

## B.1 Fișierul V.B

### B.1. Propunerea de proiect (max. 10 pagini în limba română )

1. **Titlu:** Optimizarea tehnico-economică și de mediu a integrării proceselor pre- și post-combustie de captare CO<sub>2</sub> utilizând membrane polimerice în sisteme energetice și non-energetice  
**Domeniu:** Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră
2. **Cuvinte cheie:** membrane polimerice, integrare procese, CCUS, schimbări climatice
3. **Obiective, cu indicarea importanței acestora**

#### 3.1. Importanța temei de cercetare

Producerea energiei electrice și protecția mediului reprezintă obiective fundamentale pentru societatea modernă, în contextul creșterii accentuate a consumului de energie și a problemelor serioase legate de schimbările climatice cauzate de emisiile de gaze cu efect de seră. Importanța producerii energiei electrice cu impact redus asupra mediului înconjurător a condus la includerea acestor aspecte printre cele mai relevante domenii tematice ale politicilor europene [1]. Au fost stabilite obiective cuantificabile pentru întreaga Comunitate Europeană până în 2030, în conformitate cu pachetul privind clima și energia [2], de exemplu, reducerea cu cel puțin 40 % a emisiilor de gaze cu efect de seră (față de nivelurile din 1990); 27 % din energie să provină din surse regenerabile; și îmbunătățirea cu 27 % a eficienței energetice. În urma Pactului Verde European, adoptat în anul 2019, Europa își propune obiective mai ambițioase, respectiv de a reduce emisiile de gaze cu efect de seră cu 55 % (față de nivelurile din 1990) până în 2030, iar până în 2050 să devină neutră din punct de vedere climatic [3].

Printre diferitele opțiuni tehnologice de reducere a emisiilor de CO<sub>2</sub>, tehnologiile de captare, utilizare și stocare a carbonului (CCUS) vor juca un rol central în decarbonizarea sistemelor energetice [4]. Tehnologiile CCUS sunt considerate soluția adecvată pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, în special a CO<sub>2</sub>-ului care este generat în principal de centralele termoelectrice și de sectorul industrial (de exemplu, industria cimentului, sticlei, fierului) [5]. Se pot utiliza trei metode avansate de captare: post-combustie, pre-combustie și oxi-combustie, astfel soluțiile de reținere CO<sub>2</sub> putându-se adapta diferitelor procese energetice și non-energetice. Ținând cont de maturitatea lor dar și de eficiența în procesul de separare a dioxidului de carbon, tehnologiile CCUS sunt cele mai studiate tehnologii pentru diminuarea emisiilor de CO<sub>2</sub> provenite din surse antropice. Recent, au fost identificate noi procese de captare a CO<sub>2</sub>-ului (absorbția cu solvenți fizico-chimici hibridi, **utilizarea membranelor**, utilizarea lichidelor ionice etc.) dar și soluții de reutilizare a CO<sub>2</sub>-ului (conversia CO<sub>2</sub>-ului în diverși compuși valoroși, cum ar fi carbonați, propilenglicol, metanol, metan etc.) [6]. Energia electrică sau termică necesară în procesul de captare dar și penalizările legate de costuri sunt aspecte esențiale ale oricărei tehnologii de captare a CO<sub>2</sub>-ului [7]. În prezent, eforturile semnificative de cercetare și dezvoltare vizează reducerea acestor penalizări energetice și economice pentru a face viabilă integrarea și comercializarea tehnologiilor de captare a CO<sub>2</sub>-ului.

În numeroase studii de specialitate se subliniază faptul că celelalte metode de captare CO<sub>2</sub> (membrane, adsorbție etc.) nu sunt competitive, în special din cauza puterii electrice necesare în

procesul de comprimare [8]. Pe de altă parte, procesul de captare prin absorbție chimică, folosind amine ca solvent, este considerat unul dintre cele mai atractive opțiuni pentru captarea CO<sub>2</sub>-ului generat de sectorul energetic și industrial. Cu toate acestea, utilizarea solvenților chimici în procesul de absorbție prezintă diferite dezavantaje, cum ar fi consumul ridicat de energie termică necesară pentru regenerarea solventului, pierderi ridicate de solvent prin degradarea acestuia, costuri ridicate CAPEX și OPEX și un grad ridicat de coroziune a instalațiilor.

Separarea CO<sub>2</sub>-ului prin membrane ar putea fi o metodă promițătoare față de tehnologiile actuale, deoarece acestea au adesea un consum redus de energie, costuri de exploatare reduse, amprentă redusă de CO<sub>2</sub>, o scalare ușoară dar și posibilitatea integrării în tehnologiile energetice existente [9]. Separarea prin membrane a fost aplicată cu succes în diverse aplicații, cum ar fi osmoza inversă în loc de distilare [10], purificarea gazelor naturale în locul sistemelor de absorbție pe bază de amine [11], purificarea biogazului până la calitatea gazului natural [12], îndepărtarea metalelor grele din apă [13], etc. În ceea ce privește captarea CO<sub>2</sub>-ului prin procese cu membrane, se pot observa progrese în ultimul deceniu [14-16]. În funcție de integrarea acestora, aceste aplicații se pot împărți în trei categorii: (1) separare CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> din gaze de ardere, (2) separare CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> din gaz de sinteză și (3) separare CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> din gaz natural sau din biogaz.

În cazul captării post-combustie, gazele de ardere sunt evacuate în condiții ambientale, cu un conținut de CO<sub>2</sub> între 11-14% la centralele electrice pe cărbune, și cu un conținut de CO<sub>2</sub> între 4-8% la centralele electrice cu ciclul combinat pe gaz natural [17]. Pe lângă N<sub>2</sub>, gazele de ardere mai conțin H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> și urme de SO<sub>x</sub> și NO<sub>x</sub>. Din cauza presiunii parțiale scăzute a CO<sub>2</sub>-ului, este necesară o membrană foarte permeabilă la CO<sub>2</sub>, dar foarte selectivă, pentru a obține un grad ridicat de separare și puritate [18, 19]. În plus, deoarece produsele secundare rezultate, CO<sub>2</sub> și N<sub>2</sub>, au o puritate scăzută, acestea nu pot aduce o valoare adăugată pentru a scădea costul de capital și costurile operaționale. În comparație, în cazul captării pre-combustie, compoziția gazului de sinteză (de aproximativ 40% CO<sub>2</sub> și 56% H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, H<sub>2</sub>S etc., la o temperatură de aproximativ 250 °C și o presiune de 50 bar) permite separarea prin membrane, [20,21]. Forța motrice transmembranară nu impune ca membrana să fie foarte permeabilă, însă materialul membranelor trebuie să prezinte o selectivitate ridicată pentru CO<sub>2</sub> și H<sub>2</sub> la o temperatură ridicată pentru a reduce pierderile de H<sub>2</sub> și pentru a evita o răcire semnificativă a gazului de sinteză.

În funcție de zăcămintul exploatat, gazul natural brut poate conține 5-70% CO<sub>2</sub>, iar separarea prin membrane se realizează de obicei la temperatura ambientală și la o presiune de 30-60 bar [22]. Adesea, dezumidificarea și desulfurarea pe bază de membrane sunt integrate înainte de eliminarea CO<sub>2</sub>-ului pentru a evita condensarea apei acide cauzată de efectul Joule-Thomson [23,24]. În plus, materialul membranelor trebuie să fie rezistent la plasticizarea CO<sub>2</sub>-ului și a vaporilor de hidrocarburi. Aceste provocări impuse de presiunea ridicată a gazului natural sunt absente în cazul biogazului, care este alcătuit în mod obișnuit din 38-40% CO<sub>2</sub>, 55-60% CH<sub>4</sub> și 1-2% H<sub>2</sub>O la presiune atmosferică [25]. Cu toate acestea, membrana ar trebui să aibă o permeabilitate suficientă la CO<sub>2</sub> din cauza forței motrice reduse.

Pentru aceste aplicații de separare a CO<sub>2</sub>-ului, condițiile de funcționare extrem de diferite impun provocări diferite în ceea ce privește dezvoltarea materialului membranei. În cazul separării CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, proprietățile chimice ale polimerilor sunt modificate pentru a favoriza sorbția CO<sub>2</sub>-ului, și pentru a putea separa această pereche de gaze cu dimensiuni moleculare similare. Sinteza polimerilor funcționali este un domeniu de cercetare important, pentru care diverse baze Lewis

sunt adesea încorporate pentru interacțiunea lor fizică favorabilă (de exemplu, oxiziurile de eter și carbonil) [26,27] sau reacția chimică cu CO<sub>2</sub> (de exemplu, aminele) [28, 29].

În tabelul de mai jos sunt prezentate mai multe tipuri de membrane ce pot fi utilizate pentru captarea CO<sub>2</sub>-ului, cu avantajele și dezavantajele specifice.

**Tabel 1. Descriere membrane utilizate în CCUS**

Tip membrană	Aplicație	Avantaje	Dezavantaje
Membrană metalică	Pre-combustie	Selectivitate infinită H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	Costuri ridicate, degradare, forță motrice scăzută
Membrană de carbon	Pre-combustie	Efect de cernere a dimensiunilor, selectivitate ridicată H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	Costuri ridicate, sensibilă la oxigen, fragilă
Membrană de alumină	Pre-combustie	Costuri reduse, stabilitate chimică și fizică	Selectivitate scăzută H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>
Membrană de zeolit	Pre-combustie și post-combustie	Costuri reduse, stabilitate chimică și fizică	Selectivitate scăzută H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>
Membrană MOF	Pre-combustie și post-combustie	Volum mare de pori și suprafață	Costuri ridicate
Membrană de siliciu	Pre-combustie	Dimensiune adecvată a porilor, costuri reduse, stabilitate termică ridicată	Stabilitate hidrotermică slabă
Membrană polimerică	Post-combustie	Costuri reduse, selectivitate ridicată CO <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	Stabilitate chimică și fizică scăzută, prea groasă
Membrană de fluorit	Oxi-combustie	Selectivitate ridicată O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	Consum ridicat de energie, greu de etanșat
Membrană perovskită	Oxi-combustie	Selectivitate ridicată O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	Consum ridicat de energie, greu de etanșat, degradare

### 3.2. Obiective

**Obiectivul general al proiectului** constă în creșterea performanțelor membranelor utilizate în procesul de captare CO<sub>2</sub> pentru a reduce efectele negative (penalizarea eficienței, sau costurile CAPEX și OPEX) ale integrării acestora în procesele industriale sau energetice. Soluția propusă constă în analiza mai multor tipuri de membrane care pot fi integrate pre- sau post-combustie în vederea reducerii dezavantajelor întâlnite în cadrul proceselor ce utilizează solvenții chimici.

**Obiectivele specifice** sunt prezentate mai jos:

- (i) Optimizarea și validarea tehnologiei de captare CO<sub>2</sub> prin membrane ca metodă viabilă de captare a CO<sub>2</sub>-ului pre- și post-combustie pentru a putea fi integrată în sistemele de producere a energiei electrice și termice;
- (ii) Stabilirea configurației optime a procesului de captare CO<sub>2</sub> prin membrane (una sau mai multe trepte în funcție de puritatea și eficiența dorită);
- (iii) Evaluarea posibilităților tehnice de reducere semnificativă a penalităților energetice (consumul de energie electrică al compresorului, pompelor) prin diverse îmbunătățiri tehnologice, de exemplu prin intensificarea transferului de masă, sau prin integrarea procesului și răcirea intermediară sau recompresia vaporilor;

- (iv) Alegerea materialului membranelor și design-ului optim în vederea reducerii consumului de energie electrică;
- (v) Cuantificarea degradării membranelor ca aspect important de reducere a costurilor de exploatare;
- (vi) Evaluarea tehnico-economică și de mediu a procesului de captare CO<sub>2</sub> pe bază de membrane.

**Scopul acestui proiect** constă în dezvoltarea proceselor de captare a CO<sub>2</sub>-ului pre- și post-combustie pe bază de membrane în vederea obținerii unui proces de separare mai eficient din punct de vedere tehnic, economic și de mediu, decât cel prin absorbție chimică pe bază de solvenți chimici.

### 3.3. Impact

**Impactul științific al proiectului** este dat de rezultatele cercetării cu caracter aplicativ în domeniul captării CO<sub>2</sub>-ului, al schimbărilor climatice și al tehnologiilor nepoluante de producere a energiei electrice și termice. Procesul inovativ, versatil și ecologic dezvoltat pentru captarea CO<sub>2</sub>-ului prin membrane din gazele de ardere generate de arderea combustibililor fosili/gazul de sinteză provenit din gazeificarea cărbunelui sau a biomasei, nu numai că va oferi performanțe superioare celor întâlnite în literatura de specialitate, dar va determina apariția altor direcții și teme de cercetare legate de dezvoltarea altor tehnologii de captare CO<sub>2</sub>, cu scopul de a reduce efectele negative prin integrarea acestuia în centralele termoelectrice sau în aplicațiile industriale (costul energiei sau penalizarea eficienței). În plus, potențialul temei de proiect se concentrează în mod special pe identificarea și dezvoltarea membranelor, astfel încât acestea să corespundă condițiilor operaționale (impurități, temperatură, presiune, concentrație de CO<sub>2</sub>) pentru fluxurile de gaze din instalațiile energetice sau din aplicațiile industriale.

Pentru a răspunde Pactului Verde European, o metodă de captare a CO<sub>2</sub>-ului trebuie să fie viabilă din punct de vedere **tehnic, economic, tehnologic, social și de mediu**. Studiarea diferitelor membrane sau îmbunătățirea procesului prin membrane sunt cele mai bune măsuri pentru dezvoltarea și integrarea tehnologiilor CCUS în instalațiile energetice sau în cele industriale (industria cimentului, industria fierului oțelului). Disponibilitatea unor tehnologii mai avansate de captare a CO<sub>2</sub>-ului va permite acestor industrii să contribuie la o reducere cu 50% a emisiilor de CO<sub>2</sub> până în 2030, ceea ce este benefic pentru atenuarea schimbărilor climatice. În plus, aceasta îi va ajuta pe producători să aibă mai multe opțiuni pentru a face față reglementărilor aferente și **responsabilităților sociale** în ceea ce privește reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub>. În plus, disponibilitatea unei tehnologii viabile de captare va permite autorităților să elaboreze politici și strategii mai stricte pentru a răspunde tendințelor către o industrie și o societate durabile. Companiile industriale vor pune în aplicare tehnologiile de captare a CO<sub>2</sub>-ului numai atunci când costurile de captare (utilizare și stocare) sunt mai mici decât valoarea de piață a carbonului în scopul utilizării (inclusiv valoarea certificatelor de CO<sub>2</sub>). Astăzi, costurile pentru tehnologiile actuale de captare a CO<sub>2</sub>-ului variază între 40 și 60 €/tonă CO<sub>2</sub>. Prin îmbunătățirea tehnologiei pe bază de membrane, costurile CAPEX și OPEX ar putea fi reduse, astfel încât diferiți potențiali beneficiari să prefere implementarea acestuia în locul plății certificatelor de CO<sub>2</sub>.

Impactul economic al **proiectului de cercetare** și, în special, al tehnologiei de captare pe bază de membrane, poate fi și mai mare dacă s-ar lua în considerare reutilizarea CO<sub>2</sub>-ului captat (de exemplu pentru producerea de substanțe chimice, utilizarea în sere sau pentru producția de

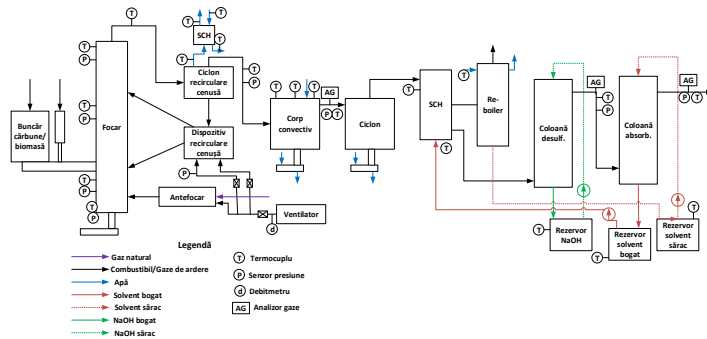
alge). Ținând cont de perioada relativ scurtă a proiectului, această abordare nu va fi tratată în cadrul acestei teme de cercetare.

#### 4. Metodologie, cu indicarea gradului de originalitate

Se estimează că, după o prezentare cuprinzătoare a literaturii de specialitate, proiectul va întreprinde activități de cercetare fundamentală și aplicativă în vederea dezvoltării unui sistem inovator și ecologic pe bază de membrane pentru captarea CO<sub>2</sub>-ului. Studiul experimental se va realiza pe instalația pilot existentă în cadrul Laboratorului de Surse Regenerabile de Energie, Facultatea de Energetică, Universitatea Politehnică din București (ASFC – arderea în strat fluidizat circulant), fiind singura la această scară din România (Figuri 1 și 2). Instalația pilot a fost dimensionată pentru un debit de combustibil de 30 kg/h (110 kW<sub>th</sub>). Instalația pilot este monitorizată cu un program specific de achiziție de date (temperaturi, presiuni, debite și compoziția gazelor de ardere în diferite puncte) pe o placă sinoptică.

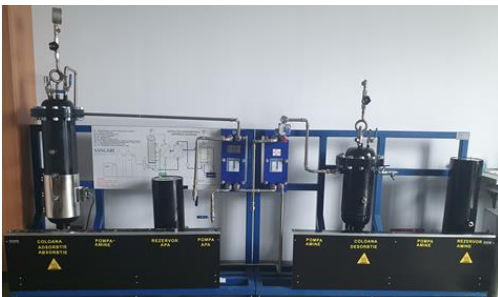


**Figura 1. Instalație pilot ASFC cu captare CO<sub>2</sub> post-combustie**

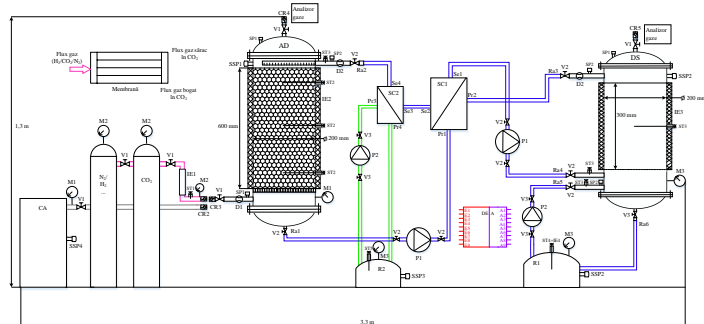


**Figura 2. Diagrama conceptuală a instalației pilot ASFC**

Instalația micro-pilot din cadrul Centrului de Cercetări Avansate pentru Materiale, Produse și Procese Inovative, Campus, Universitatea Politehnică din București, Laborator Tehnologii de captare CO<sub>2</sub> (Figuri 3 și 4), este o instalație versatilă, în care se vor realiza studii experimentale în ceea ce privește procesul de captare pre-combustie prin membrane. De asemenea, pe această instalație se poate studia și procesul de captare post-combustie prin membrane cuplat cu procesul prin absorbție chimică, ceea ce ar putea îmbunătăți performanțele globale ale procesului de separare a CO<sub>2</sub>-lui, și ar putea reduce semnificativ efectele negative ale integrării acestuia în cadrul centralelor electrice pe bază de combustibili fosili.



**Figura 3. Instalație micro-pilot cu captare CO<sub>2</sub> pre/post-combustie**



**Figura 4. Diagrama schematică a instalației micro-pilot**

Activitățile de cercetare vor implica utilizarea unor metode și instrumente moderne de investigare, bazate pe experiența deja acumulată în acest domeniu, precum și pe instalațiile cu echipamente moderne disponibile în laboratoarele de "Surse Regenerabile de Energie,, și "Tehnologii de captare a CO<sub>2</sub>-ului". Astfel, testele experimentale vor fi realizate folosind echipamente informatice interconectate care vor permite controlul riguros și achiziția de date ale parametrilor în timp real. Parametrii specifici fiecărui proces testat vor fi determinați cu ajutorul a diferitelor instrumente/echipamente: spectroscopie FTIR, pH-metru Mettler Toledo FEP20, analiză gravimetrică, ultrareometru Brookfield DV-III, un Seiko 220 TG/DTA pentru stabilirea descompunerii termice a membranelor, un analizor TESTO pentru determinarea compoziției gazelor de ardere în diferite puncte ale instalației de captare CO<sub>2</sub>, un analizor TOC pentru determinarea încărcării cu CO<sub>2</sub>. Modelarea, integrarea, extinderea și analiza ciclului de viață (ACV) ale procesului de captare a CO<sub>2</sub>-ului prin membrane se vor realiza cu ajutorul unor programe informatice specifice (de exemplu ChemCAD, Matlab, COMSOL Multiphysics).

**Gradul de originalitate** constă în utilizarea de materiale membranare netestate încă în procesele de captare CO<sub>2</sub>. Materialele membranare vor fi livrate de către SINTEF SA (Norvegia), cel mai mare institut de cercetare în domeniul dezvoltării membranelor polimerice. În plus, aceste materiale vor fi testate experimental în condiții reale de funcționare (presiune, temperatură, compoziție gaze de ardere, etc.) utilizând instalația pilot demonstrativă ASFC (Ardere în strat fluidizat circulant), respectiv într-o instalație micro-pilot versatilă ce permite simularea proceselor pre- și post-combustie. Pentru compararea rezultatelor și validarea lor, procesul dezvoltat va fi simulat în programul de specialitate Chemcad, studiind totodată diferite soluții de intensificare a transferului de masă în vederea obținerii unor economii semnificative ale costurilor de exploatare. Astfel, membranele vor fi testate în condiții reale, concentrându-ne pe optimizarea parametrilor de proces (rata de separare, consumul de energie electrică și termică a procesului, probleme de integrare și intensificare a procesului etc.) și pe comportamentul membranelor (selectivitate, permeabilitate, degradare termică și oxidativă etc.). Vor fi analizate minim 5 tipuri de membrane polimerice și pentru fiecare tip de membrană, se vor analiza și determina diferiți parametri de funcționare (temperatură, presiune etc.).

## 5. Rezultate estimate intermediare/finale cu indicarea calendarului de activități

Managementul proiectului va asigura o bună evoluție a activităților prin corelarea planului de lucru cu termenele, obiectivele specifice și predarea livrabilelor tehnice (4) ale proiectului (Tabel 2).

**Tabel 2. Etape proiect de cercetare**

Nr.	Titlu etapă	Lună de început	Lună de sfârșit	Livrabil tehnic
1	Dezvoltarea modelului matematic al procesului de captare a CO <sub>2</sub> -ului prin membrane	1	4	<b>L4</b>
2	Modelarea și simularea procesului de captare a CO <sub>2</sub> -ului prin membrane	5	9	<b>L9</b>
3	Studiu experimental al procesului de captare a CO <sub>2</sub> -ului prin membrane	10	15	<b>L15</b>
4	Evaluarea tehnico-economică și de mediu a procesului de captare a CO <sub>2</sub> -ului prin membrane	16	20	<b>L20</b>

Etapele și activitățile specifice sunt prezentate în Diagrama Gantt (Figura 5).

Etape/Activități	Diagrama GANTT	Etapa 1				Etapa 2				Etapa 3					Etapa 4						
		Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sept	Oct	Nov
<b>Etapa 1</b>	<b>Dezvoltarea modelului matematic al procesului de captare a CO<sub>2</sub>-ului prin membrane</b>	L1																			
Activitate 1.1	Caracterizarea membranelor pentru separarea CO <sub>2</sub> dintr-un flux de gaze (fabricare membrane, mecanismul de separare, procesul de difuzie)																				
Activitate 1.2	Descrierea modelului matematic, teoria transferului de masă prin membrane, modelul de curgere, modelul de difuzie Knudsen																				
Activitate 1.3	Managementul, exploatarea și diseminarea rezultatelor				L1																
<b>Etapa 2</b>	<b>Modelarea și simularea procesului de captare a CO<sub>2</sub>-ului prin membrane</b>																				
Activitate 2.1	Modelarea numerică a procesului de captare CO <sub>2</sub> prin membrane																				
Activitate 2.2	Simularea procesului de captare CO <sub>2</sub> prin membrane în Chemcad/Comsol în diferite configurații																				
Activitate 2.3	Managementul, exploatarea și diseminarea rezultatelor								L2												
<b>Etapa 3</b>	<b>Studiu experimental al procesului de captare a CO<sub>2</sub>-ului prin membrane</b>																				
Activitate 3.1	Validarea experimentală a modelului matematic, permeabilitate și selectivitate membrane, eficiența de captare CO <sub>2</sub> , grad de degradare																				
Activitate 3.2	Optimizarea și caracterizarea membranelor																				
Activitate 3.3	Testarea și optimizarea parametrică a instalației pilot demonstrative de captare CO <sub>2</sub>																				
Activitate 3.4	Managementul, exploatarea și diseminarea rezultatelor																				L3
<b>Etapa 4</b>	<b>Evaluarea tehnico-economică și de mediu a procesului de captare a CO<sub>2</sub>-ului prin membrane</b>																				
Activitate 4.1	Calculul indicatorilor tehnici și economici ai procesului de captare CO <sub>2</sub> prin membrane, eficiența ciclu, cost actualizat energie electrică - LCOE, costuri de capital - CAPEX, costuri de operare și mentenanță - OPEX																				
Activitate 4.2	Analiza ciclului de viață (ACV) a procesului de captare CO <sub>2</sub> prin membrane																				
Activitate 4.3	Managementul, exploatarea și diseminarea rezultatelor																				L4

Figura 5. Plan de lucru detaliat prevăzut pentru cele 20 de luni

**Scopul primei etape** constă în dezvoltarea modelului matematic al procesului de separare CO<sub>2</sub>. Un model matematic adecvat este necesar pentru a prezice eficiența de separare a membranei și pentru a furniza informații valoroase pentru proiectarea modulelor membranare. Cu toate acestea, soluția modelului matematic se bazează pe o metodă prin încercări care necesită estimări inițiale ale căderilor de presiune și profilurilor de concentrație de-a lungul lungimii fibrelor membranei. Pentru a reduce complexitatea matematică și efortul de calcul, vor fi propuse propuse diferite abordări (de exemplu aproximare liniară, diferență finită etc. pentru a rezolva modelul).

**Cea de-a 2-a etapă are ca scop** îmbunătățirea performanțelor tehnice (eficiența de captare CO<sub>2</sub>, consumul de energie electrică) ale procesului de captare CO<sub>2</sub> pe bază de membrane prin simularea a diferite configurații. În plus față de proprietățile materialelor membranelor, proiectarea modulelor membranare și optimizarea procesului joacă un rol important în aplicațiile de succes ale membranelor pentru separarea gazelor. Eficiența modulului este un parametru important pentru proiectarea unui sistem membranar rentabil. Trebuie remarcat faptul că determinarea profilurilor de concentrație și a căderilor de presiune de-a lungul lungimii membranelor este crucială pentru proiectarea unui modul eficient cu utilizarea maximă a suprafeței efective a membranei. Cercetarea și dezvoltarea membranelor pentru captarea CO<sub>2</sub>-ului pot fi împărțite în două categorii: proiectarea materialelor pentru fabricarea membranelor (DMM) și **configurația sistemelor membranare (DSM)**. Obiectivul fundamental al DMM este de a obține membrane cu permeabilitate și selectivitate dorite, având în același timp structuri stabile din punct de vedere chimic și fizic. Pe de altă parte, obiectivul principal al DSM și al acestei etape este de a dezvolta procese de captare prin membrane cu **configurații optime** pentru a atinge obiectivele de separare (de exemplu, eficiența de captare CO<sub>2</sub> și puritatea produsului) cu costuri minime de capital și operaționale.

**Scopul celei de-a 3-a etape** este de a **testa experimental** mai multe tipuri de **membrane polimerice** pe instalațiile deja existente în cadrul laboratoarelor de ”Surse regenerabile de energie” și ”Tehnologii de captare CO<sub>2</sub>” pentru a îmbunătăți și optimiza procesul de captare. Testele experimentale vor consta în tratarea gazelor provenite de la arderea combustibililor fosili (proces de captare post-combustie) și tratarea unui gaz de sinteză obținut prin gazeificarea cărbunelui sau biomasei (proces de captare pre-combustie).

**Cea de-a 4-a etapă are ca scop** dezvoltarea unui model de estimare a costurilor pentru evaluarea procesului de captare CO<sub>2</sub>. De asemenea, va fi analizată o scalare pentru integrarea procesului de captare CO<sub>2</sub> pe bază de membrane polimerice într-o centrală termoelectrică. Principalii indicatori de performanță economică (de exemplu, costurile de capital și cele operaționale, costul de captare CO<sub>2</sub>, costul actualizat al energiei electrice etc.) vor fi comparați cu cazul în care nu se integrează o tehnologie de captare pentru reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub>. Prin **Analiza Cicului de Viață** (ACV) se va arăta impactul global asupra mediului al procesului de producere a energiei electrice cu integrarea unei tehnologii de captare a CO<sub>2</sub>-ului (nu numai asupra gradului de decarbonizare, ci și asupra altor indicatori de mediu relevanți).

**Riscurile** asociate cu implementarea proiectului, măsurile de atenuare, precum și probabilitatea și impactul asupra execuției proiectului sunt prezentate în Tabelul 3.

**Tabel 3. Risc preliminar și plan de urgență (Probabilitate 1-10 & Impact 1-10; Risc=PxI)**

Nr.	Etapă	Descriere risc	P	I	R	Atenuare
1	3	Comportarea necorespunzătoare a materialelor membranare în prezența temperaturilor ridicate	5	8	40	Înlocuirea membranelor cu altele mai rezistente la temperatura procesului (50-80 °C)
2	3	Degradarea membranelor din cauza impurităților din fluxul de gaze de ardere	3	8	24	Creșterea performanțelor privind asigurarea eliminării NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> și a particulelor de praf din gazele de ardere. Identificarea membranelor potrivite pentru tratarea gazelor de ardere provenite de la centralele electrice pe bază de combustibili fosili
3	3	Lipsa atingerii unei purități a CO <sub>2</sub> -lui de minim 85%	3	5	15	Identificarea așezării optime a modulelor membranare precum și a numărului acestora (2-3 trepte)

## 6. Articole estimate a fi elaborate cu indicarea factorului de impact minim al revistei unde vor fi publicate

Prin activitatea de Management, exploatare și diseminare a rezultatelor (prezentă în toate fazele proiectului) și pentru atingerea obiectivelor proiectului, echipa de cercetare își propune:

- să participe la cel puțin **2 conferințe internaționale de prestigiu** (17Th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems – *SDEWES2022*, 15Th International Conference on Sustainable Energy & Environmental Protection – *SEEP2023*, 11Th International Conference on Energy and Environment – *CIEM2023*);
- să publice cel puțin **2 articole științifice în reviste cotate ISI cu un factor de impact minim 2** (*Energy* – Factor de impact: 7.147; *Journal of Cleaner Production* – Factor de impact: 9.297;



- Energies* – Factor de impact: 3.004; *Energy & Environment* – Factor de impact: 2.945; *Energy for Sustainable Development* – Factor de impact: 5.223);
- să identifice un rezultat original și inovator care poate fi utilizat pentru depunerea unei cereri de brevet la OSIM pentru protecția drepturilor de proprietate intelectuală;
  - să publice rezultatele obținute pe site-ul web al proiectului.

## 7. Aspecte etice

Pe parcursul informării, documentării și implementării proiectului vom respecta cu strictețe legislația privind originalitatea lucrărilor intelectuale și protecția drepturilor de autor. Se vor respecta standardele și legislația națională și internațională (europeană). Ca întotdeauna, drepturile de proprietate intelectuală asupra metodologiei dezvoltate și a eventualului software vor aparține instituției gazdă, Academia Oamenilor de Știință din România. Nu se intenționează să se lucreze cu informații care, din punct de vedere legal, sunt secrete. Proiectul nu implică experimente biologice pe animale sau oameni, utilizarea și manipularea de substanțe foarte periculoase sau toxice sau alte experimente cu impact direct sau indirect asupra mediului. Toate lucrările publicate vor menționa sursa de susținere financiară. Conducătorul de proiect garantează calitatea și integritatea cercetărilor, respectă legile și normele privind materialul genetic modificat. Cercetarea propusă este independentă, imparțială și fără conflicte de interese. Orice fel de comunicare asociată cu cercetarea se va face cu corectitudine și transparență, iar rezultatele vor fi prezentate în mod imparțial.

## 8. Bibliografie

- [1] Helm, D. (2014). The European framework for energy and climate policies. *Energy Policy*, 64, 29-35.
- [2] Knopf, B., Nahmmacher, P., & Schmid, E. (2015). The European renewable energy target for 2030—An impact assessment of the electricity sector. *Energy policy*, 85, 50-60.
- [3] [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/climate-action-and-green-deal\\_ro](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/climate-action-and-green-deal_ro).
- [4] IEA. (2013). *Technology Roadmap Carbon Capture and Storage—2013 Edition*.
- [5] Hasan, M. F., First, E. L., Boukouvala, F., & Floudas, C. A. (2015). A multi-scale framework for CO<sub>2</sub> capture, utilization, and sequestration: CCUS and CCU. *Computers & Chemical Engineering*, 81, 2-21.
- [6] Aghaie, M., Rezaei, N., & Zendeheboudi, S. (2018). A systematic review on CO<sub>2</sub> capture with ionic liquids: Current status and future prospects. *Renewable and sustainable energy reviews*, 96, 502-525.
- [7] Davison, J. (2007). Performance and costs of power plants with capture and storage of CO<sub>2</sub>. *Energy*, 32(7), 1163-1176.
- [8] Li, L., Zhao, N., Wei, W., & Sun, Y. (2013). A review of research progress on CO<sub>2</sub> capture, storage, and utilization in Chinese Academy of Sciences. *Fuel*, 108, 112-130.
- [9] Vakharia, V., Salim, W., Wu, D., Han, Y., Chen, Y., Zhao, L., & Ho, W. W. (2018). Scale-up of amine-containing thin-film composite membranes for CO<sub>2</sub> capture from flue gas. *Journal of Membrane Science*, 555, 379-387.
- [10] Van der Bruggen, B. (2003). Desalination by distillation and by reverse osmosis—trends towards the future. *Membrane Technology*, 2003(2), 6-9.
- [11] Baker, R. W., Freeman, B., Kniep, J., Wei, X., & Merkel, T. (2017). CO<sub>2</sub> capture from natural gas power plants using selective exhaust gas recycle membrane designs. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 66, 35-47.

- [12] Kárászová, M., Sedláková, Z., & Izák, P. (2015). Gas permeation processes in biogas upgrading: A short review. *Chemical Papers*, 69(10), 1277-1283.
- [13] Pospiech, B., & Kujawski, W. (2015). Ionic liquids as selective extractants and ion carriers of heavy metal ions from aqueous solutions utilized in extraction and membrane separation. *Reviews in Chemical Engineering*, 31(2), 179-191.
- [14] Sasikumar, B., Arthanareeswaran, G., & Ismail, A. F. (2018). Recent progress in ionic liquid membranes for gas separation. *Journal of Molecular Liquids*, 266, 330-341.
- [15] Yan, X., Anguille, S., Bendahan, M., & Moulin, P. (2019). Ionic liquids combined with membrane separation processes: A review. *Separation and Purification Technology*, 222, 230-253.
- [16] Kárászová, M., Zach, B., Petrusová, Z., Červenka, V., Bobák, M., Šyc, M., & Izák, P. (2020). Post-combustion carbon capture by membrane separation, Review. *Separation and purification technology*, 238, 116448.
- [17] Merkel, T. C., Wei, X., He, Z., White, L. S., Wijmans, J. G., & Baker, R. W. (2013). Selective exhaust gas recycle with membranes for CO<sub>2</sub> capture from natural gas combined cycle power plants. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(3), 1150-1159.
- [18] Ramasubramanian, K., Verweij, H., & Ho, W. W. (2012). Membrane processes for carbon capture from coal-fired power plant flue gas: A modeling and cost study. *Journal of membrane science*, 421, 299-310.
- [19] Merkel, T. C., Lin, H., Wei, X., & Baker, R. (2010). Power plant post-combustion carbon dioxide capture: An opportunity for membranes. *Journal of membrane science*, 359(1-2), 126-139.
- [20] Vakharia, V., Ramasubramanian, K., & Ho, W. W. (2015). An experimental and modeling study of CO<sub>2</sub>-selective membranes for IGCC syngas purification. *Journal of Membrane Science*, 488, 56-66.
- [21] T.C. Merkel, M. Zhou, R.W. Baker, Carbon dioxide capture with membranes at an IGCC power plant, *J. Membr. Sci.* 389 (2012) 441–450.
- [22] Wind, J. D., Paul, D. R., & Koros, W. J. (2004). Natural gas permeation in polyimide membranes. *Journal of Membrane Science*, 228(2), 227-236.
- [23] Ahmad, F., Lau, K. K., Shariff, A. M., & Yeong, Y. F. (2013). Temperature and pressure dependence of membrane permeance and its effect on process economics of hollow fiber gas separation system. *Journal of Membrane Science*, 430, 44-55.
- [24] Scholz, M., Harlacher, T., Melin, T., & Wessling, M. (2013). Modeling gas permeation by linking nonideal effects. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(3), 1079-1088.
- [25] Basu, S., Khan, A. L., Cano-Odena, A., Liu, C., & Vankelecom, I. F. (2010). Membrane-based technologies for biogas separations. *Chemical Society Reviews*, 39(2), 750-768.
- [26] Lin, H., & Freeman, B. D. (2005). Materials selection guidelines for membranes that remove CO<sub>2</sub> from gas mixtures. *Journal of Molecular Structure*, 739(1-3), 57-74.
- [27] Kilic, S., Michalik, S., Wang, Y., Johnson, J. K., Enick, R. M., & Beckman, E. J. (2003). Effect of grafted Lewis base groups on the phase behavior of model poly (dimethyl siloxanes) in CO<sub>2</sub>. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42(25), 6415-6424.
- [28] Tong, Z., & Ho, W. W. (2017). Facilitated transport membranes for CO<sub>2</sub> separation and capture. *Separation Science and Technology*, 52(2), 156-167.
- [29] Uddin, M. W., & Hägg, M. B. (2012). Effect of monoethylene glycol and triethylene glycol contamination on CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> separation of a facilitated transport membrane for natural gas sweetening. *Journal of membrane science*, 423, 150-158.

## 8. Suma solicitată (nu se vor specifica tipurile de cheltuieli)

Suma totală solicitată pentru derularea și implementarea proiectului de cercetare pe cele 20 de luni este de **60 000 lei**.

## B.2. Titlu și rezumat în limba engleză (max. 10 rânduri)

**Title:** Technical, economic and environmental optimization of the pre- and post-combustion integration of CO<sub>2</sub> capture processes using polymer membranes in energy and non-energy systems

**Abstract:** Electricity generation and environmental protection are fundamental objectives for modern society, in the context of the rapid increase in energy consumption and the serious problems of climate change caused by greenhouse gas emissions. Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) technologies will play a central role in the intensive energy systems' decarbonization. CCUS is considered to be a suitable solution for reducing CO<sub>2</sub> emissions from power plants. The **overall objective of the project** is to increase the performance of membranes used in the CO<sub>2</sub> capture process in order to reduce the negative effects (efficiency penalty, CAPEX, and OPEX costs) of their integration into energy or industrial processes. The proposed solution consists in analyzing several types of membranes that can be integrated pre- or post-combustion in order to reduce the disadvantages encountered in processes using chemical solvents.