

PROIECT DE CERCETARE

**OPTIMIZAREA TEHNICO-ECONOMICĂ ȘI DE
MEDIU A INTEGRĂRII PROCESELOR PRE- ȘI
POST-COMBUSTIE DE CAPTARE CO₂
UTILIZÂND MEMBRANE POLIMERICE ÎN
SISTEME ENERGETICE ȘI NON-ENERGETICE**

Echipa de cercetare

Director de proiect: Ș.l.dr.ing. Nela SLAVU

Asistent cercetare: Drd.ing. Alexandra-Iuliana TĂNASE

OPTIMIZAREA TEHNICO-ECONOMICĂ ȘI DE MEDIU A INTEGRĂRII PROCESELOR PRE- ȘI POST-COMBUSTIE DE CAPTARE CO₂ UTILIZÂND **MEMBRANE POLIMERICE** ÎN SISTEME ENERGETICE ȘI NON-ENERGETICE

Obiectivul general al proiectului



creșterea performanțelor membranelor utilizate în procesul de captare CO₂ pentru a reduce efectele negative (penalizarea eficienței, sau costurile CAPEX și OPEX) ale integrării acestora în procesele industriale sau energetice.

Etape proiect de cercetare

Nr.	Titlu etapă
1	Dezvoltarea modelului matematic al procesului de captare a CO ₂ -ului prin membrane
2	Modelarea și simularea procesului de captare a CO ₂ -ului prin membrane
3	Studiu experimental al procesului de captare a CO ₂ -ului prin membrane
4	Evaluarea tehnico-economică și de mediu a procesului de captare a CO ₂ -ului prin membrane

OPTIMIZAREA TEHNICO-ECONOMICĂ ȘI DE MEDIU A INTEGRĂRII PROCESELOR PRE- ȘI POST-COMBUSTIE DE CAPTARE CO₂ UTILIZÂND **MEMBRANE POLIMERICE** ÎN SISTEME ENERGETICE ȘI NON-ENERGETICE



Obiectivele specifice

- Optimizarea și validarea tehnologiei de captare CO₂ prin membrane ca metodă viabilă de captare a CO₂-ului pre- și post-combustie pentru a putea fi integrată în sistemele de producere a energiei electrice și termice;
- Stabilirea configurației optime a procesului de captare CO₂ prin membrane (una sau mai multe trepte în funcție de puritatea și eficiența dorită);
- 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;
- Alegerea materialului membranar și design-ului optim în vederea reducerii consumului de energie electrică;
- Cuantificarea degradării membranelor ca aspect important de reducere a costurilor de exploatare;
- Evaluarea tehnico-economică și de mediu a procesului de captare CO₂ pe bază de membrane.

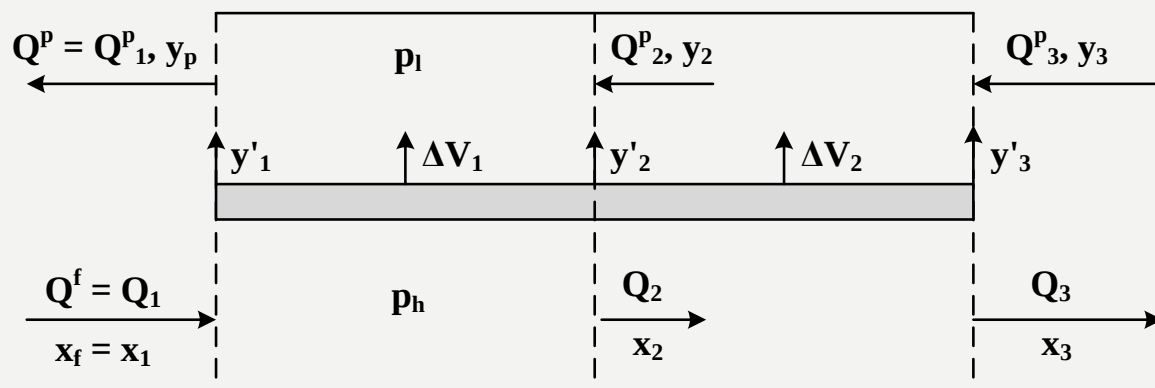
DESCRIERE MEMBRANE UTILIZATE ÎN CCUS

Optimizarea tehnico-economică și de mediu a integrării proceselor pre- și post-combustie de captare CO₂, utilizând membrane polimerice în sisteme energetice și non-energetice

Rezultatele cercetării

Tip membrană	Aplicație	Avantaje	Dezavantaje
Membrană metalică	Pre-combustie	Selectivitate infinită H ₂ /CO ₂	Costuri ridicate, degradare, forță motrice scăzută
Membrană de carbon	Pre-combustie	Efect de cernere a dimensiunilor, selectivitate ridicată H ₂ /CO ₂	Costuri ridicate, sensibilă la oxigen, fragilă
Membrană de alumină	Pre-combustie	Costuri reduse, stabilitate chimică și fizică	Selectivitate scăzută H ₂ /CO ₂
Membrană de zeolit	Pre-combustie și post-combustie	Costuri reduse, stabilitate chimică și fizică	Selectivitate scăzută H ₂ /CO ₂
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 și pre-combustie	Costuri reduse, selectivitate ridicată CO ₂ /N ₂	Stabilitate chimică și fizică scăzută, prea groasă

1. DEZVOLTAREA MODELULUI MATEMATIC AL PROCESULUI DE CAPTARE A CO₂-ULUI PRIN MEMBRANE



Schema fluxului în contracurent într-o unitate membranară (metoda diferenței finite - FDM)

Ipoteze:

- valorile permeabilității sunt similare cu cele ale speciilor pure;
- permeabilitățile luate în considerare sunt independente de presiune;
- se presupune starea de echilibru;
- se consideră membrana de grosime uniform;
- presiunea totală este constantă pe fiecare parte a membrane;
- nu există gradienti de concentrație în direcția perpendiculară a membranei.

$$Q^f = Q^p + Q^0 \quad (1)$$

$Q^{f,p,0}$ - debitul de alimentare, debitul de permeat, debitul de retentat

$x_{f,p,0}$ - fracțiile molare

$$Q^f \cdot x_f = Q^p \cdot x_p + Q^0 \cdot x_0 \quad (2)$$

Etapă de separare:

$$\theta = \frac{Q^p}{Q^f} = \frac{Q^f - Q^0}{Q^f} \quad (3)$$

Selectivitate:

Raport de compresie:

$$\alpha = \frac{p^A}{p^B} \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{p^l}{p^h} \quad (5)$$

$p^{A,B}$ - permeabilitate gaz A, B

$p^{l,h}$ - presiune permeat, presiune flux alimentare

1. DEZVOLTAREA MODELULUI MATEMATIC AL PROCESULUI DE CAPTARE CO₂ PRIN MEMBRANE



Metoda diferenței finite (FDM), creștere suprafață (increment) ΔA_m

$$\Delta Q^p = Q_{in} - Q_{out} \quad (6)$$

$$y'_{in} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a = 1 - \alpha$$

$$b = -1 + \alpha + \frac{1}{\gamma} + \frac{x_{in}}{\gamma} (\alpha - 1)$$

$$c = \frac{-\alpha x_{in}}{\gamma}$$

$$\Delta Q^p y'_{av} = Q_{in} x_{in} - Q_{out} x_{out} \quad (7)$$

$$y'_{av} = \frac{(y_{in} + y_{out})}{2} \quad (8)$$

$$\Delta Q^p = Q_{in} \frac{(x_{in} - x_{out})}{(y'_{av} - x_{out})} \quad (9)$$

$$Q^p = \sum \Delta Q_p \quad (10)$$

$$y = \frac{\sum y'_{av} \Delta Q_p}{Q^p} \quad (11)$$

$$\frac{Q^p y'_{av}}{\Delta A_m} = (P_A/t) p_h (x - \gamma y')_{av} \quad (12)$$

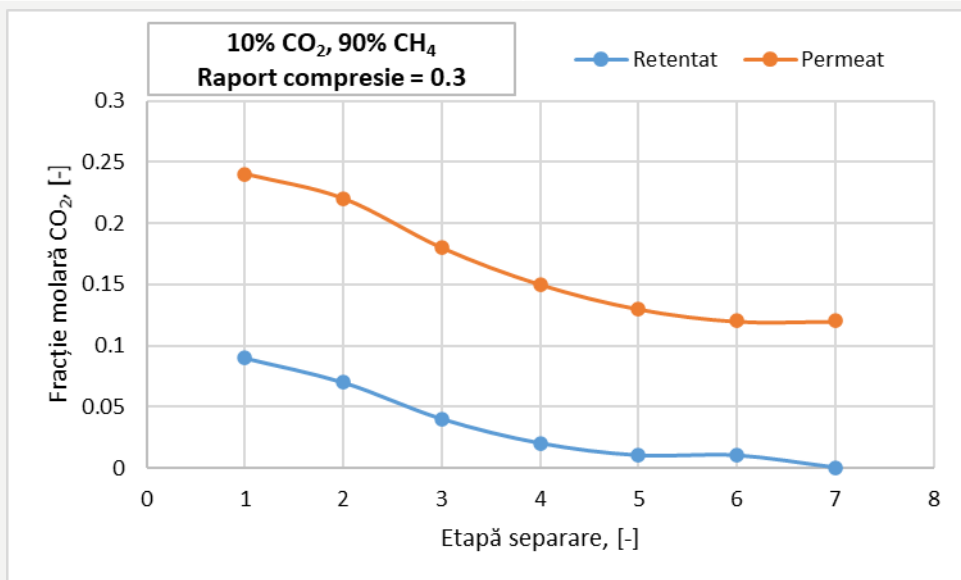
$$(x - \gamma y')_{av} = \frac{[(x_{in} - \gamma y'_{in}) + (x_{out} - \gamma y'_{out})]}{2}$$

$$\Delta A_m = \frac{\Delta Q_p y'_{av}}{(P_A/t) p_h (x - \gamma y')_{av}} \quad (13)$$

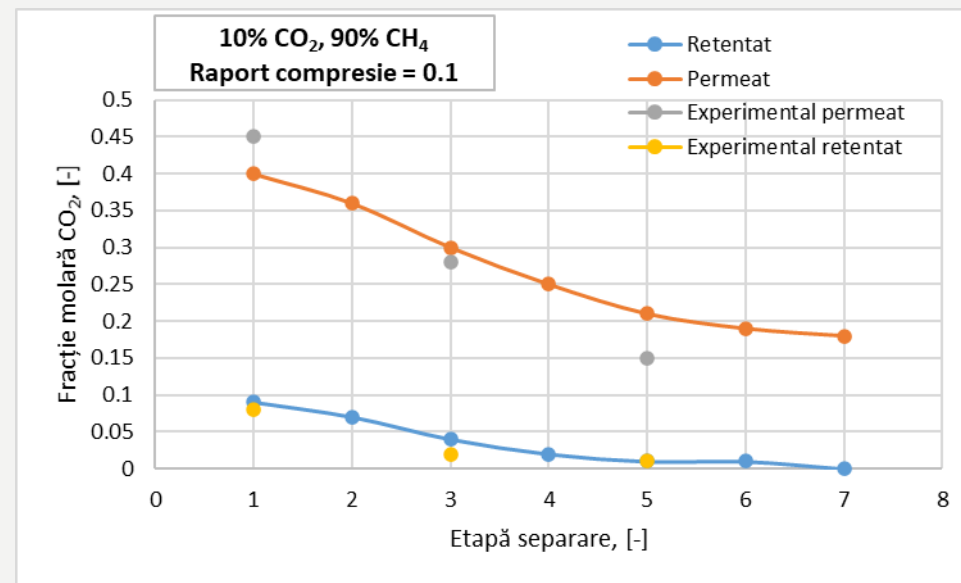
Tratarea gazului natural – integrare pre-combustie

Cazuri studiate

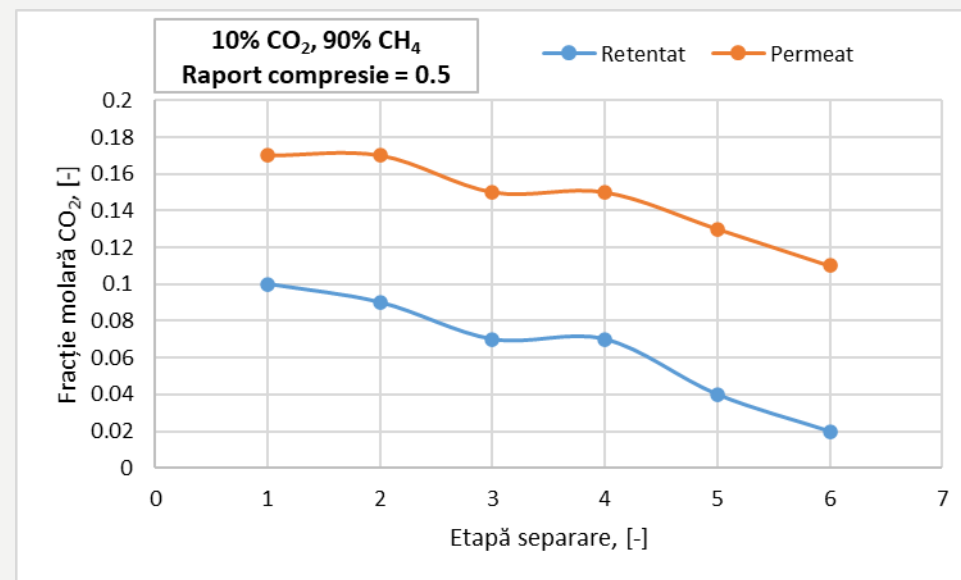
Compoziție flux de alimentare (mol%)	10% CO ₂ , 90% CH ₄
	25% CO ₂ , 75% CH ₄
	50% CO ₂ , 50% CH ₄
Raport de compresie	0.1, 0.3, 0.5
Tip membrană	Hollow fiber – tip cardo poliamidă (PI)



Fracția molară de CO₂ în permeat și retentat pentru un raport de compresie de 0.3



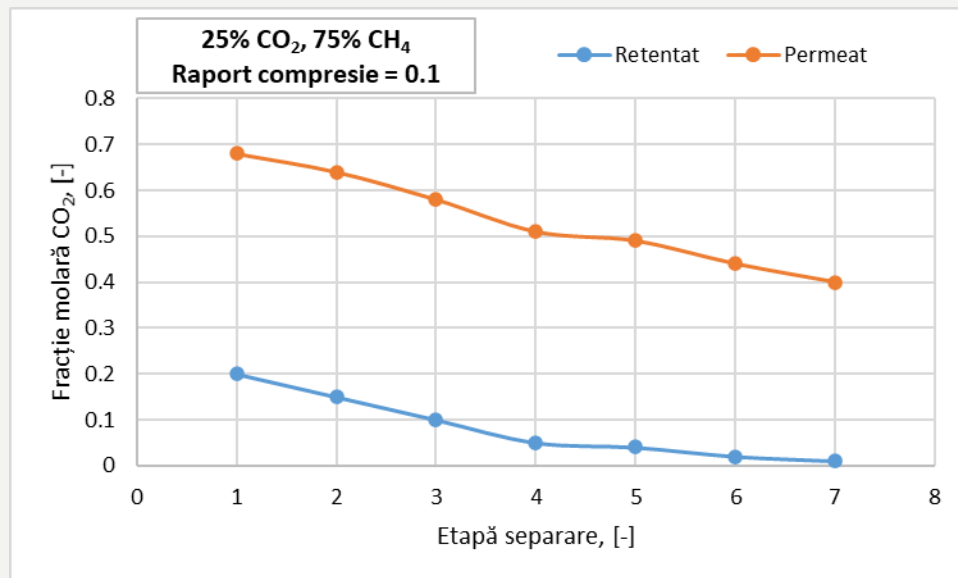
Fracția molară de CO₂ în permeat și retentat pentru un raport de compresie de 0.1 Experimental: M. Peer, 2008



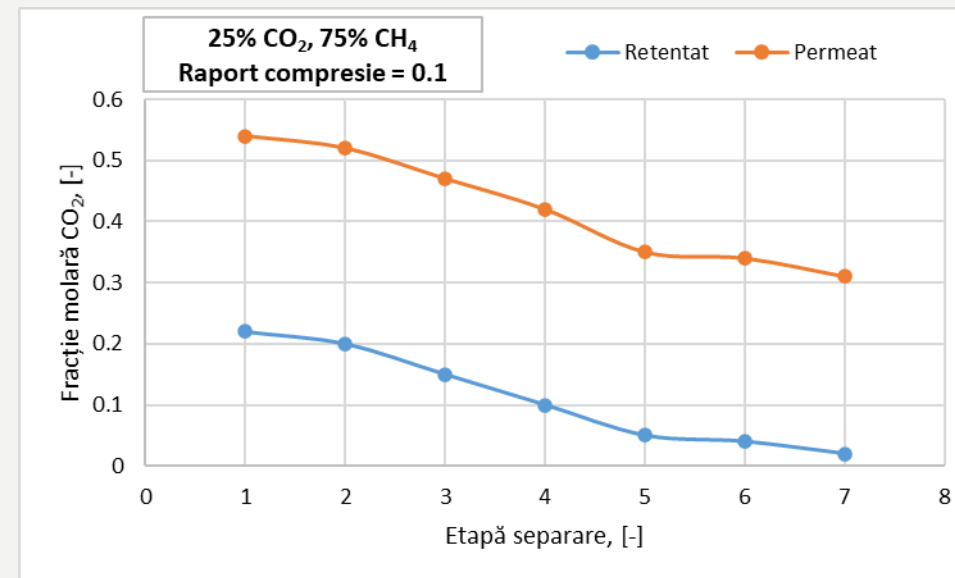
Fracția molară de CO₂ în permeat și retentat pentru un raport de compresie de 0.5

Tratarea gazului natural – 25% CO₂, 75% CH₄

Optimizarea tehnico-economică și de mediu a integrării proceselor pre- și post-combustie de captare CO₂ utilizând membrane polimerice în sisteme energetice și non-energetice

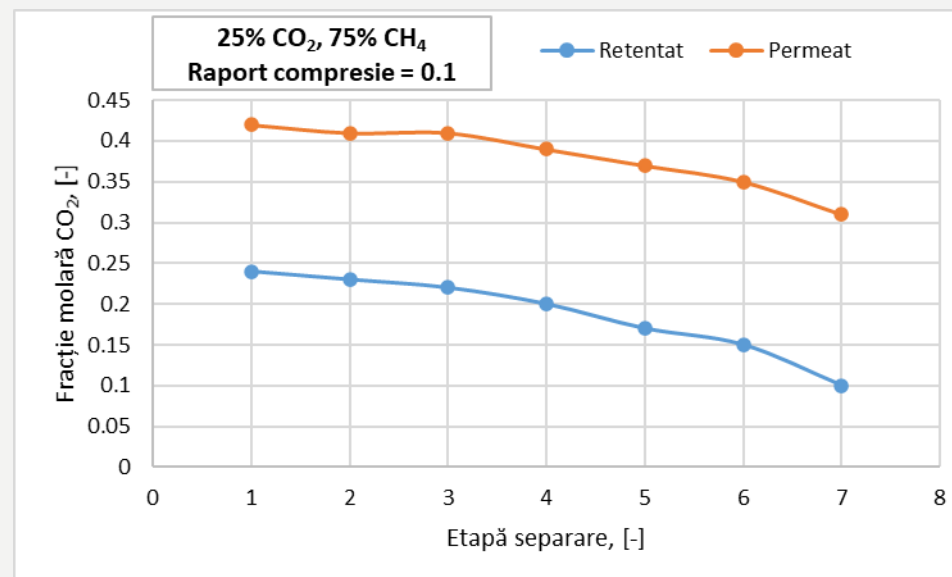


Fracția molară de CO₂ în permeat și retentat pentru un raport de compresie de 0.1

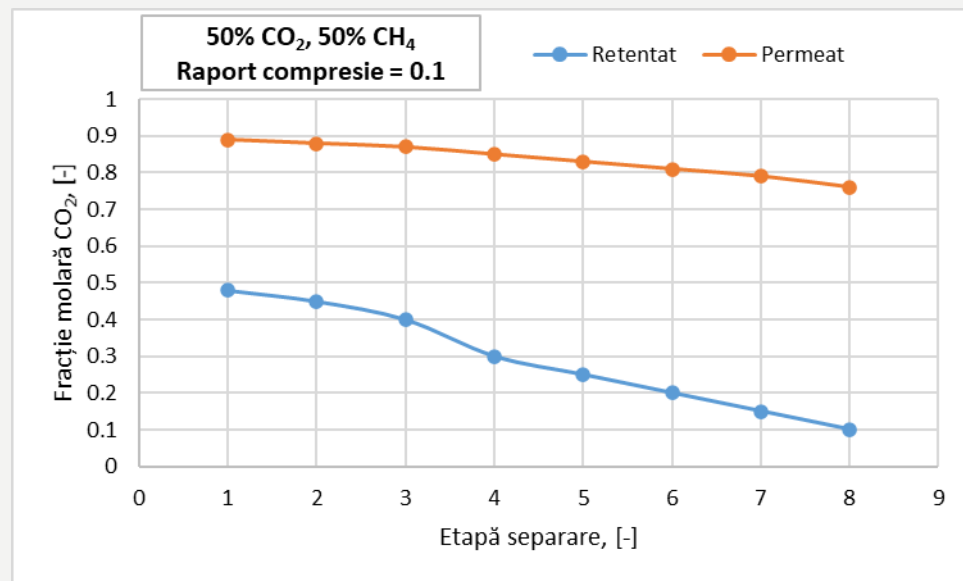


Fracția molară de CO₂ în permeat și retentat pentru un raport de compresie de 0.3

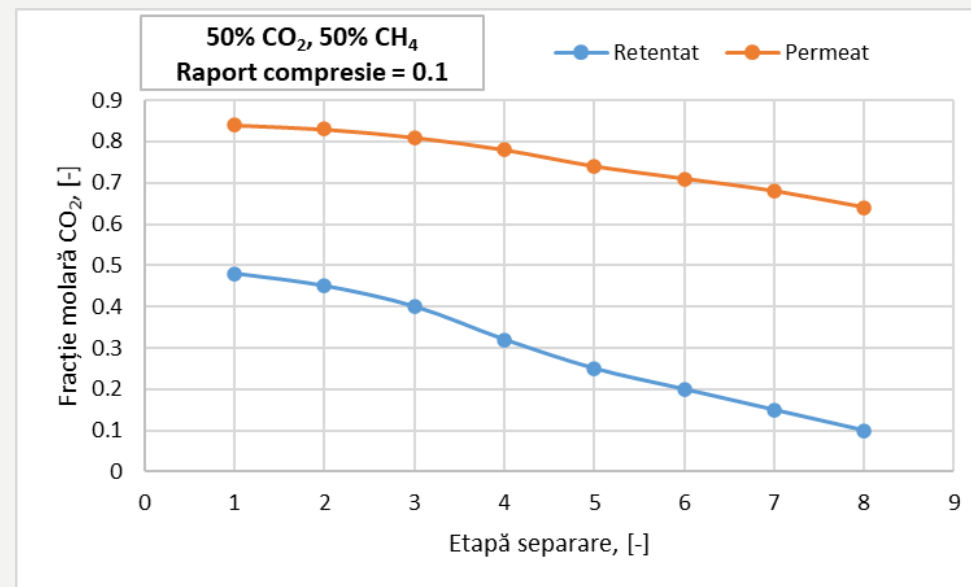
Fracția molară de CO₂ în permeat și retentat pentru un raport de compresie de 0.5



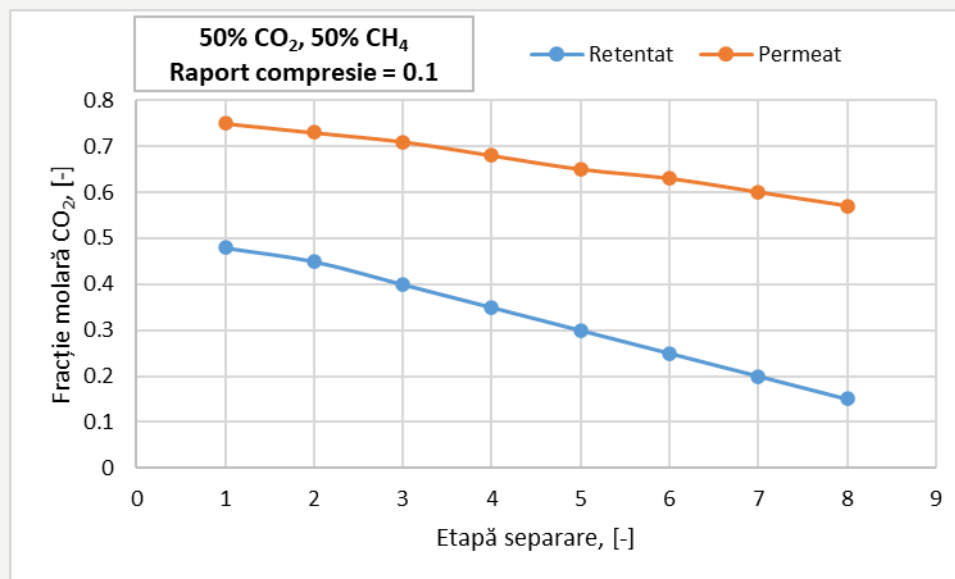
Tratarea gazului natural – 50% CO_2 , 50% CH_4



Fracția molară de CO_2 în permeat și retentat pentru un raport de compresie de 0.1

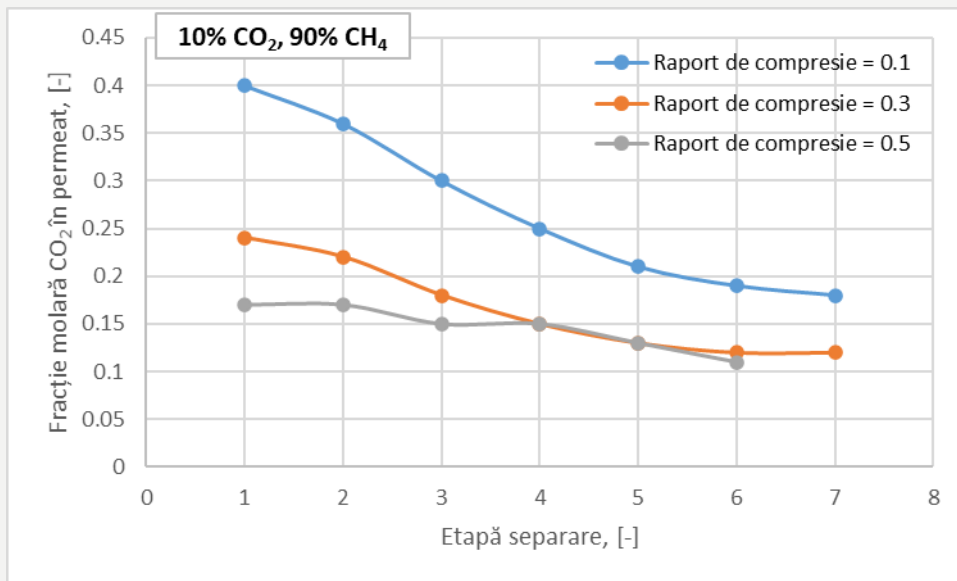


Fracția molară de CO_2 în permeat și retentat pentru un raport de compresie de 0.3

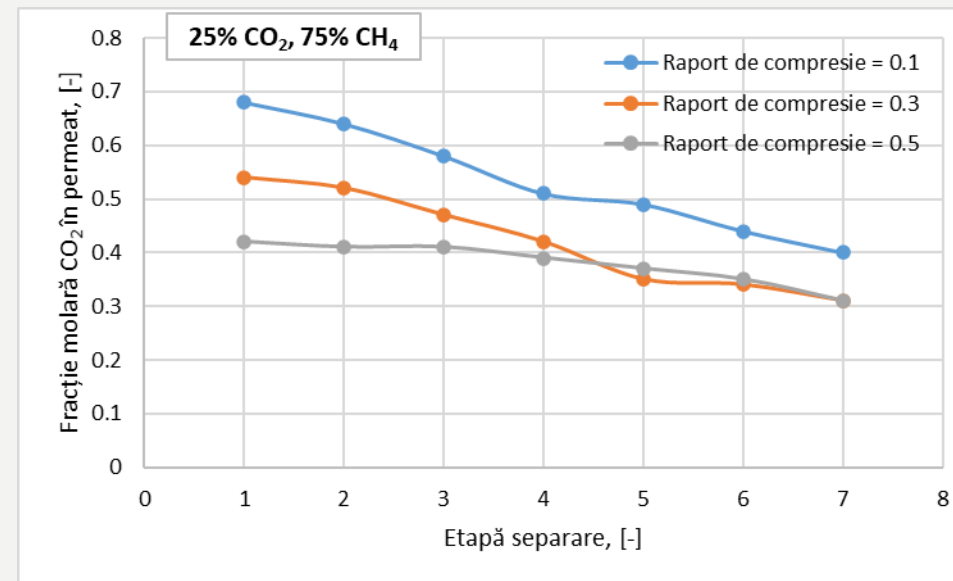


Fracția molară de CO_2 în permeat și retentat pentru un raport de compresie de 0.5

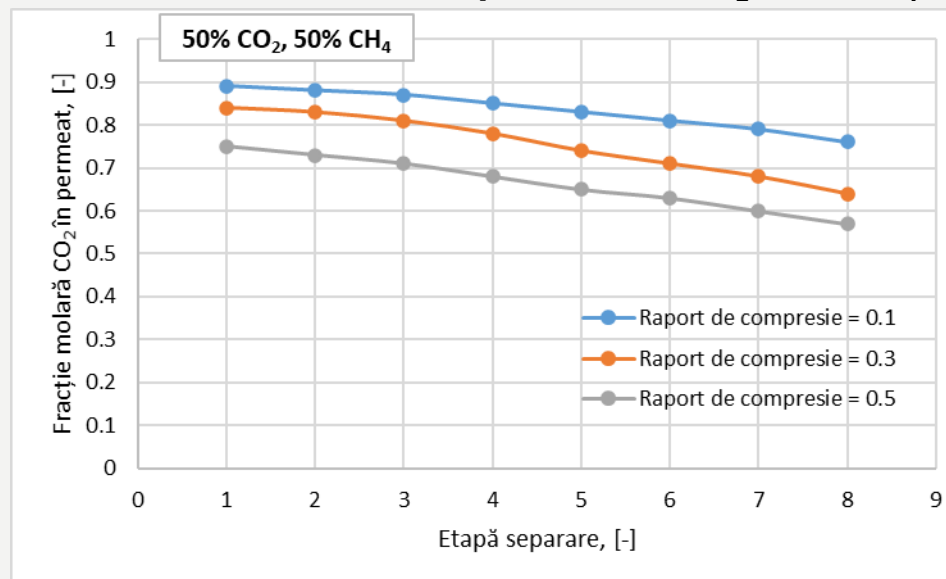
Tratarea gazului natural – Analiză comparativă – Raport de compresie



Fracția molară de CO_2 în permeat pentru 10% CO_2 , 90% CH_4

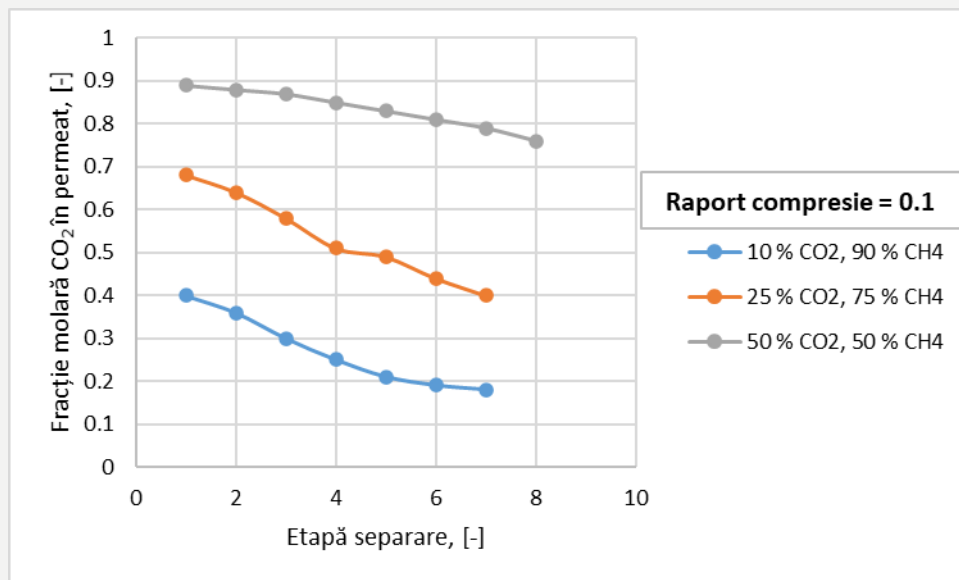


Fracția molară de CO_2 în permeat pentru 25% CO_2 , 75% CH_4

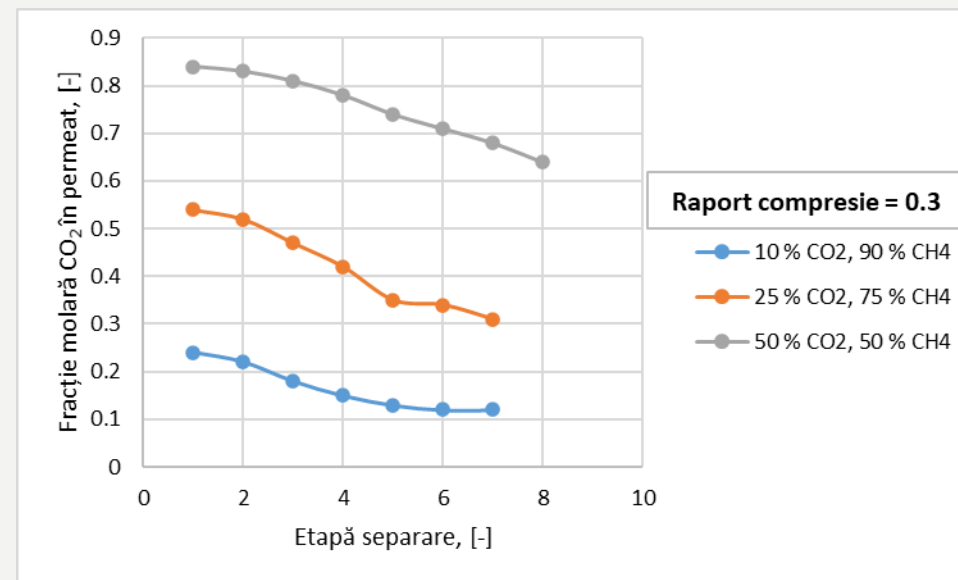


Fracția molară de CO_2 în permeat pentru 50% CO_2 , 50% CH_4

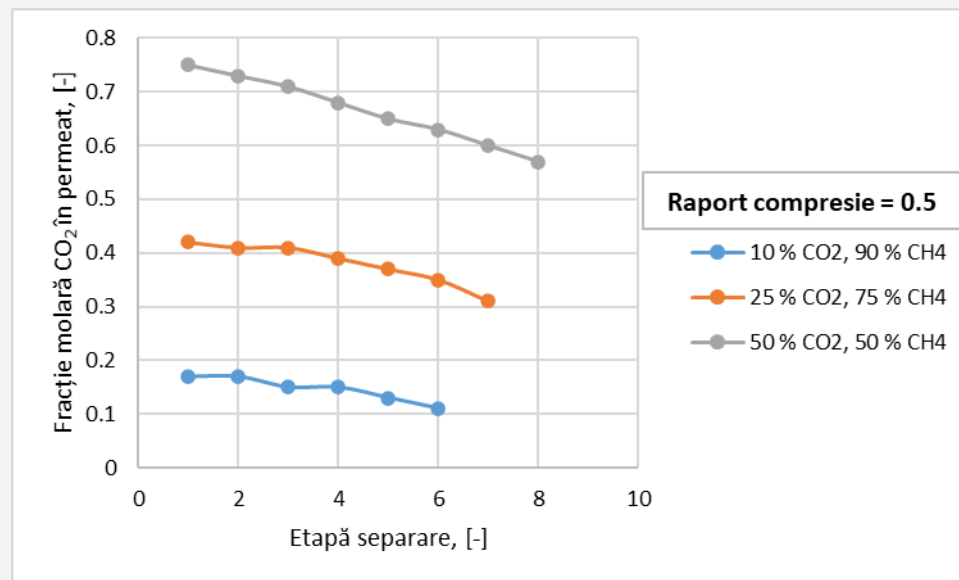
Tratarea gazului natural – Analiză comparativă – Compoziție gaz natural



Fracția molară de CO₂ în permeat pentru un raport de compresie de 0.1



Fracția molară de CO₂ în permeat pentru un raport de compresie de 0.3



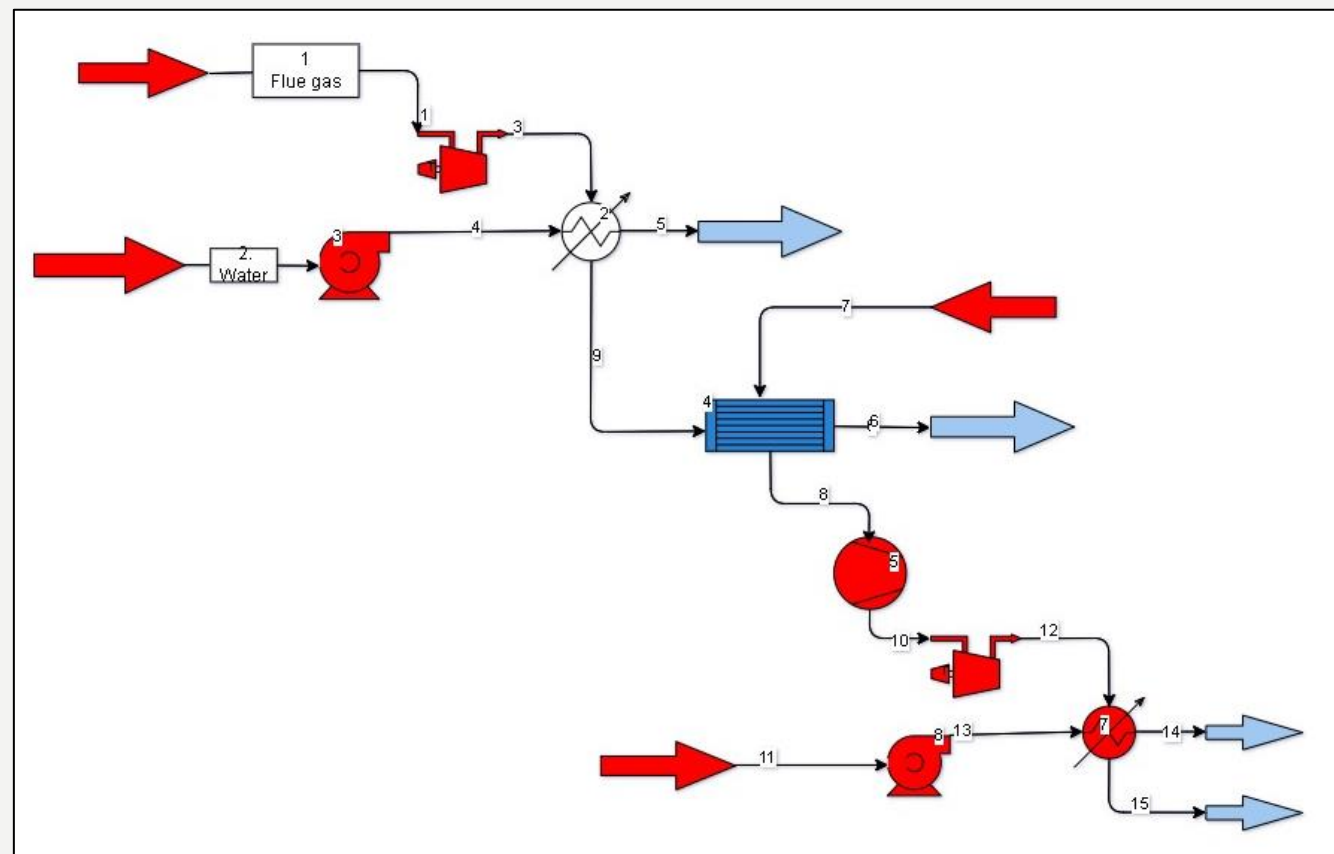
Fracția molară de CO₂ în permeat pentru un raport de compresie de 0.5

2. MODELAREA PROCESULUI DE CAPTARE CO₂ PRIN MEMBRANE

Tratare gaze de ardere – integrare post-combustie

Date de intrare

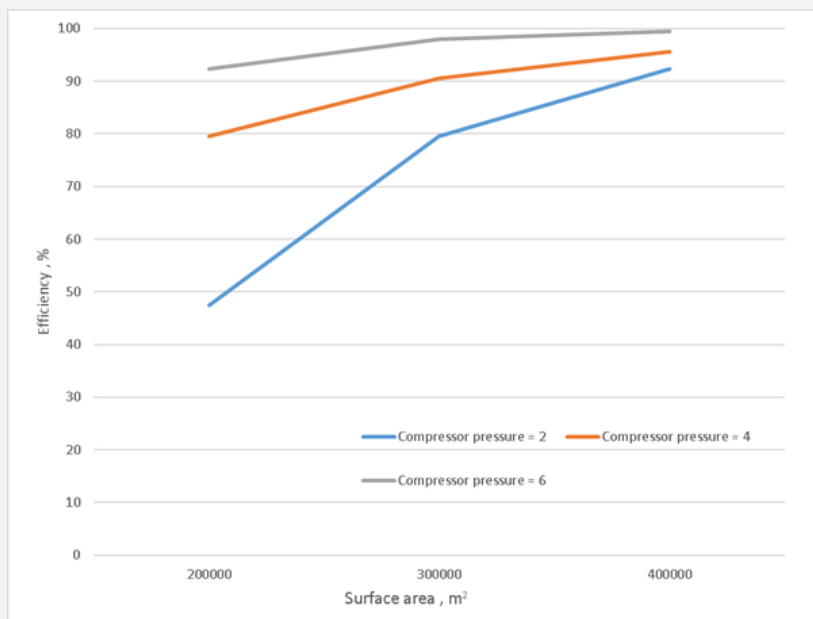
Flux de alimentare	Gaze de ardere CTE pe cărbune
Putere CTE	330 MW
Debit gaze de ardere	52430 kmol/h
Presiune gaze de ardere	2, 4, 6 bar
Suprafață membrană	200, 300, 400 10 ³ m ²
Număr unități membranare	1, 2
Compoziție gaze de ardere (vol.%)	
CO ₂	13.3
N ₂	81.4
O ₂	5.2
SO ₂	0.05



Modelarea procesului de captare CO₂ în Chemcad – 1 unitate membranară

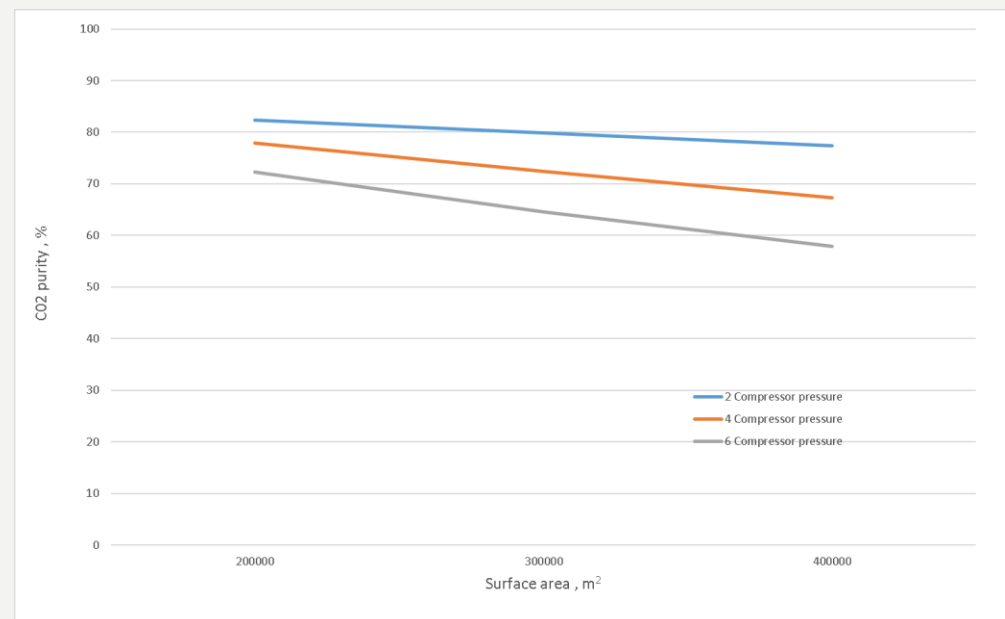
Modelarea procesului de captare CO₂ în Chemcad – I membrană - Rezultate

Optimizarea tehnico-economică și de mediu a integrării proceselor pre- și post-combustie de captare CO₂ utilizând membrane polimerice în sisteme energetice și non-energetice



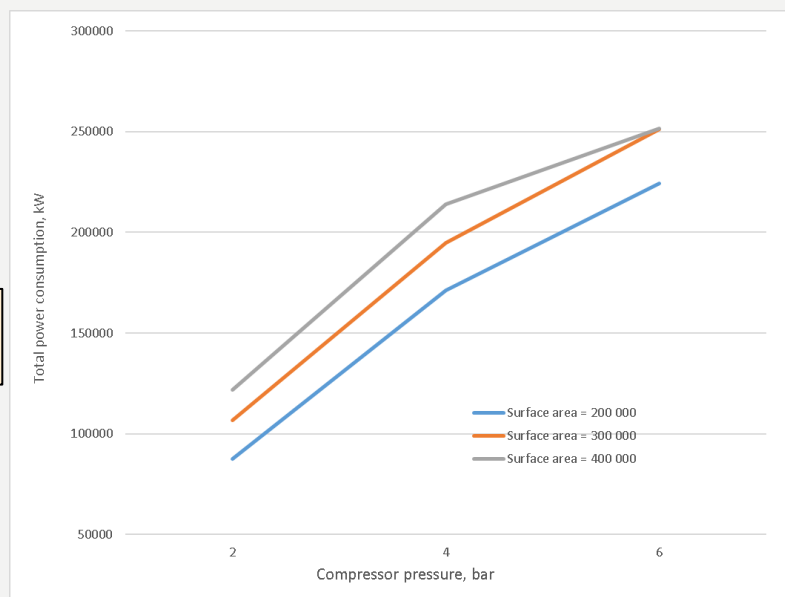
Eficiența de captare CO₂ în funcție de presiunea gazelor de ardere și de suprafața membranei

$$Eficiență = \frac{CO_{2_in} - CO_{2_out}}{CO_{2_in}} \cdot 100 \%$$



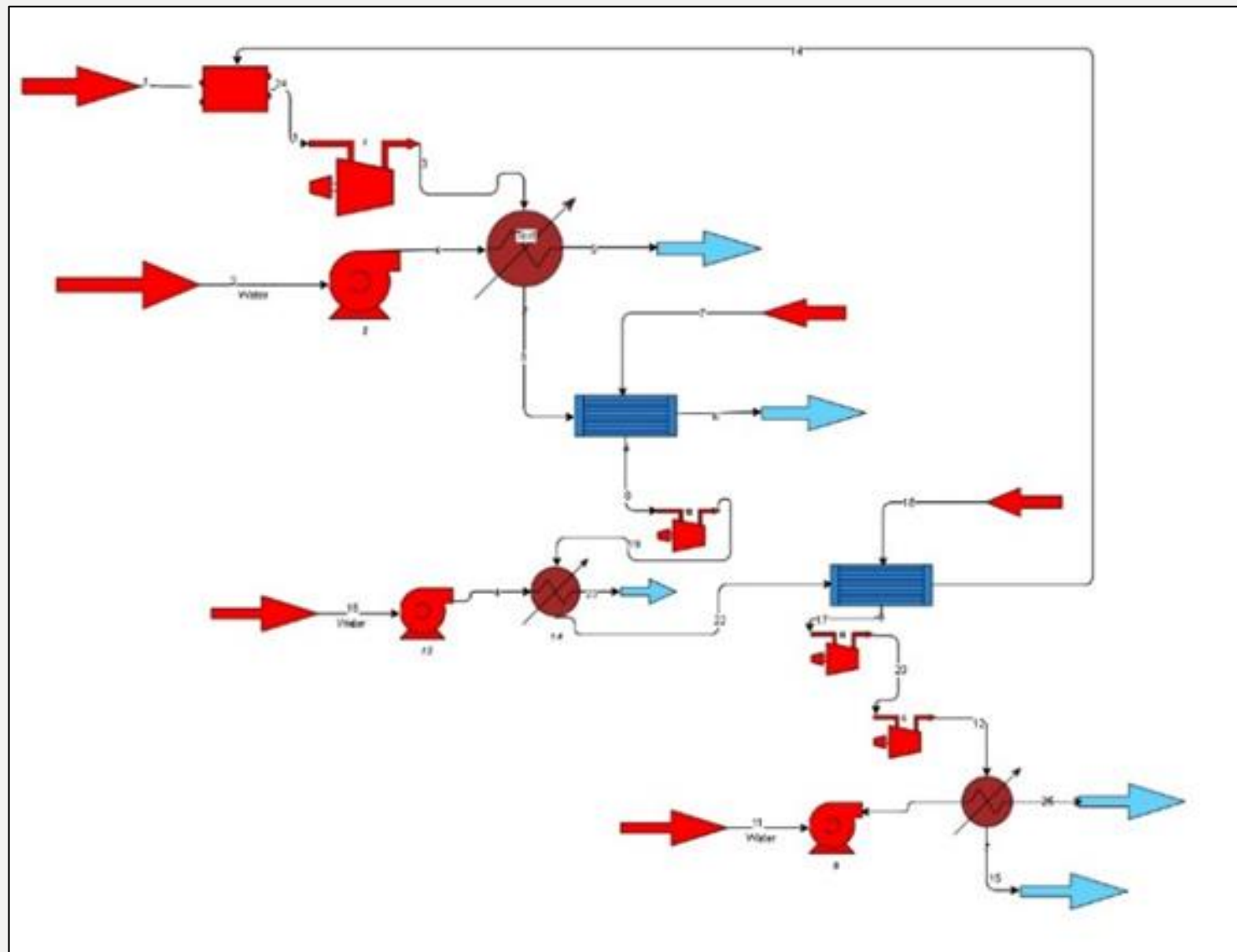
Puritatea CO₂ în funcție de presiunea gazelor de ardere și de suprafața membranei

Puterea consumată în funcție de presiunea gazelor de ardere și de suprafața membranei



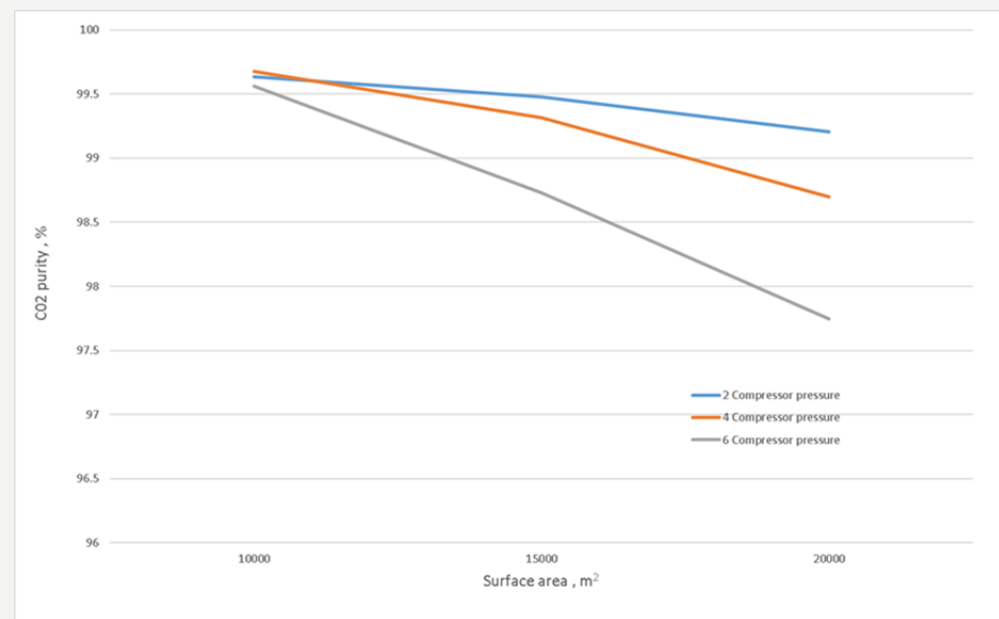
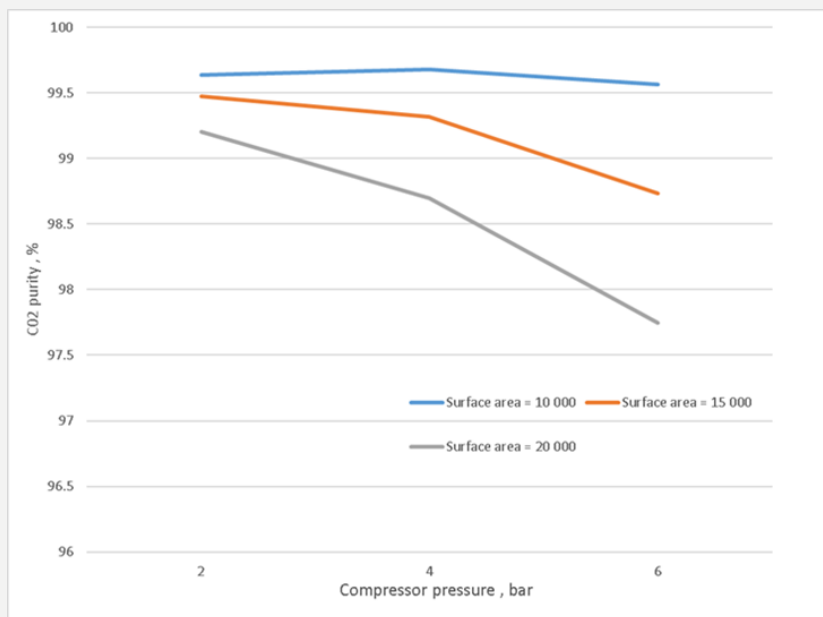
$$Putere\ totală\ consumată = Putere_{compresor} + Putere_{pompă} + Putere_{pompă_vacuum} \text{ kW}$$

Modelarea procesului de captare CO₂ în Chemcad – 2 unități membranare



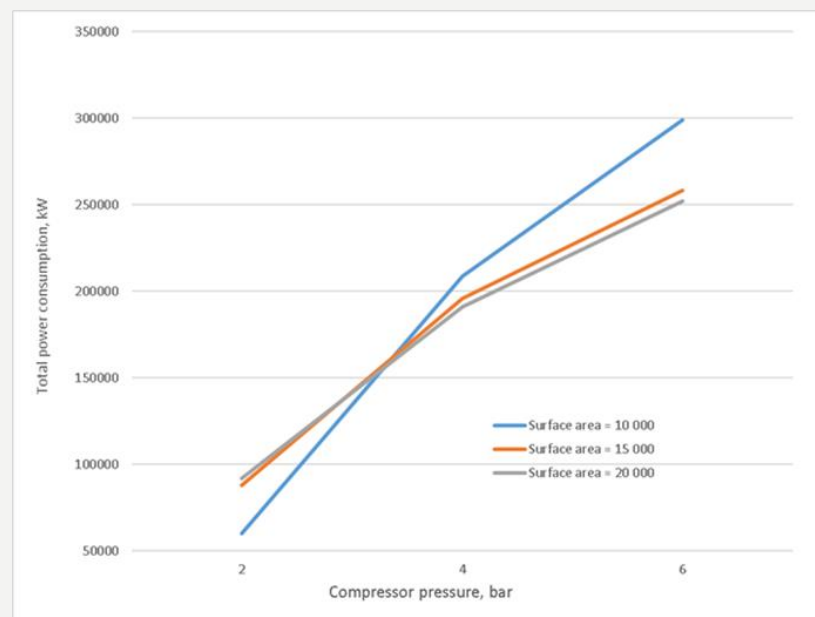
Modelarea procesului de captare CO₂ în Chemcad – 2 membrană - Rezultate

Optimizarea tehnico-economică și de mediu a integrării proceselor pre- și post-combustie de captare CO₂ utilizând membrane polimerice în sisteme energetice și non-energetice



Puritatea CO₂ în funcție de presiunea gazelor de ardere și de suprafața membranei

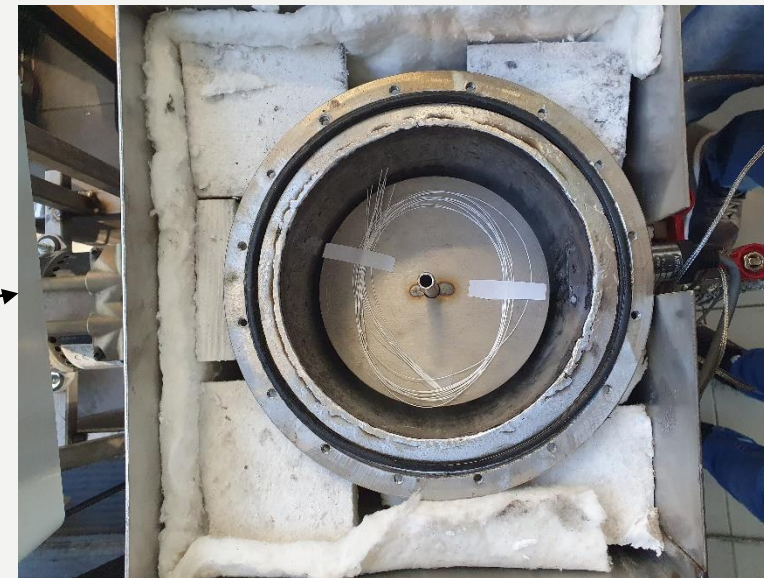
Puterea consumată în funcție de presiunea gazelor de ardere și de suprafața membranei →



3. STUDIU EXPERIMENTAL AL PROCESULUI DE CAPTARE CO₂ PRIN MEMBRANE



**Instalație pilot demonstrativă (ASFC)
– Laborator Surse Regenerabile de
Energie, Facultatea de Energetică, UPB**



**Modul membranar – Laborator Surse Regenerabile
de Energie, Facultatea de Energetică, UPB**

Proiect: Hybrid Solvent – Membrane for post-combustion CO₂ capture and utilization-CO₂HyBrid, NO Grants, Contract nr. 13/2020, Director Proiect: Cristian Dincă, 2020-2023.

4. EVALUAREA TEHNICO-ECONOMICĂ ȘI DE MEDIU A PROCESULUI DE CAPTARE CO₂ PRIN MEMBRANE

Integrarea procesului de captare CO₂ post-combustie în cadrul CTE

Date de intrare analiză economică	
Putere netă, MW	330
Durata anuală de funcționare	7446
Factor de încărcare, %	85
Preț energie electrică, €/MWh	160
Rata de actualizare, %	8
Durata de studiu, an	30

Absorbție chimică (MEA 30%)	
Unitate absorbție, M€	27.7
Pompă și schimbător de căldură solvent bogat/sărac în CO ₂ , M€	6.89
Unitate desorboție, M€	31.4
Unitate amină, apă, CO ₂ , M€	16.9

Unitate membranară	
Cost investiție specific, €/m ²	50
Durată de viață, an	5
Compresor gaze de ardere, €/kW	850
Pompă vacuum, €/kW	1300
Pompă CO ₂ , €/kW	1350
Compresor CO ₂ , €/kW	1800
Înlocuire membrană	20% din costul inițial
Salarii, €/kW	15

Compresie CO ₂	
Compresor CO ₂ , M€	11.7
Răcire, separare M€	0.87

4. EVALUAREA TEHNICO-ECONOMICĂ ȘI DE MEDIU A PROCESULUI DE CAPTARE CO₂ PRIN MEMBRANE

Rezultate – Integrarea procesului de captare CO₂ post-combustie în cadrul CTE

Indicatori	Variante		
	CTE fără captare	CTE cu absorbție chimică	CTE cu membrane
Putere brută, kW _e	356 190	494 784	511 095
Putere auxiliară , kW _e	26 190	164 784	181 095
Putere netă, kW _e	330 000	330 000	330 000
Debit cărbune, t/h	92.22	119.06	125.39
Eficiență globală, %LHV	45.78	35.45	33.67
Putere consumată proces membrane , kW _e	-	-	154 905
Putere consumată proces absorbție chimică, kW _e	-	138 594	-
Putere termică necesară, kW _{th}	-	277 410	-
Energie termică necesară, GJ/tCO ₂	-	3.15	-
Cost investiție, €/kW	2 753.79	4 663.55	4 926.99
Factor de emisie CO ₂ , kg/MWh	741.15	95.71	100.77
Cost evitat CO ₂ , €/t _{CO2}	-	37.88	39.98
Cost captare CO ₂ , €/t _{CO2}	-	28.38	28.23
LCOE (cost actualizat energie electrică), €/kWh	0.0513	0.0969	0.0979

5. DISEMINAREA REZULTATELOR



Articole publicate:

I. **Slavu, N.**, Badea, A., Dinca, C. (2022). Technical and Economical Assessment of CO₂ Capture-Based Ammonia Aqueous. Processes, 10.5, 859. WOS:000815171300001, Q2, **Impact Factor 2021 - 3.352.**

VĂ MULTUMESC PENTRU ATENȚIA ACORDATĂ!