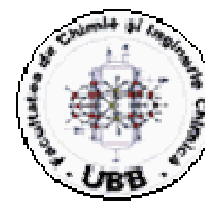




Universitatea „Babeş-Bolyai” Cluj-Napoca
Facultatea de Chimie și Inginerie Chimică
Catedra de Inginerie Chimică și Știința Materialelor Oxidice



Rezumatul tezei de doctorat

Victoria Goia (Maxim)

Sisteme de conversie energetică prin gazeificarea cărbunilor și biomasei cu captare de CO₂

Îndrumător:

Prof. Univ. Paul Șerban Agachi, Universitatea Babeş-Bolyai, Cluj-Napoca, România

Referenți:

Prof. Dr. Ing. Teodor Todincă, Universitatea Politehnică, Timișoara

Prof. Dr. Ing. Grigore Bozga, Universitatea Politehnică, București

Conf. Dr. Ing. Călin Cristian Cormoș, Universitatea Babeş-Bolyai, Cluj-Napoca

Data susținerii publice: 16 Decembrie 2011

CUPRINS

MOTIVAȚIA ȘI OBIECTIVELE TEZEI

1. INTRODUCERE

- 1.1. ISTORICUL PROCESULUI DE GAZEIFICARE ȘI AL TEHNOLOGIEI IGCC
- 1.2. STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII
- 1.3. IMPORTANȚA PROCESULUI DE CAPTARE A CO₂

2. MATERIA PRIMĂ

- 2.1. COMBUSTIBILI FOSILI SOLIZI
- 2.2. RESURSE ENERGETICE REGENERABILE
- 2.3. COMPOZIȚIA ȘI PROPRIETĂȚILE COMBUSTIBILILOR
 - 2.3.1. *Analiza combustibililor*
 - 2.3.2. *Puterea calorică*
 - 2.3.3. *Proprietățile cenușii*

3. GAZEIFICAREA CĂRBUNILOR. REACTOARE DE GAZEIFICARE

- 3.1. GAZEIFICAREA
 - 3.1.1. *Reacțiile chimice*
 - 3.1.2. *Aspecte termodinamice*
 - 3.1.3. *Aspecte cinetice*
- 3.2. REACTOARE DE GAZEIFICARE
 - 3.2.1. *Reactoare de gazeificare în contracurent*
 - 3.2.1.1. Reactorul de gazeificare Lurgi
 - 3.2.1.2. Reactorul de gazeificare British Gas Lurgi (BGL)
 - 3.2.2. *Reactoare de gazeificare în strat fluidizat*
 - 3.2.2.1. Reactorul de gazeificare Winkler
 - 3.2.2.2. Reactorul de gazeificare High Temperature Winkler (HTW)
 - 3.2.3. *Reactoare de gazeificare în echicurent*
 - 3.2.3.1. Reactorul de gazeificare Siemens
 - 3.2.3.2. Reactorul de gazeificare Shell și Prenflo
 - 3.2.3.3. Reactorul de gazeificare Conoco Phillips E-Gas
 - 3.2.3.4. Reactorul de gazeificare GE-Texaco
- 3.3. CRITERII DE EVALUARE A REACTOARELOR DE GAZEIFICARE

4. TEHNOLOGIA IGCC

- 4.1. PREZENTAREA TEHNOLOGIEI IGCC
- 4.2. TRATAREA ȘI PURIFICAREA GAZULUI DE SINTEZĂ
 - 4.2.1. *Conversia CO cu vapori de apă*

4.2.2. *Captarea gazelor acide*

4.2.3. *Condiționarea, comprimarea și stocarea dioxidului de carbon*

4.2.4. *Purificarea hidrogenului*

4.3. BLOCUL GENERARE ENERGIE ELECTRICĂ

4.3.1. *Ciclul combinat gaze abur*

4.3.2. *Impactul asupra mediului*

5. PRETRATAREA BIOMASEI PRIN PIROLIZĂ

5.1. INTRODUCERE

5.2. PROCESE DE PIROLIZĂ

5.2.1. *Compoziția și utilizarea produselor de piroliză*

5.2.2. *Aspecte cinetice*

6. EVALUAREA INSTALAȚIEI ȘI A PERFORMANȚELOR

6.1. ANALIZA MULTICRITERIALĂ A REACTOARELOR DE GAZEIFICARE

6.2. DESCRIEREA GENERALĂ INSTALAȚIEI

6.3. STUDIU DE CAZ: ANALIZA PERFORMANȚELOR INSTALAȚIEI IGCC PENTRU GAZEIFICAREA CĂRBUNILOR FOLOSIND DIFERITE TEHNOLOGII DE GAZEIFICARE

6.4. STUDIU DE CAZ: ANALIZA PERFORMANȚELOR INSTALAȚIEI IGCC CU ȘI FĂRĂ CAPTAREA CO₂

6.5. STUDIU DE CAZ: ANALIZA PERFORMANȚELOR INSTALAȚIEI IGCC DE CO-GENERARE ELECTRICITATE ȘI HIDROGEN CU CAPTAREA ȘI STOCAREA CO₂

6.6. STUDIU DE CAZ: ANALIZA PERFORMANȚELOR INSTALAȚIEI IGCC PENTRU CO-GAZEIFICAREA CĂRBUNILOR CU BIOMASĂ ȘI DEȘEURI

6.7. CONCLUZII

7. PRETRATAREA BIOMASEI PRIN PIROLIZĂ PENTRU O INSTALAȚIE IGCC

7.1. ECHIPAMENTE ȘI MATERII PRIME

7.2. ÎNFLUENȚA TEMPERATURII ȘI A VITEZEI DE ÎNCĂLZIRE ASUPRA PROCESULUI DE PIROLIZĂ

7.2.1. *Înfluența temperaturii asupra procesului de piroliză*

7.2.2. *Înfluența vitezei de încălzire asupra procesului de piroliză*

7.2.3. *Înfluența temperaturii de piroliză asupra randamentului energetic*

7.3. STUDIU DE CAZ: FOLOSIREA PRODUSELOR DE PIROLIZĂ ÎNTR-O INSTALAȚIE IGCC

7.4. CONCLUZII

8. CONCLUZII

9. CONTRIBUȚII PERSONALE

BIBLIOGRAFIE

LISTA PUBLICAȚIILOR

LISTA ABREVIERILOR

LISTA FIGURILOR

LISTA TABELELOR

ANEXE

ANEXA I. CARACTERISTICILE MATERIILOR PRIME

ANEXA II. DATELE EXPERIMENTALE PRIVIND PRODUSELE DE PIROLIZĂ LA 250 - 300°C

Cuvinte cheie:

Gazeificare

Energie

Captarea dioxidului de carbon

Resurse energetice regenerabile

MOTIVAȚIA ȘI OBIECTIVELE TEZEI

Pentru limitarea modificărilor climatice se urmărește reducerea emisiilor de dioxid de carbon prin captarea și stocarea acestuia. Acest lucru este posibil în cazul generării energiei electrice prin gazeificarea combustibililor fosili solizi, folosind o instalație IGCC cu captare de CO₂.

Creșterea continuă a prețului combustibililor fosili, dar și interesul crescut pentru protejarea mediului fac ca producția globală de biocombustibil să se dezvolte foarte rapid. În momentul de față, la nivel mondial se estimează că potențialul de energie din biomasă este suficient de mare pentru a satisface cererea de energie la nivel mondial. Cu toate că Uniunea Europeană dorește o tranziție cât mai rapidă de la cărbune la biomasă, pe termen scurt și mediu cărbunii vor rămâne sursa principală a generării de electricitate.

Gazeificarea biomasei în reactoare de gazeificare folosite în instalațiile IGCC ridică mari probleme, datorită proprietăților biomasei. Așadar gazeificarea directă a biomasei nu este cea mai bună variantă, luând în considerare reactoarele comerciale existente în acest moment. Pe plan mondial generarea energiei din biomasă este în continuă dezvoltare, existând propuneri de reactoare de gazeificare noi potrivite conversiei biomasei.

Această teză propune o instalație IGCC care co-generează energie electrică și hidrogen simultan cu captarea dioxidului de carbon și care poate procesa atât cărbune (cu sau fără adaos de biomasă sau deșeuri cu valoare energetică), cât și produse de piroliză a biomasei. Acest concept este foarte promițător, întrucât instalația poate fi alimentată atât cu cărbuni cu sau fără adaos de resurse energetice regenerabile în perioada de tranziție de la cărbune la biomasă, dar și cu produse de piroliză a biomasei, nefiind necesare investiții suplimentare în cercetarea și dezvoltarea a noi reactoare de gazeificare. În acest context teza se înscrie în topul cercetărilor în domeniul energetic și al utilizării resurselor energetice regenerabile.

Obiectivul principal al acestei teze este acela de a investiga metode inovative de conversie prin gazeificarea cărbunilor, deșeurilor și biomasei în vectori energetici (energie electrică și hidrogen), concomitent cu captarea dioxidului de carbon.

Teza își propune atingerea următoarelor obiective:

- Stabilirea principalelor caracteristici tehnice pentru instalația IGCC de co-generare energie electrică și hidrogen simultan cu captarea dioxidului de carbon;
- Evaluarea tehnologiilor de gazeificare comerciale și întocmirea unei analize multi-criteriale, cu scopul de a restrânge gama de reactoare de gazeificare care vor fi simulate într-o instalație IGCC cu captarea CO₂. Alegerea a patru variante promițătoare pentru co-generare electricitate și hidrogen cu captarea CO₂;
- Modelarea matematică și simularea schemei IGCC folosind cele patru tehnologii de gazeificare alese, pentru cazul în care se folosește cărbune ca materie primă. Evaluarea rezultatelor și alegerea celei mai potrivite variante pentru instalația studiată;
- Modelarea matematică și simularea schemei IGCC fără captarea dioxidului de carbon și compararea cu situația în care se captează dioxidul de carbon
- Evaluarea flexibilității instalației IGCC de a co-genera electricitate și hidrogen simultan cu captarea dioxidului de carbon, în funcție de necesarul de electricitate la un moment dat;
- Investigarea proceselor de co-gazeificare a cărbunilor cu biomasă sau deșeuri cu valoare energetică. Modelarea matematică și simularea sistemelor de co-gazeificare, evaluarea rezultatelor și compararea cu situația în care se folosește ca materie primă doar cărbune;
- Propunerea unei metode inovative și eficiente de conversie a biomasei în energie electrică, folosind produsele de piroliză a biomasei într-o instalație IGCC.

1. INTRODUCERE

Gazeificarea este un proces prin care combustibilii fosili solizi sunt transformați într-un gaz combustibil, gazul de sinteză (în principal un amestec de monoxid de carbon și hidrogen), și este unul dintre cele mai vechi procese industriale de conversie a energiei. În general procesul de gazeificare presupune reacția dintre combustibilul solid cu un agent oxidant (aer sau oxigen) în prezența moderatorului (abur) la o temperatură ridicată 1200 - 1500°C având ca rezultat gazul de sinteză care se folosește la generarea de energie electrică sau ca materie primă pentru sinteza unor substanțe precum metanolul, ureea, amoniacul etc.[1].

Principiile fundamentale ale producției de energie electrică au fost descoperite în anii 1820 - 1830 de către omul de știință britanic Michael Faraday. Metoda sa consta în generarea energiei prin mișcarea unei bucle de sârmă sau disc din cupru între polii unui magnet, această metodă fiind folosită și astăzi [2].

Producerea centralizată de energie a devenit posibilă atunci când s-a constatat faptul că liniile de curent alternativ de alimentare pot transporta energie electrică la costuri foarte mici pe distanțe mari. Încă din 1881 s-a început generarea centralizată de energie electrică. Primele centrale electrice au fost bazate pe puterea apei sau a cărbunilor. Pentru generarea de energie electrică se folosesc ca și combustibili: cărbunii (44.9%), gaze naturale (23.4%), combustibili nucleari (20.3%), apa (6.9%), petrol (1%), precum și alte surse de energie (eoliană, solară, geotermală) [3,4].

Pentru limitarea modificărilor climatice se urmărește reducerea emisiilor de dioxid de carbon prin captarea și stocarea acestuia. Acest lucru este posibil în cazul generării energiei electrice prin gazeificarea combustibililor fosili solizi, folosind o instalație IGCC cu captare de CO₂. Într-o instalație IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) este posibilă captarea CO₂ din gazul de sinteză.

Tehnologia IGCC prezintă un real interes pentru generarea de energie electrică din cărbune, cât și pentru protecția mediului, datorită avantajelor care le are față de tehnologia clasică folosită în termocentrale, bazată pe arderea cărbunelui sau a lignitului cu generarea de abur care apoi este destinat într-o turbină de abur pentru producerea de

electricitate. Primul avantaj vizează impactul, semnificativ mai redus, asupra mediului a tehnologiei IGCC. Acest lucru se datorează prezenței unei etape de desulfurare a gazului de sinteză. Un alt avantaj este legat de flexibilitatea tehnologiei IGCC de a produce diverși vectori energetici în funcție de cerința la un moment dat, fapt care conduce la o eficiență energetică și economică superioară. Un alt factor foarte important este acela că tehnologia IGCC permite captarea dioxidului de carbon (captare pre-combustie) la costuri mai reduse și cu eficiență mai mare decât în cazul captării din gazele arse (captare post-combustie).

Tehnologia IGCC este din ce în ce mai răspândită, iar în ultimii ani tot mai multe turbine de gaz, fabricate de cei mai mari producători în domeniu (Alstom, Siemens, General Electric, Mitsubishi), au fost adaptate pentru a putea fi utilizate folosind gazul de sinteză.

2. MATERIA PRIMĂ

Cărbunele este cel mai vechi combustibil fosil cunoscut și folosit. Cărbunele poate fi definit ca fiind o rocă sedimentară de culoare brun-neagră cu proprietăți combustibile, formată prin degradarea lentă a vegetației. De-a lungul a milioane de ani resturile de vegetație au suferit un proces lent de carbonizare, rezultând astfel diferitele sorturi de cărbune, cel mai tânăr fiind turba, iar cel mai vechi cărbune antracitul [1,4-6].

Biomasa este prima formă de energie utilizată de om, odată cu descoperirea focului. Biomasa reprezintă resursa regenerabilă cea mai abundentă de pe planetă, incluzând absolut toată materia organică produsă prin procesele metabolice ale organismelor vii. Biomasa nu este un combustibil industrial frecvent utilizat, un procent de 15-20% din totalul de combustibil este reprezentat de biomasă, fiind folosită cu precădere pentru încălzire și uz casnic. Biomasa ca și combustibil are un avantaj major față de celelalte resurse regenerabile de energie, și anume poate fi folosită sub formă lichidă, gazoasă și solidă, pentru generarea de energie electrică [1].

Deșeurile, ca materie primă în procesul de gazeificare acoperă o gamă largă de materiale, atât solide cât și lichide. Uniunea Europeană s-a dezvoltat tot mai mult în ultimii ani și odată cu ea a crescut și cantitatea de deșeuri produse. Conform Agenției Europene de Mediu, Uniunea Europeană produce anual 1.3 miliarde de tone de deșeuri, din care aproximativ 40 de milioane de tone sunt deșeuri periculoase, iar pentru fiecare om în parte însemnând aproximativ 3,5 tone de deșeuri anual. La aceste cantități se adaugă încă 700 milioane de tone de deșeuri agricole. Tratarea și eliminarea tuturor acestor deșeuri fără a dăuna mediului înconjurător devine o problemă majoră [7].

Comisia Europeană încurajează folosirea resurselor regenerabile pentru generarea de electricitate atât pentru a reduce dependența față de petrol și cărbuni, cât și pentru a reduce emisiile de gaze cu efect de seră. Biomasa este una dintre resursele regenerabile cu aproape zero emisii de CO₂, deoarece când se formează absoarbe CO₂ din atmosferă, astfel când este arsă nu contribuie la emisiile globale de CO₂. Totuși și atunci când biomasa este folosită ca și combustibil există anumite emisii de CO₂ corelate cu cultivarea și prelucrarea acesteia [7].

3. GAZEIFICAREA CĂRBUNILOR. REACTOARE DE GAZEIFICARE

3.1. Gazeificarea

În timpul procesului de gazeificare au loc o serie de reacții chimice [1, 8,10]:

- Reacții de combustie



- Reacția Boudouard



- Reacția carbonului cu vapori de apă



- Reacții de metanare



- Reacția CO cu vapori de apă



- Reacții de piroliză



Combustibilii fosili folosiți în gazeificare conțin pe lângă carbon, oxigen și hidrogen și alte elemente precum sulf, azot sau halogeni (în principal clor). Aceste componente se transformă și ele în timpul reacțiilor ce au loc, astfel că azotul se transformă în NH₃ și HCN, iar sulful în H₂ și COS (sulfură de carbonil). Compușii cu sulf dacă nu sunt îndepărtați vor fi emiși în atmosferă sub formă de oxizi de sulf (SO_x). Pentru a evita poluarea atmosferei cu SO_x, tehnologia IGCC prevede o etapă de purificare a

gazului de sinteză în care se transformă COS în H₂S conform uneia din următoarele reacții chimice [1,10, 11]:



3.2. Reactoare de gazeificare

Pe plan mondial există mai mult de 140 de instalații de gazeificare, dintre care 90 sunt situate în SUA și se estimează ca până în anul 2020 numărul acestora să crească cu 70%. La baza acestor instalații stau o gamă largă de reactoare care pot fi clasificate în trei mari categorii [1, 5, 9, 11]:

- Reactoare de gazeificare în contracurent („moving-bed gasifiers”), au fost primele reactoare moderne de gazeificare a combustibililor solizi. Reactorul în contracurent, ilustrat în *Figura 1*, prezintă la partea superioară alimentarea cu combustibil solid, iar la partea inferioară se introduce, în contracurent cu combustibilul, faza gazoasă (agentul de oxidare și moderatorul). Pe măsură ce este consumat, combustibilul se deplasează spre partea inferioară a reactorului. [1,5].

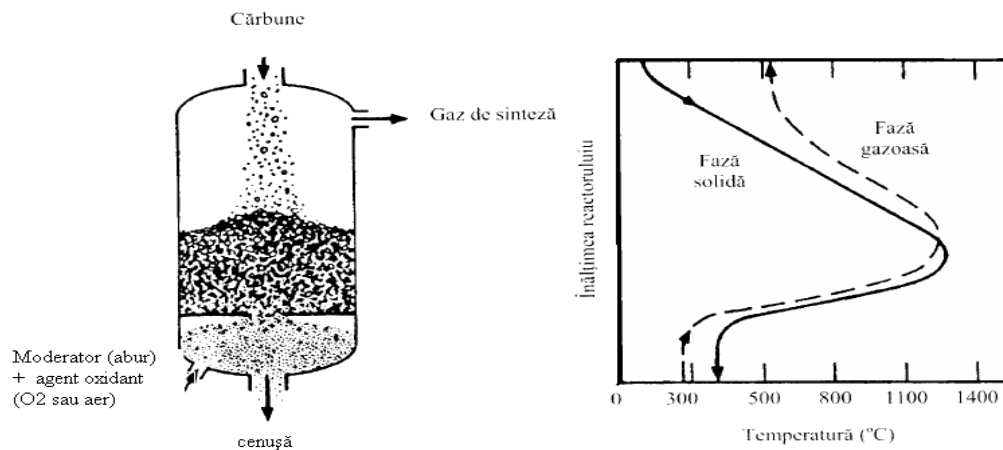


Figura 1. Reactor de gazeificare în contracurent

- Reactoare de gazeificare în strat fluidizat („fluidized-bed gasifiers”) acest tip de reactoare asigură o amestecare foarte bună între combustibil și agentul oxidant. Agentul oxidant, oxigen sau aer, este suflat printr-un pat de particule solide de combustibil cu o

anumită viteză astfel încât are loc fluidizarea materiei solide. Acest tip de reactor este potrivit pentru materii prime reactive precum lignit sau biomasă. În *Figura 2* este prezentat un reactor în strat fluidizat precum și profilul de temperatură aferent.

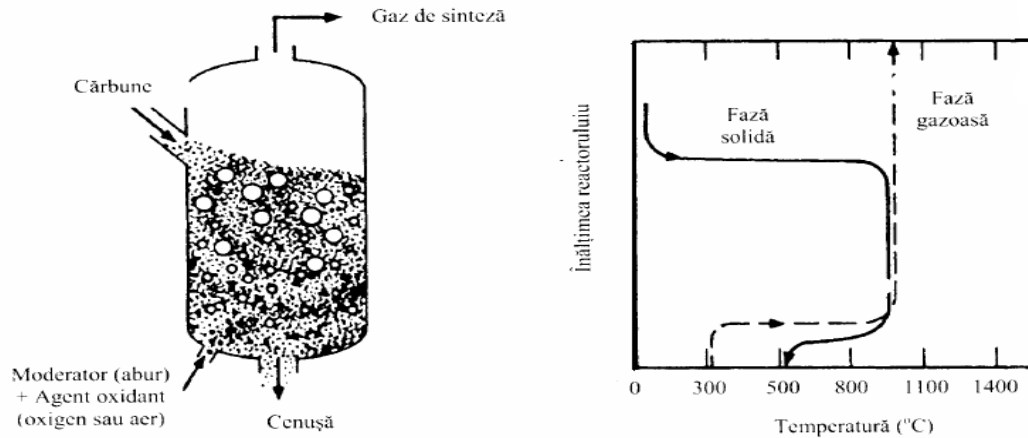


Figura 2. Reactor de gazeificare în strat fluidizat

- Reactoare de gazeificare în echicurent („entrained-floe gasifiers”), în aceste reactoare faza solidă și faza gazoasă se deplasează în aceeași direcție. Reactoarele de gazeificare în echicurent pot fi folosite pentru materii prime mai puțin reactive precum cărbunele. Acest tip de reactor este prezentat în *Figura 3*. împreună cu profilul de temperatură aferent.

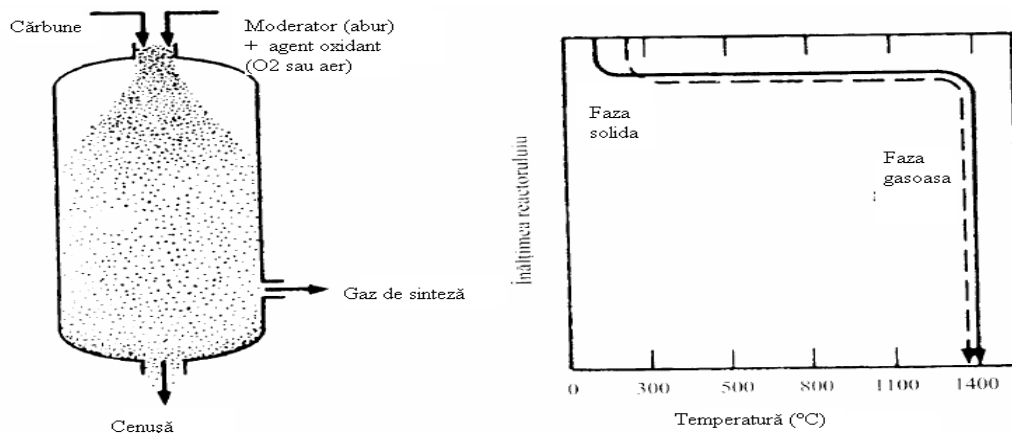


Figura 3. Reactor de gazeificare în echicurent

4. TEHNOLOGIA IGCC

În *Figura 4.* este prezentată schema unei instalații IGCC convențională, fără captarea CO₂. În instalațiile IGCC existente la scară industrială eficiența electrică netă este în jurul valorii de 40% [12-15].

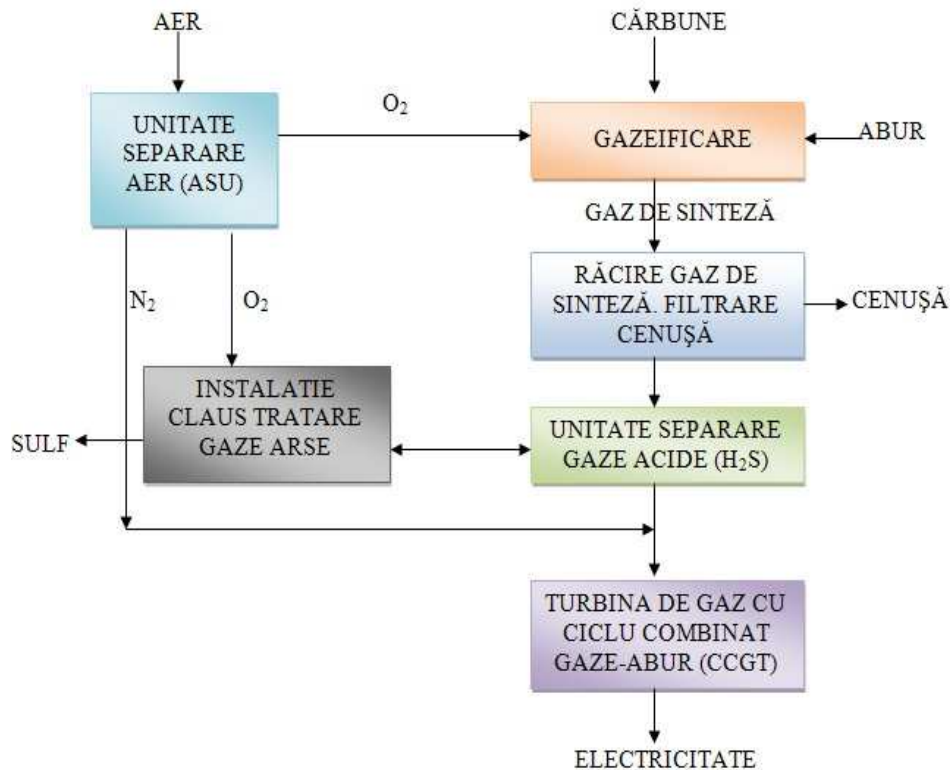


Figura 4. Schema bloc a instalației ICGG convențională

Tehnologia IGCC prezintă un real interes pentru generarea de energie electrică din cărbune, cât și pentru protecția mediului, datorită avantajelor care le are față de tehnologia clasică folosită în termocentrale, bazată pe arderea cărbunelui sau a lignitului cu generarea de abur care apoi este destins într-o turbină de abur pentru producerea de electricitate.

- Primul avantaj vizează impactul, semnificativ mai redus, asupra mediului a tehnologiei IGCC decât a tehnologiei bazate pe arderea cărbunelui.

- Un alt avantaj al instalațiilor IGCC este flexibilitatea instalației de a produce electricitate sau hidrogen în funcție de cerința la un moment dat. În perioadele în care cererea de electricitate este scăzută instalația poate produce mai mult hidrogen, care poate fi stocat și folosit pentru alte aplicații. Astfel datorită flexibilității instalației, operarea în regim de sarcină maximă duce la scăderea chetuililor de operare și de întreținere.
- Un alt factor foarte important este acela că tehnologia IGCC permite captarea dioxidului de carbon (captare pre-combustie) la costuri mai reduse și cu eficiență mai mare decât în cazul captării din gazele arse (captare post-combustie).

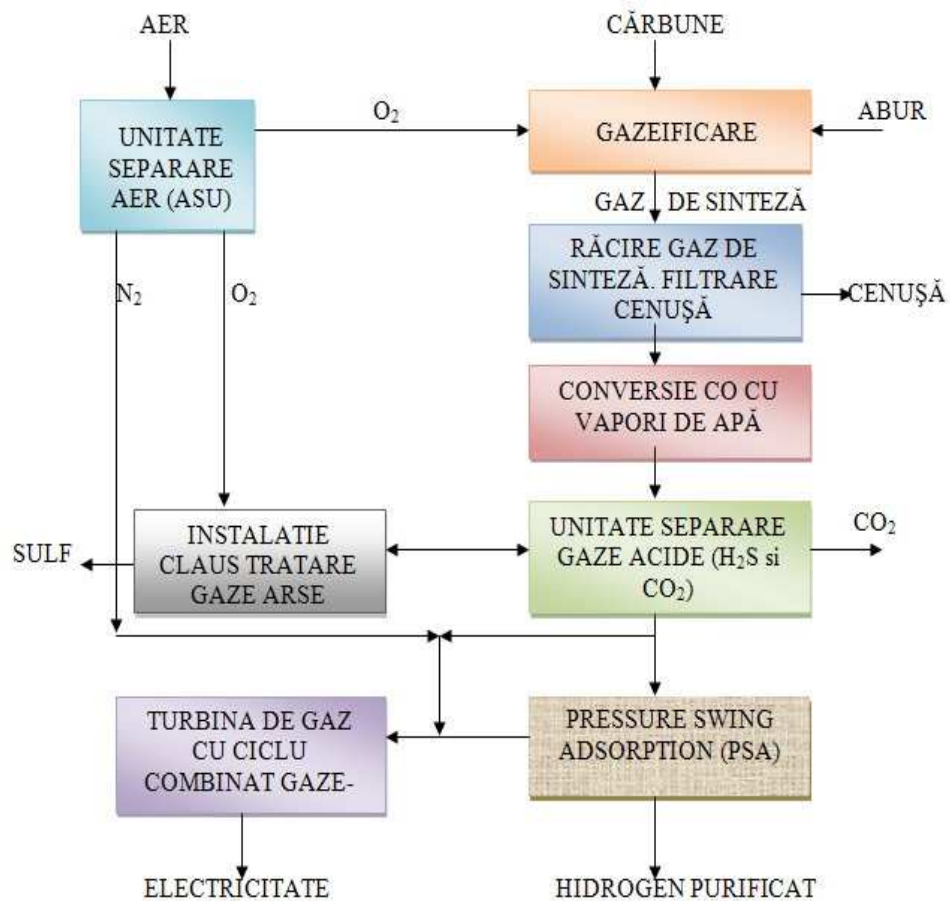


Figura 5. Schema bloc a instalației ICGG pentru co-generare electricitate și H₂ cu captarea CO₂

În *Figura 5.* este prezentată schema bloc a unei instalații IGCC cu captare și stocare de CO₂ [1, 8 ,14].

Spre deosebire de o instalație convențională instalația cu captare a CO₂ – ului are în plus o etapă de conversie catalitică a monoxidului de carbon CO cu vapori de apă, în hidrogen H₂ și dioxid de carbon CO₂. Această etapă are rolul de a mări concentrația de H₂ în gazul de sinteză precum și de a transforma speciile chimice ce conțin carbon în dioxid de carbon CO₂ care mai apoi poate fi captat.

O altă deosebire a acestei scheme este faptul că unitatea de separarea gaze acide separă atât H₂S cât și CO₂. Gazul de sinteză decarbonizat în această etapă conține în mare parte hidrogen și este divizat astfel: o parte merge la unitatea de adsorbție – desorbție cu modificarea presiunii „Pressure Swing Adsorbtion - PSA” pentru a obține hidrogen de puritate ridicată (>99.9 % vol.) capabil a fi utilizat nu doar în procesele chimice și petrochimice sau ca și combustibil, dar și pentru pilele de combustie destinate sectorului de transport, iar cealaltă parte, împreună cu gazul rezidual provenit de la unitatea de separare gaze acide, este folosit în turbina de gaz cu ciclu combinat gaz – abur pentru generarea de energie electrică.

5. PRETRATAREA BIOMASEI PRIN PIROLIZĂ

Biomasa este o sursă de energie regenerabilă, care include materia organică formată prin fotosinteză. Cel mai important combustibil regenerabil este lemnul, dar copacii sunt prea valoroși pentru a fi arși, însă reziduurile provenite din industria prelucrării lemnului (e.g. rumeguș), ar putea fi o materie primă foarte valorosă. Alte sorturi de biomasă care pot fi folosite ca și combustibili sunt reziduurile agricole, cum ar fi: paie de grâu, coceni de porumb, coji de orez, nuci de cocos etc. Combustibilii fosili (e.g. petrol, cărbune, lignit) sunt, de asemenea, derivate din specii de plante numai că acestea au fost formate în milioane de ani. Biomasa a reprezentat dintotdeauna o sursă majoră de energie în întreaga lume încă de la începutul civilizației. În țările în curs de dezvoltare, precum și în mediul rural, biomasa lemnoasă și cea provenita din agricultură, încă reprezintă o proporție semnificativă a aprovizionării cu energie termică [16-18].

Gazeificarea biomasei în reactoare de gazeificare ridică mari probleme, datorită proprietăților biomasei. Este cunoscut faptul că pentru a avea eficiențe ridicate ale procesului de gazeificare e necesar ca raportul O/C din combustibil să fie cât mai mic, cum este în cazul cărbunilor, însă biomasa este un combustibil care are un raport O/C ridicat. O altă problemă este alimentarea reactoarelor de gazeificare existente cu biomasă, care ar trebui mărunțită la dimensiuni de 100 μm, ceea ce înseamnă o penalitate energetică de aproximativ 20%. Astfel gazeificarea directă a biomasei nu este cea mai bună variantă, luând în considerare reactoarele comerciale existente în acest moment. Însă o variantă atractivă este tratarea biomasei prin piroliză la temperatură scăzută înainte de a fi gazeificată.

Piroliza este procesul termochimic de descompunere a combustibililor solizi (biomasă, deșeuri, combustibili fosili) în absența oxigenului pentru producerea de substanțe chimice, căldură sau energie. Piroliza este primul pas, în toate celelalte tehnologii de termoconversie, cum ar fi arderea și gazificarea. Procesul are loc la temperaturi relativ scăzute (300 - 800 ° C), comparativ cu 900 - 1500 ° C în gazeificare [11, 19-21].

6. EVALUAREA INSTALAȚIEI ȘI A PERFORMANȚELOR

Analiza multicriterială a reactoarelor de gazeificare

Scopul acestei analize multicriteriale este de a restrânge gama de reactoare de gazeificare care vor fi simulate într-o instalație IGCC cu captarea CO₂. Cu ajutorul datelor obținute în urma simulărilor se va putea face selecția reactorului de gazeificare cel mai potrivit unei instalații IGCC de co-generare electricitate și hidrogen concomitent cu captarea CO₂ și care să poată procesa o gamă cât mai variată de materii prime (e.g. cărbune, cărbune în adaos cu diferite resurse energetice regenerabile, produși de piroliză a biomasei).

Datorită multitudinii de variante comerciale a sistemelor de gazeificare, trebuie făcută o analiză multi-criterială pentru evaluarea acestor sisteme. Pe baza criteriilor de evaluare a reactoarelor s-a întocmit *Tabelul 6.1.*

Tabelul 6. 1. Analiza multicriterială a reactoarelor de gazeificare pentru o instalație IGCC cu captare de dioxid de carbon

Parameteri	Cazul 1 Lurgi	Cazul 2 BGL	Cazul 3 HTW	Cazul 4 Siemens	Cazul 5 Shell	Cazul 6 E-Gas	Cazul 7 GE- Texaco
Materia primă carbune	Da	Da	Lignit	Da	Da	Da	Da
Presiunea maxima (bar)	100	60	30	40	40	40	100
Temperatura (°C)	450- 650	450- 600	900- 1050	1400- 1600	1400- 1600	950- 1400	1200- 1450
Conversia carbonului (%)	> 92	> 95	90-95	> 99	> 99	> 98	> 98
Necesarul abur/oxigen	Ridicat	Scăzut	Mediu	Ridicat	Ridicat	Ridicat	Ridicat
Probleme la purificarea gazului de sinteză	Da	Mediu	Da	Nu	Nu	Mediu	Nu

*Sisteme de conversie energetică prin gazeificarea cărbunilor și biomasei
cu captare de CO₂*

Potențial de producere H ₂	Scăzut	Ridicat	Mediu	Ridicat	Ridicat	Mediu	Ridicat
Eficiența CGE (%)	85 - 87	82 - 87	80 - 85	75-79	75-79	78-80	65-75
Capacitatea de captare CO ₂	Scăzută	Scăzută	Medie	Mare	Mare	Medie	Mare

Excelent	Satisfăcător	Nesatisfăcător
----------	--------------	----------------

Tabelul 6.1. prezintă o analiză a reactoarelor de gazeificare (conform criteriilor menționate la punctul 6.1.) în vederea alegerii celui mai fezabil pentru o instalație IGCC cu captare de dioxid de carbon. Astfel reactorul folosit într-o instalație IGCC cu captare de CO₂ și poli-generare vectori energetici (electricitate și hidrogen), folosind ca materie primă cărbunele ar trebui să îndeplinească următoarele condiții: presiunea de lucru ridicată (60 – 100bar), temperatura de lucru ridicată (1400 -1600°C), conversia carbonului > 99%, necesarul de abur/oxigen scăzut, purificare ușoară a gazului de sinteză, potențial de producere hidrogen (HPP) ridicat, eficiența procesului de gazeificare (CGE) și capacitatea de captare CO₂ ridicate.

Aprecierea nivelului tehnic al utilajelor se realizează pe baza comparației caracteristicilor tehnice ale acestora. Unele caracteristici e bine sa fie cât mai mari, pe când altele e bine să fie cât mai mici, fiecare caracteristică având un anumit grad de influență asupra indicatorului global al nivelului tehnic. Pentru determinarea nivelului tehnic s-a dezvoltat o relație care îmbină principiul utilității lui Von Neumann-Morgenstern și funcțiile de producție Cobb-Douglas [23, 24].

Nivelul tehnic calculat cu ajutorul acestei relații trebuie sa fie cât mai mare. Nivelele tehnice calculate pentru cele 7 reactoare, luând în considerare criteriile de evaluare prezentate în *Tabelul 6.1*, sunt următoarele:

Reactor						
Lurgi	BGL	HTW	Siemens	Shell	E-gas	GE
506.28	705.71	634.07	817.55	817.55	690.29	812.77

Pe baza nivelelor tehnice calculate, dar și datorită avantajelor pe care le au, reiese faptul că reactoarele în echicurent, sunt cel mai potrivite variante de sisteme de gazeificare pentru o instalație ICGG cu captare și stocare de CO₂ (cazurile 4 – 7).

Scopul acestei analize a fost de a restrânge gama de reactoare care vor fi simulate într-o instalație IGCC cu captarea CO₂. Pe baza analizei multicriteriale efectuate s-au ales ca fiind cele mai potrivite procesului de poli-generare vectori energetici cu captare și stocare de CO₂ reactoarele în echicurent, datorită avantajelor care le prezintă.

Studiu de caz: analiza performanțelor instalației IGCC pentru gazeificarea cărbunilor folosind diferite tehnologii de gazeificare

Dintre tehnologiile în echicurent disponibile la scară comercială s-au ales patru tehnologii de gazeificare, astfel avem următoarele cazuri:

- ❖ Cazul 1: reactor Siemens
- ❖ Cazul 2: reactor Shell
- ❖ Cazul 3: reactor Conoco Phillips E-Gas
- ❖ Cazul 4: reactor GE-Texaco

Tabelul 6. 2. Indicatorii de performanță a instalației IGCC pentru patru tipuri de reactoare

	UM	Cazul 1	Cazul 2	Cazul 3	Cazul 4
Debit cărbune (a.r.)	t/h	168.1	169.1	167.0	180.5
Energia termică a materiei prime	MW _t	1183.7	1190.74	1175.95	1271.02
Debit gaz de sinteză	kmol/h	29116.3	15483.47	18898.0	34943.23

*Sisteme de conversie energetică prin gazeificarea cărbunilor și biomasei
cu captare de CO₂*

CO	% vol.	29.56	55.77	34.24	23.78
H ₂	% vol.	13.83	25.78	30.75	12.68
CH ₄	% vol.	0	0	0.6	0
H ₂ S	% vol.	0.09	0.18	0.15	0.08
Energia termică a gazului de sinteză	MW _t	949.92	950.04	927.04	953.85
Eficiența procesului de gazeificare (CGE)	%	80.25	79.79	78.83	75.05
Energia termică a CO și H ₂	MW _t	946.16	946.03	897.69	949.83
Potențial de producere H ₂ (HPP)	%	79.93	79.45	76.34	74.73
Energia termică a gazului de sinteză purificat (de la AGR)	MW _t	845.82	846.79	844.65	843.27
Eficiența de tratare a gazului de sinteză	%	89.04	89.13	91.11	89.44
Putere generată de turbina de gaz	MW _e	334.00	334.00	334.00	334.00
Putere generată de turbina de abur	MW _e	200.9	209.30	203.33	194.13
Total putere electrică generată	MW _e	534.9	543.30	537.33	528.13
Putere consumată de ASU + compr O ₂	MW _e	45.78	46.56	44.17	56.03
Putere consumată de unitatea de gazeificare	MW _e	7.68	8.6	7.01	6.23
Putere consumată de AGR+ compr. și uscarea CO ₂	MW _e	39.18	39.18	38.75	39.00
Putere consumată de blocul generare energie electrică	MW _e	19.06	19.00	19.03	18.71
Total putere electrică consumată	MW _e	111.7	113.34	108.96	121.48
Putere electrică netă generată	MW _e	423.23	429.36	428.37	413.21
Eficiența energetică brută a instalației	%	45.19	45.62	45.69	37.78
Eficiența energetică netă a instalației	%	35.75	36.1	36.42	29.20
Emisii specifice CO ₂	kg CO ₂ /MWh	82.25	100.6	344.05	88.39

Nivelele tehnice calculate corespunzătoare fiecărui reactor sunt următoarele

Reactor			
Siemens	Shell	E-gas	GE
313.40	297.86	216.68	282.96

Pe baza nivelelor tehnice calculate, dar și pe baza indicatorilor de performanță din *Tabelul 6.2* se poate observa faptul că reactoarele Siemens (cazul 1) și Shell (cazul 2) sunt mai bune.

Folosirea reactorului Shell într-o instalație IGCC duce la o creștere a eficienței nete a instalației cu 0.98% față de cazul reactorului Siemens. Însă folosirea reactorului de gazeificare Siemens are ca principal avantaj sistemul de răcire al gazului de sinteză prin stropire cu apă („water-quench”) ceea ce asigură condiții optime pentru conversia monoxidului de carbon cu vapori de apă, o precondiție a captării dioxidului de carbon. Un alt avantaj este datorat emisiilor mai reduse de CO₂ cu 22% decât în cazul reactorului Shell, ceea ce înseamnă 137 tCO₂/an.

Pe baza acestor considerente s-a ales ca fiind cel mai potrivit reactor de gazeificare pentru instalația considerată, reactorul în echicurent Siemens. Așadar studiile de caz ce vor fi efectuate în această lucrare vor avea la bază o tehnologie de gazeificare Siemens.

Studiu de caz: analiza performanțelor instalației IGCC cu și fără captarea CO₂

Pentru a evidenția beneficiile captării dioxidului de carbon degajat într-o instalație IGCC s-a întocmit un studiu de caz care cuprinde următoarele cazuri:

- ❖ Cazul 1 – instalație IGCC fără captarea CO₂, reactor de gazeificare în echicurent Siemens
- ❖ Cazul 2 - instalație IGCC cu captarea CO₂, reactor de gazeificare în echicurent Siemens
- ❖ Cazul 3 - instalație IGCC fără captarea CO₂, reactor de gazeificare în echicurent Shell
- ❖ Cazul 4 - instalație IGCC cu captarea CO₂, reactor de gazeificare în echicurent Shell

*Sisteme de conversie energetică prin gazeificarea cărbunilor și biomasei
cu captare de CO₂*

*Tabelul 6. 3. Indicatorii de performanță a instalației IGCC
cu și fără captarea CO₂*

	UM	Cazul 1	Cazul 2	Cazul 3	Cazul 4
Debit cărbune (a.r.)	t/h	151.0	168.1	152.0	169.1
Energia termică a materiei prime	MW _t	1063.2	1183.7	1070.3	1190.7
Debit gaz de sinteză	kmol/h	26088.3	29116.3	14082.3	15483.47
CO	% vol.	29.47	29.56	54.83	55.77
H ₂	% vol.	14.04	13.83	25.83	25.78
CH ₄	% vol.	0	0	0	0
H ₂ S	% vol.	0.09	0.09	0.18	0.18
Energia termică a gazului de sinteză	MW _t	853.22	949.92	854.13	950.04
Eficiența procesului de gazeificare (CGE)	%	80.24	80.25	79.80	79.79
Energia termică a gazului de sinteză purificat (de la AGR)	MW _t	849.41	845.82	850.51	843.27
Eficiența de tratare a gazului de sinteză	%	99.55	89.04	99.57	89.44
Putere generată de turbina de gaz	MW _e	334	334	334	334.00
Putere generată de turbina de abur	MW _e	186.65	200.9	200.89	209.30
Total putere electrică generată	MW _e	520.65	534.9	534.89	543.30
Putere consumată de ASU + compr O ₂	MW _e	41.12	45.78	40.19	46.56
Putere consumată de unitatea de gazeificare	MW _e	6.81	7.68	7.87	8.6
Putere consumată de AGR+ compr. și uscare CO ₂	MW _e	6.01	39.18	6.04	39.18
Putere consumată de blocul generare energie electrică	MW _e	19.17	19.06	19.24	19.00
Total putere electrică consumată	MW _e	73.11	111.7	73.34	113.34
Putere electrică netă generată	MW _e	447.54	423.23	461.55	429.96
Eficiența energetică brută a instalației	%	48.96	45.19	49.97	45.62

*Sisteme de conversie energetică prin gazeificarea cărbunilor și biomasei
cu captare de CO₂*

Eficiența energetică netă a instalației	%	42.09	35.75	43.12	36.1
Emisii specifice CO ₂	kg CO ₂ /MWh	853.44	82.25	843.78	100.6

Nivelele tehnice calculate corespunzătoare fiecărui caz analizat sunt următoarele:

Reactor			
Siemens fără captare	Siemens cu captare	Shell fără captare	Shell cu captare
176.59	313.40	177.68	297.86

Se poate observa că în cazurile fără captarea CO₂ eficiența netă este mai mare cu 12.52% în cazul reactorului Siemens și cu 13.38% în cazul reactorului Shell. Scăderea eficienței nete a instalației în cazurile pentru care s-a făcut captarea CO₂ este datorată creșterii semnificative a consumului de energie a instalației de captare a gazelor acide AGR și comprimarea CO₂. Emisiile de CO₂ sunt reduse drastic pentru cazurile în care s-a făcut captarea dioxidului de carbon.

Tehnologia IGCC are și alte avantaje din punct de vedere al impactului asupra mediului: emisii scăzute de SO_x și NO_x, dar și posibilitatea de a folosi ca materie primă cărbuni inferiori, dar și biomasă sau deșeuri. [25-27].

Studiu de caz: analiza performanțelor instalației IGCC de co-generare electricitate și hidrogen cu captarea și stocarea CO₂

În această secțiune sunt analizate performanțele instalației IGCC care produce electricitate și hidrogen, cu captarea și stocarea CO₂, având la bază un reactor de gazeificare Siemens. Datele obținute în urma simulărilor sunt prezentate în Tabelul 6.4.

*Sisteme de conversie energetică prin gazeificarea cărbunilor și biomasei
cu captare de CO₂*

*Tabelul 6. 4. Indicatorii de performanță a instalației IGCC de co-generare
electricitate și hidrogen*

	UM	Electricitate		Electricitate + H ₂		
Debit cărbune (a.r.)	t/h			168.1		
Energia termică a materiei prime	MW _t			1183.7		
Debit gaz de sinteză	kmol/h			29116.3		
Energia trmică a gazului de sinteză	MW _t			949.92		
Eficiența procesului de gazeificare (CGE)	%			80.25		
Energia termică a CO și H ₂	MW _t			946.16		
Potențial de producere H ₂ (HPP)	%			79.93		
Energia termică a gazului de sinteză purificat (de la AGR)	MW _t			845.82		
Eficiența de tratare a gazului de sinteză	%			89.04		
Putere generată de turbina de gaz	MW _e	334.0	313.47	292.89	272.23	251.65
Putere generată de turbina de abur	MW _e	200.9	190.14	178.64	166.74	155.86
Total putere electrică generată	MW _e	534.9	503.60	471.52	438.97	407.51
Debit hidrogen	MW _t	0	50	100	150	200
Total putere electrică consumată	MW _e	111.7	111.59	111.57	111.55	111.51
Putere electrică netă generată	MW _e	423.23	392.01	359.95	327.42	296.00
Eficiența brută a instalației	%	45.19	42.54	39.83	37.08	34.42
Eficiența netă a instalației	%	35.75	33.11	30.40	27.66	25.00
Eficiență producere hidrogen	%	0	4.22	8.44	12.67	16.89
Eficiența cumulată	%	35.75	37.27	38.83	40.32	41.84

*Sisteme de conversie energetică prin gazeificarea cărbunilor și biomasei
cu captare de CO₂*

Emisii specifice CO ₂	kg CO ₂ /MWh	82.25	78.20	75.15	72.00	69.12
----------------------------------	-------------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Din acest studiu se poate observa faptul că eficiența cumulată a procesului crește o dată cu creșterea cantității de hidrogen generată. Emisiile de dioxid de carbon scad cu creșterea cantității de hidrogen generată. Datorită flexibilității instalației de a produce electricitate și hidrogen în funcție de cererea la un moment dat, a eficienței cumulative mai mari în cazul co-generării, precum și cantitatea de dioxid de carbon mai redusă, instalația de co-generare electricitate și hidrogen este o variantă foarte atractivă.

Studiu de caz: analiza performanțelor instalației IGCC pentru co-gazeificarea cărbunilor cu biomasă și deșeuri

S-a întocmit un studiu pentru evaluarea utilizării cărbunelui cu sau fără adaos de biomasă/deșeuri în procesul de gazeificare pentru producerea gazului de sinteză și folosirea acestuia pentru generare de electricitate.

- ❖ Cazul 1: cărbune fără adaos
- ❖ Cazul 2: cărbune cu adaos de rumeguș (sawdust SWD)
- ❖ Cazul 3: cărbune cu adaos de nămol de la epurarea apelor (sewage sludge SWG)
- ❖ Cazul 4: cărbune cu adaos de deșeuri animale (meat and bone meal MBM)

Tabelul 6. 5. Indicatorii de performanță a instalației IGCC pentru co-gazeificarea cărbunelui cu biomasă/deșeuri

	UM	Cazul 1	Cazul 2	Cazul 3	Cazul 4
Debit cărbune (a.r.)	t/h	168.1	181.5	192.5	168.6
Raport de amestecare (cărbune/biomasă)	%wt.	100/0.0	80/20	80/20	80/20
Energia termică a materiei prime	MW _t	1169.7	1184.85	1219.24	1130.18

*Sisteme de conversie energetică prin gazeificarea cărbunilor și biomasei
cu captare de CO₂*

Debit gaz de sinteză	kmol/h	29116.3	31074.39	32294.97	26458.26
Energia termică a gazului de sinteză	MW _t	949.92	946.82	950.86	942.48
Eficiența procesului de gazeificare (CGE)	%	80.25	79.94	77.99	83.39
Energia termică a CO și H ₂	MW _t	946.16	943.95	945.75	938.08
Potențial de producere H ₂ (HPP)	%	79.93	79.65	77.57	83.00
Energia termică a gazului de sinteză purificat (de la AGR)	MW _t	845.82	845.03	847.08	845.62
Eficiența de tratare a gazului de sinteză	%	89.04	89.11	88.85	89.72
Putere generată de turbina de gaz	MW _e	334.00	334.00	334.00	334.00
Putere generată de turbina de abur	MW _e	200.9	200.9	205.7	196.28
Total putere electrică generată	MW _e	534.9	534.9	539.7	530.28
Putere consumată de ASU + compr O ₂	MW _e	45.78	45.4	50.5	41.16
Putere consumată de unitatea de gazeificare	MW _e	7.68	7.75	7.87	7.74
Putere consumată de AGR+compr. și uscare CO ₂	MW _e	39.18	39.87	40.06	41.73
Putere consumată de blocul generare energie electrică	MW _e	19.06	19.06	19.06	19.06
Total putere electrică consumată	MW _e	111.7	112.08	117.04	109.69
Putere electrică netă generată	MW _e	423.23	422.82	422.66	420.59
Eficiența brută a instalației	%	45.19	45.16	44.26	46.91
Eficiența netă a instalației	%	35.75	35.70	34.66	37.21
Emisii specifice CO ₂	kg CO ₂ /MWh	82.25	62.4	58.91	60.16

După cum se poate observa în *Tabelul 6.5.* toate cele patru cazuri analizate au o putere instalată de aproximativ 420 MW, iar eficiența netă a instalației cuprinsă între 34% și 37% și cantitatea de emisii specifice de CO₂ de ordinul zecilor de kgCO₂/MWh. Pentru aceeași putere instalată de aproximativ 420 MW este necesară o cantitate diferită de materie primă, în funcție de puterea calorică a acesteia.

Nivelele tehnice calculate corespunzătoare fiecărui caz analizat sunt următoarele:

Materie primă			
Cărbune	Cărbune cu SWD	Cărbune cu SWG	Cărbune cu MBM
313.40	335.07	333.13	348.87

Pe baza principalilor indicatori de performanță, dar și a nivelelor tehnice calculate, rezultă că cele mai performante amestecuri sunt cazul 4 cărbune cu adaos de deșeuri animale și cazul 2 cărbune în adaos cu rumeguș.

Așadar instalația IGCC dezvoltată în aceasta teză este flexibilă și din punctul de vedere al alimentării cu materie primă putând funcționa atât pe cărbuni cât și pe cărbuni în adaos cu resurse energetice regenerabile (biomasă) sau deșeuri solide cu valoare energetică. În acest context această instalație flexibilă este o soluție care poate asigura tranziția de la o economie bazată aproape integral pe utilizarea cărbunilor către o economie bazată pe resurse energetice regenerabile.

7. PRETRATAREA BIOMASEI PRIN PIROLIZĂ PENTRU O INSTALAȚIE IGCC

Tehnologia de gazeificare a cărbunilor este o tehnologie matură care nu ridică probleme, însă gazeificarea biomasei ridică mari probleme din cauza proprietăților sale. Au existat instalații IGCC demonstrative, precum cea din Värnamo , Suedia (1991 - 1993) , care folosea ca materie primă biomasa. Aceste instalații au funcționat o perioadă scurtă de timp, având ca scop demonstrarea posibilității din punct de vedere tehnologic de a gazeifica biomasa, însă instalațiile IGCC alimentate cu biomasă nu sunt eficiente și optimizate, fiind în continuă dezvoltare.

Acest studiu își propune să demonstreze avantajele pretratării biomasei prin piroliză înainte de a fi gazeificată, precum și investigarea posibilității de a genera energie electrică într-o instalație IGCC folosind ca materie primă produse de piroliză a biomasei.

Produsele de piroliză rezultate au fost analizate prin diferite metode:

- pentru produsele solide s-a întocmit analiza preliminară și detaliată cu ajutorul unui analizor termo gravimetric (TGA), iar puterea calorică s-a determinat cu ajutorul unui calorimetru,
- produsele gazoase după ce au fost colectați în pungi speciale au fost analizați cu ajutorul unui gaz cromatograf (GC),
- produsele lichide după ce au fost diluați folosind un solvent (metanol) au fost analizați într-un HPLC.

S-au efectuat 178 experimente la temperaturi cuprinse între 250°C și 700°C și viteze de încălzire între 5 – 80 °C/min. Ca materie primă s-au folosit 14 tipuri de biomasă cu diferite umidități. Caracteristicile materiilor prime folosite se găsesc în Anexa I.

Compoziția și randamentul produselor sunt afectate de temperatura de piroliză. *Figura 7.2.* prezintă efectul temperaturii asupra distribuției produselor de piroliză pentru cele patru tipuri de biomasă selectate pentru exemplificare, la temperaturi între 250°C și 700°C într-un reactor cu pat fix.

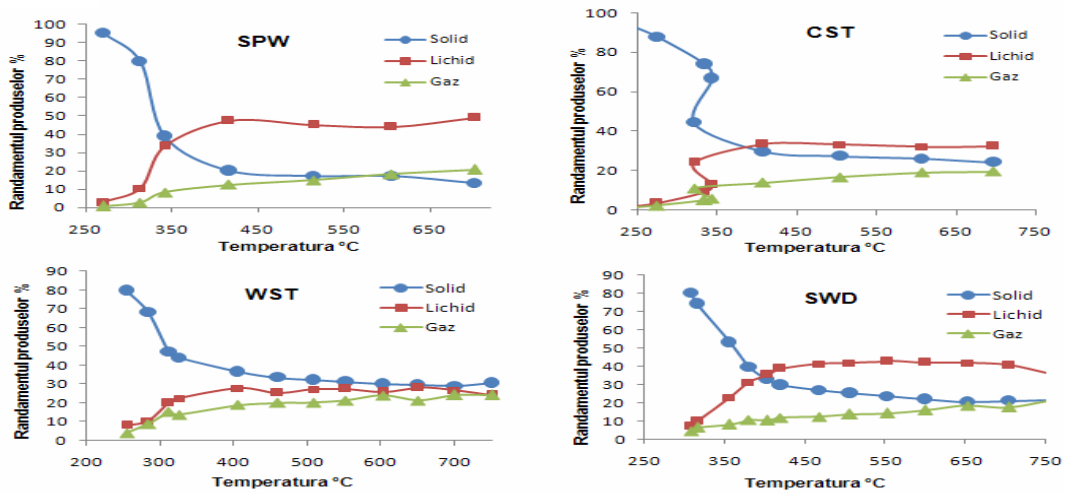


Figura 7. 1. Influența temperaturii de piroliză asupra randamentului în produse de piroliză

Dacă produsul dorit este cocsul de piroliză se recomandă ca temperatura de piroliză să fie cât mai scăzută (250 - 300°C), însă dacă produsul dorit este uleiul de piroliză sau gazele de piroliză, se recomandă ca procesul să fie operat la o temperatură mai ridicată (700 - 750°C).

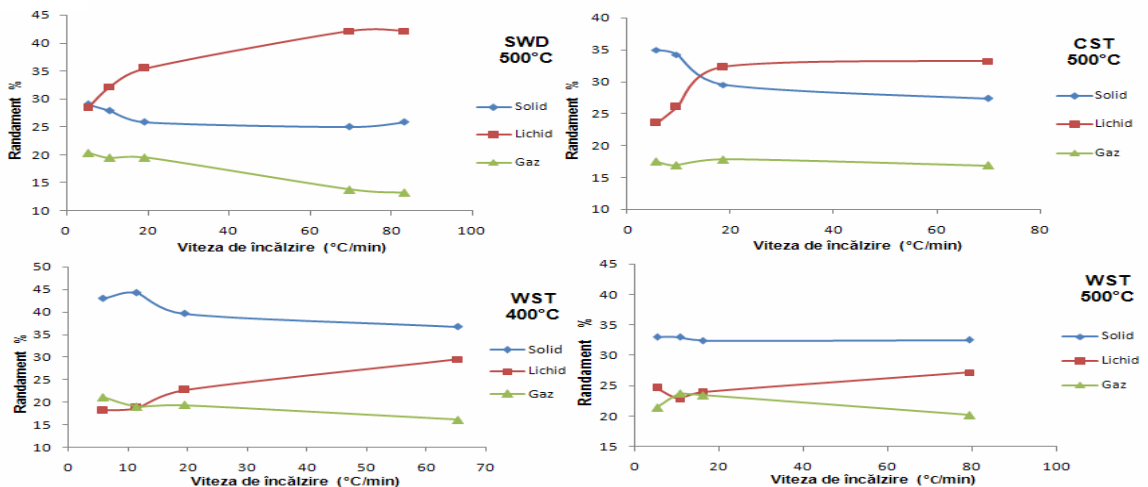


Figura 7. 2. Influența vitezei de încălzire asupra randamentului produselor de piroliză

În *Figura 7.3.* este prezintt efectul vitezei de încălzire asupra distribuției produselor de piroliză pentru cele patru tipuri de biomasă selectate pentru exemplificare, la viteze de încălzire cuprinse între 5 - 83 °C /min, într-un reactor cu pat fix.

Dacă produsul dorit este cocsul de piroliză, se recomandă ca atât viteza de încălzire cât și temperatura finală a procesului de piroliză să fie scăzute (10 - 20°C/min, respectiv 250 - 300°C). Pentru a maximiza producția de ulei de piroliză este recomandat ca atât temperatura, cât și viteza de încălzire să aibă valori mai crescute (70 - 80°C/min, respectiv 650 - 750°C).

Studiu de caz: folosirea produselor de piroliză într-o instalație IGCC

Pretratarea biomasei prin piroliză la temperatură scăzută (~300°C) duce la creșterea puterii calorice a acesteia, energia concentrându-se în produsul solid și lichid. Acest studiu de caz analizează posibilitatea de a folosi produsele de piroliză a biomasei într-o instalație IGCC. Instalația IGCC descrisă în Capitolul 6 poate fi adaptată pentru a procesa produse de piroliză a biomasei prin introducerea unui reactor de piroliză în strat fluidizat înaintea reactorului de gazeificare.

Tabelul 7. 1. Indicatorii de performanță a instalației IGCC pentru cele 4 tipuri de biomasă

	UM	Coceni de porumb (CST)	Pastă de molid (SPW)	Rumeguș (SWD)	Paie de grâu (WST)
Debit biomasă	t/h	249.32	259.22	237.24	290.10
Debit produse de piroliză	t/h	240.00	255.13	217.32	255.00
Energia termică a produselor de piroliză	MW _t	1157.36	1180.97	1147.38	1205.43

*Sisteme de conversie energetică prin gazeificarea cărbunilor și biomasei
cu captare de CO₂*

Debit gaz de sinteză	kmoli/ h	32649.38	31215.28	26573.82	15688.83
CO	% vol.	23.80	24.20	29.54	51.04
H ₂	% vol.	14.58	16.08	17.93	27.46
CH ₄	% vol.	0.00	0.03	0.09	0.00
H ₂ S	% vol.	0.06	0.06	0.00	0.25
Energia termică a gazului de sinteză	MW _t	932.34	934.64	941.33	923.54
Eficiența procesului de gazeificare (CGE)	%	80.70	79.22	82.53	78.25
Energia termică a CO și H ₂	MW _t	929.53	929.86	936.06	917.89
Potențial de producere H ₂ (HPP)	%	80.45	78.82	82.07	77.77
Energia termică a gazului de sinteză purificat (de la AGR)	MW _t	840.17	847.55	854.96	841.69
Eficiența de tratare a gazului de sinteză	%	90.11	90.68	90.82	91.14
Putere generată de turbina de gaz	MW _e	334.00	334.00	334.00	334.00
Putere generată de turbina de abur	MW _e	194.95	198.77	194.65	199.82
Total putere electrică generată	MW _e	528.95	532.77	528.65	533.82
Putere consumată de ASU + compr O ₂	MW _e	37.09	41.53	40.42	40.05
Putere consumată de unitatea de gazeificare	MW _e	7.76	7.72	8.08	9.27
Putere consumată de AGR+compr. și uscare CO ₂	MW _e	39.72	41.53	39.77	41.07
Putere consumată de blocul generare energie electrică	MW _e	19.05	19.06	19.07	19.07
Total putere electrică consumată	MW _e	103.62	109.84	107.34	109.46

*Sisteme de conversie energetică prin gazeificarea cărbunilor și biomasei
cu captare de CO₂*

Putere electrică netă generată	MW _e	425.33	422.93	421.31	424.36
Eficiența brută a instalației	%	45.70	45.11	46.07	44.28
Eficiența netă a instalației	%	36.75	35.81	36.73	35.20

Nivelele tehnice calculate corespunzătoare fiecărui caz analizat sunt următoarele:

Materie primă			
CST	SPW	SWD	WST
953,21	937,87	963,23	927,87

După cum se poate observa în *Tabelul 7.2.*, dar și pe baza nivelelor tehnice calculate se poate observa că pentru o putere instalată de aproximativ 420 MW cele mai eficiente sorturi de biomasă, din punct de vedere al eficienței energetice nete și al eficienței procesului de gazeificare (CGE), sunt cazurile în care se folosește ca materie primă rumeguș (SWD) sau coceni de porumb (CST).

După cum s-a arătat folosirea directă a biomasei ca și combustibil într-un reactor de gazeificare în echicurent are anumite constângerii tehnologice, însă pre-tratarea biomasei prin piroliză înainte de a fi gazeificată este o variantă foarte atractivă. Pretratarea biomasei prin piroliză duce la îmbunătățirea proprietăților acesteia făcând posibilă alimentarea unui reactor de gazeificare în echicurent.

Instalația IGCC propusă în aceasta secțiune oferă posibilitatea de a genera o cantitate mare de energie electrică într-o instalație IGCC din biomasă, sub formă de produși de piroliză, folosind un reactor de piroliză înaintea reactorului de gazeificare. Energia produsă din biomasă este considerată energie verde deoarece pe măsură ce biomasa este arsă și emite o anumită cantitate de dioxid de carbon în atmosferă, aceeași cantitate de dioxid de carbon este absorbită din atmosferă de alte plante în timpul procesului de creștere.

8. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

Instalația IGCC propusă în această teză este flexibilă din punct de vedere al generării de electricitate și hidrogen în funcție de cerința la un moment dat, are un impact asupra mediului foarte redus în comparație cu tehnologiile clasice și este flexibilă și din punctul de vedere al alimentării cu materie primă.

Pentru evaluarea schemelor inovative de poli-generare vectori energetici concomitent cu captarea și stocarea dioxidului de carbon s-a realizat modelarea matematică și simularea instalațiilor folosind software-ul specific ChemCAD. Datele obținute în urma simulărilor au stat la baza întocmirii studiilor de caz analizate.

Obiectivul principal al acestei teze este acela de a investiga metode inovative de conversie prin gazeificare a cărbunilor, deșeurilor și biomasei în vectori energetici (energie electrică și hidrogen), concomitent cu captarea dioxidului de carbon.

Varianta instalației IGCC propusă în această teză este una foarte promițătoare datorită avantajelor care le are:

- Flexibilitatea instalației de a produce electricitate sau hidrogen: în funcție de cerința la un moment dat instalația are posibilitatea de a produce unul din cei doi vectori energetici;
- Flexibilitatea instalației de a fi alimentată cu diferite materii prime: cărbuni, cărbuni în amestec cu biomasă sau deșeuri cu valoare energetică sau produse de piroliză a biomasei;
- Indiferent de materia primă folosită, instalația are un impact asupra mediului foarte redus;
- Instalația este o soluție care poate asigura tranziția de la o economie bazată aproape integral pe utilizarea cărbunilor către o economie bazată pe resurse energetice regenerabile.

Rezultatele acestei teze contribuie la domeniul de cercetare a sistemelor de conversie a energiei și de utilizare a resurselor energetice regenerabile concomitent cu captarea dioxidului de carbon prin următoarele **contribuții personale**:

- Analiza în detaliu a proceselor de gazeificare a cărbunilor cu sau fără adaos de biomasă sau deșeuri solide cu valoare energetică, în vederea transformării în vectori energetici (electricitate sau hidrogen) concomitent cu captarea dioxidului de carbon.
- Evaluarea flexibilității instalației IGCC de a co-genera electricitate și hidrogen simultan cu captarea dioxidului de carbon, în funcție de necesarul de electricitate la un moment dat. Astfel în această perioadă de dezvoltare a aplicațiilor bazate pe hidrogen instalația poate produce mai multă electricitate decât hidrogen, iar treptat, pe măsură ce cererea de hidrogen va crește, instalația va putea produce mai mult hidrogen în funcție de cerere.
- Evaluarea impactului asupra mediului a schemelor IGCC propuse cu captarea dioxidului de carbon comparativ cu situația actuală a instalațiilor IGCC convenționale fără captarea dioxidului de carbon.
- Demonstrarea pe baza datelor experimentale, a avantajelor pretratării biomasei prin piroliză înainte de a fi gazeificată.
- Propunerea unei soluții eficiente de utilizare a biomasei ca materie primă pentru generarea de energie electrică, folosind produsele de piroliză a biomasei într-o instalație IGCC. Produsele de piroliză a biomasei pot fi folosite atât într-o instalație IGCC cu captarea CO₂, precum cea propusă în această lucrare, cât și într-o instalație IGCC convențională fără captarea CO₂. Acest lucru este posibil adăugând instalației un reactor de piroliză în strat fluidizat înaintea reactorului de gazeificare.

Conceptul IGCC propus în această teză, datorită avantajelor care le are, este o soluție promițătoare nu doar pe termen scurt și mediu (până la epuizarea resurselor de cărbuni), ci și pe termen lung, când se va face tranziția de la o economie bazată aproape integral pe utilizarea cărbunilor la o economie bazată integral pe resurse energetice regenerabile.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Higman, C., Van Der Burgt, M., 2008, *Gasification Second edition*, Elsevier Science.
2. The Institution of Engineering & Technology: Michael Faraday , www.theiet.org.
3. US Environmental Protection Agency, www.epa.gov.
4. Fanchi, J.R., 2004, *Energy: Tecnology and directions for the future*, Elsevier.
5. Demirbas, A., 2009, *Biofuels: Securing the Planet's Future Energy Needs*, Springer-Verlag London Limited.
6. Miller, B.G., 2005, *Coal Energy Systems*, Elsevier Academic Press.
7. Comisia Europeană, www.ec.europa.eu.
8. Cormoș, C.C., 2008, *Decarbonizarea combustibililor fosili solizi prin gazeificare*, Cluj University Press.
9. Gasification Technologies Council, 2011, www.gasification.org.
10. Basu, P., 2006, *Combustion and gasification in fluidized beds*, Taylor&Francis, New York.
11. De Souza-Santos, M.L., 2004, *Solid fuels combustion and gasification. Modelling, simulation and equipment operation*, Marcel Dekker, New-York.
12. Shoko, E., McLellan, B., Dicks, A.L., Diniz da Costa, J.C., 2006, Hydrogen from coal: Production and utilisation technologies, *International Journal of Coal Geology*, **65**, 213– 222.
13. Emun, F., Gadalla, M., Jimenez, L., 2008, Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) process simulation and optimization, *Computer Aided Chemical Engineering*, **25**, 1059-1064.
14. Kunze, C., Spliethoff, H., 2010, Modelling of an IGCC plant with carbon capture for 2020, *Fuel Processing Technology*, **91**, 934-941.
15. Massachusetts Institute of Technology Laboratory for Energy and the Environment, Report MIT LFEE 2005-002 WP, September 2005

16. Ladanai, S., Winterbäch, J., 2009, *Report: Global potential of sustainable biomass for energy*, Swedish University of Agricultural Sciences Department of Energy and Technology.
17. Jaccard, M., 2005, *Sustainable Fossil Fuels*, Cambridge University Press.
18. Quaak, P., Knoef, H., Stassen, H., 1999, *Energy from biomass*, World Bank technical paper; 422, Energy series, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
19. I.W. Smith, The combustion rates of coal chars: a review, Proceedings of the Combustion Institute, 1045 – 1065, 1982
20. Lurgi GmbH, www.lurgi.com
21. Erasmus, H.B., van Nierop, P., 2002, Sasol: fifty years of growth, *ICHEME 5th European Gasification Conference*, Noordwijk, The Netherlands.
22. Wampler, T.P., 2007, *Applied pyrolysis handbook 2nd edition*, Taylor&Francis Group New York.
23. Douglas, P.H., 1976, The Cobb-Douglas Production Function Once Again: Its History, Its Testing, and Some New Empirical Values, *Journal of Political Economy*, **84**, 903-916
24. Fishburn, P.C., Kochenberger, G.A., 1979, Two-piece von Neumann-Morgenstern utility functions, *Decision Sciences*, **10**, 503-18
25. Raja, A.K., Srivastava, A.P., Dwivedi, M., 2006, *Power plant engineering*, New Age Interantional Limited Publishers.
26. Cormos, C.C., 2010, Evaluation of iron based chemical looping for hydrogen and electricity co-production by gasification processwith carbon capture and storage, *International Journal of Hydrogen and Energy*, **35**, 2278 - 2289
27. Bhattacharya, A., Manna, D., Paul, B., Datta, A., 2011, Biomass integrated gasification combined cycle power generation with supplementary biomass firing: Energy and exergy based performance analysis, *Energy*, **36**, 2599-2610.