Termička obrada otpada

Grčić, Marin

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:888386

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
Stručni studij Strojarstva

Marin Grčić

Termička obrada otpada

Završni rad

Karlovac, 2017.godina

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
Stručni studij Strojarstva

Marin Grčić

Thermal waste treatment

Završni rad

Mentor:
Dr.sc. Tihomir Mihalić

Karlovac, 2017.godina

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Trg J.J.Strossmayera 9
HR-47000, Karlovac, Croatia
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510
Fax. +385 - (0)47 - 843 – 579

HRN EN ISO 9001:2009

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni studij: Strojarstva

Usmjerenje: Strojarske konstrukcije Karlovac,23.06.2016.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Marin Grčić Matični broj: 01106148086

Naslov: Termička obrada otpada

Opis zadatka:

Fokus zadatka je na termičku obradu komunalnog otpada. Nadalje u radu će biti iznesena ekonomska analiza isplativosti spalionice komunalnog otpada u Zagrebu.

Student treba u radu objasniti:

- Sastav komunalnog otpada
- Termička obrada otpada
- Primjer spalionice otpada-spalionica u Beču (Spittelau)
- Ekonomska analiza isplativosti spalionice u Zagrebu

Zadatak zadan:	Rok predaje rada:	Predviđeni datum obrane:
23.06.2016.	8.02.2017.	15.02.2017.

Mentor: Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Dr. sc. Tihomir Mihalić Dr.sc.Tanja Tomić

PREDGOVOR

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tokom studija te literaturom.

Zahvaljujem svom mentoru dr.sc. Tihomiru Mihaliću na uloženom znanju i vremenu, te na smjernicama koje su pomogle da ovaj rad doživi konačni oblik.

Zahvaljujem predmetnim nastavnicima, kolegama studentima i prijateljima te svojoj obitelji na potpori tijekom svoga školovanja.

Marin Grčić

SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada je upozoriti na sve veći broj otpada,odnosno odlaganja istoga.U ovom radu će se,uz opće informacije o otpadu kao i gospodarenju otpadom dati i moguće rješenje vezano za odlaganje,odnosno smanjivanje volumena otpada,ali i pokušati dobiti neki pozitivni produkt.

Shodno tome,u radu će biti objašnjeni opći principi Termičke obrade otpada (spaljivanja),kao i ekonomska analiza isplativosti spalionice otpada u Zagrebu.

Ključne riječi: otpad,gospodarenje otpadom,termička obrada otpada,spalionice otpada,ekonomska analiza

SUMMARY

The intent of this thesis is to warn of the increasing amount of the waste and the waste disposal.Apart from the general informations about waste and the waste management,in this paper will be also given a possible solution regarding the waste disposal and the waste volume reduction,as well as modes of the the waste utilization.

Therefore,in the paper will be explained the general principles of The waste to energy (incineration) and the economic analysis of the incinerator profitability in Zagreb.

Key words: waste,waste management,waste to energy,incinerators,economic analysis

SADRŽAJ

PREDGOVOR ..... **I**

SAŽETAK ..... **II**

SADRŽAJ ..... **III**

POPIS SLIKA ..... **V**

POPIS TABLICA ..... **VI**

1.UVOD **1**

2. OTPAD **2**

2.1 Komunalni otpad *4*

2.1.1 Sastav komunalnog otpada 4

2.2 Gospodarenje otpadom *7*

3. TERMIČKA OBRADA OTPADA **10**

3.1 Spaljivanje *10*

3.2 Vrste spalionica *10*

3.3 Proizvodnja energije iz otpada *12*

3.4 Vrste spaljivanja prema konstrukciji ložišta *13*

3.5 Termokinetički uvjeti spaljivanja otpada *17*

3.6 Emisije štetnih tvari kod spaljivanja otpada *18*

4.PRIMJER SPALIONICE OTPADA-SPALIONICA U BEČU (SPITTELAU) **20**

4.1 Općenito *20*

4.2 Opći podaci spalionice *22*

4.3 Čišćenje dimnih plinova *29*

4.4 Učinak na okoliš *30*

5. EKONOMSKA ANALIZA ISPLATIVOSTI SPALIONICE U ZAGREBU **32**

5.1 Analiza i usporedba na temelju sakupljenih podataka *32*

5.1.1 Investicijski troškovi postrojenja 32

5.1.2 Operativni troškovi i troškovi održavanja postrojenja 36

5.1.3 Učinkovitost postrojenja 39

5.2 Spalionica otpada u Zagrebu *41*

5.3 Ekonomska analiza *43*

5.3.1 Izračun unutarnje stope povrata 43

5.4 Analiza osjetljivosti 48

7.ZAKLJUČAK 50

8. LITERATURA.....51

9. PRILOZI.....54

POPIS SLIKA

Slika 1. Utjecaji otpada na okoliš [2]....3

Slika 2. Prosječan udio komunalnog otpada [1]....5

Slika 3. Struktura ukupnog otpada u RH [40] 5

Slika 4. Dijagram hijerarhije otpada od najnepoželjnije do najpoželjnije opcije [7]....8

Slika 5. Gospodarenje otpadom u Kathmandu, Nepal [7] 9

Slika 5. Gospodarenje otpadom u Stockholmu, Švedska [7]....9

Slika 6. Spalionica otpada Spittelau (Beč, Austrija) [9]....11

Slika 7. Spalionica otpada Maishima (Osaka, Japan)[9] 11

Slika 8. Von –Rollov sustav izgaranja otpada [18]....14

Slika 9. Spaljivač s vrtložnim fluidiziranim slojem [19]....15

Slika 10. Rotacijska peć [20] 16

Slika 11. Vrećasti filter [21] 19

Slika 12. Spalionica Spittelau [41]....20

Slika 13. Shema postrojenja spalionice [24] 22

Slika 14. Godišnja energetska bilanca spalionice [24] 27

Slika 15. Izmjerene vrijednosti dimnih plinova spalionice [24]....30

Slika 16. Ovisnost investicijskih troškova o veličini postrojenja 34

Slika 17. Ovisnost specifičnih investicijskih troškova o veličini postrojenja 35

Slika 18. Ovisnost operativnih troškova i troškova održavanja o veličini postrojenja....37

Slika 19. Ovisnost specifičnih operativnih troškova i troškova održavanja o veličini postrojenja 38

Slika 20. Ovisnost ukupne učinkovitosti o veličini postrojenja 40

Slika 21. Cjenik HEP-Toplinarstva 44

Slika 22.Utjecaj promjene cijene toplinske energije i naknade za zbrinjavanje otpada na IRR....49

POPIS TABLICA

Tablica 1. Zastupljenost načinima postupanja otpadom [9] 8

Tablica 2. Najpogodniji način termičke obrade pojedine vrste otpada [10] 17

Tablica 3. Uređaji za čišćenje dimnih plinova [10] 19

Tablica 4. Tehnički podaci spalionice [25] 23

Tablica 5. Energetska i masena bilanca po toni otpada [25] 28

Tablica 6. Prikaz investicijskih troškova postrojenja 33

Tablica 7. Prikaz investicijskih troškova postrojenja svedenih na 2016.godinu 33

Tablica 8. Prikaz operativnih troškova i troškova održavanja postrojenja 36

Tablica 9. Prikaz ukupnih učinkovitosti postrojenja 39

Tablica 10. Izračunate potrebne vrijednosti za postrojenje 41

Tablica 11. Tehno-ekonomski podaci za postrojenje 42

Tablica 12.Prikaz prihoda i rashoda postrojenja 45

Tablica 13. Troškovi postrojenja po dijelovima s amortizacijskim periodima 46

Tablica14. Tok novca za postrojenje 47

Tablica 15. Utjecaj promjene cijene naknade za zbrinjavanje otpada i cijene toplinske energije na IRR spalionice 48

1.UVOD

Sve veća akumulacija otpada jedan je od ključnih problema današnjice.Prema Zakonu o otpadu Republike Hrvatske (NN 151/03) otpadom se smatraju sve tvari ili predmeti koje čovjek odbacuje,namjerava ili mora odložiti.Sam otpad je i direktna posljedica gospodarskog rasta,a njegova količina direktan pokazatelj razvijenosti određenog društva.Tako da je odnos bruto nacionalnog dohotka,koji uzimamo kao osnovni gospodarski pokazatelj,i količina otpada gotovo linearan.
Nažalost, i mnoge razvijenija društva su kasno prepoznala otpad kao problem,pa ne treba čuditi niti trenutno stanje s neuređenim odlagalištima u našoj zemlji.U nas je prvi Zakon o otpadu donesen 1995.godine,a aktualni je na snazi od srpnja 2013.godine.Ulaskom u Europsku uniju,Republika Hrvatska je počela primjenjivati pravne stećevine,odnosno direktive EU.

Vrlo je bitno razviti dobru strategiju gospodarenja otpadom,nastojati u prvome redu izbjegavati i smanjivati nastanak otpada,a ako se ne može smanjiti ili izbjeći nastajanje otpada,onda ga treba reciklirati i/ili oporabiti.Zadnja opcija,a kod nas i najviše korištena,bi bila odlaganje otpada.Republika Hrvatska prednjači u odlaganju otpada,dok se drugim načinima još uvijek ne pridaje previše pažnje.Svakako jedan od boljih načina bi bilo spaljivanje otpada,gdje bi se dobivena toplina mogla iskoristiti za toplu vodu i/ili proizvodnju električne energije.Nažalost u Hrvatskoj je samo u planu gradnja spalionice otpada,čija je gradnja trebala započeti prije više od desetljeća u Resniku u Zagrebu.U 2014. Je odlučeno da bi se spalionica do 2018.godine izgradila,da bi se 2016.godine odustalo od gradnje iste.Bez obzira na to,u ovome radu će se dati osnovni pojmovi o otpadu,gospodarenju istime,te spaljivanju kao jedna od varijanti pametnijeg iskorištavanja otpada.Također će se dati osnovna analiza isplativosti spalionice u Zagrebu.

2. OTPAD

Otpad je svaki predmet ili tvar koja ima takva svojstva da se je posjednik mora ili želi riješiti. Nastaje kao rezultat raznih aktivnosti kao npr. privredne djelatnosti, posebno u industriji kao i u domaćinstvu.

Podjela otpada:

- Prema mjestu nastajanja (porijeklu)
- Prema svojstvima
- Prema mogućnostima transformiranja u okolišu

Prema mjestu nastajanja (porijeklu):

- Komunalni otpad
- Tehnološki otpad
- Bolnički otpad
- Poljoprivredni i stočarski otpad
- Rudarski otpad
- Građevinski otpad
- Specijalni otpad

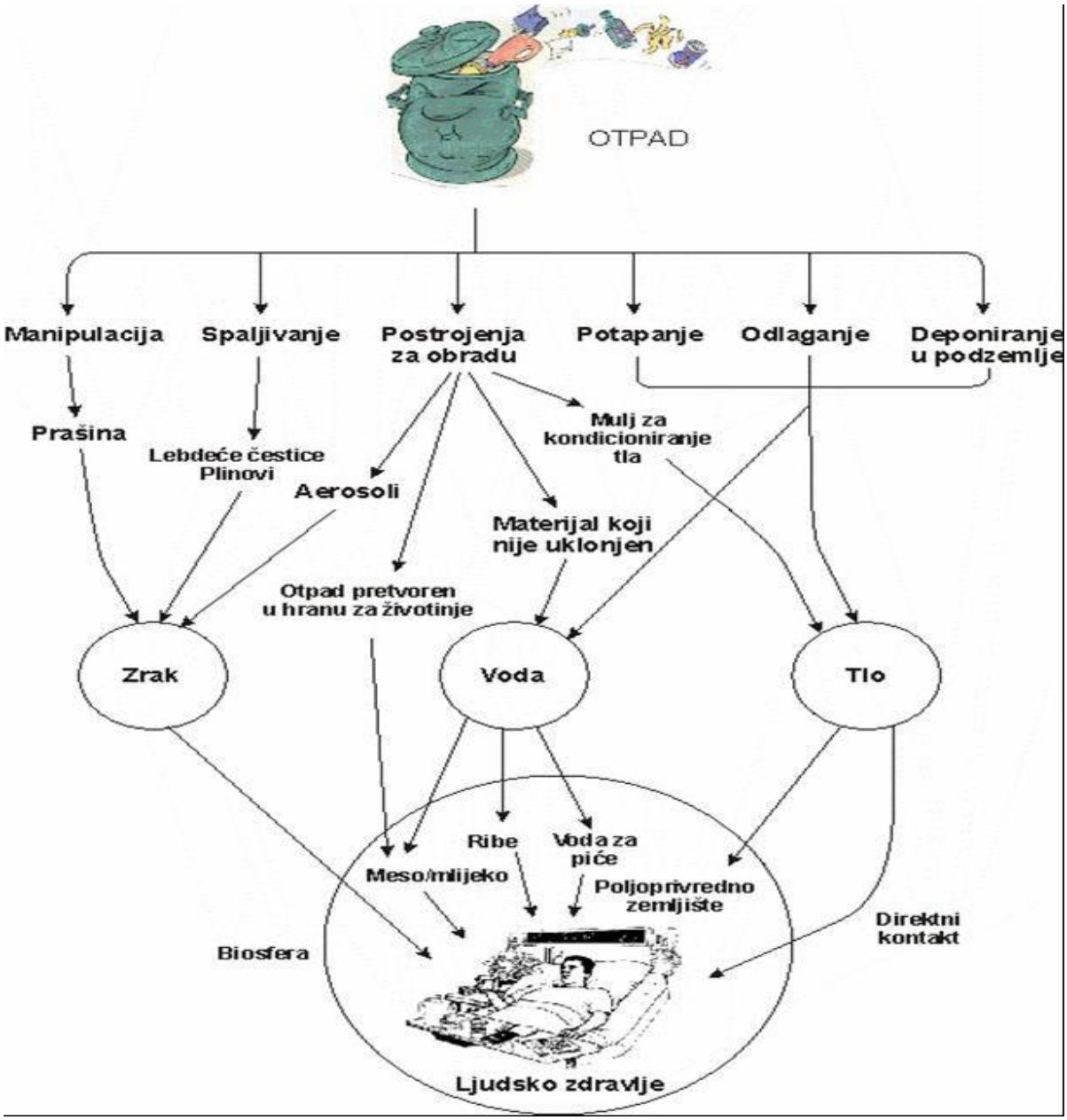
Prema svojstvima:

- Opasni otpad
- Inertni otpad

Prema mogućnosti transformiranja u okolišu:

- Materijali koji su biološki transformabilni
- Materijali koji su fizički transformabilni
- Materijali koji su kemijski transformalbilni
- Materijali koji nisu transformabilni

Također možemo razlikovati otpad prema obvezama i odgovornosti te ga dijelimo na :proizvodni (proizvođači otpada),komunalni (općine i gradovi),ambalažni (proizvođači otpada i uvoznici) i problematične tvari (proizvođači otpada i uvoznici). [2] [3]



Slika 1. Utjecaji otpada na okoliš [2]

2.1 Komunalni otpad

Komunalni otpad je otpad nastao u naseljima,a uključuje smeće iz domaćinstva,obrtništva,industrije,građevinski otpad,ostatke od obrade komunalnih voda,kancelarijski otpad,otpad s javnih površina.[2]

U Hrvatskoj se očekuje blagi rast komunalnog otpada,sa sadašnjih 1.700.000 t/god na 2.000.000 t/god,koliko se očekuje 2030.

Također će ,prema projekcijama,do 2020.polovica komunalnog otpada biti odvajana na mjestu nastanka te će biti predana na daljnju reciklažu i oporabu,dok će se preostali dio zbrinjavati u centrima za gospodarenje otpadom.

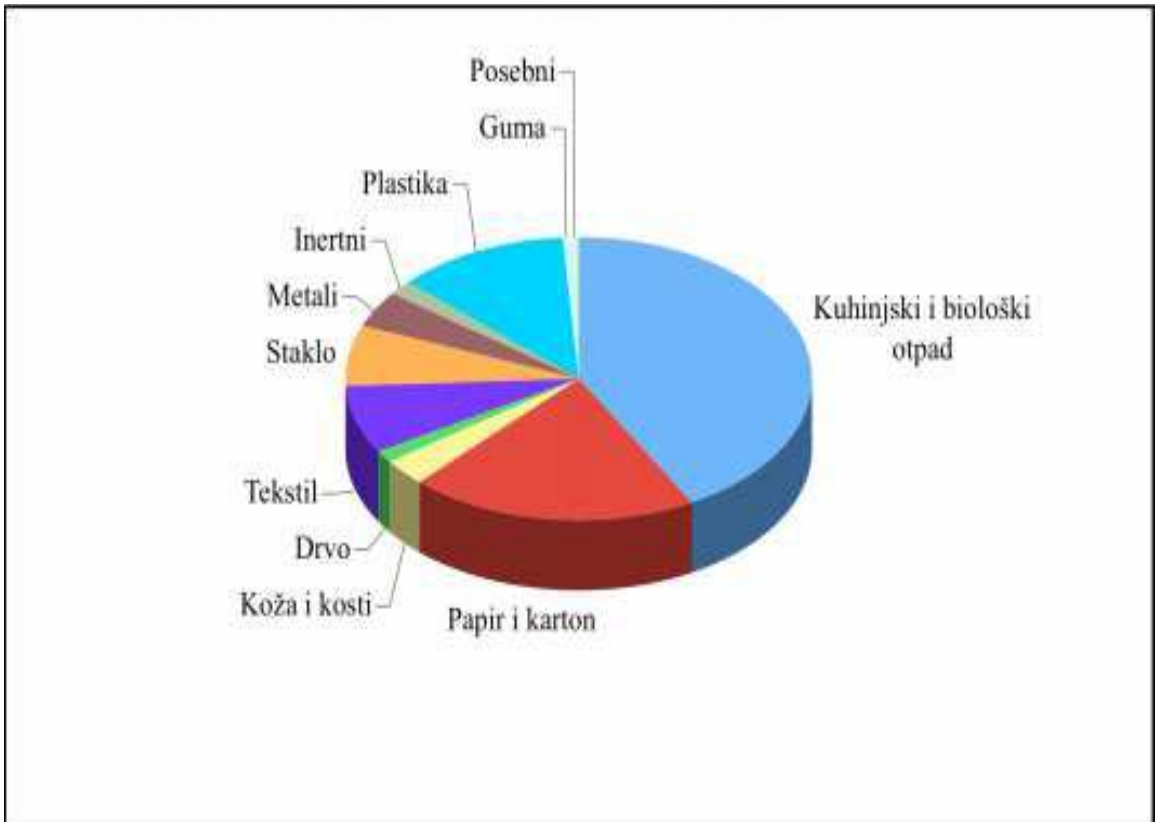
Za RH se predviđa zadovoljenje cilja oporabe i reciklaže plastike,stakla,papira i metala u iznosu od 50% te smanjenje količine biorazgradivog otpada za odlaganje na odlagalištima u iznosu od 65% u odnosu na 1997.godinu,koja se uzima kao referentna godina.[5]

2.1.1 Sastav komunalnog otpada

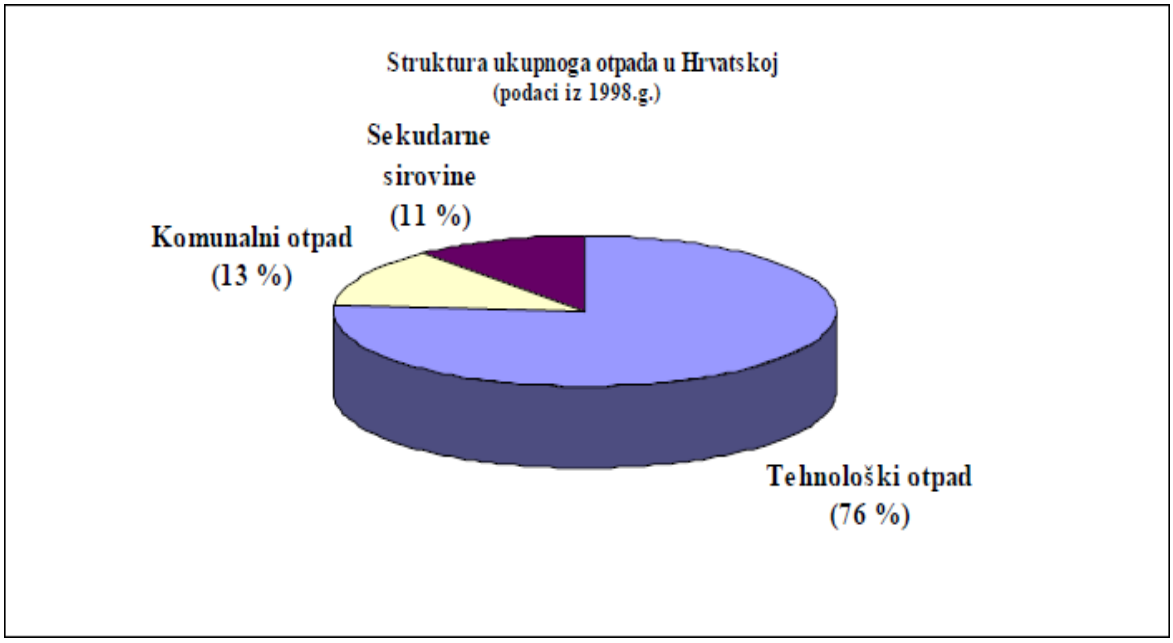
Na osnovu podataka o komunalnom otpadu prema provedenim ispitivanjima sastava otpada pojedinih JLS,te podataka o izdvojenom skupljanju pojedinih vrsta komunalnog otpada (papir,staklo,drvo...).

Može se utvrditi da je skoro polovica komunalnog otpada biorazgradivi otpad (ostaci hrane,cvijeće,trava i sl.),dok oko 25% čini papir i karton,plastične i staklene amabalaže također čine oko 25% dok je udio metala oko 2%.[5]

Kroz razvrstavanje otpada može se provesti sustav ponovne uporabe posebno vrijednih sirovina iz otpada,te se može pokrenuti i niz gospdarskih aktivnosti.



Slika 2. Prosječan udio komunalnog otpada [1]



Slika 3. Struktura ukupnog otpada u RH [40]

Čimbenici koji utječu na količinu i sastav komunalnog otpada u RH

a) Postojeće stanje

-Komunalna infrastruktura za prikupljanje otpada je razvijena i odvozom otpada je obuhvaćeno 99% stanovništva.

-Nisu izgrađeni CGO sa sustavima obrade i odlaganja otpadima.

b) Bruto domaći proizvod (BDP)

-BDP je jedna od bitnijih sastavnica koja utječe na količinu komunalnog otpada.

-Uzima se prepostavka da svaka promjena BDP-a od ± 1% utječe na promjenu specifične količine otpada od ± 0,45%.

c) Broj stanovnika

-Procjenjuje se blagi pad stanovništva na razini Republike Hrvatske.

d) Indeks potrošnje

-Utjecaj osobne potrošnje proporcionalan je nastajanju komunalnog otpada.

-Uzima se da za promjenu potrošnje od ± 1% proizvodnja otpada se mijenja za cca. 3 %.

-Predviđa se povećanje specifične količine otpada do 1,5%.

e) Dodatni faktori

-Smanjenje seoskog stanovništva,povećanje urbanog stanovništva,starenje stanovništva,migracije kao i zakonske regulative utječu na smanjenje otpada.

-Procjenjuje se da će zbog ovih dodatnih faktora doći do smanjenja količine otpada po stanovniku do 0,7% u narednih 15-ak godina.

f) Sastav otpada i sezonske varijacije

-Prema Strategiji razvoja turizma RH do 2020. prepostavlja se rast noćenja po stopi od 3,1%,koja će kasnije rasti na 5,5%.

-Specifična količina otpada po noćenju iznosi cca. 1,4 kg/noćenju.

g) Tip područja

-Procjene govore da 55,6% stanovništva živi u urbanom,a 41,8% stanovništva u ruralnim područjima,dok preostali dio živi na otocima. [5]

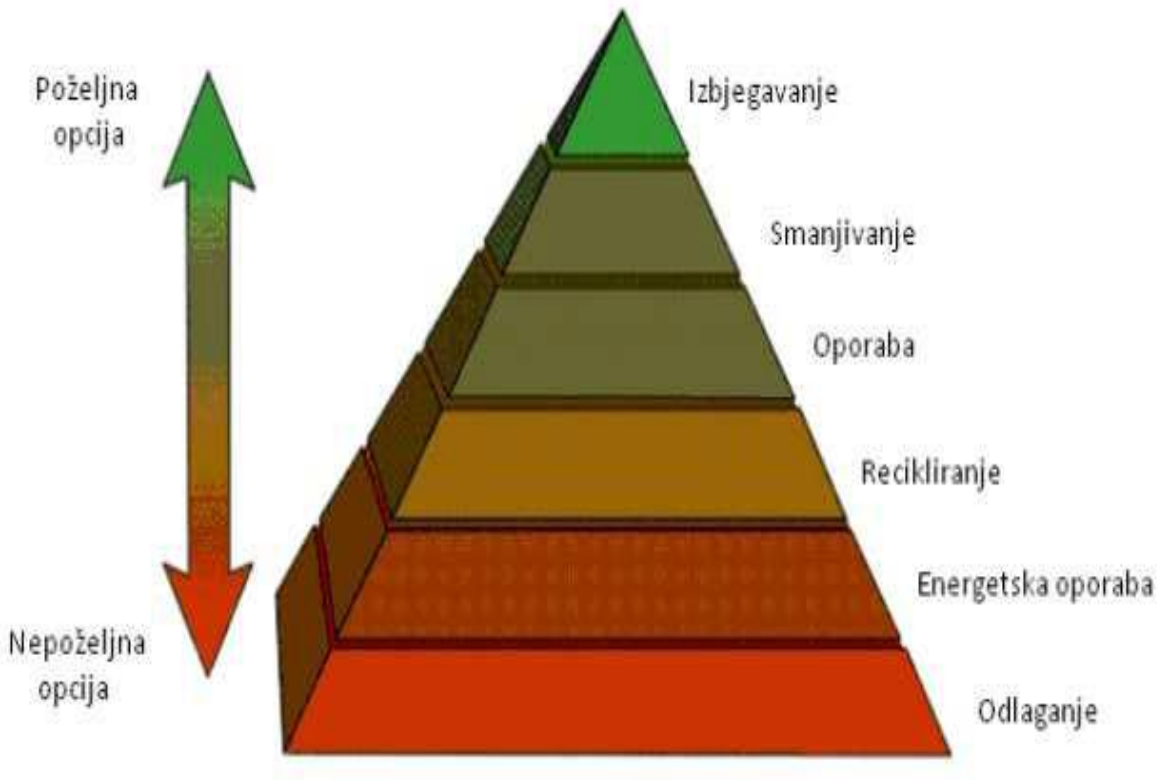
2.2 Gospodarenje otpadom

Gospodarenje otpadom je djelatnost koja zahvaća sve grane gospodarstva, proizvodnje i potrošnje,a sadrži niz postupaka i tehnologije,od kojih se velik dio primjenjuje u različitim oblicima.[6]

U okviru cjelovitog sustava gospodarenja otpadom, zastupljeni su sljedeći važniji postupci, zavisno o vrsti i svojstvima otpada [6]:

a) Izbjegavanje nastajanja otpada i smanjivanje opasnih svojstava
b) Skupljanje i prijevoz osoba
c) Vrednovanje-oporaba otpada
    - odvojeno skupljanje
    - reciklaža
    - mehanička obrada
    - spaljivanje s i bez rekuperacije energije
    - piroliza
    - biološka obrada
    - termička obrada
    - kemijska obrada

d) Konačno zbrinjavanje ostatnog otpada-odlaganje na deponiju s i bez proizvodnje bioplina.



Slika 4. Dijagram hijerarhije otpada od najnepoželjnije do najpoželjnije opcije [7]

Tablica 1. Zastupljenost načinima postupanja otpadom [9]

	Austrija	Danska	Slovenija	Hrvatska
Recikliranje	34,3%	14%	10%	3,5%
Biološka obrada	21,7%	-	12%	1%
Termička obrada	14,7%	81%	-	-
Odlaganje	28,5%	5%	73%	**95,5%**
Obrada opasnog otpada	0,8%	-	-	-

Iz Slike 4. može se vidjeti da je svakako najpoželjnija opcija izbjegavanje otpada,što je dosta teško izvedivo,tako da je sljedeća,realnija,opcija smanjivanje otpada.S druge strane,najnepoželjnija opcija je svakako odlaganje,u čemu je zastupljenost RH još uvijek vrlo visoka i tendencija je da se smanjuje. U Tablici 1. su prikazani podaci kolika je zastupljenost pojedinih načina postupanja otpadom u odnosu Hrvatske s nekim naprednijim zemljama,ali i zemljama iz okruženja.

Na način zbrinjavanja otpada u nekoj zemlji utječe više čimbenika,iako se može reći da to ovisi o ekonomskim čimbenicima,veliki udio u tome ima i sama svijest ljudi u tim zemljama. Na slikama ispod su prikazani primjere uređenog i manje uređenog sakupljanja otpada.



Slika 5. Gospodarenje otpadom u Kathmandu, Nepal [7]



Slika 5. Gospodarenje otpadom u Stockholmu, Švedska [7]

3. TERMIČKA OBRADA OTPADA

3.1 Spaljivanje

Spaljivanje je proces termičke obrade otpada koji uključuje izgaranje organskih tvari u otpadnim materijalima.

Spalionice smanjuju volumen otpada (prethodno komprimiran u kamionima za odvoz otpada) za 95-96%. To znači da se zamjenom odlaganja otpada sa spaljivanjem značajno smanjuje potreban volumen za odlaganje otpada.Kamioni za odvoz otpada često imaju ugrađen kompresor pa smanjuju obujam otpada prije isporuke pogonima za spaljivanje otpadima.

Na snazi je novi Pravilnik o termičkoj obradi otpada,u nastavku Pravilnik,donesen 2016.godine.

Ovaj Pravilnik se odnosi na sva postrojenja za spaljivanje i suspaljivanje krutog ili tekućeg otpada.Također se propisuju načini i uvjeti rada,uvjeti za početak i prekid rada postrojenja za spaljivanje i suspaljivanje,način zaštite zraka,vode,tla te način gospodarenja ostatnim otpadom u postrojenjima kao i posebni uvjeti za ostale postupke termičke obrade.

U Članku 2.Pravilnika se navodi i da se u pravni poredak RH prenosi sljedeće direktive EU:

- Direktiva 2008/98/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća o otpadu i ukidanju određenih direktiva (SL L 312, 22. 11. 2008.)

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

3.2 Vrste spalionica

Mogu biti velike za komunalne sustave,te manje,“šaržne“ spalionice. Primjeri manjih spalionica su:spalionice medicinskog otpada (infektivnog i općenito medicinskog),spalionice industrijskog otpada, te spalionice animalnog otpada (otpad životinjskog podrijetla sa farmi) i sl.

Moderne spalionice ovakvog tipa su dvokomorne spalionice,kod kojih se otpad spaljuje u primarnoj komori pod kontroliranim uvjetima,a dimni plin se provodi u sekundarnu komoru gdje se određeno vrijeme,pod visokim temperaturama ostavlja kako bi se komponenete dimnog plina razložile.

Mogu biti mobilne (sa opremom za neovisan rad na terenu) i stacionarne.[9] [11]



Slika 6. Spalionica otpada Spittelau (Beč, Austrija) [9]



Slika 7. Spalionica otpada Maishima (Osaka, Japan)[9]

Na slikama iznad dani su primjeri modernih spalionica.Osnovna razlike između ove dvije spalionice je što se spalionicu Spittelau koristi za područno grijanje,dok se spalionica Maishima koristi za proizvodnju električne energije.

3.3 Proizvodnja energije iz otpada

Proizvodnja energije iz otpada je proces dobivanja energije u obliku električne energije ili topline iz spaljivanja otpada.Prema tome,otpadna energija je obnovljivi oblik energije.Većina procesa dobivanja struje iz otpadne energije sastoji se od izravnog spaljivanja.

Metoda korištenja spalionica za pretvorbu komunalnog otpada u energiju je relativno stara metoda proizvodnje električne energije iz otpada. Spaljivanjem se općenito podrazumijeva izgaranje goriva dobivenog iz otpada, koji služi za proizvodnju pregrijane pare koja napaja generatore na paru koji onda proizvode električnu energiju za kućanstva i poslovne objekte.

Spalionice imaju električnu učinkovitost od 14-28%.Ostatak energije može biti iskorišen za područno grijanje iz toplane,ili ostati neiskorišten u obliku otpadne topline.

Razvijene zemlje,pogotovo one oskudnije s resursima,kao Japan,Švedska su godinama pri vrhu u dobivanju električne i toplinske energije korištenjem energije dobivene spaljivanjem otpada.

Upravo je Švedska dobar primjer pametnog gospodarenja otpadom.Naime,prvo postrojenje za energetsku oporabu otpada sagrađeno je još 1904.godine u Stockholmu,a danas ova zemlja sa svoja 32 postrojenja za preradu otpada, proizvede toplinske energije za 810.000 domaćinstava te električne energije za 250.000 kuća. Oko 50% otpada ove zemlje se pretvara u energiju.

Niz ostalih razvijenih europskih razvijenih zemala kao šti su Nizozemska,Njemačka,Austrija oslanjaju se na ovaj način zbrinjavanja komunalnog otpada. [12] [14]

3.4 Vrste spaljivanja prema konstrukciji ložišta

Prema konstukcijskog izvedbi ložišta,spaljivanje može biti:

1. Spaljivanje u ložištima s rešetkom (roštiljem)
2. Spaljivanje u fluidiziranom stanju
3. Spaljivanje u rotacijskoj peći

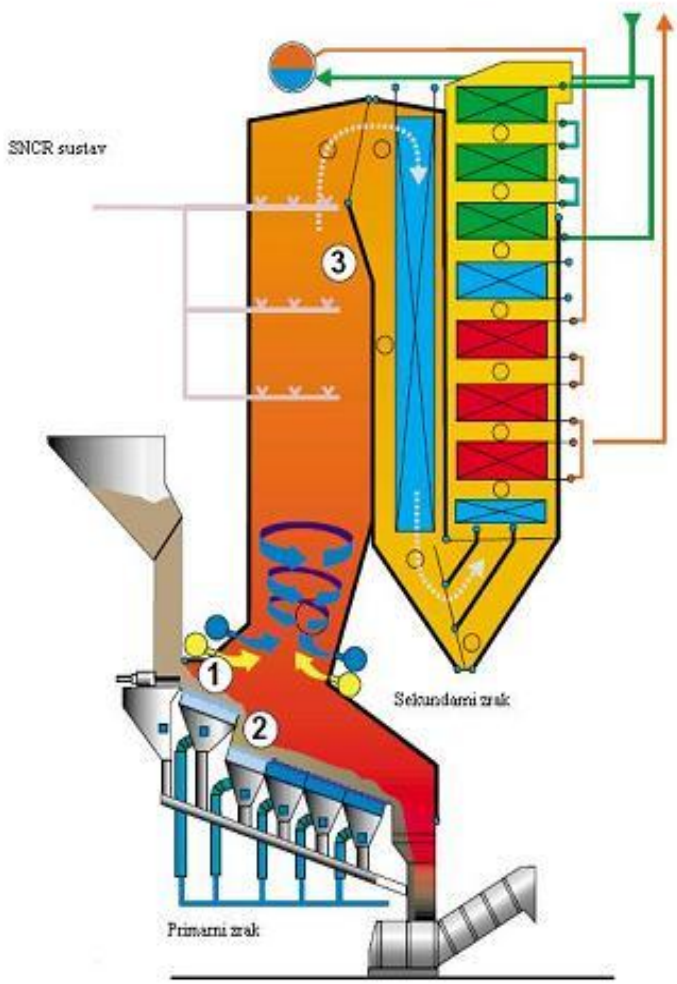
1.Spaljivanje u ložištima s rešetkom (roštiljem)

Prvi temelji za ovakve vrste postrojenja krenuli su s razvojem ugljena,otkud su preuzeti i tipovi kotla i roštilja za izgaranje.Rešetke za izgaranje mogu biti pokretne,nepokretne,kose i ravne,a razvijeni su i tipovi rešetki za izgaranje komunalnog otpada.

Izgaranje otpada se odvija u nekoliko faza:sušenje,paljenje,rasplinjavanje,glavno i naknadno izgaranje gdje kruti ostaci izgaranja padaju prema dolje,a nastali dimni plinovi idu kroz ložište gore u kotao gdje odaju toplinu susatvu vodopara.
Zadaća rešetke je da rasporedi otpad po širini i da ga transportira po dužini rešetke i dovede potrebnu količinu zraka.Iznad rešetke je komora za sagorijevanje u kojoj sagorijevaju plinovi prethodno razvijeni u procesu rasplinjavanja i isplinjavanja na rešetci.Oslobođena energija sagorijevanja prenosi se na površinu kotla.Optimalna temeperatura sagorijevanja je od 850-1000 ° C.
Pri procesu zrak se dovodi kao primarni i sekundarni.
Primarni zrak se dovodi ispod rešetke,gdje pri temeperaturama od oko 230° C dolazi do zapaljenja otpada.U rasponu temeperatura od 230-850 ° C dolazi do isplinjavanja,nakon toga do rasplinjavanja,na kraju se sagorijevanje odvija na temperaturama većim od 850° C.
Plinovi koji do tada nisu sagorijeli (npr.ugljični monoksid) odvode se u komoru za sagorijevanje gdje zajedno s sekundarnim zrakom sagorijevaju.
Danas su najzastupljenije tri tehnologije izgaranja na rešetki proizvođača: Martin,Von Roll te Keppel-Seghers.

Prednosi ovog postupka su efikasnost za široki raspon vrste i kvalitete otpada,prikladnost za rekuperaciju topline te razne veličine postrojenja,dok su nedostaci relativno velike investicije i složen sustav za predobradu otpada. [10][15][16].

Na slici 8. je prikazan Von Roll-ov sustav za izgaranje otpada.

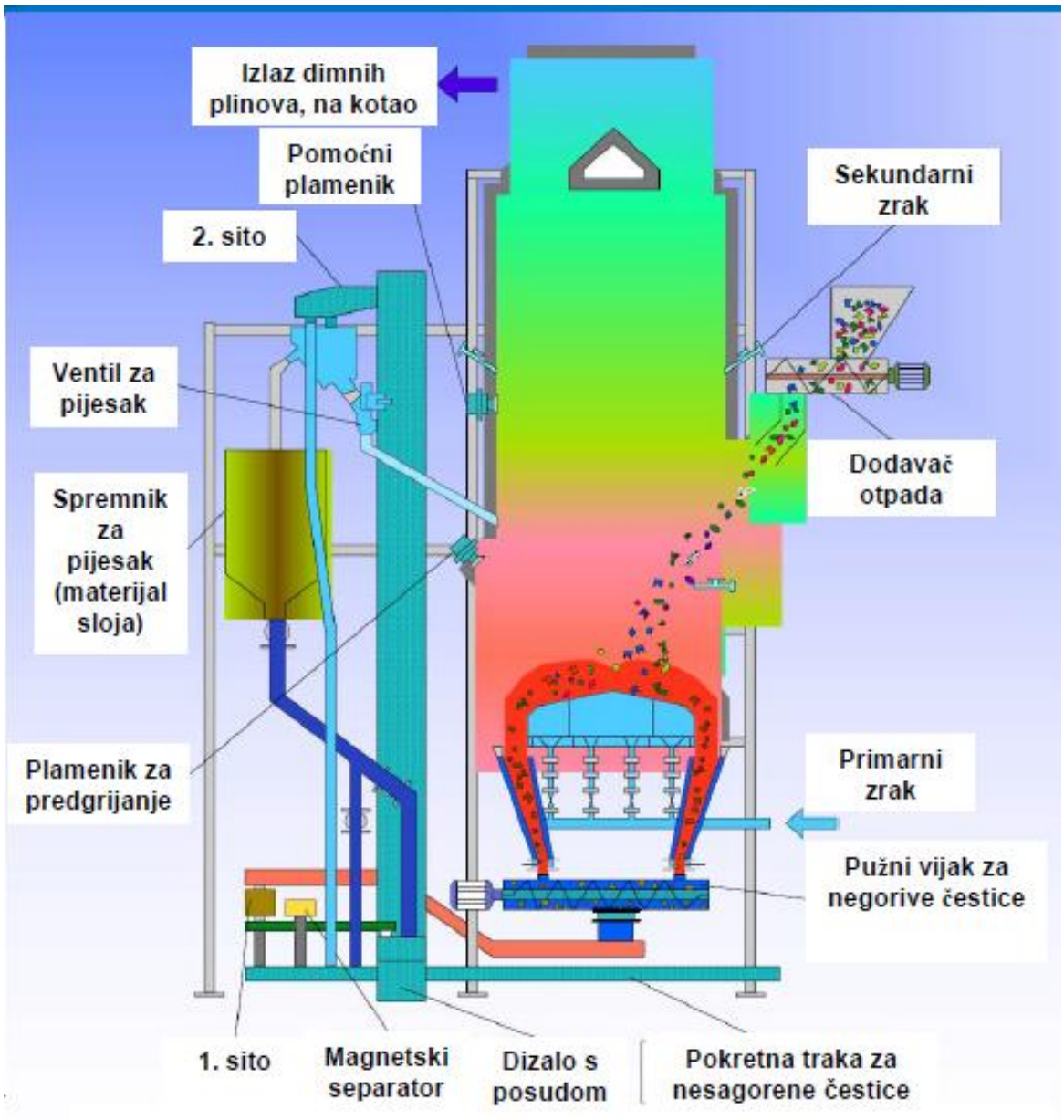


Slika 8. Von –Rollov sustav izgaranja otpada [18]

2.Spaljivanje u fluidiziranom stanju

Spaljivanje u fluidiziranom stanju je relativno nova tehnologija.Tretiranjem otpada prije spaljivanja postiže se veći stupanj homogenosti goriva bez obzira na kaloričnost,udio pepela ili vlažnost.Zbog toga se u fluidiziranom sloju mogu naći zajedno otpadci od sječe šuma,ostaci poljoprivredne proizvodnje kao i kućni otpad.U samom kotlu otpad izgara i pretvara se u vrući granulirani sloj na pijesku.Ubrizgavanje zraka u tako nastali sloj stvara turbulencije i na taj način pospješuje opskrbu svih dijelova goriva dovoljnom količinom kisika i približavaju ovaj proces potpunom izgaranju,što je cilj svakog izgaranja.

Na ovaj je način moguće držati temperaturu iznad 972 °C i znatno smanjiti udio dušičnih spojeva u dimnim plinovima.
Prednosti ove tehnologije su postizanje vrlo visoke vrijednosti iskoristivosti kotla,i do 90%,već ranije spomenute manje emisije putem dimnih plinova u atmosferu.
Nedostaci su da zahtijeva predobradu otpada,tehnologija nije previše prikladna za komunalni otpad te cijena koja je u odnosu na cijenu tehnologije izgaranja na rešetci znatno veća,te se zbog toga koristi samo u elektranama snage preko 5 MW. [10] [18]



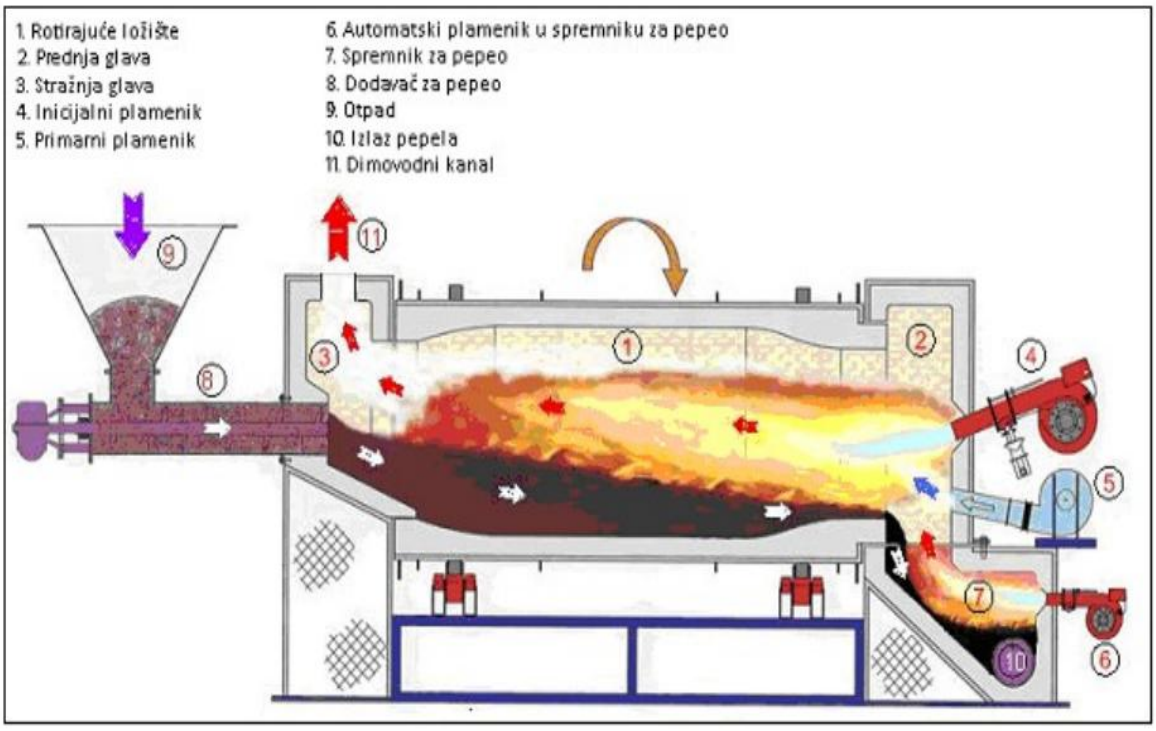
Slika 9. Spaljivač s vrtložnim fluidiziranim slojem [19]

3.Spaljivanje u rotacijskoj peći

Spaljivanje u rotacijskoj peći je postupak gdje se otpad mehanički ili gravitacijski ubacuje u cilindričnu peć pod kutem,te se uz rotaciju peći ostvaruje protok otpada kroz peć.

Pomoću plamenika otpad koji prolazi kroz peć se spaljuje,a nastali plinovi se posebno filtriraju i spaljuju,a proizvedena toplina se međuostalim koristi i za predgrijavanje otpada.Ovaj postupak se dosta koristi za spaljivanje opasnog otpada,kliničkog otpada dok manje za komunalni otpad,a primjenjuje se u industriji cementa,vapna i gipsa.
Uobičajene temperature pri kojima se vrši izgaranje kreću se od 500-1500° C.
Pri višim temperaturama povećava se rizik od stvaranja vapnenog taloga na stijenkama peći.Peći mogu biti hlađene vodom ili zrakom.

Prednosti su fleksibilnost u pogonu,relativno laka regulacija temperature,a posebno su efikasne i ekonomične za srednje kapacitete.
Nedostaci su veliki pogonski troškovi,složen sustav za predobradu otpada te nije primjenjivo za velika postrojenja. [10]



Slika 10. Rotacijska peć [20]

U nastavku je dana tablica s vrstom otpadnom materijala i koja je najpogodnija tehnologija obrade.

Tablica 2. Najpogodniji način termičke obrade pojedine vrste otpada [10]

Vrsta otpadna materijala	Donja toplinska moć (kJ/kg)	Ložište s rešetkom	Fluidizirani sloj	Rotacijska peć
Komunalni otpad	4000 d0 10000	Da	Da	Da
Kruti opasni otpad	12000 do 25000	Da	Da	Da
Otpadna ulja	20000 do 40000	Ne	Ne	Da
Otpadne vode	0 do 6500	Ne	Ne	Da

3.5 Termokinetički uvjeti spaljivanja otpada

Kako bi se stvorili uvjeti za učinkovitu termičku obradu otpada,u procesu spaljivanja potrebno je osigurati tzv. **„3T+O“** (Temperature,Time,Turbulence+Oxygen) uvjete,odnosno:

- temperatura u ložištu.....(Temperature),
- vrijeme zadržavanja – retencija.....(Time),
- brzina plinova u ložištu.....(Turbulence),
- sadržaj kisika u ložištu.....(Oxygen).

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

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

Uređaj za spaljivanje mora imati automatski sustav koji spriječava dodavanje otpada u ložište u slučajevima:

- kada nije postignuta tražena temperatura,
- ako se ne održava zahtijevana temperatura,
- ako emisije u zrak prekoračuju dopuštene vrijednosti.

3.6 Emisije štetnih tvari kod spaljivanja otpada

Dimni plinovi nakon spaljivanja mogu sadržavati značajne količine čestica, teških metala,dioksni, furana, sumporovog dioksida, metana i solne kiselina.Navedeni zagađeni dimni plinovi mogu biti kiselog djelovanja i 1980-ih uzrokovali su ekološku katastrofu pretvarajući običnu kišu u kiselu kišu.Nakon tog događaja više pažnje se je posvetilo dimnim plinovima te je problem riješen upotrebom vapnenin četka i elektrostatskih taložnika u dimnjacima.Princip rada se zasniva na tome da mineral vapnenca korišten u četkama ima pH vrijednost veličine 8,što znači da je lužnat.Prolaskom dima kroz četkice,sve kiseline sadržane u dimnim plinovima biti će neutralizirane (kiselina+lužina=sol+voda).Na taj način vapnene četke sprječavaju emisisiju kiselina u atmosferu,a time i mogućnost ekološke katastrofe.

Prema pisanju časopisa New York Timesa, moderne spalionice su toliko čiste, imaju tako male emisije štetnih plinova u atmosferu da daleko veću opasnost od emitiranja dioksina u atmosferu predstavljaju ispusti iz kamina u domaćinstvu ili s dvorišnih roštilja nego iz spalionice.

CO_2

Komunalni otpad sadrži sličan maseni udio ugljika kao i ugljični dioksid. To znači da izgaranjem jedne tone komunalnog otpada nastaje jedna tona CO_2. Ukoliko bi komunalni otpad bio odložen na odlagalište otpada jedna tona komunalnog otpada bi proizvela 62 m^3 metana putem anaerobne razgradnje biorazgradivog otpada. Kako je potencijal globalnog zatopljenja metana 21,a masa jednog metra kubnog metan pri temperaturi od 25 C 40,7 kg to je jednako 0,854 tone CO_2 (što je manje od jedne tone dobivene izgaranjem). No, treba uzeti u obzir da spalionice otpada zbog proizvodnje električne i toplinske energije smanjuju potrebu za proizvodnjom električne i toplinske energije iz drugih postrojenja koja mogu ispuštati visoke emisije CO_2.[11]

Danas se velika pažnja pridaje ovom problemu,tako da je stvoreno čitav niz uređaja za čišćenje dimnih plinova.

Uređaji mogu biti izvedeni na osnovi:

- mehaničkog odvajanja čestica pepela i balastnih materija tj.djelovanjem centrifugalne sile na čestice pepela
- djelovanja elektrostatičkog elektriciteta
- postupaka izdvajanja čestica i plinova

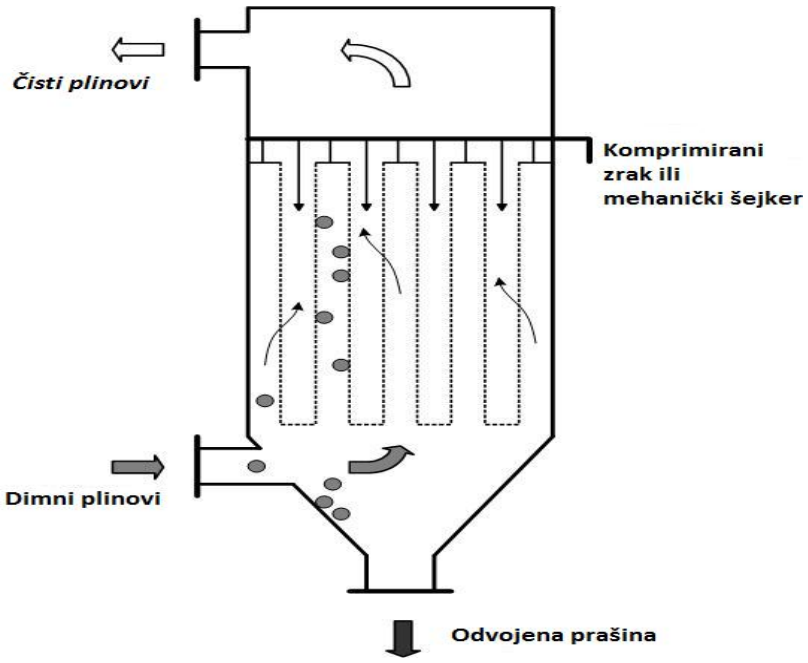
Uređaje dijelimo na:

- mehaničke filtre
- elektrosuhe filtre
- elektrovlažne filtre
- ostali postupci
-

U Tablici 3. su pojedine vrste uređaja za pročišćavanje dimnih plinova s karakteristikama.

Tablica 3. Uređaji za čišćenje dimnih plinova [10]

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



Slika 11. Vrećasti filter [21]

4.PRIMJER SPALIONICE OTPADA-SPALIONICA U BEČU (SPITTELAU)

4.1 Općenito

Novonastala tvrtka Fernwärme Wien GmbH (ranije Heizbetriebe Wien) je 1969. godine dobila od Grada Beča zadaću osigurati grijanje gradskim okruzima. U to vrijeme je spalionica otpada bila u izgradnji,a tvrtki je povjereno skupljanje gradskog otpada.

Danas,proširena mreža grijanja dobiva toplinu od ukupno 10 postrojenja s instaliranom izlaznom snagom višom od 2,800 MW, i duljinom cjevovoda iznad 1,000 km,što ga čini jednim od najvećih u Europi.

Više od 262,000 kućanstava i 5,300 industrijskih postrojenja dobiva grijanje i toplu vodu od ovih postrojenja.Spalionica Spittelau danas ,međuostalim, pokriva Opću bolnicu s grijanjem.Sa izlaznom snagom od 460 MW,Spittelau je drugi najveći generator topline. Propusna moć postrojenja je više od 250,000 tona/ godišnje i dio mreže napaja s udjelom od oko 60 MW,što je bazićno opterećenje.Također,konstantno se modernizira i sustav čišćenja dimnih plinova,od postrojenja s elektrovlažnim filtrima (1986/1989) i sustavom za uništavanje dušikovog oksida.



Slika 12. Spalionica Spittelau [41]

Godine 1987. veliki dio postrojenja je uništen u požaru,kao npr. sustav za čišćenje dimnih plinova,dva kotla za vruću vodu i velik dio same zgrade.Prilikom obnove postrojenja,ugrađeni su novi sustavi za čišćenje dimnih plinova,proces denitrifikacije kao i postrojenje za uništenje dioksina.

Istovremeno uređenje vanjskog dijela je povjereno poznatom arhitektu i umjetniku Friedensreichu Hundertwasseru,čije uređenje fasade još danas daje prepoznatljiv izgled spalionici. Od tada Spittelau je postao sastavni dio grada,zanimljiv i sve većem broju turista.

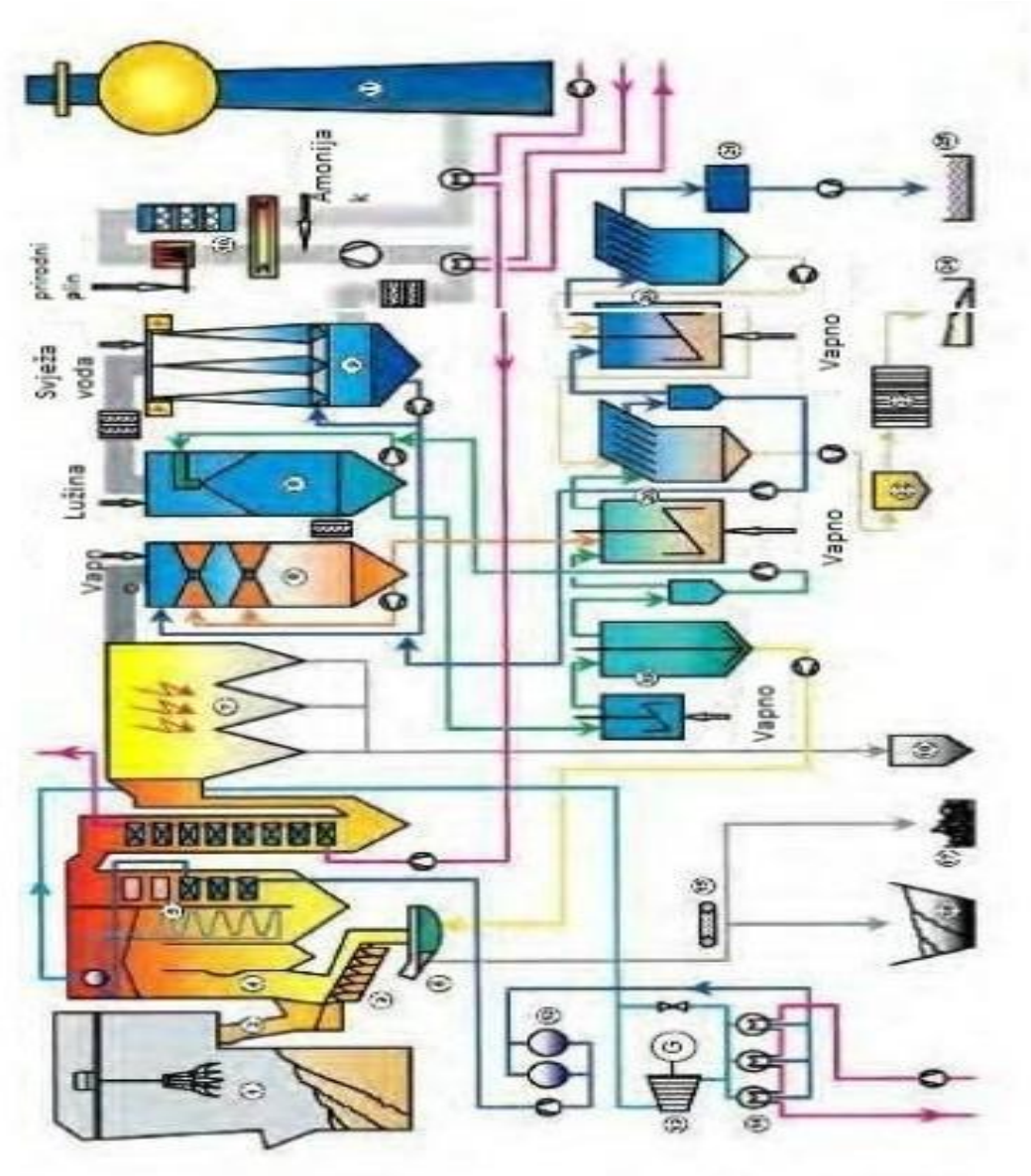
Godine 2001. sklopljeno je partnerstvo između spalionica Spittelau i Maishima Osaka Plant (MOP)-koja je kasnije također uljepšana od strane F.Hundertwassera. [23] [24]

Svrha partnerstva je razmjena informacija glede:

- operativnog upravljanja (ponovno korištenje energije,gospodarenje otpadom)
- operativnog iskustva s različitim tehnologijama
- javnosti
- prenositi Hundertwasserove ideje i vizije na buduće naraštaje.

4.2 Opći podaci spalionice

U nastavku će biti dani shema postrojenja,tehnički podaci spalionice te energetska i masena bilanca po toni obrađenog smeća.



Slika 13. Shema postrojenja spalionice [24]

1. Spremnik otpad
2. Dovodni lijevak
3. Rešetka
4. Komora za izgaranje
5. Komora za predgrijavanje
6. Odstranjivač mokre šljake

7. Elektrostatički filter
8. Mokro odstranjivanje plinova
9. Odvajanje čestica prašine
10. SCR deNOx sustav
11. Dimnjak
12. Napajanje spremnika vode
13. Turbina i generator
14. Izmjenjivač topline
15. Elektromagnetski odvajač
16. Spremnik pepela
17. Spremnik šljake
18. Spremnik za komadiće metala
19. Postrojenje za recikliranje
20. Postrojenje za obradu otpadnih voda
21. Filter komore
22. Spremnik čiste vode
23. Spremnik za mulj
24. Spremnik nečistoća s filtera
25. Povrat rashladne vode

U nastavku je dana tablica s tehničkim podacima spalionice.

Tablica 4. Tehnički podaci spalionice [25]

Uređaji za vaganje	Vage,broj:	2
Spremnik otpada	Kapacitet : Točke izvrtanja:	7,000 m^3 8
Punjenje komore za izgaranje	Dizalica s hvataljkama,broj: Kapacitet hvataljke:	2 4 m^3
Rešetka	Dvije naizmjenične rešetke, hlađene zrakom Duljina rešetke: Širina rešetke: Nagib:	 7.5 m 4.6 m 26 °

Izgaranje	Broj linija za izgaranje: Maksimalna propusnost po liniji:	2 18 t/h
Komora za izgaranje	Toplinski učinak goriva po liniji: Toplinska vrijednost otpada: Osnovni grijač zraka:	41.1 MW 8,200-9,600kJ/kg 180 °C
Uklanjanje šljake	Vlažni uklanjač šljake Kapacitet uklanjača šljake:	5 m^3
Kotao	Maksimalna proizvodnja pare po liniji: Maksimalani radni tlak: Maksimalna radna temperatura Grijača površina:	44t/h (zas.para) 34 bar 245 °C 2,420 m^2
Turbina i generator	Maksimalna izlazna snaga: Povratni tlak:	6.4 MW 4.5 bar
Čišćenje dimnih plinova	Broj linija: Volumen dimnih plinova po liniji:	2 (deNOx) 85,000 sm^3/hr
Elektrostatički filteri (taložnici)	Radni napon: Učinkovitost odvajanja prašine:	60 kV > 99.5 %
Uklanjanje dioksina i dušikovih oksida	SCR katalizator,broj sustava: Radna temperatura: Postotak odvajanja Nox: Postotak odvajanja dioksina:	3 245 °C >95% >95%

Mokri skrubing dimnih plinova	**1.faza** Dizajn: Apsorpcijska sredstva: Postotak odvajanja HCl: **2.faza** Dizajn: Apsorpcijska sredstva: Postotak odvajanja SO_2	Odvajanje HCl,HF,prašine Križni skruber Voda/vapno >98 % Protustrujni skruber Natrijev hidroksid >98%
Dimnjak	Dizajn: Visina: Promjer:	Čelik/cigla 126m 2.5 m

Prijem otpada,skladištenje i opskrba otpadom postrojenja

U spalionicu se prima uglavnom kruti komunalni otpad te komercijalni otpad.Prikupljanje otpada vrši se s ukupno 250 specijaliziranih vozila od ponedjeljka do petka u vremenu od 7-15h. Vozila prolaze jednom od ukupno dvije vage prije nego se iskrcava otpad u spremnik od 7,000 m^3 na jednoj od ukupno osam prihvatnih stanica.Zapremnina je dovoljna za skladištenje otpada unutar tri dana.Otpad,koji se razvrstava ponajviše obzirom na ogrijevnu vrijednost,transportira se na jednu od dvije linije za spaljivanje s hvataljkama čija je zapremnina 4 m^3 .
Potreban svježi zrak za izgaranje održava se u stalnom vakuumu kako bi se smanjili neugodni mirisi i prašina koji odlaze u okolni zrak. [25]

Izgaranje otpada

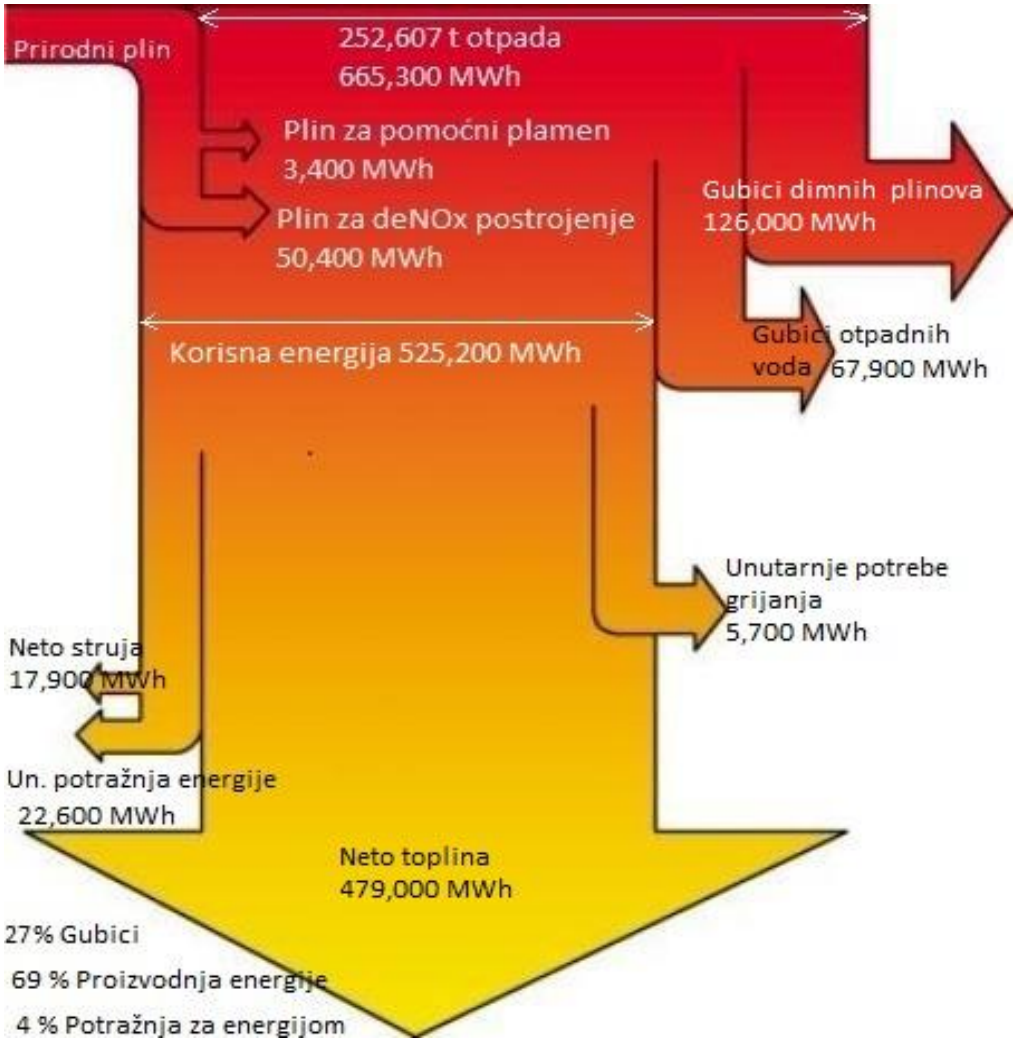
Izgaranje se provodi pomoću dvije linije za spaljivanje,a svaka je opremljena sustavom za obradu dimnih plinova,SCR-deNOx sustavom te sustavom za uništenje dioksina.To je povezano s postrojenjem za obradu otpadnih voda iz skrubera.Otpad iz spremnika do rešetke putuje žljebom peći.Kapacitet otpada koji se može termički obraditi je do 17 tona po satu. Predgrijani zrak (180 °C) ubrizgava se ispod rešetke,dok se sekundarni zrak za izgaranje ubrizgava sa strane komore za izgaranje da se omogući što bolje izgaranje organskih tvari u otpadu,odnosno u dimnim plinovima.

Tijekom faze uključivanja i isključivanja dva plinska plamenika,snage 9 MW, osiguravaju potrebnu temperaturu komore za izgaranje i time dovoljno izgaranje dimnih plinova sukladno pravilima koja propisuje zakon. U normalnom radu,upotreba plinskih plamenika nije potrebna jer je ogrijevna moć otpada od 9,500 kJ/kg više nego dovoljna za samozapaljenje.

Dimnim plinovima temperature 850 °C prenosi se toplina na kotao s svježom vodom.Pri radu obje linije za spaljivanje otpada,moguće je proizvesti 90 tona zasićene pare tlaka 34 bara,po satu. Tijekom proizvodnje električne energije tlak u turbini se podešava na 4.5 bara,nakon čega se toplina pri niskom tlaku prenosi pomoću toplinske mreže,te nakon kondenzacije vraća natrag u sustav. [25]

Proizvodnja energije

Prosječno,u jednoj godini troši se oko 6 MW za bazično opterećenje postrojenja,kao i 60 MW toplinske energije za grijanje.Ova količina energije je jednaka ekvivalentu grijanja prostora otprilike 60,000 stanove površine 80 kvadrata. [25]



Slika 14. Godišnja energetska bilanca spalionice [24]

Slika iznad pokazuje nam energetsku bilancu spalionice,gdje možemo vidjeti raspodjelu energije,odnosno gdje je i na koje načine gubi energija.Kao što se može vidjeti dio gubitaka odnosi se na gubitke u dimnih plinovima,kao i gubici u otpadnim vodama.Gubici u ukupnoj bilanci zauzimaju 27%,dok spalionica za svoju,internu,uporabu kao što je električna energija,grijanje koristi 4 % ukupne energije. Neto toplina koju dobivamo je 479,000 MWh,dok je ukupna energija koju dobivamo spaljivanjem 252,607 tona otpada 665,300 MWh,iz čega proizlazi da dobivamo preko 70 % energije za vanjsku upotrebu.

Tablica 5. Energetska i masena bilanca po toni otpada [25]

Ulazni podaci za 1 tonu otpada	
Zahtijevana toplina (dobivena iz postrojenja)	25 kWh
Zahtijevana snaga (dobivena iz postrojenja)	90 kWh
Potreban prirodni plin	20 m^3
Potrebna svježa voda	746 litara
Utrošeno vapno	2.6 kg
Utrošak otopine,natrijev hidroksid,30 %	2.4 kg
Utrošak amonijaka,25 %	3.0 kg
Utrošak padalina	0.2 kg
Izlazni podaci za 1 tonu otpada	
Izlazna toplina	1,896 kWh
Izlazna snaga	34 kwH
Šljaka i gips	205 kg
Željezna šljaka	22 kg
Filter pepela	17 kg
Filter blata	1 kg
Očišćeno otpadnih voda	357 litara

Tablica iznad daje nam podatak što je potrebno prilikom spaljivanja otpada (dano po 1 toni) te što dobivamo kao produkt izgaranja tog otpada.Iz tablice se može vidjeti da je,osim samog otpada,naravno potreba i toplina i snaga za izgaranje ,ali i svježa voda,amonijak,natrijev hidroksid, dok kod izlaznih podataka,dobivamo snagu i toplinu,ali i nuprodukt kao što je šljaka i pepeo.

4.3 Čišćenje dimnih plinova

Jedno od bitnijih pitanja kada se spominju spalionice otpada je utjecaj dimnih plinova na okoliš.Unazad 30 godina,u čemu je među prvima bila upravo spalionica Spittelau,jako mnogo je urađeno da se udio pojedinih,štetnih elemata u dimnih plinovima smanji i ispod zakonima propisanih udjela,tako da spalionice otpada sasvim sigurno ne predstavljaju bitan problem u onečišćenju zraka,a pogotovo ne onoliko koliko se prikazuje u javnosti.

Spalionica Spittelau je već 1971.godine imala visokoučinkovite elektrostatske taložnike za čišćenje dimnih plinova,ali je 1986. to prošireno drugom fazom,skruberom (ispiračem) dimnih plinova s odvajačem prašine. Opremanjem postrojenja s SCR-deNOx sustavom 1989.,Spittelau je postala predvodnik u čišćenju dimnih plinova. Vrijednosti su bile značajno niže od graničnih vrijednosti za parne toplane propisane godinu raznije austrijskim pravilnicima.

Dimni plinovi napuštaju prvi izmjenjivač topline pri temperaturi od 180 °C,te se prvo pročišćuju u tro-stupanjskom elektrostatskom taložniku na udio prašine < 5 mg/Nm^3.
Sa filtera se pepeo mehaničko-pneumatskim sustavom prenosi u spremnik zapremnine 125 m^3.

Nakon toga dimni plinovi ulaze u prigušivač prvog skrubera te se uz pomoć raspršivanjem kapljica vode,hlade do temperature zasićenja (60-65 °C). Prvi skruber radi pri pH vrijednosti 1,te uklanja klorovodik (HCl),fluorovodik (HF) i prašinu,te čestice i plinove teških metala postupkom kontakta između plina i otapala.

Drugi mokri skruber je konstruiran kao protustrujni skruber i radi pri vrijednosti od pH 7. to rezultira uspješnom apsorpcijom sumporovog dioksida (SO_2) iz dimnih plinova.

U sljedećoj fazi čišćenja (elektrodinamička Venturijeva cijev) adijabatskom ekspanzijom plinova,elektrodom se prikupljaju sitne čestice prašine te se udio prašine smanjuje na vrijednost < 1 mg/Nm^3 . Sljedeći izmjenjivač zagrijava plinove na 105 °C te dolazi do deNOx-a i uništavanja dioksina.

DeNOx sustav (izdvajanje dušikovog oksida) je posljednja faza čišćenja dimnih plinova i upotrebljava se selektivna katalitička redukcija (SCR). Dimni plinovi se miješaju vodenom otopinom (NH_3) i zagrijavaju se pomoću plamenika na temperaturu reakcije koja iznosi 280 °C.

Prolazeći kroz tri faze u katalizatoru,dušični oksid (Nox) reagira s dodatkom amonijaka i kisika u obliku dušika i pare.Krajnji ispušni plinovi se hlade na 130 °C u trećem izmjenjivaču topline i konačno ispuštaju u atmosferu iz 126 m visokog dimnjaka.

Skladištenje pepela

Godišnje ostaje oko 60,000 t pepela i šljake.Pepeo i šljaka,ispušteni na kraju rešetke se hlade i po pokretnoj traci transportiraju u spremnik gdje se elektromagnetima skuplja željezna šljaka.Oko 6,000 t šljake se svake godine reciklira.

4.4 Učinak na okoliš

Emisije u zrak

Kontinuirano praćenje se provodi za vrijednosti emisije ugljičnog monoksida,sumporovog dioksida,dušikovog oksida,klorovodika,prašine i ugljikovodika u pročišćenim dimnim plinovima. Podaci su dostupni građanima preko agencije za okoliš Grada Beča,i te vrijednosti su daleko ispod graničnih vrijednosti propisanih Zakonom o kontroli zagađenja zraka.

Sa svojim standardom glede čišćenja dimnih plinova i zamjenom primarnih izvora energije kao npr. plin ili loživo ulje s otpadom poboljšala se kvaliteta zraka u Beču. [25]

Izmjerene vrijednosti,Spittelau

Listopad,2015

	Prosjek kroz pola sata (HMW)			Ograničenja (HMW)	Prosjek kroz dan (TMW)			Ograničenja (TMW)
	min.	max.	prosjek		min.	max.	prosjek	
CO	0,0	19,3	3,6	100,0	0,5	9,2	3,6	45,0
Corg.	0,1	1,8	0,3	10,0	0,1	0,9	0,3	9,0
HCl	0,0	0,7	0,3	10,0	0,1	0,6	0,3	10,0
NO_2	4,4	46,1	35,0	70,0	27,9	39,8	35,0	65,0
SO_2	0,2	1,5	0,8	40,0	0,3	1,2	0,8	35,0
Prašina	0,8	3,6	1,2	10,0	1,0	1,3	1,2	9,0

Slika 15. Izmjerene vrijednosti dimnih plinova spalionice [24]

Emisije u vodu

Višestupanjsko postrojenje obrađuje sve otpadne vode ispuštene iz sustava mokrog skrubinga (ispiranja) dimnih plinova.Nakon čega se vraćaju u kanal (Dunav). Uz dodatak vapna,specijalnih taložnika i flokulanata izlučuju se teški metali. Kontrolira se temperatura,PH vrijednost i vodljivost proćišćene vode.
Višestupanjsko postrojenje za reciklažu obrađuje natrijev sulfat iz drugog skrubera.Otopina natrijevog hidroksida se vraća nakon procesa taloženja u drugi skruber. [25]

Emisije u zemlju

Kruti ostaci termičke obrade otpada su šljaka,željezni otpad,pepeo i blato s filtera.Omjer ostataka prema spaljenom otpadu je ¼,odnosno 250 kg ostataka po toni otpada.Nakon što je šljaka uklonjena,ostatak je prosijan,oslobođen željeznih otpadaka te pomiješan s vodom i cementom,te se koristi kao beton od šljake koji s eluatom doprinosi oblikovanju ovojnice za za zaštitu pitke vode.

Željezni otpadci prethodno odvojeni od sirove šljake u postrojenu se vraćaju u ciklus proizvodnje čelika.Ostaci iz postrojenja za obradu otpadnih voda,blato s filtera i pepeo se transportiraju vlakom u napuštene rudnike soli. [25]

5. EKONOMSKA ANALIZA ISPLATIVOSTI SPALIONICE U ZAGREBU

U ovoj analizi,na početku,biti će korišteni podaci postrojenja koji su izgrađeni unazad 15-ak godina.Kako su podaci samih troškova izgradnje teško dostupni,ova analiza će se zasnivati na podacima vezanim za šest postrojenja,radi bolje predodžbe, iz EU. Bez obzira na manji broj,metodom najmanjih kvadrata, doći će se do kvalitetnih i točnih funkcija,s kojima će se provesti daljnja ekonomska analiza spalionice otpada u Zagrebu.

5.1 Analiza i usporedba na temelju sakupljenih podataka

U ovom dijelu biti će data analiza i usporedba podataka glede investicijskih troškova,troškova održavanja,učinkovitosti pogona i sl. u odnosu na veličinu postrojenja,te će se na temelju tih podataka doći do potrebnih funkcija.
Uzevši u obzir te podatke,s obzirom na kapacitet postrojenja spalionice u Zagrebu od 230.000 tona otpada godišnje,ovo postrojenje se izvodi s izgaranjem otpada na rešetci.

5.1.1 Investicijski troškovi postrojenja

Investicijski troškovi u distribucijskoj mreži toplinskog sustava se sastoje od troškova nabave cijevi i troškova povezanih za njeno postavljanje. Osim troškova same mreže tu su još i troškovi pumpi za osiguravanje prisilne cirkulacije medija te podstanice koje služe da transformiraju toplinsku energiju viših parametara, koja se distribuira cjevovodima, u toplinsku energiju temperaturnog nivoa potrebnog za zadovoljavanje potreba krajnjeg korisnika.Također ovi navedeni dijelovi mogu se smatrati dijelom investicije u samo postrojenje za dobavu energije ili trošak budućeg kupca toplinske energije.

Investicijski troškovi distribucijske mreže se mogu prikazati kao trošak po dužnom metru mreže ili kao trošak po toplinskom kapacitetu mreže.[28]

U nastavku su navedeni podaci potrebni za daljni račun,kao i njihov izvor,ali su za bolju predodžbu iznosi svedeni na specifične vrijednosti po toni otpada.

Tablica 6. Prikaz investicijskih troškova postrojenja

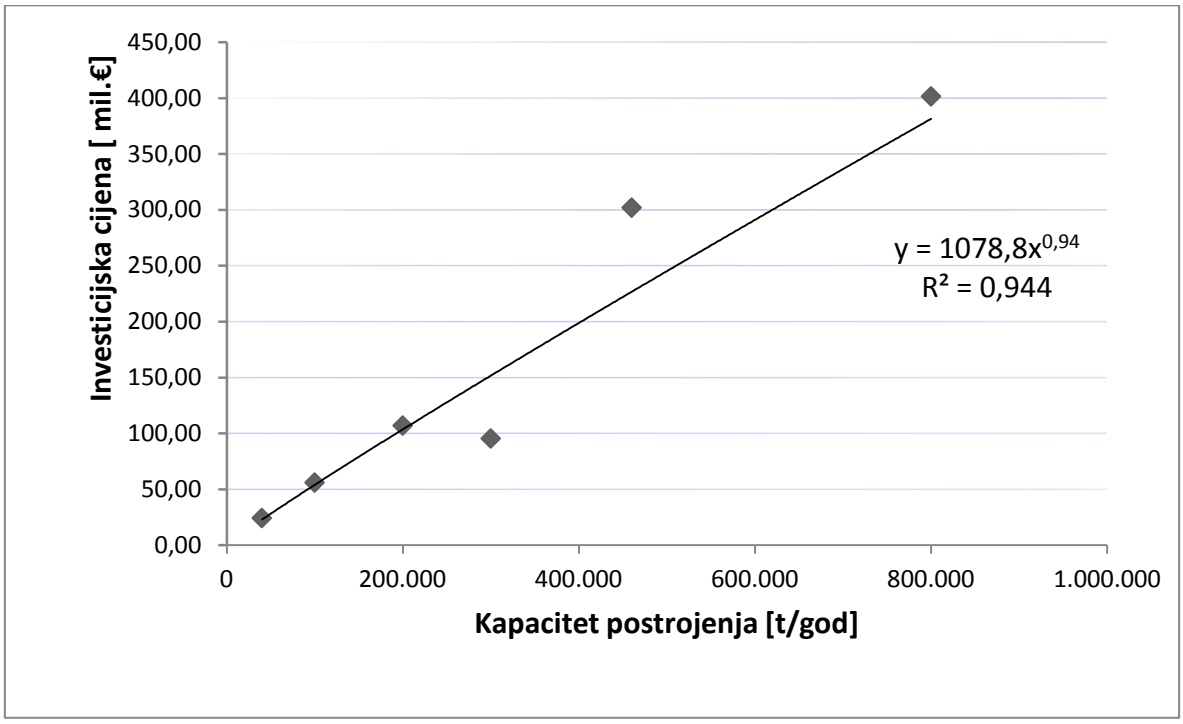
Kapacitet [t_{otp}/god]	Godina izgradnje	Investicijska cijena [€]	Specifična investicija [€/t]	Izvor
40.000	2006.	24.248.000,00	606,20	[34]
100.000	2010.	56.000.000,00	560,00	[32]
200.000	2001.	107.000.000,00	535,00	[30],[31]
300.000	2006.	95.437.000,00	318,12	[34]
460.000	2007.	302.000.000,00	656,52	[27]
800.000	2004.	401.570.000,00	501,96	[27]

Kako bi se iznosi troškova prikazali što preciznije,s obzirom da se godine izgradnje razlikuju,a time i vrijednost novca, uzima se u obzir inflacija te će svim troškovima biti pridodana vrijednost, tj. Biti će uračunata inflacija,a kao refernentna godina,uzima se godina ovog rad 2016. Uvećani iznosi su prikazani za stopu inflacije u državi u kojoj se postrojenje nalazi,te su isti navedeni u Tablici 7., gdje je uz današnju vrijednost investicije izražena i specifični trošak investicije po toni za lakše uspoređivanje.

Tablica 7. Prikaz investicijskih troškova postrojenja svedenih na 2016.godinu

Kapacitet [t_{otp}/god]	Godina izgradnje	Investicijska vrijednost 2016. [€]	Specifična investicija 2016. [€ /t]
40.000	2006.	27.873.076,00	696,83
100.000	2010.	59.785.600,00	597,86
200.000	2001.	136.960.000,00	684,80
300.000	2006.	109.704.831,00	365,68
460.000	2007.	338.686.200,00	736,27
800.000	2004.	481.884.000,00	602,36

Na Slici 16. možemo vidjeti dijagram koji prikazuje trend kretanja investicijske cijene u funkciji kretanja kapaciteta postrojenja.



Slika 16. Ovisnost investicijskih troškova o veličini postrojenja

U prethodnom dijagramu se primjećuje da investicijska cijena najbolje prati kapacitet postrojenja po gore navedenoj krivulji,čija je jednadžba data s (1) :

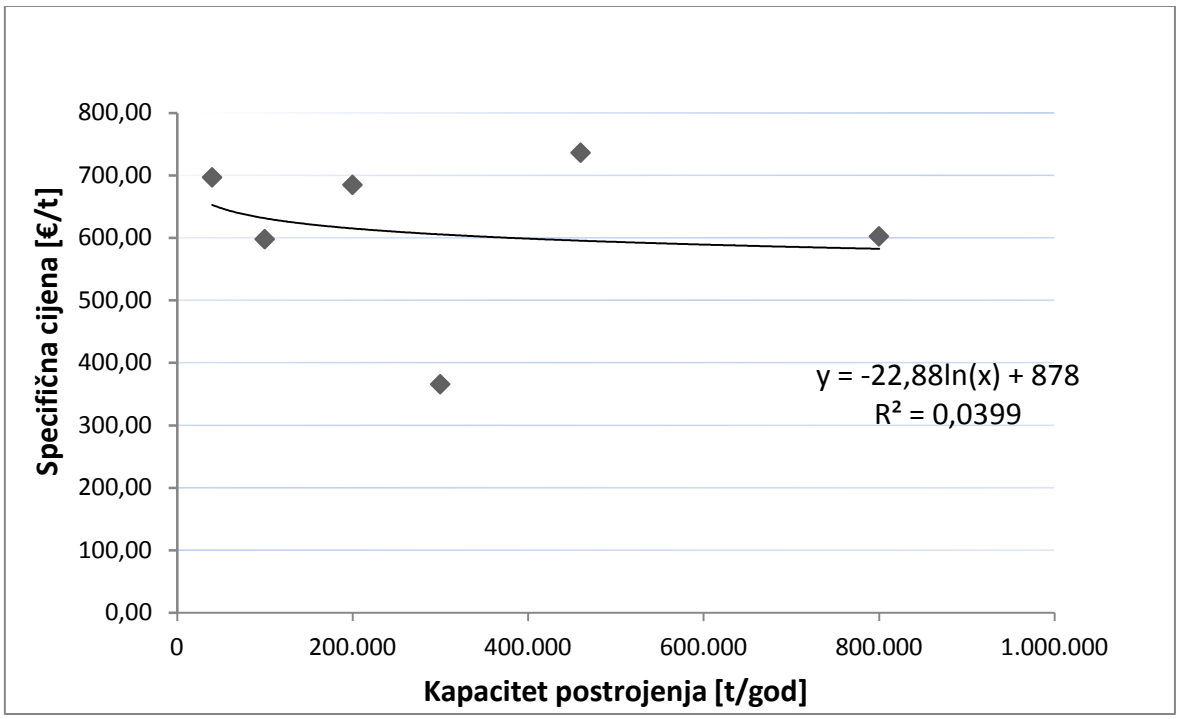
$$K_{inv} = 1078,8 \times k_0^{0,94} \quad (1)$$

gdje je :

K_{inv} ...iznos investicije [€]

k_o ....godišnji kapacitet otpada [t/god]

Ova je funkcija određena linearnom regresijom (metodom najmanjih kvadrata) kojom su aproksimirane zadane vrijednosti u prethodnoj tablici.
Kao što je to gore urađeno u tablici,investicijski troškovi moguće je svesti na specifične investicijske troškove tako da se podijele s ukupnim godišnjim kapacitetom postrojenja,te s s podacima iz Tablice 7. Dobiva dijagram prikazan na Slici 17.



Slika 17. Ovisnost specifičnih investicijskih troškova o veličini postrojenja

Iako je na gornjem dijagramu dosta veliko rasipanje,koje bi se moglo smanjiti s više unešenih vrijednosti,ove vrijednosti približno su aproksimirane logaritamskom funkcijom i mogu se koristi u daljnjem proračunu.Jednadžba aproksimirane logaritamske funkcije koja je data s (2):

$$k_{inv} = -22{,}88 \times \ln(k_o) + 878 \qquad (2)$$

gdje je :

k_{inv} ...iznos investicije [$€/t$]

k_o ....godišnji kapacitet otpada [t/god]

Ova je jednadžba također određena metodom najmanjih kvadrata.

5.1.2 Operativni troškovi i troškovi održavanja postrojenja

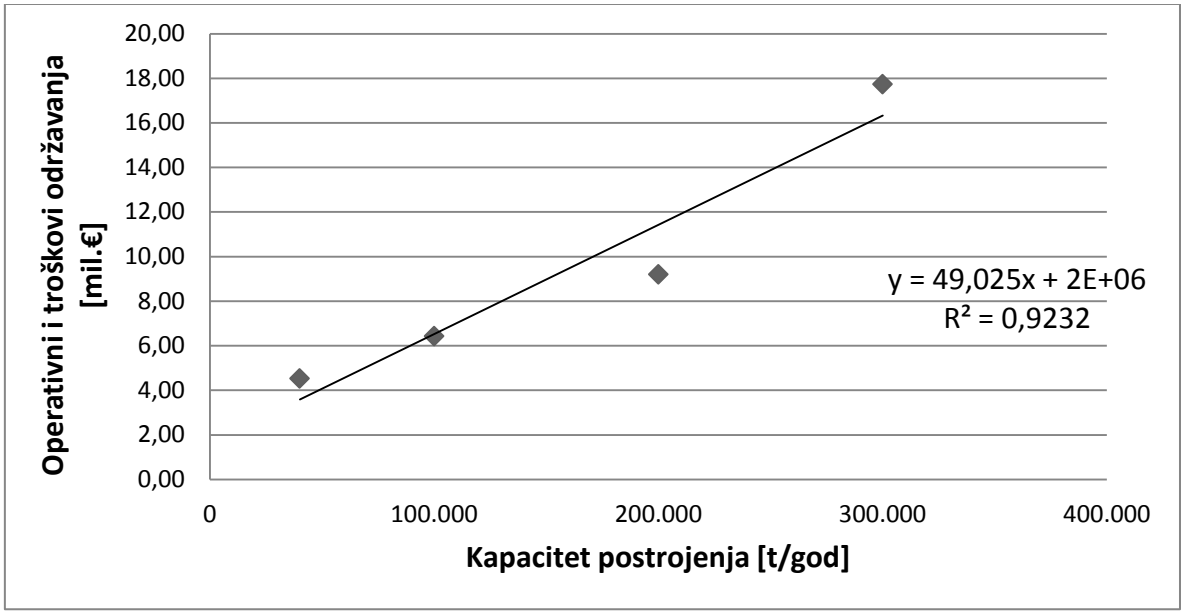
U operativne troškove ubrajamo troškove električne energije za pogon cirkulacijskih pumpi koje služe za održavanje prisilne cirkulacije medija u cjevovdima. U studijama se stalni (fiksni) troškovi procjenjuju u iznosu od 0,5 % investicijske cijene mreže,dok se računa s potrošnjom električne energije od 8 kWh_e/MWh_t za decentralizirane sustave,pa do 12 kWh_e/MWh_t za centralizirane sustave. Još postoji gubitak vode u sustavu koji se nadoknađuje svježom vodom. [28]

Sljedeća vrsta troškova koji ulaze u analizu su operativni troškovi te troškovi održavanja,te su oni prikazani u apsolutnom obliku i u obliku specifične vrijednosti po toni otpada.Kao što se može vidjeti,ovisno o kapacitetu postrojenja specifične vrijednosti troškova se kreću od 46 €/t ,pa do 113,20 €/t. Usporedni prikaz navednih veličini moguće je vidjeti u Tablici 8.

Tablica 8. Prikaz operativnih troškova i troškova održavanja postrojenja

Kapacitet [t_{otp}/god]	Operativni troškovi i troškovi održavanja [€]	Specifični operativni i troškovi održavanja [€/t]	Izvor
40.000	4.528.021,00	113,20	[34]
100.000	6.427.360,00	64,27	[32]
200.000	9.200.000,00	46,00	[30],[31]
300.000	17.734.043,00	59,11	[34]

Kao i u prethodnim slučajevima,vrijednosti operativnih troškova i troškova održavanja u funkciji kapaciteta postrojenja prikazani su u dijagramu na Slici 18.



Slika 18. Ovisnost operativnih troškova i troškova održavanja o veličini postrojenja

Iako je broj dostupnih podataka malen,svega četiri,vidimo da porast operativnih troškova u ovisnost o kapacitetu postrojenja je aproksimiran,upotrebom metode najmanjih kvadrata,linearnom funkcijom koja je data s (3):

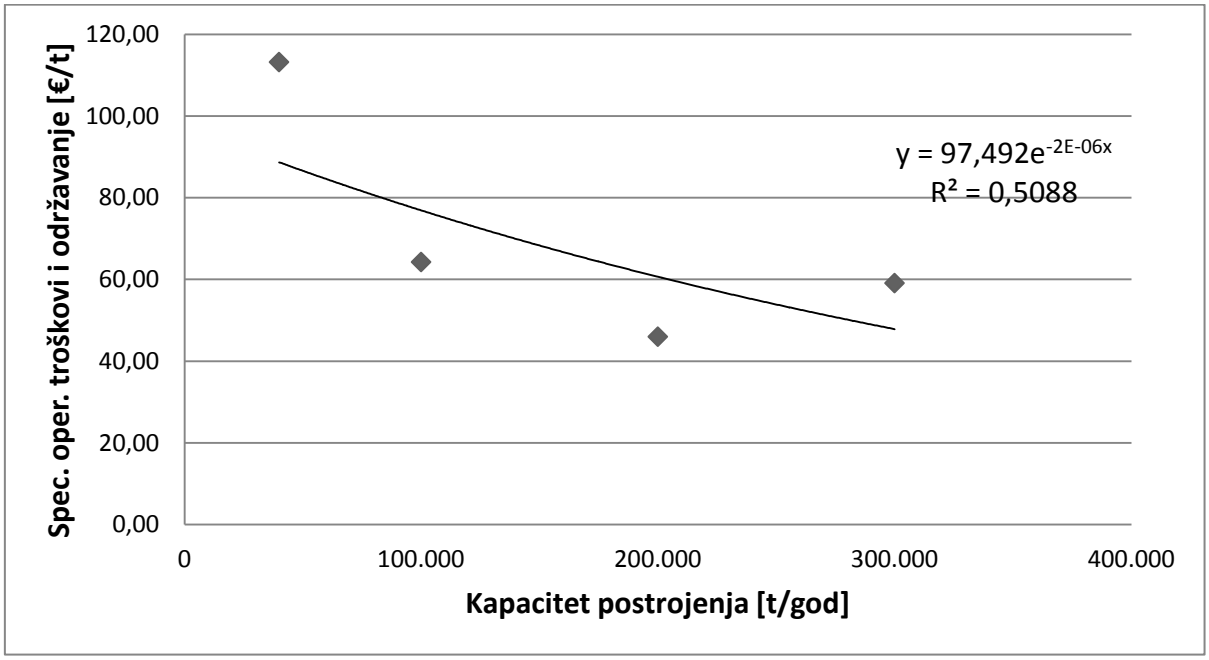
$$K_{oio} = 49{,}025 \times k_o + 2 \times 10^6 \qquad (3)$$

gdje je :

K_{oio} ...iznos operativnih troškova i troškova održavanja [€]

k_o ....godišnji kapacitet otpada [t/god]

Ukoliko se,kao i u prethodnim slučajevima,operativne troškove i troškove održavanja svedemo na specifične vrijednosti, te podijelimo s godišnjim kapacitetom postrojenja dobiti ćemo vrijednosti izračunate u Tablici 8., a koje se mogu prikazati u sljedećem dijagramu na Slici 19.



Slika 19. Ovisnost specifičnih operativnih troškova i troškova održavanja o veličini postrojenja

U gore danom dijagramu,može se uočiti malo veće rasipanje.Naravno,bio bi bolji veći broj dostupnih podataka,međutim vlasnici postrojenja ih ne objavljuju. Međutim,i iz raspoloživih podataka,a uz metodu najmanjih kvadrata došlo se je do funkcije koja dovoljno dobro aproksimira trend smanjenja operativnih troškova i troškovanja održavanja kako raste godišnji kapacitet postrojenja.Dobivena funkcija dobivena kao aproksimativna je eksponencijalna funkcija i data je s (4).

$$k_{oio} = 97{,}492 \times e^{-2E\text{-}06 \times ko} \qquad (4)$$

gdje je :

k_{oio} ...iznos specifičnih operativnih troškova i troškova održavanja [$€/t$]

k_o ....godišnji kapacitet otpada [t/god]

5.1.3 Učinkovitost postrojenja

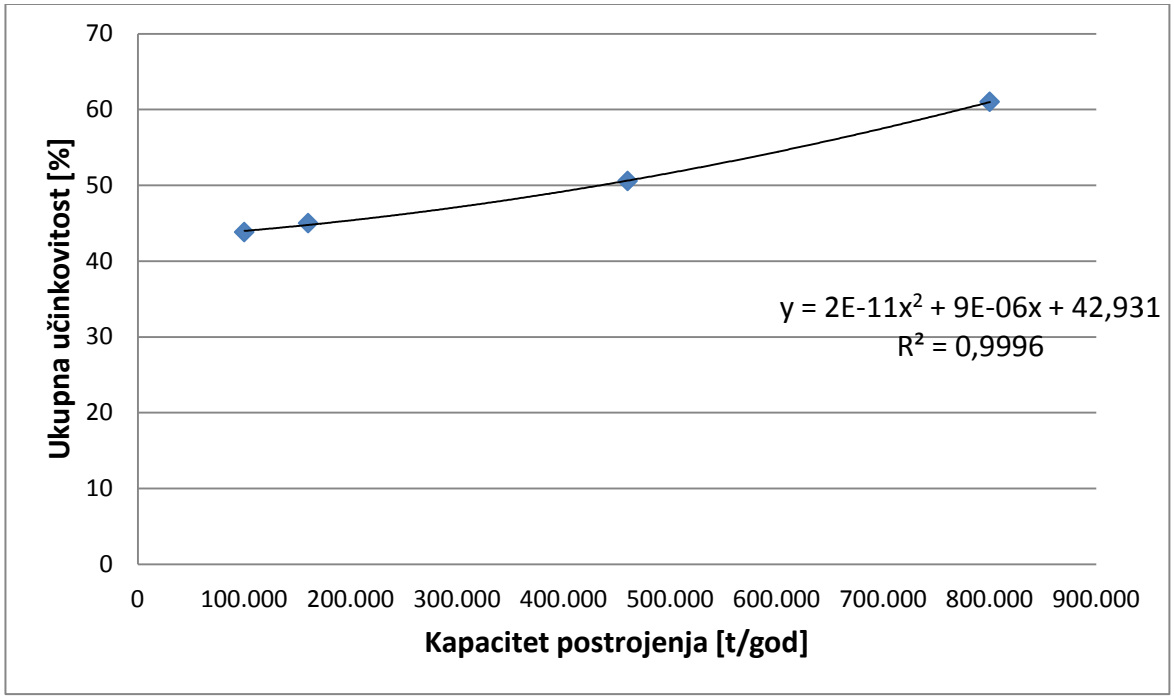
Da bi se mogla dati bilo kakva ocjena postrojenja potrebno je poznavati učinkovitost energetske pretvorbe energije goriva koju omogućava.S obzirom da je učinkovistost svake parnoturbinskog postrojenja ovisi o parametrima pare na ulazu u turbinu,može se uzeti kao prepostavka da će učinkovitost energetske pretvorbe rasti s kapacitetom postrojenja.

Obzirom da su prema dostupnim izvorima podaci za učinkovitost postrojenja za spalionice otpada rijetko eksplicitno navedene,te su stoga za potrebe ovog rada izračunate iz godišnje količine toplinske energije unesene gorivom (otpadom) te godišnjim proizvedenim količinama električne i toplinske energije. Kako se može vidjeti u tablici ispod,učinkovitosti postrojenja se kreću od 43,82 % do 61,01 %,a ovisi o kapacitetu postrojenja. Usporedni prikaz učinkovistosti postrojenja prikazan je u Tablici 9. [28]

Tablica 9. Prikaz ukupnih učinkovitosti postrojenja

Kapacitet [t_{otp}/god]	Godina izgradnje	Ukupna učinkovitost postrojenja [%]	Izvor
800.000	2004.	61,01	[27]
460.000	2007.	50,56	[27]
160.000	1999.	45	[27]
100.000	2010.	43,82	[32]

Kako bi mogli doći do funkcije koja najbolje opisuje trend kretanja ukupne učinkovitosti postrojenja u ovisnosti s kapacitetom postrojenja,potrebno je napraviti dijagram prikazan na Slici 20.



Slika 20. Ovisnost ukupne učinkovitosti o veličini postrojenja

Možemo vidjeti da,iako ima malo dostupnih podataka, u gore prikazanom dijagramu ne postoji veliko rasipanje između podataka,te trend ovisnosti ukupne učinkovitosti postrojenja o veličini postrojenja slijedi trend koji je odlično aproksimiran polinomom drugog reda,čija je jednadžba data s (5):

$$\eta uk = 2 \times 10^{-11} \times k_o{}^2 + 9 \times 10^{-6} \times k_o + 42{,}931 \qquad (5)$$

gdje je :

ηuk ...ukupna učinkovitost postrojenja [%]

k_o ....godišnji kapacitet otpada [t/god]

5.2 Spalionica otpada u Zagrebu

Ovaj proračun uzima u obzir količinu otpada koju će biti potrebno zbrinuti po zatvaranju odlagališta otpada Prudinec u naselju Jakuševec 2018.godine,a koja na godišnjoj razini iznosi cca. 222.000 tona komunalnog otpada koji se prikuplja na području Grada Zagreba. Upravo zbog toga potrebno je bilo osmisliti prihvatljivije rješenje ovog problema,te je planirana tehnologija za rješavanje ovog problema termička obrada otpada, i ovaj rad se baziran na toj vrsti postrojenja.

U ovome radu računati će se s veličinom postrojenja godišnjeg kapaciteta otpada od 230.000 tona miješanog komunalnog otpada. Uzevši u obzir smanjenje broja stanovnika Republike Hrvatske,uz eventualn mali trenutni prirast u Zagrebu,a koji će se kompenzirati politikom odvajanja otpada tj. Smanjenjem miješanog komunalnog otpada,nije potrebno razmatrati veće postrojenje.

Uzimajući u obzir prethodne podatke za već izgrađenea postrojenja u EU,moguće je temeljem prethodno dobivenih jednadžbi doći do svih parametara za ekonomsku analizu spalionice.Potrebne vrijednosti postrojenja dane su u Tablici 10. [28]

Tablica 10. Izračunate potrebne vrijednosti za postrojenje

Kapacitet-k_o [t_{otp}/god]	Jednadžba	Specifični investicijski trošak-k_{inv} [€ /t]
230.000	k_{inv} = -22,88 x ln (ko) + 878	595,53

Kapacitet-k_o [t_{otp}/god]	Jednadžba	Specifični oper. trošak i održavanje-k_{ioi} [€ /t]
230.000	k_{oio} = 97,492 × $e^{-2E-06 \times ko}$	61,55

Kapacitet-k_o [t_{otp}/god]	Jednadžba	Ukupna učinkovitost -η_{uk} [%]
230.000	$\eta_{uk} = 2 \times 10^{-11} \times k_o^{\ 2} + 9 \times 10^{-6} \times k_o +$ 42,93	46,06

S obzirom da u kogeneraciji odnos između proizvodnje električne i toplinske energije nije definiran,uzeta je za potrebe ovog rada srednja vrijednost iz dosadašnjih postrojenja i ona iznosi 0,53. Uz ovaj odnos te ukupnu učinkovitost postrojenja moguće je izračunati zasebne vrijednosti toplinske i električne učinkovitosti. U ovom slučaju je toplinska učinkovitost 30,18 %,a električna učinkovitost 15,87 %. Uz ukupni godišnji broj sati i donju ogrijevnu vrijednost goriva od 10 MJ/kg dolazi se do svih podataka za ekonomsku analizu postrojenja.Podaci su dani u Tablici 11. [28]

Tablica 11. Tehno-ekonomski podaci za postrojenje

Kapacitet postrojenja [t_{otp} /god]	230.000,00
Specifični investicijski trošak [€/t]	595,527
Specifični operativni trošak i održavanje [€/t]	61,55
Ukupni stupanj učinkovitosti (η_{uk}) [%]	46,06
Odnos električne i toplinske energije	0,53
Toplinska učinkovitost (η_t) [%]	30,18
Električna učinkovitost (η_e) [%]	15,87
Ukupni broj sati rada godišnje	7.500
Donja ogrjevna vrijednost otpada (H_d) [MJ/kg]	10
Toplinski kapacitet ložišta [MW_t]	85,19
Ukupna snaga [MW_{uk}]	39,23
Toplinska snaga [MW_t]	25,71
Električna snaga [MW_t]	13,52
Energija unesena gorivom [MWh/god]	638.888,89
Proizvedena toplinska energija [MWh/god]	192.846,05
Proizvedena električna energija [MWh/god]	101.413,40
Iznos investicije [€]	136.971.210,00
Godišnji operativni trošak [€]	14.156.500,00

5.3 Ekonomska analiza

U ovom dijelu biti će dana ekonomska analiza postrojenja koja će se zasnivati na izračunu unutarnje stope povrata (eng. Internal rate of return (IRR)). Unutarnja stopa povrata definira se kao ona diskontna stopa koja neto sadašnju vrijednost svodi na nulu. [35]

5.3.1 Izračun unutarnje stope povrata

Ovo postrojenje najveći dio prihoda ostvaruje kroz nakandau za zbrinjavanje otpada (eng. gate fee) te prodajom toplinske i električne energije u eenrgetske sustave.S obzirom da se nakande za zbrinjavanje otpada razlikuju ovosno o zemljama EU,te se kreću od 46 €/t do 174 €/t [36],a u ovome radu biti će uzeta srednja vrijednost od 110 €/t. Kao cijena toplinske i električne energije je uzet iznos izračunat temeljem vrijednosti iz cjenika HEP-Toplinarstva d.o.o (Slika 21.). Za rad je uzeta vrijednost izračunata iz tarifne stavke energija za kućanstva i industriju i poslovne potrošače čiji je doprinos konačnoj cijeni jednak udjelu pojedinog sektora u ukupnoj potrošnji energije u CTS Zagreb [37]. Cijena otkupa električne energije je određena prema Tarifnom sustavu za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije [38]. Prema Tarifnom sustavu, s obzirom da je ukupna učinkovitost energetske pretvorbe ispod 50% upotrebljava se referentna cijena električne energije "RC" čiji je iznos definiran kao "cijena jednaka iznosu važeće tarifne stavke za radnu energiju po jedinstvenoj dnevnoj tarifi za opskrbu električnom energijom u okviru univerzalne usluge, tarifni model Plavi čiji je iznos određen člankom 39. stavkom 2. točkom 1.". Period na koji se potpisuje ugovor o otkupu električne energije po ovim tarifama je 14 godina te će se na toj vremenskoj bazi i izračunavati ekonomska isplativost investicije. [28]

Uz prihode za naknadu za zbrinjavanje otpada te prodaju električne i toplinske energije,moguće je ostvariti i prihode od prodaje sekundarnih metala koji se dobivaju odvajanje iz pepela.Iz [32] mogu se dobiti konkretniji podaci o postotku,odnosno prinosu aluminija i željeza po toni obrađenog otpada.Prema tome,količina željeza iznosi 0,024 tone po toni otpada,a količina aluminija 0,004 tone po toni otpada. Cijene iz otkupa sekundarnih siovina uzeta je od lokalnih otkupljivača. [39] [28]

HEP-TOPLINARSTVO d.o.o.
CJENIK - CENTRALNI TOPLINSKI SUSTAV (CTS) - ZAGREB

Naziv djelatnosti	Naziv tarifne stavke i naknade	Iznosi naknada i tarifnih stavki (TS) po tarifnim grupama (Tg) i tarifnim modelima (TM)					
		KUĆANSTVA (Tg1) / vrela/topla voda (TM1)		INDUSTRIJA I POSLOVNI POTROŠAČI (Tg2)/ vrela/topla voda (TM2)		INDUSTRIJA I POSLOVNI POTROŠAČI (Tg2) / tehnološka para (TM3)	
PROIZVODNJA TOPLINSKE ENERGIJE	Tarifna stavka Energija	0,1525	kn/kWh	0,3050	kn/kWh	232,5521	kn/t
DISTRIBUCIJA TOPLINSKE ENERGIJE	Tarifna stavka Energija	0,0175	kn/kWh	0,0350	kn/kWh	55,7079	kn/t
PROIZVODNJA TOPLINSKE ENERGIJE	Tarifna stavka Snaga	2,30	kn/kW/mj.	5,86	kn/kW/mj.	3.980,57	kn/t/h/mj.
DISTRIBUCIJA TOPLINSKE ENERGIJE	Tarifna stavka Snaga	3,45	kn/kW/mj.	6,17	kn/kW/mj.	4.194,64	kn/t/h/mj.
OPSKRBA TOPLINSKOM ENERGIJOM	Naknada za djelatnost opskrbe toplinskom energijom	7,02	kn/mj.	7,02	kn/mj.	7,02	kn/mj.
KUPAC TOPLINSKE ENERGIJE	**Naknada za djelatnost kupca*** za krajnje kupce **s pripremom PTV**** u toplinskoj podstanici	0,69	kn/m^2/mj.	0,69	kn/m^2/mj.	-	
	Naknada za djelatnost kupca* za krajnje kupce **bez pripreme PTV**** u toplinskoj podstanici	0,50	kn/m^2/mj.	0,50	kn/m^2/mj.	-	

Navedene cijene/tarife/naknade su u primjeni od 01.09.2014.
Na navedene cijene/tarife/naknade obračunava se PDV.
* Naknada za djelatnost kupca toplinske energije naplaćuje se krajnjim kupcima spojenim na zajedničko mjerilo toplinske energije
**PTV - potrošna topla voda

Slika 21. Cjenik HEP-Toplinarstva

U rashode postrojenja ubrajamo troškove pogona i održavanje postrojenja te anuitete za otplatu kredita. Obzirom da se rad zasniva na metodi unutarnje stope povrata,ukupni investicijski trošak će biti amortiziran po godinama upotrebe postrojenja kako bi se na taj način umanjilo plaćanje poreza na dobit.Sve vrste prihoda,prinosa i rashoda prikazani su u Tablici 12.

Tablica 12.Prikaz prihoda i rashoda postrojenja

Troškovi	
Iznos investicije [€]	136.971.210,00
Godišnji operativni trošak [€]	14.156.500,00
Prihodi	
Količina obrađenog otpada [t/god]	230.000,00
Naknada za zbrinjavanje otpada [€ /t]	110,00
Prihod od naknade za zbrinjavanje otpada [€ /god]	25.300.000,00
Prinos sekundarnog željeza [t/t_{otp}]	0,024
Prinos sekundarnog aluminija [t/totp]	0,004
Količina sekundarnog željeza [t/god]	5.520,00
Količina sekundarnog aluminija [t/god]	920
Cijena sekundarnog željeza [€/t]	105,26
Cijena sekundarnog aluminija [€/t]	657,89
Prihod od prodaje sekundarnog željeza [€ /god]	581.035,20
Prihod od prodaje sekundarnog aluminija [€ /god]	605.258,80
Proizvedena električna energija [MWh]	101.413,40
Proizvedena toplinska energija [MWh]	192.846,05
Prodajna cijena električne energije [€ /kWh]	0,0770
Prodajna cijena toplinske energije [€ /kWh]	0,0281
Prihod od prodaje električne energije [€ /god]	7.811.214,71
Prihod od prodaje toplinske energije [€ /god]	5.513.410,08

Na primjeru Schneider,Lončar, Bogdan*:* Analize isplativosti postrojenja za termičku obradu otpada [32],ukupni troškovi postrojenja prikazani su u dijelovima skupa s amortizacijskim periodima,što je bitno za izračunavanje porezne osnovice pri računanju ukupne isplativosti investicije,Tablica 13.

Tablica 13. Troškovi postrojenja po dijelovima s amortizacijskim periodima

	Udio u inv. troškovima	Iznos [€]	Amortizacija [god]
Ukupni investicijski troškovi [€]	1	136.971.280,10	
Infrastruktura i spremnik otpada [€]	0,0817	11.190.553,584	20
Postrojenje (sustav za izgaranje,dim.plinove) [€]	0,5631	77.128.527,824	15
Projektiranje [€]	0,0355	4.862.480,444	5
Izgradnja [€]	0,1243	17.025.530,12	20
Elektromehaničke instalacije [€]	0,0888	12.163.049,67	15
Ostali investicijski troškovi [€]	0,1066	14.601.138,46	15

Prilikom izračuna unutarnje stope povrata,uzet je period trajanja ugovora o otkupu električne energije od 14 godina,čime se može garantirati stabilnost glede prihoda od te strane,dok je stopa poreza na dobit 20%. Također,za ekonomsku analizu uzeta je prepostavka kredita HBOR-a s kamatnom stopom od 4 % te diskontna stopa od 9 %. Tok novca prikazan je u Tablici 14.,a ispod nje i pojašnjanje glede pojedinih izračuna.

Tablica14. Tok novca za postrojenje

God	Bruto dobit	Amortizacija po godinama	Porezna osnovica	Porez	Tok novca
0	- 136.971.280,06				-136.971.280,06
1	25.555.566,39	9.309.830,05	16.245.736,34	3.249.147,27	22.306.419,12
2	25.555.566,39	9.309.830,05	16.245.736,34	3.249.147,27	22.306.419,12
3	25.555.566,39	9.309.830,05	16.245.736,34	3.249.147,27	22.306.419,12
4	25.555.566,39	9.309.830,05	16.245.736,34	3.249.147,27	22.306.419,12
5	25.555.566,39	9.309.830,05	16.245.736,34	3.249.147,27	22.306.419,12
6	25.555.566,39	8.336.677,08	17.218.889,31	3.443.777,86	22.111.788,53
7	25.555.566,39	8.336.677,08	17.218.889,31	3.443.777,86	22.111.788,53
8	25.555.566,39	8.336.677,08	17.218.889,31	3.443.777,86	22.111.788,53
9	25.555.566,39	8.336.677,08	17.218.889,31	3.443.777,86	22.111.788,53
10	25.555.566,39	8.336.677,08	17.218.889,31	3.443.777,86	22.111.788,53
11	25.555.566,39	8.336.677,08	17.218.889,31	3.443.777,86	22.111.788,53
12	25.555.566,39	8.336.677,08	17.218.889,31	3.443.777,86	22.111.788,53
13	25.555.566,39	8.336.677,08	17.218.889,31	3.443.777,86	22.111.788,53
14	25.555.566,39	8.336.677,08	17.218.889,31	3.443.777,86	22.111.788,53
	Napomena :Svi iznosi su u €			IRR:	13,45%

Bruto dobit iz Tablice 14. dobivena je kao razlika između godišnjih prihoda i rashoda postrojenja i prikazana je jednadžbom (6).

$$\text{Bruto dobit} = \text{Prihod} - \text{Rashod} \tag{6}$$

Prihodi i rashodi su prikazani u prethodnoj dijelu,Tablica 12.,a prihod je definiran jednadžbom (7).

$$\begin{aligned}\text{Prihod} = {} & \text{Prihod od naknade za zbrinjavanje otpada} \\ & + \text{Prihod od prodaje sekundarnih sirovina} \\ & + \text{Prihod od prodaje toplinske energije} \\ & + \text{Prihod od prodaje električne energije}\end{aligned} \tag{7}$$

Rashod je jednak operativnim troškovima i troškovima održavanja.

S obzirom da je unutarnja stopa povrata za ovo postrojenje 13,45 %,što je za uzeti period povrata investicije od 14 god i diskontnu stopu od 9% dosta dobro,te se izgradnja spalionice može smatrati isplativom. Međutim,postoje niz faktora koji mogu utjecati na promjenu unutarnje stope povrata (IRR) te će se u nastavku upravo skrenuti pažnja na njih.

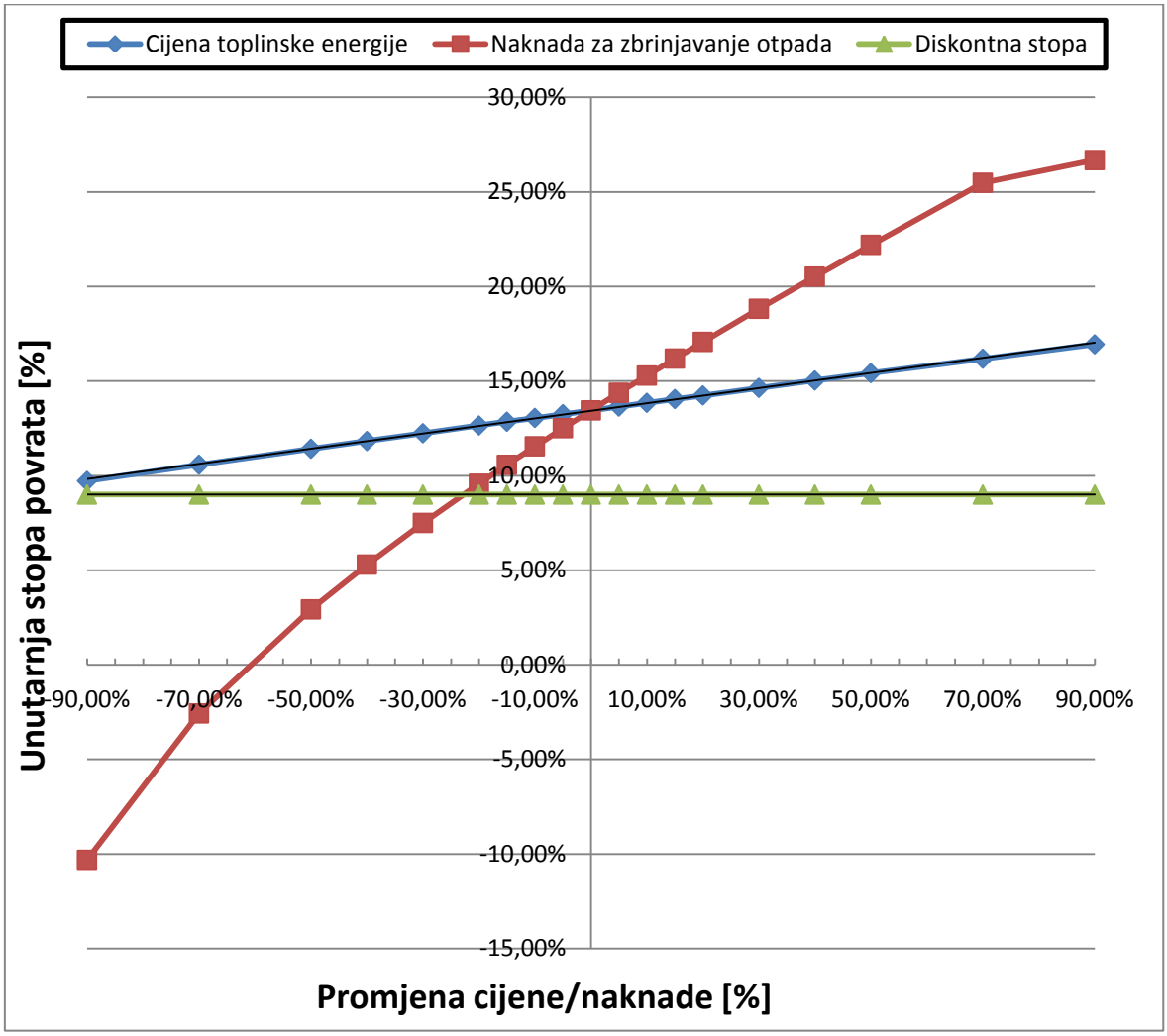
5.4 Analiza osjetljivosti

U ovom dijelu biti će proučeni faktori koji najvećim dijelom utječu na ekonomsku isplativost spalionice. Kako će biti kasnije pokazano,a s obzirom da je glavna namjena spalionice upravo zbrinjavanje otpada,vidjet ćemo da je najznačajniji prihod onaj od naknade za zbrinjavanje otpada te će biti posebna pažnja posvećena utjecaju promjene te naknade na ukupnu ekonomsku isplativost spalionice. Također,s obzirom da značajniji dio prihoda spalionice dobiva od prodaje električne i toplinske energije biti će proučene i promjene cijene toplinske energije,dok se cijena električne energije neće uzimati u obzir ovdje te će se smatrati stalna zbog ugovor na period od 14 godina. Tablica 15. daje prikaz utjecaja promjene naknade za zbrinjavanje te promjene cijene toplinske energije.

Tablica 15. Utjecaj promjene cijene naknade za zbrinjavanje otpada i cijene toplinske energije na IRR spalionice

Promjena cijene/naknade	Promjena IRR u funkciji promjene toplinske energije	Promjena IRR u funkciji promjene naknade za zbrinjavanje otpada
-90,00%	9,72%	-10,31%
-70,00%	10,58%	-2,57%
-50,00%	11,42%	2,93%
-40,00%	11,83%	5,30%
-30,00%	12,24%	7,50%
-20,00%	12,65%	9,57%
-15,00%	12,85%	10,57%
-10,00%	13,05%	11,55%
-5,00%	13,25%	12,51%
0,00%	13,45%	13,45%
5,00%	13,65%	14,38%
10,00%	13,85%	15,29%
15,00%	14,05%	16,19%
20,00%	14,24%	17,07%
30,00%	14,64%	18,82%
40,00%	15,03%	20,52%
50,00%	15,42%	22,20%
70,00%	16,18%	25,48%
90,00%	16,94%	26,68%

Za lakšu predodžbu gore navedenih iznosa,isti su prikazani u dijagramu ispod,Slika 22.



Slika 22.Utjecaj promjene cijene toplinske energije i naknade za zbrinjavanje otpada na IRR

Kako što se moglo i prepostaviti,a sada se vidi i iz dijagrama iznad,najznačajniji je utjecaj promjene naknade za zbrinjavanje otpada,što je bilo i za očekivati s obzirom na godišnju količinu otpada i udio u prihoda od naknade za zbrinjavanje otpada.Iz dijagrama je vidljivo da pri smanjenju ove naknade za 20% i više (cca. 88 €/t) uz diskontnu stopu od 9% spalionica je ekonomski neisplativa.Smanjenje cijene za toplinsku energiju nije presudno,tek bi bez prihoda od prodaje toplinske energije spalionica bila na granici isplativosti.Promjena cijene otkupa sekundarnih sirovina ima mali udio u ukupnim prihodima spalionice te njihovo utjecaj nije proučavan.

7.ZAKLJUČAK

Sa sve većim rastom populacije u svijetu,kao i gospodarskim rastom,proporcionalno raste i količina otpada.Kako i na svjetskoj tako i na nacionalnoj razini otpad kao problem je detektiran relativno kasno.U Republici Hrvatskoj još uvijek postoji problem s divljim odlagalištima otpada,a sukladno direktivama Europske unije,čiji smo član,bilo je potrebno napraviti što kvalitetniju strategiju glede gospodarenja otpadom.Konačno,RH se je obvezala do 2020.godine urediti Centre za gospodarenje otpadom (CGO),što je tek prva opcija,najmanje poželjna,u hijerarhiji gospodarenja otpadom.Nažalost i tu još uvijek postoje određeni problemi glede izvršenja tog plana.Kako uvijek treba težiti boljem,jedna od poželjnijih opcija gospodarenja otpadom jest energetska oporaba otpada odnosno termička obrada otpada (TOO).U ovome radu, dane su osnovne informacije upravo glede termičke obrade otpada,primjer jednog dobrog gospodarenja otpadom-spalionica Spittelau u Beču,te naposljetku i ekonomska analiza planirane spalionice otpada u Zagrebu.O toj temi se priča od početka 2000.-ih,nažalost čeka se politička odluka glede izgradnje iste.U ovome radu je prikazana analiza za prikupljeni otpad na području Grada Zagreba,te se pokazalo da uz diskontnu stopu od 9%,unutarnja stopa povrata (IRR) iznosi 13,45%,odnosno da je spalionica ekonomski isplativa.Naravno,značajan utjecaj ima i iznos naknade za zbrinjavanje otpada (što je glavni dio prihoda spalionice) te je i taj segmenat obuhvaćen analizom osjetljivosti.

8. LITERATURA

[1] http://zelenaakcija.
hr/uploads/zelena_akcija/document_translations/000/000/537/ppotpad.pdf?12703
10689

[2]http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/Inzenjerst
vo_zastite_okolisa/9.pdf

[3] Kućar Dragičević S.,Butuči J.,Kufrin J.: Zbrinjavanje otpada u Republici Hrvatskoj –postojeće stanje,Agencija za zaštitu okoliša Zagreb

[4] http://www.fondeko.sarajevolive.com/29.pdf

[5] Metodologija za određivanje sastava i količina komunalnog odnosno miješanog komunalnog otpada s Naputkom za naručivanje i provedbu određivanja prosječnog sastava komunalnog odnosno miješanog komunalnog otpada,Agencija za okoliš i prirodu,Zagreb,2015.

[6] https://hr.wikipedia.org/wiki/Gospodarenje_otpadom

[7] https://en.wikipedia.org/wiki/Waste_management

[8] http://www.zakon.hr/z/657/Zakon-o-odr%C5%BEivom-gospodarenju-otpadom

[9] Prelec Z.:Otpad-osnovni pojmovi i definicije, http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/Inzenjerstvo_zastite_okolisa/9.pdf

[10] Prelec Z.:Postupci obrade i zbrinjavanja otpada, http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/Inzenjerstvo_zastite_okolisa/10.pdf

[11] https://hr.wikipedia.org/wiki/Spalionice_otpada

[12] https://hr.wikipedia.org/wiki/Proizvodnja_energije_iz_otpada

[13]Mijić G.:Mogućnost proizvodnje energije iz otpada, https://hr.wikipedia.org/wiki/Proizvodnja_energije_iz_otpada

[14]http://www.poslovni.hr/hrvatska/svedska-moze-biti-uzor-polovicu-otpada-iz-domacinstava-pretvara-u-energiju-292867

[15] http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016_08_75_1755.html

[16]Otpadne vode, http://ekologija.ba/index.php?w=c&id=26

[17]Dobrović S.,Schneider R.D.:Energija iz otpada,FSB Zagreb

[18] https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrane_na_biomasu_i_otpad

[19] https://hr.wikipedia.org/wiki/Dobivanje_energije_iz_komunalnog_otpada

[20] http://www.haat-india.com/sites/default/files/rotary_new.jpg

[21]Grčić M.:Uređaji za čišćenje dimnih plinova

[22] Jukić, P.; Majcen, A.: Prezentacija s Zagrebačkog energetskog tjedna: Pravci razvoja izvora topline centralnog toplinskog sustava (CTS) Grada Zagreba; Zagreb; 2011.

[23]http://www.sciencetheearth.com/uploads/2/4/6/5/24658156/besucherbroschuere_spittelau_e_download_ohnehpyerlinks_rgb_175808.pdf

[24]https://www.wienenergie.at/media/files/2014/brosch%C3%BCre_spittelau_12772.pdf

[25]Review of state-of –art waste-to-energy technologies, http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/noticias_eventos/WSP%20Waste%20to%20Energy%20Technical%20Report%20Stage%20Two.pdf

[26] Sikavica, P.; Bahtijarević-Šiber, F.: Leksikon Menadžmenta; Masmedia; Zagreb,Hrvatska; 2001.

[27] Wood, S.; Fanning, M.; Venn, M.; Whiting, K.: Review of state-of-the-art waste-toenergy technologies, Stage two: Case studies, Department of Environment andConservation: Waste Management Branch; Perth, Australia; 2013.

[28]Tomić T.:Analiza isplativosti centraliziranog toplinskog sustava na biomasu i komunalni otpad;Zagreb,2014.

[29] http://www.poslovni.hr/hrvatska/u-europskoj-uniji-posluje-preko-450-razlicitih-spalionica-otpada-282381

[30] Friotherm AG: Waste-to-Energy Plant Sysav Malmo, enhancing the overall Energy Efficiency with 2 UnitopR 28C heat pump units; http://www.friotherm.com/webautor-data/41/sysave006_uk.pdf

[31] ENEM - Epem S.A. Environmental planning and management: Waste Control:Database of Waste Management Technologies; http://www.epem.gr/waste-c-control/database/html/costdata-00.htm#Incineration

[32] Schneider, D.R.; Lončar, D.; Bogdan, Ž.: Cost Analysis of Waste-to-Energy Plant;Strojarstvo (0562-1887) 52 (2010), 3; 369-378

[33]http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKA_EKONOMIKA

[34] European Commission: Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration; 2006; http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm

[35]www.limun.hr

[36] Watkins, E.; Hogg, D.; Mitsios, A.; Mudgal, S.; Neubauer, A.; Reisinger, H.; Troeltzsch, J.; Acoleyen, M.V.: Use of economic instruments and waste management performances; Bio Intelligence Service S.A.S.; Paris, France, 2012.

[37] Krklec, R.: Prezentacija sa konferencije "Budućnost centraliziranih toplinskih sustava u Republici Hrvatskoj":Zahtjevi trţišta te dugoročna strategija centralnih toplinskih sustava ; FSB, 2014.

[38] Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije; NN 133/2013

[39] Metalmoneta, cijene otkupa, http://www.metalmoneta.hr/
[40]http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/Inzenjerstvo_zatite_okolisa/9.pdf
[41]https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/veranstaltungen/ausstellungen/2012/energiestadt/images/spittelau.jpg

9. PRILOZI

CD-R disc