

DigiMon - Monitorizarea digitală a proiectului de stocare a CO₂



RAPORTARE STIINTIFICA Etapa III

Cuprins

Lista tabelelor

Rezumatul

1 Introducere

1.1 Utilizări ale TRL și TRA

1.2 Acest raport

1.3 Echipa TRA

1.4 GLOSAR

2 Abordarea

2.1 Identificarea elementelor tehnologice critice (CTE)

2.2 Mediul de operare și cerințele de sistem

3 Procesul TRA

3.1 Metode de reflexie seismică la suprafață și pe fundul mării

3.1.1 Studii de reflexie seismică

3.2 Metode seismice de foraj

3.2.1 Profil seismic vertical

3.2.2 Tomografia Crosswell

3.3 Metode seismice pasive

3.3.1 Microseismică

3.3.2 Interferometria zgomotului ambiental

3.4 Metode bazate pe microgravitație

3.4.1 Microgravitația la fundul mării

3.5 Metode de detectare a deformării fundului mării

3.5.1 Măsurătorile presiunii la fundul mării

3.5.2 Înclinatoare

3.5.3 Sentirea deformării distribuite

3.6 Sentirea presiunii în fund

3.6.1 Sentirea presiunii în forajul cu fibră optică

3.7 Sentirea temperaturii

3.8 Metode bazate pe detectarea chimică

3.8.1 Analiza chimică convențională

3.8.2 Detecție chimică distribuită

4 Discuție

4.1 Prezentare generală

4.2 Aplicație

4.3 Lucrări curente și viitoare în DigiMon

5 Referințe

Obiective

Descrierea procesului de realizare a Evaluării Pregătirii Tehnologice (TRA) și a diferitelor tehnici de măsurare.

Identificarea, descrierea și evaluarea acestor tehnici de măsurare ca elemente tehnologice critice (CTE) care fac parte din sistemul DigiMon.

O serie de măsuratori folosind aceste tehnici și rezultatele obținute.

Abrevieri

ANI	Interferometria zgomotului ambiental
CCS	Captarea și stocarea carbonului
CP	platforma de beton
CTE	Element critic de tehnologie / componente DigiMon
EOR	Recuperare îmbunătățită a uleiului
OBS	Seismometru de fund oceanic
TRA	Evaluarea pregătirii pentru tehnologieTRL
VSP	Profil seismic vertical

Rezumatul etapei

Proiectul DigiMon își propune să dezvolte un sistem de monitorizare inteligent, accesibil, flexibil, integrat în societate și pentru stocarea subterană a CO₂ la scară industrială. În acest scop, sistemul DigiMon este să combine diferite tipuri de măsurători în fluxuri de lucru integrate.

În acest raport, descriem procesul de realizare a Evaluării Pregătirii Tehnologice (TRA) a diferitelor tehnici de măsurare. Raportăm despre identificarea, descrierea și evaluarea acestor tehnici de măsurare ca elemente tehnologice critice (CTE) care fac parte din sistemul DigiMon.

Sistemul DigiMon trebuie să fie capabil să detecteze și să monitorizeze diferite aspecte ale unui complex de stocare a CO₂. În scopul nostru, definim această capacitate ca fiind capabilă să detectăm migrarea CO₂ în interiorul sitului de stocare și, dacă se întâmplă, în afara complexului de stocare. De asemenea,

sistemul ar trebui să poată detecta orice alte nereguli semnificative, cum ar fi migrarea prin defecte sau reactivarea defecțiunilor care pot duce la migrarea nedorită a CO₂ din complexul de stocare. O combinație de tehnici de măsurare individuale, inclusiv măsurători directe și indirecte, va face parte din sistemul DigiMon.

Au fost identificate și selectate numeroase tehnici de măsurare (CTE) în funcție de următoarele criterii:

- Potrivit pentru aplicații offshore
- Potrivit pentru amplasamentele de stocare a CO₂ la scară largă
- Potrivit pentru aplicare în viitorul apropiat (TRL relativ ridicat)
- Relevant pentru aplicare în viitorul apropiat (TRL mai scăzut)
- Accesibilitate
- Experți în subiect disponibili în cadrul consorțiului DigiMon

Având ambiția de a dezvolta un sistem de monitorizare de avertizare timpurie, cu costuri reduse, accentul în cadrul proiectului DigiMon este pus pe metode eficiente din punct de vedere al costurilor. În acest scop, sistemele de detecție distribuite prezintă un interes deosebit. Prin urmare, acolo unde este fezabil, această analiză TRA include o evaluare atât a tehnicii convenționale de măsurare, cât și a alternativei de detectare distribuită pentru fiecare dintre aplicațiile identificate.

Toate CTE-urile au fost descrise sistematic urmând o structură și întrebări propuse de Ghidul de evaluare a pregătirii tehnologice al Departamentului de Energie al SUA. Scopul fiind; pentru a furniza o descriere și o analiză uniformă și aprofundată a CTE-urilor selectate.

Pentru operațiunile CCS industriale la scară largă, planurile de monitorizare și activitățile aferente acestora sunt de așteptat să fie concepute în jurul riscurilor. De obicei, CTE cu un scor TRL ridicat sunt cel mai probabil să devină parte a planului de monitorizare. De exemplu, metode seismice, utilizând în principal senzori convenționali, microgravitație, DTS, etc. Dar ar putea fi incluse și CTE care nu sunt încă la TRL 8 sau 9, de ex. ca tehnologie de sprijin pentru un CTE matur sau pentru a facilita dezvoltarea ulterioară a tehnologiei dacă rezultatele în alte aplicații sunt promițătoare.

În timpul proiectării unui plan de monitorizare optimizat există posibilitatea de a combina datele de monitorizare de la diferite CTE-uri în fluxuri de lucru de inversare. Un flux de lucru care utilizează date de la mai multe CTE-uri ar putea depăși capacitatea unui singur CTE, oferind măsurători independente ale aceluiași proces sau iluminând mai multe procese simultan. O TRA a diferitelor tipuri de combinații de fluxuri de date și fluxuri de lucru nu este acoperită în acest raport. Cu toate acestea, acest raport va servi ca un instrument valoros în activitatea continuă în cadrul DigiMon pentru integrarea diferitelor CTE-uri în sistemul general de monitorizare DigiMon.

Studiile de sensibilitate și cuantificarea incertitudinii CTE-urilor și inversarea fluxurilor lor de date sunt în curs de desfășurare ca parte a sarcinilor 2.4 și 2.6, în care datele din experimentele de teren și datele sintetice ale sitului Smeahea sunt utilizate pe scară largă. Pentru munca de integrare a sistemului, rezultatele (inversării) vor fi analizate cu cuantificare dedicată a incertitudinii componentelor separate ale sistemului și atunci când sunt utilizate în combinație, luând în considerare informațiile obținute din WP1 (D1.11), acest TRA (sarcina 2.3) și analizele SEL (WP 3).

Identificarea elementelor tehnologice critice

Proiectul DigiMon își propune să dezvolte un sistem de avertizare timpurie de monitorizare digitală accesibil, flexibil, integrat în societate și inteligent. Acest sistem trebuie utilizat pentru monitorizarea oricărui rezervor de stocare a CO₂ și a oricărui sistem de barieră subterană care primește CO₂ de la centralele pe combustibili fosili, rafinăriile de petrol, instalațiile de procesare sau alte industrii.

În acest scop, sistemul DigiMon, așa cum este ilustrat grafic în Figura 2, este de a combina diferite tipuri de măsurători în fluxuri de lucru integrate. Tipurile de măsurători variază de la senzori distribuiți (fibră optică) la senzori de punct (mai convenționali).

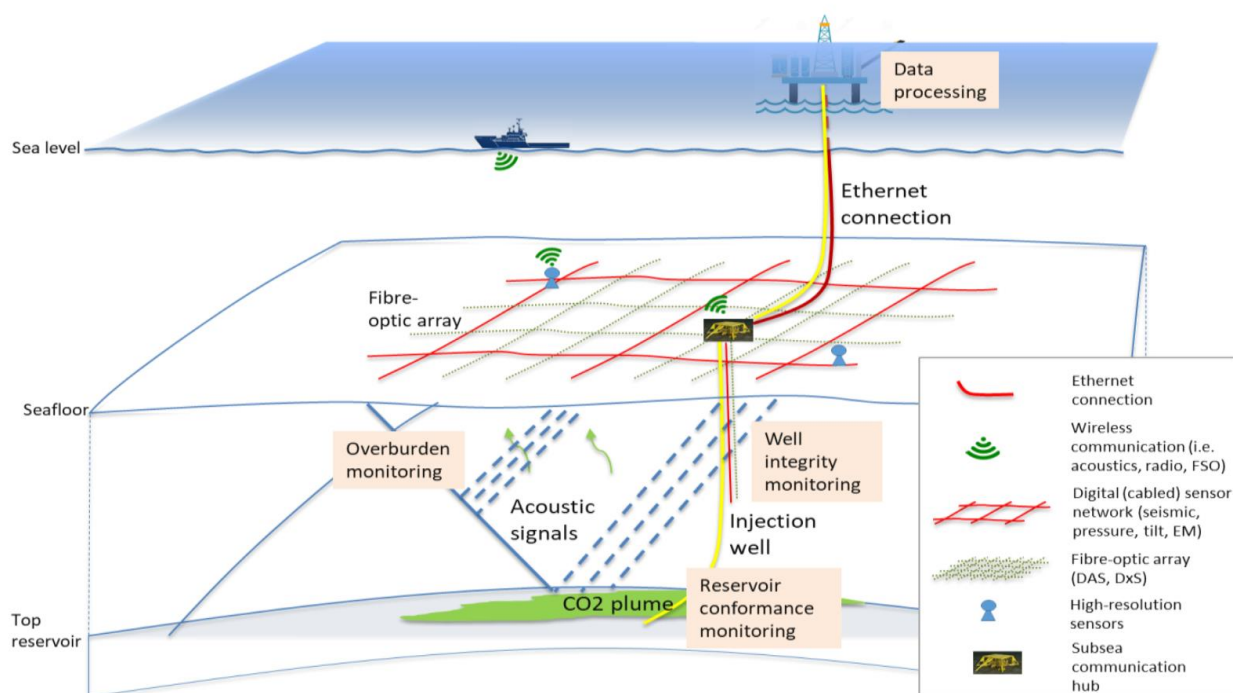


Figura 2

În acest TRA, am examinat o listă extinsă de tehnici de măsurare relevante pentru sistemul DigiMon. Tehnicile de măsurare examinate au fost selectate după următoarele criterii:

- Potrivit pentru aplicații offshore
- Potrivit pentru amplasamentele de stocare a CO₂ la scară largă
- Potrivit pentru aplicare în viitorul apropiat (TRL relativ ridicat)
- Probabil relevant pentru aplicare în viitor (TRL scăzut)

- Accesibilitate
- Experți în subiect disponibili în cadrul consorțiului DigiMon

Procesul TRA

În acest capitol, trecem în revistă CTE-urile relevante pentru sistemul DigiMon, pentru monitorizarea unui sit de stocare a CO₂. Pentru fiecare CTE am încercat sistematic să raportăm răspunsurile la un set predefinit de întrebări care împreună alcătuiesc TRA.

Am grupat CTE-urile în secțiuni care acoperă metode similare. Structura este următoarea:

1. Metode de reflexie seismică la suprafață și pe fundul mării
2. Metode seismice de foraj
3. Metode seismice pasive
4. Metode bazate pe microgravitație
5. Metode de detectare a deformării fundului mării
6. Sentirea presiunii în fundul puțului
7. Sensarea temperaturii
8. Metode bazate pe detectarea chimică

1. Metode de reflexie seismică la suprafață și pe fundul mării

Sondajele seismice sunt obținute pentru a capta o imagine a structurii de viteză a subsolului. Fluidele din rezervoare modifică vitezele rezervorului pe măsură ce migrează, modificând astfel timpii de călătorie și amplitudinile de reflexie. Instantaneele seismice repetate ale subsolului pot fi folosite pentru a urmări mișcarea fluidelor. Astfel de animații – sau date seismice time-lapse – au aplicații valoroase în gestionarea rezervoarelor și pot fi utilizate, în contextul stocării CO₂, pentru a mapa migrația penelor, atât lateral, cât și vertical.

Imaginile seismice time-lapse pot fi aplicate la datele de refracție seismică, profilarea seismică verticală (VSP), sondajele de foraj încrucișat, tomografie și datele de reflexie seismică. De exemplu, datele de refracție seismică în timp sunt utile în monitorizarea condițiilor de alunecare de teren aproape de suprafață (de exemplu, Whitely, et al., 2021).

Aici ne concentrăm asupra imaginilor de reflexie seismică (time-lapse), care este principalul instrument de explorare al industriei petroliere și o tehnologie bine dezvoltată care operează la

cel mai înalt nivel de TRL. Studiile de reflexie seismică oferă un instrument puternic pentru monitorizarea și evaluarea eficienței injectării CO₂. Încheiem acest capitol cu o discuție despre utilizarea și pregătirea tehnologică a cablurilor de fibră optică ca senzori acustici distribuiți (DAS) în achiziția datelor de reflexie seismică.

2. Metode seismice de foraj

În această secțiune, trecem în revistă aplicarea profilelor seismice verticale (VSP) pentru monitorizarea CO₂ în subsol.

Caracteristica definitorie a VSP-urilor, dintre care există mai multe tipuri, este că fie sursa de energie, fie receptorii se află într-o gaură de foraj. Pentru majoritatea VSP-urilor, geofonele, accelerometrele și uneori hidrofonele sunt situate în forajul și înregistrează energia seismică (reflectată) provenită dintr-o sursă seismică de la suprafață (Figura 7).

Profilarea seismică verticală a fost o măsurătoare utilă pentru a obține proprietățile rocii (viteză, impedanță, atenuare, anizotropie) în profunzime, precum și pentru a oferi o imagine seismică a subsolului. VSP-urile au capacitatea de a imagina sub o supraîncărcare complexă, unde pentru seismică bazată pe suprafață, suprafața superficială și aproape de suprafață pot juca un rol important în calitatea imaginii. Mai mult, un VSP poate oferi o perspectivă asupra propagării undelor seismice și poate oferi asistență de procesare și interpretare în analiza datelor seismice de suprafață.

VSP-urile sunt adesea folosite pentru corelarea cu datele seismice de suprafață. VSP-urile sunt de obicei de rezoluție mai mare ca date de reflexie seismică de suprafață. Cu datele VSP, este ușor să legați datele bine de datele seismice, deoarece cu un VSP știm atât timpul, cât și adâncimea. În plus, VSP-urile au un rol important de jucat atunci când evaluează proprietățile rocilor și fluidelor din apropierea găurii de foraj. VSP-urile pot oferi proprietăți in situ ale rocii în funcție de adâncime, în special viteza seismică, impedanță, anizotropie și atenuare. VSP-urile pot ajuta la înțelegerea propagării undelor seismice (de exemplu, semnăturile sursei, multiplele și conversiile). VSP-urile pot ajuta la înțelegerea și crearea imaginilor de reflectivitate și pot oferi informații valoroase în procesarea și interpretarea ulterioară a datelor seismice de suprafață.

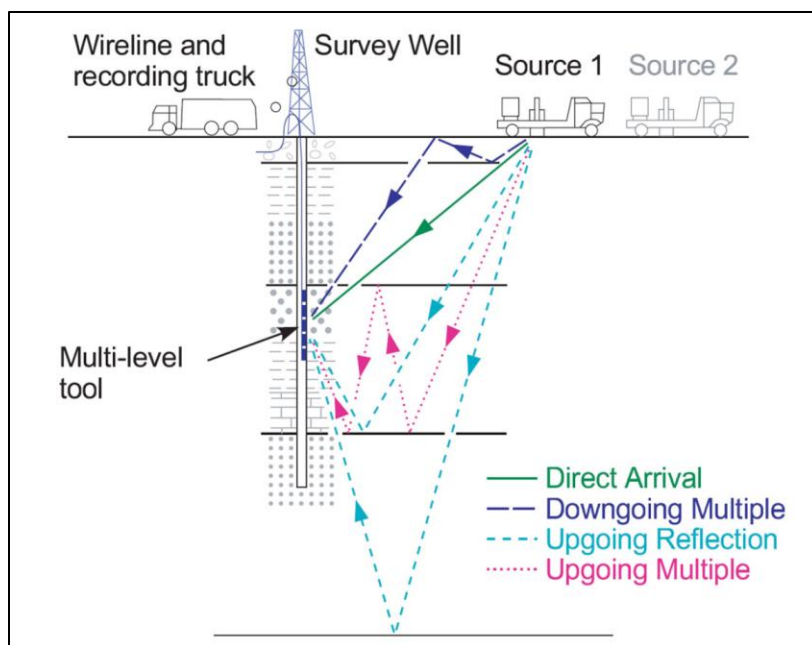


Figura 7

3. Metode seismice pasive

Activitatea seismică în și în jurul rezervoarelor CCS poate oferi informații valoroase despre mișcarea CO₂ și caracteristicile unui rezervor de stocare. Orice activitate subterană care modifică starea de stres în sol este capabilă să declanșeze activitate seismică pe falii preexistente, iar în cazul CCS, aceasta poate fi cauzată de mișcarea CO₂ în interiorul subsolului. Monitorizarea microseismică a devenit o metodă consacrată de imagistică a subsolului pentru aplicații industriale, cum ar fi sisteme geotermale îmbunătățite (de exemplu, Kwiatek și colab., 2019), stimularea hidraulică a rezervoarelor de hidrocarburi „strânse” (de exemplu, Kettlety și colab., 2021) și are a fost implementat cu succes în mai multe proiecte CCS (de exemplu, Stork et al., 2015). Tehnologia oferă un instrument important pentru monitorizarea penelor de CO₂ și a potențialelor breșe din rezervorul de conținut.

Scopul principal al monitorizării microseismice este de a detecta, localiza și caracteriza cutremure foarte mici, care au loc la sau sub scara microseismului ($M < 2$). Acestea se referă în mod obișnuit la rupturi de falii care au o lungime de 10s de metri care produc amplitudini de deplasare adesea la limitele de detectabilitate ale seismometrelor (Bohnhoff et al., 2009). Poziția acestor evenimente într-un rezervor de stocare oferă informații valoroase despre întinderea penei de CO₂, în timp ce formele de undă pot fi utilizate pentru a caracteriza proprietățile de fractură și regimul de tensiuni din rezervor. Rezoluția acestor seturi de date poate fi îmbunătățită semnificativ prin scăderea limitelor de detectabilitate ale matricei microseismice. Limita de detectare este o funcție atât a nivelului instrumentului, cât și a nivelului de fond al zgomotului seismic ambiental. O abordare pentru îmbunătățirea raportului

semnal-zgomot (SNR) este prin aplicarea unor metode de procesare a matricei (de exemplu, Verdon & Budge, 2018) care necesită seturi de date eșantionate relativ înalt spațial.

4. Metode bazate pe microgravitație

Măsurarea microgravitației time-lapse pe fundul mării este un instrument de monitorizare geofizică pentru cartografierea schimbărilor de masă din rezervor în timpul producției de câmpuri de hidrocarburi offshore. Tehnologia oferă informații valoroase pentru gestionarea rezervorului și este utilizată pentru a limita echilibrul de masă în timpul producției și pentru a înțelege mai bine dinamica fluidelor a rezervorului, inclusiv comunicarea între defecte și compartimentarea rezervorului. În această secțiune, se efectuează un TRA pentru tehnologia de monitorizare a injectiei de CO₂ în siturile de stocare offshore.

Această tehnologie de monitorizare se bazează pe sondaje periodice în care gravitația relativă și presiunea sunt măsurate într-un set de locații de pe fundul mării. Presiunea apei este folosită ca punct de pornire al procesării, care permite măsurarea cu precizie a deformării verticale a fundului mării (a se vedea secțiunea 3.5.1 pentru TRA despre această tehnică de supraveghere). Locațiile de măsurare sunt definite de platforme de beton (CP) care sunt desfășurate înainte de primul sondaj pentru a oferi repetabilitate în poziția de măsurare. În timpul fiecărei anchete, un cadru de instrumente care conține trei gravimetre relative și trei senzori de presiune este poziționat secvențial deasupra CP-urilor desfășurate pe teren.

În timpul unui sondaj, fiecare stație de teren este vizitată de cel puțin două ori. Fiecare măsurătoare durează în mod normal 15 minute. La jumătatea măsurării, controlul calității este efectuat la bordul navei de inspecție. Dacă se identifică niveluri crescute de zgomot pe seria gravitației sau a presiunii, măsurarea poate fi extinsă cu câteva minute pentru a asigura o calitate excelentă a datelor. După fiecare măsurătoare, datele sunt imediat transferate pe uscat, unde o prelucrare mai detaliată este efectuată de o echipă onshore.

Pentru a elimina efectul mareelor din datele de gravitație și presiune, mareometre sunt instalate în vecinătatea unui subset de CP la începutul fiecărui sondaj și extrase la sfârșitul sondajului. După eliminarea efectelor mareelor din măsurătorile de presiune și gravitație, toate sunt raportate la aceeași stare de referință a mării și pot fi comparate între sondaje consecutive.

Mai multe CP-uri sunt desfășurate la distanță de marginea câmpului și sunt numite stații de nivel zero. Ele sunt de o importanță cheie pentru a obține măsurători precise ale modificărilor gravitației relative și ale presiunii, deci tasarea. Folosind constrângerea că nu trebuie observate semnale time-lapse la stațiile de nivel zero, este posibil să se elimine din diferențele time-lapse contribuția efectelor care nu sunt legate de epuizarea rezervorului, cum ar fi diferite niveluri medii ale mării sau diferențe mici. în calibrarea senzorilor în diferitele sondaje.

5. Metode de detectare a deformării fundului mării

În producția de hidrocarburi sau câmpurile CCS, deformarea fundului mării este un observabil al deformării rezervorului. Eliminarea hidrocarburilor duce la epuizarea presiunii și la compactarea rezervorului. Injecția de fluid duce la expansiunea rezervorului din cauza acumulării de masă și presiune în spațiul porilor. Cartografierea răspunsului corespunzător al fundului mării oferă informații valoroase despre proprietățile cheie ale rezervorului, cum ar fi compresibilitatea rocii, compartimentarea rezervorului, reactivarea potențială a defectelor, evoluția penei de presiune și dinamica fluidelor din rezervor.

Hatchell et al. (2017) oferă o trecere în revistă a trecutului, prezentului și viitorului monitorizării deformării fundului mării, inclusiv măsurarea deformațiilor orizontale și verticale.

Supravegherea repetată a modificărilor fundului mării poate oferi o valoare comercială semnificativă, ajutând la reducerea incertitudinii lacului de acumulare și la identificarea potențialelor pericole geografice, ca parte a unei filozofii proactive de gestionare a rezervoarelor. Aici sunt evidențiate trei metode distincte:

- Metode care măsoară deplasarea verticală relativă folosind presiunea apei pe fundul mării.
- Metode care măsoară deplasările orizontale relative utilizând intervalul acustic între stații.
- Poziționare orizontală absolută utilizând intervalul acustic și GPS.

În această secțiune este tratată tehnologia de monitorizare a deformării fundului mării prin utilizarea măsurătorilor de presiune la fundul mării. Alte metode de monitorizare a deformării fundului mării, cum ar fi înclinatoarele și DSS, sunt descrise doar pe scurt.

6. Detectia presiunii în fundul puțului

Măsurătorile presiunii în foraj sunt esențiale pentru monitorizarea rezervorului. Senzorii de presiune pot fi, de asemenea, instalați în afara carcasei în unele cazuri (adesea submarin) pentru a furniza indicații de scurgere sau de creștere a presiunii. Senzorii sunt instalați, fie temporar, fie permanent, într-o gaură de foraj și adesea la o gamă de adâncimi.

Senzorii tradiționali de presiune în fundul puțului se bazează pe extensometre sau cuarț (Dennis și Zeller, 1991; Petrowiki, 2021). Tensometrele constau dintr-o diafragmă metalică care este expusă lichidului. Modificările de presiune provoacă deformare care este măsurată electronic, fie cu o punte de rezistențe, fie datorită capacității variabile pe un spațiu. Manometrele cuarțului depind de sensibilitatea la deformare a cuarțului, care modifică rezonanța unui oscilator cu cuarț. Acești senzori sunt măsurători punctuale, iar datele trebuie telecontate la suprafață. Acestea tind să aibă o durată de viață limitată din cauza efectului mediului dur asupra electronicii de fund. Alte criterii cheie de performanță includ rezoluția, răspunsul tranzitoriu, stabilitatea și sensibilitatea la temperatură (Petrowiki, 2021). O dificultate în transmiterea datelor este cauzată de interferența semnalului electromagnetic, deoarece datele de la senzori trebuie să fie telemetrice la suprafață.

7. Detectia temperaturii

În această secțiune, trecem în revistă Sistemul de detectare a temperaturii distribuite (DTS) în scopul monitorizării puțurilor în fazele de construcție și injecție ale unui proiect de injecție de CO₂.

Sistemele DTS folosesc cabluri de fibră optică pentru a efectua măsurători de temperatură de înaltă rezoluție în puț.

Utilizarea senzorilor de fibră optică în industria petrolului și gazelor s-a extins rapid de când primul senzor de presiune pe bază de fibră optică a fost instalat într-un puț în 1993. Industria folosește senzori din fibră optică pentru a monitoriza parametrii din puț, iar tehnologia a fost utilizat într-un număr tot mai mare de aplicații, deoarece progresele tehnice au deschis ușa pentru noi măsurători. Astăzi, senzorii cu fibră optică sunt utilizați în mod obișnuit pentru a măsura temperatura în întreaga sondă. Utilizarea DTS pentru aplicațiile de monitorizare a mediului sa extins, de asemenea, rapid în ultimii câțiva ani. Îmbunătățirile în performanța DTS, cum ar fi măsurarea rezoluției fine, oferă capacitatea de a monitoriza procesele în care scara de interes este mult mai mică decât a fost măsurată în mod tradițional.

8. Metode bazate pe detectarea chimică

Determinarea concentrației de CO₂ dizolvat în soluții apoase joacă un rol crucial în comercializarea pe termen lung a captării și stocării carbonului (CCS), care este limitată de riscurile percepute ale stocării pe termen lung a CO₂. Scurgerile din sondă se află în fruntea listei acestor riscuri percepute. Sondele sunt o cale directă, proiectată, de la rezervorul de stocare a CO₂ la suprafață, străpungând straturile subterane intermediare. Sondele construite corespunzător oferă o barieră practic impermeabilă la orice transmisie neintenționată subterană. Cu toate acestea, deteriorarea în timpul construcției puțurilor sau injectării de CO₂ poate permite CO₂ să scape din rezervor în acviferele de apă potabilă și în atmosferă.

Concluzii

Am examinat și am raportat despre ceea ce considerăm în prezent ca fiind cele mai relevante CTE-uri pentru dezvoltarea sistemului de monitorizare CCS cu avertizare timpurie, cu costuri reduse, al DigiMon, în ceea ce privește tehnologiile pentru măsurători pe teren. Pentru selecție, s-a pus accentul pe adecvarea CTE-urilor pentru utilizarea off-shore, adecvarea lor atunci când vine vorba de site-uri de stocare a CO₂ la scară largă, adecvarea lor pentru aplicare în viitorul apropiat (prin urmare, concentrându-se pe tehnologii cu TRL ridicat), și nu în ultimul rând accesibilitatea generală. O excepție de la concentrarea asupra metodelor cu TRL ridicat, a fost includerea mai multor metode de detectare a fibrelor distribuite aflate încă într-o fază inițială de dezvoltare. Aceste metode sunt incluse deoarece le considerăm valoroase de explorat și dezvoltat și reprezintă metode de monitorizare cu un potențial ridicat de furnizare de informații valoroase cu amprentă minimă asupra mediului și capacitatea de a reduce costurile în viitorul apropiat.

Când se clasifică CTE-urile pentru utilizarea în sistemul DigiMon, parametrii cheie de performanță sunt maturitatea, aplicabilitatea, accesibilitatea și, de asemenea, flexibilitatea unui CTE atunci când vine vorba de utilizarea sa ca parte a unui sistem de avertizare timpurie pentru un sit de stocare a CO₂.

Diferite CTE-uri pot furniza uneori același tip de date sau informații despre operațiunea de stocare. Acest lucru se aplică în special în cazurile în care senzorii punctuali au o contraparte distribuită, de ex. pentru metode seismice sau măsurători de temperatură. Adesea, aceste CTE au sensibilități, acuratețe și costuri aferente diferite. În funcție de cerințele analizei de risc, un aspect hibrid CTE ar putea fi unul dintre rezultatele adecvate la proiectarea planului de monitorizare.

Referinte

- Abdelazim R.R. (2012). Novel applications of distributed temperature measurements to estimate zonal flow rate and pressure in offshore gas wells, SPE International Production and Operations Conference and Exhibition, SPE-154908.
- Abesser, C., Ciocca, F., Findlay, J., Hannah, D., Blaen, P., Chalari, A., Mondanos, M., & Krause, S. (2020). A distributed heat pulse sensor network for thermo-hydraulic monitoring of the soil subsurface. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 53(3), 352–365.
- Agersborg, R. et al, 2017, Density Changes and Reservoir Compaction from In-situ Calibrated 4D Gravity and Subsidence Measured at the Seafloor: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Extended abstracts, PSE-187224-MS
- Ajo-Franklin, J.B. Peterson, J. Doetsch, J. , Daley, T.M. (2013). High-resolution characterization of a CO₂ plume using crosswell seismic tomography: Cranfield, MS, USA, *Int. J. Greenhouse Gas Control*, 18 (2013), pp. 497-509
- Aki, K. (1957). Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 35, 415–456.
- Almeida, José & Rocha, Haline & Costa, HirdanKatarina & Moutinho dos Santos, Edmilson & Rodrigues, C. & deSousa, Manoel. (2017). Analysis of Civil Liability Regarding CCS: The Brazilian Case. *Modern Environmental Science and Engineering*. 03. 382-395. 10.15341/mese(2333-2581)/06.03.2017/003.
- Alnes, H. et al. (2010) Experiences on Seafloor Gravimetric and Subsidence Monitoring Above Producing Reservoirs. 72nd EAGE Conference and Exhibition, Extended Abstracts, L010
- Alnes, H. et al., 2010, Experiences on Seafloor Gravimetric and Subsidence Monitoring Above Producing Reservoirs: 72nd Conference and Exhibition, EAGE, Extended Abstracts, L010
- Alnes, H., et al., Monitoring gas production and CO₂ injection at the Sleipner field using time-lapse gravimetry, *Geophysics*, 73, 155-161, 2008
- Alnes, H., et al., Monitoring gas production and CO₂ injection at the Sleipner field using time-lapse gravimetry, *Geophysics*, 73, 155-161, 2008
- Alnes, H., et al., Results from Sleipner gravity monitoring: updated density and temperature distribution of the CO₂ plume, *Energy Procedia* 4, 2011
- Anderson, G., Constable, S., Staudigel, H., Wyatt, F.K. (1997). A seafloor long-baseline tiltmeter. *Journal of Geophysical Research*, vol. 102, No. B9, pages 20, 269-20,285.
- Aref, S. H., H. Latifi, M.I. Zibaii, and M. Afshari, 2007, Fibre optic Fabry–Perot pressure sensor with low sensitivity to temperature changes for downhole application, *Optics Communications*, Volume 269, Issue 2, 2007, Pages 322-330, ISSN 0030-4018, <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2006.08.009>,
- Arts, R., Eiken, O. , Chadwick, A. , Zweigel, P. , van der Meer, L., Zinszner, B. (2004). Monitoring of CO₂ injected at Sleipner using time-lapse seismic data: *Energy*, 29, 1383–1392.
- Arts, Rob; Chadwick, Andy; Eiken, Ola; Thibeau, Sylvain; Nooner, Scott. 2008 Ten years' experience of monitoring CO₂ injection in the Utsira Sand at Sleipner, offshore Norway. *First Break*, 26. 65-72.
- Bahman Bohlooli, Per Magnus Sparrevik, Malte Vöge, Regula Frauenfelder, Joonsang Park, Christian Berndt, Luke Bateson, Jens Karstens, Ekbal Hussain, Alessandro Novellino, 2020, ACT Sense D1.1 Quantification of ground movement, [D1-1-Quantification-ground-movement-soa-report red.pdf \(sense-act.eu\)](#)

- Bahman Bohloli, Per Magnus Sparrevik, Malte Vöge, Regula Frauenfelder, Joonsang Park, Christian Berndt, Luke Bateson, Jens Karstens, Ekbal Hussain, Alessandro Novellino, 2020, ACT Sense D1.1 Quantification of ground movement, [D1-1-Quantification-ground-movement-soa-report_red.pdf \(sense-act.eu\)](#)
- Baird, A. F., Kendall, J. M., Verdon, J. P., Wuestefeld, A., Noble, T. E., Li, Y., Dutko, M., & Fisher, Q. J. (2013). Monitoring increases in fracture connectivity during hydraulic stimulations from temporal variations in shear wave splitting polarization. *Geophysical Journal International*, 195(2), 1120–1131. <https://doi.org/10.1093/gji/ggt274>
- Baird, A. F., Stork, A. L., Horne, S. A., Naldrett, G., Kendall, J.-M., Wookey, J., Verdon, J. P., & Clarke, A. (2020). Characteristics of microseismic data recorded by distributed acoustic sensing systems in anisotropic media. *Geophysics*, 85(4), KS139–KS147. <https://doi.org/10.1190/geo2019-0776.1>
- Bakulin, A., I. Silvestrov, and R. Pevzner, 2020, Surface seismics with DAS: An emerging alternative to modern point-sensor acquisition, *The Leading Edge*, 39, 808–818.
- Baldwin C.S. (2014). Brief history of fibre optic sensing in the oil field industry, *Proc. SPIE 9098, Fibre Optic Sensors and Applications XI*, 909803, doi:10.1117/12.2050550.
- Baldwin, C., 2018, Fibre optic sensors in the oil and gas industry: current and future applications, in *Opto-Mechanical Fibre Optic Sensors*. P. 211-236, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803131-5.00008-8>
- Barberan, C., C. Allanic, D. Avila, J. Hy-Billiot, A. Hartog, B. Frignet, and G. Lees [2012] Multi-offset seismic acquisition using optical fibre behind tubing: 74th Annual International Conference and Exhibition, EAGE, Extended Abstracts.
- Becker, M., T. Coleman, C. Ciervo, M. Cole, and M. Mondanos [2017] Fluid pressure sensing with fibre-optic distributed acoustic sensing: *The Leading Edge*, v. 36, p. 1018-1023.
- Behm, M. (2017). Feasibility of borehole ambient noise interferometry for permanent reservoir monitoring. *Geophysical Prospecting*, 65(2), 563–580. <https://doi.org/10.1111/1365-2478.12424>
- Boehm, G., Carcione, J.M., Gei, D., Picotti, S., Michelini, A. (2015). Cross-well seismic and electromagnetic tomography for CO2 detection and monitoring in a saline aquifer, *J. Petrol. Sci. Eng.*, 133 (2015), pp. 245-257, 10.1016/j.petrol.2015.06.010
- Bohnhoff, M., Dresen, G., Ellsworth, W. L., & Ito, H. (2009). Passive Seismic Monitoring of Natural and Induced Earthquakes: Case Studies, Future Directions and Socio-Economic Relevance. In *New Frontiers in Integrated Solid Earth Sciences* (pp. 261–285). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2737-5_7
- Boullenger, B., Verdel, A., Paap, B., Thorbecke, J., & Draganov, D. (2015). Studying CO2 storage with ambient-noise seismic interferometry: A combined numerical feasibility study and field-data example for Ketzin, Germany. *GEOPHYSICS*, 80(1), Q1–Q13. <https://doi.org/10.1190/geo2014-0181.1>
- Bourne, S. J., Hatchell, P. J., Partridge S. C., Leaf, C. J., Klemm, H., Kampshoff, S., and Cook, A. M., 2009, An autonomous seafloor system for monitoring reservoir deformation: 71st Annual International Conference and Exhibition, EAGE, Extended Abstracts, Z034, <http://doi.org/10.3997/2214-4609.201400567>.
- Brenguier, F., Courbis, R., Mordret, A., Campman, X., Boué, P., Chmiel, M., Takano, T., Lecocq, T., van der Veen, W., Postif, S., & Hollis, D. (2020). Noise-based ballistic wave passive seismic monitoring. Part 1: body waves. *Geophysical Journal International*, 221(1), 683–691. <https://doi.org/10.1093/gji/ggz440>
- Brenguier, F., Shapiro, N. M., Campillo, M., Ferrazzini, V., Duputel, Z., Coutant, O., & Nercessian, A. (2008). Towards forecasting volcanic eruptions using seismic noise. *Nature Geoscience*, 1(2), 126–130. <https://doi.org/10.1038/ngeo104>

- Buecker, C. and S. Grosswig (2017). Distributed temperature sensing in the oil and gas industry - insights and perspectives, *Oil Gas European Magazine*, 43(4), 209-215.
- Butcher, A., Luckett, R., Kendall, J. M., & Baptie, B. (2020). Seismic magnitudes, corner frequencies, and microseismicity: Using ambient noise to correct for high-frequency attenuation. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 110(3), 1260–1275. <https://doi.org/10.1785/0120190032>
- Butsch, R., Brown, A.L., Bryans, B., Kolb, C., Hovorka, S. Integration of well-based subsurface monitoring technologies: Lessons learned at SECARB study, Cranfield, MS. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 2013;18:409-420.
- Calvert, R., 2005, 4D Repeatability and the Effects of Heterogeneous Overburden Distortion and Noise, *Distinguished Instructor Series*, 51-84
- Cannon M. and Kole P., 2018, The First Year of Distributed Strain Sensing (DSS) Monitoring in the Groningen Gas Field, NAM Report: <https://nam-feitenencijfers.data-app.nl/download/rapport/0c9646b5-28e5-401a-949f-a680c29b896a?open=true>
- Carpentier, S., Boullenger, B., Barros, E., 2021, CCS Monitoring by Inversion of Reservoir Pressure and Saturation Changes from Timelapse AVO Differences and Time-Shifts, *Conference Proceedings, 82nd EAGE Annual Conference & Exhibition, Oct 2021, Volume 2021, p.1 - 5*
- Castagna, J.P., Batzle, M.L. & Eastwood, R.L. Relationships between compressional-wave and shear-wave velocities in clastic silicate rocks. *Geophysics*, 50, 571–581, 1985.
- Celia, M.A., Bachu, S., Nordbotten, J.M., Gasda, S., Dahle, H.K. (2004). Quantitative estimation of CO₂ leakage from geological storage: Analytical models, numerical models, and data needs. In: Rubin ES, Keith, DW, Gilboy CF, editors. *Proceedings of 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies. Volume 1: Peer-Reviewed Papers and Plenary Presentations*, IEA Greenhouse Gas Programme, Cheltenham; 2004.
- Chan, S.-P. g et al., “Detection of O₁₈ and D Isotopes in Water Vapor using a Fibre-Coupled Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy Multi-Pass Cell”, *Proceedings CLEO, JTh2A.194* (2018); M. Bora et al., “Multiplexed gas spectroscopy using tunable VCSELs”, *Proceedings SPIE* 836607 (2012).
- Cheraghi, S., White, D. J., Draganov, D., Bellefleur, G., Craven, J. A., & Roberts, B. (2017). Passive seismic reflection interferometry: A case study from the aquistore CO₂ storage site, Saskatchewan, Canada. *Geophysics*, 82(3), B79–B93. <https://doi.org/10.1190/GEO2016-0370.1>
- Claerbout, J. F. (1968). Synthesis of a layered medium from its acoustic transmission response. *Geophysics*, 33(2), 264–269.
- Clarke, H., Verdon, J. P., Kettlety, T., Baird, A. F., & Kendall, J. M. (2019). Real-time imaging, forecasting, and management of human-induced seismicity at Preston new road, Lancashire, England. *Seismological Research Letters*, 90(5), 1902–1915. <https://doi.org/10.1785/0220190110>
- Correa, J., B. Freifeld, J. Ajo-Franklin, S. Dou, M. Commer, T. Daley, M. Robertson, T. Wood, S. McDonald, 2020, Fibre-optics Sensing and Permanent Sources for Seismic Monitoring of a Large-scale CCS site in Decatur, Illinois: Preliminary Results and Lessons Learnt, *EAGE Workshop on Fibre Optic Sensing for Energy Applications in Asia Pacific*, 9 - 11 November 2020

Deplasari si intalniri

Toate intalnirile in cadrul acestui proiect s-au desfasurat virtual via TEAMS datorita situatiei pandemice.

Site proiect actualizat