

Rezumatul tezei de doctorat

CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND METODE DE VALORIFICARE ENERGETICĂ A DEȘEURILOR MENAJERE

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea Politehnica Timișoara
în domeniul INGINERIE MECANICĂ
de către

Ing. Mihail Reinhold Wächter

Conducător științific:
Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing.habil Ioana Ionel
Prof.univ.dr.ing. Tudor Prisecaru
Prof.univ.dr. Ion Cotăescu
Prof.univ.dr.ing. Petru Negrea

TIMIȘOARA
2015

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității depuse în cadrul Centrului de Cercetări pentru Mașini și Echipamente Termice, Transporturi și Combaterea Poluării din facultatea de Mecanică al Universității Politehnica din Timișoara. Cercetarea se concentrează asupra ideii de valorificare a potențialului energetic conținut în deșeurile municipale menajere produse de așezările urbane.

Având în vedere puterea calorifică importantă (conținutul energetic), ce caracterizează acest tip de deșeu, și poluarea masivă cu depozitele de deșuri care nu sunt supuse unui management ecologic, s-a urmărit valorificarea energetică, simultan obținându-se și reducerea riscului de poluare.

Lucrarea se adresează tuturor celor interesați sau care doresc să se specializeze în domeniul sistemului de management integrat al deșeurilor, cu particularizare spre (i) aplicații de valorificare energetică a deșeurilor menajere (conceptul „waste-to-energy”), precum și (ii) depozitarea în condiții ecologice a reziduurilor rezultate în urma incinerării deșeurilor menajere. Pentru valorificarea energetică sunt analizate patru studii de caz, două pentru captarea gazului de depozit și două pentru tratarea termică a deșeurilor, prin incinerarea în masă pe sisteme cu grătare mobile.

Captarea biogazului de depozit este o tehnologie (BAT) aplicabilă depozitelor de deșuri menajere existente și determină reducerea impactului biometanului (gaz cu efect de seră) produs în depozit asupra poluării atmosferei. Totodată gazul metan captat se poate valorifica în centrale de cogenerare performante.

Tratarea termică prin incinerarea în masă pe sisteme cu grătare mobile a deșeurilor menajere este dedicată valorificării fracției combustibile conținute în masa deșeurilor menajere în amestec, care, în urma arderii, produce o cantitate suficientă de energie pentru generarea aburului cu parametri necesari funcționării unor unități de valorificare energetică în cogenerare.

În urma tratării termice rezultă o cantitate semnificativă de subproduse ale arderii (zgură și cenușă), precum și alte produse reziduale de la stația de tratare a gazelor de ardere, care sunt depozitate de obicei în haldă, constituindu-se astfel în reale pericole pentru afectarea mediului ambiant (apă, aer, sol). Prin prezenta cercetare s-a propus o metodă nouă de depozitare, prin aplicarea tehnologiei de șlam dens utilizată uzual pentru evacuarea și depozitarea de zgura și cenușa provenită de la termocentralele pe lignit.

Conceptul inovator se bazează pe utilizarea cenușii și a produselor de desulfurare aferente incinerării cărbunelui ca material liant pentru stabilizarea prin solidificare a poluanților conținuți în reziduurile aferente incinerării deșeurilor menajere. În acest sens s-au experimentat o serie de rețete, având ca și suport un ștand special conceput (proiectat, executat). Rezultatele demonstrează posibilitatea de stabilizare a metalelor grele, conținute în reziduurile aferente incinerării deșeurilor menajere, în roca de cenușă obținută prin tehnologia șlamului dens.

Pentru măsurători, analiza și interpretarea datelor s-a utilizat echipamentele și aparatura de vârf din dotarea centrului de cercetări menționat și a Institutului de Cercetări pentru Energii Regenerabile – ICER. Rezultatele experimentale obținute sunt valoroase și se încearcă protejarea lor printr-o cerere de brevet.

Consider că lucrarea este un suport științific pentru cercetările viitoare care vor avea subiect valorificarea surselor de energie regenerabilă sau depozitarea într-un mod ecologic a subproduselor rezultate în urma tratării termice prin incinerare în masă a deșeurilor menajere.

CUPRINSUL TEZEI DE DOCTORAT

1. INTRODUCERE.....	156
1.1. Motivația alegerii temei de cercetare	
1.2. Importanța și actualitatea temei	
1.3. Încadrarea temei în contextul preocupărilor existente la nivel internațional și național	
1.4. Obiectivele științifice propuse pentru rezolvare în cadrul cercetării	
1.5. Metoda de cercetare abordată și metodologia cercetării	
2. METODE DE VALORIFICARE A DEȘEURILOR MENAJERE.....	157
2.1. Caracterizarea energetică a deșeurilor menajere	
2.2. Particularitățile valorificării energetice a deșeurilor menajere	
2.3. Reziduurile aferente proceselor de valorificare energetică prin incinerare	
3. CAPTAREA BIOGAZULUI DIN DEPOZITELE DE DEȘEURI MENAJERE...	158
3.1. Metoda activă și metoda pasivă de captare biogaz	
3.2. Metode de separare a metanului din biogazul de depozit	
3.3. Studiu de caz 1 – captarea biogazului de la depozitul pentru deșeuri menajere Pata Rât din județul Cluj	
3.4. Studiu de caz 2– captarea biogazului de la depozitul pentru deșeuri menajere Dej din județul Cluj	
4. TRATAREA TERMICĂ A DEȘEURILOR MENAJERE PRIN INCINERARE...	158
4.1. Mecanismul procesului de incinerare a deșeurilor menajere	
4.2. Incinerarea deșeurilor menajere prin arderea în masă	
4.3. Incinerarea deșeurilor menajere prin arderea în pat fluidizat	
4.4. Incinerarea deșeurilor menajere în cuptoare rotative	
4.5. Studiu de caz 3 - incineratorul pentru deșeuri menajere de la KRV Arnoldstein - Austria	
4.6. Studiu de caz 4 - incineratorul pentru deșeuri menajere din Timișoara	
5. GESTIONAREA REZIDUURILOR PROVENITE DIN INCINERAREA DEȘEURILOR MENAJERE.....	159
5.1. Particularitățile tratării reziduurilor provenite din incinerarea deșeurilor	
5.2. Metode de tratare a reziduurilor provenite din incinerarea deșeurilor	
5.3. Contribuții privind metoda de tratare prin solidificarea reziduurilor provenite din incinerarea deșeurilor menajere	
6. EXPERIMENTE PRIVIND TRATAREA REZIDUURILOR PRIN SOLIDIFICARE CU METODA ȘLAMULUI DENS.....	160
6.1. Materiale utilizate și metoda experimentală aplicată	
6.2. Rezultatele testelor de analiză pentru probele investigate	
6.3. Interpretarea rezultatelor obținute	
6.4. Aplicabilitatea rezultatelor obținute	
7. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PROPRI.....	162
7.1. Atingerea obiectivelor de cercetare științifică propuse	
7.2. Concluzii privind rezultatele cercetării efectuate	
7.3. Direcțiile de cercetare rămase deschise pentru continuarea cercetărilor	
7.4. Contribuții proprii referitoare la tema cercetată	
Bibliografie	
Anexa 1	
Rezumat (engleză)	

Subiectul tezei de doctorat și concluziile cercetării răspund unor probleme de maximă actualitate privind valorificarea energetică a deșeurilor menajere și tratarea reziduurilor aferente incinerării prin solidificare, în vederea reducerii iminentului impact de poluare asupra mediului înconjurător.

Teza de doctorat este structurată în 7 capitole care cuprind teme de actualitate în domeniul managementului integrat al deșeurilor, aplicații punctuale prin tratarea unor studii de caz, experimente realizate pe stand și analize efectuate cu aparatura de vârf din dotarea laboratoarelor UPT și a Institutului de Cercetări pentru Energii Regenerabile – ICER. Efectuarea analizelor și interpretarea datelor s-a realizat într-o echipă interdisciplinară mixtă, cu specialiști în domeniu și în tehnica de utilizare a aparatelor de măsură și analiză de ultimă generație. Astfel analizele efectuate pe probele experimentale investigate, precum și interpretarea rezultatelor s-au realizat în condiții și la standarde ridicate.

1. INTRODUCERE

Se sublinează importanța temei abordate, preocupările la nivel european și național legate de temă, precum și motivele alegerii temei de studiu de cercetare care se regăsesc în metoda de cercetare abordată și în obiectivele stabilite pentru cercetare.

Creșterea cantităților de deșeuri menajere este direct proporțională cu trendul de creștere a populației în mediul urban. În ultimele decenii s-au făcut eforturi considerabile pentru găsirea unor soluții cât mai eficiente și sustenabile pe termen mediu și lung, în ce privește gestionarea deșeurilor menajere într-o manieră ecologică cu impact minim asupra mediului ambiant. Acest fapt se reflectă în scăderea limitelor de poluare impuse prin legislația emisă de Uniunea Europeană, care sunt din ce în ce mai restrictive.

Sistemul de management integrat al deșeurilor are rolul de a oferi soluții în acest sens. Sub acest aspect, tratarea termică a deșeurilor menajere reprezintă o soluție fezabilă, cu impact pe termen mediu și lung, pentru reducerea semnificativă a cantității de depozitare în haldă a deșeurilor, și totodată permite igienizarea acestora. În cazul incineratoarelor dotate cu tehnologii moderne volumul deșeurilor este redus cu 95-96 %, funcție de compoziția și gradul de reciclare al acestora. *Reciclarea selectivă a deșeurilor menajere* este puternic influențată de participarea populației în acest sens, astfel pe primele locuri, cu peste 60% din deșeuri reciclate, se află Germania și Austria, iar pe ultimul loc este România cu doar 1%.

Având în vedere limitarea cantității de depozitare în haldă a deșeurilor menajere impusă prin normele europene (Directiva nr.33/2003/EEC), incinerarea deșeurilor reprezintă soluția optimă, oferind simultan o serie de avantaje (reducerea volumului depozitat, igienizarea deșeurilor și valorificarea energetică).

Pe de altă parte *găsirea unor surse alternative de energie* este de asemenea un subiect de actualitate foarte intens dezbătut de echipele de cercetare din întreaga lume. Ca răspuns în rezolvarea acestor probleme s-a dezvoltat conceptul „waste-to-energy”, care s-a dovedit a fi o soluție sustenabilă în acest sens. Acest concept presupune valorificarea potențialului energetic conținut în deșeuri, într-o manieră ecologică cu impact minim asupra mediului ambiant. Implementarea conceptului atrage implicit dezvoltarea unor tehnologii moderne de incinerare, de tratare a gazelor de ardere și depozitare în haldă a subproduselor arderii.

Gestionarea subproduselor arderii rezultate în urma procesului de incinerare a deșeurilor menajere reprezintă de asemenea un subiect de actualitate. În urma

procesului de incinerare rezultă o cantitate semnificativă de zgură și cenușă precum și reziduuri provenite de la stația de tratare a gazelor de ardere. Cea mai mare parte a acestor reziduuri este depozitată în prezent în haldă.

Depozitarea în haldă ridică problemele legate de contaminarea pânzei de apă freatică prin fenomenul de levigare, și a aerului prin emisii de praf. Pentru rezolvarea acestor probleme există mai multe metode de gestionare a cenușii cum ar fi sinterizare, vitrificare sau stabilizare/solidificare.

Metoda de stabilizare a reziduurilor provenite de la incinerarea deșeurilor menajere s-a dovedit a fi soluția cea mai fezabilă. Această metodă se bazează pe modificarea structurii materialului depozitat prin utilizarea unor lianți care înglobează și fixează elementele poluante. Totodată această metodă oferă și o creștere a stabilității materialului depozitat.

În urma experienței profesionale dobândite, am văzut posibilitatea de a stabili reziduurile provenite de la incineratoarele pentru deșeuri menajere în matricea rocii de cenușă obținută prin tehnologia șlamului dens utilizată uzual pentru evacuarea și depozitarea produselor de ardere provenite de la termocentralele pe cărbune. Acest fapt m-a determinat să aprofundez această idee prin studiile desfășurate în cadrul unei cercetări de doctorat.

Obiectivele studiului de cercetare, ținesc două categorii principale:

- A. *Obiectivele cercetării teoretice* – prin care s-au analizat sub aspect tehnic și critic soluțiile și tehnicile pentru tratarea și valorificarea energetică a deșeurilor menajere, aplicate și implementate la nivel global și european.

În acest sens s-au identificat (i) metode de captare a biogazului produs de depozitele de deșeuri menajere existente în vederea valorificării/neutralizării, (ii) caracteristicile și metodele de tratare termică a deșeurilor menajere, (iii) metode de tratare a reziduurilor rezultate în urma incinerării, precum și (iv) reducerea impactului poluator generat de depozitele de deșeuri existente.

- B. *Obiectivele cercetării aplicate și experimentale* - prin care s-au analizat punctual patru studii de caz care tratează valorificarea energetică a deșeurilor menajere, și experimental s-a dezvoltat un concept inovator de tratare a reziduurilor aferente incinerării deșeurilor menajere prin metoda de stabilizare/solidificare.

Studiile de caz 1 și 2, tratează captarea și valorificarea/neutralizarea biogazului produs de depozitele de deșeuri existente; iar studiile de caz 3 și 4 tratează valorificarea energetică a deșeurilor prin tratare termică în unități de incinerare.

Pentru realizarea obiectivelor experimentale, s-au utilizat reziduuri de ardere prelevate de la trei unități de incinerare a deșeurilor menajere din străinătate; cu tehnologii diferite de ardere (i) ardere în masă pe grătare mobile, (ii) ardere în pat fluidizat staționar și respectiv (iii) ardere în pat fluidizat circulant.

2. METODE DE VALORIFICARE A DEȘEURILOR MENAJERE

Capitolul 2 constituie o scurtă sinteză, realizată în baza fluxului internațional al cunoașterii pe ultimii 8 ani, în majoritate, privind metodele de valorificare energetică a deșeurilor menajere prin tratare termică și captarea biogazului generat de depozitele de deșeuri menajere existente.

Sunt prezentate în esență toate fazele pe care deșeurile menajere le parcurg, începând cu modul de generare până la reziduul ultim depozitat în haldă. În acest sens s-au prezentat succint următoarele:

- *Caracterizarea energetică a deșeurilor menajere* – care descrie conținutul energetic din deșeuri, funcție de modul de producere și de eterogenitatea materiei ce formează deșeurile. În acest sens sunt prezentate cantitățile de deșeuri produse la nivel european pe o durată de 10 ani (2003-2013) și patru metode ca calcul pentru determinarea puterii calorifice a deșeurilor menajere, care reflectă potențialul energetic al acestora.
- *Particularitățile valorificării energetice a deșeurilor menajere* – care pleacă de la fluxul tehnologic al sistemului de management integrat al deșeurilor, din care rezultă metoda de valorificare energetică prin captarea biogazului de depozit și respectiv tratarea termică prin incinerare.
- *Reziduurile aferente proceselor de valorificare energetică prin incinerare* – care prezintă cantitățile de reziduuri (zgură și cenușă) aferente procesului de incinerare, respectiv cantitățile de reziduuri provenite de la unitățile de tratare a gazelor de ardere funcție de tehnologia de epurare aplicată. Cele din urmă sunt cele mai toxice, întrucât acestea rețin și concentrează substanțele toxice conținute și rezultate în urma procesului de incinerare.

3. CAPTAREA BIOGAZULUI DIN DEPOZITELE DE DEȘEURI MENAJERE

Se prezintă modul de abordare și metodele existente în ceea ce privește *captarea biogazului de depozit*. Sunt descrise *tipurile constructive și modul de calcul pentru dimensionarea sondelor de extracție și captare a biogazului*, precum și metode de separare a metanului din biogaz, în scopul valorificării lui în unități de cogenerare.

Sunt prezentate *studiile de caz 1 și 2 care tratează punctual captarea biogazului* pentru două depozite din județul Cluj, și anume cel de la (1) Pata Rât respectiv de la (2) Dej. Pentru primul studiu de caz este *prezentată metoda de captare activă a biogazului de depozit și neutralizarea lui prin ardere în sisteme cu faclă*, iar pentru al doilea studiu de caz este prezentată *metoda de captare pasivă*. Pentru ambele studii de caz sunt întocmite breviare de calcul și desene de execuție, prin care s-a prezentat în mod explicit modul de proiectare, dimensionare și construcție a sistemelor de captare biogaz.

4. TRATAREA TERMICĂ A DEȘEURILOR MENAJERE PRIN INCINERARE

Capitolul 4 prezintă (i) mecanismul procesului de incinerare al deșeurilor menajere, (ii) reacțiile chimice de ardere, (iii) metode/tehnologii de tratare termică prin incinerare pentru deșeurile menajere și (iv) studiile de caz 3 și 4 care tratează două unități de incinerare pentru deșeurile menajere.

Mecanismul procesului de incinerare indică în mod explicit etapele de incinerare cu fazele de combustie și transformare de masă aferente. Sunt descrise *etapa de combustie primară*, caracterizată de faza de uscare, volatilizare, ardere în masă și finalizarea arderii în masă; respectiv, *etapa de combustie secundară* caracterizată de arderea volatilelor și distrugerea gazelor toxice provenite din prima etapă. În etapa secundară este evidențiată eficiența distrugerii poluanților funcție de temperatura din camera de ardere (focar) și timpul de staționare al gazelor în această zonă.

Reacțiile chimice de combustie (oxidare) sunt sursa de energie obținută în urma procesului de incinerare. S-a prezentat explicit importanța excesului de aer necesar arderii raportat la fiecare fază de incinerare. Este descris modul de formare a reziduurilor rezultate în urma procesului de ardere, coroborat cu temperaturile la care are loc fiecare fază de ardere, respectiv cu cantitatea de aer necesar arderii pentru fiecare fază. Pentru realizarea unei arderi complete care implică emisii reduse și valorificare energetică maximă, coeficientul excesului de aer are un rol decisiv în desfășurarea reacțiilor chimice de ardere. Acest fapt se cuantifică prin aportul cantității de oxigen prezent în fiecare etapă/zonă de combustie.

Se prezintă metodele/tehnologiile de incinerare cele mai potrivite pentru tratarea termică a deșeurilor menajere. Astfel sunt explicate metodele de incinerare (a) în masă pe sisteme cu grătare mobile, (b) în pat fluidizat și (c) în cuptoare rotative, cu specificul fiecărei metode pentru tipul și categoria de deșeu incinerat.

Studiul de caz 3 prezintă unitatea de incinerare de la KRV Arnoldstein – Austria, care este dotat cu o tehnologie „state-of-the-art” în ceea ce privește incinerarea deșeurilor pe sisteme cu grătare mobile, aceasta este de altfel cea mai răspândită metodă de tratare termică pentru deșeurile menajere. Incineratorul are o tehnologie de ardere foarte eficientă, bazată pe creșterea concentrației de oxigen în aerul primar de ardere, și sinterizarea cenușii grosiere, prin reintroducerea acesteia în masa de deșeu incinerat. Studiul de caz s-a realizat în urma efectuării unui stagiu de practică la unitatea de incinerare. Astfel a fost posibilă studierea și analiza întregului flux tehnologic, colectare de date concrete din exploatare precum și prelevarea unor eșantioane de reziduuri aferente incinerării deșeurilor. Pe baza acestor date a fost posibilă realizarea unor breviate de calcul pentru determinarea indicatorilor de performanță ai unității de incinerare, indicatori impuși prin legislația europeană în domeniu (Directiva 2008/98/EC).

Studiul de caz 4 are la bază date preluate din proiectul pentru implementare unei unități de incinerare pe platforma industrială de la CET Sud Timișoara. Astfel s-a făcut un studiu și o analiză pe baza datelor de proiectare și dimensionare a unității de incinerare. Particularitatea acestui incinerator constă în faptul că dimensionarea unității s-a făcut pe baza a doi combustibili cu puteri calorifice diferite. Astfel combustibilul de bază îl reprezintă deșeurile menajere sortate (cu $H_i=10800$ kJ/kg) și „biocoal” (cu $H_i=17650$ kJ/kg) ca și combustibil secundar. Debitul de combustibil secundar este limitat în modul normal de funcționare al unității de incinerare datorită puterii calorifice ridicate. Prin urmare acest combustibil poate fi utilizat în controlul temperaturii de ardere în focar, prin reglarea debitului de alimentare.

5. GESTIONAREA REZIDUURILOR PROVENITE DIN INCINERAREA DEȘEURILOR MENAJERE

Capitolul 5 prezintă (i) o sinteză a metodelor de gestionare, (ii) tratare a reziduurilor provenite din incinerarea deșeurilor menajere, și (iii) contribuțiile privind metoda de tratare prin solidificare/stabilizare a reziduurilor.

Metodele de gestionare a reziduurilor aferente incinerării deșeurilor menajere prezintă în impactul depozitării în haldă și potențialul pericol de contaminare a mediului înconjurător generat de astfel de depozite. S-a descris fenomenul de levigare care se desfășoară în masa reziduurilor depozitate, sub influența apei meteorice (ploi, zăpadă), fiind principalul mediu de transfer al poluanților, între depozit și mediu. Acest fenomen are un impact asupra mediului pe termen scurt, mediu și lung. De aceea concentrațiile de poluanți conținute de levigatul acestor

depozite sunt limitate prin legislație și monitorizate de autoritățile de mediu din fiecare țară (indiferent dacă este membră EU sau nu).

Se prezintă metodele de tratare a reziduurilor provenite din incinerarea deșeurilor, implementate industrial sau încă în fază cercetare, care sunt cele mai răspândite la nivel mondial și european. S-au prezentat (a) metoda de extracție și separare a poluanților, (b) metoda de stabilizare chimică, (c) metoda de solidificare și (d) metoda de tratare termică. Pentru a evidenția eficiența și costul implementării fiecare metode în parte, sau a unor combinații între aceste metode s-a întocmit un tabel (tabel 5.1) ce ține cont de aspecte legate în acest sens.

Contribuțiile legate de metoda de tratare prin solidificarea poluanților conținuți în reziduurile specifice incinerării deșeurilor menajere, se cuantifică prin (a) descrierea tehnică și principiul a metodei, (b) prezentarea reacțiilor chimice de cimentare/solidificare care stau la baza tehnologiei propuse și (c) proiectarea, dimensionarea și realizarea standului experimental Mixer Hidraulic pe care s-a cercetat experimental în laborator metoda inovatoare propusă.

Originalitatea se concretizează prin metoda propusă pentru depozitarea în haldă a reziduurilor aferente incinerării deșeurilor, prin aplicarea tehnologiei de șlam dens utilizată uzual pentru evacuarea și depozitarea de zgura și cenușa provenită de la termocentralele pe lignit. Conceptul inovator se bazează pe utilizarea cenușii și a produselor de desulfurare aferente incinerării cărbunelui ca material liant pentru stabilizarea prin solidificare a poluanților (metale grele în speță) conținuți în reziduurile aferente incinerării deșeurilor menajere.

Standul Mixer Hidraulic s-a conceput și construit pentru realizarea unui set de experimente „in-situ” la CET Sud Timișoara, pe baza cărora s-a studiat determinarea rețetei optime de șlam dens în vederea integrării produselor de desulfurare într-o nouă rețetă (de șlam dens), în vederea stabilirii parametrilor optimi de transport hidraulic prin conducte pentru deversarea în depozitul de cenușă de la Uțvin.

6. EXPERIMENTE PRIVIND TRATAREA REZIDUURILOR PRIN SOLIDIFICARE CU METODA ȘLAMULUI DENS

Acest capitol cuprinde cercetarea experimentală realizată pe stand și în laboratoarele MMUT și ICER. În final s-a propus o metodă inovatoare de stabilizare/solidificare a reziduurilor aferente incinerării deșeurilor menajere în roca de cenușă. S-au efectuat (i) compoziția chimică a cenușilor utilizate, (ii) stabilirea rețetelor de preparare a șlamului dens, (iii) analiza structurii și a formelor de cristalizare pentru roca de cenușă, (iv) analiza concentrațiilor de metale grele în levigat, (v) interpretarea rezultatelor obținute și (vi) aplicabilitatea rezultatelor obținute.

Determinarea compoziției chimice a cenușilor utilizate este esențială pentru identificarea elementelor chimice care participă la reacțiile de cimentare, respectiv identificarea elementelor poluante care sunt stabilizate prin reacții chimice de cimentare, în matricea rocii de cenușă. Cenușile se împart în două categorii (a) materialul liant, reprezentat de cenușă de electrofiltru și produsul de desulfurare, aferente procesului de incinerare al cărbunelui inferior (lignit); și respectiv (b) reziduu toxic reprezentat de zgura, cenușa și reziduurile aferente tratării a gazelor de ardere provenite din incinerarea deșeurilor menajere.

Cu referire la materialul liant, s-a analizat compoziția oxidică, prin care s-a determinat concentrația de *elemente pozzolanice* din cenușă (SiO_2 , Al_2O_3 și Fe_2O_3), respectiv compoziția chimică elementară a reziduuului de desulfurare, prin care s-a determinat concentrațiile compușilor pe bază de calciu (CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaSO_3 ,

CaSO₄, CaSO₃, CaCO₃) care activează și accelerează reacțiile chimice de cimentare. Materialul liant, reprezintă structura de bază în matricea rocii de cenușă, care în urma reacțiilor chimice de cimentare, cristalizează sub diferite forme, și fixează și leagă în structura lor poluanții toxici din reziduurile de incinerare (în speță metale grele). Cenușa de electrofiltru și reziduu de desulfurare au fost prelevate de la termocentrala CET Sud Timișoara.

*Pentru reziduurile toxice, s-au analizat conținutul și concentrația metalelor grele (As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn etc. – vezi tab 6.3), comparând valorile concentrațiilor determinate experimental cu cele maxime admise pentru materiale toxice date de legislația în vigoare (Ministerul de Mediu Ordinul Nr.95/12/02/2005, întocmit pe baza European Council Decision 2003/33/EC și art.16 Anexa II din EU Directive 1999/31/EC). Astfel s-a evidențiat faptul că acestea sunt deșeuri toxice, și nu pot fi depozitate în haldă fără o tratare corespunzătoare. Reziduurile toxice analizate au fost prelevate de la unități de incinerare cu tehnologii diferite (a) MSWI KRV Arnoldstein – ardere în masă pe grătare mobile, (b) MSWI Niklasdorf Styria – ardere în pat fluidizat staționar și (c) MSWI Glückstadt – ardere în pat fluidizat circulant. Primele două incineratoare sunt din Austria, iar ultimul din Germania. În urma analizelor acestor reziduuri s-a demonstrat că indiferent de procedeul de incinerare aplicat, concentrațiile de metale grele în reziduurile aferente arderii sunt aceleași. Analiza concentrațiilor de metale grele s-a realizat prin metoda FRX (Flourescence Radiation X) pe un aparat XL3t GOLD⁺ FROM Thermo Scientific în laboratoarele ICER. *Stabilirea rețetelor de preparare a șlamului dens* prezintă modul de amestecare, proporțiile de amestec între faza solidă (cenuși) și cea lichidă (apă), respectiv modul de realizare și pregătire al probelor investigate. În acest sens sunt prezentate rețetele de amestec pentru patru tipuri de probe și modul de realizare al matriței de turnare a șlamului dens. Conceptul și construcția matriței de turnare are un rol important pentru obținerea unor probe de calitate fără fisuri sau crăpături în roca de cenușă. Construcția și realizarea matrițelor sunt efectuate într-un concept propriu. Tot aici s-a prezentat modul de pregătire a probelor în vederea efectuării testelor levigare conform standardelor în vigoare (SR-EN 12457-2003).*

Analiza structurii și a formelor de cristalizare pentru roca de cenușă s-au realizat prin analiza rocii de cenușă cu metoda XRD (X Ray Diffraction) pe un aparat Rigaku Ultima IV Difractometer (cu radiația K α =0.154 nm) în laboratoarele ICER. În acest sens s-au investigat cele patru probe de rocă de cenușă. În urma rezultatelor obținute s-au identificat formele de cristalizare prin comparația cu spectrele din baza de date ICDD (International Centre for Diffraction Data). În urma analizelor spectrale s-au identificat modul prin care metalele grele sunt legate în structura de cristalizare a rocii de cenușă.

Analiza concentrațiilor de metale grele în levigat s-a realizat prin metoda gravimetrică utilizând aparatul ICP-MS Aurora 90 BRUKER. Valorile rezultatelor obținute au fost comparate cu valorile maxime admise pentru materiale inerte date de legislația în vigoare (Ministerul de Mediu Ordinul Nr.95/12/02/2005).

Prin interpretarea valorilor experimentale obținute s-a demonstrat că roca de cenușă reprezintă un material inert care poate fi depozitat în haldă fără probleme. Acest fapt indică că metoda inovatoare propusă de stabilizare a reziduurilor toxice aferente incinerării deșeurilor, în roca de cenușă obținută prin tehnologia șlamului dens, este o metodă fezabilă pentru depozitarea ecologică în haldă. Suplimentar s-a analizat variația în timp a concentrațiilor de metale grele în levigat, pentru intervale de timp de 7, 14, 21 și 28 zile (cf. SR-EN 12457-2003), și s-a constatat că, există un fenomen de adsorbție a metalelor grele în roca de cenușă. Se constată că roca

de cenușă are proprietăți filtrante. Acest considerent, întărește un argument posibilă depozitării ecologice în haldă prin metoda inovatoare propusă.

Aplicabilitatea rezultatelor obținute se bazează pe rezultatele experimentale obținute, care confirmă și susțin valoarea și importanța metodei de tratare a reziduurilor aferente incinerării deșeurilor prin stabilizare/solidificare. Aplicarea metodei propuse, poate fi ușor implementată, în ipoteza construirii unităților de incinerare a deșeurilor menajere, în vecinătatea sau pe platforma industrială a unor termocentrale ce funcționează pe cărbune. Astfel se asigură materialul liant reprezentat de cenușa și reziduul de desulfurare din procesul de ardere al cărbunelui respectiv din tratarea gazelor. Depozitarea produselor arderei sub formă de șlam dens, se reduce costul cu transportul și tratarea acestor tipuri de reziduuri, în plus caracteristicile fizico-chimice a depozitului de suprafață astfel creat, sunt net superioare variantelor clasice.

7. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PROPRI

Capitolul 7 prezintă și concentrează concluziile și contribuțiile științifice realizate pe parcursul cercetării efectuate pe durata studiilor doctorale. Sunt cuprinse gradul de realizare a obiectivelor prestabilite și direcțiile de cercetare rămase deschise pe tema abordată în teza de doctorat. Cercetarea și concluziile trase se sintetizează astfel:

- Analiza sub aspect tehnic și critic a soluțiilor și tehnicilor pentru tratarea și valorificarea energetică a deșeurilor menajere, aplicate și implementate la nivel global și european.
- Realizarea a patru studii de caz prin care se analizează punctual metode de valorificare energetică a deșeurilor menajere, din care două sunt pentru captarea biogazului generat de depozitele de deșeuri menajere existente și două pentru tratarea termică prin incinerarea în masă a deșeurilor menajere.
- Dezvoltarea unui concept inovator de tratare prin solidificare a reziduurilor aferente incinerării deșeurilor menajere, prin cimentare în matricea rocii de cenușă obținută cu tehnologia șlamului dens.
- Proiectarea, dimensionarea și realizarea standului experimental Mixer Hidraulic pentru prepararea șlamului dens, care prin solidificare, formează roca de cenușă.
- Efectuarea unor seturi de experimente pe standul realizat în concepție proprie și concluziile aferente, pe baza cărora se propune o soluție inovatoare de tratare prin solidificare a reziduurilor aferente incinerării deșeurilor menajere.
- Evaluarea experimentală a proprietăților de reținere a metalelor grele în matricea rocii de cenușă prin analiza și interpretarea valorilor concentrațiilor de metale grele din levigatul rocii de cenușă investigate.
- Studiul și analiza eficientizării procesului de ardere a deșeurilor menajere prin (i) tehnologia de îmbogățire a aerului primar de ardere cu oxigen (oxygen boosting), și (ii) sinterizarea cenușii grosiere prin reintroducerea în masa de deșeu incinerat pe sistemele cu grătare mobile.