



EN UKJENT OG GÅTEFULL VERDEN

Dyphavene med osean skorpe utgjør mer enn halvparten av Jordens overflate. Likevel har vi svært liten kunnskap om mange av de geologiske prosessene som foregår i overgangen mellom vann, skorpe og mantel. Det er en fare for at vi på den måten overser prosesser som er viktige for å forstå menneskenes plass på planeten Jorden.

TEKST: Martin Hovland, StatoilHydro

I vikingtiden, for mer enn 1000 år siden, så forfedrene våre på havet som et transportmedium som ga dem tilgang til rikdom. For 100 år siden var det blitt et ressurskammer for fisk og skapte et livsgrunnlag i kyststrøkene. I dag blir havet i stedet fremstilt som en trussel, – og vi, vi er syndere som lar havet stige fordi vi driver rovdrift på fossile energikilder.

Men hva er egentlig havet, og hvorfor er det interessant i en geologisk sammenheng?

I 1998 skrev den franske korall-eksperten, Jean Le Page: "Selv om havet dekker 71 prosent av jordkloden, så inneholder bare 0,2 prosent av dette arealet en fjerdedel av alle marine arter. Korallene, for å si det melodramatisk, er havets sjel – og havet – ja, det er moren til alt liv."

Kan det sies bedre enn dette? Med andre ord – uten havet ville vi ikke vært til.

UKLARE BILDER

Selv om det har skjedd en eksplosjon i utforskningen av både havet og havbunnen de siste 20 årene, med multistråle ekkolodd og alskens bemannede og ubemannede farkoster, har vi likevel bare kartlagt ca. én prosent av verdens dyphav.

Hvorfor har vi godtatt denne uvitenheten

om vår egen planet? Hvorfor kartlegger vi månen og planetene, når vi vet så lite om vårt eget hjemsted? Har det noe med fascinasjon å gjøre? Raketter er jo ganske spennende i forhold til en grå, slimete klump med dyphavsleire.

Årsaken er sikt, hele 90 prosent av vår kunnskap om verden omkring oss kommer fra synsinntrykk. I havet får vi bare grøtete bilder, fordi lyset absorberes over kort avstand i havet, og for det meste viser det seg at havbunnen er kjedeligere enn Saharas mest interessante sanddyne. Tenk for eksempel på dyphavsslettene, de svære flatene med leire som utgjør Jordens flateste områder. Dyphavsslettene utenfor Argentina har for eksempel et relieff på bare tre meter over en avstand på 1300 km. Det eneste spennende er enkelte fjell ("seamounts") som bryter monotonien.

Havbunn kartlegges derfor ikke med kamera. Havbunnen kartlegges i stedet med lyd, og nå samles det inn data fra både forskningsfartøyer og kommersielle kartleggingsfartøyer som fremstiller havbunnens lydbilder i både farger og 3D-perspektiv. Forskerne må likevel være forsiktige med å si hva bildene egentlig viser. De sier lite om bunnens beskaffenhet eller hva som befinner seg på havbunnen, enten vi snakker om biologiske eller geologiske fenomener. Det er derfor kartlegging og studier av havbunnen – marin geologi – er detaljarbeid, for "spesielt interesserte".

SERPENTINISERING

peridotitt (olivin, pyroksen) + sjøvann = serpentinit + magnetitt + hydrogen + energi

Reaksjonen foregår kun ved høye trykk og temperaturer. Resultatet er at bergarten ekspanderer, noe som igjen gir oppsprekking og større flux av sjøvann til mantelen. Dermed kan prosessen fortsette.

SERPENTINISERING – EN LIVGIVENDE PROSESS

Jorden er lagdelt. Innerst finner vi kjernen, utenpå den har vi mantelen, og helt ytterst ligger skorpen. Den øverste delen av mantelen, som ligger i direkte kontakt med både osean og kontinental skorpe, domineres av bergarten peridotitt som i all hovedsak består av mineralene olivin og pyroksen. Dunit er en variant av peridotitt som for det aller meste består av olivin.

Når peridotitt kommer i kontakt med vann under høye trykk og temperaturer (> 200 °C), oppstår en reaksjon hvor bergarten omvandles til serpentinit som i all hovedsak består av mineralene serpentin og mag-

netitt. Prosessen – *serpentinisering* (GEO 08/2007; side 17) – frigir samtidig hydrogen som er ett av livets viktigste grunnstoffer. I prosessen blir det også frigjort energi i form av varme (en eksoterm prosess).

Den oseane skorpen er mellom seks og ti kilometer tykk (egentlig ganske lite, bare dobbelt så langt som rullebanen på Gardermoen flyplass), og det er dette tynne laget som skiller vannet i dyphavet fra toppen av mantelen. Slik fungerer den oseane skorpen som en slags isolator mellom to stoffer som "hater" hverandre: mantelmasse (peridotitt) og vann.

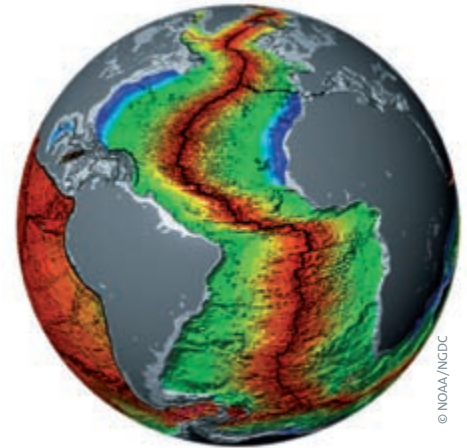
Det er i sprekke i osean skorpe langs spredningsryggene (der platene glir fra hverandre), langs transformforkastningene (der platene glir forbi hverandre med ulik hastighet) og der en plate går under en annen (synkesoner) at havet kommer i direkte kontakt med mantelmassen, og det er her den livgivende reaksjonen – serpentinisering – foregår. Omtrent 60 prosent av jordens overflate består av osean skorpe og den er dekket av

flere tusen meter med sjøvann. Det er, som vi skjønner, enorme volumer som potensielt kan utsettes for serpentinisering.

Når vi så legger til at varmen på mantel-massen ved seks til ti kilometers dybde kan være så høy som 1200 °C, kan vi kanskje forestille oss at det borger for kraftige reaksjoner og dramatiske endringer.

Hvorfor er serpentinisering en så interessant og viktig prosess?

- Jo, det er minst fire grunner til dette:
- For det første går reaksjonen stort sett av seg selv når vann kommer i kontakt med varm peridotitt.
 - For det andre produserer prosessen store mengder hydrogen. Hydrogen er en gass som, på grunn av at molekylene er svært, små trenger gjennom tykke sedimenter, samtidig som den er en av de viktige komponentene i livsformer og organiske forbindelser.
 - For det tredje øker volumet på de massene som omdannes fra peridotitt til serpentin. Serpentin tar opp mye vann i prosessen, og volumøkningen er opp til 40 %. Store forhøyninger kan altså lett dannes på og i havbunnskorpen.
 - For det fjerde vil salter felles ut fra sjøvannet som inngår i prosessen. Vi vet egentlig ikke hva dette betyr ennå, men konsekvensene kan være at det 'legges igjen' store mengder salt i undergrunnen, enten som saltlake eller som fast salt.



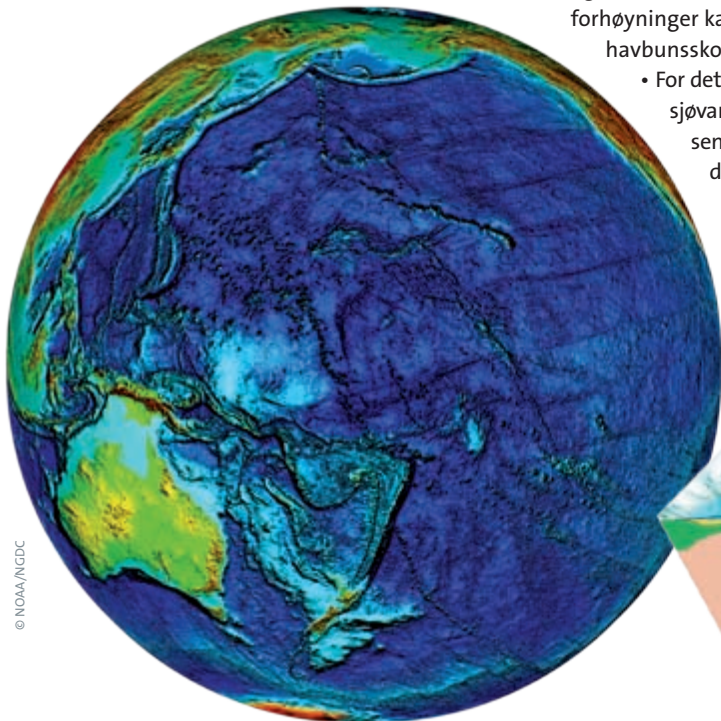
Omtrent slik ser geologene på havet. For disse fagfolkene er med andre ord havet nærmest synonymt med havbunnen. Stripene forteller hvor gammel den oseane skorpen er på et gitt sted. De er parallelle med midthavsryggene, og jo lenger bort vi kommer fra ryggene, jo eldre er havbunnen. Ingen steder er den eldre enn 180 millioner år (tidlig jura). Det står i sterk kontrast til den kontinentale skorpen som noen få steder er bestemt til å være nærmere fire milliarder år gammel.

Serpentinisering er altså en usedvanlig interessant prosess, med mange aspekter som vi ennå ikke fullt ut har forstått rekkevidden av.

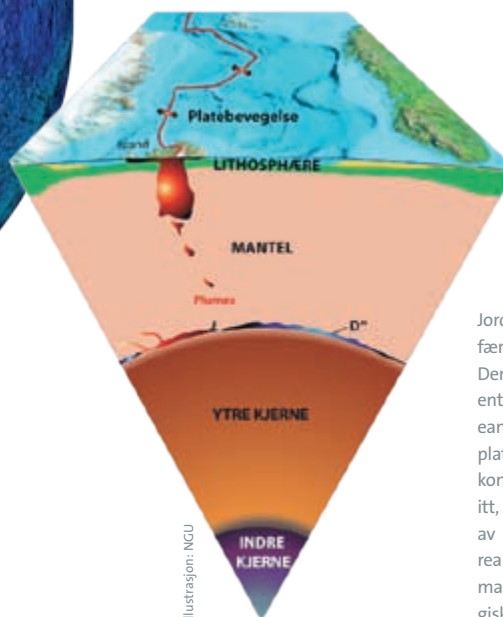
Reaksjonen foregår kun ved høye trykk og temperaturer. Resultatet er at bergarten ekspanderer, noe som igjen gir oppspreking og større flux av sjøvann til mantelen. Dermed kan prosessen fortsette.

SUPERKRITISK VANN

Ved havdyp på over 3000 meter er trykket på havbunnen 300 ganger større enn



Havet dominerer jordkloden fullstendig, noe vi får et godt inntrykk av når Jorden sees fra Stillehav-siden. Hele 71 % av Jorden er dekket med vann, og 60 % av overflaten består av osean skorpe. Men selv om den oseane skorpen er en dominerende geologisk struktur på Jorden, vet vi betydelig mindre om den enn om den kontinentale skorpen. Med ny teknologi og kontinuerlige forskningsprogrammer i internasjonal regi er imidlertid gapet i ferd med å tettes, om enn veldig sakte.



Jorden er lagdelt, og ytterst ligger litosfæren som er "brukket opp" i stive plater. Den øverste delen av litosfæren består av enten osean eller kontinental skorpe. Osean skorpe er dekket av havvann, og langs plategrensene kan dette vannet komme i kontakt med mantelen. Mellom peridotitt, den dominerende bergarten i toppen av mantelen, og havvannet oppstår en reaksjon – serpentinisering – som har mange interessante geologiske og biologiske konsekvenser.

LIVET I DYPHAVET

Etter "århundredets oppdagaelse", i 1977, da det ble oppdaget et helt nytt dyresamfunn på 2500 meters dyp, ved de varme oppkommene på East Pacific Rise (spredningsrygg i Stillehavet som skiller Stillehavplaten fra andre plater), ble vår biologiske oppfatning av planeten Jorden endret. Lenge trodde vi at det bare fantes én type livs-syklus, den som er avhengig av sollys og karbondioksyd i atmosfæren (fotosyntesen). Men, så viser det seg altså at det finnes et skjult biologisk system, på det mørkeste og antatt mest

ugjestmilde stedet på jorda. Senere har vi funnet hundrevis av nye organismer av den 'kjemosyntetiske' typen. Denne dyregruppen lever rundt de varme oppkommene i dyphavet og er fullstendig uavhengige av sollys. Derfor er de omtrent uavhengige av Jordens klima. Dyrene lever av 'forurensningene' fra Jordens indre og er således et resultat av sjøvannets kretsløp inn og ut av den oseane skorpen. *Se også artikkel i GEO 08/2006 om geobiosfæren (side 14-20).*



En ålekvalbe ligger på en karbonatblokk (dannet ved utsiving av metangass fra undergrunnen), og en krinoide ('stalked crinoid') kiler fisken på ryggen. Krinoiden er et dyr som kan bruke de vifteformede 'bladene' sine til å 'fly' gjennom vannet, dersom mat-tilførselen fra oppkommet skulle svikte. Bildet er fra en stor pockmark-grop på 730 meters vandndyp, ved Nyegga, på kontinentalskråningen utenfor Ålesund. Vanntemperaturen er -0,7 grader C, så fiskene er ikke særlig aktive og har få naturlige fiender.



Martin Hovland har jobbet med kartlegging av havbunnen og grunn gass helt siden 1976 da han ble ansatt i Statoil. Han har forfattet en rekke vitenskapelige artikler og er hoved- eller medforfatter av flere bøker. Han har interessert seg spesielt for norske korallrev og hvordan de kan være avhengige av næring fra undergrunnen. Hovland tok doktorgraden ved Institutt for Geologi og Biologi, Universitetet i Tromsø, i 1992.

på overflaten (vi har altså 300 atmosfæres trykk (300 bar)).

Vannets kokepunkt er avhengig av trykket, og jo høyere trykket er, jo høyere blir kokepunktstemperaturen. Men, dette gjelder bare inntil en viss grense, for ved vannets *kritiske punkt* kan ikke vannet koke. For ferskt vann er det kritiske punktet 374 °C og 221 bar. For sjøvann er det kritiske punktet 405 °C og 300 bar. På vandndyp over 3000 m vil sjøvann som varmes opp (av for eksempel mantelmasse) til over 405 °C bli superkritisk.

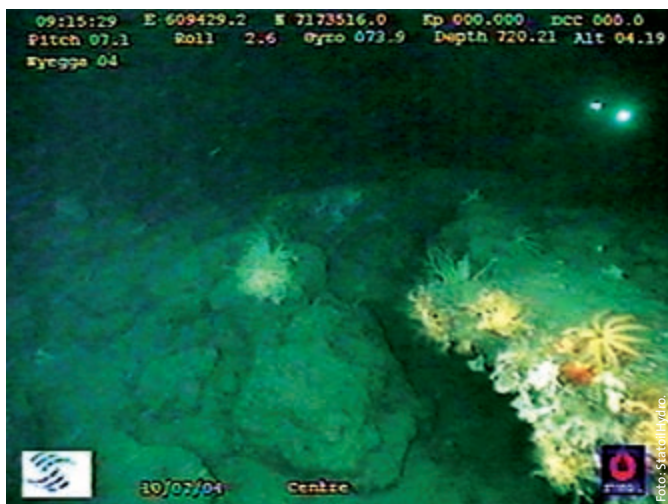
Vann som blir superkritisk er ikke lenger en vanlig flytende væske. Det er en mellomting mellom damp (gass) og væske – en

'vann-gass', som oppfører seg mye mer "agressivt" enn vanlig vann. Vi kan se for oss at superkritisk vann diffunderer inn i varmt fjell (peridotitt) slik som røk forplanter seg i luft. Med andre ord, vann-gassen kan trenge inn i fjellmasser, uansett hvor massive de synes å være. Ved kritisk punkt har denne vann-gassen en densitet på 0,3 g/cm³.

Hva har kritisk punkt med geologi og havet å gjøre? Jo, det er egentlig her mange av hemmelighetene ligger. Nå, når vi begynner å forstå hvor viktig superkritisk vann er, kan vi bedre forstå hva som foregår ved omvandling av bergarter i hydrotermale systemer.

Det superkritiske vannet synes å ha stor

evne til å korrodere vanlige bergarter. Men siden vanlige havsalter ikke kan løses i denne vann-gassen, så er det også tvilsomt om silikater kan løses og transporteres. Det er mulig at systemet må avkjøles ned mot kritisk punkt før silikat-produktene kan løses og transporters bort. Men vi kan observere at "skorsteiner" av kvarts og andre mineraler kan bygges opp der slikt vann kommer ut på havbunnen. Med en gang trykket avlastes til "subkritisk" (temperaturen går til under kritisk punkt), vil vannet kondenseres til vanlig vann igjen, men det er varmt, (374 °C) og vil derfor ha stor evne til å løse opp og transportere mange forskjellige stoffer, inkludert metaller.



I 2004 var vi heldige og hadde to ROV (remotely operated vehicle) om bord på kartleggingsfartøyet. Vi brukte begge farkostene på havbunnen samtidig, slik at vi kunne ta noen andre bilder enn 'lommelyktbilder' av havbunnen. Bildene gir allikevel en god illustrasjon av hvor vanskelig det er å få noen visuell oversikt over selve havbunnen.



I det ene bildet er vi kommet ned på 720 meters vanddyb, i en såkalt kompleks pockmark-grop ("kopparr"). Her er topografien og geologien meget spennende. Det har sammenheng med at det siver opp gass, noe som påvirker både biologien, topografien og geologien. Den andre ROV-en kan sees, ca 15 m borte, men på grunn av dårlig sikt taper detaljene seg veldig fort i sjøvann og det er kun ROV-lysene som vises. I det andre bildet har vi slukket lysene på den ene farkosten, slik at vi bare bruker lysene til den andre.

Superkritisk vann inngår i flere geologisk signifikante prosesser som vi ikke kjente til for bare ti år siden, men som nå kan snu opp ned på mange av de geologiske modellene vi har arbeidet med tidligere.

FORURENSNINGER FRA HAVET

Havvannet trenger kontinuerlig inn i den porøse, oseane skorpen (osean skorpe kan ha regional porøsitet på 20 til 25 % i de øverste 1-2 km). Den oseane skorpen representerer altså et enormt reservoar av både varmt og kjølig vann, og det er vist at den inneholder like mye vann som oseanene selv. I tillegg er det gjort beregninger som viser at alt vannet i oseanene sirkulerer gjennom skorpen omtrent én gang hver 10. millioner år.

Vannet "slukes" enten diffust inn i sjøbunnen eller finner veien gjennom sprekker. Drivkraften for sirkulasjonen er temperaturgradienter, på samme måten som i atmosfæren. Men, når vannet kommer ut igjen, enten ved basiske oppkommer (GEO 08/2007, side 17), eller ved "black smokers" på selve spredningsryggene, så er det ikke 'uskyldig' ferskvann som kommer ut. Nei, her kommer alt mulig, fra de sterke syrene (pH = 2), som inneholder tungmetaller (for eksempel kvikksølv, bly og sink), giftige stoffer (arsenikk og kvikksølv), samt svovel og karbondioksid. De basiske oppkommene (pH=10), er assosiert med serpentinisering

og inneholder helt andre stoffer, blant annet magnetitt, kalsitt, hydrogen, og oppløste organiske forbindelser. Disse oppkommene koloniseres umiddelbart av bakterier og andre mikroorganismer.

Vi kan derfor med en viss rett se på disse prosessene som noen av de mest "forurenssende" på hele Jorden.

Men, dersom vann som strømmer opp fra osean skorpe er en forurennskilde, hvordan håndteres dette "avfallet" slik at det ikke gjør skade? Jo, naturen er så viselig innrettet at de fleste stoffene kan inngå i én eller annen forbindelse eller omsettes av organismer. Selv den giftige substansen H₂S utnyttes av diverse bakterier. De lever enten symbiotisk inne i et annet 'kjemosyntetisk' dyr eller dan-

ner bakteriematter på og inne i havbunnen.

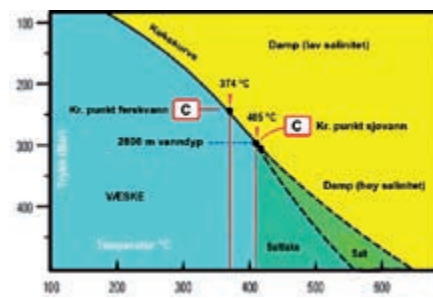
Mange av de "farlige" og "forurenssende" prosessene foregår i tykke lag med sediment. Sedimentene fungerer således som raffineringssolonner som kan gi opphav til enorme metallakkumulasjoner. Øst i Stillehavet og i Rødehavet er det påvist slike, og det er flere gruveselskaper som har planer om undervannsdrift på forekomstene.

MER MÅLING OG KARTLEGGING

Hva er så det viktigste vi kan gjøre for å sikre menneskene en fremtid på Jorden? Jo, vi må bare fortsette å måle og kartlegge. Vi kjenner for eksempel ikke detaljene i vannets kretsløp inn og ut av osean skorpe, og vi kjenner heller ikke karbonets inorganiske syklus (inkludert CO₂). Vi har altså ikke god nok kunnskap om de mest grunnleggende stoffers syklus på denne kloden. Dette er en viktig erkjennelse å merke seg i Planeten Jordens år.

Kanskje vår hovedoppgave er å overbringe budskapet om at denne planeten er enorm og robust, og at den klarer seg utmerket godt uten oss mennesker? Men, i stedet for å fremmedgjøre oss på planeten, så bør vi ha ærefrykt og respekt for de naturlige prosessene. Vi bør begynne å forstå dem bedre i stedet for å fremstille oss som syndere.

Forfatteren takker forsker-kollegaene Håkon Rueslåtten, Christine Fichler og Hans Konrad Johnsen for all hjelp med denne artikkelen.



Fasediagram som viser kokepunktskurven for vann. Vertikal akse = trykk (bar), horisontal akse = temperatur (C). Over kritisk punkt kan ikke vann koke lenger, men det går over i en superkritisk fase og får lav tetthet - det blir til en varm 'vann-gass'.