

GEOLOGISK LAGRING AF KULDIOXID KAN REDUCERE DEN MENNESKESKABTE DRIVHUSEFFEKT

Niels Springer, Dan Olsen og Niels Stentoft

En større befolkning, industrialisering og en stadig voksende økonomisk aktivitet har i de sidste par hundrede år bevirket en stigning i atmosfærens indhold af kuldioxid (CO₂), figur 1. Kuldioxid er, i lighed med nogle andre gasser som f.eks. metan og vanddamp en drivhusgas, dvs. en gas, der reflekterer den langbølgede (infrarøde) varmestråling tilbage mod jorden. En koncentration af drivhusgasser vil således, alt andet lige, på sigt medføre en højere temperatur på jordens overflade. Denne udvikling har været kendt i mange år, og den mulige temperaturudvikling er søgt beskrevet i stadig mere raffinerede klimamodeller. Klimamodellerne er matematisk-fysiske beskrivelser af et system med mange variable, der gerne skulle beskrive den historiske klimaudvikling korrekt, men også gerne skulle kunne bruges til forudsigelse af det fremtidige klima. Modellernes forudsigelse af en stigende temperatur i fremtiden (2-5 °C om 100 år) har vakt politisk opsigt, og en række lande har med baggrund i et forsigtighedsprincip besluttet at reducere deres udslip af CO₂ over en kortere årrække.

Fra videnskabelig side er det vigtigt, at vi ikke kun beskriver de processer der foregår i naturen, men at vi også kan anvise mulige løsninger på en udvikling, der kan være en trussel mod de nuværende livsbetingelser på Jorden. Et af de

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11	HCFC-22	CF ₄
Præ-industriell koncentration	~280 ppmv	~700 ppbv	~275 ppbv	zero	zero	zero
Koncentration in 1994	358 ppmv	1720 ppbv	312 ppbv	268 pptv	110 pptv	72 pptv
Vækstrate pr. år	0.4 %/y	0.6 %/y	0.25 %/y	0 %/y	5 %/y	2 %/y
Atmosfærisk residentid (y)	50-200	9-15	120	50	12	50,000

Figur 1. Udviklingen i de seneste 2-300 år for en række drivhusgasser i Jordens atmosfære. Der ses en stigende tendens for alle gasser. Bemærk, at de næsten alle har en kort residentid i atmosfæren, mindre end 200 år. Fluo-carbonerne er syntetiske gasser; der hovedsageligt anvendes som kølemidler. De har alle en ekstrem høj drivhuseffekt, men deres koncentration er heldigvis endnu meget lav. ppmv=volume parts per million, ppbv=volume parts per billion (10⁹), pptv=volume parts per trillion (10¹²) (IPCC, 1996).

Planet	CO ₂ [vol-%]	N ₂ [vol-%]	H ₂ O [Vol-%]	Overflade temp. / Tryk [°C] / [atm]
Venus	96.5	3.5	< 0.02	~ 465 / 92
Jorden	0.03	78	< 1	~ 15 / 1
Mars	95.3	2.7	< 0.01	~ -65 / 0.01

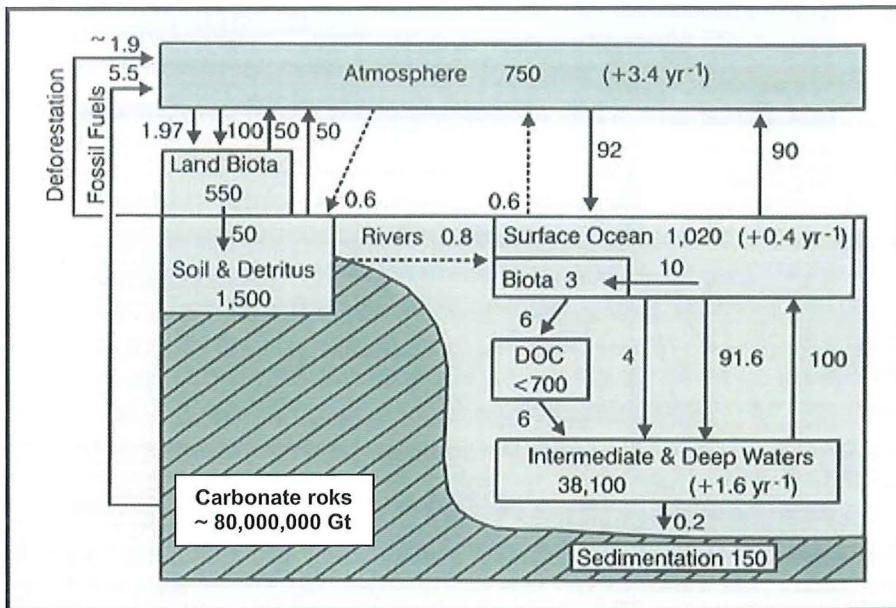
Figur 2. De terrestriske planeters atmosfære i nutiden. Atmosfærens sammensætning er resultatet af et kompliceret samspil mellem mange faktorer; som kun er delvis kendt. Nogle vigtige faktorer i atmosfærens udvikling er planetens masse (tyngdefelt), temperaturprofilen i atmosfæren samt mængden og arten af gasser; der tilføres atmosfæren over tid. Venus er langt varmere end forventet ud fra planetens afstand til Solen, hvilket skyldes en helt ekstrem drivhuseffekt, der primært er forårsaget af et højt CO₂-indhold.

midler, der indenfor en kort tidshorisont vil kunne anvendes for at reducere atmosfærens indhold af CO₂, er deponering i undergrunden. Vi vil i det følgende omtale nogle geologiske forskningsprojekter med dansk deltagelse, hvor man netop har undersøgt deponering af CO₂ i undergrunden ud fra forskellige synsvinkler.

KULSTOFS KREDSLØB OG ATMOSFÆRENS UDVIKLING

Det forhøjede indhold af drivhusgasser i atmosfæren må formodes at være et kortvarigt problem (nogle få hundrede, evt. tusinde år) forudsat, at vi formår at tøjle befolkningsvæksten og omlægge vores energiforsyning til CO₂ neutrale kilder, altså fra fossile energikilder til energikilder med lave eller ingen skadelige udslip. Derved kan vi nedsætte eller fjerne det overskud af CO₂, der hvert år tilføres atmosfæren, hovedsagelig via afbrænding af fossile brændsler og skovrydning, figur 3. Mens residenstiden for CO₂ er kort i atmosfæren (figur 1), tager det noget længere tid før en uligevægt i oceanernes CO₂-koncentration er udlignet ved sedimentation. De store mængder af karbonatbjergarter på jorden er således dannet over mange hundrede millioner år, figur 3.

Udviklingen af Jordens atmosfære er ikke kendt i detaljer, men den tidligste atmosfære sammensætning formodes at have været ret ens for de såkaldte terrestriske planeter: Venus, Jorden og Mars. Kulstof har været tilstede som CO, CO₂ og simple kulbrinter i det materiale, der dannede de indre planeter, og planeternes atmosfære har formodentlig haft en høj koncentration af CO₂ og N₂ (kvælstof) kort tid efter at ansamlingsfasen var slut (nogle få hundrede millioner år efter planeternes dannelse for 4.600 millioner år siden). Atmosfærens sammensætning i dag ses af figur 2. Det ses, at Jordens atmosfære nu er totalt forskellig fra de andre planeters. Årsagen hertil er primært, at H₂O i form af vand er en stabil fase på Jorden, men ikke på de andre planeter. Som det fremgår

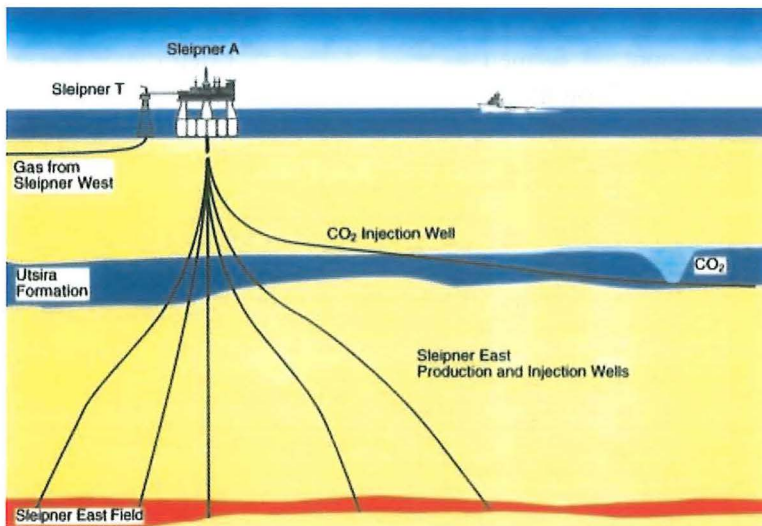


Figur 3. Det nutidige kulstofkredsløb for systemet atmosfære-ocean-kontinent i gigatons kulstoffår (GtC/year). Bemærk at kulstofligevægten atmosfære-ocean er forskudt ca. 50 gange mod oceanet. Denne tendens gælder også for CO_2 . Havet fungerer derfor som en stor stødpude for CO_2 , men er alligevel ikke i stand til at optage hele den overskydende mængde CO_2 , som årligt tilføres atmosfæren. DOC=dissolved organic carbon (IPCC, 1996).

af figur 3, vil CO_2 opløses i oceanerne - endda i ganske stor mængde. Herfra fjernes det over tid af biologisk aktivitet for til sidst at ende som kalk, dolomit og kulbrinteaflejringer (kul, olieskifre, olie og gas). Det er en meget stor andel af Jordens kulstof (> 99%, figur 3) der på denne måde er taget ud af atmosfære-ocean kredsløbet og nu er bundet i sedimenter og kulbrinte aflejringer.

HVORDAN NEDBRINGER VI KULDIOXID INDHOLDET I ATMOSFÆREN

Det fremgår af det ovenstående, at der relativt hurtigt vil vise sig en effekt, hvis tilførslen af CO_2 til atmosfæren bremses eller formindskes. Man kan have sin tvivl om det her og nu vil være muligt at nedbringe CO_2 -koncentrationen i atmosfæren uden at udvise brutal fremfærd (befolkningsudviklingen) eller at udløse økonomisk kaos (stoppe forbruget af fossile brændsler). Geologien kan imidlertid tilbyde en delvis løsning på kort sig, nemlig som nævnt ovenfor deponering af CO_2 i undergrunden, en metode der for tiden praktiseres i Norge, og som i forbindelse med olieindvinding har været praktiseret igennem de sidste 30 år især i USA.



Figur 4. Sleipner A platformen producerer gas og kondensat fra Heimdal Formationen i ca. 2.500 meters dybde, angivet som Sleipner East Field. Den separerede CO_2 fra Sleipner Vest-feltet pumpes ned i aquiferen i Utsira Formationen 1.150 m under havbunden og i en afstand af ca. 3 kilometer fra platformen. Den tragtformede udbredelse af CO_2 er et modelleret scenario efter 20 års injektion i reservoiret. (Statoil, 1996).

SACS PROJEKTET

I den norske del af Nordsøen ved Sleipnerfeltet lagres der for tiden ca. 1 million ton (Mt) CO_2 per år, og det forventes, at der i løbet af feltets levetid i alt vil blive deponeret 20 Mt CO_2 . Sleipnerfeltet er et gaskondensat felt, der består af en øst- og en vestdel. Sleipner Vest har en kompliceret geologisk opbygning, og gassen herfra indeholder 5-10% CO_2 . Det er betydelig mere, end salgsaftalerne for gas i Nordsøen tillader. Statoil, der er operatør på feltet, må derfor nedbringe CO_2 -indholdet i gassen til mindre end 2,5%, før den kan sælges. Dette gøres i en såkaldt 'scrubber' proces, og den fjernede CO_2 vil normalt blive udledt til atmosfæren. Det er imidlertid ganske store mængder, det drejer sig om, ca. 3% af Norges samlede CO_2 -udslip. Miljøovervejelser (Kyoto-aftalen) og den norske beskatning af CO_2 -udslip bevirkede, at Statoil og partnerne i Sleipnerlicensen besluttede at iværksætte verdens første industrielle CO_2 -deponering i et aquifer lager (et vandførende lag i undergrunden), figur 4. Gassen fra Sleipner Vest behandles på procesplatformen (T), og den separerede CO_2 føres til A platformen, hvorfra den injiceres i Utsira Formationen, en ca. 250 meter tyk sandformation af Miocæn alder med gode reservoiregenskaber, dvs. høj porøsitet og permeabilitet.

CO₂ injiceres i godt 1.100 meters dybde i den nederste del af Utsira sandet for at få en god opblanding med vandet i aquiferen. I den dybde er reservoir-temperaturen 37 °C og trykket omkring 110 bar, hvilket betyder at CO₂ er i superkritisk tilstand. Under disse forhold er CO₂ lettere end formationsvandet og vil derfor stige opad. Modelberegninger viser, at ca. 18% af den injicerede CO₂ vil opløses i vandet på vejen opad; resten vil samle sig i toppen af Utsira sandet i 800 meters dybde, hvor et 80-100 meter tykt dæklag af pliocænt ler (Nordland Shale) forhindrer videre opstigen. Efter 20 års injektion forventes det, at den paddehatformede CO₂ akkumulation under Nordland Shale vil have en radius mindre end 3 kilometer. Med tiden vil konvektion i vandet i Utsira sandet fordele CO₂ 'en. Modelberegninger viser, at 5.000 år efter CO₂-injektionens ophør er al CO₂ opløst i vandet og fordelt jævnt i reservoiret.

SACS Projektet (Saline Aquifer CO₂ Storage) er igangsat og støttet af Statoil sammen med en række andre olieselskaber og tillige støttet økonomisk af EU. Formålet med projektet har været at samle en gruppe af stærke europæiske geoinstitutioner for at undersøge, hvilken effekt CO₂-lagring i undergrunden har på omgivelserne, og hvilken skæbne CO₂ undergår på længere sigt. Seismiske undersøgelser før og efter injektion af CO₂ har vist, at der nu er en superkritisk boble af CO₂ under dækbjergarten som forudsagt i modelsimuleringerne. Modellering baseret på mineralogi, formationsvandets kemi og den kemiske reaktionshastighed har vist ingen eller kun ringe reaktion mellem det CO₂-holdige formationsvand og Utsira sandet, der overvejende består af kvartssand. Særlig interesse knytter sig til kvaliteten af dækbjergarten. Fra olie- og gasforekomster

Figur 5. Eksperimenter på borekerner ved reservoirbetingelser foregår i en ovn. En cylindrisk prøve af lersten (dækbjergarten over Utsira sandet) er anbragt i den store vandretliggende kerneholder bagerst i ovnen ved et omslutningstryk på ca. 55 atmosfære og en temperatur på 37 °C. Fra den lange cylinder i forgrunden tilføres CO₂ under stigende tryk til den ene ende af prøven i kerneholderen. Ved et bestemt tryk, barrieretrykket, overvindes kapillarkræfterne og CO₂ trænger ind i lerprøven. Når der planlægges en deponeringsstrategi er det vigtigt at kende dækbjergartens barrieretryk.



ved man, at et tykt lerlag kan være en barriere over lange geologiske tidsrum. Det formodes at Nordland Shale har lignende egenskaber og således vil forhindre at CO₂ trænger op til overfladen. I SACS projektet er dækbjergartens egenskaber blevet undersøgt af flere forskningslaboratorier, herunder ved GEUS Kerne-laboratorium, figur 5.

Det er beregnet, at Utsira sandet kan lagre omkring 600 milliarder ton (Gt) CO₂. Det svarer til CO₂ udledningen fra alle Europas kraftværker i de næste 600 år. Det er således muligt at lagre endog meget store mængder CO₂ i geologiske strukturer.

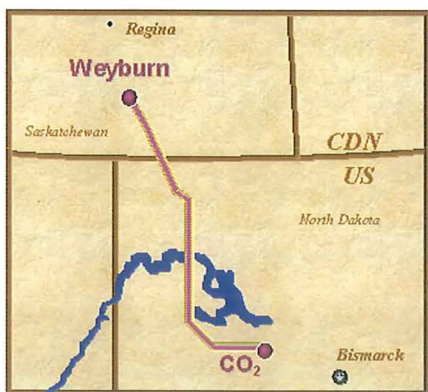
WEYBURN PROJEKTET

I den canadiske forbundsstat Saskatchewan foregår der for tiden en storskala injektion af CO₂ i et oliefelt nær byen Weyburn, figur 6. Operationen er kendt som en Enhanced Oil Recovery (EOR) proces, hvorved superkritisk CO₂ medvirker til en forøget olieindvinding fra et modent oliefelt. Denne proces til forøget olieindvinding kendes især fra USA, hvor man i mindre skala har praktiseret

dette siden 1970'erne, fortrinsvis i mindre olieletter, hvor man ikke har kunnet producere mere olie med traditionelle midler.

Mekanismen i CO₂-EOR er vist i figur 7. Som middel til at reducere udslippet af CO₂ til atmosfæren har de hidtidige EOR operationer i USA dog været virkningsløse, da man altid har anvendt CO₂ fra naturlige (vulkanske) forekomster. Operationerne har derfor ikke haft nogen effekt på CO₂-udslippet til atmosfæren. Anderledes forholder det sig med

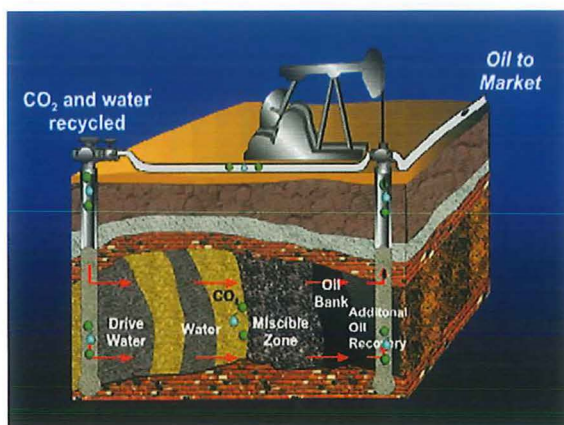
Weyburn projektet, hvor man anvender CO₂ fra en industriel kilde, der ellers ville være udledt til atmosfæren.



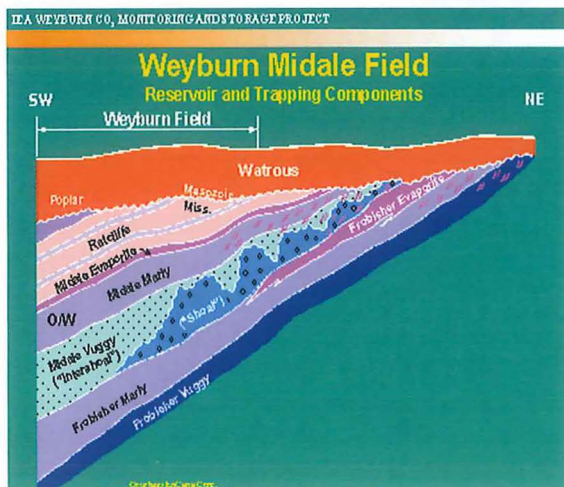
Figur 6. 'Great Plains Synfuels Plant' vest for Bismarck i North Dakota udleder store mængder røggas. Røggassen renses og CO₂ sendes i en 350 kilometer lang rørledning nordpå til Weyburn i Saskatchewan, hvor den injiceres i Weyburnoliefeltet for at forøge olieindvindingen (Sask. Energy and Mines).

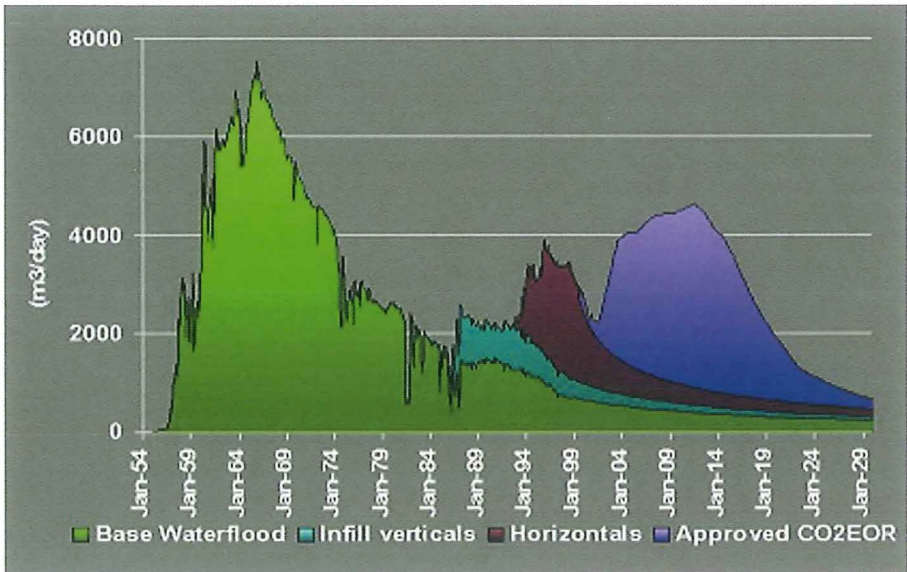
Weyburnfeltet er et karbonatfelt af Nedre Karbon alder med olieakkumulationer i 2 forskellige reservoirzoner. Den nedre zone, Midale Vuggy, er en opsprækket kalksten med en lidt højere permeabilitet end den overlejrende, tætte dolomit, Midale Marly. Reservoiret er forseglet opadtil af en tæt dækbjergart, Midale Evaporite, figur 8. Feltet, der er på størrelse med Danfeltet i Nordsøen, blev sat i produktion i midten af 1950'erne. I begyndelsen producerede man olie ved almindelig trykafkastning, dvs. at man udnyttede det overtryk, der normalt er i et oliereservoir, men i 1960'erne startede man vandinjektion fra vertikale brønde for at holde reservoirtrykket oppe. I 1980'erne borede man så afbøjede brønde og senere horisontale brønde for at få en mere effektivt fortrængning af olien. Den historiske udvikling ses udmærket af figur 9, hvor forventningen til CO₂-EOR strategien også er vist. Det er ganske betydelige ekstra mængder olie, man

Figur 7. CO₂ injiceres i pulser vekslede med vand for at styre udbredelsen af CO₂ mere hensigtsmæssig i reservoiret. CO₂ er blandbar med olien som kvælder op, trykket stiger og blandingen, der især er rig på de lidt lettere oliefraktioner, drives hen mod oliebrønden. Ved overfladen separeres CO₂ igen fra oliefasen og re-injiceres sammen med ny CO₂ i reservoiret (Sask. Energy and Mines).



Figur 8. Weyburnfeltet er en del af Willistonbassinet, der strækker sig fra Canada ind i det nordlige USA. 'Midale Beds' er en olieførende karbonat-formation af Nedre Karbon alder (Mississippian). Den tætte 'Midale Marly' dolomit har hidtil ikke produceret meget olie. Det forsøger man nu at rette op på ved CO₂-vand injektion fra vandrette brønde placeret i et tætliggende mønster i dolomitten. Profilet er stærkt overhøjet (EnCana Corp/IPCC 2002).





Figur 9. Den historiske olieproduktion fra Weyburnfeltet samt den forventede merproduktion ved CO₂-EOR operationen indtil 2029 - areal angivet med violet farve (EnCana Corp/IPCC 2002).

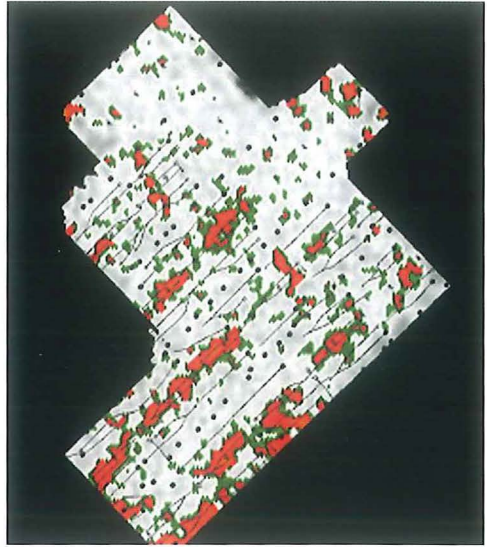
regner med at kunne producere over de næste 20 år. Den injicerede mængde CO₂ er af samme størrelse som i Sleipnerfeltet - 1 Mt CO₂ per år.

CO₂-gassen kommer langvejs fra, ca. 350 kilometer sydpå i North Dakota. Her ligger et kemisk værk, der fremstiller syntetisk brændstof og kunstgødning ved gassifikation af kul. Restproduktet er røggas med et stort indhold af CO₂, der normalt ledes ud i atmosfæren. I de sidste 4 år er en stor del af denne CO₂ imidlertid sendt videre til Canada for injektion i Weyburn feltet, figur 6. Det forventes at indvindingsgraden vil øges fra 25% til mindst 35% af den tilstedeværende oliemængde i reservoiret i løbet af de 20 år EOR projektet er planlagt at vare. Indtil nu har resultaterne af CO₂-injektionen været meget tilfredsstillende, og ved hjælp af avancerede seismiske metoder er det muligt allerede nu at se udbredelsen af CO₂ i reservoiret, figur 10. Selv om olieselskabet betaler for at modtage CO₂ fra værket i North Dakota, er der ganske god økonomi i projektet, især med de nuværende høje oliepriser.

Konceptet i Weyburn - mere olie ud af feltet med CO₂ - er således helt forskellig fra den passive lagring af CO₂ i Sleipnerområdet, men resultatet er det samme: Slutdeponering af en ganske stor mængde CO₂ i undergrunden (20 Mt CO₂).

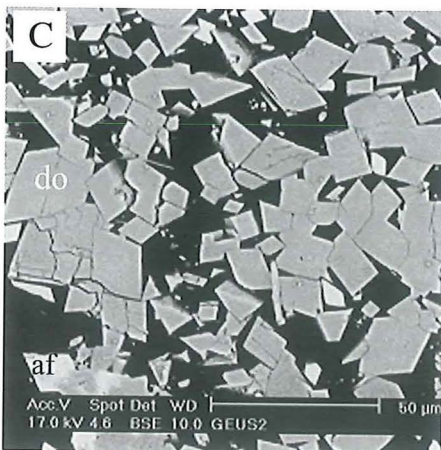
IEA/EU Weyburnprojektet er et internationalt forskningsprojekt, der har til opgave at undersøge langtidseffekterne af den CO₂-deponering, der finder sted i

Figur 10. Avanceret seismisk kortlægning af det såkaldte fase Ia CO₂-flooding- område i Weyburnfeltet. En baggrundsseismisk undersøgelse blev udført i 1999 før CO₂-injektionen startede og en ny seismik med nøjagtig samme geometri blev gentaget i 2001, 14 måneder efter CO₂-injektionen startede. De farvede områder på kortet viser udbredelsen af CO₂-fronterne, parallelt med injektor og producer brønde som svagt anes på kortet som tynde mørke linier (EnCana Corp/IPCC 2002).



Weyburnfeltet. Projektet er støttet af Det Internationale Energi Agentur (IEA), operatøren på feltet er olieselskabet EnCana Corp. og de lokale deltagere Saskatchewan Energy and Mines samt olieforskningscentret PTRC. Senere er der kommet deltagere fra USA og i 2001 besluttede EU Kommissionen at støtte europæisk deltagelse. Selvom interesserne er forskellige, er der en række spørgsmål, et sådant projekt kan medvirke til at besvare. Det er første gang man udfører en storskala CO₂-EOR operation i et karbonatfelt. Operatøren er derfor klart interesseret i at vide, hvilken effekt det har, at man injicerer CO₂ under højt tryk (150-250 bar) i en karbonatsekvens, der har en temperaturer på 40-60°C. Sker der f.eks. en opløsning af bjergarten, når CO₂ danner kulsyre i formationen, og bliver den dyrt indkøbte CO₂ dernede eller forsvinder den op i de overliggende geologiske formationer. Fra miljøside er man bekymret for at få CO₂ op i grundvandet, og om CO₂ i det hele taget bliver nede i feltet. Her må man så erindre sig, at selvom olien er forblevet i feltet i mange millioner år har menneskelig aktivitet nu medført, at der er ca. 1.000 borehuller igennem seglet over oliereservoiret - er de tætte ?

For at besvare disse spørgsmål omfatter IEA/EU Weyburn forskningsprojektet, en overvågning af tilstanden før og efter injektionen af CO₂ blev påbegyndt. Dvs. at man har 'kortlagt' feltets mineralogi, grundvandsgeokemi og fordeling af jordgasser før og efter CO₂-EOR operationens start. Man har således logget både oliebrønde, grundvandsbrønde og indsamlet overfladegasprøver. Indtil nu er der ikke konstateret udsivning af CO₂ til hverken grundvand eller jordoverfladen.

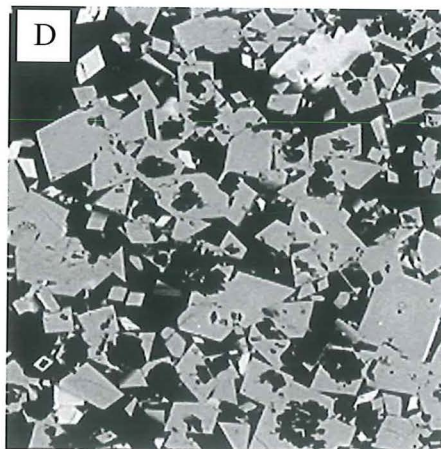


Figur 11.

(a) En cylindrisk prøve af Midale Marly dolomit som den ser ud før et eksperiment. (b) Efter en måneds CO_2 -injektion ses der især i indløbsenden af prøven tydelig opløsning af bjergarten. Bemærk de små huller fra opløste mineraler. Der observeres også en stigning i prøvens porøsitet og permeabilitet under strømningseksperimentet. Prøvens diameter er 2,5 centimeter.

(C) Scanning elektron mikroskop billedet viser en typisk Marly dolomit med veludviklede dolomitkrystaller (do) samt lidt accessorisk alkalifeldspat (af) og pyrit .

(D) Efter CO_2 -injektion er dolomit-krystallerne markant ætset i indløbsenden, med en karakteristisk udvikling af udhulede krystaller. (C) og (D) er i samme skala (GEUS Kerne Laboratorium, 2003).



Fra europæisk side er der især fokuseret på sikkerheds- og langtidseffekterne af CO_2 -deponering. Ved den engelske geologiske undersøgelse BGS er der i autoklaver udført reaktionsforsøg mellem prøvemateriale fra feltet, vand og CO_2 ved højt tryk i op til 6 måneder. Ved GEUS er der udført strømningseksperimenter i kerneholdere i op til 40 dage ved samme tryk- og temperaturbetingelser som i de engelske forsøg. Resultaterne af disse forsøg viser, at calcit og dolomit opløses under indflydelse af CO_2 -holdigt formtionsvand. Dette sker især i den ende af prøven, hvor der tilføres frisk CO_2 -mættet formtionsvand, figur 11.

Mineralogiske, petrofysiske (porøsitet og permeabilitet) og geokemiske data fra de danske og engelske undersøgelser er leveret videre til den franske geologiske undersøgelse BRGM, der har benyttet data som input i en geokemisk simulator, der kan beskrive opløsning og udfældning af mineraler flere tusinde år frem i tiden. De første resultater af den geokemiske modellering viser, at en stor del af den injicerede CO_2 opløses i formationsvandet i reservoiret. Ud over opløsning af karbonatmineraler finder der også genudfældning sted af nydannede mineraler som gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) og dawsonit ($\text{NaAl}(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$). Derimod reagerer silikatmineraler som kvarts og alkalifeldspat kun langsomt og i ringe omfang.

ORDFORKLARING

Ansamlingsfasen: Den tidlige periode i Jordens historie, hvor planeten via sit tyngdefelt tiltrækker stof fra den primitive solsky, opbygger sin nuværende størrelse og temperaturen falder, således at der kan dannes krystalline bjergarter, og der kan fastholdes en atmosfære.

Aquifer: Et vandførende lag i undergrunden hvor vandet kan flyttes (strømme) momentant.

Dolomit: Betegnelse for en bjergart der hovedsagelig består af mineralet dolomit, $\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$.

Gas-kondensat: Betegnelse for et felt der indeholder både en gasfase og en letflygtig kulbrintefraktion på væskefase under de tryk og temperaturforhold, der hersker i feltet.

Gassifikation: Industriel proces, hvor der under opvarmning af kul (i en iltfattig atmosfære) kan fremstilles gas (hovedsagelig methan) syntetisk benzin, brint og kulmonoxid (CO).

Logning af borehuller: Registrering af fysiske egenskaber i de gennemborede bjergartsformationer der udføres med en avanceret stak af sonder, der langsomt trækkes op gennem borehullet.

Permeabilitet: Udtryk for et porøst materiales evne til at transportere gas eller væske, når der opstår en trykforskel (trykgradient) hen over materialet. Permeabiliteten er (under visse betingelser) en stofkonstant, der angives i m^2 eller i Darcy, $1\text{D} = 10^{-12} \text{m}^2$.

Porøsitet: Næsten alle bjergarter indeholder hulrum (porer) mellem mineralkornene eller i glasfasen (hvis det drejer sig om lavaer). Porøsiteten er et mål for det volumen, der består af porer i forhold til hele bjergartsprøvens volumen. Porøsitet angives som en brøk eller en procent.

Residenstid: Den gennemsnitlige tid et atom eller molekyle opholder sig i atmosfæren.

Røggas: Betegnelse for den røg der udledes via skorstenen i et kraftværk eller andet fysisk-kemisk procesanlæg; indeholder fortrinsvis CO_2 , men også SO_2 og NO_x er tilstede.

Superkritisk: Under bestemte tryk og temperaturforhold forsvinder grænsefladen mellem CO_2 væske og gas, og CO_2 siges at være i superkritisk tilstand - det er hverken en gas eller en væske, men besidder nu nogle fysiske egenskaber, der kan siges at være karakteristiske for begge tilstandsformer.