

MODELAREA MULTITEMPORALĂ AVANSATĂ ȘI OPTIMIZAREA REȚELELOR DE TRANSPORT, UTILIZARE ȘI DEPOZITARE A CO₂

ETAPĂ NR. 1 /2023: Descrierea stocării integrate și a metodelor de decarbonizare prin analize de risc și dezvoltarea de modele proxy CCUS

Un model generic 3D a fost construit pe baza studiului bibliografic. Modelul este un rezervor de tip paralelipiped cu o extindere spațială de 100 km × 100 km compus din 50 X 50 blocuri individuale cu dimensiunea de 2 km × 2 km. Grosimea rezervorului este aleasă de utilizator ca parametru de intrare și este divizată în 10 straturi. În centru este considerată o sondă de injecție.

Modelul generic descris mai sus a fost testat și validat pe datele din GETICA CCS, testarea și validarea făcându-se în colaborare cu partenerul IFPEN. O parte din parametrii necesari testării modelului nu au fost luați în considerare în modelul GETICA, prin urmare aceștia au fost estimați pe baza similitudinii cu câmpul Ellerstie FM (Alberta, Canada) . În cele din urmă, pentru fiecare zonă din modelul GETICA CCS, valorile considerate ca intrare în modelele generice au fost valorile maxime furnizate(fig.1).

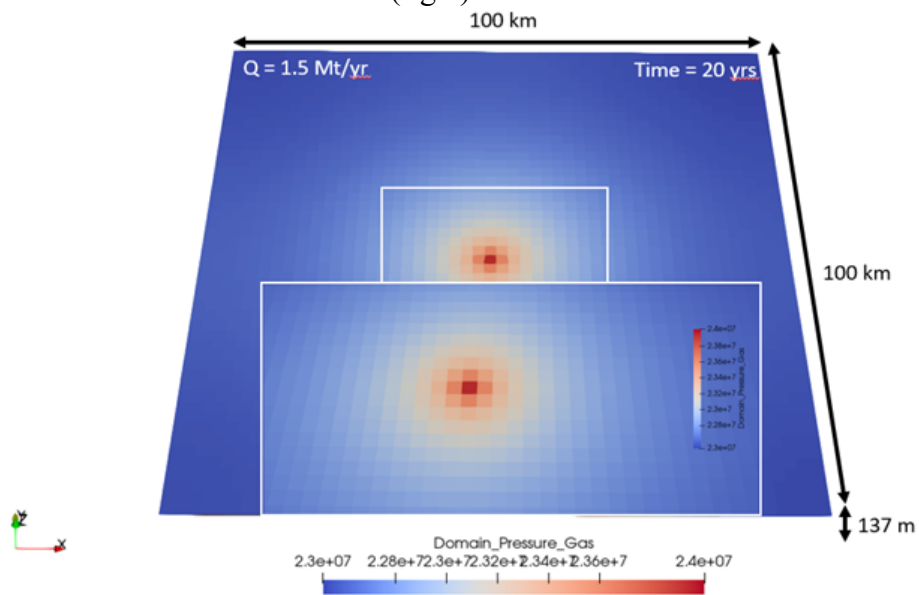


Figura 1. Presiunea gazului în Zona 1(proiect GETICA CCS) simulată cu modelul generic după 20 de ani de injecție și o rată de injecție de 1,5 Mt/an

Pentru a simula procesul CO₂-EOR, a fost creat de asemenea un model generic, pe baza datelor de la Weyburn-Midale. Modelul a fost testat și validat pe câmpul Brădești. Simularea CO₂-EOR pentru Brădești s-a făcut luând în considerare o presiune inițială de rezervor, o temperatură de 85 C și o adâncime totală de 2580 m. Gridul, proprietățile, schema de amplasament a sondelor și schema de exploatare a fost similară modelului original Weyburn-Midale.

Utilizând modelul generic CO₂-EOR, au fost simulate două perioade de exploatare, iar seturile lor de date au fost generate din datele de intrare (e.g. rate de injecție) și din rezultate (e.g. rate de producție). Prima perioadă simulată a fost din 1956 până în decembrie 2007, iar a doua perioadă din 2007 până în 2025. Schema de exploatare pentru prima perioadă a fost selectată ca fiind aceeași ca la Weyburn-Midale (incluzând sonde de injecție de apă și CO₂), în timp ce pentru a doua perioadă a fost luată în considerare închiderea sondelor de apă și o injecție continuă de CO₂.

A doua schemă de exploatare simulată a început în ianuarie 2007 și se încheie în 2025 când rezervorul va fi pe deplin epuizat cu o presiune de 20 bari, așa cum se observă în 2 (linia maro).



Figura 2. Cazul Brădești – presiune medie – ratele de producție de petrol, apă și gaz

În cadrul activității 2.2, au fost construite modele proxy pentru conducte și sonde pentru a fi incluse în modelul de rețea de transport și stocare a CO₂. Pentru a rula aceste modele este necesar să se știe proprietățile fluidelor pentru o gamă largă de presiuni și entalpii. Aceste sunt obținute prin procedura Refprop pentru diferite temperaturi și densități și sunt utilizate în modelul unidimensional

Modelul unidimensional este rulat pentru un domeniu mare de debite, presiuni de intrare și entalpii de intrare și pentru fiecare condiție presiunea și entalpia de ieșire sunt calculate. Așa se creează tabele mari specifice pentru fiecare sondă și conductă ce urmează a fi incluse în modelul rețelei. Modelul de rețea poate apoi să interpoleze în tabele pentru presiunile și temperaturile întregii rețele.

Debitul printr-o conductă sau o sondă este calculat doar în stare de echilibru și de-a lungul unei singure dimensiuni. În model, ecuațiile pentru conservarea masei, impulsului și energiei sunt rezolvate folosind presiunea (P) și entalpia (h) ca variabile independente. Utilizarea entalpiei în loc de temperatură (T) împiedică tranziția dintre gaz și lichid să se transforme într-o singură linie

pentru CO₂ pur. S-a creat diagrama de fază a CO₂ într-o diagramă PT și într-o diagramă Ph. În timp ce în diagrama PT regiunea vapori/lichid, vapori/solid și lichid/solid sunt linii unice, în diagrama Ph nu sunt, ceea ce face ca simulările în domeniul Ph să fie mai stabile numeric. De asemenea, permite să fie specificate condiții la limită în care sunt prezente ambele faze.

Proprietățile fluidului se modifică în funcție de presiune, entalpie și compoziția fluidului. Trebuie selectată o ecuație de stare pentru a calcula proprietățile fluidului. În modelele proxy actuale, este utilizat NIST Refprop v10. Pentru CO₂ pur, rezultatele de la Refprop se potrivesc cu ecuația de stare Span și Wagner. Tratamentul amestecurilor în software-ul Refprop este descris în Huber și colab. (2022).

În cadrul proiectului a fost creată o procedură de creare a tabelor PVT, urmând următorii pași:

1. Calculul liniilor limită de fază (adică curba de topire, fierbere, condensare și sublimare) inclusiv proprietățile relevante. Acest lucru permite determinarea fazelor în tabelele Ph.
2. Pentru domeniul gaz/lichid, tabelele PVT sunt generate de Refprop folosind temperatura și densitatea ca variabile independente (tabelele TD). Limitele acestor tabele sunt alese astfel încât întregul domeniu gaz-lichid să fie acoperit de tabele.

În cadrul activității 2.3, KPI (Key Performance Indicators – indicatorii cheie de performanță) globali au fost definiți în urma discuțiilor cu partenerii și în urma studiului bibliografic și se regăsesc în Tabelul 4. Dintre toate KPI-urile, explozia de vapori de expansiune a lichidului în fierbere nu s-a dovedit a fi obișnuită pentru evaluarea riscului CCUS în alte studii. Prin urmare, astfel de elemente au fost atribuite categoriei specifice cu efecte necunoscute asupra întregului sistem CCUS.

Modelarea riscului bazată pe cuantificarea incertitudinii

Riscul și incertitudinea sunt concepte strâns legate, deoarece modelarea lor se bazează pe KPI-uri globale și specifice de caz. În timp ce un risc poate fi evaluat prin interpretarea incertitudinii variabilei de interes (Y), o incertitudine în datele de ieșire poate fi cuantificată prin propagarea funcției de densitate a probabilității (PDF) a intrărilor și PDF-urilor parametrului la ieșiri (Figura). Riscul variabilei de interes (Y) poate fi cuantificat ca produsul dintre probabilitatea de apariție a cazului de defecțiune (critic, steag roșu) și intensitatea acestuia.

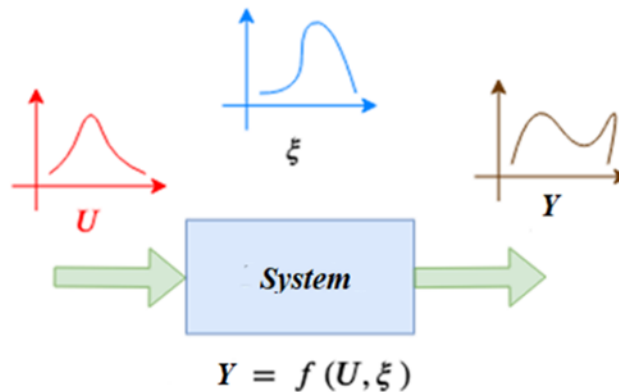


Figura 3. Cuantificarea incertitudinii (UQ) folosind un PDF. Propagarea incertitudinii de la intrările U la ieșirile Y într-un sistem tipic. ξ este parametrul geologic

Modelele proxy pentru sistemul de captare a CO₂ sunt propuse pentru a atenua provocările anterioare din cauza naturii dinamice a algoritmilor parametrizați de intrări și timp pentru a prezice ieșirile. O abordare nouă pentru construirea PDF a acestor rezultate este discutată în secțiunea următoare pentru un model proxy bazat pe Polynomial Chaos Expansion – Expansiunea polinomială a haosului. Metodele Monte Carlo sunt soluția clasică pentru a construi PDF-ul cantității de interes, dar necesită resurse de calcul substanțiale. Prin urmare, sunt necesare metode mai puțin costisitoare de calcul pentru a construi PDF-ul folosind câteva puncte de eșantionare. În acest scop, Polynomial Chaos Expansion (PCE) – Expansiunea Polinomială a Haosului este aleasă pentru a satisface criteriile pentru un model proxy.

Realizarea scenariilor regionale de decarbonizare

Procesul de dezvoltare a scenariilor regionale de decarbonizare pentru implementare reprezintă o etapă esențială în definirea și abordarea problemelor cheie asociate cu implementarea integrată a rețelei CCUS la nivel regional.

Echipa românească este în principal implicată în utilizarea și testarea setului de instrumente pentru modele proxy de rezervoare, sonde și conducte. Setul de instrumente va fi aplicat studiului de caz național, care este o extensie a proiectului Getica CCS, începând de la sursele de CO₂ din Oltenia și transportul CO₂ capturat prin conducte și fluviul Dunărea către siturile potențiale de stocare de pe uscat (onshore) și offshore. Câmpurile de hidrocarburi potrivite ca situri potențiale de stocare se caracterizează prin lipsa de date, în principal din motive de confidențialitate impuse de legislația națională, ceea ce ar putea reprezenta o bună oportunitate pentru a testa eficiența modelului proxy cu date reduse. O altă particularitate a cazului românesc este potențialul pentru CO₂-EOR și capacitatea de a testa modelul proxy corespunzător. Utilizăm date din proiecte de cercetare anterioare precum ALIGN CCUS și ECOBASE (finanțate prin programul ACT, primul apel), dar și din Studiul de Fezabilitate GETICA CCS (partea de depozitare geologică a CO₂), în care au fost elaborate modele detaliate statice și dinamice de stocare a CO₂.

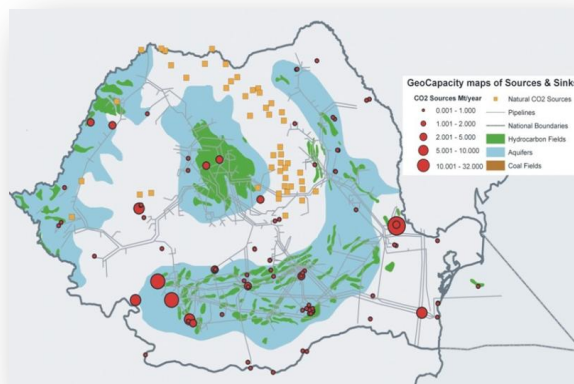


Figura 4. CO₂ Major Emissions and the Geological Storage Capacity in Romania

Proiectul demonstrativ GETICA CCS

Asa cum am precizat deja, pentru a defini in cele din urma ideea de cluster romanesc de CCUS, plecăm de la datele esentiale ale Proiectului Demonstrativ GETICA CCS:

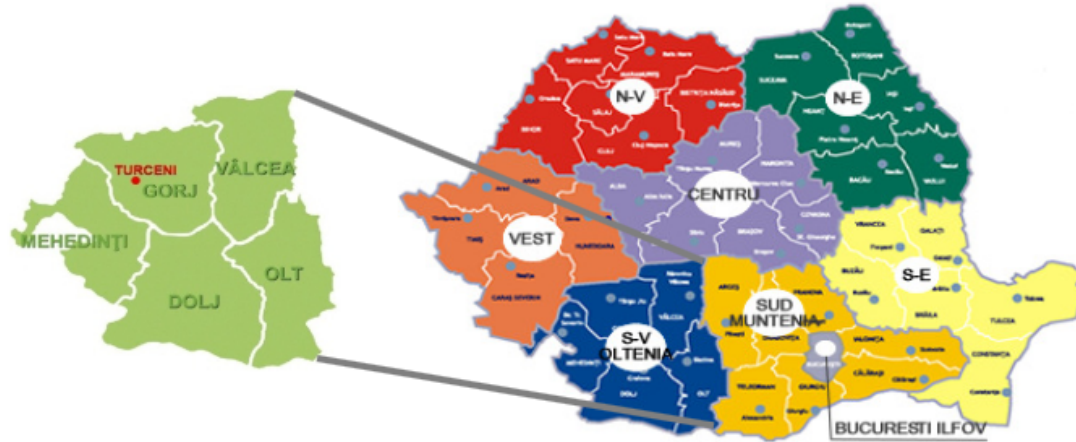


Figura 5. Localizarea Proiectului Demonstrativ GETICA CCS

- captarea a 1,5 Mt de CO₂, emis de Centrala electrică Turceni;
- transportul prin conducte terestre la cca. 50 km, pana in zona de stocare, unde urmeaza sa fie efectuata injectia in acvifere sărate adânci;

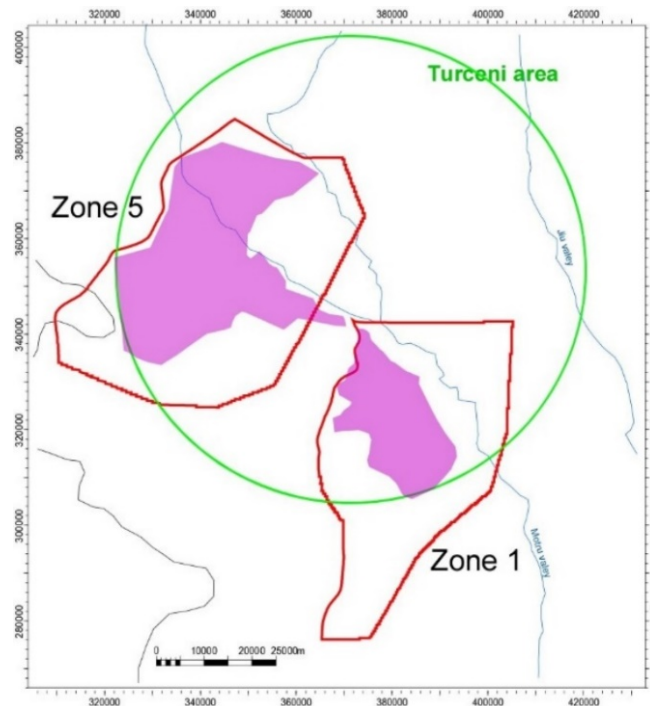


Figura 6. Zonele selectate pentru stocarea geologica a CO₂

- stocarea în formațiunea de nisip sarmatiană din Depresiunea Getică, în una dintre cele două zone selectate (Fig. 6), la adâncime aproximativă de 2000 m, rezervoare acoperite de formațiunea șistosoasă superioară sarmatiană, în calitate de caprock, ansamblu geologic, pentru care a fost efectuate modelări statice și dinamice.

Dezvoltarea unei infrastructuri de transport a CO₂ este esențială pentru accelerarea implementării tehnologiilor de captare și stocare a CO₂ pretutindeni, inclusiv în România. Această infrastructură nu depinde neapărat doar de conducte terestre, celelalte moduri de transport - rutier și feroviar, ci și de costurile pentru dezvoltarea infrastructurii necesare pentru transportul naval: facilitati pentru scocarea temporara a CO₂, instalatii de incarcare/descarcare, conducte submarine, precum și navele, care vor alcatui flotele fluviale, sau maritime de profil. Cea mai bună soluție este, deci, combinarea transportului prin conducte cu transportul pe vase. Aceasta este o opțiune ideală pentru România, având în vedere existența Dunării, a Canalului Dunăre - Marea Neagră și deschiderea către Marea Neagră, unde au fost identificate rezervoare bune de stocare.

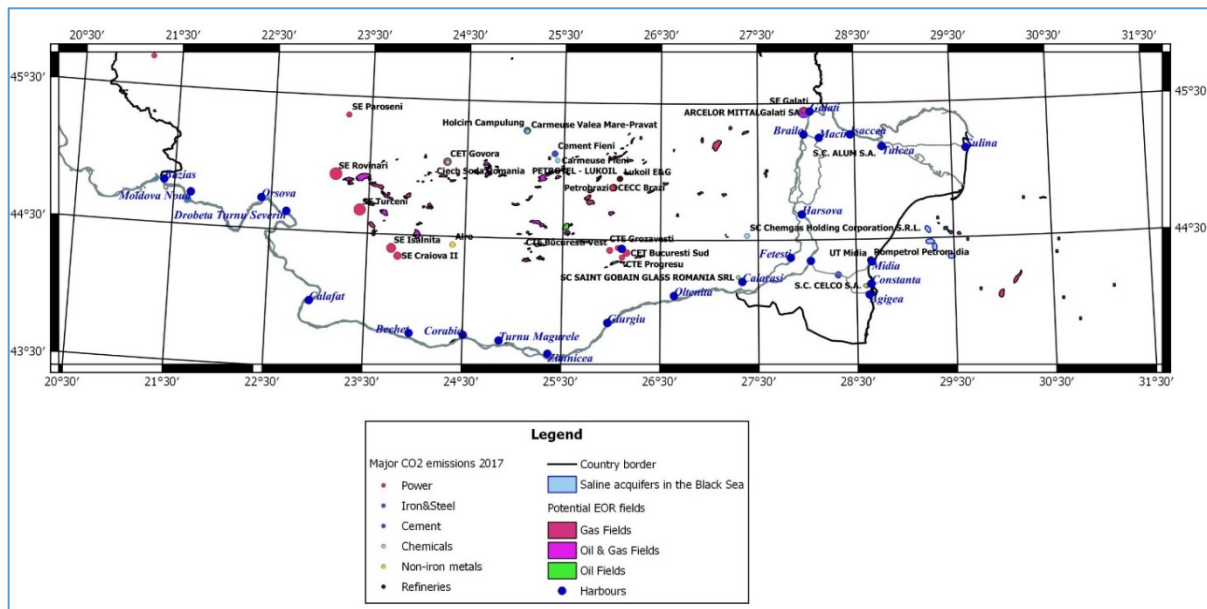


Figura 7. Hartă a porturilor de pe Dunăre, emisiile majore de CO₂ în partea de sud a României și depozite de hidrocarburi potrivite pentru recuperarea terciara cu CO₂ (EOR).