

# **Evaluarea posibilităților de stocare a dioxidului de carbon emis de centralele Turceni și Ișalnița**

Rezumat teză de doctorat

**Conducător științific Prof. Dr. Ing. Corneliu Dinu**

**Doctorand Ing. Alexandra-Constanța Antohe (Dudu)**

Această teză reprezintă rezultatul cercetării mele în domeniul stocării geologice a CO<sub>2</sub>, pe care am început-o începând cu sfârșitul anului 2008 și a implicării mele în importante proiecte de cercetare în domeniu, internaționale și naționale.

Obiectivul acestei teze a fost acela de a evalua posibilitățile de stocare a CO<sub>2</sub> emis de centralele Turceni și Ișalnița, două centrale energetice a căror funcționare se bazează pe arderea cărbunelui (lignit local) și care reprezintă două dintre cele mai importante surse de emisii de CO<sub>2</sub> din România. Am ales aceste două centrale deoarece la nivelul anului 2009 – 2010, pentru acestea erau planificate re tehnologizări importante, inclusiv implementarea unor tehnologii de reducere a poluării.

Evaluarea posibilităților de stocare s-a concretizat în conturarea unor posibile situri de stocare geologică a CO<sub>2</sub> în regiunea Olteniei, selectate pe mai multe criterii, cum ar fi proximitatea față de centrale (reducerea costurilor cu transportul), existența unei bune capcane și formațiuni protectoare care să asigure închiderea sitului și a unor roci cu proprietăți de rezervor bune. Ca soluție de stocare am ales acviferele saline adânci, excluzând din studiu stratele de cărbuni adânci neexploatabile și zăcămintele de hidrocarburi epuizate sau în curs de epuizare pentru evaluarea cărora ar fi necesare extrem de multe date, foarte multe fiind confidențiale și aparținând industriei de hidrocarburi.

Teza este structurată pe cinci capitole, după cum urmează:

- 1. Încălzirea globală. Necesitatea reducerii gazelor cu efect de seră
- 2. Captarea și stocarea CO<sub>2</sub> (CCS)
- 3. Emisii și posibilități de stocare a CO<sub>2</sub> în România
- 4. Caracterizarea litostratigrafică și tectonică a zonei investigate în vederea alegerii sitului de stocare
- 5. Evaluarea posibilităților de stocare a CO<sub>2</sub> emis de centralele Turceni și Ișalnița

## **Capitolul 1. ÎNCĂLZIREA GLOBALĂ. NECESITATEA REDUCERII GAZELOR CU EFECT DE SERĂ**

Primul capitol este menit să facă o scurtă și concisă introducere în problematica schimbărilor climatice și să explice necesitatea reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră.

Conform studiilor efectuate de experții din cadrul IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (IPCC, 2013; IPCC, 2014), încălzirea climei este un fapt cert evidențiat prin creșterea temperaturilor medii globale ale aerului și oceanelor, topirea pe suprafețe mari a ghețarilor și creșterea nivelului mediu global al mării. Schimbările climatice, pe lângă cele anterior menționate, se mai remarcă și prin schimbarea frecvenței și/sau intensității unor fenomene extreme.

Aceste schimbări climatice se datorează creșterii concentrațiilor atmosferice ale gazelor cu efect de seră, dioxidul de carbon (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) și oxidul de azot (N<sub>2</sub>O), concentrații ce au crescut față de perioada pre-industrială (înainte de 1750) cu 40%, 150%, respectiv 20%, conform aceleiași surse (IPCC, 2013, 2014). Valorile acestor concentrații depășesc cu mult cele mai mari concentrații întâlnite în carotele de gheață de-a lungul ultimilor 800 000 ani (IPCC, 2013).

Cel mai probabil, creșterea fără precedent în ultimii 150 de ani (IPCC, 2013) a concentrației atmosferice de CO<sub>2</sub> (cel mai important gaz cu efect de seră), însumând cca 555 GtCO<sub>2</sub>, se datorează emisiilor provenite din arderea combustibililor fosili și a producție de ciment, despăduririlor și altor schimbări în utilizarea terenurilor (IPCC, 2013, 2014).

Conform modelelor și simulărilor climatice actuale, la sfârșitul secolului XXI, temperatura medie globală va înregistra o creștere de +1,5°C raportat la perioada 1850-1900. În unele simulări, acelea în care emisiile antropogene de gaze cu efect de seră nu sunt reduse, creșterea temperaturii medii globale depășește 2°C.

În vederea limitării emisiilor antropogene de gaze cu efect de seră și a creșterii temperaturii medii globale, în ultimele decenii au fost stabilite mai multe acorduri la nivel global, începând cu Convenția Cadru a Națiunilor Unite asupra Schimbărilor Climatice (UNFCCC) (intrată în vigoare pe 21 martie 1994), Protocolul de la Kyoto (semnat pe 11 decembrie 1997) și culminând cu Acordul de La Paris (semnat în 2015) ce urmează să intre în vigoare în 2020. Acest din urmă acord guvernamental global transpune un plan global de acțiune de evitare a schimbării drastice a climei prin limitarea încălzirii globale sub 2°C, de preferat 1,5°C, față de perioada pre-industrială.

Opțiunile tehnologice principale de reducere a emisiilor de CO<sub>2</sub> și implicit a CO<sub>2</sub> din atmosferă: 1) creșterea eficienței energetice, 2) folosirea unor combustibili cu un conținut mai mic de carbon, 3) utilizarea surselor de energie regenerabilă, 4) diminuarea conținutului de CO<sub>2</sub> din atmosferă prin utilizarea adecvată a terenurilor agricole și prin împădurire, precum și 5) captarea și stocarea geologică a CO<sub>2</sub>.

## Capitolul 2. CAPTAREA ȘI STOCAREA CO<sub>2</sub> (CCS)

Capitolul 2 al tezei prezintă particularitățile tehnologiei CCS, cu accent pe stocarea geologică a CO<sub>2</sub>, precum și stadiul implementării acestei tehnologii.

Tehnologia CCS este o tehnologie de reducere a emisiilor de CO<sub>2</sub> de la marile instalații industriale (surse majore de emisii de CO<sub>2</sub>) a cărei implementare pe scară largă ar permite continuarea utilizării combustibililor fosili în procesele industriale și mai ales în producția de energie până când noile tehnologii cu zero emisii vor putea fi utilizate pe scară largă. În special în producția de energie, implementarea tehnologiei CCS ar permite o prelungire a producției convenționale, bazate în mare parte pe utilizarea cărbunelui (de cele mai multe ori o resursă locală), până când energiile regenerabile vor putea susține durabil gridul energetic mondial.

Această tehnologie presupune captarea fluxului de CO<sub>2</sub> rezultat din procese industriale (e.g. producția de energie utilizând combustibili fosili, producția de ciment, oțel), de la surse majore de emisii (mai mari de 100 kt), transportul CO<sub>2</sub> și stocarea permanentă a acestuia în formațiuni geologice.

Conceptul de stocare geologică a CO<sub>2</sub> ca măsură de combatere a schimbărilor climatice datează din anii 1970, însă până la începutul anilor 1990 nu a fost cercetat prea mult (IPCC; 2005). Primele inițiative în domeniul stocării geologice a CO<sub>2</sub> au fost stocarea în formațiuni geologice adânci a amestecului acid de gaze (H<sub>2</sub>S și CO<sub>2</sub> cu mici urme de hidrocarburi) provenit și separat de la unele zăcăminte de hidrocarburi din Bazinul Alberta (Canada) începând cu 1994 (Bachu și Gunter, 2005) și cu începerea în 1996 a injecției de CO<sub>2</sub> separat din amestecul de gaze extras din câmpul gazeifer Sleipner (Norvegia, Marea Nordului) în formațiunea nisipoasă Utsira în cadrul primului proiect pe scară mare de CCS.

În vederea stocării geologice, dioxidul de carbon trebuie transformat din faza gazoasă în faza lichidă, supercritică (IPCC, 2005), posibil de menținut la temperaturi și presiuni adecvate, în rezervoare aflate la adâncimi mai mari de 800 m.

Posibilitățile de stocare a CO<sub>2</sub> în bazinele de sedimentare se rezumă la acvifere saline, zăcăminte epuizate sau în curs de epuizare de hidrocarburi, strate de cărbune neexploatabile și teoretic bazalte sau argile bituminoase.

Eficiența stocării CO<sub>2</sub> în formațiunile geologice adânci depinde de combinația de mecanisme fizice (de tip stratigrafic și structural) și chimice (stocare reziduală, solubilizare, stocarea minerală) care acționează după injecția CO<sub>2</sub> în rezervor. Procesele chimice se desfășoară în timp, iar cel mai eficient mecanism este stocarea minerală, proces în care CO<sub>2</sub> formează minerale carbonatice stabile

În ceea ce privește cadrul legislativ, țările care au o legislație completă pentru fiecare etapă a unui proiect de CCS sunt Australia (cel mai comprehensiv cadru legislativ pentru CCS), Canada, Danemarca, Marea Britanie și Statele Unite. Pe lângă acestea, mai există state care au câteva legi specifice naționale pentru CCS, printre care se numără și România și state în care CCS este interzis la scară industrială sau care sunt de-abia la începutul creării unui cadru legislativ pentru CCS.

În cazul Europei, cea mai importantă măsură legislativă o constituie Directiva 31/2009 a Comisiei Europene pentru stocarea geologică a CO<sub>2</sub>, denumită și Directiva CCS. Această directivă reglementează aspecte importante pentru stocarea geologică sigură a CO<sub>2</sub> pe durata întregului proiect de stocare, de la faza de prospecțiune și până la etapa de transfer al responsabilității de la operatorul de stocare la Autoritatea Competentă a statului unde este localizat situl de stocare.

Conform Directivei, un proiect de stocare geologică a CO<sub>2</sub> trebuie să cuprindă șase etape: evaluare a posibilităților de stocare (selecție regională și locală), explorare/caracterizare, etapa de construcție a sitului, etapa de operare a sitului, etapei post-închidere (pre-transfer), Transferul de Responsabilitate și etapa post-transfer. Evaluarea siturilor de stocare presupune de fapt două etape: etape de selecție regională ce se bazează pe date pre-existente și se face pe criterii de natură geologică, de mediu, economică și logistică și selecția locală în cadrul căreia se iau în considerare estimări ale capacității de stocare, riscurile identificate și incertitudinile asociate.

Evaluarea și caracterizarea complexurilor de stocare trebuie să se desfășoare în trei etape: Colectarea datelor, crearea modelului geologic static și crearea modelului dinamic, analiza de sensibilitate și evaluarea riscurilor.

Demonstrarea siguranței stocării este unul dintre aspectele cheie în implementarea unui proiect de stocare geologică a CO<sub>2</sub>. Principalul risc asociat stocării geologice de CO<sub>2</sub> este riscul de scurgere al CO<sub>2</sub> din rezervor. Acest risc de scurgere este reglementat prin mai multe măsuri legislative la nivel internațional, dintre care cele mai importante ar fi Protocolul și Convenția de la Londra, OSPAR, Directiva CCS și Directiva ETS (Korre et al., 2014).

Evaluarea de risc este un proces iterativ ce începe din etapa de caracterizare a sitului de stocare și este refăcută pe toată durata proiectului, pe măsură ce noi date devin disponibile. Procesul de evaluare a riscurilor presupune mai multe etape: identificarea și caracterizarea hazardelor, evaluarea expunerii, evaluarea efectelor și caracterizarea riscurilor. Evaluarea riscurilor este urmată în procesul de management al riscurilor de clasificarea riscurilor și elaborarea măsurilor de prevenire și mitigare a acestora.

Monitorizarea este o componentă crucială în procesul de reducere a riscurilor și se desfășoară în toate etapele de evoluție a unui sit de stocare, exceptând poate etapa de evaluare a potențialelor situri de stocare, înainte de selecția finală a sitului.

Cadrul legislativ pentru monitorizare este stabilit în Europa prin Directiva CCS. Directiva introduce un concept foarte important, acela de plan de monitorizare, care trebuie alcătuit încă din faza de aplicare pentru permisul de stocare și care trebuie să fie orientat spre detectarea neregulilor semnificative, să pună în evidență eventuala migrare și scurgere a CO<sub>2</sub>, să evalueze integritatea sitului de stocare și eficiența măsurilor corective. Acest plan trebuie să se bazeze pe analiza de risc, să fie specific sitului de stocare, să cuprindă cele mai bune tehnici disponibile și să fie orientat atât spre localizarea penei de CO<sub>2</sub> și detectarea scurgerilor, cât și spre cuantificarea eventualelor scurgeri ce vor trebui raportate ca emisii de CO<sub>2</sub>.

Relativ la ciclul de viață al stocării, planul de monitorizare ar trebui să includă monitorizare pre-injecție (de referință), în timpul injecție și post-injecție. Din punctul de vedere al managementului riscurilor, se pot distinge câteva tipuri de monitorizare, operațională (monitorizarea operațiunilor și

proceselor tehnologice de injecție), monitorizarea posibilelor căi de scurgere (sonde, formațiuni protectoare, falii și fracturi, acvifere superficiale), monitorizarea penei (localizarea penei de CO<sub>2</sub>, comportamentul apă-saramură, modificare de proprietăți și deplasare datorate injecției de CO<sub>2</sub>) și monitorizarea impactului de mediu (detectarea și cuantificarea scurgerilor, înregistrarea și cuantificarea emisiilor de la situl de stocare, impactul asupra siguranței populației și asupra mediului).

După cum se poate observa din programele de monitorizare implementate în cadrul proiectelor CCS actuale, principala tehnică utilizată pentru monitorizare adâncă, localizarea penei și detectarea scurgerilor este prospecțiunea seismică 3D realizată cu o frecvență de câțiva ani.

Pentru a completa informația obținută din seismică, alte tehnici au fost implementate, cum ar fi gravimetria, batimetria de mare rezoluție și metoda electromagnetică cu sursă controlată la Sleipner; seismica pasivă, tomografia electrică de rezistivitate, sondaje geochimice și sol-gaz la Weyburn; microseismicitate, InSAR, monitorizarea apei freatică, sondaje sol-gaz și microbiologice, carotaj complex la In Salah; VSP (Vertical Seismic Profiling – Profilare Seismică Verticală), MSP (Profilare cu Sursă Mobilă sau VSP mobil), seismică pasivă, monitorizare geoelectrică, microbiologică și geochimică la Ketzin.

În ceea ce privește stadiul de implementare al tehnologiei CCS la nivel global, la sfârșitul anului 2016, conform ultimului raport al Global CCS Institute (2016), existau 38 proiecte mari de CCS cu o capacitate de captare totală de aproximativ 70 Mtpa: 21 proiecte în operare sau construcție (40,3 Mtpa), 6 proiecte în faza de caracterizare avansată (8,4 Mtpa) și 11 proiecte aflate în etapa de evaluare (21,1 Mtpa).

Pe lângă aceste proiecte mari, în baza de date a Global CCS Institute mai există 70 proiecte pilot, dintre care 34 sunt finalizate, precum și 17 proiecte de utilizare a CO<sub>2</sub> captat, ambele tipuri de proiecte aflându-se în diferite stadii de dezvoltare.

Se observă că o componentă de bază a proiectelor CCS de succes operaționale în acest moment este legătura cu industria de petrol și gaze, fie din punct de vedere al sursei de CO<sub>2</sub>, fie prin utilizarea recuperării avansate a hidrocarburilor în conjuncție cu stocarea (Global CCS Institute, 2016).

În afară de această utilizare, mai există și alte posibile utilizări ale CO<sub>2</sub>-ului captat, dintre care cele mai importante ar fi: mineralizarea; carbonatarea minerală; recuperarea avansată de metan din cărbuni; producția de polimeri; cultivarea algelor; producerea de combustibili lichizi (inclusiv metanol/acid formic) și recuperarea avansată a resursei geotermale.

### **Capitolul 3. EMISII ȘI POSIBILITĂȚI DE STOCARE A CO<sub>2</sub> ÎN ROMÂNIA**

În cadrul capitolului trei am făcut o scurtă prezentare a situației producției de energie, a emisiilor și a strategiilor de reducere a acestora din România, împreună cu activitățile de implementare a tehnologiei CCS în țara noastră.

România are un mix energetic diversificat, bazat în mare parte pe rezerve primare autohtone (țiței, gaze naturale, cărbune, uraniu, energii regenerabile). În ultimii ani, s-a constatat o descreștere minoră a aportului cărbunelui în mixul energetic național, combinată cu o creștere a aportului regenerabilelor (în special eolian și solar), însă tendința este clar de păstrare a cărbunelui ca sursă importantă în producția de energie.

În ceea ce privește emisiile, România a ratificat UNFCC în 1994 și protocolul de la Kyoto în 2001. Prin aceste ratificări, România s-a angajat la o reducere a emisiilor de gaze de seră cu 8% față de anul de referință 1989 pentru perioada 2008 – 2012 și cu 20 % față de anul de referință 1990 pentru perioada 2013-2020.

Comparativ cu anul de referință 1989, în 2014 se constată o reducere semnificativă a gazelor cu efect de seră, o reducere care s-a făcut treptat odată cu trecerea către o economie de piață, punerea în funcțiune a primului reactor de la Cernavodă (1996) și apariția crizei economice. Emisiile de CO<sub>2</sub> din România au scăzut de la 208913,93 Gg în 1989 la 73364,83 Gg în 2014 datorită reducerii activității în sectorul energetic ce utilizează combustibili fosili (Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor, 2016).

Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră din sectorul energetic, conform strategiei energetice a României, se dorește a fi făcută prin tranziția de la combustibili fosili la tehnologii fără emisii de gaze cu efect de seră (regenerabile și nucleare) cu o etapă intermediară de înlocuire a cărbunelui cu gaz natural și de adoptare a tehnologiilor nepoluante, printre care se numără și CCS

În cadrul Strategiei Naționale pe Schimbări Climatice 2013-2020, pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră din sectorul de generare a energiei electrice și termice se specifică printre obiective încurajarea valorificării surselor de energie regenerabilă, creșterea eficienței energetice, dar și captarea și stocarea carbonului ca soluție de reducere a gazelor cu efect de seră până la decarbonizarea sectorului energetic.

Conceptul de captare și stocare a carbonului a fost introdus în România, încă din 2001, odată cu aderarea GeoEcoMar la ENER. În 2010, odată cu pregătirea lansării programului de finanțare NER300, Guvernul României a demarat procedurile de implementare a unui proiect demo de CCS în România, semnând încă din februarie 2010 memorandumul "Plan de acțiune pentru implementarea unui proiect demonstrativ de CCS (Captarea și stocare carbonului) în România". În luna august a aceluiași an, Ministerul Economiei a contractat în cadrul planului sectorial proiectul de cercetare "Planul național pentru Captarea și Stocarea Dioxidului de Carbon (Carbon Capture and Storage – CCS) cu orizont de timp 2020", în coordonarea GeoEcoMar. S-a decis, în urma unei selecții de oferte, aplicarea tehnologiei CCS la centrala energetică Turceni, mai exact la blocul nr. 6 (existent) de 330 MW, reabilitat, cu funcționare pe lignit. În decursul anului 2010, a fost început Studiul de fezabilitate

pentru acest proiect, denumit GETICA CCS, finanțat de Global CCS Institute și Ministerul Economiei. Studiul a fost finalizat în 2011, când rezultatele au fost și utilizate în aplicația pentru fondurile NER 300. Din nefericire, în urma restrângerii fondurilor NER 300 datorate scăderii accentuate a prețurilor certificatelor de emisii și datorită lipsei confirmării proiectului și a finanțării din partea statului român, proiectul a fost amânat pe o perioadă nedefinită.

În plus, în cadrul ANRM a fost creat un departament dedicat stocării geologice a CO<sub>2</sub> ce a creat și procedura pentru acordarea permisului de explorare în vederea stocării geologice a CO<sub>2</sub>, procedură aprobată prin Decizia ANRM nr. 5 din aprilie 2015. În prezent este în dezbatere procedura pentru acordarea permisului de stocare.

Capacitatea teoretică de stocare a CO<sub>2</sub> în acvifere saline adânci a fost estimată la 18,6 Gt CO<sub>2</sub> (Sava et al., 2006), bazinele de sedimentare ce găzduiesc acviferele saline regionale fiind împărțite în patru mari regiuni: Platforma Moesică și avanfosa Carpaților Meridionali, Platforma Moldovenească și avanfosa Carpaților Orientali, Bazinul Transilvaniei și Bazinul Panonic (Sava et al., 2009). Capacitatea teoretică de stocare a CO<sub>2</sub> în zăcămintele de hidrocarburi din România a fost estimată la 4 Gt CO<sub>2</sub> (Sava et al., 2006).

Foia de parcurs pentru CCS în România a fost pregătită de către Fundația Bellona în 2012 și are ca orizont de timp anul 2050. În cadrul acestei foi de parcurs au fost modelate și două scenarii posibile de evoluție a sectorului energetic românesc în care a fost introdus și CCS, scenariul politicii energetice din România (ROEP) și scenariul ratei ridicate de substituție a cărbunelui (HCS) (Erena et al., 2012).

Scenariul ROEP are la bază politicile și strategiile energetice existente la nivelul anului 2012, include intrarea în funcțiune a două unități nucleare noi și prezintă un mix energetic dominat de nuclear, energia hidro și energia regenerabilă (în special eolian). În cadrul acestui scenariu, cantitățile de CO<sub>2</sub> emise provin de la instalațiile pe cărbune rămase în funcțiune, însă ele, chiar în lipsa aplicării unor măsuri de reducere a emisiilor, se reduc cu 25% până în 2030. Cu CCS, în cadrul scenariului ROEP, emisiile de CO<sub>2</sub> se reduc cu 82% în 2050 față de același scenariu fără CCS.

Scenariul HCS presupune înlocuirea celor două unități nucleare noi cu două centrale energetice pe cărbune importat. Scenariul HCS fără CCS are emisii de 2 ori mai mari decât în scenariul ROEP fără CCS. Cu implementarea CCS la centralele pe cărbune, emisiile de CO<sub>2</sub> se reduc cu 87 %.

Centralele Turceni și Ișalnița fac parte din Complexul Energetic Oltenia S. A. SE Turceni, conform datelor publicate pe site-ul Complex Energetic Oltenia, a fost pusă în funcțiune între anii 1978 – 1987 și prezintă 4 blocuri energetice de câte 330 MW cu funcționare pe lignit în condensatie, dintre care 2 sunt modernizate și unul este în curs de modernizare. SE Ișalnița, conform aceleiași surse, a fost pusă în funcțiune între anii 1964 – 1968 și are 2 blocuri parțial modernizate de câte 315 MW cu funcționare pe lignit în condensatie. Ambele centrale electrice utilizează drept combustibil lignit local. În ceea ce privește emisiile, în anul 2014, emisiile verificate de CO<sub>2</sub> pentru centralele Turceni și Ișalnița au fost de 4476.006 kt, respectiv 2378.893 kt. Procentual, pentru anul 2014, emisiile centralei Turceni reprezintă 10.51 % din totalul emisiilor verificate pentru instalații staționare, iar emisiile centralei Ișalnița 5.59 %.

## Capitolul 4. CARACTERIZAREA LITOSTRATIGRAFICĂ ȘI TECTONICĂ A ZONEI INVESTIGATE ÎN VEDEREA ALEGERII SITULUI DE STOCARE

Având în vedere că subiectul tezei îl constituie analiza posibilităților de stocare geologică a CO<sub>2</sub> pentru centralele Turceni și Ișalnița din regiunea Oltenia, capitolul 4 prezintă caracterizarea geologică a acestei regiuni ce cuprinde părțile vestice din două unități geologice majore, anume Depresiunea Getică și Platforma Moesică. Aceste două unități au o veche istorie în exploatarea de hidrocarburi, prezentând zăcăminte importante.

Platforma Moesică la vest de Valea Oltului cuprinde o parte din sectorul Valah-prebalcanic delimitat de sectorul estic (dobrogean) prin Falia Intra-Moesică.

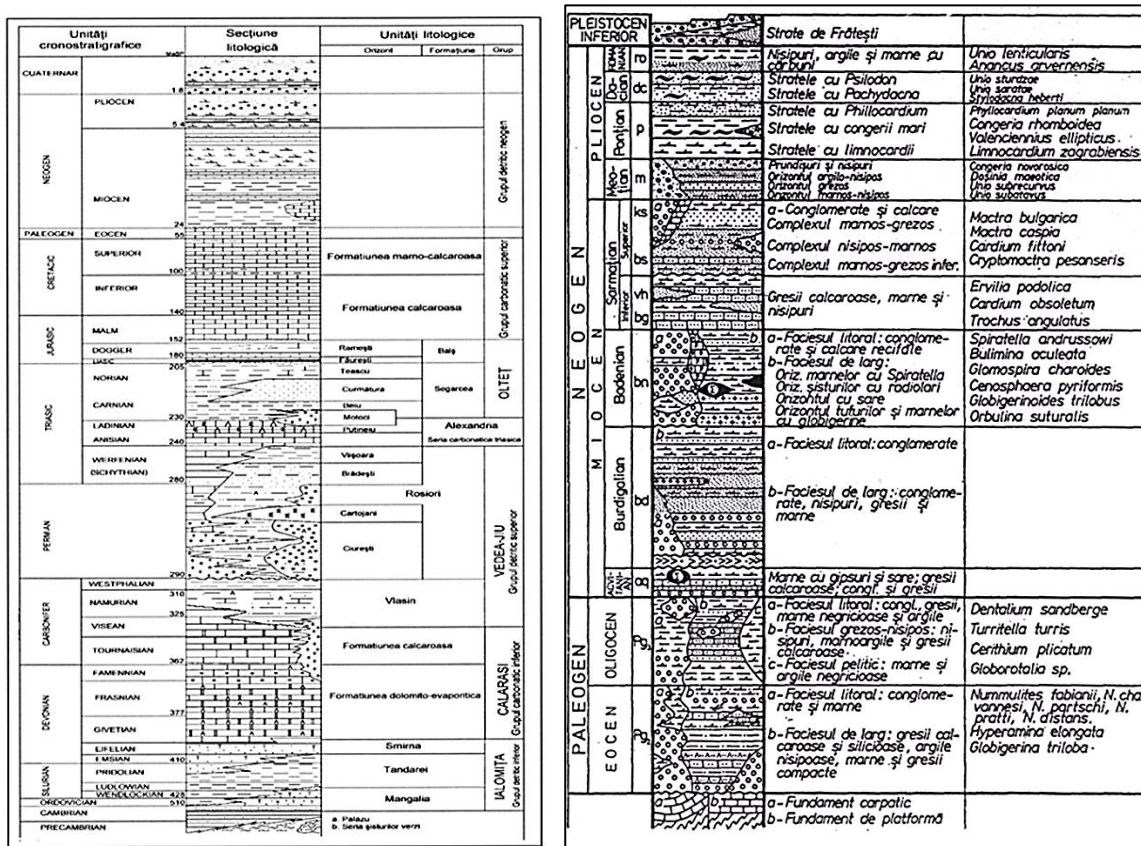


Figura 1. Coloanele litostratigrafice ale Platformei Moesice (stânga) și Depresiunii Getice (dreapta)

Sedimentele din cuvertura Platformei Moesice (Figura 1) sunt grupate în patru cicluri majore de sedimentare (Paraschiv, 1975; Ionesi, 1989). Ciclul Cambrian Superior - Westphalian ajunge până la 6500 m grosime și este alcătuit la partea inferioară dintr-un grup de sedimente clastice și la partea superioară dintr-un grup carbonatic. Depozitele acestui ciclu de sedimentare sunt acoperite discordant de succesiunea predominant clastică (argile - gresii) Permian - Triasic, care atinge grosimi de 5000 m. Permianul prezintă nivele de tufuri și evaporite, iar Triasicul Mediu nivele carbonatice și evaporitice. Depozitele mai tinere, de până la 3000 m grosime, sunt reprezentate prin succesiunea jurasică detritică (gresii și argile), succesiunea Jurassic Superior - Cretacic Superior predominant carbonatică și prin sedimentele terțiare (Paleogen - Pliocen) detritice. Depozitele terțiare au grosimi



variabile, de la 2 la 7 km în apropierea Carpaților și se subțiază pe măsură ce ne îndepărtăm de arcul carpatic.

În cadrul compartimentului vestic al Platformei Moesice care în mare parte face obiectul lucrării de față, elementele structurale de ordinul I existente la nivelul fundamentului și care afectează și cuvertura sedimentară până la nivelul Juristic – Cretacic Inferior sunt constituite din zone majore de ridicare (N Craiova-Balș- Optași-S Periş; Strehaia-Vidin) și zone depresionare (Lom-Craiova) (Paraschiv, 1975, 1979; Matreșu, 2004).

Cele mai importante fracturi puse în evidență prin foraje și date geofizice în sectorul studiat al Platformei Moesice se individualizează prin direcții structurale predominante diferite, unele fiind orientate NV-SE (N-S) (Faliile Dârvari și Plenița, Falia Radovanu, Falia Timok – Cerna, Falia Motrului, Falia Oltului) și altele pe direcția V-E (Falia Bibești – Tinosu, Faliile Boldu și Ghergheasa, Aliniamentul Sinaia – Băraitaru, Grupul de falii asociat ridicării oltenice, Falia Cartojani, Falia Ciurești – Videle, Falia Urziceni – Jugureanu).

Pe baza analizelor seismice și a datelor de foraj, Matreșu (2004) a identificat în cadrul structural al Platformei Moesice o serie de bazine de sedimentare cu dispunere aproximativ N-S cu lățimi de ordinul a zeci de kilometri și adâncimi de peste 5000 m, care au funcționat ca arii de sedimentare la nivelul Paleozoicului și Mezozoicului Inferior, precum și câteva bazine active la nivelul Neogenului.

Astfel, la vest de Valea Oltului, se individualizează bazinele Severin, Băilești, Melinești, Craiova și Slatina. Aceste bazine sunt delimitate de „zonele de ridicare a fundamentului” identificate de Paraschiv (1979): „Ridicarea Strehaia – Vidin” și Ridicarea Nord Craiova – Balș – Optași – Periş.

Depresiunea Getică, bazin de sedimentare dezvoltat la contactul dintre pânzele Carpaților Meridionali și Platforma Moesică, a suferit mai multe tipuri de deformări în cursul evoluției sale tectonice, de la cele cu un caracter extensional/transtensional în perioada Paleogen - Miocen Inferior bazal, la deformările ample cu caracter contracțional până la transpresional din perioada Miocen Mediu – Superior când bazinul a fost acoperit de 1-2 km de sedimente pliocene (Răbăgia și Mațenco, 1999).

Sedimentarul Depresiunii Getice conține în mare parte sedimente siliciclastice (Figura 1), cu mici intercalații de tufuri, sare și calcare și se subțiază pe direcția NS (Răbăgia și Mațenco, 1999), primele sedimente aparținând Cretacului Superior.

În strânsă corelație cu activitatea tectonică, au fost definite trei cicluri majore de sedimentare (Răbăgia și Mațenco, 1999):

- Ciclu Cretacic Superior – Paleogen, caracterizat prin sedimente tip molasă;
- Ciclu Miocen Inferior - Mediu, delimitat bazal prin discordanța determinată de morfologia Paleogenului, compus în mare parte din depozite clastice;
- Ciclu Sarmatian Superior – Pliocen, caracterizat prin depozite clastice depuse peste partea deformată a avanfosei.

În ceea ce privește tectonica Depresiunii Getice, Rabagia și Mațenco (1999) au definit mai multe deformări care controlează dezvoltarea a diferite secvențe litologice și seismice:

-Deformările pre –Burdigalian Mediu au creat două sisteme majore de falii normale cu orientări NE – SV și VNV – ESE, ce au condus la delimitarea mai multor blocuri înclinate.

-Deformările de vârstă Burdigalian Superior – Badenian sunt reprezentate de falii inverse, care definesc din punct de vedere structural mai multe zone de ridicare de-a lungul avanfosei. Deformările sunt caracterizate de formarea unui sistem imbricat de încălecări cu direcția VNV – ESE

-Deformările de vârstă Sarmatian – Pliocen Inferior sunt cele mai importante evenimente tectonice din foredeep, caracterizate de duplexuri de strike – slip transpresionale și de structuri de flower asociate cu încălecarea frontală a foredeep –ului peste Platforma Moesică.

Sectorul cuprins între Jiu și Olt este dominat de prezența a două falii majore orientate pe direcția E-V, Falia Românești și linia Pericarpatică.

Zona dintre Jiu și Olteț prezintă o deformare a sedimentarului total diferită de a zonei de la vest de Jiu, dar mai redusă ca amploare față de zona de la est de Olteț. Aliniamentele de cute sunt mai reduse numeric, iar cutele faliatate sunt mai largi, ca în cazul cutei Bâlteni – Țicleni. Înte Olteț și Olt deformarea este mai accentuată și se reflectă în numărul mult mai mare de cuto, forma mai strânsă a acestora (ex. Anticlinalul Românești), precum și de amplificarea încălecării atât de-a lungul Faliei Pericarpatică, cât și de-a lungul Faliei Românești.

La nord de Falia Românești, cutole structurale sunt orientate aproximativ ENE – VSV și dispuse oblic față de marginea nordică a depresiunii. În zona situată între faliile Românești și Pericarpatică, cutole sunt orientate aproximativ E-V și sunt relativ paralele cu direcțiile celor două falii. Cutole sunt faliatate longitudinal, planurile acestor falii racordându-se la planul Faliei Pericarpatică într-un sistem imbricat.

La vest de Jiu, aspectul structural se schimbă, deoarece Falia Pericarpatică nu se mai continuă și elementele structurale sunt reprezentate prin cuto faliatate ce afectează depozitele sedimentare pre-badeniene și sunt orientate aproximativ NE–SV. O altă caracteristică a zonei de la vest de Jiu este prezența unor falii normale extinse cu orientare NE – SV ce afectează sedimentarul din intervalul Cretacic – Paleogen.

Pe suprafața de interes se găsesc importante zăcăminte de petrol, anume Hurezani – Piscu Stejarului, Bulbuceni, Bibești, Turburea, Stoenița, Slăvuța, Valuta, Vârteju, Golumbu, parțial Bâlteni, Țicleni din Depresiunea Getică și Bodăești, Melinești, Brădești, Negoiești, parțial Iancu Jianu și Șimnic-Ghercești-Malu Mare din Platforma Moesică.

Zăcămintele de gaze din zona de interes sunt: Predești, Pitulați, Sfârcea, Răcari, Ursoaia, Ghioroiu din Platforma Moesică și Zătreni, Tetoiu, Pârâieni, Busuioci – Piscu Stejari, Radinești, Totea – Vladimir, Bărbăteși, Strâmba – Rogojelu, Tămășești din Depresiunea Getică.

În zona investigată se găsește un singur zăcământ de gaz condensat, anume Slamnești.

## Capitolul 5. EVALUAREA POSIBILITĂȚILOR DE STOCARE A CO<sub>2</sub> EMIS DE CENTRALELE TURCENI ȘI IȘALNIȚA

Capitolul 5 ilustrează evaluarea propriu-zisă a posibilităților de stocare, făcută pe baza datelor din literatura de specialitate și mai ales pe baza modelării geologice – structurale a zonei. Rezultatele modelării se concretizează în evidențierea unor formațiuni cu proprietăți bune de rezervor, cu grosimi mari, bine ecranate și închise și delimitarea unor zone de interes pentru stocarea geologică a CO<sub>2</sub>.

Selecția siturilor potențiale de stocare pentru CO<sub>2</sub> s-a bazat pe analiza tuturor datelor geologice și geofizice (date din sondă, profile seismice, hărți magnetice și gravimetrice, aflorimente, secțiuni geologice). În urma analizării acestor date s-a determinat că formațiunea de interes pentru stocarea CO<sub>2</sub> emis de centralele Turceni și Ișalnița este formațiunea sarmațiană ce se dezvoltă în partea de la vest de Olt și se regăsește la adâncimi cuprinse între 1000 – 3000 m adâncime, o adâncime ce ar putea permite o exploatare fezabil economic a eventualelor situri.

Criterii de selecție a siturilor:

- Conținutul litologic al formațiunilor terțiare din zona de studiu (gresii, conglomerate și nisipuri în alternanță cu argile)
- Adâncimea rezervorului din depozitele terțiare cuprinsă între 1000 și 3000 m (afundare spre nord)
- Existența unei roci protectoare continue și cu proprietăți bune deasupra rezervorului Sarmațian.
- Aproape toate câmpurile petrolifere au ca și rocă – rezervor, Sarmațianul, și secvența sedimentară de la suprafață până la topul Sarmațianului, ca și rocă protectoare.

Baza de date a proiectului cuprinde profile seismice în cea mai mare parte publicate și un număr semnificativ de sonde.

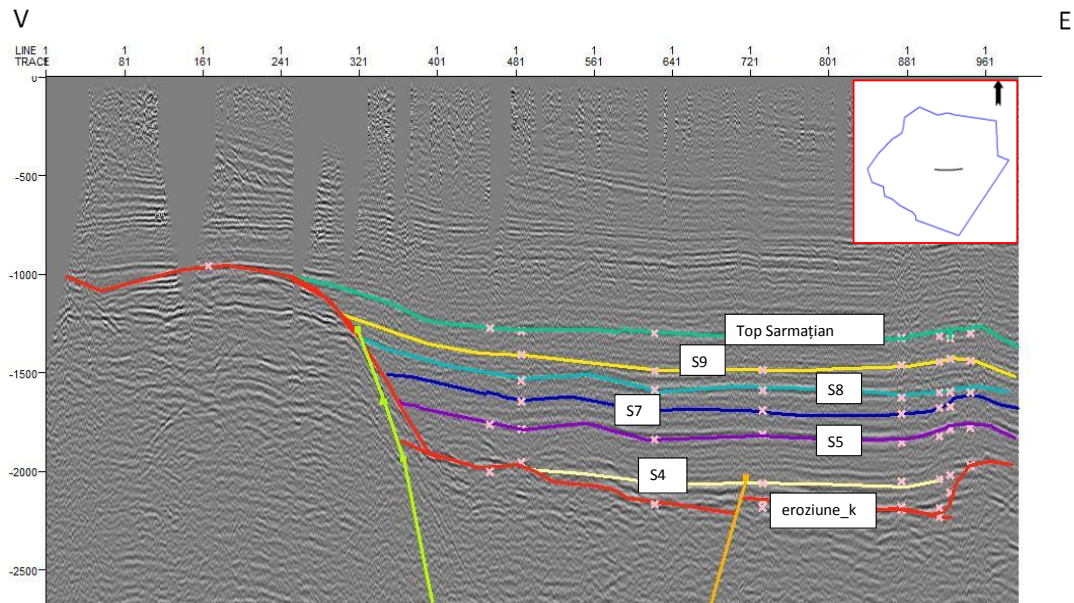
Pe profilele seismice au fost identificate 11 orizonturi seismice ce corespund următorilor markeri geologici: Baza Terțiarului (eroziune k), limite intra-sarmațiene (S2, S3, S3a, S4, S5, S4a, S6, S7, S8, S9) și topul Sarmațianului (Figura 2).

Baza Terțiarului reprezintă o suprafață de discontinuitate angulară, care este foarte bine definită pe profilele seismice și separă depozitele pre – terțiare, caracterizate de un facies seismic haotic de cele terțiare, caracterizate de orizonturi paralele și de onlap – ul peste baza Terțiarului.

Deformările pre – Burdigalian Mediu au creat un sistem de falii majore normale, care a definit zona de sedimentare pentru Burdigalianul Mediu – Sarmațianul Inferior. Există două astfel de sisteme de falii, unul cu direcție NE – SV ce afectează secvența sedimentară din vestul zonei investigate și un sistem de falii cu direcția VNV – ESE care afectează secvența sedimentară din est.

În afară de aceste sisteme majore de falii există și sisteme minore, care afectează local partea cea mai de jos a depozitelor Burdigalianului Mediu). Acestea nu au fost folosite la modelul structural.

Depozitele sarmațiene sunt caracterizate prin orizonturi seismice paralele și horizontale, cu continuitate bună și amplitudine variabilă, conform cu variațiile litologice și de fluide.



**Figura 2. Profil seismic interpretat**

În privința faliilor identificate se pot face următoarele considerații:

- faliile se regăsesc pe mai multe profile seismice, dar au fost dificil de corelat de la un profil la altul și nu s-a putut determina dacă sunt falii majore sau locale;
- unele falii afectează doar secvența terțiară, ceea ce înseamnă că au fost formate prin procese gravitaționale, determinate de compactarea diferențială a coloanelor litologice cu grosimi diferite;
- faliile terțiare au o dezvoltare locală și afectează sedimente neconsolidate sau slab consolidate, fapt pentru care sunt considerate falii închise ce nu creează un spațiu deschis favorizând migrarea eventuală a fluidului injectat din rezervor;
- faliile terțiare sunt formate în general peste un bloc ridicat sau o structură proeminentă a depozitelor mezozoice.

Posibilele capcane întâlnite sunt de regulă de tip mixt, structural (pe falii) și litologic, prin efilarea depozitelor terțiare pe relieful pre-terțiar (eroziune\_k) (Figura 2.).

Folosind datele din carotaje, markerii geologici din sonde și toate celelalte informații geologice din bibliografie, rapoarte tehnice și din alte surse, depozitele sarmațiene au fost împărțite în mai multe straturi (Sa2, Sa3, Sa4, Sa5, Sa5a, Sa6, Sa7, Sa8), fiecare având caracteristici proprii.

Analiza de facies a fost făcută folosind curba de PS normalizată, considerând că aceasta furnizează răspunsul potrivit pentru identificarea componentelor faciesului. În concordanță cu informațiile sedimentologice, faciesul constă în argile, nisip, silt, marne și carbonați.

Valorile de cut – off găsite pe baza corelării informațiilor din carote cu faciesul calculat sunt:  $PS < 0.2$ , reprezintă marne și carbonați,  $PS > 0.2$  dar  $PS < 0.75$ , reprezintă nisip,  $PS > 0.75$  dar  $PS < 0.82$ , reprezintă silt și  $PS > 0.82$  dar  $PS < 1$ , reprezintă argilă.

În urma interpretării profilelor seismice și a analizei acoperirii datelor disponibile, am conturat poligonul pe care am construit modelul static. De asemenea, interpretarea orizonturilor seismice a condus la realizarea suprafețelor de timp.

Modelul de viteze a fost construit utilizând 7 suprafețe și topurile corespunzătoare din sonde. În urma analizei corespondenței dintre orizonturi și topuri am ales ca lege de viteză  $V=V_0=V_{int}$ , cu  $V_0$  constant calculat ca o medie pe fiecare interval luat în considerare din ckeck shot-urile disponibile.

Pe baza hărților de timp și a modelului de viteză, am calculat hărțile de grosime pentru formațiunile identificate și am construit modelul static, respectând etapele și procedura programului Petrel: modelarea faliilor, pillar gridding, make horizons, make zones, layering, modelarea faciesului și a proprietăților (porozitate, permeabilitate).

Modelarea statică a început cu modelarea faliilor pentru care am folosit 8 falii (segmente de falie) ce afectează întreaga secvență sarmațiană.

Gridul a fost creat cu dimensiunile 500 X 500 datorită suprafeței relativ mari pe care se extinde modelul, cantității mari de date de procesat și puterii de calcul insuficiente. Pentru pilierii de falie a fost aleasă o geometrie de tip vertical și linear. Același tipuri de geometrie a fost ales și pentru pilierii nefaliați. Orientarea pilierilor a fost aleasă în mod coerent cu mediul depozițional.

Folosind ca input suprafețele am făcut două orizonturi, Sarmațian și Baza Terțiarului, de tipul conform și corectate cu topurile corespunzătoare din sonde.

În intervalul stratigrafic Sarmațian – Baza Terțiar (Tert Base) am creat, pe baza hărților de grosime și a hărților de adâncime pentru orizonturile sesmice, 8 zone: Sa9, Sa8, Sa7, Sa5, Sa5, S5a, Sa4, Sa3a, Sa3.

După crearea zonelor, am făcut stratificația, cu o celulă de 5 m și cu stratele urmărind surafețele de bază. Faciesul a fost modelat în urma scalării log-urilor de facies create.

Întrucât nu am avut suficiente date pentru a crea sau calcula log-uri de porozitate și permeabilitate, am ales să modelez aceste proprietăți utilizând pentru fiecare zonă și pentru fiecare tip de facies niște valori minime și maxime stabilite pe baza datelor din literatură. Proprietățile au fost modelate utilizând o funcție de simulare gaussiană.

Modelarea a pus în evidență extinderea și particularitățile de facies și de proprietăți (porozitate, permeabilitate) ale formațiunilor intra-sarmațiene identificate în urma interpretării seismice și a corelării sondelor.

**Formațiunea Sarmațian – S9 (Top Sarmațian)** se extinde pe jumătatea nordică a poligonului investigat și are grosimi mari, de până la 700 m. Faciesul este predominant nisipos, în proporție de 50,06 %. Siltitele prezintă o dezvoltare mai largă în partea de NE, SV și SE, reprezentând un procent de 32,91 % din compoziția litologică a formațiunii. Argilele sunt slab reprezentate (16,73 %), iar

marnele și carbonații apar pe suprafețe extrem de restrânse (0,30 %). Porozitatea și permeabilitatea sunt în general mici.

**Formațiunea S9 – S8 (Sa9)** se extinde în partea de est a poligonului modelat, având grosimi maxime de 800 m pe ramura vestică a suprafeței și efilându-se spre NE. Nisipurile și siltitele sunt aproximativ egal reprezentate pe suprafața acestei formațiuni (38%, respectiv 36 %), la fel și argilele (24%). Pe modelul de facies creat, se observă că în partea de sud predomină faciesul nisipos, acesta devenind siltic și argilos spre nord. Marnele și carbonații sunt bine reprezentați în partea de SE, însă procentul rămâne nesemnificativ pentru suprafața formațiunii (0,3 %). Din modelul de facies, porozitate și permeabilitate se observă existența unor zone în facies nisipos cu porozități și permeabilități medii spre mici.

**Formațiunea S8 – S7(Sa8)** prezintă grosimi mari în partea de NV a modelului și în NE. Din distribuția faciesului în cadrul acestei formațiuni am constatat că nisipurile și argilele sunt reprezentate în proporții aproximativ egale (34 %). De asemenea, siltitele sunt și ele bine reprezentate (30,49 %). Marnele și carbonații se întâlnesc rar și reprezintă 0,11 % din conținutul litologic al formațiunii. Din modelul de distribuție a faciesului se observă că argilele sunt răspândite pe suprafețe mai mari în partea de NE și în SV-ul ariei investigate. Formațiunea are în general porozități și permeabilități mici,

**Formațiunea S7 – S5 (Sa7)** are grosimi de până la 600 m, zona de îngroșare fiind localizată în partea de NV a zonei investigate (Figura 3). Această formațiune este predominant argilooasă (46,65 %), după cum se poate observa din distribuția faciesului (Figura 3). Argilele se întind pe suprafețe întinse, în special în partea de NV și de Sud. Siltitele sunt și ele bine reprezentate pe 30,57 % din suprafața totală a formațiunii și au o distribuție relativ uniformă. Nisipurile reprezintă doar 22,24 % din suprafață, fiind concentrate parțial în centrul suprafeței, în timp ce marnele și carbonații sunt reprezentați într-un procent de 0,53 %. Secvențele siliciclastice din cadrul acestei formațiuni au porozități de până la 20% (Figura 4) și permeabilități de până la 100 mD (Figura 4) reprezentând un bun rezervor pentru o eventuală stocare geologică a CO<sub>2</sub>.

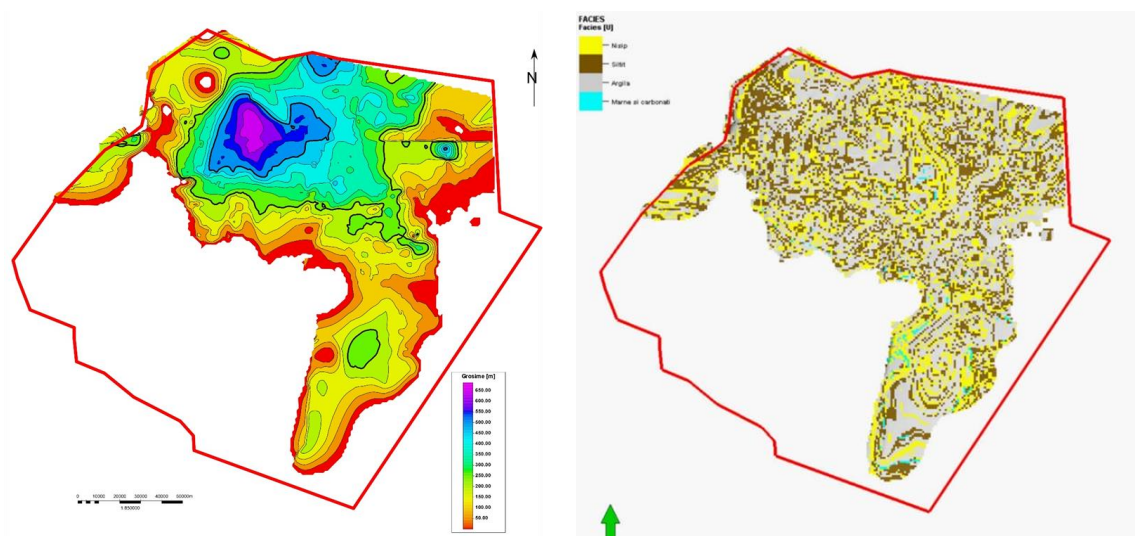
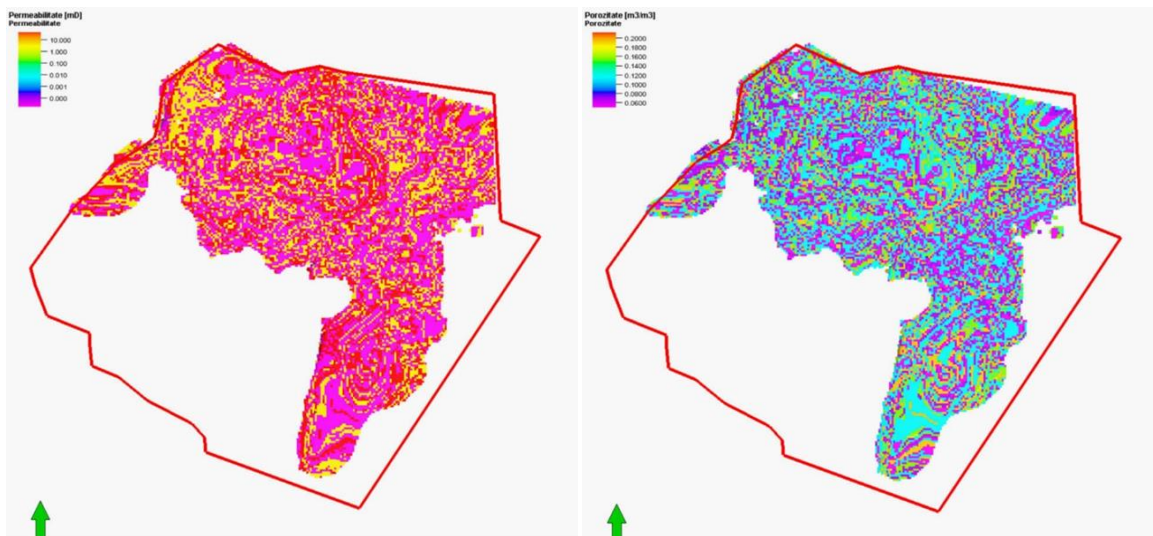


Figura 3. Hărțile de grosime (stânga) și de facies (dreapta) ale formațiunii S7 - S5



**Figura 4. Hărțile de porozitate (stânga) și de permeabilitate (dreapta) pentru formațiunea S7 - S5**

**Formațiunea S5 – S5a (Sa5)** are grosimi de până la 475 m. Formațiunea este predominant argilooasă (45,9 %), nisipurile sunt în proporție de 31,5 % și siltitele de 22,6 %. Marnele și carbonații lipsesc din compoziția litologică a acestei formațiuni. Porozitățile și permeabilitățile sunt în general mici, cu excepția câtorva zone, anume de până la 10%, respectiv 5 mD.

**Formațiunea S5a – S4 (S5a)** are o dezvoltare restrânsă, apărând doar pe o mică zonă din partea de NE a zonei investigate și are grosimi de până la 300 m. Faciesul acestei formațiuni este caracterizat prin proporții aproximativ egale de argile (39,43 %), siltite (31,83 %) și nisipuri (27,77 %). Marnele și carbonații reprezintă un procent extrem de mic, 0,97 %. Porozitățile și permeabilitățile sunt în general mici.

**Formațiunea S4 – S3a (Sa4)** prezintă câteva zone cu grosimi foarte mari, de până la un maxim de 750 m și se dezvoltă pe jumătatea estică a zonei investigate. Faciesul este predominant siliciclastic (nisip 46,31 %, silit 31,51 %) cu intercalații de argile (23,57 %) și marne și carbonați (1,31 %). Secvențele siliciclastice au porozități și permeabilități relativ mari, de până la 20 %, respectiv 100 mD.

**Formațiunea S3a – S3 (Sa3a)** prezintă o dezvoltare restrânsă, regăsindu-se doar în nordul zonei investigate unde atinge grosimi mari de până la maxim 690 m. Este o formațiune predominant nisipoasă, cu un procent foarte mare de nisip (71,33 %). Pe lângă nisipuri, se întâlnesc și argile (10,58 %) și siltite (13,75 %). Este formațiunea cu cel mai mare procent de marne și carbonați, 4,33 %. Această formațiune are bune proprietăți de rezervor.

**Formațiunea S3 – Bază Terțiar (Sa3)** se dezvoltă pe arii extrem de restrânse, în special în partea nordică a zonei investigate. Formațiunea este constituită doar din nisipuri și siltite, în proporție de 66,98 %, respectiv 33,02 %. Porozitățile și permeabilitățile sunt relativ bune.

Pe baza rezultatelor modelării și ținând cont de datele din literatura de specialitate, au fost conturate două zone de interes, a căror localizare se poate observa în Figura 5.

Criteriile de conturare a acestor zone au fost:

- Existența unei capcane (structurale, litostratigrafice, mixte);
- Lipsa suprapunerii cu câmpuri de hidrocarburi cunoscute;
- Existența unor formațiuni cu bune proprietăți de rezervor și a unor roci protectoare;
- Grosime mare a formațiunilor Sarmațiene.

Capcanele acestor situri sunt de tip mixt și au fost conturate în special în urma analizei secțiunilor seismice disponibile. Există desigur incertitudini cu privire la închiderea acestor potențiale rezervoare, datorate lipsei datelor pe anumite arii. Acestea vor trebui clarificate într-o etapă ulterioară dacă se va decide aprofundarea cunoașterii sitului prin continuarea modelării, inclusiv prin modelarea de performanță a siturilor (modelarea dinamică).

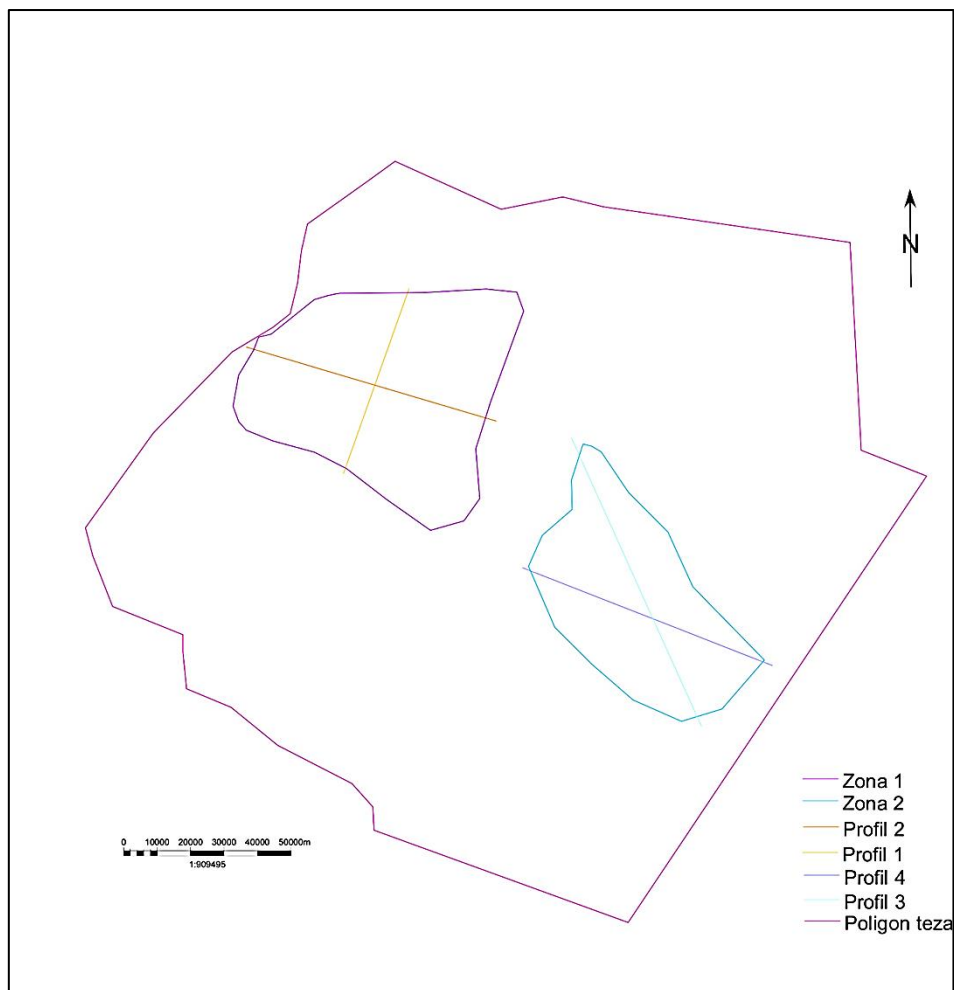


Figura 5. Localizarea zonelor de interes și a secțiunilor prezentate

**Zona de interes 1** se află în partea de NV a zonei investigate și este legată de un element structural (un spațiu larg de sedimentare cu o falie majoră sin – depozițională în partea de vest) al Bazei Terțiarului (utilizată și în modelare), care a permis acumularea secvenței siliciclastice sarmațiene, compusă din sedimente grosiere.



În această zonă am identificat orizonturile: Baza Terțiarului, S5a, S5, S7 și Sarmațian. În partea de sud și SE a zonei, secvența sarmațiană se efilează pe paleo – relieful pre – terțiar și creează o capcană structural – stratigrafică (Figura 6). În partea de est, închiderea sitului nu este sigură, însă, după o atentă analiză a modelului creat, am presupus că delimitarea se face tot pe o falie sin-depozițională similară cu cea din vest (Figura 6).

În urma analizei modelului, cele mai bune formațiuni în care s-ar putea injecta CO<sub>2</sub> în vederea stocării geologice sunt formațiunile din baza Sarmațianului ce prezintă bune proprietăți de rezervor (S7-S5, S5-S5a, S5a – Bază Terțiar) și sunt formate dintr-o alternanță de secvențe siliciclastice cu argile (Figura 6). Rocile protectoare au fost identificate ca fiind argilele din formațiunile sarmațiene acoperitoare (Sarmațian-S9, S9-S8, S8-S7). Am constatat în special că stratul argilos din baza formațiunii Top Sarmațian are o continuitate bună. În afară de acest strat protector, mai există deasupra Topului Sarmațian o formațiune protectoare bună, continuă și cu grosimi mari ce protejează și zăcămintele cantonate în Sarmațian din această regiune.

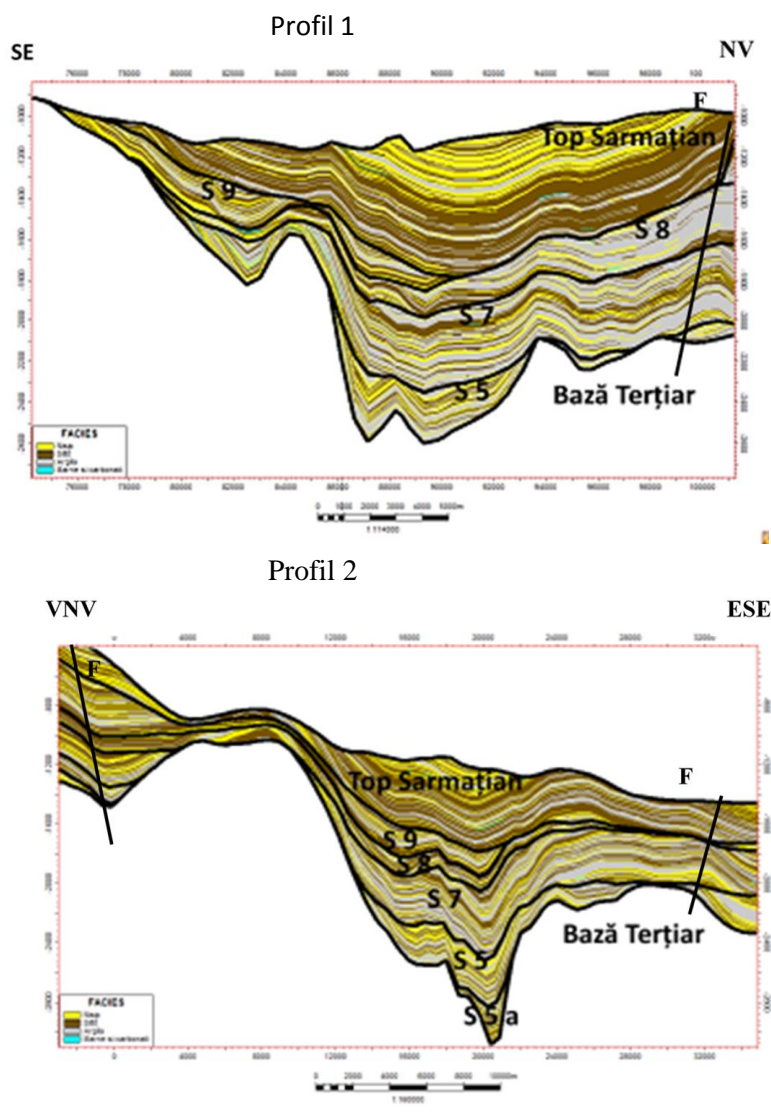


Figura 6. Secțiuni prin modelul de facies pentru zona de interes 1.

**Zona de interes 2** se dezvoltă în partea de est a zonei investigate, la sud de zona de zăcămintă.

Situl se închide la est și la sud prin efilarea secvențelor Sarmațiene pe relieful pre-terțiar (Figura 7). La vest am regăsit aceeași efilare peste care intervine și o falie ce a fost utilizată și la crearea modelului structural. La nord delimitarea / închiderea sitului nu este foarte clară, din datele disponibile și din model am presupus că există o falie fără săritură, pe mijlocul cutei existente (Figura 7).

Orizonturile identificate în această zonă sunt Sarmațian, S9, S8, S7, S5 și Baza Terțiarului. Se observă pe secțiunile prezentate mai jos, că formațiunea din topul Sarmațianului are grosimi mari, este în facies predominant nisipos.

Pentru zona de interes 2, formațiunile care ar putea fi rezervoare pentru CO<sub>2</sub>-ul injectat sunt formațiunile siliciclastice intercalate cu argile din baza Sarmațianului S5 - S5a, S5a – Bază Terțiar. Secvența argiloasă din cadrul formațiunii S7 - S5 ar putea constitui o bună rocă protectoare. Formațiuni protectoare secundare mai există și în cadrul secvențelor argiloase superioare, de deasupra topului Sarmațian, după cum reiese din analiza datelor din literatură.

Având în vedere incertitudinile asociate modelului, în continuare, principala recomandare pentru continuarea studiului da față și realizarea unei evaluări mai precise a posibilităților de stocare geologică în zona investigată, este achiziționarea de noi date care să conducă la îmbunătățirea modelului. Datele ce trebuiesc achiziționate în continuare sunt date referitoare la închiderile siturilor, date de porozitate, permeabilitate, temperaturi, presiuni de fisurare. Ulterior îmbunătățirii modelului static și calculării capacității statice de stocare, va trebui făcut un model dinamic, un model de performanță a sitului prin care să se simuleze comportamentul CO<sub>2</sub> în rezervor și să se ia în considerare și toate căile potențiale de migrare (sonde abandonate, falii) ale acestuia către suprafață.

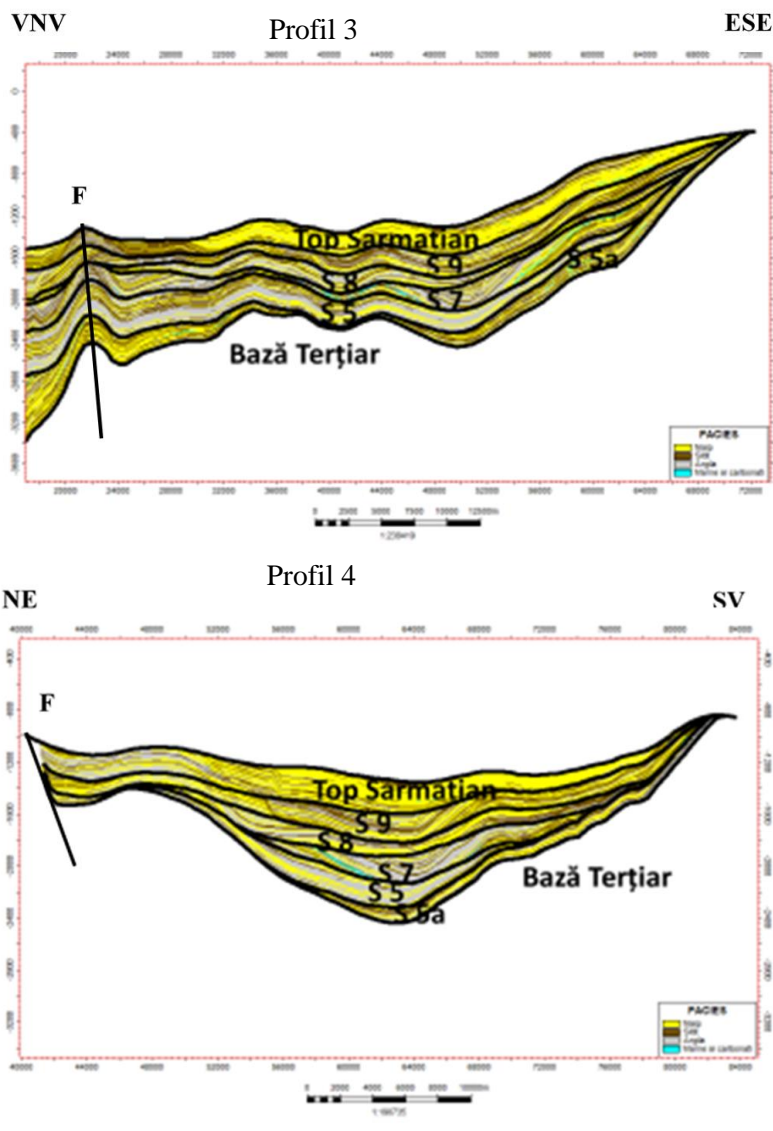


Figura 7. Secțiuni prin modelul de facies pentru zona de interes 2

## CONCLUZII

Studiile recente au demonstrat că schimbarea climei este un fapt și că peste trendul natural de încălzire există și o componentă majoră datorată emisiilor antropogene de gaze cu efect de seră. Ultimul raport IPCC a avertizat cu privire la necesitatea reducerii semnificative a emisiilor antropogene de gaze cu efect de seră și la necesitatea menținerii creșterii temperaturii globale sub +2°C, de preferat sub +1,5°C.

Desigur că la nivelul timpului geologic sau la nivelul istoriei umane au existat perioade de încălzire a climei și de schimbări climatice importante, însă problema în acest moment este că omenirea trebuie să-și păstreze habitatul și modul de viață pe drumul său de progres tehnologic. Necesarul energetic al lumii crește și va continua să crească, conform simulărilor, iar energia, producția și consumul ei, sunt asociate în acest moment cu emisii mari de gaze cu efect de seră, în principal CO<sub>2</sub>.

Metodele de reducere a emisiilor de CO<sub>2</sub> din sectorul industrial (producția de energie, procese industriale cu emisii de gaze cu efect de seră, consumul de energie în cadrul proceselor industriale) și din consumul energetic (la nivelul consumatorului casnic/rezidențial și al consumatorului industrial) sunt: creșterea eficienței energiei la nivel de consumator rezidențial și industrial, schimbarea tipului de combustibil utilizat în producția de energie și în procesele industriale, creșterea aportului de regenerabile în consumul de energie, creșterea aportului de energie nucleară și captarea și stocarea CO<sub>2</sub> (CCS).

Deși cea mai importantă măsură de reducere a emisiilor este fără discuție creșterea eficienței energetice (conform modelelor actuale), captarea și stocarea CO<sub>2</sub> este singura metodă care permite utilizarea combustibililor fosili la scară industrială (surse majore de emisii de CO<sub>2</sub>, emisii mai mari de 100 kt/an) fără emisii de CO<sub>2</sub>.

În România s-a constatat în ultimii ani o creștere a aportului energetic al regenerabilelor, creșterea consumului de energie, dar și o scădere a emisiilor de CO<sub>2</sub>. Scăderea emisiilor de CO<sub>2</sub> însă se datorează în primul rând unui declin al industriei și nu măsurilor de reducere a emisiilor specificate în strategiile naționale energetice și de mediu. Fără îndoială că s-au făcut și se fac eforturi mari de reducere a emisiilor.

Metoda CCS este inclusă în strategia de mediu a României ca măsură de reducere a emisiilor și de-a lungul timpului, începând din 2001, în țara noastră au existat activități importante de implementare a metodei. Aceste activități au culminat cu realizarea studiului de fezabilitate pentru proiectul demonstrativ GETICA CCS, (la care am contribuit și care din nefericire a fost amânat din motive financiare), cu transpunerea Directivei CCS în legislația românească, cu crearea unei structuri pentru stocarea geologică a CO<sub>2</sub> în cadrul ANRM (desemnată Autoritate Competentă) și cu elaborarea procedurii de explorare.

În acest context, în lucrarea de față am realizat o evaluare a posibilităților de stocare geologică a CO<sub>2</sub> pentru centralele Turceni și Ișalnița, localizate în regiunea Oltenia, două surse majore de CO<sub>2</sub> din România cu unele dintre cele mai mari emisii din țara noastră. De fapt centrala Turceni a înregistrat cele mai mari emisii de CO<sub>2</sub> în anul 2014 în regiunea Oltenia, cel mai recent an pentru care există o raportare publică a emisiilor de CO<sub>2</sub> de la instalațiile staționare.

În urma analizei datelor disponibile, am selectat spre investigare și modelare formațiunea Sarmațiană din Depresiunea Getică. Această formațiune prezintă rezervoare bune la adâncimi cuprinse între 1000 și 3000 m, alcătuite din gresii, conglomerate și nisipuri în alternanță cu argile. Rezervoarele au porozități și permeabilități bune și sunt protejate de formațiunile argiloase intra-sarmațiene și de deasupra Sarmațianului.

Deși în zona investigată se regăsesc câteva zăcăminte de hidrocarburi în curs de epuizare, nu am luat în considerare posibilitatea combinării stocării geologice a CO<sub>2</sub> cu recuperarea avansată a hidrocarburilor și nici posibilitatea de a stoca CO<sub>2</sub> după epuizarea rezervelor, pentru această analiză fiind necesare date din exploatarea zăcămintelor, altele decât cele găsite în literatură, date pe care nu le-am avut la dispoziție. De asemenea, nu am luat în considerare soluția de stocare a CO<sub>2</sub> în zăcăminte de cărbuni neexploatabile. Soluția de stocare aleasă este cea a acviferelor saline adânci.

Prin modelarea statică, realizată cu ajutorul programului Petrel, respectând fluxul de lucru al acestuia, am modelat și pus în evidență extinderea, faciesul și proprietățile a nouă formațiuni sarmațiene. În urma analizei acestor formațiuni, am observat că cele mai favorabile rezervoare pentru o eventuală stocare geologică a CO<sub>2</sub> sunt secvențele siliciclastice ale Sa7, Sa5a, Sa4 și Sa 3a din baza Sarmațianului, protejate de secvențele argiloase ale formațiunilor acoperitoare, Sa8, Sa9, Top Sarmațian.

În urma corelării hărților de grosime și a modelelor de proprietăți, am delimitat două zone de interes pentru stocarea geologică a CO<sub>2</sub>.

Având în vedere incertitudinile modelului creat și a cantității mari de date estimate, recomandarea principală pentru continuarea studiului și realizarea unui proiect de stocare în una dintre zonele de interes delimitate, noi date ar trebui achiziționate, în vederea îmbunătățirii modelului, în special pentru determinarea unor valori de porozitate și permeabilitate cât mai exacte, pentru clarificarea închiderii siturilor și pentru evaluarea integrității și stabilității faliilor. Pasul următor va trebui să fie desigur și realizarea unui model dinamic, un model de performanță a sitului de stocare, cu stabilirea unor puncte de injecție.

O problemă extrem de importantă în această zonă, care va trebui investigată riguros, dacă se va dori implementarea unui proiect de stocare, este constituită de prezența unui număr mare de sonde vechi, în mare parte abandonate, ce ar putea constitui căi de migrare preferențiale a CO<sub>2</sub> din rezervor. Este nevoie de un studiu de integritate a tuturor acestor sonde prin care să se analizeze etanșeitatea acestora și să se pună în evidență și eventualele reacții ale CO<sub>2</sub> injectat cu materialele utilizate la abandonare.

Cu toate aceste incertitudini, zona investigată prezintă un bun potențial pentru stocarea geologică a CO<sub>2</sub>, atât din punctul de vedere al calității rezervoarelor sau eventualelor complexe de stocare, cât și al proximității față de sursele majore de emisii de CO<sub>2</sub>, de posibilitățile de realizare a unor rețele de conducte și, de ce nu, de combinare a stocării CO<sub>2</sub> cu creșterea factorului de recuperare a hidrocarburilor.

## BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Bachu, S., Gunter, W. 2005. Overview Of Acid-Gas Injection Operations In Western Canada.
- Erena, A., Filip, G.R., Fjøsna, E., Helseth, J., Hoff, E., Perez-Garcia, C., Filip, F.P., Taylor, D., Tjetland, G., Sava, C.S., Whiriskey, K. 2012. Our future is carbon negative: A CCS roadmap for Romania. Bellona Foundation. Bucharest. Romania. 2012
- Ionesi., L. 1989. Geologia României: unități de platforma și oro-genul Nord Dobrogean. Universitatea Alexandru Ioan Cuza, Iași, România [teză de doctorat]
- IPCC. 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC. 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Korre A., Delprat-Jannaud F., Piessens K., Welkenhuysen K., Falus G., Vähäkuopus T., Nordbäck N., Poulsen N., Wickström L., Dudu A., Vincent C. J., Car M., Wójcicki A., Arts R., Hladik V., Molinero R., Martinez R., Komatina S., Akervoll I., Brüstle A. K., Götzl G., Brikmane B., Hatzignatiou D., State-of-the-art of directives and regulatory regimes related to operational and safety risks. CGS Europe report No. D3.5, Korre, A. and Delprat-Jannaud F. (Eds.), February 2014, 125 p
- Matreșu J.. 2004. Evoluția tectonică a Platformei Moesice [teză de doctorat], București
- Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor. 2012. Strategia națională a României privind schimbările climatice 2013 – 2020
- Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor. 2016. Inventarul Gazelor cu Efect de Seră 1989 - 2014. Raport național. (Romania's Greenhouse Gas Inventory 1989-2014 v.1). Martie 2016
- Paraschiv, D. 1975. Geologia zăcămintelor de hidrocarburi din România, Prospeccțiuni și explorări geologice Nr. 10, București
- Paraschiv, D. 1979. Platforma Moesică și zăcămintele ei de hidrocarburi, Editura Academiei R. S. România, București
- Răbăgia, T., Mațenco, L. 1999. Tertiary tectonic and sedimentological evolution of the South Carpathians foredeep: tectonic vs eustatic control. Marine and Petroleum Geology 16 (1999) 719±740
- Sava, C.S, Andrei, J., Heredea, N. 2006. CO2 Emissions and Geological Storage Possibilities in Romania: "The 1st EU GeoCapacity Working Meeting", 31 May-1 June 2006, Toledo, Spain.