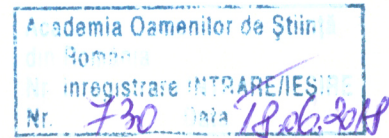




Academia Oamenilor de Știință din România
Universitatea POLITEHNICA din București
Facultatea de Energetică



RAPORT DE CERCETARE

TEMĂ DE CERCETARE:

INTEGAREA ENERGETICĂ A

PROCESELOR DE CAPTARE CO₂ PRIN

ABSORBȚIE FIZICĂ

ECHIPĂ DE PROIECT

Responsabil: Prof.dr.ing. Adrian BADEA

As.drd.ing. Nela SLAVU

Etapa 1. Parametrizarea procesului de gazeificare a deșeurilor prevăzut cu absorbția fizică a dioxidului de carbon

Introducere

Conceptul de captare, utilizare și stocare a dioxidului de carbon (CCUS) a fost implementat în numeroase instalații pilot și demonstrative din întreaga lume, captarea CO₂ fiind cea mai costisitoare și mai intensivă din punct de vedere energetic din componentele principale ale CCUS. Tehnologiile de captare a CO₂ existente se împart în trei categorii, în funcție de poziționarea acestora în cadrul unei instalații energetice, în tehnologii de captare post-combustie, pre-combustie și ox-combustie. Există, de asemenea, mai multe metode de separare, acestea includ absorbția chimică și fizică, adsorbția, membranele, criogenia. Aceste tehnologii de separare sunt în diferite stadii de dezvoltare și comercializare.

Producerea energiei electrice pe bază de cărbune este de așteptat să rămână sursa principală pentru acoperirea cererii de energie la nivel global [1]. Astfel, restricțiile de mediu vor continua să devină mai stricte, iar tehnologia de gazeificare a cărbunelui/biomasei/deșeurilor (ciclu combinat cu gazeificare integrată – IGCC) ar putea deveni o componentă cheie pentru decarbonizarea sectorului energetic.

Tehnologia IGCC combină sau cuplează tehnologiile de gazeificare cu un ciclu combinat ce utilizează turbină cu gaze/motor cu turbină cu abur pentru generarea de energie electrică într-un mod mai eficient și mai ecologic decât instalațiile convenționale de ardere a combustibililor solizi. Unitatea de gazeificare transformă un combustibil solid sau lichid (de exemplu cărbune, biomasă, deșeuri, păcură etc.) într-un gaz de sinteză. Gazul de sinteză sau singazul este un amestec de gaze în care componentele combustibile principale sunt monoxidul de carbon, hidrogenul și dioxidul de carbon.

În sistemele IGCC, contaminanții tradiționali, cum ar fi dioxidul de sulf, particulele de praf PM₁₀ sau PM_{2.5}, pot fi îndepărtate înainte de arderea acestuia în instalația energetică. Îndepărtarea acestor contaminanți înainte de procesele de ardere este mai eficientă și costă mai puțin în comparație cu sistemele tradiționale de îndepărtare post-combustie din centralele termoelectrice, ca urmare a doi factori: (1) Presiune – presiunea gazelor pentru captarea pre-combustie este mai mare, reducând în mod direct volumul și (2) Masa – captarea pre-combustie tratează doar combustibilul, care are un debit volumic de aproximativ 10% (în procese ox-combustie) până la 30% (în procese în care aerul este utilizat ca și comburant) din cel al gazelor

post-combustie [2]. În cazul sistemelor care includ și captarea CO₂, acest lucru înseamnă că astfel de sisteme pot fi implementate mai ieftin în IGCC decât în orice alt tip de centrală pe bază de combustibili solizi, datorită volumului mai redus de gaze care trebuie tratate.

1.1. Stabilirea compoziției gazului de sinteză rezultat din gazeificarea biomasei

Gazeificarea reprezintă conversia termo-chimică a unui combustibil solid la temperaturi ridicate, implicând oxidarea parțială a elementelor combustibile [4]. În urma procesului de gazeificare rezultă un gaz combustibil, denumit singaz, constând în principal din monoxid carbon (CO), hidrogen (H₂), dioxid de carbon (CO₂), vapori de apă (H₂O), metan (CH₄), și unele hidrocarburi în cantitate foarte mică și contaminați, cum ar fi particule de carbon, gudron și cenușă.

Gazeificarea are loc într-un reactor, denumit gazeificator, în prezența unui agent de oxidare care poate fi oxigen pur, abur, aer sau combinații ale acestora. Conform literaturii de specialitate, reacțiile procesului de gazeificare sunt numai cele care apar între gaz și combustibilul solid devolatilizat, excluzând oxigenul [5]. Cu toate acestea, în termeni generali, gazeificarea reprezintă transformarea parțială sau totală a unui combustibil în gaz. Astfel, devolatilizarea și oxidarea sunt parte integrată a gazeificării.

Biomasa a reprezentat o sursă secundară de energie de zeci de ani, având o contribuție mică în mixul cererii de energie la nivel global, din cauza utilizării extinse a combustibililor fosili. Utilizarea biomasei ca sursă de energie oferă beneficii socio-economice și de mediu substanțiale, compensând caracterul său local printr-o disponibilitate ridicată. Cu toate acestea, bio-combustibilii au densități scăzute în vrac, care limitează utilizarea acestora în zonele apropiate, plus, eterogenitatea lor este considerabilă atunci când vine vorba de umiditate și granulometrie, printre altele. Aceste dezavantaje limitează utilizarea acestora pentru producerea de energie [6].

Cu toate acestea, densificarea minimizează aceste dezavantaje fiind un proces care comprimă materii prime pentru obținerea unor combustibili mai duri, cu proprietăți și dimensiuni omogene. Dintre diferitele tehnici disponibile, peletizarea este în prezent cea mai extinsă [7]. Ca rezultat, producția globală de peleți a crescut considerabil în ultimii ani. Între 2006 și 2012, producția de peleți la nivel mondial a crescut de la 7 la 19 milioane de tone [8], Europa și America de Nord fiind responsabile, practic, de întreaga producție și consum de produse densificate. Creșterea consumului de peleți a condus la o mai mare diversitate în ceea ce privește utilizarea materiilor prime pentru fabricarea de peleți. În consecință, industria a

început să caute produse, cum ar fi deșeuri obținute din silvicultură, agricultură sau o combinație a celor din urmă, obținând în prezent o gamă largă de produse [9].

În acest context, în cadrul acestui studiu am analizat gazeificarea biomasei lemnoase, respectiv a peleților obținuți din deșeuri forestiere (lemn de stejar – PO). Cele mai reprezentative caracteristici ale acestora sunt prezentate în Tabelul 1, cum ar fi umiditatea (W, % analiză primară – wb), densitatea în vrac (BD, kg/m³ wb), durabilitatea (DU), compoziția chimică (C, H, N și S, % analiza ultimă – db), cenușa (A, % db) și puterea calorică superioară (HHV). Puterea calorică inferioară (LHV) și densitatea energetică (E) au fost calculate din relațiile (1) și (2).

$$LHV = HHV - 2.447 \times \left(\frac{H(\%db)}{100} \right) \times 9.011 \text{ [MJ/kg (db)]} \quad (1)$$

$$E = BD \times LHV \text{ [MJ/m}^3 \text{ (wb)]} \quad (2)$$

Tabelul 1. Caracteristicile peleților [10]

<i>Proprietăți</i>	<i>Peleți</i>
W (% wb)	6.35
BD (kg/m ³ ·wb)	678
DU (%)	95.41
C (% db)	50.94
H (% db)	6.34
N (% db)	1.81
S (% db)	0.10
A (% db)	2.48
HHV (MJ/kg·db)	19.30
LHV (MJ/kg·wb)	16.76
E (MJ/m ³ ·wb)	13.36

Simularea procesului de gazeificare a biomasei analizate a fost realizată în softul de specialitate Chemcad. Agentul de oxidare folosit în procesul de gazeificare a fost aerul și oxigenul pur, obținându-se diferențe semnificative între compozițiile singazului (a se vedea Figura 1 și Figura 2). Raportul echivalent (ER) reprezintă raportul dintre aerul/oxigenul real introdus în reactorul de gazeificare și aerul/oxigenul stoichiometric. În cazul gazeificării cu aer, fracția volumică maximă a H₂ a fost obținută pentru un ER = 0.4, în schimb, pentru gazeificarea cu oxigen fracția volumică maximă a H₂ a fost obținută pentru un raport ER = 0.35. Concentrația metanului în gazul de sinteză scade odată cu introducerea unei cantități mai mari de aer/oxigen în reactorul de gazeificare, la fel se întâmplă și în cazul concentrației de CO₂. Concentrația CO

crește până la un raport ER = 0.4, atât pentru gazeificarea cu aer, cât și pentru gazeificarea cu oxigen.

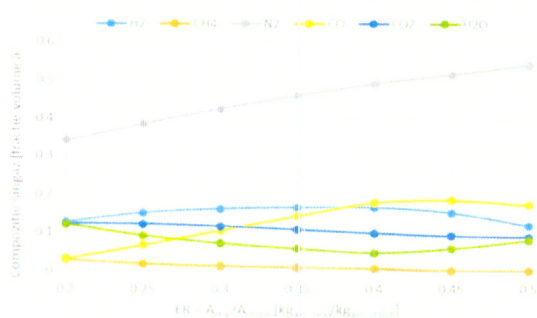


Figura 1. Compoziția singazului în cazul gazeificării cu aer

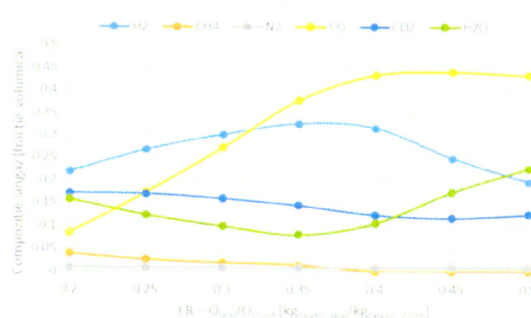


Figura 2. Compoziția singazului în cazul gazeificării cu oxigen

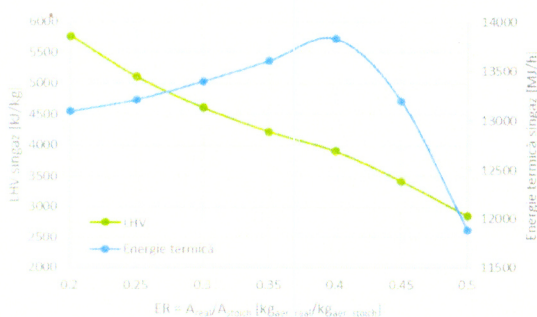


Figura 3. LHV și energia termică conținută de singaz în cazul gazeificării cu aer

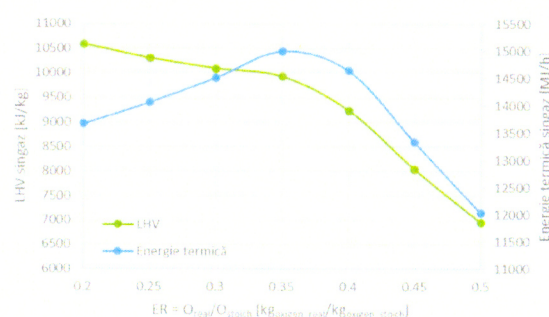


Figura 4. LHV și energia termică conținută de singaz în cazul gazeificării cu oxigen

Puterea calorică inferioară a singazului obținut scade odată cu creșterea raportului ER, și pentru aer și pentru oxigen, din cauza scăderii concentrației de CH₄ în singaz. Energia termică conținută în singaz a fost determinată ca și produsul dintre puterea calorică inferioară și debitul masic de singaz produs. Astfel, chiar dacă puterea calorică inferioară are o alură descendentă, energia termică conținută de către singaz are o valoare maximă pentru gazeificarea cu aer la un raport ER = 0.4, iar pentru gazeificarea cu oxigen la un raport ER = 0.35 (Figurile 4 și 5).

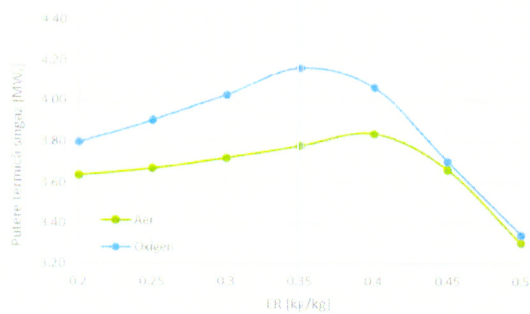


Figura 5. Puterea termică conținută în singaz în cazul gazeificării cu aer/oxigen

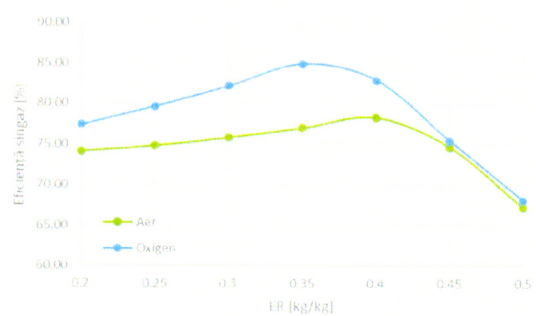


Figura 6. Eficiența generării de singaz în cazul gazeificării cu aer/oxigen

În figura 5 este reprezentată puterea termică conținută de către gazul de sinteză, se observă că aceasta este mai mare în cazul gazeificării cu oxigen, datorită unui conținut mai mare de hidrogen în gazul obținut astfel, însă gazeificarea cu oxigen implică costuri de investiție mai mari, ca urmare a existenței unității de separare a oxigenului din aer. În figura 6 este reprezentată variația eficienței generării gazului de sinteză, calculată cu relația (3). Variația eficienței regenerării singazului are aceeași alură ca și variația puterii termice și a energiei termice, raportul echivalent optim pentru care se obțin valorile maxime pentru aceste mărimi fiind de 0.4 pentru gazeificarea cu aer și de 0.35 pentru gazeificarea cu oxigen.

$$Eficiență_{singaz} = \frac{LHV_{singaz} \times \dot{m}_{singaz}}{LHV_{biomasă} \times \dot{m}_{biomasă}} \times 100 [\%] \quad (3)$$

unde: LHV – reprezintă puterea calorică inferioară a singazului, respectiv a biomasei, în kJ/kg; \dot{m} – reprezintă debitul orar de singaz, respectiv de biomasă, în kg/h.

Pentru maximizarea calității gazului de sinteză produs în vederea valorificării energetice a acestuia, se integrează un reactor de conversie a CO în H₂ și CO₂, ulterior separându-se și CO₂, obținându-se astfel un gaz de sinteză bogat în H₂.