

# KAPITTEL 17

IVAR B. RAMBERG  
EYSTEIN JANSEN  
ODLEIV OLESEN  
TROND H. TORSVIK

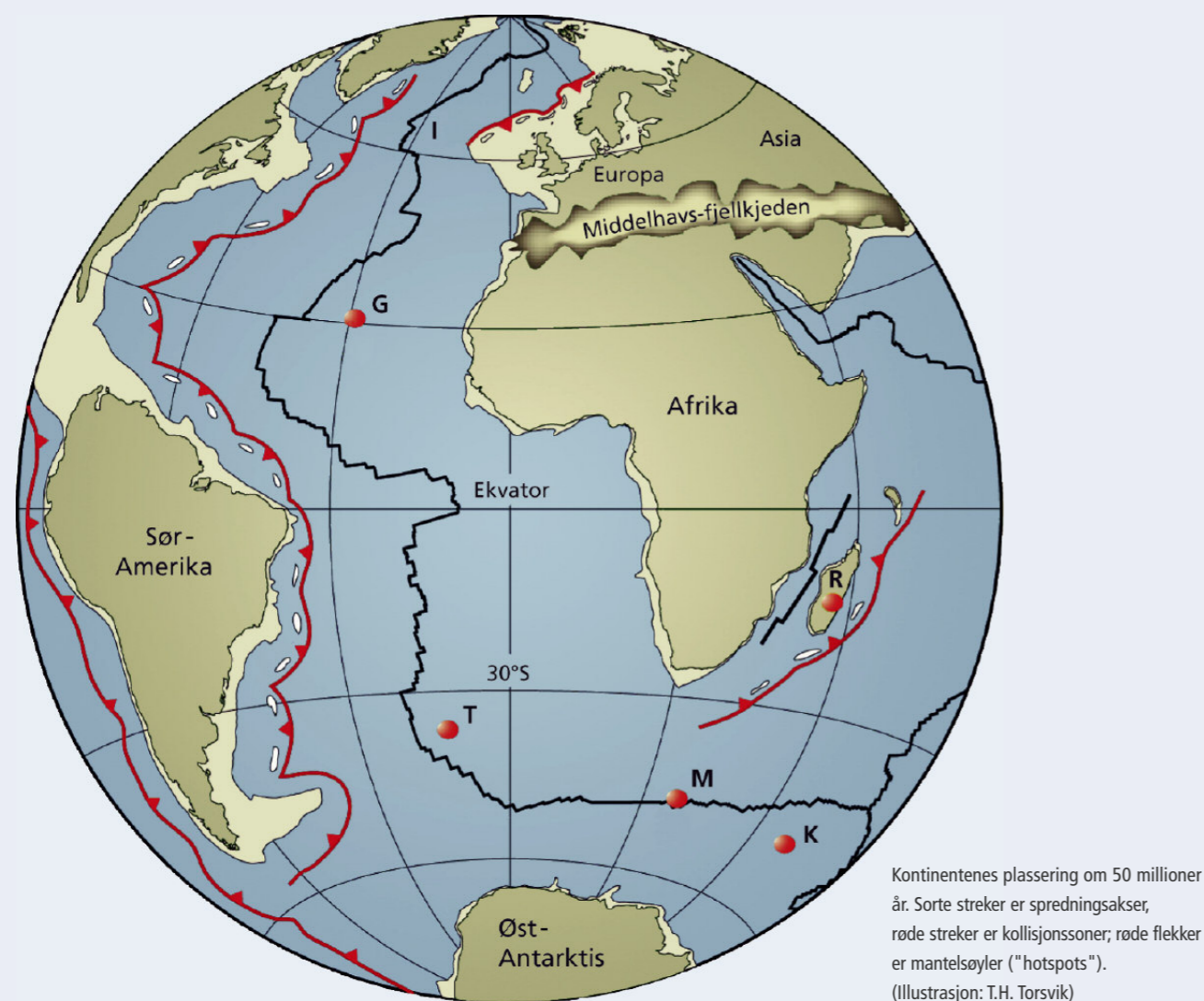
## *Hva vil fremtiden bringe?*

GEOFARER, KLIMAENDRINGER, LANDHEVING OG KONTINENTFORFLYTNING

*Jorda er en dynamisk klode. Endringer vil komme til å skje, både i den nære og fjerne fremtid. Ressurs- og miljøforvaltning vil bli sentrale utfordringer for menneskeheten. Det samme gjelder klimaendringer. Jorda vil oppleve varmeperioder, på sikt også nye istider.*

*Bildet viser en monsterbølge – tsunami – på vei mot land, en påminnelse om hendelser som kan inntreffe. Viktige spørsmål for oss og våre etterkommere blir derfor hvordan vi vil håndtere endringsprosessene og de mange trusler og muligheter naturen rundt oss byr på.*



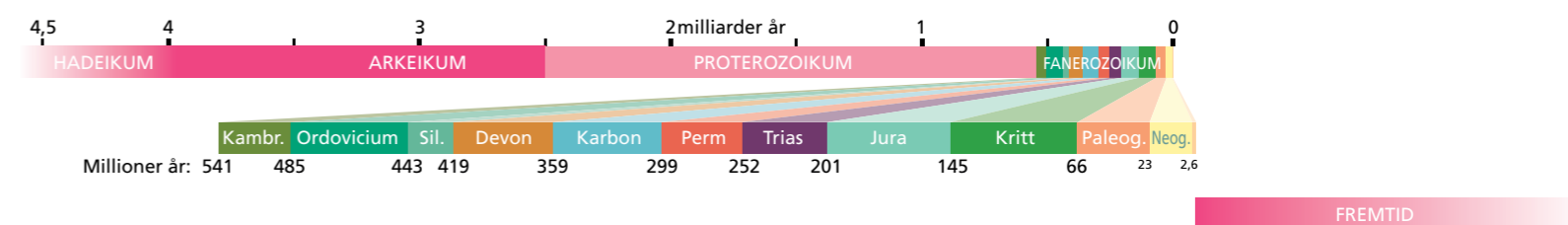


## DE NESTE 50 MILLIONER ÅR

*Fra kambrium til i dag har Norge forflyttet seg fra den sørlige halvkule, forbi ekvator til der landet befinner seg nå. Tenker vi oss ytterligere femti millioner år fremover i tid, vil jordas ansikt gradvis ha endret utseende, og Norge ha forflyttet seg nye 600 kilometer mot nord. Nord-Atlanteren har blitt nesten dobbelt så bred som i dag, mens lenger sør er antagelig Atlanterhavet i ferd med å lukke seg på ny, en prosess som etter hvert vil forplante seg nordover. Middelhavet vil være forsvunnet i kollisjonen mellom den afrikanske og den eurasiske platen. Jordas endringsprosesser vil fremtvinge store forandringer i bosetningsmønster, klima, flora og fauna.*

## Innledning

"Enige og tro til Dovre faller" lovet eidsvollsmennene hverandre da Norges grunnlov ble vedtatt i 1814. Et forholdsvis trygt utsagn i menneskelig målestokk. Men ikke i geologisk forstand, der tidsperspektivet er så mye, mye lengre.



Naturkreftene – de geologiske prosessene – som har formet landet vårt, har ikke på noen måte tatt pause. Jorda er en "levende", dynamisk klode. Endringsprosessene vil pågå, og Dovre vil med tiden "falle". De ytre kreftene, med kjemisk forvitring, breer, skred, vind og vann vil fortsette å tære ned og forme landet. Og de indre kreftene, med de vulkanske og platetektoniske prosessene, vil bygge nytt land, flytte landområdene til nye bredde- og lengdegrader, og endre klodens geografi, topografi, havstrømmer og klima.

(Illustrasjon: R.W. Williams)

Vi er alle vel kjent med de brå og voldsomme utslagene av naturens endringsprosesser som vulkanutbrudd, jordskjelv, skred og ras. Dette er prosesser som kan forandre våre livsbetingelser på meget kort tid. Men vanligvis maler naturens kvern langsomt, gjerne innenfor så lange tidsrom at det er vanskelig å registrere endringene innenfor et menneskelig tidsperspektiv.

På kort sikt er de brå endringene og klimavariasjonene de viktigste utfordringene for menneskeheten. Vil vi være i stand til å takle disse utfordringene, tilpasse oss eller kontrollere utviklingen? Og hva med de litt langsommere endringene? For eksempel, hvor lenge vil Norge være beboelig når nye istider setter inn? På virkelig lang sikt vil landet forvandles, fjelltopper slites bort eller løftes opp til nye høyder, elver finne nye løp, landskapsformene endres, og nye livsformer se dagens lys – tilpasset klodens endrede rammebetingelser. Og skuer vi svært langt inn i fremtiden, vil de platetektoniske kreftene fortsette å slite og dra i Norge, og i de omkringliggende land- og havområdene, slik at de gradvis endrer form og posisjon på jordas overflate. Kontinentforskyvningene vil med stor sannsynlighet innebære like store og dramatiske endringer for klima og biologisk utvikling i fremtiden som i vår geologiske fortid.

I dette kapitlet kan vi bare omtale noen av de mulige fremtidsperspektivene. Spørsmål rundt temaer som *geofarer*, *ressurser*, *miljø*, og *klima* angår oss som mennesker aller mest, siden det dreier seg om virkeligheten for de nærmeste generasjoner. Dette er prosesser menneskene delvis kan styre, i samspill med naturens egne krefter. Mer langsomtgående prosesser, slike som *landhevingen* som fortsatt løfter landet vårt med noen millimeter pr år, kan vi derimot ikke påvirke. Den vil pågå langt inn i fremtiden, i flere tusen år. Sist i kapitlet omhandles *plateteknikken* hvor vi ser for oss utviklingen langt inn i fremtiden, 50 til 100 millioner år. Slike tidsrom er vanskelige å forestille seg, men lithosfæreplatenes bevegelser – som pågår jevnt og trutt – understreker mer enn noe annet at vi bor på en dynamisk, levende jord. Antakelser om fremtiden innebærer alltid usikkerhet. Noen utviklingstrekk vet vi ganske mye om, mens andre beskrivelser må betraktes kun som scenarier, basert på oppsamlet geologisk viten, teoretisk kunnskap og ulike beregningsmodeller. Men scenarioene vil kunne bidra til å forberede oss på det som kommer, stimulere til ny kunnskap og kanskje også til å egge fantasien.

# Geofarar – overvåking og varsling

Geofarar er naturkatastrofer som vi forbinder med jordskjelv, vulkanutbrudd, flodbølger, tsunamier, flommer, skred og ras. Verden hjemsøkes årlig av et mangfold av katastrofer, med store konsekvenser for menneskeliv og materielle verdier. Vi kjenner det fra nyhetsbildet i aviser, radio og fjernsyn. Det rammer også Norge. Vil vi i fremtiden bedre kunne varsle eller redusere geofarar?

Skred har alltid vært en trussel for folk i fjellandet Norge. Bare i løpet av de siste 150 år har mer enn 2000 mennesker omkommet i skredulykker. Eksempler på slike hendelser er gitt i kapittel 16. Basert på historiske data kan vi statistisk sett vente oss 2–4 store skredulykker med mange omkomne i løpet av de neste 100 år. Den største trusselen er store fjellskred som kan føre til flodbølger (tsunamier) hvis de treffer fjorder eller innsjøer. Hvert år skjer en lang rekke mindre skredhendelser, hvorav noen dessverre har dødelig utfall og mange fører til tap av økonomiske verdier. I dag fører snøskred, særlig i forbindelse med friluftsliv, til flest omkomne, men hyppige eksempler på steinsprang, jord- og flomskred samt kvikkleireskred minner oss om at farene finnes. Klimaendringer med økt nedbør kan øke hyppigheten av enkelte skredtyper.

Skred, ras og flom er en del av de naturlige geologiske prosessene, en konsekvens av de ytre og indre krefters kontinuerlige virksomhet. Utløsende faktorer er jordskjelv, kraftig regnvær, høyt vanntrykk i sprekkesystemene i fjellet, naturlig bergtrykk, frostsprenkning og menneskelig aktivitet. Over tid vil slike hendelser bidra til å jevne ut og endre landformene, og til å bringe stein, sand og grus ut i elver og fjorder og videre ut på kontinentalsokkelen, som gradvis bygges ut.

Jordskjelv kan utløse skred. Det kan også skje i Norge, selv om jordskjelvhypigheten her er forholdsvis lav sammenlignet med andre strøk på jorda. Bak i boka er det vist et kart over jordskjelvaktivitet de siste ca. 30 år. Det viser samtidig hvilke områder som vil være særlig utsatt for jordskjelv i fremtiden. NORSAR har beregnet at jordskjelv med størrelse

oppimot 6 på Richters skala vil opptre gjennomsnittlig med 100 års mellomrom i Fastlands-Norge og på kontinentalsokkelen. Skjelv med Richter-styrke 7 vil forekomme langt sjeldnere, omtrent hvert tusende år. Det er fortsatt stor usikkerhet knyttet til beregninger av slike returperioder.

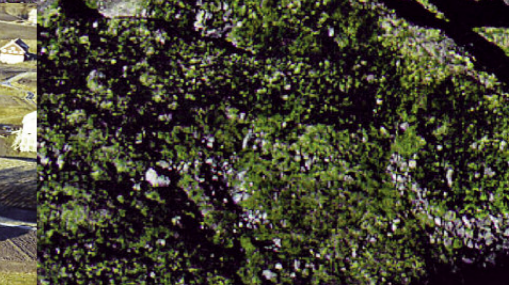
Jordskjelvaktiviteten i Norge er relativt konstant over tid, men samfunnets sårbarhet for jordskjelv har forandret seg dramatisk i de siste 150 årene. Norge er forvandlet fra et enkelt jordbruks- og fiskersamfunn til et komplisert industrisamfunn med urban bosetning, kraftverk, jernbaner og veier med et stort antall tunneler, oljeinstallasjoner, rørledninger, fabrikker og andre store bygninger. Nye byggeskrifter tar nå hensyn til at faren for store jordskjelv er størst på Vestlandet, langs Nordlandskysten, i Troms og i Oslofjord-området, men skadene fra fremtidige jordskjelv kan likevel bli betydelige.

Store oppgaver er derfor knyttet til arbeidet med kartlegging, modellering, overvåking, varsling og eventuell begrensning av risikoen for geofarar, spesielt når det gjelder leirskred, store fjellskred og eventuelt påfølgende flodbølger. Stor vekt vil i fremtiden bli lagt på arbeidet med å forbedre og videreutvikle presisjonen i prognoseverktøyene og varslingsystemene (se ramme om geofarar). Når det gjelder flom, har Norges vassdrags og energidirektorat (NVE) et kontinuerlig overvåkingsprogram for avrenning til vassdragene, både av hensyn til elektrisitetsproduksjonen, men også for å kunne varsle mulig flom for at tiltak kan settes i gang for å dempe flomskader. Nasjonale varslingsystemer vil også bli utviklet for snøskred, jord- og flomskred.

## SKREDUTSATTE OMRÅDER

OMRÅDER SOM ER SÆRLIG UTSATT FOR STEINRAS OG ETTERFØLGENDE FLODBØLGE.

Oversikten er basert på registreringer og undersøkelser i tre fylker (Troms, Møre og Romsdal og Sogn og Fjordane). Den er ikke fullstendig, og ifølge NGU er det grunn til å tro at det finnes ustabile fjellpartier som kan gi flodbølger også i Nordland, Hordaland, Rogaland og Telemark. (Kart gjengitt med tillatelse fra Aftenposten. Datakilde: NGU)



Store sprekker langs Børa i Romsdalen. Systematisk registrering og overvåking av potensielle skredområder kan redusere skadeomfanget og risikoen for tap av menneskeliv. (Foto: NGU)

TIL VENSTRE: Leirskred ved Baastad, Øyeren i Akershus, 1974. Deler av Østlandet er skredutsatt på grunn av leire (kvikkleire) som ble avsatt her da havet trengte inn etter siste istid. Kartlegging av tidligere skred og bedre forståelse av skredutløsende faktorer er viktig i arbeidet med å redusere og varsle fremtidige skred. (Foto: Fjellanger Widerøe AS)

## GEOFARER; OVERVÅKING OG VARSLING Av Lars Harald Blikra

Katastrofale flodbølger kan oppstå dersom store fjellmasser raser ned i fjorder eller innsjøer. Denne typen risiko må som oftest håndteres gjennom overvåking, varsling og evakuering i kritiske situasjoner. Det eksisterer i dag en rekke ulike overvåkingsystemer, og den teknologiske utviklingen fremskaffer stadig bedre metoder for dette. I Norge finnes det en rekke store ustabile fjellpartier, men overvåkingsystemer finnes bare noen få steder. Et stort stabilt fjellparti ved Åknes i Sunnlyvsfjorden i Stranda kommune på Sunnmøre er siden 1985 overvåket ved bruk av strekkstag som står tvers over sprekke. Målingene er koblet til telefonnettet slik at en får kontinuerlige målinger, og kan varsle dersom bevegelsen i fjellpartiet øker dramatisk. I dag beveger deler av det ustabile fjellområdet seg med ca. ti cm i året (\*). Ved mange av de store historiske fjellskredene har det vært økende bevegelse før skredet har gått. Det viser seg også at denne bevegelsen går raskere og raskere inntil skredet utløses. Ved å kontinuerlig overvåke bevegelsene i slike ustabile fjellpartier er det derfor mulig å bygge opp systemer for varsling og beredskap. Også fjellmassivene Mannen i Rauma og Nordnes i Kåfjord er utstyrt med overvåkingsutstyr.

Strekstag er imidlertid bare én type overvåking. Avstandsmålinger er tradisjonelt den metoden som benyttes mest for overvåking av bevegelse. I dag brukes også ofte GPS, både til å kartlegge bevegelse fra et tidspunkt til et annet (f.eks. én gang i året) og for kontinuerlige målinger. Nøyaktigheten ved slike målinger er blitt svært god, og vi kan måle bevegelse ned til noen få millimeter. Ved Åknes er det også etablert seismisk overvåking, som sier noe om bevegelsene og deformasjonene inne i de ustabile områdene.

I de siste årene er nye metoder basert på radar- og laserteknologi på full fart inn i overvåkingen av ustabile områder. Det er utviklet teknologi hvor radardata fra satellitter kan påvise vertikale bevegelser på under én mm i året. Etter hvert som en får hyppigere satellittdata, kan dette også brukes for overvåking. Det er også utviklet bakkebaserte radar-systemer som kan kartlegge og overvåke bevegelsene i hele fjellsider. Denne teknologien er brukt ved all overvåking av fjell i Norge. Fordelene ved slik overvåking er at all instrumentering og energitilførsel kan skje nede i bygda. Nøyaktigheten ved slike målinger er svært høy, og radaren kan stå langt borte fra selve fjellsiden som skal overvåkes (opp til fire km). Liknende metoder er også utviklet med grunnlag i laserteknologi, men her er avstanden et større problem.

I mange sammenhenger er det nødvendig å overvåke både bevegelse og poretrykk i borehull. Også for slike tilfeller finnes det ulike typer overvåkingsystemer. Poretrykket kontrollerer svært ofte stabiliteten til fjellmassene, og det er derfor viktig å følge med i endringene i trykket. Dette kombineres ofte med klimamålinger for å se på hvordan nedbør og snøsmelting påvirker bevegelsene. Ved Åknes installeres det nå både overvåkings-systemer i borehull og en klimastasjon.

Internasjonalt er kompetanse på overvåking og varsling knyttet til store fjellskred langt fremme i Italia, Sveits og Japan. I Norge satses det på å bygge opp kompetanse, spesielt knyttet til International Centre for Geohazards (ICG), med partnerne Norges Geotekniske Institutt (NGI), Norges geologiske undersøkelse (NGU), NORSAR (Norwegian Seismic Array, norsk seismologisk forskningscenter, Kjeller), Universitetet i Oslo og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Selskapet Åknes/Tafjord Beredskap ble etablert som permanent selskap for overvåking og varsling i 2008. Norges vassdrags- og energidirektorat fikk fra 2009 det statlige ansvaret for forebygging av skred.

(\* Hvis fjellblokken i Åknes sklir ut, vil det oppstå et skred på over 50 millioner kubikkmeter. Skredet vil gå ut i fjorden og det vil oppstå flodbølger på over 80 m i Hellesylt og kunne ramme et stort område langs fjordsystemet helt ut til Ålesund.



Strekstag er montert i sprekke på Åknes for å kunne måle utvidelsene kontinuerlig. (Foto: L.H. Blikra)



Klimastasjonen på Åknes registrerer vindretning og -hastighet, temperatur, nedbør, solinnstråling og snødybde. (Foto: L.H. Blikra)

## Kan flodbølger (tsunamier) varsles?

Norge har vært rammet av flodbølger flere ganger i historisk tid, seinest i det siste århundre (se kapittel 16). Flodbølger i Norge skyldes enten ras og skred fra bratte fjellsider ned i fjordarmer eller, i sjeldnere tilfeller, større jordskjelv som medfører forkastninger i havbunnen utenfor kysten. Slike jordskjelv kan også utløse undersjøiske skred som f.eks. Storegga-skredet for nesten 8100 år siden. Storegga-skredet er et av mange undersjøiske skred som fant sted rett etter siste istid. De mange skredene opp gjennom historisk tid har krevet tallrike liv. Et tilsvarende skred i dag vil potensielt få større konsekvenser pga større folketetthet og mer omfattende infrastruktur.

Det er først og fremst skred og ras i bratte fjellskråninger som representerer en risiko for flodbølger i Norge. Høye fjell, ustabile fjellmassiver og dype fjorder er en uheldig kombinasjon som i ekstreme tilfeller kan skape bølgehøyder på opptil 70–80 m. Dette vil primært være lokale flodbølger, som i liten grad rammer utenfor de aktuelle fjordområdene. Detaljert geologisk kartlegging av risikoområdene og systematisk overvåking av sprekke-dannelser i farlige fjellområder er derfor viktige tiltak. Modellsimuleringer kan også benyttes til å kartlegge hvilke områder langs fjordene som er mest utsatt for flodbølger ved skred. Resultatene av slike undersøkelser bør rutinemessig inngå i kommunale planer i områder hvor skred kan forekomme.

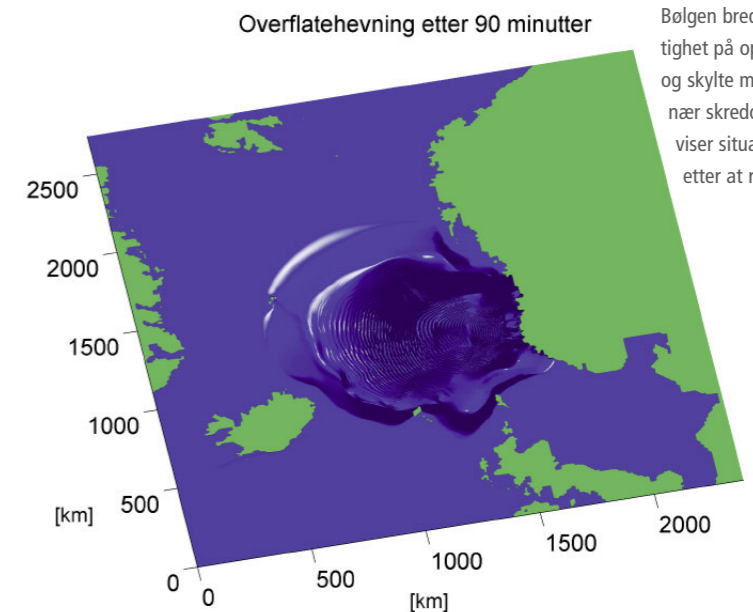
En annen viktig årsak til at store flodbølger (tsunamier) oppstår, er undersjøiske skred eller deformasjoner (forkastninger) i havbunnen, som resultat av større jordskjelv. Slike tsunamier kan ramme store kystområder, ikke bare lokale fjorder. Historisk sett har kystene rundt Atlanterhavet vært lite utsatt for slike hendelser (bortsett fra jordskjelvet og tsunamien i Lisboa i 1755, som la mesteparten av byen øde), sammenlignet f.eks. med kystene rundt Stillehavet. Det skyldes at i Stillehavsområdet presses litosfæreplatene mot hverandre og inn under hverandre (subduksjon), mens i Atlanterhavet trekkes platene fra hverandre langs midthavsryggen. Dette siste gir vanligvis jordskjelv med mindre styrkegrad enn ved subduksjon. Risikoen for tsunamier er derfor mindre i vår del av verden.

Den katastrofale tsunamien som oppstod etter det ekstremt kraftige jordskjelvet utenfor Sumatra i Det indiske hav annen juledag 2004 og ikke minst jord-



Forskere borer etter spor av en 8100 år gammel tsunami (Storegga-skredet) i en myr på Askøy ved Bergen, og dokumenterer hvor høyt flodbølgen lokalt slo inn over land. Slike studier er viktige for beregning av mulige konsekvenser ved fremtidige flodbølger. (Foto: H. Hansen)

skjelvet i Japan i mars 2011 (styrkegrad 9) har økt verdens oppmerksomhet omkring dette fenomenet. Hendelsene kunne ikke vært hindret, men mange menneskeliv kunne vært spart ved et godt varslings-system. Slike varslings-systemer har eksistert for landene rundt Stillehavet siden 1949, men er i det siste også etablert for landene rundt det Indiske hav. Et varslings-system er teknisk sett fullt mulig også i Atlanterhavsområdet, og norske forskere har deltatt i forskningsprosjekt der slike varslings-systemer har blitt utviklet. Et effektivt varslings-system vil omfatte flere elementer som instrumentering, modellsimuleringer, datakommunikasjon og opplæring av befolkningen.



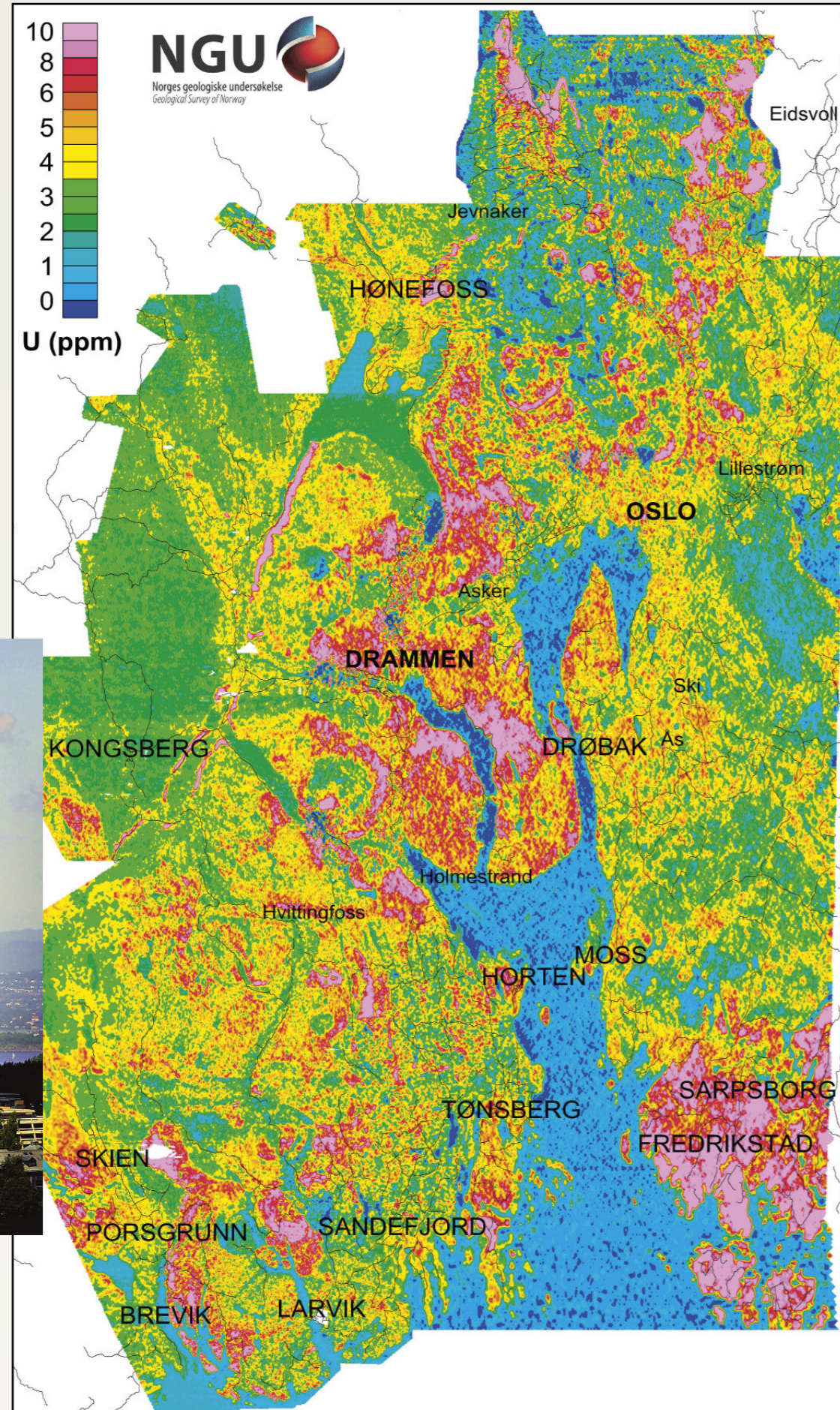
Numerisk simulering av flodbølgen i Norskehavet etter Storeggaraset. Bølgen bredte seg utover med en hastighet på opptil 600 kilometer pr. time, og skylte minst 12 m høyt opp på land nær skredområdet. Illustrasjonen viser situasjonen ca. 90 minutter etter at raset gikk. (Figur fra: ICG)

## NATURLIG FOREKOMMENDE RADIOAKTIVITET

Uranksentrasjon i grunnen (i ppm – parts per million) beregnet fra fly- og helikoptermålinger av radioaktiv stråling. De høyeste konsentrasjonene finnes i områder med alunskifer, uranholdige granitter og enkelte rombeporfyrlavaer.

Iddefjordsgranitten i Østfold, deler av Drammensgranitten og alunskifer mellom Grenland og Hadeland har alle høye innhold av uran. Kartet utgjør en viktig del av grunnlaget for å lage radon-risikokart. Det kan også brukes i beregningen av grunnvarmepotensialet i Oslo-området.

(Illustrasjon: V. Baranwal, NGU)



Måling av naturlig radioaktiv stråling fra fly over Oppegård i Akershus. (Foto: H. Wisløff)

## Lokale og globale utfordringer i naturen

Naturen byr på en rekke utfordringer eller katastrofetrusler. Noen av disse er lokale, mens andre kan være av global karakter, med mulig massedød eller masseutsletting som konsekvens, slik vi har sett eksempler på ved overgangen mellom perm/trias og kritt/kenozoikum.

*Lokale* geofarer inkluderer fenomener som er knyttet til skred, flom og flodbølger. Lokale geofarer omfatter også fenomener som naturlig forekommer av den radioaktive gassen radon, som i vårt land særlig utvikles i noen av granittområdene i grunnfjellet og i Oslo-området, og som skyldes de spesielle dypbergartene og alunskiferen som opptrer her. Alle bergarter og jordarter kan inneholde små mengder naturlig forekommende radioaktive grunnstoffer, som uran og thorium. Strålingen fra disse grunnstoffene er meget svak og utgjør normalt ingen helseisiko. Gjennom spalting av uran oppstår imidlertid gassen radon, som over tid kan føre til lungekreft når den hopper seg opp i bygninger med dårlig ventilasjon. Kaldt klima og dermed redusert ventilasjon gjør at radon medfører flere dødsfall i Norge enn i de fleste andre land. Statens strålevern har beregnet at 5–15 prosent av alle lungekrefttilfellene i den norske befolkningen skyldes radon, og at det årlig dør ca. 300 mennesker av radon-indusert lungekreft.

Sammenhengen mellom radon og lungekreft er et av mange temaer innen fagdisiplinen geomedisin. Den tar seg blant annet av samfunnets behov for å beskytte seg mot kjemikalier og radioaktiv stråling i naturen. Dette kan være naturlig forekommende fenomener eller også menneskeskapt forurensning, som f.eks. ved lagring av tungmetaller og radioaktivt avfall.

I enkelte land kan *vulkanutbrudd* representere alvorlige trusler for lokalbefolkningen, men bare i liten grad i Norge. Norges eneste aktive vulkan er Beerenberg på Jan Mayen. Siste utbrudd var i 1985. Nye utbrudd kan forventes i fremtiden, noe som først og fremst representerer en lokal trussel. Men erfaringene fra de islandske vulkanutbruddene, og spesielt de tilhørende askenedfallene, har vist at aktiviteten indirekte kan ramme Norge og dessuten kunne skape ringvirkninger over store deler av Europa.

*Globale* geofarer er sjeldne, men har fått økt oppmerksomhet i faglitteratur og medier i de seinere år. I tillegg til de omtalte tsunamier, omfatter dette fenome-

ner som f. eks. meteornedslag, supervulkaner, reverseering av jordas magnetfelt, store havnivåforandringer, smelting og destabilisering av de store mengder metanhydrater som ligger nedfrosset i de øvre sedimentlag i havbunnen. Dette er hendelser som kan ha stor global effekt på klima og biosfæren – eller selv være et resultat av klimaendringer (som f.eks. større havnivåforandringer). Slike hendelser er godt dokumentert i den geologiske historie, og vil med stor sikkerhet inntreffe også i fremtiden, men med lange mellomrom. Bortsett fra de pågående klimaendringene og tilfeldige meteortreff, er det statistisk sett liten sannsynlighet for at de vil inntreffe i "vår" tid. (Klimaendringene omtales i større detalj senere i kapitlet).

Siste større *meteortreff* fant sted over byen Tsjelabinsk nær Uralfjellene 15. februar 2013. Et annet større treff i vårt nabolag var Tunguska-meteoren i Vest-Sibir i 1908. Hadde Tunguska-meteoren eksplodert i jordas atmosfære noen timer seinere, kunne den ha utslettet en av de store byene i Vest-Europa istedenfor et øde område i Sibir. Astrofysikerne har kartlagt et stort antall himmellegemer i det såkalte asteroidebeltet, og oppdager stadig flere. Store teleskoper brukes i dag for å overvåke verdensrommet og kan derfor gi oss viktig informasjon om himmellegemer med kurs for jorda. Med fremtidens romfartsteknologi kan vi med stor sannsynlighet klare å endre kursen på eventuelle asteroider og kometer før de treffer jorda.

*Supervulkaner* er betegnelsen på vulkaner med styrke 7 eller 8 på VEI-skalaen. (VEI = vulkansk eksplosivitetsindeks, går fra 0 til 8). Supervulkanenes utbrudd er mer katastrofale enn alle de øvrige vulkanutbrudd man har dokumentert i den skrevne historien. Under dannelsen av Oslofeltet i perm oppstod det flere supervulkaner (kapittel 9). Den største aktive supervulkanen per dags dato befinner seg i Yellowstone Nasjonalpark i USA. Den har en utbruddshyppighet i størrelsesorden 600 000 til 800 000 år. Siste utbrudd fant sted for 640 000 år siden, og et nytt utbrudd vil kunne få konsekvenser for hele kloden. Monitoreringen av aktiviteten ved Yellowstone-vulkanen vil naturlig nok bli fulgt med stor oppmerksomhet i årene fremover.

## Gammel dypforvitring gir tunnelproblemer

Svakhetssoner og svelleire i berggrunnen har vært et tilbakevendende problem for tunnelbyggere i Norge. Praksis har også vist at det har vært spesielt

vanskelig å lage fjellanlegg på Østlandet. Byggingen av Holmenkollbanen tidlig på 1900-tallet medførte så store vanskeligheter at utbyggingsselskapet gikk konkurs. De samme problemstillingene ble igjen aktuelle i forbindelse med steinras i Oslofjord-, Hasle- og Hanekleivtunnelene i 2003-2006. Kan våre moderne tunneler sies å representere et menneskeskapt geofareproblem?

Jernbanetunnelen gjennom Lieråsen mellom Asker og Drammen var et annet stort problemprosjekt. Utbyggingen startet i 1962, men etter fem år var bare halve tunnelen sprengt ut. Årsaken var bl.a. soner med "dårlig" fjell hvor ras og vannlekkasjer var resultatet. For å kunne ferdigstille tunnelen ble det i dette tilfellet nødvendig å legge om traseen. Mye tid og penger kunne vært spart hvis man hadde tatt hensyn til den geologiske kartlegging av forkastninger som var gjort på forhånd. - Problemene i Romeriksporten er også godt kjent og førte alene til kostnadsoverskridelser på ca. én milliard kroner. Flere titalls planlagte tunnelprosjekter i Oslofjord-

området representerer de største investeringsprosjektene utenfor oljesektoren i Norge.

Varme vannholdige væsker knyttet til vulkansk aktivitet og dannelse av granittmassiver i Oslofeltet og andre steder i Norge har lokalt ført til leirromvandling av berggrunnen. Men for å forstå den regionale utbredelsen av svelleleire på Østlandet, Sørlandet og i Trøndelag må vi se på andre geologiske prosesser. Basert på studier av landskapet og gneisunderlaget under jura-kritt bergarter i Skåne kan en konkludere med at svakhetssonene i stor grad er dannet ved kjemisk forvitring i et subtropisk klima. Produkter fra dypforvitring i form av svelleleire og kaolin finnes også i gneisunderlaget under jura-krittbergartene på Andøya og ute på kontinentalsokkelen.

Humussyre fra råtnende planter og trær gjorde grunnvannet surt. Det "aggressive" vannet rant gjennom sprekker i det underliggende fjellet og angrep mineraler som langsomt ble brutt ned til leirmineraler. Forvitringen foregikk langs hele overflaten gjennom millioner av år. I åpne sprekkesoner gikk den langt ned i berggrunnen (dypforvitring). Senere, da havet steg med 300-400 meter og trengte inn over fastlandet i øvre kritt, ble bergartene begravd av leirsteiner og kritt av samme type som vi finner i Nordsjøen. Hevingen av Østlandet begynte først i begynnelsen av neogen for 10-20 millioner år siden. Under istidene fjernet de store breene de ukonsoliderte, sedimentære bergartene som hadde beskyttet forvittringsproduktene. Samtidig skrapte de vekk den øverste forvittringssonen, men nådde ikke ned i de dype sprekkesonene hvor forvittringsprodukter kan være bevart ned til mer enn 200 meters dyp i de mest markante sonene. De ulike trinnene i den geologiske utviklingen er vist skjematisk i figuren om forvitret grunnfjell i kapittel 12.

(A). Typisk tropisk dypforvittrings-profil med inndeling i seks forskjellige soner (etter Ian Acworth). De øverste og nederste lagene er av en grovkornet grusig eller sandig type, mens de to midterste lagene er mer leirholdige. Mektighet på dypforvitringen er vanligvis opptil 100 meter, men i oppsprukket fjell kan det være betydelig dypere, dvs. opptil 200-300 meter. Bilde B og C viser eksempler på dypforvitring i de to nederste sonene. (B). Rester av dypforvitring i regional svakhetsone i Djupdal ved Larvik. Den forholdsvis grovkornete dypforvitringen av larvikitt er brukt som grus på skogsveiene i området. Reststeiner av uforvitret larvikitt ligger igjen som såkalte "corestones". Disse er typiske trekk ved dypforvittringsprofil i dagens tropiske strøk. Tallene i hvitt viser at magnetiserbarheten (susceptibiliteten) er redusert i dypforvitringen i forhold til den "friske" larvikitten. (C). Begynnende dypforvitring langs sprekkesoner i larvikitt ved Thorsås i Siljan. Tallverdiene viser at magnetisk susceptibilitet er lavere i dypforvitringen enn i larvikitten. (Foto: O. Olesen)

## NY METODE FOR KARTLEGGING AV DYPFORVITRING

Jordens magnetfelt inducerer en sekundær magnetisering i berggrunnen som igjen vil gi et bidrag til det målte jordfeltet. Når bergartsdannende silikat-mineraler brytes ned til leirmineraler som smektitt og kaolin under tropiske forhold eller som følge av hydrotermal omvandling, vil magnetiske mineraler som magnetitt omdannes til mindre magnetiske jernoksider og -hydroksider (rust). Det er denne prosessen som gir den karakteristiske røde fargen i tropisk jordsmønn. Dypforvitring vil derfor gi et negativt avvik i det målte magnetfeltet. En filtreringsmetode er utviklet for å framheve signalet fra dypforvitringen.

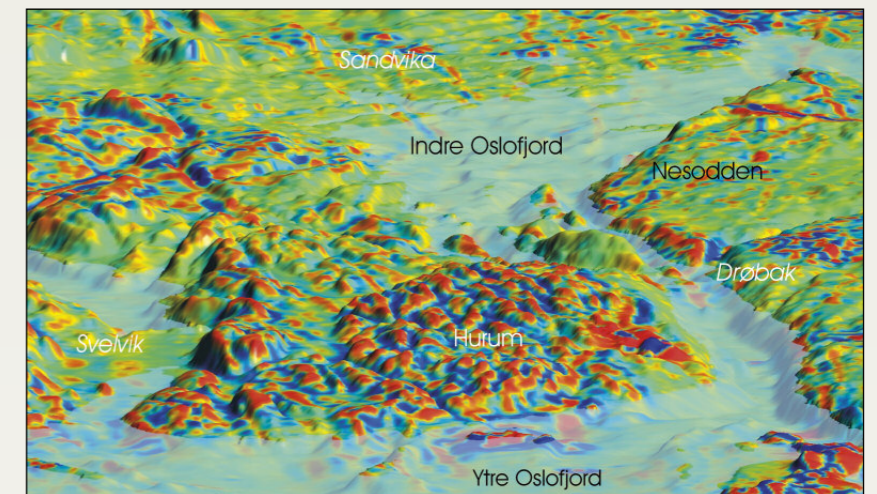
Sammenfallende forsenkninger (negative anomalier) i det filtrerte magnetfeltet og filtrerte terrengdata kan brukes som indikasjoner på dypforvitring. Avhengig av signal/støy-forholdet blir dypforvitringen klassifisert som 'sannsynlig' eller 'mulig'. Metoden har en fordel ved at den også fungerer under havbunnen dersom vanddyptet ikke overstiger 50-100 meter.

Denne såkalte AMAGER-metoden (Aeromagnetiske og geomorfologiske relasjoner) ser ut til å fungere for de fleste størkningsbergarter og omdannede bergarter på det sentrale Østlandet. Anvendelsen i lavmagnetiske avsetningsbergarter ser ut til å være mer begrenset.

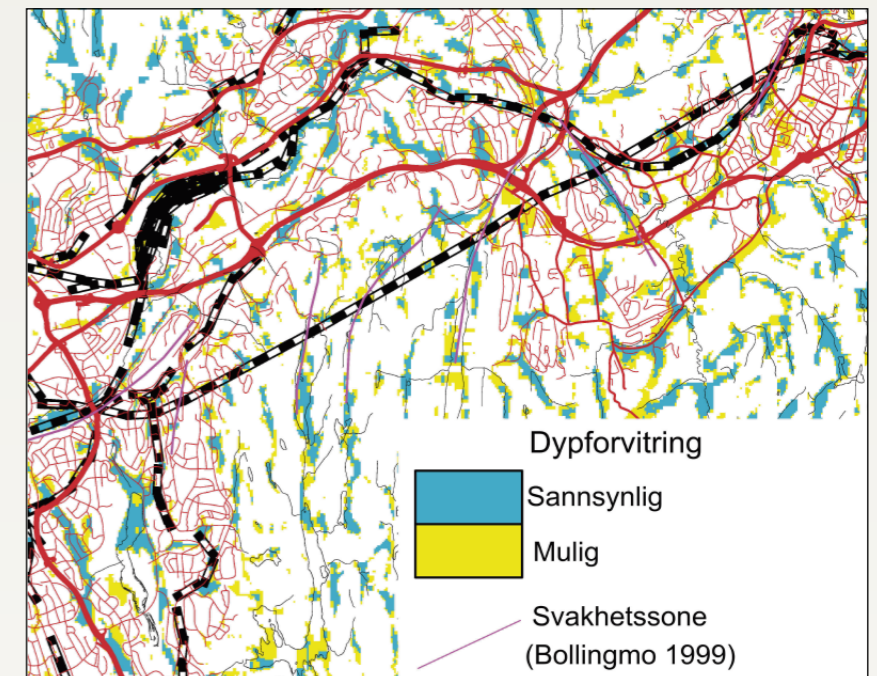
De gode resultatene med metoden skyldes en kombinasjon av flymagnetiske målinger med høy oppløsning og detaljerte, digitale høydedata. Denne nyutviklingen gjør metoden robust for kartlegging av erodert dypforvitring på det sentrale Østlandet, langs kysten av Sørlandet og i Trøndelag. I ytre deler av strandflaten på Vestlandet og i Nord-Norge vil metoden også kunne brukes.

Når dypforvitringen avtar med dypet vil også stabilitetsproblemene i tunneler avta med økende overdekning. Dette er viktig kunnskap ved planlegging av nye tunneler. Svelleleire og kaolin i dypforvitring tetter vanligvis berget for gjennomstrømning av grunnvann i de dagnære deler av fjellet (øverste 50-200 m). Vannlekkasjene kan derfor øke med dypet. Dette er også kjent fra tunnelanleggene på Østlandet. Der har en også erfaring med at de største vannlekkasjene gjerne kommer gjennom oppsprukket fjell ved siden av eller mellom de store svakhetssonene. Dette er kunnskap som også kan nyttiggjøres ved boring etter grunnvann.

Figuren til høyre viser tilfredsstillende sammenfall mellom observerte soner med dårlig berggrunns kvalitet i tunneler og påvisning av dypforvitring med den nye metoden. Metoden er testet i både Romeriksporten, Lieråsen- og Hvaler-tunnelene. Mer enn 90 % av de kjente svakhetssonene i disse fire tunnelene ble påvist.



Perspektivkart over Oslofjorden og Hurumlandet. Det filtrerte magnetfeltet er drapert over en digital terrengmodell. Røde og blå farger viser henholdsvis høye og lave magnetiske verdier. Depresjoner i terrenget er ofte sammenfallende med lave magnetiske verdier. (Illustrasjon: NGU)



Tolkning av dypforvitring i området Østmarka-Groruddalen. Romeriksporten er vist sammen med svakhetssoner med dårlig fjell tolket av Per Bollingmo. Svakhetssoner med dårlig fjell i tunnelen er i god overensstemmelse med de påviste dypforvittringssonene. (Modifisert etter P. Bollingbo)

# Forvaltning av miljø og ressurser i fremtiden

Vi er storforbrukere av naturens ressurser, både de fornybare og de ikke-fornybare, og de globale forbrukstrendene peker oppover. Forbruk belaster også ofte miljøet. Balansert forvaltning av miljø og ressurser vil være en viktig utfordring for samfunnet generelt og fagmiljøene spesielt.

Moderne mennesker er storforbrukere av energi og alle slags mineralressurser. For eksempel bruker hver enkelt innbygger i Norge ca. ti tonn mineraler og stein hvert år. I verdenssammenheng forbruker Vest-Europas og Nord-Amerikas befolkninger mange ganger mer av de fleste mineralske ressurser enn befolkningene i Afrika og Asia, men forskjellene vil trolig minske i takt med den økonomiske veksten i utviklingslandene. Globalt sett er befolkningsvekst og økt levestandard i ferd med å legge et stadig større press på jordas samlede ressurser. Mange av dem er såkalte ikke-fornybare. Siden Norge ikke er isolert fra resten av verden, må spørsmål om hvordan vi forvalter vårt miljø og våre naturressurser, stå i sammenheng med globale rammebetingelser og utviklingstrender.

## Ikke-fornybare ressurser

*Ikke-fornybare ressurser* omfatter blant annet olje, gass og kull, metaller (malmer) av ulike slag, industri-mineraler og byggeråstoffer (sand, grus og pukk, samt diverse steinsorter). Mange av disse råstoffene finnes i rikelig mengde, men ikke alltid der hvor de trengs mest eller er mest økonomisk å utvinne. Andre ressurser står i fare for å bli manglervare. Men forskning, forbedret utvinnings-teknologi, gjenvinning og andre tiltak bidrar til å øke ressursene, og forskyver dermed stadig tidspunktet for eventuell ressursknapphet. Samtidig er det en økende motstand i befolkningen mot å få gruver, steinbrudd eller større industrianlegg plas-

sert i nærheten av bolig- eller fritidsområder. Selv om ressursene finnes, kan derfor utvinningen av dem representere viktige og vanskelige konflikt-områder.

I Norge har tendensen lenge vært at de gamle og tradisjonsrike malmgruvene etter hvert har blitt nedlagt. Til gjengjeld har det oppstått en stor og virksom mineral- og steinindustri (se også kart bak i boka). Dette er en utviklingstendens som med stor sannsynlighet vil fortsette. Norge stiller sterkt som et metall-, stein- og mineralrikt land, med mange muligheter for fremtiden. Senere års økende metallpriser har ført til gjenåpning av enkelte malmgruver og fornyet fokus på malmleting.

Norge er også en meget stor produsent og eksportør av olje og gass. Spørsmål rundt hvor lenge disse ressursene kommer til å vare, omfattes naturlig nok med stor interesse. Men også her gjelder det at investering i forskning og teknologi kan øke ressursene betydelig og forlenge "olje-eventyret". Ressurser er med andre ord ikke en konstant, men en variabel størrelse avhengig av teknologisk utvikling, økonomisk innsats og politikk.

En ytterligere forlengelse av oljevirkomheten i tid vil kunne skje dersom nordområdenes olje- og gasspotensial slår til. De siste års funn i Barentshavet og den nylig inngåtte avtalen med Russland (i 2011) om delelinjen i tidligere omstridt område i

Barentshavet, er viktige elementer i denne sammenhengen. Vi ser i dag begynnelsen til et oljekappløp mot Polhavet, som kan være isfritt i løpet av dette århundret. Internasjonalt regner en med at en fjerdedel av verdens uoppdagede olje- og gassressurser befinner seg nettopp her i Arktis. Det aller meste av disse ressursene ligger på land og på de grunne sokkel-områdene innenfor 200-milsgrensene til de fem kyststatene rundt Polhavet. I følge Havretts-traktaten kan en kyststat kreve å sette grensen for sin kontinentalsokkel ved ytterkanten av kontinentalmarginen, selv om denne går lenger ut enn 200 nautiske mil. Dette er tilfelle for alle de fem kyststatene i Arktis. Svalbard ligger på den norske kontinentalsokkel, og som kyststat til Polhavet har Norge derfor fremmet arealkrav som omfatter et mindre havområde utenfor 200 nautiske mil nord for Svalbard. Norges krav er godkjent av FN som et ledd i Havrettstraktaten. De øvrige fire cirkumpolare stater arbeider med å fremme sine krav, som til sammen vil dekke store deler av Polhavet. Alternativt krever miljøbevegelsene at Polhavet fredes for all petroleumsvirkomhet.

## Fornybare ressurser

Ferskvann er et eksempel på en *fornybar ressurs*, og den viktigste av alle. I mange land er forbruket større enn tilførselen. Sikring og forvaltning av rent drikkevann for fremtidens generasjoner blir en viktig oppgave, kanskje ikke like kritisk for nedbørsrike Norge, men en stor utfordring globalt. Rent drikkevann kan bli en betydelig norsk eksportartikkel, en viktig fremtidsindustri.

Knapphet i ressurser, enten det gjelder olje, gass eller vann, vil kunne føre til konflikter og krig mellom nasjonene, slik det også har gjort i fortiden. Her ligger en betydelig utfordring i årene som kommer.

Baksiden av forbruksmedaljen er at forbruk og økt levestandard medfører mer avfall og miljøproblemer. Fremtidens samfunn forutsetter at ressurser og miljø forvaltes balansert, både regionalt og globalt. Effektiv lagring og deponering av sivilisasjonens avfallsprodukter, slik som kjemisk og radioaktivt avfall, er derfor en nødvendighet. Himdalen i Akershus (lavaktivt avfall, dvs. avfall med nokså lav radioaktivitet) og Langøya i Oslofjorden (industriavfall) er eksempler på deponier valgt ut på grunnlag av geologiske og klimarelaterte kriterier. Skal kom-



mende generasjoner unngå å drukne i industrielt og privatprodusert avfall, må samfunnet prioritere arbeidet med å finne fram til trygge lagringslokaliteter og fjerningsmetoder.

Geologisk kunnskap blir et viktig og sentralt verktøy fremover, ikke bare når det gjelder geofarer og klima, men også innenfor områder som ressurs- og miljøforvaltning og by- og regionalplanlegging. *Geologi for samfunnet* er satt som motto for Norges geologiske undersøkelse, en institusjon som i sin virksomhet sikter på å bidra med underlagsdata overfor forvaltningsorganer, kommunale og statlige etater.

LANGØYA I OSLOFJORDEN. Benyttet som kalkbrudd allerede på 1700-tallet. Leverte kalk til Slemmestad sementfabrikk i 87 år fram til 1989. I dag er Langøya omgjort til et moderne behandlingsanlegg og deponi for industriavfall. Avfallet omgjøres til gips, som gradvis vil fylle igjen den uthulte øya. Det er beregnet at anlegget skal kunne motta industriavfall i ca. 10 år til, før området dekkes til med jord og beplantning. – Samfunnets behov for trygge avfallsdeponier vil øke i fremtiden. Langøya har også gjennom mange år vært et eldorado for fossiljegere. (Foto: NOAH).

## METALLRESSURSER – RIKELIGHET ELLER KNAPPHEIT Av Arne Bjørlykke

Markedet for de fleste mineralressursene er på grunn av en effektiv transport globalt alltid sterkt etterspurt i perioder med sterk vekst. Med unntak av enkelte sjeldne jordartselementer hvor Kina har over 90% av produksjonen, fungerer det globale metall- og mineralmarkedet bra. Rikelighet og knapphet er derfor i stor grad et spørsmål om pris. Langvarig høyere pris vil åpne opp for nye områder med ressurser og ny teknologi, men fortsatt vil gruvedrift knyttet til tradisjonelle forekomsttyper være viktigst for metallproduksjonen. Til tross for en lav økonomisk vekst i Europa og USA, har den globale veksten de siste 10 årene vært høy anført av Kina og India. Prisstigningen har i denne perioden vært stor for nesten alle mineralressursene, og også for tradisjonelt viktige metaller som kobber og jern, som har to- til tredoblet seg i pris.

På begynnelsen av 1960-tallet hadde vi også en langvarig periode med sterk økonomisk vekst og stor etterspørsel av metaller og amerikanske storkonserner som Lockheed begynte å lete etter manganknoller ("mangannoduler") på bunnen av dyphavene, og troen var stor på at fremtidens metallressurser lå i disse knollene. Mangannodulene er hydroksider med Cu, Ni og Co adsorbent til hydroksidene. Hovedproblemet for en økonomisk utnyttelse er at de vanligvis opptrer på 5000 meters havdyp og at nodulene må plukkes opp på havbunnen, knuses og pumpes opp til et produksjonsskip. Det har i flere år i Norge vært interesse for å utvikle marin teknologi for drift på mangannoduler og vår kompetanse på sjøbunnsoperasjoner innen oljeproduksjonen, gjør at dette kan bli et område for norsk maritim kompetanse.

De hydrotermale løsningene tilsvarende de som i sin tid avsatte kismalmene i Norge, opptrer i dag på spredningsrygger og vulkanske øybuer i Atlanterhavet og Stillehavet. Det har vært en økende interesse for å ta opp sulfider fra "black smokers" (se kapitlene 6 og 14) hvor aktiv sulfidproduksjon foregår. Dette kan komme i konflikt med behovet for å beskytte de rike og spesielle biotopene som "black smokers" representerer. Er det andre måter å produsere metaller fra hydrotermale løsninger? Kan vi for eksempel bore ned i konveksjonssystemet under havbunnen og produsere superkritisk vann med mye energi og metaller? Forsøk foregår på Island og det blir spennende å se om dette er mulig. Vår kompetanse innen offshore boring bør gjøre dette til et interessant forskningsfelt. Bør vi starte på Jan Mayen?

Det er også en økende interesse for svartskifer hvor metallinnholdet er lavere enn i tradisjonelle forekomster, men hvor volumene er store. De inneholder ofte mange forskjellige metaller og de er kostbare å prosessere. I Norge mangler vi en systematisk oversikt over metallinnholdet i svartskifer og andre bergarter med forhøyet metallinnhold.



Gjenvinning av metaller vil også spille en økende rolle i metallmarkedet, spesielt innen aluminium hvor resirkuleringen allerede har kommet langt. Resirkulering av metaller fra for eksempel elektronisk industri er mer utfordrende og mulighetene for bedre teknologiske løsninger er her store.



Manganknoller, hentet opp fra sjøbunnen på dyphavet. Det lille bildet viser hvorledes knollene opptrer på sjøbunnen. Manganknoller er mest vanlig i Stillehavet, men finnes også i norske farvann, Atlanterhavet, Barentshavet og sannsynligvis også på store dyp i Polhavet. (Foto: ISA – International Seabed Authority).

Hva er rikelighet og hva er knapphet? For en stor del dreier det seg om hvor mye vi er villige til å betale for et kilo kobber. Høye kobberpriser vil føre til teknologiutvikling og utnyttelse av nye ressurser og at kobber blir erstattet av andre metaller. Landområdene vil fortsatt være det viktigste området for mineralressurser i verden i flere tiår, men de store reservene ligger i havet.

Den internasjonale Havrettstraktaten ("The Law of the Sea") ble vedtatt i 1994. Traktaten er interessant fordi den omfatter nærmere halvparten av jordoverflaten og fordi forvaltningen av dyp-havsområdene og mangannodulene ble delegert til FN-organisasjonen Den internasjonale havbunnsmyndigheten ("The International Seabed Authority").

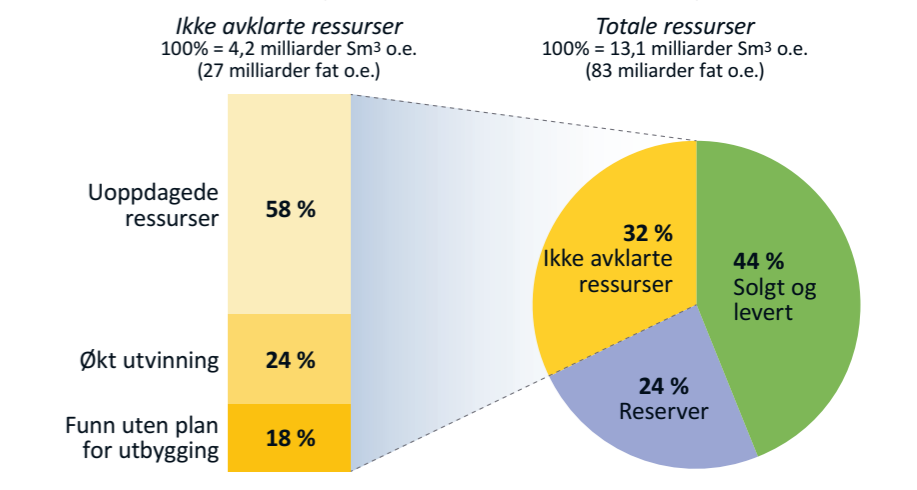
## Olje og gass – Norges viktigste ressurs

Energiproduksjon har vært en viktig forutsetning for utviklingen fram mot det moderne industrisamfunnet. For Norge har olje og gass vært en ledende økonomisk kraft siden tidlig i 1970-åra. Norsk olje- og gassvirksomhet har i de seinere år utgjort i gjennomsnitt ca. 1/4 av landets verdiskaping (BNP), 1/3 av Statens totale inntekter og 1/2 av den samlede eksportverdi. Petroleumsvirksomheten på norsk sokkel genererer arbeidsplasser over hele landet. Næringen sysselsetter i dag ca. 45 000 personer, men over 200 000 arbeidsplasser kan direkte eller indirekte knyttes til etterspørselen fra aktivitetene på sokkelen. Statens inntekter fra oljevirksomheten utgjorde i 2011 ca. 280 mrd kroner. I tillegg omsetter de ca. 2000 leverandørbedriftene for ca. 240 mrd kroner pr år. Denne enorme verdiskapningen har i en årrekke overrasket landet og gitt oss både velferd og kunnskap, som med fornuftig og langsiktig forvaltning vil kunne skape verdier for landet i lang tid fremover.

Olje og gass er *ikke-fornybare* ressurser, og spørsmålet mange har stilt seg er derfor hvor lenge "oljefesten" kan vare. Den total petroleumsproduksjonen passerte toppen i 2004 med produksjon på 263,6 mill. sm<sup>3</sup> oe. og har siden vist en fallende trend frem til og med 2011. Oljeproduksjonen lå i 2011 på ca. 1,7 millioner fat pr. dag, et nivå som forventes å falle de nærmeste årene for så å øke igjen det neste tiåret. Gassproduksjonen samme år utgjorde ca. 101 milliarder m<sup>3</sup>, og forventes å øke noe de nærmeste årene. På lengre sikt vil nye funn og produksjonen av olje og gass være resultatet av en rekke innsatsfaktorer, slik som markedskrefter (pris), politisk vilje, satsing på relevant forskning og utvikling, teknologi for økt utvinning av reservoarene, konsesjonspolitikk og åpning av nye områder på sokkelen. Like viktig vil det være at industrien finner frem til gode og rimelige lagringsmetoder for CO<sub>2</sub> samt miljømessig sikrest mulige driftsmetoder.

Alt i alt representerer den norske kontinentalsokkel i dag en moden oljeprovins med fortsatt muligheter for nye funn, både i syd og kanskje særlig i nord. Figuren øverst til høyre viser at av de antatt totale petroleumsressursene (olje, gass, kondensat og LNG) på ca. 13,1 milliarder kubikkmeter oljeequivalenter er det til nå produsert ca. 44 %, mens det fortsatt ligger igjen ca. 56 % påviste og hittil upåviste ressurser. Anslagene omfatter ikke anslag for tidligere omstridt område i Barentshavet eller havområ-

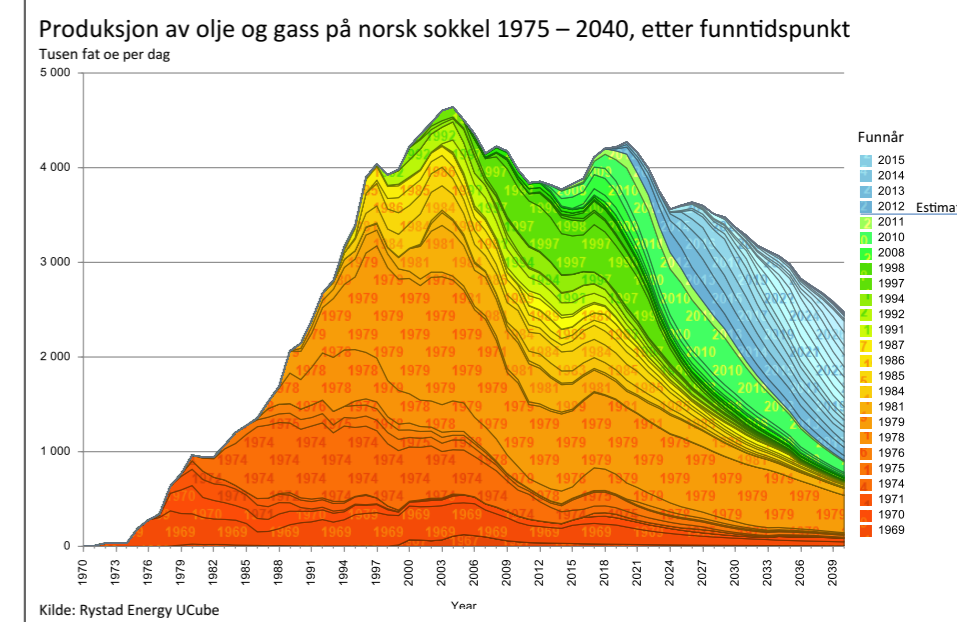
## Petroleumsressurser på norsk kontinentalsokkel pr 31.12.2011



dene rundt Jan Mayen. Ressursanslagene vil med stor sannsynlighet endres i takt med forbedret teknologi, nye leteområder og totalt sett øket kunnskap om kontinentalsokkelen. Betydelige funn i 2010-2012 i Nordsjøen (Johan Sverdrup, Edvard Grieg og flere) og i Barentshavet (Johan Castberg, Norvarg), pluss en rekke mindre funn, bekrefter at med politisk vilje og fornuftige incitamenter har det vært mulig å snu den negative trenden. Figuren nederst på siden demonstrerer med all tydelighet hvorledes trenden er snudd, fra en énpuklet til en topuklet produksjonskurve. Det viser også at den fallende kurve i begynnelsen av dette århundre var et resultat av redusert innsats, ikke av manglende olje- og gassressurser på sokkelen. Norge kan fortsatt være en ledende europeisk olje- og gassnasjon langt inn i dette århundre, dersom det er det som er nasjonens ønsker.

OVER: Anslatte olje- og gassressurser på norsk kontinentalsokkel, ved utgangen av 2011. (Kilde: Oljedirektoratet)

UNDER: Kurve som viser samlet olje- og gassproduksjon fra 1975 og fram til og med 2011, samt prognose for videre produksjon fram til 2040. Figuren viser også årlig tilvekst basert på funntidspunkt. (Kilde: Rystad Energy)





## FREMTIDENS INDUSTRIMINERALER OG METALLER Av Are Korneliussen

Menneskehetens utvikling reflekterer vår evne til å nyttiggjøre oss mineraler og metaller. Begreper som steinalder, bronsealder og jernalder henspiller på perioder i menneskets historie da vi var i stand til å lage redskaper av henholdsvis stein, bronse (kopper-tinn-legering) og jern. Og da den industrielle utviklingen skjøt fart på 1700-tallet, var det bl.a. fordi menneskene var blitt i stand til å bruke kull til drift av dampmaskiner. Dette la grunnlaget for en enorm industriell utvikling fram mot dagens samfunn.

I takt med utviklingen av industrisamfunnet har vi hatt en markant økning i forbruket av metaller, industrimineraler, byggeråstoffer og forskjellige typer av plastbaserte produkter laget av olje og gass. God tilgang på energiressurser som kull, mineralolje og naturgass har vært en forutsetning for denne utviklingen.

I tidligere tider var mennesket bare i stand til å nyttiggjøre seg noen få forekomsttyper med høy naturlig konsentrasjon av visse metaller. I fremtiden vil vi derimot på grunn av høy teknologisk utvikling ha nærmest ubegrensede muligheter til å nyttiggjøre oss mineralske komponenter i jordskorpen. I en slik situasjon vil mineralressursene være tilnærmet uuttømmelige. Begrensningene vil i stor grad ligge i tilgangen på energi, samt at de negative konsekvensene for natur og miljø kan bli uakseptable. Det er imidlertid fullt mulig å begrense ulempene ved å la en økologisk helhetstenkning gjennomsyre samfunnsstrukturen og tilstrebe en stor grad av gjenvinning i bruken av materialene.

Denne typen tenkning inngår i begrepet "bærekraftig forvaltning av mineralressurser", hvor en tilstreber en optimal løsning som tilgodeser dagens mennesker så vel som interessene til fremtidige generasjoner. I denne sammenheng settes også søkelyset på mineralers livsløpsyklus, som illustrert i figuren. I et slikt perspektiv kan vi forvente at fremtidens samfunn vil prioritere bruk av mineraler og metaller som kan utvinnes og brukes med minimale skadevirkninger for natur og miljø. I dette ligger også at en foretrekker lette og sterke materialer (kompositter) basert på olje og gass, lettmetaller og mineraler som muliggjør redusert energiforbruk i produksjon så vel som i bruk, og produkter som kan resirkuleres. Og, i takt med den teknologiske utviklingen, utvikles hele tiden nye mineral- og metallbaserte produkter som finner anvendelse i et stadig mer komplekst samfunn.

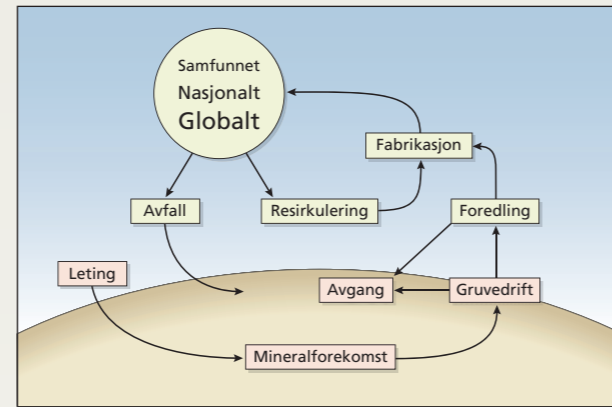
Nanoteknologi er et nytt fagområde som utvilsomt vil sette sitt preg på fremtidens samfunn. Det opereres på atom- og molekylnivå. Nanomineraler er ørsmå krystaller med reaktive overflater som gjør det mulig å produsere materialer med helt nye egenskaper. I dette ligger store anvendelsesmuligheter innen IKT, anvendt mineralogi, medisin, ernæring og miljø.

De viktigste metallene i dagens industrielle samfunn er jern, gull, aluminium, bly, kobber, nikkel og sink. Viktige industrimineraler som produseres i Norge, er karbonater, kvarts, titanmineralet ilmenitt, olivin, talk, feltspat og nefelinsyenitt.

Titan (Ti) anses som et fremtidens metall; det er vesentlig sterkere enn stål i forhold til vekten, det tåler svært høye så vel som lave temperaturer og er ekstremt korrosjonsbestandig. Ikke minst viktig er det at det er ingen kjente skadevirkninger knyttet til bruken av titan verken for natur og miljø eller menneskers helse. Dagens anvendelse av titan er hovedsakelig som titanoksid-pigment i maling, plast og papir, mens bruken av titanmetall er foreløpig relativt beskjeden på grunn av høy pris. For fremtidens samfunn vil det være nødvendig å utvikle nye og rimeligere produksjonsmetoder for titanmetall. Norge har betydelige mineralressurser av titan.

Silisium (Si) er et annet fremtidens metall; ved siden av oksygen (O) er silisium det mest utbredte grunnstoffet i jordskorpen. Sammen danner de industrimineralet kvarts (SiO<sub>2</sub>). Kvarts er et av hovedråstoffene i fremstillingen av forskjellige typer glass, kunstige mineraler, keramikk og porselen, silisiummetall og ferrosilisium. Silisiummetall benyttes i solceller og i mikrobrikker for elektronisk utstyr.

Vi kan i dag ane konturene av neste generasjons samfunn når det gjelder bruk av mineraler og metaller – eller vi tror vi gjør det – mens samfunnet flere generasjoner fremover er helt ukjent og kan utvikle seg i retninger som en ikke kan forutse i dag. Men forekomster av industrimineraler og metaller vil uansett spille en viktig rolle så lenge menneskeheten består som en høyt utviklet sivilisasjon og har rikelig tilgang på energi.



Illustrasjon av syklusen mineralske råstoffer går inn i, fra påvisning til utvinning, via foredling og fabrikasjon og bruk i samfunnet, til de til slutt går tilbake til naturen som avfall

## GEOLOGI FOR FREMTIDENS SAMFUNN Av Arne Bjørlykke

Da olje- og gassletingen startet på 50-tallet i Nederland, så var kunnskapen i Norge om sokkelområdene i Nordsjøen liten. Bare én geolog arbeidet med sedimenter i fjordene og sokkelområdene og ingen geofysiske målinger ble utført. Den norske regjeringen, departementene og forskningsmiljøene var ikke særlig nysgjerrige på sokkelområdene, og amerikanerne var derfor først ute med geofysiske undersøkelser på sokkelen. I dag kaller vi det norsk kontinentalsokkel, men vi skal huske at konseptet om kyststatenes eiendomsrett over kontinentalsokkelen først ble etablert i Geneve i 1958. Det var ikke rart at alle spørsmål relatert til sokkelen lå under Utenriksdepartementet.

Hva kan vi lære av femtitallet? Det viktigste er at grunnleggende kartlegging er nødvendig både av hensyn til vitenskap, politikk og naturvern og at vi trenger organisasjoner med styrke og faglig bredde som kan lede kunnskapsoppbyggingen videre. Våre fagmiljøer er små og marginale, dokumentert gjennom Geofagevalueringen (2011), der de sju institusjonene som tilbyr doktorgrad ble evaluert. Evalueringen viste at det er vanskelig å utvikle god faglig kvalitet og bredde på hele sju steder. Framover må man sikre rekruttering til studiet og rekruttering fra norske universiteter til norske forskningsmiljøer.

Norge har i lang tid opprettet nye organisasjoner hver gang det oppstår nye behov i stedet for å utvikle eksisterende organisasjoner. Hvis organiseringen hadde vært slik den er i USA, ville NGU, Kartverket, Oljedirektoratet, NORSAR, Artsdatabanken, NVE, NPI, NGI, Institutt for landskap alle, helt eller delvis, vært en del av en felles organisasjon. Norge har nå fått sin naturmangfoldslov, som er utrolig krevende og som krever utbredt samarbeid mellom institusjoner. Burde vi hatt Norges naturmangfoldsundersøkelse?

Samarbeidet mellom Havforskningsinstituttet, Sjøkartverket og NGU hadde en meget trang fødsel, mange synes at en systematisk kartlegging av havbunnen på sokkelen var en sløsing med penger. Men kartleggingen ble en suksess. Nye forekomster av kaldtvannskoraller ble funnet og sammenhengen mellom sedimenteringsmiljøer og biotoper ble dokumentert. Kartleggingen gir også økt kunnskap om hvor omfattende naturlige olje- og gasslekkasjer er på havbunnen. Nye organismer får stadig teknologiske anvendelser og blir kommersialiserte.

Det er positivt at regjeringen er villig til å satse på på nordområdene, men Norges krav på de store områdene rundt Svalbard setter krav til at vi også har den nødvendige geologiske kunnskap. IODP-boringene på Lomosovryggen viser hvor enormt viktig det er å fortsatt utforske den arktiske naturen. Boringene ga helt ny informasjon om klimautviklingen i Arktis og samspillet mellom klimagassene og biotopene i det arktiske bassenget. Norge burde være en mye mer sentral aktør i utforskningen av Arktis og delta mye mer aktivt i IODP.

Naturressurser som olje, gass og mineraler vil være viktig for Norge også de neste 50 årene. Det er få andre næringer som kan tenke så langsigtig. På 60-tallet var det få som hadde tro på norsk forskning og industriutvikling basert på olje og ville selge alle lisensene til de internasjonale oljeselskapene. De tok feil og norske forskningsmiljøer er i dag også internasjonalt konkurransedyktige innen geofag og letemetoder. Konkurransen mellom fagmiljøene vil bare bli større og satsingen på egenprodusert forskning i Norge blir stadig viktigere.

Geovitenskapene er nå inne i en ny tidsalder. Før var kontinentaldrift en teori, men nå kan vi måle bevegelsene fra måned til måned. Landhevninger kan også måles og prosessene bak hevingen kan modelleres. Vi går mot et varmere klima med mer regn og kraftige regnskyld. Hvordan kan overflatededimentene og vegetasjonen ta opp regn og redusere flomtoppene og hvordan benytter vi denne kunnskapen i sårbarhetsanalyser? Hvor hurtig klarer organismene å tilpasse seg forandringer i klimaet? Skal vi klare de utfordringene vi står overfor kan vi ikke lengre være bare geologer, biologer og kjemikere, men vi må tilbake til naturvitenskapen og igjen bli naturforskere.



Innsamling av geologiske felldata kan i dag gjøres effektivt ved hjelp av de siste nyvinninger innenfor IKT (informasjon og kommunikasjonsteknologi). Håndholdt PC med innebygget GPS og smarttelefon kan anskaffes til en overkommelig pris. Disse hjelpemidlene vil i fremtiden kunne benyttes til å innhente informasjon om bestemte lokaliteter fra nett-baserte geografiske informasjons-systemer. For eksempel: Hvilken bergart står jeg på nå, og hvordan ble den dannet? Er det registrert gullforekomster? Hvor mye grunnvann kan jeg forvente hvis jeg borer her? Er grunnen forurenset, eller forekommer det naturlig høye konsentrasjoner av arsen eller uran? Er det registrert dypforvitring? Hva blir effekten av en energibrønn (jordvarmebrønn) på eiendommen? Er det kvikkleire i grunnen, eller er eiendommen utsatt for steinras eller tsunamier? Samfunnets behov for geologisk kunnskap vil fortsette å vokse. (Foto: K. Rangnes)

# Fremtidsklima i et geologisk perspektiv

Klimaet har stadig forandret seg gjennom jordas historie. Varierte lagpakker av sedimentære bergarter eller løse sedimenter, samt de store polare iskjold, gir mange vitnesbyrd om det. I dag kan vi med stor sannsynlighet fastslå at også menneskene bidrar til endringer i klimaet på jorda – menneskeskapte endringer som kommer i tillegg til de naturlige. Bruket av fossilt brennstoff (kull, olje, gass) øker atmosfærens innhold av drivhusgasser slik at vi får en forsterket drivhuseffekt og sannsynligvis et vesentlig varmere klima enn i dag.

Hva er det som skiller de menneskeskapte klimaendringene fra de naturlige? Og hvordan vil fremtidens klimaendringer skille seg fra dem vi har hatt før? For å svare på det må vi først se på drivkreftene bak klimaendringene.

Noen klimaendringer skapes av ytre påtrykk, mens andre skapes av indre forhold. Endringer i solas strålingsintensitet er et eksempel på slike ytre klimapådrivere. Et annet eksempel er endringer i jordas bane rundt sola, noe som skaper forandringer i fordelingen av solstråling mellom vinter og sommer og mellom nordlige og sørlige halvkule. Ustabilitet i strømningsmønstrene i havet og i atmosfæren er derimot eksempler på indre faktorer. Likedan er variasjoner i atmosfærens innhold av klimagasser (heri inkludert vanndamp) en pådriver for klimaendringer.

De langsomme endringene i jordas utseende, som skyldes platetektonikk og oppbygging av fjellkjeder, er også med på å lage klimaforandringer både lokalt og globalt. Rammebetingelsene for jordas klima bestemmes av kontinentenes innbyrdes plassering, havområdenes størrelse og posisjon og landområdenes høyde over havet. Men disse forholdene endrer seg svært sakte, over millioner av år. Derfor må klimaendringer som skjer over tidsrom på 100 000 år eller kortere, skyldes andre faktorer enn disse.

## Naturgitte endringer

Den viktigste naturlige faktoren som skaper klimaendringer er de regelmessige endringene i jordas

bane rundt sola. På grunn av forandringer i planetenes posisjon i forhold til hverandre vil jordbanen bli påvirket av de andre planetene i solsystemet. Disse forandringene er den viktigste drivkraften bak istidene, og kunnskapen om baneforholdene gir oss også mulighet til å beregne fremtidens istider. Dette er nærmere forklart i en egen ramme.

Det er også kjent at klimaendringer på noen ti- og hundreårs varighet kan skyldes vulkansk aktivitet og forandringer i solaktiviteten. Kraftige vulkanutbrudd gir kalde somre i noen år fordi støvet og svovelforbindelsene som slynges opp i atmosfæren, skygger for sola. Slike endringer sammen med mer tilfeldige klimaendringer var med på å skape de skiftende varme og kalde periodene som vi har hatt i historisk tid, bl.a. kjente perioder med uår og avlingssvikt (for eksempel "den lille istiden" fra ca. 1350 til ca. 1800).

Forandringene i solstrålingen som skyldes jordbaneforholdene, er små for jorda som helhet, og klimasystemet må derfor være slik at selv små ytre endringer kan få forsterket virkning på jorda. En viktig forsterkning skjer når snø og is først begynner å legge seg. Dette gir økt nedkjøling ved at de hvite snø- og isdekte områdene reflekterer en større andel av solstrålingen tilbake til verdensrommet enn om bakken hadde vært dekket av vegetasjonen som absorberer varmen. Mer snø og is blir dannet – med ytterligere forsterkende effekt.

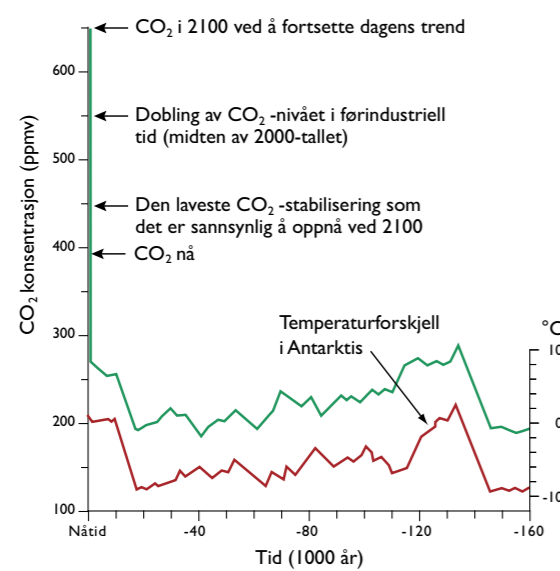


Klimaskifte på gang i Polhavet: Mindre sommeris, økt tilgjengelighet og gryende press på ressurser og miljø. Bildet viser tre isbrytere på tokt nær Nordpolen, ACEX ekspedisjonen i 2004. Vidar Viking i forgrunnen, Oden i midten og Sovjetskiy Sojus bak. (Foto: M. Jacobsson)

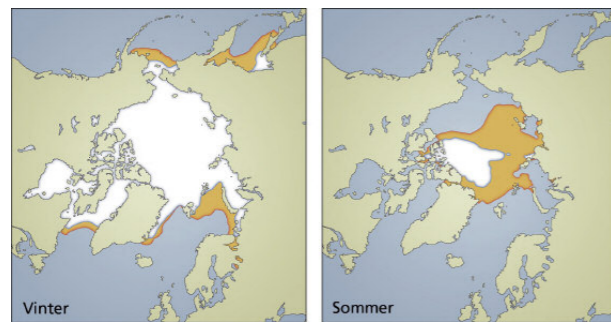


Hva bringer fremtiden?  
Speidende isbjørn. (Tegning av Fridtjof Nansen i "Blant sel og bjørn")

Fortidens og fremtidens CO<sub>2</sub>-innhold i atmosfæren. Den naturlige variasjonen er målt i luftbobler i iskjerner boret i innlandsisen i Antarktis. Grønn kurve viser CO<sub>2</sub>-utviklingen basert på målinger av iskjerner som spenner over 160 000 år og målingert i atmosfæren i de siste 55 år. Rød kurve viser endringer i temperatur i Arktis over tid i forhold til dagens temperatur. Målinger fra Antarktis har vist at nivået aldri var høyere enn 280 ppmv de siste 700 000 årene. Et gjennomsnitt av beregninger gjort med klimamodellene tyder på at en dobling av CO<sub>2</sub>-nivået vil gi en global temperaturøkning på mellom 2 og 3,5°C, og langt sterkere oppvarming i Arktis enn på jorda for øvrig.



Utbredelsen av havis i Arktis beregnet med Bergen Klimamodell ved dobling av atmosfærens CO<sub>2</sub>-nivå. Til venstre vises vinterutbredelsen. Til høyre vises den beregnede havisutbredelsen om sommeren. Hvitt område er havis ved doblet CO<sub>2</sub>-nivå, oransje (pluss hvitt) område er den simulerte isutbredelsen under dagens CO<sub>2</sub>-nivå. Som vi ser, er det særlig sommerutbredelsen som blir påvirket, og det er sannsynlig at Polhavet vil bli isfritt om sommeren ved slutten av århundret. (Bjerknessenteret/Eystein Jansen)



Isbreene som formet landet vårt, begynte å gjøre seg gjeldende for omtrent tre millioner år siden da de gjennomsnittlige klimaforholdene var blitt kalde nok til at jordbaneendringene førte til økt is- og snødekke på nordlige landområder i Eurasia og Amerika. Årsaken til denne nedkjølingen er mye diskutert. De fleste forskerne heller til at det skyldtes en kombinasjon av gradvis lavere innhold av drivhusgasser i atmosfæren, endringer i kontinentposisjonene som forandret havstrømmene (bl.a. lukking av passasjen over Panama) og fjellkjededannelse som endret luftstrømmene og flyttet lavtryksbanene. Etter dette har det vært gjentatte istider, avbrutt av kortere mellomistider i et rytmisk mønster bestemt av jordbaneforholdene.

Jordbaneforholdene kan beregnes med stor nøyaktighet også fremover i tid. Vi kan derfor med ganske stor sikkerhet si hvordan klimaforholdene ville utviklet seg dersom naturen fikk råde alene, og menneskene ikke hadde vært i stand til å påvirke klimaforholdene. Dette er vist i egen ramme.

### Menneskenes påvirkning

I de neste tusen år vil utslippene av drivhusgasser til atmosfæren, sammen med mer kortvarige endringer i solas aktivitet og vulkanutbrudd, være bestemmende for fremtidsklimaet. Dette skyldes at menneskene "kortsletter" en av de storstilte geologiske syklusene ved å utvinne og forbrenne kull, olje og gass i et langt høyere tempo enn det som er jordas naturlige kretsloop. Slik øker atmosfærens innhold av karbondioksid (CO<sub>2</sub>). Sammen med andre såkalte drivhusgasser (vann damp, metan, NO<sub>x</sub>) skaper dette økt drivhuseffekt. Endringer i drivhusgasser har vi også hatt av naturlige grunner, f.eks. under istidene, men økningen nå er større enn det vi har sett tidligere. De naturlige endringene i drivhusgasser har over de siste nesten én million år blitt målt i gassbobler som er tatt ut av is som er boret opp fra innlandsisen i Antarktis. Her ser vi at CO<sub>2</sub>-innholdet endrer seg med 30 prosent mellom istider og mellomistider, noe som tar flere tusen år. Siden industrialiseringen har vi på bare 200 år hatt en ytterligere 30 prosent økning, og vi vil allerede i vårt århundre sannsynligvis få konsentrasjoner som er minst to ganger høyere enn det vi har hatt de siste 800 000 år. Den fortsatte økningen av disse gassene vil trolig skape en betydelig oppvarming, men det er usikkert hvor mange grader temperaturen vil stige, og hvor fort det vil skje. Det er også vanskelig å beregne med nøyaktighet hvordan oppvarmingen fordeles seg på forskjellige regioner.

Hvor sterk oppvarmingen vil bli i fremtiden, er i stor grad avhengig av hvor store de menneskeskapt utslippene blir. Det avhenger igjen av politiske, økonomiske og teknologiske forhold. Sammen med dette vil endringer i vulkansk aktivitet og solaktiviteten virke inn. Men også de naturlige geologiske kretsloopene bidrar. Av den mengden karbondioksid som slippes ut, blir omtrent halvparten absorbert i naturen, slik at det bare er den resterende halvparten som blir igjen i atmosfæren og påvirker klimaet. Opptaket, eller sluket, av karbondioksid skyldes at plantemateriale og alger lagres i skog, jordsmonn og sedimenter i havet. Når karbondioksid tas opp i verdenshavene dannes en syre som nøytraliseres ved å reagere med kalkslammet i bunnsedimentene, slik at havvannet kan lagre og inneholde mer CO<sub>2</sub>.

På lengre sikt er forvitring av bergarter også en viktig prosess. Karbondioksid er en syre når den løses i vann, og kan nøytraliseres når den reagerer med

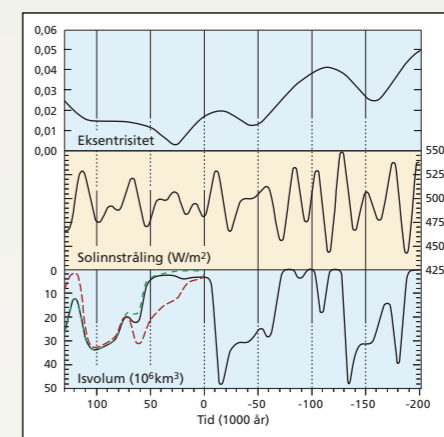
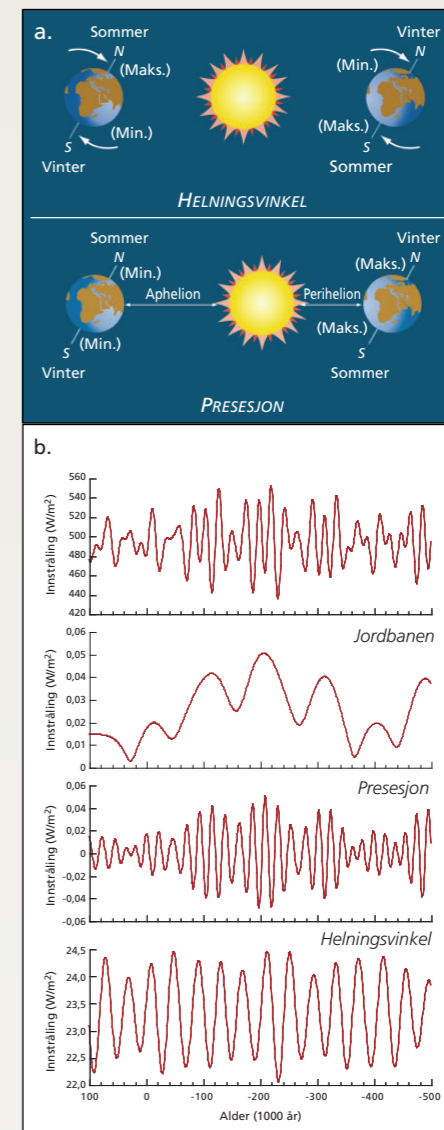
### JORDBANEFORHOLDENE

Jordas bane rundt sola er i perioder sirkelformet, men den kan også være mer langtrukket og elliptisk. Tidspunktet for når på året jorda er nærmest sola, varierer også. Når banen er elliptisk, får det betydning for hvor varme sommerne blir, avhengig av om vi er nært eller fjernt fra sola om sommeren. Jordas rotasjonsakse er skjev i forhold til jordbanens plan. Skjevheten er på ca. 23°. Dette skaper forskjellene vi har mellom vinter og sommer, og er også grunnen til at vi har midnattssol og mørketid. Skjevheten er ikke konstant, men varierer mellom 22° og 24°, noe som øker eller minsker kontrastene mellom sommer og vinter. Disse tre forholdene – jordbanens form, tidspunktet på året når vi er nærmest sola og jordaksens helningsvinkel – skaper forandringer i solinnstrålingen mellom årstidene og mellom forskjellige områder. De kan beregnes av astronomer med stor nøyaktighet, både i fortid og fremtid, og hver av dem varierer med faste perioder. Flere istidsforskere foreslo allerede på 1800-tallet at disse forholdene skapte istidene. Den serbiske klimaforskeren Milutin Milankovic beregnet i mellomkrigstiden virkningen av jordbaneforandringene på solstrålingen, og istidsteorien fikk dermed navn etter han. Nyere forskning har bekreftet Milankovic-teorien, ved at man i sedimentlag fra dyphavsområdene i verden, i borer fra innlandsisen og i kontinentale sedimentlag finner klimasignaler som har akkurat de samme periodene som jordbanefaktorene (23 000, 41 000 og ca. 100 000 år). Dette viser at tidspunktene for når istidene starter og avsluttes, og de mest markante variasjonene innenfor en enkelt istid blir bestemt av jordbaneforholdene.

Vi har ganske uvanlige forhold for jordbanen nå, og må 400 000 år tilbake i tid for å finne lignende forhold. Jordbanens form nå er omtrent sirkelformet, og vil forbli slik i flere tusen år. Den gang hadde vi en lang og ganske varm mellomistid. Data som forskerne har samlet inn fra dype borer i innlandsisen i Antarktis, viser at mellomistiden da varte i ca. 30 000 år, mens mellomistidene normalt varer i drøyt 10 000 år. Det er nå 11 000 år siden siste istid tok slutt, og vi skulle derfor normalt ha vært på vei mot en ny istid. Men fordi jordbaneforholdene er så spesielle i den mellomistidsperioden vi nå lever i, vil den naturlige klimautviklingen sannsynligvis ikke gå mot en ny istid før om 20 000 år til. Beregninger gjort med klimamodeller støtter denne antagelsen.

Vi ser av figuren til høyre at jordbanens form er omtrent sirkelformet nå (lave verdier på den øverste kurven). Dette betyr at det ikke blir store endringer i solinnstrålingen i lang tid framover. Først om 50 000 år når solinnstrålingen (midtre kurve) et markant minimum som skal til for at vi får istidsforhold. I den nederste kurven viser vi hvordan en klimamodell simulerer hvordan CO<sub>2</sub> og jordbaneforholdene har skapt fortidens istider gjennom de siste 200 000 år. Simuleringen er gjort med bruk av de observerte CO<sub>2</sub>-endringene fra luftbobler i iskjerner fra Antarktis og beregnede verdier for jordbaneforholdene, og de stemmer godt overens med geologenes observasjoner av istidene. For fremtids-simuleringene er det brukt tre forskjellige forløp av CO<sub>2</sub>-variasjonene:

1. Heltrukket svart linje: Her ser vi hvordan mengden is på jorden kan utvikle seg med nye istider som følge av forandringene i jordbanene med utgangspunkt i dagens CO<sub>2</sub>-nivå som gradvis vil avta. Først om 50 000 år kan vi forvente store istider.
2. En menneskeskapt økning til det dobbelte av innholdet før industrialiseringen med påfølgende gradvis reduksjon (grønn kurve). Her ser vi hvordan utviklingen kan bli om vi får en ytterligere økning av CO<sub>2</sub>-nivået. 3. Et scenario der CO<sub>2</sub>-nivået holdes nede på det det hadde under istidene (30 % lavere enn før industrialiseringen) (rød kurve). En slik utvikling ville gi et istidsliknende forhold om 5 000 til 10 000 år og full istid om 50 000 år.



### JORDBANEFORHOLDENE SKAPER KLIMAENDRINGER:

a) Jordas helningsvinkel (øverst) avgjør forskjellen mellom sommer og vinter. Når vinkelen minker, blir det kaldere somre, og når den øker, blir sommerne varmere. Presesjonen påvirker fordelingen av solinnstråling på jordoverflaten, og bestemmer tidspunktet på året da jorda er nærmest sola (perihelium). Inntreffer dette om sommeren, får vi sterkere solinnstråling, og varmere somre hos oss. Når høy helningsvinkel sammenfaller med at jorda er i perihelium, vil sommerne bli varme. Slutten på istidene kommer alltid under slike betingelser, mens det motsatte er tilfellet for oppstarten av istidene.

b) Variasjoner av jordbaneforholdene over tid (de siste 500 000 år og de neste 100 000 år). Øverste kurve viser hvordan solinnstrålingen ved vår breddegrad varierer som følge av jordbaneendringene i kurvene nedenfor. Jordbanen, presesjonen og helningsvinkelen varierer med sykluser på henholdsvis 100 000, 23 000 og 41 000 år.

Jordbaneforholdene de neste 130 000 år. Figuren viser beregnede verdier for formen på jordas bane rundt sola (øverst), beregnet sommer-solinnstråling ved 65 grader nord (midten), og simulering av hvordan volumet av jordas isdekker vil variere som følge av jordbaneendringene og endringer i atmosfærens innhold av CO<sub>2</sub> (nederst). Alle data går 200 000 år tilbake i tiden (negativ alder) og 130 000 år inn i fremtiden (positiv alder). (Modifisert fra Berger og Loutre, 2002)

berggrunnens mineraler. Slik sett er det geologiske prosesser som på lang sikt løser det klimaproblemet menneskene skaper, og bringer innholdet av drivhusgass i luften ned på et nivå tilsvarende det vi har i dag. De naturlige slukene er tregere prosesser enn utslippene. Det vil derfor ta flere tusen år å nøytralisere karbondioksidoverskuddet, og det vil aldri nå helt ned til utgangspunktet. Hva vi gjør nå, påvirker derfor klimaet i lang tid fremover. Vi går dermed inn i en situasjon som er unik også i et geologisk perspektiv. Vi har allerede i dag klimagassinnhold i atmosfæren som er høyere enn det har vært på mange millioner år. Vi vet i dag at tidligere faser i jordas historie da drivhusgassinnholdet var høyt, også var varme, f.eks i karbontiden og kritt.

Spørsmålet er om menneskenes utslipp av klimagasser vil føre til så store klimaendringer at vi skaper en tilstand som på lang sikt gjør det umulig å komme tilbake til de klimaforholdene som råer i dag. Det er tenkelig at klimasystemet kan komme til å stille seg inn på en ny måte som gjør nye istider til en umulighet. Dette er blant de alternativene som diskuteres blant klimaforskerne, men her er det stor usikkerhet. En annen viktig debatt i årene fremover vil sannsynligvis dreie seg om hvorledes vi eventuelt kan *tilpasse* oss klimaendringer, i tillegg til å *bremse* den utviklingen som er på gang.

Med fortsatt økning av drivhusgassene i det tempoet vi har nå, er det sannsynlig at de norske isbreene vil forsvinne i løpet av en hundreårsperiode, selv om det skulle bli mer nedbør om vinteren. Tregrensen

vil stige, og større deler av fjellene vil bli skogkledd. Dette har trolig alt begynt å skje. Sjøisen over Polhavet vil minke kraftig, særlig om sommeren. Det er også en reell mulighet for at isdekket på Grønland blir ustabil og delvis forsvinner. Dette vil kunne øke det globale havnivået med 3-6 meter. Slike endringer vil påvirke kysten vår, men være særlig betydningsfulle i lavereliggende områder ellers i verden. Havnivået vil også bli påvirket av hva som skjer med isen i Antarktis. Det er særlig innlandsisen i Vest-Antarktis som kan være ustabil i en varmere verden, slik den har vært i tidligere varmeperioder i jordas historie. Avsmelting av isdekkene vil ta lang tid og kunne pågå i mange hundre år. Maksimalt kan en regne med at havstigningen kan bli opptil 1.5 m per hundreår i den verst tenkelige situasjonen. Avsmeltingen på Grønland får ikke så stor betydning i vårt land, mens avsmelting i Antarktis vil gjøre det. Dette skyldes at avsmelting på Grønland skaper mindre gravitasjon og fører til at mindre vann trekkes mot Grønland og våre områder. Motsatt er det i Antarktis. Der blir virkningen størst lengst borte fra isen som smelter. Vest-Antarktis inneholder omtrent like mye vann som Grønland. Skulle all is på Antarktis smelte blir havnivået 50-70 meter høyere enn nå. Det er ingenting i dag som tyder på at dette vil skje.

I den forrige mellomistiden for ca. 125 000 år siden, som var kjennetegnet av høyere sommersolinnstråling på våre breddegrader på grunn av jordbaneparametrene, regner vi nå med at innlandsisen på Grønland og i Vest-Antarktis var mye mindre enn i dag. Dette tilsvarte 4-6 meter høyere havnivå. Bevis for dette finnes mange steder rundt om i verden. Også i steinalderen og deler av bronsealderen var tregrensen høyere, Hardangervidda var skogkledd, og breene var smeltet vekk fra de fleste fjellområdene. Dette skjedde i en periode med varmere somre, noe som skyldtes at vi i våre områder hadde sterkere solinnstråling fordi jorda var nærmere sola om sommeren enn nå. I dag er det ingen slik effekt, og jorda er på sitt fjerneste punkt om sommeren. Det vil si at om vi observerer endringer nå, må de ha andre årsaker enn dem som skapte varme forhold for steinaldermenneskene.

Men det er en viktig usikkerhet knyttet til denne utviklingen. Hva skjer for eksempel hvis varmetransporten i havet skulle svikte? Klimaet er i stor grad avhengig av de varme havstrømmene langs kysten, især i Norge. Som vi ser av satellittbildet fra Nord-



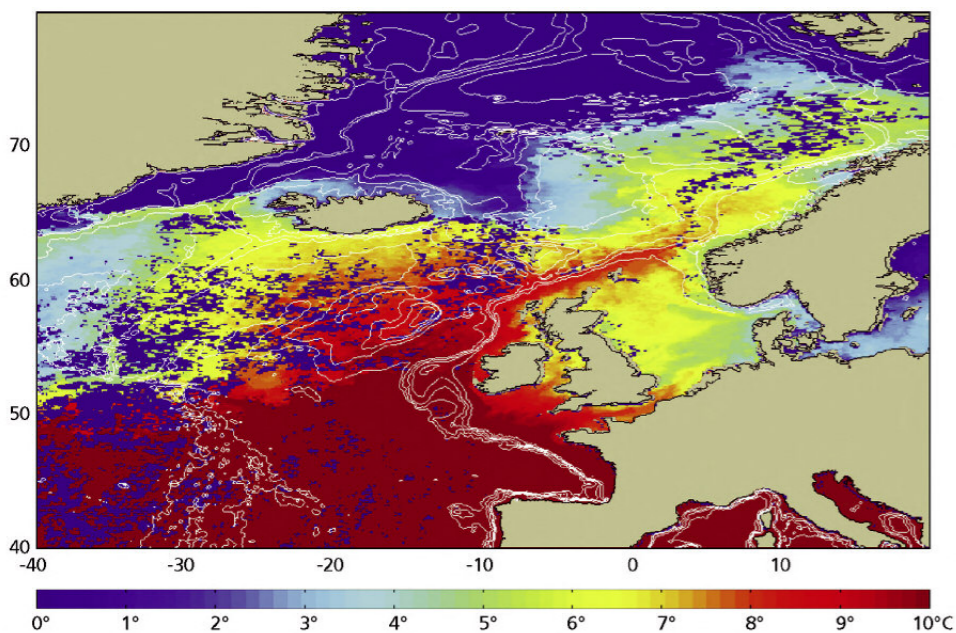
Atlanteren, sprer de varme vannmassene seg inn i Norskehavet, og bidrar til vårt milde klima, sammen med varmen som kommer hit med luftstrømmene som følger lavtrykkene. Det er en sjanse for at denne innstrømmingen vil bli svekket i en varmere verden, særlig om grønlandsisen skulle begynne å smelte. Om det skulle skje, er det mulig at Norge i mange hundreår får oppleve en kraftig nedkjøling på linje med å flytte Finnmarks klima til Sør-Norge. Klimaforskerne tror ikke dette er den mest sannsynlige utviklingen, men med den kunnskapen vi har i

dag, kan vi ikke utelukke en slik utvikling. Under istiden vet vi at slike endringer i varmetransporten i havet skjedde hele tiden. Men mellomistidene, som den vi er inne i nå, har vist seg å være langt mer stabile.

I de neste avsnittene i kapitlet vil vi se hvordan landets utseende vil fortsette å forandre seg i de kommende hundretusener og år-millioner fremover, og dermed bidra til å legge nye vilkår for klimaendringer.

Hardangervidda med Hårteigen i kjent profil – og med barskog! Skogen er lagt inn for å demonstrere et poeng: Når vi går mot varmere klima i dette århundret, vil tregrensen stige og barskogen trekke seg oppover. Kanskje er det slik Hardangervidda vil fortone seg for de kommende generasjoner, slik den også gjorde under den postglasiale varmeperioden? (Foto/manipulasjon: P. Bjørstad/E. Bjørseth)

Satellittbilde som viser hvordan det varme vannet fra det nordlige Atlanterhav strømmer inn i Norskehavet og er med på å varme opp landet vårt. Varme luftstrømmer bidrar også til oppvarmingen. (Bjerknessenteret/Øystein Skagseth)

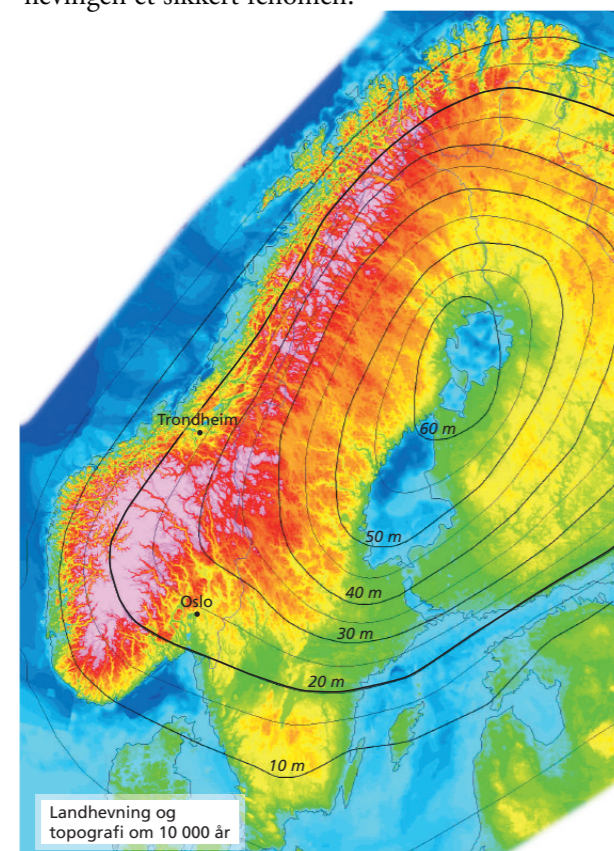


# Landheving – Norge stiger fortsatt fram (og opp)

Norges nasjonalsang 'Ja, vi elsker dette landet som det stiger frem' vil være vel så aktuell i fremtiden. Etter at landet "kvittet" seg med siste istids nærmere tre kilometer tykke iskappe, har det steget flere hundre meter, og stiger fortsatt.

Landområdene i Skandinavia har vært utsatt for skiftende senking og heving ettersom innlandsisen har vokst og avtatt i utbredelse gjennom de siste to millioner år. Det indre av Østlandet har hevet seg nesten 600 meter etter at den siste innlandsisen begynte å smelte for 16 000 år siden. Hevingen avtar gradvis, men vil ennå over lang tid (titusener av år) forandre kystlinjene i Skandinavia, spesielt i Bottenviken og Østersjøen. Mens smelting av grønlandsisen og graden av økning i havnivå er scenarioer beheftet med en viss usikkerhet, er den fortsatte landhevingen et sikkert fenomen.

SCENARIO 1. Beregnet landheving og topografi i Skandinavia om 10 000 år. Deler av Oslofjorden og Trondheimsfjorden er blitt tørt land. Oslo og Trondheim har for eksempel hevet seg mer enn 20 meter i forhold til dagens havnivå. Andre fjordarmer langs kysten av Vestlandet og Nord-Norge har også hevet seg, men relativt mindre enn på Østlandet og i Trøndelag. I mens blir Danmark og landene lenger syd for oss gradvis oversvømt.



Men hvor mye av landhevingen gjenstår før likevekten er gjenopprettet, og hva skjer når nye istider setter inn? Og vil landhevingen bety noe i klimamessig sammenheng? Landhevingen i den nære fortid, og i fremtiden, lar seg beregne ved hjelp av geofysiske modeller. I følge prinsippet om *isostatisk* likevekt (se ramme) vil landet presses ned ca. 1/3 av iskappens tykkelse (eller heves når den smelter), siden stein har en tetthet ca. tre ganger isens tetthet. Her presenteres tre scenarioer for henholdsvis 10 000 år, 50 000 år og en million år fram i tid.

I det *første scenarioet*, om ca. 10 000 år, vil landhevingen ha løftet store deler av landet mot nye høyder, minst langs kysten og mest langs grensestrøkene mot Sverige. Størst vil hevingen være i Trysilområdet, med ca. 30 meter. Lenger øst vil bunnen av Bottenhavet og Bottenviken være 50–60 meter grunnere enn i dag, og man kan gå nesten tørrskodd fra Stockholm til Åland og videre til Helsingfors. Hevingen vil pågå i ytterligere ca. 15 000 år. Dette vil etter hvert resultere i at Bottenviken blir en innsjø, avstengt fra resten av Østersjøen. Mange av byområdene i Norge vil ligge 10–30 meter høyere, og bebyggelsen vil følge med etter hvert som gammel havbunn blir tørt land.

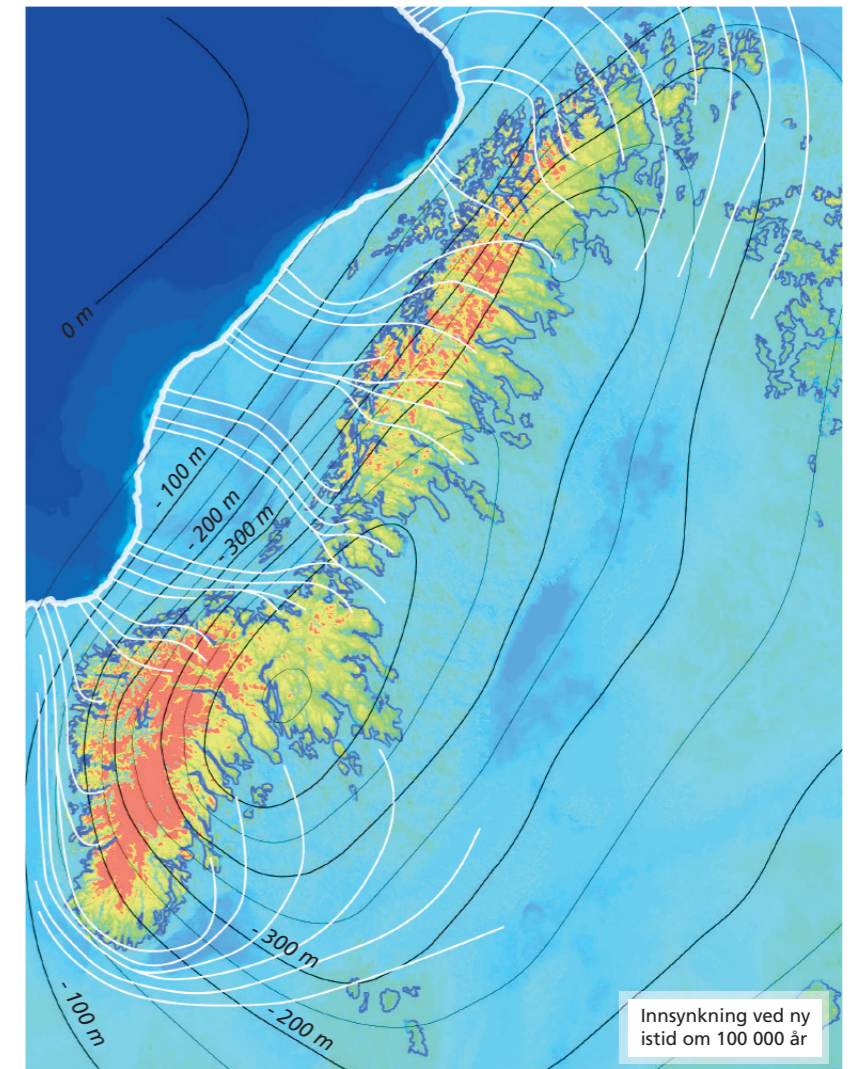
Områder utenfor Skandinavia, slik som Nord-Tyskland, Nederland og de vestlige og sørlige delene av Nordsjøen, vil derimot fortsette å synke. Dette er områder som har sunket inn over lang tid. Deler av Nordsjøen var en gang tørt land, noe som er dokumentert ved funn av steinalderredskaper på Doggerbank.

Som følge av naturlige klimavekslinger vil innlandsisen om 25 000–30 000 år sannsynligvis ha begynt å vokse i fjellene i Sør- og Nord-Norge. Etter hvert som isen øker i tykkelse og utbredelse, vil landhevingen gå over til innsynking.

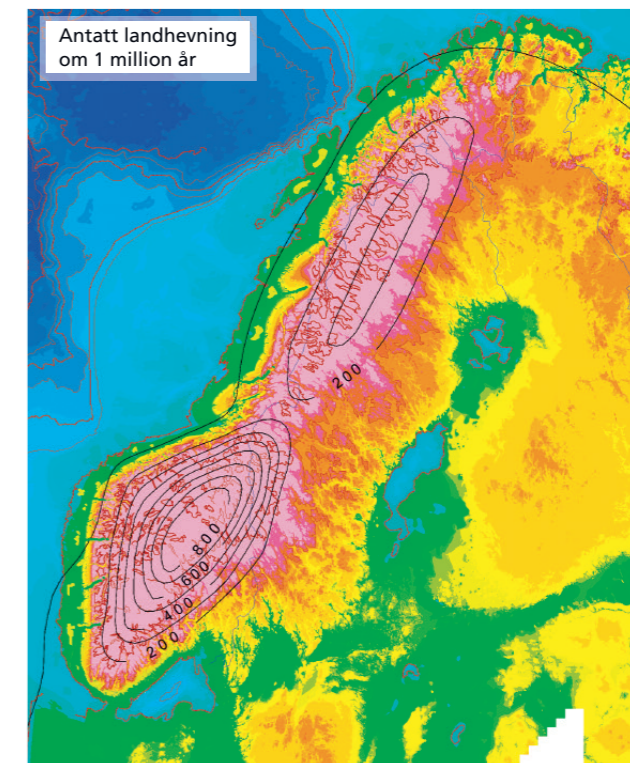
I det *andre scenarioet*, etter ca. 100 000 år, tror klimaforskerne at et større fremstøt av innlandsisen vil inntreffe. Dette vil være den største nedisingen i en serie av fremstøt som starter om ca. 50 000 år. De har vært avbrutt av korte, isfrie perioder (interstadialer). Isen vil sannsynligvis nå ned til Tyskland og Polen, og den vil ha størst tykkelse i Bottenviken, kanskje mer enn tre kilometer. Enkelte nunataker (isfrie fjelltopper) vil stikke opp gjennom isen på Vestlandet og i Nord-Norge. All bebyggelse vil være ødelagt, og det vil være ubeboelig i Skandinavia under perioder med maksimal nedising. Dyre- og fuglelivet vil riktignok ha forholdsvis god tid på seg, kanskje flere hundre eller noen tusen år, til å følge klimasonene etter hvert som de forflytter seg sør-østover. Dersom det eksisterer sivilisasjoner på denne tiden, vil resultatet bli et stort antall klimaflyktninger. De vil riktignok ha bedre muligheter til å tilpasse seg og lengre tid til flyttingen enn klimaflyktninger etter andre naturkatastrofer, som for eksempel store meteornedslag eller utbrudd fra supervulkaner da klimaet blir dramatisk forverret i løpet av kort tid.

Dersom isen smelter hurtig på slutten av istiden om ca. 100 000 år, vil havet trenge langt inn i landet før landet rekker å heve seg. Forkastninger som var låst fast under den tunge innlandsisen, kan igjen fritt bevege seg. Kjempestore jordskjelv oppstår når berggrunnen beveger seg 20–40 meter i ett rykk, slik det skjedde etter siste istid for ca. ti tusen år siden. Skjelvene med styrke opp mot 8 på Richters skala vil utløse fjell- og jordskred i de omkringliggende områdene. Fjordene vil da være utvidet østover, og Hardangerfjorden vil strekke seg lenger inn i Hardangervidda. Eventuelle beboere i landet vil derfor også i fremtiden leve i et land med markert topografi, fjellrygger atskilt av dype fjorder.

I et *tredje scenario*, etter ca. én million år og en lang rekke istider, vil strandflaten ha blitt betydelig bredere enn i dag. De høye og spisse fjellene i Lofoten vil være slitt ned nesten til havnivå. Det samme gjelder fjellstrøkene innenfor kysten av Vestlandet, Nordland og Troms.



SCENARIO 2: Innsynkingen av landet i en istid om 100 000 år. Området rundt Østerdalen og Trysil vil ha sunket nesten 600 meter under vekten av den 2–3 km tykke innlandsisen. Innlandsisen vil føre til fordyping og forlengelse av dalene og fjordene i Norge. Bortsett fra å bli trykket ned godt under havnivå, vil de flate områdene i Sør-Norge, Trøndelag og Finnmark derimot bli lite påvirket av isen. Våre naboland i syd og øst vil ligge under havnivå.



SCENARIO 3: Gjentatte istider gjennom en million år fremover i tid har endret landet betydelig. Konturene viser omfanget av antatt landheving. Samtidig er landet blitt sterkt redusert i areal, sammenlignet med nåværende landareal. Landet, og Skandinavia som helhet, slites ned. Men det vil ennå ta mange millioner år, og flere istider, før området har fått utseende som et sletteland, som Sibir eller arktisk Canada i dag.

## LANDHEVING – OBSERVASJONER OG MODELLER. ISOSTASI.

Vi lever nå like etter (i geologisk forstand) en omfattende nedising av hele Skandinavia. Vekten av innlandsisen førte til nedtrykking av landområdene på tilsvarende måte som i Antarktis og på Grønland i dag. Nøyaktige målinger viser at Skandinavia hever seg i dag – og med størst hastighet (ca. 10 millimeter pr. år) der hvor isen sannsynligvis var tykkest, dvs. i midten av det tidligere nedisete området.

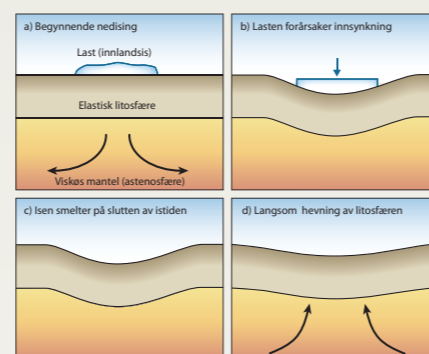
DAGENS LANDHEVING MÅLES MED FORSKJELLIGE METODER:

- < Vannstandsmålinger ved kysten (ofte i nærheten av havnebyer)
- < Nivellement langs veier innover i landet
- < Permanente GPS-instrumenter
- < Måling av rur- og tangrandmerker

Rur- og tangrandmerkene ble opprinnelig etablert på 1890-tallet av Norges geologiske undersøkelse da den store landhevingen i Bottenviken ble oppdaget. Man fryktet en tilsvarende landheving i Norge og at havnene kunne bli grunnere på samme måte som i deler av Sverige og Finland. Merkenes ble hogd inn i svaberg, og avstanden fra merket ned til rur- eller tangrand ble målt. Ved å gjenta målingene kunne en beregne landhevingen. Den totale landhevingen siden slutten av istiden er funnet ved å måle høyden over havnivå på strandlinjene som ble dannet på slutten av istiden.

Når vi legger en økt tyngde på litosfæren (for eksempel en innlandsis), må astenosfæren flyte bort på undersiden, slik at litosfæren kan synke. Dette kan ta mange tusen år ettersom astenosfæren er meget tyktflytende, som modelleringsvoks eller harpiks. Mantelbergartene i litosfæren og astenosfæren har tilnærmet samme kjemiske sammensetning, men høyere temperatur fører til at bergartene i astenosfæren blir plastiske. Når lasten fjernes (isen smelter), vil litosfæren gradvis få tilbake sin opprinnelige form som følge av såkalt isostatisk heving. Tyngdeakselerasjonen over Bottenviken og Østersjøen er omtrent  $0,0001 \text{ m/s}^2$  lavere enn i omkringliggende områder. Dette avspeiler et masseunderskudd, som skyldes at astenosfæren fortsatt er i ferd med å flyte tilbake til det sentrale Skandinavia fra randsone, dvs. fra landene rundt oss som ikke var nediset. Masseforflytning i astenosfæren vil pågå inntil det er oppnådd *isostatisk likevekt*.

Isostasi (gresk: isos = lik og stasis = stilling) er læren om hvordan jordens stive overflatelag (litosfæren) flyter ovenpå plastiske (viskøse) mantelbergarter (astenosfæren). Isostasi har å gjøre med jordas respons på belastning og avlastning og er egentlig Arkimedes' prinsipp anvendt på jordas øvre lag. Litosfæren består, som tidligere beskrevet, av jordskorpen og den øverste delen av mantelen. Prinsippet om isostasi medfører for eksempel at store fjellkjeder må ha en rotsone av lette bergarter for ikke å synke ned i mantelen og oppfører seg dermed omtrent som isfjell som flyter på vann.



Litosfæren synker og hever seg i takt med at innlandsisen vokser og avtar i størrelse.

Strandflater vil også være dannet langs kysten av Øst-Finnmark og Skagerrak. Grunnfjellet var her beskyttet av lavmetamorfe, sedimentære bergarter helt opp til sein pleistocen tid slik at det tidligere ikke har vært tilstrekkelig tid til å utvikle strandflater i disse områdene.

Isbreene vil ha ført store mengder løsmasser ut på kontinentalskråningen slik at kontinentalsokkelen er blitt bredere. Eldre kildebergarter for petroleumforekomster vil synke dypere i sedimentbassengene og bli gradvis varmere. Kildebergarter som tidligere var umodne, kan etter hvert få tilstrekkelig høy temperatur til at ny olje og gass kan dannes og fylle opp gamle reservoarer.

For å opprettholde regional isostatisk likevekt vil fjellene i Nord-Sverige være hevet 200–300 meter. Fjellene i Sør-Norge er sannsynligvis hevet betydelig mer, med 500–1000 meter på grunn av betydelig

erosjon langs kysten kombinert med at bergartene i den underliggende mantelen får lavere tetthet (pga. endret mineralsammensetning). Selv om Norge bare vil ha flyttet seg ca. 10 kilometer nord-østover i løpet av en million år, på grunn av de horisontale platebevegelsene, vil landskapet likevel ha forandret seg betydelig på grunn av gjentatte perioder (20–30) med nedisinger (dvs gjentatte breframstøt, se også kapittel 15).

Istider vil komme og gå. Dette skaper en jo-jo-effekt, med senking og heving av landet. Først når landområdene i nord har flyttet seg mot sør igjen og fjellene er erodert ned til slettelandskap, vil grunnlaget for nye istider avta og jorda kunne gå inn i en ny fase uten istider. Men dette er svært lenge til. På kortere geologisk sikt vil muligheten for nye istider øke så snart innholdet av drivhusgasser er redusert og fordi den pågående landhevingen gradvis hever fjellene våre til nye høyder.



Den 80 km lange og opp til åtte meter høye skrenten langs Stuuragurraforkastningen på Finnmarksvidda ble dannet på slutten av siste istid. Denne og lignende forkastninger i Nord-Sverige og Nord-Finland (opp til 150 km lange og mer enn 20 m høye) er dannet ved én enkelt skorpebevegelse og utløste jordskjelv med styrke på 7–8 på Richters skala. Trykkavlastingen under avsmeltingen av de kommende innlandsisene vil trolig utløse lignende jordskjelv. Se også jordskjelvkartet bak i boka. (Foto: O. Olesen)

# Det store bildet – kontinentene flytter seg

Skuer vi langt inn i fremtiden, millioner av år, vil kontinentene forflyttes, havområdene vokse og forsvinne igjen, alt sammen som et resultat av litosfæreplatenes dynamikk.

Plateteknikken forklarer de store jordskorpebevegelsene på jorda, og representerer et verktøy som ikke bare hjelper oss til å forklare fortidens fenomener, men også utviklingen fremover i tid.

Plateteknikk er en fascinerende teori om hvordan kontinenter kolliderer og driver fra hverandre. Periodevis har kontinentene samlet seg i gedigne superkontinenter som påvirker dyreliv og klima. Pangea, det yngste superkontinentet, ble dannet i sein paleozoisk tid for omkring 330 millioner år siden, og dagens fordeling av land og hav reflekterer oppsprekningen av Pangea, som ble påbegynt i juratiden. Først i tidlig paleogen åpnet Nord-Atlanteren seg mellom den eurasiske plate, som Norge er en del av, og Grønland. Grønland var på denne tiden en egen litosfæreplate fordi det foregikk havbunns-spredning også i vest, i Labradorhavet.

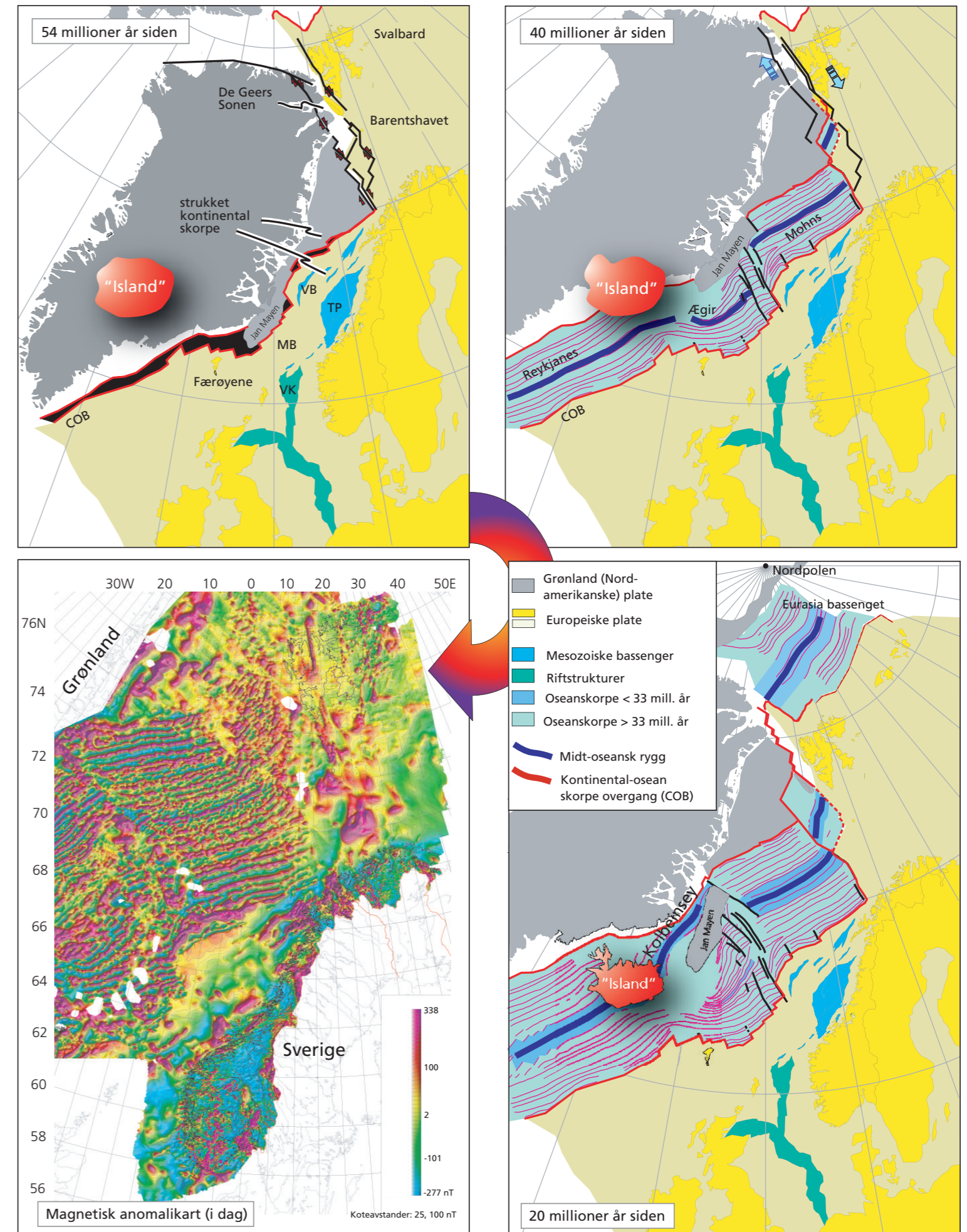
Åpningen av det nordøstlige Atlanterhavet startet først for omtrent 54 millioner år siden. I sørlige og midtre deler lå oppsprekkingslinjen nær Grønland, mens den nordover mot Lofotenområdet lå mye nærmere Norge. Under åpningen av det nye havområdet var det stor vulkansk aktivitet, f.eks. langs kanten av Vøringplatået. Denne vulkanismen er knyttet til en såkalt mantelsøyle (hotspot eller varmeklekk) ved Island – en forløper for dagens sagaøy.

For omkring 40 millioner år siden hadde Nordøst-Atlanterhavet åpnet seg til en bredde av 350 – 400 kilometer. Svalbard beveget seg sidelengs langs Grønland, noe som bidro til åpningen av en passasje mellom Nordøst-Atlanteren og Polhavet. Jan Mayen, et eget mikrokontinent, var fortsatt forbundet med Grønland. Nordøst-Atlanterens spredningsakse besto av tre mindre aksesegmenter

(Mohns-, Ægir- og Reykjanesryggene). Mantelsøylen under Island befant seg da nær kysten av Grønland og nærmet seg spredningsaksen.

For 20 millioner år siden hadde spredningen langs Ægir-ryggen stoppet opp. Spredningen hadde isteden forflyttet seg til Kolbeinsryggen. Jan Mayen ble fullstendig skilt fra Grønland og forble en del av den eurasiske platen, som den er i dag. Den relative platebevegelsen (spredningshastigheten) i Atlanterhavsregionen er beregnet til i dag å dreie seg om noen cm pr. år, mens f.eks. i Stillehavsregionen er den opp mot en desimeter pr. år. Gjennom de senere års satellittobservasjoner har en kunnet observere at de teoretiske beregningene stemmer, og dermed bekrefte at plateteknikken er en realitet. Når det gjelder de dypereliggende årsakene til plateteknikken – dynamikken bak det hele – så er dette gjenstand for fortsatt forskning.

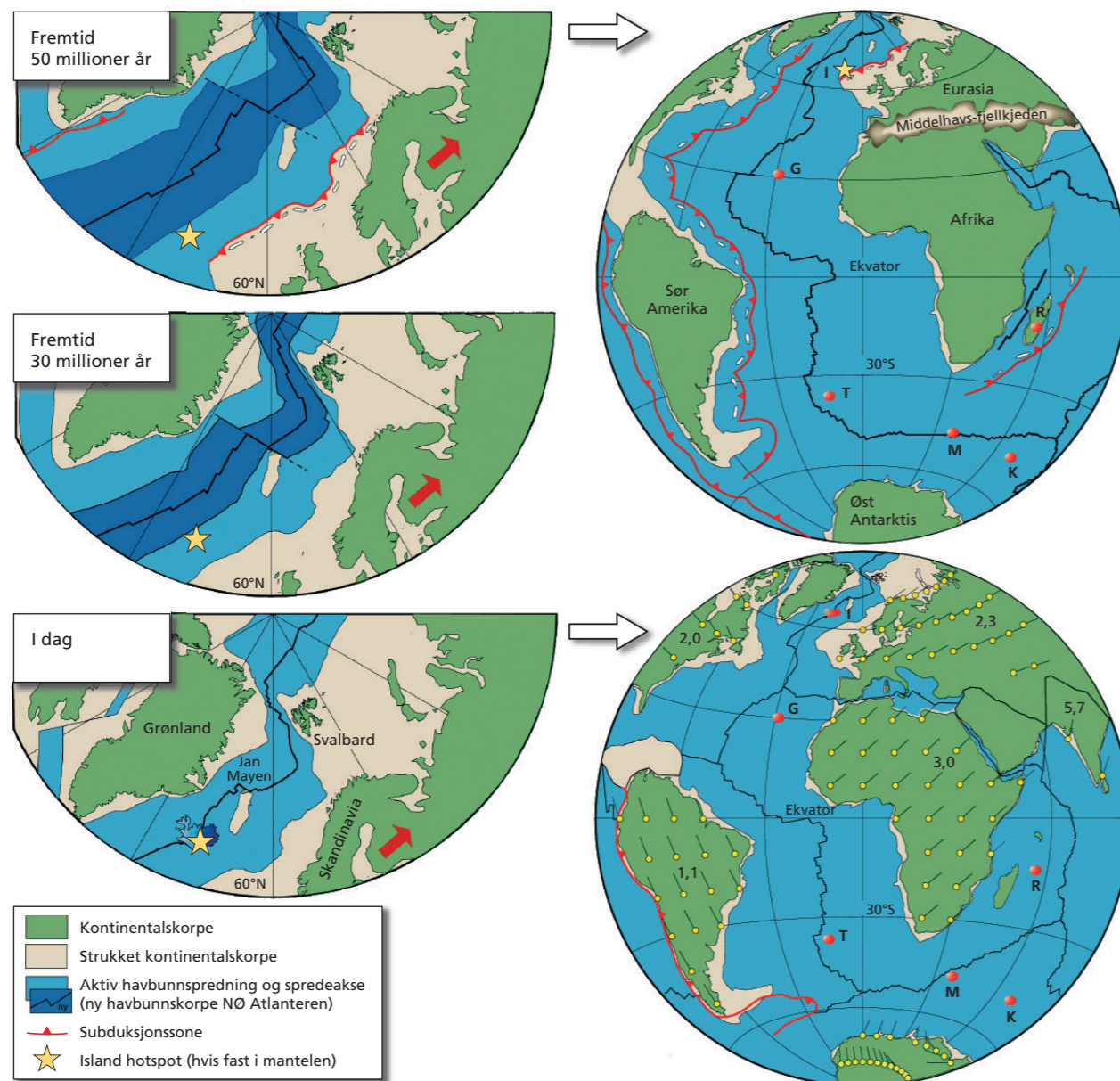
TIL HØYRE: Rekonstruksjon av det nordøstlige Atlanterhav for henholdsvis 54, 40 og 20 millioner år siden, basert på magnetiske anomalier (kartet nederst til venstre) og kartlegging av bruddsoner i havbunnen. Dette er relative rekonstruksjoner hvor Norge (som del av den eurasiske platen) ligger fast, mens Grønland (som del av den nordamerikanske platen) og havbunnen er rekonstruert. For å rekonstruere kontinentene brukes tre hovedmetoder, samt at vi dag faktisk kan måle direkte hvor mye kontinentene beveger seg ved hjelp av satellitter i bane rundt jorda. De tre metodene er 1) paleomagnetisme, 2) magnetisk stripemønster i havbunnskorpen (se kapitlene 2 og 3) og 3) geologiske og paleontologiske klimaindikatorer. (VB = Vøringbassenget; TP=Trøndelagsplattformen; HB =Hordabassenget; VK = Vikinggrabenen)



Forventet utvikling av det nordøstlige Atlanterhav fra i dag og 50 millioner år fram i tiden, samt en global rekonstruksjon (som viser 50 % av jorda om henholdsvis 30 og 50 millioner år) basert på dagens platebevegelser og hastigheter (figur nederst til høyre angir gjennomsnittshastighet og retning i dag). Røde sirkler er varmeklekker (hotspots)

(I = Island; G = Great Meteor; T = Tristan; M = Marion; K = Kerguelen; R = Reunion), som vi antar har vært relativt stasjonære områder under de bevegelige litosfæreplatene.

Røde streker er kollisjonssoner (subduksjonssoner). Svarte streker er spredningsaksler.



### Fremtidstektonikk

Med utgangspunkt i platetektoniske prinsipper og kunnskap om dagens platebevegelser kan vi spekulere i hvordan verden vil utvikle seg f.eks. gjennom de neste 50 millioner år. Norges ferd mot nord fortsetter, og Nord-Atlanteren blir bredere og bredere.

Havbunnsbredningen mellom Nord-Amerika og Grønland stoppet opp for omtrent 30 millioner år siden, og disse kontinentene utgjør nå den nord-amerikanske platen, som driver nordvestover (med to centimeter pr. år), mens den eurasiske platen, som Norge er en del av, driver nordøstover med en hastighet på rundt 2,3 centimeter pr. år.

Med jevn havbunnsbredning i de neste 50 millioner år vil f.eks. Oslo-området ha drevet 1100 kilometer nordøstover og befinne seg på 65 grader nord, eller på høyde med Nord-Trøndelag (Leka). Svalbard vil befinne seg i området fra 81 grader til 84 grader nord, dvs. bare noen hundre kilometer fra Nordpolen. Isolert sett, fra et platetektonisk synspunkt, vil klimaet i Norge bli kaldere, og om 50 millioner år vil Fastlands-Norge strekke seg fra 64 grader til 75 grader nord. Dette vil klart påvirke flora og fauna. Noen arter forsvinner, andre vil tilpasse seg og nye dukke opp. Hvorvidt *Homo sapiens*, det moderne mennesket, som bare har eksistert på jorda de siste par hundre tusen år, fortsatt vil være til stede og oppleve endringene, er tvilsomt.

Nordøst-Atlanteren er den yngste delen av Atlanterhavet. Vanligvis regner vi med at gammel og tung havbunnskorpe blir ustabil, og at subduksjon (synking) kan inntreffe spontant når alderen på havbunnen nærmer seg 150 millioner år. Det forutsetter at spredningen får foregå uten ytre hindringer, hvis ikke kan subduksjon inntreffe tidligere. Femti millioner år inn i fremtiden vil Nordøst-Atlanteren fortsatt være bare ca. 100 millioner år gammel. Med jevn havbunnsbredning vil avstanden mellom Øst-Grønland og Vestlandet ha øket fra 1600 kilometer til ca. 3000 kilometer, dvs. nesten en dobling av Atlanterhavets bredde sammenlignet med i dag. Dette vil ha betydning for havstrømmer og klima som påvirkes av fordelingen av kontinenter og havområder.

Hos våre naboer islendingene vil fremtiden kunne by på stor dramatik. Dagens Island er knyttet til en mantelsøyle (varmeklekk) som ligger nær den aktive spredningsaksen (Reykjanesryggen), og lokal manteloppstrømning av varmt materiale langs spredningsaksen medfører at Island heves over dagens havnivå. Med tiden vil spredningsaksen og Island bevege seg bort fra mantelsøylen. Island vil derfor etter hvert sannsynligvis synke under havnivå og danne et undersjøisk vulkansk platå. Tilsvarende utvikling vil finne sted flere andre steder på kloden. F.eks. vil dagens Reunion-mantelsøyle (ansvarlig for vulkansk aktivitet på øya Mauritius og Deccan i India i dag) ligge under Madagaskar om 50 millioner år og medføre stor vulkansk aktivitet der, mens Mauritius og Deccan har sunket.

Om 50 millioner år vil Midt- og Sør-Atlanteren være henholdsvis 225 og 180 millioner år gamle, og en synkesone vil sannsynligvis ha startet under Sør-Amerika, Nord-Amerika og kanskje hele veien opp til det sørlige Grønland. Nordøst-Atlanteren vil da være drøye hundre millioner år gammel. Hvis platebetingelsene endres, for eksempel ved at Nord-Amerika eller Eurasia kolliderer med et annet kontinent, kan det tenkes at subduksjonen starter også i Nordøst-Atlanteren. Da vil Atlanterhavet lukkes på ny, og etter nye 75–100 millioner år vil Vestlandet og Øst-Grønland kolliderer igjen, slik de gjorde for 400–500 millioner år siden, og danne en ny fjellkjede langs den gamle kaledonske fjellkjeden.

Men også andre platers bevegelsesmønstre er kjent, og kan på tilsvarende måte danne grunnlag for prognoser om fremtiden. Den eurasiske og den afrikanske platen beveger seg i dag med en hastighet mot hverandre på omtrent 0,7 centimeter pr. år. Hvis platene får anledning til å bevege seg "uhindret" med samme retning og fart som i dag, vil Middelhavet gradvis lukkes og bli omvandlet til en fjellkjede som vil utgjøre en forlengelse av Himalaya. Denne fjellkjeden vil strekke seg over en lengde på 8 000 kilometer og være like lang som den variskiske fjellkjede som ble dannet da Gondwana kolliderte med Laurasia og dannet Pangea i karbon. Dette vil skape et monsunlignende klima i Mellom- og Sør-Europa, og kan bidra til ørkenpredning.

Detaljene i fremtidsprognosene er selvsagt usikre, og flere ulike scenarier kan fremsettes. Det som fremstår med stor sikkerhet, er at vi lever på en dynamisk jord. Litosfæreplatenes fortsatte bevegelser vil endre "kartet", flytte på kontinentene, skape nye fjellkjeder, forandre havområdenes form og dyp, og forårsake lokale og regionale klimaendringer. Istider vil fortsatt komme og gå i noen årmillioner, landet vil slites ned og løftes opp på ny, varme og kalde perioder vil opptre vekselvis. Livet i fremtiden, slik det har vært i fortiden, må tilpasse seg de naturlige endringsprosessene, både på kort og lang sikt, for å overleve i kampen for tilværelsen.

Dagens spredningsakse mellom Grønland og Norge er bl.a. representert ved Island og andre vulkanske øyer i Atlanterhavet. Bildet viser vulkanen Beerenberg på den norske øya Jan Mayen under utbruddet 18. september 1970. Utbruddet skjedde fra fem kraterfelt langs en seks kilometer lang sprekk på nordflanken av vukanen. Til å begynne med sto damp og askesøylen opp til mange kilometers høyde. Senere rant det strømmer av lava ned til havkanten, der det bygget seg ut ca. fem km<sup>2</sup> nytt land. Det lyse dekket på fjellet er ikke snø, men vulkansk aske. (Foto: J. Naterstad).

