

Cod Proiect: **COFUND-CETP-CTS**

Nr. contract 37 din 1/03/2024

Denumirea Programului din PN IV:

**5.8 - Programul Cooperare europeană și internațională . 5.8.1 - Subprogramul Orizont
Europa Parteneriate si misiuni europene (parteneriate instituționalizate și co-finanțate)**

Acronimul Proiectului:

CTS

Titlul Proiectului:

**Transportul și stocarea CO₂ direct de pe o navă: soluții flexibile și
eficiente pentru stocarea în partea de offshore a Europei**

Data începerii Proiectului: 01.03.2024

Durata: 21 luni

RAPORT FINAL

Extras

Contractant:

**Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Geologie și
Geoecologie Marină - GeoEcoMar**

Cuprins

Sumar executiv al proiectului	2
Obiectivele prevăzute/finalizate.....	3
Prezentarea rezultatelor obținute, a indicatorilor de rezultat, a nerealizărilor înregistrate față de rezultatele estimate prin cererea de finanțare (dacă e cazul) cu justificarea acestora.....	3
Impactul estimat al rezultatelor obținute, cu sublinierea celui mai semnificativ rezultat obținut	7
Bibliografie selectivă.....	7

SUMAR EXECUTIV AL PROIECTULUI

Proiectul CTS a realizat evaluarea fezabilității utilizării tehnologiei de injecție directă de pe navă (soluția NEMO) pentru stocarea geologică a CO₂ în sectorul offshore românesc al Mării Negre.

Rezultate principale

Proiectul confirmă că injecția directă din nave este fezabilă tehnic și competitivă economic în condițiile offshore ale României. Aceasta oferă o alternativă flexibilă la infrastructura convențională bazată pe conducte și nave și permite dezvoltarea mai rapidă a siturilor de stocare geologică, reducând dependența de platforme offshore fixe și sisteme complexe de injecție. Analiza a vizat întregul lanț CCS — de la captarea emisiilor în Călărași, Constanța și Medgidia, la transportul multimodal pe uscat, transportul maritim și stocarea geologică.

Evaluarea tehnico-economică comparativă a opțiunilor de transport — conducte, nave convenționale și nava NEMO cu injecție directă — arată că, deși conductele rămân cea mai ieftină opțiune la scară mare, injecția directă de pe nave poate reduce semnificativ CAPEX și OPEX pentru partea de stocare offshore, compensând parțial costurile operaționale mai ridicate de transport. În plus, injecția directă oferă flexibilitate operațională superioară, în special în fazele inițiale ale implementării CCS sau în situații de indisponibilitate temporară a infrastructurii offshore.

Impact

Impactul cel mai important al proiectului este demonstrarea faptului că injecția directă din nave poate accelera lansarea proiectelor CCS în România, oferind o cale rapidă și cu risc redus către accesarea capacităților de stocare offshore înaintea dezvoltării unor rețele extinse de conducte. Aceasta crește semnificativ șansele României de a îndeplini obligațiile NZIA (Net Zero Industry Act) și de a susține decarbonizarea industriei grele.

Proiectul întărește, de asemenea, potențialul României de a deveni un viitor hub regional de stocare a CO₂ în Marea Neagră, datorită mobilității soluțiilor maritime, care pot integra fluxuri transfrontaliere de CO₂.

OBIECTIVELE PREVĂZUTE/FINALIZATE

Pentru proiectul CTS, contractorul românesc a realizat toate obiectivele.

Principalul obiectiv atins a fost demonstrarea aplicabilității tehnico-economice a injectiei directe de pe navă pentru a demonstra potențialul pentru CTS al industriei românești prin creșterea flexibilității și versatilității lanțului valoric pentru captarea și stocarea carbonului, reducerea costurilor pe partea de stocare pentru o posibilă înmagazinare de CO₂ în Marea Neagră, zona economică exclusivă a României. Acest lucru este deosebit de important, în special pentru accelerarea implementării tehnologiei CCS la nivel național și pentru a contribui la asigurarea cotei de stocare de peste 10 Mt atribuite operatorilor de petrol și gaze din țară conform regulamentului NZIA (Net Zero Industry ACT).

În afara obiectivului principal, am atins de asemenea și obiectivele secundare, anume:

- Proiectarea și evaluarea lanțului valoric de CCS pentru România și compararea diferitelor opțiuni de transport offshore, incluzând desigur și injectia directă de pe navă;
- Elaborarea criteriilor de identificare a celor mai potrivite condiții de-a lungul lanțului valoric CCS pentru aplicarea injectiei directe în proiectele de stocare de CO₂ offshore;
- Stabilirea dialogului cu părțile interesate, în special din România, în vederea identificării provocărilor și factorilor care conduc la adoptarea tehnologiei de injectie directă de CO₂ de pe navă și determinarea punctelor slabe și a punctelor forte ale implementării tehnologiei;
- Contribuții la avansarea către pilotarea și demonstrarea tehnologiei în România în acord cu obiectivele europene de reducere a emisiilor de CO₂ și de a permite stocarea CO₂.

PREZENTAREA REZULTATELOR OBȚINUTE, A INDICATORILOR DE REZULTAT, A NEREALIZĂRILOR ÎNREGISTRATE FAȚĂ DE REZULTATELE ESTIMATE PRIN CEREREA DE FINANȚARE (DACĂ E CAZUL) CU JUSTIFICAREA ACESTORA

Un prim rezultat important al proiectului a fost **elaborarea criteriilor de identificare a celor mai potrivite condiții de-a lungul lanțului valoric CCS pentru aplicarea injectiei directe de pe navă.**

În cadrul lanțului valoric, mai mulți parametri se aplică tuturor actorilor, în timp ce alții sunt specifici activităților de captare, transport sau stocare. Printre parametrii comuni se numără reglementările, factorii de mediu și sociali, CAPEX/OPEX, nivelul de maturitate și suprapunerea cu alte activități economice. Unele criterii includ atât dimensiuni externe, cât și interne; de exemplu, acceptanța socială este un factor extern, iar modul în care actorii valorează ESG constituie un factor intern. În contextul selecției, niciun criteriu nu trebuie considerat universal prioritar, deoarece fiecare poate deveni un blocaj critic în funcție de condițiile locale. Chiar și un caz tehnico-economic optim poate deveni neviabil dacă regimul de reglementare este nefavorabil sau dacă aspectele sociale nu sunt gestionate.

Analizând criteriile pe componente, pentru componenta captare, criteriile sunt:

- *Logistica aprovizionării*: amplasarea la maximum 50 km de un port adecvat sau existența unei posibilități clare de conectare portuară; distanța de navigație este tratată ulterior în optimizare.

- *Valoarea CO₂*, cu preferință pentru surse cu emisii negative.
- *Scenarii viitoare*, cu accent pe planurile pe termen lung și disponibilitatea unor strategii CCS.
- *Fiabilitatea și volumul aprovizionării*, care nu sunt utilizate ca factori de excludere datorită flexibilității oferite de injecția directă prin navă, în special pentru micii emițători.

În zone cu mulți potențiali emițători, o diagramă păianjen poate facilita pre-selecția actorilor pentru evaluarea scenariilor.

Pentru *componenta de stocare*, criteriile includ:

- *Nivelul de pregătire pentru stocare (SRL)*, preferabil ≥ 3 .
- *Accesul la stocare*, evaluat prin adâncimea apei, distanță, infrastructură existentă și costuri preliminare.
- *Suprapunerea cu alte activități economice*, precum traficul maritim sau alte utilizări offshore.
- *Alți factori specifici sitului*, precum salinitatea și riscurile de formare a gaz-hidraților.

Factorii individuali pot fi ponderați și combinați într-un scor normalizat (0–1), permițând reprezentarea celor patru categorii într-o diagramă păianjen utilă pentru compararea siturilor. Selecția finală este apoi realizată în cadrul evaluării scenariilor, având în vedere costurile de stocare, fezabilitatea injecției și corelarea volumelor captate cu capacitatea de stocare.

Pe baza criteriilor formulate au fost selectate componentele lanțului valoric CCS pentru România.

Cel mai important rezultat obținut a fost analiza lanțului valoric românesc de captarea și stocarea carbonului care include injecția direct de pe navă și compararea cu soluțiile convenționale de transport.

Lanțul valoric românesc de captare și stocare a carbonului pentru implementarea tehnologiei de injecție directă de pe navă, denumit în continuare scenariul românesc, a fost finalizat în decursul anului 2025 și este ilustrat în Figura 1.

Scenariul românesc presupune captarea CO₂ de la instalații industriale din Călărași și Constanța (inclusiv Medgidia) și stocarea în soluții offshore, potențiale acvifere și zăcăminte epuizate de hidrocarburi din Marea Neagră.

Clusterul industrial Călărași luat în considerare include 2 instalații industriale, S.C. SILCOTUB S.A. (producător oțel) și S.C. SAINT- GOBAIN GLASS ROMÂNIA S.R.L. (producător sticlă) emițând o cantitate de 149140 t CO₂ eq. în 2023.

Pentru clusterul Constanța au fost luate în considerare 5 instalații industriale, fabrica de ciment de la Medgidia (ROMCIM S.A.), o instalație de producție de energie și termoficare din Constanța (S.C. Termocentrale Constanta S.R.L.), o instalație de producere a energie (Rompetro Energy S.A. – fosta uzină termoelectrică Midia), o rafinărie (S.C. Rompetrol Rafinare S.A. – Petromidia) și o fabrică de var (S.C. CELCO S.A.). Cele 5 instalații industriale au emis în 2023 un total de 2032535 t CO₂ eq.

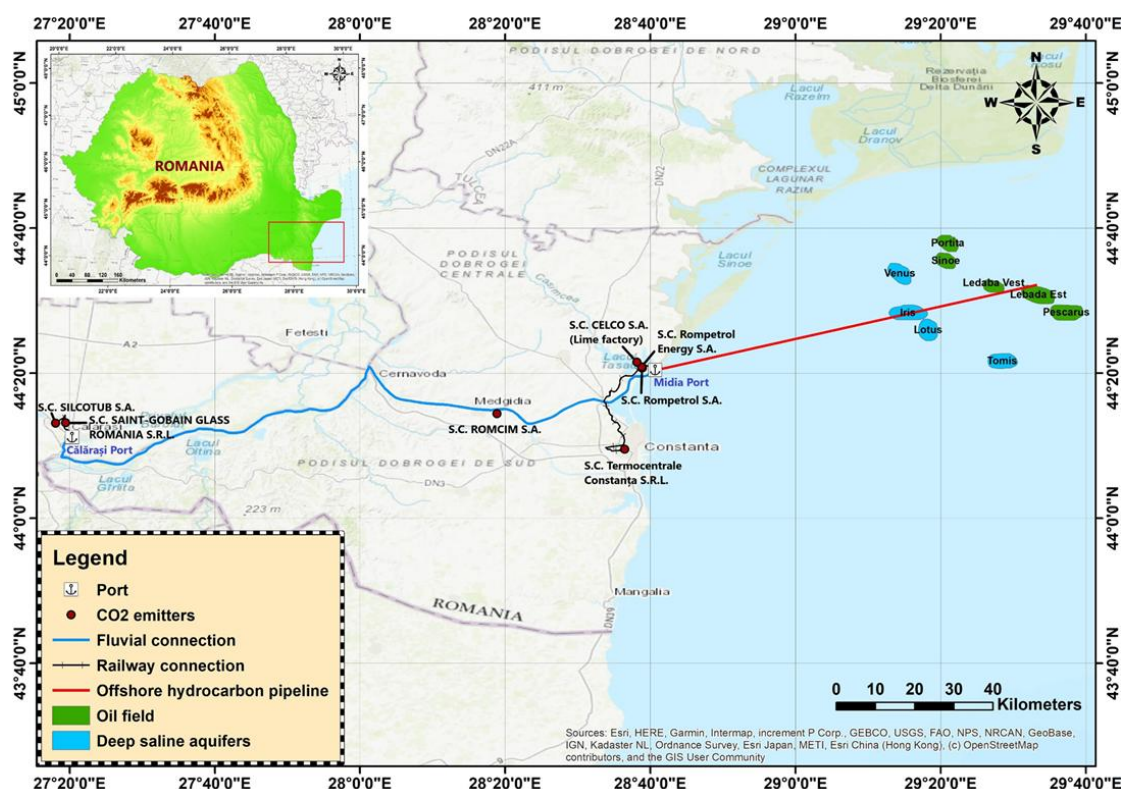


Figura 1. Harta lanțului valoric CCS pentru România

Ca soluții de stocare a CO₂ captat din cele 2 clustere industriale am selectat 4 potențiale acvifere saline (Venus, Iris, Tomis, Lotus) și 3 zăcăminte de hidrocarburi (Lebăda Est, Lebăda Vest și Sinoe). Toate siturile potențiale de stocare se află în ape puțin adânci și majoritatea sunt rezervoare adânci (1800 – 2700 m), cu excepția structurii Venus care are un rezervor la 1000 m adâncime.

Pe baza datelor colectate pentru aceste potențiale situri de stocare a fost făcută o estimare a capacității geologice de stocare. Estimarea capacității de stocare pentru acviferele saline adânci a fost făcută după metodologia utilizată în proiectul EUGeoCapacity (Vangkilde-Pedersen et al, 2009) rezultând o capacitate de stocare de 108 Mt (Dudu et al., 2025).

În ceea ce privește zăcămintele de hidrocarburi, zăcămintele selectate ca potențiale situri de stocare au fost exploatate de mai mult de 30 de ani, descoperite în cadrul campaniei de explorare a Mării Negre, zona exclusivă economică a României, din anii 1980. Cele trei zăcăminte sunt în acest moment operate de OMV Petrom. Datele publice disponibile sunt limitate.

Pentru aceste zăcăminte, calculul capacității de stocare s-a făcut luând în considerare numai rezervoarele de petrol, datele pentru rezervoarele de gaz fiind considerate insuficiente. Datorită datelor limitate avute la dispoziție, am utilizat o formulă simplă, implementată de asemenea în cadrul proiectului EUGeoCapacity (Vangkilde-Pedersen et al., 2009), rezultând o capacitate de stocare de 59 Mt (Dudu et al, 2025).

În cadrul scenariului CTS, transportul este conceput ca fiind multimodal, o combinație de trenuri, transport fluvial și transport maritim (prin conducte, nave convenționale și nave cu injecție directă). În funcție de transportul din segmentul maritim se disting trei scenarii, însă partea de transport de pe uscat este comună.

Din hub-ul Midia sunt concepute trei opțiuni care au fost analizate în proiectul CTS ca scenarii pentru cazul României:

- Scenariul 1: Din hub-ul Midia, CO₂ va fi transportat printr-o conductă offshore către o platformă centrală, de unde CO₂ va fi distribuit către locurile de stocare.
- Scenariul 2: Din hub-ul Midia, CO₂ va fi încărcat pe nave convenționale și transportat către o platformă offshore, de unde va fi distribuit către siturile de stocare.
- Scenariul 3: Din hub-ul Midia, CO₂ va fi încărcat pe o navă specifică pentru injecție directă și va fi injectat direct în rezervoarele de stocare selectate, situate offshore.

Analiza tehnico-economică a scenariului românesc din cadrul proiectului CTS a fost realizată utilizând un instrument inițial elaborat în cadrul proiectului STRATEGY CCUS. Acest instrument a fost ușor modificat și actualizat pentru CTS.

Pentru fiecare scenariu analizat au fost calculate costurile de investiție și operaționale pe toate cele 3 componente, captare, transport și stocare, precum și prețul per CO₂ captat, transportat și stocat.

Cel mai scump scenariu, raportându-ne la costurile totale este cel care implică transportul offshore prin nave convenționale. Cel mai ieftin scenariu este cel ce implică transport prin conducte. Analizând costurile de transport, acestea sunt cele mai mari pentru scenariul NEMO, însă acest scenariu oferă și reduceri semnificative pentru operatorii de stocare, atât la nivel de CAPEX, cât și OPEX. Pentru partea de captare, costurile sunt identice pentru toate scenariile, diferența fiind înregistrată doar la partea de transport și stocare.

Tehnologia de injecție directă de pe navă (soluția NEMO) poate fi considerată competitivă raportat la transportul convențional pe nave, reducerile de cost fiind semnificative pe partea de stocare. În cazul acestei tehnologii, costurile de transport sunt un pic crescute datorită mai ales nevoii de investiție (CAPEX) în echipamente de recondiționare a CO₂ (pompe și încălzitoare) și a recondiționării CO₂ la bord în faza operațională (OPEX).

Deși transportul prin conducte poate părea mult mai rentabil din punct de vedere financiar, utilizarea infrastructurii permanente, convenționale (conducte, platforme) vine și cu riscuri semnificative. În cazul unui accident (e.g. defecțiune la compresie, ruptură sau problemă cu conducta), CO₂ va trebui ventilat în atmosferă. În cazul utilizării navelor cu injecție directă, fiecare navă are echipamente de manipulare și injecție, astfel încât defecțiunea unei nave sau a unui singur sit de stocare înseamnă doar defectarea unei părți a lanțului valoric, nu a întregului lanț valoric.

După finalizarea analizei lanțului valoric CCS românesc, au fost analizate și sinergii cu scenariul ucrainian în ideea obținerii unui scenariu integrat pe nord-vestul Mării Negre. Una dintre cele mai importante sinergii este posibilitatea de stocare transfrontalieră. În situații speciale, CO₂ captat din una dintre țări poate fi stocat peste graniță utilizând navele cu injecție directă, reducând și mai mult riscurile.

Analiza implicării utilizatorilor finali, părțile interesate românești a pornit de la stabilirea unui dialog în vederea identificării provocărilor și factorilor care conduc la adoptarea tehnologiei de injecție directă de CO₂ de pe navă este un alt rezultat al proiectului.

La acest rezultat s-a ajuns pornind inițial de la cartarea părților interesate. Au fost identificați ca părți interesate principalii emițătorii implicați în scenariu, operatori de transport prin conducte, potențiali operatori de stocare, OMV Petrom și Romgaz, precum și autoritatea de reglementare în domeniul stocării geologice a CO₂, ANRMPSG.

Utilizatorii finali ai proiectului au fost informați cu privire la proiect și la tehnologia de injecție directă de pe navă încă din anul 2024. Strategia de implicare a acestor stakeholderi a inclus organizarea de întâlniri individuale, seminarii asociate cu întâlnirile de proiect, dar și a unui workshop regional dedicat definitivării scenariului românesc.

Ca **indicatori de rezultat** trebuie să menționăm în primul rând analiza lanțului valoric românesc de captarea și stocarea carbonului care include injecția direct de pe navă pentru stocarea offshore în Marea Neagră, zona exclusiv economică a României. În al doilea rând, din diseminarea rezultatelor proiectului, a rezultat publicarea unei lucrări științifice (A.-C. Dudu et al., "CTS Project: CO₂ transport and storage solutions in the Black Sea," *Advances in Carbon Capture Utilization and Storage*, Vol. 3, No. 1, pp. 13–24, Jan. 2025, <https://doi.org/10.21595/accus.2024.24736>) și participarea la prestigioase conferințe și seminarii din domeniu cu postere și prezentări orale legate de scenariul de implementarea a tehnologiei de injecție directă de pe navă în Marea Neagră (CO₂GeoNet Open Forum 2024, 2025; GHGT17, Baltic Carbon Forum 2024, 2025; EAGE GET 2025, Trondheim CCS Conference 2025, CCS Capacity Building Workshop).

IMPACTUL ESTIMAT AL REZULTATELOR OBTINUTE, CU SUBLINIAREA CELUI MAI SEMNIFICATIV REZULTAT OBTINUT;

Cel mai semnificativ rezultat obținut de proiectul CTS a fost demonstrarea fezabilității utilizării injecției directe de pe navă (soluția NEMO) pentru stocarea geologică a CO₂ în sectorul offshore românesc al Mării Negre. Concluzia proiectului este că injecția directă a CO₂ din nave, utilizând tehnologia NEMO, reprezintă o opțiune practică, flexibilă și oportună pentru valorificarea potențialului de stocare offshore în sectorul românesc al Mării Negre. Acest rezultat constituie un pas major în consolidarea nivelului de pregătire a României pentru CCS, oferind o cale realistă de reducere a riscurilor de implementare, accelerare a primului proiect de stocare offshore și dezvoltare treptată a sistemului național.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

Dudu, A.C., Morosanu, I., Sava, C.S., Iordache, G., Avram, C., Sorin, A. 2017. CO₂ geological storage possibilities in Histria Depression - Black Sea (Romania) (2017) *Geo-Eco-Marina*, 2017 (23), pp. 171-176.

Dudu, A.C., Demchuk, Y., Virshylo, I., Kurylo, M., Berenblyum, R., Nermoen, A., Iordache, G., Dragoș, A.-G., Sava, C.-Ș., Avram, C., Stelea, L., Anghel, S., Bratakh, M., Melnyk, L. (2005) CTS Project: CO₂ transport and storage solutions in the Black Sea. *Advances in Carbon Capture Utilization and Storage*. Extrica. Volume 3, Issue 1. <https://doi.org/10.21595/accus.2024.24736>

Ionescu G., 2000. Modele faciale ale formațiunilor paleogene pe șelful nord-vestic al Mării Negre. Univ. Din București. Teză de doctorat.

Ionescu, G, Sisman, Maria, Cataraiani, Rodica, 2002. Source and Reservoir Rocks and Trapping Mechanisms on the Romanian Black Sea Shelf In: Dinu, C. and Mocanu, V. (Editors). *Geology and Tectonics of the Romanian Black Sea Shelf and its Hydrocarbon Potential*, B.G.F. Special Volume no. 2, pp. 67-85.

Ionescu G., 2009. Romanian Black Sea Exploration, Achievements and Way Forward. 15 Annual BBSPA Conference Vienna, 2nd of April 2009, pp. 7 – 25.

Moroșanu, I., 2007. Romanian continental plateau of the Black Sea, Oscar Print, Bucharest.

Moroșanu, I., 2012. The hydrocarbon potential of the Romanian Black Sea continental plateau, *Romanian Journal of Earth Sciences*, vol. 86 (2012), issue 2, p. 91-109.

Munteanu I., 2012. Evolution of the Western Black Sea: kinematic and sedimentological inferences from geological observations and analogue modelling. Phd Thesis, Utrecht University, 169 pp.

Nermoen, Anders and Berenblyum, Roman and Coussy, Paula and Guichet, Xavier and Canteli, Paula and Mesquita, Paulo and Carneiro, Julio and Khrulenko, Alexey and Rocha, Paulo Alexandre and Orio, Roberto Martínez, A Techno-Economic Analysis Tool for Regional CO₂ Capture, Transport, Use and Storage Scenarios (July 8, 2022). Proceedings of the 16th Greenhouse Gas Control Technologies Conference (GHGT-16) 23-24 Oct 2022, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4271525> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4271525>

Țambrea, D. 2007. Analiza de subsidență și evoluția tectonică-termică a Depresiunii Istria (Marea Neagră). Implicații în generarea hidrocarburilor. Teză de doctorat. Universitatea București, Facultatea de Geologie și Geofizică.

Vangkilde-Pedersen, T., Anthonsen, K., Smith, N., Kirk, K., N, F., Van der Meer, B., Le Gallo, Y., Bossie-Codreanu, D., Wojcicki, A., Le Nindre, Y., Hendricks, C., Dalhoff, F., Christensen, N. "Assessing European capacity for geological storage of carbon dioxide – the EU GeoCapacity project", Energy Procedia 1 (2009) 2663-2670