

Konstrukcija spalionice otpada i energetske- ekonomska analiza potencijalne spalionice otpada u Zagrebu

Novoselec, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:204879>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-02**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Konstrukcija spalionice otpada i energetske- ekonomska analiza potencijalne spalionice otpada u Zagrebu

Novoselec, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:204879>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2023-02-17**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
Stručni studij Mehatronike

Filip Novoselec

**KONSTRUKCIJA SPALIONICE OTPADA I
ENERGETSKO EKONOMSKA ANALIZA
POTENCIJALNE SPALIONICE OTPADA U
ZAGREBU**

Završni rad

Karlovac, 2019. godina

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
Stručni studij Mehatronike

Filip Novoselec

**CONSTRUCTION OF WASTE INCINERATION
PLANT AND ENERGY ECONOMIC
ANALYSIS OF POTENTIAL WASTE
INCINERATION
PLANT IN ZAGREB**

Final thesis

dr.sc. Mihalić Tihomir

Karlovac, 2019. godina

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno osobnim istraživanjem te koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Tihomiru Mihaliću na savjetima i ukazanoj pomoći pri izradi ovog rada. Posebno bih se zahvalio svojim bližnjima na nesebičnoj pomoći i pruženoj potpori tijekom studiranja.

Filip Novoselec

SADRŽAJ

SADRŽAJ	II
POPIS SLIKA	IV
POPIS TABLICA	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK	VIII
SUMMARY	IX
1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. Podjela otpada	2
2.2. Gospodarenje otpadom u Hrvatskoj i Eu.....	2
2.3. Spalionica otpada.....	4
2.4. Podjela spalionica otpada	5
2.4.1. Podjela po veličini.....	5
2.4.2. Podjela prema vrsti ložišta.....	6
2.5. Prednosti i nedostaci spaljivanja otpada.....	6
2.5.1. Prednosti spaljivanja otpada.....	6
2.5.2. Nedostaci spaljivanja otpada.....	6
2.6. Konstrukcija spalionice otpada Spittaleu.....	7
2.6.1. Povijest spalionice otpada Spittaleu.....	7
2.6.2. Postrojenje spalionice otpada Spittaleu.....	8
2.6.3. Spremnik za otpad.....	9
2.6.4. Ložište.....	10
2.6.5. Kotao za toplinu dobivenu sagorjevanjem.....	11
2.6.6. Parna turbina.....	12
2.6.6.1. Podjela parnih turbina.....	13
2.6.7. Električni generator.....	13
2.6.8. Proces filtracije (pročišćivanja) dimnih plinova.....	14
2.6.8.1. Elektrostatski filter (ESP- Electrostatic percipitatot).....	15
2.6.8.2. Mokro odstranjivanje plinova (2 faze).....	16
2.6.8.3. Odvajanje finih čestica prašine (elektrodinamički venturi).....	17
2.6.8.4. SCR deNOx sustav	18
2.7. Štetne supstance u zraku nastale spaljivanjem otpada.....	20
2.8. Sustav pročišćivanja otpadnih voda i Zbrinjavanje krutih ostataka.....	21
2.9. Tehničke karakteristike spalionice otpada spittaleu.....	22

3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	25
3.1. Energetsko ekonomska analiza potencijalne spalionice otpada u Zagrebu.....	25
3.1.1. Potencijalna spalionica otpada 1.....	31
3.1.2. Potencijalna spalionica otpada 2.....	32
3.1.3. Analiza utjecaja potencijalne spalionice otpada u Zagrebu na okoliš.....	35
4. ZAKLJUČAK	37
PRILOZI	38
LITERATURA	39

POPIS SLIKA

Slika 1. Dijagram hijerarhije otpada od najnepoželjnije do najpoželjnije opcije.....	3
Slika 2. Predodžba odlagališta otpada Jakuševac.[4].....	4
Slika 3. Predodžba postrojenja spalionice otpada.[8].....	5
Slika 4. Predodžba rešetkaste peći za izgaranje otpada.[9].....	6
Slika 5. Predodžba spalionice otpada Spittaleu.[11].....	7
Slika 6. Predodžba postrojenja spalionice otpada Spittaleu.[12].....	8
Slika 7. Predodžba dostave otpada u spremište.[10].....	9
Slika 8. Predodžba kрана za premještanje otpada.[10].....	9
Slika 9. Predodžba rada ložišta.[13].....	10
Slika 10. Predodžba sagorjevanja otpada.....	11
Slika 11. Predodžba kotla za toplinu dobivenu sagorjevanjem.[15].....	11
Slika 12. Predodžba tijeka pare u termodinamičkom kružnom procesu.[16].....	12
Slika 13. Predodžba tijeka pare u protonom dijelu turbine.[17].....	12
Slika 14. Predodžba električnog generatora.[18].....	14
Slika 15. Predodžba rada elektrostatskog filtera.[20].....	15
Slika 16. Predodžba ispirača plinova.[22].....	17
Slika 17. Predodžba venturijevog ispirača plinova. [24].....	18
Slika 18. Predodžba SCR-a.[26].....	19
Slika 19. Predodžba vrijednosti štetnih supstanca u zraku koji izlazi iz spalionice otpada. [27].....	20
Slika 20. Predodžba vrijednosti štetnih supstanca u zraku koji izlazi iz spalionice otpada. [27].....	21
Slika 21. Predodžba odnosa kapaciteta i investicije spalionice otpada.....	22
Slika 22. Predodžba odnosa kapaciteta i proizvodnje el. energije spalionice otpada.....	23
Slika 23. Predodžba odnosa kapaciteta i proizvodnje toplinske energije.....	24
Slika 24. Predodžba godišnje količine proizvedenog komunalnog otpada po stanovniku u RH-u razdoblju od 1995. do 2016. godine [41].....	31
Slika 25. Predodžba toplinske obrade jedne tone otpada.[35].....	35

POPIS TABLICA

Tablica 1. Popis država sa brojem postrojenja i količinom spaljenog otpada.[4].....	1
Tablica 2. Prikaz tehničkih karakteristika spalionice otpada Spittaleu.[11].....	22
Tablica 3. Prikaz uloženog – dobivenog iz jedne tone otpada. [11].....	24
Tablica 4. Tipični troškovi gradnje spalionice otpada 1.....	26
Tablica 5. Prikaz kapaciteta spalionice i proizvodnje el. energije.....	27
Tablica 6. Odnos kapaciteta spalionice otpada i dobivene toplinske energije.....	28
Tablica 7. Prihodi od prodaje električne i toplinske energije spalionice otpada 1.....	29
Tablica 8. Osnovi podaci spalionice otpada u Zagrebu.....	30
Tablica 9. Tipični troškovi gradnje spalionice otpada 2.....	32
Tablica 10. Prihod od prodaje električne i toplinske energije spalionice otpada 2.....	33
Tablica 11. Usporedba dviju mogućih spalionica otpada u Gradu Zagrebu.....	34
Tablica 12. Ekološki učinak emisijskih plinova iz potencijalne spalionice otpada u Zagrebu.[36,37].....	35

POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
-	MWh (megavatsat)	jedinica dobivene/utrošene energije
-	t (tona)	jedinica za masu
-	m ³ (metar kubični)	jedinica za volumen
-	°C (stupanj celzijus)	jedinica za temperaturu
-	MW (megavat)	jedinica za snagu
-	m ² (metar kvadratni)	jedinica za površinu
-	bar (bar)	jedinica za tlak
-	kW (kilovat)	jedinica za snagu
-	m/s (metar po sekundi)	jedinica za brzinu
-	m (metar)	jedinica za duljinu
-	kJ/kg (kilodžul po kilogramu)	ogrjevna vrijednost
-	dscm (suhi standardni kubični metar)	jedinica za volumen
-	pH (potentia hydrogenii)	jedinica kiselosti/lužnatosti
-	mg/m ³ (miligram po kubičnom metru (pri standardnom tlaku i temperaturi od 25 °C i 1,01325 bar-a))	jedinica zagađenosti zraka
-	kWh (kilovatsat)	jedinica dobivene/utrošene energije
-	MJ/kg (megadžul po kilogramu)	Ogrjevna vrijednost
Kel (Ukupna bruto proizvodnja el. energije)	MWh/god (megavatsat po godini)	jedinica dobivene/utrošene energije
K _{topl} (Ukupna bruto dobivena toplinska energija)	MWh/god (megavatsat po godini)	jedinica dobivene/utrošene energije

Eu – Europska unija

DeNOx - postrojenje za smanjenje emisije dušikovih oksida

SCR - *engl. Selective Catalytic Reduction*, selektivna katalitička redukcija dušikovih oksida

MHPS – *engl. Mitsubishi Hitachi Power System*

ESP- *engl. Electrostatic precipitator* , Elektrostatski filter

EDV- Elektrodinamički venturi

SAŽETAK

U ovome završnom radu opisan je općenito rad postrojenja za spaljivanje otpada te pretvorba otpada u korisnu i upotrebljivu energiju (toplina, el.energija). Također je opisan rad spalionice otpada Spittaleu u Beču, Austriji te konstrukcija te iste spalionice otpada.

Opisana je još energetska ekonomska analiza potencijalne spalionice otpada u Zagrebu i podjela otpada, način zbrinjavanja otpada, mogućnost korištenja otpada u Hrvatskoj te prednosti i mane dobivanja upotrebljive energije na ovakav način. Prilikom izrade energetska ekonomske analize određivana je visina početne investicije, godišnjih troškova održavanja spalionice otpada, proizvodnja električne energije, proizvodnja toplinske energije te prihodi dobiveni od prodaje električne i toplinske energije tijekom jedne godine. Na kraju završnog rada opisan je emisijski učinak moguće spalionice otpada na okoliš u Gradu Zagrebu.

Ključne riječi: Otpad, spaljivanje, postrojenje, energija.

SUMMARY

This thesis describes the mode of operation of the waste incinerator plant and transformation of that waste in to usable energy (heat, el. energy). Also, it describes mode of operation of the waste incinerator plant Spittaleu in Vienna, Austria and construction of that same plant.

This thesis also describes energy economic analysis of potential waste incineration plant in Zagreb ,separation of the waste in the classes, different ways of waste management, possibilities of using that waste in Croatia and advantages and disadvantages from turning waste into usable energy. When calculating the energy economic analysis we calculated the amount of initial investment, annual costs of waste incineration, electricity production, heat generation and revenues from electricity and heat sales during one year. At the end of the thesis we described emission effect of a potential waste incinerator plant on the environment in the City of Zagreb.

Key words: Waste , incinerator, plant, energy.

1. UVOD

Otpad je svaka tvar ili predmet koje posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Ovisno o svojstvima otpada, otpad se može podijeliti na opasni, neopasni i inertni otpad.

Otpadom se još smatra i svaki predmet i tvar čije su sakupljanje, prijevoz i obrada nužni u svrhu zaštite javnog interesa. Gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj propisuje Zakon o održivom gospodarenju otpadom. Tim se Zakonom utvrđuju mjere za sprječavanje ili smanjenje štetnog djelovanja otpada na ljudsko zdravlje i okoliš na način smanjenja količina otpada u nastanku i/ili proizvodnji te se uređuje gospodarenje otpadom bez uporabe rizičnih postupaka po ljudsko zdravlje i okoliš, uz korištenje vrijednih svojstava otpada. Hrvatska po glavi stanovnika stvara oko 403 kilograma otpada godišnje. Od toga reciklira samo 21,5 %, spaljuje 0,1 %, a najveći dio odlaze, čak 78,4 %, dok neke zemlje poput Švedske, Danske, Nizozemske i Belgije odlazu svega jedan posto otpada.

U ovome završnom radu bit će objašnjeno korištenje otpada u stvaranju energije to jest iskorištavanje vrijednih svojstva otpada u našu korist, primjera spalionica otpada. Također će biti obuhvaćen način rada i konstrukciju spalionice otpada Spittaleu te razne druge načine iskorištavanja otpada u pozitivne svrhe.

Tablica 1. Popis država sa brojem postrojenja i količinom spaljenog otpada.[4]

Zemlja	Spaljeni otpad (u kilotonama)	Broj postrojenja
Njemačka	17400	66
Francuska	13600	128
Nizozemska	5575	11
Švedska	4100	30
Danska	3500	30
Italija	3100	57
Velika Britanija	3000	15

2. TEORIJSKI DIO

Kao što je rečeno u uvodu otpad je svaka tvar ili predmet koje posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Ovisno o svojstvima otpada, otpad se može podijeliti na opasni, neopasni i inertni otpad. U Hrvatskoj se najveći dio otpada odlaže dok se zanemariva količina spaljuje i time proizvodi neka vrsta energije a najviše zbog toga šta u Hrvatskoj nema potrebnih postrojenja za pretvorbu otpada u korisnu energiju [1,3].

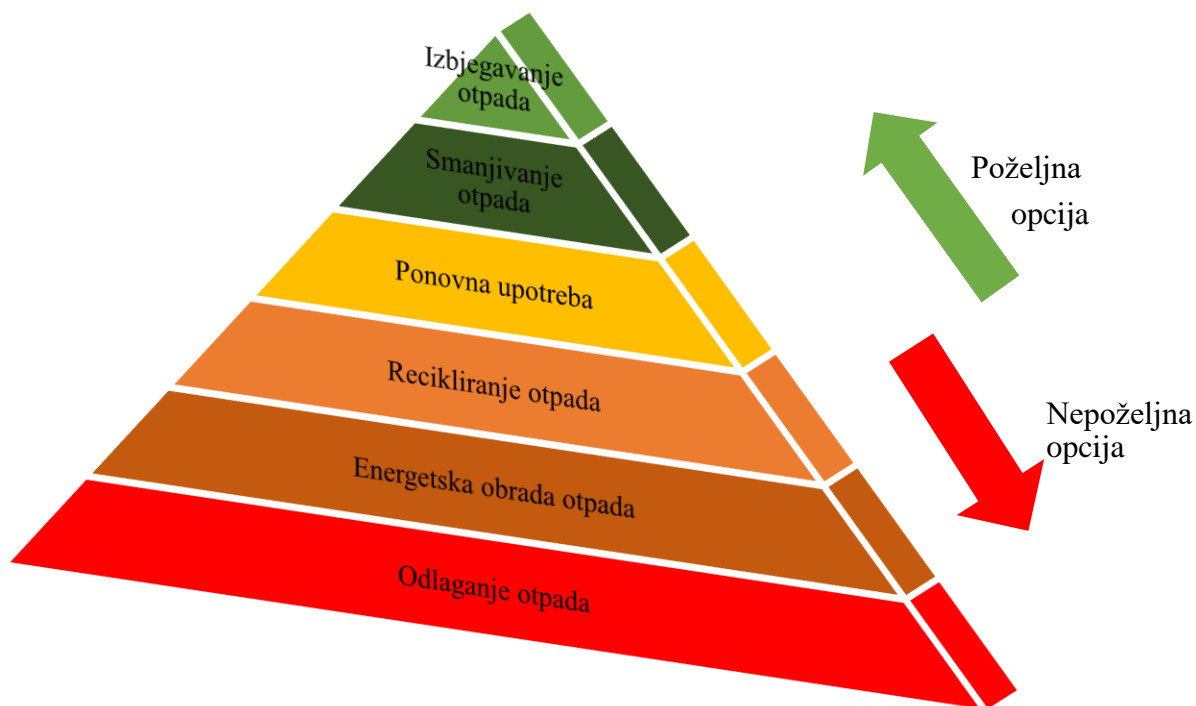
2.1 Podjela otpada

Ovisno o svojstvima otpada on se dijeli:

- 1) **Inertni otpad** - otpad koji ne podliježe značajnim fizičkim, kemijskim ili biološkim promjenama. (npr. Pijesak, kamen, cigla, pločice...)
→ Ne ugrožava okoliš, ljude, biljke, životinje, zrak ni vode
- 2) **Neopasni otpad** - svaki otpad koji nema karakteristike opasnog otpada (npr. stakleni otpad, kruti plastični otpad, otpad papira, kartona i papirnatih proizvoda, tekstilni otpad...)
- 3) **Opasni otpad** - otpad koji sadrži jedno ili više od svojstava utvrđenih listom opasnog otpada.
→ štetan za ljudsko zdravlje, žive organizme i/ili okoliš
- sadrži tvari koja imaju jedno od svojstava: eksplozivno, oksidirajuće, zapaljivo, nadražujuće, opasno, toksično, kancerogeno, nagrizajuće, zarazno, reproduktivno toksično, mutageno, senzibilizirajuće, ekotoksično te tvari koje ispuštaju toksične plinove u kontaktu s vodom, zrakom ili kiselinom i one koje nakon zbrinjavanja rezultiraju drugom tvari koja posjeduje bilo koje od gore navedenih svojstava [1].

2.2 Gospodarenje otpadom u Hrvatskoj i Eu

U gospodarstvu EU-a koristi se 16 tona materijala godišnje po osobi, od čega 6 tona postaje otpad, a polovica od toga odlazi na odlagališta. Mnoge države članice još se prilikom gospodarenja otpadom oslanjaju na odlagališta, tu se nalazi i Hrvatska koja reciklira 21,5% dok spaljuje 0,1% otpada. Odlagališta mogu zagaditi tlo i uzrokovati onečišćenje vode i zraka. Nekontrolirano odlaganje otpada može dovesti do otpuštanja opasnih kemikalija i ugrožavanja zdravlja, a što je najgore, gube se vrijedni materijali iz otpada. Najbolja mogućnost je prestati stvarati otpad, ali kako to nije moguće zbog samoga načina života ljudi koji iziskuje stvaranje otpada, drugi dobri izbori uključuju ponovnu uporabu, recikliranje i obnavljanje. Dobrim gospodarenjem otpadom može se dati veliki doprinos gospodarskom rastu i stvaranju radnih mjesta. Na taj se način čuvaju vrijedni resursi, izbjegavaju skupe operacije čišćenja i sprječavaju zdravstveni problemi. [5]



Slika 1. Dijagram hijerarhije otpada od najnepoželjnije do najpoželjnije opcije [42].

Iz dijagrama se može vidjeti da je najpoželjnija opcija potpuno izbjegavanje otpada što je u današnje vrijeme nemoguće te zbog toga je najpoželjnija opcija zapravo smanjenje stvaranja otpada. Najnepoželjnija opcije je odlaganje otpada šta je u Hrvatskoj nažalost i najzastupljenija metoda zbrinjavanja otpada. U Hrvatskoj je do danas utvrđeno ukupno 257 odlagališta otpada koja su podijeljena na temelju svog pravnog statusa (posjedovanje lokacijske, građevinske i lokacijske dozvole) u četiri velike kategorije, i to: [6]

- legalna uređena odlagališta (47 odlagalište)
- službena odlagališta (71 odlagalište)
- odobrena odlagališta (44 odlagališta)
- dogovorna odlagališta. (95 odlagališta).[6]

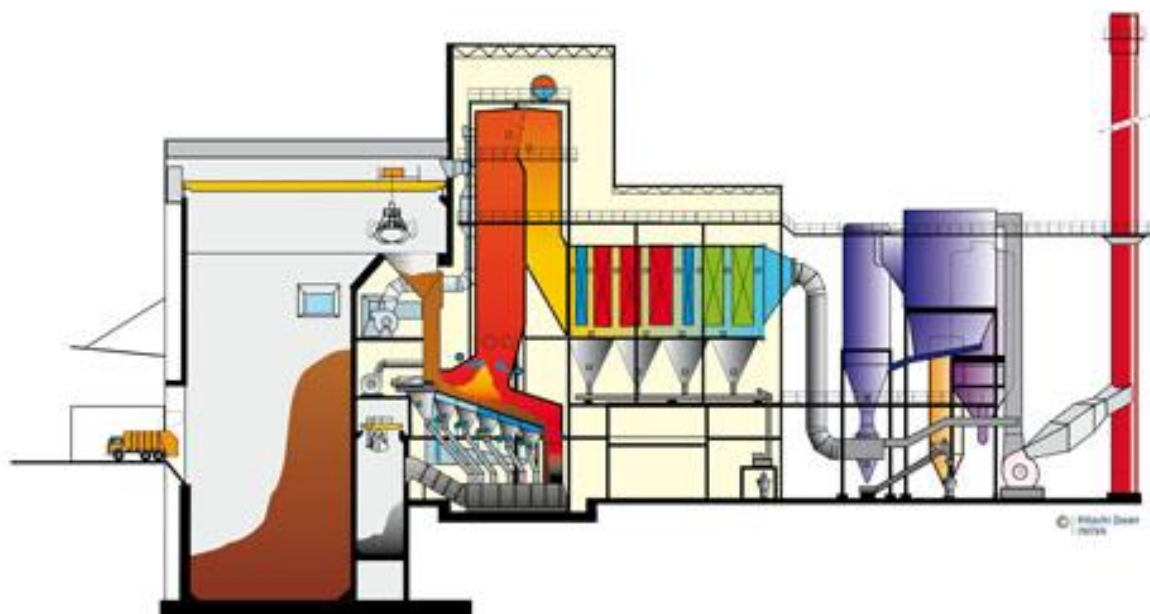


Slika 2. Predodžba odlagališta otpada Jakuševac [4].

2.3. Spalionica otpada

Spalionice otpada su objekti namijenjeni za spaljivanje otpada. Spaljivanje otpada je proces obrade otpada koji uključuje izgaranje različitih gorivih tvari u otpadnim materijalima. Spaljivanje se također može nazivati termičkom obradom, a samim procesom se smanji početni volumen otpada za oko 95% [6].

Toplina dobivena spaljivanjem otpada može biti korištena za proizvodnju pare koja može pokretati turbine i tako proizvoditi električnu energiju. Iz tone komunalnog otpada može biti (u prosjeku) proizvedeno oko 2-3 MWh električne energije i 2 MWh topline korištene za grijanje. Države oskudnih resursa, kao što su Japan, Danska i Švedska su više od stoljeća prednjačile u korištenje energije dobivene iz spaljivanja, iz lokalnih postrojenja koja su proizvodila toplinsku i električnu energiju. U 2005., u Danskoj su spalionice otpada proizvele 4,8 % električne energije od ukupne potrošnje električne energije i 13,7 % toplinske energije potrebne za grijanje kućanstva.[7]



Slika 3. Predodžba postrojenja spalionice otpada [8].

Spalionica otpada nije izolirana peć, već kompletna industrijska instalacija koja sadrži neke ili sve od sljedećih značajki:

- Skladište za rukovanje otpadom
- Postrojenje za dodavanje otpada u peć
- Peć za izgaranje otpada
- Recikliranje topline za proizvodnju energije
- Kontrola onečišćenja zraka i upravljanje ostatkom (pepeo..).

Tehnologija se stalno razvija kako bi se zadovoljili sve stroži ekološki standardi.

2.4. Podjela spalionica otpada

2.4.1. Podjela prema veličini

Prema veličini spalionice otpada djelimo na:

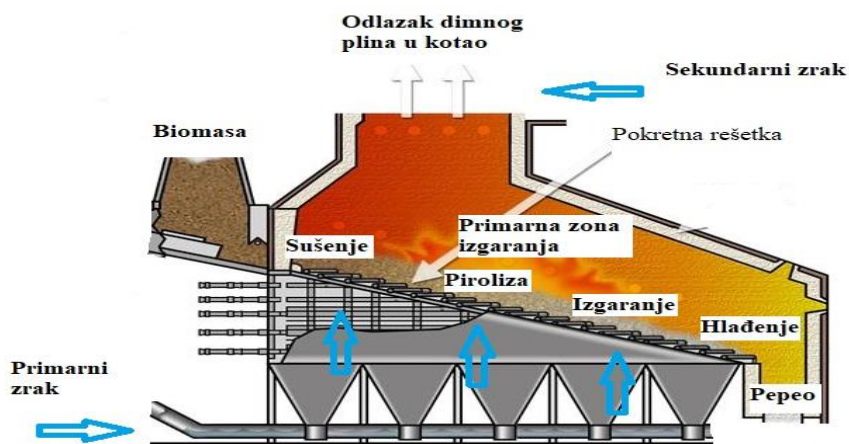
1. Veće spalionice otpada za spaljivanje komunalnog otpada.
2. Manje „Šaržne“ spalionice otpada za medicinski, životinjski i industrijski otpad.

- Manje spalionice su važne zato što se na mjestu nastanka može zbrinuti otpad i ne mora se trošiti na transport, a također se smanjuje opasnost od zaraznih bolesti ako je otpad infektivan.

2.4.2 Podjela prema vrsti ložišta

Prema vrsti ložišta spalionice otpada djelimo na:

1. Spalionica sa rešetkastim ložištem (najčešće).
2. Spalionica sa rotacijskim pećima (koriste se za opasni otpad).



Slika 4. Predodžba rešetkaste peći za izgaranje otpada [9].

2.5. Prednosti i nedostaci spaljivanja otpada

2.5.1. Prednosti spaljivanja otpada

1. Smanjenje volumena otpada.
2. Smanjenje reaktivnosti otpada (uslijed mineralizacije).
3. Iskorištenje topline dobivene izgaranjem otpada.

2.5.2. Nedostaci spaljivanja otpada

1. Spalionice su veoma skupa investicija.
2. Unatoč mjerama pročišćavanja dimnih plinova prisutno je zagađenje okoliša toksičnim organskim spojevima (dioksini i furani, poliklorirani bifenil, klorirani benzen, halogenirani fenoli, teški metali: živa, olovo, kadmij, krom, arsebn, berilij i dr.)
3. Stvara se opasni toksični otpad (pepeo) kojeg treba pažljivo deponirati.

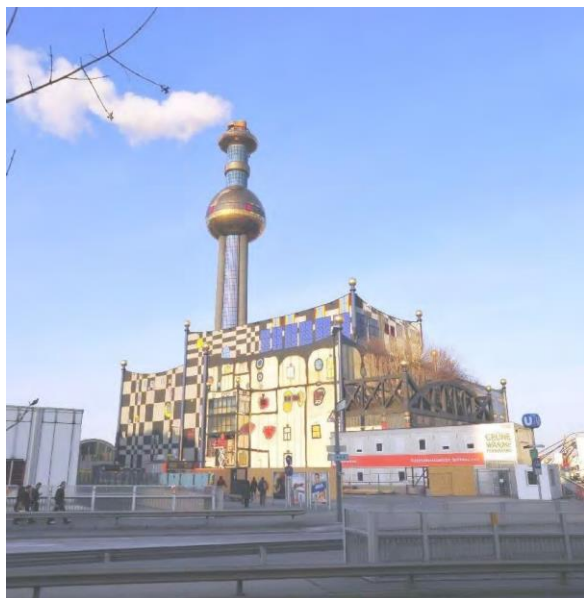
2.6. Konstrukcija spalionice otpada Spittaleu

2.6.1. Povijest spalionice otpada Spittaleu

U 1969-toj godini počela je izgradnja spalionice otpada Spittaleu, te je trajala sve do 1971 godine. Spittaleu je u početku imala zadatak osiguravanja toplinske energije za Bečku opću bolnicu te je tijekom godina postala jedan od važnijih načina dobivanja toplinske energije u gradu Beču. Danas Spalionica otpada spittaleu to jest njezina toplana ima mrežu dostavljanja toplinske energije od otprilike 900 km i od 353.860 korisnika te toplinske energije, [11].

Godine 1987. izbio je požar u spalionici otpada Spittaleu pri kojem je spalionica otpada bila skoro u potpunosti uništena.

Nakon požara koji je skoro u potpunosti uništio spalionicu otpada spittaleu, umjesto da je sruše Grad Beč je odlučio obnoviti spalionicu na istome mjestu, ali uz pomoć umjetnika Friedensreich Hundertwassera.

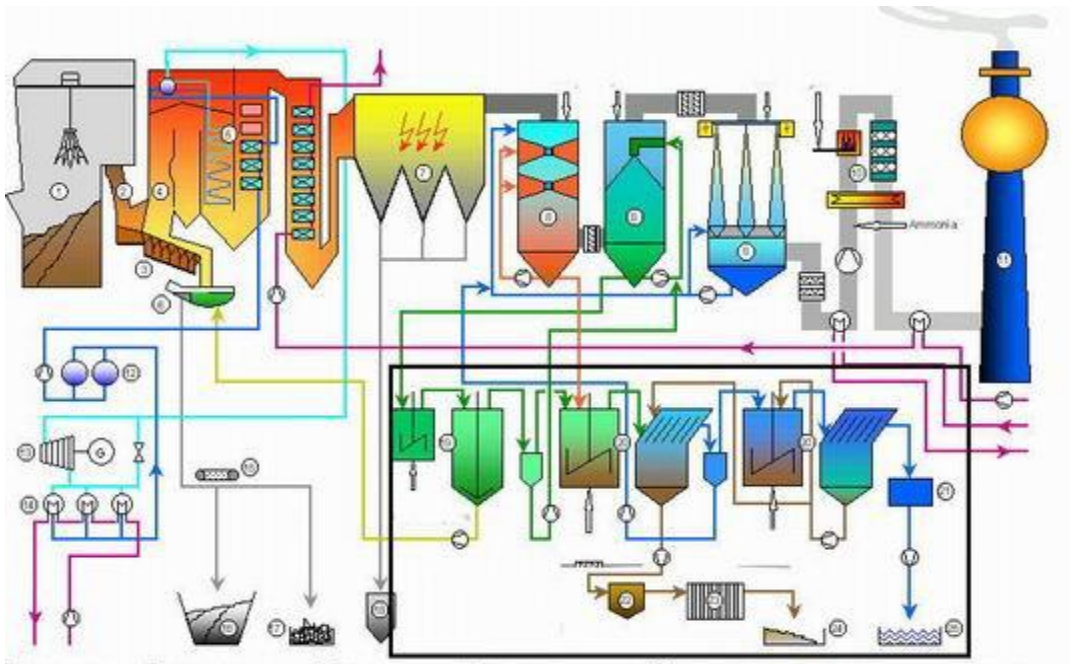


Slika 5. Predodžba spalionice otpada Spittaleu.[11]

2.6.2. Postrojenje spalionice otpada Spittaleu

Postrojenje spalionice otpada Spittaleu djelimo na:

- Spremnik otpada.
- Ložište.
- Proces hlađenja i odvajanje nespaljivog otpada.
- Elektromagnet za razvrstavanje nespaljivog otpada.
- Kotao za toplinu dobivenu iz otpada.
- Parna turbina.
- Filteri pepela.
- Spremnik za pepeo.
- Proces pročišćivanja dimnih plinova.
- Dimnjak.



Slika 6. Predodžba postrojenja spalionice otpada Spittaleu.[12]

2.6.3. Spremnik za otpad

Glavna dostava otpada dostavlja se kamionima od ponedjeljka do petka od 07h do 15h. Dnevno do 250 kamiona dolazi istovariti otpad u 1 od sveukupno 8 stanica za istovarivanje otpada, taj otpad nakon šta je bio izvagan se istovaruje u spremnik za otpad veličine 7000 m³. [10]



Slika 7. Predodžba dostave otpada u spremište.[10]

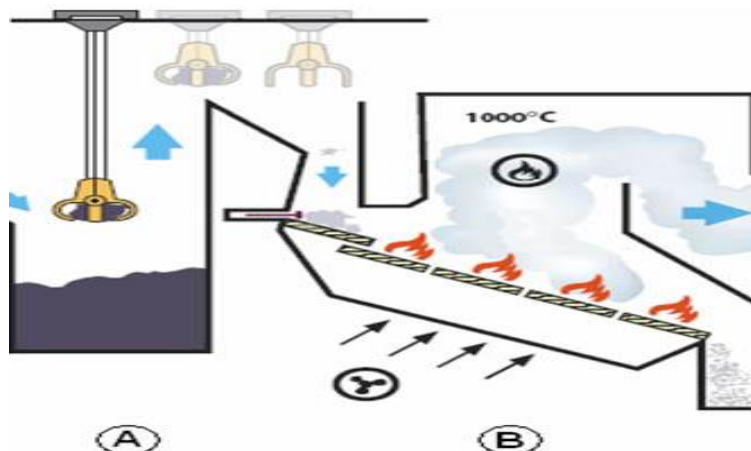
Nakon šta se otpada izvaže i istovari u spremnik za otpad, dva kрана otpad premještaju iz spremnika u ložište gdje se otpad spaljuje. [10]



Slika 8. Predodžba kрана za premještanje otpada.[10]

2.6.4. Ložište

U ložište otpad dolazi iz spremnika kroz posebno dizajniran ljevak koji omogućuje jednoliko punjenje dviju pokretnih traka rešetkastog oblika, a to je važno zbog razloga zato šta bi nejednoliko punjenje pokretnih traka moglo uzrokovati smanjen protok zraka u ložište.



Slika 9. Predodžba rada ložišta [13].

U ložištu spalionice otpada Spittaleu se nalaze dvije pokretne rešetke za spaljivanje otpada koje se nalaze pod blagim nagibom kako bi se kruti ostaci koji nisu izgorjeli ohladili ubacujući ih u vodu na kraju pokretne rešetke. Kruti ostaci koji nisu izgorjeli nakon hlađenja pokretnom trakom se prenose do spremnika za nesagorjele ostatke otpada te prilikom tog prijenosa od ložišta do spremnika, elektromagneti odvajaju sav željezni otpad.

Proces izgaranje u ložištu djelimo na:

- Sušenje
- Paljenje
- Izgaranje
- Hlađenje

Pokretne rešetke rasporede otpad po svojoj dužini i širini što je optimalno za što bolji proces sagorjevanja, zrak se dovodi ispod rešetke koji zatim u mješanju sa gorivom stvara temperaturu od 250 °C (sušenje i paljenje) do preko 850 °C (izgaranje) .

Za održavanje konstantne optimalne temperature u ložištu postoje dva plinska plamenika proizvođača MHPS (Mitsubishi Hitachi Power System), zajedničke snage od 9 MW.[13,15]

Preko 17 tona otpada po satu se može termički obraditi u ložištu zahvaljujući dvjema pokretnim rešetkama zajedničke površine 35 m². [10]



Slika 10. Predodžba sagorjevanja otpada.

Rezultat takvoga izgaranja otpada je dimni plin temperature preko $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ koja odlazi iz ložišta te zagrijava površinu kotla gdje se zbog visoke temperature voda koja se nalazi u cijevima pretvara u paru te pod tlakom pokreće turbinu za stvaranje električne energije.

2.6.5. Kotao za toplinu dobivenu sagorjevanjem

Procesom spaljivanja otpada dobiva se dimni plin, dimni plin temperature veće od $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ odlazi prema gore iz komore za izgaranje do kotla za pretvorbu toplinske energije (izmjenjivača topline) u paru pod tlakom, nakon čega dimni plinovi ohlađeni odlaze u proces filtracije to jest pročišćivanja dimnih plinova. U spalionici otpada Spittaleu unutar kotla nalaze se cijevi u kojima se nalazi voda, voda se pretvara u paru nakon šta dimni plinovi svojom temperaturom od preko $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ zagrijavaju površinu kotla. Kotao i dvije rešetkaste pokretne trake za izgaranje otpada proizvodi 90 tona pare po satu za pokretanje turbine za proizvodnju električne energije. Prije odlaska pare u turbinu, tlak pare se u pomoćnoj turbini smanjuje na potrebnih 4,5 bar-a.

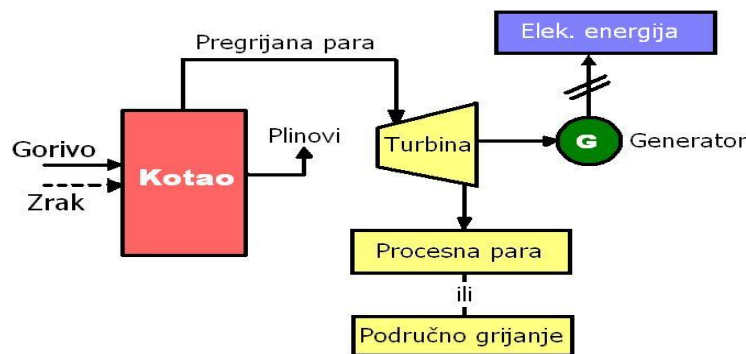


Slika 11. Predodžba kotla za toplinu dobivenu sagorjevanjem.[15]

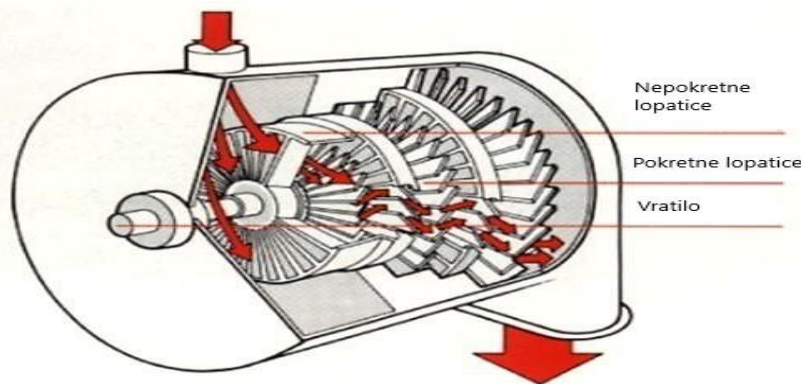
2.6.6. Parna turbina

Za proizvodnju električne energije iz pare koju smo dobili u kotlu koristimo parne turbine. Parna turbina je rotacijski toplinski stroj u kojem se energija vodene pare, visokog tlaka i temperature najprije pretvara u kinetičku energiju strujanja, a potom u mehanički rad, vrtnju rotora. Najčešće se koristi za pogon generatora [16].

Parna turbina se sastoji od nepokretnih lopatica koje su pričvršćene na kućište (stator) i pokretnih lopatica na radnom kolu, koje je spojeno s vratilom (rotor). Para pod visokim tlakom prvo dolazi na nepokretne lopaticice statora, ona skreće struju pare i usmjerava je pod određenim kutem. Pri tome se kanali sužavaju i na taj način para ubrzava. Ubrzana para nakon toga struji preko pomičnih lopatica koje se nalaze na radnom kolu. Ova promjena smjera strujanja pare dovodi do stvaranja sile koja gura lopaticice suprotno od pravca promjene brzine pare, a pošto se one mogu slobodno okretati s vratilom, to uzrokuje okretanje radnog kola koje pokreće električni generator [16].



Slika 12. Predodžba tijeka pare u termodinamičkom kružnom procesu [16].



Slika 13. Predodžba tijeka pare u protočnom dijelu turbine [17].

Kod parnih turbina vrlo je važno da njihova brzina bude konstantna budući da je frekvencija električne energije proporcionalna brzini generatora te zbog toga je ugrađen ventil za regulaciju protoka pare koji regulira protok pare, a time i brzinu okretanja parne turbine da bude konstantna.

2.6.6.1. Podjela parnih turbina

Parne turbine dijelimo na dva tipa parnih turbina:

- Akcijske parne turbine
- Reakcijske parne turbine

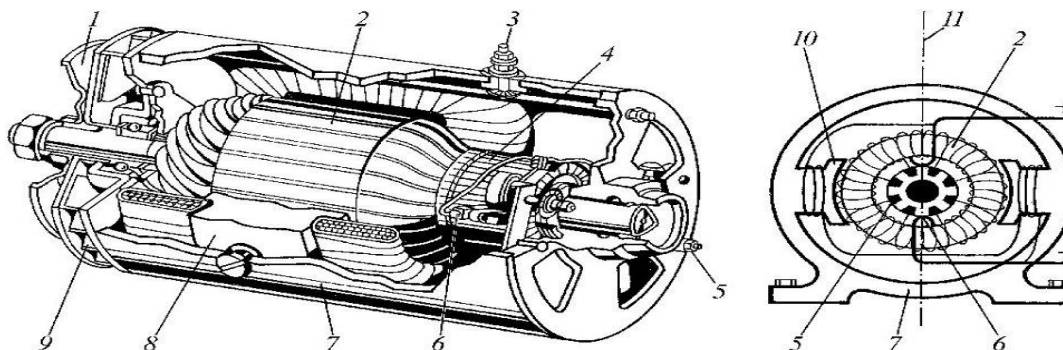
Osnovna razlika je u tome što kod reakcijske turbine ekspanzija teče kroz čitav stupanj, a kod akcijske se proces ekspanzije završava u statorskom dijelu.

2.6.7. Električni generator

Električni generator je električni stroj koji mehaničku energiju pogonskoga stroja pretvara u električnu energiju. Pogonski je stroj obično vodena, parna ili plinska turbina te dieslov motor, a rjeđe vjetrena turbina ili benzinski motor. Generator zajedno s pogonskim strojem naziva se generatorski agregat. Izmjenični električni generator temeljni je izvor električne energije, istosmjerni električni generator služi za posebne namjene [18].

Pretvorba mehaničke u električnu energiju posredovanjem električnoga generatora osniva se na elektromagnetskoj indukciji, tj. na induciranju napona u vodiču koji se giba relativno prema magnetskom polju. U skladu s tim, električni generator je građen od okretnoga dijela (rotor) i nepokretnoga dijela (stator). Jedan od tih dijelova treba imati namote vodiča u kojima će se inducirati napon, a drugi treba djelovati kao magnet. Ulogu magneta obično ima rotor, i to u generatorima malih izmjera i snaga ugradnjom trajnih magneta, a u velikim generatorima ugradnjom elektromagneta, tj. namota kojima se dovodi istosmjerna struja preko četkica i kliznih koluta. Svaki put kada jedan od magnetnih polova rotora, npr. sjeverni, prođe pokraj statorskoga namota, inducira u njemu određeni napon. I svaki prolazak južnoga magnetskoga pola inducira napon iste vrijednosti, ali suprotna predznaka. Ako se vodiči na suprotnim stranama oboda statora povežu u zavojnice, njihovi će se naponi zbrajati, a ukupni napon zavojnica mijenjat će polaritet za vrijeme jednog okretaja rotora, onoliko puta koliko rotor ima polova [18].

Kod spalionice otpada Spittaleu generator pokreće parna turbina, generator proizvede 36400 MWh godišnje električne energije.



Slika 14. Predodžba električnog generatora.[18]

Dijelovi električnog generatora (slika 13):

1. Remenica.
2. Rotor.
3. Stezaljka.
4. Komutator.
5. stezaljka za uzemljenje.
6. Četkica.
7. kućište statora.
8. Jaram.
9. Ventilator.
10. Pol.
11. neutralna linija [18]

2.6.8. Proces filtracije (pročišćavanja) dimnih plinova

1989. godine je spalionica otpada Spittaleu je modernizirana te dodano u postojeću spalionicu postrojenje potrebno za pročišćavanje dimnih plinova.

Postrojenje se sastoji od:

- Elektrostatski filter (ESP- Electrostatic percipitator)
- Mokro odstranjivanje plinova (2 faze)
- Odvanja finih čestica prašine (venturi)
- SCR deNOx sustav

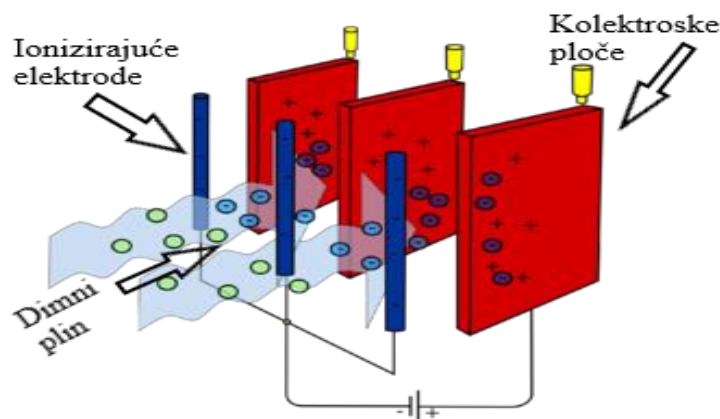
2.6.8.1. Elektrostatski filter (ESP- Electrostatic percipitator)

Elektrostatski filteri su na početku bili izumljeni kako bi izdvajali vrijedne materijale u procesu proizvodnje dok ih se danas najviše koristi u kontroli zagađenja zraka.

Dimni plin odlazi iz kotla na temperaturi od 180 °C i ulazi u elektrostatski filter gdje je očišćen tako da na izlazu dimni plin ima manje od 5 mg/m³(pri standardnom tlaku i temperaturi) prašine u svom sastavu. (Efikasnost čišćenja je 99,9%)

Elektrostatski filter je uređaj koji koristi električni naboj kako bi uklonio određene nečistoće iz zraka ili drugih plinova u dimnim plinovima. Filter radi tako da primjenjuje svoju energiju samo na čestice koje želi izdvojiti, tako da pri tome ne ometa protok dimnih plinova [19].

Odvojene čestice odlaze na pokretnu traku gdje se odnose do spremnika za pepeo veličine 125 m³ te nakon toga se mješaju sa nesagorjelim materijalom iz ložišta i koriste za proizvodnju betona za razne namjene. U spalionici otpada Spittaleu se koristi pločasto-žičani ESP koji se sastoji od ionizacijske elektrode i kolektorske elektrode pločastog oblika kroz koje prolazi dimni plin izlazeći iz kotla. Jedna od elektroda stvara veliki negativni naboj te time postiže da čestice koje prolaze kroz elektrodu postaju negativno nabijene čestice dok kolektorska elektroda stvara pozitivan naboj slične veličine kao i kod ionizacijske elektrode, tako da se sve čestice koje su negativno nabijene izdvajaju iz dimnog plina te se privlače na pozitivno nabijene elektrode. Povremeno se te ploče moraju očistiti kako bi se maknuo sloj čestica koji se zadržao na njima.



Slika 15. Predožba rada elektrostatskog filtera [20].

2.6.8.2. Mokro odstranjivanje plinova (2 faze)

Ispirači dimnih plinova su uređaji koji omogućavaju prikupljanje krutih čestica uslijed kontaktiranja onečišćenog plina s odgovarajućom kapljevnom te na taj način nastaju aglomerati (čestica-kapljica) znatno većih dimenzija od polaznih čestica pa se na taj način olakšava njihovo izdvajanje iz onečišćenih plinskih struja. Mokro odstranjivanje plinova je tehnološka operacija koja se zasniva na stvaranju vodene zavjese kroz koju prolazi onečišćeni plin ili stvaranje tankog sloja kapljevine preko koje prolazi onečišćeni plin, u oba slučaja čvrste čestice se vežu za kapljevinu, postaju veće (aglomerati) i lakše ih je ukloniti, a plin odlazi prema odvodnom kanalu odnosno izlazu u gornjem dijelu uređaja, a nastala kapljevina zajedno s česticama (mulj) odvodi se u donjem dijelu uređaja. Brzina strujanja plina ne smije biti prevelika (1-5 m/s), jer bi u suprotnom plin odnio sa sobom kapljice. [21]

Prednosti :

- mogu se koristiti za obradu zapaljivih i eksplozivnih plinova bez posebnih rizika
- omogućavaju istovremenu apsorpciju plina i odvajanje krutih čestica u samo jednom stupnju
- omogućavaju hlađenje toplih plinova
- ukupna učinkovitost može se mijenjati
- korozivni plinovi i krute čestice mogu se neutralizirati
- dolaze u različitim izvedbama (velika fleksibilnost) . [21]

Nedostaci:

- veliki problemi vezani uz koroziju, abraziju i oštećenje rotirajućih dijelova,
- dovode do problema vezanih uz obradu otpadnih voda,
- zaštita od pothlađivanja; ponekad je potrebno predgrijavanje,
- prikupljene čestice ponekad mogu biti nečiste i ne mogu se reciklirati,
- odlaganje krutog otpada može biti skupo,
- problemi vezani uz ponovno pokretanje rada,
- velik Δp (potreba za energijom) [21]

Izvedbe ispiraća plinova :

- ispiraći s raspršivanjem (kolonski skruberi)
- ciklonski ispiraći s raspršivanjem (vrtložni)
- ispiraći s pregradama
- ispiraći s punjenim slojem
- venturijski ispiraći

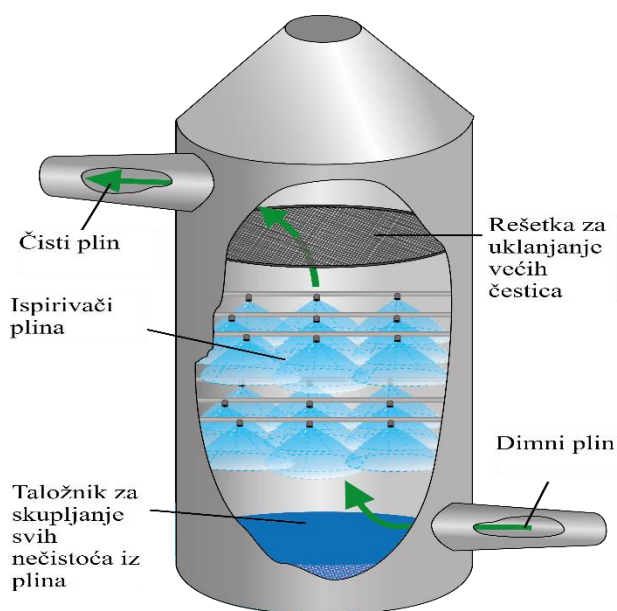
Faze ispiranja plinova u spalionici otpada Spittaleu:

1. Faza ispiranja dimnih plinova:

Dimni plin ulazi prvo u prvi ispirrač plinova gdje se on hladi na temperaturu od 60 °C do 65 °C pomoću vode koju koristimo za ispiranje plinova, a ona je u vrijednost ph 1 što znači da je to zapravo kiselina koja u mješanju sa dimnim plinom osigurava izvlačenje klorovodika (HCl), fluorovodika (HF) i prašine.

2 .Faza ispiranja dimnih plinova:

Nakon prve faze dimni plin koji više ne sadržava klorovodik, fluorovodik niti prašinu prolazi kroz drugi ispirrač dimnih plinova gdje se vodom vrijednosti ph 7 (normalnom vodom) ispiruje dimni plin te se iz njega izvlači sumporov oksid(SO₂).

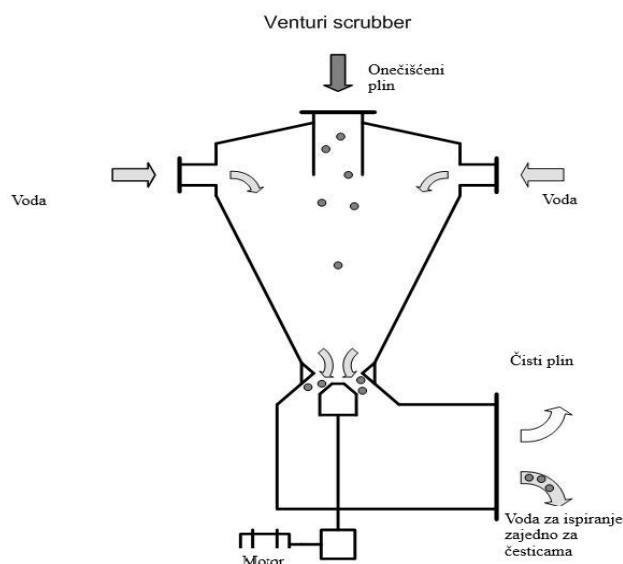


Slika 16. Predodžba ispirrača plinova.[22]

2.6.8.3. Odvajanje finih čestica prašine (elektrodinamički venturi)

Elektrodinamički venturi (EDV) je zapravo elektrostatski filter (ESP) ugrađen u venturijev ispirrač plinova. On se koristi za uklanjanje najmanjih čestica koje su preostale u dimnom plinu nakon prolaska kroz elektrostatski filter i dvije faze ispiranja dimnog plina, te se zbog toga elektrodinamički venturi nalazi uvijek na kraju mokrog ispiranja plina. Nakon prolaska plina kroz elektrodinamički venturi ako su i ostale čestice nečistoće u dimnom plinu one su manje od 1 mg/m³(pri standardnom tlaku i temperaturi od 25 °C i 1.01325 bar-a).

Venturijev ispirać radi na način da ose nečistićeni plin dovodi kroz cijev, gdje se zbog naglog sužavanja cijevi na kraju, povećava brzina strujanja plina. Istovremeno vodena pumpa ubrizgava vodu, koju plin raspršuje i zajedno tangencijalno ulaze u odvajać nečistoća. Zbog velikih brzina strujanja kapljevina sa česticama se odvaja i spušta u odvajać čestica, a zatim se slijeva i odlazi u taložnik [23,24].

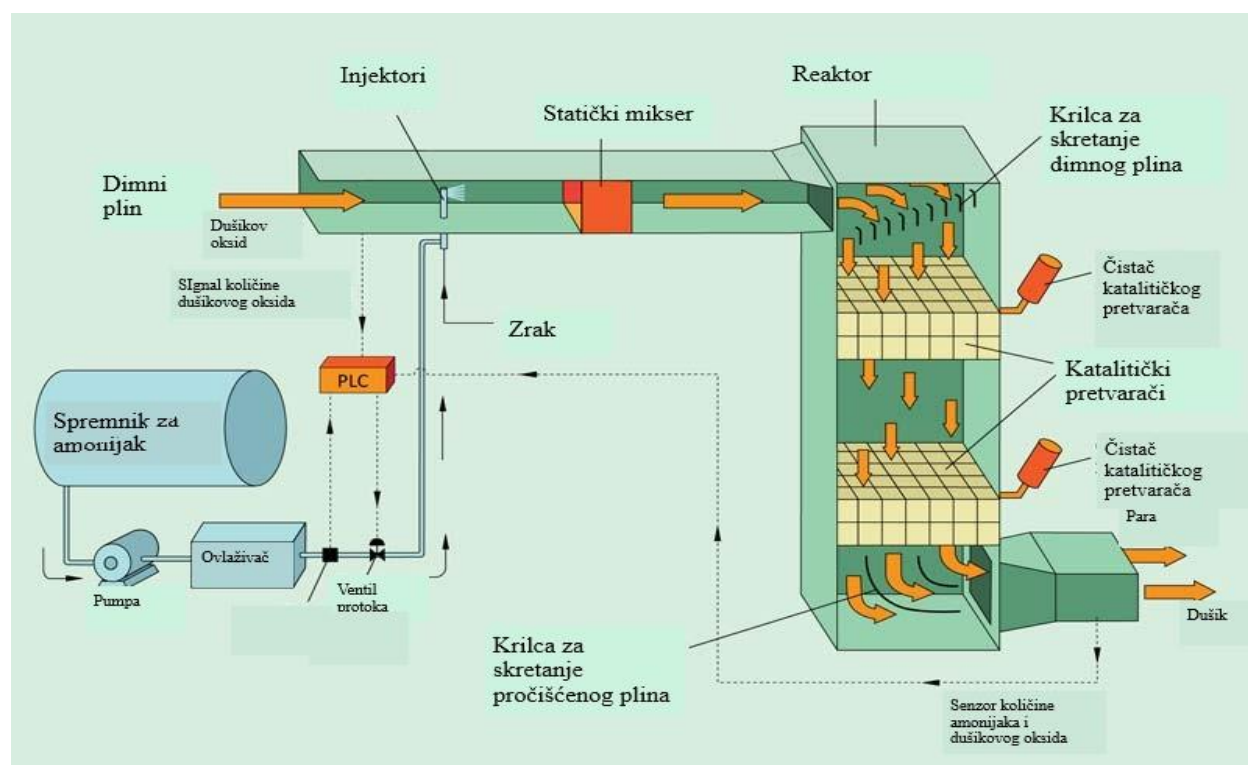


Slika 17. Predodžba venturijevog ispiraća plinova. [24]

2.6.8.4. SCR deNO_x sustav

Selektivna katalitićka redukcija (SCR) je jedan od najboljih načina za smanjenje postotka dušikovog oksida u dimnom plinu i to ga smanjuje za 95%. Selektivna katalitićka redukcija (SCR) koristi amonijak i vodu koji se ubrizgavaju u protok dimnog plina te se dimni plin zagrijava na 280 °C, to jest na temperaturu na kojoj će dušikov oksid u kombinaciji sa amonijakom i vodom reagirati tijekom prolaska kroz 3 katalitićka pretvornika. Prolaskom kroz 3 katalitićka pretvornika reakcija dušikovog oksida u kombinaciji sa amonijakom i vodom dovodi do pretvorbe dušikovog oksida u običan dušik i paru dok se dioksini i furani uništavaju.

Očišćeni plin na temperaturi od 115 °C ispušta se u atmosferu kroz 126 metara visok dimnjak.



Slika 18. Predodžba SCR-a.[26]

Dioksini i furani nastaju kao neželjeni sporedni produkti u termičkim procesima i kemijskim reakcijama te se razlikuju međusobno samo po prisustvu ili odsustvu molekule kisika u svojoj strukturi. U termičkim procesima, npr. spaljivanju otpada ili izgaranju goriva, dioksini i furani nastaju kroz dva mehanizma:

1. De novo sinteza; dioksini i furani nastaju iz osnovnih elemenata: ugljik, vodik, kisik i klor. Proces se odvija na katalitički aktivnim površinama, pri temperaturama od 250 do 500 °C.
2. Formiranje iz prekursora; dioksini i furani nastaju iz kloriranih organskih tvari koje se koriste kao prekursori u različitim kemijskim procesima, npr. iz kloriranih fenola. Reakcije se mogu odvijati na katalitički aktivnim površinama ili spontano, pri temperaturama od 200 do 450 °C [28].

Kemijske reakcije pri nižim temperaturama:

1. Kemijske reakcije ispod 300 °C (npr. kloriranje fenola)
2. Reakcije organskih tvari sa aktivnim klorom (npr. izbjeljivanje)
3. Fotokemijske reakcije (djelovanje UV zračenja na dioksin prekursore)
4. Biološki procesi (npr. iz klorfenola)

Toksičnost dioksina povezana je s njihovim velikim afinitetom prema vezanju na specifični stanični protein poznat kao aril hidrokarbon receptor (AhR) koji je povezan s ekspresijom velikog broja gena. Toksični učinci ovih spojeva uključuju utjecaj na imunost i reproduktivni sustav, negativan utjecaj na rast organizma i razvoj središnjega živčanog sustava, a također su potencijalno kancerogeni [29].

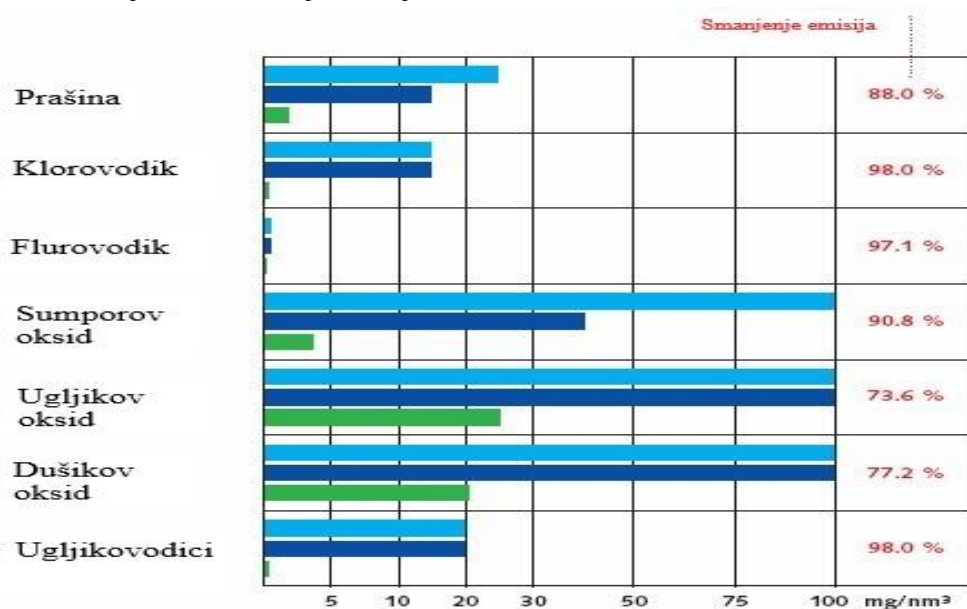
Zbog svoje lipofilnosti većina dioksina i furana u tlu je apsorbirana na organsku tvar te na taj način ostaju imobilizirani na površini tla. Moguća je njihova difuzija kroz tlo, a isto tako i hlapljenje s površine i brzine ovih procesa smanjuju se povećanjem sadržaja organske tvari u tlu i sniženjem temperature. Dioksini su kemijski vrlo stabilni te podliježu jedino fotokemijskoj razgradnji pri čemu nastaju niže klorirani kongeneri. Brzina razgradnje je sporija kod više kloriranih kongenera, a utječu i položaji klorovih atoma te agregatno stanje spoja.

Kao i u tlu, i u vodi je moguća fotokemijska i mikrobiološka razgradnja dioksina.

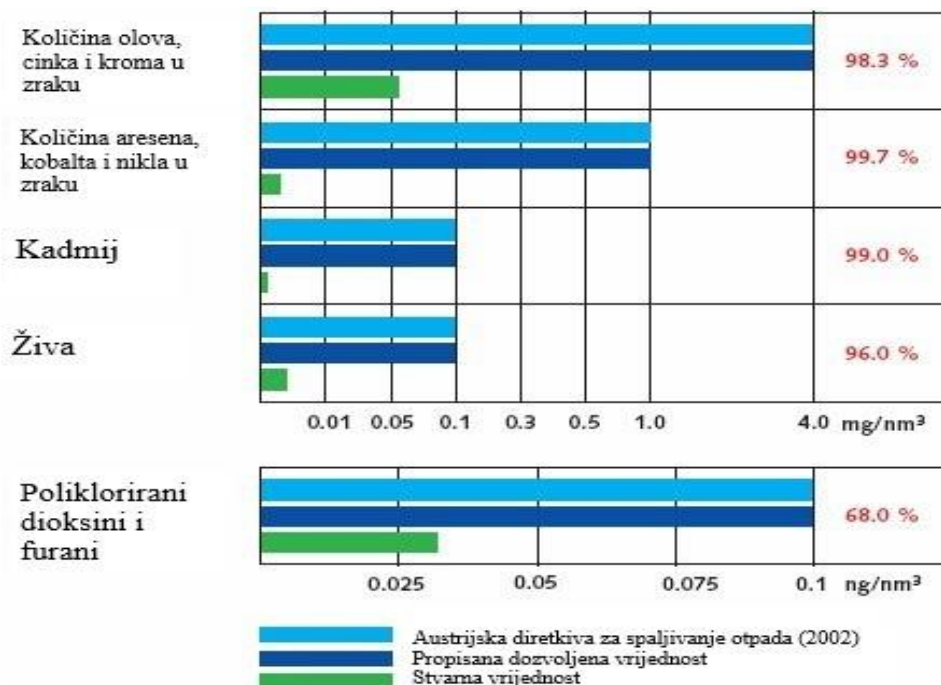
Zrak je dio okoliša koji je najizloženiji unosu dioksina, a isto tako igra važnu ulogu u njihovu daljnjem prijenosu. U zraku dioksini mogu biti u plinskoj fazi i/ili vezani na čestice, pri čemu vezanje na čestice ovisi o tlaku para spoja i slobodnoj površini čestice [29].

2.7. Štetne supstance u zraku nastale spaljivanjem otpada

Spalionica otpada svojim radom ispušta štetne supstance u zrak te je potrebno da vrijednosti ispuštenih supstanci u zrak bude unutar dozvoljenih vrijednosti kako nebi negativno utjecali na ljude i okoliš. Iz slike 19. i slike 20. vide se vrijednosti štetnih supstanci ispuštenih iz spalionice otpada Spittaleu te njihove dozvoljene vrijednosti.



Slika 19. Predodžba vrijednosti štetnih supstanci u zrak koji izlazi iz spalionice otpada. [27]



Slika 20. Predodžba vrijednosti štetnih supstanca u zrak koji izlazi iz spalionice otpada. [27]

2.8. Sustav pročišćivanja otpadnih voda i zbrinjavanje krutih ostataka

Sve otpadne vode dobivene iz procesa spaljivanja otpada potrebno je pročistiti prije njihovog ispuštanja u Dunavski kanal. Teški metali koji se nalaze u otpadnoj vodi koja dolazi iz prvog ispiraća dimnih plinova se pretvaraju prvo u nerazgradivi oblik dodavajući vapnastu kašu i posebne nerazgradive kemikalije koje se vežu za teške metale. Nakon stvaranja nerazgradivog oblika teških metala, oni se odvajaju dok pročišćena voda prolazi ponovno kroz taj proces kroz dok voda ne zadovoljava sve uvjete kako bi bila ispuštena u Dunavski kanal. Iz tone otpada koja se dolazi na spaljivanje dobije se otprilike 280 kg pepela i nespaljivog materijala. Pepao i nespaljivi materijali se koriste za proizvodnju betona nakon šta se iz njih uklone teški metali, taj beton se koristi za izgradnju raznih građevina. Kao primjer možemo izdvojiti zidove koji se grade na određenim Austrijskim granicama.

2.9. Tehničke karakteristike spalionice otpada Spittelau

Tehničke karakteristike spalionice otpada Spittaleu su prikazane pomoću tablice 2. gdje su nabrojene sve komponente spalionice otpada te je dan opis tih komponenata i njihove tehničke karakteristike. Prikaz odnosa uloženog i dobivenog je dan u tablici 3. te je time dat i uvid u efikasnost spalionice otpada Spittaelu.

Tablica 2. Prikaz tehničkih karakteristika spalionice otpada Spittelau [10].

1. Uređaj za mjerenje težine otpada:	Kamionska vaga, količina:	2
2. Spremnik otpada:	Zapremnine:	2
	Stanica za istovarivanje otpada:	8
3. Hranilica ložišta:	Hidraulički kran:	2
	Kapacitet krana u jednom prenošenju otpada:	4 m ³
4. Spaljivanje:	Broj traka za spaljivanje:	2
	Maksimalna količina otpada po traci:	18 t/h
	Plinski plamenik, broj po traci:	2
	Dobivena toplinska energija:	9 MW
4.1. Rešetkasta pokretna traka:	Zrakom hlađene dvije rešetkaste pokretne trake	
	Dužina trake:	7.5 m
	Širina trake:	4.6 m
	Nagib:	26 ⁰
4.2. Ložište:	Termalna vrijednost otpada:	8,200-9,600 kJ/kg 180 °C
	Primarno zagrijavanje zrakom:	SiC višeslojni materijal
	Vatrootporan materijal:	
5. Kotao za toplinu dobivenu sagorjevanjem:	Prirodno cirkulirajući kotao,	
	Maksimalna dobivena para po traci:	55 t/h
	Maksimalni tlak pri radu:	34 bar
	Maksimalna temperatura pri radu:	245 °C
	Površina kotla:	2420 m ²
6. Turbina i generator:	Parna turbina sa povratnim pritiskom,	
	Maksimalna dobivena El.energija:	6.4 MW
	Povratni pritisak:	4.5 bar
7. Pročišćivanje dimnog plina:	Broj linija:	2(deNox:1)
	Volumen dimnog plina po liniji:	85.000 dscm/h
7.1..Elektrostatski filter:	Radni napon:	60 kV
	Efikasnost odvanja prašine i pepela:	>99.5 %

7.2. Mokro ispiranje plinova:	<p>1. Faza:</p> <p>Konstrukcija: Upijajuće tvari: Uspješnost odvanja:</p> <p>2. Faza:</p> <p>Konstrukcija: Upijajuće tvari: Uspješnost odvajanja SO₂:</p>	<p>Odvajanje klorovodika, fluorovodika, prašine i teških metala.</p> <p>Poprečni presjek Voda/ kaša od vapna >98 %</p> <p>Odvajanje sumporovog dioksida Ispirač u smjeru koji se protivi strujanju dimnog plina Otopina natrijevog hidroksida >98 %</p>
7.3. DeNox sustav i uklanjivač dioksina:	<p>SCR selektivna katalitička redukcija, broj katalitičkih pretvornika:</p> <p>Radna temperatura: Efikasnost uništavanja NO_x: Efikasnost uništavanja dioksina:</p>	<p>3</p> <p>280 °C >95 % >95 %</p>
8. Ventilator koji povlači dimni plin iz ložišta te ga gura u dimnjak:	<p>Rotacijski ventilator, broj po liniji: Maksimalna brzina isporuke: Električna energija:</p>	<p>1 137000 dscm/h 1 MW</p>
9. Dimnjak:	<p>Konstrukcija: Visina: Promjer:</p>	<p>Željezo/ cigla 126 m 2.5 m</p>

Tablica 3. Prikaz uloženog – dobivenog iz jedne tone otpada. [10]

Uloženi resursi po jednoj toni otpada:	
Potrošnja topline (potražnja pokrivena vlastitom proizvodnjom topline) :	25 kWh
Potrošnja energije (potražnja pokrivena vlastitom proizvodnjom energije):	90 kWh
Potrošnja prirodnog plina:	20 m ³
Potrošnja vode:	746 l
Potrošnja kaše od vapna:	2,6 kg
Potrošnja natrijev hidroksid, 30%:	2,4 kg
Potrošnja amonijaka, 25%:	3,0 kg
Potrošnja taložnih kemikalija:	0,2 kg
Dobiveni resursi iz jedne tone otpada:	
Dobivena toplinska energija:	1,896 kWh
Dobivena električna energija:	34 kWh
Dobiven talog i gips:	205 kg
Opasan otpad:	22 kg
Pepeo:	17 kg
Pročišćena otpada voda:	357 l
Pročišćeni dimni plin:	4,400 dscm

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Energetsko ekonomska analiza potencijalne spalionice otpada u Zagrebu

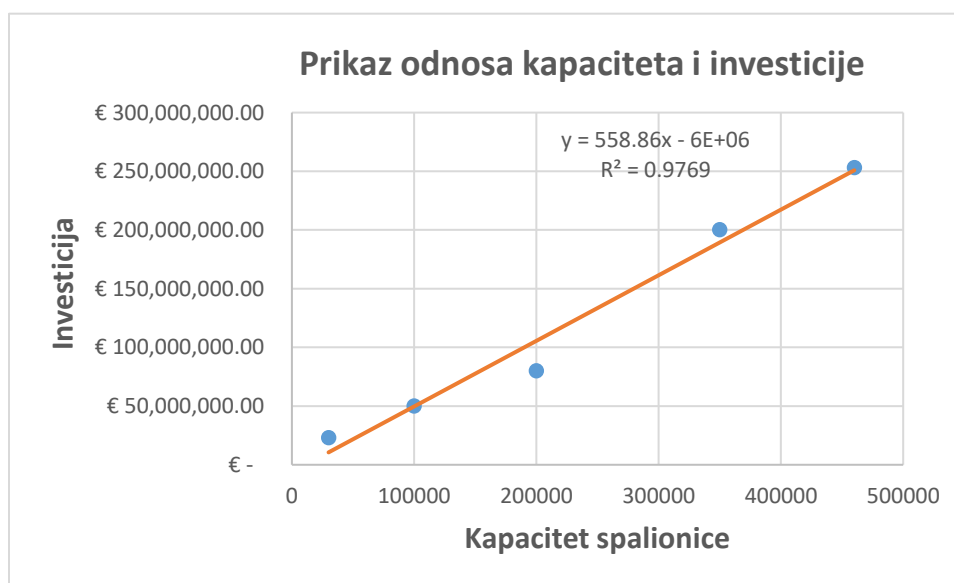
3.1.1. Potencijalna spalionica otpada 1

U Gradu Zagrebu tijekom jedne godine nastane 327013 tona komunalnog otpada [40]. Spalionica otpada bi trebala spaljivati otprilike 150000 tona otpada godišnje što bi značilo da bi se spaljivalo 46% ukupnog komunalnog otpada stvorenog na godišnjoj razini te bi ta spalionica otpada spadala u skupinu manjih spalionica otpada čime bi i početno ulaganje trebalo biti manje. Povećanjem kapaciteta spalionice otpada, cijena spaljivanja otpada po toni otpada dok efikasnost termičke obrade otpada raste.

Za primjer izračuna isplativosti spalionice otpada u gradu Zagrebu koristit ćemo spalionicu otpada:

- Kapaciteta – 150000 t/god
- Radnih sati - 8000 sati/god
- Stupnja iskoristivosti kotla – 80%
- Donja ogrijevna vrijednost - 10 MJ/kg

Spalionica otpada bi prema ovome spaljivala 18,75 t/h otpada te bi prema procjenama trebala koštati 500-700 € po toni komunalnog otpada koji se spaljuje, što bi iznosilo 75.000,000 € - 105.000,000 € uloženi samo u gradnju spalionice otpada te ti troškovi ovise najviše o lokaciji i potrebnim adaptacijama te izgradnji dodatne infrastrukture za rad spalionice otpada. Kako bi se točnije odredili troškovi izgradnje spalionice otpada koristimo se dostupnim informacijama o troškovima izgradnje već postojećih spalionica otpada.



Slika 21. Prikaz odnosa kapaciteta i investicije

Upotrebom linearne funkcije možemo izračunati otprilike investiciju potrebnu za izgradnju spalionice otpada u Zagreb, dodavanjem više primjera odnosa kapaciteta i potrebne investicije postojećih spalionica otpada dobiti ćemo točniji rezultat.

$$y = 558.86 \times K_s - 6 \times 10^6$$

$$y = 77.799.000 \text{ €} \rightarrow 518,66 \text{ €/t}$$

gdje je:

y- Potrebna investicija (€)

K_s- Godišnji kapacitet spalionice otpada (t/god)

Tablica 4. Tipični troškovi gradnje spalionice otpada

Vrsta troška	Cijena troška (€)	Postotak od ukupnog troška
Sustav za izgaranje i kotao	31.119,600	40%
Sustav vode i pare	7.779,900	10%
Pročišćivanje dimnog plina	11.669,850	15%
Gradnja i civilni radovi	19.449,750	25%
Ostalo (dozvole, spajanje na električni mrežu, itd.)	7.779,900	10%
UKUPNO:	77.779,000	100%

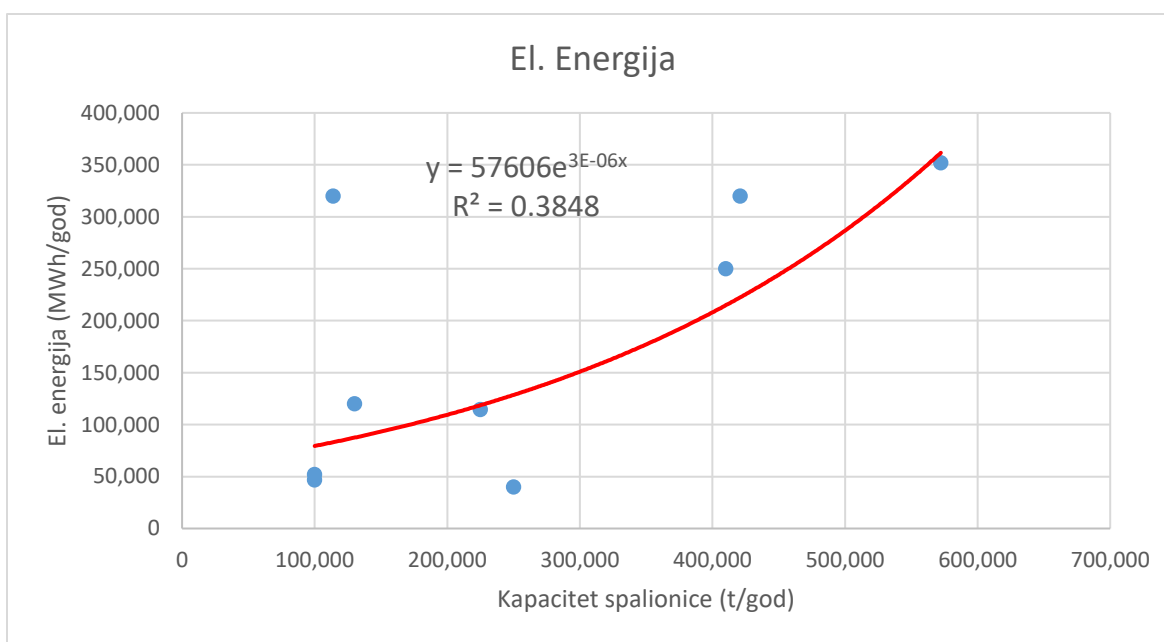
Podjele potrebne investicije za izgradnju spalionice otpada prema vrsti troška (npr. Sustav za izgaranje i kotao, sustav vode..) i njegovom postotku od ukupne investicije je prikazan u tablici 4. Godišnji troškovi održavanja spalionice otpada iznose otprilike 3% [30] od početne investicije, što bi značilo da bi se godišnje izdvajalo 2.333,970 € to jest 15.56 €/t otpada za održavanje spalionice otpada.

Dodatni prihod spalionice otpada dolazi iz lokalnog proračuna to jest naplaćivanja preuzimanja otpada što varira od članice do članice EU, pa se zato za primjer uzima neka srednju vrijednost od 100 €/t [32] što bi iznosilo kao godišnji prihod od 15.000,000 €.

Spalionica otpada također proizvodi 25% [31] otpada u obliku pepela od ukupne godišnje količine spaljenog otpada te on iznosi 37500 tona otpada godišnje.

Tablica 5. Prikaz kapaciteta spalionice i proizvodnje el. Energije [30,31,32,33]

Kapacitet spalionice otpada (t/god)	Proizvodnja El. Energije (MWh/god)
572273	352000
421000	320000
410000	250000
250000	40000
225000	114000
130000	120000
114000	320000
100000	52119
100000	46710

**Slika 22. Prikaz odnosa kapaciteta i proizvodnje El. energije spalionice otpada (tablica 5.)**

Uz pomoć dostupnih podataka iz slike 22. možemo odrediti okvirnu proizvodnju el. energije iz spalionice otpada veličine 150000 t/god.

$$K_{el} = 57606e^{3E-06x}$$

$$K_{el}=90,344 \text{ Mwh/god}$$

Gdje je :

K_{el} – Ukupna bruto proizvodnja el. energije

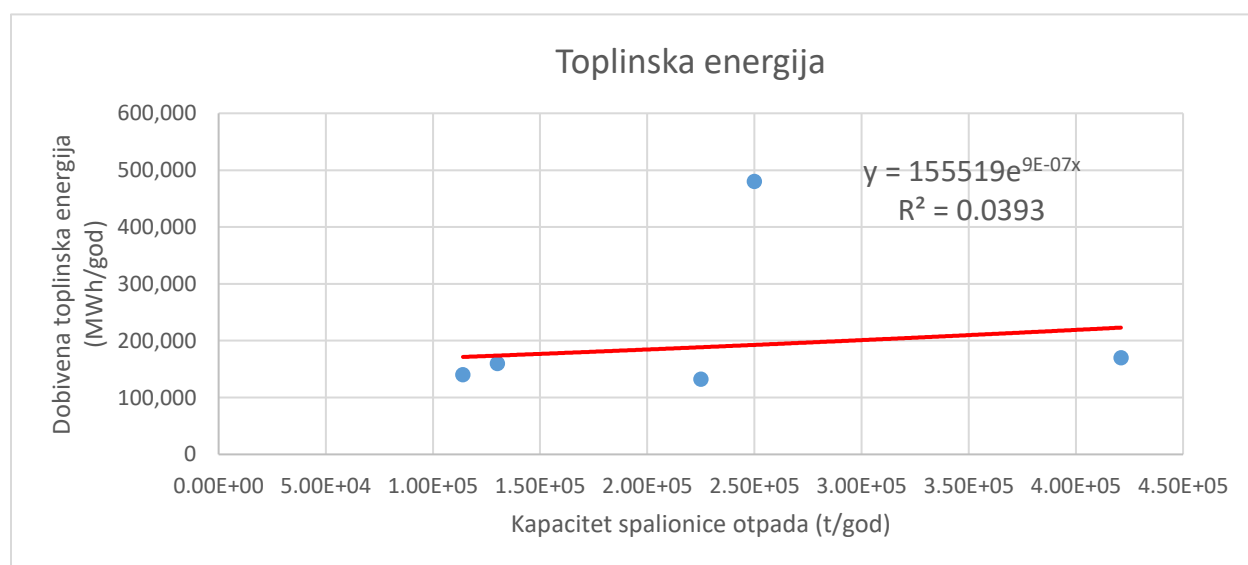
K_0 – Kapacitet spalionice otpada

Od bruto proizvodnje el. energije se oduzima 15% koliko otprilike spalionice takve veličine troši el. energije za svoj rad, pošto su spalionice samoodrživi objekti.

Spalionica otpada će potrošiti 13551 MWh el. energije godišnje dok će 76793 MWh biti izveženo.

Tablica 6. Odnos kapaciteta spalionice otpada i dobivene toplinske energije [30,31,32]

Kapacitet spalionice otpada (t/god)	Dobivena toplinska energija(MWh/god)
421000	170000
250000	480000
225000	132000
130000	160000
114000	140000



Slika 23. Prikaz odnosa kapaciteta i proizvodnje toplinske energije (tablica 6.)

$$K_{\text{topl.}} = 155519 \times e^{9 \times 10(-7) \times K_0}$$

$$K_{\text{topl.}} = 177,997 \text{ MWh/god}$$

Gdje je:

$K_{\text{topl.}}$ – Ukupna bruto dobivena toplinska energija.

K_0 – Kapacitet spalionice otpada .

Od bruto proizvodnje toplinske energije spalionica otpada koristi otprilike 5% te energije za vlastitu upotrebu, što bi značilo da bi spalionica otpada u Zagrebu trošila 8899,85 MWh/god a sa ostalih 169097 Mwh/god napajala postojeću toplinsku mrežu grada Zagreba.

Za prikaz ekonomske isplativosti potrebno je izračunati prihode od prodaje električne i toplinske energije koristeći podatak o količini energije koja se prodaje i prodajnoj cijeni te energije (tablica 7.)

Tablica 7. Prihod od prodaje električne i toplinske energije [35,39]

Energija	Prodajna cijena energije EUR/kwh	Prodana energija MWh/god	Prihodi, EUR/god
Električna energija	0,069	76793	5.298,717
Toplinska energija	0,024	169097	4.058,328
Ukupni prihod od prodane energije			9.357,045

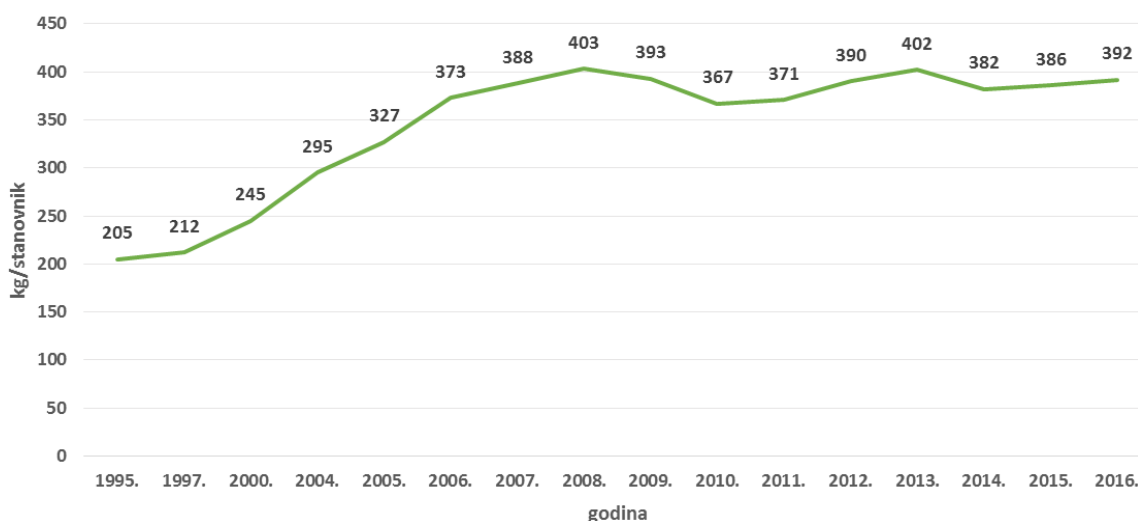
Tablica 8. Osnovni podaci spalionice otpada u Zagrebu

Osnovni podaci		
Kapacitet	150000	t/god
Električna energija (neto)	76793	MWh/god
Toplinska energija (neto)	169097	MWh/god
Potrošnja El.energije	13551	MWh/god
Potrošnja toplinske energije	8899	MWh/god
Godišnji radni sati	8000	h/god
Donja ogrijevna vrijednost	10	MJ/kg
Prodajna cijena el.energije	0,069	€/kwh
Prodajna cijena topl. energije	0,024	€/kwh
Naknada za preuzimanje otpada	100	€/t
Iznos investicije	77.779,000	€
Godišnji troškovi održavanja sistema	2.333,097	€
Prihod od prodaje el. energije	5.298,717	€
Prihod od prodaje toplinske energije	4.058,328	€
Prihod od naknade za preuzimanje otpada	15.000,000	€

U tablici 8. prikazani su osnovni podaci moguće spalionice otpada u Zagrebu dobiveni prilikom provođenja energetske ekonomske analize.

3.1.2. Potencijalna spalionica otpada 2

Porast količine komunalnog otpada bilježi se do 2008. godine nakon čega slijedi smanjenje prijavljenih količina do 2010. godine, od kada su količine uglavnom bez značajnijih promjena (slika 24.). Iznimno se u 2013. godini bilježe nešto veće vrijednosti uslijed povećane količine otpada od sanacije divljih odlagališta, otpadne zemlje i kamenja te otpadnog metala i papira [41].



Slika 24. Predodžba godišnje količine proizvedenog komunalnog otpada po stanovniku u RHu razdoblju od 1995. do 2016. godine [41].

Prilikom promatranja podataka iz slike 24. može se zaključiti da godišnja količina otpada koja se stvara po stanovniku Republike Hrvatske u razdoblju od 2013. godine do danas ostaje približno konstantna to jest vidljiva je zanemariva razlika od 4-5 % smanjenja količine otpada koju stanovnik RH-a godišnje proizvede. Zbog količine otpada koja je konstantna, te se ne vidi značajno smanjenje komunalnog otpada koji se proizvede tijekom jedne godine prikazati ćemo energetska ekonomsku analizu veće spalionice otpada koja bi spaljivala približno 90% otpada proizvedenog u Gradu Zagrebu tijekom jedne godine. Važno je zapaziti da ukoliko količina otpada proizvedena u Gradu Zagrebu bude manja od godišnjeg kapaciteta spalionice otpada, postoji mogućnost uvoza otpada iz okolnih gradova.

Za primjer izračuna isplativosti veće spalionice otpada u gradu Zagrebu koristiti ćemo spalionicu otpada:

- Kapaciteta – 290000 t/god
- Radnih sati - 8000 sati/god
- Stupnja iskoristivosti kotla – 80%
- Donja ogrijevna vrijednost - 10 MJ/kg

Potencijalna Spalionica otpada bi prema ovome spaljivala 36,25 t/h otpada te bi prema procjenama trebala koštati 500-700 € po toni komunalnog otpada koji se spaljuje, što bi iznosilo 145.000,000 € - 203.000,000 € uloženi samo u gradnju spalionice otpada te ti troškovi ovise najviše o lokaciji i potrebnim adaptacijama te izgradnji dodatne infrastrukture za rad spalionice otpada. Kako bi se točnije odredili troškovi izgradnje spalionice otpada koristimo se dostupnim informacijama o troškovima izgradnje već postojećih spalionica otpada. Koristeći podatke iz slike 21. i upotrebom linearne funkcije možemo izračunati otprilike investiciju potrebnu za izgradnju veće spalionice otpada u Zagrebu.

$$y = 558.86 \times K_s - 6 \times 10^6$$

$$y = 156.069,400 \text{ €} \Rightarrow 538,17 \text{ €/t}$$

gdje je:

y- Potrebna investicija (€)

K_s- Godišnji kapacitet spalionice otpada (t/god)

Tablica 9. Tipični troškovi gradnje veće spalionice otpada

Vrsta troška	Cijena troška (€)	Postotak od ukupnog troška
Sustav za izgaranje i kotao	62.427,760	40%
Sustav vode i pare	15.606,940	10%
Pročišćivanje dimnog plina	23.410,410	15%
Gradnja i civilni radovi	39.017,350	25%
Ostalo (dozvole, spajanje na električni mrežu, itd.)	15.606,940	10%
UKUPNO:	156.069,400	100%

Podjele potrebne investicije za izgradnju spalionice otpada prema vrsti troška (npr. Sustav za izgaranje i kotao, sustav vode..) i njegovom postotku od ukupne investicije je prikazan u tablici 4. Godišnji troškovi održavanja spalionice otpada iznose otprilike 3% [30] od početne investicije, što bi značilo da bi se godišnje izdvajalo 4.682,082 € to jest 16,15 €/t otpada za održavanje spalionice otpada.

Dodatni prihod spalionice otpada dolazi iz lokalnog proračuna to jest naplaćivanja preuzimanja otpada što varira od članice do članice EU, pa se zato za primjer uzima neka srednju vrijednost od 100 €/t [32] što bi iznosilo kao godišnji prihod od 29.000,000 €.

Spalionica otpada također proizvodi 25% [31] otpada u obliku pepela od ukupne godišnje količine spaljenog otpada te on iznosi 72500 tona otpada godišnje. Uz pomoć dostupnih podataka (slika 22.) možemo odrediti okvirnu proizvodnju el. energije iz spalionice otpada veličine 290000 t/god.

$$K_{el} = 57606e^{3E-06x}$$

$$K_{el}=137500 \text{ Mwh/god}$$

Gdje je :

K_{el} – Ukupna bruto proizvodnja el. energije

K_0 – Kapacitet spalionice otpada

Od bruto proizvodnje el. energije se oduzima 15% koliko otprilike spalionice takve veličine troši el. energije za svoj rad, pošto su spalionice samoodrživi objekti.

Spalionica otpada će potrošiti 20625 MWh el. energije godišnje dok će 116875 MWh biti izveženo.

Koristeći poznate podatke iz slike 23. i tablice 6. možemo izračunati ukupnu bruto dobivenu toplinsku energiju.

$$K_{topl.}=155519 \times e^{9 \times 10(-7) \times K_0}$$

$$K_{topl.}= 201899 \text{ MWh/god}$$

Gdje je:

$K_{topl.}$ – Ukupna bruto dobivena toplinska energija.

K_0 – Kapacitet spalionice otpada .

Od bruto proizvodnje toplinske energije spalionica otpada koristi otprilike 5% te energije za vlastitu upotrebu, što bi značilo da bi spalionica otpada u Zagrebu trošila 10094,95 MWh/god a sa ostalih 191804 Mwh/god napajala postojeću toplinsku mrežu grada Zagreba.

Za prikaz ekonomske isplativosti potrebno je izračunati prihode od prodaje električne i toplinske energije koristeći podatak o količini energije koja se prodaje i prodajnoj cijeni te energije (tablica 9.)

Tablica 10. Prihod od prodaje električne i toplinske energije spalionice otpada 2 [35,39]

Energija	Prodajna cijena energije EUR/kwh	Prodana energija MWh/god	Prihodi, EUR/god
Električna energija	0,069	116875	8.067,375
Toplinska energija	0,024	191804	4.603,296
Ukupni prihod od prodane energije			12.670,671

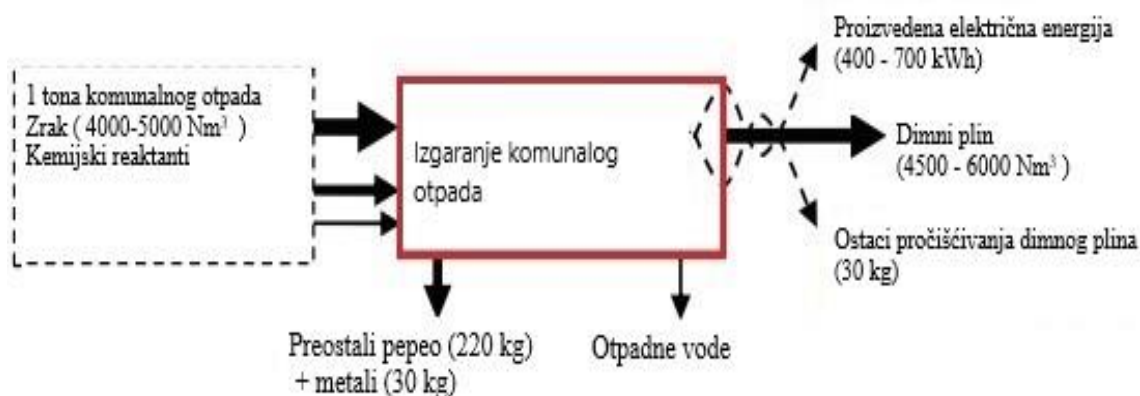
Tablica 11. Usporedba dviju mogućih spalionica otpada u Gradu Zagrebu

Osnovni podaci	Spalionica otpada 1 (150000 t/god)	Spalionica otpada 2 (290000 t/god)	
Kapacitet	150000	290000	t/god
Električna energija (neto)	76793	116875	MWh/god
Toplinska energija (neto)	169097	191804	MWh/god
Potrošnja El.energije	13551	20625	MWh/god
Potrošnja toplinske energije	8899	10094,95	MWh/god
Godišnji radni sati	8000	8000	h/god
Donja ogrijevna vrijednost	10	10	MJ/kg
Prodajna cijena el.energije	0,069	0,069	€/kwh
Prodajna cijena topl. energije	0,024	0,024	€/kwh
Naknada za preuzimanje otpada	100	100	€/t
Iznos investicije po toni otpada	518	538,17	€/t
Iznos investicije	77.779,000	156.069,400	€
Godišnji troškovi održavanja sistema	2.333,097	4.682,082	€
Prihod od prodaje el. energije	5.298,717	8.067,375	€
Prihod od prodaje toplinske energije	4.058,328	4.603,296	€
Prihod od naknade za preuzimanje otpada	15.000,000	29.000,000	€

Usporedbom dviju mogućih spalionica otpada u Gradu Zagrebu (tablica 11.) koje se razlikuju jedino svojim kapacitetom, može se primjetiti da iako je kapacitet spalionice otpada 2 (290000 t/god) gotovo 50% veći od spalionice otpada 1 (150000 t/god) njegova početna investicija po toni otpada je veća za samo 3,89% od spalionice otpada 1. Sukladno razlici veličina dviju mogućih spalionica otpada njihovi godišnji troškovi održavanja zajedno sa proizvodnjom i prihodom od prodaje električne energije razlikuju se gotovo 50%. Proizvodnja toplinske energije i njezin prihod razliku se za svega 13,43% između dviju mogućih spalionica otpada te se time prikazuje da spalionice otpada nemaju dobru toplinsku efikasnost te da drastičnim povećanjem potencijalne spalionice otpada neće se postići željeni učinak na povećanju prihoda od proizvodnje toplinske energije.

3.1.3. Analiza utjecaja potencijalne spalionice otpada u Zagrebu na okoliš

Iz slike 25. se može vidjeti da spaljivanjem jedne tone otpada dobivamo otprilike 250 kg otpada u obliku pepela te se još proizvodi nusprodukt u obliku dimnog plina količine 4500 – 6000 m³ (pri standardnom tlaku i temperaturi od 25 °C i 1,01325 bar-a) po toni spaljenog otpada. Količina dobivenog dimnog plina ovisi kao što se može vidjeti i o količini zraka koji se miješa sa gorivom.



Slika 25. Prododžba toplinske obrade jedne tone otpada [35].

Tablica 12. Ekološki učinak emisjskih plinova iz potencijalne spalionice otpada u Zagrebu [36,37,38].

	Prije pročišćavanja (mg/m ³)	Poslije pročišćavanja (mg/m ³)	Dozvoljena količina (mg/m ³) [38]
Prašina	1000-5000	0,1-4	10
Ugljikov oksid	5-50	2-45	50

Klorovodik	500-2000	0,1-6	10
Flurovodik	5-20	0,01-0,1	1
Sumporov oksid	200-1000	0,2-20	50
Dušikov oksid + dušikov dioksid	250-500	20-180	200
Živa	0,05-0,5	0,0002-0,05	0,05
Kadmij + Talij	<3	0,0002-0,03	0,05
Ostali teški metali (sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn.)	<50	0,0002-0,05	0,5
Dioksini i Furani	0,05-10	0,0002-0,05	0,1
Voda	10-20%		

Podaci o dozvoljenim vrijednostima određenih štetnih supstanca su uzete iz uredbe o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora prema članku 39. Zakona o zaštiti zraka koje je donijela Vlada Republike Hrvatske 2017. godine te su oni preuzeti sa njihove internetske stranica i uvršteni u tablici 12. pod stupac dozvoljenih vrijednosti [37].

Iz priloženog (tablica 12.) se može zaključiti da bi spalionica otpada sa svim zakonom obaveznim sustavima pročišćavanja zraka zadovoljila sve uvjete Vlade Republike Hrvatske o graničnim vrijednostima emisija te time uzrokovala minimalni ekološki utjecaj u Gradu Zagrebu.

4. Zaključak

U ovom završnom radu prikazano je gospodarenje otpadom u Hrvatskoj te su prikazane sve podjele otpada kao i problem nepostojeće termičke obrade otpada u Hrvatskoj i sve veće prihvaćanje najgore metode zbrinjavanja otpada, to jest odlaganja otpada. U ovome završnom radu vide se podjele, vrste i konstrukcija spalionica otpada te je dan i kratki prikaz postrojenja i rada spalionice otpada.

U eksperimentalnom dijelu ovoga završnog rada prikazano je kako bi spalionica otpada kapaciteta 150000 t/god zadovoljila sve potrebe Grada Zagreba pri čemu bi spaljivala više od polovice ukupnog komunalnog otpada proizvedenog na godišnjoj razini. Ukupna investicija gradnje spalionice otpada bi iznosila 77.779,000 € , proizvođa bi 76793 MWh/god električne energije i 169097 MWh/god toplinske energije te bi radila 8000 sati godišnje. Godišnji troškovi održavanja bi iznosili 2.333,097 € uz godišnje prihode od prodaje električne energije 5.298,717 € , toplinske energije 4.058,328 € i dobivene naknade za preuzimanje otpada u iznosu od 150.000,000 €. Za usporedbu u eksperimentalnom dijelu završnog rada prikazana je energetska ekonomsku efikasnost veće potencijalne spalionice otpada u Gradu Zagrebu veličine 290000 t/god te je uspoređena sa prvobitnom manjom potencijalnom spalionicom otpada kapaciteta 150000 t/god. Emisije ispuštene iz spalionice otpada bile bi unutar granica određenih zakonom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora.

Tijekom pisanja ovoga završnog rada i promatranja tehničke dokumentacije vidi se da prednosti spalionice otpada nadjačavaju njezine nedostatke te da bi gradnja takvih spalionica otpada uz plan recikliranja otpada vrlo efikasno rješio problem odlaganja otpada na neadekvatna odlagališta koja zagađuje okoliš svojim lošim uvjetima za odlaganje otpada te bi smanjio račune građana zbog toplinske i električne energije koju dobivamo tijekom termičke obrade otpada. Smanjio bi se broj nezaposlenih u Republici Hrvatskoj zbog broja radnih mjesta koja bi se otvorila izgradnjom spalionica otpada.

PRILOZI

I. CD-R disc

LITERATURA

- [1] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Otpad> (01.12.2018)
- [2] <https://www.mzoip.hr/hr/otpad/otpadxx.html> (01.12.2018)
- [3] <https://lider.media/aktualno/biznis-i-politika/hrvatska/stanovnik-hrvatske-stvara-403-kile-otpada-godisnje-u-reciklazu-ide-svega-215-posto/> (01.12.2018)
- [4] <http://gin.hr/hr/projekti/strucni-nadzor-tehnicko-savjetovanje-u-sanaciji-za-odlagaliste-otpada-jakusevec,82.html> (01.12.2018)
- [5] http://ec.europa.eu/environment/basics/green-economy/managing-waste/index_hr.htm
- [6] <https://bib.irb.hr/datoteka/176432.goz-04-apo-azo-lanak-1.doc> (09.01.2019)
- [7] https://hr.wikipedia.org/wiki/Spalionice_otpada (01.12.2018)
- [8] http://www.hz-inova.com/cms/en/home?page_id=279&lang=de (01.12.2018)
- [9] http://www.wellonsfei.ca/Uploads/Product/reciprocating/Step_Grate_Furnace.JPG
(26.03.2019)
- [10] https://www.wienenergie.at/media/files/2014/brosch%C3%BCre_spittelau_12772.pdf
(05.12.2018)
- [11] Erich Pawelka – WTE Spittaleu.pdf
- [12] <http://www.gym-hartberg.ac.at/gym/gwk/Fba/spittelau/spittelau.htm> (06.12.2018)
- [13] <http://www.simacur.fr/simacur.asp?idpage=10214&id=22415&tp=&appel=> (07.12.2018)
- [14] http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2015_wm/2015_WM_145-166_Jonas.pdf (10.12.2018)
- [15] http://en.taishangroup.com/repository/image/PD3PtcNzQCKq_ITf973lFw.jpg
(11.12.2018)
- [16] https://hr.wikipedia.org/wiki/Parna_turbina (11.12.2018)
- [17] <https://www.turbinesinfo.com/steam-turbines/> (11.12.2018)
- [18] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=17578> (14.12.2018)
- [19] <https://www.britannica.com/technology/electrostatic-precipitator> (18.12.2018)
- [20] https://energyeducation.ca/encyclopedia/Electrostatic_precipitator (18.12.2018)

- [21] https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/predavanje_5.pdf (19.12.2018)
- [22] <http://www.spray-nozzle.co.uk/spray-nozzles-by-industry/pollution-control/gas-scrubbing> (19.12.2018)
- [23] <https://books.google.hr/books?id=4gx-bMOhpxEC&pg=PT555&lpg=PT555&dq=electrodynamic+Venturi&source=bl&ots=dCJT6wg2yx&sig=w8vHz7tUJ8U6SaJrXpYNwhbFQA&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKEwj6bLXgq7fAhVPIIAKHVQWCS0Q6AEwBnoECAkQAQ#v=onepage&q=electrodynamic%20Venturi&f=false> (20.12.2018)
- [24] <https://emis.vito.be/en/techniekfiche/venturi-scrubber> (20.12.2018)
- [25] [http://cleaverbrooks.com/products-and-solutions/exhaust-solutions/selective-catalytic-reduction-\(scr\)/selective-catalytic-reduction-\(scr\)/SCR%20Brochure.pdf](http://cleaverbrooks.com/products-and-solutions/exhaust-solutions/selective-catalytic-reduction-(scr)/selective-catalytic-reduction-(scr)/SCR%20Brochure.pdf) (02.01.2019)
- [26] <http://www.mcgillairclean.com/denox> (02.01.2019)
- [27] http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Sunk_Fieldtrip%20to%20Spittelau%20final%20version.pdf (01.03.2019)
- [28] http://www.jelena-suran.com/joomla/images/stories/PCDD_PCDF20Izvjestaj.pdf (10.01.2019)
- [29] http://www.eswet.eu/tl_files/eswet/5.%20Documents/5.1.%20Waste-to-Energy%20Handbook/ESWET_Handbook_Waste-to-Energy.pdf (19.02.2019)
- [30] <http://www.cesarmelhem.com.au/wp-content/uploads/2018/02/RI032-01-R01-Waste-to-energy-consultation-Report-26022018.pdf> (20.02.2019)
- [31] http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/noticias_eventos/WSP%20Waste%20to%20Energy%20Technical%20Report%20Stage%20Two.pdf (20.02.2019)
- [32] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/typical-charge-gate-fee-and> (20.02.2019)
- [33] http://www.ukwin.org.uk/files/pdf/sheffield_2012.pdf (20.02.2019)
- [34] https://www.researchgate.net/figure/Emissions-to-the-air-from-waste-management-facilities-grams-per-ton-of-MSW_tbl2_242135069 (27.02.2019)
- [35] D. R. SCHNEIDER et. al., Cost Analysis of Waste-to-Energy Plant (27.02.2019)
- [36] https://www.researchgate.net/publication/318075478_CONSIDERATIONS_ON_THE_INCINERATION_OF_MUNICIPAL_SOLID_WASTE (06.03.2019)

- [37] https://www.researchgate.net/publication/221917199_Air_Pollution_Control_in_Municipal_Solid_Waste_Incinerators (06.03.2019)
- [38] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_08_87_2073.html (06.03.2019)
- [39] <http://euanmearns.com/energy-prices-in-europe/> (29.03.2019)
- [40] <https://eko.zagreb.hr/UserDocsImages/arhiva/dokumenti/Okoli%C5%A1/Otpad/Bilanca%20otpada%20Grada%20Zagreba%20za%202016/Bilanca%20otpada%20GZ%20za%202016..pdf?fbclid=IwAR2v8gIhbY6pXoqNH-4Iq9Ho7YWbOhHrterJxGxkUro6iU4Wa5ewDbkK1Pk> (04.03.2019)
- [41] http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjesca/komunalni/OTP_Izvje%C5%A1%C4%87e%20o%20komunalnom%20otpadu_2016..pdf?fbclid=IwAR2IZveJdM2TQ7jUjtj3aEBpVQdB2KibHr_gaIHNgjUF_rYHa50wKAefZ1A (04.04.2019)
- [42] <https://eko.zagreb.hr/UserDocsImages/arhiva/dokumenti/okoli%C5%A1/strate%C5%A1ka%20studija/PGO.pdf> (17.04.2019)
- [43] <https://hrcak.srce.hr/file/60394>