

**SOLUȚII INTEGRATE, ASIMILABILE ÎN FABRICAȚIA INDUSTRIALĂ,  
PENTRU VALORIFICAREA BIOMASEI ÎN SISTEMELE DE ÎNCĂLZIRE ȘI/SAU  
FURNIZAREA APEI CALDE MENAJERE**

**Teză de doctorat – Rezumat**

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnică Timișoara

în domeniul de doctorat Inginerie Industrială

**autor ing. Kazomir Emil-Calin**

conducător științific Prof.univ.dr.ing. & ec. Dumitru Țucu

luna martie anul 2026

## **INTRODUCERE**

Cercetarea de față integrează problematica resurselor naturale epuizabile (de combustibili fosili), cu necesitatea producției de energie termică, în condiții de securitate energetică, rentabilitate și protecție a mediului, așa cum a rezultat din studiul unei bibliografii de pornire [1-7].

Sustenabilitatea energetică poate fi cheia atingerii neutralității climatice, iar utilizarea biomasei lemnoase și non-lemnoase este esențială în sistemele de încălzire și furnizarea apei calde menajere, entități recunoscute drept mari consumatoare de energie [8-14].

### **Importanța și necesitatea temei alese**

Potrivit statisticilor oficiale, în anul 2021, în România, peste 1,2 milioane de case foloseau pentru încălzirea spațiilor de locuit sisteme racordate la surse centralizate (CET etc.), alte 2,5 milioane de locuințe au folosit sisteme proprii pe bază de gaze naturale și aproximativ 3,5 milioane de locuințe (majoritatea în mediul rural), au folosit sisteme de încălzire proprii pe bază de combustibil solid (biomasă lemnoasă și/sau cărbune), care sunt, din păcate, echipamente cu eficiență scăzută și cu grad ridicat de poluare. Se poate spune că aproximativ 50% din locuințele din România utilizează lemnul și alte tipuri de biomasă pentru încălzirea spațiilor de locuit [15].

Pe de altă parte, majoritatea energiei utilizate în gospodărie este destinată pentru încălzirea locuinței (62,8 % din consumul final de energie în sectorul rezidențial). Coroborând cu posibile probleme legate de ponderea utilizării gazelor pentru încălzire, se justifică importanța dezvoltării, îmbunătățirii și optimizării sistemelor de ardere a lemnului și a biomasei pentru furnizarea de energie termică [15].

De asemenea, sistemele de încălzire generează 1/6 din emisiile poluante în UE, impunându-se măsuri adecvate pentru atingerea neutralității climatice. În aceste circumstanțe studiul valorificării energiei biomasei în sistemele de încălzire și furnizarea apei calde menajere devine justificat [15].

Totodată, carbonul din biomasă a fost utilizat pentru încălzire, încă din preistorie, cel mai frecvent, în forma prezentă în substanțele organice din lemn, paie, fân și altele. Actualmente, în unele concepții, se ridică problema protejării mediului înconjurător și, implicit, a ființei umane prin reducerea emisiilor și imisiilor poluante, dar și problema sustenabilității.

Combustibili fosili (petrolul, gazul natural, cărbunele etc.), prezintă o serie de dezavantaje, care obligă cercetătorii să caute o alternativă sustenabilă. În ciuda faptului că rezervele de combustibili fosili scad îngrijorător, 84,7% din consumul de energie primară al lumii a fost acoperit de aceștia în 2018, dar, ulterior, a scăzut la 83% în 2019 și la 82% în 2022 [16, 17], estimarea finală fiind legată de perspectiva ca aceștia să fie epuizați în următoarele decenii [18, 19].

## Obiectivele cercetării

**Obiectivul principal** al prezentei teze de doctorat este:

**OP1** Optimizarea prin proiectare integrată a unui nou sistem tehnologic de ardere a biomasei, utilizând analiza, modelarea și sinteza, dezvoltând metode și modele industriale și soluții tehnologice integrate de valorificare a biomasei în sistemele de încălzire și furnizarea apei calde menajere.

Pentru atingerea obiectivului principal, este necesară atingerea următoarelor obiective secundare, corespunzătoare activităților realizate în prezentul stadiu de cercetare:

- OS1** Analiza critică a stadiului actual al metodelor și modelelor industriale actuale ale sistemelor de încălzire cu biomasă (SAB), pornind de la definiția clasică, în mod descriptiv și prin prisma evaluării condițiilor structurale și de principiu funcțional (cap. 1 și 2.1);
- OS2** Evaluarea nivelului și a principalelor caracteristici ale componentelor fundamentale ale sistemului și optimizarea principalelor componente, pe baza unui studiu bibliografic la zi, incluzând fluxul principalelor publicații științifice (cap. 2.1 și 2.2);
- OS 3** Elaborarea unui model SAB integrat, destinat asimilării în fabricația industrială a sistemului de combustie generalizat, care să respecte principiile de bază ale fabricației moderne, identificând principalele variabile și relațiile dintre acestea, în varianta unui sistem tehnologic cibernetic de fabricație (cap. 2.2, 2.3);
- OS4** Evaluarea principalelor caracteristici ale componentelor fundamentale ale sistemului de combustie, abordat ca un sistem tehnologic industrial și testarea variantelor constructive proiectate cu modificare de parametri (cap. 2.3);
- OS5** Identificarea pe modelul experimental propus a principalelor cauze generatoare de defecțiuni posibile, în vederea stabilirii soluțiilor optime de reducere a riscurilor de fiabilitate și a consecințelor grave pe care le pot genera în timpul funcționării (incendiu, explozie, intoxicare cu monoxid de carbon), (cap. 2.3);
- OS6** Ierarhizarea cauzelor de defectare și a riscurilor funcționale prin metode statistice-matematice și stabilirea unor relații funcționale de tip cauză-efect pe baza prelucrării statistice a rezultatelor și analiza semnificației folosind ANOVA (cap. 2.3).

## Structura tezei

Lucrarea este structurată pe 3 capitole.

**În capitolul 1** se prezintă potențialul biomasei ca sursă de energie regenerabilă, avantajele și limitările acesteia, accentul fiind pus pe sustenabilitate și eficiență energetică.

**Capitolul 2** reprezintă începutul părții contribuțiilor personale, fiind structurat în 3 subcapitole pentru prezentarea rezultatelor activității de cercetare proprii, dar și o parte alocată unor concluzii parțiale.

**În subcapitolul 2.1** a fost realizată analiza constructivă, funcțională și economică a principalelor sisteme de ardere a biomasei din piață și din literatura de specialitate. Analiza a urmărit atât aspecte de funcționare individuale, cât și identificarea conceptelor tehnice (constructive, structurale etc.) ale arzătoarelor de biomasă.

**În subcapitolul 2.2 au fost urmărite două obiective:**

1. realizarea conceptului funcțional al unui nou model de SAB și selectarea unui pachet de funcții optime ale acestui sistem din faza de proiectare.
2. testarea a două metode pentru evaluarea, compararea și clasificarea sistemelor de ardere a biomasei.

Pentru a putea evalua cele 58 de sisteme de ardere a biomasei selectate pentru analiză (din 123 considerate inițial), a fost conceput un pachet original de 24 criterii critice de evaluare și analiză a sistemelor de ardere a biomasei.

**Subcapitolul 2.3** este împărțit în două părți și anume: modelarea proceselor funcționale de tip termic și modelarea proceselor funcționale de tip aerodinamic.

**Capitolul 3** este dedicat concluziilor generale și unei sinteze a contribuțiilor personale teoretice, experimentale și aplicative, inclusiv prezentarea unor perspective de cercetare și îmbunătățire a tehnologiilor de valorificare termică a biomasei.

## **1 STADIUL ACTUAL AL INFORMAȚIILOR DIN LITERATURA DE SPECIALITATE CU PRIVIRE LA SISTEMELE DE VALORIFICARE A BIOMASEI**

**Obiectivul acestui capitol** îl reprezintă evaluarea generală a stadiului actual al valorificării termice a biomasei, pe baza literaturii de specialitate, în vederea evaluării impactului potențial al dezvoltării de noi sisteme de valorificare termică a biomasei prin combustie și conturarea direcțiilor de cercetare în contextul cerințelor de eficiență energetică și sustenabilitate.

### **1.1 Analiza critică a posibilităților de utilizare a biomasei**

Interesul pentru producerea de energie din biomasă, este în continuă creștere în întreaga lume datorită unor preocupări serioase în ce privește securitatea energetică, schimbările climatice și calitatea vieții [18, 20, 21].

Utilizarea de combustibili fosili pentru a genera energie termică este însoțită de o serie de inconveniente care obligă cercetătorii să caute soluții și alternative sustenabile de valorificare a energiei solare stocată în biomasă.

Combustibilii de tip biomasă au avantaje ce determină actualmente un interes ridicat pentru utilizarea lor în producția de energie termică.

### **1.2 Analiza soluțiilor și impactului utilizării energiei regenerabile. Perspective, locul și rolul biomasei**

Creșterea nivelului de trai din ultimele secole, determinată, în principal, de revoluția tehnologică, a determinat o relație de proporționalitate directă între creșterea populației și necesarul de energie primară. Industria modernă, dar și nevoile populației aflate în continuă expansiune creează necesitatea adaptării economice și tehnologice a civilizației, în toate domeniile, punând accent pe conservarea resurselor finite [26], reducerea volatilității prețurilor [27], reducerea emisiilor, imisiilor și orientarea spre alternative energetice curate [28], sustenabilitate [29] și protecția mediului [20]. Domeniul energetic este într-o nevoie urgentă de noi metode pentru a produce energie mai puțin poluantă având în vedere că cererea crește și va continua să crească [30].

Această creștere a cererii de energie primară din ultimele decenii a fost acoperită în mare parte prin arderea de combustibili fosili. Pe termen lung se impun preocupări serioase cu privire la securitatea aprovizionării cu energie.

La ora actuală, într-un mediu al industrializării globalizate, poate fi observată o triplă amenințare în ce privește securitatea aprovizionării cu energie primară, reprezentată de diminuarea rezervelor de combustibili fosili [18, 19], creșterea emisiilor de gaze cu efect de seră [31] și creșterea necesarului de energie primară (figura 1.1 [39]), fiind evidentă necesitatea dezvoltării continue a tehnologiilor de valorificare și conversie a energiei regenerabile, trendul acesteia fiind ușor crescător dar timid.

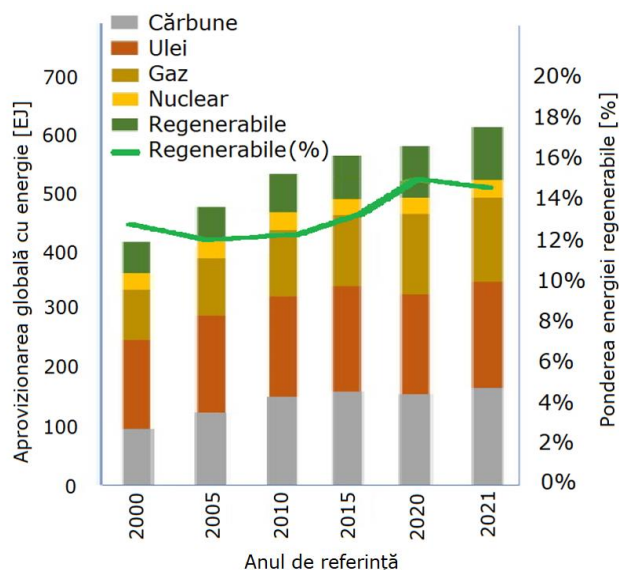


Fig. 1.1.1 Structura consumului total de energie primară aprovizionată global în anii 2000-2021 [prelucrat după 39]

Utilizarea energiei solare stocată în biomasă, reprezintă cea mai accesibilă categorie de energie regenerabilă pentru populația lumii (72,3%), cu preponderență pentru încălzirea locuințelor, utilizare forțată și de lipsa infrastructurii [42].

Utilizarea biomasei trebuie să se facă asigurând atât cerințele tehnologice privind eficiența utilizării energiei biomasei în cuptoare pentru încălzire centrală, în condiții de rentabilitate și protecție a mediului, cât și asigurarea securității proceselor funcționale, în special în situațiile de întrerupere a curentului electric. În astfel de condiții apare necesară modificarea și optimizarea continuă a sistemelor de ardere existente.

Optimizarea sistemului de valorificare termică a biomasei presupune optimizarea componentelor de bază ale acestuia și anume optimizarea sistemul arzător și schimbătorului de căldură, dar înainte de a putea vorbi de optimizarea unui sistem arzător este necesară o analiză critică a sistemelor existente.

## 2 CONTRIBUȚII ORIGINALE PRIVIND REALIZAREA UNUI SISTEM DE ARDERE A BIOMASEI PRIN CONCEPȚIE INTEGRATĂ

### 2.1 ANALIZA CONSTRUCTIVĂ, FUNCȚIONALĂ ȘI ECONOMICĂ A ARZĂTOARELOR DE BIOMASĂ – CRITERII ȘI REZULTATE

Obiectivul subcapitolului îl reprezintă evaluarea generală a principalelor tehnologii de conversie a biomasei în energie termică printr-o analiza constructivă, funcțională și economică a principalelor sisteme de ardere a biomasei. Analiza urmărește identificarea conceptelor tehnice (constructive, structurale etc.) ale arzătoarelor de biomasă din piață.

#### 2.1.1. Metodologia cercetării

Prezentul studiu este structurat pe baza unei metodologii originale care a urmărit analiza constructivă, funcțională și economică a principalelor sisteme de ardere a biomasei în mai multe etape conform figurii 2.1.

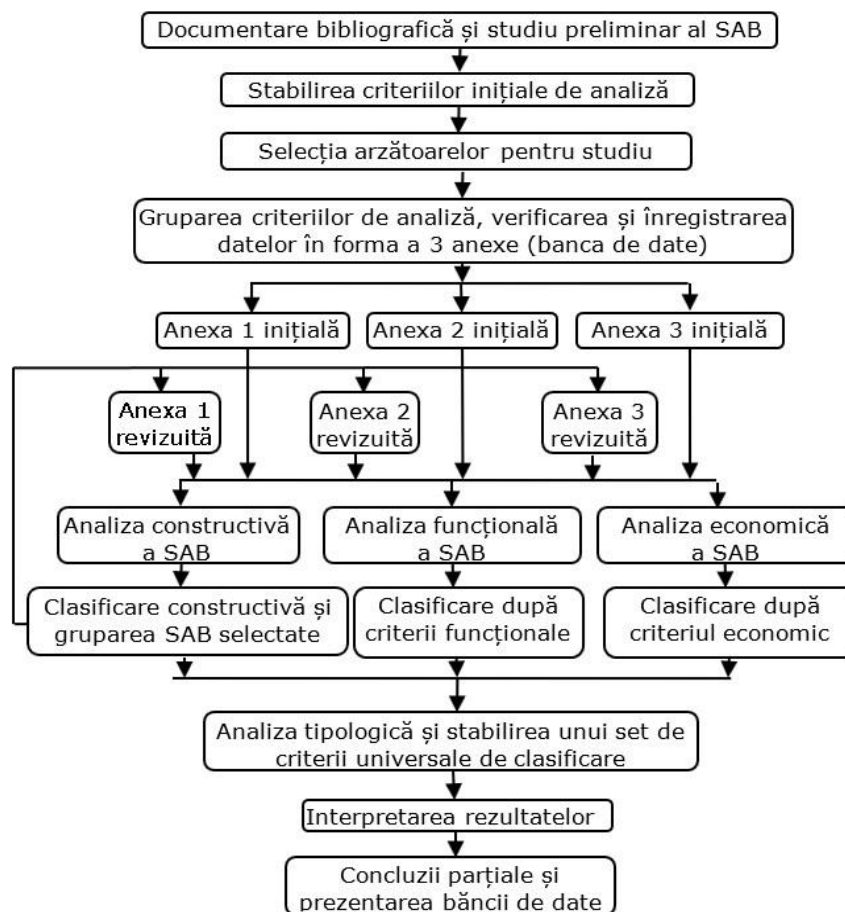


Fig. 2.1 Metodologia de evaluare a principalelor sisteme de ardere a biomasei

### 2.1.2 Analiza constructivă a arzătoarelor de biomasă

În urma analize individuale s-a realizat o clasificare a SAB din punct de vedere constructiv. Acestea au fost clasificate în grupe, subgrupe, clase, familii și categorii după conceptele constructive identificate.

Grupa arzătoarelor cu pat de ardere fix a fost împărțită în două subgrupe, subgrupele în clase, clasele în familii, iar familiile în 9 tipuri/categorii.

Grupa de arzătoare mobile a fost împărțită în subgrupe, clase, familii, iar familiile în 8 tipuri/categorii.

Grupa arzătoarelor cu pat de ardere fluidizat a fost împărțită în două subgrupe, subgrupele în clase, clasele în familii, iar familiile în 2 tipuri/categorii.

### 2.1.3 Analiza funcțională a arzătoarelor de biomasă

1. În raport cu criteriul putere sistemele de ardere a biomasei au fost împărțite în 3 clase de utilizare (figura 2.5).

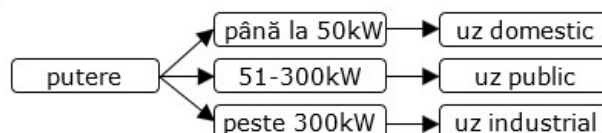


Fig. 2.5 Clasificarea arzătoare de biomasă după criteriul putere [prelucrare după 177-180]

În categoria „Arzătoare de uz domestic” au fost încadrate 47 SAB, în categoria „Arzătoare de uz public” au fost încadrate 9 SAB, iar în categoria „Arzătoare de uz industrial” au fost încadrate 4 SAB.

**2 În raport cu criteriul emisii**, SAB au fost împărțite în 3 clase de emisie pe baza puterii nominale după „CE/EN 303-5: 2021+A1:2023 part 5”[181].

- În categoria „Arzătoare de uz domestic cu putere de până la 50kW, clasa 3 de emisie” au fost încadrate trei arzătoare. În celelalte categorii pentru clasa 3 de emisie nu a fost încadrat nici un arzător.
- În categoria „Arzătoare cu putere de până la 500kW, clasa 4 de emisie” a fost încadrat un singur arzător.
- În categoria „Arzătoare cu putere de până la 500kW, clasa 5 de emisie” au fost încadrate 13 arzătoare.

**3 Potrivit criteriului siguranță în funcționare**, arzătoarele se clasifică în 3 clase de siguranță (figura 2.7) conform „CE/EN 303-5: 2021+A1:2023 part 5”[181] și „EN 60730-2-5:2015/A2:2021”[182].

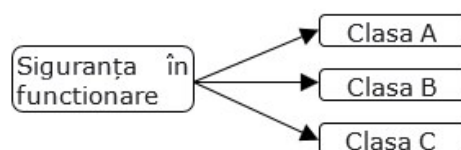


Fig. 2.7 Clasificarea arzătoare de biomasă după criteriul siguranță în funcționare [prelucrare după 181-182]

Clasa A prezintă un nivel de siguranță de funcționare scăzut, clasa B prezintă un nivel de siguranță de funcționare mediu, iar clasa C prezintă un nivel de siguranță de funcționare ridicat.

În clasa A de siguranță în funcționare au fost încadrate 14 SAB, în clasa B au fost încadrate 41 SAB, iar în clasa C au fost încadrate 5 SAB.

**4 La analiza după criteriul eficiența conversiei termice**, conform „CE/EN 303-5: 2021+A1:2023 part 5”[181] eficiența conversiei termice se poate determina doar pentru întregul sistem.

SAB se clasifică în 3 clase de eficiență (figura 2.8).

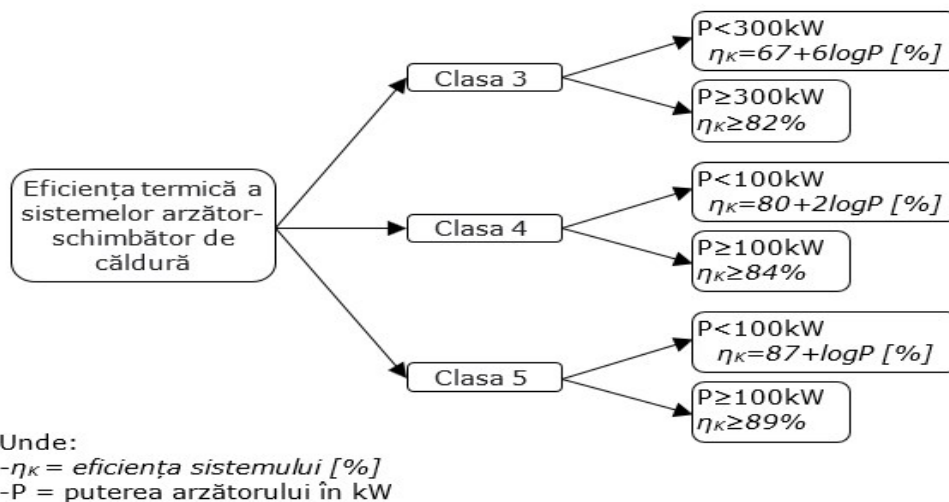


Fig. 2.8 Clasificarea sistemelor arzător-schimbător de căldură după criteriul eficiență termică [prelucrare după 181]

În clasa 4 de eficiență au fost încadrate două arzătoare, iar în clasa 5 au fost încadrate 23 arzătoare.

**5 Potrivit criteriului combustibil recomandat** cele 58 de arzătoare de biomasă au fost împărțite după criteriul combustibil conform figurii 2.9.

În categoria arzătoarelor hibride au fost încadrate 18 SAB, iar în categoria arzătoarelor dedicate au fost încadrate 40 SAB.

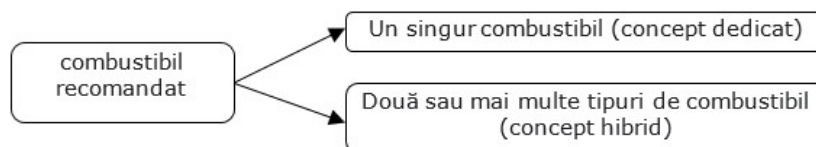


Fig. 2.9 Clasificarea sistemelor arzătoare de biomasă după criteriul combustibil recomandat [prelucrare după 181]

#### 2.1.4 Analiza economică a arzătoarelor de biomasă

În această analiză și clasificare nu a fost indicat prețul exact al fiecărui arzător, ci s-a realizat o împărțire în 4 clase de preț, prezentate în figura 2.10.

În clasa 1 a arzătoarelor au fost încadrate 10 SAB, în clasa 2 au fost încadrate 9 SAB, în clasa 3 au fost încadrate 8 SAB, iar în clasa 4 au fost încadrate 4 SAB.

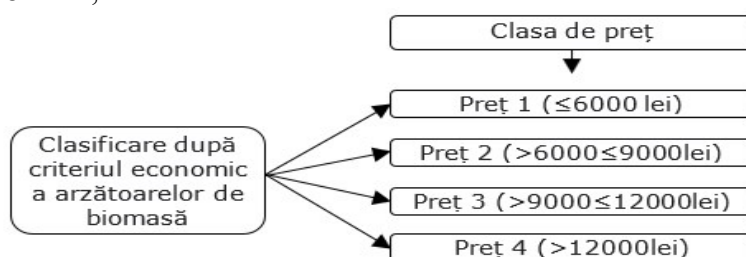


Fig. 2.10 Clasificarea arzătoarelor de biomasă după criteriul economic

#### 2.1.5 Codificarea arzătoarelor studiate

În această secțiune s-a efectuat corelarea dintre numărul curent al arzătoarelor din anexele 1-3 și codul arzătorului rezultat din clasificarea dată de analiza constructivă a acestora. Codul arzătorului conține 4 caractere, corespunzătoare celor 3 variabile: grupă (x), categorie (Y), număr curent din categorie (ZZ).

#### 2.1.6 Sinteza rezultatelor pe componente

##### 2.1.6.1 Concluzii privind analiza tehnică individuală a arzătoarelor de biomasă

Arzătoarele cu pat de ardere fix prezintă probleme în ce privește îndepărtarea automată a cenușii.

Arzătoarele cu pat de ardere mobil rezolvă problema eliminării cenușii prin sisteme de rotație, vibrație și translație a patului de ardere, totuși eficiența conversiei termice nu crește semnificativ.

Arzătoarele cu pat de ardere fluidizat rezolvă problema eliminării cenușii prin fluidizare și cresc eficiența conversiei termice.

##### 2.1.6.2 Concluzii privind analiza funcțională a arzătoarelor de biomasă

Analiza a fost desfășurată după 5 criterii: putere, emisii, siguranță în funcționare, eficiența conversiei termice și combustibilul recomandat.

Se poate observa o direcție clară înspre dezvoltarea de arzătoare în concept hibrid.

##### 2.1.6.3 Concluzii privind analiza economică a arzătoarelor de biomasă

Arzătoarele au fost grupate în 4 clase de preț.

Se poate observa un număr mare de SAB cu preț redus, atât cu pat de ardere fix cât și mobil, fapt care obligă producătorii de SAB noi să conceapă arzătoare moderne, sigure și eficiente, la costuri reduse pentru a fi competitive.

##### 2.1.6.4 Concluzii privind banca de date

În anexele 1-3 s-a efectuat sinteza datelor colectate și reprezintă banca de date.

## 2.2 CERCETARE EXPERIMENTALĂ PENTRU OPTIMIZAREA INTEGRATĂ A PROCESELOR FUNCȚIONALE LA SISTEMUL DE ARDERE A BIOMASEI ÎN VEDEREA FABRICĂRII INDUSTRIALE

Formele densificate ale biomasei (peleți, brichete, etc.), au intrat și în atenția consumatorilor din țările în curs de dezvoltare, datorită posibilităților de utilizare facilă, a eficienței ridicate completată simultan cu o cantitate scăzută de emisii nocive în mediul înconjurător.

Din cercetarea actuală a pieței s-au identificat două **direcții majore de îmbunătățire**: optimizarea constructivă a componentelor active ale sistemului mecanic propriu zis și optimizarea regimului funcțional prin automatizarea sistemului mecanic, oferind controlul parametrilor funcționali cu analiză în timp real. Preocupările prezentei cercetări doctorale sunt centrate pe ambele direcții de optimizare.

### 2.2.1 Metodologia cercetării

Prezentul studiu a fost structurat pe baza unei metodologii care a urmărit optimizarea proceselor funcționale la un SAB în mai multe etape (figura 2.18).

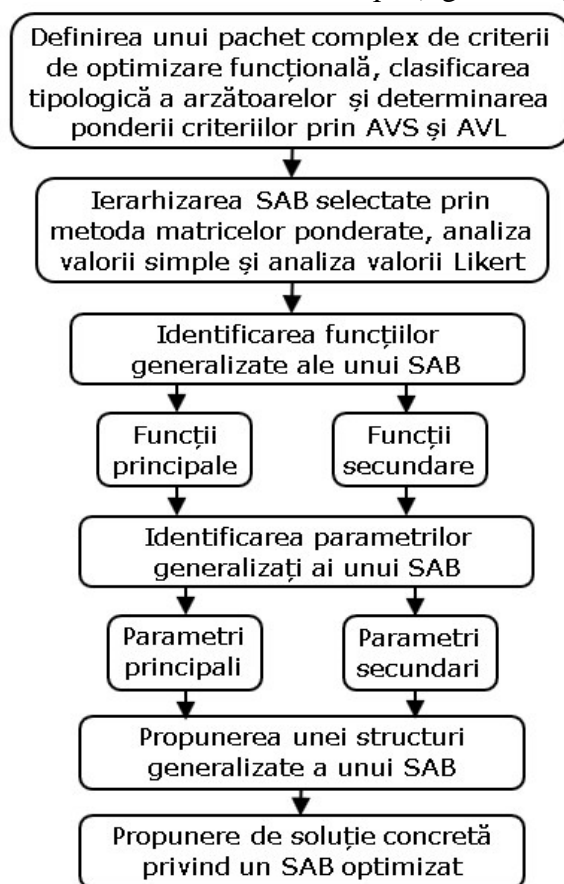


Fig. 2.18 Schema metodologiei de cercetare pentru elaborarea unei soluții optimizate a unui sistem de ardere a biomasei

## 2.2.2 Rezultate privind definirea unui pachet complex de criterii de optimizare funcțională și clasificarea tipologică a arzătoarelor de biomasă pe baza unui grup de criterii

### 2.2.2.1 Rezultate privind definirea unui pachet de criterii universale de evaluare a SAB

Selectarea unui pachet criterial de optimizare pentru un nou SAB a avut ca bază un pachet de criterii ce integrează toate datele studiului de până acum. Pentru analiză au fost selectate 24 din 32 de criterii prezentate în continuare:

- criterii economice: cost arzător, funcțiile și puterea arzătorului;
- Criterii tehnologice: tehnologicitate, montaj, mentenanță și reparație, poziția patului de ardere, componența patului de ardere, forma camerei de ardere, materialul camerei de ardere și varianta constructivă;
- Criterii operaționale: concept hibrid, prezența peletelor în tub, tipul de combustie, recircularea gazelor arse și tipul alimentării cu carburant;
- Criterii de fiabilitate: durabilitate și interschimbabilitate;
- Criterii de eficiență și emisii: programare, controlul aerului primar și secundar, control și monitorizare avansată, prevenție și protecție anti-accidente și incendiu (AAI);
- Criterii privind automatizare și interfața de operare: automatizare completă, meniu prietenos cu ecran mare.

### 2.2.2.2 Rezultate privind analiza impactului criteriilor de optimizare și clasificare a SAB

În lucrare s-a propus la acest moment o clasificare tipologică a celor 58 SAB pentru analiza criterială. Astfel în acest scop a fost creat un cadru analitic și de clasificare al acestora bazat pe 24 de criterii, orientate spre tehnologicitate, rentabilitate și protecția mediului, precum și asigurarea siguranței proceselor funcționale.

Criteriile sunt prezentate în figura 2.19 sub formă de descriptori analitici, iar denumirea acestora este prezentată în continuare.

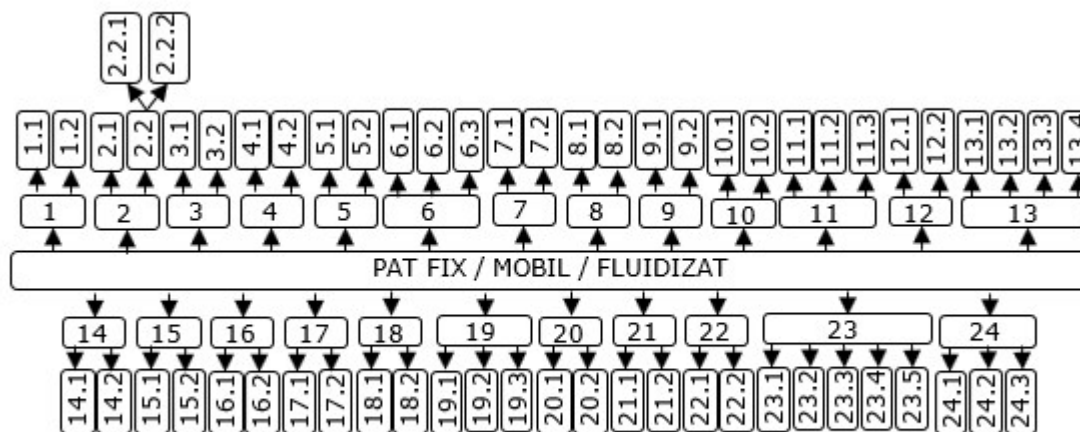


Fig. 2.19 Clasificare structural-tipologică a sistemelor de valorificare a biomasei prin combustie cu pat de ardere fix, mobil și fluidizat

Următoarele criterii și niveluri au fost propuse (a se vedea figura 2.19): **1 poziția patului de ardere** (1.1 orizontal, 1.2 înclinat); **2 numărul elementelor structurale ale patului de ardere** (2.1 pat simplu, 2.2 pat compus); **3 forma camerei de ardere** (3.1 corp geometric simplu, 3.2 corp geometric complex); **4 materialul camerei de ardere** (4.1 monomaterial, 4.2 structură compozită); **5 concept** (5.1 dedicat, 5.2 hibrid); **6 tipul camerei de ardere** (6.1 sistem tubular vertical (retortă), 6.2 sistem tubular orizontal, 6.3 sistem vertical tip cană); **7 tipul de combustie** (7.1 cu gazeificare, 7.2 fără gazeificare); **8 recircularea gazelor arse** (8.1 cu recirculare, 8.2 fără recirculare); **9 efectuarea curățirii** (9.1 cu sistem de curățire automat, 9.2 fără sistem de curățire); **10 varianta constructivă** (10.1 monobloc, 10.2 modular); **11 putere**

(11.1 mică ( $\leq 50\text{kW}$ ), 11.2 medie (51-300kW), 11.3 mare ( $>300\text{kW}$ ); **12 acționarea sistemului de alimentare cu carburant** (12.1 cu motoreductor, 12.2 cu motor pas cu pas); **13 tipul alimentării cu carburant** (13.1 elicoidală, 13.2 gravitațională, 13.3 pneumatică, 13.4 mixtă); **14 tipul alimentării cu combustibil** (14.1 alimentare naturală, 14.2 alimentare forțată); **15 dirijarea combustibilului în procesul de ardere** (15.1 convecție naturală, 15.2 tiraj forțat); **16 controlul flăcării** (16.1 cu detectare automată, 16.2 fără detectare automată); **17 sistemul de aprindere** (17.1 automat, 17.2 manual cu flacără); **18 clasa de emisie** (18.1 clasele 1-2 (interzise), 18.2 clasele 3-5 (autorizate)); **19 eficiența arderii** (19.1 eficiență ridicată (clasa 5), 19.2 eficiență medie (clasa 4), 19.3 eficiență scăzută (clasa 3)); **20 nivelul de protecție împotriva accidentelor și a incendiilor** (ridicat-clasele B-C, scăzut - clasa A), **21 nivelul de automatizare** (21.1 semiautomat, 21.2 complet automat); **22 controlul procesului** (22.1 cu controler local, 22.2 cu controler local și modul control de la distanță), **23 fluxul de ardere** (23.1 perpendicular, 23.2 echicurent, 23.3 contracurent, 23.4 ciclon, 23.5 mixt); **24 preț echipament** (24.1 preț rezonabil (sub 6000 lei); 24.2 preț mediu (6000-9000 lei), 24.3 preț ridicat (peste 9000 lei)).

### 2.2.2.3 Rezultate privind ierarhizarea criteriilor selectate prin analiza valorii simple și analiza valorii Likert

În Figura 2.20 sunt reprezentate comparativ sub formă grafică rezultatele obținute prin cele două metode cu privire la ponderea importanței criteriilor. Se poate observa că metoda de analiza valorii Likert (AVL) oferă o distribuție mai uniformă a ponderilor față de metoda de analiză a valorii simple (AVS).

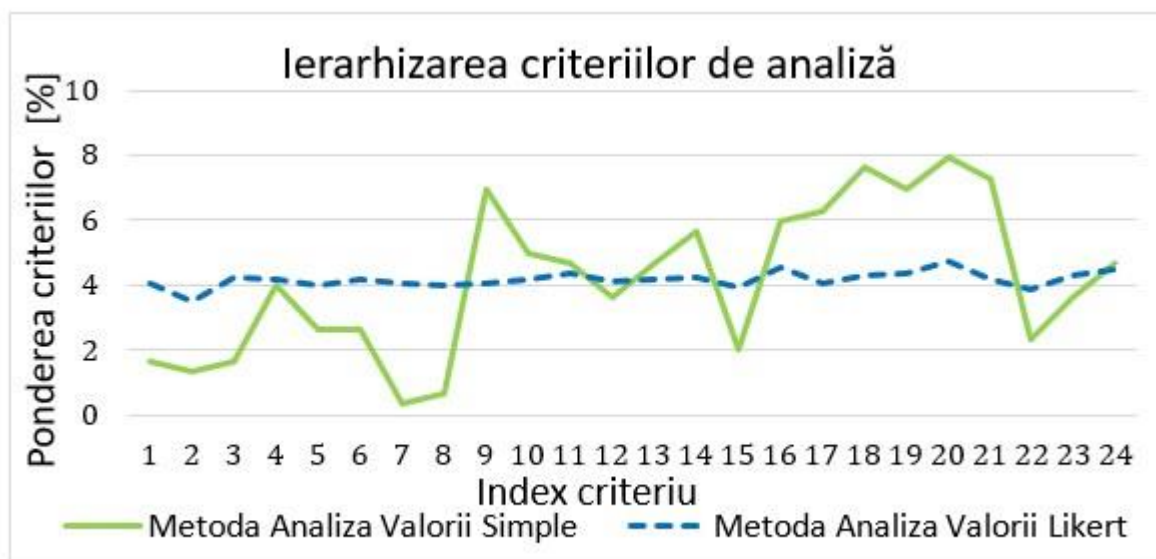


Fig. 2.20 Diagrama de determinare a ponderii importanței criteriilor prin metoda AVS și AVL

### 2.2.3 Rezultate privind ierarhizarea SAB selectate prin metoda matricelor ponderate (MMP), analiza valorii simple (AVS) și analiza valorii Likert (AVL)

În etapa 1 s-a efectuat o comparație și ierarhizare directă a SAB, prin verificarea numărului de criterii îndeplinite și a ponderii acestora. Se precizează că 58 de arzătoare au fost analizate prin această metodă, iar diagrama generală a îndeplinirii criteriilor este prezentată în figurile 2.30, 2.31 și 2.32.

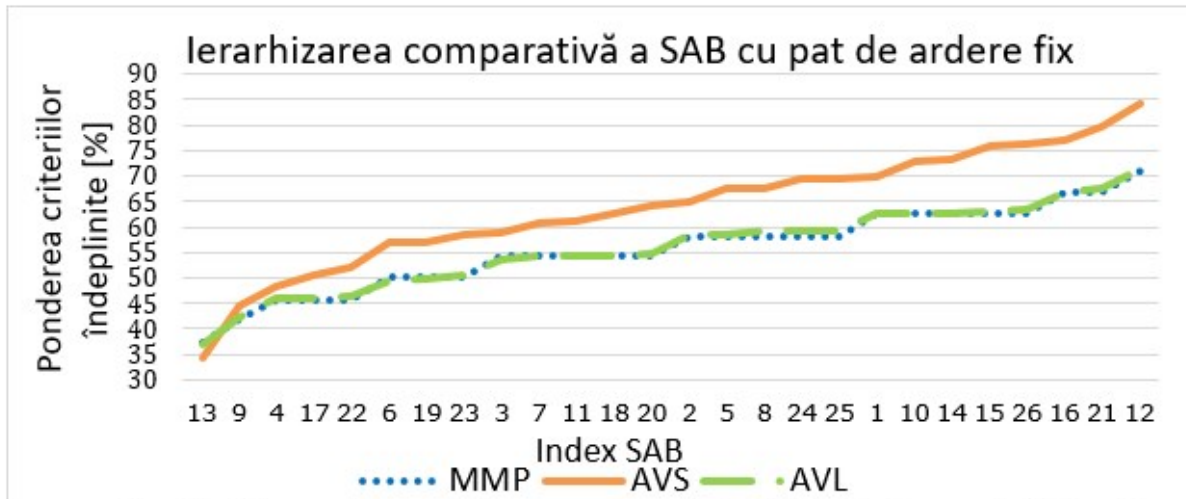


Fig. 2.30 Diagramă generală de prezentare a îndeplinirii criteriilor pentru SAB-urile cu pat de ardere fix prin metoda hibridă

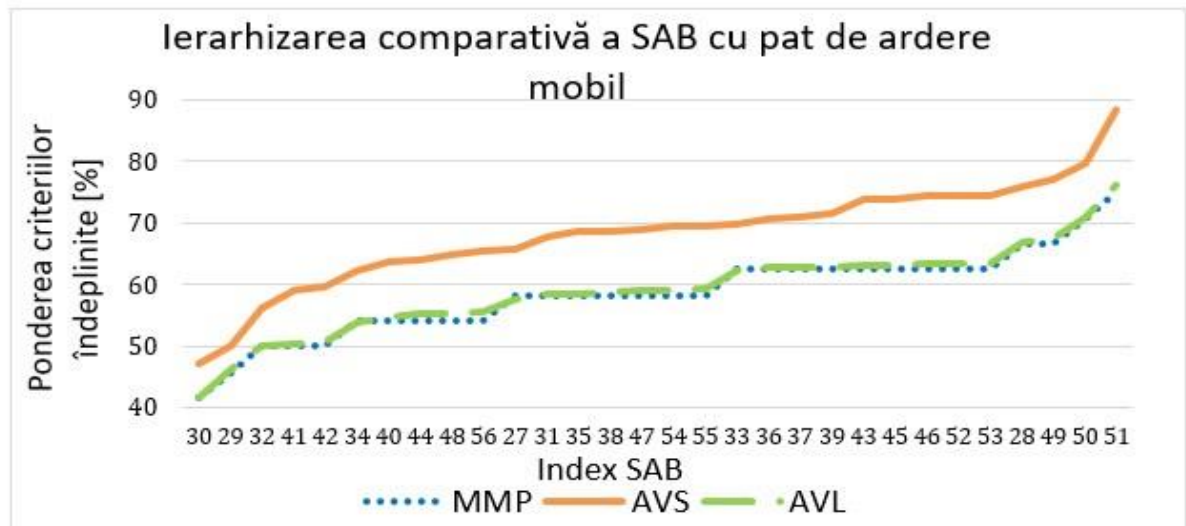


Fig. 2.31 Diagramă generală de prezentare a îndeplinirii criteriilor pentru SAB-urile cu pat de ardere mobil prin metoda hibridă

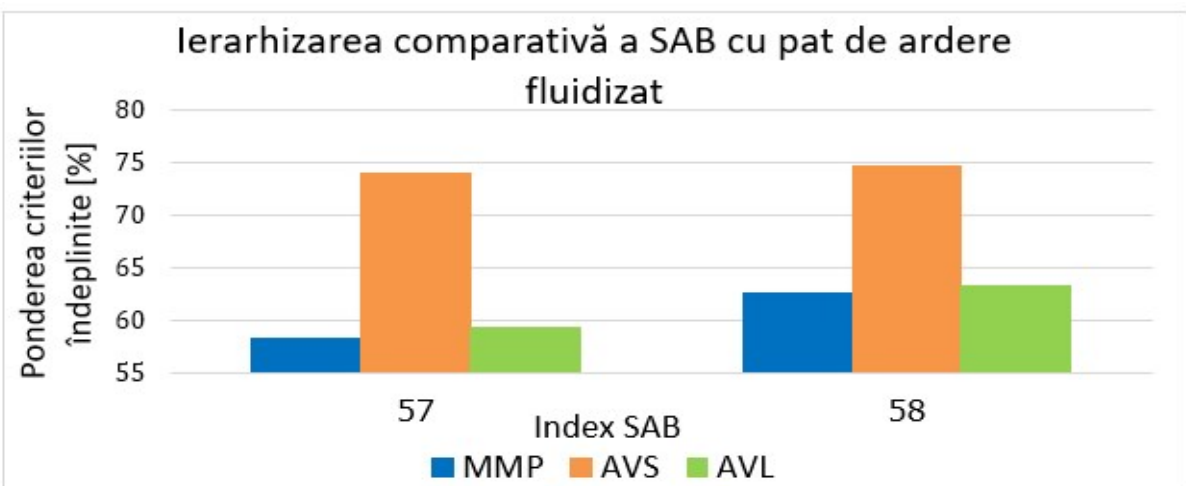


Fig. 2.32 Histogramă generală de prezentare a îndeplinirii criteriilor pentru SAB-urile cu pat de ardere fluidizat prin metoda hibridă

## 2.2.4 Identificarea funcțiilor generalizate ale unui SAB

Optimizarea SAB presupune optimizarea componentelor de bază, respectiv sistemul

arzător și schimbător de căldură. Acest proces presupune stabilirea unui concept clar prin identificarea nevoilor clientului și stabilirea funcțiilor care vor îndeplini acele nevoi.

Funcțiile unui arzător de biomasă au fost împărțite în 3 categorii: funcții principale, funcții secundare și funcții auxiliare.

În studiu au fost identificate 7 funcții principale, 12 funcții secundare și 4 funcții auxiliare.

### 2.2.5 Identificarea parametrilor generalizați ai unui SAB

Parametri reprezintă variabilele critice care influențează performanța și eficiența sistemului arzător și schimbător de căldură. Astfel, pentru majoritatea funcțiilor au fost identificați unul sau mai mulți parametri care trebuie verificați și/sau controlați. În studiu au fost identificați 15 parametri principali și 7 parametri secundari.

### 2.2.6 Propunerea unei structuri generalizate de SAB

Modelul general cuprinde 7 sisteme (alimentare intermediară cu carburant, alimentare internă cu carburant, alimentare combustibil, camera de ardere, sistem evacuare gaze și curățare, sistem automatizare și sistem de siguranță) și reprezintă un instrument suport în vederea proiectării de noi modele.

### 2.2.7 Propunere de soluție concretă privind un nou SAB optimizat

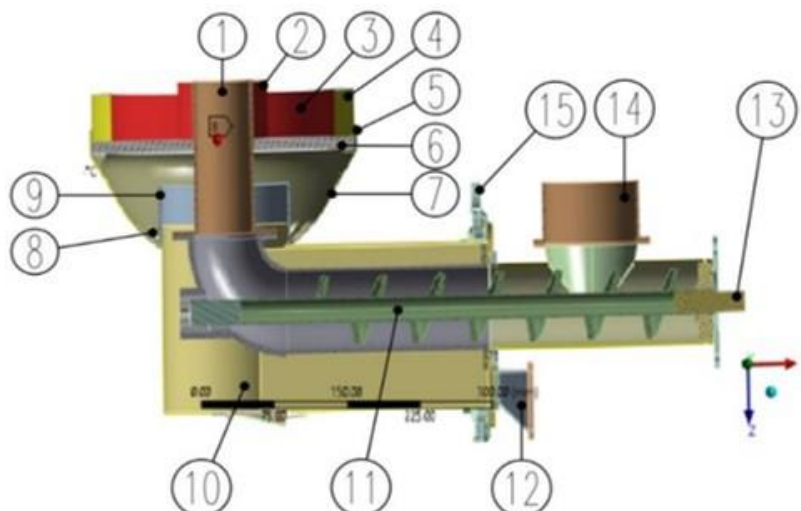


Fig. 2.38 Soluție constructivă integrată (model 3D în CATIA V5 R30) pentru un nou arzător de biomasă tip retortă

- 1-tub de alimentare cu biomasă, 2-inel de protecție refractar intern, 3 cameră de ardere,
- 4-inel de protecție refractar extern, 5 inel suport extern, 6-grătar din fontă,
- 7-colector de cenușă, 8 găuri evacuare cenușă, 9 duză de ventilare, 10 tubulatură aer,
- 11 șnecl intern, 12 duză racordare ventilator, 13 cuplaj motor, 14 racord alimentare biomasă,
- 15 ușă montare pe schimbătorul de căldură

### 2.2.8 Sinteza rezultatelor

#### 2.2.8.1 Concluzii privind definirea unui pachet complex de criterii de optimizare funcțională și clasificarea tipologică a arzătoarelor de biomasă pe baza unui grup de criterii

În urma analizei detaliate a celor 58 de SAB propuse pentru studiu aprofundat, au fost propuse 24 de criterii de analiză. Criteriile au fost ierarhizate și a fost identificată ponderea importanței fiecărui criteriu prin două metode: Analiza Valorii Simple și Analiza Valorii Likert.

Pentru toate cele 58 de SAB utilizând două metode hibride de comparație s-au observat diferențe notabile în media diferențelor relative, aceasta fiind de 13,65% pentru metoda MMP-AVL-AVS și de 0,76% pentru metoda MMP-AVL.

O altă remarcă este că valorile obținute prin metoda analizei valorii simple sunt, de obicei, mai mari decât cele obținute prin celelalte două metode.

#### **2.2.8.2 Concluzii privind identificarea funcțiilor generalizate ale unui SAB**

Conceptul funcțional al noului SAB a fost stabilit prin identificarea funcțiilor necesare pe baza analizelor anterioare și a criteriilor critice.

Funcțiile unui arzător de biomasă au fost împărțite în 3 categorii: funcții principale, funcții secundare și funcții auxiliare.

În studiu au fost identificate 7 funcții principale, 12 funcții secundare și 4 funcții auxiliare.

#### **2.2.8.3 Concluzii privind identificarea parametrilor generalizați ai unui SAB**

Pentru fiecare funcție principală sau secundară, a fost identificat cel puțin un parametru de control. Asemeni funcțiilor, parametri au fost clasificați în: parametri principali și secundari.

În studiu au fost identificați 15 parametri principali și 7 parametri secundari.

#### **2.2.8.4 Concluzii privind propunerea unei structuri generalizate de SAB**

Un model structural general integrat care cuprinde toate sistemele și subsistemele esențiale a fost propus prin lucrarea prezentă sub forma unei structuri de tip bloc.

Modelul general cuprinde 7 sisteme (alimentare intermediară cu carburant, alimentare internă cu carburant, alimentare comburant, camera de ardere, sistem evacuare gaze și curățare, sistem automatizare și sistem de siguranță) și reprezintă un instrument suport în vederea proiectării de noi modele.

#### **2.2.8.5 Concluzii privind propunerea unei soluții concrete pentru un nou SAB optimizat**

În cadrul acestui subcapitol se propune și se prezintă schema constructivă, funcțională și constructiv-integrată (modelul 3D) al noului SAB de tip retortă mixtă propus, prezentând fiecare element constituent ales, modul de operare și produsele rezultate (gaze, noxe, cenușă, energie termică, etc.).

### **2.3 CONCEPȚIA CONSTRUCTIVĂ INTEGRATĂ A UNUI SAB**

**Obiectivul cercetării experimentale prezentată în continuare** l-a reprezentat optimizarea constructivă și funcțională a unui model nou de SAB prin analiza termică și aerodinamică, pentru a asigura atât cerințele tehnologice privind eficiența utilizării energiei biomasei în sistemele de încălzire centrală, în condiții de rentabilitate și protecția mediului, cât și asigurarea siguranței proceselor funcționale, mai ales în situații speciale precum cele de întrerupere a alimentării cu energie electrică.

Concepția constructivă integrată a unui SAB își propune să integreze conceptul constructiv rezultat după analiza și optimizarea funcțiilor rezultate din cerințele constructive și funcționale cu capabilitatea tehnologică a unui posibil fabricant industrial, în condiții de optim constructiv, funcțional, economic, tehnic și tehnologic.

#### **2.3.1 Metodologia cercetării**

Prezentul studiu a fost structurat în mai multe etape metodologice, care au vizat verificarea comportamentului termic și aerodinamic al unui concept original de SAB, precum și optimizarea acestuia. Succesiunea etapelor fluxului de lucru este prezentată în **figura 2.39**

Programele utilizate: Ansys 2022 R2 (modelarea termică a soluției inițiale și finale), Ansys 2024 R1 (modelarea CFD (Analiza computațională a dinamicii fluidelor din engleză: „Computational Fluid Dynamics”)) și altele.

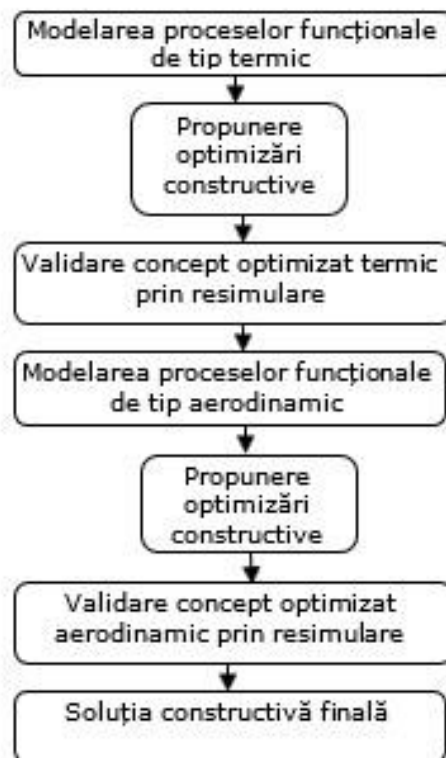


Fig. 2.39 Schema metodologiei de analiză a soluției SAB propuse

Pentru a verifica comportamentul curgerii aerului pentru SAB optimizat termic, a fost necesară generarea a 4 modele 3D adaptate pentru analiza curgerii fluidelor. În acest scop, a fost creat **modelul negativ al fiecărei variante propuse**, iar acesta reprezintă tubulatura de curgere a aerului, cu toate obstacolele din interiorul SAB.

Conceptele (soluțiile) propuse au fost numite astfel:

1. Sistem de ardere a biomasei, varianta cu racord cilindric (RC) și fante longitudinale (FL), (**SAB, varianta RC-FL**);
2. Sistem de ardere a biomasei, varianta cu racord cilindric și fante perpendiculare (FP), (**SAB, varianta RC-FP**);
3. Sistem de ardere a biomasei, varianta cu racord paralelipipedic (RP) și fante longitudinale (**SAB, varianta RP-FL**);
4. Sistem de ardere a biomasei, varianta cu racord paralelipipedic și fante perpendiculare (**SAB, varianta RP-FP**).

Cele 4 modele analizate, au 4 configurații constructive definite, obținute combinarea a două tipuri de racorduri de curgere a aerului diferite (racord cilindric (RC) și racord paralelipipedic (RP)) cu două poziții diferite pentru fantele de admisie aer în camera de ardere (**figura 2.42 și 2.43**).

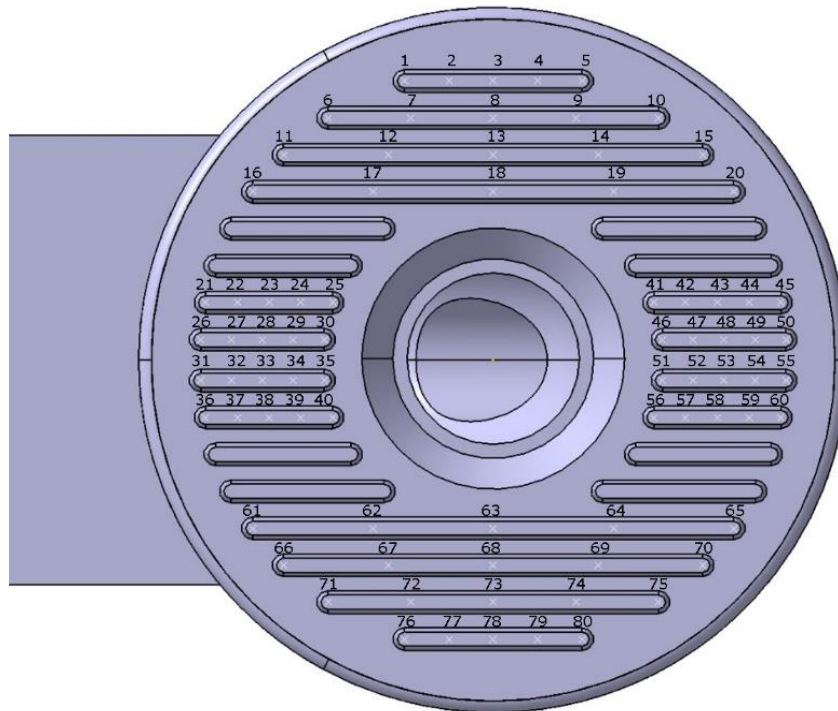


Fig. 2.1 Punctele de măsurare a vitezei de ieșire a aerului, pentru variantele RC-FL și RP-FL

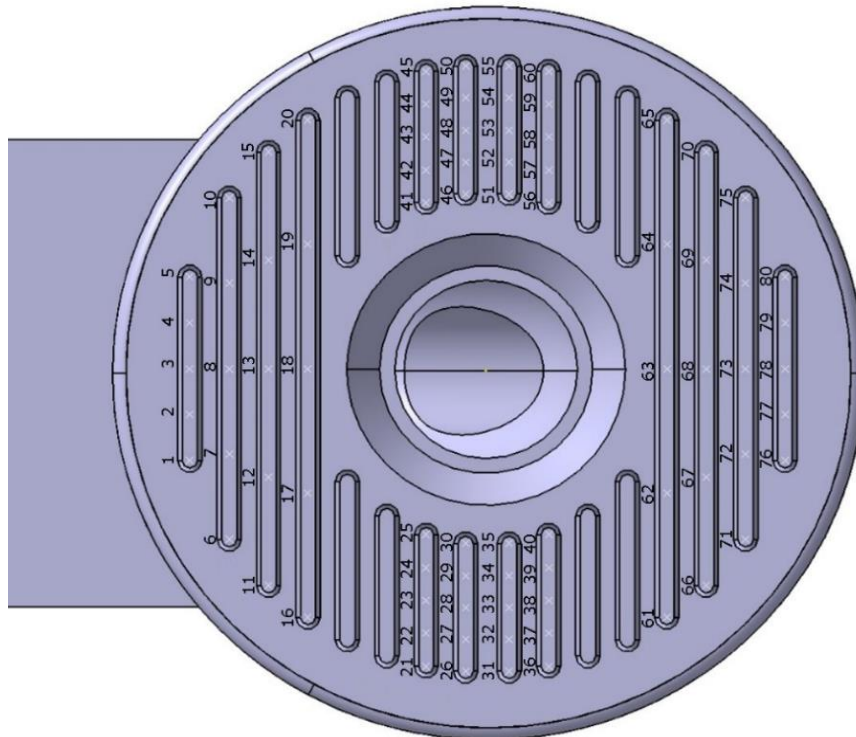


Fig. 2.2 Punctele de măsurare a vitezei de ieșire a aerului, pentru variantele RC-FP și RP-FP

Expresia fante longitudinale desemnează fante ale căror axe longitudinale sunt paralele cu axa longitudinală a SAB, respectiv fante perpendiculare, pentru fantele a căror axe longitudinale sunt perpendiculare pe axa longitudinală a SAB.

Viteza medie a aerului la ieșire printr-o fantă  $j$ ,  $V_{mj}$  va fi:

$$V_{mj} = \frac{1}{5} \sum_{i=(j-1)5+1}^{(j-1)5+5} V_i, \text{ unde:}$$

$V_i$  este viteza măsurată în punctul  $i$  al fantei  $j$

$j$  reprezintă numărul fantei, cu următoarea repartizare a punctelor de măsurare:

- |                             |                              |                              |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| $j=1$ pentru punctele 1-5   | $j=7$ pentru punctele 31-35  | $j=13$ pentru punctele 61-65 |
| $j=2$ pentru punctele 6-10  | $j=8$ pentru punctele 36-40  | $j=14$ pentru punctele 66-70 |
| $j=3$ pentru punctele 11-15 | $j=9$ pentru punctele 41-45  | $j=15$ pentru punctele 71-75 |
| $j=4$ pentru punctele 16-20 | $j=10$ pentru punctele 46-50 | $j=16$ pentru punctele 76-80 |
| $j=5$ pentru punctele 21-25 | $j=11$ pentru punctele 51-55 |                              |
| $j=6$ pentru punctele 26-30 | $j=12$ pentru punctele 56-60 |                              |

Viteza medie într-o grupă  $k$ ,  $V_{mgk}$  va fi:

$$V_{mgk} = \frac{1}{4} \sum_{j=(k-1)4+1}^{(k-1)4+4} V_{mj}, \text{ unde:}$$

$gk$ -numărul grupei după cum urmează:

grupa de fante I ( $k=1$ ) – pentru fantele  $j = \overline{1,4}$ ;

grupa de fante II ( $k=2$ ) – pentru fantele  $j = \overline{5,8}$ ;

grupa de fante III ( $k=3$ ) – pentru fantele  $j = \overline{9,12}$ ;

grupa de fante IV ( $k=4$ ) – pentru fantele  $j = \overline{13,16}$ ;

### 2.3.2 Modelarea proceselor termice

În **figura 2.46** este prezentat rezultatul simulării procesului de combustie în stadiul de cercetare și dezvoltare pre-implementare pentru situația de întrerupere a curentului la 1200°C temperatură de ardere, iar în figura 2.47 este prezentat rezultatul simulării la 800 °C temperatură de ardere.

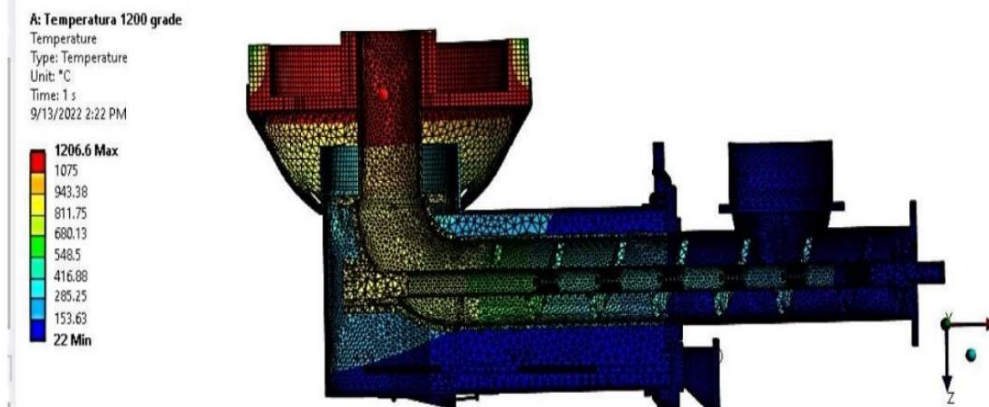


Fig. 2.3 Simulare în cazul pană curent la 1200°C temperatură de ardere

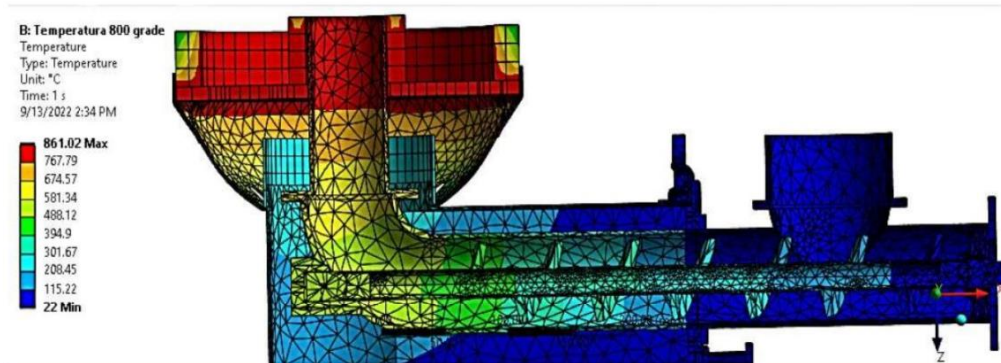


Fig. 2.4 Simulare în cazul pană curent la 800°C temperatură de ardere

În cadrul acestei simulări se poate observa că o zonă critică este conducta de alimentare cu biomasă, unde există un risc semnificativ de autoaprindere a biomasei în tubul de alimentare și de propagare a flăcării înapoi în zona racordului de alimentare a SAB.

Pentru a reduce pericolul de autoaprindere în cazurile prezentate anterior, anume pentru a elimina nodurile critice din zona tubului de alimentare în caz de pană de curent la 800°C și 1200°C temperatură de ardere, dar și pentru a crește performanța termică a prototipului, s-a recurs la simularea continuă în zona critică cu rezoluție crescută și cu modificări ale designului.

În urma concluziilor și observațiilor din primele simulări se propune o nouă soluție constructivă, ce are la bază extinderea inelului de protecție refractar intern și întreruperea contactului dintre grătarul de ardere 3 și tubul de alimentare 1, înălțarea inelului suport extern 6 și eliminarea inelului refractar exterior de protecție 4, iar rezultatele simulării sunt prezentate în figurile 2.48 și 2.49.

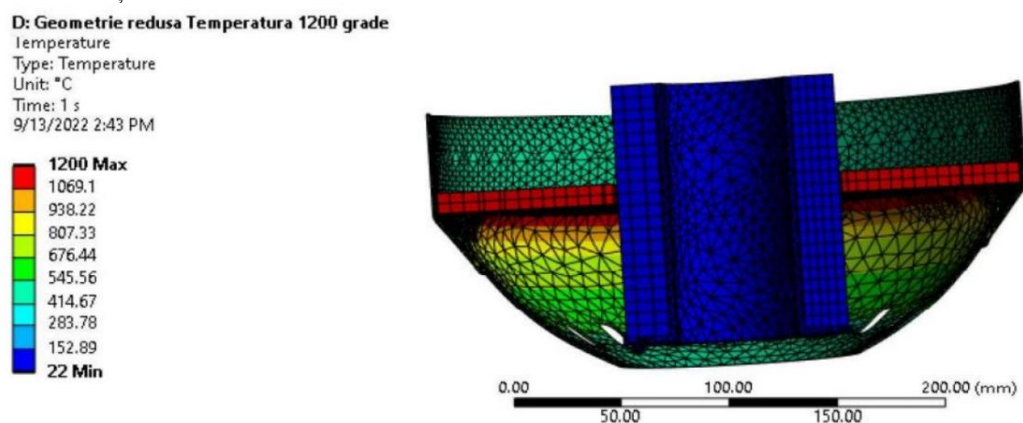


Fig. 2.5 Simulare în cazul pană curent la 1200°C temperatură de ardere

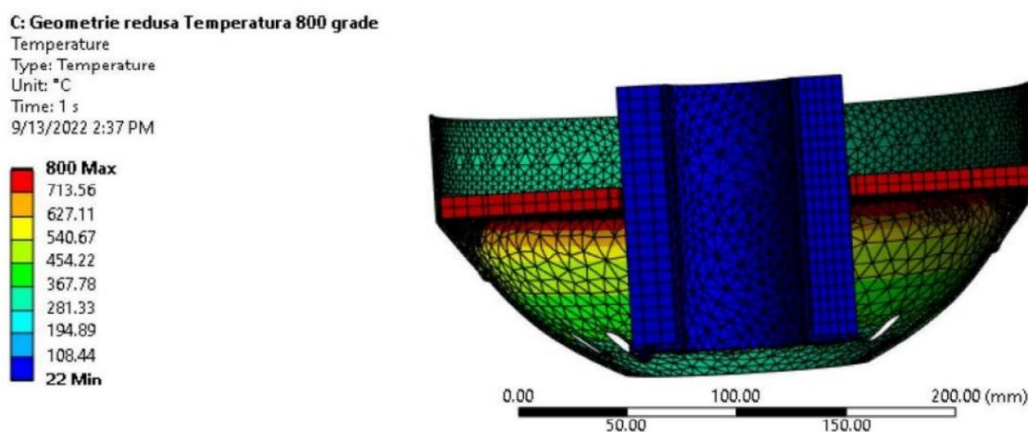


Fig. 2.6 Simulare în cazul pană curent la 800°C temperatură de ardere

Se poate observa că în cazul simulării unei întreruperi de curent la 1200°C cât și la 800°C temperatură de ardere, soluția propusă de optimizare elimină riscurile de autoaprindere a biomasei din tubul de alimentare, precum și nodurile critice anterioare. Întreruperea contactului grătarului de ardere cu tubul de alimentare intern prin utilizarea de material refractar a dus la izolarea acestuia din urmă, deci la creșterea siguranței funcționale prin optimizarea constructivă..

### 2.3.3 Modelarea câmpului aerodinamic

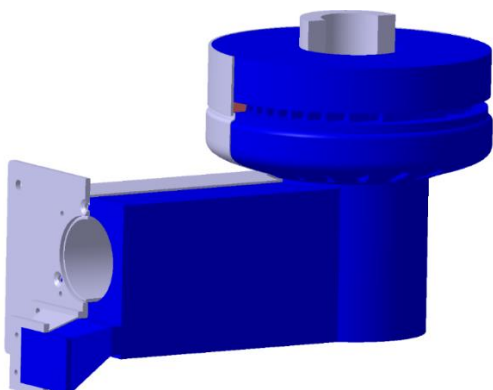


Fig. 2.7 Model negativ pentru simulare curgere aer (albastru) și model pozitiv în secțiune pentru SAB propus, varianta RC-FL

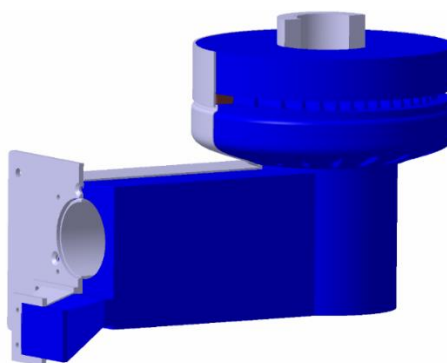


Fig. 2.8 Model negativ pentru simulare curgere aer (albastru) și model pozitiv în secțiune pentru SAB propus, varianta RC-FP

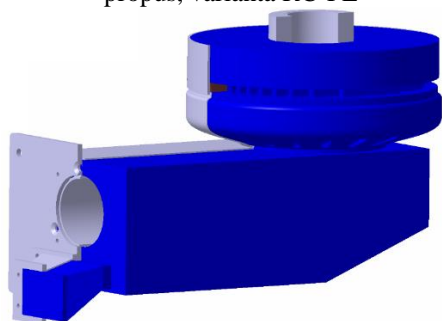


Fig. 2.9 Model negativ pentru simulare curgere aer (albastru) și model pozitiv în secțiune pentru SAB propus optimizat tehnologic, varianta RP-FL

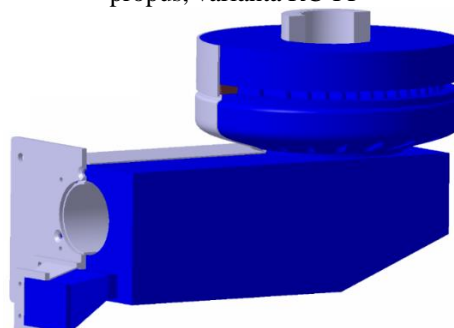


Fig. 2.10 Model negativ pentru simulare curgere aer (albastru) și model pozitiv în secțiune pentru SAB propus, varianta RP-FP

**Figurile 2.50, 2.68, 2.122 și 2.158** ilustrează tranziția de la geometria fizică a tubulaturii reale la modelele negative utilizate în cadrul simulărilor numerice pentru analiza curgerii aerului pentru cele 4 soluții constructive propuse. Modelul pozitiv (reprezentat în gri, în secțiune) corespunde componentelor fizice, în timp ce modelul negativ (reprezentat în albastru) reflectă volumul intern parcurs de fluxul de aer și constituie baza pentru simulările CFD.

Admisia inițială a aerului în sistem se realizează pe o secțiune de  $35,28\text{cm}^2$  iar admisia finală în camera de ardere se realizează prin secțiunea totală a fantelor grătarului, însumând  $91,672\text{cm}^2$ , pentru toate cele 4 variante propuse (figura 2.51 și figura 2.123).

Admisia intermediară în difuzorul de sub grătar are o secțiune de  $71,411\text{cm}^2$ , iar volumul camerei de ardere este de aprox.  $1599\text{cm}^3$  pentru toate cele 4 variante propuse (figura 2.52 și figura 2.124).

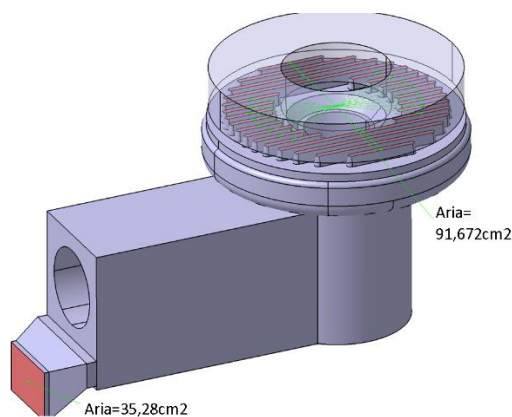


Fig. 2.11 Aria admisiei inițiale și finale a aerului pentru SAB propus, varianta RC-FL

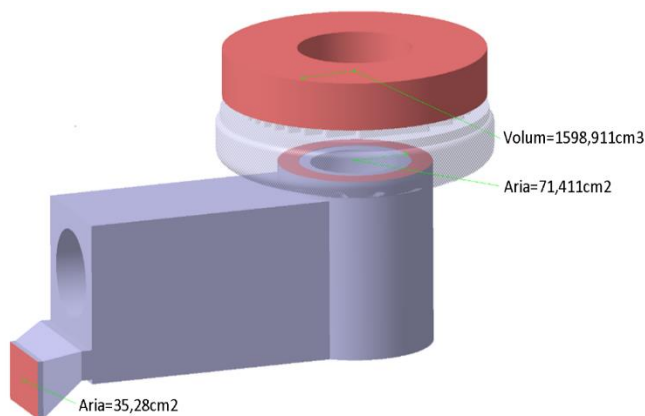


Fig. 2.12 Aria admisiei intermediare a aerului pentru SAB propus, varianta RC-FL

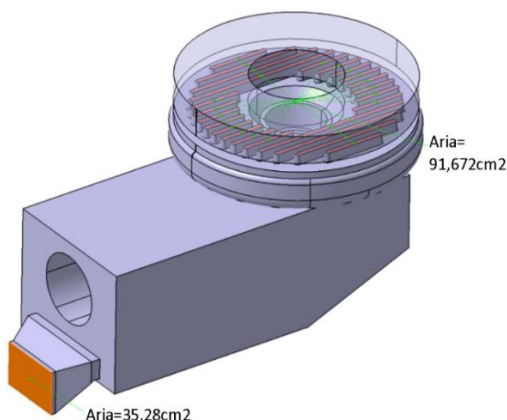


Fig. 2.13 Aria admisiei inițiale și finale a aerului pentru SAB propus, varianta RP-FL

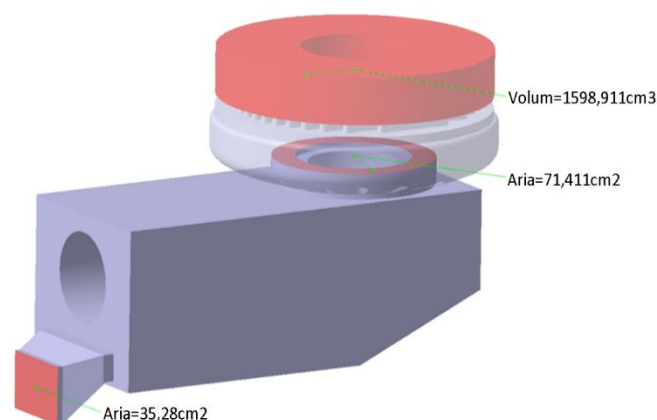


Fig. 2.14 Aria admisiei intermediare a aerului pentru SAB propus, varianta RP-FL

Pentru fiecare din cele 4 variante SAB propuse au fost efectuate 7 simulări de curgere a fluidului la diferite debite de intrare: 60m<sup>3</sup>/h, 90m<sup>3</sup>/h, 120m<sup>3</sup>/h, 150m<sup>3</sup>/h, 180m<sup>3</sup>/h, 210m<sup>3</sup>/h și 240m<sup>3</sup>/h, rezultatele sunt prezentate pe larg în teză și succint în continuare

### 2.3.4 Compararea soluțiilor și propunerea soluției finale

**Pentru arzătorul RC-FL** viteza medie totală de ieșire a aerului din grupa de fante I-IV aferente arzătorului RC-FL este de **1,06 m/s** pentru un debit de 60m<sup>3</sup>/h și de **4,24 m/s** pentru un debit de 240m<sup>3</sup>/h. Aceste viteze de ieșite a aerului plasează varianta RC-FL pe **locul 3 din 4**.

**Pentru arzătorul RC-FP din figura 2.195** viteza totală medie de ieșire a aerului din grupa de fante I-IV aferente arzătorului RC-FP este de **1,39 m/s** pentru un debit de 60m<sup>3</sup>/h și de **5,70 m/s** pentru un debit de 240m<sup>3</sup>/h. Aceste viteze de ieșite a aerului plasează varianta RC-FP pe **locul 1 din 4**.

**Pentru arzătorul RP-FL** viteza totală medie de ieșire a aerului din grupa de fante I-IV aferente arzătorului RP-FL este de **1,39 m/s** pentru un debit de 60m<sup>3</sup>/h și de **5,68 m/s** pentru un debit de 240m<sup>3</sup>/h. Aceste viteze de ieșite a aerului plasează varianta RP-FL pe **locul 2 din 4**.

**Pentru arzătorul RP-FP** viteza medie totală de ieșire a aerului din grupa de fante I-IV aferente arzătorului RP-FP este de **1,04 m/s** pentru un debit de 60m<sup>3</sup>/h și de **4,12 m/s** pentru un debit de 240m<sup>3</sup>/h. Aceste viteze de ieșite a aerului plasează varianta RP-FP pe **locul 4 din 4**, prezentând cea mai mică viteză de ieșire a aerului.

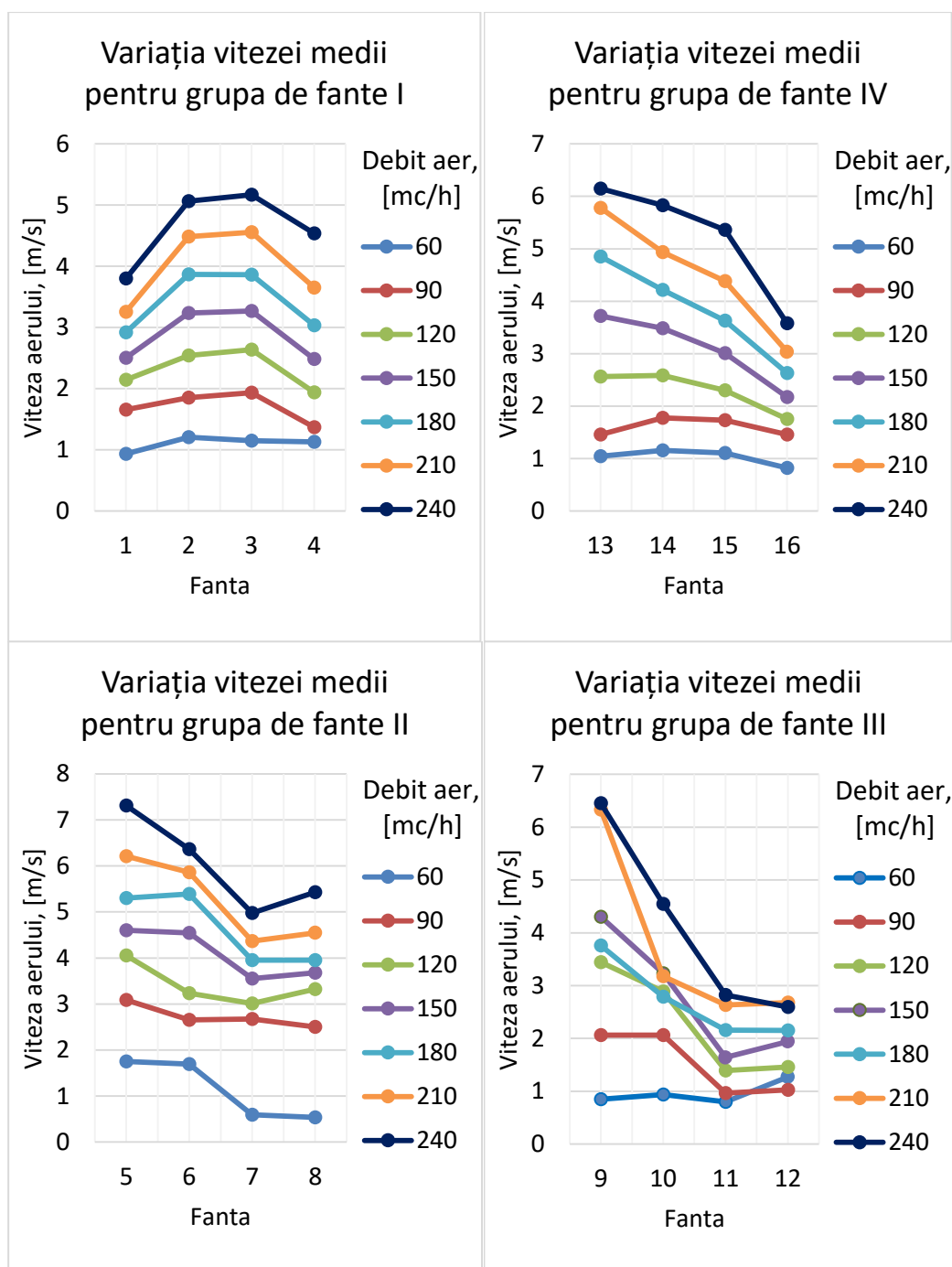


Fig. 2.15 Diagrama de variație a vitezei medii a aerului pe grupe de fante, varianta RC-FP

### 2.3.5 Sinteza rezultatelor

Subcapitolul 2.3 pornește de la observațiile din subcapitolele anterioare privind proiectarea și optimizarea SAB și este concentrat pe analiza termică și aerodinamică a unui nou model de arzător de biomasă. Cercetarea are ca scop asigurarea cerințelor tehnologice și asigurarea siguranței proceselor funcționale, mai ales în situații speciale precum cele de întrerupere a alimentării cu energie electrică.

Subcapitolul este împărțit în două părți și anume: modelarea proceselor funcționale de tip termic și modelarea proceselor funcționale de tip aerodinamic.

Rezultatele simulării termice pentru situația de întrerupere a alimentării cu energie

electrică și deci oprirea bruscă a alimentării cu carburant și combustibil la 800°C și 1200°C a indus un pericol de autoaprindere a biomasei în tubul de alimentare. Potențialul pericolul identificat în urma analizei termice a fost înlăturat prin separarea tubului de alimentare față de grătarul de ardere utilizând un element tubular izolator ceramic.

Rezultatele simulării CFD sunt prezentate în tabelul 2.11 pentru toate cele 4 variante propuse. Din tabelul 2.11 rezultă că viteza maximă totală de ieșire a aerului este întâlnită la ieșirea din fantele arzătorului RC-FP.

Tab. 2.11 Viteza medie de ieșire a aerului pe grupe de fante de admisie în camera de ardere pentru cele 4 variante SAB propuse

	Debit/ medie grupă	viteză						
		60 [mc/h]	90 [mc/h]	120 [mc/h]	150 [mc/h]	180 [mc/h]	210 [mc/h]	240 [mc/h]
RC-FL	Grupa I	1,32	1,82	2,43	3,10	3,66	4,22	4,85
	Grupa II	0,90	1,56	2,25	2,95	3,23	4,09	4,39
	Grupa III	1,07	1,39	1,80	2,38	2,74	3,39	3,60
	Grupa IV	0,96	1,53	2,29	2,78	2,72	3,70	4,11
	deviația între GI și GIV	0,21	0,13	0,09	0,08	0,22	0,06	0,23
	deviația între GII și GIII	0,05	0,07	0,25	0,20	0,01	0,16	0,25
	Viteza medie totală GI-GIV	1,06	1,57	2,19	2,80	3,09	3,85	4,24
RC-FP	Debit/ medie grupă	60 [mc/h]	90 [mc/h]	120 [mc/h]	150 [mc/h]	180 [mc/h]	210 [mc/h]	240 [mc/h]
	Grupa I	1,11	1,70	2,32	2,87	3,42	3,99	4,64
	Grupa II	1,04	1,61	2,30	3,10	3,83	4,53	5,23
	Grupa III	1,14	2,73	3,41	4,09	4,65	5,25	6,02
	Grupa IV	2,31	2,55	3,44	4,21	5,12	6,15	6,92
	deviația între GI și GIV	0,04	0,05	0,01	0,11	0,21	0,27	0,29
	deviația între GII și GIII	0,58	0,09	0,02	0,06	0,24	0,45	0,45
	Viteza medie totală GI-GIV	1,40	2,15	2,87	3,57	4,26	4,98	5,70
RP-FL	Debit/ medie grupă	60 [mc/h]	90 [mc/h]	120 [mc/h]	150 [mc/h]	180 [mc/h]	210 [mc/h]	240 [mc/h]
	Grupa I	1,23	1,86	2,81	3,18	4,21	4,96	5,53
	Grupa II	0,78	1,21	1,20	1,75	1,77	2,17	2,61
	Grupa III	2,15	3,34	3,74	5,37	5,71	6,69	7,72
	Grupa IV	1,41	2,00	3,23	3,57	5,02	6,06	6,87
	deviația între GI și GIV	0,22	0,33	0,80	0,72	1,22	1,40	1,46
	deviația între GII și GIII	0,37	0,67	0,26	0,90	0,34	0,31	0,42
	Viteza medie totală GI-GIV	1,39	2,10	2,74	3,47	4,18	4,97	5,68
RP-FP	Debit/ medie grupă	60 [mc/h]	90 [mc/h]	120 [mc/h]	150 [mc/h]	180 [mc/h]	210 [mc/h]	240 [mc/h]
	Grupa I	1,35	2,08	2,83	3,48	4,30	4,91	5,66
	Grupa II	1,24	1,95	2,61	3,19	3,80	4,44	5,12
	Grupa III	0,60	0,77	1,19	1,28	1,50	1,87	2,23
	Grupa IV	0,98	1,21	1,61	2,15	2,60	3,03	3,48
	deviația între GI și GIV	0,05	0,07	0,11	0,14	0,25	0,24	0,27
	deviația între GII și GIII	0,19	0,22	0,21	0,44	0,55	0,58	0,62
	Viteza medie totală GI-GIV	1,04	1,50	2,06	2,53	3,05	3,56	4,12

Varianta RP-FP prezintă viteze apropiate cu varianta RC-FL, dar acestea sunt mici. Variantele RC-FP și RP-FL sunt soluții preferate, iar soluția RC-FP a fost aleasă datorită tehnologicității fabricii colaboratoare.

## 2.4 Sinteza contribuțiilor originale ale capitolului

În urma activităților de cercetare teoretică, experimentală și aplicative desfășurate pe parcursul întregii activități de pregătire doctorală, lucrarea aduce o sumă de contribuții originale corespondente, fundamentate pe o analiză documentară riguroasă, modelare teoretică avansată și investigații experimentale desfășurate pe întreaga durată a cercetării doctorale.

Se prezintă în continuare, într-o sinteză, cele mai importante dintre acestea.

### 2.4.1 Contribuții teoretice

Principalele contribuții teoretice sunt:

- 1) identificarea, pe baza analizelor realizate și a studiilor de caz simulate a provocărilor actuale din domeniul valorificării biomasei ca sursa de energie termică, relevante pentru aspectele specifice de fabricație industrială a SAB;
- 2) definirea, pe baza priorităților și provocărilor actuale identificate, pe cale de consecință, a obiectivului principal și a obiectivelor secundare de cercetare;
- 3) studiu documentar asupra stadiului actual al tehnologiilor de valorificare prin conversie termică a biomasei (cu accent pe sistemele domestice), bazat pe documentarea din piață completată cu sintezele și lucrările științifice/studiile de specialitate;
- 4) analiza critică din punct de vedere constructiv (formă, dimensiuni etc.), funcțional, economic și structural, a principalelor tipuri de sisteme de valorificare prin combustie a biomasei;
- 5) elaborarea, pe baza documentării din piață și din literatura științifică a unui sistem pentru clasificarea constructivă, funcțională, economică și structurală (componente, asamblare etc.), a sistemelor de ardere a biomasei utilizate în domeniul aplicațiilor domestice;
- 6) elaborarea unei pachet original de criterii de evaluare și analiză a SAB bazat pe selecția a 24 de criterii critice, selectate pe baza aserțiunilor din literatura de specialitate;
- 7) identificarea pe baza analizei valorii a funcțiilor generalizate relevante, a parametrilor caracteristici critici corespondenți ai acestora și crearea unei structuri generalizate de SAB care să servească drept bază pentru propunerea de noi modele;
- 8) elaborarea a două metode originale (metoda hibridă MMP-AVL și metoda MMP-AVS-AVL) pentru analiza comparativă expeditivă, rapidă și exactă, a SAB și a factorilor de performanță a acestora;
- 9) analiza comparativă generală a 123 de soluții constructive reprezentative de SAB destinate pentru aplicații domestice, publice și industriale, continuată cu o analiză comparativă aprofundată complexă a 58 de variante selectate ulterior din pachetul inițial;
- 10) elaborarea unui model de calcul destinat determinării costului ponderat aferent fiecărei funcții/criteriu pentru orice SAB, în funcție de costul maxim total acceptat pentru construcția arzătorului;
- 11) elaborarea, pe cale de consecință a unui model care urmărește distribuirea rațională a bugetului între funcțiile sistemului, în funcție de importanța acestora și de constrângerile economice impuse.

### 2.4.2 Contribuții experimentale

În cadrul contribuțiilor experimentale cu impact semnificativ se pot încadra următoarele:

- 1) determinarea ponderii importanței criteriilor pentru cele 3 metode individuale originale de evaluare și analiză a SAB pe baza analizei funcționale a celor 58 de tipuri de SAB studiate aprofundat;
- 2) validarea criteriilor de optimizare funcțională și a celor două metode hibride originale pentru compararea rapidă și exactă a sistemelor de ardere a biomasei și a performanței

acestora prin aplicarea acestora la 58 de SAB. Metoda MMP-AVS-AVL a avut o DRM de 13,65% iar metoda MMP-AVL a avut o DRM de sub 1%;

- 3) elaborarea unei soluții originale de SAB (concept constructiv/model experimental), asimilabilă în fabricația industrială, pe baza rezultatelor obținute din aplicarea celor 3 metode individuale și a celor două metode hibride;
- 4) studiul proceselor termice specifice soluției originale de SAB propuse, prin simulare termică staționară, cu scopul de a determina comportamentul SAB propus inițial și a nodurilor termice, pentru trei temperaturi de combustie și o situație deosebită de funcționare a acestuia considerată ca situație de avarie (întreruperea alimentării cu energie electrică, deci oprirea bruscă a alimentării cu carburant și comburant);
- 5) optimizarea constructivă a SAB propus inițial prin eliminarea nodurilor termice critice și a riscului de autoaprindere a biomasei în tubul de alimentare, pe baza unor soluții constructive îmbunătățite, corelată cu capabilitatea tehnologică a potențialului producător industrial;
- 6) verificarea soluției de îmbunătățire propuse prin reluarea procesului de simulare termică, astfel încât să fie confirmată siguranța AAI a soluției nou propuse;
- 7) studiul comparativ al proceselor aerodinamice din interiorul SAB în timpul funcționării, prin simulare CFD pentru patru variante de SAB propuse (variante RC-FL, varianta RC-FP, varianta RP-FL și varianta RP-FP), cu scopul de optimizare a curgerii fluidului comburant prin tubulatura de admisie și a vitezei de admisie a aerului în camera de ardere;
- 8) studiul și analiza influențelor specifice ale debitului de aer pentru procesele funcționale de la patru SAB în vederea determinării variantei optime pentru cazul combustiei în pat hibrid (pat (semi)fluidizat combinat cu alte variante);
- 9) realizarea unui nou model de arzător de biomasă de tip retortă mixtă, asimilabil în fabricația industrială, pentru automatizarea proceselor funcționale ale unui sistem de ardere a biomasei cu o putere de 25-75 kW.

#### **2.4.3 Contribuții cu aplicabilitate industrială**

O parte importantă a rezultatelor activității de cercetare teoretică și experimentală se poate constitui în componente cu transferabilitate industrială, după cum urmează:

- 1) realizarea unei soluții noi de SAB, aplicabilă în fabricația industrială, adaptabilă relativ ușor capabilităților tehnologice dintr-o întreprindere specializată în fabricația de serie din construcția de mașini și aparate;
- 2) elaborarea unor soluții proprii pentru utilizarea simulărilor termice și CFD pentru optimizarea termică și aerodinamică în procesul de proiectare a unui SAB, ca alternativă la construirea modelelor experimentale/prototipurilor costisitoare și consumatoare de resurse, inclusiv timp;
- 3) elaborarea unui sistem original de evaluare a unui SAB pe baza a 24 de criterii critice, utilizabil pentru diagnoza unor soluții constructive corespondente;
- 4) elaborarea unei metode originale expeditivă pentru stabilirea ponderii procentuale a costurilor optime ale funcțiilor unui SAB (corelat cu ponderea importanței acestora), corelat cu costul maxim total acceptat pentru construcția SAB;
- 5) elaborarea a două metode originale pentru compararea SAB din piață, evaluarea performanței acestora și identificarea oportunităților de optimizare.

### 3 CONCLUZII ȘI PERSPECTIVE ALE CERCETĂRII

#### 3.1 Concluzii

Prezenta cercetare a pornit de la problematica crizei resurselor naturale epuizabile și de la necesitatea identificării și implementării unor soluții viabile pentru a acoperi cererea tot mai mare de energie termică. Cercetare a fost structurată în trei etape.

În prima etapă s-a realizat evaluarea generală a principalelor tehnologii de conversie a biomasei în energie termică printr-o analiză constructivă, funcțională și economică a principalelor sisteme de ardere a biomasei.

Etapa a doua a fost concentrată pe realizarea conceptului funcțional al unui nou model de SAB pe baza analizei și rezultatelor sintezei din etapa anterioară, în vederea selectării unui pachet de funcții necesare și identificarea parametrilor de control ale acestui sistem, încă din faza de proiectare. După identificarea funcțiilor și parametrilor funcționali de control, s-a propus soluția constructivă inițială a noului SAB.

În cea de-a treia etapă s-a realizat analiza termică și aerodinamică a noului model de arzător de biomasă propus, pentru a se asigura atât cerințele tehnologice privind eficiența conversiei energiei biomasei în cuptoarele de încălzire centrală, în condiții de rentabilitate și protecția mediului, cât și asigurarea siguranței proceselor funcționale, mai ales în situații speciale precum cele de întrerupere a alimentării cu energie electrică. După analiza termică soluția inițială a fost optimizată constructiv pentru a elimina nodurile termice critice și riscul de autoaprindere a biomasei în tubul de alimentare. Ulterior au fost propuse patru variante constructive ale unui nou sistem de ardere a biomasei care au fost supuse la simularea aerodinamică, fiind testate pentru 7 debite de alimentare cu aer (comburant).

În final, cercetarea realizată a condus la alegerea variantei constructive RC-FP pentru noul sistem de arzător de biomasă.

Cercetarea efectuată, a presupus realizarea experimentelor pentru analiză termică și CFD, interpretări și modelări matematice care permit formularea concluziilor desprinse din rezultatele obținute.

Astfel:

- Prin analiza inițială a SAB au fost selectate criteriile inițiale de evaluare a acestora, grupate sub forma anexelor 1-3;
- Prin analiza constructivă individuală, sistemele de combustie a biomasei selectate au fost clasificate în grupe, subgrupe, clase, familii și categorii, pe baza unor criterii constructive. Această încadrare a arzătoarelor în categorii distincte poate servi drept bază pentru identificarea potențialelor probleme tehnologice care sunt specifice fiecărei categorii;
- Prin analiza constructivă, funcțională și economică a principalelor SAB a fost creată o imagine de ansamblu asupra conceptelor tehnice existente, ca suport în vederea construirii și propunerii de noi modele experimentale și/sau soluții inovative;
- Prin cercetare s-a observat că principala problemă a tuturor SAB o reprezintă protecția AAI, majoritatea sistemelor performante având 3-4 astfel de protecții;
- Prin analiza funcțională a SAB, acestea au fost împărțite în 3 clase de putere și anume: arzătoare domestice (cu putere de până la 50kW), arzătoare de uz public (cu putere cuprinsă între 51-300kW) și arzătoare de uz industrial (cu putere de peste 300kW). Studiile existente împart arzătoarele în diferite moduri, acesta fiind cel mai des întâlnit;
- Prin analiza economică a SAB, acestea au fost împărțite în 4 clase de preț conform unei metodologii originale (clasa 1 preț redus  $\leq 6000$  lei, clasa 2 preț mediu  $>6000 \leq 9000$  lei, clasa 3 preț ridicat  $>9000 \leq 12000$  lei, clasa 4 preț foarte ridicat  $>12000$  lei);
- Pentru a putea propune un concept de SAB cu eficiență ridicată, fiabil, sigur și cu un cost redus, întâi este necesară înțelegerea nevoilor sociale, identificarea funcțiilor care vor îndeplini acele nevoi și a parametrilor de control pentru aceste funcții. Astfel cercetarea

experimentală pentru optimizarea integrată a proceselor funcționale ale SAB a fost concentrată pe definirea unui pachet de 24 de criterii de performanță, a ponderii importanței acestora, a funcțiilor generalizate ale unui SAB și parametrilor de controlat. Criteriile stabilite includ 7 direcții de optimizare (7 pachete de criterii): criterii economice, tehnologice, operaționale, de fiabilitate, de performanță (eficiență și emisii), de siguranță și automatizare. Funcțiile și parametri au fost împărțiți în 3 categorii: principali, secundari și auxiliari;

- Din ierarhizarea SAB a rezultat că metoda MMP-AVS-AVL a prezentat un DRM de 13,65% iar metoda MMP-AVL a prezentat un DRM de sub 1%. Ambele metode oferă concluzii utile, iar cu cât DRM este mai mică cu atât metoda este mai stabilă;
- Din cercetarea actuală, utilizând metoda MMP-AVL a rezultat că dintre arzătoarele evaluate doar 1 arzător cu pat de ardere fix și 2 arzătoare cu pat mobil îndeplinesc peste 70% din criteriile critice de performanță. Utilizând aceeași metodă doar 13 arzătoare cu pat de ardere fix, 8 arzătoare cu pat mobil și 1 arzător cu pat de ardere fluidizat îndeplinesc peste 60% din criteriile critice de performanță stabilite;
- În finalul cercetării experimentale a posibilităților de optimizare integrată constructivă și funcțională a SAB au fost construite două propuneri de tip schemă bloc pentru a prezenta interacțiunea dintre componentele fizice ale sistemului și sistemul de control, urmate de prezentarea soluției constructive integrate sub forma unui model 3D;
- Pornind de la observațiile anterioare privind proiectarea și optimizarea SAB cercetarea a continuat cu simularea termică a modelului propus. Prin interpretarea rezultatelor experimentale pentru analiza repartizării câmpurilor termice au fost identificate mai multe noduri termice critice, unul dintre acestea fiind localizat la capătul tubului de alimentare cu biomasă, loc în care acesta avea contact cu patul de ardere din fontă.
- În urma concluziilor și observațiilor din primele simulări nodurile termice critice au fost eliminate prin optimizarea soluției constructive prin: extinderea inelului de protecție refractar interior, rezultând întreruperea contactului dintre grătarul de ardere și tubul de alimentare, înălțarea inelului suport extern și eliminarea inelului refractar exterior de protecție.
- Pentru a verifica comportamentul curgerii aerului pentru cele 4 variante ale SAB optimizat termic, au fost generate 4 modele 3D (modelul negativ al fiecărei variante propuse), adaptate pentru analiza curgerii fluidelor.
- În fiecare din cele 28 de experimente de simulare a câmpului aerodinamic, s-a observat o influență mai mare a conceptului constructiv decât a debitului de admisie.
- Randamentele maxime pentru viteza de admisie a aerului în camera de ardere au fost pentru **varianta RC-FP** (viteză medie totală de ieșire a aerului din grupa de fante I-IV de **1,39 m/s** pentru un debit de  $60\text{m}^3/\text{h}$  și de **5,70 m/s** pentru un debit de  $240\text{m}^3/\text{h}$ ) și **varianta RP-FL** (viteză medie totală de ieșire a aerului din grupa de fante I-IV de **1,39 m/s** pentru un debit de  $60\text{m}^3/\text{h}$  și de **5,68 m/s** pentru un debit de  $240\text{m}^3/\text{h}$ ).

Lucrarea aduce o serie de contribuții personale, teoretice, experimentale și aplicative, bazate pe studiul documentar, modelarea termică și CFD, cercetările experimentale fiind desfășurate pe parcursul întregii perioade de studiu.

### 3.2 Perspective ale cercetării

Principalele direcții de studiu identificate ca urmare a experienței acumulate prin prezenta cercetare sunt:

- extinderea cercetărilor experimentale prin construirea și testarea modelelor experimentale/prototipurilor sistemelor RC-FP și RP-FL pentru a determina eficiența valorificării biomasei, pentru pește standard de calitate superioară;

- corelarea performanței funcționale cu tipurile de biomasă utilizate, prin testarea și compararea comportamentului variantelor propuse în cazul utilizării diverselor tipuri de combustibil solid (peleți, tocătură de lemn, resturi agricole);
- extinderea cercetărilor experimentale prin analiza în condiții reale de funcționare pe bază de senzori inteligenți (temperatură și lambda), pentru a crește siguranța, eficiența și controlul emisiilor pentru sistemul propus;
- extinderea cercetărilor experimentale la alte categorii de sisteme decât cele dedicate pentru uz rezidențial;
- dezvoltarea unui instrument decizional multicriterial de tip TRIZ pentru alegerea variantei optime de SAB, adaptat nevoilor specifice ale utilizatorilor (rezidențiali, publici, industriali).

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Abas, N., Kalair, A., Khan, N. (2015). Review of fossil fuels and future energy technologies. *Futures* 69, 31-49.
- [2] Baláž, P., Zábajník, S., Hričovský, M. (2020). EU fossil fuel imports and changes after Ukrainian crisis. In Klietík T. (ed) SHS Web of Conferences, vol 74, Rajecké Teplice, Slovakia, 05005.
- [3] Su, Y., Zhong, S., An, L., Shen, L., Li, D. (2023). An Information System for Comprehensive Evaluation of Natural Resources and Ecosystem Services Value: Design and Case Application. *Sustainability* 15, 5247.
- [4] Ellabban, O., Abu-Rub, H., Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39, 748-764.
- [5] Morone, P., D'Adamo, I., Cianfroni, M. (2022). Inter-connected challenges: an overview of bioeconomy in Europe. *Environmental Research Letters* 17, 114031.
- [6] Saidur, R., Abdelaziz, E.A., Demirbas, A., Hossain, M.S., Mekhilef, S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (5), 2262-2289.
- [7] Zhironkin, S., Abu-Abed, F. (2024). Fossil Fuel Prospects in the Energy of the Future (Energy 5.0): A Review. *Energies* 2024, 17, 5606.
- [8] Ulpiani, G., Vettors, N., Shtjefni, D., Kakoulaki, G., Taylor, N. (2023). Let's hear it from the cities: On the role of renewable energy in reaching climate neutrality in urban Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 183, 113444.
- [9] Malat'ak, J., Bradna, J., Velebil, J., Gendek, A., Ivanova, T. (2018). Evaluation of dried compost for energy use via co-combustion with wood. *Agronomy Research* 16 (1), 157-166.
- [10] Millinger, M., Hedenus, F., Zeyen, E., Neumann, F., Reichenberg, L., Berndes, G. (2025). Diversity of biomass usage pathways to achieve emissions targets in the European energy system. *Nature Energy* 10, 226-242.
- [11] Jiang, Y., Van Der Werf, E., Van Ierlandb, E.C., Keesman, K.J. (2017). The potential role of waste biomass in the future urban electricity system. *Biomass and Bioenergy* 107, 182-190.
- [12] Wang, Y., Guan, W., Liu, L., Ma, X. (2022). Biomass energy consumption and carbon neutrality in OECD countries: Testing pollution haven hypothesis and environmental Kuznets curve. *Frontiers in Environmental Science* 10, 975481.
- [13] Wang, J., Fu, J., Zhao, Z., Bing, L., Xi, F., Wang, F., Dong, J., Wang, S., Liu, G., Yin, Y., Hu, Q. (2023). Benefit analysis of multi-approach biomass energy utilization toward carbon neutrality. *The Innovation* 4 (3), 100423.
- [14] Bentsen, N.S., Felby, C. (2012). Biomass for energy in the European Union – a review of bioenergy resource assessments. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts* 5 (1), 25.
- [15] [1] Kazomir, E.C., Tucu, D. (2023). Safety improvement of integrated biomass combustion systems by simulation. In: Kovacev, I.; Grubor, M. (eds.), *Actual Tasks on Agricultural Engineering*, Proc. 49th Int. Symposium on Agricultural Engineering, Zagreb, 481-488.
- [16] Ghasemian, S., Faridzad, A., Abbaszadeh, P., Taklif, A., Ghasemi, A., Hafezi, R. (2024). An overview of global energy scenarios by 2040: identifying the driving forces using cross-impact

- analysis method. *International Journal of Environmental Science and Technology* 21, 7749-7772.
- [17]\*\*\*<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, accesat la data de 19.06.2023.
- [18] Onuoha, K.C. (2010). What are the Prospects of an Alternative Fuel in Meeting the Rising Demand of Fossil Fuel? A Case for Biofuels. *SSRN Electronic Journal*. DOI: 10.2139/ssrn.1664782.
- [19] Martins, F., Felgueiras, C., Smitkova, M. (2018). Fossil fuel energy consumption in European countries. *Energy Procedia* 153, 107-111.
- [20] Lott, M.C., Pye, S., Dodds, P.E. (2017). Quantifying the co-impacts of energy sector decarbonisation on outdoor air pollution in the United Kingdom. *Energy Policy* 101, 42-51.
- [21] Chen, J., Wu, Y., Xu, C., Song, M., Liu, X. (2019). Global non-fossil fuel consumption: driving factors, disparities, and trends. *Management Decision* 57 (4), 791-810.
- [22] Dell'Antonia, D., Gubiani, R., Maroncelli, D., Pergher, G. (2010). Gaseous Emissions from Fossil Fuels and Biomass Combustion in Small Heating Appliances. *Journal of Agricultural Engineering* 4, 37-46.
- [23] Pulles, T., Gillenwater, M., Radunsky, K. (2022). CO2 emissions from biomass combustion Accounting of CO2 emissions from biomass under the UNFCCC. *Carbon Management*, 13 (1), 181-189.
- [24] Shahbaz, M., AlNouss, A., Ghiat, I., Mckay, G., Mackey, H., Elkhalfi, S., Al-Ansari, T. (2021). A comprehensive review of biomass based thermochemical conversion technologies integrated with CO2 capture and utilisation within BECCS networks. *Resources, Conservation and Recycling* 173, 105734.
- [25] Lupu, R.A., Mirescu, R.V., Țucu, D.P., Crișan, G.C., Țucu, D. (2025). Artificial intelligence in agriculture – perception of the risks in health & safety at work. *Actual Tasks on Agricultural Engineering* 50, 547-555.
- [26] Martins, F., Felgueiras, C., Smitkova, M., Caetano, N. (2019). Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries. *Energies* 12, 964.
- [27] García-Martos, C., Rodríguez, J., Sánchez, M.J. (2013). Modelling and forecasting fossil fuels, CO2 and electricity prices and their volatilities. *Applied Energy* 101, 363-375.
- [28] Azni, M.A., Md Khalid, R., Hasran, U.A., Kamarudin, S.K. (2023). Review of the Effects of Fossil Fuels and the Need for a Hydrogen Fuel Cell Policy in Malaysia. *Sustainability* 15, 4033.
- [29] Qazi, A., Hussain, F., Abd. Rahim, N., Hardaker, G., Alghazzawi, D., Shaban, K., & Haruna, K. (2019). Towards Sustainable Energy: A Systematic Review of Renewable Energy Sources, Technologies, and Public Opinions. *IEEE Access*, 7, 57587-57603.
- [30] Bajracharya, S. (2016). Microbial electrosynthesis of biochemicals. Doctoral thesis. Luleå University of Technology, Sweden.
- [31]\*\*\*<https://seekingalpha.com/article/4083393-world-energy-2017minus-2050-annual-report>, accesat la data de 16.06.2023.
- [32] Barnes, J., Hanse, P., Kamin, T., Golob, U., Musolino, M. (2022). Energy communities as demand-side innovators? Assessing the potential of European cases to reduce demand and foster flexibility. *Energy Research & Social Science* 93, 102848.
- [33] Jianga, Y., Van Der Werf, E., Van Ierlandb, E. C., Keesmana, K. J. (2017). The potential role of waste biomass in the future urban electricity system. *Biomass and Bioenergy*, 107, 182-190.
- [34] \*\*\* <https://arhiva.anre.ro/ro/despre-anre/rapoarte-anuale>, accesat la data de 20.06.2023.
- [35] Tutunaru, N.E., Țucu, D.P., Kazomir, E.C., Filipovici, A., Țucu, D. (2025). Analysis of vegetation fires from agricultural farmings in west Banat. In: Kovacev, I.; Grubor, M. (eds.), *Actual Tasks on Agricultural Engineering, Proc. 50th Int. Symposium on Agricultural Engineering, Zagreb*, 167-174.
- [36] Angolucci, P., De Lipsis, V., Arvanitopoulos, T. (2017). Modelling UK sub-sector industrial energy demand. *Energy Economics* 67, 366-374.
- [37] Sorrel, S. (2015). Reducing energy demand: A review of issues, challenges and approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 47, 74-82.
- [38] Morlei, J. (2018). Rethinking energy services: The concept of 'meta-service' and implications for demand reduction and servicizing policy. *Energy Policy* 122, 563-569.
- [39]\*\*\*<https://www.worldbioenergy.org/uploads/231219%20GBS%20Report.pdf>, accesat la data de 27.03.2024.

- [40] Deng, S., Tynan, G.r. (2011). Implications of Energy Return on Energy Invested on Future Total Energy Demand. *Sustainability* 3 (12), 2433-2442.
- [41]\*\*\*[https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy\\_balances/enbal.html?language=EN](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy_balances/enbal.html?language=EN), accesat la data de 28.03.2024.
- [42] Tursi, A. (2019). A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion. *Biofuel* 22, 962-979.
- [181] EN 303-5:2021+A1:2022. (2022). Heating boilers - Part 5: Heating boilers for solid fuels, manually and automatically stoked, nominal heat output of up to 500 kW - Terminology, requirements, testing and marking, European standard, ICS 91.140.10.
- [182] EN 60730-2-5:2015/A2:2021. (2021). Automatic electrical controls - part 2-5: particular requirements for automatic electrical burner control systems, European standard, ICS 97.120.