Universitatea POLITEHNICA din București
Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică
Departamentul de Termotehnică, Motoare, Echipamente Termice
și Frigorifice

Contribuții la Optimizarea Procesului Termodinamic al Incineratoarelor pentru Deșeuri Medicale și Valorificarea Tehnică a Cenușii Rezultate

ING. SARI KAMEL JABER

Conducător științific
Prof. Dr. Ing. Tudor PRISECARU

București, 2022

Rezumat

Lumea de astăzi este într-o continuă criză din cauza războaielor și epidemiilor, care a condus la o situație economică precară cu prețuri ridicate ale combustibililor. Din acest motiv, scopul cercetării a fost de a găsi alternative pentru combustibilii fosili sau de a reduce utilizarea acestora, și de a reduce costurile cu poluarea mediului. Teza prezintă cercetări în domeniul incineratoarelor medicale și valorificării cenușii rezultate. A fost proiectat un incinerator medical mobil cu o capacitate de 33.33 kg/oră, care utilizează combustibil tip biomasă tip resturi de palmieri în camera primară de combustie și motorină în camera secundară de combustie. Energia de intrare este reprezentată de puterea calorifică a deșeurilor medicale iar energia de ieșire este reprezentată de energia gazelor de ardere rezultate și cenușa rezultată, diferența dintre energia de intrare și ieșire este combustibilul care este furnizat în incinerator pentru a ridica temperaturile celor două camere de combustie. În prima etapă, combustibilul din resturile de palmieri a fost utilizat la 45% din combustibilul total și motorina a fost utilizată pentru etapa secundară de combustie cu o valoare de 45% din combustibilul total și 10% motorină este folosită pentru a iniția combustia lemnului și a deșeurilor. Pentru a obține toți parametrii de proiectare s-a utilizat programul Engineering Equation Solver (EES).

Cea mai utilizată metodă de tratare a deșeurilor medicale în Irak o reprezintă incineratoarele medicale, unde zeci de tone de deșeuri medicale sunt arse zilni iar în timpul pandemiei de Coronavirus deșeurile medicale au crescut, devenind o problema din ce in ce mai mare.

Aceste incineratoare medicale produc cenușă colectată la baza incineratorului (BA) în proporție de 10-30% și cenușă zburătoare 3-5% din greutatea totală a deșeurilor înainte de incinerare iar această cenușă conține metale grele. Cenușa este tratată în gropi de gunoi speciale și amestecată cu ciment pentru a nu penetra solul și apa freatică sau a zbura în aer. Soluția propusă de a arde deșeurile medicale cu resturile din palmieri are ca scop reducerea proporției de metale grele din cenușă și eliminarea deșeurilor de resturi de palmieri în același timp cu reducerea gazelor cu efect de seră și poluarea mediului. Reducerea concentrațiilor unor metale grele din cenușă cum ar fi, cuprul, zincul, Ti și altele fac mai ușoară tratarea și reciclarea cenușii, reducând suprafața gropilor de gunoi. Doar provincia Basra din Irak deține 2476063 palmieri, iar deșeurile provenite din aceștia sunt estimate la aproximativ 25 kg per palmier, deșeuri care sunt fie incinerate, fie îngropate, soluții care impun costuri.

Acest studiu se concentrează, de asemenea, pe tratarea și reciclarea cenușii colectate. Cercetările s-au efectuat pe probe de cenușă prelevate de la incineratoarele din complexul Medical City Hospital din Baghdad. Acestea au fost examinate la Ministerul de Științe și Tehnologie din Irak. Prin analize XFR (fluorescența de raze X) s-a determinat compoziția cenușii, și mai ales conținutul de metale grele. S-au realizat amestecuri de asfalt (stratul de bază) cu diferite proporții de 25%, 50% și 75% cenușa, în locul materialului de umplere folosit din amestec. Pe baza metodei Marshall s-au realizat si testat 90 de mostre de materiale în Laboratoarele Centrului Național pentru Construcții din Baghdad. S-au determinat: densitatea aparentă (g/cm3), stabilitatea (kN), indicele de curgere (mm) și fracția de goluri (%) rezultând că doar amestecul de asfalt cu o fracție de 25% cenușă prelevată de la incineratoarele medicale se încadrează în specificații.

Cuprins

MULȚUMIRI ..... **IV**
REZUMAT ..... **V**
CUPRINS ..... **VI**
LISTA DE FIGURI ..... **IX**
LISTA DE TABELE ..... **XII**
LISTA DE ABREVIERI ȘI ACRONIME ..... **XIV**
CAPITOLUL 1: INTRODUCERE **1**
1.1 GENERALITĂȚI 1
1.2 INCINERATOARE MEDICALE 1
1.3 VALORIFICAREA ENERGETICĂ A DEȘEURILOR 2
1.4 PRODUCȚIA ȘI CONSUMULUI DE ENERGIE CU CREȘTEREA POPULAȚIEI 2
1.5 EFECTUL DIOXIDULUI DE CARBON CO2 PE PĂMÂNT 3
1.6 DOMENIUL DE APLICARE A STUDIULUI 4
1.7 OBIECTIVE DE CERCETARE 4
1.8 STRUCTURA TEZEI 5
CAPITOLUL 2: STUDIU BIBLIOGRAFIC **6**
2.1 GENERALITĂȚI 6
2.2 TRATARE TERMICĂ A DEȘEURILOR CU PRODUCERE ENERGIE 6
2.2.1 Tratarea deșeurilor medicale prin incinerare 6
2.2.2 Tratarea deșeurilor medicale prin piroliză 7
2.2.3 Tratarea deșeurilor medicale prin gazeificare 8
2.3 DIAGRAMA OPERAȚIUNILOR ÎN INCINERATOARELOR MEDICALE 9
2.3.1.Condițiile Ministerului Mediului din Irak pentru instalarea incineratoarelor medicale în spitale 10
2.3.2 Avantajele incineratoarelor deșeurilor medicale 10
2.3.3 Dezavantajele incineratoarelor deșeurilor medicale 11
2.3.4 Tipuri de incineratoare 11
2.4. ALIMENTAREA INCINERATORULUI 17
2.4.1. Motorină sau gaz natural 17
2.4.2 Aer de ardere 18
2.4.3 Deșeuri medicale 19
2.5 PRODUSELE REZULTATE DIN INCINERATOR 21
2.5.1. Emisiile de gaze 21
2.5.2 Căldura generată de combustia deșeurilor și combustibilului 23
2.5.3 Cenușa 24
CAPITOLUL 3: STRUCTURA EXPERIMENTALE A SISTEMULUI INCINERATOR PENTRU DEȘEURI MEDICALE ȘI CALCULAREA ENERGIEI PRODUSE PRIN COMBUSTIE **29**
3.1 GENERALITĂȚI 29
3.2 LOCURILE CARE AU FOST STUDIATE PENTRU CERCETAREA INCINERATOARELOR MEDICALE 29

3.3 SPECIFICAȚIILE INCINERATORULUI DE DEȘEURI MEDICALE UTILIZAT 32
3.4 PROCESELE TERMICE DIN INTERIORUL INCINERATORULUI DE DEȘEURI MEDICALE 40
3.4.1 Uscarea 40
3.4.2 Piroliza 41
3.4.3 Combustia 41
3.5 SPECIFICAȚIILE DEȘEURILOR FOLOSITE ÎN INCINERARE 43
3.6 CALCULAREA ENERGIEI GENERATE DINTR-UN INCINERATOR DE DEȘEURI MEDICALE FOLOSIND PROGRAMUL SOFTWARE ENGINEERING EQUATION SOLVER 44
3.6.1 Bilanțul de energie și materiale 44
3.6.2 parametrilor Aplicarea programului software EES și găsirea tuturor 54
3.7 PROIECTAREA INCINERATORULUI MOBIL PENTRU ELIMINAREA DEȘEURILOR CU POTENTIAL MARE DE TRANSMITERE A BOLILOR 56
3.7.1. Proiectarea camerei de ardere primare 57
3.7.2 Calcularea maselor și energiei de intrare si ieșire din incineratorul mobil 60
3.7.3. Proiectarea camerei de ardere secundare 64
3.8 REZULTATE LA PROIECTAREA INCINERATORULUI MEDICAL MOBIL 65
3.9 MODEL SIMULARE NUMERICĂ 69
3.9.1 Model cinetic pentru incinerarea deșeurilor medicale 70
3.9.2 Rezultatele simulării numerice 70
CAPITOLUL 4: RECICLAREA CENUȘII PROVENITE DIN INCINERAREA DEȘEURILOR MEDICALE IN AMESTECURI DE ASFALT 70
4.1 GENERALITĂȚI 70
4.2 PROBE DE CENUȘĂ COLECTATE DIN INCINERATOARELE MEDICALE 71
4.3 COLECTAREA ȘI ANALIZA CENUȘII DIN INCINERATOARELE MEDICALE DIN SPITALE 71
4.3.1 Complex Medical City 73
4.3.2 Spitalul Național Al Amal 75
4.3.3 Centrul de Criză Al-Shifa pentru tratarea pacienților de Corona în timpul pandemiei de COVID-19..... 76
4.4 CARACTERISTICILE CENUȘII COLECTATE FOLOSITE ÎN AMESTECUL DE ASFALT 77
4.5 PREPARAREA AMESTECTULUI DE ASFALT (REFERINȚĂ AMESTEC) 80
4.5.1 Aditivi 82
4.5.2 Prepararea amestecului de asfalt cu aditivi 83
4.6 PREPARAREA PROBEI MARSHALL 84
4.6.1 Determinarea indicelui de curgere și a stabilității probelor 85
4.6.2 Determinarea densității aparente și fracției de goluri a probelor 86
4.7 REZULTATE ALE CERCETĂRII RECICLĂRII CENUȘII DIN INCINERATOARE MEDICALE ÎN ASFALT 87
CAPITOLUL 5: INCINERATOR MOBIL PENTRU DEȘEURI MEDICALE CARE FUNCȚIONEAZĂ PE LEMN ȘI MOTORINĂ PENTRU A REDUCE POLUAREA MEDIULUI ȘI CONCENTRAȚIILE DE METALE GRELE DIN CENUȘA CARE REZULTĂ 89
INTRODUCERE 89
METODA DE PROIECTARE A INCINERATORULUI 89

5.2.1. Descrierea procesului care are loc in incineratorul de deșeuri medicale..... *89*
5.2.2 Descrierea și tipul de deșeuri medicale..... 90
5.2.3. Calcularea oxigenului necesar pentru ambele camere de ardere…..... 92
5.2.4 Mase de alimentare..... 92
5.2.5 Mase de ieșire..... 93
5.2.6 Energia de alimentare..... 93
5.2.7 Energia produsă..... 94
5.2.8 Volumul camerei de ardere primare..... 95
5.2.9 Volumul camerei de ardere secundară..... 96
5.2.10 Eficiența incineratorului medical..... 98
5.3. ARDEREA DEȘEURILOR MEDICALE CU DEȘEURI DE PALMIERI (LEMN) CA ȘI COMBUSTIBIL..... 98
5.4. REZULTATE..... 102
CAPITOLUL 6: CONCLUZII..... 104
6.1 CONCLUZIE..... 104
6.2 CONTRIBUȚII PERSONALE..... 106
6.3 PUBLICAREA CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE..... 107
6.4 PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE..... 108
REFERINȚE..... 109
Anexă: Rezultate experimentale..... 117

CAPITOLUL 1
Introducere

1.1 General

Metoda tradițională utilizată pentru a elimina deșeurile medicale (MW) care rezultă din spitale și centrele de tratament este incinerarea. Încă este utilizată în multe țări din lume după gestionarea adecvată a MW. Procesul de eliminare a MW la temperaturi ridicate prin incinerare sau alte metode se numește tratare termică. Incinerarea distruge deșeurile organice la temperaturi foarte înalte, până la 900 grade Celsius sau mai mari, prin descompunere și oxidare termică [1]. Procesul implică conversia deșeurilor medicale în cenușă care se colectează la baza incineratorului și în gaze de ardere care conțin cenușa zburătoare însoțite de temperatura înaltă care poate fi folosită. În ultimii ani, s-au înregistrat volume sporite de deșeuri medicale în Europa care ridică probleme majore dacă nu sunt gestionate într-o manieră organizată și corectă, precum și probleme de mediu care duc la poluare locală și emisii de gaze periculoase pentru mediu și oameni și afectează procesul de încălzire globală[2]**.**

Datorită dezvoltării tehnologice, creșterii populației și a venitului economic per cap de locuitor, deșeurile din domeniul îngrijirii medicale au început să crească în cantitate și varietate în toată lumea[3] [4]. Spitalele, unitățile de îngrijire medicală și instituțiile mari de sănătate generează, de asemenea, deșeuri generale și deșeuri periculoase[5]. Cele mai multe deșeuri generate în unitățile de îngrijire medicală, 80-85% sunt nepericuloase și comparabile cu deșeurile domestice fiind separate și tratate împreună cu deșeurile municipale, în timp ce deșeurile infecțioase sunt tratate în mod separat prin incinerarea la locul respectiv sau trimise la un loc de incinerare[6].

1.2 Incineratoare medicale

Anterior, incineratoarele medicale erau simple, constând dintr-o cameră de ardere dotată cu un arzător, aer adăugat și temperaturi joase și nu conțineau dispozitive de comandă și filtre pentru a preveni eliberarea cenușii zburătoare în atmosferă iar combustia incompletă, cauza multe probleme din cauza emisiilor provenite din arderea deșeurile medicale, care conțineau concentrații ridicate de metale grele precum cromul, cadmiu, plumb, clor, mercur și alte materiale[7]. Incineratoarele reprezintă una din metode principale din țările din lumea a treia pentru tratarea deșeurilor medicale, cele mai multe țări din lume, inclusiv Uniunea Europeană, folosind incinerarea pentru a trata deșeurile prin arderea deșeurilor cu ajutorul arzătorului și aerului la temperaturi ridicate pentru a scăpa de compușii organici prezenți în deșeuri și a-i transforma în materiale anorganice.

În prezent, incineratoarele medicale s-au dezvoltat, devenind o sursă de energie și folosind cele mai bune tehnologii pentru a elimina gazele emise [8].

CAPITOLUL 2

Studiu bibliografic

2.1 Tratarea termică a deșeurilor cu producere de energie

Unele deșeuri trebuie să fie tratate la o temperatură ridicată, cum este cazul deșeurilor medicale infecțioase. Tratarea termică este folosită pentru conversia deșeurilor în energie. Există trei abordări populare pentru procesarea deșeurilor la temperaturi ridicate și valorificarea energiei acestora:

2.1.1 Tratarea deșeurilor medicale prin incineratoare;

2.1.2 Tratarea deșeurilor medicale prin piroliză;

2.1.3 Tratarea deșeurilor medicale prin gazificare.

2.2 Diagrama operațiunilor in incineratoarele medicale

Incineratoarele sunt eficiente în eliminarea deșeurilor medicale cu volum mare și în eliminarea rapidă a oricărui tip de deșeu. Figura 2.5 descrie arhitectura procesului de incinerare. Principalele surse de alimentare în incineratoare sunt deșeurile, aerul de ardere (O2) și combustibilul. Reprezentarea procesului de incinerare a deșeurilor medicale începe prin cântărirea, separarea și clasificarea deșeurilor înainte de introducerea acestora în incinerator care se poate face fie manual, fie automat prin banda electrică care se mișcă spre camera de ardere primare (Pcch). Camera conține unul sau două arzătoare care lucrează fie pe motorină fie pe gaz natural. În plus, există o alimentare cu aer care ajută la combustia completă din fiecare cameră. Ca o consecință a combustiei complete, se generează un amestec de gaze și cenuși zburătoare. Cenușa zburătoare și gazele emise se deplasează spre camera de combustie secundară (Scch) unde temperatura ajunge în intervalul de (900-1200) °C cu ajutorul arzătorului și furnizarea de aer care va completa incinerarea și va reduce poluarea pentru mediu. Există posibilitatea să se recupereze căldura gazelor emise pentru încălzirea apei sau generarea de electricitate aspect detaliat în următorul capitol al acestei cercetări. Ca o consecință, 20-30% din greutatea deșeurilor originale rămâne ca cenușă colectată după incinerare. În consecință, după răcirea cenușii colectate, aceasta se trimite la gropile de gunoi și se amestecă de obicei cu deșeurile generale, fără tratare. Acest lucru poate afecta solul și pânza freatică dacă nu există reglementari de limite impuse prin acord internațional.

După încheierea procesului de incinerare, produsele rezultate procesului se împarte în trei debite principale: cenușa colectată, cenușa zburătoare și emisia de gaze. Cenușa colectată și cea zburătoare se poate trata și reutiliza în diferite domenii prin amestecarea acesteia cu ciment sau asfalt cum este indicat în ultimul capitol din această cercetare.

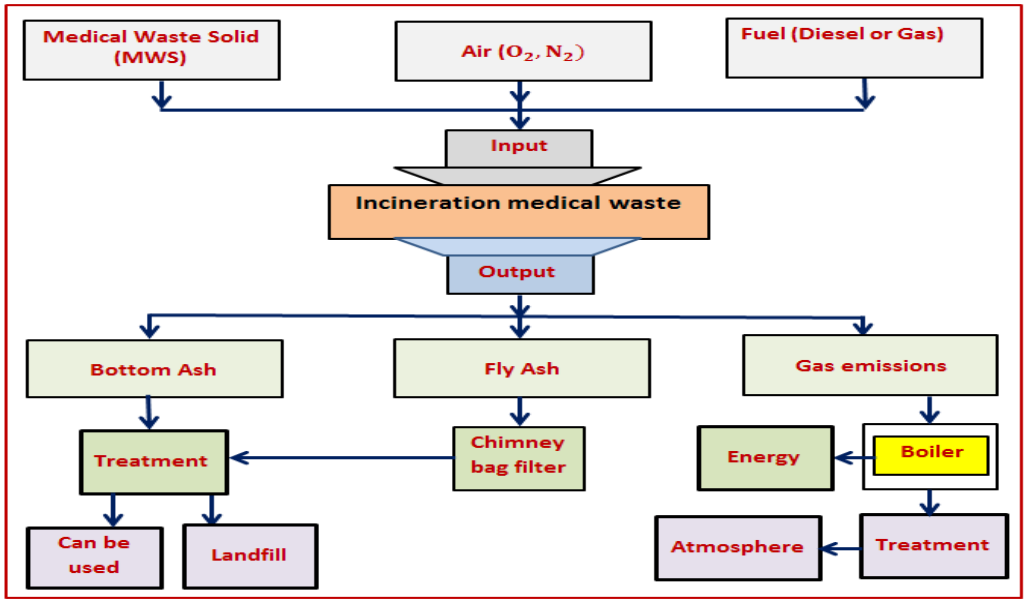


Figura 2.5 Operațiuni de ardere a deșeurilor în incineratoarele medicale

2.2.1 Avantajele incineratoarelor deșeurilor medicale

- Unul dintre cele mai importante beneficii pe care incineratoarele medicale le au în tratarea deșeurilor este reducerea volumului acestora cu 90-95% [32] [33][34].
- Reducerea greutății deșeurilor medicale la 70% din greutatea inițială prin incinerare[6][35].
- Incinerarea deșeurilor medicale funcționează pentru a elimina toxinele, dezinfectarea totală și eliminarea patogenilor [36].
- Eliminarea deșeurilor medicale într-un timp scurt [37].
- Ușurința operării, astfel orice operator poate câștiga experiență rapid.
- La incinerarea deșeurilor medicale ajută utilizarea aerului și a combustibilului pentru operarea arzătorului.
- În 2019, odată cu apariția virusului Corona (Covid-2019) și transformările acestuia, toate metodele de tratare s-au oprit cu excepția incinerării, întrucât s-a dovedit a avea o eficiență ridicată fiind și cea mai rapidă metodă de eliminare a cantităților uriașe de deșeuri medicale și alte deșeuri produse[38].
- Este posibil recuperarea energiei produse de gazele emise pentru a genera electricitate, apă caldă sau altele, care ar reduce costul de incinerare[15] [9][10].
- Costul este redus în comparație cu alte metode de tratare.
- Este nevoie de mai puțin spațiu pentru gropile de gunoi, în special în țările sau regiunile cu o densitate mare a populației[15].
- Este posibilă utilizarea cenușii produse in incineratoare ca material de adaos în ciment sau folosirea acesteia la drumuri prin amestecarea cu asfalt, aspect prezentat și în această cercetare[39][40][41].
- Întreținere redusă.

2.2.2 Dezavantajele incineratoarelor de deșeurilor medicale

- Incineratoarele medicale, în special cele care operează la temperaturi sub 800 grade Celsius și nu conțin dispozitive de comandă, produc gaze emise din combustia deșeurilor medicale care conțin clor, produc emisii de dioxine și alte materiale care afectează în mod negativ mediul și oamenii dacă nu se tratează în mod adecvat[1].
- Se produc două tipuri de cenușă: FA (cenușă zburătoare) și BA (cenușă colectată); cele mai multe incineratoare din Irak nu conțin echipamente de filtrare pentru a colecta cenușa zburătoare; aceasta se ridică în atmosferă însoțită de gazele de ardere și conține metale grele, acizi, materiale organice și un procentaj ridicat de cloruri, dioxine și compuși de carbon care afectează în mod negativ solul și mediul[42].
- Cenușa colectată baza incineratorului, conține metale grele precum cupru, plumb, cadmiu, mercur, Ag, Mo, Ni, Zn, Sb, Ba care afectează în mod negativ mediul, oamenii, solul și pânza freatică dacă nu este tratată[43].

2.2.3 Tipuri de incineratoare medicale

Incineratoarele medicale sunt folosite pentru a trata MW care nu pot fi recuperate și reciclate, dar după incinerare la temperaturi ridicate este posibil să se valorifice cenușa care rezultă din aceste deșeuri chiar dacă conține procente ridicate de metale grele, asa cum se prezenta în ultimul capitol.

Incineratoarele medicale variază în funcție de tip, dimensiune, calitate, eficacitate și compoziție internă.

2.2.3.A Incineratoare cu o cameră sau două camere de ardere;

2.2.3.B Incineratoare cu aer controlat -pirolitice, cu două camere de ardere;

2.2.3.C Incineratoare cu exces de aer;

2.2.3.D Incineratoare cu cuptor de ardere rotativ

2.2.3.E Incineratoare mobile pentru deșeuri medicale

CAPITOLUL 3 :Structura experimentala a sistemului de incinerator pentru deșeuri medicale și calcularea energiei produse prin combustie

3.1.1 Părţile principale ale incineratorului medical folosit în experiment pentru a calcula energia produsă prin incinerare

Incineratoarele medicale sunt folosite în toată lumea, în special în perioada pandemiei de Covid-19, pentru a dezinfecta și distruge agenții patogeni și pentru a reduce volumul de MW cu 90% și greutatea acestora cu 75%, ducând la o gestionare ușoară a reziduurilor de deșeuri din incinerare, și anume cenușa.

Toate incineratoarele medicale moderne și vechi conțin părți principale care sunt incluse în designul oricărui MWI

3.1.1.A Camera de combustie primară (Pcch)

3.1.1.B Camera de combustie secundară (Scch)

3.1.1.C Coşul de fum

3.1.1.D Rezervorul pentru combustibil.

3.1.1.E Panoul de comandă

3.2 Procesele termice din interiorul incineratorului de deșeuri medicale

Metoda de combustie variază de la un stat la altul. Solidele, lichidele și gazele care conțin în primul rând carbon și hidrogen diferă în maniera de combustie de la un stat la altul.

Deșeurile medicale sunt materiale solide și cele mai multe dintre aceste deșeuri conțin carbon fix și materiale volatile care rezultă în timpul procesului de combustie. Acest proces are mai multe etape:

3.2.1 Uscare

3.2.2 Piroliză (descompunere termică)

3.2.3 Combustie.

Incineratorul folosit în acest studiu are două camere de ardere și o capacitate de 100 kg pe oră deșeuri medicale colectate în pungi galbene; operează prin adăugarea de aer și motorină și este prezentat în Figura 3.13.

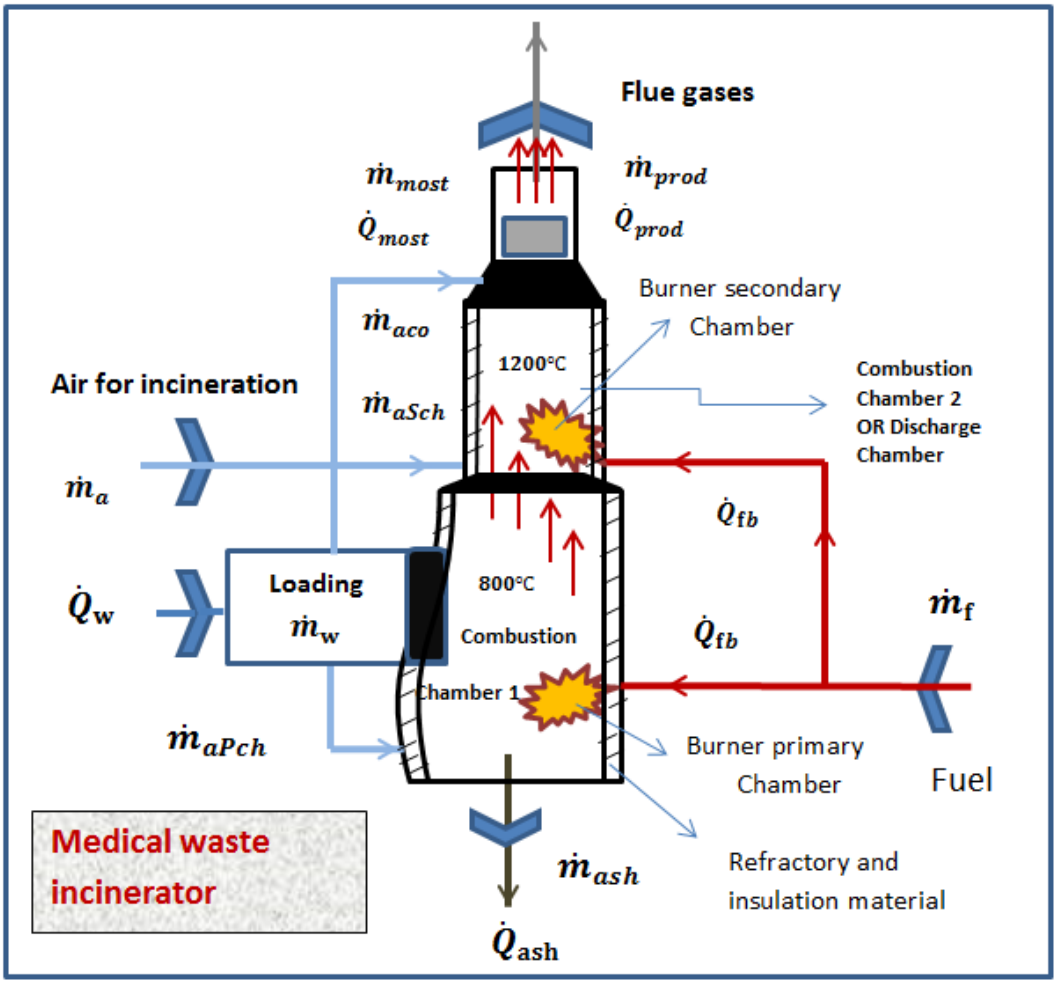


Figura 3.13 Sistem incinerator deșeuri medicale și căldura generată din incinerarea deșeurilor[33].

3.3 Calcularea energiei generate dintr-un incinerator de deșeuri medicale folosind programul EES

Energia generată de combustia MW depinde de energia produsă de arzătoare, excesul de aer introdus, temperaturile din Scch, tipul de deșeuri, cantitatea de deșeuri, tipul de incinerator și operatorul incineratorului, toți factorii afectând energia produsă și eficiența incineratorului. Pentru a găsi și cunoaște energia pierdută, trebuie să se efectueze un bilanț de materiale, fie că sunt solide sau gazoase și un bilant energetic al procesului de incinerare.

Programul software EES facilitează găsirea celor mai mulți parametri într-o manieră ușoară fără a face referire la ecuații și calcule, permite compararea excesului de aer utilizat cu eficiența incineratoarelor, energia generată de incineratoare, modificarea cantității de combustibil consumată și impactul asupra eficienței, precum și posibilitatea modificării cantităților de deșeuri pe baza capacității incineratorului și determinarea aerului strict necesar pentru combustia completa a acestor deșeuri și consumul optim de combustibil la arzătoare pentru eficiența cea mai ridicată.

3.3.1 Bilanţul termic şi de materiale

3.3.1.A Puterea calorifică a materialului de alimentare

Debitul de alimentare în incinerator este de 100 kg/h. și provine din deșeurile colectate în saci galbeni care au următoarea compoziție, pe baza tabelului (3.7) celuloză C6H10O5, țesut C5H10O3, plastic polietilenă (halate de unică folosință, măști, mănuși, capace, galoși) (C2H4) x, PVC 4% (C2H3Cl)x, umiditatea din deșeuri și cenușă (kg/h) [33]. Notate cu A, B, C, D, E and F (kg/h). Incineratorul are o unitate de comandă centrală în care sunt afișate condițiile de operare pentru temperatură și arzătoare.



Figura 3.14 Forma incineratorului și deșeurile biomedicale[33].

Tabelul 3.7 Puteri termice și căldură totală a deșeurilor medicale combustibile [[33].

Deșeuri medicale	Compoziția chimică	Greutate moleculară	Simularea fracției	Deșeuri alimentare (kg/h)	Putere calorifică (MJ/kg)	Căldură totală (MJ/h)
Celuloză	$C_6H_{10}O_5$	162.1	20	A	23.860	A* 23,860
Țesut	$C_5H_{10}O_3$	118.1	8	B	25.220	B* 25,220
Polietilenă plastic	$(C_2H_4)x$	28.1	45	C	37.820	C* 37,820
PVC 4%	$(C_2H_3Cl)x$	62.5	4	l	38.154	D*22,630
Cenușă≤25%	-	-	13	E	0	0
Umiditate H_2O ≤30%	H_2O	18.0	10	F	0	0
Generare totală de căldură din sac galben de deșeuri			A+B+C+D+E+F= 100 (kg/h)		A*23,860+B*25,220+C * 37,820+ D*22,630	
Motorină	C_{12} H_{23}	167.31	-	$\dot{m}_{diesel}$	45.5	$\dot{m}_{diesel}$*45 .5

3.3.1.B Determinarea oxigenului stoechiometric pentru deșeurile medicale combustibile și coeficientul aerului de combustie

Valoarea totală teoretică a oxigenului necesar pentru a arde deșeurile medicale este determinată prin ecuațiile de echilibru chimic ale componentelor deșeurilor medicale din analiza de laborator. Se poate calcula de asemenea oxigenul teoretic minim necesar pentru arderea componentei combustibile a deșeurilor medicale (100 kg/h). [33]

Tabel 3.8 Compoziția chimică a materialului[33].

Material	Compoziția chimică
Celuloză	$C_6H_{10}O_5 + 6O_2 = 6CO_2 + 5H_2O$ 162.1 6(32) 6(44) 5(18) 1.0 1.19 1.63 0.56 A A*1.19 A*1.63 A*0.56
Țesut	$C_5H_{10}O_3 + 6O_2 = 5CO_2 + 5H_2O$ 118.1 6(32) 5(44) 5(18) 1.0 1.63 1.84 0.76 B B*1.63 B*1.84 B*0.76
Polietilenă plastic	$(C_2H_4)_x + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$ 28.1 3(32) 2(44) 2(18) 1.0 3.43 3.14 1.29 C C*3.43 C*3.14 C*1.29
PVC	$2(C_2H_3CL)_x + 5O_2 = 4CO_2 + 2H_2O + 2HCl$ 2(62.5) 5(32) 4(44) 2(18) 2(36.5) 1.0 1.28 1.41 0.29 0.58 D D*1.28 D*1.41 D*0.29 D*0.58
Motorină	$4C_{12}H_{23} + 71O_2 = 48CO_2 + 46H_2O$ 4 (167.31) 71(32) 48(44) 46(18) 1.0 3.39 3.16 1.24 $\dot{m}_{dis}$ $\dot{m}_{dis}$*3.39 $\dot{m}_{dis}$*3.16 $\dot{m}_{dis}$*1.24

3.3.1.C Bilanțul de materiale pentru camerele de ardere

Calcularea masei care intră în incinerator rezultă din masa de deșeuri, aer uscat și masa de umezeală din aer într-o oră.

Masele care intră în incinerator reprezintă masele din deșeuri; celuloză C6H10O5, țesut C5H10O3, polietilenă plastic (halate de unică folosință, măști, mănuși, capace, galoși) (C2H4) x, PVC 4% (C2H3CL) x, care au fost notate cu valorile A, B, C, D (kg / h) din Tabelul 3.7 și aerul uscat.

3.3.1.D Compensarea aritmetică a energiei incineratorului.

3.3.1.D.1 Calcularea energiei care intră în incinerator

Energia totală de intrare a incineratorului este reprezentată de puterea calorifică a tuturor deșeurilor și energia generată de arzătoarele din Pcch și Scch care controlează temperaturile din camerele de ardere

Generarea totală de căldură din deșeurile din pungile galbene (Q_w) MJ/h) din Tabelul 3.7



Figura 3.16 Caracteristici ale arzătorului utilizat în cele două camere de combustie[33].

$$\dot{Q}_{in} = \dot{Q}_{t_W} + \dot{Q}_{burner} \qquad (17)$$

3.3.1.D.2 Calcularea energiei de ieșire din incinerator

3.3.1.E Eficiența incineratorului

Eficiența procesului de ardere se determină pentru cazul de combustie completă a deșeurilor, și anume, conversia materialelor organice din incinerator în gaze neutre cum ar fi dioxidul de carbon, vapori de apă, oxizi de sulf și nitrogen și factorii care se alătură acestui caz;

3.3.2 Aplicarea programului software EES și găsirea tuturor parametrilor

Programul se aplică prin introducerea datelor de bază, spre exemplu, cantitățile de mase de deșeuri și prin înlocuirea valorilor kg/h

A = țesuturi = 8, B= tampoane celuloză = 20, C= polietilenă plastic = 45, D= PVC = 4, E= cenușă = 13, F= umiditatea deșeurilor= 10.

Și introducerea masei de combustibil consumat într-o oră, kg/h

$\dot{m}_{diesel}$ =20 = (arzător1+ arzător2)

și temperatura camerei de ardere secundare deoarece gradul I este considerat constant, și este temperatura deșeurilor înainte de combustie și este de obicei între 20-40.

T1= 20 ºC, T2= 1200 ºC

Toți parametrii vor apărea în program cum este afișat în tabelul 3.9.

Tabelul 3.9 Parametrii rezultați în programul EES.

Când T_1=20,T_2=1200, A=8 kg/h , B=20 kg/h, C=45 kg/h, D=4 kg/h, E=13 kg/h, F=10 kg/h					
$\dot{m}_{diesel}1$	10 kg/h	$\dot{m}_{H2O_waste}$	10 kg/h	$\dot{m}_{in}$	2262
$\dot{m}_{diesel}2$	10 kg/h	$\dot{m}_{H2O_rec}$	76.49 kg/h	$\dot{m}_{out}$	2262
$\dot{m}_{tot_diesel}$	20 kg/h	$\dot{m}_{H2O_total}$	114.7 kg/h	$\dot{m}_{net}$	0
$\dot{m}_{W}$	100 kg/h	$\dot{m}_{CO2_tiss}$	14.72 kg/h	$\dot{Q}_{t_W}$	2913 MJ/h
$\dot{m}_{O2_poli}$	154.4 kg/h	$\dot{m}_{CO2_poli}$	141,3 kg/h	$\dot{Q}_{in_waste}$	2913 MJ/h
$\dot{m}_{O2_tiss}$	13.04 kg/h	$\dot{m}_{CO2_cell}$	32.6 kg/h	$\dot{Q}_{loss}$	191.2 MJ/h
$\dot{m}_{O2_cell}$	23.8 kg/h	$\dot{m}_{CO2_pvc}$	5,64 kg/h	$\dot{Q}_{ash}$	12.75 MJ/h
$\dot{m}_{O2_pvc}$	5.12 kg/h	$\dot{m}_{CO2_diesel}$	63.2 kg/h	$\dot{Q}_{dry_g}$	2732 MJ/h
$\dot{m}_{O2_diesel}$	67.8 kg/h	$\dot{m}_{CO2_rec}$	194.3 kg/h	$\dot{Q}_{H2O}$	599,2 MJ/h
$\dot{m}_{O2_req}$	196.3 kg/h	$\dot{m}_{HCl_rec}$	2.32 kg/h	$\dot{Q}_{diesel}$	910 MJ/h
$\dot{m}_{H2O_tiss}$	6.08 kg/h	$\dot{m}_{a_sto}$	853.5 kg/h	$\dot{Q}_{in}$	3823 MJ/h
$\dot{m}_{H2O_poli}$	58.05 kg/h	$\dot{m}_{a_Pch}$	1110 kg/h	$\dot{Q}_{out}$	3535 MJ/h
$\dot{m}_{H2O_cell}$	11.2 kg/h	$\dot{m}_{a_Sch}$	2134 kg/h	$\dot{Q}_{net}$	288 MJ/h
$\dot{m}_{H2O_pvc}$	1.16 kg/h	$\dot{m}_{N2}$	675.2 kg/h	η_{inc}	0.924
$\dot{m}_{O2_diesel}$	20 kg/h	$\dot{m}_{ash}$	13 kg/h		
$\dot{m}_{a_H2O}$	28.17 kg/h	$\dot{m}_{dry_total}$	2132 kg/h		

3.4 Proiectarea incineratorului mobil pentru eliminarea deșeurilor bolilor foarte transmibisible

În Irak, în special în centrele de îngrijire medicală și centrele pentru tratarea pacienților de corona, nu sunt incineratoare medicale și dacă există, sunt vechi. Deșeurile biomedicale sunt colectate de la centrele de îngrijire medicală și transportate la alte spitale care au incinerator. Prin urmare, folosirea incineratorului mobil reprezintă o soluție în controlarea gestionării și tratării adecvate a deșeurilor [11][12].

Deșeurile biomedicale sunt deșeurile generate din centrele de îngrijire medicală și spitale prin tratarea, diagnosticarea și protecția umană în cercetare [14]. Sunt deșeurile solide sau lichide care rezultă din diagnosticarea și tratarea pacienților cu boli infecțioase și virusuri [14]. Conform dispozițiilor Organizației Mondială a Sănătății, nu se pot arde deșeurile medicale cu umiditate ridicată, mai mare de 30%, materiale necombustibile mai mult de 40%, recipiente de gaz comprimat, materiale care conțin PVC, cadmiu și mercur cum ar fi bateriile și dispozitivele sub presiune [15]. Centrele de îngrijire medicală produc deșeurile medicale, inclusiv deșeuri care conțin virusuri și microbi care rezultă din diagnosticarea pacienților. Aceste deșeuri sunt ambalate în pungi galbene și apoi transferate în incineratoarele medicale din spitale.

Aceste deșeuri conțin celuloză C6H10O5, țesut C5H10O3, polietilenă plastic (halate de unică folosință, măști, mănuși, capace, galoși) (C2H4)x, PVC 4% (C2H3Cl) x, sticlă SiO2, Fe și umiditate (kg/h)]. Pentru a elimina transmiterea virusurilor persoanelor care lucrează ân spitale sau de la o zonă la alta, am conceput un incinerator mobil în programul EES pentru a controla dimensiunile design-ului și dimensiunea capacității incineratorului conform cantității de deșeuri generate în centre. Spre exemplu, Centrul Al-Shifa pentru tratamentul pacienților de coronavirus din Baghdad, care este afiliat Medical City, conține 250 de paturi și are un incinerator foarte vechi, fabricat în 1982. Capacitatea incineratorului nu poate suporta cantitatea de deșeuri generate deoarece este vechi.

3.4.1 Proiectarea camerei de ardere primară

Deșeurile medicale rezultate în urma pandemiei de coronavirus sunt caracterizate printr-o densitate redusă, cum ar fi măștile, manușile etc. Prin urmare, s-au luat în considerare câteva densități și altele. 80 (kg/m3), Ace și orice ascuțit și sticlă au fost tratate ca cenușă, iar umiditatea deșeurilor, materialele lichide, au fost reprezentate de apă. Camera de ardere primară este concepută dimensional pe baza formei și masei prestabilite a mecanismului de alimentare în incinerator [17] (Ecuația 25). Deșeurile generate zilnic de centrele de tratament pentru Coronavirus sunt de 100 kg și aceste deșeuri sunt incinerate timp de 4 ore ($\dot{m}_w$=100/4=25) kg/h

Pentru a determina volumul Pcch, considerăm ecuatia:

$$\dot{V}_{Pcch} = \frac{m_w}{\rho_w} \tag{25}$$

unde: V_{Pcch} [m^3] este volumul Pcch m^3, m_w reprezintă masa deșeurilor (kg) și ρ_w reprezintă densitatea, 80 kg/m^3.

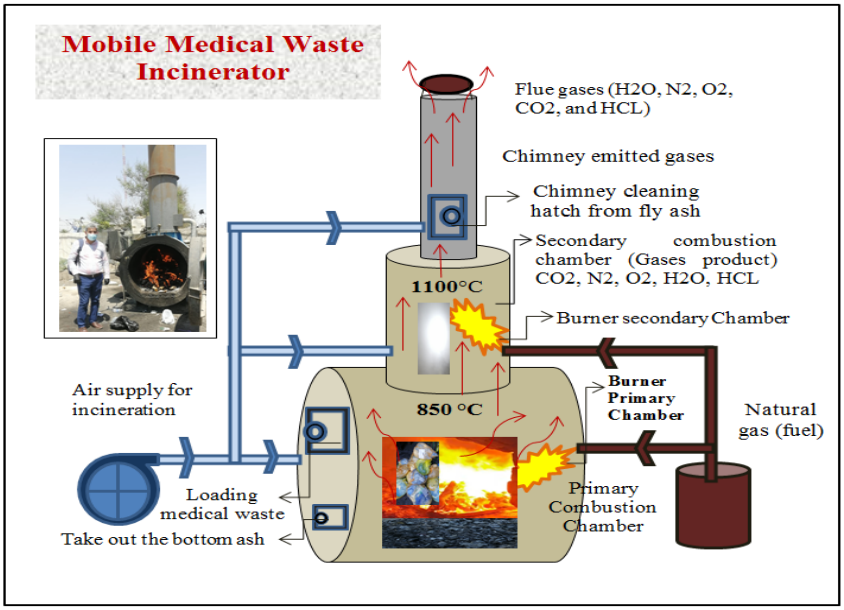


Figura 3.21 Schema unui incinerator mobil de deșeuri medicale

Deșeurile care intră în incinerator notate cu A, B, C, D, E, F, Z) kg/h reprezintă succesiv: celuloză $C_6H_{10}O_5$) țesut $C_5H_{10}O_3$, polietilenă plastic (halate de unică folosință, măști, mănuși, capace, galoși) (C_2H_4) x, PVC 4% (C_2H_3Cl) x, cenușă, umiditate și sticlă SiO_2, Fe ascuțit, (kg / h)].

CAPITOLUL 4

Reciclarea cenușii provenite din deșeurile medicale in amestecuri de asfalt

4.1 Generalitați

Lumea a fost martoră la o dezvoltare rapidă a tehnologiei odată cu creșterea populației lumii. În ultimii ani, răspândirea virusului COVID-19 a crescut cantitatea de MW. Aceste deșeuri, dacă nu sunt tratate și gestionate adecvat, cauzează probleme majore[2]. O metodă eficientă este incinerarea in incineratoare medicale, datorită performanței rapide de procesare, eficienței ridicate, costului redus, operare facilă, reducerea volumului cu 95% și greutății cu 70%, precum și gradului de detoxifiere, dezinfecție comprehensivă și recuperarea energiei[6][32][33][35][36]. Aceste incineratoare produc două tipuri de poluanți: gazele care rezultă din arderea deșeurilor cu aerul de ardere și combustibil care alimentează arzătoarele [1] și cenușa. Cenușa zburătoare care însoțește gazele de ardere se pot colecta cu filtre saci [79] și reprezintă 3-5% din greutatea totală a deșeurilor. Cenușa colectată la baza incineratorului se extrage automat sau manual după ce se răcește [93]; ea reprezintă aproximativ 20-30% și conține metale grele Cu, Pb, Cd, Hg, Ag, Mo, Ni, Zn, Sb, Ba. În ceea ce privește cenușa zburătoare, aceasta conține metale grele, acizi, materiale organice și un procentaj ridicat de cloruri, dioxine și componente de carbon și afectează în mod negativ solul și mediul [42][43]. Această cenușă este eliminată în general prin îngroparea ei în gropi de gunoi private, dar și în gropi de gunoi publice și acest lucru afectează mediul, apa freatică și solul dar ea poate fi valorificată prin reciclarea și utilizarea acesteia în materialele de construcție sau ciment [39][40][41]. În acest capitol, cenușa colectată și cenușa zburătoare au fost folosite și amestecate cu amestecuri de asfalt în proporții specificate în locul materialului de umplere ca o metodă de tratare, recuperare și utilizare. Figura 4.1 prezintă o descriere a acestei cercetări iar detaliile sunt prezentate mai jos.

4.2 Probele de cenușă colectată și zburătoare din incineratoarele medicale

A doua parte a experimentului o reprezintă tratarea cenușii colectate și zburătoare din incineratoarele medicale și utilizarea acestora în materiale de construcție a drumurilor.

Doar spitalele, centrele de îngrijire medicală și laboratoarele guvernamentale din Irak din 18 guvernorate produc deșeuri medicale care cântăresc 3,448,457 kilograme anual, conform statisticilor Ministerului Sănătății din Irak, Departamentul de remediere din 2019. În plus față de spitale, centre de îngrijiri medicale și laboratoare private, deșeurile medicale au început să crească și datorită pandemiei de COVID-19 și transformările acestuia din 2020 și 2021, precum și datorită creșterii numărului de spitale și creșterii densității populației.[106]



Figura 4.1 Etapele transformării deșeurilor medicale în cenușă și amestecarea acesteia cu amestecuri de asfalt[106]

4.3 Prepararea probei Marshall

Matrița pentru probe este un cilindru cu înălțimea de 63.5 mm și un diametru de 102 mm. Este încălzită la 120-150 grade Celsius. O bucată de hârtie neabsorbantă cu diametrul cilindrului este plasată la baza matriței. Amestecul de asfalt încălzit (amestecul de referință) cu greutatea de 1210 g este plasat în matriță și o bucată de hârtie neabsorbantă este poziționată deasupra. Douăzeci și șapte de eșantioane au fost testate, inclusiv amestecul sursă cu adaosurile de amestec de cenușă colectată și zburătoare[106].

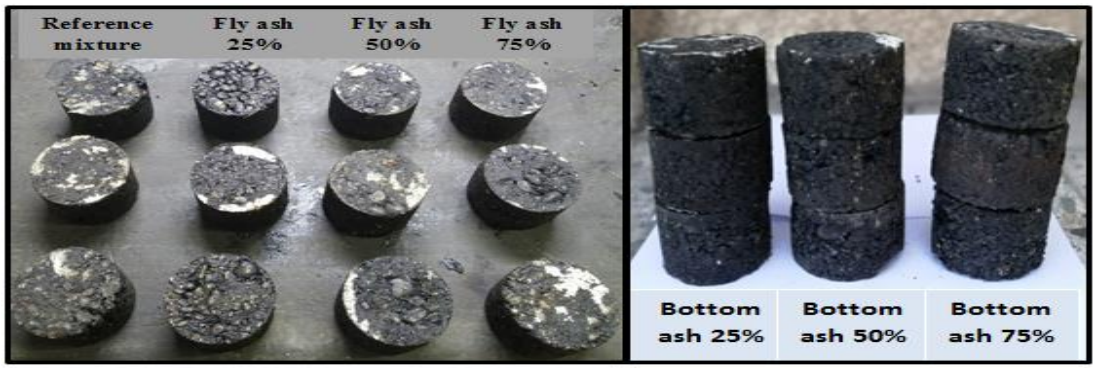


Figura 4.14 Proba Marshall cu adăugarea cenușii zburătoare și cenușii colectate [106]

CAPITOLUL 5 :Incinerator mobil de deșeuri medicale care funcționează pe lemn și motorină pentru a reduce poluarea mediului și concentrațiile de metale grele din cenușa rezultată

5.1 Introducere

Scopul științific de a concepe un incinerator mobil este de a preveni transmiterea virusurilor periculoase sau răspândirii unei epidemii din zonele endemice în zonele non-endemice. Din cauza faptului că majoritatea spitalelor sau unităților de îngrijire medicală primară din Irak, au fost recent înființate pentru a trata pacienții din această epidemie și nu aveau incineratoare medicale, deșeurile erau transferate la alte spitale cu scopul incinerării și acest lucru a facilitat transmiterea rapidă a infecției. Incineratorul propus în această cercetare operează pe lemn și motorină, și are ca obiectiv reducerea consumului de combustibil fosil, reducerea poluarii și reducerea procentului de metale grele din cenușa care rezultă din arderea deșeurilor. Al doilea obiectiv îl reprezintă tratarea cenușii pentru a nu afecta apa freatică, solul și aerul atunci când este îngropată. În al treilea obiectiv il reprezintă eliminarea deșeurilor din lemn.



Figura 5.7 Arderea deșeurilor medicale și a resturilor de palmieri în incineratorul medical

CAPITOLUL 6

Concluzii

6.1 Concluzii

Virusul COVID-2019 și transformările acestuia 2020-2021 a infectat milioane de persoane din lume, deci, scopul principal pentru conceperea incineratorului mobil a fost reducerea transmiterii virusului de la o zonă la alta prin deșeurile medicale, muncitori și șoferi. Când a apărut pandemia, în centrele din Irak dedicate tratării acestei boli s-au construit în medie 50-100 de spitale în toate guvernoratele, dar deșeurile biomedicale produse de aceste centre au fost transferate în alte zone unde existau incineratoare medicale, iar acest lucru a facilitat transmiterea virusului către acele zone și infectarea multor persoane. Incineratorul mobil a fost conceput pe baza maselor de intrare în incinerator reprezentate de deșeurile medicale și energia reprezentată de puterea calorifică a fiecărui tip de deșeuri. Aceste deșeuri sunt arse într-o cameră de ardere primară pentru a produse gaze de ardere care sunt transferate în camera de combustie secundară pentru a finaliza arderea materiilor volatile cu gazele de combustie. Procesul de combustie are loc cu ajutorul aerului și a combustibilului suport în ambele camere.

Rezultatele au fost bune folosind programul software EES de la Universitatea Politehnica din București, unde toate ecuațiile de proiectare au fost introduse pentru a facilita procesul de modificare a datelor de intrare și găsirea rezultatelor.

Incineratoarele au multe beneficii dar și unele dezavantaje, unul dintre acestea dezavantaje fiind cenușa colectată și cea zburătoare; se produc anual mii de tone prin incinerarea deșeurilor, și anume 30% din greutatea deșeurilor de dinainte de ardere. Această cenușă afectează mediul, persoanele, solul și apa din cauza conținutului acesteia de metale grele. Acestea se pot trata prin plasarea acesteia în forme făcute din ciment și apoi îngropate în sol. În acest experiment, cenușile au fost amestecate după examinare (XFR) în diverse proporții cu materialul de umplere folosit în fabricarea asfalturilor. S-au realizat patru teste: (stabilitate kN), fluaj (mm), densitate aparentă (g/cm3) și fracție de goluri(%) și s-a observat ca cea mai buna stabilitate s-a obținut la adăugarea a 25% de cenușă în amestecul de asfalturi

Referințe

[1] S. Singh and V. Prakash, "Toxic environmental releases from medical waste incineration: a review.," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 132, no. 1–3, pp. 67–81, 2007, doi: 10.1007/s10661-006-9503-3.

[2] U. Persson and M. Münster, "Current and future prospects for heat recovery from waste in European district heating systems: A literature and data review," *Energy*, vol. 110, pp. 116–128, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2015.12.074.

[3] World Health Organisation *et al.*, "Safe management of wastes from health-care activities," p. 329, 2014, [Online]. Available: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/85349/1/9789241548564_eng.pdf

[4] S. Meka and M. S. Arti Pamnani, "Muncipal solid waste management in India: A review and some new results," *Internaional J. Civ. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 1–8, 2014.

[5] M. O. Harhay, S. D. Halpern, J. S. Harhay, and P. L. Olliaro, "Health care waste management : a neglected and growing public health problem worldwide," vol. 14, no. 11, pp. 1–4, 2009, doi: 10.1111/j.1365-3156.2009.02386.x.

[6] R. O. Adu, S. F. Gyasi, D. K. Essumang, and K. B. Otabil, "Medical Waste-Sorting and Management Practices in Five Hospitals in Ghana," *J. Environ. Public Health*, vol. 2020, pp. 1–14, 2020, doi: 10.1155/2020/2934296.

[7] A. E. S. Green, *Medical Waste Incineration and Pollution Prevention*. New York: SPRINGER SCIENCE+BUSINESS MEDIA, LLC, 1992. doi: DOI https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3536-2.

[8] K. Khannam, W. Vattanapuripakorn, S. Sonsupap, J. Sarasamkan, U. Tongsantia, and B. Bubphachot, "Treatment of infectious waste through the application rotary kiln incinerators and ozone technology," *Appl. Syst. Innov.*, vol. 4, no. 4, pp. 1–12, 2021, doi: 10.3390/asi4040071.

[9] J. W. Bujak, "Heat recovery from thermal treatment of medical waste," *Energy*, vol. 90, pp. 1721–1732, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.06.124.

[10] V. Muthunarayanan *et al.*, "Treatment of Waste," *Waste Valoris.*, no. Leblanc 2019, pp. 33–49, 2020, doi: 10.1002/9781119502753.ch3.

[11] M. Blesl, T. Kober, D. Bruchof, and R. Kuder, "Effects of climate and energy policy related measures and targets on the future structure of the European energy system in 2020 and

beyond," *Energy Policy*, vol. 38, no. 10, pp. 6278–6292, 2010, doi: 10.1016/j.enpol.2010.06.018.

[12] C. P, M. D. L., P. V, and T. N, *European Energy and Transport*. 2007. doi: ISBN 978-92-79-07620-6.

[14] D. Jones, A. Sakhel, M. Buck, and P. Graichen, "The European Power Sector in 2018 Up-to-date analysis on the electriciy transition," p. 44, 2019, [Online]. Available: www.sandbag.org.uk%0Awww.agora-energiewende.de

[15] L. Levaggi, R. Levaggi, C. Marchiori, and C. Trecroci, "Waste-to-Energy in the EU: The Effects of Plant Ownership, Waste Mobility, and Decentralization on Environmental Outcomes and Welfare," *Sustainability*, vol. 12, no. 14, p. 5743, 2020, doi: 10.3390/su12145743.

[17] T. M. Samocha and D. I. Prangnell, "Waste treatment and disposal," *Sustain. Biofloc Syst. Mar. Shrimp*, pp. 211–218, 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-818040-2.00011-3.

[32] E. Okechukwu, C. Chukwutoo, and E. Chibundo, "THEORETICAL DESIGN OF A NON-ENERGY RECOVERY INCINERATOR FOR AWKA MUNICIPALITY," *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 13, pp. 154–166, 2018, doi: ISSN: 1119-8109.

[33] S. Jaber, A. A. Aljawad, T. Prisecaru, and E. Pop, "A theoretical study on the mass input and output and energy of the biomedical waste incinerator," *E3S Web Conf.*, vol. 286, p. 02016, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202128602016.

[34] B. A. Khan, A. A. Khan, M. Ali, and L. Cheng, "Greenhouse gas emission from small clinics solid waste management scenarios in an urban area of an underdeveloping country: A life cycle perspective," *J. Air Waste Manag. Assoc.*, vol. 69, no. 7, pp. 823–833, 2019, doi: 10.1080/10962247.2019.1578297.

[35] H. A. A. Salam, "OPERATING AND EMISSION CHARACTERSTICS OF A NOVEL DESIGN FOUR CHAMBERS INFECTIOUS MEAT INCINERATOR," pp. 322–328, 2013.

[36] E. M. P. Dragoş Teodor LUP1*, Ana Maria STROE1, Paul Mihai CHEZAN2 and 1Technical, "THE IMPORTANCE OF WASTE INCINERATION Dragoş," *Stud. Univ. BABEŞ-BOLYAI Ambient. Editor.*, pp. 44–49, 2018, doi: 10.24193/subbambientum.201.

[37] Y. Yang, H. Wang, K. Chen, J. Zhou, S. Deng, and Y. Wang, "Shelter hospital mode: How do we prevent COVID-19 hospital-acquired infection?," *Infect. Control Hosp. Epidemiol.*, vol. 41, no. 7, pp. 872–873, 2020, doi: 10.1017/ice.2020.97.

[38] P. S. Thind, A. Sareen, D. D. Singh, S. Singh, and S. John, "Compromising situation of India's bio-medical waste incineration units during pandemic outbreak of COVID-19: Associated environmental-health impacts and mitigation measures," *Environ. Pollut.*, vol. 276, p. 116621,

2021, doi: 10.1016/j.envpol.2021.116621.

[39] C. Bruder-Hubscher, F. Lagarde, M. J. F. Leroy, C. Coughanowr, and F. Enguehard, "Utilisation of bottom ash in road construction: A lysimeter study," *Waste Manag. Res.*, vol. 19, no. 6, pp. 557–566, 2001, doi: 10.1177/0734242X0101900612.

[40] L. Zhao, F. Zhang, M. Chen, Z. Liu, D. Bo, and J. Wu, "Typical pollutants in bottom ashes from a typical medical waste incinerator," *J. Hazard. Mater. J.*, vol. 173, pp. 181–185, 2010, doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.08.066.

[41] S. Papamarkou, D. Christopoulos, P. E. Tsakiridis, G. Bartzas, and K. Tsakalakis, "Vitrified medical wastes bottom ash in cement clinkerization . Microstructural , hydration and leaching characteristics," *Sci. Total Environ.*, vol. 635, pp. 705–715, 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.178.

[42] J. Shiju Easo and C. Nanjunda Swamy, "Design of incinerator for the treatment of bio-medical solid waste in chikmagalur city," *J. Ind. Pollut. Control*, vol. 27, no. 2, pp. 173–179, 2011.

[43] F. Liu, H. Liu, G. Wei, R. Zhang, T. Zeng, and G. Liu, "Characteristics and Treatment Methods of Medical Waste Incinerator Fly Ash: A Review," *MDPI*, pp. 1–25, 2018, doi: 10.3390/pr6100173.

[79] Y. W. Yoon *et al.*, "Characteristics of PCDDs/PCDFs in stack gas from medical waste incinerators," *Chemosphere*, vol. 188, pp. 478–485, 2017, doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.09.010.

[93] C. Tsakalou, S. Papamarkou, P. E. Tsakiridis, G. Bartzas, and K. Tsakalakis, "Characterization and leachability evaluation of medical wastes incineration fly and bottom ashes and their vitrification outgrowths," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 367–376, 2018, doi: 10.1016/j.jece.2017.12.012.

[104] S. Jaber, A. A. Aljawad, T. Prisecaru, and E. Pop, "The environmental situation of the ash medical waste in Baghdad city, Iraq," *E3S Web Conf.*, vol. 286, p. 02017, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202128602017.

[106] S. K. JABER, A. A. Aldin, E. POP, T. PRISECARU and I. PISA "THE USE OF BOTTOM ASH AND FLY ASH FROM MEDICAL INCINERATORS AS ROAD CONSTRUCTION MATERIAL," *Sci. Bull.*, vol. 84, 2022, doi: ISSN 1454-2358.