

Klasseromsforsøk om lagring av CO₂ under havbunnen

Jan Martin Nordbotten og Kristin Rygg
Universitetet i Bergen

Konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren har steget fra 280 ppm til 370 ppm siden den industrielle revolusjonen, hovedsakelig som følge av forbrenning av fossile brennstoff. Lagring av CO₂ under havbunnen i naturlige grunnvannsformasjoner er et alternativ for å redusere de globale CO₂-utslippene som per dags dato kan gjennomføres i stor målestokk. Her presenterer vi et enkelt skoleforsøk som illustrerer fangingsmekanismer for geologisk lagret CO₂ sammen med potensielle risikofaktorer. Forsøket kan utføres med enkle hjelpemidler, og har blant annet blitt utført i forbindelse med Forskningsdagene i Bergen 2008 i samarbeid med 6. klasse ved St. Paul skole i Bergen.

Bakgrunnsinformasjon om geologisk lagring

Grunnvannsformasjoner er underjordiske, vannfylte, porøse medier dannet over millioner av år (felt i Nordsjøen er mer enn hundre millioner år gamle). Siden klimaet de siste hundre millioner årene har endret seg flere ganger, får formasjonene lagdelinger med ulik gjennomtrengelighet. Vannbærende grunnvannsformasjoner kalles akviferer og er tiltrekkende med tanke på lagring av CO₂, siden det finnes nok akviferer til å lagre mange hundre år med menneskelige CO₂-utslipp. Ved lagring i akviferer dypere enn 800 meter vil CO₂ være i en superkritisk fase, hvor CO₂ får en mye høyere tetthet (dog fremdeles lettere enn vann), som igjen øker lagringskapasiteten. To av de viktigste mekanismene for fanging av CO₂ i en akvifer er kapillær fanging og strukturell fanging. Kapillær fanging vil si at CO₂ blir fanget av overflatespenninger i grenseovergangene mellom stein, vann og CO₂. Ved strukturell fanging, er et ugjennomtrengelig lag lokalisert i toppen av akviferen (dette laget kan for eksempel bestå av leire). Det ugjennomtrengelige laget hindrer CO₂ i å bevege seg opp og ut av akviferen.

To eksempler på risikofaktorer er lekkasje i forbindelse med injeksjonsbrønnen, enten under selve injiseringen eller i etterkant; og jordskjelv som kan generere sprekker i formasjonen.

Gjennomføring av forsøket

I eksperimentet lager vi vår egen akvifer av sand hvor vi deretter injiserer luft, som en substitutt for CO₂. For at vi skal kunne anslå hvor mye luft vi har lagret er det viktig at sanden ikke kommer i kontakt med luft, slik at akviferen vår er helt vannfylt når forsøket begynner. Parallelt med forsøket gjøres også porøsitetsberegninger, ved å sammenligne vekten på våt og tørr sand.

Vi bruker en tolitersflaske med avskjæret bunn, og plasser et filter hvor korken skulle vært. Flasken plasseres deretter med filteret ned i en vannfylt beholder, og fylles med våt sand ved hjelp av en øse. Siden store sandkorn synker raskere enn lette sandkorn oppstår en lagdeling i "akviferen". Mens øsingen pågår plasseres et sugerør så langt ned i sandkaret som mulig, men samtidig så høyt at det er mulig å blåse i sugerøret. Dette sugerøret skal siden brukes som injeksjonsbrønn.

Etter at sandkaret er fylt med sand, løftes og slippes sandkaret noen ganger. Dette skal

illustrere jordskjelv som har hendt de siste millioner årene. Etter jordskjelvene måles vannstanden. Vi er nå klar til å injisere CO₂ (i vårt tilfelle luft), og en person blåser sakte, men stødig luft inn i sugerøret. Straks det kommer bobler til overflaten av akviferen stopper blåsing og ny vannstand måles. Om ønskelig kan karet dekket med folie til en annen dag for å sjekke om akviferen lekker (vannstanden vil da endre seg). Vi kan også se på farene ved nye jordskjelv, ved å løfte og slippe sandkaret slik som før injeksjonen, igjen vil vannstanden ha endret seg om noe lekker. Eksperimentet kan avsluttes ved å trekke ut sugerøret, for å illustrere en lekkasje dersom injeksjonsbrønnen brytes ned av kjemiske reaksjoner (rust og forvitring).

Underveis i forsøket er det interessant om elevene forsøker å forutsi lagringskapasitet og integritet i forhold til brønnforvitring og jordskjelv.

Etterarbeid

Ut fra elevenes forkunnskaper velges det hvilken tilnæringsmetode som benyttes under bearbeidingen av målingene tatt underveis i forsøket. Forsøket er tverrfaglig og gir kunnskap både om eksperimentell fysikk, matematikk og samfunnsvitenskapelige spørsmål. Vi vil fremheve noen eksempler på berørte tema her.

Gjennom forsøket undersøkes materielle egenskaper ved formasjonen som tetthet, porøsitet (andel hulrom) og gjennomtrengingsevne (permeabilitet). Porøsiteten og gjennomtrengingsevnen avgjør hvor store mengder CO₂ som kan lagres i formasjonen, og er de viktigste geofysiske egenskapene også i forhold til olje og gassutvinning. Når vi injiserer luft blir vannet i akviferen fortrent, passerer gjennom filteret og over i vannkaret. Dette skjer i henhold til Arkimedes lov. Det totale volumet av luft som er lagret i formasjonen kan derfor beregnes ut fra endringen i vannstand i vannkaret etter luftinjeksjonen. Lagringsmekanismene som dominerer i forsøket er basert på kapillærkrefter, og viser seg også å være en sterk funksjon av variasjonen i sandkorn, i likhet med hvordan kapillær heving i et rør avhenger av rørets radius. Vi ønsker å lagre CO₂ trygt over en lang tidsskala, og det er derfor viktig med tilstrekkelige barrierer. I etterarbeidet tallfester vi konsekvensen av endringer i struktur (jordskjelv) og konsekvensen av om den strukturelle barrieren blir brutt (fjerning av brønn).

Det benyttes matematikk som dekker et bredt spekter av årstrinn i forsøket. Mye av dette forekommer i etterarbeidet, og kan derfor tilpasses elevenes nivå. I volumberegningene brukes kunnskap om geometri, slik som forholdet mellom areal og volum og overflate og volum. Avhengig av karenes utforming kan dette også knyttes til egenskapene til sirkler og firkanter. Elevene benytter prosent- og brøkberegning i forbindelse med porøsitetsberegningene. Ut fra bildene tatt underveis i forsøket kan elevene kartlegge på hvilke dyp det er lagret mest CO₂. Dette kan siden presenteres i en datafigur og brukes til å vurdere hvor store volum som er lagret på ulike dyp og hvor det er sikrest å lagre CO₂. Avhengig av studentenes nivå kan disse figurene relateres til en enkel introduksjon til integrasjon.

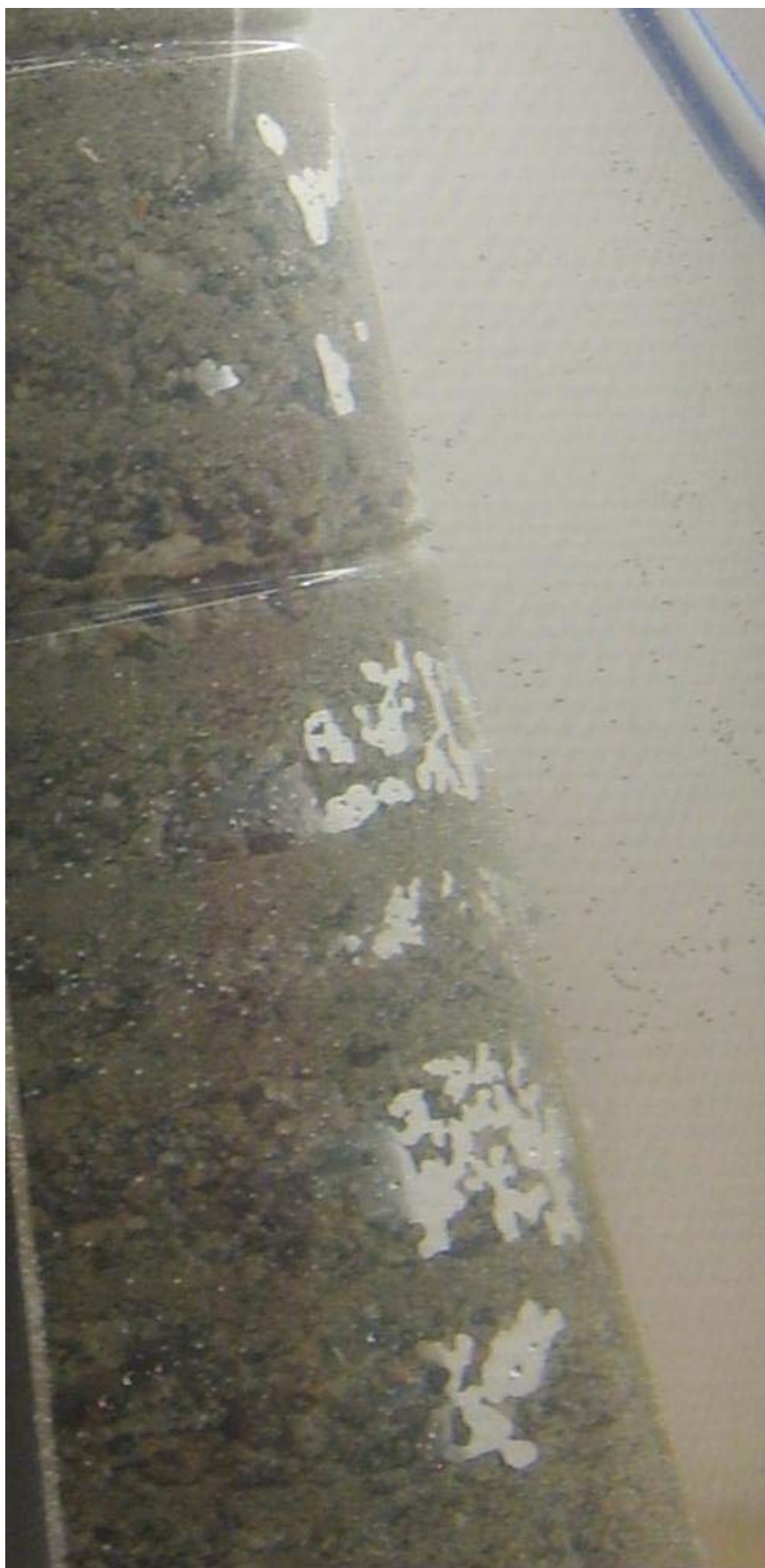
Forsøket kan settes i et samfunnsperspektiv basert på innsikten forsøket gir i de tre store overordnede spørsmålene ved CO₂-lagring: Hvor fort kan vi lagre (hvor raskt kan vi gjøre noe med de globale CO₂-utslippene)? Hvor mye kan vi lagre (monner det)? Hvor trygt er det? I den virkelige verden vil CO₂-lagring bli underlagt internasjonale konvensjoner og regelverk. Gode gruppeoppgaver er i denne

sammenhengen å bruke erfaringene fra forsøket til å utforme regelverk for CO₂-lagring; og å diskutere ansvarsforhold mellom stat og selskapet som lagrer CO₂. Resultatet fra disse gruppearbeidene kan siden sammenlignes med EU og USA sine utkast til regelverk.

Forsøket er beskrevet i detalj på Universitetet i Bergen sine hjemmesider, se bora.uib.no.



I den kunstige akviferen ser vi tydelig hvordan vi har fåt en struktur med alternerende grov og fin sand.



Luften vi lagrer er lett synlig under forsøket, og viser seg som glinsende sølvflekker.



Forsiktig injeksjon av CO₂ i akviferen.