

Spaljivanje otpada (waste to energyWtE)- usporedna analiza

Autor: Tomislav Lukić

Listopad 2015.

SADRŽAJ

Sažetak

1.Uvod

2.Gospodarenje otpadom

2.1. Gospodarenje otpadom u Europi

2.2. Gospodarenje otpadom u Aziji i Japanu

2.3. Gospodarenje e otpadom na sjeverno američkom kontinentu

3. Oporaba

3.1.. Tehnologije termičke obrade otpada

3.3.1.Spaljivanje

3.3.2.Piroliza

3.3.3. Rasplinjavanje

3.3.4.Termička i katalitička depolimerizacija

3.2.Kategorije postrojenja za termičku obradu otpada

3.2.1 Postrojenja za termičku obradu komunalnog otpada

3.2.2. Postrojenja za termičku obradu opasnog otpada

3.2.3.Postrojenja za termičku obradu medicinskog otpada

3.2.4 Postrojenja za termičku obradu elektronskog i električnog i auto otpada poslije usitnjavanja

3.2.5 Postrojenja za termičku obradu mulja nastalog tretmanom otpadnih voda

3.2.6 Postrojenja za termičku obradu drveta i biomase

3.2.7 Kafilerije i krematoriji

4.Utjecaj spalionica na okoliš

4. 1. Emisija štetnih tvari prilikom termičke obrade

4.2.Dioksini i furani

4.3.Kruti ostatak poslije termičke obrade

4.4. Nastajanje štetnih polutanata prilikom termičke obrade

5. Zaključci

6. Literatura

7.Web izvori

SAŽETAK

Spaljivanje kao oblik obrade komunalnog otpada ima vrlo široku uporabu. Dolazi kao dio kompleksnog sustava upravljanja komunalnim i industrijskim otpadom. Industrijski sektor razvoja tehnologija spaljivanja komunalnog otpada postoji u primjeni krajem 19. i početkom 20. stoljeća, međutim svoj intenzivni razvoj doživljava u zadnjih 25 godina. Sukoba oko koncepta odvojenog prikupljanja otpada i maksimalnog recikliranja nasuprot spaljivanju otpada - nema i ne treba ga biti, jer sve ono što nije moguće reciklirati bolje je spaliti nego odložiti na deponij. S takvom tvrdnjom zagovornici gradnje spalionica u svijetu brane model po kojem se na visokim temperaturama za deset puta smanjuje volumen komunalnog otpada. Trenutno u svijetu postoji preko 3000 različitih postrojenja za spaljivanje otpada koji funkcioniraju na principu vrlo različitih tehnologija. Ovim radom pokazati ćemo koliko je sustav spaljivanja otpada u različitim državama u ovisnosti o geografskom položaju, gustoći naseljenosti, stupnju svijesti o potrebi razdvajanja otpada, tehnološkom razvoju zemlje, energetskim potrebama i održivim okolišnim parametrima.

1.Uvod

Ekonomski i ekološki prihvatljivo gospodarenje otpadom jedno je od najkritičnijih pitanja s kojima se suočava moderno društvo. To je posljedica, s jedne strane, rastućih količina otpada na dnevnoj razini, koje predstavljaju značajan pritisak na okoliš, te s druge strane, zahtjeva koji se nameću kod obrade otpada u cilju zaštite okoliša, s druge strane.

Cjelovito gospodarenje otpadom obuhvaća sve mjere postupanja s otpadom: prikupljanje, razvrstavanje, recikliranje, obradu, termičku obradu i odlaganje inertnog i iskorištenog otpada. Komunalni otpad je od stvaranja prvih civilizacija predstavljao potencijalnu opasnost po život i zdravlje ljudi koji su živjeli u napućenim gradovima. Prve sustave upravljanja otpadom i odlaganja na udaljenosti od životne sredine bilježimo u gradu Knososu na otoku Kreti 3000. godina prije Krista. Grci i Rimljani u svojim gradovima primjenjuju sustave upravljanja otpadom i otpadnim vodama. Otpad u srednjem vijeku Europi donosi cijeli niz funkcionalnih problema, pa se 1297. u Engleskoj javljaju prvi zakoni koji zabranjuju odlaganje otpada na ulicama. Prva spalionica se gradi Nottinghamu u Velikoj Britaniji 1874. [Herbert, Lewis (2007). "CentenaryHistoryof Waste and Waste Managersin London andSouth East England" (PDF). Chartered InstitutionofWastes Management], u prva američki spalionica sagrađena 1885. na Governors Island u New Yorku, NY. [<http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/wte/basic.htm>], prva spalionica otpada u Danskoj je izgrađena 1903. godine u Frederiksberg [Waste to Energy inDenmarkbyRambollConsult] dok je prvi objekt u Češkoj sagrađen 1905. godine u Brnu.(Lapčíketal. (Dec 2012). "MožnostiEnergetickéhoVyužitíKomunálníhoOdpadu". GeoScienceEngineering). Na području jugoistočne Europe 1905. godine izgrađeno je prvo postrojenje za spaljivanje gradskoga smeća u Rijeci uz proizvodnju energije (pare) za pogon pumpe za snabdijevanje grada pitkom vodom. Svoj razvoj sa maksimalnim smanjenjem emisija dimnih plinova u okoliš industrija izgradnje spalionica otpada doživljava početkom 21. stoljeća. Danas u svijetu funkcionira preko 3000 spalionica otpada, a vrlo mali broj radi na zastarjelim tehnologijama koji emitiraju opasne količine dioksina i furana u atmosferu.

Glavni fizičke karakteristike otpada koje se mijere i važne za obradu su: gustoća, veličina komponenti i sadržaj vlage. Ostale karakteristike koje mogu biti važne kod odvajanja otpada su: boja, poroznost, oblici, optička svojstva, magnetska svojstva i električna svojstva. Boja je važna za selektiranje stakla, poroznost i veličina i oblik komponenti važni su za transport, optička svojstva su vezana za prozirnost otpada i njegovo razdvajanje, magnetska i električna svojstva su važna za automatsko razdvajanje, dok je gustoća vrlo važna za transport i dimenzioniranje reciklažnih dvorišta i odlagališta. Važna kemijска svojstva krutog otpada su: sadržaj vlage (sadržaj vodemože promijeniti kemijска i fizikalna svojstva), količina isparljivih tvari, količina pepela, fiksiran ugljika, energetska vrijednost, postotak

ugljika, vodik, kisik, sumpor i pepeo. (Lober 1996;). Sa povećanjem količine vlage u otpadu povećava se mogućnost razvoja bakterija i gljiva koje uvelike doprinose dekompoziciji organskog dijela otpada.

Primjena sustava termičke obrade komunalnog otpada nije odvojiva od ukupnog sustava upravljanja komunalnim otpadom, a njegova efikasnost zavisi isključivo od implementacija sustava primarnog prikupljanja otpada koji mora biti na visokoj razini. »Postrojenje za termičku obradu otpada ili »spalionica« je svaka nepokretna ili pokretna tehnička jedinica u kojoj se spaljuje otpad s iskorištavanjem topline proizvedene izgaranjem. Proces uključuje oksidacijsko spaljivanje otpada, kao i druge termičke procese, poput pirolize, rasplinjavanja ili plazma procesa, sve dok se rezultirajući produkti tih obrada nakon toga spaljuju.

Pod pojmom »postrojenje za termičku obradu otpada ili »spalionica« podrazumijeva se i zemljište na kojem je postrojenje smješteno uključujući sve linije spaljivanja, prihvati i skladištenje otpada, linije predpripreme, sustave za dovod otpada, goriva i dovod zraka, kotlove, sustav za obradu izlaznih plinova, postrojenja za obradu ili skladištenje ostataka, otpadne vode, dimnjak, uređaje i sustave za kontrolu procesa izgaranja, zapisivanja i praćenja uvjeta spaljivanja.

»Postrojenje za suspaljivanje otpada ili suspalionica« je nepokretno ili pokretno postrojenje čija je prvenstvena svrha proizvodnja energije ili materijalnih produkata i koje otpad koristi kao svoje redovno ili dopunsko gorivo, ili u kojem se otpad termički obrađuje radi konačnog zbrinjavanja. Obavlja li se suspaljivanje tako da glavna svrha postrojenja nije proizvodnja energije ili materijalnih produkata nego termička obrada otpada, takvo će se postrojenje smatrati spalionicom otpada.

Pod pojmom »postrojenje za suspaljivanje otpada ili suspalionica« podrazumijeva se i zemljište na kojem je postrojenje smješteno, uključujući sve linije spaljivanja, prihvati i skladištenje otpada, linije predpripreme, sustave za dovod otpada, goriva i dovod zraka, kotlove, sustav za obradu izlaznih plinova, postrojenja za obradu ili skladištenje ostataka, otpadne vode, dimnjak, uređaje i sustave za kontrolu procesa izgaranja, zapisivanja i praćenja uvjeta spaljivanja. Spaljivanje otpada spada u termičku obradu – ubrzano kemijsko fizikalnu razgradnju pod djelovanjem topline. Procese spaljivanja moguće je provesti uz rekuperaciju energije¹ i bez rekuperacije energije². Prednosti procesa spaljivanja otpada se prvenstveno ogledaju u velikoj redukciji obujma ostatka obrade³, smanjenom utjecaju na okoliš u odnosu na druge oblike zbrinjavanja otpada⁴, te djelomičnoj kompenzaciji troškova proizvodnjom toplinske i električne energije. Najveći nedostatak obrade otpada spaljivanjem je u visokoj cijeni osnovne investicije⁵, velikim utjecajem na okoliš emisijom otpadnih plinova⁶ i zbrinjavanja krutog ostatka.

Oksidacija gorivog dijela komunalnog otpada se definira kao spaljivanje otpada. U termičkim procesima pri termičkoj obradi otpada nastaju sljedeće onečišćujuće tvari koje čine reakcije različitih gorivih tvari, koje se sastoje najvećim dijelom iz ugljika (C) i vodika (H), čestice, zatim spojevi s kisikom koji se dovodi zrakom sumpor (IV) oksid (SO₂), klorovodična kiselina (HCl), flourovodična kiselina (HF), ugljik monoksid (CO), dušikov oksid (NO_x), pare žive (Hg), nikala (Ni), arsena (As), olova (Pb), kroma (Cr), bakra (Cu), mangana (Mn), te teški metali, polikloriranidibenzo-p-dioksini i polikloriranidibenzo-p-furani (PCDD "dioksini", i PCDF „furani“) ili polikloriranibifenili (PCBs), i poliaromatski hidrokarboni (PAH) pri čemu kao produkti izgaranja nastaju dimni plinovi i pepeo. Otpad je prvenstveno visoko heterogeni materijal koji se u svojoj strukturi sastoji organskih materijala, vode, minerala i metala. Energetska svojstva komunalnog otpada i njegova mogućnost spaljivanja u direktnoj

¹proizvodnja toplinske i električne energije

²spalionice, incineratori

³ preko 90 %

⁴ odlaganje i biološka obrada

⁵ sve stroži propisi o graničnim vrijednostima emisija u dimnim plinovima, a zbog toga sve složenija i skuplja postrojenja.

⁶ porast udjela plastičnoga otpada, a zbog toga i opasnost od emisije vrlo opasnih spojeva dioksina i furana

su ovisnosti od njegovog sastava, tj količine gorivog materijala u samom otpadu. U ukupnoj obradi komunalna otpada u razvijenim zemljama cca 60 % otpada na termičku obradu, a oko 90 % ukupnih svjetskih kapaciteta postrojenja za spaljivanje otpada nalazi se u razvijenim zemljama (EU, SAD, Japan).

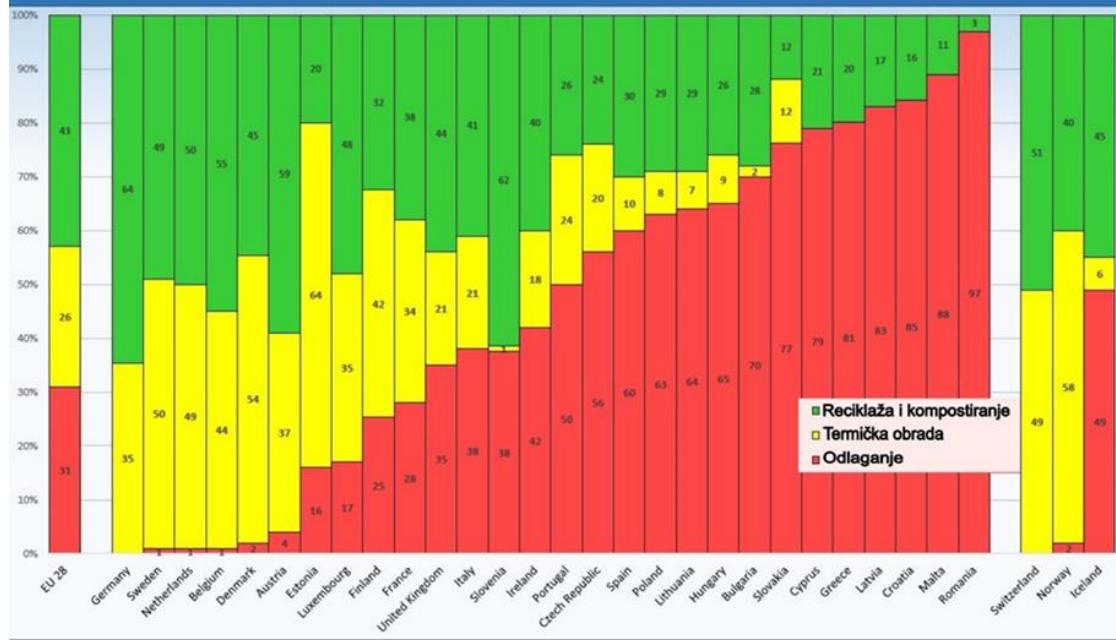
2.Gospodarenje otpadom

Stupanj razvoja društvenih zajednica na planetu Zemlja je vrlo različit, a s tim i sustavi upravljanja otpadom. Kvaliteta nastalog otpada također je vrlo različita po količini i sastavu a zavisi od mnogo faktora. U svijetu se primjenjuje nekoliko modela zbrinjavanja otpada koji se najčešće kombiniraju. Najvažniji faktor je obuhvatiti što veći dio populacije jedne zajednice organiziranim prikupljanjem otpada. Na žalost nekoliko zemalja u Europi nema potpuni obuhvat svih dijelova zajednice ovom komunalnom djelatnošću, a u nju spada i naša zemlja. Veliki dio afričkog, azijskog i južno američkog kontinenta nije obuhvaćen organiziranim prikupljanjem otpada. Druga faza upravljanja otpadom je sigurno ga odložiti kako bi se smanjio utjecaj otpada na okoliš. Ovaj postupak primjenjuju još uvijek gotovo sve zemlje svijeta, a postotak ovako zbrinutog otpada se kreće od 2% do 100 %. Kvaliteta odlaganja također je vrlo važna, ali nju nećemo obrađivati. Treća faza je odvajanje korisnog djela komunalnog otpada. Ova faza se značajno povećala u gotovo svim zemljama koje imaju izgrađene sustave obrade otpada. Četvrta faza je termička obrada kojom se gorivi dio otpada pretvara u toplinsku i električnu energiju. Pošto ova faza zauzima značajno mjesto u obradi otpada kod razvijenih zemalja, a istovremeno stvara drugačije oblike pritisaka na okoliš u ovom radu posebnu pažnju posvećujemo termičkoj obradi otpada.

2.1. Gospodarenje otpadom u Europi

Danas se po podatcima iz 2012. godine u EU proizvede oko 200 milijuna tona komunalnog neopasnog otpada dok je produkcija opasnog otpada na razini 22 milijuna tona godišnje. U zemljama EU vrlo su različiti sustavi obrade otpada. Obrada otpada konačnim odlaganjem je u stalnom opadanju u svim članicama EU i danas iznosi oko 31%. Tek nekoliko zemalja od 28 članica ima postotak obrade otpada odlaganjem iznad 80 % (Grčka 80%, Latvija 83% Hrvatska 85%, Malta 88% i Rumunjska 97%).) Tendencija obrade otpada recikliranjem i kompostiranjem je u stalnom rastu i iznosi oko 43%. Obrada spaljivanjem u pojedinim zemljama članicama se kreće od 0-64% dok je prosjek na razini EU oko 26 % komunalnog otpada. Ovaj proces se odvija u 456 spalionica koje proizvedu oko 16.000 t/g pepela. (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu> ,www.cewep.eu, 2012). Kapacitet postrojenja za termičku obradu varira od 60.000 t/g do 500.000 t/g, dok je ukupan instalirani kapacitet na razini 200.000.000 t/g. U slijedećih 10 godina očekuje se daljnja ekspanzija izgradnje postrojenja za spaljivanje otpada uz razvoj novih tehnologija. Postrojenja su koncipirana na tradicionalnim tehnikama spaljivanja otpada na kosom rostu ili u fluidiziranom ložištu. Obrada otpada termičkim najveća se pozornost posvećuje zaštiti okoliša i zdravlja ljudi, pa su današnja suvremena postrojenja opremljena složenim i potpuno automatskim uređajima za čišćenje dimnih plinova. Postrojenjima kao nusproizvod generira široku paletu različitih spojeva, koje bi u nekontroliranom i nepravilno izvedenom procesu mogli dovesti do opasne razine. Zato, kod svake termičke obrade otpada u Europi ne postoji niti jedno postrojenje koje nema sustav tretiranja-obrade dimnih plinova koji nastaju u procesima termičke obrade. Sustavi upravljanja otpadom u Europi unificirani su Direktivama o otpadu IPPC Direktivom, ali je ipak svakoj zemlji članici ostavljena mogućnost izgradnje vlastitih sustava s obzirom na njihove geografske značajke, gustoću naseljenosti, te svijest stanovništva. Stupanj ekonomski razvijenosti pojedinih država u direktnoj je ovisnosti o kvaliteti sustava upravljanja otpadom.

Obrada komunalnog otpada u zemljama EU 2013.



Slika 1. Obrada komunalnog otpada u zemljama EU otpada



Slika 2. Proizvodnja energije iz otpada u EU

2.2. Gospodarenje otpadom u Aziji i Japanu

Upravljanje krutim otpadom i prateća industrija na razvijenim tržištima kao što su dio zemalja u Evropi, Japan i SAD visoko je uznapredovala u posljednjih 30 godina uz visoki stupanj sudjelovanja privatnog sektora, dok je još uvijek u nastajanju u većini dijelova Azije. Prema procjeni Svjetske banke iz 1999. godine količina otpada koja nastaje u Aziji dnevno iznosi 760.000 tona, a 2025. godine trebala bi iznositi 1,8 milijuna tona. Procjena se temelji na rastu broja stanovnika, migraciji stanovnika iz ruralnih u urbana područje, pojava novih materijala za pakiranje i promjena načina života stanovništva. Napredakopćeg standardaintenzivna urbanizacija prostora, kvalitetni propisi o zaštiti okoliša i privatizacija su potaknuli i rast regionalnog menadžmenta i industrije koja se bavi upravljanjem otpadom. (Chandrappa R., Brown J 2012)



Slika 3. Odvajanje otpada bez kontrole

U cijelini, tržište roba i usluga vezene za otpad u Aziji se očekuje da će rasti uz utrostručenje veličinu. Diferencijacija zemalja po GDP u Aziji je iznimno velika pa je tako i sustav upravljanja otpadom na različitoj razini. Razvijene zemlje imaju potpuno uređene sustave koji prikupe i zbrinu gotovo 100% otpada dok u nerazvijenim zemljama ukupno stanovništvo nije

obuhvaćeno organiziranim prikupljanjem otpada. Razvijeno je pojedinačno prikupljanje i razvrstavanje i obrada kao dio privatne inicijative koji doprinosi povećanju količina otpada koje se recikliraju ali doprinose neredu u sustavu. Najčešći oblik ovakvog odvajanja otpada je u Indiji, Filipinima i Indoneziji. Obrazovna struktura djelatnika u Aziji koji rade u industriji obrade otpada je na vrlo niskoj razini, ali i to se mijenja sa rastom tehnologija obrade i jačanjem menadžmenta, što je direktni pokazatelj strukture zaposlenih, te dostupnosti zapakiranih higijensko ispravnih proizvoda. U visoko razvijenim zemljama legislativa koja uređuje ovaj dio gospodarstva je na visokoj razini, stanje svijesti pojedinca vezano za odvajanje otpada na mjestu nastanka veliko. Ujedno stanje svijesti i efikasnost u odvajanju na mjestu nastanka uvelike diktira kvalitetu konačnog zbrinjavanja i u konačnici cijenu po toni otpada. Producija i sastav otpada u direktnoj ovisnosti od ekonomskih pokazatelja za pojedine zemlje. Što je GDP već to je produkcija i kvaliteta odloženog otpada veća. Kod nerazvijenih zemalja dominira organska komponenta u otpadu, dok kod visoko razvijenih zemalja u otpadu dominiraju pakirni materijali koji ujedno imaju veću energetsku moć.

Usporedba između pojedinih država je ponekad nepovoljna zbog različite kategorizacije i evidencije otpada oblici. Razvoj kvalitetnih sustava upravljanja otpadom u direktnoj je povezanosti sa stupnjem ekonomske razvijenosti te raspoloživim zemljишnim resursima. Zemlje kao Japan koje ne raspolažu prostorom za odlaganje otpada svele su ovakve načine zbrinjavanja otpada na minimum razvijajući visoko sofisticirane tehnologije koje su svele količine produciranih pepela i ostataka od prerade otpadnih plinova na minimum. Do 1999. gotovo svaka općina je morala imati postrojenje za obradu prosječnog kapaciteta, cca. 70.000 tona godišnje, koji je mnogo manji nego u Europi. U siječnju 2000. godine donese je novi strogi zakon o emisijama plinova i pepela iz spalionica. Kao rezultat ovih zakonskih mjera je razvoj tehnologija plinifikacije otpada i taljenja pepela. Nove tehnologije temelje se na klasičnom sustavu spaljivanja na rostu sa znatnim poboljšanjima u fizičko kemijskim kondicijama u ložištu. Sustav ima radni naziv postrojenja za rasplinjavanje i taljenje otpada.

Država	Fizički sastav komunalnog otpada					
	Organske komponente	Papir	Plastika	Staklo	Metal	Drugo
India	41.8	5.7	3.9	2.1	1.9	44.6
Nepal	80.0	7.0	2.5	3.0	0.5	7.0
Bangladesh	84.4	5.7	1.7	3.2	3.2	1.8
Thailand	48.6	14.6	13.9	5.1	3.6	14.2
Myanmar	80.0	4.0	2.0	0.0	0.0	14.0
Indonesia	70.2	10.6	8.7	1.7	1.8	7
Philippines	41.6	19.5	13.8	2.5	4.8	17.8
Malaysia	43.2	23.7	11.2	3.2	4.2	14.5
Japan	31.2	44.8	9	7	6	2

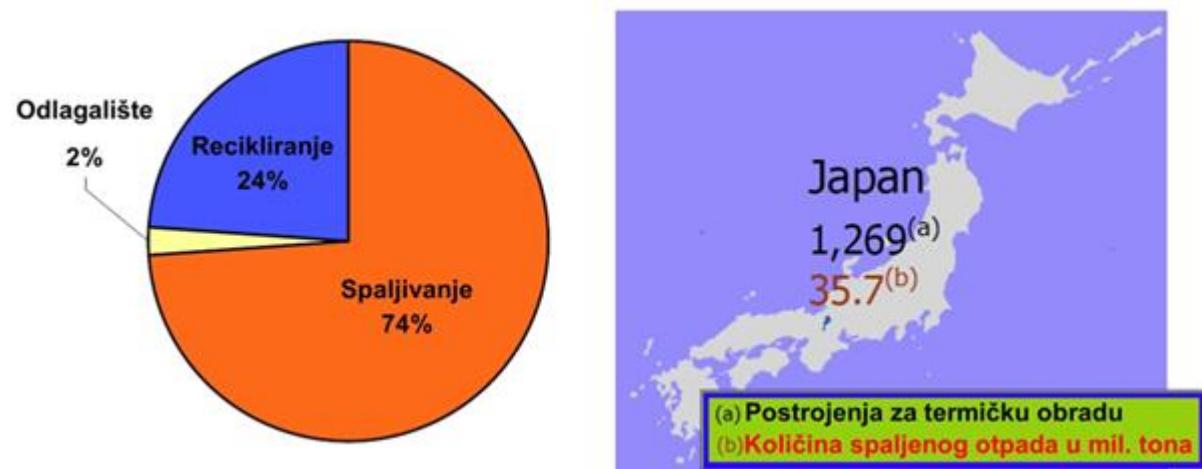
Tablica 1. Fizički sastav komunalnog otpada u Aziji

Općenito postupak za rasplinjavanje i taljenje ima slijedeće prednosti:

- Drastično smanjenje emisije dioksina
- Smanjenja količine pepela kroz recikliranje
- Smanjenje odlagališnog prostora

Ovaj sustav ostvaruje visoku učinkovitost zbog:

Postrojenje može tretirati različite vrste otpada kao što je: RDF (RDF), kanalizacijski mulj, industrijski otpad, ostatak poslije spaljivanja u konvencionalnim spalionicama, otpad sa starih odlagališta i azbest.



Slika 4. Obrada otpada u Japanu

Država	Odlagalište	Spaljivanje	Kompostiranje	Ostalo
Kina	85%	15%	-	-
Hong Kong	100%	-	-	-
Indija	75%	5%	10%	10%
Indonezija	70%	2%	15%	13%
Koreja	35%	28%	37%	-
Malezija	93%	-	1%	6%
Filipini	85%	-	10%	5%
Singapur	6%	94%	-	-
Tajvan	4%	96%	-	-
Tajland	70%	5%	10%	15%

Tablica 2.Obrada otpada u Aziji

- b) Negorivi dio otpada može se koristiti kao netoksična šljaka.
- c) Gorivi dio otpada se pretvara u energetski vrijedan plin.
- d) Emisija dioksina iz postrojenja je minimiziran.
- e) Visoki stupanj učinkovitosti proizvodnja energije .

Kina kao jedna od vodećih zemalja po industrijskom rastu, a tako i po industriji vezanoj za otpad. Početkom 2012. godine Kina je imala u funkciji 135 postrojenja za spaljivanje otpada u kojima je obradivala oko 35 milijuna tona otpada, a po smjernicama kineske vlade do kraja 2015. godine Kina bi trebala imati operativno 300 postrojenja za termičku obradu otpada u kojima bi se godišnje spalilo oko 100 milijuna tona komunalnog otpada. (www.renewableenergyworld.com) Statistički podaci pokazuju kako Kina danas producira oko 200 milijuna tona komunalnog otpada, dok su predviđanja da će do 2020. godina Kina producirati oko 230 milijuna tona. Glavni problem kineskog tržišta otpadom je nepostojanje kvalitetnog sustava prikupljanja i primarne obrade otpada, te se intenzivno radi na poboljšanju sustava , a istovremeno i na poboljšanju sirovine u procesima termičke obrade. Paralelno sa izgradnjom postrojenja radi se na unapređenju tehnologija, ali zaključno sa 2015. godinom tehnologije su u pravilu uvozne.

2.3.Upravljanje otpadom na sjeverno američkom kontinentu

SAD su jedna od najrazvijenijih zemalja te istovremeno jedan od najvećih svjetskih zagadivača okoliša na globalnoj razini. Visoko razvijeno društvo producira velike količine komunalnog ali i industrijskog otpada. Opredjeljenja SAD je komercijalizacija gotovo svih gospodarskih djelatnosti pa je i sustav upravljanja otpadom direktno povezan sa tržistem. Utjecaj tržišta kapitala i vrijednosti roba i usluga na američkom kontinentu imao je i direktnu vezu sa razvojem djelatnosti zbrinjavanja otpada. Zbog toga je sustav upravljanja komunalnim otpadom na razini srednje razvijenih europskih zemalja.

Prosječna proizvodnja otpada po stanovniku za 2011. godinu je 1,6 kg dok je 1960. godine iznosila 1,0 kg. Ukupna godišnja proizvodnja otpada u SAD iznosi oko 250 milijuna tona, dok se spaljivanjem obrađuje oko 29,3 %. Najveća količina otpada se obradivala u periodu od 1990. do 2000 godine. Krajem 20. stoljeća uslijed kampanja okolišnih aktivista usmjerena na zagađenja koja su dolazila iz spalionica pa je aktivnost termičke obrade od 2000. godine u stalnom padu. Međutim, glavni razlog ovom padu i stagnaciji je ekonomija. Većina postojećih spalionica morala je u rekonstrukciju kako bi izgradila

postrojenja za pročišćavanje otpadnih plinova. Uz povećanje broja velikih jeftinih regionalnih odlagališta irelativno niska cijena struje, spalionice nisu bili u mogućnosti nabaviti kvalitetan otpad po tržišno prihvatljivoj cijeni. Trendu pada doprinijela je i porezna politika. Porezne olakšice za postrojenja za proizvodnju električne energije iz otpada su ukinute u SAD-u između 1990. i 2004. U periodu od 1990. godine od 186 komunalnih spalionica ostalo je samo 89 u funkciji 2007. godine, a od 6200 medicinskih spalionica otpada u 1988. samo 115 ostalo u 2003.

Obrada komunalnog otpada u SAD od 1960.-2011.u milijunima tona

	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2007	2009	2010	2011
Producija	88.1	121.1	151.6	208.3	243.5	253.7	256.5	244.3	250.5	250.4
Oporaba za reciklažu	5.6	8.0	14.5	29.0	53.0	59.2	63.1	61.6	65.0	66.2
Oprava kompostirnjem	neznatno	neznatno	neznatno	4.2	16.5	20.6	21.7	20.8	20.2	20.7
Ukupna reciklaža	5.6	8.0	14.5	33.2	69.5	79.8	84.8	82.4	85.2	86.9
Odlaganje poslije odvajanja	82.5	113.1	137.1	175.1	174.0	173.9	171.7	161.9	165.3	163.5
Spaljivanje sa proizvodnjom energije	0.0	0.4	2.7	29.7	33.7	31.6	32.0	29.0	29.3	29.3
Odlagališta	82.5	112.7	134.4	145.3	140.3	142.3	139.7	132.9	136.0	134.2

Tablica 4. Obrada komunalnog otpada u SAD

Danas imamo situaciju da je količini otpada koji se odlaže u odnosu na 1990 sa 145,3 milijuna tona smanjena na 134,3 milijuna po podacima iz 2011. godine što iznosi oko 11 milijuna tona. To zanemarivo smanjenje je apsolutno u suprotnostima sa svim svjetskim trendovima. Istovremeno produkcija otpada 1990. godine u odnosu na 2011. povećana je za gotovo 50 milijuna tona..

3.Oprava

Dana se u svijetu koristi cijeli niz postupaka kojima se smanjuje količina otpada koja se odlaže. Zasnivaju je na principima mehaničko-biološke, fizikalno-kemijske, termičke i kombinirane obrade. Konačni cilj svake obrade je ponovo upotrijebiti što veću količinu otpada recikliranjem i (ili) oporabom.

Oporaba otpada jest svaki postupak ponovne obrade otpada kojim se postiže njegovo korištenje u materijalne ili energetske svrhe. Oporaba obuhvaća: korištenje otpada kao goriva, regeneraciju otpada, sve vrste recikliranja, regeneracija kiselina i lužina, ponovna prerada iskoristive nafte, obrada zemljišta korisnog za poljoprivredu te prerada otpada iz jednog oblika u drugi.

Recikliranje je izdvajanje materijala iz otpada i njegovo ponovno korištenje. Recikliranje uključuje sakupljanje, izdvajanje, preradu i izradu novih proizvoda iz iskorištenih stavri i materijala, a najvažnije je najprije odvojiti otpad prema vrstama otpadaka jer se mnogi otpadne materije (proizvodi i/ili sirovine) mogu ponovno iskoristiti ako su odvojeno sakupljeni.

Danas se u svijetu gotovo 20 % otpada termički obradi pretvaranjem otpada u toplinsku i električnu energiju. Povoljnosti ovakve obrade izazivaju velike prijepore zbog emisija zagađujućih plinovitih tvari te odlaganja ostataka koji nastaju ovakvom obradom.

3.1. Tehnologije termičke obrade otpada

Termička obrada otpada (TOO) obuhvaća skupinu postupaka kojima je cilj smanjiti volumen otpada , pri čemu se koristi energetska vrijednost otpada. Uz nuklearnu spada u red najkontroliraniji industrijski djelatnosti na način da emisije polutana u atmosferu moraju udovoljavati vrlo niskim graničnim vrijednostima za skoro 20 supstanci.Postoji niz drugih novih tehnologija koje su u stanju proizvesti energiju iz otpada i drugih goriva bez izravnog izgaranja. Mnogi od tih tehnologija imaju potencijal za stvaranje više električne energije iz iste količine goriva nego li je to moguće izravnim izgaranjem. Iz perspektive energetske optimizacije poželjno je, prije termičke obrade, izdvojiti teže gorive tvari anorganskog porijekla , a u organskom ostatku smanjiti udio vlage. Tehnologija se bazira na odvajanju korozivnih komponenata čime se omogućuje veće temperature izgaranja u npr. kotlovi, plinske turbine, motori s unutarnjim izgaranjem, gorive ćelije. Neke tehnologije mogu učinkovito pretvarati tretirane komponente uz korištenje energije u tekuća ili plinovita goriva. Ove tehnologije nisu zauzele značajno mjestou komercijalnim uporabama obrade otpada zbog nedorečenih energetskih i materijalnih bilanci.

Postupke termičke obrade otpada možemo podijeliti na:

- spaljivanje (izgaranje)
- pirolizu (otplinjavanje)
- rasplinjavanje (sa i bez plazme)
- termičku/katalitičku depolimerizaciju

Direktna korist od termičke obrade otpada je:

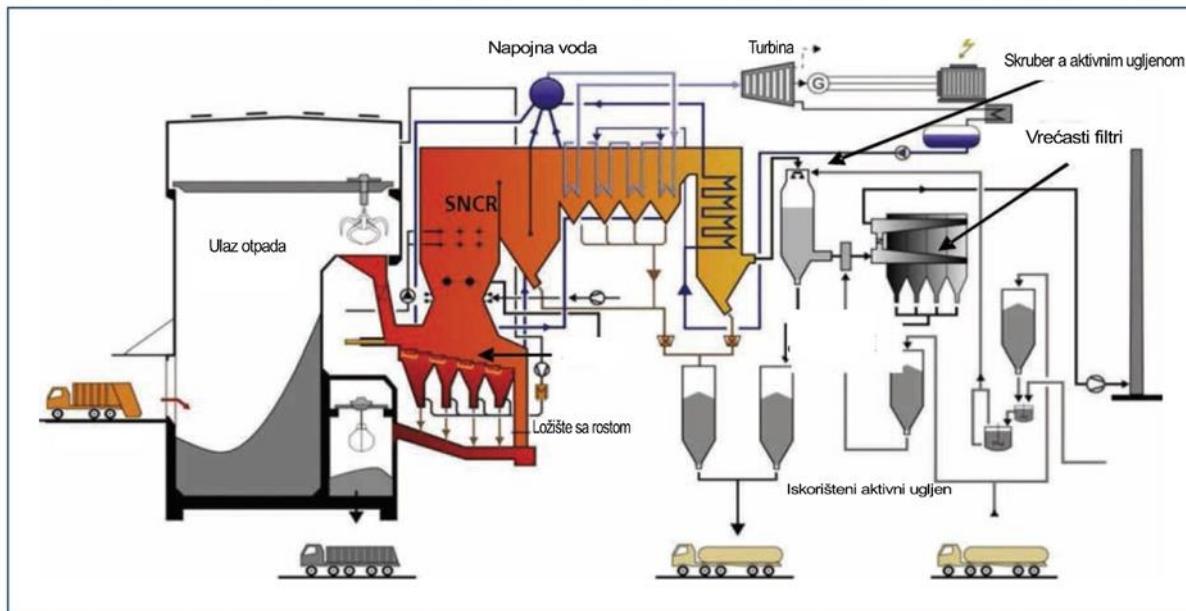
- Smanjenje mase i volumena otpada – masa se smanjuje za 75 %, a volumen za 90 %
- Eliminacija bioloških zagađivača - poput virusa, mikroba, bakterija
- Eliminacija i prerada kemijskih zagađivača –poput kemikalija, boja i lakova, pesticida i herbicida iz kućne uporabe
- Smanjenje emisija stakleničkih plinova - znatno se smanjuju emisije stakleničkih plinova u odnosu na emisije s odlagališta, u pravilu 1-1,5 t CO₂eq/t otpada;
- Izdvajanje anorganskih tvari – željezo, plemeniti metali i dr.
- Iskorištenje energije pohranjene u otpadu – zakonski uvjet bez kojega se ne može realizirati termička obrada otpada; jedna tona otpada sadrži energiju kao 220 litara tekućeg goriva.

3.1.1.Spaljivanje

Tehnologija spaljivanje otpada, koja je ujedno najrasprostranjenija tehnologija, predstavlja oksidaciju zapaljivih tvari sadržanih u otpadu. Kod spaljivanja krutog otpada, slično kao kod izgaranja krutog goriva, postoje četiri faze procesa kojima mora biti prilagođena konstrukcija ložišta: sušenje, rasplinjavanje, izgaranje i dogorijevanje. Na taj način se otpad, to jest njegova organska komponenta prevodi u pepeo (kruta komponenta), dimne plinove (plinovitu komponentu) te energiju. Pepeo se uglavnom sastoji od anorganskih sastojaka otpada te može biti u obliku grudica (kao krutina) ili lebdećih čestica koje mogu biti sadržane u dimnim plinovima. Dimni plinovi se moraju pročistiti od raznih plinovitih (anorganskih i organskih) onečišćivila prije ispuštanja u atmosferu.

u svijetu su danas u upotrebi tri tipa tehnologija za spaljivanje otpada. To su: spaljivanje u ložištu sa rostom, spaljivanje u fluidiziranom sloju i spaljivanje u rotacijskoj peći. Najčešće upotrebljavana je tehnologiju spaljivanja komunalnog otpada na kosom rostu koja se može razlikovati po načinu kretanja

otpada po rostu, procesu dehidracije (sušenja otpada) i po načinu dodavanja zraka koji posješuje oksidaciju.



Slika 5. Shema postrojenja za spaljivanje otpada

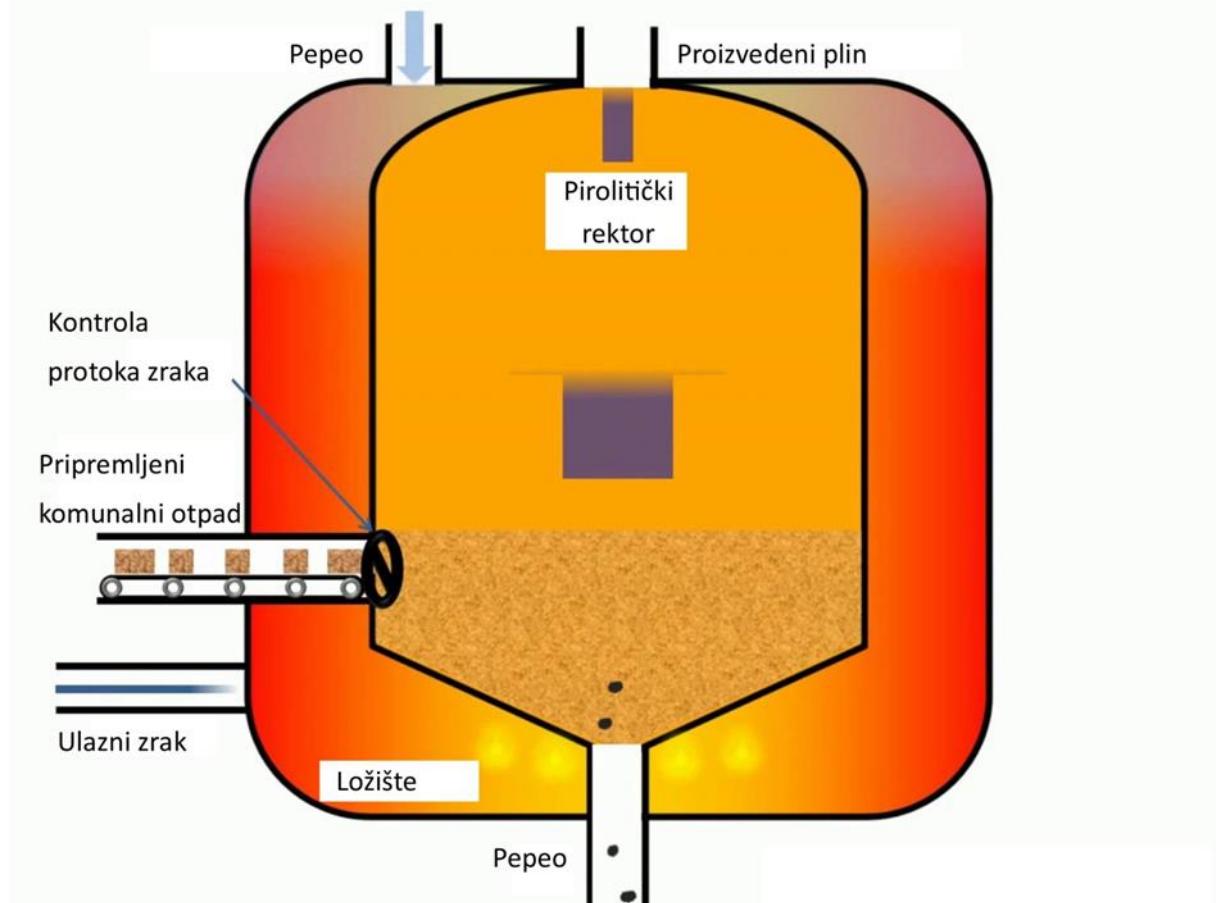
Kako bi stvorili uvjeti za učinkovitu termičku obradu otpada, u procesu spaljivanja potrebno je osigurati radne uvjete. Osim energetske vrijednosti goriva parametri koji su u direktnoj vezi sa kvalitetnim procesom izgarjanju su: temperatura u ložištu, vrijeme zadržavanja, brzina strujanja plinova i sadržaj kisika. Gotovo u pravilu postrojenja za spaljivanje otpada rade na temperaturi od 850 oC na način da se dimni plinovi zadržavaju na toj temperaturi 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 oC. U suhim izlaznim plinovima mora biti najmanje 6% kisika kako bi se osigurali uvjeti sa kvalitetno sagorijevanje.

Odnos temperature i vremena zadržavanja glavna je termokinetička karakteristika koju neko ložište mora udovoljiti u funkciji spaljivanja otpadna materijala. Ona zavisi od sljedećih parametara: kapaciteta, opterećenja, geometriji ložišta, rasporedu plamenika, vrsti goriva, višku zraka i recirkulaciji dimnih plinova. Danas su u upotrebi se tri vrste rostova: valjkasti, klipni i natrag djelujući rost (Martinov rost). Kapacitet peći varira od 4 do 40 tona na sat. Najbolji učinci postrojenja se postižu pri kapacitetima 20-25 t/sat. Vreli plinovi koji nastaju u ložištu izmjenjuju toplinu sa vrelom vodom u nekoliko faza dok se njihova temperatura ne spusti na temperaturu oroshavanja. U konačnici plinovi se obrađuju u skruberima gdje se kroz različite kemijski tretman odvajaju šteti sastojci (teški metali, dioksini i furani i dr.). Glavni problem koji se pojavljuje kod ovakvih načina obrade otpada je količina ostatka nakon spaljivanja koji se manifestira u velikim količinama pepela i iskorištenih punila u skruberima. Ovi materijali su u principu opasni otpad koji se zbrinjava na različite načine, a najčešće odlaganjem u tijela cesta i trajnim odlaganjem u napuštenim rudnicima. Čisti postupak spaljivanja, bez posebnog iskorištenja dobivene topline, moguće je primjenjivati samo tijekom zbrinjavanja posebnih vrsta i zbrinjavanja opasnog otpada.

3.1.2. Piroliza

Piroliza je termičko-kemijski proces razgradnje organskog sadržaja na povišenim temperaturama bez prisutnosti kisika. Uključuje simultanu promjenu kemijskog sastava i fizičkog stanja, i sam proces je ireverzibilan. Sličan proces se odvija u prirodi u požarima gdje drvna građa i vegetacija dolazi u kontakt s lavom u vulkanskim erupcijama. Tijekom procesa pirolize dolazi do nastanak plinske (tzv. pirolitički

plin), kapljevite (pirolitičko ulje) te krute (kruti ostatak bogat ugljikom tzv. Gar (engl. char)) ganja organskih molekula pri povišenoj temperaturi i u odsutnosti kisika. komponente. Sličan proces se primjenjuje u industriji za dobivanje koksa, metanola, itd. kojeg dolazi do



Slika 6. Shema postrojenja za pirolizu

Piroliza otpada je proces u kojem dolazi do destilacije organskoga dijela otpadnog materijala te kidanje kemijskih veza (krekovanje) velikih molekula materijala kao što su plastika, guma, koža i slično. Procesom pirolize iz kruta materijala dobivaju se plinovita i tekuća goriva. Piroliza je endotermni proces u kojem se troši toplina.

Glavne faze procesa pirolize:

- Temperatura 100 do 150 °C – sušenje
- Temperatura 200 do 550 °C - destilacija i krekovanje
- Temperatura 600 do 700 °C - uplinjavanje
- Temperatura 800 do 1200 °C - izgaranje (nepotpuno u manjak kisika)

Plin iz procesa pirolize sadrži: vodik (H_2), metan (CH_4), ugljični monoksid (CO) i ugljični dioksid (CO_2).

Prema rasponu temperatura pri kojima se odvija piroliza, mogu se razlikovati tri varijante:

- niskotemperaturna do 500°C;
- srednjetemperaturna od 500°C do 800°C;
- visokotemperaturna viša od 800°C.

S povećanjem temperaturne reakcije i vremena zadržavanja povećava se i udio pirolitičkog plina uproduktima reakcije, a smanjuje se udio krute i tekuće faze. Pirolitički plin se običnospaljuje, a kruta se faza ili spaljuje ili prvo rasplinjuje, a zatim se spaljuju nastali plinovi.

Dimni se plinovi mogu uvesti u generator para te se dobivena para iskoristavaza grijanje ili pokretanje turbine spojene s električnim generatorom. Kruti ostatak u obliku pepela čini ugljik pomiješan s raznim inertnim materijalima koji direktno ovisi od sastava otpadnih materijala. S praktičnim korištenjem procesa pirolize za termičku obradu otpadnih materijala ima još dosta tehničkih problema, pa je zbog toga malo u komercijalnim primjenama. U zadnjih nekoliko godina uznapredovali su procesi pirolize otpadnih automobilskih guma, ali još uvijek nisu ekonomski održivi bez stimulacije državnih sustava.

3.1.3. Rasplinjavanje

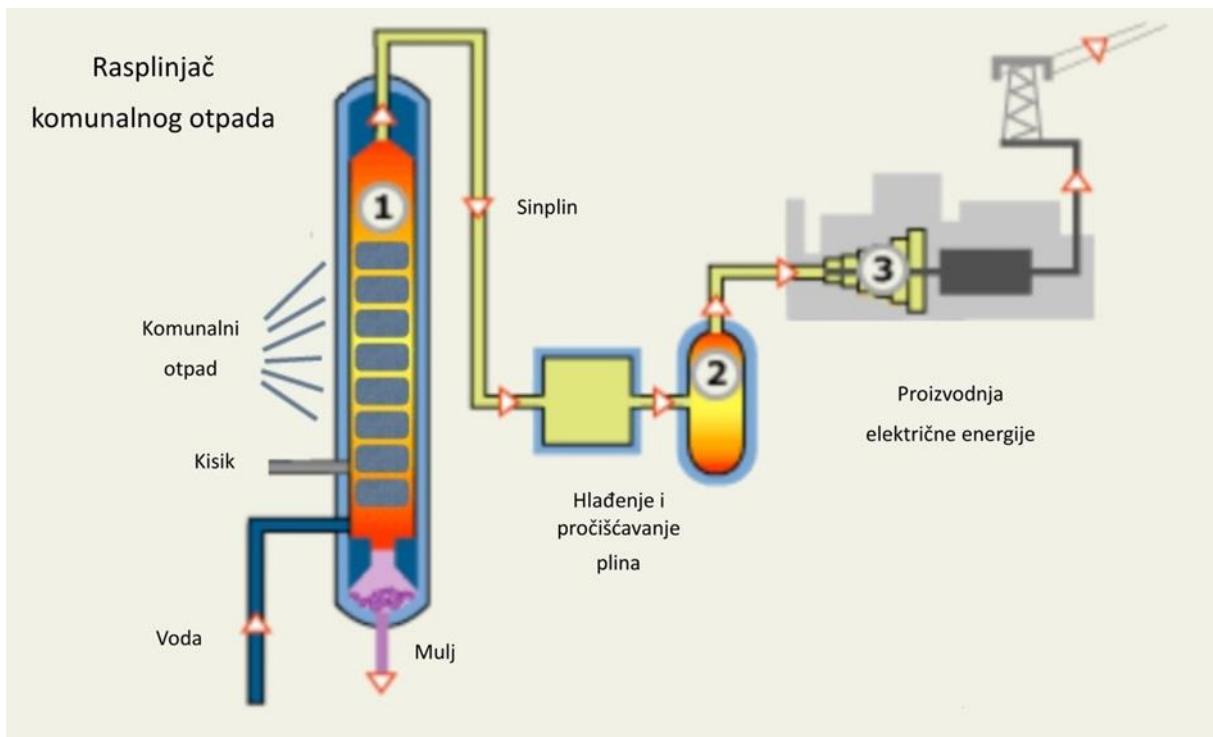
Rasplinjavanje je proces tijekom kojega se pri povišenoj temperaturi ($>700^{\circ}\text{C}$) ureaktor s gorivom bogatim ugljikom dovodi sredstvo za rasplinjavanje (npr. kisik,vodena para, zrak ili ugljični dioksid). Produkt reakcije je mješavina plinova poznatapod nazivom sintetski plin (syngas). Sintetski plin dobiven rasplinjavanjem može sespaljivati, iskoristiti u postrojenjima za kogeneraciju ili se može upotrijebiti za sintezurazličitih tekućih ugljikovodika nekom varijantom Fischer-Tropsch procesa . Zbogvisoke temperature procesa dolazi do vitrifikacije šljake nastale u procesu.

Rasplinjavanje još nije raširen postupak u termičkoj obradi otpada, ali zaokupljuje sve javnosti iz razloga jer se na prilično siguran način može riješiti problem otpada, te iznjega dobiti prijeko potrebna energija. Naravno, sam proces ima nekolikomodifikacija, prvenstveno u smislu načina provedbe rasplinjavanja, tj. primijenjenogtipa tzv. rasplinjača. Tako postoje primjerice princip primjene reaktora:

- s fiksним slojem kroz koji se sredstvo za rasplinjavanje dovodi ili u istom ili nasuprotnom smjeru od ulaza goriva bogatim ugljikom
- s fluidiziranim slojem
- s strujom plazme

Ovisno o izvedbi reaktora za rasplinjavanje, kao itipu i kvaliteti ulazne sirovine (obrađen otpad bogato ugljikom), količina i produktikoji izlaze iz samog procesa mogu biti različiti. Finalni proizvod se razlikuje po udjelu komponentisintetskog plina čime se određuje njegova energetska vrijednost, postupci potrebniza njegovo pročišćavanje, te kvaliteta krutog ostatka. Postoje manja postrojenja ukojima je rasplinjavanje upotrijebljeno za obradu tekućega opasnog otpada ili zaobradu visokoenergetskih materijala kao što je plastični otpad. Tijekomtermičke obrade komunalnog otpada rasplinjavanje se može primijeniti nakon pirolizekao metoda za naknadnu obradu krute faze. Posebno zanimljiva je primjena plazmeu procesu rasplinjavanja. Plazma se može koristiti na dva načina: rasplinjavanje organske komponentne ili se koristi zapročišćavanje nastalog plina nakon „klasičnog“ spaljivanja. Primjenom plazme se eliminiraja nastajanje štetnih plinova dioksina i furana, koji mogunastati spaljivanjem.

Prilikom propuštanja električne energije kroz plin postižu se temperature od 5000 do 15000 °C.te uslijed tako visokih temperatura dolazi do razlaganja organskih i taljenjaanorganiskih komponenti otpada. U plinovitoj fazi dolazi do snažne razgradnjeorganiskih molekula što gotovo u potpunosti eliminira štetne emisije što je jedna odglavnih prednosti plazma postupka. Anorganske tvari se nakon taljenja vitrificiraju imogu se odlagati ili koristiti kao građevni materijal.Rasplinjavanje otpada obavlja se ili u pećima valjkastog oblika vrlo nalik pećima za obradu čelika.



Slika 7. Shema postrojenja za rasplinjavanje

Uz to sloj u ložištu se fluidizira dok se u postrojenjima za rasplinjavanje kao gorivo koristi 5-10% koksa. Tehnologiju su na tržište lansirale tvrtke Nippon Steel i JFE. U Japanu je ukupno 47 takvih postrojenja za rasplinjavanje u pogonu, a prerađuju oko 3.000.000 t/godišnje. Postrojenja za Rasplinjavanje u vrtložnom sloju su izgradili dvije tvrtke Ebara i Kobelco. U pogonu je 30 postrojenja s ukupnim kapacitetom od oko 2 000 000 t/godišnje. Za ovakve obrade otpada potreban je predtretman što znatno poskupljuje samu proizvodnju. U Japanu funkcioniра 12 postrojenja tvrtke Mitsui Environmental Systems Takuma kapaciteta 1 000 000 t/godišnje, dok u Burgau Njemačka funkcioniра postrojenje od 30 000t/godišnje. Tehnologije pirolize i rasplinjavanja nisu zastupljene na europskom tržištu. Njihova energetska učinkovitost je obično niža od one sa klasičnim kosim ložištima, a njihovih troškova rada su veći. Ove napredne tehnologije su pogodne za posebne otpade, kao što su ostaci obrade starih automobila ili električni i elektronički otpad.

3.1.4. Termička i katalitička depolimerizacija

Termička depolimerizacija je proces kojim se cijepaju dugi lanci organskih spojeva na kraće lance, obično između 10 - 20 atoma ugljika vrlo slični aromatskim i alifatskim spojevima koji su sastavne komponente sirove nafte. Pod djelovanjem tlaka i temperature, dugački polimerni lanci koji sadržavaju ugljik, vodik te kisik razgrađuju se na kratke sa 20 maksimalno ugljikovih atoma. Kada se takva tehnologija primjeni na pripremljenom komunalnom otpadu, koji se uobičajeno sastoji između 80 – 90 % od organske komponentne, moguće je kao krajnji proizvod dobiti sintetičko dizel gorivo koje je u svojim kemijskim i fizičkim svojstvima sličan fosilnom dizelu. Sam proces depolimerizacije kompleksnih organskih tvari koje sadrže duge lance ugljikovih (C) atoma uz prisutnost vodika (H) i kisik (O) te stvaranje goriva može se odvijati ili kao katalitički ili termički proces ili pak kao kombinacija ta dva procesa. Kod termičke depolimerizacije je prisutna visoka temperatura ($>400^{\circ}\text{C}$) kada razgrađuje duge lance molekula ugljikovodika u kraće kako bi se stvorilo gorivo. Ovakav način depolimerizacije je poznat od sredine prošlog stoljeća, ali ipak nije našao svoju primjenu u proizvodnji tekućeg goriva jer zahtijeva preveliku količinu uložene energije. Postupak je nedovoljno učinkovit energetski, ekonomski pa i ekološki, pogotovo u usporedbi s novim naprednim tehnologijama za obradu otpada. Danas u svijetu postoji nekoliko pokaznih postrojenja koji koriste sustav za depolimerizaciju organskih

tvari u cilju proizvodnje goriva. Termička depolimerizacija ima nekoliko nedostataka. Takva depolimerizacija samo „razbija“ duge lance u kraće, te se veće molekule ne mogu stvoriti. Na taj način manje molekule kao ugljikov-dioksid (CO_2) ili metan (CH_4) ne mogu biti konvertirane u tekuće gorivo pa proces zahtijeva dodatnu rafinaciju. Termička depolimerizacija se odvija na temperaturama preko 400°C , te postoji rizik nastajanja toksičnih dioksina i furana, uz već spomenuto nastajanje CO_2 i CH_4 .

Katalitička depolimerizacija se odvija na relativno nižim temperaturama te na približno atmosferskom tlaku. Katalizator služi kao ionski izmjenjivač te može na sebe „pokupiti“ određeni postotak kationa, prvenstveno teške metale (kadmij, Cd; živu, Hg; oovo, Pb) dok otpušta alkalijске i zemno alkalijске metale koji tvore stabilne soli sa prisutnim anionima (kloridi, fosfati, sulfidi, sulfati...). Zbog činjenice da prisutnost katalizatora dozvoljava da se proces vodi ispod 400°C , ne dolazi do nastajanja ugljičnog dioksida, furana i dioksina. Iz svega rečenog jasno je vidljivo da je katalitička depolimerizacija dominantna kao mogući proces obrade otpada u cilju proizvodnje tekućeg goriva naspram termičke depolimerizacije, pogotovo s ekonomskog (energetskog) ali i ekološkog aspekta. Izlazni produkti ovog procesa su kapljevita frakcija, tj. sintetičko dizel gorivo, plinovita frakcija uključujući sintetski plin i metan, te kruti ostatak. Sastav kapljevite frakcije je ovisno o primijenjenoj tehnologiji potrebno dodatno pročistiti destilacijom te će o tome i ovisiti njen sastav. Plinovite frakcije se može koristiti u procesu „ko-generacije“ ili se spaliti na baklji, dok će sastav i primjena krutog ostatka ovisiti o kvaliteti ulazne sirovine, tj. otpada koji se obrađuje.

3.2.Kategorije postrojenja za termičku obradu otpada

Prilikom termičke obrade različitih vrsta otpada podijeljenog po mjestu nastajanja razlikuju se i postrojenja. Postrojenja imaju vrlo različitu konstrukciju jer se razlikuje cilj obrade otpada, kvaliteta i kvantiteta otpada, sadržaj emisije polutanata te spaljivanje „in situ“.

3.2.1. Postrojenja za termičku obradu komunalnog otpada

Komunalni otpad (KO) različito se definira između zemljama ali i u međunarodnim ugovorima. Pod pojmom komunalni otpad obično uključujemo gotovo svaki dio krutog otpada koji nastaje u kućanstvima tijekom normalnog svakodnevnog života, ali i to također često uključuje otpada proizvedene u industrijskim, trgovačkim i poljoprivredne djelatnosti. Uobičajeni sastojci komunalnog otpada su papir i karton, plastiku, ostatke hrane i kuhinja, tkanina i kože, drva, stakla i metala, kao i prljavštinu i kamenje i druge inertne materijale. Male količine opasnih tvari kao što su baterije, boje, lijekovi, posude od pesticida i insekticida i neke kemikalije koje se upotrebljavaju u kućanstvima također se javljaju u MSW. Ipak, gotovo uvijek komunalni otpad se smatra neopasnim. Najčešća postrojenja za spaljivanje ovakvog otpada sastoje se od prihvavnog bunkera, kosog ložišta, kotlovnog bloka sa vodom, paro generatora i pročistača plinova.

3.2.2. Postrojenja za termičku obradu opasnog otpada

Opasni otpad je klasificirani kao opasni zbog osobina sadržaja, a koji proizvodi štetne posljedice na zdravlje ljudi, životinja, ali i ekosistema. Opasni otpad obično nastaje tijekom proizvodnje kemikalija, uključujući komercijalne kemikalije, lijekova, pesticida, itd ili općenito, sve materijale koje zahtijevaju posebne mjere i ograničenja tijekom rukovanja. Dio robe široke potrošnje su označeni kao opasne , a ostaci poslije uporabe i ambalaža smatraju se opasnim otpadom. U ovu kategoriju spadaju otapala i drugi hlapljivi ugljikovodici, boje, kemikalije, uključujući pesticida, halogenirani farmaceutskih proizvoda, baterije, goriva, ulja i maziva drugih, kao i robe koje sadrže teške metale. Također, svi materijali kontaminirane s tim materijalima, kao što su natopljene krpe ili papira, obrađeno drvo, proizvodnih ostatci, itd, smatraju se opasnim otpadom. Ovakav otpad se spaljuje pod posebnim uvjetima u spalionicama koje imaju rotacijske peći u kojima temperatura prijelaz 1400°C sa dvije ili više komora, te skrubere za pročišćavanje plinova. Ovakav otpad zbog nedostatka rješenja kvalitetnog zbrinjavanja ponegdje se spaljuje u tvornicama cementa.

3.2.3. Postrojenja za termičku obradu medicinskog otpada

Medicinski otpad je svaki otpad iz medicinskih djelatnosti, bez obzira ako se te aktivnosti odvijaju u bolnici ili ambulanti, ili bilo kojoj drugoj zdravstvenoj ustanovi, a obavlja ih medicinsko osoblje (liječnik, zubar, medicinska sestra). U mnogim slučajevima, otpad koji nastaje tijekom tih aktivnosti sadrži zarazne materijale, ljudske izlučevine, krv, lijekove i materijala za pakiranje i / ili alate koji se koriste tijekom ili za liječenje ljudi ili životinja. Nadalje, zbog svog podrijetla i njegovog sastava, medicinski otpad može sadržavati otrovne kemikalije, (teški metali ili prekursori), visoke koncentracije organskih kemikalija (polivinil klorid i određeni lijekovi) i otopine soli (anorganske i tjelesne tekućine). Uz sve ovo medicinski otpad najčešće sadrži patogene organizme (viruse, bakterije) te je ovakav otpad nužno termički obraditi na visokim temperaturama (spaljivanje ili pirolize). Spaljuje se na lokalnoj razini u bolnici ili drugim medicinskim ustanovama u malim pećima ili se obrađuje na temperaturama do 150 stupnjeva gdje podlježe samo procesu sterilizacije. Medicinski otpad spada u opasne, a njegovo tretiranje najčešće se odvija u nekontroliranim spalionicama nedovoljne kvaliteta obrade pa su takva postrojenja najčešće izvori dioksina i furana.

3.2.4. Postrojenja za termičku obradu elektronskog i električnog i auto otpada poslije usitnjavanja

Elektronski i električni, te auto otpad poslije usitnjavanja i odvajanja metala pogodan je za termičku obradu jer sadrži plastične komponente koje imaju energetsku vrijednost. U takvim materijalima prisutni su metali koji se topljenjem odvoje. Za tretman ovakvih materijala primjenjuju se tehnologije koje funkcioniраju na višim temperaturama sa dodatnim zagrijavanjem dimnih plinova ili pirolitički procesi. Mogućnost nastajanja štetnih plinova kao što su dioksini i furani je velika, ali se rješava kontroliranim procesima sa visokim stupnjem pročišćavanja skruberima.

3.2.5. Postrojenja za termičku obradu mulja nastalog tretmanom otpadnih voda

U procesima obrade otpadnih voda bez obzira na podrijetlo (npr komunalne otpadne vode, poljoprivrednih dobara i industrijskih djelatnosti) nastaju velike količine mulja. Sve ove vode sadrže velike količine krutih disperziranih čestica na koje se lako adsorbiraju tvaqrni visoke toksičnosti. Ovakve vode se tretiraju tehnološkim postupkom flokulacije i te poslije filtriranjem. U većini razvijenih zemalja mulj dobiven ovim postupkom se spaljuje u posebnim spalionicama, a nastala energija se koristi za proizvodnju topline i električne energije. Ovakav otpad moguće je suspaliti u procesima proizvodnje cementa.

3.2.6. Postrojenja za termičku obradu drveta i biomase

Kontaminirani drveni otpad najčešće nastaje kao dio antropogenih aktivnosti, posebno u drvnoj industriji⁷ ali nastaje i kao građevinski otpad. Drveni otpad često je kontaminiran različitim bojama, ostacima plastike i tkanina, različitim otapalima, fungicidima i pesticidima, ali može sadržavati i druge potencijalno toksične materijale. Ovakvi materijali se najčešće spaljuju sa biomasom u postrojenjima u kojima temperatura u ložištu ne prelazi 850 o C te postoji opasnost od nastanka dioksina i furana. Ovakva postrojenja najčešće proizvode toplinsku i električnu energiju. U fukciju u svijetu postoji cijeli niz starijih postrojenja koji nemaju suvremene sustave kontrole emisije dimnih plinova.

3.2.7 Kafilerije i krematoriji

Sustav termičke obrade mase animalnog i antropogenog porijekla je vrlo prisutan diljem svijeta u objektima koje rade diskontinuirano, koriste dopunsko gorivo, a emisije polutanata se nekontroliraju. U

⁷ Proizvodnja građevinskog materijala, namještaja, ambalaže, igračaka, brodogradnja,

ovakvim postrojenjima vrlo često se energija ne koristi. Postrojenja najčešće nisu niti dizajnirana kako bi osiguravala kvalitetan proces sagorijevanja i korištenja nastale topline.

4.Utjecaj postrojenja za termičku obradu otpada na okoliš

Komunalni i opasni otpad predstavljaju jednu od najvećih prijetnji okolišu, dok se upravljanjem procesima obrade otpada ta prijetnja uvelike smanjuje i fokusira na veličine koje je lakše kontrolirati. Uobičajena praksa upravljanja otpadom je prevođenje difuznog sustava utjecaja na okoliš na točkasto. Gotovo svi modeli u sebi sadrže sljedeće postupke:

- Prikupljanje u domaćinstvima
- Odvajanje otpada u domaćinstvima
- Prikupljanje i prijevoz do mjesta primarne obrade
- Primarna obrada: odvajanja korisnog dijela otpada od nekorisnog
- Termička obrada
- Reciklaža
- Konačno odlaganje

Postrojenja za termičku obradu (spalionice) predstavljaju vrlo kompleksan sustav termičke obrade otpada koji u svojoj funkcionalnoj uporabi sadrže cijeli niz prijetnji okolišu. Postrojenja za termičku obradu otpada su postrojenja u kojima se spaljuje otpad najčešće sa proizvodnjom električne energije i topline. Najčešće zastupljena metodologija je oksidacija otpada na temperaturama većim od 800 stupnjeva, a u posljednjih desetak godina razvile su se i tehnologije taljenja, pirolize i plazme. Potencijalni utjecaji postrojenja za spaljivanje otpada spadaju u sljedeće kategorije:

- prijevoz dolaznog otpada i odlaznog ostataka
- opsežna predobrada otpada (npr priprema otpada dobivenih goriva).
- ukupni procesne emisije u zrak i vode (uključujući i miris)
- cjelokupni čvrsti procesni ostatak (pepeo, ostatak iz skrubera i pročistača plina)
- buka i vibracije u procesu
- potrošnja i proizvodnja energije
- kvaliteta ulazne sirovine
- fugitivne emisije - uglavnom iz skladištenje otpada
- smanjenje rizika za skladištenje / rukovanje / obradu opasnog otpada.

Moderna postrojenja koje su novim tehnologijama smanjila sve ove utjecaja na zakonom propisane mjerljive veličine su danas u funkciji i ostvaruju zavidne rezultate. U protekli nekoliko desetljeća razvile su se i tehnologije kontrole zagadenja tako da su sustavi upravljanja postrojenjima za termičku obradu otpada uznapredovale.

4.1. Emisija štetnih tvari prilikom termičke obrade

Pri termičkoj obradi otpada nastaju kao produkti izgaranja nastaju dimni plinovi i pepeo. U njima se sadržane sljedeće onečišćujuće tvari koje čine reakcije različitih gorivih tvari, koje se sastoje najvećim dijelom iz ugljika (C) i vodika (H), čestice, zatim spojevi s kisikom koji se dovodi zrakom sumpor (IV) oksid (SO₂), klorovodična kiselina (HCl), flourovodična kiselina (HF), ugljik monoksid (CO), dušikov

oksid (NO_x), pare žive (Hg), nikala (Ni), arsena (As), olova (Pb), kroma (Cr), bakra (Cu), mangana (Mn), te teški metali, polikloriranidibenzo-p-dioksini i polikloriranidibenzo-p-furani (PCDD "dioksini", i PCDF „furani“) ili polikloriranibifenili (PCBs), i poliaromatskihidrokarboni (PAH).

4.1.1.Dioksini i furani

U sastavu dimnih plinova dominiraju oksidi ugljika, dušika i sumpora ali su uz teške metale svakako najopasniji produkti dioksini i furani. Pod pojmom dioksini obuhvaćeno je 135 različitih spojeva iz klase PCDF⁸ i 75 spojeva iz klase PCDD⁹. Prvi od njih TCDD (2,3,7,8 tetrachlor-dibenzodioxin) opisan je 1957. godine . Dioksini i furani razlikuju se međusobno samo po prisutnosti ili odsutnosti molekule kisika u svojoj strukturi, a uobičajeno se pod zajedničkim pojmom dioksini podrazumijevaju obje grupe tvari.

Polikloriranidibenzo-p-dioksini (PCDD) i polikloriranidbenzofurani (PCDF) su skupina tricikličnih aromatskih ugljikovodika supstituiran s jednim do osam atoma klora (Olieetal, 1998). Ovi spojevi, obično poznata kao "dioksini" ili "dioksina i furana", nalaze se gotovo posvuda na zemlji, a glavni transportni mehanizam je atmosferska disperzija i taloženje (Mukerjee, 1998). U molekularnoj strukturi dioksin se sastoji od dva prstena benzena povezani s dva kisikova atoma dok se furan sastoji od dva prstena benzena povezani jednim atomom kisika i C-C vezom . Svaki od osam ugljikovih atoma na prstenima koji nije vezan za atom kisika ili drugi ugljikov atom može se povezati s atomima drugih elemenata. Toksičnost molekule se višestruko povećava kada se atomi vodika zamjenjuju sa klorom. Ovi vrlo stabilni spojevi su iznimno postojani u prirodi. Gotovo su netopive u vodi, ali su topive u lipidima. Upravo ta kombinacija svojstava dopušta dioksinima ući u masno tkivo i akumulirati se i na taj način biti u prehrambenim lancima. Poznato je da su visoko toksični za ljude i životinje, a razne studije i znanstvena istraživanja na laboratorijskim životinjama izvješćuju o teratogenim učincima (Tosine 1983.) malformacija fetusa, oštećenjima jetre, smanjenju reproduksijske moći i stope rasta, uzrokovanje raka te promjene u ponašanju. Na temelju najnovijih epidemioloških podataka o izloženosti ljudske populacije, te eksperimentalni karcinogeni biološki testova na laboratorijskim životinjama, te dokaz o odgovarajućim mehanizmima karcinogeneze 2,3,7,8-tetraklorodibenzo-p-dioxin (TCDD) ocijenjena je kao karcinogen za ljude, te se smatra kancerogenom klase 1, što znači najotrovniji ljudima poznat „known human carcinogen“. (McGregor i dr., 1998)

Osim eksperimentalnih rezultata iz animalnih pokusa, spoznaje o djelovanju dioksina dolaze nažalost, i iz preko 20 industrijskih katastrofa u kojima je opisano približno 1.000 slučajeva otrovanja dioksinima. Daleko značajnije posljedice za zdravlje ostavlja kronično izlaganje dioksinima. Ovdje su svakako najznačajniji: kancerogeno djelovanje dioksina - pri čemu je prepostavljeno djelovanje u smislu tumorskog promotora. Tumorski promotori nisu toksični za genom, ne izazivaju mutacije DNA, ali su u stanju snažno utjecati na pojačani rast spontano nastalih tumora.

Kod industrijskih radnika izloženih djelovanju dioksina osobito često se registriraju

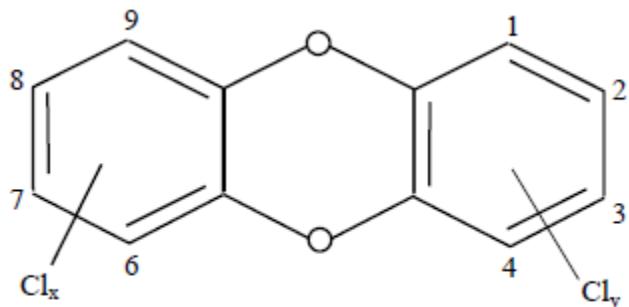
- tumori (sarkomi) mekih tkiva,
- limfomi,
- karcinomi želuca.
- djelovanje na reproduksijske funkcije i teratogenost , kao i
- djelovanje na imunološki sustav, koji se uvijek iznova registriraju u eksperimentima na životinjama, dok kod ljudi nisu potvrđeni.

⁸polikloriranidbenzofurani

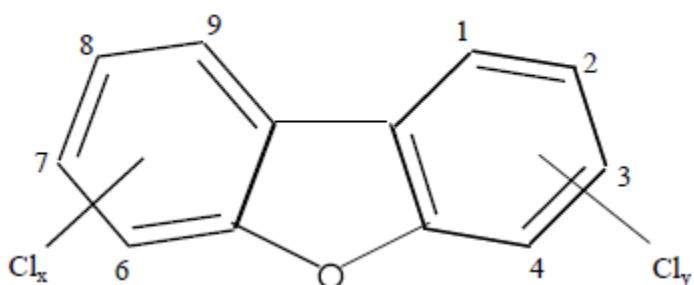
⁹polikloriranidbenzo - p - dioksina

Najpoznatiji i najotrovnija dioksin je 2,3,7,8-tetraklorodibenzo-p-dioksin (TCDD) koji se veže sa određenom vrsto receptora kod proteina unutar citoplazme (Swedish EPA, 1998).

Iako dioksimi mogu nastajati u prirodnim procesima poput požara, prisutnosti okolišu pretežno je antropogenog porijekla. Dioksimi nikada nisu bilinamjerno proizvedeni, a nastaju kao sporedni neželjeni proizvodi u proizvodnji organoklorini kemikalija (uključujući herbicida i PVC), različitim procesima termičke obrade, metalurškim procesima te izbjeljivanjem papira klorom.



Slika 8. Dioksin



Slika 9. Furan

Dioksimi su direktno povezani sa nepotpunim izgaranjem. Isto tako se pojavljuju u svakodnevnom gradskom životu poput ispušnih plinova automobila i dim cigareta. U modernim postrojenjima za termičku uporabu otpada, korištene su najmodernije tehnologije koje omogućuju kontroliranu termičku obradu otpada s niskim emisijama dioksina, furana i ostalih toksičnih spojeva, koje su često 40-90% ispod dopuštenih granica.[World health organization]

Danas suvremena postrojenja za termičku obradu otpada koja primjenjuju najbolju raspoloživu tehnologiju i stroge propise vezano uz granične vrijednosti emisija i dopuštene razine emisija dioksina i furana, poput onih u zemljama Evropske unije, imaju mali doprinos koncentraciji onečišćujućih tvari u zraku.

4.1.2. Kruti ostatak poslije termičke obrade

Prilikom termičke obrade otpada nastaje nekoliko vrsta krutog ostatka koji ima toksična svojstva i predstavlja pritisak na okoliš. To je prvenstveno pepeo sa dna peći koji nastaje u najvećim količinama, te ostatak od pročišćavanja dimnih plinova poslije zračnih filtera i skrubera. Pepeo ima 10% ukupnog volumena ili 20-35 posto ukupne mase ulaznog otpada, anjegovo zbrinjavanje još uvijek nije nigdje kvalitetno riješeno. Nove napredne tehnologija koje se pojavljuju u svijetu rade na smanjenju njegove produkcije. Danas se ova vrsta otpada rješava na način da se opasni produkt ugrađuje u tijela velikih objekata kao što su ceste te na taj način imobiliziraju. Vrlo opasni otpad od pročišćavanja plinova u

obliku letećeg pepela te apsorbirani dioksini i furani sa nosačima iz skrubera se najčešće trajno odlažu u napuštene rudnike. U novije vrijeme kao model zbrinjavanja predlažu se tehnologije fluidiziranja ovog otpada i utiskivanja u napuštene naftne bušotine.

4.1.3. Nastajanje štetnih polutanata u spalionicama

Spaljivanje je proces oksidacije u kojem uz nastanak topline većina tvari organskog porijekla prelazi u ugljični dioksid i vodu uz nastajanje cijelog niza oksida dušika. Međutim u praksi kemija izgaranja ne ide ovim tokom i zavisi od cijelog niza parametara. Nepotpuno izgaranje goriva na osnovi ugljika i otpada može dovesti do nastajanja ugljikovog monoksida i drugih djelomično oksidiranih ugljikovodika. S obzirom na visoke temperature u procesu (osobito na plamen), mali postotak dušika će oksidirati u nitratni oksid ili dušikov dioksid. Sumpora prisutan u gorivu ili otpad će biti oksidiran do sumpornog dioksida ili sumpornog trioksida. Ovi spojevi po izlasku u atmosferu u kontaktu sa vodom daju sumpornu kiselinu. U slučaju goriva ili otpada koji sadrži halogene kao što su klor i fluo, emisija u zrak može sadržavati klorovodična ili fluorovodičnu kiseline i količine u tragovima od organohalogena poput dioksina (Buonicore et al., 1992). Metali, kao što su bakar (Cu), željezo (Fe), olova (Pb), kadmij (Cd), arsena (As), nikal (Ni), cink (Zn) i živa (Hg) su prisutni u dimnom plinu u obliku oksida i kloridne soli. Većina metalnih spojeva su u plinovitoj fazi unutar sustava u kojem se spaljuju najčešće na temperaturama većim od 850 °C. Metalni spojevi imaju tendenciju kondenzirati se kad se dimni plinovi ohlade te ostaju adsorbirani na finim lebdećih čestica¹⁰. Dio lako hlapljivih metala kao što su živa i kadmija mogu ostati u plinovitoj fazi, ovisno o temperaturi.

Proizvodi nepotpunog izgaranja su ugljični monoksid i organskih spojevi uključujući dioksine. Od posebnog je interesa zbog već spomenutih zdravstveni učinaka. Obim nepotpunog sagorijevanja ovisi o vremenu zadržavanja čestica u fazi izgaranja, temperaturi ložišta i obliku kretanja zraka u ložištu¹¹. Dioksini su neizravni rezultat nepotpunog izgaranja, koja uglavnom nastaje u zoni naknadnog izgaranja zbog katalitičkih reakcija klora na površini pepela u temperaturnom rasponu od 250 do 400 °C.

PARAMETAR	EUROPSKA UNIJA		FRANCUSKA	NJEMAČKA	HOLANDIJA
	Komunalni	Opasni	Komunalni	Komunalni	Komunalni
Prašina (čestice)	30	10	30	10	5
Organske tvari kao C	20	10	20	10	10
HCl	50	10	50	10	10
HF	2	1	2	1	1
SO ₂	300	50	300	50	40
NO _x	-	200	-	200	70
CO	100	50	100	50	50
Teški metali	5	0,5	5	0,5	1
Ni+As	1	-	1	-	-
Cd+Th	-	0,05+0,05	-	0,5	-
Cd+Hg	0,2	0,05+0,05	0,2	-	-
Hg	-	0,05	-	0,05	-
Cd	-	0,05	-	-	0,05
Dioksini (PCDD) i Furani (PCDF) (ng/m ³)	-	0,1	-	0,1	0,1

Izvor: V. Potočnik, Obrada komunalnog otpada - svjetska iskustva, Zagreb, 1997.

Dioksini su formirani poslije komore za izgaranje, kada se prekursori ohlade. Metali koji sudjeluju u procesima gorenja u sekundarnoj fazi djeluju kao katalizatori i pospješuju nastajanje dioksina. U izlaznim emisijama iz spalionica otpada dioksini se pojavljuju na česticama lebdećeg pepela te u dimnim plinovima. Iako točan mehanizam formiranje nepoznat, podrazumijeva se kakodioksini

¹⁰Općenito usubmikronskoj veličini 0,2 do 0,7 mikrona

¹¹laminarno ili turbulentno

općenito tvore od toplinskim raspadom organskih materijala, u prisutnosti metala i kloriranih spojevi. Formiranje dioksina se praktično provodi de novo¹² sintezom kad se dimni plinovi iz postupka spaljivanje hlade od početne 1000 ° C do oko 250 ° C, a maksimum formiranja dioksina se javlja u rasponu od 650 ° C do 250 ° C (Tuppurainenetal., 1997).

Stvaranje toksičnih anorganskih kiselih plinova kao HCl, HF, HBr, SO₂ prilikom spaljivanja dovodi i do emitiranja u atmosferu i tako negativno utječe na respiratorni sustav. Mogu izazvati akutna oboljenja (akutni bronhitis i pneumonija), kronične respiratorne bolesti te posljedične bolesti (karcinom). Dušikovi i sumporni oksidi koji osim što vrlo negativno utječu na zdravlje ljudi i životinja, destruktivno djeluju na okoliš i prirodu.

5.Zaključci

Upravljanje komunalnim otpadom predstavlja jedan od najvećih civilizacijskih i znanstvenih izazova moderne današnjice. Povezan je sa nizom faktora koji imaju direktni utjecaj na razvoj modernog društva, ali predstavljaju i prijetnju kvalitetu života. Osnova problema se ogleda u činjenici kako najveće količine komunalnog otpada nastaju upravu u urbanim sredinama, a proizvod su visokog standarda stanovništva. Producija visoko kvalitetnih materijala koje se nalaze u stalnoj upotrebi koji se nakon jednog ili više korištenja odbace nalaze dominira u otpadu. Takvi proizvodi imaju ubrzani raspad ili imaju sve karakteristike materijala koji je moguće kvalitetno reciklirati. Unatoč razvoju tehnologija i te sve većoj svijesti o potrebi kvalitetnog upravljanja otpadom njegova količina u svijetu i dalje raste. Tehnologije obrade otpadom su u zadnjih 30 godina doživjele ubrzani razvoj te su doprinijele umanjenju problema. Termičke obrade otpada su se u nekim državama razvile do te mjere da su postale temelj kvalitetnog upravljanja otpadom. Poseban primjer je Japan koji je uz nedostatak zemljišta za izgradnju odlagališta otpada bio prnuđen razviti visokosofisticirane tehnologije obrade otpada koji su ostatak poslije obrade sveli na tek 2%. Cijeli sustav upravljanja otpadom je u rukama države i nije opterećen stvaranjem visokog profita.

U većini europskih država i SAD vlasnici postrojenja za toplinsku obradu otpada su privatne tvrtke koje imaju ekonomski ciljeve. Težište je stavljeno na produkciju električne energije i topline, te kupiti što jeftinije gorivo i ostvariti profit. U Japanu vlasnici postrojenja su jedinici lokalne samouprave koji su dužni po Japanskim zakonima upravljati otpadom na području gdje je proizveden. Primarni cilj je obraditi otpad na mjestu nastanka, smanjiti troškove prijevoza, a količina koja ostaje nakon obrade mora biti kvalitetno trajno pohranjena. Pokušavaju izbjegći preopterećenost, a time smanjuju i rizik od akcidentnih situacija. Broj radnih dana je 250-280 godišnje dok je u Europi i SAD oko 330. Vijek trajanja ovakvih postrojenja je oko 30 godina.

Spaljivanjem otpada, usprkos rada postrojenja na principu suvremenih tehnologija, u zrak se emitiraju teški metali kao što su olovo, živa, kadmij te spojevi dioksina i furana koji su opasni po zdravlje i u najmanjim količinama, tako da redovito mjerjenje i praćenje koncentracije ovih spojeva nije dostatno za zaštitu ljudskog zdravlja u okolini takvih postrojenja. Poseban problem su akcidentne situacije na postrojenjima pri čemu u atmosferu odlaze velike količine štetnih i opasnih polutanata. Glavni argument zagovaratelja spaljivanja otpada je energija koja se dobiva u postrojenju za termičku obradu otpada te se plasira u obliku električne ili toplinske energije za grijanje kućanstava. Međutim, stupanj energetske učinkovitosti spaljivanja je relativno nizak. Uzrok tome je što neki dijelovi otpada zapravo nemaju kaloričnu vrijednost (kamen, staklo, prašina..), dok je većina organskog otpada koji dolazi u postrojenja veoma vlažna te samim time ima i nisku kaloričnu vrijednost. Uz to, gledajući i na cjelokupni životni tok proizvoda, recikliranje, kao način zbrinjavanja komunalnog otpada, ima u konačnici puno veću uštedu energije nego spaljivanje. Kroz iskorištavanje materijala iz otpada

¹²odnosi na sintezu kompleksnih molekula iz jednostavnih molekula

se štodi energija, jer će tako udio energije potrebne za reciklažu biti niži od energije potrebne za proizvodnju novih proizvoda.

Druga dimenzija termičke obrade otpada vezana je za pripremu sirovine koja se spaljuje. Kvaliteta gorivog materijala je u direktnoj povezanosti sa vrstom tehnologije koja se primjenjuje, ali i izvora sirovine koju proizvodi stanovništvo. Što stanovništvo u primarnom odlaganju bolje razdvaja otpad to je sustav obrade efikasniji. Ova mjera se postiže naplatom različitih naknada, taksi i poreza od stanovništva. Po načelu „zagadivač plaća“ i u razvijenim zemljama najveći teret je na poreskom obvezniku koji u zavisnosti od načina obrade otpada plaća i njegovo zbrinjavanje. Što je tehnologija obrade otpada naprednija takse i naknade za prikupljanje i obradu otpada su veće.

Literatura

Buonicore, A., Davis, W., Pakrasi, A., 1992, Combustion Sources in Air Pollution

Engineering Manual, eds. Buonicore, A., Davis, W. Air & Waste Management Association,
Van Nostrand Reinhold, 2007.

Chandrapappa, R., Brown, J., 2012. Solid Waste Management Principles and Practice, Environmental Science and Engineering, Springer 2012.

DIRECTIVE 2000/76/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 4 December 2000 on the incineration of waste. European Union (4 December 2000).

Lober DJ (1996) Municipal solid waste policy and public participation in household sources reduction. *J Inter Solid Waste Ass* 14:29–35

Olie, K., Addink, R., Schoonenboom, M., 1998, Metals as Catalysts during the Formation and Decomposition of Chlorinated Dioxins and Furans in Incineration Processes, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 48, 101-105.

Mukerjee, D., 1998, Health Impact of Polychlorinated Dibenz-p-dioxins: A Critical Review, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 48, 157-165. Springer

World health organization, „Dioxins and their effects on human health“; Dostupno na: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/en/> [03. listopada 2014.]

Swedish Environmental Protection Agency (EPA), 1998, Monitor 16: Persistent Organic Pollutants - A Swedish View of an International Problem, Stockholm, Sweden.

Tosine, H., 1983, in Chlorinated Dioxins and Dibenzofurans in the Total Environment, eds.

Choudhary, L., Keith, L., Rappe, C., Butterworth, London.

Tupperainen, K., Halonen, I., Ruokojarvi, P., Tarhanen, J., Ruuskanen, J., 1998,
Chemosphere, 36 (7), 1493.

McGregor, D., Partensky, C., Wilbourn, J., Rice, J., 1998, Environ Health Perspect, 106 (2),
755.

Visvanathan C., Adhikari R., R. Adhikari&PremAnanth A. 3R Practices for MunicipalSolid Waste
Management inAsia, TheSecondBalticSymposium on EnvironmentalChemistry
KALMAR, SWEDEN, November 26-28, 2007

Chandrappa R., Brown J. Solid Waste Management PrinciplesandPractice, Springer 2012

European Commission (2006): BREF for Waste Incineration (Aug. 2006)

Inada, T., Matsudaira, T., Ishizeki, K. (2004): High-Efficiency RDF Power Plantbythe HTGDM
Process. JFE technicalreport No.6 (Dec. 2004), pp. 49-53

Lemann, M.F. (2008.): Waste management, Peter Lang International Academic Publishers, Bern,
Švicarska

Matsudaira, T., Sudo, M., Yamakawa, Y. (2004): The JFE High-Temperature Gasifying and Direct
Melting Furnace. JFE technical report No.3 (July 2004), pp. 15-20

Ministry of the Environment Government of Japan (2010): Annual Report on the Environment, the
Sound Material-Cycle Society and the Biodiversity in Japan 2010

Ministry of the Environment Government of Japan (2010): The study of Japan's municipal solid waste
discharge and treatment for FY 2008

Ludovico Spinoso, K., Carella, C., (2011). Planning the Management of Municipal Solid Waste: The
Case of Region "Puglia (Apulia)" in Italy, Integrated Waste Management -Volume I, Mr. Sunil Kumar
(Ed.), ISBN: 978-953-307-469-6, InTech, DOI: 10.5772/20084. Dostupno na:
<http://www.intechopen.com/books/integrated-waste-management-volumei/planning-the-management-of-municipal-solid-waste-the-case-of-region-puglia-apulia-initaly>

Švob, A., 2003. Spalionice otpada, dioksini i pepeo, Zaštita okoliša 24(2003)1:25-27

Visvanathan. C., Adhikari, R., Ananth, P., 2007. 3r practices for municipal solid waste management in
asiaKalmar ECO-TECH '07 and The Second Baltic Symposium on Environmental Chemistry
KALMAR, SWEDEN, November 26-28, 2007

Direktiva 2010/75/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća o industrijskim emisijama (integrirano
sprječavanje i kontrola onečišćenja) (SL L 334, 17. 12. 2010.)

Direktiva Vijeća 1999/31/EZ o odlaganju otpada (SL L 182, 16. 7. 1999.)

Direktiva 2009/31/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o geološkom skladištenju ugljikovog dioksida
i o izmjenama i dopunama Direktive Vijeća 85/337/EEZ, Direktiva Europskoga parlamenta i
Vijeća 2006/60/EZ, 2001/80/EZ, 2004/35/EZ, 2006/12/EZ, 2008/1/EZ i Uredbe (EZ-e) br. 1013/2006
(SL L 140, 5. 6. 2009.)

Direktiva 2006/66/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 6. rujna 2006. o baterijama i akumulatorima i otpadnim baterijama i akumulatorima kojom se ukida Direktiva 91/157/EEZ (SL L 266, 26. 9. 2006.)

Direktiva 2004/12/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća od 11. veljače 2004. koja izmjenjuje i dopunjuje Direktivu 94/62/EZ o ambalaži i ambalažnom otpadu (SL L 047 18/02/2004.)

Direktiva 2000/53/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća od 18. rujna 2000. o otpadnim vozilima (SL L 269, 21. 10. 2000.)

Direktiva 2012/19/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 4. srpnja 2012. o otpadnoj električnoj i elektroničkoj opremi (OEEO) (SL L 197, 24. 7. 2012.).

IPPC Direktiva (2008/1/EC)

EIA Direktiva (85/337/EEC)

http://www.nytimes.com/2010/04/13/science/earth/13trash.html?scp=1&sq=trash&st=cse&_r=0

<http://www.gdrc.org/uem/waste/swm-glossary.html>