

RAPORT ȘTIINȚIFIC FINAL

Proiect PN-III-P4-PCE-2021-0777 Contract PCE 5 perioada: 03.05.2022 – 31.12.2024

UTILIZAREA HOLISTICĂ A HIDROGENULUI VERDE ÎN CAPTAREA CO₂ DIN GAZELE DE ARDERE PENTRU NEUTRALITATEA CLIMATICĂ Acronim HOL-H-CO₂-FG

Obiectivele prevăzute/realizate

Obiectivul principal al Proiectului *Utilizarea holistică a hidrogenului verde în captarea CO₂ din gazele de ardere pentru neutralitatea climatică* a urmărit realizarea de cercetări științifice originale și promovarea acestora la nivelul comunității științifice, inclusiv atragerea și formarea de resurse umane de calitate. Tema este conformă cu prevederile privind schimbările climatice, care subliniază necesitatea unui sistem energetic integrat pentru a atinge neutralitatea climatică în 2050 și în principal dioxidul de carbon, principalul gaz cu efect de seră rezultat din activitățile umane și din producția și transportul de energie.

Pentru atingerea acestui obiectiv au fost realizate 3 etape de cercetare cu activități specifice și rezultate științifice care prezintă cercetările originale pentru atingerea neutralității climatice, prezentate succint în continuare.

Etapa 1. Analiza critică a soluțiilor actuale pentru dezvoltarea modelelor conceptuale și fizice (03.05.2022–31.12.2022)

1.1 Crearea modelului conceptual și fizic pentru reducerea emisiilor de CO₂ din gazele de ardere prin utilizarea hidrogenului verde.

Scopul cercetării a vizat dezvoltarea unui model matematic care să cuprindă fenomenele de decarbonizare prin procese de metanizare, prin utilizarea unui catalizator de nichel/alumină. Accentul a fost pus pe presiunea de impact și intervalele de temperatură cu influență asupra procesului. Un catalizator de nichel, tip NKM - 4A, a fost considerat într-un interval de temperatură de 220-260°C, pentru a evidenția influența presiunii reactanților CO₂ și H₂. Modelul utilizat în simulările numerice este derivat din mecanismul Langmuir - Hinshelwood, admitând adsorbția disociativă de CO₂ și O (oxigen atomic), după care se formează metanul. Simulările numerice au fost validate experimental, situându-se într-un raport optim între presiunea hidrogenului (p_{H_2}) și presiunea dioxidului de carbon (p_{CO_2}), variind de la 3 la 4. S-a avut în vedere modelarea cinetică a reacției principale (metanarea CO₂) și a reacțiilor paralele (metanarea CO și schimbarea inversă a apei asupra gazului), prin folosirea unui catalizator de nichel/alumină. Reacția principală, de metanare a CO₂ -ului este: $CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$. Reacție cuprinde un mecanism în două etape, o reacție exotermică și una endotermică, influențate presiune și temperatură.

Pentru calculul analitic al conversiei dioxidului de carbon în metan cu raport H₂/CO₂ = 4 și catalizator de nichel, pentru condițiile din gazele de ardere din instalațiile energetice, prin aplicarea relațiilor existente, s-a realizat următoarea relație de simulare numerică pentru gradul de conversie r :

$$r = \frac{1,36 \cdot 10^{12} \cdot \exp(-25300/RT) \cdot p_{CO_2}}{(1 + 1,27 \cdot 10^3 \cdot p_{CO_2})^2}$$

Gradul de conversie r , este o funcție a doi parametri, presiunea parțială a dioxidului de carbon p_{CO_2} și temperatura în metanizorul T . Hidrogenul utilizat dacă este produs din surse regenerabile este denumit verde.



Instalația de metanizare folosită în cadrul proiectului este prezentată în figura de mai jos, fiind realizat de

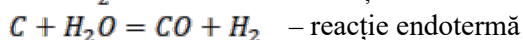
către Institutul Național de Cercetări de Electrochimie din Timișoara, partener într-un proiect anterior. Catalizatorul utilizat a fost pe bază de nichel.

În concluzie, a fost creat modelul conceptual și fizic pentru reducerea emisiilor de CO₂ din gazele de ardere prin utilizarea hidrogenului verde.

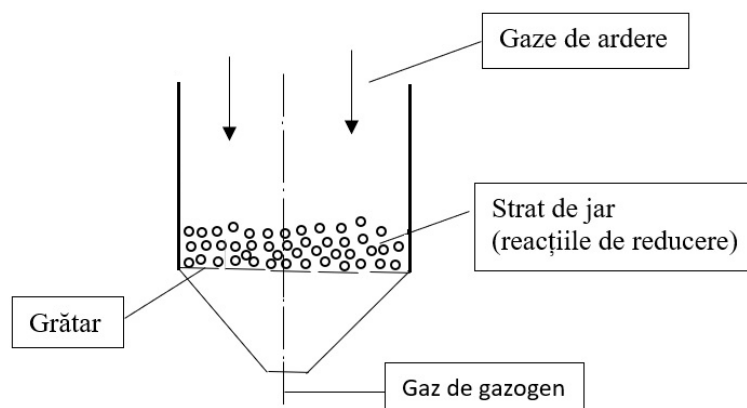
1.2. Model fizic de reducere a CO₂ din gazele de ardere prin gazeificare

Reducerea dioxidului de carbon din gazele de ardere prin gazeificare reprezintă o soluție aparent simplă ca reacții chimice, dar complicată prin funcționarea instalației de gazeificare în parametri termo-chimici necesari. Principala problemă constă în rezolvarea influenței compoziției gazelor de ardere asupra proceselor termo-chimice din reactorul de gazeificare. De o importanță deosebită este conținutul de oxigen din gazele de ardere, datorat excesului de aer, care prin combustia carbonului din stratul gazeificatorului va trebui să realizeze condițiile termice pentru reacțiile de reducere a dioxidului de carbon. Prezența vaporilor de apă în gazele de ardere realizează creșterea componentelor combustibile, a H₂ și CH₄, în gazul ieșit din patul de carbon. Au fost analizate bazele termodinamice și chimice pentru conversia dioxidului de carbon din gazele de ardere într-o instalație de gazeificare.

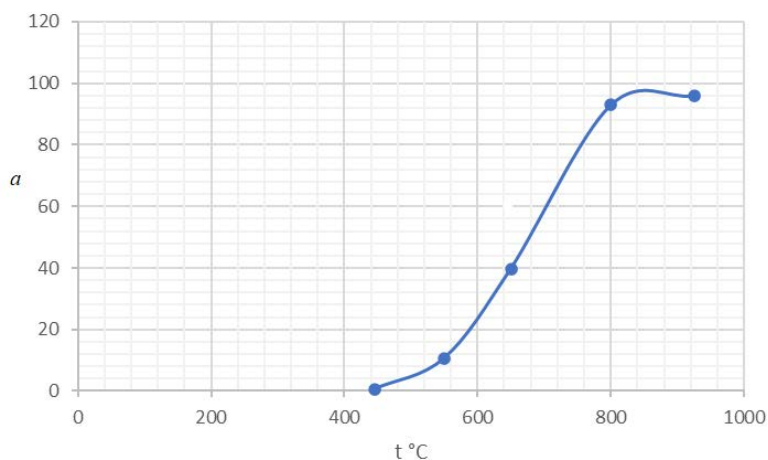
Reacțiile de reducere pentru CO₂ sunt redată mai jos:



Principiul funcțional al modelului instalației de reducere a dioxidului de carbon prin gazeificare este redat în figura de mai jos.



Se notează cu a gradul de conversie a CO₂ în CO, redat ca funcție de temperatură în graficul din figura de mai jos. Pentru o decarbonizare eficientă rezultă că se impune un grad de conversie peste 95 %, astfel că temperatura în strat trebuie să fie mai mare de 850 °C.

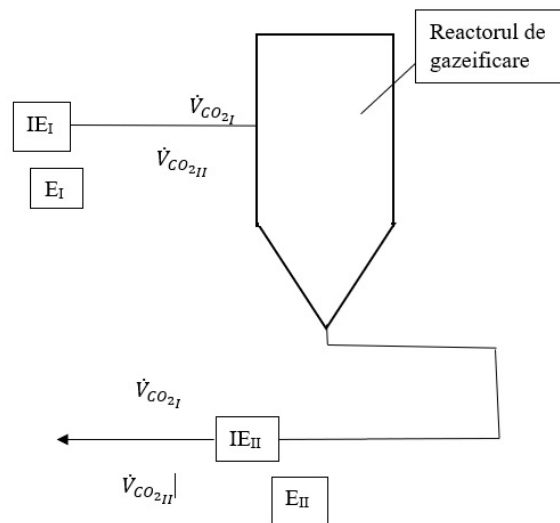


Tehnologia cu curent descendent (în echicurent) prezintă avantajul antrenării gudronului peste stratul de jar, conducând astfel la o prelucrare termică a acestuia. Procesele termice aplicate gudronului pot fi completate cu unele catalitice. Per total, se poate considera că reactoarele cu pat fix cuprind o construcție

simplă, iar timpul lung de rezidență în faza solidă permite obținerea unui grad ridicat a monoxidului de carbon. Puterea termică a unui reactor cu pat fix nu poate depăși, la stadiul tehnic actual 10 MWt. Reglajul procesului cuprinde lanțul: injecție aer → control conținut de O₂ → corelare a injecției de carbon.

Conform datelor prezentate anterior, prin decarbonizarea gazelor de ardere, se obține un gaz numit gaz de gazogen, ce conține gaze combustibile CO, H₂ și CH₄ în proporție de 27-33 %. Gazul combustibil dominant este reprezentat de CO, iar cel neutru de N₂. În funcție de compoziția gazului de gazogen, acesta are o putere calorifică inferioară în domeniul 2400-3200 kJ/kg. Acest gaz combustibil poate avea trei direcții de valorificare energetică: 1) combustia directă la un generator de abur energetic; 2) combustia directă la un motor cu ardere internă; 3) admisia într-o rețea de combustibili gazoși.

Model fizic de reducere a CO₂ din gazele de ardere prin gazeificare este redat schematic în figura de mai jos. În treapta I a producerii energiei (IE_I) prin arderea unui combustibil, emisia de CO₂ (\dot{V}_{CO_2I}) este convertită în gazul combustibil de către instalația de gazeificare. Ca urmare, în treapta a II-a de producere a energiei (IE_{II}) se va utiliza un combustibil gazos fără conținut de CO₂. În urma combustiei în treapta a doua, emisia de CO₂ va fi \dot{V}_{CO_2II} [mg/kWh], fluxul energetic fiind prezentat în figura următoare.



Emisia finală E_{CO_2} , cuprinde în final raportarea la cele două trepte de producere a energiei, astfel că aceasta are valoarea: $E_{CO_2} = \frac{\dot{V}_{CO_2II}}{(E_1 + E_2)}$ [mg/kWh]. S-a reușit astfel o dublare a producție de energie $E_1 + E_2$, cu o singură emisie de CO₂, astfel încât rezultă o importantă reducere de CO₂ către mediul ambiant. În concluzie, a fost creat model fizic de reducere a CO₂ din gazele de ardere prin gazeificare.

1.3 Modele conceptuale ale emisiei de CO₂ la utilizarea combustibililor gazoși în centralele din România

Combustibilul gazos este un amestec fizic de componente gazoase carburante și necarburante, cu formule și caracteristici fizice și chimice bine determinate. Suma procentele de volum ale acestor componente, constituie compoziția combustibilului gazos respectiv. Starea umedă, cea reală este:

$$CO_2^{um} + SO_2^{um} + O_2^{um} + N_2^{um} + CO^{um} + H_2^{um} + H_2S^{um} + \sum C_m H_n^{um} + H_2O^{um} = 100, \%$$

O emisie de dioxid de carbon este eliberarea acestui gaz în atmosfera terestră, indiferent de sursă. Dioxidul de carbon (CO₂) este al doilea cel mai important gaz cu efect de seră din atmosferă, după vaporii de apă, cei doi contribuind cu 26 % și respectiv 60 % la efectul de seră.

Ecuatiile arderii combustibililor gazoși în exploatarea generatoarelor de abur și ecuațiile modelului de calcul a emisiei de CO₂ sunt prezentate, sintetic, mai jos.

$$\begin{aligned} & (1 + \beta)CO_2 + (0,605 + \beta)CO + O_2 + \\ \text{Ecuatia completă a arderii [\%]:} & + \beta \sum m C_m H_n - 0,1975 \sum n C_m H_n + \\ & + 0,21 \sum C_m H_n - 0,185H_2 - 1,185H_2S = 21 \end{aligned}$$

Ecuția simplificată a arderii [%]: $(1 + \beta)CO_2 + (0,605 + \beta)CO + O_2 = 21$

Volumul gazelor de ardere uscate [m_N^3/m_N^3]: $V_{gu} = (CO_2^{anh} + CO^{anh} + \sum m C_m H_n^{anh}) / (CO_2 + CO + \sum m C_m H_n)$

Volumul vaporilor de apă [m_N^3/m_N^3]: $V_{H_2O} = 0,01(H_2^{anh} + H_2S^{anh} + 0,5 \sum n C_m H_n^{anh}) + 0,001242d - 0,01 \cdot (H_2 + H_2S + 0,5 \sum n C_m H_n) + 0,00161 \cdot x \cdot V_a$

Volumul gazelor de ardere umede [m_N^3/m_N^3]: $V_g = V_{gu} + V_{H_2O}$

În România capacitatea totală de producție a energiei pe bază de gaz natural este de 2615 MW. În realitate, în ultimul an s-au produs între 450 MW și 1350 MW.

În concluzie, a fost creat *modelul conceptual pentru emisia de CO2 la combustibilul gazos natural*.

1.4. Analiza comparativă a proprietăților hidrogenului față de combustibilii clasici la motoare cu ardere internă

Utilizarea combustibililor alternativi la motoarele cu ardere internă constituie o soluție viabilă pentru înlocuirea combustibililor clasici de origine petrolieră și reducerea nivelului emisiilor poluante.

Cercetările legate de promovarea hidrogenului drept combustibil pentru motoarele cu aprindere prin scânteie s-au dezvoltat pe două direcții: înlocuirea integrală a benzinei cu hidrogen respectiv substituția parțială a benzinei cu hidrogen. În cazul alimentării motoarelor cu aprindere prin comprimare cu hidrogen, cercetările s-au dezvoltat în direcția utilizării lui drept combustibil de substituție parțială a motorinei. Metodele de ardere a hidrocarburilor gazoase în motoarele cu ardere internă pot fi folosite la arderea hidrogenului, cu particularități specifice.

Cifra octanică a hidrogenului este mai mare decât a benzinei. Datorită acestei proprietăți, motoarele cu aprindere prin scânteie alimentate cu hidrogen pot avea rapoarte de comprimare mai mari decât al celor alimentate cu benzină, fără apariția fenomenului de ardere anormală cu detonație. Crește și din acest motiv randamentul termic indicat al motorului.

Raportul aer/combustibil este 34,33 kg aer/kg H₂ pentru arderea stoichiometrică a hidrogenului, fiind de peste două ori mai mare decât raportul aer/combustibil în cazul arderii benzinei. Crește volumul în procente al camerei de ardere ocupat cu hidrogen la 29.6% în detrimentul aerului, față de 1.8% din volumul camerei de ardere ocupat de vaporii de benzină. Deci, o parte însemnată a camerei de ardere nu poate fi umplută cu aer în cazul alimentării motorului cu hidrogen în contrast cu alimentarea cu benzină. Ca atare, la alimentarea cu hidrogen se reduce cantitatea maximă de energie eliberată în cilindru cu aproximativ 15% față de alimentarea cu benzină, respectiv cu 12% în cazul motorinei, puterea litrică a motorului scăzând.

Performanțele vehiculului alimentat cu hidrogen comprimat comparativ cu alți combustibili (volumul și greutatea rezervorului de combustibil, autonomia vehiculului) sunt prezentate în tabelul de mai jos.

Combustibilul	Motorină	Hidrogen comprimat	GNC	GPL
Volumul relativ de combustibil și greutatea rezervorului pentru echivalentul a 70 L motorină				
Volum rezervor ℓ	70	1172	404	106
Greutate combustibil și rezervor kg	70	1758	606	92
Autonomia vehiculului cu rezervorul de 70 L combustibil				
Autonomia vehiculului %	100	6	18	66

În concluzie, a fost elaborat studiul comparativ al proprietăților hidrogenului față de combustibilii clasici la motoare cu ardere internă.

1.5. Realizarea pagina web proiect

A fost concepută pagina web proiectului este www.climateneutrality.upb.ro.

1.6. Management. Diseminare și comunicare

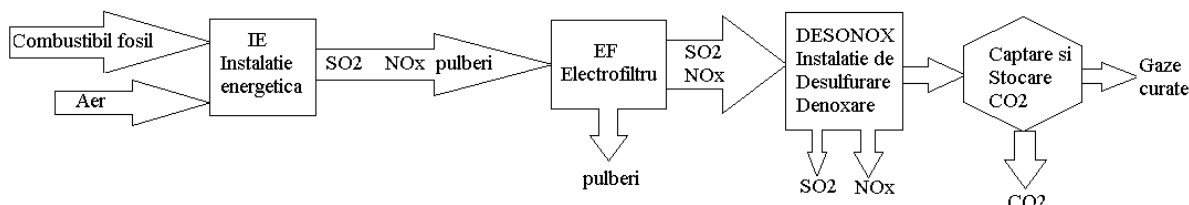
S-au realizat pentru 2 membri ai echipei Persoane lună mobilități doctorale : 3 luni*pers. Astfel, drd. Iulia Simion a făcut un stagiu de pregătire în domeniul proiectului printr-o mobilitate Erasmus la Universitatea L'Aquila, Italia, în perioada 23 Mai 2022 – 30 Iulie 2022 (2,5 luni). Drd. Rodica-Manuela GRIGORIU (căs. TILICI) a făcut un stagiu de pregătire în domeniul proiectului la Universitatea Maritimă din Constanța, pe instalația experimentală dezvoltată de echipa din acest proiect și UMC ca și coordonator, în perioada 19.09 – 01.10.2022 (0,5 luni). Au fost publicate 10 articole și s-au realizat livrabilele asumate, respectiv 1 studiu și 3 modele.

Etapa 2. Elaborarea de modele matematice și funcționale care să permită analiza comparativă a soluțiilor propuse în proiect cu cele existente în prezent (01.01.2023–31.12.2023)

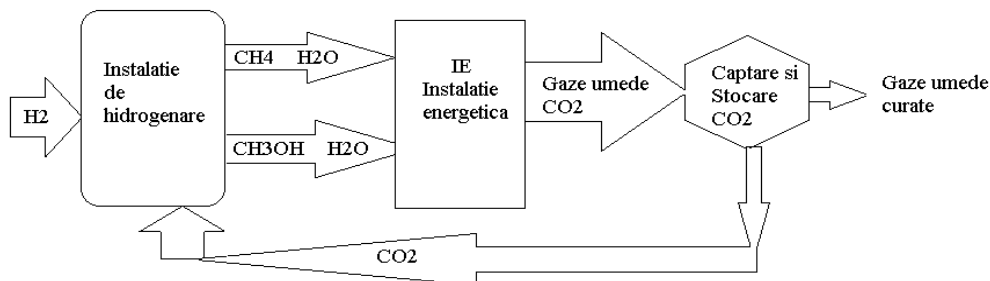
2.1. Stabilirea modelelor matematice și funcționale de utilizare a hidrogenului în vederea reducerii emisiilor de CO2 din gazele de ardere.

Reducerea emisiilor de CO2 din gazele de ardere este una din preocupările importante actuale ale producerii de energie. Din acest punct de vedere, hidrogenul poate aduce o contribuție importantă prin transformarea dioxidului de carbon într-un vector energetic.

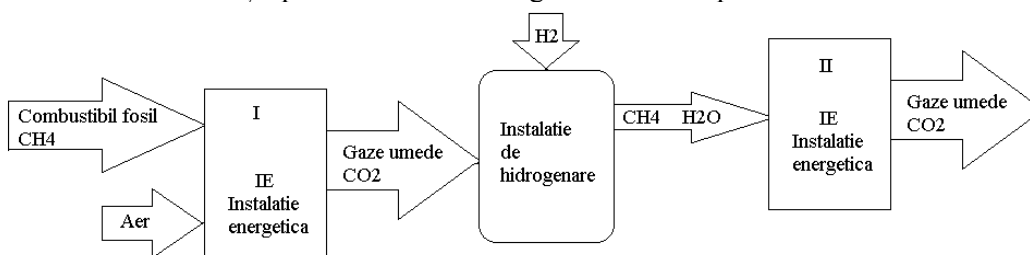
Tehnologia cea mai utilizată în prezent pentru eliminarea CO2 din gazele de ardere, prezentată în figura de mai jos, cuprinde lanțul captare și stocare, tehnologie foarte complicată tehnologic și foarte costisitoare.



Transformarea dioxidului de carbon în vector energetic prin hidrogenare, prezentată în figura de mai jos, se face prin două metode /tehnologii actuale, respectiv: metanizare având ca produși metanul, CH4 și apa, H2O; metanolizare, având ca produși metanolul, CH3OH și apa, H2O.

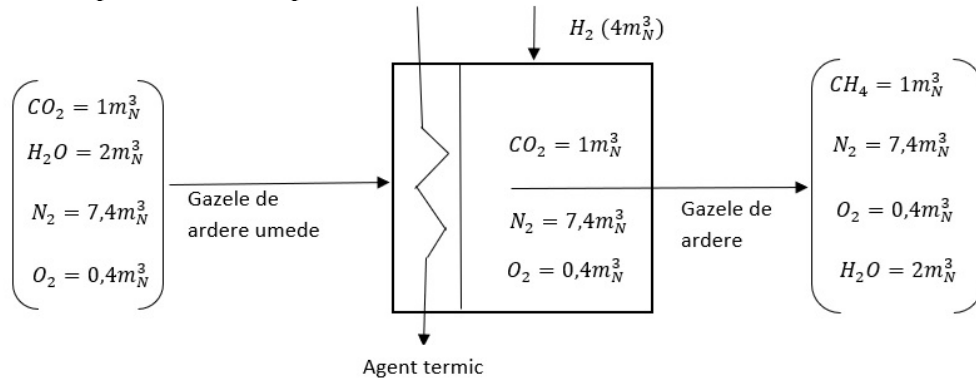


Pentru tehnologia de metanizare este propusă o nouă aplicație, legată de posibila decarbonizare a gazelor de ardere, care elimină captarea de CO2, prin introducerea arderii în cascadă, cu o reducere sensibilă a emisiei finale de CO2. Această tehnologie, prezentată în figura de mai jos, se poate aplica fără închiderea ciclului ecologic reprezentat prin captarea finală de CO2, având în final o eficiență ecologică mai redusă, dar și costuri mai mici. Soluția prezentată consideră gazul metan drept combustibil fosil.

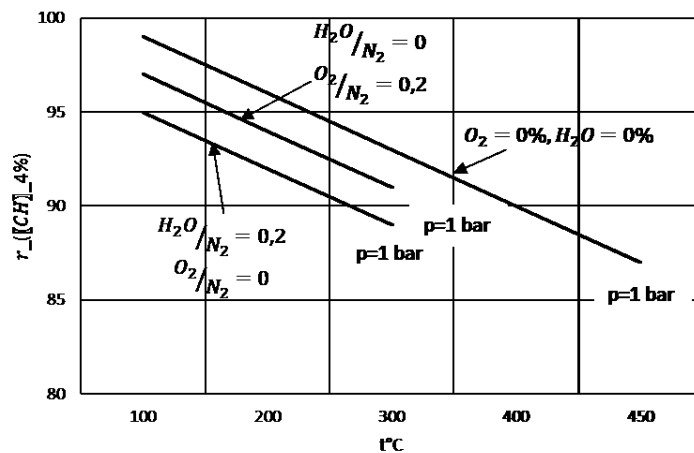


Bilanțul material al gazelor de ardere anhidre după metanizarea cu hidrogen, prezentată în figura următoare, este pentru un randament unitar al instalației și fără a lua în considerare recuperarea energiei din

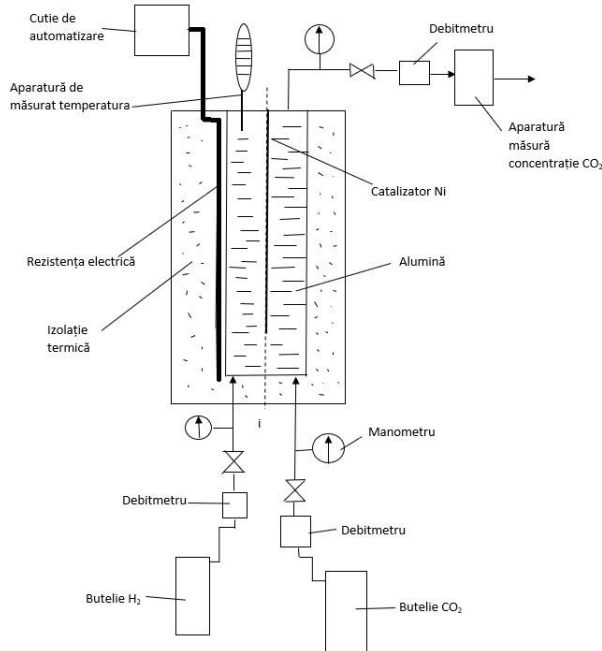
condensarea vaporilor. Variația eficienței metanizatorului sub influența gazelor reziduale, variază în limitele 3-10% mai accentuat pentru O₂ decât pentru H₂O.



Variația eficienței metanizării r_{CH_4} în funcție de compoziția gazelor de ardere este redată mai jos.



Reactorul pilot experimental, prezentat în figura de mai jos, are diametrul interior de 5,5 cm, cuprinde un volum activ de 940 cm³, iar rezistență electrică cu puterea de 2 kW permite o încălzire de până la 300°C.



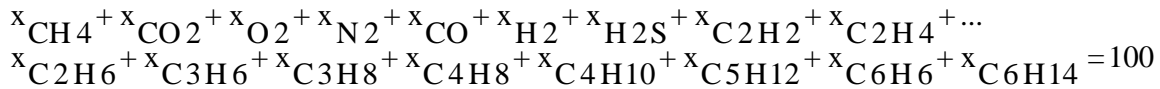
Presiunea de rezistență maximă este de 100 bar, asigurând o eventuală explozie. În corpul reactorului se introduce catalizatorul de Ni, volumul acestuia fiind completat în proporție de 70-80% cu alumină, în două granulații. Această completare a volumului activ al reactorului cu alumină permite realizarea timpului de

staționare a componentelor gazoase supuse reacției chimice Sabatier de minimum 2,1 s. Rezultatele experimentale au permis determinarea eficienței conversiei funcție de temperatură.

2.2. Modele conceptuale ale emisiei de CO₂ la utilizarea combustibililor gazoși în centralele din România. Model conceptual al emisiei de CO₂ la producția de electricitate din gaz natural în România.

Arderea este procesul chimic de combinare a două substanțe, combustibil și oxidant, care are loc cu degajare de căldură, provocând o creștere bruscă a temperaturii amestecului. Oxidant poate fi orice substanță care conține și care poate degaja atomi de oxigen în stare liberă.

Compoziția chimică pentru un combustibil gazos se poate prezenta sub forma:



unde x_i [%] este conținutul procentual respectiv: x_{CH_4} - de metan; x_{CO_2} - de bioxid de carbon; x_{O_2} - de oxigen molecular; x_{N_2} - de azot molecular; x_{CO} - de oxid de carbon; x_{H_2} - de hidrogen molecular; x_{H_2S} - de hidrogen sulfurat; $x_{C_2H_2}$ - de acetilenă; $x_{C_2H_4}$ - de etilen; $x_{C_2H_6}$ - de etan; $x_{C_3H_6}$ - de propilena; $x_{C_3H_8}$ - de propan; $x_{C_4H_8}$ - de butilena; $x_{C_4H_{10}}$ - de butan; $x_{C_5H_{12}}$ - de pentan; $x_{C_6H_6}$ - de benzen; $x_{C_6H_{14}}$ - de hexan.

Puterea calorică inferioară, H_i , a combustibilului gazos, având compoziția chimică prezentată mai sus, se poate calcula cu relația:

$$H_i \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}_N^3} \right] = \frac{1}{100} \cdot \left(\begin{aligned} &x_{CO} \cdot H_i^{CO} + x_{H_2} \cdot H_i^{H_2} + x_{H_2S} \cdot H_i^{H_2S} + x_{CH_4} \cdot H_i^{CH_4} + \\ &x_{C_2H_2} \cdot H_i^{C_2H_2} + x_{C_2H_4} \cdot H_i^{C_2H_4} + x_{C_2H_6} \cdot H_i^{C_2H_6} + x_{C_3H_6} \cdot H_i^{C_3H_6} + \\ &+ x_{C_3H_8} \cdot H_i^{C_3H_8} + x_{C_4H_8} \cdot H_i^{C_4H_8} + x_{C_4H_{10}} \cdot H_i^{C_4H_{10}} + \\ &x_{C_5H_{12}} \cdot H_i^{C_5H_{12}} + x_{C_6H_6} \cdot H_i^{C_6H_6} + x_{C_6H_{14}} \cdot H_i^{C_6H_{14}} \end{aligned} \right),$$

unde $H_i^j \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}_N^3} \right]$ este puterea calorică inferioară a componentei j (j fiind respectiv CO , H_2 , H_2S , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_6 , C_3H_8 , C_4H_8 , C_4H_{10} , C_5H_{12} , C_6H_6 , C_6H_{14}). Valorile uzuale ale puterii calorifice inferioare, în $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}_N^3} \right]$, sunt respectiv: $H_i^{CO} = 12620$; $H_i^{H_2} = 23354$; $H_i^{H_2S} = 23354$; $H_i^{CH_4} = 35764$; $H_i^{C_2H_2} = 56870$; $H_i^{C_2H_4} = 58990$; $H_i^{C_2H_6} = 63670$; $H_i^{C_3H_6} = 85890$; $H_i^{C_3H_8} = 91138$; $H_i^{C_4H_8} = 113370$; $H_i^{C_4H_{10}} = 118500$; $H_i^{C_5H_{12}} = 145900$; $H_i^{C_6H_6} = 140200$; $H_i^{C_6H_{14}} = 173190$.

Se precizează că puterea calorică inferioară a combustibilului convențional, la care se pot raporta toți combustibilii, este de cca. 29307 kJ/kg (7000 kcal/kg).

Volumul teoretic de aer uscat necesar arderii, V_a^0 , este:

$$V_a^0 \left[\frac{\text{m}_N^3}{\text{m}_N^3} \right] = \frac{1}{21} \cdot \left(\begin{aligned} &0.5 \cdot x_{CO} + 0.5 \cdot x_{H_2} + 1.5 \cdot x_{H_2S} + 2 \cdot x_{CH_4} + 2.5 \cdot x_{C_2H_2} + \\ &3 \cdot x_{C_2H_4} + 3.5 \cdot x_{C_2H_6} + 4.5 \cdot x_{C_3H_6} + 5 \cdot x_{C_3H_8} + 6 \cdot x_{C_4H_8} + \\ &6.5 \cdot x_{C_4H_{10}} + 8 \cdot x_{C_5H_{12}} + 7.5 \cdot x_{C_6H_6} + 9.5 \cdot x_{C_6H_{14}} - x_{O_2} \end{aligned} \right),$$

unde, în plus, x_{O_2} este conținutul procentual de O₂.

Volumul teoretic de aer umed necesar arderii, $V_{a,um}^0$, este:

$$V_{a,um}^0 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}_N^3} \right] = \left(1 + \frac{28.9645}{18015.34} \cdot x_{aer} \right) \cdot V_a^0,$$

unde x_{aer} [g/kg] este conținutul de umiditate al aerului.

Volumul teoretic de bioxid de carbon, CO₂, rezultat din ardere, $V_{CO_2}^0$, este:

$$V_{CO_2}^0 \left[\frac{\text{m}_N^3}{\text{m}_N^3} \right] = \frac{1}{100} \cdot \left(\begin{aligned} &x_{CO_2} + x_{CO} + x_{CH_4} + 2 \cdot (x_{C_2H_2} + x_{C_2H_4} + x_{C_2H_6}) + \\ &3 \cdot (x_{C_3H_6} + x_{C_3H_8}) + 4 \cdot (x_{C_4H_8} + x_{C_4H_{10}}) + \\ &5 \cdot x_{C_5H_{12}} + 6 \cdot (x_{C_6H_6} + x_{C_6H_{14}}) \end{aligned} \right),$$

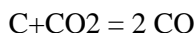
Media anuală a puterii electrice produsă cu gaz natural este de peste 1200 MW. Consumul de gaz natural pentru producția de electricitate în anul 2022 a fost estimat la suma dintre 2490471157 și 279757134,

respectiv de 2770228291 m³N. Întrucât densitatea dioxidului de carbon este 1,98 kg/m³N, rezultă că, în anul 2022, industria energiei electrice a contribuit în mod direct la producerea a 5,485 milioane tone CO₂.

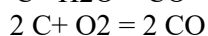
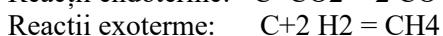
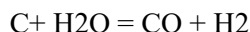
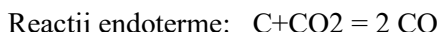
2.3. Elaborarea de modele matematice și funcționale pentru reducerea emisiilor de CO₂ din gazele de ardere prin gazeificare

Considerând că în marea majoritate a instalațiilor termice noi se va utiliza gazul natural drept combustibil, iar acesta nu conține sulf, astfel că volumul de oxizi de sulf tinde spre zero și poate fi neglijat. În consecință, elementul poluant din gazele de ardere este dioxidul de carbon. Ca urmare s-au dezvoltat mai multe tehnologii bazate pe diverse modele matematice și funcționale pentru captarea dioxidului de carbon.

Modelul funcțional al reducerii CO₂ prin gazeificare este staționar și izoterm. Gazele de ardere intra în stratul de jar care conține carbon incandescent, unde are loc reacția de reducere a dioxidului de carbon prin transformarea acestuia în oxid de carbon, CO, un gaz combustibil, după reacția endotermă,



Reacțiile de reducere pentru dioxidul de carbon, CO₂, și vaporii de apă, H₂O, cu transformarea acestora în gaze combustibile, CO și CH₄, sunt cele bine-cunoscute, respectiv două reacții endoterme și redate mai jos:



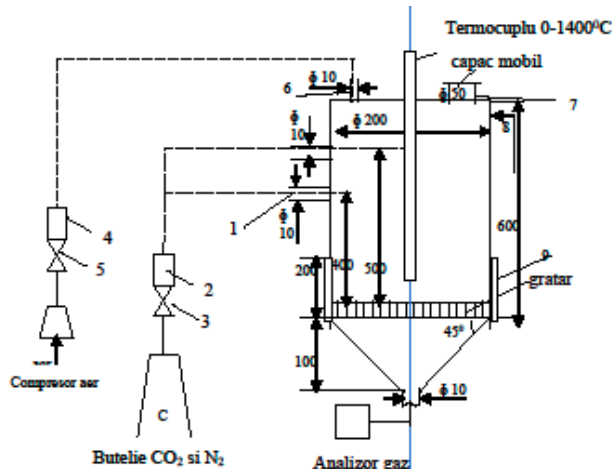
Nu s-a luat în considerare nici reacția carbonului cu oxigenul $C + O_2 = CO_2$, deoarece conținutul de oxigen în gazele de ardere este redus, sub necesarul unei reacții stoichiometrice. Din ansamblul celor patru reacții prezentate dominante sunt primele două, ambele endoterme, lucru ce va determina o scădere a temperaturii gazului de gazogen la părăsirea stratului de jar. La ieșire vom avea un amestec de gaze combustibile, format din CH₄, CO și H₂, dar și gaze necombustibile constituite în majoritatea din azot molecular, N₂ și dioxidul de carbon care nu a reacționat, CO₂.

La ieșire vom avea un amestec de gaze combustibile, format din CH₄, CO și H₂, dar și gaze necombustibile constituite în majoritatea din azot molecular, N₂ și dioxidul de carbon care nu a reacționat, CO₂. Se consideră combustibil fără sulf, astfel ca SO₂=0, iar vaporii de apă au fost total descompuși (H₂O=0). Cu aceste ipoteze compoziția gazelor la ieșirea din gazeificator, numite generic gaz de gazogen, este: CO+H₂+CH₄+N₂+CO₂=100, cu observația ca în relație este compoziția gazelor în procente.

Variația cu temperatura a conținutului de CO și de CO₂, respectiv a gradului de conversie este data de ecuația: $y = p_1 \cdot x^6 + p_2 \cdot x^5 + p_3 \cdot x^4 + p_4 \cdot x^3 + p_5 \cdot x^2 + p_6 \cdot x + p_7$; unde: $p_1 = 6.6763e-14$; $p_2 = -2.4682e-10$; $p_3 = 3.672e-07$; $p_4 = -2.8189e-04$; $p_5 = 0.11857$; $p_6 = -26.061$; $p_7 = 2347.4$;

Asigurarea unei decarbonizări eficiente, respectiv reducerea conținutului de CO₂ sub 5% se impune o eficiență de transformare a CO₂ în CO de peste 95% pentru o temperatură de lucru între 850 - 900 grade C.

S-a adoptat varianta de reactor sub formă cilindrică, fără îngustări pe traseul fluxului de CO₂, prezentată în figura de mai jos, unde: 1.- conducte admisie; 2 – debitmetru; 3 – ventil de reglaj; 4 – debitmetru; 5 – ventil de reglaj; 6 – conductă admisie aer; 7 – canal de admisie mangal; 8 – injecție apă, 9. corp de încălzire cu rezistențe electrice.



Reactorul va fi cu curgere descendentă, cu patul de jar la baza reactorului. Temperatura patului va fi permanent monitorizată cu un termocuplu de înaltă de precizie și temperatură ridicată. Înălțimea reactorului a fost aleasă de 600 mm. Reactorul la partea superioară are montat un termocuplu, conducta de admisie a

aerului și canalul de alimentare cu mangal. Grătarul din oțel va avea găuri cu diametrul dispuse simetric. Reactorul este încadrat la partea inferioară de o manta cilindrică prevăzută cu rezistențe electrice de 3 KW pentru încălzirea pentru faza de pornire la rece. Mantaua cilindrică de încălzire va avea o izolație termică exterioară.

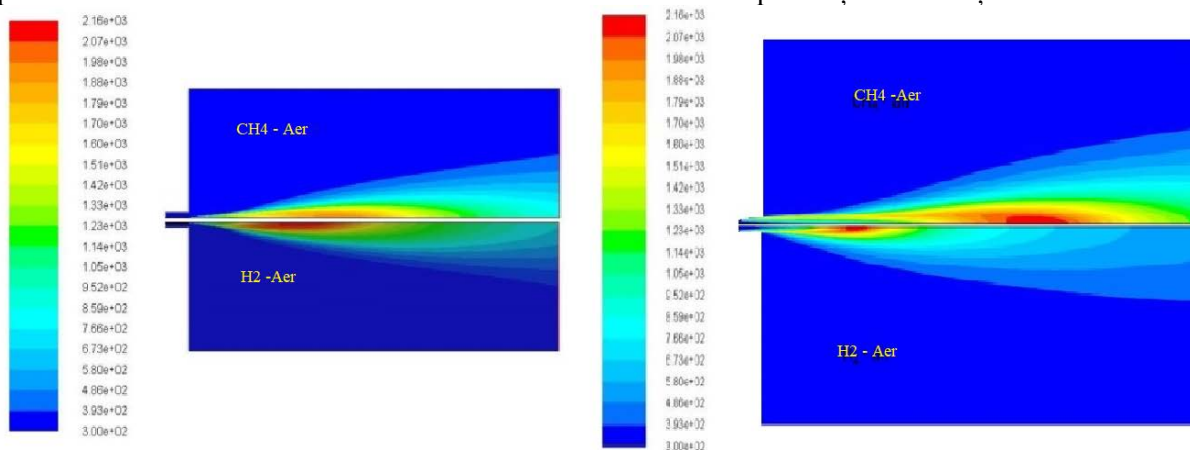
2.4. Analiza modelelor matematice și funcționale de ardere a hidrogenului în jeturi concentrice comparativ cu cele ale arderii metanului

Cercetările întreprinse au urmărit să evalueze capacitatea de funcționare a arzătoarelor cu hidrogen în variante de jet concentrice (combustibil/aer) similare celor pentru metan. Arzătoarele cu jeturi concentrice (coaxiale) conduc la o flacără difuzivă, ce nu prezintă posibilitatea revenirii de flacără ca în cazul arzătoarelor cu pre amestec combustibil-aer, ce formează o flacără cinetică. Flacără difuzivă este mult mai stabilă decât cea cinetică, prezentând doar fenomenul de stingere prin “smulgere”, când viteza de curgere este peste cea de ardere. Pentru rezolvarea problemei s-a apelat la programul ANSYS-FLEUNT V.14.0, realizându-se astfel o modelare a procesului complex de curgere și ardere din flacără.

Diametrul canalului de curgere pentru ambii combustibili, H₂ și CH₄, este de 3 mm. Diametrul canalului coaxial pentru curgerea aerului a fost variabil în funcție de viteza dorită pentru aer. Pentru regimul turbulent de curgere, viteza turbulentă de ardere pentru hidrogen este de circa 7,2 ori mai mare decât cea pentru metan.

Această diferență pentru viteza de ardere a impus în lucrare considerarea vitezei de curgere pentru H₂ de 120 m/s, dacă se consideră o viteză medie pentru CH₄ de 30 m/s. Diametrul duzei combustibilului este constanta, D₀=3 mm, iar diametrul de ieșire aer, D_a, variază, pentru a menține puterea termică.

Diferențele dintre flacăra metanului și a hidrogenului sunt redată în figura de mai jos. Valorile temperaturii axiale indică o concentrare foarte sensibilă a flăcării în spre secțiunea de ieșire din arzător.



Analizând rezultatele modelării numerice se pot trage următoarele concluzii sintetice:

- Arderea ambilor combustibili este mai bună pentru viteze ridicate ale aerului,
- Pentru configurația utilizată pentru binomul viteză combustibil-viteză aer la ieșirea din arzătoarele difuzive s-au obținut flăcări cu caracteristici asemănătoare pentru hidrogen și metan. Această concluzie se bazează pe: lungime flacără, câmp termic corespunzător calității combustibilului, distribuție corespunzătoare a vitezei atât pe direcția axială de curgere cât și pe cea transversală

2.5. Comparația modelelor matematice și funcționale pentru arderea diferiților combustibili pentru motoarele cu ardere internă cu și fără alimentare cu hidrogen

Studiul teoretic și analiza funcționării motorului cu ardere internă impune elaborarea unor modele matematice termodinamice cu ajutorul cărora se simulează procesele termo-gazodinamice din cilindru lui, la diferite sarcini și turații.

Ecuția de bilanț energetic specifică fiecărui proces al ciclului motor permite determinarea variației temperaturii pe intervalul de calcul stabilit, $d\alpha$, cu relația
$$\frac{dT}{d\alpha} = \frac{k-1}{N_c \times R_M} \times \left(\frac{dQ_a}{d\alpha} - \frac{dQ_p}{d\alpha} - \frac{dL}{d\alpha} \right)$$
 unde: N_c - cantitatea molară de gaze din cilindru; $dU/d\alpha$ - variația energiei interne; $dQ_a/d\alpha$ - cantitatea de căldură degajată prin ardere; $dL/d\alpha$ - lucrul mecanic efectuat; $dQ_p/d\alpha$ - căldura cedată peretilor.

Caracteristica de ardere la motorul diesel se poate exprima prin combinarea a două relații de tip Vibe având în vedere cele două mecanisme de ardere specifice, respectiv arderea rapidă a amestecurilor preformate și arderea difuzivă moderată, conform relației: $\xi = R_c \times \left[1 - e^{-6,9 \times x_r^{m_p^* + 1}} \right] + (1 - R_c) \times \left[1 - e^{-6,9 \times x_d^{m_d^* + 1}} \right]$

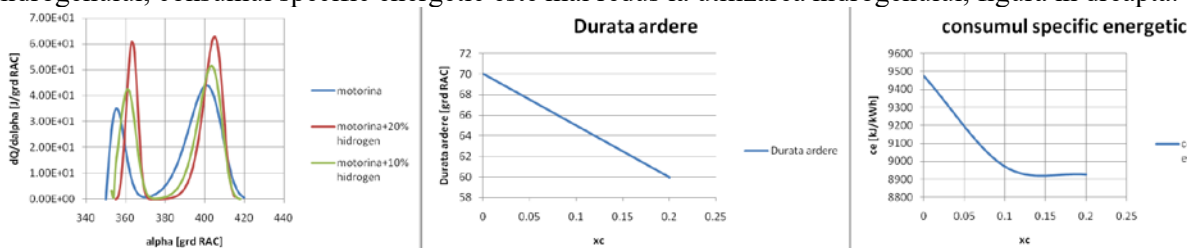
unde R_c exprimă fracția din căldura disponibilă eliberată în faza arderii rapide, m_p^* și m_d^* - exponenți cinetici, iar x_r și x_d - unghiuri relative: $x_r = \frac{\alpha - \alpha_d}{\alpha_r}$; $x_d = \frac{\alpha - \alpha_d}{\alpha_a}$ în care α_d este începutul arderii rapide, α_r - durata arderii rapide și α_a - durata arderii. $\frac{dQ_a}{d\alpha} = m_c \times H_i \times \frac{d\xi}{d\alpha}$.

Adaptarea modelului matematic propus la *alimentarea motorului cu hidrogen*. La alimentarea motorului cu hidrogen, modelul matematic descris se corectează ținând seama de proprietățile hidrogenului și de metoda de alimentare cu hidrogen.

Viteză laminară de ardere a hidrogenului este mai mare decât a amestecului aer- motorină pentru amestecul stoechiometric, deci durata arderii se reduce. De asemenea, crește ponderea arderii rapide iar temperatura maximă din cilindru se mărește. Prin urmare, crește presiunea maximă din cilindru.

Rezultate ale modelării. S-a efectuat simularea proceselor termo-gazodinamice din cilindru unui motor diesel de automobil, cu următoarele caracteristici: S/D = 80,5/76 mm/mm; n=3900 rot/min; i= 4 cilindri; $\epsilon = 18,3$; $P_e = 52$ kW.

Rezultatele simulărilor la variația coeficientului de substituție x_c sunt redată în figura de mai jos. La utilizarea hidrogenului crește viteza de degajare a căldurii datorită vitezei mai mari de ardere a hidrogenului și a creșterii omogenității amestecului aer-combustibil care favorizează creșterea ponderii fazei arderii rapide. Aceste influențe se accentuează la creșterea procentului de substituție a motorinei cu hidrogen, x_c , când durata arderii se micșorează, figura în centru. Datorită proprietăților mai bune de ardere ale hidrogenului, consumul specific energetic este mai redus la utilizarea hidrogenului, figură în dreapta.



2.6. Dezvoltarea de modele matematice pentru evaluarea economică a tehnologiilor propuse

Utilizarea hidrogenului cuprinde o gamă de aplicații mai largă decât combustia directă, lucru ce face o mai mare accesibilitate a aplicabilității de viitor a acestui vector energetic. Pentru utilizarea hidrogenului în scopul încălzirii rezidențiale se pot utiliza următoarele tehnologii: combustia directă, în special prin mixajul cu metanul în etapa actuală; formarea de metanol (CH_3OH), prin sinteza chimică dintre CO_2 și H_2 ; formarea de metan (CH_4), prin reacția chimică Sabatier dintre CO_2 și H_2 .

Încălzirea rezidențială cu hidrogen locală, în prima etapă de utilizare a hidrogenului va cuprinde combustia unui amestec de metan cu hidrogen, injectat în rețeaua de distribuție comunitară, cu o proporție vomică de 0,05-0,15 m³ hidrogen. În această proporție nu apar probleme de esență în procesul distribuției amestecului de gaze, în contorizare și combustie.

Rețeaua de distribuție casnică are o suprapresiune de 400-500 mmH₂O, suprapresiune suficientă pentru funcționarea instalațiilor individuale de producere a căldurii, respectiv centrale murale, sobe cu teracotă, instalații pentru prepararea hranei, dar și pentru centrale de încălzire a cvartarurilor de putere termică redusă, până la 100 kW. Aceste instalații sunt echipate cu arzătoare cu auto-aspirație de aer, procesul combustiei fiind un rezultat al mixării combustibilului cu aerul, instalații cunoscute sub numele termodinamic „cu ardere cinetică”.

Palierele de utilizare în încălzirea rezidențială a metanolului sunt: 1) locuințe individuale, $P_t < 70$ kW; 2) bloc de locuințe, $P_t = 40-300$ kW, în funcție de numărul de apartamente; 3) ansambluri de blocuri de locuințe, $P_t = 1,5-5$ MW; 4) cartier, $P_t = 5-15$ MW; 5) societăți comerciale, inclusiv hoteluri, restaurante, $P_t = 200-2000$ kW; 6) încălzire centralizată, $P_t > 100$ MW.

Orașul București, cuprinde un sistem mare de încălzire centralizată de aproximativ 560000 de apartamente, lungimea traseelor de conducte de distribuție cuprinzând în jur de 1000 km de rețea primară și

300 km de rețea secundară. În București, cele 560000 de apartamente cuprind aproximativ 8200 de blocuri și 320 de imobile, dar și 4350 de instalații publice și agenții economice și sere. Consumatorii casnici reprezintă 92,21 din consum, restul de 7,79% fiind din afara acestora.

Orașele ecologice ale viitorului vor trebui să utilizeze hidrogenul în proporție tot mai mare față de metan, pentru a reduce emisiile de CO₂. Problema conține nenumărate încercări, nerezolvate încă integral până azi. Utilizarea pentru prima etapă a hidrogenului mixat în metan și distribuit prin actualele rețele de gaz, ridică unele probleme abordate în lucrare. S-a avut în vedere încălzirea rezidențială prin centralele individuale (murale), gătitul alimentelor, dar și încălzirea centralizată.

2.7. *Management. Diseminare și comunicare. Coordonarea echipei de cercetare, îndrumare cercetători postdoctorali, pregătire doctoranzi, diseminare rezultate.*

Coordonarea echipei a fost foarte utilă și rezultatele obținute au fost foarte bune. Diseminarea rezultatelor a fost foarte amplă.

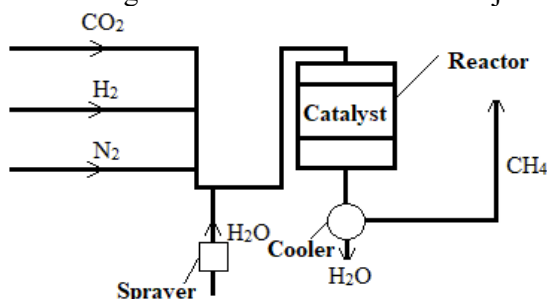
Livrabile realizate: 6 modele matematice, 20 articole, 1 brevet depus, 2 lucrări prezentate în plenumul conferințelor internaționale, 1 workshop, 1 atelier de lucru și masă rotundă, 1 prezentare invitată, pagina web reactualizată la www.climateneutrality.upb.ro.

Etapa 3. Elaborarea modelelor experimentale și procedurilor de testare (01.01.2024–31.12.2024)

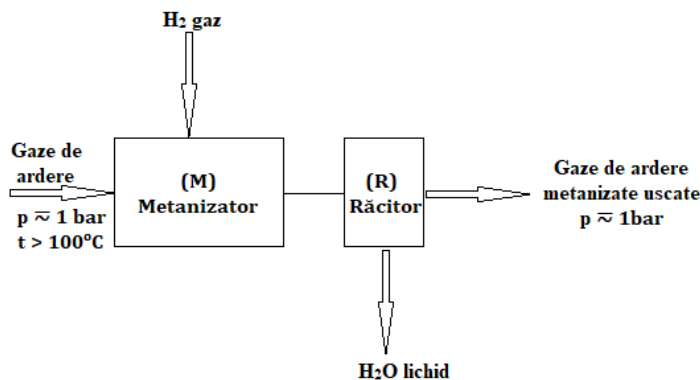
3.1. Elaborarea procedurii de testare și verificare a modelului experimental de utilizare a hidrogenului în vederea reducerii emisiilor de CO₂ din gazele de ardere..

În scenariul dezvoltării durabile, AIE estimează că neutralizarea pentru CO₂ va ajunge la aproximativ 900 Mt/an în 2070 (cu sub 200 Mt/an în 2019). În plus, CO₂ își diversifică foarte mult proveniența, incluzând CO₂ din combustibilii fosili, hidrocarburi, CO₂ biogen, CO₂ din aerul captat direct. Configurația propusă reprezintă o abordare nouă pentru a obține neutralitatea carbonului societății în sistemele energetice, permițând în același timp funcționarea rezistentă a sistemului prin integrarea mai multor purtători de energie.

Reacția de metanizare are loc în condiții catalitice (de exemplu, pe un catalizator NiAl₂O₃, într-un interval de temperatură de 250°C–700°C, în interiorul rezervorului de metanizare. În reactor pot apărea multe reacții diferite, datorită mai multor specii de reactanți care se formează în timpul transformării chimice dorite. Schema instalației de metanizare a gazelor de ardere este dată mai jos.



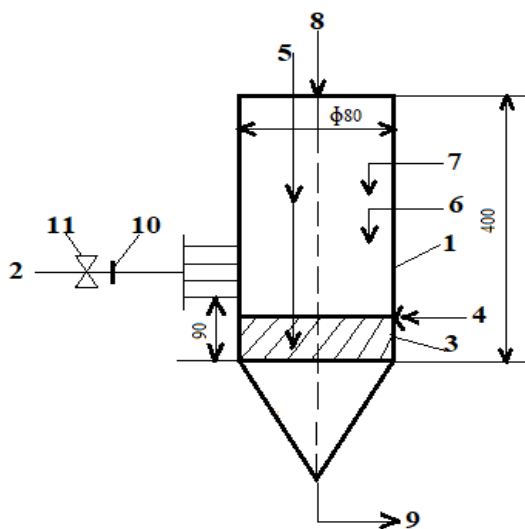
Procedeele de metanizare pleacă de la presiunea parțială a dioxidului de carbon în gazele de ardere, aspect ce influențează fundamental funcționarea unui metanizator. Presiunea de admisie a gazelor de ardere nu poate fi mărită peste cea de evacuare din instalația de ardere din considerente de costuri. Rezultă o structură fixă, impusă metanizatorului, caracterizată prin schema de mai jos.



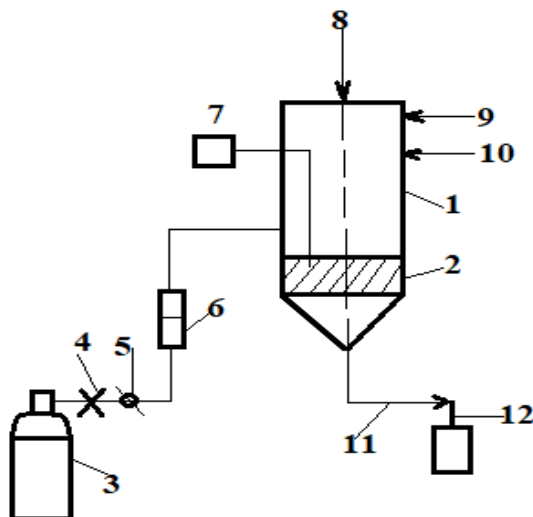
Catalizatorii de nichel depuși pe suport solid rămân cei mai utilizați. Ca suport au fost utilizați în principal pentru prepararea de catalizatori cu o suprafață ridicată, de obicei oxizi metalici. Natura suportului joacă un rol crucial în interacțiunea dintre nichel și suport și astfel conform performanțelor catalitice față de activitate și selectivitate pentru metanarea CO₂.

3.2. Elaborarea procedurii de testare și verificare a modelului experimental de reducere a emisiilor de CO₂ din gazele de ardere prin gazeificare.

Cercetarea a cuprins în prima parte o analiză teoretică asupra captării componentei CO₂ din gazele de ardere prin tehnologia gazeificării în strat fix, urmată de o serie de experimentări pe o instalație pilot de 4kW. Schema funcțională a instalației pilot, prezentată mai jos, este destinată purificării gazelor de ardere de componenta și transformarea acestora într-un gaz combustibil și funcționează pe principiul gazeificării în strat fix de mangal cu curgere descendentă a gazelor de ardere. Instalația pilot cuprinde: corpul cilindric al reactorului 1; admisia gazelor de ardere 2; patul fix reactiv 3; căldura administrată din exterior 4 prin încălzirea corpului reactorului; instalația 5 de monitorizare a temperaturii stratului; admisia oxigenului 6; admisia apei de reglaj termic 7; admisia mangalului pentru menținerea constantă a masei patului reactiv 8. Gazul de sinteză obținut este evacuat prin conducta 9. Pe circuitul de gaze de ardere s-a montat debitmetru 10 și ventilul de reglaj 11.



Schema instalației experimentale prezentată schematic mai jos, desprinsă din tehnologia gazeificării cu curgere descendentă peste un pat fix de carbon (mangal) cuprinde: reactorul gazeificator 1; stratul de mangal încins 2; butelia Linde cu gaz ce simulează gazele de ardere 3; ventil cu dublă destindere și reglaj primar al debitului 4; ventil reglaj debit 5; rotametrul pentru măsurat debitul de gaze 6; termocuplul cu aparat de măsură a temperaturii din patul de mangal 7; alimentare cu mangal 8; circuit alimentare cu oxigen 9; circuit injecție apă 10; circuit evacuare gaz de sinteză 11; analizor gaze, 12.



În figura de mai jos stânga se prezintă imaginea *standului experimental*, prezentat conceptual anterior. Butelia cu gazul testare se află în stânga instalației. Se remarcă existența unui rotametrul pentru dozarea cantității de gaz și încadrarea reactorului cu două rânduri de cărămizi, care reprezintă suportul pentru instalațiile de ardere a gazului pe suprafața anterioară a reactorului, detaliu în dreapta a figuri.



Un alt experiment s-a realizat pentru Gazul II cu compoziția $N_2=88\%$, $CO_2=10\%$; $O_2=2\%$. Acest experiment a avut rolul de a pune în evidență efectul oxigenului din gazele de ardere asupra procesului de conversie pentru CO_2 din stratul de mangal afectat de un proces de combustie întreținut de prezența oxigenului. S-a menținut nivelul de temperatură a patului de mangal în intervalul $850\text{ }^\circ\text{C} - 950\text{ }^\circ\text{C}$, similar setului de experimentări anterioare. În tabelul următor se prezintă rezultatele măsurătorilor experimentale.

Proba	t_{pat} [$^\circ\text{C}$]	$CO_{2\text{initial}}$ [%]	$CO_{2\text{final}}$ [%]	Temperatura gaz de sinteza [$^\circ\text{C}$]	Eficiența η_{CO_2} [%]
1	950	10	0.06	36	99.40
2	925	10	0.11	36	98.90
3	900	10	0.18	38	98.20
4	875	10	0.30	41	97.00
5	850	10	0.40	44	96.00
6	800	10	0.50	46	95.00

Valorile de eficiență obținute, evidențiază integral aplicabilitatea tehnologiei gazeificării pentru captarea componentei CO_2 din gazele de ardere într-un pat fix de carbon (mangal). Puterea calorică inferioară pentru gazul de sinteză a cuprins plaja $2900\text{ kJ/m}^3_N - 3000\text{ kJ/m}^3_N$.

3.3. Stabilirea procedurilor de testare și comparare a arderii hidrogenului în jeturi de aer concentrice față de arderea metanului.

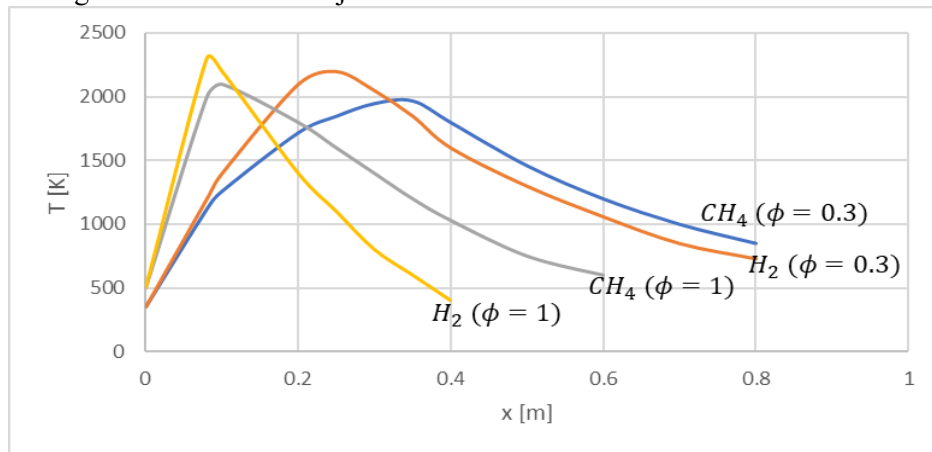
Un combustibil gazos poate fi ars prin două tehnologii fundamentale: 1) combustie pre-amestec combustibil gazos cu aer, respectiv *ardere cinetică*; 2) combustie cu jeturi separate combustibil gazos-aer, sau *ardere difuzivă*. Hidrogenul prin caracteristicile sale fizico-chimice și energetice reprezintă un combustibil gazos dificil de ars în ambele tehnologii. Cercetările actuale privind arderea metanului mixat cu hidrogen, în proporție de până la 15% în cele mai multe cazuri, nu a avut probleme asupra combustiei în general. Mărirea procentului de hidrogen, până la $H_2=100\%$, va conduce la agrearea combustiei cu jeturi separate aer-combustibil, dar și pentru această tehnologie sunt încă multe răspunsuri de aflat.

Pentru studiu prin modelarea numerică s-a utilizat programul ANSYS-FLUENT V.14.0. Discretizarea a permis abordarea proprietăților gazo-dinamice pentru specificul unei curgeri cuplată cu combustia.

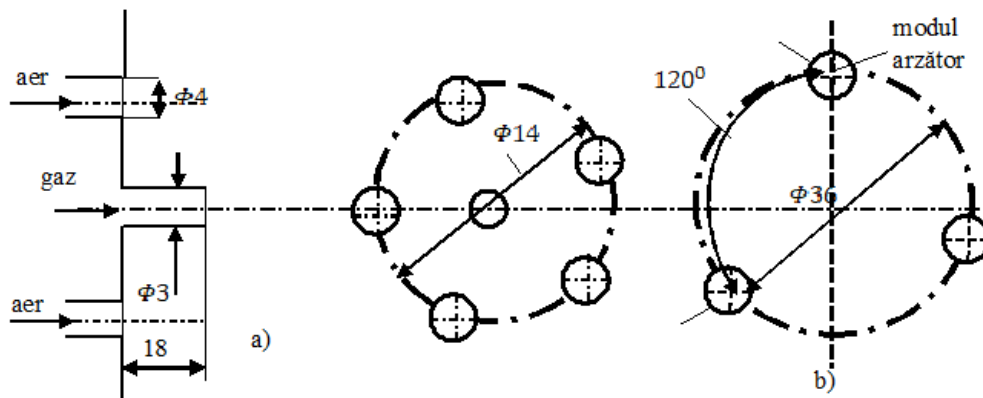
La fixarea vitezei în ambrazură pentru combustibil s-a admis pentru CH_4 valoarea de 30 m/s, valoare dominantă în construcția și funcționarea arzătorului pentru acest combustibil în regim turbulent de curgere. Cum pentru H_2 viteza turbulentă de ardere este de circa 4÷7 ori mai ridicată decât pentru CH_4 , s-a considerat o viteză de ambrazură de 120 m/s.

Profilul axial al temperaturilor raportate funcție de distanța relativă, în care Φ reprezintă raportul dintre

viteza aerului și cea a gazului este redat mai jos.

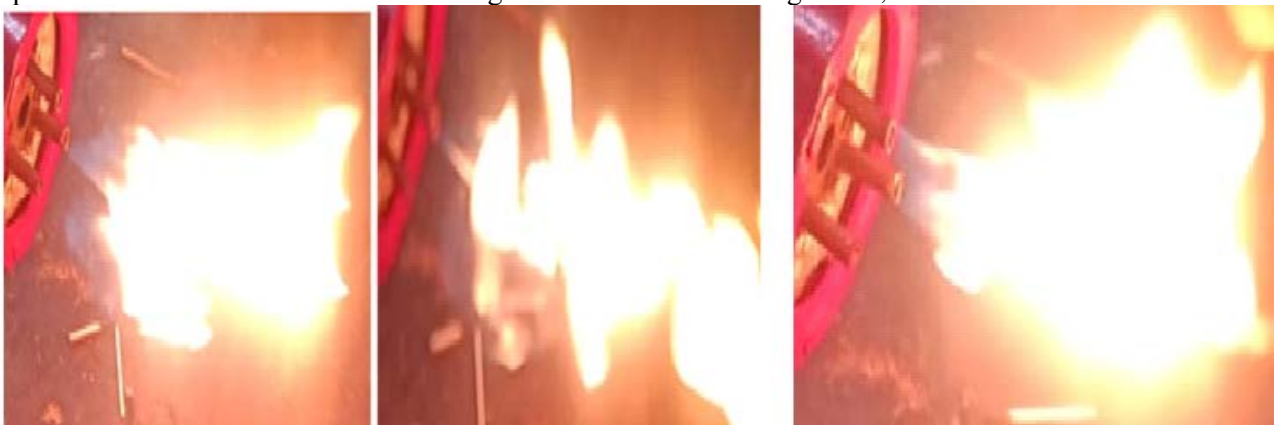


Arzătorul are un raport al suprafeței de admisie a aerului față de cea a combustibilului gazos de 8,8, permițând viteze adecvate pentru aerul periferic. Mai jos este redată schema constructivă a arzătorului difuziv pilot: a) schema constructivă a unui model de arzător; b) amplasarea modulelor la ambrazura arzătorului.



Arzătorul a fost conceput pentru a asigura o putere de 25 kW, pentru oricare din combustibilul gazos utilizat. Arzătorul pilot dezvoltat poate funcționa cu toți combustibilii prezentați, prin utilizarea aerului de la 1 la 5 din canalele de admisie, pentru realizarea unei corespondențe debit-viteză de curgere-viteză de ardere.

Determinările experimentale preliminare sunt prezentate în figurile de mai jos. În stânga și centru sunt redată aspectul flăcării la arderea amestecului de propan cu butan, $0.3C_3H_8+0.7C_5H_{12}$, iar în partea dreaptă aspectul flăcării în cazul introducerii hidrogenului în hidrocarburile gazoase, $0.3C_3H_8+0.65C_5H_{12}+0.05H_2$.



3.4. Definierea procedurilor de comparare și testare a alimentării cu hidrogen pentru a reduce emisiile de CO₂ la motoarele cu ardere internă.

Adoptarea programului *Green deal* de Comisia Europeană impune legiferarea unor normative severe privind emisiile poluante ale motoarelor cu ardere internă.

Metoda utilizării hidrogenului drept combustibil unic. Utilizarea hidrogenului drept combustibil unic la motoarele diesel implică soluții de alimentare specifice pentru realizarea ușoară a autoaprinderii mărirea

raportului de comprimare a motorului în vederea creșterii temperaturii gazelor în momentul începerii injecției de hidrogen. Soluția are ca dezavantaj creșterea temperaturii maxime a arderii, a presiunii maxime din cilindri și implicit creșterea solicitărilor termo-mecanice ale motorului.

Metoda utilizării hidrogenului drept combustibil de adaos. Cifra cetanică extrem de scăzută a hidrogenului și temperatura ridicată de autoaprindere definesc hidrogenul un combustibil cu proprietăți de autoaprindere slabe. Alimentarea eficientă cu hidrogen a motorului cu aprindere prin comprimare, sau motorului cu aprindere prin scânteie poate fi obținută când el este utilizat drept combustibil de adaos, metoda de alimentare diesel- gaz fiind cea recomandată. Motorul cu aprindere prin comprimare sau motorul cu aprindere prin scânteie își păstrează sistemul lor de alimentare cu motorină sau benzină.

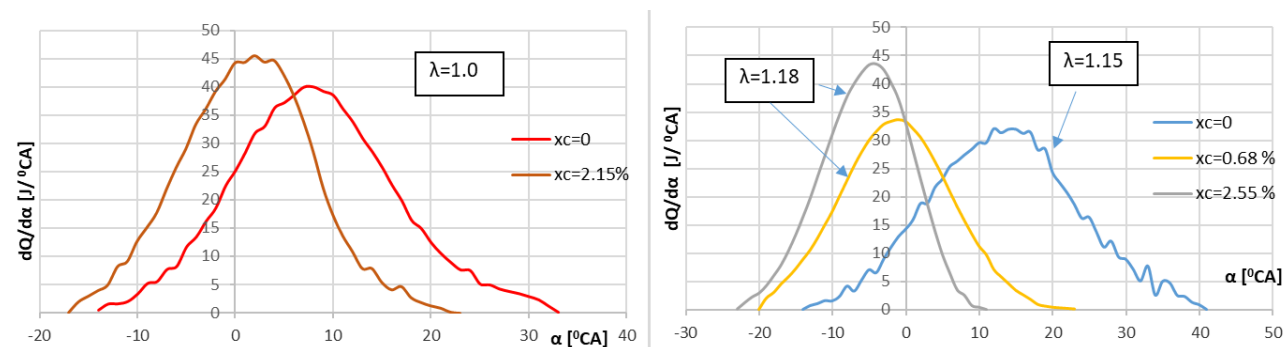
Investigații experimentale ale motorului cu aprindere prin scânteie alimentat cu hidrogen. Pe standul de încercări motoare a fost montat un motor cu aprindere prin scânteie tip A15MF-1,5 DOHC Nubira cu următoarele caracteristici,

Număr de cilindri și dispunerea lor	4 în linie
Număr de timpi	4
Cilindree totală [cm ³]	1498
Raport de comprimare [-]	9.5
Număr supape pe cilindru	4
Alezaj [mm]	76.5
Cursă [mm]	81.5
Putere maximă [kW]/ turația de putere maximă [rot/min]	63/4800
Moment motor maxim [Nm]/ turație de moment maxim [rot/min]	137/3400
Sistem de alimentare	sistem de injecție multipunct

Motorul își păstrează sistemul său de alimentare cu benzină. Pentru utilizarea hidrogenului, motorul a fost echipat cu o instalație de alimentare alcătuită din 4 injectoare care asigură injecția de hidrogen în poarta supapelor de admisie cu debite riguros controlate în funcție de regimul de funcționare, dozaj etc.

Standul este echipat cu termorezistențe cu fir de platină, PT 100 pentru măsurarea temperaturilor aerului din colectorul de admisie, a uleiului și a apei de răcire. Temperatura gazelor de ardere a fost măsurată cu ajutorul unei termocuplu Cromel-Alumel montată pe traseul de evacuare. Temperaturile au fost înregistrate cu indicatoare digitale tip Shimaden SR 93 conectate cu termorezistențele și termocuplu utilizat.

Rezultate ale investigațiilor experimentale. În figurile de mai jos sunt prezentate caracteristicile de degajare a căldurii ale motorului investigat alimentat cu benzină ($x_c=0$) și benzină cu hidrogen în adaos ($x_c=0.68, 2.15$ și 2.55) la dozae diferite: dozaj teoretic ($\lambda=1.0$) și dozaj sărac ($\lambda=1.18$).



Investigații experimentale ale motorului cu aprindere prin comprimare alimentat cu hidrogen. Pe standul de încercări motoare din laborator a fost montat un motor cu aprindere prin comprimare tip D2156 MTN8 cu următoarele caracteristici,

Număr de cilindri	6 în linie
Raport comprimare	17.5
Cursă piston	150 mm
Alezaj	121 mm
Putere/ Turația de putere maximă	188 kW/2100 rpm
Moment motor maxim/ Turația de cuplu maxim	890 Nm/1450 rpm
Presiune de injecție	17.5 MPa
Presiune supraalimentare	0.18 MPa

Motorul își păstrează sistemul său de alimentare cu motorină. Metoda de alimentare cu hidrogen utilizată este diesel-gaz, hidrogenul fiind injectat în colectorul de admisie.

3.5. Dezvoltarea procedurilor de evaluare economică a soluțiilor adoptate pentru neutralitatea climatică.

Realitățile climatice din ultimele decenii s-au făcut resimțite pretutindeni în lume, inclusiv la nivelul României. Identificarea de soluții pertinente și eficiente pentru adaptarea la provocările viitorului este vitală la nivel european în perspectiva atingerii obiectivului de neutralitate climatică până în 2050. Atributele cel mai frecvent utilizate care se folosesc în evaluarea soluțiilor sunt: valoarea modelului, beneficiile aduse de respectivul model (studiate în legătură cu costurile implicate și uneori cu riscurile) și performanțele lui.

Criteriile folosite pentru clasificare și tipuri de evaluare sunt:

Criteria	Tipul evaluării
Scop	• sumativă • formativă
Mod de măsurare a atributelor	• cantitativă • calitativă
Tipul datelor considerate	• în termeni absoluți • în termeni relativi
Modul de exprimare a datelor	• determinist • stocastic
Metode folosite	• costuri • analiza cost/beneficiu • determinarea beneficiilor intangibile
Tipul implicațiilor	• nivelul tehnic • evaluarea de către utilizatori a soluțiilor adoptate pentru neutralitatea climatică
Tipuri de impact	• costuri de înlocuire • valoare adăugată • evaluarea procesului
Frecvența evaluărilor	• singulare • periodice • continue
Altele	• benchmarking • evaluarea intruzivă

Evaluarea este foarte importantă nu numai atunci când sistemul este deja în funcțiune, ci și atunci când acesta este în curs de proiectare. Noile sisteme propuse trebuie evaluate, de asemenea și prototipurile de sistem și încercările de implementare, pentru ca procesul de proiectare a noilor sisteme să fie realizat plecând de la necesitățile utilizatorului. De regulă trebuie să existe date despre situația înainte de introducerea soluțiilor adoptate pentru neutralitatea climatică, pentru a putea evalua situația actuală.

Se consideră că o soluție pentru neutralitatea climatică este eficientă dacă utilizează un volum minim de resurse pentru atingerea scopului propus. Pentru a obține și adopta o soluție pentru neutralitatea climatică eficientă este necesar ca resursele consumate să fie gestionate cât mai bine, astfel încât cheltuielile să fie minime.

Factorii care influențează costurile, respectiv numărul de echivalent normă întreagă, sunt:

- ✓ Coeficientul de complexitate a domeniului (Kc).
- ✓ Coeficientul de distribuție geografică a domeniului (Kd).
- ✓ Coeficientul de integrare a activităților în domeniului (Ki).
- ✓ Coeficientul de generalizare al modelului pentru cât mai multe soluții adoptate pentru neutralitatea climatică (Kg).
- ✓ Coeficientul de precizare corectă a cerințelor de către utilizator (Kp).
- ✓ Norma de muncă pentru o activitate din cadrul unui domeniu (Nm).
- ✓ Timpul necesar pentru alte activități neprevăzute la analiză (Tn).

Ținând cont de acești factori, normarea activității incluse în cea de analiză (Na) va fi:

$$Na = Kc * Kd * Ki * Kg * Kp * Nm + Tn$$

Consumul de ore pentru activitățile de proiectare este influențată de următorii factori:

- Coeficientul de complexitate al soluției adoptate (Kcs).
- Timpul mediu necesar proiectării unei soluții (Tps).
- Numărul soluțiilor (C).
- Timpul mediu necesar pentru proiectarea unei funcții a soluției (Tps).
- Numărul funcțiilor soluției (F).
- Timpul mediu pentru proiectarea unui raport / video format (Tpr).
- Numărul de rapoarte și video formate din aplicație (R).
- Timpul mediu necesar pentru proiectarea unei proceduri (model) (Tpp).
- Numărul de proceduri (modele) din aplicație (M).
- Timpul necesar pentru alte activități neprevăzute la proiectare (Tpn).

Ținând cont de factorii de mai sus, norma pentru activitatea de proiectare (Np) va fi:

$$N_p = K_{cs} * (T_{ps} * C + T_{ps} * F + T_{pr} * R + T_{pp} * M) + T_{pn}$$

Normarea activității de elaborare a soluțiilor este influențată de următorii factori:

- Numărul de proceduri ale soluției (Nps).
- Timpul necesar pentru codificarea unei proceduri (T_{cp}).
- Coeficientul de complexitate a procedurilor (C_{ep}).
- Coeficientul de complexitate a datelor (C_{cd}).
- Coeficientul de generalizare al procedurii (C_{gp}).
- Timpul mediu necesar pentru o testare a unei proceduri (T_{tp}).
- Numărul mediu de testări pentru o procedură (N_{tp}).
- Timpul necesar pentru alte activități neprevăzute la proiectare (T_{an})

Ținând cont de factorii de mai sus, norma pentru activitatea de elaborarea procedurilor (N_{pr}) se va calcula separat pentru cei implicați în această activitate. De obicei, această normă se calculează pentru una dintre cele categorii și apoi se ponderează pentru categorie. Formula de calcul este:

$$N_{pr} = N_{ps} * (T_{cp} * C_{ep} * C_{cd} * C_{gp} + T_{tp} * N_{tp}) + T_{an}$$

Normarea activității de implementare se face ca o sumă de indicatori de timp, ponderată cu indicatori de complexitate și integrare, respectiv:

- Coeficientul de complexitate a soluției (C_{cs}).
- Coeficientul de integrare a soluției în sistem (C_{is}).
- Timpul necesar instruirii utilizatorilor (T_{iu}).
- Timpul necesar testării cu date reale (T_{td}).
- Timpul de încărcare a bazei de date (T_{ibd}).
- Timpul de culegere a datelor (T_{cd}).
- Timpul necesar pentru alte activități neprevăzute la implementare (T_{ai}).

Ținând cont de indicatorii de mai sus, norma pentru activitatea de implementare, va fi:

$$(N_i) \text{ va fi: } N_i = C_{cs} * C_{is} * (T_{iu} + T_{td} + T_{ibd}) + T_{cd} + T_{ai}$$

Criteriile de evaluare și selecție aplicabile modelelor prezentate au avut în vedere următoarele criterii:

- ❖ Contribuția modelului la realizarea obiectivului propus;
- ❖ Rentabilitatea financiară; Viabilitatea modelului și calitatea planului de afaceri;
- ❖ Contribuția modelului la obiectivele de mediu.

3.6. Management. Diseminare și comunicare. Coordonarea echipei de cercetare, îndrumare cercetători postdoctorali, pregătire doctoranzi, diseminare rezultate.

Coordonarea echipei a fost foarte utilă și rezultatele obținute au fost foarte bune. Diseminarea rezultatelor a fost foarte amplă.

Elaborarea modelelor experimentale și procedurilor de testare. Au fost elaborate:

1. Proceduri de testare și verificare a modelului experimental de utilizare a hidrogenului în vederea reducerii emisiei de CO₂.
2. Proceduri de testare și verificare a modelului experimental de reducere a emisiilor de CO₂ din gazele de ardere prin gazeificare.
3. Proceduri de comparare și testare a alimentării cu hidrogen pentru a reduce emisiile de CO₂ la motoarele cu ardere internă.
4. Proceduri de evaluare economică a soluțiilor pentru neutralitatea climatică

Articole științifice publicate: 20. Lucrări publicate în reviste Q1 și Q2: 6. Lucrări cu autori străini: 3;

Prelegeri la universități de prestigiu: 1; Workshop: 2; Prezentări în plen: 2; Cerere brevet: 1; Capitol de cărți: 1. Pagina web proiectului este reactualizată la www.climateneutrality.upb.ro.

- **Prezentarea rezultatelor obținute, a indicatorilor de rezultat realizați; a nerealizărilor înregistrate față de rezultatele estimate prin cererea de finanțare (dacă este cazul), cu justificarea acestora.**

Rezultatele proiectului privind soluțiile pentru neutralitatea climatică sunt importante și beneficiază mediile sociale, economice și culturale naționale și europene, prin obținerea unei atmosfere curate, favorabile dezvoltării. Indicatorii de rezultat sunt cei specifici pentru Programul „Cercetare fundamentală și de frontieră” și asumați prin propunerea de proiect.

Lucrări publicate în reviste Q1 și Q2 cu FI > 1 Număr propus: 9 REALIZAT: 10

1. STOICA D., MIHĂESCU L., LAZAROIU G., LAZAROIU G. C., **THE TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF INTEGRATING ENERGY SECTORS FOR CLIMATE NEUTRALITY**, Sustainability, ISSN: 2071-1050, **2024**, 16, 8070. Open Acces, <https://doi.org/10.3390/su16188070>, IF: 3.3, **Q2**.
2. STOICA D., MIHĂESCU L., LAZAROIU G., LAZAROIU G. C., **GREEN HYDROGEN, A SOLUTION FOR REPLACING FOSSIL FUELS TO REDUCE CO2 EMISSIONS**, Processes, eISSN: 2227-9717, **2024**, 12(8), 1651, <https://doi.org/10.3390/pr12081651>, IF:3.5, **Q2**.
3. Rotaru S, PANA C, Negurescu N, CERNAT AI, Nutu C, Fuiiorescu D, LAZAROIU G, **CNG IMPACT ON COMBUSTION QUALITY OF A DIESEL ENGINE FUELED IN DIESEL-GAS MODE**, Heliyon, eISSN: 2405-8440, **2024**, 9.3, e13889, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13889>, Open Acces, IF:4, **Q2**.
4. LAZAROIU G., MIHAESCU L., GRIGORIU R. M., NEGREANU G. P., STOICA D., **POSSIBILITIES OF CLIMATE CONTROL OF POULTRY COMPLEXES THROUGH CO-COMBUSTION OF POULTRY WASTE-SOLID BIOMASS FOR AGRICULTURE IN ROMANIA**, Agriculture, eISSN: 2077-0472, **2024** 14(3), 428, <https://doi.org/10.3390/agriculture14030428>, OpeAcces, IF:3.6, **Q1**.
5. STOICA D., MIHĂESCU L., LAZAROIU G., LAZAROIU G. C., **THE STORAGE PROCESS OF ELECTRIC ENERGY PRODUCED FROM RENEWABLE SOURCES FROM HYDROGEN TO DOMESTIC HOT WATER HEATING**, Processes, eISSN: 2227-9717, **2024**, 12(5), 1024, <https://doi.org/10.3390/pr12051024>, IF:3.5, **Q2**.
6. LAZAROIU A. C., GMAL OSMAN M., STREJOIU C. V., LAZAROIU, G., **A COMPREHENSIVE OVERVIEW OF PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGIES AND THEIR EFFICIENCY FOR CLIMATE NEUTRALITY**, Sustainability, ISSN: 2071-1050, **2023**, 15(23), 16297, doi.org/10.3390/su152316297, Open Access, IF:3.9, **Q2**.
7. Sandu C., PANA C., Negurescu N., LAZAROIU G., CERNAT A., Georgescu R., Nutu C., **THE INFLUENCE OF N-BUTANOL ADDITION IN GASOLINE ON THE COMBUSTION IN THE SPARK IGNITION ENGINE**, Sustainability, ISSN: 2071-1050, **2023**, 15 (18), 14009, doi.org/10.3390/su151814009, Open Access, IF:3.9, **Q2**.
8. Dorel S., Gmal Osman M., Strejoiu C. V., LAZAROIU G., **EXPLORING OPTIMAL CHARGING STRATEGIES FOR OFF-GRID SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: A COMPARATIVE STUDY ON BATTERY STORAGE TECHNIQUES**, Batteries-Basel, ISSN: 2313-0105, **2023**, 9 (9), 470, doi.org/10.3390/batteries9090470, Open Access, IF:4.0, **Q2**.
9. LAZAROIU G., Gmal Osman M., Strejoiu C. V., **PERFORMANCE EVALUATION OF RENEWABLE ENERGY SYSTEMS: PHOTOVOLTAIC, WIND TURBINE, BATTERY BANK, AND HYDROGEN STORAGE**, Batteries-Basel, ISSN: 2313-0105, **2023**, 9 (9), 468, doi.org/10.3390/batteries9090468, Open Access, IF:4.0, **Q2**.
10. CERNAT AI, PANA C, Negurescu N, Nutu C, Fuiiorescu D, LAZAROIU G, **ASPECTS OF AN EXPERIMENTAL STUDY OF HYDROGEN USE AT AUTOMOTIVE DIESEL ENGINE**, Heliyon, eISSN: 2405-8440, **2023**, 9.3, e13889, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13889>, Open Acces, IF:4, **Q2**.

Lucrări științifice publicate în reviste indexate in baze de date internaționale REALIZAT: 7

1. MIHAESCU L., LAZAROIU G., NEGREANU G-P., Jarcu E-A, Stoica D., **ASPECTE ALE UTILIZRII HIDROGENULUI IN INCALZIRERA REZIDENTIALA**, Revista Energetica, ISSN: 1453-2360, anul 71, nr.12, 2023, pag 876-883, Index Copernicus.
2. Moise IM, PISA I, NEGREANU G-P., **ANALIZA COMPORTARII CICLULUI COMBINAT GAZ-ABUR LA FUNCTIONAREA CU AMESTEC GAZ NATURAL-HIDROGEN**, Revista Energetica, ISSN: 1453-2360, anul 71, nr.12, 2023, pag 884-893. Index Copernicus
3. Niculescu A., MIHAESCU L., PISA I, Ana G., Bulubasa G., **DEZVOLTAREA UNEI INSTALATII EXPERIMENTALE PENTRU STUDIUL ARDERII AMESTECURILOR DE HIDROGEN SI METAN**, Revista Energetica, ISSN: 1453-2360, anul 71, nr.12, 2023, pag 894-898. Index Copernicus.
4. SIMION I., LAZAROIU G., GRIGORIU R.M., **THE HYDROGEN - CARBON DIOXIDE BINOMIAL, A POSSIBLE NEW ENERGY VECTOR**, University POLITEHNICA of Bucharest Scientific Bulletin, Series B Chemistry and Materials Science, ISSN: 1454-2331, **2023**, Vol. 85 (3), pag. 73-83. IF: 0.5, Q3.
5. Gmal Osman M., CIUPAGEANU D., Stan A., **ANALYSIS OF SOLAR RADIATION IN SUDAN AND OPTIMAL LOCATION OF PHOTOVOLTAIC PANELS**, University POLITEHNICA of Bucharest Scientific Bulletin Series C-Electrical Engineering and Computer Science, ISSN: 2286-3540, eISSN: 2286-3559, **2022**, Volume 84, Issue 4, Pages 10-17, IF:0.5, Q4.
6. GRIGORIU R-M., LAZAROIU G., SIMION, I., **COMBUSTION OF POULTRY MANURE WITH SOLID BIOMASS – AN ALTERNATIVE FOR ENVIROMENTAL PROTECTION AND LOCAL ENERGY**

PRODUCTION, UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering, ISSN: 14542358, 2022, Volume 84, Issue 3, Pages 155-174.

7. Sandu Cr., PANA C., Negurescu N., CERNAT Al., Fuiiorescu D., Georgescu R., Nutu C, **THE STUDY OF THE SPARK IGNITION ENGINE PERFORMANCE AT FUELING WITH N-BUTANOL-GASOLINE MIXTURE**, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, volume 1262 (2022) no. 012073, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1262/1/012073>, pp.1-12, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1262/1/012073/meta>.

Brevet (sau cereri de brevet) Naționale Număr propus: 2 REALIZAT: 2

1. LAZAROIU G., PISA I., Ștefănescu A.E., NEGREANU G.P., MIHAESCU L., Stoica D., **INSTALATIE DE CAPTARE CO2 DIN GAZELE DE ARDERE PRIN TEHNOLOGIA GAZEIFICARII CU PAT FIX DE MANGAL**, Cerere de Brevet de invenție nr. A / 00199 din 22 APR 2024.
2. LAZAROIU G., PISA I., Ștefănescu A.E., NEGREANU G.P., MIHAESCU L., Stoica D., **MODUL DE ARZATOR CH4 / H2 PENTRU INSTALATIILE REZIDENTIALE DINTR-UN SMART CITY, OSIM**, Cerere de Brevet de invenție nr. A / 00239 din 16 May 2023.

Participări la conferințe Număr propus: 20 REALIZAT: 31

1. Georgescu R., PANA C., Negurescu N., CERNAT A., Nutu C., Panait A., **ANALYSIS OF THE COMBUSTION AT THE USE OF LOW DOSES OF HYDROGEN IN THE AUTOMOTIVE SPARK IGNITION ENGINE**, Conferinta Internationala EAEC CONAT 2024, The International Congress of Automotive and Transport Engineering, November 6-8, 2024, Brasov, Romania.
2. VATUIU T., Iana T., **IMPROVING THE RELATIONSHIP OF TAXPAYERS WITH TAX AUTHORITIES THROUGH THE DIGITALIZATION OF PUBLIC SERVICES**, <https://www.utm.ro/conferinta-imas-2024/>, INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY ACADEMIC STUDIES CONFERENCE (IMAS 2024) (2nd EDITION) Conference theme: Challenges of the 21st century from legal, economic and medical perspective Târgu Jiu, 10 May 2024
3. VATUIU T., Iana T., **EUROPE'S DIGITAL TRANSITION AND THE EUROPEAN GREEN DEAL - CHALLENGES OF THE DIGITAL DECADE**, Conferinta Internationala "EDUCATIE SI CREATIVITATE PENTRU O SOCIETATE BAZATA PE CUNOASTERE", Editia a XVIII-a, 21 - 23 noiembrie 2024, Tg-Jiu, Romania.
4. MIHAESCU L., LAZAROIU G., GRIGORIU R-M., Stoica D., Mohammed Gmal Osman, **APPLICATION OF GASIFICATION TECHNOLOGY TO CAPTURE CO2 FROM COMBUSTION GASES**, The 2024 IEEE Conference on Advanced Topics on Measurement and Simulation (ATOMS), 28-30 August 2024, Constanta Maritime University, Cuartului2, Constanta, Romania.
5. Mohammed Gmal Osman, Strejoiu C-V., Panait C., LAZAROIU G., Stoica D., **OPTIMAL POWER SYSTEM DESIGN FOR OFF-GRID RESIDENCES IN DOBROGEA, ROMANIA: INTEGRATING RENEWABLE ENERGY AND GENERATOR TECHNOLOGY**, The 2024 IEEE Conference on Advanced Topics on Measurement and Simulation (ATOMS), 28-30 August 2024, Constanta Maritime University, Cuartului2, Constanta, Romania.
6. Strejoiu C-V., Mohammed Gmal Osman, Panait C., LAZAROIU G., Stoica D., **OPTIMIZING SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: A GEOMETRIC APPROACH TO ENHANCE ENERGY PRODUCTION AND ECONOMIC VIABILITY**, The 2024 IEEE Conference on Advanced Topics on Measurement and Simulation (ATOMS), 28-30 August 2024, Constanta Maritime University, Cuartului2, Constanta, Romania.
7. NEGREANU G. P., LAZAROIU G., MIHAESCU L., PISA I., **ANALYSIS MODEL FOR CO 2 EMISSIONS OF ROMANIAN POWER PLANTS FUELED WITH NATURAL GAS, 2024**, 9th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), 27-29 June 2024, Ruse, Bulgaria, ISBN: 979-8-3503-6938-0/24/\$31.00, DOI: 10.1109/EEAE60309.2024.10600568, (pp. 1-4), IEEE Xplore: 23 July 2024.
8. MIHAESCU L., PISA I., NEGREANU G.P., LAZAROIU G., GRIGORIU R-M., Stoica D., **VEGETABLE BIOMASS – SOURCE OF GREEN HYDROGEN PRODUCTION THROUGH GASIFICATION, 2024**, 9th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), 27-29 June 2024, Ruse, Bulgaria, ISBN: 979-8-3503-6938-0/24/\$31.00, DOI: 10.1109/EEAE60309.2024.10600631, (pp. 1-6), IEEE Xplore: 23 July 2024.
9. STREJOIU C-V., Gamal Osman M., LAZAROIU G., Stoica D., Panait C., **EFFICIENCY EVALUATION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF A PHOTOVOLTAIC PARK CONNECTED TO A 20 KV DISTRIBUTION NETWORK IN GALATI COUNTY, ROMANIA, 2024**, 9th International Conference on

- Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), 27-29 June 2024, Ruse, Bulgaria, ISBN: 979-8-3503-6938-0/24/\$31.00, DOI: 10.1109/EEAE60309.2024.10600539, (pp. 1-5), IEEE Xplore: 23 July 2024.
10. Gamal Osman M., STREJOIU C-V., Panait C., Lazaroiu A.C., LAZAROIU G., ***MICROGRID MODEL FOR EVALUATING THE OPERATIONAL DYNAMICS OF SOLAR-POWERED HYDROGEN PRODUCTION, 2024***, 9th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), 27-29 June 2024, Ruse, Bulgaria, ISBN: 979-8-3503-6938-0/24/\$31.00, DOI: 10.1109/EEAE60309.2024.10600539, (pp. 1-6), IEEE Xplore: 23 July 2024.
 11. VATUIU T., ***COMPUTERIZED DECISION ASSISTANCE FOR THE MANAGEMENT OF RENEWABLE RESOURCES IN THE CURRENT CONTEXT OF DIGITALIZATION AND THE IMPLEMENTATION OF THE NATIONAL HYDROGEN STRATEGY***, The 1st IMAS International Conference On Multidisciplinary Academic Studies Proceeding Book, e-ISBN: 978-605-72229-9-2, pag 149-160, Publisher Kúrat ÇAPRAZ, InTraders Academic Platform Sakarya, Turkey, www.intraders.org, 13 May 2023, Târgu Jiu, Romania, <https://www.utm.ro/conferinta-imas-2023>.
 12. MIHAESCU L., Stanciu D., LAZAROIU G., Jarcu E.A., GRIGORIU R.M., ***COMPARATIVE ANALYSIS FOR COMBUSTION CH4 AND H2 FOR COAXIAL JET BURNERS (DIFFUSE COMBUSTION)***, International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM; Albena, Bulgaria, 2023, Vol. 23, 4.1, pag. 27-33, doi:10.5593/sgem2023/4.1/s17.04.
 13. LAZAROIU G., MIHAESCU L., Jarcu E.A., GRIGORIU R.M., ***CONCEPTUAL ANALYSIS ON THE USE OF HYDROGEN TO REDUCE CO2 EMISSIONS FROM FLUE GASES***, International Multidisciplinary Scientific GeoConference : SGEM; ; Albena, Bulgaria, 2023, Vol. 23, 4.1, pag. 43-50, DOI:10.5593/sgem2023/4.1/s17.06.
 14. LAZAROIU G., MIHAESCU L., NEGREANU G., GRIGORIU R. M., SIMION I., ***AN ANALYSIS OF THE ECONOMIC PRODUCTION AND USE OF GREEN HYDROGEN***, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, XXIIIrd National Conference on Thermodynamics with International Participation, September 2023, Vol. 1290, No. 1, pag. 1-8, doi:10.1088/1757-899X/1290/1/012015.
 15. Lazaroiu A. C., Popescu M. O., Popescu C. L., Alexandru M., Popa L. B., LAZAROIU G., *Roscia Mariacristina*, Panait, C., ***ANALYSIS OF THE OPERATION OF A UNIVERSITY CAMPUS USING RENEWABLE ENERGY SOURCES, HYDROGEN GENERATOR AND FUEL CELLS***, 13th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucharest, Romania, 2023, March, pp. 1-5. IEEE, doi: 10.1109/ATEE58038.2023.10108225.
 16. MIHAESCU L., Stoica, D., LAZAROIU G., Jarcu E.A., ***STAGES OF HYDROGEN IMPLEMENTATION FOR A GREEN CITY OF THE FUTURE***, IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), ISSN: 2687-8860, ISBN: 979-8-3503-9775-8, 24-27 september 2023, Bucharest, Romania, pp. 1-4, doi: 10.1109/ISC257844.2023.10293636.
 17. STREJOIU C. V., OSMAN M. G., LAZAROIU, G., ***ANALYZING ENERGY CONSUMPTION AND HOT WATER USAGE IN THE TITAN NEIGHBORHOOD OF BUCHAREST: IMPLICATIONS FOR SMART CITY DEVELOPMENT, 2023***, SEPTEMBE, 2023 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2) (pp. 1-6). IEEE.
 18. Georgescu R., PANA C., Negurescu N., CERNAT A., Nutu C., Sandu C., ***THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE USE OF HYDROGEN IN THE AUTOMOTIVE SPARK IGNITION ENGINE***, XXIIIrd National Conference on Thermodynamics with International Participation, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 13-15 may 2023, ISSN: 1757-899X, 1290 (2023) 012010, IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/1290/1/012010.
 19. MIHAESCU L., LAZAROIU G., *Desideri, U.*, NEGREANU G., PISA I., GRIGORIU R.M., ***CO2 ENERGY VECTOR IN THE CONCEPT OF CIRCULAR ENERGY***, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, XXIIIrd National Conference on Thermodynamics with International Participation, September 2023, Vol. 1290, No. 1, pag. 1-8, doi:10.1088/1757-899X/1290/1/012014.
 20. LAZAROIU G., MIHAESCU L., Balcu I., Oprea I., GRIGORIU R. M., NEGREANU G. P., Jarcu E.A., ***PARTICULARITIES OF FLUE GASES FROM ENERGY INSTALLATIONS ON THE PROCESS OF CONTINUOUS FLOW CAPTURE FOR CO2 BY DIRECT METHANATION***, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023, Vol. 1128, No. 1, p. 012016, doi:10.1088/1755-1315/1128/1/012016.
 21. LAZAROIU G., MIHAESCU L., GRIGORIU (Tilici) R.M., SIMION I., NEGREANU G.P., ***THE CONSUMPTION OF BIOMASS AND POULTRY MANURE FOR HEATING A HALL MODULE CONSIDERING ROMANIA'S CLIMATE***, 11th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development, TERERD 2023, 08-10 June 2023, Bucharest, Romania. Prezentare orală.
 22. LAZAROIU G., MIHAESCU L., SIMION I., GRIGORIU (Tilici) R.M., ***THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS ON THE GASIFICATION OF AGRICULTURAL BIOMASS WITH A***

- PILOT PLANT**, 11th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development, TERERD **2023**, 08-10 June 2023, Bucharest, Romania. Prezentare orală.
23. Maravela G.L., VATUIU T., **ENERGY OF RURAL SPACES – TECHNICAL, ECONOMIC AND SOCIAL ANALYSIS OF RENEWABLE ENERGY IN ISOLATED COMMUNITIES**, 11th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development, TERERD **2023**, 08-10 June 2023, Bucharest, Romania. Prezentare orală.
 24. LAZAROIU G, PISA I, MIHAESCU L, GRIGORIU R-M, **REDUCTION OF CARBON DIOXIDE FROM COMBUSTION GASES BY METHANIZATION**, MEDPOWER 2022, The 13th Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion, 07-09 November **2022**, 1 Valletta, Malta.
 25. LAZAROIU G, MIHAESCU L, NEGREANU G-P, PISA I, GRIGORIU R-M, Jarcu EA, **BENEFITS OF HYDROGEN-RICH GAS (HRG) ON BIOMASS COMBUSTION PERFORMANCES**, ICAMS 2022 – 9th International Conference on Advanced Materials and Systems, 26-28 October **2022**, Bucharest, Romania.
 26. LAZAROIU G, MIHAESCU L, Balcu I, Oprea I, GRIGORIU R-M, NEGREANU G-P, Jarcu EA, **PARTICULARITIES OF FLUE GASES FROM ENERGY INSTALLATIONS ON THE PROCESS OF CONTINUOUS FLOW CAPTURE FOR CO2 BY DIRECT METHANATION**, 27th POWER ENGINEERING AND POWER MACHINES CONFERENCE - PEPM 2022, IOP Conference Series "Earth and Environmental Science"; ISSN: 1755-1307, 16-20 September **2022**, Sozopol, Bulgaria.
 27. Gmal Osman M, CIUPAGENAU D-A, LAZAROIU G, PISA I, **INCREASING RENEWABLE ENERGY PARTICIPATION IN SUDAN, 2022** 11th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), ISBN: 978-1-6654-7140-4/22/, IEEE, DOI: 10.1109/ICRERA55966.2022.9922827, September 18-21, **2022**, Istanbul, TURKEY.
 28. Sandu CC, PANA C, Negurescu N, CERNAT AI, Nuțu C, Georgescu R, **THE STUDY ON THE ENGINE PRESSURE VARIATION OF UTILIZING N-BUTANOL-GASOLINE BLENDS AT FUELLING SPARK IGNITION ENGINES**, Section 1 Advanced Powertrain and Propulsion, lucrare prezentata la conferința internațională The 17th European Automotive Congress, The 32nd SIAR International Congress of Automotive and Transport Engineering, 26-28 October **2022**, Timișoara, Romania, http://www.siarcongress.eu/public/conferences/4/schedConfs/4/program-en_US.pdf.
 29. Georgescu R, PANA C, Negurescu N, CERNAT AI, Nuțu C, Sandu CC, **A STUDY ON THE INFLUENCE OF UTILIZING HYDROGEN AT FUELLING SPARK IGNITION ENGINES**, Section 1 Advanced Powertrain and Propulsion, lucrare prezentata la conferința internațională The 17th European Automotive Congress, The 32nd SIAR International Congress of Automotive and Transport Engineering, 26-28 October **2022**, Timișoara, Romania, http://www.siarcongress.eu/public/conferences/4/schedConfs/4/program-en_US.pdf.
 30. CERNAT AI, PANA C, Negurescu N, Nutu C, Fuiorescu D, LAZAROIU G, **ASPECTS OF AN EXPERIMENTAL STUDY OF HYDROGEN USE AT AUTOMOTIVE DIESEL ENGINE**, Proceedings of SEEP2022, 12-15 September **2022**, Brunel University London-UK, oral.
 31. MIHAESCU L., LAZAROIU G., GRIGORIU R. M., Stanescu, L., Dragne, M., NEGREANU G. P., Panait, C. (2022, June). **AN ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF FLUE GASES ENERGY POTENTIAL CONVERSION THROUGH METHANATION, 2022**, 8th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE) (pp. 1-5). IEEE.

Capitol de cărți Număr propus: 0 REALIZAT: 1

1. Cernat, A., Pana, C., Negurescu, N., Nutu, C., LazaroIU, G. (2024). **AN OVERVIEW ON POLLUTANT EMISSIONS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES**, In: LazaroIU, G.C., Roscia, M., Dancu, V.S. (eds) Energy Transition Holistic Impact Challenge (ETHIC): A New Environmental and Climatic Era. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-55448-3_6.

Lucrări științifice cu autori străini Număr propus: 6 REALIZAT: 8

1. LAZAROIU A. C., GMAL OSMAN M., STREJOIU C. V., LAZAROIU, G., **A COMPREHENSIVE OVERVIEW OF PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGIES AND THEIR EFFICIENCY FOR CLIMATE NEUTRALITY**, Sustainability, ISSN: 2071-1050, 2023, 15(23), 16297, doi.org/10.3390/su152316297, Open Access, IF:3.9, Q2.
2. Dorel S., Gmal Osman M., Strejoiu C. V., LAZAROIU G., **EXPLORING OPTIMAL CHARGING STRATEGIES FOR OFF-GRID SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: A COMPARATIVE STUDY ON BATTERY STORAGE TECHNIQUES**, Batteries-Basel, ISSN: 2313-0105, 2023, 9 (9), 470, doi.org/10.3390/batteries9090470, Open Access, IF:4.0, Q2.

3. LAZAROIU G., Gmal Osman M., Strejoiu C. V., **PERFORMANCE EVALUATION OF RENEWABLE ENERGY SYSTEMS: PHOTOVOLTAIC, WIND TURBINE, BATTERY BANK, AND HYDROGEN STORAGE**, Batteries-Basel, ISSN: 2313-0105, 2023, 9 (9), 468, doi.org/10.3390/batteries9090468, Open Access, IF:4.0, Q2.
4. Gmal Osman M., CIUPAGEANU D., Stan A., **ANALYSIS OF SOLAR RADIATION IN SUDAN AND OPTIMAL LOCATION OF PHOTOVOLTAIC PANELS**, University POLITEHNICA of Bucharest Scientific Bulletin Series C-Electrical Engineering and Computer Science, ISSN: 2286-3540, eISSN: 2286-3559, 2022, Volume 84, Issue 4, Pages 10-17.
5. STREJOIU C. V., OSMAN M. G., LAZAROIU, G, **ANALYZING ENERGY CONSUMPTION AND HOT WATER USAGE IN THE TITAN NEIGHBORHOOD OF BUCHAREST: IMPLICATIONS FOR SMART CITY DEVELOPMENT**, 2023, SEPTEMBE, 2023 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2) (pp. 1-6). IEEE.
6. Lazaroiu A. C., Popescu M. O., Popescu C. L., Alexandru M., Popa L. B., LAZAROIU G., Roscia Mariacristina, Panait, C., **ANALYSIS OF THE OPERATION OF A UNIVERSITY CAMPUS USING RENEWABLE ENERGY SOURCES, HYDROGEN GENERATOR AND FUEL CELLS**, 13th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucharest, Romania, 2023, March, pp. 1-5. IEEE, doi: 10.1109/ATEE58038.2023.10108225.
7. Lazaroiu A. C., Gmal Osman M., Strejoiu C.V., LAZAROIU G., **A COMPREHENSIVE OVERVIEW OF PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGIES AND THEIR EFFICIENCY FOR A CLIMATE NEUTRALITY**, Preprints, doi:10.20944/preprints202310.0605.v1, 2023.
8. LAZAROIU G., Gmal Osman M., Strejoiu C.V., **EVALUATING THE EFFICIENCY OF RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: PHOTOVOLTAIC, WIND TURBINE, BATTERY BANK, AND HYDROGEN STORAGE**, Preprints, doi: 10.20944/preprints202308.0705.v1, 2023.

Lucrări prezentate în plenul conferințelor internaționale Număr propus: 3 REALIZAT: 4

1. MIHAESCU L., **CO2 ENERGY VECTOR IN THE CONCEPT OF CIRCULAR ENERGY**, XXIIIrd National Conference on Thermodynamics with International Participation May 11-13, 2023, Organized by: "Dunărea de Jos" University of Galați Romania.
2. MIHAESCU L., **THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS ON THE GASIFICATION OF AGRICULTURAL BIOMASS WITH A PILOT PLANT**, 11th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development, TERERD 2023, 08-10 June 2023, Bucharest, Romania.
3. LAZAROIU G., **OPTIMAL POWER SYSTEM DESIGN FOR OFF-GRID RESIDENCES IN DOBROGEA, ROMANIA: INTEGRATING RENEWABLE ENERGY AND GENERATOR TECHNOLOGY**, The 2024 IEEE Conference on Advanced Topics on Measurement and Simulation (ATOMS), 28-30 August 2024, Constanta Maritime University, Cuartului 2, Constanta, Romania. Prezentare in plen.
4. LAZAROIU G., **OPTIMIZING SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: A GEOMETRIC APPROACH TO ENHANCE ENERGY PRODUCTION AND ECONOMIC VIABILITY**, The 2024 IEEE Conference on Advanced Topics on Measurement and Simulation (ATOMS), 28-30 August 2024, Constanta Maritime University, Cuartului 2, Constanta, Romania. Prezentare in plen.

Workshop Număr propus: 3 REALIZAT: 3

1. **MANAGEMENTUL CONSUMULUI DE ENERGIE IN CENTRE DE DATE PENTRU NEUTRALITATE CLIMATICA**, Moderatori: Lucian MIHAESCU și Gheorghe LAZAROIU, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București, 4 Noiembrie 2024, București, Romania.
2. **PROCEDURI DE TESTARE PENTRU UTILIZAREA HOLISTICA A HIDROGENULUI CA VECTOR ENERGETIC**, Moderatori: Gheorghe LAZAROIU și Lucian MIHAESCU, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București, 9 Septembrie 2024, București, Romania.
3. **DECARBONIZATION / DIGITALIZATION OF SMART CITIES**, Chair: Gheorghe LAZAROIU, POLITEHNICA Bucharest, Romania; Franceco Riganti Fulginei, Roma Tre University, Italy; IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), ISSN: 2687-8860, ISBN: 979-8-3503-9775-8, 24-27 September 2023, Bucharest, Romania.

Prezentare invitată Număr propus: 2 REALIZAT: 2

1. MIHĂESCU L., prelegerea **PREZENTUL ȘI VIITORUL HIDROGENULUI VERDE ÎN SECTORUL ENERGETIC AL ROMÂNIEI**, la UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS" DIN GALAȚI, FACULTATEA DE INGINERIE, Departamentul Sisteme Termice și Autovehicule Rutiere.
2. MIHAESCU Lucian, prelegerea **TEHNOLOGII FOTOVOLTAICE SI EFICIENȚA LOR PENTRU NEUTRALITATEA CLIMATICA DIN DOBROGEA**, la Universitatea Maritimă din Constanța, **29 august 2024**.

Masa rotunda Revista Energetica

MIHĂESCU L. LĂZĂROIU Gh. - *moderatori*, **Rolul holistic al hidrogenului în tranziția spre o energetică circulară**, Revista Energetica, ISSN: 1453-2360, anul 71, nr.12, **2023**, pag 873-875.

Persoane lună mobilități doctorale : 3 luni*pers

Drd. **Iulia Simion** a făcut un stagiul de pregătire în domeniul proiectului printr-o mobilitate Erasmus la Universitatea L'Aquila, Italia, în perioada **23 Mai 2022 – 30 Iulie 2022 (2,5 luni)**.

Drd. **Rodica-Manuela GRIGORIU** (căs. **TILICI**) a făcut un stagiul de pregătire în domeniul proiectului la Universitatea Maritimă din Constanța, pe instalația experimentală dezvoltată de echipa din acest proiect și UMC ca și coordonator, în perioada **19.09 – 01.10.2022 (0,5 luni)**.

Realizarea pagina web proiect Număr propus: 1 REALIZAT: 1

Pagina web proiectului este www.climateneutrality.upb.ro.

Livrabilele realizate sunt conform celor asumate prin propunerea de proiect, respectiv: **1 studiu** al proprietăților hidrogenului față de combustibilii clasici; **9 modele**: model conceptual și fizic pentru reducerea emisiilor de CO₂ din gazele de ardere prin utilizarea hidrogenului verde; model fizic de reducere a CO₂ din gazele de ardere prin gazificare; modelul conceptual pentru emisia de CO₂ la combustibilul gazos natural; model matematic și funcțional de utilizare a hidrogenului la reducerea CO₂; model conceptual al emisiei de CO₂ din gaz natural; model matematic și funcțional reducerea CO₂ din gazele de ardere prin gazeificare; model matematic și funcțional de ardere CH₄+H₂ în jeturi concentrice; model matematic și funcțional pentru arderea în motoare cu ardere internă a diferiților combustibili cu și fără alimentare cu hidrogen; model matematic evaluare economică; **2 proceduri de testare și verificare** a modelului experimental de utilizare a hidrogenului în vederea reducerii emisiei de CO₂ și de reducere a emisiilor de CO₂ din gazele de ardere prin gazeificare; **1 procedură de comparare și testare** a alimentării cu hidrogen pentru a reduce emisiile de CO₂ la motoarele cu ardere internă; **1 procedură de evaluare economică** a soluțiilor pentru neutralitatea climatică.

- **Impactul estimat al rezultatelor obținute**, cu sublinierea celui mai semnificativ rezultat obținut.

Prin cercetările elaborate în perioadă de derulare a proiectului, echipa de cercetare și-a consolidat expertiza în utilizarea holistică a hidrogenului pentru neutralitatea climatică. De menționat că cercetările asupra hidrogenului ca vector energetic sunt încă din 2011, în cadrul proiectului *Vector energetic inovativ hidrogen-biomasa solida*, PN-II-ID-PCE-2011-3-0698.

Echipa proiectului a realizat o cercetare holistică a posibilităților de utilizare a hidrogenului pentru obținerea unei neutralități climatice, aducând contribuții apreciate de comunitatea științifică internațională prin publicarea în reviste de top și conferințe internaționale.

Rezultatelor obținute prin cercetările originale desfășurate se estimează că vor avea un *impact semnificativ* prin:

- Modelele propuse pentru captarea dioxidului de carbon din gazele de ardere și reducerea lui prin metanizare și/sau gazeificare, diseminate în principal prin:
 - ✓ CONCEPTUAL ANALYSIS ON THE USE OF HYDROGEN TO REDUCE CO₂ EMISSIONS FROM FLUE GASES;
 - ✓ GREEN HYDROGEN, A SOLUTION FOR REPLACING FOSSIL FUELS TO REDUCE CO₂ EMISSIONS;
 - ✓ THE HYDROGEN - CARBON DIOXIDE BINOMIAL, A POSSIBLE NEW ENERGY VECTOR;
 - ✓ PARTICULARITIES OF FLUE GASES FROM ENERGY INSTALLATIONS ON THE PROCESS OF CONTINUOUS FLOW CAPTURE FOR CO₂ BY DIRECT METHANATION;
 - ✓ CO₂ ENERGY VECTOR IN THE CONCEPT OF CIRCULAR ENERGY;
 - ✓ APPLICATION OF GASIFICATION TECHNOLOGY TO CAPTURE CO₂ FROM COMBUSTION GASES;

- ✓ ANALYSIS MODEL FOR CO₂ EMISSIONS OF ROMANIAN POWER PLANTS FUELED WITH NATURAL GAS;
 - ✓ VEGETABLE BIOMASS – SOURCE OF GREEN HYDROGEN PRODUCTION THROUGH GASIFICATION;
 - ✓ PARTICULARITIES OF FLUE GASES FROM ENERGY INSTALLATIONS ON THE PROCESS OF CONTINUOUS FLOW CAPTURE FOR CO₂ BY DIRECT METHANATION;
 - ✓ AN ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF FLUE GASES ENERGY POTENTIAL CONVERSION THROUGH METHANATION;
 - ✓ Brevet INSTALATIE DE CAPTARE CO₂ DIN GAZELE DE ARDERE PRIN TEHNOLOGIA GAZEIFICARII CU PAT FIX DE MANGAL;
- Modelele propuse pentru combustia amestecului de hidrogen cu alt combustibil fosil în motoare și instalații energetice rezidențiale, diseminate în principal prin:
- ✓ ASPECTS OF AN EXPERIMENTAL STUDY OF HYDROGEN USE AT AUTOMOTIVE DIESEL ENGINE;
 - ✓ CNG IMPACT ON COMBUSTION QUALITY OF A DIESEL ENGINE FUELED IN DIESEL-GAS MODE;
 - ✓ ASPECTE ALE UTILIZRII HIDROGENULUI IN INCALZIRERA REZIDENTIALA;
 - ✓ ANALIZA COMPORTARII CICLULUI COMBINAT GAZ-ABUR LA FUNCTIONAREA CU AMESTEC GAZ NATURAL-HIDROGEN;
 - ✓ DEZVOLTAREA UNEI INSTALATII EXPERIMENTALE PENTRU STUDIUL ARDERII AMESTECURILOR DE HIDROGEN SI METAN;
 - ✓ THE STUDY OF THE SPARK IGNITION ENGINE PERFORMANCE AT FUELING WITH N-BUTANOL-GASOLINE MIXTURE;
 - ✓ THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE USE OF HYDROGEN IN THE AUTOMOTIVE SPARK IGNITION ENGINE
 - ✓ ANALYSIS OF THE COMBUSTION AT THE USE OF LOW DOSES OF HYDROGEN IN THE AUTOMOTIVE SPARK IGNITION ENGINE;
 - ✓ A STUDY ON THE INFLUENCE OF UTILIZING HYDROGEN AT FUELLING SPARK IGNITION ENGINES;
 - ✓ AN ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF FLUE GASES ENERGY POTENTIAL CONVERSION THROUGH METHANATION;
 - ✓ ASPECTS OF AN EXPERIMENTAL STUDY OF HYDROGEN USE AT AUTOMOTIVE DIESEL ENGINE;
 - ✓ COMPARATIVE ANALYSIS FOR COMBUSTION CH₄ AND H₂ FOR COAXIAL JET BURNERS (DIFFUSE COMBUSTION);
 - ✓ Brevet MODUL DE ARZATOR CH₄ / H₂ PENTRU INSTALATIILE REZIDENTIALE DINTR-UN SMART CITY;
- Proceduri de testare, verificare și evaluare a soluțiilor propuse, diseminate în principal prin:
- ✓ EVALUATING THE EFFICIENCY OF RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: PHOTOVOLTAIC, WIND TURBINE, BATTERY BANK, AND HYDROGEN STORAGE;
 - ✓ A COMPREHENSIVE OVERVIEW OF PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGIES AND THEIR EFFICIENCY FOR CLIMATE NEUTRALITY;
 - ✓ IMPROVING THE RELATIONSHIP OF TAXPAYERS WITH TAX AUTHORITIES THROUGH THE DIGITALIZATION OF PUBLIC SERVICES;
 - ✓ EUROPE'S DIGITAL TRANSITION AND THE EUROPEAN GREEN DEAL - CHALLENGES OF THE DIGITAL DECADE;
 - ✓ EFFICIENCY EVALUATION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF A PHOTOVOLTAIC PARK CONNECTED TO A 20 KV DISTRIBUTION NETWORK IN GALATI COUNTY, ROMANIA;
 - ✓ THE INFLUENCE OF N-BUTANOL ADDITION IN GASOLINE ON THE COMBUSTION IN THE SPARK IGNITION ENGINE;
 - ✓ THE STORAGE PROCESS OF ELECTRIC ENERGY PRODUCED FROM RENEWABLE SOURCES FROM HYDROGEN TO DOMESTIC HOT WATER HEATING;
 - ✓ OPTIMAL POWER SYSTEM DESIGN FOR OFF-GRID RESIDENCES IN DOBROGEA, ROMANIA: INTEGRATING RENEWABLE ENERGY AND GENERATOR TECHNOLOGY;
 - ✓ Capitol de carte AN OVERVIEW ON POLLUTANT EMISSIONS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES;
 - ✓ MICROGRID MODEL FOR EVALUATING THE OPERATIONAL DYNAMICS OF SOLAR-POWERED HYDROGEN PRODUCTION;

- ✓ COMPUTERIZED DECISION ASSISTANCE FOR THE MANAGEMENT OF RENEWABLE RESOURCES IN THE CURRENT CONTEXT OF DIGITALIZATION AND THE IMPLEMENTATION OF THE NATIONAL HYDROGEN STRATEGY;
- Integrarea și utilizarea hidrogenului verde pentru neutralitate climatică, diseminate în principal prin:
 - ✓ THE TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF INTEGRATING ENERGY SECTORS FOR CLIMATE NEUTRALITY;
 - ✓ STAGES OF HYDROGEN IMPLEMENTATION FOR A GREEN CITY OF THE FUTURE;
 - ✓ Prezentare invitată PREZENTUL ȘI VIITORUL HIDROGENULUI VERDE ÎN SECTORUL ENERGETIC AL ROMÂNIEI;
 - ✓ Masa rotundă ROLUL HOLISTIC AL HIDROGENULUI ÎN TRANZIȚIA SPRE O ENERGETICĂ CIRCULARĂ;
 - ✓ ANALYSIS OF THE OPERATION OF A UNIVERSITY CAMPUS USING RENEWABLE ENERGY SOURCES, HYDROGEN GENERATOR AND FUEL CELLS;
 - ✓ EXPLORING OPTIMAL CHARGING STRATEGIES FOR OFF-GRID SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: A COMPARATIVE STUDY ON BATTERY STORAGE TECHNIQUES,
 - ✓ PERFORMANCE EVALUATION OF RENEWABLE ENERGY SYSTEMS: PHOTOVOLTAIC, WIND TURBINE, BATTERY BANK, AND HYDROGEN STORAGE;
 - ✓ POSSIBILITIES OF CLIMATE CONTROL OF POULTRY COMPLEXES THROUGH CO-COMBUSTION OF POULTRY WASTE-SOLID BIOMASS FOR AGRICULTURE IN ROMANIA;
 - ✓ AN ANALYSIS OF THE ECONOMIC PRODUCTION AND USE OF GREEN HYDROGEN.
- Pregătirea resursei umane prin finalizarea și obținerea titlului de doctor inginer pentru doctorandele membre a echipei proiectului, respectiv: CIUPGEANU Dana Alexandra, GRIGORIU Rodica Manuela și SIMION Iulia.

Având în vedere *valoarea importantă a energiei pentru consumul casnic* pentru prepararea hranei și încălzire în aglomerări urbane, pentru reducerea poluării cu dioxid de carbon soluția este utilizarea hidrogenului în amestec cu metanul pentru centrale de încălzire și aragaze, astfel că **cel mai semnificativ rezultat obținut** este demonstrarea practică a acestei soluții, prin brevetarea acesteia și diseminarea în mediul științific, respectiv:

- ❖ Cerere de Brevet de invenție nr. A / 00239, *MODUL DE ARZATOR CH₄ / H₂ PENTRU INSTALATIILE REZIDENTIALE DINTR-UN SMART CITY*, OSIM, din 16 May 2023.
- ❖ *GREEN HYDROGEN, A SOLUTION FOR REPLACING FOSSIL FUELS TO REDUCE CO₂ EMISSIONS*, <https://doi.org/10.3390/pr12081651>.
- ❖ Prezentare invitată *PREZENTUL ȘI VIITORUL HIDROGENULUI VERDE ÎN SECTORUL ENERGETIC AL ROMÂNIEI*.
- ❖ Masa rotundă Revista Energetica *ROLUL HOLISTIC AL HIDROGENULUI ÎN TRANZIȚIA SPRE O ENERGETICĂ CIRCULARĂ*

Pagina web proiectului este www.climateneutrality.upb.ro.

Au fost realizate toate obiectivele, indicatorii și de rezultatele estimate prin cererea de finanțare.

Notă: Pe lângă cele menționate mai sus, raportul final conține și link-ul către pagina web a proiectului unde sunt prezentate succint rezultatele obținute (un text pe înțelesul publicului), astfel încât Autoritatea Contractantă să poată referenția proiectul în studii, rapoarte și comunicare publică.

Director Proiect,

Gheorghe LAZAROIU