

## ***Conținutul tezei de doctorat***

Existența producției ridicate de carne de pasăre, urmată de o mare cantitate de dejecții care creează mari probleme de manipulare, depozitare și ecologizare, a condus la căutarea de soluții novatoare de gestionare a acestor deșeuri, astfel încât să fie respectate Directivele UE, cu obiectiv de atins „economia circulară”.

O economie circulară impune desființarea deșeurilor productive, ce se recomandă să devină „materie primă” pentru alte procese. Din acest punct de vedere energetica joacă un rol important și acest aspect nu trebuie confundat cu apelarea la principiul general al producției de energie din resurse regenerabile, ce cuprinde și utilizarea forței vântului, a radiației solare și a energiei potențiale și cinetice a apei.

Din aceste considerente rezultă necesitatea acordării unei atenții deosebite privind utilizarea deșeurilor agricole, deșeurilor industriale și casnice (menajere) în producția de energie, cu efect rezultarea unor deșeuri total neutre față de mediu.

O energetică circulară va conduce și la o dezvoltare rurală, fermele agricole dezvoltându-se și prin producția intrinsecă de energie, cu o apelare cât mai redusă la producția centralizată de electricitate.

Ca o consecință a accentuării crizei de energie la nivel global, societatea trebuie să vină în ajutorul concepției de energie circulară, plecând de la ajutorul financiar, până la alinierea legislației cu cererea de piață și de protecție a mediului. Actualele planuri de dezvoltare din UE răspund acestor deziderate.

Teza de doctorat intitulată „*Valorificarea integrată energetic și ecologic a deșeurilor din sectorul avicol*” abordează tema combustiei mixturii de deșeu aviar brut cu biomasă lemnoasă și este o consecință a producției ridicate avicole din România. Problemele determinate de costurile de energie pentru întreținerea complexelor de producție avicolă, generarea de deșeuri agro-zootehnice și costurile cu taxele de mediu, găsesc în cadrul tezei o propunere de soluționare inovativă și eficientă.

Subiectul răspunde cerințelor de dezvoltare actuală a societății, prin apelarea la energia regenerabilă, în paralel cu reducerea poluării.

În cadrul tezei se are în vedere obținerea a două obiective. Primul vizează reducerea poluării prin micșorarea cantității de deșeu aviar depozitat la sursă, în complexele avicole, iar cel

de al doilea producerea de energie termică intern valorificabilă la încălzirea fermelor respective. Obținerea energiei din deșeurile de la sursă, așa cum propune cercetarea din teza de față, poate fi o soluție tehnologică viabilă de valorificare energetică a deșeurilor de pasăre într-o centrală termică de co-combustie a deșeurilor aviar cu biomasă solidă.

Conținutul lucrării de doctorat a fost structurat în 6 capitole, urmate de cel de al șaptelea referitor la concluzii generale, contribuții și perspective de cercetare.

**Capitolul 1**, „*Biomasa, element important într-o economie circulară*”, debutează cu prezentarea conceptului de biomasă, în care se încadrează atât biomasa lemnoasă cât și deșeurile aviare, precum și a rolului acestora în cadrul unei economii circulare. Se pleacă de la concepția că o economie circulară implică desființarea deșeurilor cu potențial productiv, acestea urmând să devină o sursă pentru alte procese tehnologice în cascadă. Ca urmare, deșeurile aviare devine după combustie un îngrășământ prin cenușa rezultată, îmbogățită în fosfor și calciu.

Energia obținută prin co-combustia biomasă lemnoasă cu deșeurile aviare reprezintă o energie regenerabilă, cu încadrare în legislația actuală pentru reducerea emisiei de CO<sub>2</sub>. Astfel în cadrul Acordului de la Paris din 2015, dejecțiile aviare figurează în categoria surselor regenerabile de bioenergie.

În cadrul capitolului s-au analizat și principalele tehnologii de utilizare a biomasei, pentru generare de energie și anume: procesele termo-chimice din care face parte și combustia directă, procesele bio-chimice și procesele fizico-chimice. Capitolul se încheie cu o analiză sintetică a emisiilor poluante referitoare la tehnologia de combustie a deșeurilor aviare.

**Capitolul 2**, „*Probleme energetice specifice producției intensive de păsări*”, prezintă în prima parte particularitățile creșterii intensive a păsărilor în marile complexe industriale. Se precizează noțiunea de perioadă de creștere a păsărilor cu toate condițiile de climatizare necesare (temperatură, ventilație, umiditate).

S-au prezentat și elementele specifice acestei activități, ca număr de păsări în creștere raportat la unitatea de suprafață, cantitățile de dejecții rezultate și particularitățile de ventilație raportate la temperatura exterioară, și la gradul de maturitate a puietului. În Tabelul 1 s-au prezentat sintetic recomandările de microclimat pentru halele de creștere a păsărilor.

Tabelul 1. Recomandări generale de microclimate pentru halele de creștere a păsărilor

Categoria	Temperatura, °C			Umiditatea, %	Viteză aer, m/s	
	Min.	Max.	Optim		Min.	Max.

Păsări de producție	12	24	13 - 18	65	0,3	1,5
Păsări de reproducție	14	24	16 - 18	65	0,3	1,5
Tineret producție						
Săptămâna I	33	35,5	-	60	0,15	0,5
Săptămâna II	30	32	-	60	0,15	0,5
Săptămâna III	26	29	-	60	0,15	0,5
Săptămâna IV	21	25	-	60	0,15	0,5
Săptămâna V	18	20	-	60	0,15	0,5
Săptămâna VI - VII	-	-	17	60	0,15	0,5
Săptămâna VIII - IX	-	-	16	60	0,15	0,5
Săptămâna X - XI	-	-	15	60	0,15	0,5
Săptămâna XII - XIII	-	-	14	60	0,15	0,5
Săptămâna XIV - XV	-	-	13	60	0,15	0,5
Săptămâna XVI - XVII	-	-	12	60	0,15	0,5

Se aduc precizări privind diferența dintre vară și iarnă la realizarea temperaturilor impuse în hale, în funcție de perioada de creștere a păsărilor.

Datele prezentate în acest capitol au constituit baza fundamentală a calculelor de climatizare a halelor de creștere a puilor cu ajutorul co-combustiei biomasă lemnoasă cu deșeu aviar.

**Capitolul 3**, „*Elemente generale specifice încălzirii halelor avicole*”, prezintă o analiză detaliată, pe baza literaturii de specialitate, a acestei probleme esențiale în dezvoltarea tematicii tezei.

Prima problemă generală abordată în acest capitol a investigat aspectele esențiale, specifice încălzirii halelor de producție aviară. Referirile s-au realizat orientativ pentru o climă temperat-continentală cum este cea din România. Mai mult, s-a analizat și funcția de ventilație, în corelație cu temperatura mediului și perioada de creștere și chiar a gradului de stress al păsărilor dintr-o hală de producție. Pentru funcția de încălzire s-au introdus particularitățile constructive ale halelor avicole, cu considerarea și a căldurii corporale a păsărilor.

În cadrul acestui capitol s-au sintetizat multiple date și cerințe necesare construcției și funcționării pentru un complex avicol și s-au adus contribuții originale prin realizarea unui model

sintetic de calcul pentru sistemul de încălzire – ventilare pentru o hală de construcție specială destinată creșterii păsărilor din județul Giurgiu, Buturugeni, figura 1.



Fig. 1. Imagine cu halele din Ferma Buturugeni, jud. Giurgiu

Modelul de calcul prezentat cuprinde totalitatea fluxurilor termice care afectează spațiul unei hale de creștere a păsărilor, oferind prin această aplicație pe un caz real o analiză ce va sta la baza validării modelului de calcul pentru încălzire – ventilare prin combustia dejecțiilor aviare cu biomasă solidă. Aplicația numerică realizată prin raportarea la o densitate impusă a numărului de păsări în hală ( $18 \text{ păsări/m}^2$ ), așa cum se poate observa în figura 2, ciclul de creștere de 56 zile, cu o căldură corporală de  $0,12 \text{ kWh/zi pasăre}$ , a demonstrat justetea consumului de energie pentru încălzirea și ventilația halelor. S-au realizat seturi de date interpretate și prelucrate, care vor sta la baza criteriului de validitate a modelului original propus de climatizare a halelor prin co-combustia biomasei lemnoase cu dejecții aviare.



Fig. 2. Imagini hala 1 – Ferma Buturugeni, jud. Giurgiu

Capitolul se încheie cu o analiză a datelor din literatura de specialitate privind consumurile energetice specifice spațiilor de creștere intensivă a păsărilor. Studiul cuprinde o analiză pentru o hală cu mărimea de 1500 m<sup>2</sup>. În urma acestei analize s-a adoptat mărimea spațiului modulului de hală de 1000 m<sup>3</sup> utilizat în modelul original al studiului climatizării cu căldura obținută prin co-combustia biomasei lemnoase cu deșeu aviar.

**Capitolul 4**, „*Caracteristicile energetice ale dejecțiilor aviare și tehnologiile de neutralizare termică*”, consemnează caracteristicile energetice ale dejecțiilor aviare așa cum au fost determinate experimental în cadrul laboratorului de la Departamentul de Termotehnică, Motoare, Echipamente Termice și Frigorifice, Universitatea POLITEHNICA din București și care au cuprins:

- analiza elementară, care reprezintă cea mai completă și complexă analiză pentru un combustibil energetic;
- analiza tehnică, ce definește conținutul de volatile, element principal pentru faza de aprindere;
- puterea calorifică inferioară.

S-a pus în evidență calitatea energetică redusă a dejecțiilor aviare, în special prin conținutul ridicat de umiditate al acestora. Probele prelevate pentru analizele de laborator ale dejecțiilor aviare au fost considerate la starea din momentul evacuării din halele de creștere a păsărilor, rezultând o umiditate foarte ridicată în domeniul 36, 1 - 40,3% pentru dejecțiile pure, și de 36,0 - 40,0% pentru dejecțiile amestecate cu biomasa din patul așezat în hale. Patul de biomasă din proba de deșeu avicol a fost determinat ca având o participație masică de 10%.

Puterea calorifică inferioară a fost foarte scăzută, de 3800 kJ/kg până la 6000 kJ/kg. S-a realizat și o comparație a acesteia cu valorile din literatura de specialitate pentru alte categorii de combustibili solizi.

Pornind de la aceste caracteristici pentru dejecțiile aviare, s-au analizat performanțele ce se pot obține în conversia (prelucrarea termică), prin tehnologiile de gazificare, piroliză și combustie directă.

Referitor la gazificare s-a prezentat un studiu de caz referitor la gazificarea peletelor de mixtură biomasă cu dejecții aviare, realizat în Polonia, pentru un gazogen pilot cu pat fix, cu curgere descendentă, pentru un debit de 5kg/h.

Rezultate s-au obținut pentru un amestec de lemn și dejecții aviare uscate parțial, astfel că puterea calorifică a avut o valoare relativ ridicată de până la 10966 kJ/kg. Studiul a demonstrat obținerea unui gaz de gazogen de putere calorifică scăzută, între 2000 kJ/m<sup>3</sup><sub>N</sub> pentru deșeu aviar singular și 4000 kJ/m<sup>3</sup><sub>N</sub> pentru un amestec cu 75% lemn, dar cu cheltuieli raportate ridicate.

Utilizarea combustibilului primar sub formă de pelete a condus la o creștere a puterii calorifice a gazului de gazogen cu circa 20 – 25% (figura 3).

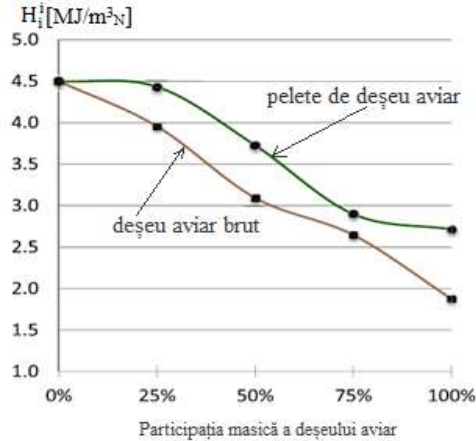


Fig. 3. Puterea calorifică a gazului de gazogen

Piroliza dejecțiilor aviare brute a fost prezentată prin realizările cercetărilor de la Universitatea Politehnică București, Departamentul de Termotehnică, care au evidențiat un proces eficient din punct de vedere energetic, cocsul creat fiind „curat” și cu o energie potențială mai mare decât consumul energetic global pentru piroliză. Totuși, utilizarea pirolizei nu a rezolvat încă problemele tehnice legate de alimentarea instalației, evacuarea produsului final combustibil și de încălzirea internă necesară procesului.

În continuare s-a investigat teoretic și experimental tehnologia combustiei directe în strat fix. În concordanță cu datele din literatura de specialitate sunt prezentate particularitățile acestei tehnologii de combustie, cu evidențierea influenței dimensiunii combustibilului, a porozității și a curgerii aerului în lungul stratului de combustibil. În figura 4 s-a pus în evidență variația produselor arderii și a temperaturii pentru arderea în echicurent, iar în figura 5 pentru arderea în contracurent.

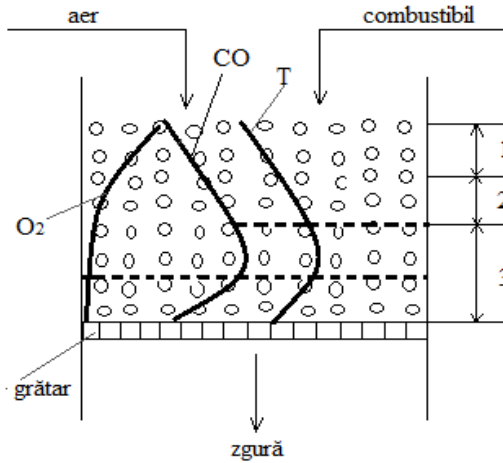


Fig. 4. Schema procesului de ardere în strat, ardere în echicurent;

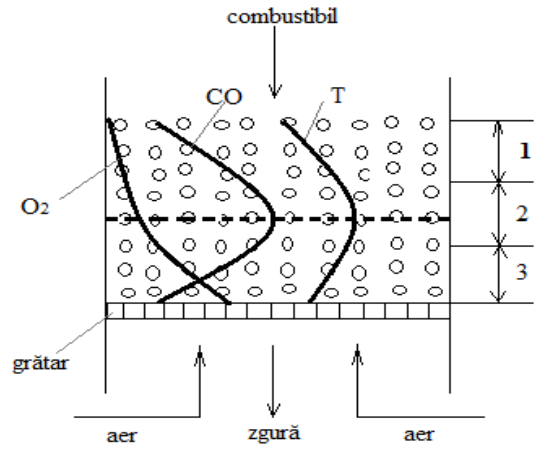


Fig. 5. Schema procesului de ardere în strat, ardere în contracurent

- 1 – volumul supus încălzirii;
- 2 – volumul supus devolatilizării;
- 3 – volumul din perimetrul arderii efective.

Pentru reducerea emisiei de monoxid de carbon, care este ridicată pentru orice biomasă, inclusiv prin aplicarea acestei tehnologii de ardere, s-a evidențiat importanța aerului secundar suflat în partea finală a focarului.

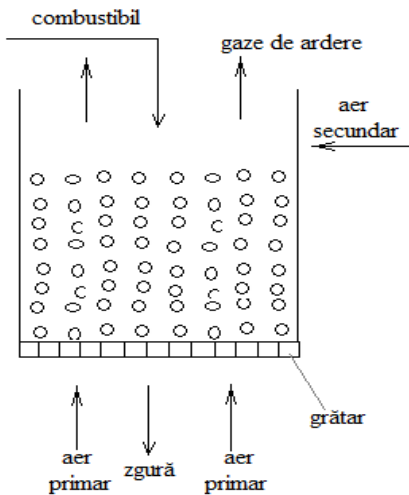


Fig. 6. Schema insuflării aerului secundar pentru reducerea emisiei de monoxid de carbon

Problematika combustiei directe a fost în detaliu abordată, deoarece ea constituie aplicația dezvoltată pentru combustibilul constituit din amestecul biomasă solidă cu dejecții aviare brute. O contribuție majoră s-a acordat influenței densității combustibilului în stratul fix asupra desfășurării globale a procesului de combustie.

Conform determinărilor de laborator, puterea calorifică inferioară de 3800 –6000 kJ/kg, este sub limita de utilizare în scopuri energetice. Ca urmare, s-a impus soluția de co-combustie cu biomasă lemnoasă.

**Capitolul 5**, „Cercetări de cocombustie a deșeurilor aviare cu biomasă în strat fix”, prezintă și evaluează rezultatele experimentale obținute la arderea dejecțiilor avicole într-un strat fix. Acestea stau la baza realizării unui model conceptual original pentru co-combustia dejecțiilor aviare cu biomasă lemnoasă. Modelul conceptual realizat cuprinde combustia în strat fix cu densitate scăzută pentru controlul combustiei dejecțiilor aviare alimentate în partea superioară a stratului, cu limitarea emisiei de CO. Sinteza conceptuală a modelului de combustie propus este prezentată în figura 7, ce evidențiază legătura dintre puterea calorifică inferioară, densitatea stratului de combustibil și viteza  $u$  de ardere în m/s.

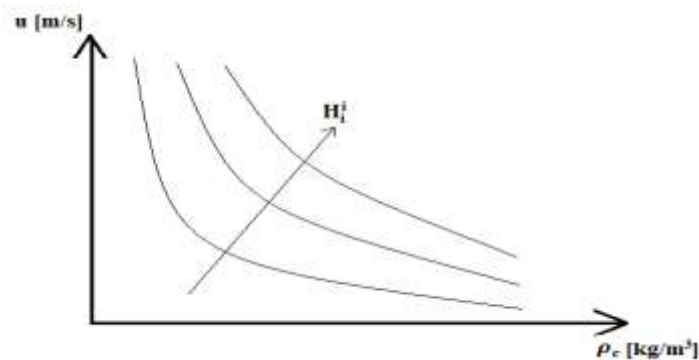


Fig. 7. Legea variației vitezei de ardere într-un strat fix de combustibil

Pentru experimentări, s-a utilizat un cazan pilot de 55 kW, de la Universitatea POLITEHNICA din București, Departamentul de Termotehnică, Motoare, Echipamente Termice și Frigorifice, cazan destinat producerii de căldură rezidențială, care a fost echipat cu întreaga aparatură de măsură și control necesară, figura 8. Analiza gazelor de ardere, inclusiv pentru emisiile poluante a fost determinată cu un analizor MAXLYZER NG montat la ieșirea din cazan. Pentru arderea combustibililor solizi, cazanul este echipat cu un grătar fix cu bare din fontă. Focarul are un volum util de 0,25 m<sup>3</sup>. Pentru bilanțul termic, debitul de apă încălzită, ca și temperatura acestuia la intrare și ieșire sunt cu măsurare continuă.



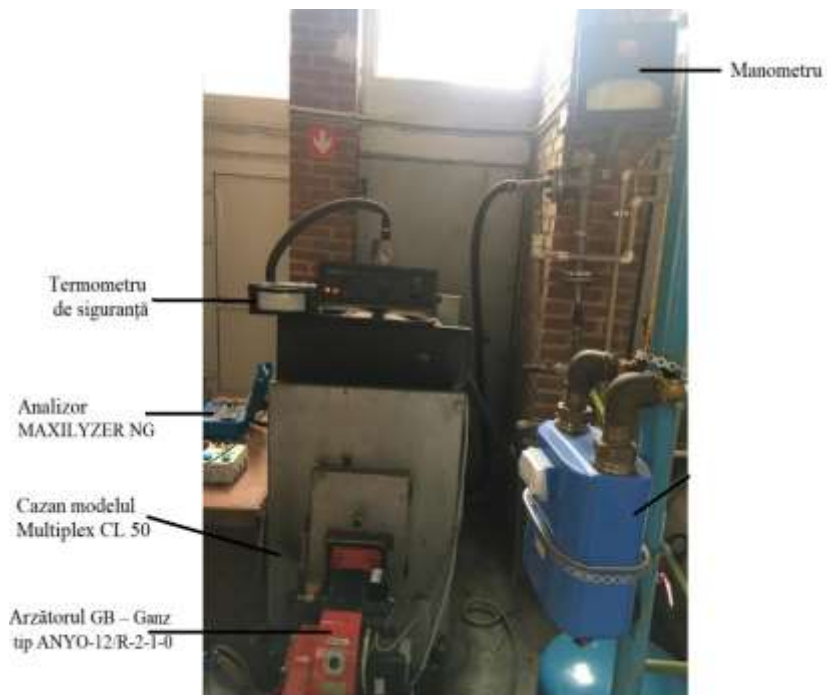


Fig. 8. Instalația pilot, cazan de 55 kW din Laboratorul de Termotehnică

În tabelul 2 s-au prezentat caracteristicile energetice ale biomasei solide utilizată sub forma analizei elementare și a puterii calorifice.

Tabelul 2. Caracteristicile energetice ale tipurilor de sorturi de biomasă solidă utilizată

Biomasa	C <sub>i</sub>	H <sub>i</sub>	O <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	W <sub>t</sub> <sup>i</sup>	A <sub>i</sub>	H <sub>t</sub> <sup>i</sup>
	%	%	%	%	%	%	MJ/kg
<b>Lemn uscat</b>	47,0	5,0	34,1	0,5	10,1	3,3	17,17
<b>Lemn cu umiditate medie</b>	32,9	4,6	28,6	0,7	30	3,2	12,01
<b>Crengi</b>	36,7	5,2	30,8	0,6	25,2	1,5	13,80
<b>Corzi de viță de vie</b>	40÷43	3,7÷4,9	35÷42	0,6÷2,5	10÷26	2,5÷4,5	14,7÷15,8

Dejecțiile aviare au avut o contribuție masică de 13%, pentru primul experiment și de 30% în al doilea experiment, față de biomasa lemnoasă sau agricolă. Procesul de ardere a fost monitorizat secvențial în timp, așa cum se arată în figura 9 și figura 11.

Emisiile poluante prezentate în tabelele 3 și 4 au fost în limitele admise. Nu s-au înregistrat emisii de NH<sub>3</sub>, ca urmare a combustiei acestei componente gazoase în stratul de jar.

În figurile 10, respectiv figura 12, sunt prezentate evoluțiile parametrilor mășurați cu analizorul de gaze de ardere MAXILYZER NG pe parcursul procesului de co-combustie în strat fix a amestecului combustibil pentru experimentul 1, respectiv experimentul 2.

## EXPERIMENT 1

Tabel 3. Parametrii experimentali măsurați de analizorul de gaze de ardere MAXILYZER NG

Parametri TREAPTA	Ora	O <sub>2</sub> [%]	CO <sub>+</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]	T <sub>gaze</sub> [°C]	T <sub>aer</sub> [°C]	Dif. t [°C]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>x</sub> [ppm]	λ	η %
<b>I</b>	11:06:29	9,6	0,48	11,1	387	22,9	363,1	81	0	1,84	77,9
	11:07:41	9,8	0,541	10,9	386	21,6	363,4	75	0	1,88	77,6
<b>II</b>	11:11:34	11,5	0,188	9,2	307	22,3	283,7	72	0	2,21	79,8
	11:14:16	13	0,136	7,8	279	22,3	256,7	61	0	2,63	78,7
	11:15:36	13,3	0,159	7,5	275	22,3	252,7	56	0	2,73	78,3
<b>III</b>	11:23:52	10,1	0,363	10,6	331	24,1	305,9	67	0	1,93	80,7
	11:24:15	9,2	0,632	11,5	365	23,9	341,1	74	0	1,78	79
	11:24:27	8,8	0,713	11,9	364	24,2	339,8	81	0	1,72	80,5
	11:25:12	9,8	0,403	10,9	383	24,1	357,9	100	0	1,88	77,9
	11:27:29	13,7	0,179	7,1	300	24,5	275,5	82	0	2,88	75,2



Fig. 9. Imagini ale procesului de ardere din interiorul focarului cazanului pilot de 55 kW la diferite momente ale experimentului 1

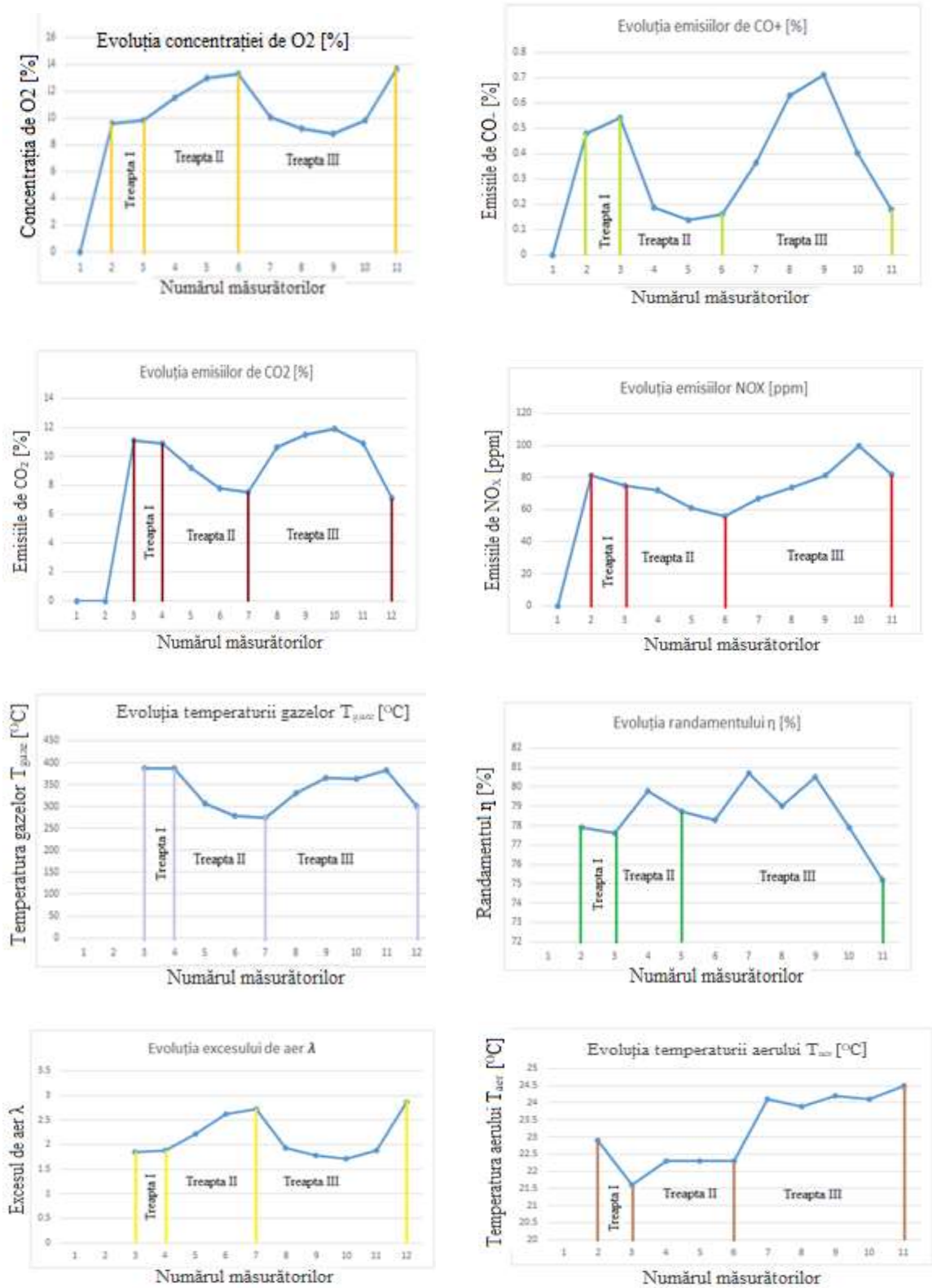


Fig. 10. Evoluția parametrilor măsuțați cu analizorul de gaze de ardere MAXILYZER NG pe parcursul procesului de cocombuție în strat fix a amestecului combustibil – experiment 1

## EXPERIMENT 2

Tabel 4. Parametrii experimentali măsurați de analizorul de gaze de ardere MAXILYZER NG

Parametri Nr. crt.	Ora	O <sub>2</sub> [%]	CO <sub>+</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]	T <sub>gaze</sub> [°C]	η [%]	NO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>x</sub> [ppm]	λ																																																						
1.	11:48:11	8,9	0,707	11,7	443	75,5	119	119	-	1,75																																																						
2.	11:50:16	8,7	0,716	12,0	505	72,6	166	169	-	1,71																																																						
3.	11:52:24	7,4	1,185	13,2	541	73,0	122	121	0	1,54																																																						
4.	11:53:07	7,3	1,140	13,3	553	131	131	0	1,53	5.	11:55:15	8,6	1,070	12,1	522	71,8	110	110	0	1,69	6.	11:56:36	9,8	0,739	10,9	501	70,5	116	116	0	1,88	7.	11:58:19	15,4	0,285	4,8	427	53,4	106	106	0	4,20	8.	11:58:52	12,6	0,286	11,9	448	66,4	141	137	0	2,50	9.	12:25:28	17,5	0,273	3,4	169	74,3	22	22	0	6,00
5.	11:55:15	8,6	1,070	12,1	522	71,8	110	110	0	1,69																																																						
6.	11:56:36	9,8	0,739	10,9	501	70,5	116	116	0	1,88																																																						
7.	11:58:19	15,4	0,285	4,8	427	53,4	106	106	0	4,20																																																						
8.	11:58:52	12,6	0,286	11,9	448	66,4	141	137	0	2,50																																																						
9.	12:25:28	17,5	0,273	3,4	169	74,3	22	22	0	6,00																																																						



Fig. 11. Imagini ale procesului de ardere din interiorul focarului cazanului pilot de 55kW la diferite momente ale experimentului 2

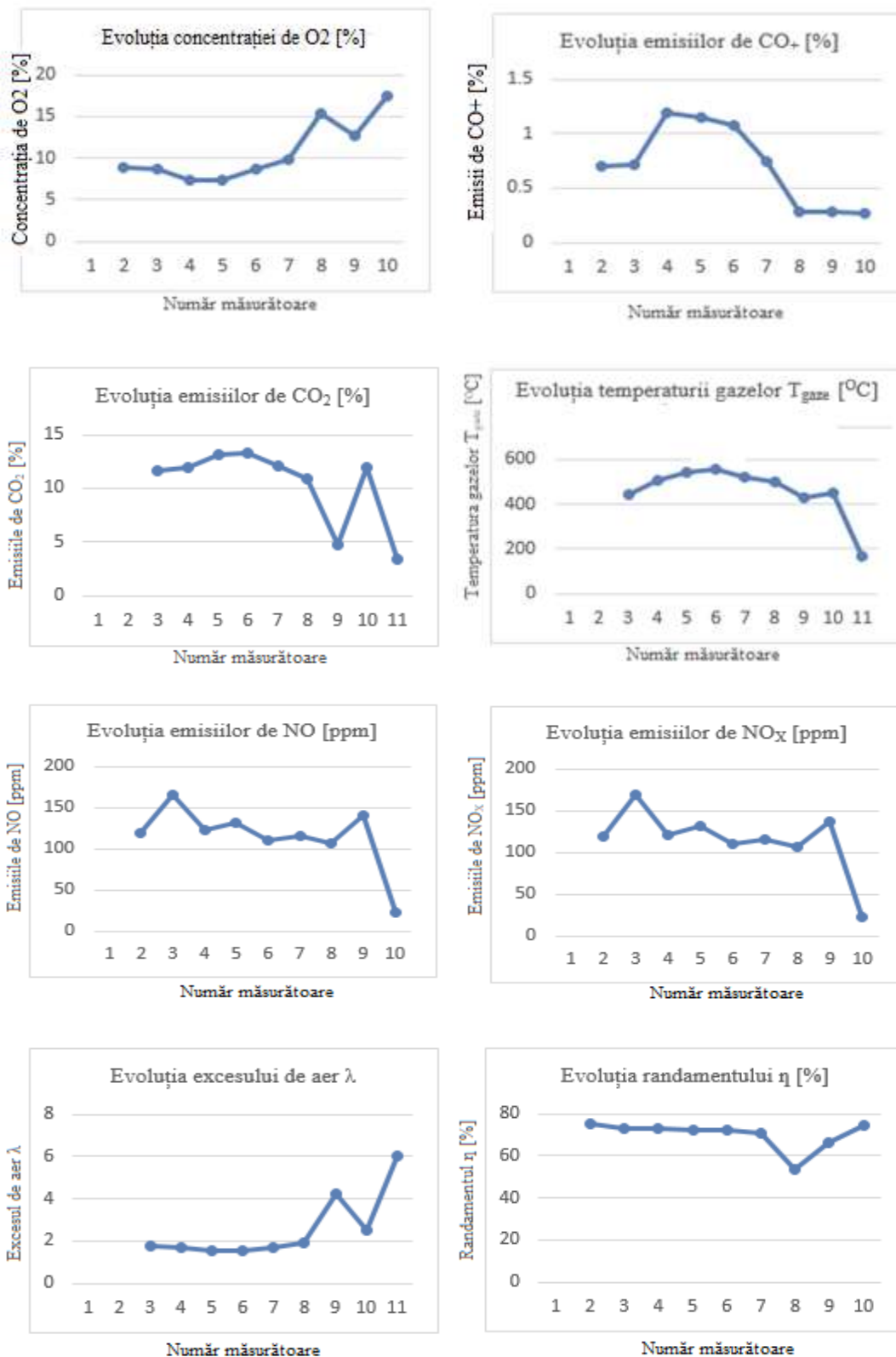


Fig. 12. Evoluția parametrilor mășurați cu analizorul de gaze de ardere MAXILYZER NG pe parcursul procesului de cocombustie în strat fix a amestecului combustibil – experiment 2

Variația randamentului cazanului cu temperatura gazelor de ardere evacuate la coș pentru experimental 1 este prezentată în figura 13, respectiv pentru experimental 2 în figura 14.

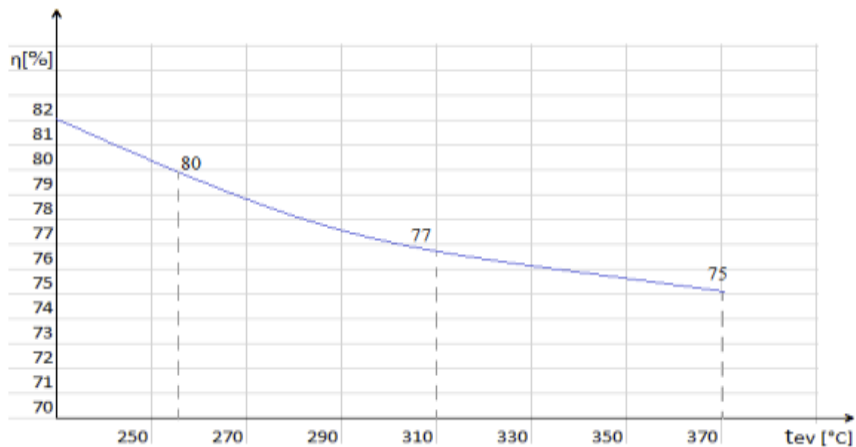


Fig. 13. Variația randamentului instalației energetice cu temperatura gazelor de ardere la evacuare – Experiment 1

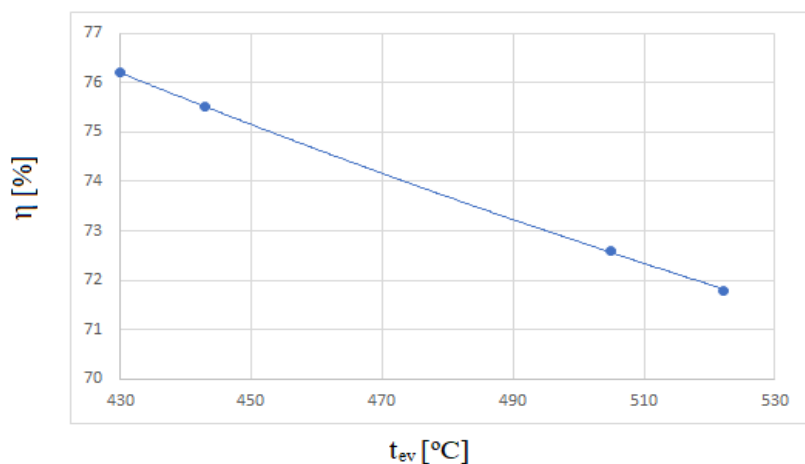


Fig. 14. Variația randamentului instalației energetice cu temperatura gazelor de ardere la evacuare – Experiment 2

Al doilea experiment de ardere pentru care creșterea cantității de deșeu aviar a fost până la 30%, a reconfirmat concluzia pozitivă din primul experiment. Datele desprinse din această experimentare au condus la concluzia că limita de dozare de 30% a dejecțiilor aviare față de biomasă (exprimată gravimetric) a atins nivelul de la care performanțele în totalitatea lor sunt în scădere.

Ca o concluzie generală desprinsă după această suită de experimentări, se poate menționa că această tehnologie de co-combustie a deșeurilor aviare umede alături de biomasă, pentru

producerea de energie termică, reprezintă o soluție pozitivă, capabilă de a fi aplicată industrial la nivelul unei ferme avicole.

**Capitolul 6**, „Încălzirea unui complex avicol cu utilizarea dejecțiilor de la sursă”, a luat în considerare posibilitatea utilizării acestor dejecții în co-combustie cu biomasă solidă, pentru a produce energie termică la nivelul climatizării unui complex avicol. În acest scop s-a realizat un model original de calcul pentru un modul de activitate avicolă de 1000 m<sup>3</sup>. Rezultatele obținute pot fi extinse la orice nivel industrial pentru un complex avicol.

La baza calculelor termice au stat rezultatele co-combustiei determinate experimental, încadrate în mecanismul de climatizare a halelor admis de Ministerul Agriculturii. Conform legislației din România, puterea termică pentru încălzirea unei hale trebuie să fie de 40 W/m<sup>2</sup>. Pentru o participație de 20% în procente gravimetrice a dejecției aviare, pentru mixajul de combustibil s-a obținut o putere calorifică de 12500 kJ/kg, iar pentru cazan s-a considerat randament de 88%.

Modul de calcul realizat a cuprins cicluri periodice de câte opt săptămâni, cu condițiile de climatizare impuse de maturitatea puilor prezentate în tabelul 5.

Tabelul 5. Condițiile de mediu recomandate pentru un ciclu

Săptămâna	Temperatura recomandată, °C	Umiditate, %
1	33	50 – 70
2	29	50 – 60
3	25	50 – 70
4	22	35 – 75
5	20	35 – 75
6	18	35 – 75
7	18	35 – 75
8*	18	35 – 75

\*2007/43/CE

Debitul de ventilație pentru aer, impus de legislația din România, a fost de 0,007 (m<sup>3</sup>/s)/m<sup>3</sup> pentru săptămâna 1 de creștere și variabil între 0,0028 și 0,0042 (m<sup>3</sup>/s)/m<sup>3</sup> pentru restul săptămânilor din ciclul de creștere, cu debite mai mari la maturitatea păsărilor.

În total s-au realizat opt cicluri de creștere, desfășurate integral pe un an calendaristic. Cele mai mari dificultăți sunt pentru ciclurile de început de an și de final de an, când condițiile meteorologice sunt cele mai aspre, cu aplicație pentru clima din Câmpia Română.

Pentru fiecare ciclu de creștere, în corelație cu temperatura exterioară și cu gradul de dezvoltare al păsărilor s-a calculat căldura necesară și respectiv consumul de combustibil. În tabelul 6 s-a prezentat consumul de combustibil aferent unui an, separat pentru încălzire și pentru ventilație, iar graficul din figura 15 evidențiază evoluția consumului total de combustibil prin defalcarea lunară.

Tabelul 6. Consumul anual de combustibil

Timp	Perioada anuală (luna)											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Pentru încălzit [t]	4,19	5,22	4,25	1,62	1,76	0,24	0,9	0,00	1,80	1,65	4,11	2,63
Pentru ventilație [t]	4,25	2,4	3,37	4,09	1,0	0,33	0,80	0,00	1,17	4,10	2,53	4,75
<b>Total</b> [t]	<b>8,44</b>	<b>7,62</b>	<b>4,62</b>	<b>5,77</b>	<b>2,76</b>	<b>0,57</b>	<b>0,70</b>	<b>0,00</b>	<b>2,97</b>	<b>5,75</b>	<b>6,69</b>	<b>7,38</b>

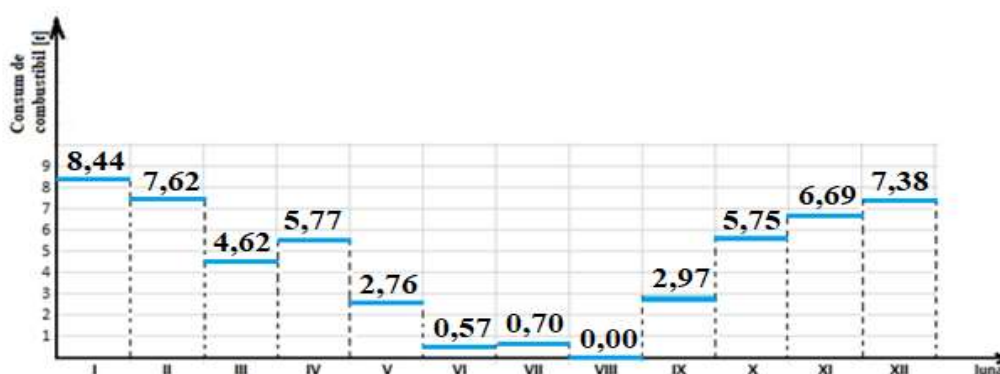


Fig. 15. Variația pe luni a consumului de combustibil

Pentru un mixaj de 20% deșeu aviatic cu biomasă a rezultat un consum anual de 52,27 t, din care 42,6 t de biomasă și 10,67 t de deșeurile aviare. Conform studiului experimental de combustie, prin creșterea participăției deșeurilor aviare la 30%, cantitatea anuală de deșeu aviatic crește la 16 t anual.



Aceste cantități sunt sub cele generate de creșterea păsărilor care pentru o încărcare medie cu păsări pe suprafața halei ajunge la 50,4 t pe an.

Pentru a valida modelul de calcul s-au utilizat datele de la Societatea Comercială Buturugeni – Giurgiu, la care climatizarea se realizează cu o putere termică prin elemente de încălzire cu calorifer. Se constată că consumul de căldură în modulul de calcul este sub cel de la ferma Buturugeni, construită la normele din anii '80 ai secolului trecut. Se face precizarea că debitul mediu de aer pentru ventilație la ferma Buturugeni a fost sub normele actuale ale Ministerului Agriculturii ce au fost utilizate în cadrul modelului dezvoltat.

Modelul de calcul dezvoltat în teza de doctorat poate fi un model de aplicație tehnică în viitor.

**Capitolul 7**, cu titlul „*Concluzii generale, contribuții originale și perspective de viitor*” cuprinde:

#### 1. Concluzii generale

Teza de doctorat intitulată „*Valorificarea integrată energetic și ecologic a deșeurilor din sectorul avicol*” se aliniază la direcția abordată de cercetare privind operațiuni de tranziție la un sistem de energie cu limitarea efectului de seră până în 2050 (NZE2050), în cadrul Scenariului de Dezvoltare Durabilă. Având scop îndeplinirea cerințelor legislației europene, teza propune o soluție validată teoretic și experimental de valorificare energetică și ecologică a deșeurilor aviare.

Tematica tezei de doctorat a rezultat ca o consecință a producției ridicate de carne de pasăre, precum și a cantităților mari de dejecții aferente, care creează probleme importante de manipulare, depozitare și ecologizare.

Principalele concluzii rezultate din cercetările efectuate în cadrul elaborării tezei „*Valorificarea integrată energetic și ecologic a deșeurilor din sectorul avicol*” sunt:

- Conform ultimelor hotărâri din UE, prin Acordul de la Paris din 2015, deșeurile aviare pot fi introduse în categoria biomasei, devenind astfel un posibil combustibil regenerabil, integrabil într-o economie circulară.
- Dejecțiile avicole au fost considerate ca făcând parte din deșeurile agro-zootehnice, care pot contribui esențial la crearea unei economii circulare prin combustie, cenușa fiind neutră ca produs final, dar bogată în fosfor și calciu. Astfel, devine un potențial îngrășământ agricol. Conform Acordului de la Kyoto, emisia de CO<sub>2</sub> este considerată nulă, atât pentru

dejecțiile aviare, cât și pentru biomasa solidă utilizată drept suport termic (dejecțiile aviare, conform Acordului de la Paris din 2015, sunt considerate surse regenerabile de bioenergie).

- Ca urmare a analizei problemelor specifice producției intensive de păsări, care determină în special aspecte energetice și de ventilație necesare unei producții avicole industriale, s-au prezentat elementele specifice acestei activități, ca număr de păsări în creștere raportat la unitatea de suprafață, cantitățile de dejecții rezultate și particularitățile de ventilație impuse raportate la temperatura exterioară și la gradul de maturitate a puietului și s-a prezentat sintetic recomandările de microclimat.
- S-a prezentat în detaliu necesarul de căldură, raportat atât la tipul constructiv al halelor avicole, cât și la clima anuală pentru o anumită poziție geografică. S-a introdus și factorul termic intern, reprezentat de metabolismul păsărilor. S-au sintetizat multiple date și cerințe necesare construcției și funcționării pentru un complex avicol.
- S-a realizat un model sintetic de calcul pentru procesul de încălzire – ventilare pentru o hală de construcție specială, destinată creșterii păsărilor din Buturugeni, județul Giurgiu. Această aplicație pentru o fermă existentă va permite validarea modelului original de calcul pentru climatizarea unui modul de hală prin co-combustia dejecții aviare – biomasă solidă.
- Determinările de laborator au evidențiat existența unei umidități foarte ridicate și un conținut corespunzător de materii volatile. Puterea calorifică inferioară a fost foarte scăzută, în domeniul 3800 – 6000 kJ/kg. S-a realizat și o comparație a acesteia cu valorile pentru alte categorii de combustibili solizi.
- Pornind de la aceste caracteristici pentru dejecțiile aviare, s-au analizat performanțele tehnologiilor de conversie prin prelucrare termică, și anume: gazeificare, piroliză și combustie directă.
- Referitor la gazeificare, s-a analizat un studiu de caz referitor la o mixtură biomasă – dejecții aviare, realizat pentru un gazogen pilot în Polonia. Gazeificarea a condus la producerea unui gaz de gazogen de putere termică redusă, dar cu cheltuieli specifice foarte mari.
- Piroliza dejecțiilor aviare brute a fost prezentată prin realizările cercetărilor efectuate în cadrul Universității Politehnica București, Departamentul de Termotehnică, care au evidențiat un proces eficient din punct de vedere energetic, cocsul rezultat ca produs final fiind „curat” și cu o energie potențială mai mare decât consumul energetic global necesar

pirolizei. Rămân însă dezavantajele legate de procesul de alimentare și de manipulare a unui deșeu neecologic.

- S-a analizat în detaliu combustia directă în strat fix, tehnologie care va fi în continuare studiată și experimental. O atenție deosebită s-a acordat aerodinamicii stratului de combustibil, inclusiv necesitatea insuflării de aer secundar superior stratului de combustibil, în vederea reducerii emisiei de monoxid de carbon, conform ultimelor tehnologii ecologice.
- În cadrul cercetărilor de co-combustie a deșeurilor aviare cu biomasă în strat fix s-au făcut precizări la particularitățile acestei tehnologii de ardere, cu evidențierea realizărilor pentru o combustie completă, mai ales pentru cazul densităților mari ale volumului stratului de combustibil și s-a prezentat variația vitezei de ardere în funcție de densitatea stratului de combustibil.
- Emisiile poluante au fost studiate inițial din punct de vedere al genezei acestora. Pentru experimentările de co-combustie a dejecțiilor aviare cu biomasă lemnoasă s-a utilizat un cazan pilot de 55 kW, destinat producerii de căldură rezidențială, care a fost echipat cu întreaga aparatură de măsură și control necesară. Dejecțiile aviare au avut o contribuție masivă între 13% și 30% față de biomasa lemnoasă sau agricolă. Procesul de ardere a fost monitorizat secvențial în timp. Emisiile poluante rezultate și consemnate au fost în limitele admise. Nu s-au înregistrat emisii de  $\text{NH}_3$ , ca urmare a combustiei acestei componente gazoase în stratul de jar. Instalația energetică a avut un randament normal pentru un astfel de combustibil, confirmându-se și din acest punct de vedere posibila utilizare a tehnologiei de ardere în strat fix pentru amestecul de biomasă cu dejecții aviare.
- După ampla suită de experimentări prezentate, se poate menționa că această tehnologie de ardere în strat fix reprezintă o soluție pozitivă, capabilă de a fi aplicată și la nivel industrial.
- S-a realizat un model conceptual de calcul al procesului de încălzire – ventilație, pe baza energiei degajate prin co-combustia dejecțiilor aviare de la sursă cu biomasă solidă. Combustibilul a cuprins 20% dejecții aviare și 80% biomasă solidă, proporție admisă, în baza datelor rezultate din cercetările experimentărilor de laborator menționate. Modelul conceptual a fost creat având la bază legislația românească pentru industria aviară și s-a aplicat pentru un model de hală de 1000 m<sup>3</sup>. Rezultatele obținute pot fi extinse la orice volum de producție intensivă a păsărilor. Pe perioada de un an, s-au analizat șase cicluri de

creștere a păsărilor. Studiul a cuprins o perioadă de un an, pentru clima temperat continentală din România, zona București. Conform ciclului de creștere, anul calendaristic a fost împărțit în VI cicluri de dezvoltare, a câte opt săptămâni/ciclu. S-a observat că nu toată cantitatea de dejecții este necesară pentru climatizare, rezultând un surplus de deșeu care trebuie direcționat spre depozitare. S-a putut determina necesarul de biomasă și deșeu aviar necesar climatizării modulului respectiv de calcul. S-a determinat cantitatea de deșeu aviar rezultat pentru modulul respectiv de calcul. Modelul conceptual dezvoltat a fost validat prin raportarea datelor la cele obținute la ferma S.C. Buturugeni – Giurgiu.

## 2. Contribuții originale ale tezei de doctorat

Prin studiile și cercetările efectuate, lucrarea de doctorat a adus următoarele contribuții:

- determinarea caracteristicilor energetice pentru dejecțiile aviare brute și cu pat de biomasă produse la două ferme avicole din România (Buturugeni – Giurgiu și Titu – Dâmbovița) și clasarea acestora față de caracteristicile similare pentru biomasa solidă;
- determinarea compoziției optime în funcție de caracteristicile energetice ale celor două componente, aviară și biomasa solidă, pentru o co-combustie eficientă în strat fix;
- evidențierea importanței densității stratului de combustibil pentru realizarea aerodinamicii optime a traseului aerului; s-au prezentat date recomandate în acest scop;
- experimentări detaliate pentru co-combustia deșeurilor aviar – biomasă solidă (lemnoasă și agricolă) pentru participatii masice ale dejecțiilor aviare de la 13% până la 30%. Experimentările s-au efectuat pe un cazan pilot de putere medie (55 kW), destinat încălzirii rezidențiale. Sunt prezentate detaliile instalației experimentale și a tehnicii de desfășurare a acesteia. Sunt edificate secvențele temporale ale procesului de co-combustie și analiza emisiilor poluante, constatându-se că acestea se încadrează în limitele legislației. S-a prezentat și randamentul global al cazanului care, de asemenea, are valori în domeniul specific tehnologiei constructive și de funcționare a acestuia.
- elaborarea unui model conceptual de climatizare a unui modul de hală pentru creșterea intensivă a păsărilor, de 1000 m<sup>3</sup>, cu ajutorul co-combustiei amestecului format din 20% dejecții aviare de la sursă și 80% biomasă solidă, combustibil definit și testat experimental în cadrul Capitolelor 4 și 5. Modelul conceptual de calcul a încălzirii a ținut seama de normele din industria respectivă din țara noastră și de condițiile

climatice din România (s-a ales zona București) și a cuprins VI cicluri de creștere a păsărilor pentru un an calendaristic.

- s-a determinat consumul necesar anual pentru climatizarea modulului respectiv de calcul ce cuprinde încălzire și ventilație. S-a comparat consumul anual de deșeu aviar, care a rezultat sub cel produs de creșterea păsărilor.

### 3. *Perspective de cercetare viitoare*

Rezultatele cercetărilor din teza de doctorat conduc la următoarele direcții, în vederea lărgirii aplicației de realizare a încălzirii complexelor de creștere a păsărilor, printr-o contribuție cât mai mare a dejecțiilor aviare:

- cercetări asupra uscării, cel puțin parțiale, a dejecțiilor aviare. Se poate realiza astfel o creștere a ponderii dejecțiilor aviare în co-combustie cu biomasă;
- cercetări de co-combustie dejecții aviare cu biomasă solidă de putere calorifică mai ridicată, obținută prin brichetare și peletizare;
- cercetări asupra pirolizei dejecțiilor aviare, cercetări începute în Universitatea Politehnica București, și care ar trebui continuate pe o instalație pilot de putere mai mare, de minimum 5 kW. Primele rezultate obținute deja au demonstrat existența unui proces integral piroliză – combustie cu efect energetic pozitiv. Se face mențiunea că gazeificarea, conform datelor prezentate în lucrare, produce o cantitate de gaz cu o putere calorifică scăzută, care nu prezintă un efect energetic pozitiv.

În concluzie, rezultă că cercetările realizate în cadrul tezei de doctorat au deschis o cale spre utilizarea acestor deșeuri aviare prin combustie directă în dublul scop energetic și ecologic, dar și noi direcții posibile de aplicații referitoare și la alte tehnologii de combustie.

**Cuvinte cheie:** deșeu aviar, biomasă solidă, co-combustie, strat fix, energie circulară.