže između 5-15 MJ/m^3 za komunalni otpad i između 15-30 MJ/m^3 za gorivo iz otpada [23].

Postrojenja za zbrinjavanje otpada tehnologijom pirolize u pravilu sadrže slijedeće osnovne faze procesa:

-Priprema i mljevenje: mljevenjem otpada homogenizira se sastav otpada, što omogućuje bolji prijenos topline među česticama

-Sušenje: odvojeni postupak sušenja povećava donju ogrjevnu vrijednost pirolitičkog plina i pospješuje efikasnost izgaranja

-Piroliza otpada, gdje osim pirolitičkog plina nastaje i kruta faza koja osim ugljika sadrži i minerale i metale

-Sekundarna obrada pirolitičkog plina i koksa kondenzacijom plinova kako bi se ekstrahiralo energetski iskoristivo ulje i/ili izgaranjem plina i koksa

Prema rasponu temperatura pri kojima se odvija proces pirolize, razlikujemo niskotemperaturnu (do 500 °C), srednjetemperaturnu (od 500-800 °C), te visokotemperaturnu (od 800 °C).

S povišenjem temperature, povećava se i udio nastalog pirolitičkog plina, a smanjuje se udio krute i tekuće faze.

5 Veličina postrojenja za termičku obradu otpada

Da bi mogli procijeniti optimalnu veličinu postrojenja za termičku obradu otpada u odnosu na ekonomsku isplativost projekta, moramo se najprije pozabaviti različitim mogućim rješenjima postrojenja.

Troškovi izgradnje postrojenja za termičku obradu otpada ovise o niz faktora kao što su:

- vrsta tehnologije za termičku obradu otpada
- veličina postrojenja
- tip postrojenja (proizvodnja topline i/ili električne energije)
- troškovi priključivanja na elektroenergetski sustav
- troškovi izgradnje prilaznih pravaca (cesta, željeznica)
- mjere ekološke zaštite (pročišćavanje dimnih plinova)
- potrebe za električnom energijom i toplinom.
- distribucijski sustav toplinske energije
- izbor lokacije

Uz navedene parametre koji utječu na cijenu izgradnje postrojenja nije moguće jednoznačno procijeniti troškove. Neki navedeni parametri ovise čisto o odabiru tehnologije dok ostali parametri variraju od slučaja do slučaja ovisno o izboru lokacije postrojenja, do izgradnje prilaznih putova ili ostale potrebne infrastrukture.

Za potrebe ovoga rada razmatrana su postrojenja za izgaranje otpada na rešetci, te postrojenja projektirana za proizvodnju električne energije.

U dostupnoj literaturi se navode 6 različitih investicionih troškova ovisno o odabranom načinu obrade dimnih plinova i veličini postrojenja. Odabrana varijanta pročišćavanja dimnih plinova sadrži, elektrostatski oprašivač, apsorber na bazi aktivnog ugljena, te kemijski filtar za smanjenje emisija teških metala, sulfata, fosfata. U tablici 8. su prikazani troškovi izgradnje postrojenja u ovisnosti o veličini.

	t/god	€/t
1	100.000,00	147
2	200.000,00	122
3	300.000,00	110

Tablica 8. Troškovi izgradnje [24]

Kao što je spomenuto, a što se i vidi iz tablice 8. specifični troškovi izgradnje postrojenja opadaju sa povećanjem kapaciteta postrojenja.

Pretpostavljeno vrijeme rada postrojenja iznosi 7500 h godišnje, te se kapacitet postrojenja odnosi na to vrijeme rada, dok promatran životni vijek postrojenja iznosi 20 godina.

U dostupnim podacima kao što je prikazano u tablici 8. dani su podaci za samo tri različite veličine postrojenja. Za potrebe proračuna bilo je potrebno imati raspon kapaciteta postrojenja od 50 do 850 tisuća tona otpada godišnje, pa je to dobiveno upotrebom Excel-ove opcije trendline, rezultati dobiveni na ovaj način su prikazani u tablici 9.

t/god	kn/god
50.000	64,38
100.000	53,61
150.000	48,17
200.000	44,65
250.000	42,09
300.000	40,11
350.000	38,51
400.000	37,18
450.000	36,04
500.000	35,05
550.000	34,18
600.000	33,41
650.000	32,71
700.000	32,07
750.000	31,49
800.000	30,96
850.000	30,47

Tablica 9. Specifični troškovi izgradnje postrojenja

Uz cijenu izgradnje, potrebno je uzeti troškove održavanja i troškove pogona.

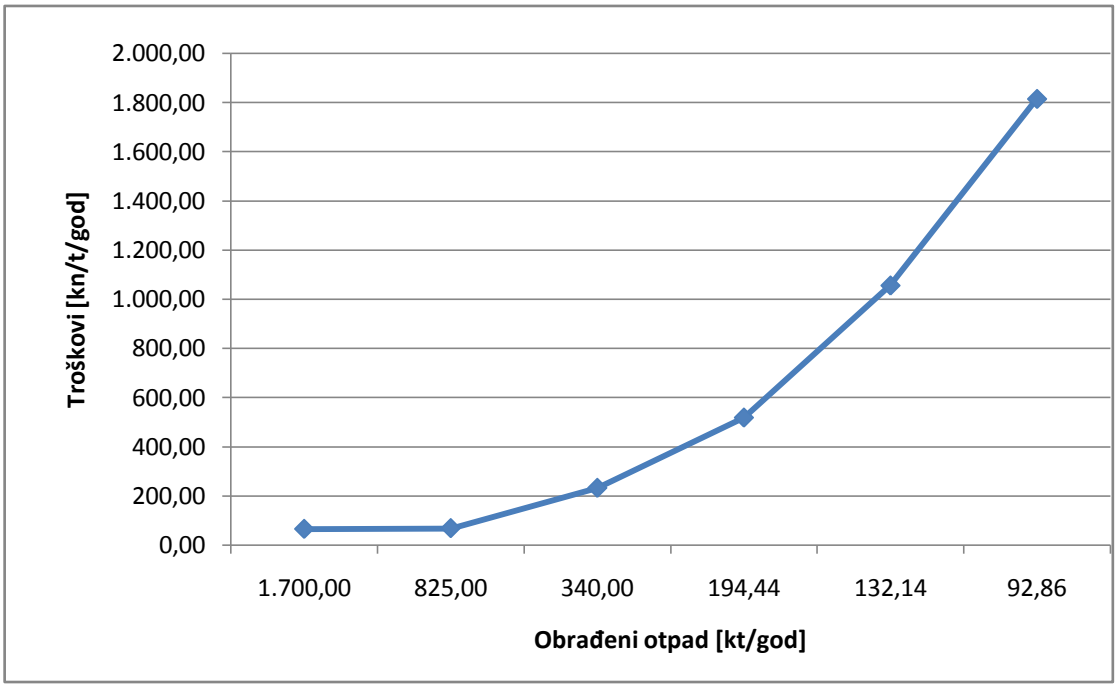
Troškovi održavanja pogona na bazi jedne godine su uzeti u odnosu na cijenu investicije i iznose 3 % od ukupne investicije, dok u troškove pogona ulaze plače radnika.

Prema dostupnoj literaturi broj radnika koji je potreban za normalan rad postrojenja prikazan je tablicom 10. Prosječna bruto plača koja je potrebna za plače radnika uzet je u iznosu od 10.000 kn.

t/god	Potreban broj osoblja
600.000	182,2
300.000	148,2
200.000	133,3
100.000	125,9

Tablica 10. Potreban broj ljudi za vođenje postrojenja [27]

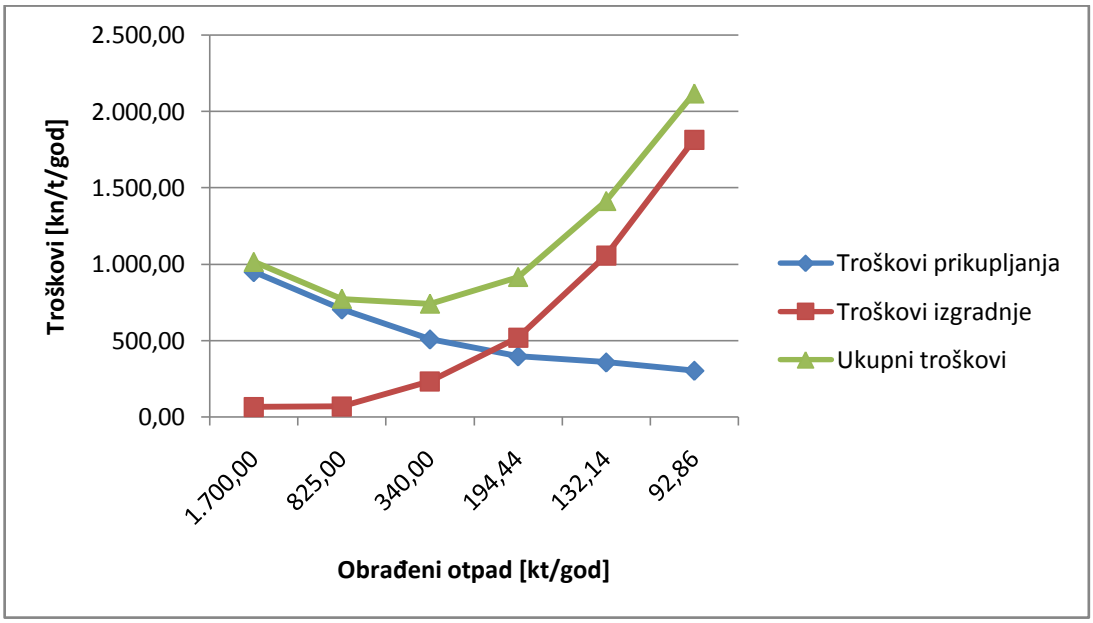
Prema navedenim podacima izračunat je ukupan trošak za izgradnju i vođenje postrojenja, slikom 17. Navedeni troškovi su svedeni na količinu obrađenog otpada i na godišnju razinu, u odnosu na promatrani životni vijek postrojenja.



Slika 17. Specifični troškovi postrojenja

Specifični troškovi izgradnje postrojenja rastu s smanjenjem kapaciteta postrojenja te bi sa ekonomskog stajališta najisplativije bilo izgraditi jedno postrojenje za obradu cjelokupnog otpada. No ako pogledamo troškove prikupljanja otpada koji su prikazani slikom dvb. vidimo da to ipak nije najbolje rješenje. Zbrojimo li troškove prikupljanja otpada i izgradnje elektrane dobit ćemo liniju ukupnih troškova koja je prikazana slikom 18.

Rješenje koje tražimo biti će tamo gdje linija ukupnih troškova ima svoj minimum, odnosno troškovi su uz zadane parametre najniži.



Slika 18. Ukupni troškovi prikupljanja i izgradnje spalionica otpada

Kao što se vidi iz slike minimum troškova se nalazi u području kapaciteta pogona u iznosu od 340.000 t otpada godišnje.

Uzmemo li ukupnu količinu otpada koja je nastala u RH. u 2007. godini potrebno je pet ovakvih postrojenja na pet pravilno raspoređenih pozicija da bi se troškovi prikupljanja otpada što više minimizirali.

6 Prijedlog strategije gospodarenja komunalnim otpadom za kratkoročno razdoblje od 5 godina

U zadnjih nekoliko godina se značajno promijenilo stanje u gospodarenju komunalnim otpadom. Zakonski propisi i regulativa su u velikom djelu usklađeni sa zakonskim okvirom Europske unije.

Stopa rasta generiranog komunalnog otpada prati rast BDP-a, što nije ni u kojem slučaju dobro za smanjivanje količina otpada. Iz toga razloga je potrebno provoditi obrazovanje javnosti ali isto tako je potrebno provoditi i obrazovanje djelatnika na području gospodarenja otpadom, ali i djelatnika koji su u strukturama odlučivanja.

Glavni ciljevi obrazovanja trebaju biti:

- povećanje svijesti ljudi da koriste proizvode s kasnijom mogućnošću recikliranja
- povećanje znanja o tehnologijama zbrinjavanja otpada, te nedostacima odlaganja

Obrazovanje se mora provoditi jer ljudi probleme gospodarenja otpadom ne smatraju svojima već tuđima te da to treba riješiti netko drugi. Glavni ciljevi obrazovanja trebaju imati zadaću potaknuti ljude na razmišljanje, te objasniti koliku ulogu oni sami imaju u proizvodnji otpada. Dati im primjere kako mogu jednostavno i vrlo efikasno smanjiti proizvodnju otpada, isto tako je potrebno potaknuti ljude da kupuju proizvode koji imaju najmanje moguće djelovanje na okoliš, te da je poželjno da se sav otpad koji nastaje upotrebom proizvoda može reciklirati.

Takav način obrazovanja odnosno informiranja građana je potrebno vršiti putem različitih medija, npr. internet, televizija, novine i td.

Sadašnji sustav naplaćivanja komunalne usluge (po m^2 stambenog prostora) nije ni malo stimulativan za smanjenje nastalog otpada, te je potrebno promijeniti sustav naplaćivanja na mnogo primjereniji i stimulirajući način, naplaćivanje po količini nastalog otpada. Takav oblik naplaćivanja bi u konačnici doveo do djelomičnog smanjenja nastajanja otpada.

Potrebno je ubrzati sanaciju divljih odlagališta, te odlagališta koja nemaju primjerene ekološke uvjete za nastavak rada.

Usuglasiti se oko provedbenih planova za centre gospodarenja otpadom, te izabrati najpovoljniju tehnologiju za obradu komunalnog otpada.

Postoji niz različitih tehnologija ali i niz njihovih kombinacija s kojima se može vršiti zbrinjavanje otpada. Odabirom kombinacije tehnologija se može u konačnici mnogo utjecati na samu cijenu izgradnje postrojenja.

Svaka tehnologija ima svoje prednosti u odnosu na druge. Pošto se ovaj rad posebno bavi tehnologijom termičke obrade otpada potrebno je naglasit njene prednosti. Prednosti koje je potrebno posebno naglasiti su mogućnost proizvodnje topline i/ili električne energije te na taj način vratiti dio uloženih sredstava, ali ujedno i mogućnost povećanja proizvodnje energije iz obnovljivih izvora. Kao što je već spomenuto u ovome radu, dio komunalnog otpada se smatra obnovljivim izvorom energije.

S obzirom na spomenute prednosti, te uzmemo li u obzir spaljivanje otpada kao tehnologiju koju je potrebno implementirati u sustav gospodarenja otpada u Republici Hrvatskoj potrebno je sagledati sljedeće rješenje.

Odabir lokacija za obrađivanje otpada ovom tehnologijom treba napraviti tako da lokacije budu unutar regija koje su bile promatrane u sklopu optimizacije troškova prikazane ovim radom. Kao što je spomenuto u drugom poglavlju RH. je dijeljena nekoliko puta na različite regije kako bi dobili optimalan raspored centara za obradu otpada. Pa je tako rezultat napravljenog proračuna pokazao da je potrebno napraviti pet centara za obradu komunalnog otpada u regijama koje su prikazane tablicom 11.

Pet spalionica:				
Prvo područje:	Drugo područje:	Treće područje:	Četvrto područje:	Peto područje:
Krapinsko-zagorska	Virovitičko-podravska	Zagrebačka	Ličko-senjska	Zadarska
Varaždinska	Požeško-slavonska	Sisačko-moslavačka	Istarska	Šibensko kninska
Koprivničko-križevačka	Brodsko-posavska	Bjelovarsko-bilogorska	Primorsko-goranska	Splitsko-dalmatinska
Međimurska	Vukovarsko-srijemska	Grad Zagreb	Karlovačka	Dubrovačko-neretvanska
-	Osječko-baranjska	-	-	-

Tablica 11. Područja prikupljanja otpada

Neki od važnijih uvjeti za odabir lokacije:

- geografski položaj unutar ili u blizini područja u kojemu se prikuplja komunalni otpad
- ekonomski uvjeti lokacije,
- infrastruktura,
- mogućnost transporta otpada vlakom,
- mogućnost korištenja toplinske energije za područno grijanje ili industrijske potrebe,
- blizina rashladne vode,
- meteorološki uvjeti i utjecaj na okoliš (osjetljivost lokacije na granične vrijednosti onečišćenja).

Prije ishođenja dozvola za samu izgradnju postrojenja potrebno je napraviti za svaku regiju studiju o kretanju količina generiranog komunalnog otpada na razini promatranog životnog vijeka postrojenja u iznosu od 20 godina, da bi se moglo odlučiti o optimalnoj veličini postrojenja. Proračun koji je napravljen i opisan u drugom poglavlju bazira se na količinama otpada iz 2007. godine te na osnovi toga su prikazane količine otpada po regijama u tablici 12.

Područje:	**Količina otpada [t/god]**
Prvo:	138.683,08
Drugo:	316.489,50
Treće:	560.992,15
Četvrto:	303.668,83
Peto:	332.784,43

Tablica 12. Godišnje količine otpada po spalionicama

Gradnju postrojenja je potrebno što je prije moguće započeti ali ujedno i završiti da bi se pritisci na okoliš odlaganjem otpada na odlagališta što više smanjila.

Potrebno je napraviti studiju prijevoza otpada pomoću vlakova za veće količine otpada i za veće udaljenosti, kako bi se dodatno smanjili troškovi prijevoza. Za takvu vrstu prijevoza potrebno je napraviti pretovarne centre u kojima bi se pretovario otpad iz komunalnih kamiona u vlakove, ali gdje bi se dio otpada mogao i skladištiti iz razloga nedovoljnih količina otpada na razini jednog dana, te problema zakupnine vagona.

Potrebna investicija za spalionice otpada iznosi 232,33 kn/t/godini dok je vrijednost ukupne investicije 7,7 milijardi kuna.

Izgradnjom spalionica otpada bi se dobio cjelokupan i zaokružen sustav zbrinjavanja otpada, koji je u skladu sa ekološkim propisima.

7 Zaključak

Odabir tehnologije za obradu otpada je od presudnog značaja kako za stupanj očuvanja okoliša tako i za ekonomičnost cjelokupnog sustava gospodarenja otpadom.

Ovim radom je bila obuhvaćena tehnologija termičkog zbrinjavanja otpada i ekonomska perspektiva ove tehnologije uz promatranje troškova prijevoza do centara za obradu otpada.

Također ključna prednost ove tehnologije, te jedna od bitnih, je što se biološki razgradljiv komunalni otpad smatra obnovljivim izvorom energije te može pomoći u implementaciji obnovljivih izvora energije u elektro-energetski sustav te na taj način smanjiti ukupne troškove izgradnje sustava za obradu otpada i sustav ekološki prihvatljivih izvora energije.

Uzimanjem u obzir svih relevantnih troškova koji ulaze u obzir možemo zaključiti da je s ekonomskog aspekta, za Republiku Hrvatsku, najpovoljnije izgraditi pet spalionica pravilno raspoređenih po teritoriju u cilju smanjenja ukupnih troškova prikupljanja i prijevoza otpada, čiji pojedinačni kapacitet obrade otpada treba biti u iznosu od 350.000 t otpada godišnje.

8 Literatura

1. Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske, Narodne novine
2. Zakon o otpadu, narodne novine
3. Upute za određivanje otpada prema katalogu otpada, Agencija za zaštitu okoliša
4. Izvješće o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj, 2007, Agencija za zaštitu okoliša
5. Pregled tvrtki koje skupljaju i odvoze komunalni otpad na odlagališta, Agencija za zaštitu okoliša
6. Katastar odlagališta otpada, Agencija za zaštitu okoliša
7. Nacionalna strategija zaštite okoliša, Narodne novine br.: 46
8. Zakon o zaštiti okoliša, Narodne novine
9. Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007.-2015. godine, Narodne novine
10. http://ec.europa.eu/environment/waste/landfill_index.htm
11. Landfill_Directive_Report 7/2009, European Environment Agency
12. DIRECTIVE 2008/98/EC
13. Katastar otpada izvješće za 2005. godinu, Agencija za zaštitu okoliša
14. Izvješće o komunalnom otpadu za 2007. godinu, Agencija za zaštitu okoliša
15. http://hr.wikipedia.org/wiki/Hrvatska
16. Integrated Pollution Prevention and Control, Europiean commission
17. Waste management options and climate change, Europiean commission
18. Završni rad, Bruno Bogdan, 2008
19. Elaborat za odabir tehnološkog rješenja MBO otpada na ŽCGO „Kaštijun“ u Puli, Hidroplan
20. Podloge za kolegij ekološka zaštita, FSB.
21. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, European Commission, 2006.
22. http://www.jeag.com/eng/incinerators/rk.htm
23. Završni rad, Mislav Kirac, 2008
24. State of the Art for Waste Incineration Plants, Federal Environment Agency-Austrija
25. http://www.winderickx.pl/en/msw_municipal_waste_incinerators.php

26. http://www.power-technology.com/projects/ornskoldsvik/ornskoldsvik2.html
27. Bogdgan, Ž. i dr., Analiza tehnologija za energetsko iskorištavanje krutog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj, FSB, Zagreb, 2009.