

KAPITTEL 11

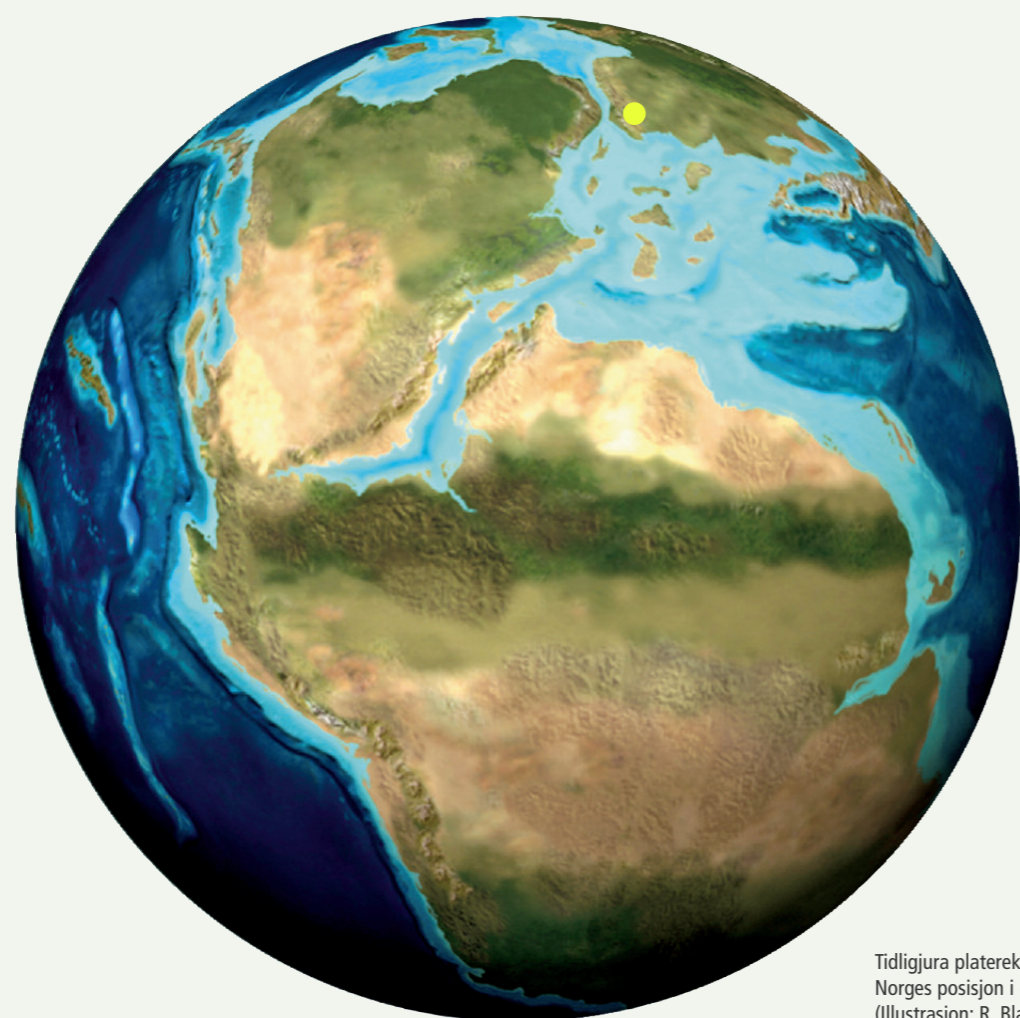
ERIK P. JOHANNESSEN
ARVID NØTTVEDT

Norge omkranses av kystsletter og deltaer

TIDLIG- OG MELLOMJURA; 201–164 MILLIONER ÅR



I tidligjura ble basseng-områdene i Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet oversvømt. Fastlandet og kontinentalsokkelen utenfor fikk mye av sin nåværende form. Samtidig skjedde det en markert klimaendring, fra tørt til fuktig. Det resulterte i økt avrenning og transport av grus, sand og slam fra fastlandet ut på sokkelen. Gjennom tidlig- og mellomjura ble flere av de viktigste reservoarbergartene for olje og gass på norsk sokkel avsatt.



Tidligjura platerekonstruksjon.
Norges posisjon i gult.
(Illustrasjon: R. Blakey)

TIDLIG- OG MELLOMJURA

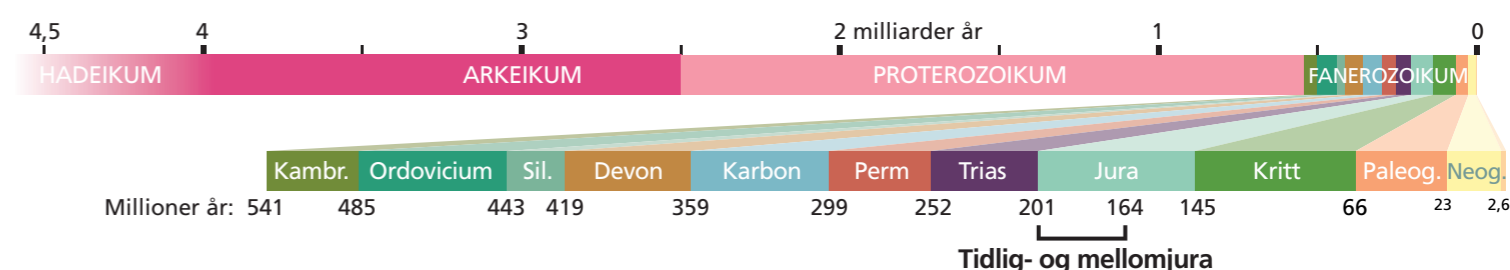
201–164 MILLIONER ÅR

Tidlig- og mellomjura var preget av at jordas kontinentplater ble reorganisert, og at det gamle karbon-permkontinentet Pangea fortsatte å sprekke opp. Mange steder på jorda førte denne oppsprekningen til at det ble dannet riftbassenger. Aksen for oppsprekking flyttet seg gradvis nordover til sentrale deler av Atlanterhavet. I Nordatlanteren og i områdene nær Norge var det nå en rolig periode etter den kraftige oppsprekkingen i perm og trias.

Dagens kontinenter begynte å ta form.

Innledning

Etter millioner av år med tørke fikk Norge i tidligjura et fuktig, subtropisk klima, og landet var omgitt av store kystsletter og deltaer.



(Illustrasjon: R.W. Williams)

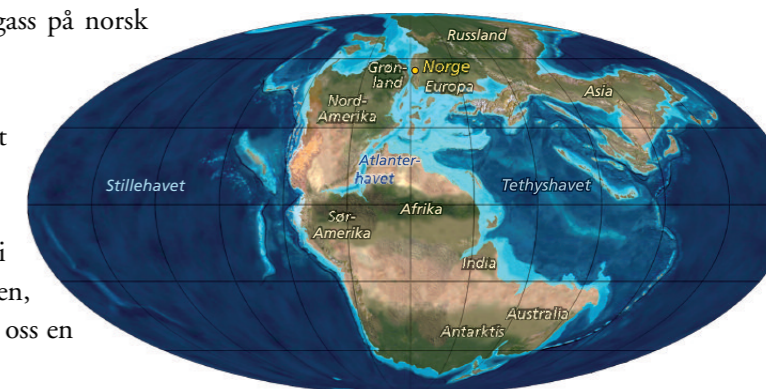
Klimaendringen førte til økt erosjon og avrenning fra Fastlands-Norge. Erosjonen flatet ut landet, og store elver fraktet sand og leire ut til en langstrakt kystlinje med mange små og store deltaer. I dette kapitlet skal vi se på disse avsetningene og på hvilke prosesser som virket i bassengene.

Kystlinjen bevegde seg fram og tilbake mange ganger i tidlig- og mellomjura. Liten innsynking i bassengene, kombinert med stor tilførsel av sediment, førte til at kystlinjen bygde seg utover i havet. I perioder med økt innsynking i bassengene steg havet, og kystlinjen trakk seg tilbake. På kystslettene rant elver i svingete og forgreinete mønstre. Kystavsetningene ble omarbeidet av bølger og tidevann. På havbunnen levde gravende organismer. Lagene i undre og midtre jura inneholder mange sedimentære strukturer som forteller om disse prosessene.

Avsetningene i undre og midtre jura langs norskekysten kan litt forenklet sees på som en stor lagdelt sandkasse. Tykke lag av sandstein som veksler med slamsteiner, kjennetegner lagrekken. Sandsteinslagene har stor utbredelse og forekommer over store deler av norsk sokkel. Sandlagene fra juratiden er svært porøse, og porerommene mellom sandkornene, som vanligvis er fylt med vann, er mange steder fylt med olje eller gass. Jurasandsteiner utgjør de viktigste reservoarbergartene for olje og gass på norsk sokkel.

Jurabergarter er utbredt på sokkelen, men finnes bare noen få steder på det norske fastlandet og på Svalbard. Det er oljeletingen, med innsamling av mange kilometer kjerneprøver og millioner kilometer seismikk, som er årsaken til at vi i dag kan studere og forske på bergartene på sokkelen. Fordi veldig mye av oljen og gassen på sokkelen finnes i sandsteiner fra juratiden, er det tatt spesielt godt med prøver av dem. Til sammen gir disse dataene oss en unik innsikt i en fortid som var forskjellig fra dagens Norge.

Rekonstruksjon av kontinentenes plassering for 200 millioner år siden, i tidligjura. Brunt er kontinentområder, lys blå er kontinentalsokler og mørk blå er oseanskorpe. (Illustrasjon: R. Blakey)



Fuktig klima og tett vegetasjon

Fastlands-Norge og sokkelområdene var relativt stabile områder i tidlig- og mellomjura, selv om sokkelområdene fortsatte å synke gradvis inn som følge av avkjøling etter riftaktiviteten i perm og trias. Samtidig ble klimaet varmere og fuktigere, og det vokste fram sumpskog og tett vegetasjon på de tørre landområdene fra triastiden.

Oppsprekningen i det sentrale og sørlige Atlanterhavet gjorde at store mengder lava presset seg til overflaten. Sammen med lavautbruddene ble det friggitt mye karbondioksid, CO₂.

Karbondioksid er en velkjent drivhusgass, og konsentrasjonen i atmosfæren i tidligjura ble omtrent tre ganger høyere enn hva den var i trias og hva den er i dag. Det medvirket til en global oppvarming, og levevilkårene på land og i havområdene forandret seg drastisk. Det førte videre til en masseutdøelse av mange livsformer på jorda (se kapittel 10). Noen anslag antyder opptil 20 prosent utryddelse av marine dyrearter, og på land blir de store amfibiene nesten utryddet. Det la forholdene til rette for dinosaurer, som etter hvert kom til å dominere faunaen.

Norge drev samtidig mot nord og inn i et fuktigere klimabelte. Det antas at Norge i løpet av tidlig- og mellomjura lå omkring 40 grader nord. Årstidsvariasjonene var små, og det stabile og varme klimaet gjorde at etter den innledende masseutdøelsen forandret dyre- og plantelivet seg ikke så mye gjennom perioden.

Det er mulig å få en indikasjon på den absolutte temperaturen på den tiden ved å måle forholdet mellom bestemte oksygen- og karbonisotoper, eller forholdet mellom kalsium og magnesium i skallfragmenter fra marine fossiler som skjell, muslinger og blekkspruter. I mellomjura var gjennomsnittstemperaturen i Norge mellom 11 og 15 grader.

Norge i tropene

I tidligjura var Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet fuktige sumpområder, med tropelignende vekster som kråkefotplanter og bregner i mange størrelser og fasonger.

Kullagene som vi finner i sedimentene fra denne tiden, er rester etter disse sumpskogene. Lenger inn i det småkuperte fastlandsområdet har det trolig vært større årstidsvariasjoner. Her bestod skogene av bartrær og planter som tåler mer tørke.

Europa blir delt inn i to floraprovinser i jura: tethysfloraen i sørlige områder og borealisfloraen i nordlige områder. Grensen mellom disse to provinsene lå omkring Midt-Norge i tidlig- og mellomjura. Klimaet i Tethysprovinsen var noe fuktigere og varmere enn i Borealisprovinsen.

I havet svømte fiske- og svaneøgler sammen med ammonitter og belemnitter, som er blekkspruter med et ytre skall. Belemnittene hadde også et indre kalkskelett og er beslektet med de nålevende tiarmede blekksprutene. Både ammonittene og belemnittene viser en voldsom artsutvikling i jura. På havbunnen levde muslinger i store mengder. Brachiopoder (armfottinger) var fremdeles vanlig, men de hadde et lavere artsmangfold. I tillegg fantes sjøpinnsvin og sjøliljer. Sjøliljene kunne bli hele 16 meter lange.

På land, og spesielt i de flate sumpområdene, hersket dinosaurer. *Apatosaurus* kunne bli inntil



Kråkefotplanter fra sumpskogen på Brentdeltaet på Gullfaksfeltet. (Foto: O. Bruun-Christensen)

30 tonn og 20 meter lang og var en av de største planteeterne i den "norske" faunaen. *Stegosaurus*, med sine pigger på halen og oppstående plater på ryggen, levde også av sumpvegetasjonen. Den 13 meter lange *Allosaurus* var en fryktet rovdinosaur. I luften svedde de første fuglene over de store skogene. De hadde tenner og klør på vingene og har fått navnet *Archaeopteryx*. I tillegg fantes flyveøgler som *Rhamphorhynchus* og *Prerodactylus*.

Nytt hav dannes

Norge fikk sin nåværende kystform etter den permotriasiske riftfasen. Da sokkelområdene sank inn på overgangen trias – jura, steg havet inn over store deler av det nordatlantiske området og druknet tidligere landområder og kystlandskaper. Denne stigningen i havnivået førte til en sammenhengende marin forbindelse mellom det nordlige Borealishavet og det sørlige Tethyshavet i tidligjura, gjennom det atlantiske riftsystemet.

Innsynkingen på sokkelen var ujevn. Det sørlige Nordsjøbassenget sank under havnivå i seintrias og ble oversvømt fra sør, fra et stort grunnhav som strakte seg videre sørover i Europa. Det nordlige



POLLEN FORTELLER OM KLIMA

Av Arnfinn Rømuld

Sedimenter som avsettes på elvesletter med vegetasjon eller nær kysten, er ofte anrikt på pollen og sporer fra planter som vokser i området. Pollen og sporer brukes derfor til å bestemme paleoklimaet på et gitt tidspunkt og til å si noe om klimautviklingen i et område. For eksempel finner vi i undre og midtre jura i Nordsjøen sporer fra bregner og kråkefotplanter, som tyder på varmt og fuktig klima. Disse plantene tilhører tethysfloraen. I Barentshavet finner vi pollen fra bartrær, som indikerer noe kjøligere og tørre klima, og som tilhører borealisfloraen.



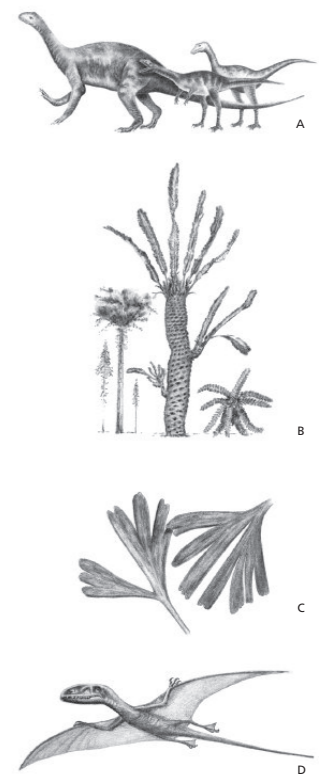
Pollen med luftsekk fra borealisfloraen (øverst) og spore fra tethysfloraen (nederst).

Nordsjøbassenget fikk marine forhold først noen titalls millioner år seinere, i tidligjura. Bassengområdene i Norskehavet ble oversvømt omtrent på samme tid, men det hang igjen en serie med øyer mellom Midt-Norge og Grønland som ble gradvis oversvømt gjennom juraperioden. Oversvømmelsen av Barentssokkelen startet allerede i seintrias og fortsatte inn i tidligjura.

Fastlands-Norge, Shetlandsplattformen og Grønland utgjorde randområdene til riftbassenget fra permotrias. Disse områdene var tørt land gjennom store deler av juratiden.

Den juraiske sandkassen

Det fuktige og varme klimaet førte til økt forvitring og erosjon av eldre sediment og grunnfjell i landområdene. Store mengder grus, sand og slam ble nå transportert ut i sedimentbassengene på sokkelen. Lagrekken i undre og midtre jura inneholder generelt mye sand, og oljegeologene omtaler disse lagene spøkefullt som "den juraiske sandkassen". Vår kunnskap om tidlig- og mellomjura kommer hovedsakelig fra borehullsobservasjoner. De enkelte geologiske



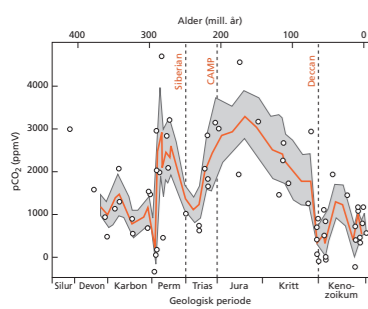
Noen typiske arter fra tidlig- og mellomjura. A: Dinosaurer – antall og artsmangfold øker. B: Vegetasjonen bestod av bartrær, konglepalmer og bregner. C: *Ginkgo* – en tidligjuraisk gymnosperm (nakenfrøplante) som har overlevd fram til våre dager. D: *Dimorphodon* – flyveøgler, med et vingspenn på 120 centimeter. (Figurer fra R.W. Williams)

I tidlig- og mellomjura var klimaet fuktig, og langs kysten av Norge var det store våtmarksområder med dinosaurer og flyveøgler. (Med tillatelse fra NHM, UiO. Illustrasjon: B. Bocianowski)

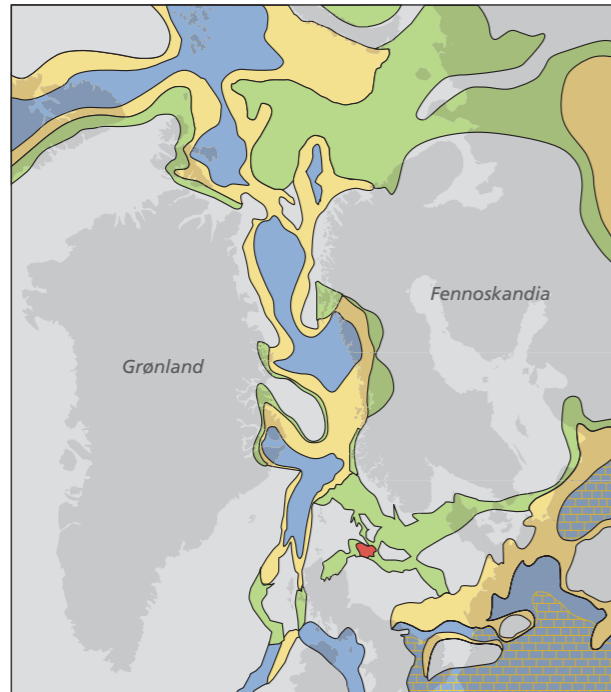
Rekonstruksjon av klimasoner i mellomjura. Norge lå da i den nordlige tempererte sone. (Figur modifisert fra C. Scotese)



CO₂-konsentrasjonen i geologisk tid fra devon fram til i dag. Siberian, CAMP og Deccan markerer de tre største episodene med plateoppsprekking som har skjedd siden devon. Siberian (slutten av perm), CAMP = Central Atlantic Magmatic Province (startet i overgangen trias-jura), og Deccan (slutten av kritt) representerer perioder med meget stor vulkanisme som varte over flere hundre år. (Figur fra D.D. Ekart m.fl.)



Geografi og viktigste sedimenttyper på norsk sokkel og nærliggende områder i mellomjura. Rekonstruksjonen viser at alle landområdene rundt Atlanterhavet og i Arktis var omgitt av sandige kystlinjer, deltaer og grunne havområder. Nordsjøen var fullstendig okkupert av Brentdeltaet på denne tiden. (Figur modifisert fra H. Brekke)



- Avsetningsmiljø:
- Erosjonsområder
 - Elvesletter – slam og sand
 - Strand- og grunnmarin sand
 - Marint slam
 - Kalkavsetninger
 - Vulkaniske avsetninger

enhetene i undre- og midtre jura er som oftest for tynne til at vi kan skille dem på seismiske data.

Mange og ulike bassenger

Det er mange likhetstrekk, men også markante forskjeller, mellom de juraiske sedimentbassengene langs norskekysten. Sandige og siltige avsetninger med tykke kullag innleder juraperioden over store deler av norsk sokkel. Sedimentene ble avsatt på store kystsletter. På grunn av heving og erosjon av Nordsjødomen i mellomjura finner vi i dag nesten ikke avsetninger fra tidligjura i den sørlige Nordsjøen. Tidligjuraiske avsetninger mangler også i det nordlige Barentshavet og på Svalbard. Trolig hadde vi lite avsetning i disse områdene.

I utløpet av de store elvene dannet det seg mektige deltaer. Innsynking førte imidlertid til at havnivået

steg gradvis gjennom tidligjura for så falle litt igjen i mellomjura. Mindre og lokale havnivåendringer resulterte i at kystlinjen bygde seg ut og trakk seg tilbake gjentatte ganger.

I Nordsjøen fikk vi etter hvert en overgang til marine slamavsetninger med sandkiler som bygde seg ut fra kantene av bassenget. I Norskehavet kom denne overgangen noe seinere, og i Barentshavet skjedde den helt sist i tidligjura.

Havbassengene i tidligjura var grunne, sjelden dypere enn 100 meter. Innsynking over den gamle perm-triasriften gjorde imidlertid at sedimenttykkelsen kom opp i flere hundre meter. Langs selve riftaksen finner vi noen steder sedimenttykkelser på inntil 1000 meter.

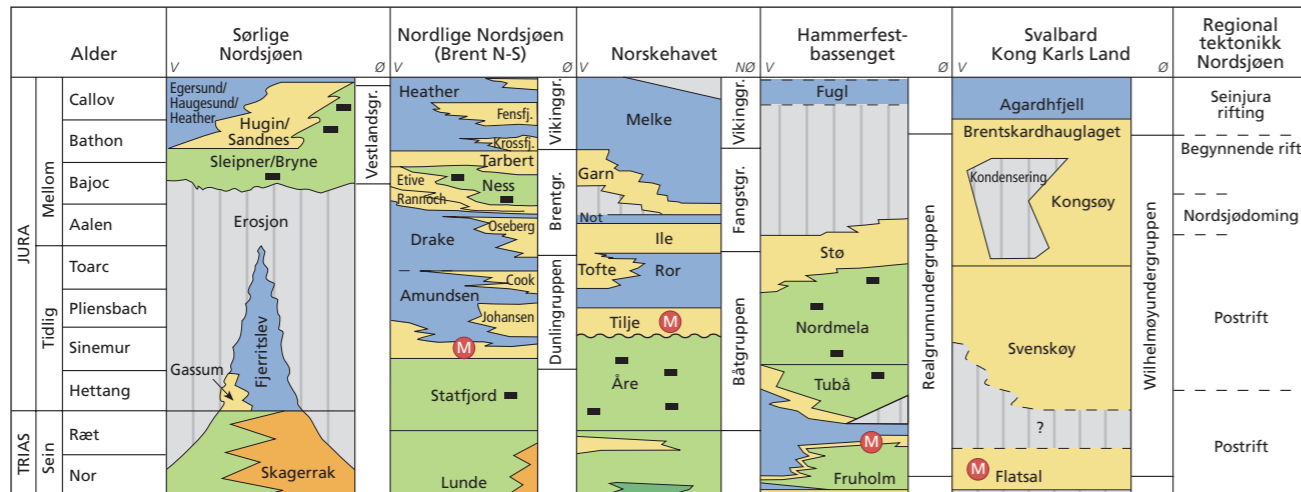
I mellomjura er forskjellen mellom områdene langs norskekysten størst. Midtjuralagrekken i Nordsjøen og Norskehavet består av mye sand, som følge av ny utbygging av kystsletter og store deltasystemer, først på midtnorsk sokkel og så i Nordsjøen. I det sørlige Barentshavet mangler avsetninger fra midtre jura, og på Spitsbergen har vi bare tynne avsetninger fra denne perioden. På Kong Karls Land i øst får vi en overgang fra sand til mer slamholdig sand. Det gjenspeiler en generell tilbaketrekking av kystlinjen, uten nye sedimentframstøt.

Jura på land

Juraiske avsetninger lik dem en finner på norsk sokkel, er kjent fra geologiske lokaliteter på Andøya og Svalbard, samt i Yorkshire, Hebridene, Grønland og Arktisk Canada. Ved å studere disse lokalitetene kan en øke forståelsen av hvordan de juraiske lagene ble avsatt.

Stratigrafiske søyler for den undre og midtre juraiske lagrekken i ulike områder på kontinentalsokkelen og på Svalbard. Navnene på figuren angir geologiske grupper (loddrett) og formasjoner. Perioden domineres av kystnære og deltaiske sandavsetninger i vekslning med slamsteiner.

- Avsetningsmiljø:
- Manglende avsetninger (brudd/inkonformitet)
 - Elvesletter – slamstein
 - Innsjøavsatt slam
 - Grus- og sandvifter
 - Strand- og grunnmarin sandstein
 - Marin slamstein
 - Kullførende avsetninger
 - M Første marine innslag



LANDET BLIR TIL

Norges geologi

Illustrasjonen som finnes i den trykte utgaven er fjernet her av opphavsrettslige grunner.

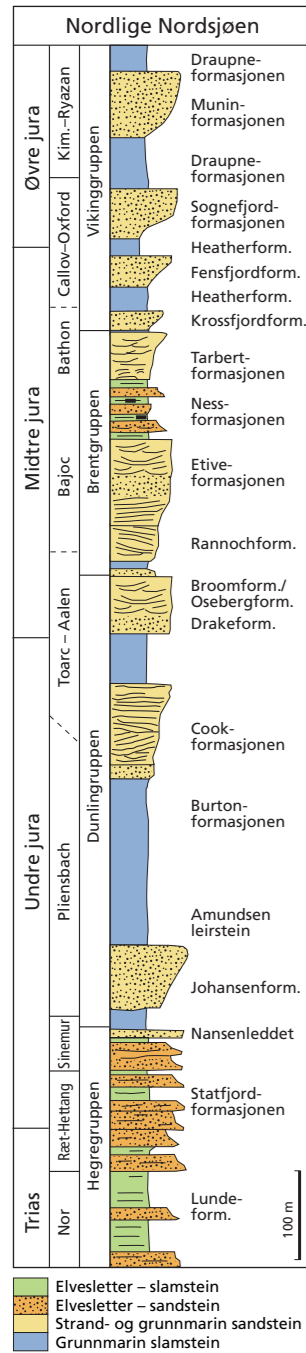
Ivar B. Ramberg Inge Bryhni Arvid Nøttvedt Kristin Rangnes (red.)



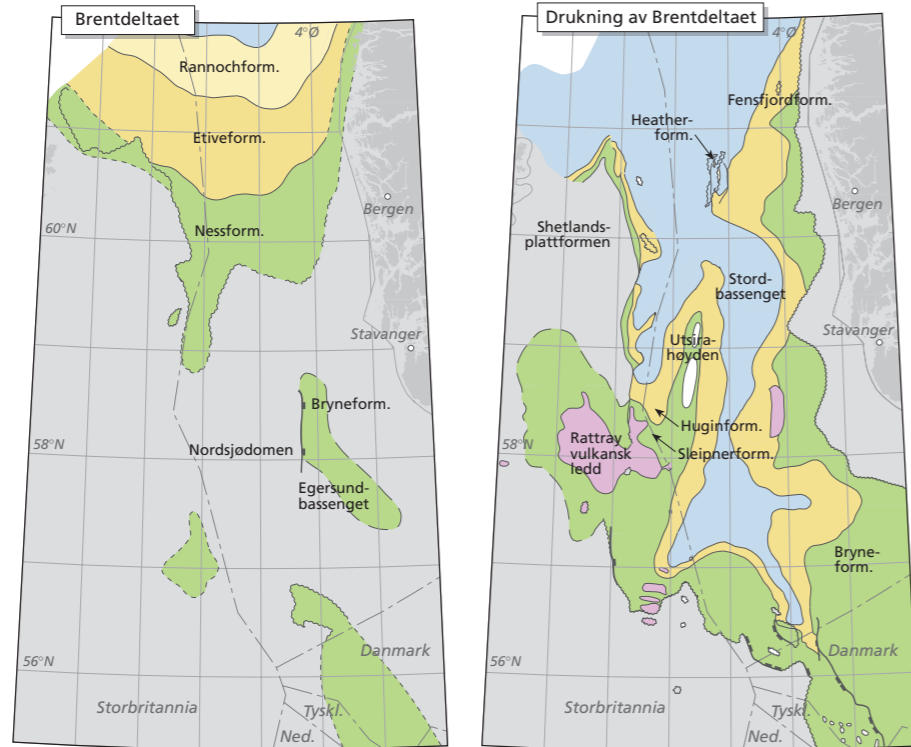
På de store kystslettene i tidlig- og mellomjura rant det store og små elver av ulike typer. På elvesletter med litt helning var elvene ofte forgreinet, slik som Tanaelva i dag (stort bilde) (Foto: Fjellanger Widerøe). Innfelt bilde: På de flate deltaslettene var elvene gjerne svingete med store buktninger og pølsesjøer, slik som i Kildalen i Troms. (Foto: I. Lindahl)

Det store Brentdeltaet dannes

Nordsjøbassenget var i første del av tidligjura et stort sletteland, men ble gradvis oversvømt gjennom tidligjura. I mellomjura bygget det store Brentdeltaet seg nordover og dekket etter hvert hele den nordlige Nordsjøen.



Skjematisk, vertikal sedimentlogg (typologgi) for den nordlige Nordsjøen. Her vises overgangen fra elveavsetninger i trias, til marine sand- og slamsteiner i tidligjura. Brentdeltaet fylte i mellomjura hele den nordlige Nordsjøen. (Figur fra R.J. Steel)



Geografi og avsetningsmiljø i Nordsjøområdet i mellomjura. Skissen viser to stadier i den geologiske utviklingen, bajocstadiet og callovstadiet. I løpet av denne perioden bygde det store Brentdeltaet seg ut fra et landområde i sør, den såkalte Nordsjødomen, og dekket hele den nordlige Nordsjøen, for så å trekke seg tilbake. (Figurer modifisert fra T. Husmo m.fl. Millennium Atlas)

Avsetningsmiljø:
 Erosjonsområder
 Elvelletter - slam og sand
 Strandkråning - sand
 Grunnmarin sand
 Grunnmarin slam
 Vulkanske avsetninger

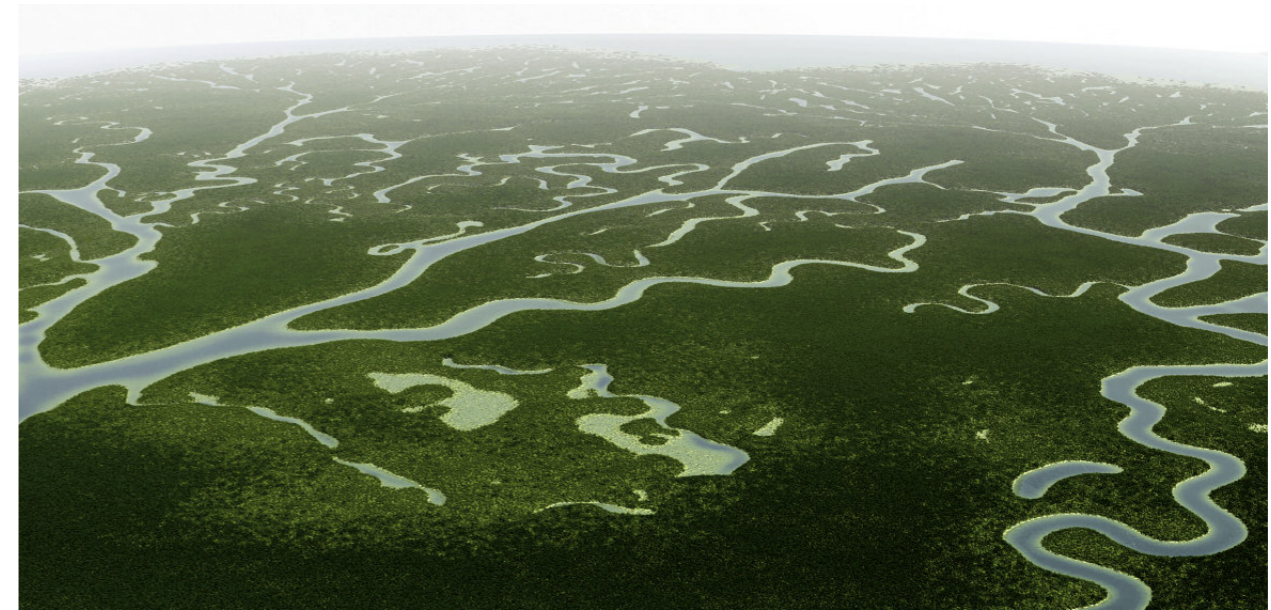
Det nordlige Nordsjø-området sank jevnt inn gjennom tidlig- og mellomjura. De områdene som ble varmet mest opp under riftingen i perm-trias, fikk nå den største avkjølingen. Avkjøling fører til at jordskorpen får større tetthet og blir tyngre. Den synker dermed lenger ned i mantelen. Innsynkingen var størst i sentrale deler av den gamle riftstrukturen, fordi varmetilførselen var høyest her under oppsprekkingen. Den undre og midtre juraiske lagrekken øker derfor i tykkelse fra kantene inn mot sentrum av Nordsjøbassenget.

Innsynkingen var ledsaget av bevegelser langs de gamle hovedforkastningene fra perm-trias. Forkastningene delte undergrunnen opp i større forkastningsblokker. I Nordsjøen ser vi ingen tydelige tegn til at forkastningsblokkene roterte. Det tyder på at

det ikke foregikk aktiv strekking. Forkastningsbevegelser henger trolig mer sammen med variabel kompaksjon i de underliggende perm-triasbassengene.

I begynnelsen av juraperioden ble forkastningsbassengene fra perm-trias i Nordsjøen fylt igjen med sand og rødfargete slam som ble avsatt i elvekanaler og på store elvelletter. Disse sand- og slamlagene har fått navnet Statfjordformasjonen. Den nedre delen av Statfjordformasjonen består av rødfargete elvelletteder. Den øvre delen blir gradvis mer grågrønn, og helt øverst finnes tynne lag med svart kullholdig slamstein. Det gjenspeiler overgangen fra tørt til fuktig klima i tidligjura.

På grunn av innsynkingen ble de tidligste juraslettene gradvis oversvømt, og kystlinjen rykket innover



Det store Brentdeltaet dekket hele den nordlige Nordsjøen i midtjura. Det må ha vært et imponerende skue sett ovenfra, med store elver som rant fra sør mot nord. (Illustrasjon: R.W. Williams).

land. Forflytningen av kystlinjen vises ved at elveavsetningene blir dekket av lag med sandsteiner som ble avsatt i kystsonen. Etter hvert ble elvellettene fullstendig oversvømt og dekket av et grunt hav. I grunnhavet fikk vi avsetning av svart marint slam. Disse avsetningene kalles Amundsenformasjonen.

Fargeovergangen fra svarte marine leirsteiner i Amundsenformasjonen til røde og grågrønne elvelletteavsetninger i Statfjordformasjonen er lett å gjenkjenne under oljeboringer. Denne grensen er også lett å finne på de seismiske profilene som er så viktige for oljeletingen. Seismiske bølger beveger seg langsommere i de svarte marine slamsteinene enn i de underliggende elvederimentene. Det gir en ekstra sterk refleksjon fra grenseflaten, som fungerer som et speil for de seismiske bølgene.

Fastlandet heves

Samtidig med innsynkingen i det nordlige Nordsjø-området ble Fastlands-Norge hevet. Nedslitingen av eldre sedimenter og grunnfjellsbergarter på fastlandet gav opphav til sandige deltaer som bygde seg vestover ut i Nordsjøbassenget. Fordi fastlandet ikke raget særlig høyt, ble det ikke så store sedimentmengder tilgjengelig. Deltaene strakte seg derfor stort sett ikke lenger vest enn til der Osebergfeltet ligger i dag, utover til Gullfaksfeltet.

På den andre siden av Nordsjøen var Shetlandsplattformen og deler av det skotske høylandet kildeområde for sedimenter som ble ført ut i Nordsjøbassenget. Tampen-området og Shetlandsplattformen var på denne tiden dekket av et grunnhav.

Som vi skal se i seinere kapitler, har Sognefjord-området vært en viktig dreneringssvei for grus, sand og slam fra Fastlands-Norge ut i Nordsjøbassenget. I tidligjura skjedde det tre markerte deltautbygginger som alle er konsentrert på sokkelen utenfor munningen av Sognefjorden. Disse tre utbyggingene kalles Johansen-, Cook- og Osebergformasjonene, og er et tegn på at det fantes en gammel "Sognefjorddalen" der hvor Sognefjorden ligger i dag. Fronten på deltaene var halvmåneformet. Denne formen oppstår når store og hyppige bølger omarbeider kystsonen ytterst på deltaene. Slike deltaer kaller vi for bølgedominerte.

Tidligjura i det sørlige Nordsjø-området vet vi svært lite om, da området ble hevet og erodert i mellomjura. Det finnes imidlertid spredte rester etter marine leirsteiner, noe som forteller oss at tidligjurahavet trolig også dekket mesteparten av den sørlige Nordsjøen.

Nordsjødomen

Ved overgangen til mellomjura førte bevegelsen av litosfæreplatene etter oppdelingen av Pangea til at

Slik kan det ha sett ut i juraperioden på kontinentalsokkelen. De grunne sjøene på kyst- og deltaslettene var omgitt av sumpplanter. Dinosaurer i alle størrelser og flygende ogler levde i disse områdene. (Illustrasjon fra R.W. Williams)

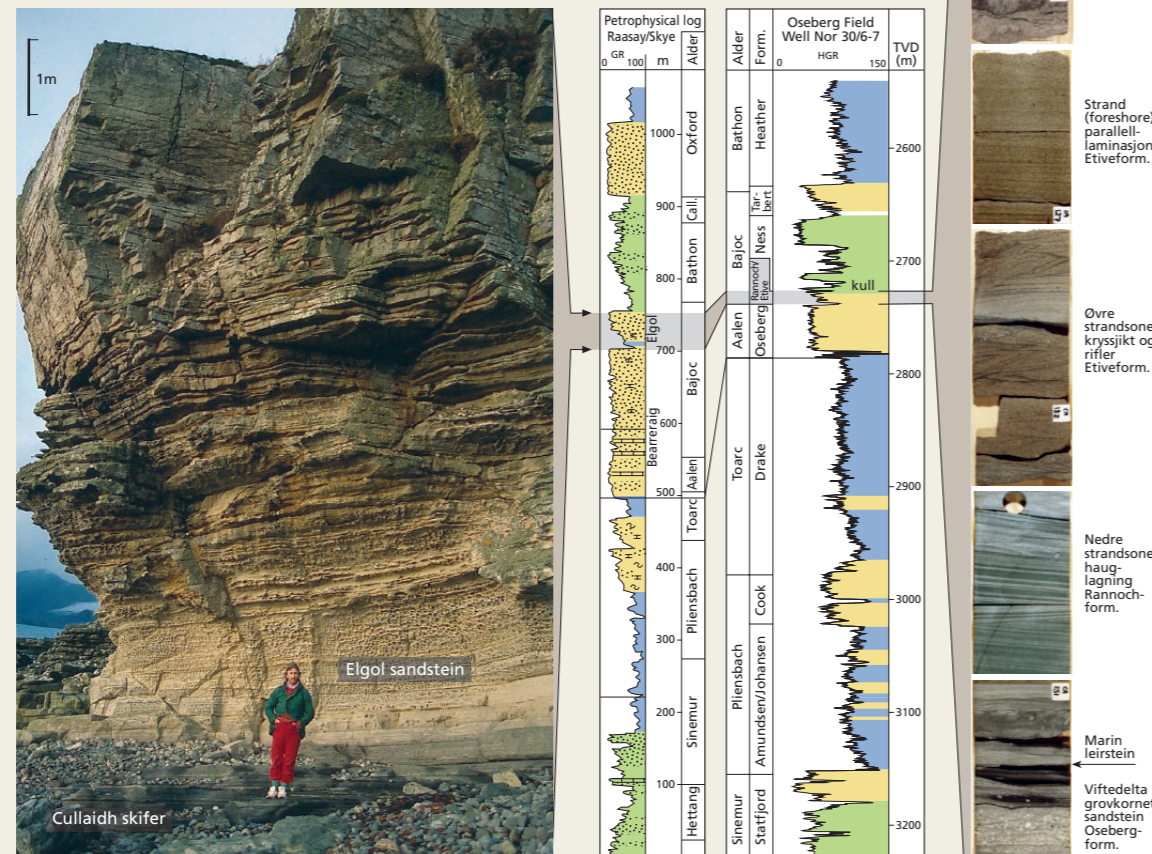


NORDSJØENS LAGREKKE KAN STUDERES I SKOTTLAND

På øyene Skye og Raasay i Indre Hebridene, Skottland, finnes jurabergarter som er nærmest et speilbilde av geologien på Osebergfeltet. Sedimentlogger fra Hebridene og Osebergfeltet viser en lik utvikling. Undre jura starter med elveavsatte sandsteiner i begge områder. Så følger marine slamsteiner og sandsteiner. Den midtre juraiske Bearreraigsandsteinen på Hebridene er ekvivalent til Osebergformasjonen, mens Elgolsandsteinen tilsvarer Rannoch- og Etiveformasjonene. Elgolsandsteinen og Rannoch- og Etiveformasjonene i Osebergområdet er omtrent jevntykk, ca. 10 til 15 meter. I Nordsjøen ellers er Rannoch- og Etiveformasjonene til sammen typisk mellom 80 til 120 meter tykk.

Kjernebildene viser eksempler fra Rannoch-, Etive- og Nessformasjonene. Lignende sedimentære strukturer finner vi i Elgolsandsteinen. Begge enheter starter med svart slamstein i bunn. Den blir dekket av finkornet sandstein med hengeskøy-lagning, etterfulgt av mediumkornet sandstein med kryssjikt og parallell-lagning. En slik utvikling, med gradvis grovere lag oppover, er typisk for en strandsone som bygger seg ut i et basseng.

Man kan ofte lese kornstørrelsesvariasjoner fra bergartenes profil i terrenget. Fotoet fra Hebridene viser at den finkornete sandsteinen nederst er mest erodert, mens den grovere sandsteinen øverst er mer motstandsdyktig og danner et overheng. På gammaloggen fra Oseberg inneholder den finkornete sandsteinen mer leirfragmenter og har derfor høyere gammastråleavlesning, mens den grovere sandsteinen inneholder mindre leire og gir mindre utslag. Gammaloggen gir derfor et oppgrovende profil ganske likt profilet fra Elgolsandsteinen.



Korrelasjon mellom Oseberg-Rannoch-Etveformasjonene på Osebergfeltet og Bearreraig-Elgolsandsteinene på Hebridene i Skottland. (Raasay/Skye sedimentlogg fra R.J. Steel). Utvalgte borkjerner fra Oseberg-Rannoch-Etveformasjonene er satt sammen vertikalt. De ulike avsetningstypene danner en oppgrovingssekvens, tilsvarende vitringsprofil som sees på fotoet fra Hebridene. (Alle foto: E.P. Johannessen)

det sørlige Nordsjøbassenget bevegde seg inn over et område med ekstra varm mantel. Den varme mantelen førte til termisk heving av store deler av det sørlige Nordsjø-området, mens det nordlige Nordsjø-området sank videre inn. Den hevete strukturen i sør har fått betegnelsen Nordsjødomen. Hevingen førte til erosjon og resulterte i en regional inkonformitet, den såkalte midt-kimmeriske inkonformiteten. Erosjonen øker inn mot sentrale deler av domen, der midtre juraiske avsetninger ligger direkte på bergarter av tidligtrias alder. På flanken av domen, inn på engelsk side, var det aktive vulkaner som avsatte tykke lag med basaltlava. Disse basaltene kalles for Rattrayvulkanittene.

Brentdeltaet bygger seg nordover

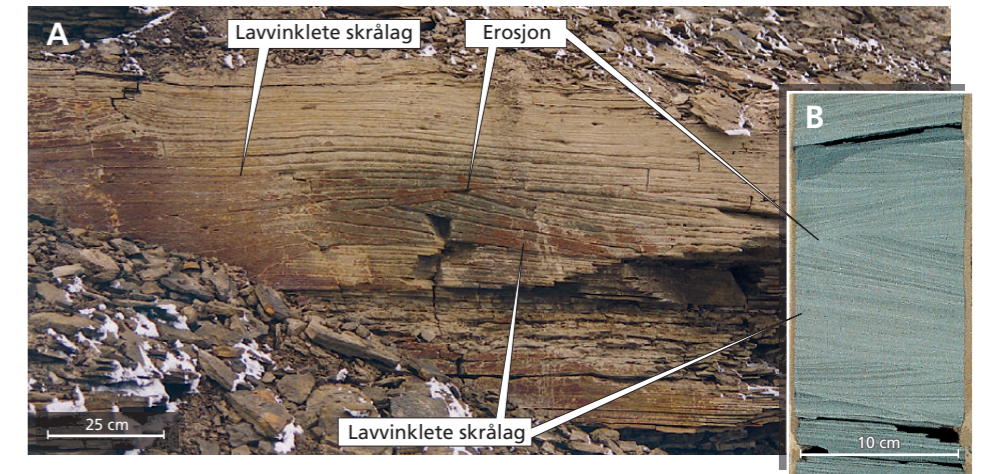
Nordsjødomen var et stort landområde som bestod av underjuraiske og triasiske bergarter. Disse bergartene var lette å erodere, og store mengder sand og slam ble fraktet mot nord, ut på det såkalte Brentdeltaet. Avsetningene kalles for Brentgruppen.

Brentgruppen er den viktigste oljeproduerende bergartsenheten på norsk sokkel. Den består av fem formasjoner, Broom-, Rannoch-, Etive-, Ness- og Tarbertformasjonene, og forbokstavene har gitt opprinnelsen til ordet Brent. Broomformasjonen finnes kun på den engelske siden av Nordsjøen. Den er avsatt til samme tid som Osebergformasjonen på norsk side. Siden Brent er et engelsk navn, er det Broom som er brukt i navnet av Brentgruppen.

Nyere geologiske tolkninger setter spørsmålsteget ved Broom- og Osebergformasjonenes tilknytning til Brentgruppen. I dag mener geologene at disse formasjonene ble dannet uavhengig av Brentgruppen, som sandige deltautbygginger fra Shetlandsplattformen og Fastlands-Norge.

Brentdeltaet fylte hele det nordlige Nordsjø-området og var så stort at det dannet en sammenhengende strandsone på tvers av Nordsjøbassenget fra kysten av Vestlandet til Shetlandsplattformen. Dagens Jærstrender blir små i sammenligning. Da denne strandsonen gradvis bygde seg nordover, etterlot den en tykk lagpakke med sand som seinere skulle bli Norges viktigste reservoarbergart.

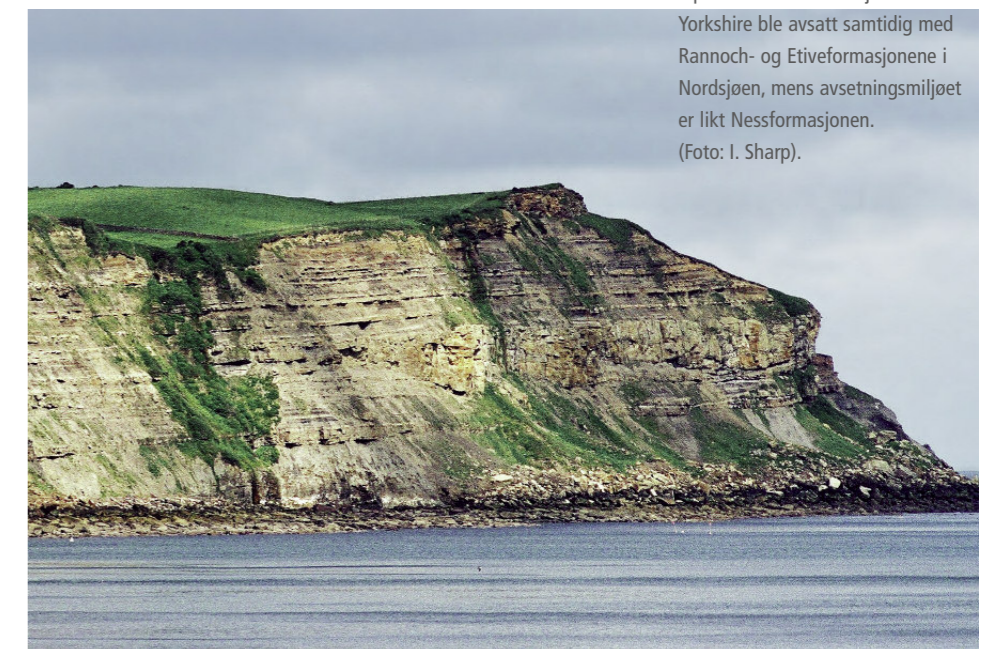
Lengst utenfor kystlinjen ble det avsatt finkornet sand og silt. Disse avsetningene ligger nå nederst i lagpakken og kalles Rannochformasjonen. Like



foran og i selve strandsonen ble det avsatt grovere, godt sortert sand. Disse lagene tilhører Etiveformasjonen og ligger oppå de mer finkornete lagene i Rannochformasjonen. Til sammen danner de det som geologene kaller for en oppgrovingssekvens. Slike oppgrovingssekvenser er typiske for kystlinjer som bygger seg ut i havet (sekvens, se kapittel 2).

Flere framstøt

Utbyggingen av Brentdeltaet startet beskjedent ut fra domen i sør, men deltaet dekket raskt hele det nordlige Nordsjøbassenget. Brentdeltaet bygde seg nordover i flere store framstøt, hvorav de tre siste er kartlagt i stor detalj. Under det tredje siste framstøtet nådde kystlinjen helt fram til Gullfaksfeltet. Etter det nest siste lå kystlinjen 20 kilometer lenger nord og dekket Visundfeltet, mens det siste framstøtet førte til at deltaslettene dekket nesten hele Tampen-området. Kystlinjen lå da omtrent på høyde med det nordligste punktet på Snorrefeltet.



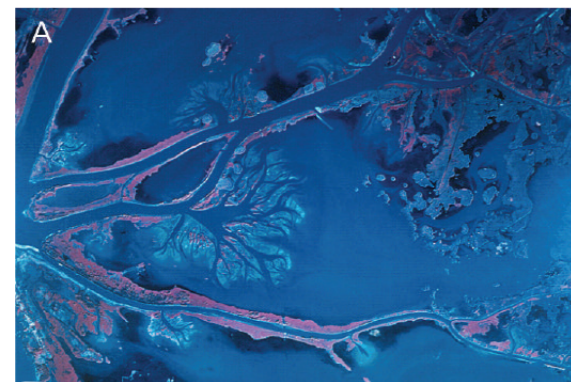
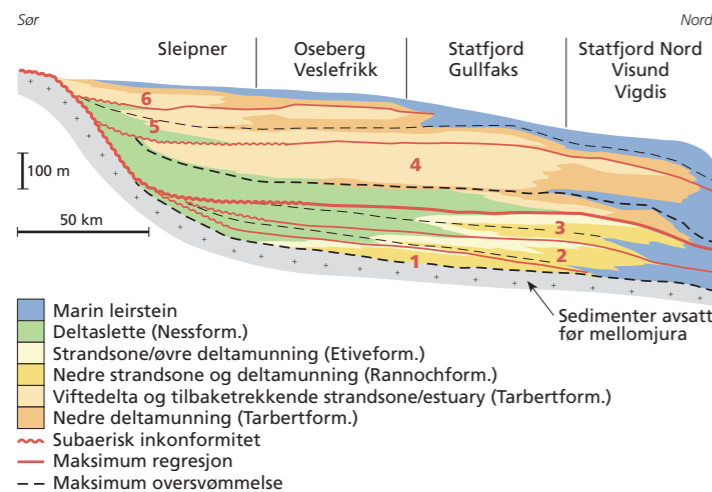
A) Hauglagning er en sedimentær struktur dannet av stormbølger langs en bølgedominert kystlinje, spesielt i midtre til nederste strandsonen. Haugstrukturen på bildet er fra kenozoiske lag på Svalbard og har en undre grense som eroderer ned i underliggende stormlag, mens selve strukturen består av kurvet, lavvinklet skrålagning. B) Hauglagning i borkjerne fra Rannochformasjonen, i brønn 30/9-8 på Osebergfeltet. (Begge foto E.P. Johannessen)

Deltaslette-avsetninger fra Saltwickformasjonen i Whitby, Yorkshire. I klippeveggen sees flere store elvekanal-avsetninger, 5-10 meter tykke og 50-100 meter brede. Kanalavsetningene ligger innkapslet i lagdelt slam og sand som ble avsatt på flomslettene mellom elveløpene. Saltwickformasjonen i Yorkshire ble avsatt samtidig med Rannoch- og Etiveformasjonene i Nordsjøen, mens avsetningsmiljøet er likt Nessformasjonen. (Foto: I. Sharp).



A) Bildet viser et mindre buktdelta fra det store Mississippideltaet. (Foto: M.O. Hayes). B) Borkjerne fra brønn 30/9-8 på Osebergfeltet. Kjerneprøven består av sandstein, med et kullag øverst. Under kullet sees fossile planterøtter. Da Brentdeltaet trakk seg tilbake, ble deltaslettene omgjort til store laguner og brakkvannsbukter. Kjerneprøven representerer øverste del av en buktinnfylling. (Foto: E.P. Johannessen)

Geologisk tverrsnitt av Brentgruppen, fra sør mot nord. Enhetene 1 til 3 var avsatt mens deltaet bygde seg nordover, mens enhetene 4 til 6 ble avsatt da deltaet trakk seg tilbake mot sør. De største feltene i Nordsjøen som produserer fra Brentgruppen, er plassert inn i relativ posisjon langs Brentdeltaet. (Figur modifisert fra R. Mjøs m.fl.)



Brentdeltaets kystlinje passerte sannsynligvis aldri 62 grader nord, og deltiske sandsteiner fra Brentgruppen finnes derfor ikke utenfor Møre-kysten.

Deltaoverflaten var kjennetegnet av store slette- og våtmarksområder. På slettene rant elver, typisk fem til ti meter dype. Med tiden ble elvekanalene fylt igjen med sand, mens silt og leire ble avsatt på siden av elveløpene og på elveslettene i flomperioder. Disse avsetningene kalles Nessformasjonen. Mellom elvekanalene var det store sumpområder og torvmyrer, som seinere ble omdannet til kullag. I kystsonen foran på deltaet ble sedimentene omarbeidet av bølger og dannet milelange sandstrender.

Brentdeltaet hadde, akkurat som deltaene i tidlig-jura, en halvmåneformet, konveks kystlinje. Det tyder på at Nordsjøbassenget må ha vært et relativt åpent basseng med store bølger. Bølgene omarbeidet sanden som kom ut fra elvene og fordelte den langs hele kystlinjen. Form og størrelse på Brentdeltaet er sammenlignbart med det store Nildeltaet i Egypt og Nigerdeltaet i Vest-Afrika.

Ved utløpet av de største elvene oppstod det lokale utbulinger av kystlinjen. Det skyldes at disse elvene

førte med seg så mye sand og slam at havet og bølgene ikke klarte å refordle det fort nok. De store elvesystemene danner ofte mindre deltaer oppå hoveddeltaet. De kalles deltalober.

Rannoch- og Etiveformasjonene, samt nedre del av Nessformasjonen, ble avsatt under framrykking og utbygging av Brentdeltaet. Disse lagene er relativt jevntykke over store deler av Nordsjøen.

Brentdeltaets "død"

Seint i mellomjura fikk vi en begynnende oppsprekking i Nordsjøen. I seinjura ledet det til dannelse av en markant riftstruktur, slik som i perm-trias (se kapittel 12). Det førte til innsynking og en langsom tilbaketreking av Brentdeltaet, som hadde dominert landskapet i 5-6 millioner år. Tilbaketrekingen resulterte i at tykke lag med sand fra kystsonen nå ble avsatt oppå deltasletten. Disse lagene har fått navnet Tarbertformasjonen. Tarbertformasjonen består av flere mindre oppgrovssekvenser, lik den i Rannoch- og Etiveformasjonene, med tynne kullag og deltasletteavsetninger imellom. Det viser at Brentdeltaet, på tross av den generelle tilbaketrekingen, hadde flere mindre framstøt.

Innsynkingen var størst langs aksene av den kommende riftstrukturen, i det som ble Vikingrabenen og Sentralrabenen. Første fase i døds-kampen kjennetegnes ved at flere av de store forkastningsblokkene begynte å rotere svakt. På overflaten av Brentdeltaet kunne en ikke se store endringer, men som følge av at forkastningsblokkene ble skråstilt, fikk en over tid tynnere avsetninger øverst på blokkene. I noen tilfeller var det ingen avsetning, eller til og med erosjon. Lenger nede på blokkene fikk en tykkere avsetninger. Slike tykkelsesvariasjoner kan sees i øvre del av Brentgruppen, i øvre del av Nessformasjonen og den overliggende Tarbertformasjonen, og brukes av geologene for å tidfeste nøyaktig starten av den seinjuraiske riftfasen.

Etter hvert økte oppsprekkingen og innsynkingen langs riftstrukturen, og domene i den sørlige Nordsjøen sank inn. Det førte til at sedimenttilførselen avtok og Brentdeltaet trakk seg sørover, men med mindre lokale framstøt der hvor de store sedimentrike elvene nådde kysten. Brentdeltaet fikk etter hvert form av en stor bukt mot sør og mottok en stadig større andel av sediment fra sidene, fra Fastlands-Norge og Sjetlandsplattformen. Til sist

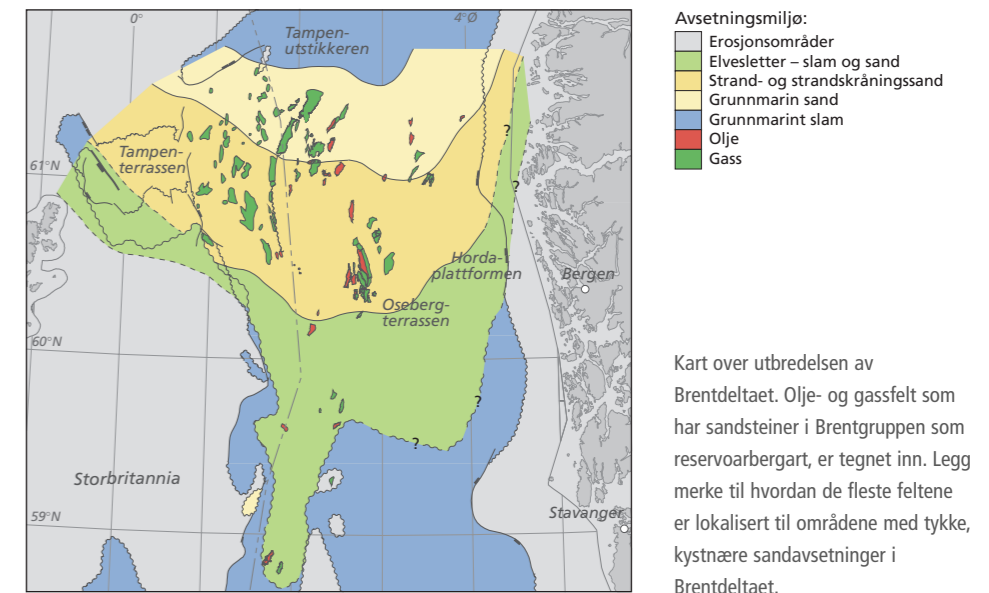
ble det engang så mektige deltaet totalt oversvømt, og havet steg innover Nordsjødomen i sør.

Den stratigrafiske oppbyggingen av Brentgruppen er "symmetrisk", med kystsoneravsetninger nederst, deltasletteavsetninger i midten og kystsoneravsetninger øverst. Det gjenspeiler den storskala geologiske utviklingen, med framrykking etterfulgt av tilbaketreking av Brentdeltaet.

Norges viktigste reservoarbergarter

Enorme mengder sand ble avsatt i Nordsjøen gjennom tidlig- og mellomjura. Sandlagene er tykke og har stor utbredelse. De er ofte godt sorterte, med god porøsitet, noe som gjør dem til gode reservoarbergarter.

Mer enn halvparten av Norges samlede olje- og gassressurser finnes i tidlig- og mellomjuraiske reservoar-

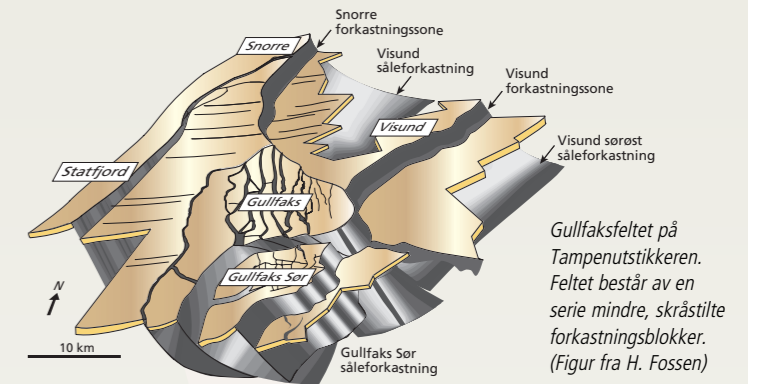


Kart over utbredelsen av Brentdeltaet. Olje- og gassfelt som har sandsteiner i Brentgruppen som reservoarbergart, er tegnet inn. Legg merke til hvordan de fleste feltene er lokalisert til områdene med tykke, kystnære sandavsetninger i Brentdeltaet.

bergarter. To tredjedeler av disse ressursene ligger i Nordsjøen, med sandsteinene i Brentgruppen som den desidert viktigste reservoarbergarten.

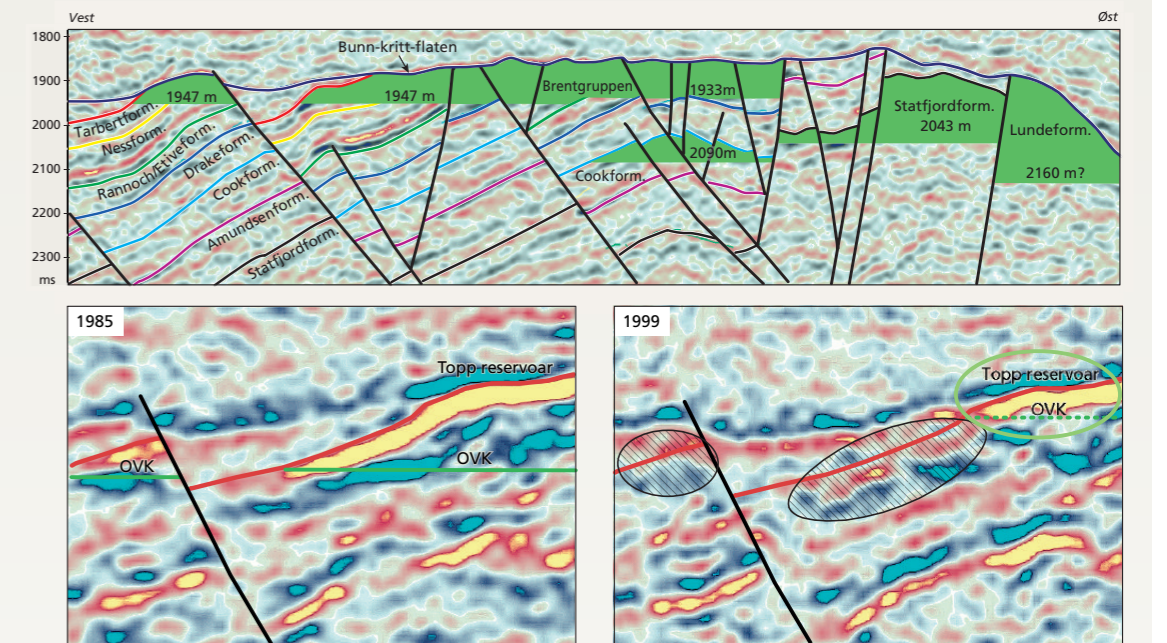
GULLFAKS – OLJE I MANGE LAG Av Eirik Graue

Gullfaks ble funnet i 1978, og oljeproduksjonen startet i 1986. Feltet har et areal på 51 kvadratkilometer og ligger på en rotet forkastningsblokk på Tampenutstikkeren, med flere andre store felt som naboer. Hovedreservoaret på Gullfaks er Brentgruppen, men olje er også funnet i de dypere Cook-, Statfjord- og Lundefformasjonene. 142 brønner er boret på feltet. Oljekolonnen er på 250 meter, og totale oljereserver er estimert til 342 millioner kubikkmeter olje. Reservoarbergartene har svært gode egenskaper, med porøsitet mellom 20 og 34 prosent og permeabilitet opptil fire darcy. Fordi strukturen ligger ganske grunt, er reservoaret på Gullfaks lite sementert og ganske løst. Det fører til at sand lett kan bli produsert sammen med oljen. Sand i produksjonsprosessen tærer voldsomt på utstyr og anlegg. For å hindre sand i å strømme inn i brønnene er ulike løsninger som sandskjermer og gruspakking tatt i bruk.



Gullfaksfeltet på Tampenutstikkeren. Feltet består av en serie mindre, skråstilte forkastningsblokker. (Figur fra H. Fossen)

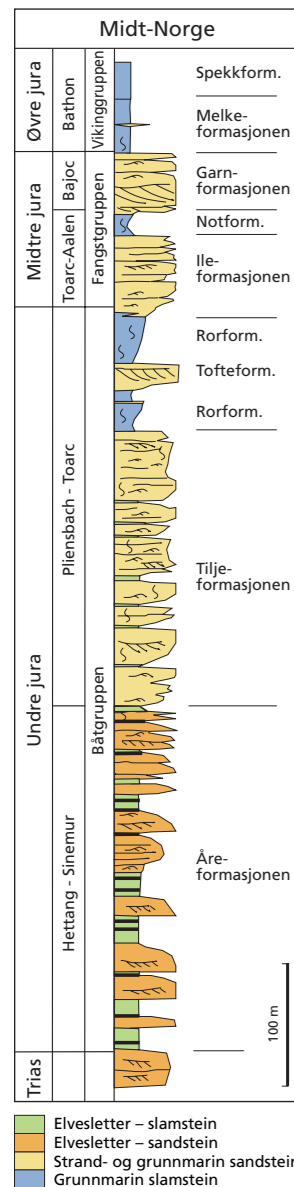
Ved hjelp av såkalt firedimensjonal seismikk (4D-seismikk) kan geologene følge med på mengden produsert olje på Gullfaks og samtidig kartlegge hvor det ligger små oljelommer igjen som brønnene ikke har nådd fram til. 4D-seismikk betyr å skyte ny seismikk med noen års mellomrom. Ved å gjenta de seismiske målingene under produksjonen kan man se hvordan kontakten mellom olje og vann har beveget seg på grunnlag av forandringene i hastighet og tetthet. På den måten kan en se hvordan oljefeltet tømmes, og det kan bores nye brønner der det er dårlig drenering.



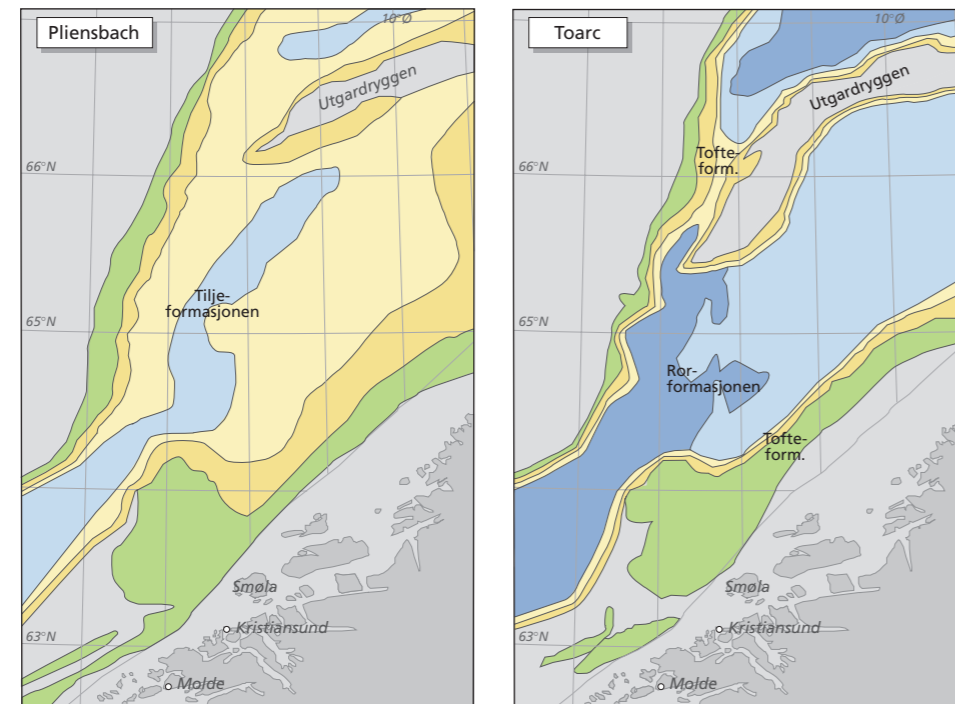
Avtegning av seismisk snitt fra Gullfaksfeltet. Reservoaret på Gullfaksfeltet er svært komplekst, med produksjon fra fire ulike reservoarnivåer i øvre trias, under- og midtre jura. OVK = olje-vannkontakt. De to nederste figurene viser hvordan de seismiske signalene har forandret seg fra 1985 til 1999. OVK har flyttet seg høyere opp på strukturen og gjenværende oljevolum har minket. (Figurer fra T. Husmo m.fl., Millennium Atlas)

Sedimenter fra Grønland invaderer Norskehavet

Norskehavet var et relativt smalt sedimentasjonsbasseng gjennom tidlig- og mellomjura, uten store jordskorpebevegelser og med kort avstand fra Norge til Grønland.



Skjematisk, vertikal sedimentlogg (typelogg) for Haltenbanken. Her vises en gradvis overgang fra elveavsetninger i trias, gjennom vekselvise elveavsetninger og kystnære sandsteiner i undre jura, til marine sand- og slamsteiner i midtre jura. (Figur fra J.G. Gjelberg)



Avsetningsmiljø:
 Erosjonsområder
 Elvesletter – slam og sand
 Strandskråning – sand
 Grunnmarin sand
 Grunnmarin slam
 Dypmarin slam

Området var preget av fortsatt avkjøling og passiv innsynking etter de omfattende riftbevegelsene i perm-trias. Utenfor Midt-Norge finnes imidlertid noen skråstilte forkastningsblokker, som er et tegn på strekking. Dette er forkastninger som ble dannet i forlengelsen av den pågående havbunnsspredningen lenger sør mellom Vest-Europa og Canada. Store sedimentmengder ble ført inn i dette bassenget fra Fastlands-Norge i øst og fra Grønland i vest. Grønland lå på dette tidspunktet mindre enn 200 kilometer fra Midt-Norge, tilsvarende avstanden fra Bergen til Stavanger. Sedimenter fra Grønland ble avsatt i de ytre bassengområdene på midtnorsk sokkel. Geologene tror også at det på denne tiden fan-

tes noen store øyer mellom Midt-Norge og Grønland. Disse øyene var kildeområde for sedimenter som ble transportert østover inn på midtnorsk sokkel.

Tidlig- og mellomjura var kjennetegnet av en veksling mellom grunnhav og kystsletter, et resultat av en vedvarende kamp mellom innsynking og kystlinjeframstøt. Langs kystlinjen hadde en små deltautbygginger, både fra Fastlands-Norge og fra de store øyene i vest. Noen av framstøtene fra Grønlandssiden strakte seg svært langt inn på midtnorsk sokkel, nesten inn i fjæresteinene langs norskekysten.

Geografi og avsetningsmiljø på midtnorsk sokkel i tidligjura. Skissen viser to stadier i den geologiske utviklingen, pliensbachstadiet og toarcstadiet. I pliensbachstadiet var det kystsletter og tidevannsdeltaer tilhørende Tiljeformasjonen, i den trange passasjen mellom Midt-Norge og Grønland. I toarcstadiet ble kystslettene oversvømmet og dekket av marin slam, tilhørende Rorformasjonen. Noen steder langs kystlinjen fantes sandige deltaer. Disse deltaene hører til Tofteformasjonen. (Figur modifisert fra J.G. Gjelberg)



Et stort deltasystem tilsvarende Brentdeltaet i Nordsjøbassenget ble imidlertid aldri dannet. Det skyldes at dreneringen ut på midtnorsk sokkel var spredt, med mange mindre dreneringsbassenger og dreneringsutløp langs kystsonen. Brentdeltaet derimot fikk mye av sedimentene fra ett stort bakenforliggende dreneringsbasseng, og mye av dreneringen ble konsentrert inn i bunnen av en stor havbuket.

På samme måte som i Nordsjøområdet var bassengområdene på midtnorsk sokkel fylt opp med rød-fargete elve- og elveslettederiver ved slutten av triastiden. Det fuktige klimaet i jura gjorde at elveslettene hurtig ble dekket av vegetasjon, og tidligst i jura var bassengene i Norskehavet dominert av store sletter med sakteflytende elver og sumpområder med tett vegetasjon.

På de store elveslettene ble det først avsatt sand og slam, rike på plantemateriale. Elveavsetningene har fått navnet Åreformasjonen. Elvene kunne være flere titalls meter dype og flere hundre meter brede, med sand i selve elvekanalene og silt og leire som flomavsetninger på elveslettene. Jordsmonnet på elveslettene inneholdt mye humus, som følge av at den rike vegetasjonen ble brutt ned. Mellom elvekanalene fantes vidstrakte sumpområder, hvor råtnende planterester samlet seg opp til tykke torvmyrer.

Store kullforekomster

Når torv blir begravd, fører økende trykk og temperatur til at den langsomt omdannes til kull. En tommelfingerregel sier at kull er presset sammen til ca. en tolvdel av det opprinnelige torvlaget. Mye av sammenpressingen skjer imidlertid like under overflaten, i den øverste meteren av torvmyra.

De fleste kullagene på midtnorsk sokkel er mindre enn en meter tykke, men noen av lagene er på flere meter. I Midgard-området, rett vest for Sklinna, utgjør kullagene til sammen mer enn 70 meter av lagpakken og forteller oss om forekomst av store torvmyrer.

Sumpområdene ble periodevis oversvømt, og grunne innsjøer oppstod mellom elvekanalene. Innsynking førte imidlertid til at havet etter hvert trengte inn over elveslettene og dannet mindre havbukter og laguner med brakkvann. Elvene ble samtidig mindre, og ansamlingen av plantemateriale som seinere kunne gi opphav til kull, stoppet nesten helt opp. Avsetningsmiljøet ble gradvis mer marint.

Malakkastredet mellom Sumatra og Malaysia. Stredet, som forbinder Det indiske hav med Sør-Kinahavet, er 800 kilometer langt og kun 65 kilometer bredt på det smaleste. Stredet er fra 10 til 70 meter dypt, og tidevannsforskjellen øker fra to meter ute i stredet til fire meter inn mot kysten. Tidevannsstrømmen når lokalt opp i fem meter per sekund: I tidligjura var det et lignende smalt og grunt havområde mellom Norge og Grønland, med svært sterke tidevannsstrømmer og dannelse av sandbanker og deltaer. (Foto: NASA)



Borkjerne fra Ileformasjonen i brønn 6506/12-1, på Haltenterrassen. Bildet viser lagdelt sandstein og slamstein, med vertikale og horisontale gravespor. (Foto: Statoil)

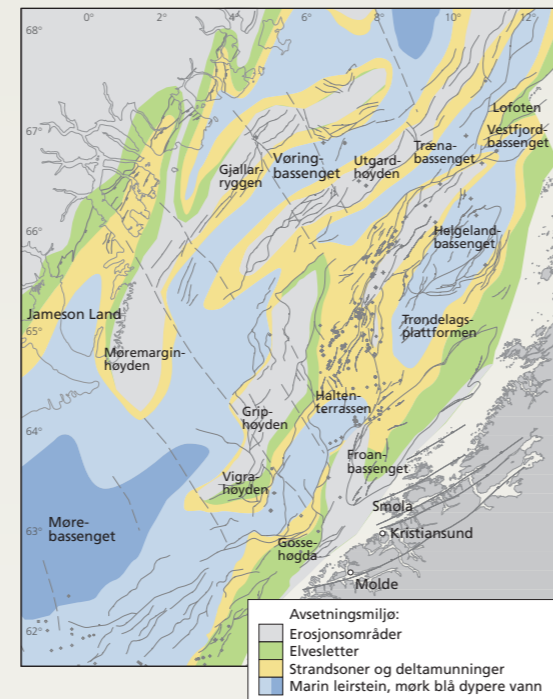
HAR GRØNLAND NOE Å FORTELLE? Av John G. Gjelberg

Øst-Grønland er som en geologisk historiebok for midtnorsk sokkel. Selv om sedimentasjonsbassenget på Jameson Land på Øst-Grønland trolig var skilt fra Norskehavet, kan mange av de samme utviklingstrekkene i lagrekken gjenkjennes.

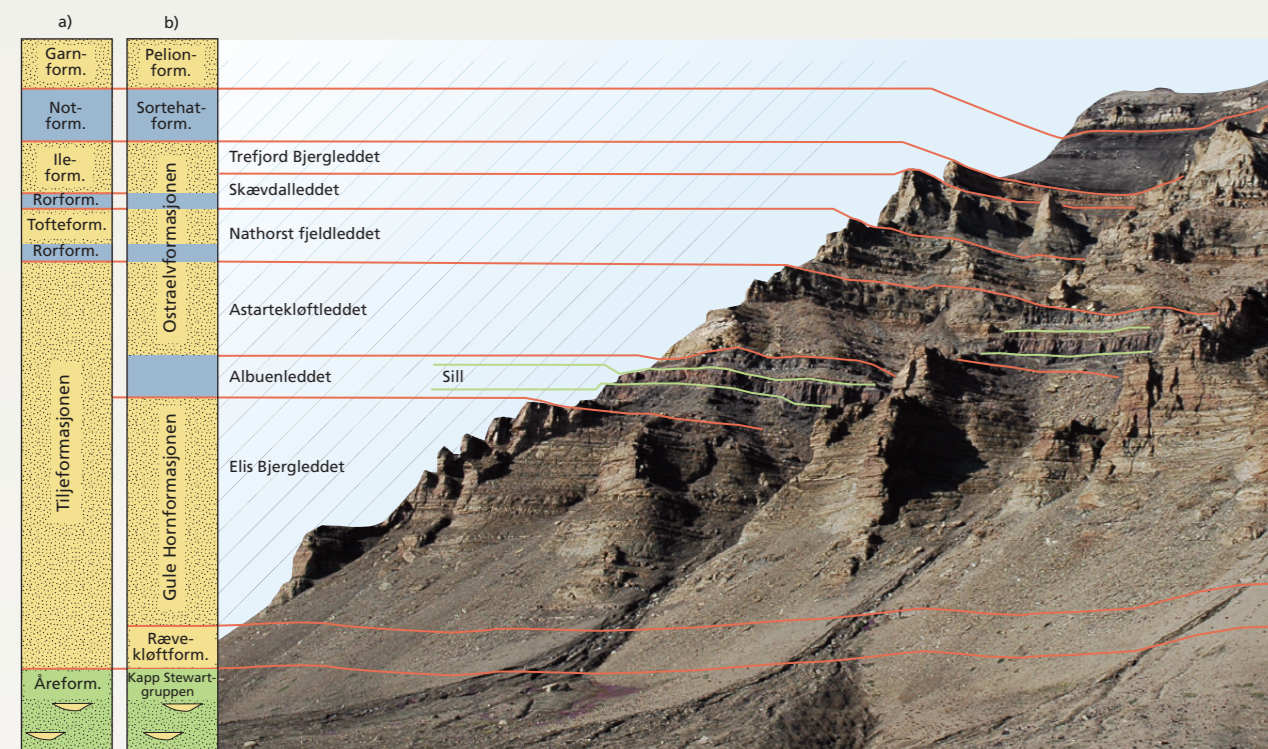
Kapp Stewartgruppen på Øst-Grønland ble avsatt samtidig med Åreformasjonen på midtnorsk sokkel. Gruppen består hovedsakelig av elveslette- og innsjøavsetninger. Den sentrale delen av bassenget på Øst-Grønland var gjennom lengre perioder dominert av en permanent innsjø med avsetning av finkornige slamsteiner, rik på organisk materiale. Disse slamsteinene har et kildebergartspotensial. Tykke innsjøavsetninger er så langt ikke påvist i Åreformasjonen, selv om grunne innsjøer var vanlig på jurafloresletten.

Gule Hornformasjonen og nedre del av Osterelvformasjonen på Øst-Grønland består av sandsteiner og slamsteiner med tidevannsstrukturer, tilsvarende Tiljeformasjonen i Norskehavet. I midtre deler av Osterelvformasjonen finner vi grunnmarine sandsteiner. Endringen fra tidevann til grunnmarine avsetninger er svært markert og helt ekvivalent til overgangen mellom Tilje- og Rorformasjonen. Midtre deler av Osterelvformasjonen (Nathorst fjelddedde) inneholder sand, grus og slamsteiner, avsatt i kystsonen under gradvis stigende havnivå. Det er likt Tofteformasjonen. Den øverste delen av Osterelvformasjonen kan mest sannsynlig korreleres til Ileformasjonen i Norskehavet.

Slamsteinene i Sortehatformasjonen på Øst-Grønland tilsvarer Notformasjonen i Norskehavet. Pelionformasjonen på Øst-Grønland er ekvivalent med Garnformasjonen på midtnorsk sokkel. De består begge av strandonesedimenter som ble avsatt langt innover de lave kystslettene. På overgangen til seinjura ble det avsatt marint slam i Fossilberg- og Jacobsstigeformasjonene på Øst-Grønland og Melkeformasjonen i Norskehavet.

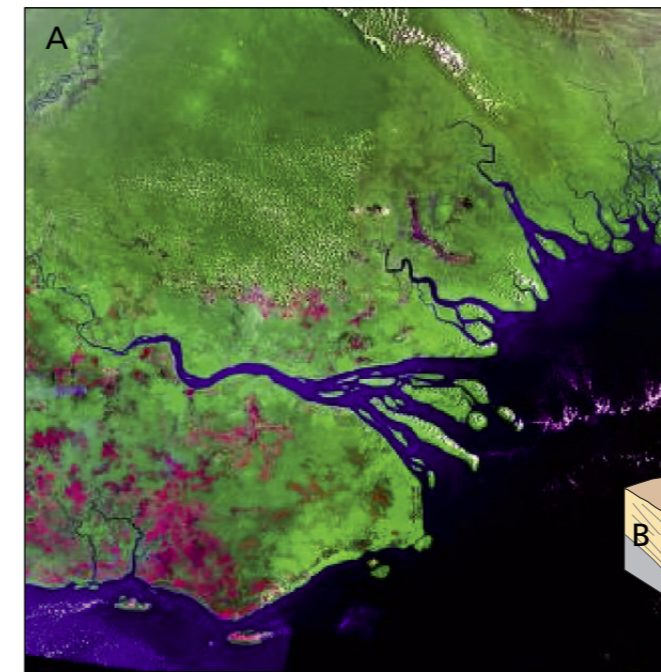


I mellomjura bestod området mellom Øst-Grønland og Midt-Norge av mange bassenger atskilt av store høydedrag, som var erosjonsområder for delta- og kystutbyggingene en finner i Pelion- og Garnformasjonene.



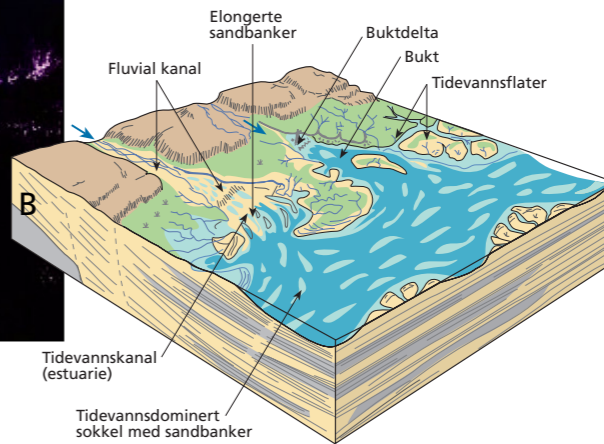
a) Trøndelagsplattformen b) Øst-Grønland
Avsetningsmiljø:
Elvesletter – slam og sand
Strand- og grunnmarin sand
Marint slam

Jameson Land på Øst-Grønland. Det er svært god korrelasjon mellom Øst-Grønland og Midt-Norge, med elveavsetninger i trias og undre jura som går over i kystnære og marine sandsteiner og slamsteiner sent i undre og midtre jura. (Foto: B.T. Oftedal)



A) Tidevannsdelta fra Papuabukta, Ny-Guinea. Tidevannsdeltaet består av avlange sandbanker atskilt av tidevannskanaler. Innerst på deltaet sees en traktformet estuarie, som går over i en svingete elvekanal. (Foto: NASA).

B) Skjematisk avsetningsmodell for Tiljeformasjonen, med traktformete estuarier og sandbanker. (Figur fra J. Gjelberg)



Borkjerne fra Garnformasjonen i brønn 6506/12-1, på Haltenterrassen. Bildet viser skråsjiktet sandstein. De parvise, mørke båndene er slam og kalles av geologene for doble draperinger. De er typisk for tidevannsstrømmer og avsettes i den rolige perioden når tidevannsstrømmene snur. (Foto: Statoil)



Borkjerne fra Ileformasjonen på sørlige Haltenterrassen. Bildet viser skråsjiktet sandstein avsatt i en elvekanal fra 6506/12-1. (Foto: Statoil)



Borkjerne fra Ileformasjonen i brønn 6506/12-1, på Haltenterrassen. Bildet viser lagdelt sandstein og slamstein avsatt på tidevannsflette, med store, vertikale gravespor. (Foto: Statoil)

Tidevannet kommer

Innsynkingen førte etter hvert til at det ble et grunt havområde mellom Norge og Grønland. Det grunne havet hadde sterke tidevannsstrømmer. Tidevannsstrømmene oppstod trolig som et resultat av at det nå ble forbindelse mellom det nordlige Borealhavet og det sørlige Tethyshavet. Tilsvarende forhold finnes i dag i Malakkastredet, som forbinder Det indiske hav med Sør-Kinahavet.

I dette grunnhavet ble det avsatt store mengder sand. Disse sandavsetningene kalles Tiljeformasjonen. Tidevannsstrømmene formet sanden til langstrakte sandrygger parallelt med kysten. Foran de store elvene dannet det seg sandrike tidevannsdeltaer. Tidevannsdeltaene var traktformet med grunner og sandbanker orientert normalt på kystlinjen, i motsetning til de halvmåneformete, bølgedominerte deltaene som bygde seg ut i Nordsjøbassenget. Kystsonen mellom elvene var kjennetegnet av tidevannsfletter og våtmarksområder.

Det stadig stigende havnivået gjorde at elvemunninger og daler ble periodevis oversvømt. Det førte til dannelse av langstrakte og kjegleformete havbukter, såkalte estuarier. I estuarier blir tidevannsforskjellene ofte veldig forsterket. Slike estuarier finnes mange steder rundt den sørlige Nordsjøen i dag.

Ettersom innsynkingen fortsatte, ble havet dypere, og lag på lag med silt og leire ble avsatt i sentrale deler av bassenget. Disse slamlagene utgjør

Rorformasjonen. Sedimentene er sterkt omrørt av dyr som levde på havbunnen. Heving og erosjon av det vestlige landområdet førte samtidig til at sand og grus ble transportert østover og avsatt som deltaer langt inn på midtnorsk sokkel. Deltaavsetningene kalles Tofteformasjonen.

Hurtige vekslinger

Etter hvert avtok innsynkingen, og innlandshavet ble langsomt fylt opp, først med slam og siden sand. Avsetningene danner en lagpakke som blir gradvis grovere oppover og kalles Ileformasjonen. Vi fikk igjen et grunnhav mellom Norge og Grønland. Grunne bukter og estuarier med sandbanker kjennetegnet kystområdene, sammen med elvedeltaer som bygde seg ut både fra øst- og vestsiden av bassenget. Forholdene lignet mye de en hadde tidligere, under avsetning av Tiljeformasjonen. På Haltenbanken, øst på midtnorsk sokkel, finnes tynne kullag. Det viser at deler av bassenget ble fylt opp med sedimenter og ble dekket av kystsletter og sumpområder. I områdene sør og nord på Haltenbanken var det vekslende avsetning og erosjon. Disse områdene stod tidvis opp som høgder i bassenget.

Etter en tid steg havet på nytt innover de nydannede slette- og sumpområdene, og marint slam ble avsatt over størstedelen av midtnorsk sokkel. Slamavsetningene har fått navnet Notformasjonen. Et høyt

innhold av ferskvanns- eller brakkvannsalger i sedimentene sør på Haltenbanken viser at vi her hadde grunne innsjøer og sumpområder. Geologene tror det var forkastninger som avgrenset innsjøene fra det store innlandshavet. Samtidig var klimaet fuktig, med relativt store nedbørmengder og mye ferskvannstilstrømning til bassenget. I kystsonen langs flankene av bassenget finner vi grovere avsetninger.

Tidlig i mellomjura ble randområdene på begge sider av Norskehavet hevet. Det markerer overgangen til den seinjuraiske riftingen og førte til at sandige kystsletter og deltaer bygde seg ut fra både Fastlands-Norge og øyene i vest. De sandige lagene som ble

avsatt, kalles Garnformasjonen. Havstrømmer fraktet store mengder sand videre ut i det grunne og smale havområdet mellom Norge og Grønland. Kystlinjen hadde flere framstøt avbrutt av perioder med tilbaketrekning.

Nord for Haltenbanken og sørvestover i områdene utenfor Mørekysten ble det på samme tid avsatt silt og leire. Disse avsetningene utgjør nederste del av Melkeformasjonen. Langs bassengkanten i sørøst, like utenfor Romsdalskysten, finnes rester etter kullførende, finkornete flomsletter og sandige elvekanalavsetninger.

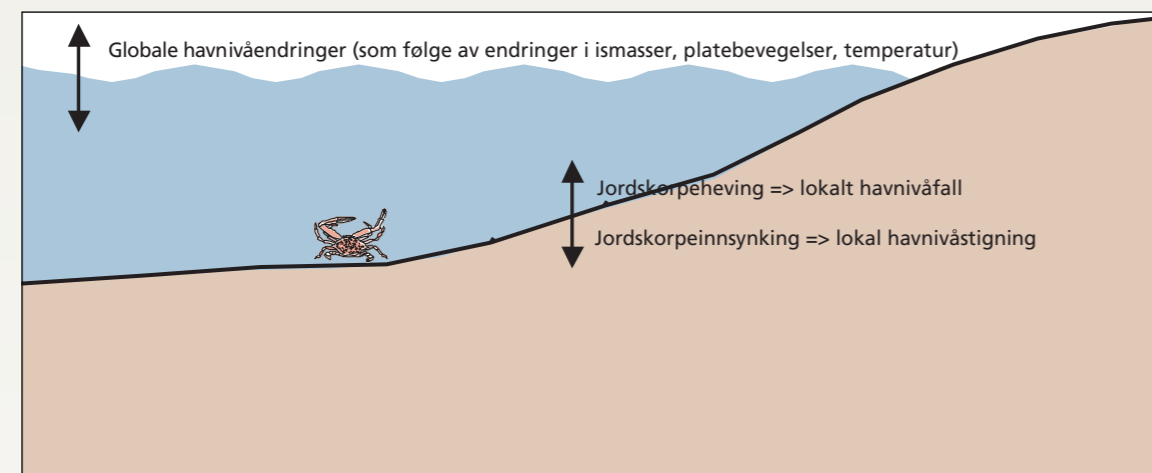
RELATIVT HAVNIVÅ

Etter hvert som Fastlands-Norge og de andre randområdene ble slitt ned, ble havområdene rundt fylt med erosjonsprodukter. Denne innfyllingen skjedde i pulser og var sterkt knyttet til endringer i havnivået.

Variasjoner i havnivå er et komplisert samspill mellom flere faktorer, og det kan være vanskelig å skille mellom dem. Geologer bruker derfor begrepet "relative havnivåendringer". Relative havnivåendringer betyr at havnivået på et gitt punkt enten stiger eller synker i forhold til havbunn og landet omkring, uavhengig av årsak.

Havnivåendringer kan være av globalt omfang. Disse endringene kaller vi for eustatiske. Eustatiske havnivåendringer kan forårsakes av endringer i vannvolum i verdenshavene, ved at mye vann bindes opp i is, som i dag i Antarktis og på Grønland, eller ved at store iskapper smelter. Variasjon i spredningshastighet og varmetilførsel langs midthavsrygger, som fører til heving eller senking av havbunnen, vil også gi eustatiske havnivåendringer. Men havnivåendringer kan også være lokale. Lokale havnivåendringer forårsakes av innsynkning og heving i enkeltbassenger og omliggende landområder.

Kystsletter og deltaer bygger sandige sedimentkiler ut i havområdene i perioder når det relative havnivået faller, for eksempel ved at mye vann samles i store ismasser, eller ved at landmassene heves opp. Utbygningene trekker seg tilbake og blir dekket av tykke leirholdige sedimentpakker når det relative havnivået stiger, for eksempel ved at bassengene synker raskt inn eller store ismasser smelter.



SANDSTEINENS INDRE HISTORIE Av Knut Bjørlykke og Arvid Nøttvedt

Sandsteiner består av små mineraler, med tverrsnitt fra 0,06–2 millimeter. Mellom sandkornene i en sandstein er det hulrom som kan fylles med vann, olje eller gass. I et godt oljeresservoar er det mange og store porer mellom sandkornene, slik at det er plass til mye olje. Andelen av hulrom kalles porøsitet. Godt sortert sand har gjerne rundt 45 prosent porøsitet ved overflaten, men avtar med økende dyp og temperatur.

Når sand dekkes av nye lag med sand og slam, utsettes den for høyt trykk. Porøsiteten avtar som følge av at kornene reorienteres og pakkes tettere sammen, og de kan også knuses i kornkontaktene. Når sanden består av sterke korn som ikke deformeres eller knuses, vanligvis kvarts- og feltspatkorn, vil ikke denne sammentrykkingen senke porøsiteten til mer enn ca. 25 prosent, selv om sanden dekkes av flere kilometer med yngre lag. Sanden er ofte helt løs fordi det ikke er felt ut noe sement som binder kornene sammen, men i noen sandsteiner er det karbonatsement som kan gjøre dem nesten helt tette. Videre reduksjon i porøsitet henger sammen med temperaturøkning. Temperaturøkningen fører til at noen av sandkornene går i oppløsning i kontaktpunktene, og det oppløste materialet felles ut som sement i porene og vokser som et belegg på sandkornene. Dermed limes sandkornene sammen til en fast bergart, porene fylles av mineraler som kvarts og kalsitt, og mengden olje eller gass som kan lagres i sandsteinen, blir mindre. Sandsteiner som har vært dypt begravd og utsatt for høy temperatur, er derfor typisk dårlige reservoarer, mens sandsteiner på grunne dyp ofte er gode reservoarer. Kalsittsementering kan forekomme ved alle temperaturer, mens kvartssementering skjer først ved 80–90°C.

I tillegg til å ha god porøsitet må en god reservoarsandstein ha et poresystem som væsker lett kan strømme gjennom. Bergarten må ha høy permeabilitet. Det betyr at porene må henge sammen med hverandre, slik at væsker lett beveger seg fra pore til pore. To bergarter med samme porøsitet kan ha svært ulik permeabilitet. Er sandkornene pakket på ulike måter slik at åpningene mellom porene har ulik størrelse, kan permeabiliteten være tusen ganger lavere i en sandstein med ugunstig kornpakking, sammenlignet med en annen sandstein der kornpakkingen er gunstigere. Permeabilitet måles i darcyenheter.

Like etter avsetningen kan sand bli gjennomstrømmet av store mengder ferskvann, særlig i deltaer og langs strender. Feltspat og glimmer blir da gradvis oppløst og det felles ut kaolinit i porene. Hvis det finnes vulkansk materiale i sanden, kan det dannes leirmineralet smekitt (montmorillonitt). Dannelse av leirmineraler fører ikke nødvendigvis til særlig endring i porøsitet, men permeabiliteten kan bli kraftig redusert.

Reservoarbergarten i mange av de viktigste norske olje- og gassfelt består av kvartsrike sandsteiner fra midtre jura. De midtre juraiske reservoarsandsteinene er begravd til ulike dyp og temperaturer, fra under 1,7 kilometer og rundt 70 grader på Gullfaksfeltet til over 4,5 kilometer og minst 170 grader på Kristinfeltet. Porøsiteten varierer fra over 30 prosent i de grunne reservoarene til under 15 prosent i de dypeste og varmeste. Permeabiliteten varierer fra over 10 darcy i de beste sonene i de grunneste reservoarene, til under en millidarcy (0,001 darcy) i de tetteste delene av det dype Kristinfeltet. Men det finnes også soner med høy porøsitet på Kristinfeltet. Noen av sandsteinslagene har et belegg av kloritt og delvis også illitt på kvartskornene. Det har hindret kvartssementering og ført til høyere porøsitet enn normalt for dette dypet.



Bildet viser to kjerneplugg. Den som er brunfarget, inneholder olje, det vil si at porene i sandsteinen er fylt med olje og ikke vann. Pluggen som har lys farge, er vannfylt. En kjerneplugg er vanligvis fem centimeter lang og 2,5 centimeter i diameter. Kjerneplugg boret ut fra kjerneprøvene, gjerne tre prøver pr. meter, og de brukes til analyser av mineralogi, diagenese, porøsitet og permeabilitet. (Foto: H. Pettersen)

A) Tynnslipbilde av en meget porøs sandstein fra den tidligjuraiske Åreformasjonen på Haltenerrassen. Sandkornene er kvarts og i noen få tilfeller kalifeltspat. Lavt begravingsdyp (1,7 kilometer) og lav temperatur gjør at sandsteinen ikke inneholder kvartssement. Porøsiteten er 33 prosent og permeabiliteten er 5,1 darcy. B) Elektronmikroskopbilde som viser sandkornene og porefyllingen i meget stor detalj. Sandkornene er kvarts med små mengder kvartssement som viser godt utviklede krystallflater. De lyse trådene er leirmineraler, som kun finnes i små mengder i denne prøven. C) Tynnslipbilde av sterkt kvartssementert sandstein fra den midtjuraiske Garnformasjonen på Haltenerrassen. Alle sandkornene består av kvarts, og porene er delvis fylt med diagenetisk illitt. Den sterke kvartssementeringen skyldes at sandsteinen har vært dypt begravd og utsatt for høy temperatur over lang tid, henholdsvis fire kilometer og 160 grader. Porøsiteten er fem prosent og permeabiliteten er 0,1 millidarcy. (Alle foto: Statoil)

EN LITEN KULLHISTORIE

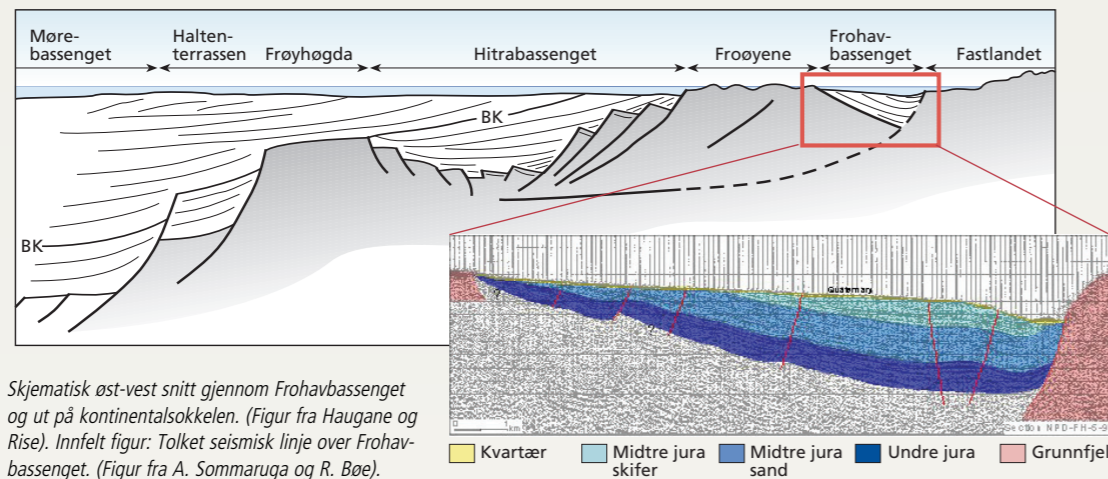
Under sitt arbeid på 1970-tallet med siderittiske jernsteinsblokker funnet på vestsiden av Beistadjorden, innerst i Trondheimsfjorden, skrev professor Christoffer Oftedal en historie om kullfragmenter funnet på samme sted.

"Kullfragmentene (første gang beskrevet av C. W. Carstens i 1929) ble funnet i maringlasiale leirer langs Svartdalsbekken ved Tun og som løse klaster langs stranden ved bekkens utløp. De løse klustene langs stranden er opplagt fraktet ned under vårflom. For å forklare hvordan kullfragmentene ble avsatt i den marine leiren kan en tenke seg at isen grov ut kullfragmentene fra juraiske kullag på fiordbunnen og fraktet de opp i Svartdalsbekken. Da isen smeltet fraktet breelvene så kullfragmentene ned igjen i fiorden og avsatte dem i den marine leiren. Etter isavsmeltingen ble den marine leiren på grunn av isostatisk landheving hevet opp til dagens lokalitet og kullfragmentene kan for andre gang bli fraktet av flomvann ned igjen til Beistadjorden."

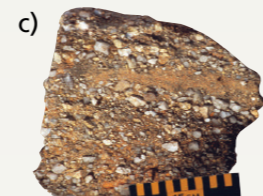
JURAIKE RULLESTEINER I DAGENS SKJÆRGÅRD

Etter at oljeindustrien gjorde sitt inntog i Norge tidlig på 1970-tallet, har vi fått mye kunnskap om jurageologien langs norskekysten. Hvordan Fastlands-Norge så ut i juraperioden, har opptatt naturvitere i mer enn 100 år, etter at det ble funnet jurabergarter på Andøya (se boks om Andøya) og funnet av løsblokker med jurasandstein og kullfragmenter i Beistadjorden allerede i 1845 og på Froøyene i 1914. Det var botanikeren Rolf Nordhagen som først fant og beskrev løsblokkene på øst-siden av Froøyene. Løsblokkene består av finkornet, kalkholdig sandstein, rik på marine fossiler, som han tolket til å være avsatt i mellomjura. Men hvordan var blokkene havnet der, innimellom granittbergartene som Froøyene består av? Nordhagen foreslo følgende: "muligens kan også den store istids bræer ha skjøvet dem dit. Man måtte da anta et opprinnelig jurafelt lenger øst, for eksempel i Frohavets dyprende, eller langs Fosenhalvøens vestrand, kanskje også lengre syd." Denne modellen har i dag blitt bekreftet ved hjelp av moderne seismiske analyser. Løsblokkene fra Froøyene og vestsiden av Beistadjorden er erodert og skjøvet opp av isen fra små, kystnære sedimentbassenger. Disse små bassengene er halvgrabenstrukturer som ligner på de store juraiske bassengene som finnes på sokkelen. De ble dannet som følge av forkastningsaktivitet langs Møre-Trøndelag-forkastningssonen. Trolig har det også vært avsetning av seinjura-tidligkrittiske sedimenter inn over Fastlands-Norge. Men fordi en har hatt neogen og kvartær erosjon på inntil 1000 meter i dette området, finnes i dag kun midtre juraiske sedimenter bevart i de dypeste delene av halvgrabenene.

Løsblokkene fra bassengene i Frohavet og Beistadjorden er datert til henholdsvis mellomjura og overgangen til seinjura. Det betyr at de er samtidig med marine sandsteiner i Garnformasjonen og marine slamsteiner i Melkeformasjonen lenger vest. Det er to typer løsblokker. I Beistadjorden finner en jernholdige sand- og siltsteiner som er rik på planterester. De er trolig avsatt i elvekanaler og på elvesletter. Blokkene fra Frohavet er dominert av godt sorterte sandsteiner med marine fossiler. De ble trolig avsatt på en strandskråning. Løsblokkfunnene viser at det i mellomjura fantes store elvesystemer med sumpområder og torvdannelse like utenfor Midt-Norge. I seinjura ble området dekket av et grunt hav.



a) "Blyantskitse etter naturen.". Følgende beskrivelse til tegningen ble gitt av Nordhagen i 1921: "Sommeren 1914 opholdt jeg meg paa Froøene for å studere ørgruppens flora og vegetation. Jeg ble da oppmerksom paa nogen eiendommelige løse blokker i en strandvold ca. fem m.o.h. paa vestsiden av Nordø, en av de største øer i Froan. Bergarten viste seg at være en kalkholdig sandsten, temmelig finkornet, med ganske sterk forvitningsfarge i overflaten. Paa friskt brudd var den mer blaagraa. Selve overflatestrukturen var yderst eiendommelig og hadde en viss likhet med meteorit smeltegruber; av denne grunn paastod øens beboere at det maatte være en meteorsten jeg hadde fundet. Som følge av forvitrings- og antagelsesvis i første rekke paa grund av vandets innflydelse under en periode da blokkene laa under vand eller i strandbeltet, er overflaten blitt sterkt smaagrubet og hullet, til dels med bikakestrukturer". b) Rundet brunforvitret rullestein av samme type som Nordhagen beskrev. Siden steinen er kalkholdig, er de kraterlignende overflatestrukturene mest sannsynlig dannet ved at strandsnegler og skjell kjemisk løser opp kalken. c) Lagdelt, grovkornet konglomeratblokk. Begge steinblokkene er funnet på Froøyene. (Begge foto: E.P. Johannessen)



FISKEØGLER BESØKER ANDØYA Av Tormod Henningsen

I 1867 besøkte bergmester Tellef Dahl Andøya, fordi han hadde hørt rykter om at det var funnet kull i strandsonen, og at dette ble brukt til brensel. I årene 1869 til 1871 ble det gjort grundige undersøkelser, med blant annet flere borer. Undersøkelsene ble videreført av J.H.L.Vogt fra 1896 til 1897. Vogt gjorde også borer, og han konstaterte at kullagene opptrer i den nederste delen av lagserien sammen med bituminøse skifer og ildfast leire. På bakgrunn av den første undersøkelsen, og hans egen, gjorde han en sammenstilling av de tre viktigste kullagene. Han konkluderte med at det ikke var grunnlag for kulldrift.

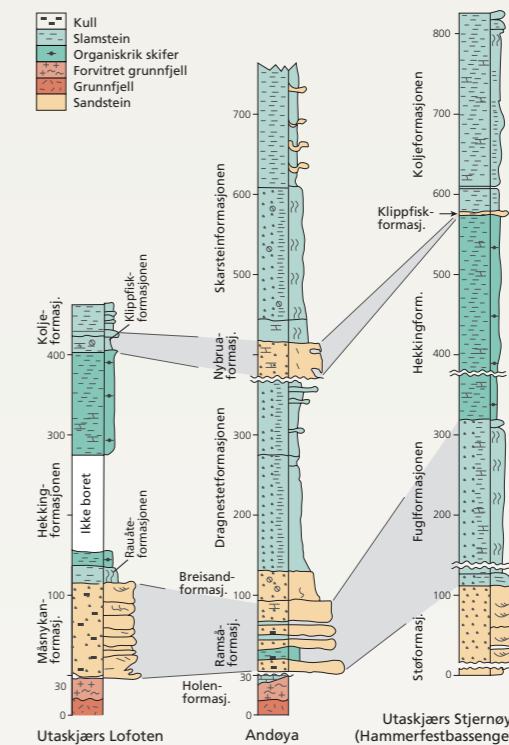
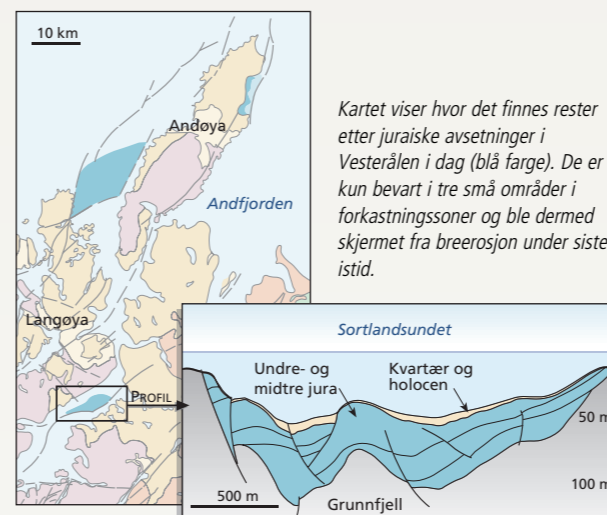
Vogt samlet inn fossiler av både planter og virvelløse dyr. De viste at lagrekken strakte seg i tid fra øverste del av tidligjura til tidligkritt. I 1952 ledet T. Ørvig en ny ekspedisjon til Andøya med formål å samle fossiler. De fant en mengde godt bevarte fossiler av ammonitter og muslinger. I tillegg ble det funnet knokkelrester fra en fiskeøgale (*Ichthyosaurus*). Dette er det første funn av et øgalefossil i Norge. I forbindelse med feltarbeid i 1971 fant Arne Dalland et godt bevart eksemplar av fiskeøglen *Ophthalmosaurus*.



Fiskeøgale, *Ophthalmosaurus*. (Foto: NHM, UiO)

Sedimentene på Andøya er avsatt i en halvgraben. Lagrekken fra Ramsa i sør til Skardstein i nord er over 700 meter. Lagene fortsetter nordøstover, og i de ytre delene av Andfjorden er tykkelsen to til tre kilometer. Avsetningene er hovedsakelig marine, med innslag av brakkvannsavsetninger i de nederste delene av juralagrekken. Jura- og krittlagene på Andøya ligner på avsetningene som er påtruffet i borehull både i Barentshavet og utenfor Lofoten.

Det har lenge vært kjent at det er flyttblokker med fossiler og sedimentære bergarter både fra øst- og vestsiden av Sortlandsundet, mellom Hinnøya og Vesterålen. I de seinere år har Norges geologiske undersøkelse og IKU ved hjelp av seismiske data og grunne borer påvist et sedimentbasseng mellom Hinnøya og Langøya i Sortland kommune. Et annet basseng ble funnet mellom Andøya og Langøya. Bassenget i Sortlandsundet antas å representere en halvgraben, begrenset i sørøst av forkastninger med retning nordnordøst-sørøst. Det er samme retning som forkastningene mellom Lofoten og Vesterålen.



Avtegning av seismisk snitt fra Sortlandsundet. Tykke undre- og midtre jura sedimenter er bevart.

MIDDELLIVETS TID

Foredrag i Videnskabs-Selskapet, Christiania, av T. Kjerulf, 1870: "Anledningen til denne Undersøgelse var en fra Sognepræst til Kvedfjord, Hr. Jespersen, indsendt Prøve af formodede forstenede Levninger af Hval. Idet jeg udbad mig noget mere tilsendt af denne Substant for at kunne have Materiale til noiere Undersøgelse, erklærede jeg den kort for Kul, og i den Tro, at Proven tilhørte Stedet, hvor den var fundet, tilføide jeg, at her maatte være Haab om Kulafleiringer."

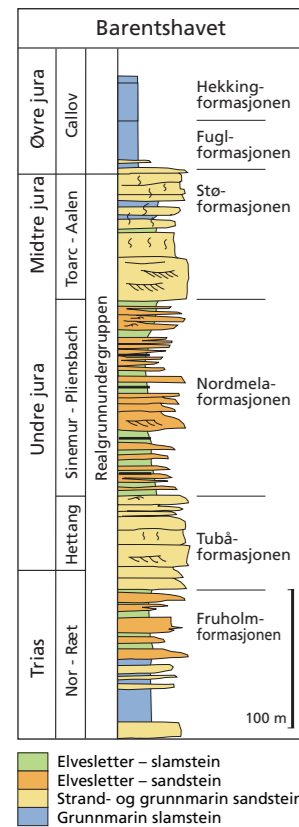
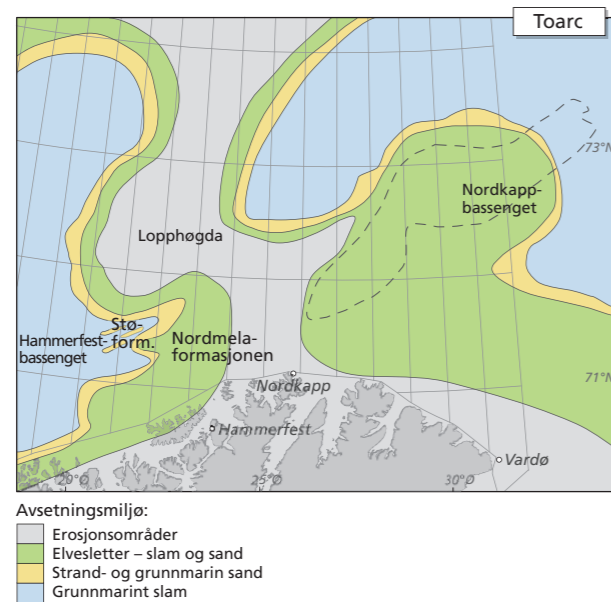
Videre undersøkelser indikerte at Kvedfjordkullet kunne være fra "Middellivets Tid", nærmere bestemt jura. Undersøkelsene viste at Kvedfjordkullet har en egenvekt på 1,01, og da vil "dette Kul svømme i Havet", og videre i konklusjonen heter det: "Kvedfjordkullet synes saaledes at være opskyllet paa Land flestesteds i det nordlige Norge. Hvor og i hvilke Lag det oprindelig findes vides ikke, men man tør næsten med Sikkerhed formode, at det hidhører fra Jura-Afleiringer ude i Havet under Norges nordlige Vestkyst".

Da oljeindustrien gjorde sitt inntog i Norge på begynnelsen av sekstitallet, var det omdiskutert om det fantes sedimentære bergarter utenfor Norges kyst, men det viser seg altså her at Kjerulf allerede i 1870 gav den rette konklusjonen.

Deltaer og kystsletter langt mot nord

Gjennom tidlig- og mellomjura ble Barentshavet delt i et sørlig og et nordlig bassengområde, atskilt av den oppstikkende Loppfjella.

Geografi og avsetningsmiljø i det sørlige Barentshavet i mellomjura. Geologene tror det fantes et sammenhengende landområde fra Finnmark nordover forbi Loppfjella. Områdene rundt Hammerfestbassenget og Nordkappbassenget var dekket av kyst- og deltasletter. (Figur modifisert fra J.G. Gjelberg og G.B. Larssen)



Skjematisk, vertikal sedimentlogg for det sørlige Barentshavet. Her vises en gradvis overgang fra elve- og kystavsetninger i trias og undre jura til kystnære, marine sand- og slamsteiner i midtre jura. (Figur fra J.G. Gjelberg)

Hammerfestbassenget var det dominerende bassengområdet på den sørlige Barentssokkelen i tidligjura. Øst for Hammerfestbassenget finnes ikke undre juraiske avsetninger. Her ligger midtre juraiske lag direkte på sedimenter fra triastiden. Geologene tror det lå et landområde mellom Hammerfestbassenget og Nordkappbassenget i tidligjura.

Finnmark var et viktig kildeområde for sedimenter ut i det sørlige Barentshavet, sammen med landområdet i øst. I nord stod trolig Loppfjella opp og ble erodert i tidlig- og mellomjura. Sedimenter herfra ble fraktet sørover inn i Hammerfestbassenget.

Ved slutten av triasperioden var Barentshavområdet dekket av store elvesletter, som ellers på norsk sokkel. Men i motsetning til i Norskehavet og Nordsjøen var slettene dekket av vegetasjon og sumpområder. Klimaet var altså fuktig allerede i seintrias. Det skyldes at Barentshavet lå lenger nord

og inne i den fuktige, tempererte klimasonen, mens områdene lenger sør enn lå i den tørre klimasonen.

I tidligjura ble Barentshavområdet oversvømt, og kystlinjen rykket langsamt inn over elveslettene. I kystsonen ble det avsatt sand, som i dag ligger som et teppe oppå elveavsetningene. Disse sandlagene utgjør nedre del av Tubåformasjonen. De sedimentære strukturene i sandlagene vitner om sterke tidevannsstrømmer, på samme måte som i Norskehavet.

Etter en tid prøvde kystslettene å reetablere seg og gjorde flere mindre framstøt vest i Hammerfestbassenget. Framstøtene kan sees i øvre del av Tubåformasjonen som gjentatte oppgrovingssekvenser, der kystnære sandavsetninger ligger oppå marint slam. Mindre deltaer oppstod foran munningen av de store elvene. Øst i Hammerfestbassenget hadde vi en stor kystslette med mange og sandige elve-systemer.

Store kystsletter

Den deltaiske kystlinjen bygde seg videre vestover, og etter hvert ble mesteparten av Hammerfestbassenget dekket av en stor kystslette med sakteflytende elver og tidevannskanaler. I Barentshavområdet var det tilnærmet balanse mellom sedimenttilførsel og bassenginnsvinking gjennom tidligjura. Det gjorde at kystlinjen, etter først å ha bygd seg raskt ut, stod mer eller mindre i ro en lang periode.

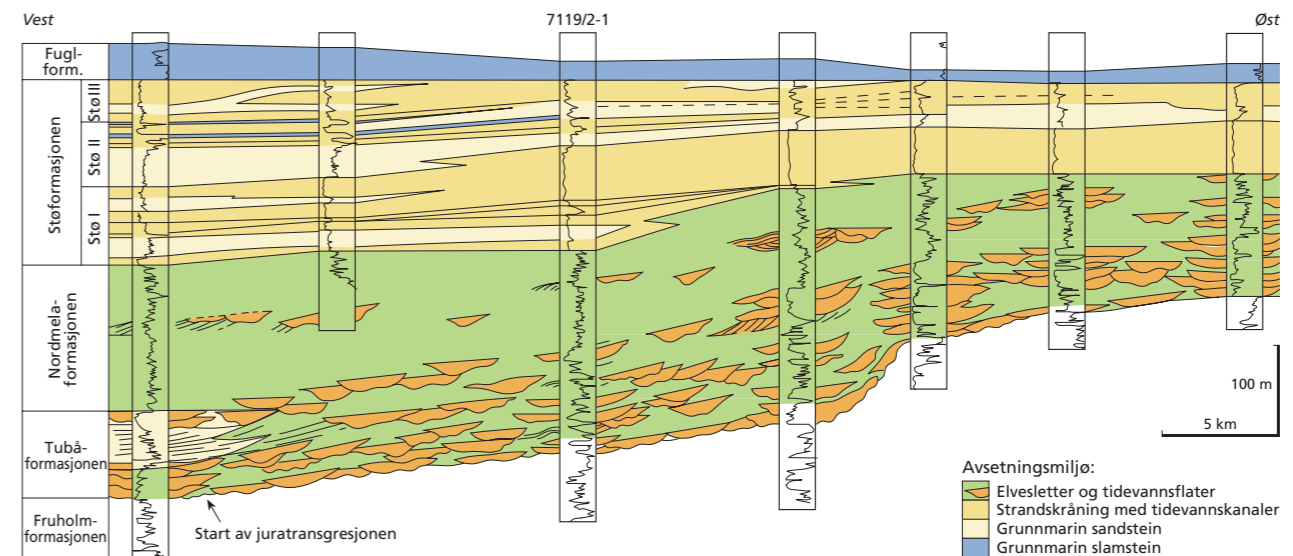
I elvekanalene ble det avsatt sand, men lagrekken er ellers dominert av slam som ble avsatt på flomslettene mellom elvene. Disse sand- og slamavsetningene kaller vi Nordmelaformasjonen. Tynne kullag og spor etter røtter i slamsteinene vitner om områder

med tett vegetasjon og torvdannelse. Mindre oversvømmelser førte til at tidevannsbukter ble dannet på slettelandskapet. De ble raskt fylt inn med vekslende lag av slam og sand som er tydelig omrørt av gravende organismer. Forholdene i tidligjura på Barentssokkelen ligner mye på dagens Tyskebukta, der bølger og tidevann omarbeider Rhindeltaet i større tempo enn elvene som frakter ut sedimentene.

Mot slutten av tidligjura økte innsynkingen, og kystslettene i Hammerfestbassenget ble fullstendig oversvømt. Det førte til avsetning av tykke lag med marin sand over elvesletteavsetningene. Sandavsetningene har fått navnet Støformasjonen. Sanden ble avsatt i strandsonen og i det grunne havet foran kystlinjen, som trakk seg tilbake. Bevarte sedimentære strukturer i nedre del av Støformasjonen viser at sanden ble omarbeidet av bølger og tidevann. Lagene i øvre del av Støformasjonen er kraftig omrørt av gravende organismer, og de inneholder fosfatknoller. Det tyder på liten sedimenttilgang, trolig som følge av lavt relieff i kildeområdene.

Havnivåstigningen i mellomjura var omfattende og førte også til oversvømmelse av landområdene lenger mot øst, i det som seinere ble Nordkappbassenget. Her ble Støformasjonen avsatt rett oppå gamle elvesletteavsetninger fra trias.

Støformasjonen består av tykke, massive sandlag. Sandsteinene har god porøsitet og inneholder lite silt og leire. Det gjør at de også er svært permeable, og olje og gass kan strømme lett gjennom reservoarene. Støformasjonen er den viktigste reservoarberg-



Borkjerne fra Nordmelaformasjonen i Hammerfestbassenget. Kjernen er fra brønn 7120/8-1, fra Hammerfestbassenget, og viser sandstein med rotspor. (Foto: E.P. Johannessen)



Borkjerne fra Nordmelaformasjonen i Hammerfestbassenget. Bildet viser lagdelt sandstein og slamstein med riflelagning i brønn 7119/12-1. Riflelagning, der enkelte sandrifler ligger innkapslet i slam, kalles linse-lagning. (Foto: E.P. Johannessen)



Borkjerne fra Nordmelaformasjonen i Hammerfestbassenget. Bildet viser sandstein med riflelagning i brønn 7119/12-1. Noen av riflelagene går i motsatt retning. Slik lagning kalles fiskebeinslagning og dannes av motgående tidevannsstrømmer. (Foto: E.P. Johannessen)



U-formet *Diplocraterion* gravespor i Nordmelaformasjonen, brønn 7119/12-2, som indikerer grunt vann og høy energi. (Foto: E.P. Johannessen)

arten på den sørlige Barentssokkelen. Sammen med Nordmela- og Tubåformasjonene utgjør den reservoaret i mange olje- og gassfelt.

Det finnes lite informasjon om tidlig- og mellomjuraperioden i det nordlige Barentshavet. Hvordan utviklingen i dette området var, blir derfor mye

Øst-vest-korrelasjon av brønnlogger i Hammerfestbassenget. Figuren viser hvordan de forskjellige avsetningsmiljøene henger sammen og veksler med hverandre. Øverste del av Tubåformasjonen går fra elve-sedimenter i øst til en marin, deltaisk sandstein i den vestligste brønnen. Nordmelaformasjonen tynner mot øst, og får inn flere elvekanaler. Kystsandsteinene i nedre del av Støformasjonen kiler mot øst inn i deltaslettene i Nordmelaformasjonen. De marine skifrene i midtre deler av Støformasjonen forsvinner også mot øst. Alle disse laterale variasjonene forteller at i tidlig- og mellomjura lå land mot øst og havet i vest. (Figur fra J.G. Gjelberg m.fl.).

OLJESPOR I BARENTSHAVET

Året er 1981, og det er tredje brønn som bores i Hammerfestbassenget. Det er påvist hydrokarboner, og spenningen på boredekket er til å ta og føle på. Kjerneboret, som sager løs prøver av bergarten, gnager seg jevnt og trutt nedover. Kjerneprøvene som kommer opp på boredekket er brunfargete, og det lukter olje – stemningen er stor! Til sammen blir det tatt 220 meter med kjerneprøver før en kommer gjennom de hydrokarbonførende lagene.

Men utskriftene fra de elektriske loggene, som måler egenskapene til bergartene i brønnen, viste imidlertid at det bare var rester av olje igjen i bergartene, såkalte residuelle hydrokarboner. Borekjerner er viktig informasjon for geologene, men prøvetakingen er kostbar, og det tas som regel kun kjerneprøver når det er sikre indikasjoner på hydrokarboner i reservoaret. Det var derfor en stor skuffelse da det ble fastslått at brønnen ikke hadde bevegelige hydrokarboner. Men letelogene ville ikke gi opp, for det var tross alt spor av olje. Seinere ble det funnet residuelle oljer og halvfylte feller med gass i den ene strukturen etter den andre.



Statoil-geolog på Ross Rig studerer oljeholdige kjerner fra brønn 7119/12-2. (Foto: E.P. Johannessen)

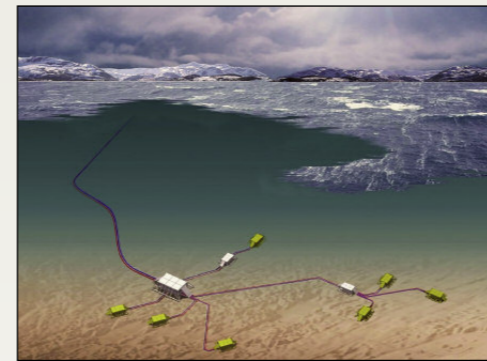
Rundt 50 brønner er boret i Hammerfestbassenget. Det er bare gjort ett økonomisk gassfunn med en tynn oljesone på Snøhvitfeltet og ett oljefunn på Goliatfeltet. Kenozoisk heving og erosjon har fått skylden. Den har fjernet opptil 1500 meter med sedimenter og forandret helningen på oljefellene slik at oljen har lekket ut. Samtidig som fellene forandret helning, ekspanderte gassen og opptok mer volum på bekostning av olje. De siste årene er det imidlertid gjort store funn i Johan Castberg (Skrugard og Havis) på vestsiden av Loppvågda, noe som har skapt optimisme med tanke på fremtidige funn.

SNØHVITFELTET Av Atle Folkestad

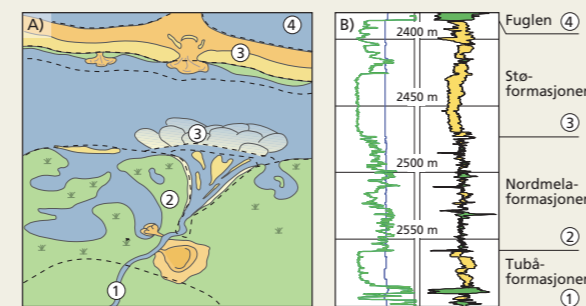
Snøhvitfeltet består av funnene Askeladd, Albatross og Snøhvit og ligger sentralt i Hammerfestbassenget. Feltet inneholder gass og mindre mengder lettolje. Reservoarbergarten på Snøhvitfeltet er Støformasjonen. Sandsteiner avsatt i estuarier utgjør halvparten av Støformasjonen og har de beste dreneringsegenskaper for gass. De gode dreneringsegenskapene er et resultat av at bølger og tidevannsstrømmer har sortert sanden og rensket vekk alt finmateriale. En mindre del av Støformasjonen består av strandavsetninger. Reservoaregenskapene til strandavsetningene er gode, men ikke fullt så gode som for estuarieavsetningene. I de mer finkornete avsetningene foran og bak barriereøyene er dreneringsegenskapene ytterligere redusert. Det skyldes hovedsakelig økt innhold av silt- og leirpartikler i avsetningene. Men vi ser også at en del av porene i sandsteinen er tettet igjen med kalksement fra oppløste østersskall.

A) Skjematisk modell for avsetning av Støformasjonen. De ulike avsetningsmiljøene er angitt med tall. 1) elveslette, 2) tidevannsflate, 3) estuarie, lagune, strand og barriereøy og 4) marint.

B) Typisk logg fra Snøhvitfeltet. Tubå-, Nordmela-, Stø- og Fuglformasjonene ble avsatt i ulike miljø i kystsonen. Tallene referer til avsetningsmiljø som angitt i A.



Snøhvitfeltet bygges ut med undervannsinstallasjoner og rørløsing til Melkøya i Finnmark. (Illustrasjon fra Statoil)



Avsetningsmiljø:
 Erosjonsområder
 Elvesletter – slam og sand
 Strand- og grunnmarin sand
 Grunnmarin slam
 Kondensert område

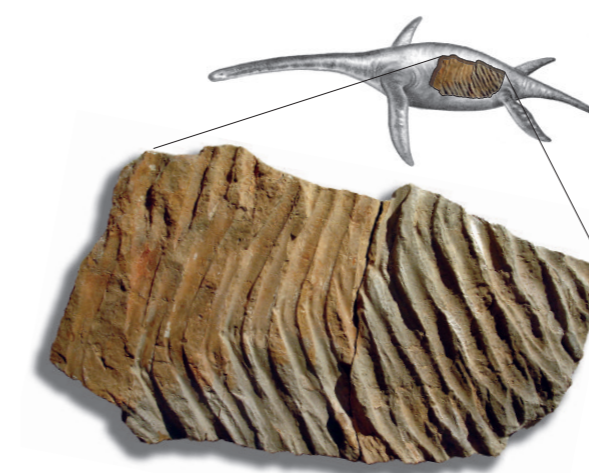


spekulasjon. Geologene antar imidlertid at forholdene var omtrent som i det sørlige Barentshavet, med skiftinger mellom utbygging av store kystsletter og tilbaketrekking av kystlinjen.

Et nordlig landområde lå der hvor Polhavet ligger i dag. Det som i dag er den undersjøiske Lomonosovryggen i Polhavet, er trolig rester etter dette landområdet. Sedimenter på Svalbard og nærliggende sokkelområder stammer fra dette kildeområdet.

Vårt nordligste juraland

Helt øst på Svalbard ligger den fredete øygruppen Kong Karls Land. Her finner vi Barentshavets



Ribbeinsavtrykk fra svaneøgle, Plesiosaurus, fra Teistberget på Svalbard. (Illustrasjon: Statoil)

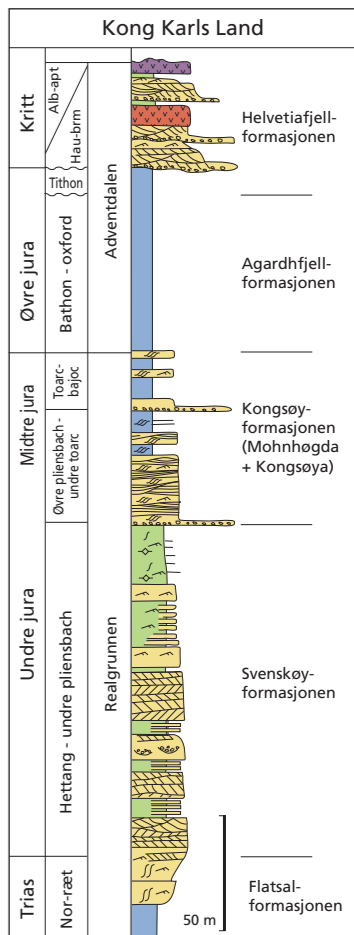
undre- og midtre juraland blottlagt på land. Sandsteinene lyser mot en i gult og hvitt, vekselvis med bånd av svarte leirsteiner.

Juralagrekken på det østlige Svalbard har ikke vært begravd til stort dyp. Sand- og leirsteinene på Kong Karls Land har derfor ikke blitt særlig sammenpresset eller sementert. Faktisk er sedimentene så løse at en kan skjære dem med kniv. De viktigste redskapene for en feltgeolog på Kong Karls Land er derfor spade, spatel og kniv, på samme måte som i kvartære løsmasser eller på moderne strender. Med disse redskapene kan en skjære helt plane snitt i lagene og studere de sedimentære strukturene i detalj.

Dette gjør også at øygruppen eroderes lett. Kong Karls Land hadde nok vært vasket i havet for lenge siden hvis det ikke hadde vært for at harde basaltnagler fra krittiden ligger som et lokk over de løse jurasandsteinene. I tillegg er havet rundt islagt store deler av året, noe som bidrar til å redusere kysterosjonen.

Den geologiske utviklingen på de østlige Svalbardøyene ligner mye på utviklingen i Hammerfestbassenget. Ved overgangen til tidligjura trengte havet inn over kystslettene fra triastiden. Kystlinjen bygde seg ut igjen i tidligjura, men på samme måte som i det sørlige Barentshav-området nådde den ikke like

Geografi og avsetningsmiljø i det nordlige Barentshavet i tidlig- og mellomjura. Skissen viser to stadier i den geologiske utviklingen, sine-murstadiet og toarcstadiet. Spitsbergen var trolig dekket av hav mye av tiden, men tidvis har det vært svært grunt og kanskje delvis erosjon. Det var trolig forbindelse mellom Norskehavet og en tidlig forløper til Polhavet. Trenden er den samme som i Hammerfestbassenget, med store kystslette- og deltautbygninger i øst i tidligjura og oversvømmelse av disse i mellomjura. (Figur modifisert fra G.B. Larssen m.fl.)



Elvesletter/tidevannsflater – slam- og sandstein
 Strand- og grunnmarin sandstein
 Grunnmarin slamstein
 Vulkaniske intrusiver
 Vulkaniske avsetninger (lava)

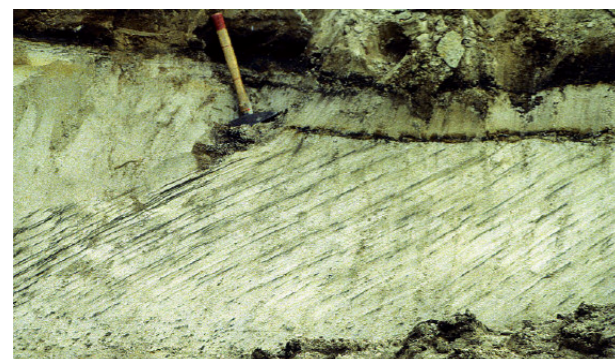
Skjematisk, vertikal sedimentlogg fra Kong Karls Land. Her vises en gradvis overgang fra kystnære, marine sand- og slamsteiner i undre jura, til marine slamsteiner avsatt lenger ute på sokkelen i midtre og øvre jura. (Figur fra G.B. Larssen m.fl.)



Hårfagrehaugen på Kongsøya. De hvite lagene nederst er linseformete. De tilhører øverste del av Svenskøyformasjonen fra undre jura, og består av mediumkornete sandstein-er avsatt i store tidevannskanaler. Det gule intervallet i øvre del er Kongsøyformasjonen fra midtre jura. Den består av finkornete sandstein-er avsatt langs kystlinjen og i store bukter mellom tidevannskanalerne. (Foto: A. Nøttvedt)

Innfelt bilde: Tidevannskanal-kompleks fra Svenskøyformasjonen. Kanalen er innfylt med lagdelte sand- og slamsteiner. I øverste høyre hjørne sees bunnen av en kanalavsetning som eroderer ned i en underliggende kanalavsetning. (Foto: G.B. Larssen)

Skråsjiktet sandstein fra Svenskøyformasjonen på Kongsøya. Skrålagene har parvise bånd av slam, såkalte doble draperinger, som blir tykkere ned mot bunnen av skrålagene. Tilsvarende lagning er velkjent fra moderne tidevannskanaler i Nederland. (Foto: E.P. Johannessen)



langt vest som i trias. Kystutbyggingen førte til avsetning av lagdelt sand og slam. Disse avsetningene kalles Svenskøyformasjonen. Her finnes store kanalformer og sedimentære strukturer som ble dannet av sterke tidevannsstrømmer. Strukturene er helt lik dem en finner i moderne tidevannsbukter og estuarier. Geologene tror derfor at avsetningsmiljøet på Kong Karls Land, akkurat som i sørlige Barentshavet, kan ha lignet den tidevannsdominerte kystsonen sør i Nordsjøen i dag.

Etter framstøtet til den tidevannsdominerte kystsonen ble det østlige Svalbard gradvis oversvømt, og kystlinjen trakk seg mot nordøst. Det førte til avsetning av marin sand og slam. Disse lagene tilhører

Kongsøyformasjonen. Til slutt ble hele området oversvømt, og Svalbard ble dekket av et stort grunnhav. I dette havet ble det avsatt et lag med kalkholdig sand med grusboller og fosfatknoller som inneholder fossilinneslutninger. Laget kalles for Brentskardhauglaget. Dannelse av fosfatknoller krever rent vann over lang tid og tyder på at det var liten sedimenttilførsel ut i bassengområdet. Laget er relativt tynt, fra 0,5 til fem meter.

Vestlige deler av Svalbard var en grunnmarin plattform med svært liten sedimenttilførsel gjennom det meste av tidlig- og mellomjura. På Spitsbergen finnes ingen store sandsteinsutbygninger, slik som i øst. I det kjente Festningsprofillet ytterst i Isfjorden er hele den undre og midtre juraiske lagrekken bare 20 meter tykk. Lagrekken består av slamsteiner og sandsteiner med fosfatknoller, ganske lik Brentskardhauglaget, og inneholder fossiler fra både tidlig- og mellomjura. Det tyder på at de ble avsatt over lang tid.

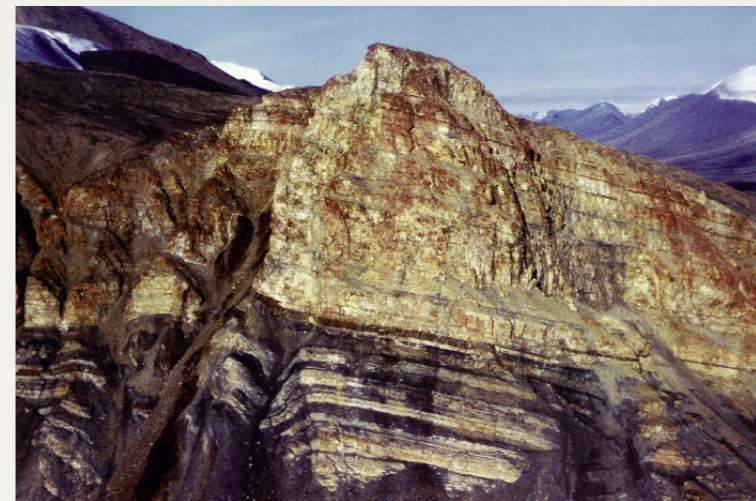
Lagene langs vestkysten av Spitsbergen er harde og godt sementerte. Det skyldes at de her har vært begravd på store dyp og siden blitt hevet opp til overflaten igjen i kenozoikum.

DET NORDLIGE CANADA – EN DEL AV NORGE

I årene 1898 til 1902 var Otto Sverdrups polarekspedisjon, ofte kalt den annen Fram-ferd, på tokt for å kartlegge nordlige deler av Grønland. Dårlige isforhold førte til at de ble tvunget sørvestover og inn i Jonesundet, like nord for innløpet til Nordvestpassasjen i det nordlige Canada. På disse årene ble et land- og øyområde, nesten like stort som Fastlands-Norge, oppdaget og kartlagt. Området kalles geologisk for Sverdrupbassenget. Mange av steds- og formasjonsnavnene ble oppkalt etter de norske ekspedisjonsdeltakerne og de som støttet ekspedisjonen økonomisk. De fleste navnene er beholdt på det moderne kanadiske kartverket.

Schei, som var geolog på Fram-ekspedisjonen, påpekte store likhetstrekk mellom Sverdrupbassenget og Svalbard. Han viste at seinpaleozoiske og mesozoiske fossiler fra Sverdrupbassenget har nordeuropeisk og ikke amerikansk tilhørighet. Ved Blaafjeld ble det blant annet funnet en svart skifer fra triastiden, med fossiler av en musling ved navn Daonella. Schei konstaterte at både fossil og bergart er helt identisk med funn på Spitsbergen. Det er ikke overraskende, for før åpningen av Norskehavet i kenozoikum (se kapittel 14) lå Sverdrupbassenget mye nærmere Svalbard og Barentshavet enn i dag.

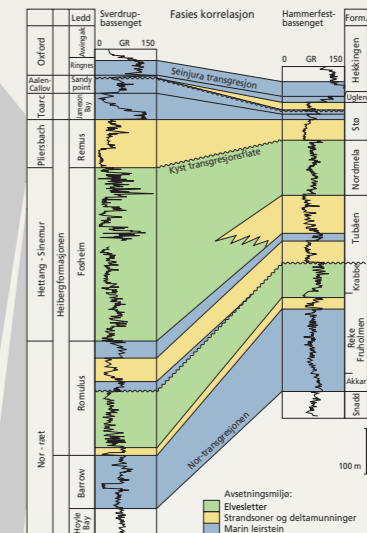
Juralagrekken er godt blottlagt i Sverdrupbassenget. I tillegg er juralag påtruffet i mange av de vel 180 oljebrønnene som ble boret på 1970-tallet. En loggsammenstilling fra Sverdrupbassenget og Hammerfestbassenget viser tydelig likheten i den geologiske utviklingen. Sverdrupbassenget er derfor et meget viktig referanseområde for alle som driver med oljeletting i Barentshavet.



Undre til midtre juralagerekken i Sverdrupbassenget. De lagdelte sand- og slamsteinene nederst svarer til Nordmelaformasjonen, mens den massive sandsteinsbenken øverst svarer til Stoøformasjonen. (Foto: E.P. Johannessen)



Inkonformitet med overliggende svart skifer, transgresjon i nordtid



Sammenstilling av sedimentlogger fra Sverdrupbassenget og Hammerfestbassenget. Likhetstrekkene i avsetningsmiljø er påfallende. (Figur fra E.P. Johannessen og A.F. Embry)

Nordlige Ellesmere Island på marginen av Sverdrupbassenget. Nederst sees røde og hvite sedimenter fra midt i karbon. Disse lagene ligger skrått, med vinkeldiskordans opp mot overliggende lag. De svarte slamsteinene midt på bildet hører til øvre trias, mens de lyse lagene øverst på bildet representerer juraiske deltaavsetninger. (Foto: E.P. Johannessen)