

Istider i fortid og framtid

Eiliv Larsen

Ingress: Istidene har kommet og gått med stor regelmessighet. Selv om utviklingen i hver istid til en stor grad er unik, er det mange gjentakelser styrt av naturlig klima. Menneskelig påvirkning av klimaet gir usikre prognoser for framtida.

Tenk deg at du står helt nord på Andøya. Det er sommer, men likevel snø i lufta. Østavinden er bitende kald. I vest er havet dekket av drivis, og isfjell brekker løs fra en isbretunge på nordøstsida av øya. Det er nakent og goldt på den lille snippen av land hvor du står. Bare de øverste deler av bakken er tint, selv nå på sommeren, men på lune steder trosser noen hardføre planter, mest gras, det barske klimaet. Et mer isolert sted enn dette er det knapt mulig å finne: I sør, øst og nord er det bare is, is og atter is så langt man kan se. Den veldige innlandsisen har sin vestgrense her. Sørgrensen er helt nede i Tyskland, ved Hamburg, og østgrensen for innlandsisen ligger langt inne i Russland, begge steder mer enn 1500 kilometer unna. Mot nord er det sammenhengende innlandsis helt til Polhavet nord for Svalbard. Med unntak av noen nunataker som stikker opp nær Andøya, er det ikke bart land å se. Bare denne enorme, opptil 3000 meter tykke, ismassen som dekker både land og hav (Figur 1).

Slik var forholdene da isbreene var på sitt største under siste istid. De nesten ufattelig store endringene i det fysiske naturmiljøet sammenlignet med i dag, er resultatet av naturlige klimaendringer på jorda. I de siste 2-3 millioner år har istidene kommet og gått med lovmessig regularitet på grunn av at solinnstrålingen til jorda har variert gjennom tid. At solinnstrålingen har variert kan igjen tilskrives små, regelmessige endringer i jordbanens form rundt sola, endringer i jordaksens hellingsvinkel og i jordaksens langsomme rotasjon i en sirkelbevegelse mot himmelrommet lik en snurrebass som er i ferd med å miste fart. Disse små variasjonene i astronomiske forhold som utløste slike dramatiske endringer på jorda, blir nærmere beskrevet i en artikkel av Eystein Jansen i dette nummeret av Ottar.

De største utslagene av klima- og miljøendringer har vært mellom istidenes maksimum og mellomistidene, slik som den vi lever i nå. Også i istidene, som hver enkelt varte omtrent 100.000 år, var det store klimavariasjoner. Dette førte til at isbreene varierte i utbredelse, jordskorpen ble presset ned av den enorme islasten og hevet seg igjen når isen smeltet. Havnivået steg og sank, og store bredemte innsjøer, noen større enn de største av dagens innsjøer på jorda, kom og forsvant igjen. Vitnesbyrdene om disse endringene finnes det mange av ute i naturen. Hvordan de kommende istider vil bli er mer usikkert, men fordi variasjonene i de naturgitte astronomiske faktorene som styrer dette er regelmessige, er det mulig å si noe om hvordan det kan bli. Den menneskelige påvirkning av klimaet gir imidlertid noen ekstra usikkerheter i dette bildet.

Istidene går i rykk og napp

Inntil for ganske få år siden trodde man at hver enkelt istid var karakterisert av framvekst mot et bremaksimum, etterfulgt av en lang og klimatisk sett relativt stabil

maksimumssituasjon. Istidene sluttet så med en klimaforbedring som førte til isavsmelting og overgang til neste mellomistid. I de senere år har det blitt klart at virkeligheten er langt mer komplisert. Siste istid, som varte fra omtrent 115.000 til 12.000 år før nåtid, synes å ha bestått av fire hovednedisningsfaser. Hver av disse var karakterisert av isoppbygging, et ismaksimum og isavsmelting. Mellom nedisningsfasene var det mer eller mindre isfrie forhold slik at vegetasjon, dyr og kanskje mennesker kunne reetablere seg.

Den første nedisningsfasen i siste istid kulminerte for omtrent 90.000 til 100.000 år siden (Figur 2). Norge og størstedelen av Sverige var dekket av is, men de desidert største ismassene fant man lenger nord og øst. Mellom innlandsisen over Skandinavia og den nordøstlige storebroren var det et stort, åpent område hvor elver fraktet breslam over store breelvelletter og ut i det grunne havområdet utenfor. Enormt store innsjøer ble oppdemt mellom isbreene i nord og vannskillet langt sør på det russiske slettelandet. Da isbreene smeltet tilbake, brast demningen i nord og bresjøene ble hurtig tappet. Perioden som fulgte var preget av et klima kaldere enn i dag med relativt begrenset, men varierende isutbredelse.

Klimaet ble igjen kaldere og isbreene vokste til de hadde nådd en utbredelse som vist i rekonstruksjonen for 65.000 til 70.000 år før nåtid. Innlandsisene over Skandinavia og Barentshavet var betydelig større enn i forrige nedisningsfase, og fløt sammen slik at isdekket nå var sammenhengende fra Sørskandinavia til havområdene utenfor Vestibir. Der den skandinaviske innlandsisen og Barentshavisen fløt sammen, økte strømningshastigheten i isen radikalt. Dette resulterte i en enorm isstrøm som beveget seg hurtig vestover gjennom Barentshavet. Store mengder sand, grus og leire ble transportert av isen og avsatt ved overgangen til det dype Norskehavet. Gjennom flere istider har det på denne måten gradvis blitt bygd opp en gigantisk sedimentvifte, Bjørnøyvifta (Figur 3). Det samme har skjedd flere steder langs kanten av isdekket, for eksempel utenfor Vestlandet (Nordsjøvifta) og i mindre skala utenfor fjordene. I sør og øst, der isen beveget seg mot landområder, var isbevegelsen atskillig langsommere enn i områdene med isstrømmer. I disse landområdene ble det igjen demt opp store bresjøer foran innlandsisen.

Isavsmelting i Amerika gir kjedereaksjon i Barentshavregionen

Over hele jorda steg havnivået svært raskt for omtrent 60.000 år siden (Figur 4). Dette skyldtes trolig avsmelting av store ismasser i Nord-Amerika og Antarktis. Det økende havnivået førte til at isen i Barentshavet begynte å flyte og brekke fra hverandre, den ble tynnere og smeltet helt bort i løpet av kort tid. Dette førte enorme mengder smeltevann ut i havet samtidig som de store bresjøene igjen ble tømt. Disse store ferskvannsmengdene må i sin tur ha hatt betydning for havsirkulasjon og klima. Landområder som hadde vært presset ned av isen ble oversvømt av havet. For eksempel gikk havet 200-300 kilometer lenger inn i landet enn i dag i noen av de store elvedalene i Norvest-Russland. Klimaet var kjøligere enn i dag, men isutbredelsen liten. Dette skulle ikke vare lenge. Klimaet var allerede på vei mot det bedre, sett fra breenes synsvinkel. De la derfor på seg og endte til slutt opp med en størrelse som vist i rekonstruksjonen av situasjonen for omtrent 45.000 til 55.000 år siden (Figur 2C).

Den lange veien via istidas maksimum til i dag

En lang periode med begrenset isutbredelse fulgte denne nest siste nedisningen. Det var som om klimasystemet ikke kunne bestemme seg for hvilken retning det ville ta. Dette tidsrommet blir i Norge kalt for enten "Ålesund-" eller "Sandnesperioden" etter to av stedene hvor avsetninger er funnet. Det er imidlertid beskrevet ulike typer sedimenter fra perioden fra flere andre steder både i Sør- og Nord-Norge. Mest informasjon har vi fått fra utgravninger i kysthuler på Sunnmøre, hvor det er funnet bein av blant annet alkekonge, polarlomvi, lundefugl, krykkje, rev, rein, isbjørn og sel. Disse viser et dyreliv og dermed et klima omtrent som på vestkysten av Svalbard i dag. I en periode må det imidlertid ha vært mildere. Dette blir støttet av funn av svartand, sjøorre og sei.

Etter denne milde "Ålesundperioden" hadde vi ennå den klimatisk strengeste perioden til gode. Isbreene vokste slik at de for drøyt 20.000 år siden nådde sin største utbredelse under hele siste istid (Figur 2D). Dette er perioden da isvolumet over hele jorda var på det største. Det var også tilfelle i Skandinavia, der innlandsisen fløt sammen med is som dekket Storbritannia, og den nådde sin størst utbredelse i Tyskland, Polen og Vest-Russland. Lenger øst i Russland var imidlertid isutbredelsen mindre enn den hadde vært i den tidligste nedisningen. Da breene var på det største sto verdenshavene 120-130 meter lavere enn i dag på grunn av alt vannet som var bundet i isen. Da isen like etterpå smeltet tilbake, var jordskorpen fremdeles så nedpresset at havnivået innenfor områdene som hadde vært nediset sto høyere enn i dag. Isavsmeltingen etter siste ismaksimum skjedde rykkvis, styrt av klimasvingninger og topografiske forhold. Endemorener både langs kysten og i innlandet, breelvavsetninger og havavsetninger som ligger langt over dagens havnivå, stammer alle fra denne perioden. Helt mot slutten av istida var det en kortvarig, kraftig klimaforverring som fikk breene til å rykke frem igjen. Klimaet i denne perioden var så strengt at breene ville fortsatt å vokse om det hadde vart lengre. Imidlertid forbedret klimaet seg kraftig for omtrent 12.000 år siden, og breene smeltet raskt tilbake. I den varmeste delen av etteristida var mange av breene i Norge helt borte (se artikkel av Jostein Bakke og Anne Bjune i dette nummer av Ottar).

Et dynamisk klimasystem

Kartfiguren over isutbredelse under siste istid viser de fire hovedfasene med nedisninger (Figur 2). De ytre faktorene som utløste dette er variasjoner i solinnstråling til jorda. Hvorfor blir da breresponsen regionalt forskjellig i de ulike fasene? For eksempel er isutbredelsen størst i nordøst i den eldste fasen samtidig som den er minst i sørvest, mens det er omvendt i den yngste fasen? De regionale forskjellene i brerespons kommer godt frem i profiler i tre retninger gjennom isdekkene som viser isfrontenes fluktuasjoner gjennom tid (Figur 5): Et nordøstlig profil fanger opp variasjonene i isdekket med sentrum over Karahavet, et nordlig profil er dominert av isen i Barentshavet, og et vestlig profil viser variasjonene i den skandinaviske innlandsisen. Vi legger igjen merke til det tidlige ismaksimum i nordøst i motsetning til det sene maksimum i sørvest. Dette skyldes at når klimaforverringen startet ved slutten av forrige mellomistid, ble de nordlige områdene nediset raskest fordi temperaturene der tidligst ble lave nok. Etter hvert som temperaturen sank ytterligere og innlandsisen i Skandinavia kunne vokse mot maksimumsnivå, dannet denne en barriere for transport av nedbør østover slik at isdekket i Karahavet ble sulteforet på nedbør. Det andre som er slående i de tre breprofilene er at isen over de to havområdene i nord har hatt mye større fluktuasjoner

enn isen over Skandinavia, som til en viss grad bygget seg gradvis opp til en sen maksimumsposisjon. Isdekkene i Barentshavet og Karahavet hadde det til felles at stigning i havnivået gjorde at de fløt opp, ble ustabile og mer eller mindre kollapset. Innlandsisen med sentrum over Skandinavia lot seg bare i liten grad påvirke av havnivået og var derfor mer stabil. Innlandsisen reagerer altså forskjellig på ytre påvirkninger, avhengig av bl.a. topografi og regionale klimaforskjeller.

Hvordan kan vi vite at alt dette har skjedd?

Vind, elver, isbreer, ras, bølger og andre fysiske miljøelementer reagerer på klimaendringer med å bli sterkere, svakere, større, mindre, hyppigere og så videre. Avsetninger som er dannet av disse vil dermed forandre karakter eller få et annet utbredelsesmønster. Dette er jordas egen respons på klimaforandringer på samme måte som utbredelse av planter og dyr påvirkes av klima. Da istidsteorien gradvis ble akseptert på 1800-tallet, var det fordi man fant moreneavsetninger og skuringsstriper langt utenfor de områder hvor det var isbreer. Datidas geologer hadde altså sett tilsvarende ved eksisterende breer, og kunne kjenne disse igjen i områder som nå var isfrie. Dette aktualitetsprinsippet bruker vi fortsatt. Den første forutsetningen for en god rekonstruksjon er å kjenne igjen hvilke avsetningstyper og erosjonsformer man står overfor (Figur 6).

Sedimenter avsettes lag på lag i naturen, slik at yngre lag overlager eldre (Figur 7). I en veiskjæring, elveskjæring eller borkjerne kan en ved å se hva som finnes mot større dyp under bakken nærmest lese bakover i tid hva som har skjedd. Dersom man for eksempel finner havavsetninger over morene, noe som er vanlig mange steder langs norskekysten, vet man at etter at isen smeltet vekk fra området, så trengte havet inn. Ved å sette sammen slike puslespillbiter fra et stort område, får en et regionalt bilde av hva som har skjedd.

En siste forutsetning for en god rekonstruksjon av klimahistorien er at man kan tidfeste hendelsene. Det finnes i dag mange dateringsmetoder, den mest kjente er radiokarbon-metoden, som kan datere organisk materiale med gode resultater tilbake til omtrent 40.000 år før nåtid. Med den såkalte OSL-dateringsmetoden kan man datere sedimenter som er flere hundre tusen år gamle. Med denne metoden finner man ut når sandkorn sist ble utsatt for lys. Normalt vil dette være tidspunktet da sanda ble transportert og avsatt med for eksempel vind eller vann, og før den ble begravd av andre sedimenter. Eksponeringsdatering er en annen metode, der man kan finne ut hvor lenge ei bergflate har vært utsatt for kosmisk stråling. Dette kan under gitte betingelser gi oss tidspunkt for når isen smeltet bort og blottla denne overflata. Disse og andre dateringsmetoder har ulik rekkevidde, ulik presisjon og kan anvendes på forskjellige typer materiale. Ofte bruker man derfor flere metoder for å oppnå best mulig resultat. Alle metodene har også feilkilder knyttet til funnforhold, prøvetaking og laboratoriebearbeiding som må taes i betraktning når resultatene vurderes. Til slutt er det kvaliteten på den totale mengden data som er avgjørende for om en rekonstruksjon av klimahistorien blir til å stole på.

Breen som aldri ble født

Vi lever i dag i en periode med begrenset isutbredelse. Unntakene er Grønland og Antarktis, hvor det er nesten like mye is som under istidene. Breer i Norge og andre

steder trekker seg tilbake som en tilpasning til varmere klima. Er dette styrt av menneskeskapte eller naturlige klimaendringer, og hvordan vil det bli i fremtiden?

På lang sikt går den naturlige trenden mot kaldere klima, og ny forskning tyder på at dette har vært tilfelle ganske lenge allerede (Figur 8). Data tyder også på at avskoging og våtmarksarealer brukt til risdyrking var så omfattende allerede for flere tusen år siden at klimagassene karbondioksid og metan økte i atmosfæren og påvirket klimautviklingen. Beregninger tyder på at denne oppvarmingseffekten var tilstrekkelig til å forhindre omfattende oppbygging av is i det nordligste Canada allerede for 4000-5000 år siden. I følge disse resultatene har altså den menneskeskapte globale oppvarmingen bremsert det som ville vært en naturlig forårsaket avkjøling. Denne oppvarmingen vil, under visse forutsetninger knyttet til samfunnsforhold, fortsette i mange hundre år til alt fossilt brennstoff er brukt opp. Våre norske breer er helt klart i faresonen innenfor dette tidsperspektivet.

På vei mot en ny istid?

Den naturlige avkjølingstrenden skissert over vil trolig ikke før om svært lenge føre oss inn i en virkelig istid, kanskje ikke før om 50.000 år. Hvordan forløpet av denne istiden så vil bli er usikkert. Ikke minst diskuteres det om de menneskeskapte utslipp av klimagasser fører jorda inn i en tilstand hvor den ikke kommer tilbake til sitt naturlige nivå, med den konsekvens at framtidens breer blir mindre enn de ellers ville blitt. Uansett er det svært lenge til, om det i det hele tatt kommer til å skje igjen, at vestgrensen for en stor innlandsis ligger over Andøya. Selv om en baserer seg på naturlige trender i klimautvikling, kan en bare spekulere i framtidens isutbredelse. Men neste istid blir kanskje av en størrelse som den vi hadde for omtrent 90.000 til 100.000 år siden, ved innledningen til siste istid (Figur 2A).

Figurtekster

Fig. 1: Yttergrensen av innlandsisen i Antarktis med en bratt isfront ut mot det islagte havet. Bart land finnes bare helt ute ved iskanten. Foto: M. J. Hambrey.

Fig. 2: Rekonstruksjoner av isutbredelse i fire hovedfaser av siste istid: For omtrent 90.000-100.000, 65.000-75.000, 45.000-55.000 og 20.000 år siden. Mellom disse periodene med stor isutbredelse, var det til tider nesten isfritt, men klimaet var hele tida kjøligere enn i dag. Etter Larsen m.fl. (2006).

Fig. 3: Maksimum utbredelse av innlandsisen på kontinentalsokkelen utenfor Norge. Strømningsmønsteret i innlandsisen viser kraftige og raske isstrømmer (der strømningslinjene ligger tett) i flere områder. Utenfor disse er det dannet gigantiske avsetninger, ”vifter” som gradvis er bygd opp av materiale som har blitt fraktet med isen gjennom flere istider fram til kontinentalskråningen. Etter Vorren og Mangerud (2006).

Fig. 4: Variasjon i globalt havnivå fra avslutningen av nest siste istid, gjennom siste mellomistid og istid, og fram til i dag. Null-nivået representerer dagens havnivå. Variasjonene styres først og fremst av hvor mye vann som er bundet opp i isdekker på land. I forrige mellomistid, for omtrent 125.000 år siden, var havnivået litt høyere enn i dag fordi mer is på land var smeltet. Ved slutten av

nest siste istid for omtrent 140.000 år siden, var havnivået ennå lavere enn under siste istids maksimum fordi den nest siste istiden var den mest omfattende av de to. Etter Waelbroeck m.fl. (2002).

Fig. 5: Kurver som viser brefrontens posisjon gjennom siste istid langs tre profiler: Et nordøstlig profil hvor variasjonene er dominert av innlandsis med sentrum i Karahavet, et nordlig profil dominert av innlandsis i Barentshavet, og et vestlig profil dominert av den skandinaviske innlandsisen. Legg merke til de store forskjeller i brerespons gjennom tid i de tre profilene. Etter Larsen m.fl. (2006).

Fig. 6:

Øverst: Der innlandsisen hadde opphold i tilbaketrekkingen eller gjorde framrykk, ble det gjerne dannet randmorener. Disse er viktige for å kunne rekonstruere tidligere tiders isutberedelse. Foto: A. Lyså.

Nest øverst: Morenemateriale består gjerne av partikler av mange kornstørrelser, fra leirpartikler til store steiner. Alle disse er fraktet med og kittet sammen av isen, og avsatt under eller langs kanten av den. Foto: A. Lyså.

Nest nederst: Smeltevann som munner ut i innsjøer eller havet fører med seg slam som danner bresjø- eller havavsetninger. Her er det bresjøsedimenter som ble avsatt i en stor innsjø som var demt opp foran innlandsisen i Nordvest-Russland. Foto: E. Larsen.

Nederst: Hav- og strandsedimenter som forekommer godt over dagens havnivå forteller gjerne at området har vært presset ned av vekten av en innlandsis. Her er det strandgrus med skjell som kan brukes til å tidfeste hendelsen og som også forteller hvordan miljøet var på avsetningstidspunktet. Foto: S. Funder.

Fig. 7: Lagserien som er rekonstruert fra Nordvest-Russland, gir en god illustrasjon av hvordan forholdene varierte gjennom siste istid. Bredden på søylen angir hvor grovkornete sedimentene er. De bredeste (groveste) er morener som viser at det har vært isdekker. De finere sedimentene er dannet under ulike faser med liten eller ingen is i området. Etter Larsen m.fl. (2006).

Fig. 8: I følge denne modellen har menneskeskapte utslipp av drivhusgasser forsinket naturlig avkjøling i mange tusen år allerede og forhindret en isoppbygging i nordlige Canada. Modellen sier videre at innholdet av drivhusgasser vil fortsette å stige og dermed også temperaturen, til alt tilgjengelig fossilt brennstoff er brukt opp. Etter Ruddiman (2005).

Fig. 9: Variasjon fra 200.000 år før nåtid (negative verdier) til 150.000 år fram i tid (positive verdier) i: jordbanens form (øverst), solinnstråling ved 65° N (i midten), og modellert globalt isvolum (nederst). Tre ulike alternativer for framtidens isvolum er vist (stiplet strek). Alle tilsier at neste istid blir mindre omfattende enn den forrige og at det enda er lenge igjen av vår nåværende mellomistid. Etter Ramberg m.fl. (2006).

Litteratur:

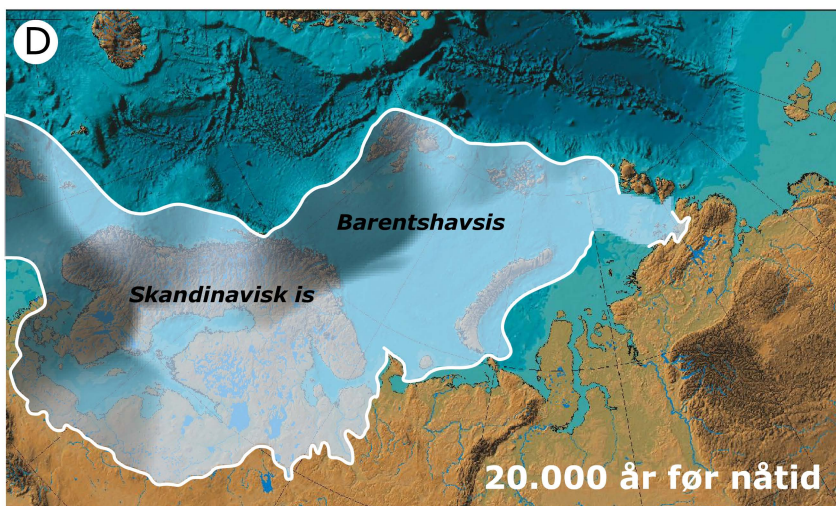
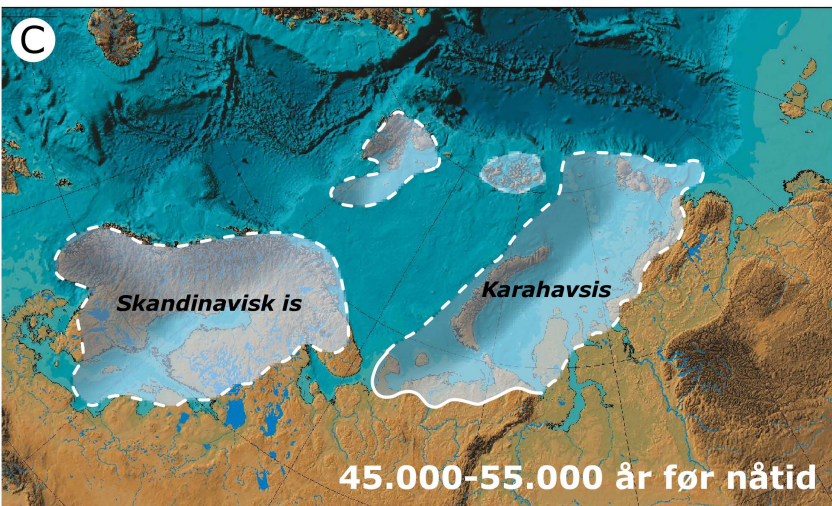
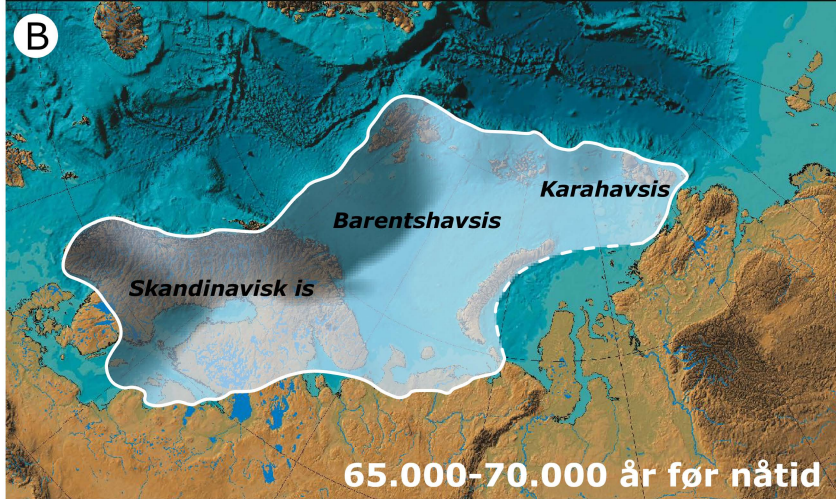
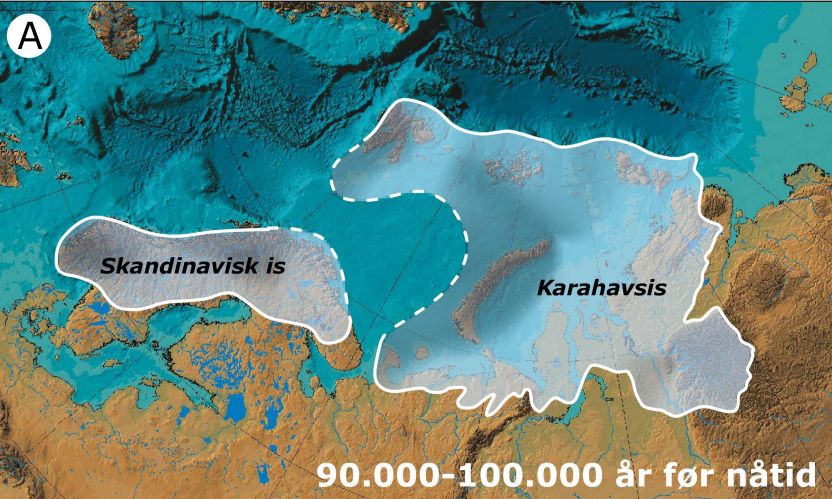
- Larsen, E., Kjær, K.H., Demidov, I., Funder, S., Grøsfjeld, K., Houmark-Nielsen, M., Jensen, M., Linge, H. & Lyså, A. 2006: Late Pleistocene glacial and lake history of northwestern Russia. *Boreas* 35, 394-424.
- Ramberg, I.B., Jansen, E., Olesen, O. & Torsvik, T.H. 2006: Hva vil fremtiden bringe? Geofarer, klimaendringer og kontinentforflytning. I Ramberg, I.B., Bryhni, I. & Nøttvedt, A. (red.). *Landet blir til. Norges geologi. Norsk geologisk forening*, s. 556-585.
- Ruddiman, W.F. 2005: *Plows, plagues & petroleum. How humans took control of climate*. Princeton University Press, 202 s.
- Vorren, T.O. & Mangerud, J. 2006: Istider kommer og går. Sein-Pliocen og Pleistocen; 2,7 millioner – 11 500 år. I Ramberg, I.B., Bryhni, I. & Nøttvedt, A. (red.). *Landet blir til. Norges geologi. Norsk geologisk forening*, s. 478-531.
- Waelbroeck, C., Labeyrie, L., Michel, E., Duplessy, J.C., McManus, J.F., Lambeck, K., Balbon, E. & Labracherie, M. 2002: Sea-level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records. *Quaternary Science Reviews* 21, 295–305.

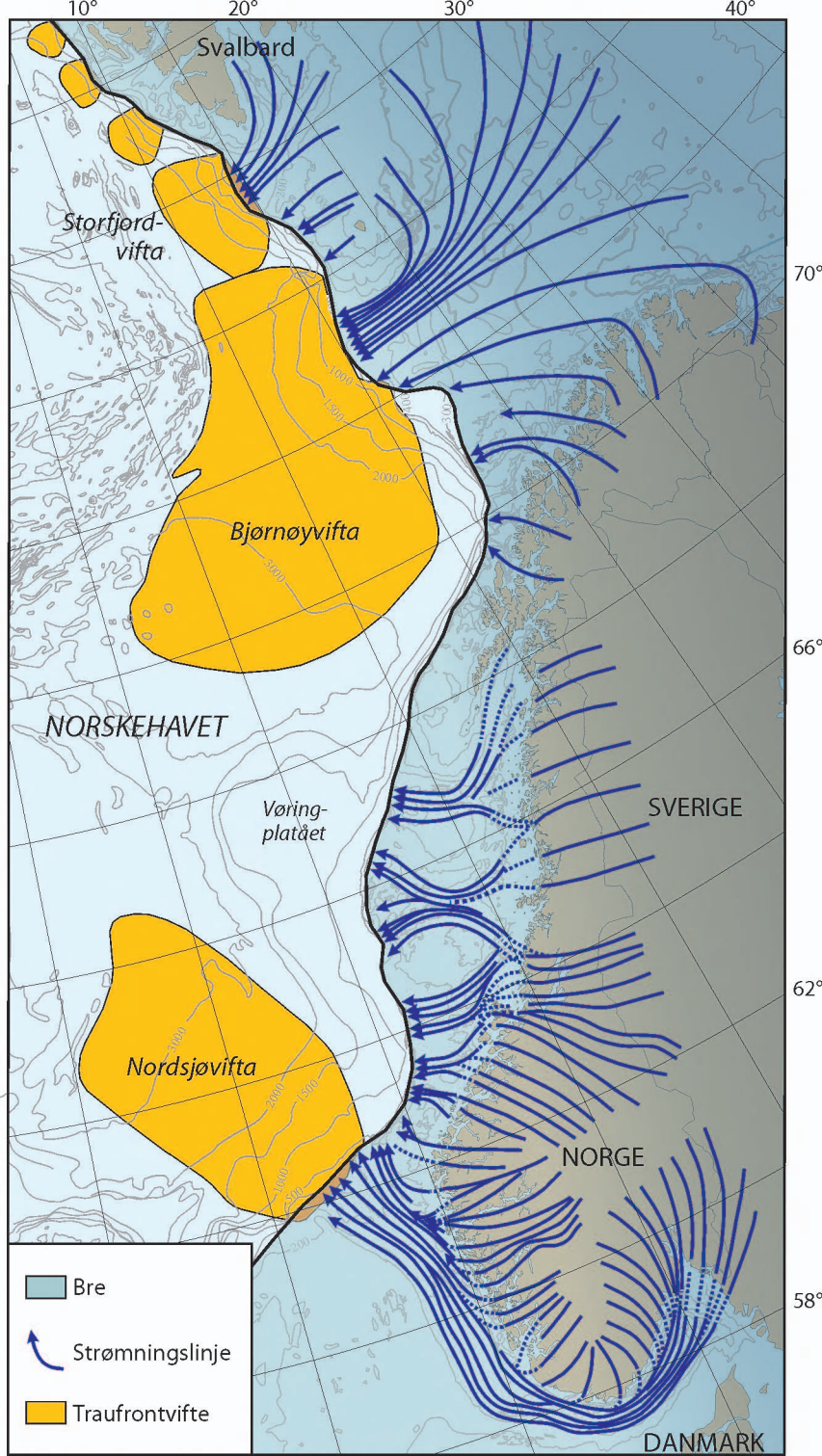
Forfatteren:

Eiliv Larsen, forsker ved Norges geologiske undersøkelse og professor II ved Universitetet i Bergen. Han har arbeidet med istidshistorie og klimavariasjoner i Norge, Russland og Island. Fra 1999 til 2002 ledet han første fase av NORPAST-programmet, og leder nå de store polare forskningsprogrammene GlaciPet og SciencePub. E-post: eiliv.larsen@ngu.no

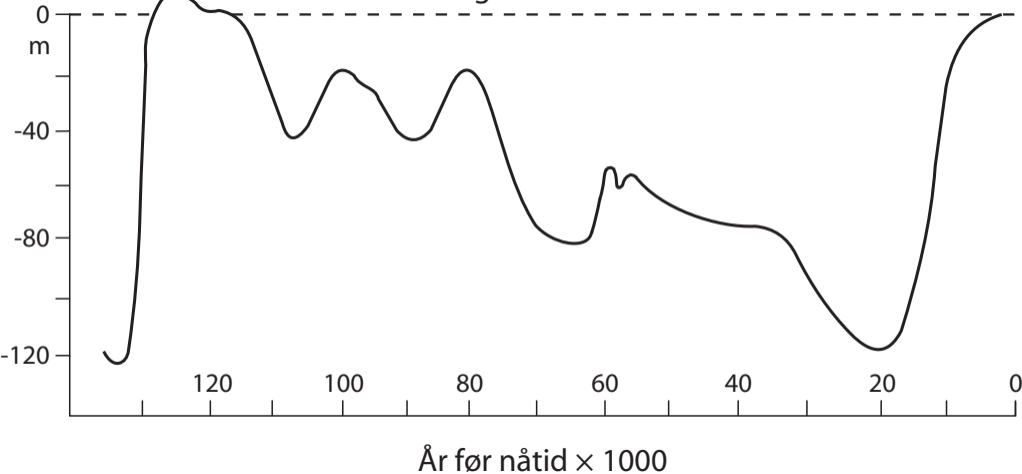
Adresse: Norges geologiske undersøkelse,
NO-7491 Trondheim.

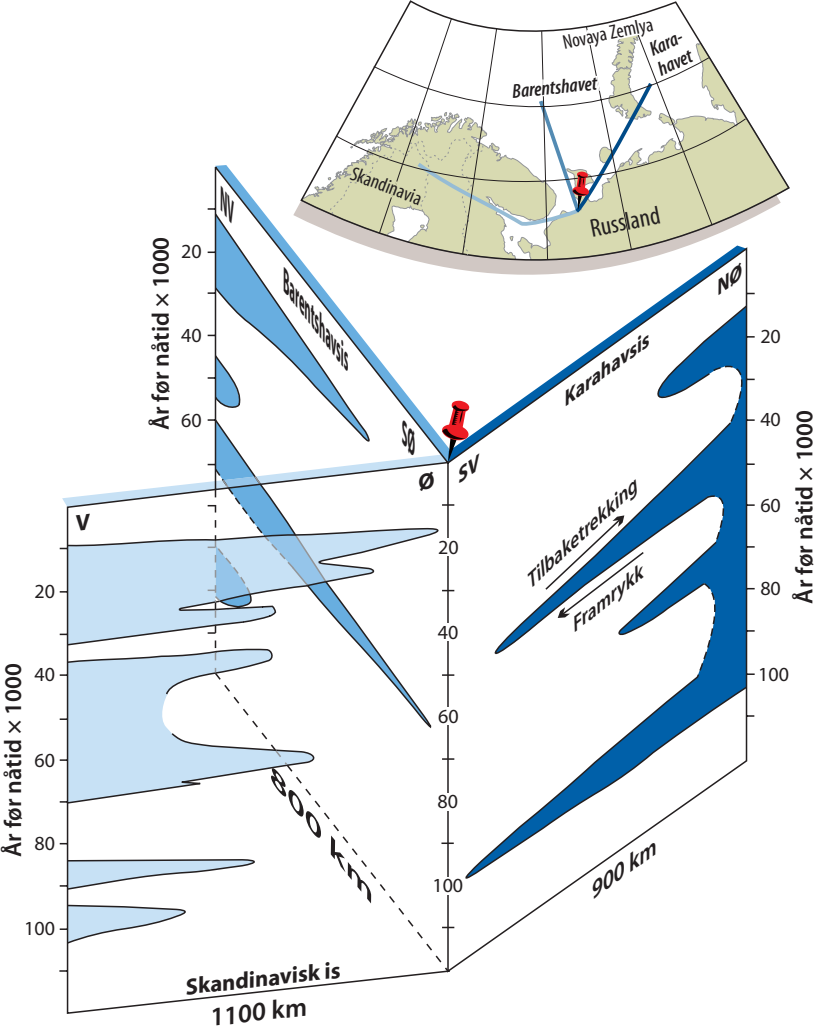






Dagens havnivå





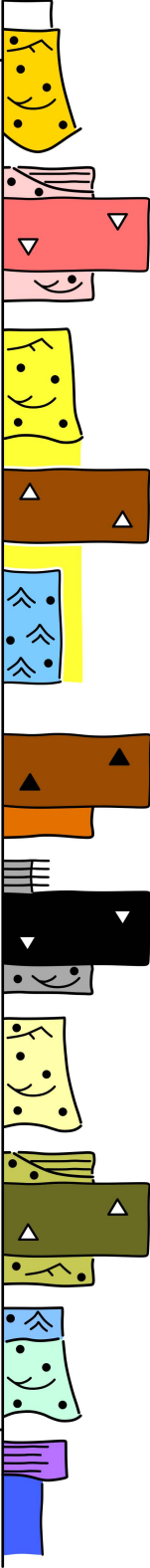








Etteristiden



Siste istid

Elveavsetning:
isfritt

Morene:
isfremstøt

Siste mellomistid

Havavsetning:
høyt havnivå

