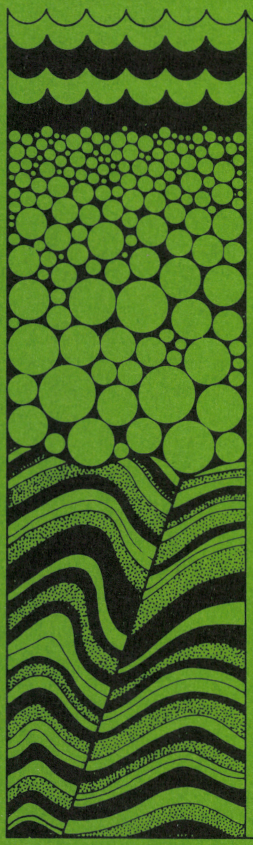
16.

INSTITUTT FOR GEOLOGI NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE

Department of Geology, Agricultural University of Norway
Address: N—1432 Ås - NLH. Telephone: (02) 94 00 60



Rapport nr. 5
ÅS 1977

Sylvi Haldorsen

Morener; dannelse, klassifikasjon og egenskaper

Forelesninger i kvartærgeologi - G2
ved NLH høsten 1976

INSTITUTT FOR GEOLOGI
NORGES
LANDBRUKSHØGSKOLE

Department of Geology, Agricultural University of Norway
Address: N—1432 Ås - NLH. Telephone: (02) 94 00 60

Rapport nr. 5
ÅS 1977

Sylvi Haldorsen

Morener; dannelse, klassifikasjon og egenskaper

Forelesninger i kvartærgeologi - G2
ved NLH høsten 1976

ISBN 82 - 576 - 2503 - 5

I N N H O L D

INNLEDNING

Morenejorda består av det materialet som har vært transportert direkte med breisen, og som ikke senere har vært transportert i luft eller vann.

Arealmessig er morene den vanligste jordarten i Norge, og den er opphavsmaterialet for de fleste andre jordartene vi finner i landet. På grunn av at morenematerialet stammer direkte fra breisen, kan undersøkelser av dette materialet gi oss viktige opplysninger om tidligere tiders isbreer. Det er derfor av vesentlig betydning både i praktisk og teoretisk sammenheng å kjenne til morenejordas viktigste egenskaper.

Det er mest vanlig å dele inn morenene i tre grupper: bunnmorene, ablasjonsmorene og morenerygger (som omfatter ende-, side- og midtmorenerygger). Inndelingen er egentlig ikke helt logisk, og en annen, mer teoretisk inndeling er vist på fig.1. Denne inndelingen baseres på hvor i breen morenematerialet er transportert, og hvordan det er avsatt. Både i teori og praksis er det vanskelig å skille disse forskjellige morenetypene fra hverandre.

I Norge bruker vi som regel samme betegnelse for jordarten "morenejord" og formelementet "morenerygg". Vi kaller begge deler for "morene". På norske kvartærgeologiske kart ble morenejord tidligere betegnet som "bregrus". På engelsk brukes ofte betegnelsen "till" for jordarten og "moraine" for de landskapsformene denne jordarten danner.

I vårt land har moreneundersøkelser i første rekke vært konsentrert om beskrivelser av morenerygger. Formålet har i den forbindelse primært vært å klargjøre framrykningen og tilbaketrekningen av breene i ulike områder. Selve sammensetningen av morenematerialet har i liten grad vært viet noen særlig oppmerksomhet. De undersøkelsene som tidligere ble foretatt av morenematerialet, dreide seg hovedsakelig om kornfordelingsanalyser og studier av blokk- og steinmaterialet. Formålet var i første rekke å kartlegge isskiller og isbevegelsesretninger. Eldre beskrivelser av finmaterialet i morenene kan en iblant finne i jordbunnsbeskrivelser fra Statens Jordundersøkelse.

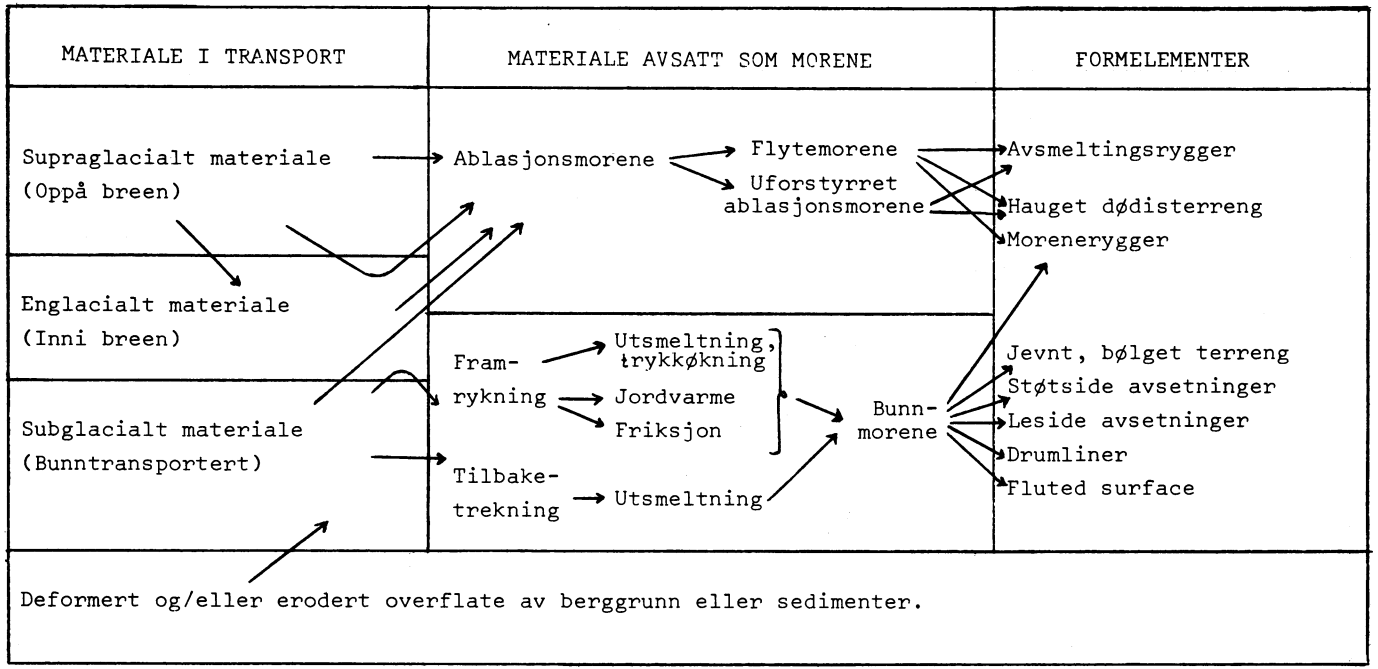


Fig.1 Sammenhengen mellom forskjellige typer moreneavsetninger. De vanligste relasjoner er avmerket med piler. (Tildels etter Dreimanis 1975).

I de siste år har interessen for morenematerialets dannelse og sammensetning økt betraktelig blant kvartærgeologene, og vi begynner etterhvert å få en viss oversikt over hva som skiller de ulike morenetyper fra hverandre. Vi begynner også å få et relativt stort datamateriale som kan forklare sammenhengen mellom berggrunnen og sammensetningen av morenematerialet. Den økte interessen for morenematerialet har mange årsaker, blant annet skyldes den at endel kvartærgeologer har spesialisert seg innenfor emnet petrografi/geokjemi, og dessuten at de geologiske institusjonene har fått mer utstyr til rådighet for å analysere finmaterialet i morenene.

Det er imidlertid svært mye som fremdeles er uklart når det gjelder å forklare sammensetningen av morenemateriale og dannelsen av ulike morenetyper. Noen av de vanligste teoriene på dette området vil bli omtalt.

BUNNMORENE

Bunnmorene består av det materialet som er transportert i sålen av breen (fig.1), det vil si i de aller nederste metrene av breisen. Bunnmorene er arealmessig den viktigste jordarten i landområder som har vært nediset i Kvartær tid. I Norge består størsteparten av løsavleiringene over marin grense av bunnmorene-avsetninger. I skogområdene og høyfjellsområdene er bunnmorener spesielt vanlige. Vesentlige deler av jordbruksarealene ligger også på bunnmorenejord, særlig i områder der moreneavsetningene er spesielt tykke og der de er dannet av næringsrike bergarter. De to viktigste områdene i så måte er Jæren og Mjøsbygdene.

Erosjon og transport

Opphavsmaterialet for bunnmorenene er underliggende berggrunn og/eller eldre sedimenter som isen har beveget seg over. De viktigste erosjonsprosessene som foregår ved bunnen av breen er sliping, knusing og plukking. Det er mye som tyder på at knusing og plukking er de mest effektive faktorene. Materialet føres med breen ved at det fryser fast i bresålen og blir transportert i de nederste metrene av breisen, som består av en blanding av bergartsmateriale og is (fig.2). Når temperaturen i underste del av breen er nær trykksmeltepunktet, vil det foregå

en alternering mellom frysing og tining, og materiale kan smelte løs, fryse fast igjen, nytt materiale kan tas opp osv.

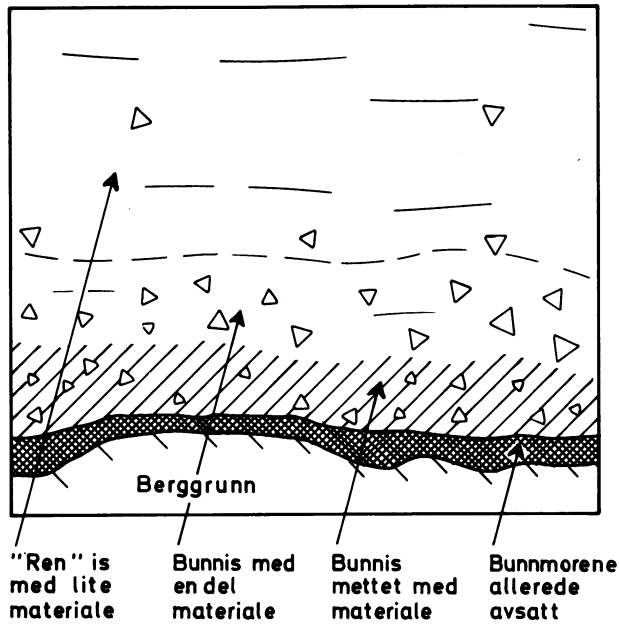


Fig.2 Fordelingen av materiale i den undre delen av en bre. Materialet fryses inn i breen nedenfra og smeltes ut nedenfra, avhengig av trykk- og temperaturforholdene ved bunnen av breen.

Disse fryse- og tineprosessene fører til at blokk og stein som er plukket opp, støter mot hverandre og knuses. Det ser ikke ut for at det dannes særlig mye materiale ved at steinene slipes mot hverandre. Både blokk, stein, grus og finere materiale blir på denne måten relativt kantet. Etterhvert som materialet males opp, dannes det grus, sand og silt, og vi får den typiske, usorterte kornfordelingen. Jo lenger materialet transporteres ved bunnen av isen, jo mer blir det knust ned. (Den nedre grensen for denne knusingen vil bli omtalt senere). Den aller nederste delen av is/sediment-sonen vil inneholde det materialet som nylig er erodert og derfor er mest lokalt preget og minst nedknust. Høyere oppe i is/sedimentsonen kan vi iblant finne

materiale som har hatt en lengre transport og derfor er mer nedknust.

Avsetning.

Avsetning av materiale skjer hovedsakelig i breens ablasjonssone, som er den delen av breen der det er en netto avsmeltning pr.år. Avsetning av bunnmorene, det vil si materiale som ikke lenger blir transportert framover av breen, kan skje både under framrykningen av breen og under tilbaketrekningen og nedsmeltningen. I det første tilfellet vil morenematerialet ligge i ro mens breisen over fortsetter bevegelsen framover. I det andre tilfellet kan materialet transporteres med breen helt til den overliggende isen er smeltet vekk eller all bevegelse er opphørt.

Vi skal se på hvordan materialet kan avsettes mens breen er i bevegelse. Når breisen er nær trykksmeltepunktet, skal det lite til av f.eks. topografiske forandringer før trykkforholdene endres noe, og litt av breisen smelter. Det materialet som er frosset inne i denne delen av isen, smelter dermed ut og avsettes (fig.3 a).

En annen faktor som fører til at det blir avsatt bunnmorene, er jordvarmen nedenfra (fig.3 b). Målinger fra dagens breer har gitt eksempler på at denne varmetilførselen kan være tilstrekkelig til å smelte fri gjennomsnittlig en centimeter morene pr.år fra bunnen av enkelte breer.

I blant kan også friksjonen mellom det nederste, sedimentmettede islaget og berggrunnen under bli stor nok til at islaget stopper opp. Isen fortsetter å gli framover, oppå det undre is/sedimentlaget (fig.3 c). Det kan også være indre friksjon i selve is/sediment-sonen slik at nederste del av denne sonen stopper opp, mens resten fortsetter å bevege seg.

Tykkelse og utbredelse av bunnmorene.

I Norge er tykkelsen av bunnmorene sjelden mer enn 5 m i gjennomsnitt over større områder. Tykkelsene er relativt små i forhold til andre områder som var dekket av det skandinaviske isskjoldet. De mektigste avsetningene finner vi i Danmark, Nord-Tyskland, Polen og Estland, og på kontinentalsokkelen utenfor Norge (fig.4). Også i store deler av Sverige og Finland

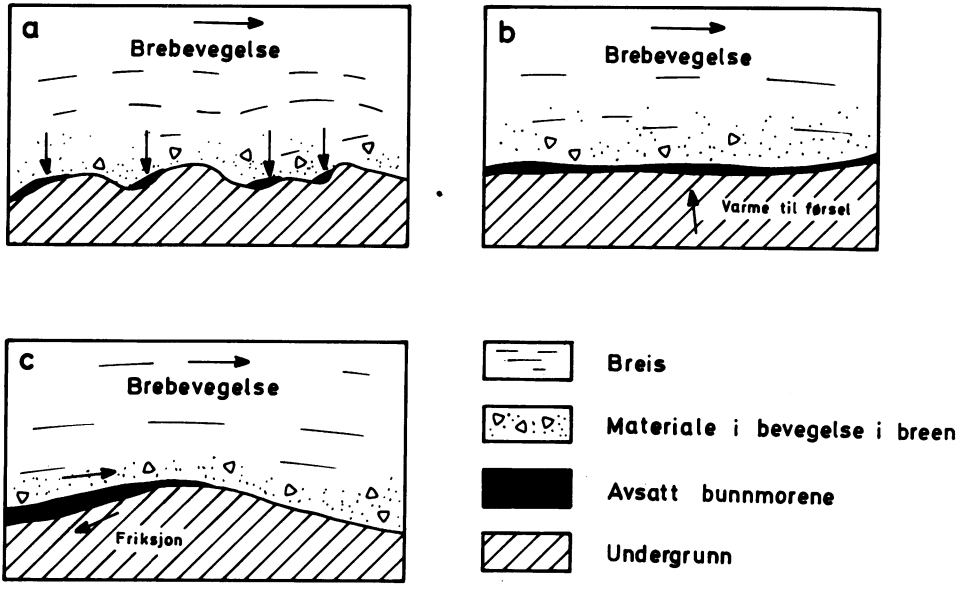


Fig.3 Avsetning av bunnmorenemateriale mens breen er i bevegelse.

a) Topografiske forandringer endrer trykkforholdene, og det smelter ut morenemateriale der trykket øker (markert med piler).

b) Jordvarme tilføres nedenfra. Underste sone av isen smelter, og bunnmorene avsettes.

c) Friksjonen mellom underlaget og nederste del av is/sedimentsonen er så stor at denne sonen blir liggende igjen mens breen over fortsetter å bevege seg.

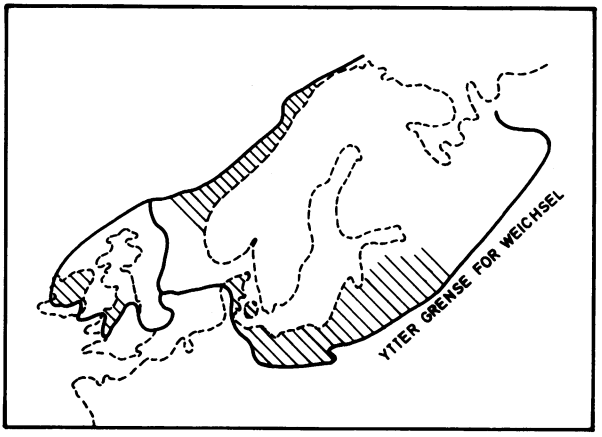


Fig.4 Utbredelsen av det Skandinaviske og Britiske isskjoldet under maksimum av siste istid (markert med tykk strek, etter Flint 1971). Skraverte arealer viser endel områder med spesielt tykke morene-avsetninger.

er bunnmoreneavsetningene mektigere og mer sammenhengende enn i Norge.

Regionalt er det store variasjoner i tykkelse og utbredelse av bunnmorene i Norge. Vi kan grovt dele avsetningene i to hoved-typer (fig.5)

1. Store områder med sparsomt morenedekke
2. Relativt tykke bunnmoreneavsetninger som er sammenhengende over større områder, (gjennomsnittlig tykkelse 2-10 m).

Det sparsomme morenedekket Arealmessig er denne avsetningstypen den vanligste i landet. Det er vanlig å finne et sparsomt dekke av bunnmorene i de fleste høyereliggende områdene av landet, dvs. i områdene over marin grense, mellom dalførene (fig.5). Det sparsomme morenedekket er karakterisert ved at tykkelsene sjelden overstiger en meter i gjennomsnitt over større områder. Morenematerialet er stort sett konsentrert i forsenkningene i terrenget. Store deler av den underliggende berggrunnen er blottet. Indre deler av Sørlandet og Telemark er typiske eksempler på slike områder.

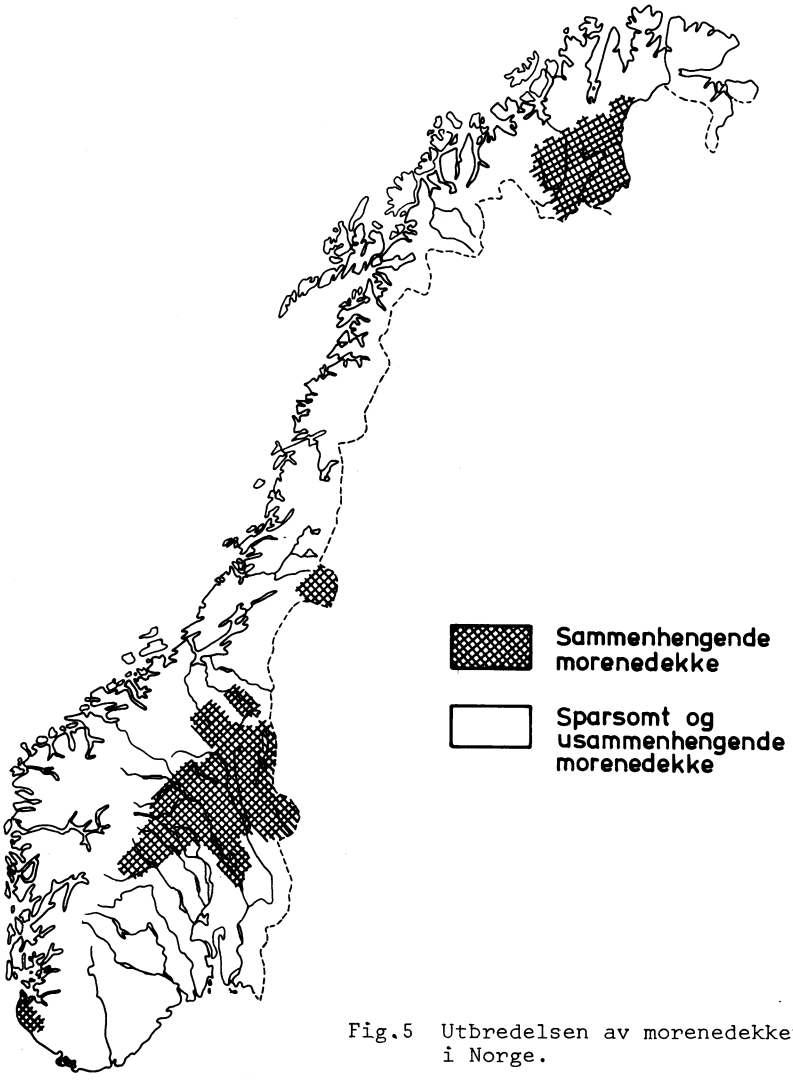


Fig.5 Utbredelsen av morenedekket i Norge.

Sammenhengende flater av bunnmorene. Moreneflater med stor regional utbredelse finner vi blant annet over deler av innlandet i Sørøst-Norge, på Jæren og på Finnmarksvidda (fig.5). De er karakterisert ved en rolig, jevn overflate, men tykkelsen er sjelden så stor at den jevner ut hovedstrukturene i den underliggende berggrunnen. De største mektighetene finner vi gjerne i forsenkningene, mens det ofte er et tynnere dekke på høydedragene. I store deler av områdene er morenedekket så sammenhengende at den underliggende berggrunnen bare unntaksvis stikker opp i dagen.

Det er flere faktorer som bestemmer tykkelsen og utbredelsen av bunnmorener. Hastigheten ved bunnen av breen vil ha betydning for forholdet mellom erosjon, transport og avsetning. I de områdene der hastigheten har vært relativt liten, slik at breen stort sett har ligget i ro, vil materialet i liten grad bli transportert vekk. Moreneavsetningene blir sammenhengende. Dette kan være hovedårsaken til at områdene i Sørøst-Norge har så tykke moreneavsetninger, trass i at berggrunnen tildels består av relativt harde bergarter.

Jæren danner et særtilfelle når det gjelder løsmassetykkelse. Vi kan si at dette området har avsetninger av "dansk type". Det kan kanskje skyldes at breen har ligget relativt rolig i området i motsetning til områdene lenger mot nordvest og øst.

Motstandsdyktigheten for den underliggende berggrunnen vil være av stor betydning for mengden av morenemateriale som dannes i et område. Morenene er stort sett sammenhengende og mektige i områder med bløte kambrosilurbergarter, mens de er tynnere i områder med grunnfjellsbergarter og andre harde bergarter.

Topografiske forhold vil ha betydning for utbredelsen av morenematerialet. Forholdet mellom forsenkninger og høydedrag er allerede nevnt. Fordelingen av morenemateriale på hver side av åser og daler vil bli omtalt nedenfor.

Den kvartære historien etter at morenematerialet ble avsatt, er også av betydning for dagens utbredelse av bunnmorene. I dalfører og i områder under marin grense vil ofte bunnmorenene være dekket av yngre avsetninger (glacifluvialt, fluvialt eller marint materiale). I andre områder er det opprinnelige bunnmorenematerialet fjernet eller omlagret ved senere erosjon.

Spesielt har dette skjedd i daler der det har vært en stor konsentrasjon av smeltevann under avsmeltningsfasen, og i områder under marin grense (f.eks. i Oslofjord-området).

Bunnmoreneformer av mer lokal karakter

Innenfor områdene med sammenhengende morenedekke og i områdene med sparsomt morenedekke, kan man skille ut noen relativt vanlige bunnmoreneformer. Tildels har disse formene en karakteristisk beliggenhet i terrenget, tildels danner de landskapsformer som er typiske for bunnmorenemateriale.

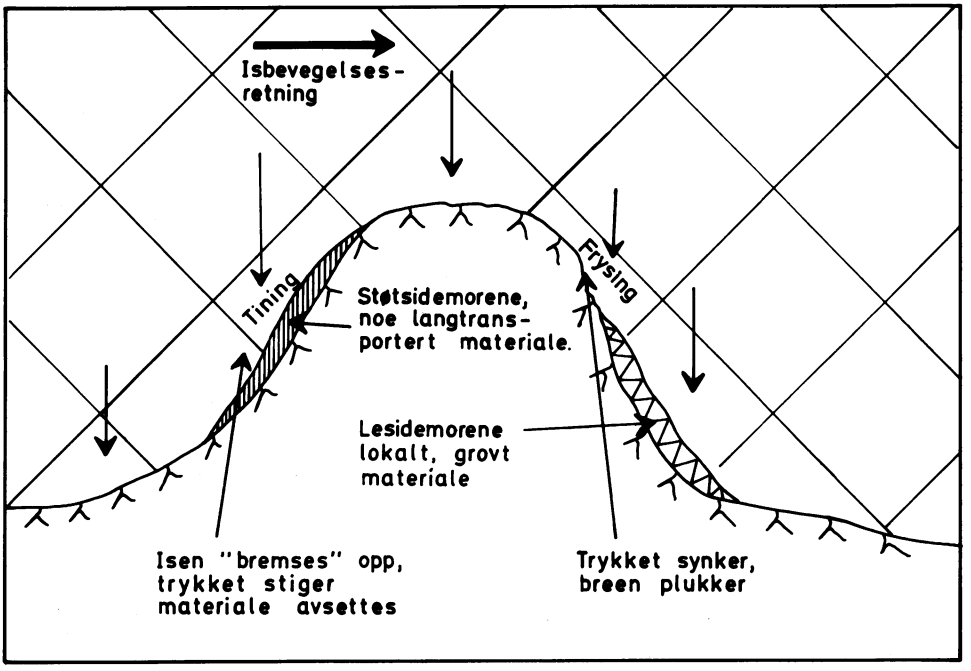


Fig.6 Dannelsen av støt- og lesidemorener. Vertikale piler viser trykkforholdene ved bunnen av breen.

a) Støt - leside avsetninger i åssider. På to motsatte sider av opprakende åser vil vi ofte observere tykkere moreneavsetninger enn ellers i området. Disse avsetningene ligger på støt- og lesiden av åsen i forhold til isbevegelsen (fig.6) Man antar at avsetningen av slike morener har vært betinget av lokale variasjoner i trykket under isen. På støtsiden har trykket gradvis økt oppover åssiden (se fig.3 a og 6) inntil det har blitt så høyt at trykksmeltepunktet er overskredet ved bunnen av isen. På denne måten er det smeltet fram større mengder morenemateriale. På lesiden av åsen vil vannet fryse til is igjen og plukke løs materiale lengst oppe i åssiden, og dette materialet kan igjen avsettes noe lenger nede i lesiden. Iblant finner man linser og lag av sortert materiale inne i disse støt- og lesidemorenene som viser at det har vært smeltevann tilstede under dannelsen. Forskjellen på støtsidemorenene og lesidemorenene som er avsatt under slike betingelser, kan være at støtsidemorenene er mer finkornige og inneholder noe mer lang-transportert materiale enn lesidemorenene. Lesidemorenene er ofte karakterisert ved grovt materiale som reflekterer berggrunnen umiddelbart under. Det er også vanlig at materialet i støtsidemorenen er mer komprimert enn materialet i lesidemorenen.

b) Lesidemorener i daler. I mange dalsider i landet er det betydelige lesideavsetninger. Dette er karakteristisk for flere store dalføre i landet, og er spesielt godt utviklet i sidedalførene i Gudbrandsdalen (fig.7). Disse lesideavsetningene kan ha stor mektighet, opptil 20-50 meter. Lesidemorenene er dannet mens breen var så tykk at den kunne bevege seg delvis uavhengig av terrengformene, dvs. den beveget seg på tvers av dalsystemene.

Også i støtsidene av dalene kan det være opphoping av morenemateriale, men støtsideavsetningene har gjerne mindre mektighet enn lesideavsetningene.

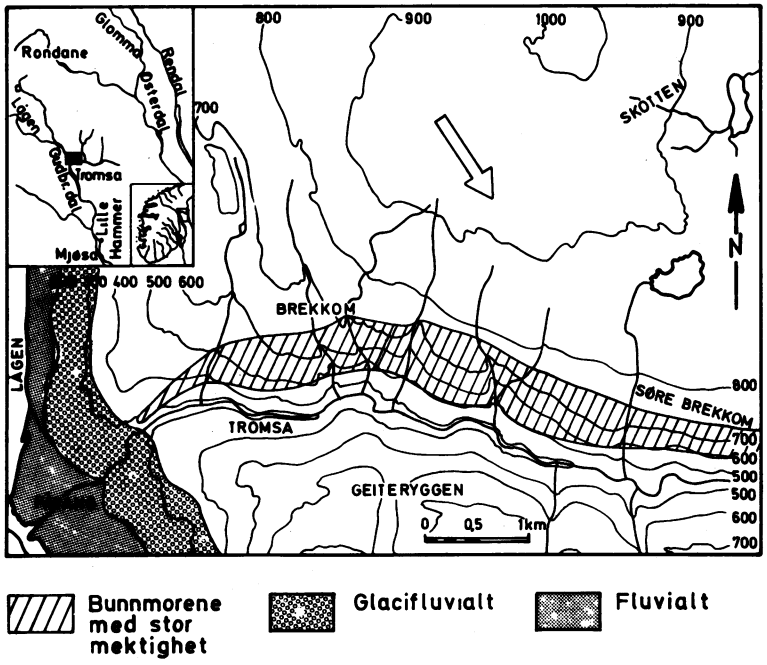


Fig.7 Avsetning av lesidemorenene i Tromsas dalføre (Etter Bergersen & Garnes 1972). Isbevegelsen er markert med en pil.

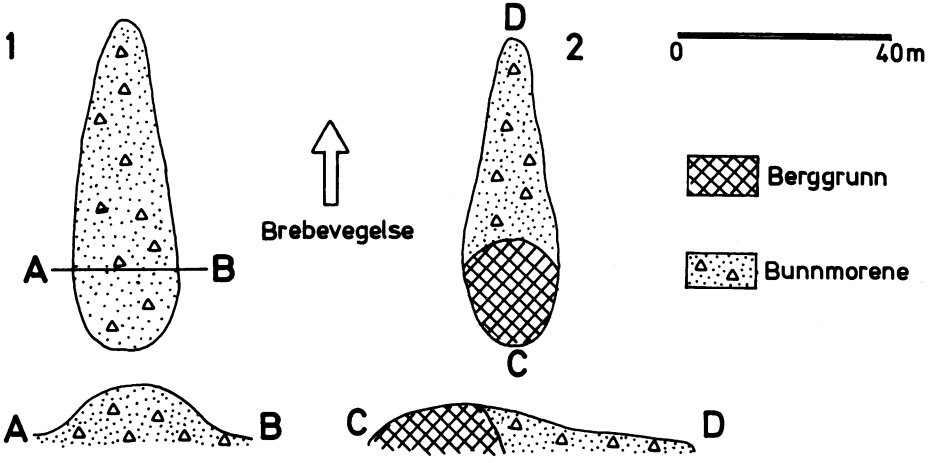


Fig.8 Drumliner. 1: Uten fjellkjerne, sett ovenfra og ved tverrsnitt A-B. 2: Med fjellkjerne, sett ovenfra og ved lengdesnitt C-D.

c) Drumliner. I mange områder er det ryggformige avsetninger av morenejord med samme lengderetning som isbevegelsen i området. Slike rygger kalles drumliner (fig.8). Ryggene kan ha en kjerne av fjell i den enden som peker oppstrøms i forhold til brebevegelsen, og kalles da "crag and tail". Drumlinene kan være strømlinjeformede, men det er mest vanlig at formen er mer uregelmessig. Størrelsen på drumlinene er varierende. Mange rygger er bare et par meter høye og noen få meter lange, mens andre kan være over hundre meter høye og ha en lengde på mange hundre meter. Ofte opptrer det felt med mange drumliner, og det er gjerne slik at der drumlinene ligger tett er de små, mens store drumliner ligger mer spredt i terrenget. Drumlinene inneholder normalt samme materialtype som bunnmorenen ellers i området, og er vanligst å finne i forsenkninger i terrenget. Det er mange teorier om dannelsen av drumliner, og de fleste antar at det hovedsakelig dreier seg om akkumulasjonsformer. De største drumlinfeltene i Norge finner vi på Finnmarksvidda, og mindre felt finner vi spredt over størstedelen av landet.

d) Fluted surface. En svært alminnelig type ryggformede eller "linjeformede" bunnmoreneavsetninger er det man gjerne kaller for "fluted surface". De sees som langstrakte, lave rygger eller forhøyninger i bunnmorenen, parallelt brebevegelsesretningen. Dimensjonene på disse ryggene er vanligvis mindre enn på drumlinene.

Det ligger gjerne en mengde slike parallelle rygger av morenemateriale ved siden av hverandre og etter hverandre innenfor et felt med "fluted surface".

"Fluted surface" er lettest å få øye på i myområder der ryggene sees som lange, smale soner av tørr mark, og de er spesielt tydelige når man betrakter flybilder.

"Fluted surface" finner vi over hele landet, og blant annet har vi gode eksempler på slike former innenfor Landbrukshøgskolens øvelsesområde på Gausdal - Vestfjell.

Foran dagens breer kan man i blant observere "fluted surface" på moreneoverflaten der breen nylig har trukket seg tilbake. Vi har ikke noe norsk uttrykk for "fluted surface".

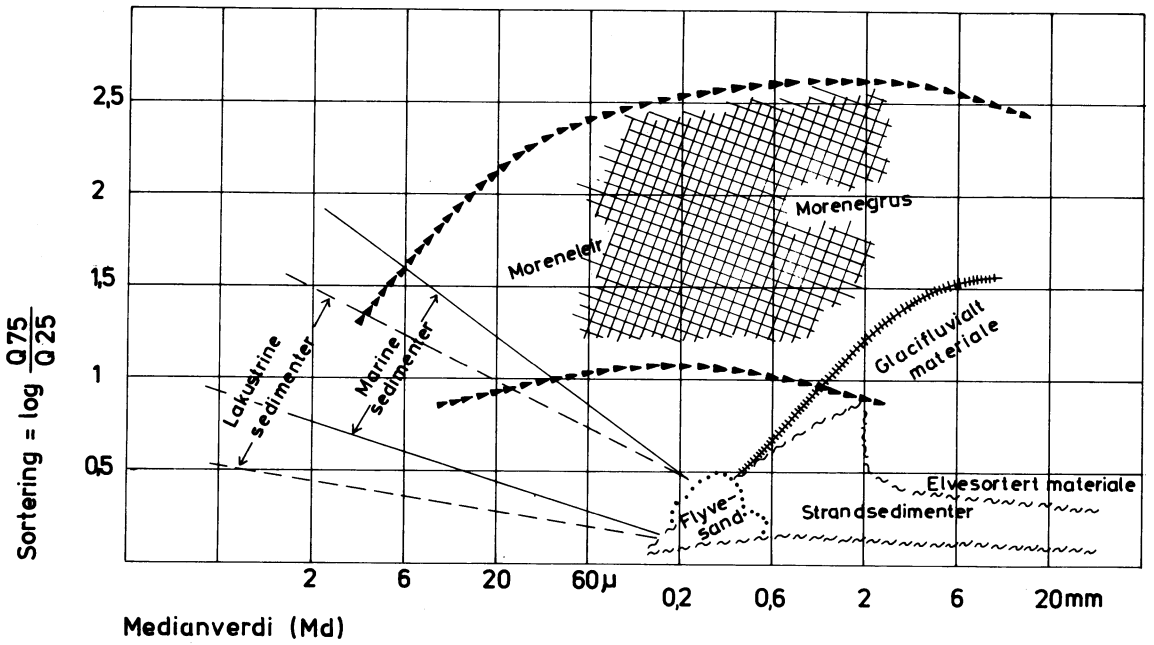


Fig.9 Md-So diagram for jordarter. Begrensningene for de vanligste norske jordartene er inntegnet (Etter Selmer-Olsen 1954). Beliggenheten for typiske, norske bunnmoreneprøver er skravert.

Kornform, kornfordeling og petrografisk sammensetning

De to mest karakteristiske trekk ved bunnmorener er at materialet er kantet og at det er dårlig sortert. Alle fraksjoner er som regel tilstede, fra leir til blokk, og det er vanligvis vanskelig å finne noen kornfraksjon mellom grus og leir som er spesielt dominerende i forhold til de andre fraksjonene. Fig.9 viser et diagram over medianverdi (Md) og sorteringskoeffisient (So) for vanlige, norske jordarter. Vi kan her se hvordan morener skiller seg fra andre jordartstyper.

Kornform Under transporten i breen vil kanter og hjørner på store blokker og steiner bli slått av, slik at dette grove materialet blir kantrundet. Det finere materialet vil i liten grad gjennomgå noen som helst form for runding. Et betydelig innhold av rundet materiale i en bunnmorene vil være et tegn på at breen har erodert i eldre løsavsetninger.

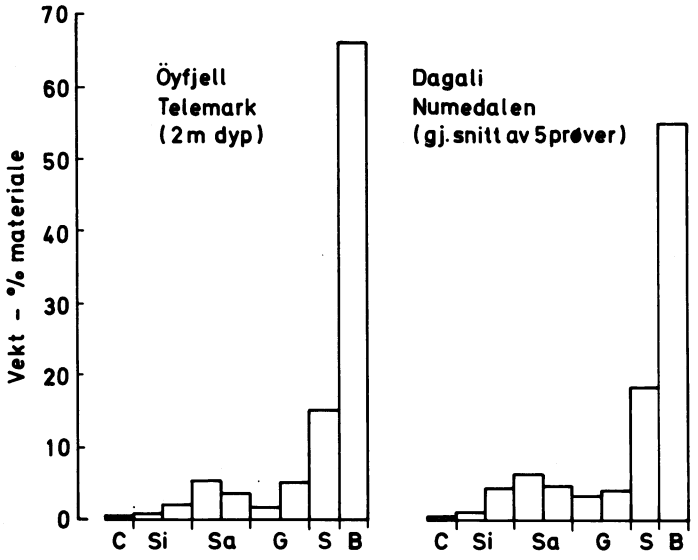


Fig.10 Histogram som viser den totale kornfordelingen for bunnmorene fra grunnfjellsområder. C: Leir, Si: Silt, Sa: Sand, G: Grus, S: Stein og B: Blokk (Etter Jørgensen 1977).

Innhold av blokk og stein Den totale kornstørrelsesfordelingen for bunnmorene vil ofte være dominert av blokk og stein (fig.10). Blokkinnholdet kan i mange tilfelle utgjøre mer enn 50 % (vektprosent) av det totale morenematerialet. Vanligvis beregnes mengden av blokk visuelt i felt.

Mengden av blokk og stein varierer ganske mye i bunnmorener, og er i første rekke avhengig av hvilke bergarter morenematerialet er dannet fra. Det er klart at hardheten for bergarten og oppsprekningen vil være av stor betydning i denne forbindelsen.

Enkelte bergarter har hatt stor evne til å gi blokk og stein til morenene (f.eks. sparagmittbergartene), mens andre bergarter enten kan være så seige og lite oppsprukket at de vanskelig har latt seg plukke av breen og derfor ikke har produsert særlige mengder av blokk (f.eks. enkelte gabbroer), eller de kan være så bløte og lette å knuse ned at de overveiende har gitt finstoff til morenene (f.eks. leirskifer). Som et eksempel kan man nevne bunnmorenene i Mjøsområdet. Her er blokk- og steinmaterialet i morenene i hele kambro-siluområdet dominert av sparagmittbergarter. Materialet fra de bløte, lokale bergartene er hovedsakelig knust så langt ned at det er anriket i de finere fraksjoner av morenen.

Også topografiske forhold vil ha betydning for innholdet av blokk og stein i bunnmorener. F.eks. vil breen gjerne plukke med seg relativt store mengder av materiale i bratte lesider, og dette kan lokalt gi et høyt innslag av blokk i morenen.

Vi skal være klar over at den blokkmengden som observeres på overflaten av en moreneavsetning normalt er høvere enn blokkinnholdet lenger nede i avsetningen. For det første skyldes dette at grus, sand og finere materiale blir spylt bort fra overflaten under avsmeltningen av breen, slik at det blir en anrikning av grovt materiale på overflaten. Dessuten er en del av det blokkmaterialet som ligger på moreneoverflaten gjerne transportert i høyere lag av breen og har lagt seg oppå bunnmorenen da breen smeltet vekk (se avsnittet om ablasjonsmorener).

Finere materiale Kornfordelingsanalysene utføres vanligvis på grus og finere materiale. Det er vanlig å begrense disse analysene til materiale <32 mm eller til materiale <16 mm.

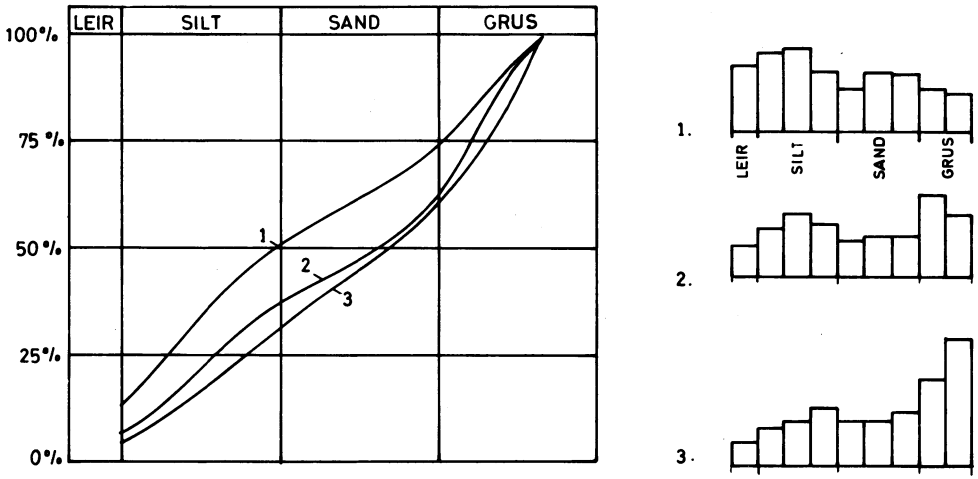


Fig.11 Kornfordelinger for bunnmorener 1 fra kambrosilur 2 fra sparagmitt og 3 fra grunnfjell.

De fleste norske bunnmorener har et forholdsvist lavt innhold av leir. Låg oppgir at morenejord her i landet sjelden har et leirinnhold som overstiger 5 % av finmaterialet (sand - silt - leir). I kambro-siluområder kan det være noe mer leir i morenen, men sjelden mer enn 10 - 15 %.

Fig.11 viser typiske kornfordelingskurver for bunnmorener fra ulike berggrunnsområder. Vi ser at det ikke er så svært stor forskjell på de ulike morenetypene. Kambro-silurmorener har et høyere innhold av leir og silt enn andre morener, fordi kambro-silurbergartene gjerne er finkornige og lette å knuse ned. Det er foretatt en sammenstilling av kornfordelingsdata for 3ooo norske moreneprøver, og denne sammenstillingen viste at det var mulig å skille mellom to hovedtyper av morener; de som var dannet av krystalline og grove sedimentære bergarter på den ene siden, og de som var dannet av leirskifre, kalksteiner og fyllitter på den andre siden. Fig.12 viser hvordan finstoffinnholdet i norske bunnmorener er avhengig av den nevnte berggrunnsinndelingen.

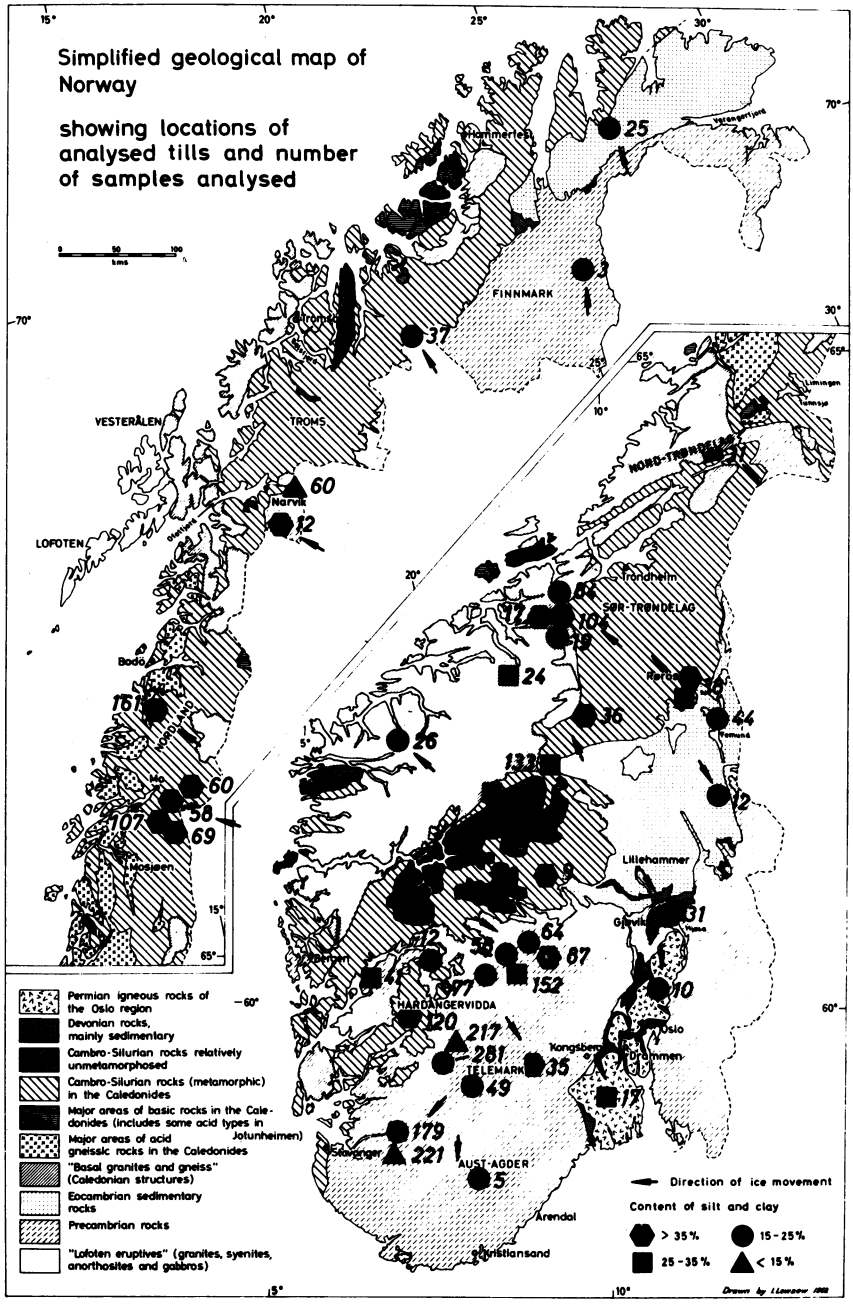


Fig.12 Sammenheng mellom berggrunn og bunnmorenemateriale i Norge (Etter Jørgensen 1977).

Nedknusning av bergartsbruddstykker Endel bunnmorener inneholder litt mer av visse kornfraksjoner enn av andre. Det trer fram som brattere partier på kornfordelingskurvene. Som en følge av dette, blir det prosentvis litt mindre materiale i andre fraksjoner, oftest i deler av grus- eller sandfraksjonene. Dette viser seg ved flatere partier på kornfordelingskurvene (fig.11). Materialet har dermed en tendens til en bimodal eller polymodal kornfordeling. Det ble tidligere nevnt at steiner blir knust ved at de støter mot hverandre under bretransporten. Når steinene er knust ned og bruddstykkene er kommet ned i grusstørrelse (fig.13 A), vil ofte neste skritt være at de faller helt fra hverandre slik at hvert enkelt mineralkorn blir frigjort (fig.13 B). Det blir dermed bare mindre "mellomstasjoner" mellom de større bergartsfragmentene og mineralkornene. Dette betyr at det er litt mindre mengder materiale som havner i disse "mellomfraksjonene" enn i enkelte andre fraksjoner. Det er særlig i de tilfeller der alt morenematerialet er dannet fra en enkelt bergart at en slik bimodal fordeling kan registreres.

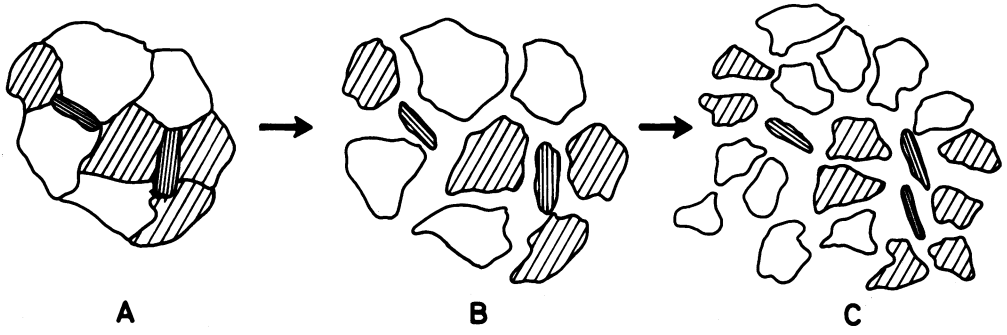


Fig.13 Oppknusning av et bergartskorn under bretransporten Det opprinnelige kornet (A) reduseres betydelig i størrelse ved at det faller fra hverandre slik at hvert mineralkorn frigjøres (B). Kornene deles videre opp til siltstørrelse (C) og er siden motstandsdyktige mot videre nedknusning.

Neste skritt i nedknusingen etter at mineralkornene er frigjort, er at hvert mineralkorn deles opp i mindre fragmenter (fig.13 C). Når disse mineralfragmentene er kommet ned i siltstørrelse, er de gjerne ganske motstandsdyktige mot videre nedknusning, og det blir en viss opphopning av materiale i siltfraksjonen. Dette er årsaken til at morener som er dannet av krystalline og grove sedimentære bergarter, er relativt rike på grovsilt. Det leirinnholdet og finsiltinnholdet som vi finner i disse bunnmorenene, skyldes sannsynligvis en viss sliping under isen. På den måten dannes det litt "bergartsmel". Noe av finstoffet i morenen kan også stamme fra eldre sedimenter som isen har tatt med seg under framrykningen. Dette er en forklaring vi iblant griper til når leirprosenten er "for høy" i forhold til den underliggende berggrunnen. Endel leir kan også stamme fra finkornige forvitringssoner i berggrunnen.

Som nevnt har kambro-silurmorenene noe mer leir og finsilt enn bunnmorener fra andre berggrunnsområder. Dette skyldes at kambro-silurbergartene er sammensatt av ganske små mineralkorn. Når slike bergarter knuses ned så langt at hvert mineralkorn frigis (fig.13 B) vil kornene havne direkte i finsilt- og tildels leirfraksjonen. Noen videre nedknusning av kornene vil i svært liten grad forekomme.

Variasjon i kornfordeling og petrografisk sammensetning for ulike morenetyper henger, som vi har sett, nøye sammen med egenskapene for de bergartene som morenematerialet er dannet fra. Vi kan ta en bunnmorene dannet fra granitt og en bunnmorene dannet fra leirskifer som eksempler på hvordan petrografisk sammensetning vil variere i de forskjellige kornfraksjonene (tab.1).

Granitten har gjerne mineralkorn i størrelsesgruppen 0,5-5 mm og består hovedsakelig av kvarts, alkalifeltspat, plagioklas og biotitt. Morenen som dannes av denne bergarten, vil gjerne inneholde ganske mye blokk og stein og vil ofte være relativt rik på grus. Grovsandfraksjonen vil inneholde endel granittfragmenter (som igjen består av kvarts, feltspat og biotitt). Når vi kommer ned i finsandfraksjonen, vil det være lite bergartsfragmenter, og enkeltkorn av kvarts og feltspat dominerer. Det vil også være biotitt tilstede. Kvarts, feltspat

og biotitt vil videre knuses ned til grovsilt, og ved sliping dannes litt finsilt og noe (lite) leir.

Fraksjon	Leir	Fin silt	Grov silt	Fin sand	Grov sand	Grus	
Sammensetning	Illitt Feltspat Kvarts kloritt	Illitt Feltspat Kvarts	Kvarts Feltspat Biotitt	Korn av: Kvarts Feltspat Biotitt	Bergarts-korn. Noen min.korn	Bergarts-korn	A Granitt
Mengde	Lite	Lite	Mye	Mye	Mindre	Mye	
Sammensetning	Leirmin. Kvarts Feltspat	Leirmin. Kvarts Feltspat	Berg-arts-korn	Berg-arts-korn	Berg-arts-korn	Berg-arts-korn	B Leir-skifer
Mengde	Rel.mye	Mye	Mindre	Mindre	Mye	Mye	

Tab.1 Eksempel på fordelingen av materiale fra A:granitt, B:Leirskifer i bunnmorene.

Leirskifer inneholder hovedsakelig leirmineraler, glimmer, kvarts og feltspat. Den morenen som dannes fra denne bergarten, vil ha lite blokk og stein, og har ofte lavere grusinnhold enn granittmorenen. Bergartsfragmenter vil dominere i hele sandfraksjonen og i grovsiltfraksjonen. Nedover i finsiltfraksjonen vil det bli en kraftig økning i innslaget av mineralkorn av glimmer, kvarts og feltspat, og i leirfraksjonen vil leirmineralene dominere. Kvarts og feltspat vil være tilstede også i leirfraksjonen.

Overgangen fra bergartsfragmenter til mineralkorn kommer altså i mye grovere fraksjoner i granitt-morenen enn i kambrosilurmorenen. Hovedtyngden av mineralkorn vil ligge i de groveste silt- og fineste sandfraksjonene i granittmorenen, mens mineralkornene først gjør seg gjeldende i finsilten i kambrosilurmorenen.

Det har hittil stort sett vært tale om en bunnmorene som er dannet fra en enkelt bergart. De fleste bunnmorener vil imidlertid bestå av materiale fra flere forskjellige bergartstyper. Det vil være en blanding av langtransportert og korttransportert materiale, og det er ofte ikke mulig å registrere noen tendens til bimodal kornfordeling. Materialet er totalt

usortert.

Den totale petrografiske sammensetningen av bunnmorener vil være preget av de bergartstypene i et område som lettest blir erodert av breen og som dermed gir det største tilskuddet av materiale til morenene. Fordelingen av hver enkelt bergartskomponent i de forskjellige kornfraksjonene vil så bl.a. være avhengig av kornstørrelsen for mineralene i bergarten, og den evnen hvert mineralkorn har hatt til å motstå nedknusning under bretransporten.

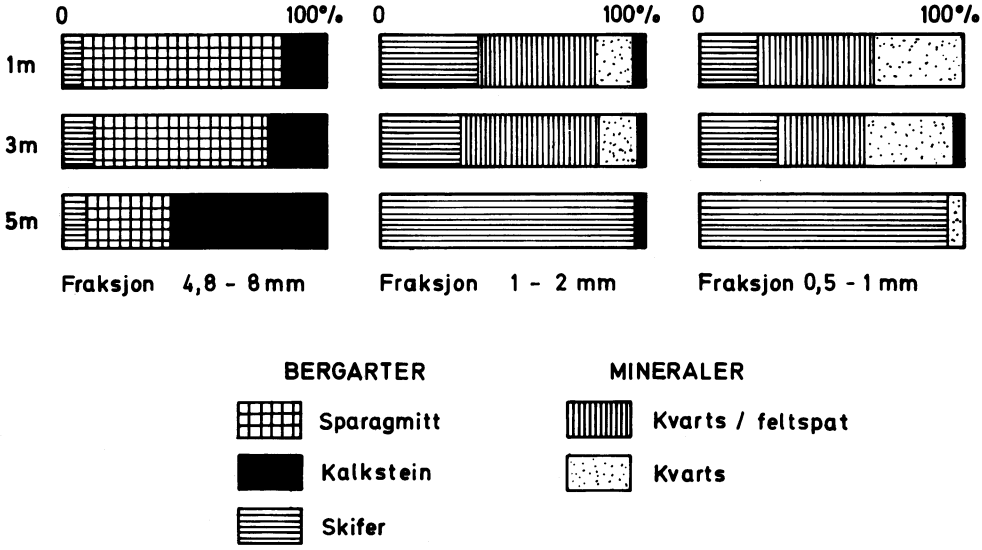


Fig.14 Petrografisk sammensetning for en bunnmorene sør for Akersvika, kartblad Løten. Det er vist hvordan petrografien varierer i fraksjonen 4,8-8mm (grus), 1-2 mm (grov sand) og i 0,5-1 mm (middels grov sand). Det er tatt ut prøver fra 1, 3 og 5 m dyp (Etter Follestad 1973).

I Norge er bunnmorenematerialet som oftest sterkt preget av den lokale berggrunnen. Morenen endrer gjerne karakter så snart vi beveger oss fra ett berggrunnsområde over i et annet. I tykke bunnmorener vil det iblant være en vertikal variasjon i sammensetningen. Den underste delen er oftest mest lokalt preget, og kan være fullstendig dominert av materialet fra berggrunnen umiddelbart under. Oppover i avsetningen kan

det bli et større innslag av lang-transportert materiale. Slike vertikale variasjoner er blant annet funnet i Mjøstraktene (fig.14). Ofte vil imidlertid avsetningene være så tynne at bare den undre, lokale morenesonen er tilstede. I andre nordiske land, hvor moreneavsetningene stort sett er tykkere enn i Norge, er det mer vanlig med stor vertikal variasjon (fig.15).

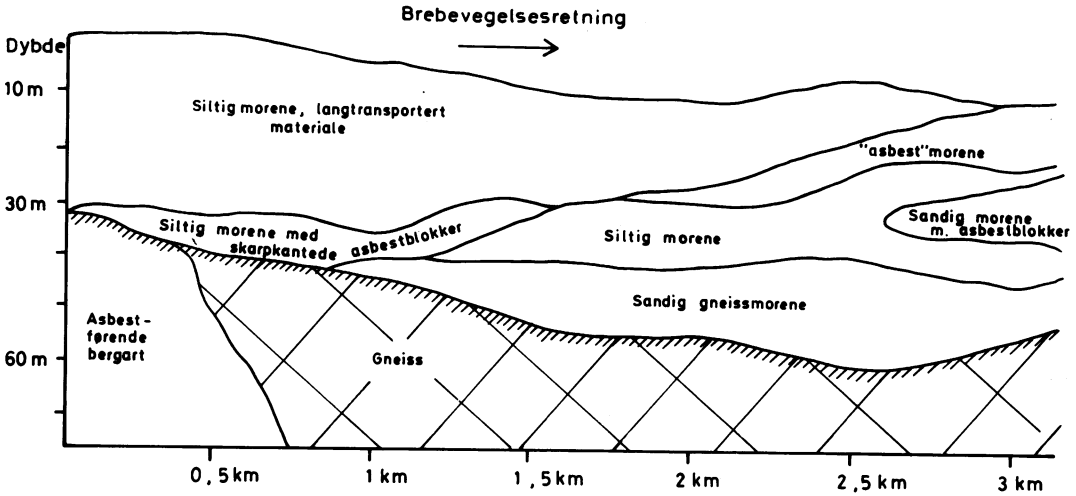


Fig.15 Snitt gjennom en mektig, finsk bunnmorene. Det er en komplisert sammensetning av langtransportert og korttransportert materiale. "Asbest-sonen" ligger høyere i avsetningen jo lenger den er transportert.(Etter Hyvärinen et al. 1973).

Geokjemi Den geokjemiske sammensetningen av en uforvitret bunnmorene vil være avhengig av hvilke bergarter og mineraler morenen består av. De tre ulike typer kjemiske undersøkelser som det er mest vanlig å foreta av morenemateriale, er: totalkjemiske analyser, analyser av adsorberte tungmetaller og analyser av tilgjengelige plantenæringsemner. De totalkjemiske analysene brukes i første rekke som et hjelpemiddel for å bestemme fordelingen av ulike mineraler i morenen, og vil også være et uttrykk for den totale kjemiske tilstanden i morenen. Innholdet av adsorberte tungmetaller vil f.eks. si noe om et eventuelt innslag fra ertsførende bergarter. Analyser av tilgjengelige plantenæringsemner vil kunne fortelle

hvilken kvalitet jordarten har som vekstmedium for ulike plantevekster.

Det er en stor variasjon i den geokjemiske sammensetningen for bunnmorener. Denne variasjonen kan bl.a. observeres ved at vegetasjonen endrer karakter når man beveger seg fra en morene som er dominert av en næringsfattig bergart over på en morene som er mer preget av næringsrike bergartskomponenter (f.eks. fra en granittmorene til en kambro-silurmorene).

Geotekniske egenskaper

Komprimering (pakning, lagringsfasthet). Et av de vanligste kriterier for å skille bunnmorene fra andre morenetyper, er pakningsgraden (komprimeringen). Vanligvis er bunnmorene hardt pakket (komprimert, fast lagret). Materialet kan som regel ikke spas ut med vanlig spade, men må hakkes ut. Årsaken til denne sterke komprimeringen kan delevis ha vært trykket fra den overliggende isen. Delevis kan komprimeringsgraden også avhenge av den porevannsmengden som var tilstede ved bunnen av breen før og mens materialet ble avsatt. Vi skal også være klar over at det usorterte materialet i seg selv favoriserer en tett pakning.

Permeabiliteten i bunnmoreneavsetninger vil være avhengig av kornfordeling og lagringsfasthet. Permeabilitetskoeffisienten varierer mye med silt- og leirinnholdet i morenen. Laboratorieforsøk med pakket morenemateriale har vist at et innhold av leir og silt på ca 20 % av materialet finere enn 16 mm kan gi en permeabilitetskoeffisient på omkring 10^{-5} m/sek, mens verdien ligger omkring 10^{-7} m/sek når innholdet av leir og silt er så høyt som 50 %.

Jordsmonnet har normalt en høy permeabilitet selv i bunnmoreneområder. Dette er et forhold som har stor praktisk betydning.

Kapillær aktivitet er avhengig av kornfordeling (i første rekke siltinnhold) og lagringsfasthet. Størstedelen av bunnmorenene har et så høyt siltinnhold og så stor lagringsfasthet at den kapillære stigehøyden kan være flere meter. På grunn av den store lagringsfastheten, er den kapillære stigehastigheten vanligvis relativt liten. Den kapillære aktiviteten i bunnmorene er derfor normalt

betydelig mindre enn i andre siltjordarter (f.eks. bresjøsedimenter). På den andre siden er den kapillære aktiviteten som regel stor nok til at bunnmorenen er telefarlig.

Strukturer

Det er vanlig å si at bunnmorener består av fullstendig usortert materiale, og at de mangler lagdeling. Det er imidlertid ikke uvanlig å finne linser og tynne lag av sortert sand og silt inne i morenen. Det kan ha vært noe vann tilstede i breisen som har sortert materialet i slike soner. Iblant kan tynne siltlag ha samme retning som skjærplanene i isen. I slike tilfeller kan islagene ha beveget seg på en tynn vannfilm, og langs denne vannfilmen er silten avsatt.

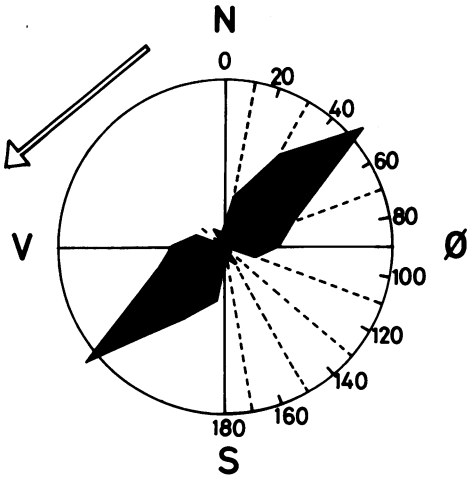
Press-strukturer er også vanlige i bunnmorener. Årsaken til dannelsen av disse strukturene kan bl.a. være vekten av overliggende is, samt differensialbevegelser ved bunnen av isen.

Alle strukturer som man finner i bunnmorenen, vil være av betydning for grunnvannsbevegelsen i avsetningen, idet vannet vil følge de sonene som har høyest permeabilitet. Det etableres ofte helt lokale kanaler som mesteparten av grunnvannet følger, der enten massene har et spesielt lavt finstoffinnhold eller der det er oppsprekninger i avsetningen.

Orientering av stein

Når vi måler hvordan steinene i en bunnmorene er orientert, sier vi gjerne at vi foretar "fabric"-målinger. I de fleste bunnmorener er steinene orientert med lengste akse parallelt med isbevegelsen (fig.16). Dette kalles dermed for bunnmorenens "fabric". Ofte brukes denne egenskapen for å bestemme retningen av isstrømmene i et område. Det er en nokså tidkrevende prosess å måle fabric i morener, og slike målinger benyttes mest der det ikke er tilstrekkelig tett med skuringsstriper og der sammensetningen av blokk og stein i morenen ikke gir noen entydig bestemmelse av isbevegelsesretningen.

Fabric kan måles i to og tre dimensjoner. På fig.16 er det vist hvordan man kan benytte to dimensjoner. Det lages en klasseinndeling mellom nord og sør, og man setter av langs akser gjennom klassemidtpunktet det antall stein som er observert innen denne klassen. Når "fabric"-målingen foretas i tre dimensjoner, måles også helningen for hver stein, og observasjonene tegnes inn på et stereonett.



Orientering av stein i bunnmorene:

Orientering:	0° - 20°N:	10	stein
	20° - 40°N:	20	"
	40° - 60°N:	34	"
	60° - 80°N:	14	"
	80° - 100°N:	10	"
	100° - 120°N:	6	"
	120° - 140°N:	0	"
	140° - 160°N:	4	"
	160° - 180°N:	2	"
		100	stein

Målestokk: 1 cm = 10 stein

Fig.16 Orientering av stein (fabric) i morene. Observasjonene er satt inn i et rosediagram, og viser en isbeveglese parallelt med hovedtyngden av lengsteaksene på steinene i avsetningen. (Markert med pilen øverst til venstre).

Morenestratigrafi

Bunnmorenene er hittil omtalt som om de alltid var enhetlige avsetninger fra bunn til topp, avsatt under ett breframstøt. Dette er også det vanligste bildet vi har av bunnmoreneavsetninger i Norge. Mange steder i landet finner vi imidlertid flere forskjellige bunnmorener oppå hverandre, som hver har sine spesielle karakteregenskaper. De kan være avsatt under flere forskjellige breframstøt. Breen er først kommet f.eks. rett nordfra og har avsatt en spesiell morene. Senere, under et nytt breframstøt har brebevegelsen vært fra nordvest, og det er avsatt en ny morene oppå den eldste.

For å skille de forskjellige morener fra hverandre, er det vanlig å se på kornfordeling, petrografisk sammensetning av stein og grus, og foreta fabricanalyser. På den måten er det ofte mulig å avgjøre hvordan brebevegelsene har endret seg i de forskjellige nedisningsfasene.

I Gudbrandsdalen har man på grunnlag av kartlegging og undersøkelser av ulike bunnmorener identifisert avsetninger fra flere forskjellige hovedfaser i siste istid (fig.17).

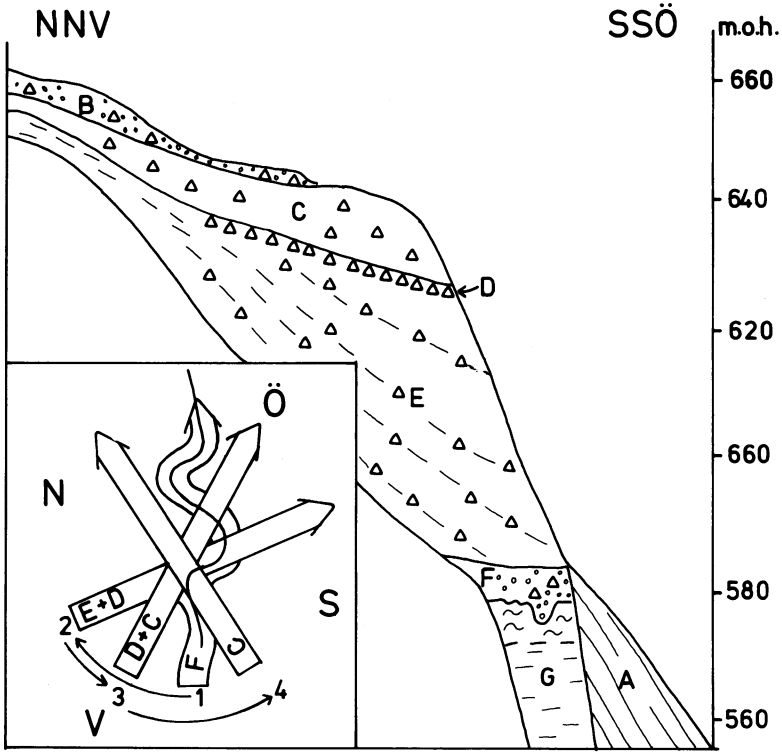


Fig.17 Morenestratigrafi i en stor skjæring i dalsiden ved Stenseng i Sjoadalen.
G: Glacifluvialt, eldste avsetning
F: Grovkornig morene, isbevegelse langs dalen
E: Finkornig bunnmorene, isbevegelse mot SØ
D: Blokkrik morene, isbevegelsen skifter fra SØ til bevegelse mot Ø.
C: Normal bunnmorene. Isbevegelse mot Ø i nedre del og mot NØ i øvre del.
B: Ablasjonsmorene , delvis med glacifluvialt preg
A: Materiale som er rast ut.
(Etter Bergersen & Garnes 1976).

Anvendelse

Områdene med tynne, usammenhengende bunnmoreneavsetninger utgjorde tidligere en viktig del av beitearealene i Norge. Idag er områdene av mindre betydning i denne sammenheng, og ligger for en stor del ubrukt, tildels bevokst med lite produktiv skog. I områder der berggrunnen er næringsrik, kan imidlertid også de tynne morenedekkene gi gode muligheter for stor skogproduksjon (f.eks. i områder ved Trondheimsfjorden). Ved moderne arealplanlegging er områder med usammenhengende morenedekke av interesse både for permanent boligbygging og fritidsbebyggelse, og i uberørt tilstand som rekreasjonsområder.

Områder med et sammenhengende, tykt dekke av bunnmorene utgjør en viktig del av de mest produktive skogarealene i landet. Det høye siltinnholdet gjør bunnmorenene ganske tørkeresistente.

Bunnmorenen er normalt et godt fundament for veibygging fordi den har en stor bæreevne. På den annen side er jordarten ofte telefarlig. Teleskader på veilegemet kan imidlertid reduseres bl.a. ved å bygge et kapillærbrytende filterlag.

Bunnmorenens blokkinnhold, tykkelse og utbredelse vil avgjøre om den egner seg for oppdyrkning. Når blokkinnholdet er moderat, er bunnmorenen med sitt høye siltinnhold godt egnet til dyrkningsformål. Fordi leirinnholdet vanligvis er lavt, vil jordarten bli relativt raskt varm om våren. Bunnmorener er blitt særlig aktuelle til jordbruksformål etterat maskinell steinplukking er blitt vanlig.

Tidligere spilte næringsinnholdet i morenen en vesentlig rolle for lokaliseringen av jordbruksarealene, men med moderne gjødslingsmetoder er denne faktor idag mindre avgjørende. De primære næringsforholdene i avsetningen vil imidlertid fremdeles bety endel når det f.eks. gjelder jordartens evne til å holde på tilførte næringsstoffer.

Bunnmoreneavsetninger kan i en viss utstrekning brukes som resipient for fast og flytende avfall. Siden permeabiliteten er så lav, må de tilførte mengder slam og avløpsvann være relativt små. Det er derfor hovedsakelig i forbindelse med fritidsanlegg eller annen spredt bebyggelse at bunnmorene anvendes i denne sammenheng.

Bunnmorenematerialet har, på grunn av sin lave permeabilitet, vært anvendt til bygging av demninger. Dette gjelder både større anlegg og små anlegg som f.eks. fiskedammer. Det vil ofte være aktuelt å bruke stedegent materiale til bygging av slike anlegg. Materiale til tettekjernen bør ikke ha et finstoffinnhold (silt + leir) som er lavere enn 15-20 % av materialet finere enn 16 mm. De fleste bunnmorener vil oppfylle dette kravet (se fig.10), og bunnmorenen vil derfor gjerne egne seg godt som materiale til tettekjernen. Ropptjørn-dammen i Vestre Gausdal, der det var et stort dambrudd 17.mai 1976, var delevis bygget opp av slikt stedegent morenemateriale. (Det var i parentes bemerket ikke feil ved materialet i tettekjernen som førte til bruddet i denne demningen).

I senere år har bunnmorenematerialet vært gjenstand for spesielle analyser ved Norges Geologiske Undersøkelse. Dette gjelder i første rekke områder der moreneavsetningen er så tykk at berggrunnen i liten grad stikker fram. Undersøkelsene omfatter analyser av adsorberte tungmetaller i de fineste fraksjonene (<0,180 mm), og formålet med undersøkelsene er å finne fram til eventuelle drivverdige malmforkomster i disse områdene. Slike undersøkelser utgjør en del av det som kalles geokjemisk prospektering.

ABLASJONSMORENE

Dannelse

Ablasjonsmorene består av materiale som er transportert et stykke oppe i breen (englacialt) eller oppe på selve breoverflaten (supraglacialt)(fig.1). Ablasjonsmorenen ligger gjerne et blokkrikt lag oppå bunnmorenen. På mange kvartærgeologiske kart er det ikke foretatt noe skille mellom ablasjonsmorene og bunnmorene, i første rekke fordi det gjerne er vanskelig å skille de to typene fra hverandre under selve kartleggingen.

Materialet som tas opp av breen og transporteres i bresålen, kan i mange tilfelle heves opp i høyere lag av breen. Vi har tidligere sett på hvordan noe av breisen smelter på støtsiden når en temperert bre beveger seg over en ujevnhet i terrenget

(fig.6) og hvordan smeltevannet føres over på lesiden. På lesiden kan det dannes et hulrom mellom breen og bergveggen, og i dette hulrommet fryser vannet (fig.18).

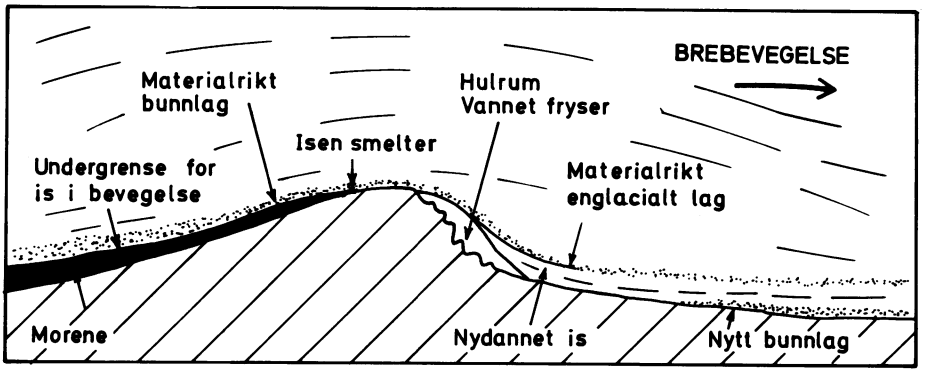


Fig.18 Dannelse av englacialt materiale der breen går over en haug i terrenget. Vannet smelter mot toppen av haugen. Det fryser på lesiden i hulrommet mellom breen og berggrunnen. Materialet blir hevet opp ved at det dannes et nytt islag under (Etter Boulton 1970).

Det materialet som er ført med langs bunnen av breen over toppen av åsen, vil på denne måten kunne heves opp i breen når det fryser til et nytt lag av is på undersiden (fig.18). Dermed går materialet over fra en subglacial til en englacial posisjon. Undersøkelser av breer på Svalbard har vist at betydelige mengder englacialt materiale dannes på denne måten.

En del av det materialet breen fører langs bunnen, heves også oppover i breen via skjærplan i de områdene der breen bremses opp og skjærplanene får en oppadrettet gradient.

Studier av recente breer har vist at store mengder materiale kan transporteres englacialt. Så lenge det er bevegelse i breen, vil dette englaciale materialet transporteres framover av breen. Materialet avsettes når breen smelter ned. Fordi avsetningen av ablasjonsmorene så nøye er knyttet til avsmeltningsprosessen, vil materialet som regel ha klare kjennetegn på å være vannbehandlet (lite finstoff, lag og soner med sortert materiale).

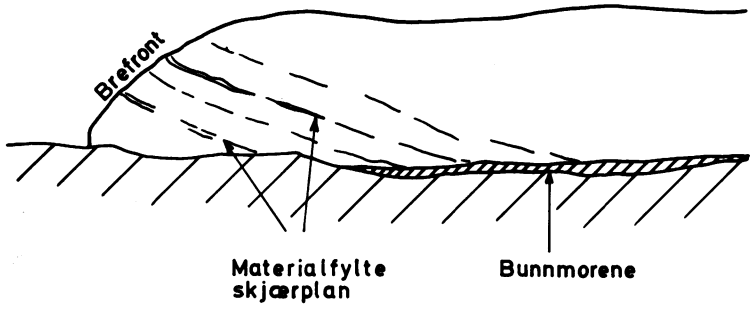


Fig.19 Transport av materiale nær isfronten. Materialfylte skjærplan kommer til syne i selve fronten. Skjærplanene er rettet oppad og bringer materialet fra bunnen av isen opp til isoverflaten.

Ablasjonsmorenen kan avsettes over alt hvor breen inneholder englacialt og supraglacialt materiale når den smelter ned.

Ved brefronten blir det ofte avsatt ablasjonsmorene. Skjærplan og bevegelse i isen har en gradient oppover nær fronten, og materialet som transporteres inne i breen i dette området, vil etter hvert komme fram til selve brefronten (fig.19). Det kommer til syne på breoverflaten når fronten smelter, og kan der danne et tykt lag av morene. Materialet opptrer som morenebånd langs skjærplanene, parallelt med brefronten. Når morenebåndene på breoverflaten har fått en viss tykkelse, kan de virke isolerende, slik at smeltingen av den underliggende isen reduseres. Den rene isen mellom morenebåndene fortsetter å smelte ned, og morenebåndene blir dermed stående opp som rygger med en iskjerne. Etterhvert blir ryggene for bratte til å holde på det vannmettede morenematerialet, og det sklir eller flyter ned på den rene isen. Når iskjernen deretter smelter bort, kan det bli en forsenkning der det tidligere var en rygg (fig.20). Morene som sklir nedover breoverflaten, kaller vi for "flytemorene". ("Flytemorene" kan også dannes andre steder enn ved brefronten).

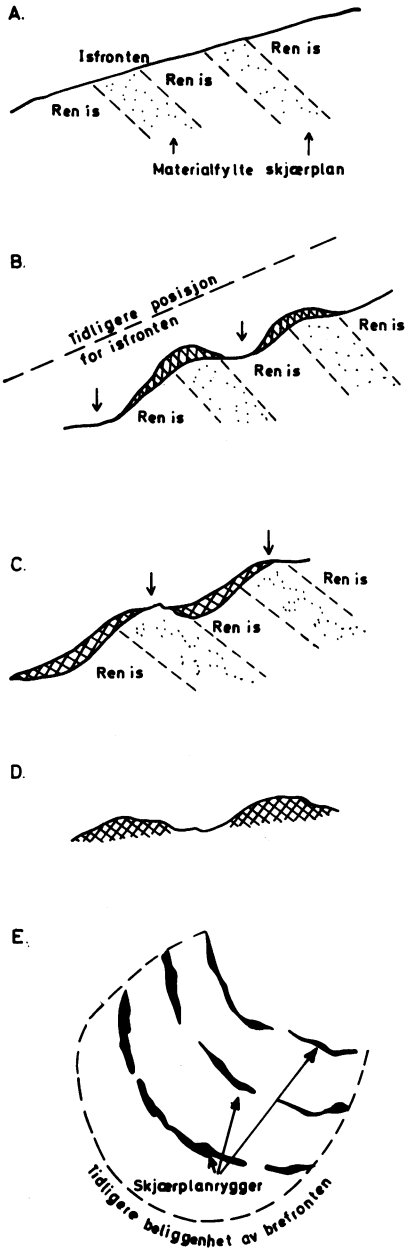


Fig.20 Dannelsen av ablasjonsmorene i isfronten. (Detaljutsnitt av fig.19).

A. Materialfylte skjærplan kommer til syne på isoverflaten.

B. Det smelter ut materiale i rygger parallelt med fronten. Ryggene beskytter isen under fra å smelte, mens den "rene" isen mellom skjærplanene smelter videre ned. Morenematerialet er vannmettet, og det sklir ned på den "rene" isen.

C. Det er blitt dannet "flytemorene" som nå beskytter den rene isen fra videre smelting.

D. Terrenget blir preget av rygger og hauger av ablasjonsmorene når isen er smeltet.

E. Ryggene kan være sammenhengende over store områder. De identifiseres ved at de ligger oppe i typiske dødisterreng med grytehull og breelvavsetninger.

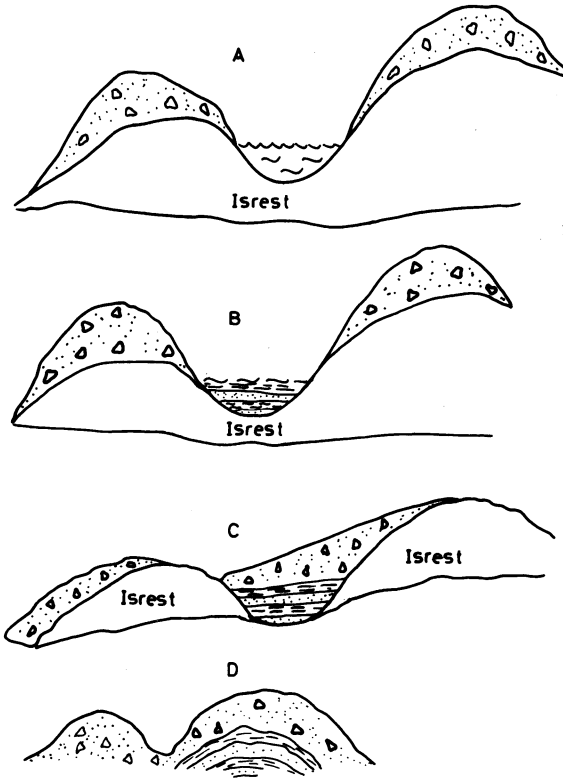


Fig.21 Avsetning av lagdelt materiale kan finne sted i issjøer mellom ablasjonsmorene-ryggene. (A og B).

Ustabile morenemasser sklir ut over det lagdelte materialet ("flytemorene") (C).

Det dannes avsetninger som består av lagdelt materiale under morenejord. Slike avset-ninger kan feilaktig bli tolket som tegn på isframstøt (D).

På overflaten av en smeltende bre dannes det breelver og bresjøer hvor det avsettes lagdelte sedimenter. I blant hender det at morenen sklir ut og legger seg oppå disse lagdelte sedimentene (fig.21).

Det materialet som transporteres oppå selve breoverflaten (supraglacialt), stammer gjerne fra dalsidene på hver side av breen. I breens akkumulasjonsområde (dvs. den delen av breen tilskudd av is er større enn avsmeltningen) vil det supraglaciale materialet gjerne føres over til en englacial posisjon (fig.1), mens det supraglaciale materialet i ablasjonsområdet kan fortsette å bevege seg oppå breoverflaten til det blir avsatt. Supraglaci-alt materiale i ablasjonsområdet kan også dannes ved at englacialt materiale føres opp til overflaten via oppadrettede skjærplan.

Sammensetning og egenskaper

Ablasjonsmorenematerialet er sjelden noe særlig bedre rundet enn bunnmorenematerialet. Ablasjonsmorenen er dårlig sortert, men inneholder gjerne mindre mengder finstoff (silt) enn bunnmorenen.

Dette kan ha flere årsaker. Først og fremst skyldes det at ablasjonsmorenen avsettes når breen smelter og det dermed er vann tilstede. Dette fører til at det fineste materialet lett blir vasket ut og morenematerialet blir mer grovkornig. Det er derfor også svært vanlig at ablasjonsmorenen inneholder lag og linser med sortert materiale.

En annen årsak til at ablasjonsmorenen er finstoffattig, er at materialet ikke alltid er knust like mye ned som i bunnmorenen. Det har vært vist at materialet relativt raskt føres fra bunnen av isen opp i høyere lag, og i disse posisjonene blir partiklene liggende mer spredt enn i bunnlaget. På den måten unngår de i så sterk grad å støte mot hverandre, og motstår dermed videre nedknusning bedre enn det materialet som transporteres langs bunnen.

Materialet gjennomgår ofte en lengre transport i en englacial posisjon enn langs bunnen av breen, og ablasjonsmorenematerialet har av den grunn et større innslag av langtransportert materiale enn bunnmorenen.

Det relativt lave siltinnholdet, kombinert med en middels fast lagring, fører til at ablasjonsmorenene normalt har en middels høy til høy permeabilitet. Man skal imidlertid være klar over at permeabiliteten er sterkt vekslende i ablasjonsmorenen. Dette kommer i første rekke av at avsetningene inneholder visse lag og soner der det fineste materialet er vasket vekk, og avsetningene er spesielt grovkornige.

Flyttblokker En helt spesiell komponent av ablasjonsmorenen er flyttblokkene. Dette er blokker eller steiner som er transportert betydelige avstander inne i isen. De tilhører sannsynligvis det englaciale materialet under innlandsisfasen. De kan transporteres mange hundre kilometer fra kildeområdet. I de tilfelle der blokkene eller steinene består av en så spesiell bergart at kildeområdet kan bestemmes nøyaktig, kalles de for"ledeblokker".

I Danmark har ledeblokker vært brukt til å bestemme retningen av de forskjellige isstrømmene som har gått over landet. De mest brukte ledeblokkene er Oslofelt-bergarter, Ålandsporfyr og Østersjøporfyr.

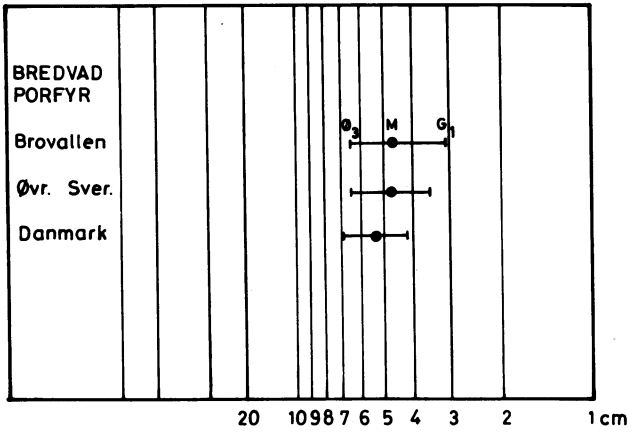


Fig.22. Fordelingen av en av de typiske, danske "ledeblokkene" (egentlig grovgrus). Størrelsen er nokså nær konstant like sør for kildeområdet (Brovallen), i øvrige Sverige og i Danmark. (Etter Gry 1974).

Flyttblokkene knuses lite ned under transporten. Det er gjort en undersøkelse over størrelsesfordelingen av ulike typer ledeblokker i Danmark, og denne fordelingen er sammenlignet med fordelingen av de samme typene nordover mot deres respektive kildeområder (fig.22). Det viser seg at steinene har maksimum i omtrent samme størrelsesklasse langs hele denne strekningen, det er bare antallet som tiltar når man nærmer seg kildeområdet.

Fabric. Ablasjonsmorenen kan ha en fabric som tilsvarer bunnmorenens når den ikke har vært forstyrret ved noen form for sklidning. Det vanlige er imidlertid at det ikke er noen foretrukken orientering på steinene. "Flytemorenen" har ofte like mange stein orientert vinkelrett på isbevegelsen som parallelt med isbevegelsen. Fabric brukes iblant for å skille ablasjonsmorene fra bunnmorene .

Form, tykkelse og regional utbredelse

Ablasjonsmoreneområder er karakterisert ved hauger og rygger, og de står i motsetning til den rolige overflaten som gjerne preger bunnmorenen. Haugene og ryggene kan være mange meter høye, eller de kan være lave forhøyninger i terrenget. Sammen med slike ablasjonsmoreneformer er det vanlig å finne hauger og rygger av breelvmateriale, f.eks. kames og eskere. Et område som på denne måten har en rask veksling mellom breelvavsetninger og ablasjonsmoreneavsetninger, utgjør en viktig del av et typisk dødislandskap. Det blir en diffus overgang mellom de forskjellige avsetningstypene innenfor slike områder. Det har foregått utrasninger, blanding av materiale og ufullstendig sortering under avsmeltningsfasen, og det er gjerne svært vanskelig, for ikke å si umulig, å finne gode kriterier for å skille de ulike jordartene fra hverandre. Et dødislandskap kan på den andre siden gå gradvis over i et bunnmorenelandskap.

Det er ganske klart at det vil være kunstig å sette noen skarp grense mellom ulike avsetninger i slike tilfelle. Når man skal tegne et kvartsærgeologisk kart, må man imidlertid på en eller annen måte klassifisere avsetningene (se fig.23).

Den kombinasjonen av farger (for å angi genesis) og tegn (for å angi formelementer og kornsammensetning) som normalt benyttes på kart, kan i gunstige tilfelle gi et ganske godt inntrykk av hvordan materialet er avsatt og sammensatt.

I Norge er det vanlig at ablasjonsmorenene er relativt tynne, og regionalt har en lokal utbredelse. Det finnes mindre avsetninger av ablasjonsmorene spredt over hele landet.

De mektigste og mest sammenhengende avsetningene finner vi i Østerdalsregionen og i indre deler av Trøndelag. Mektighetene varierer mye innenfor disse områdene. Stedvis ligger ablasjonsmorenene som tykke lag med flere meters mektighet, andre steder er de tynne eller mangler, slik at den underliggende bunnmorenen stikker fram i dagen.

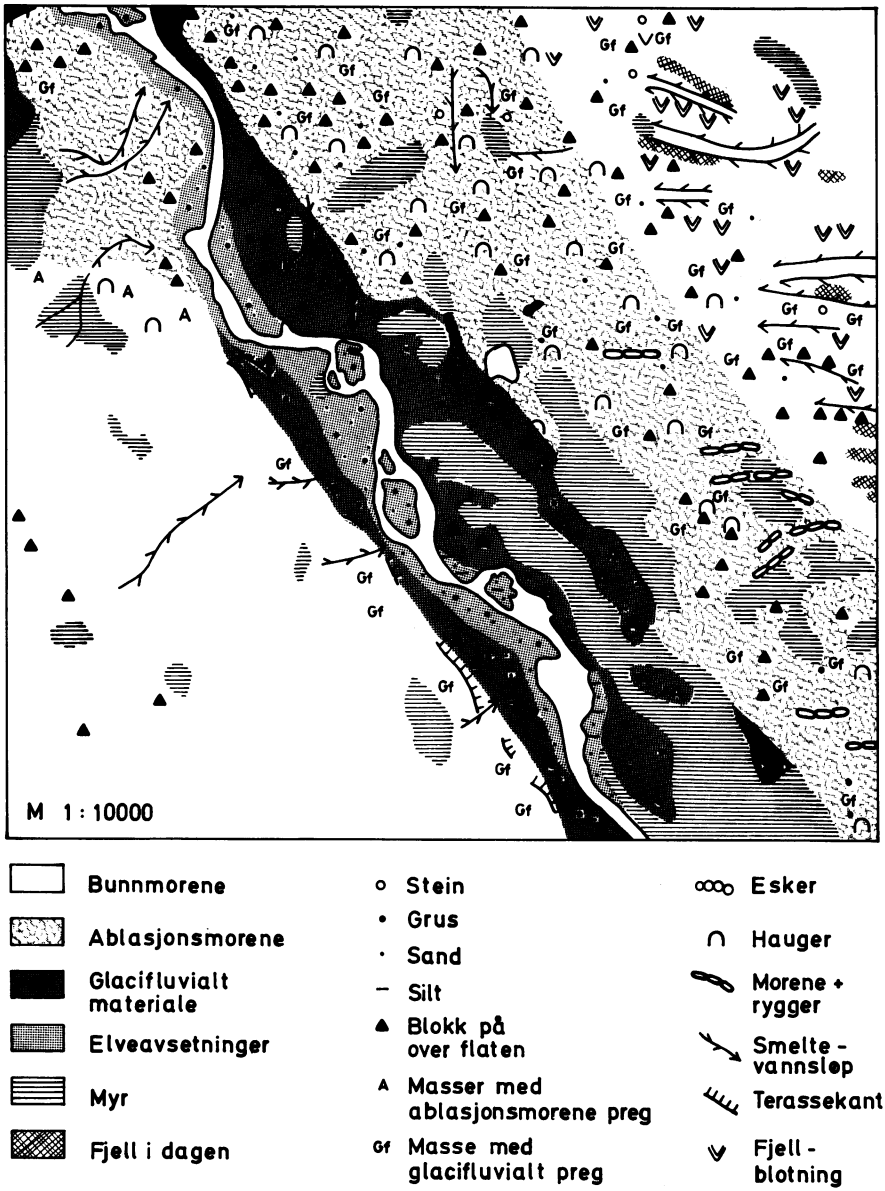


Fig.23 Kartutsnitt fra et typisk dødisområde med overgangsformer mellom glacifluvialt materiale, ablasjonsmorene og bunnmorene.
(Etter Østeraas 1973).

Anvendelse

I en del tilfelle er det grusdrift på ablasjonsmorenematerialet. Dette gjelder der materialet har en kornsammensetning som gjør det spesielt egnet til teknisk formål.

Ablasjonsmorener slik vi finner dem i de typiske dødisområdene i innlandet, inneholder for lite finstoff og har et altfor høyt blokkinnhold til at de egner seg til jordbruksformål. Det meste av disse områdene er idag bevokst med skog (i de fleste tilfeller lavbonitet).

I senere tid har det, med relativt godt resultat, vært foretatt infiltrasjonsforsøk i ablasjonsmorene. Permeabiliteten og kornsammensetningen gjør at massene i mange tilfeller kan være svært godt egnet for deponering av fast og flytende avfall. Når man skal vurdere kvaliteten av en ablasjonsmorene som resipient, er det nødvendig å ha et detaljert kjennskap til oppbygningen og sammensetningen av massene. Det ble nevnt at permeabiliteten ofte er sterkt vekslende i slike avsetninger. Alle inhomogeniteter i morenen vil føre til en dirigering av grunnvannet, som vil etablere kanaler og følge de mest permeable sonene i morenen. Ved slamdeponeringsforsøk i ablasjonsmorener har det vært vist at grunnvannet raskt konsentreres i visse, begrensede deler av avsetningen der permeabiliteten er spesielt høy. Det meste av avsetningen er dermed helt inaktiv med hensyn til rensing og filtrering av vannet.

En del områder som har relativt tykke ablasjonsmorener og der terrenget har den typiske, haugete topografien, har vært valgt ut til hyttebebyggelse. Det viser seg at selv med en relativt tett bebyggelse, er det lett å legge hyttene slik at de er lite synlige på avstand og slik at hytteboerne blir lite sjenert av hverandre.

MORENERYGGER

Dannelse

Genetisk er det neppe riktig å skille ut moreneryggene som egen morenegruppe (se fig.1). "Morenerygg" er et morfologisk begrep og omfatter egentlig rygger av bunnmorenemateriale eller av ablasjonsmorenemateriale. Når de likevel settes opp som en

selvstendig gruppe i moreneklassifikasjon, er årsaken at folk flest mener morenerygger når de snakker om "morener". Ordet brukes desverre synonymt med ordet "israndavsetning". Det vil si at man snakker om "morener" også når det dreier seg om israndavsetninger som består av glacifluvialt materiale (f.eks. "Svelvikmorenen"). Ordet "morenerygg" bør reserveres for avsetninger som hovedsakelig består av morenemateriale. Det er imidlertid ikke sjelden at man finner israndavsetninger som består både av morenemateriale og glacifluvialt materiale. Dette er også naturlig når vi tenker på de prosessene som finner sted på fronten av breen. (Se avsnittet om ablasjonsmorene).

Moreneryggene deles gjerne inn i ende-, side- og midtmorener, alt etter beliggenhet i forhold til breen, og de avsettes nedenfor firngrensen i breens ablasjonsområde. Dannelsesmessig er det ingen grunn til å behandle de tre typene hver for seg.

Morenerygger kan dannes ved fronten av breen på flere måter. Det er ofte svært vanskelig å avgjøre i praksis hvilken prosess som har vært dominerende ved dannelsen. Studier av norske morenerygger har derfor heller ikke i noen særlig grad omfattet slike vurderinger. Det er hovedsakelig ved studier av recente breer at man er kommet fram til følgende inndeling:

1. Dumping og sklidning. Materialet sklir, raser eller flyter nedover fronten og danner en rygg på et flatere parti av fronten, eller foran breen. (Identisk med ablasjonsmoreneryggene, fig.19 og 20).

2. Skyvning. Dette er en mekanisme som kan virke der breen beveger seg over et sediment. Fronten opptrer som en "bulldozer" og presser materialet foran seg opp i en voll (fig.24). Tidligere antok man at det var denne aktiviteten som hadde skapt de fleste moreneryggene, men nyere resultater har vist at det sannsynligvis bare er et fåtall rygger som er dannet på denne måten.

3. Opp-presning. Det kan foregå opp-presning av morene-materiale i rygger der breen beveger seg på et vannmettet bunnmorenemateriale. Trykket av isen over, eller trykkforskjeller i morenematerialet, fører til at morenen presses opp nedenfra frem foran isfronten, på hver side av breen (lateralt), eller

opp i tverrgående sprekker i isen. Slike morenerygger kan være markerte i terrenget, men det er også vanlig at de bare danner en fortykkelse av den bunnmoreneflaten man finner ellers i området.

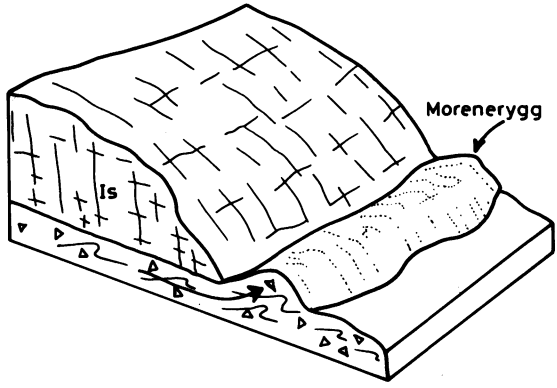


Fig.24 Dannelse av en endemorene ved skyvning ("bulldozeraktivitet"). Breen rykker frem over et bunnmorenelag som er avsatt tidligere. Morene skyves opp som en voll foran breen, og både moreneryggen og bunnmorenen umiddelbart bakenfor fronten vil ofte vise klare tegn på å være deformert. (Etter Price 1973).

Utbredelse

Morenerygger finner vi mange steder i Norge. Store deler av avsetningene fra Yngre Dryas består av morenerygger. Langs Østlandet og Sørlandet der landet er flatt, er store deler av Raet avsatt som en endemorene. I områder der breene hovedsakelig har vært av dalbretypen, slik som i Ryfylke, nordover langs Vestlandet og i Nord-Norge (f.eks. i Troms), er det både endemorener og sidemorener fra denne perioden. Også fra de Preboreale fremstøtene finner vi morenerygger, f.eks. i Ås - Skiområdet.

Vi finner mange svært markerte morenerygger i høyfjellsområdene der både endemorener og sidemorener er vel representert. Midtmorener kan også observeres i slike områder.

Spesielt interessant er det å studere morener foran dagens breer. Et stykke foran brefronten vil man ofte kunne observere tydelige morenetrinn som ble dannet i 1740-50 årene da det var flere markerte framstøt for breene både i Sør-Norge og Nord-Norge.

Anvendelse

I Oslofjordområdet har moreneryggene hatt en betydning for lokalisering av gårdene. De eldste gårdene,f.eks. i Frogn, ligger på disse ryggene. Jorda er her i mange tilfelle godt egnet til oppdyrkning når blokkinnholdet er lavt. Den er fattig på finsilt og leir og er derfor lett. I sørskråningen blir den svært raskt varm om våren. Idag blir disse gunstige delene av morenene i stor utstrekning anvendt til grønnsakdyrkning.

Morenerygger brukes i endel tilfeller som gruskilder.

Mange morenerygger er verneverdige fordi de er karakteristiske minnesmerker over tidligere naturforhold. I den forbindelse kan man nevne den såkalte Vassryggen eller Esmarkmorenen som ligger foran Haukelivann i Ryfylke. Den ble av professor Esmark allerede i 1824 erkjent som en glacialdannelse og bidro til å gjøre ham klar over "at de norske fjelde have været indhyllede i is lige ned til havet".

Det kan også nevnes at Ski-trinnets morene nord for Årungen (Vassum) er foreslått vernet. Det er klart at også andre morenetyper enn moreneryggene kan være verneverdige. Det bør alltid være av interesse å bevare typiske og karakteristiske landskapsformer av forskjellig karakter,i dette tilfelle f.eks. dødislandskap og drumliner. Man kan håpe at verneinteresser blir tillagt stor betydning i framtidig arealplanlegging.

MORENEAVSETNINGER OG KVARTÆRGEOLOGISKE KART

For brukere av kvartærgeologiske kart vil det alltid være av interesse å vite hvilke informasjoner som kan leses ut av slike kart. I første rekke vil detaljmengden og nøyaktigheten være avhengig av målestokken på kartet. Man må også være klar over at kartene framstiller forholdene ved overflaten. Egenskapene for morenen videre nedover i dypet kommer vanligvis ikke fram.

Utbredelsen av morenematerialet avmerkes på alle typer kvartærgeologiske kart. Der morenematerialet er dekket av andre

typer avsetninger, vil det normalt bare være disse avsetningstypene som er angitt på kartet. Vanligvis vil kvartærgeologiske kart også gi informasjon om hvor det er tykke, sammenhengende moreneavsetninger, og hvor det bare er et tynt, usammenhengende dekke av morene. I blant er morenetykkelsen på enkelte lokaliteter angitt med tall.

På svært mange kart, spesielt på kart i stor målestokk, er mengden av blokk på overflaten av morenen antydet ved tegn. Fordelingen av andre kornstørrelsesfraksjoner (grusig, sandig eller siltig morene) kan også være angitt ved tegn på kartene.

Morfologiske trekk som rygger, hauger, drumliner og "fluted surface" er ofte tatt med på kartbladene, og angis ved egen signatur.

Beskrivelsene som eventuelt følger med kartene, vil gjerne gi detaljerte opplysninger om spesielle lokaliteter innenfor kartbladet. Beskrivelsene inneholder i mange tilfelle også enkelte opplysninger om den petrografiske sammensetningen av morenene, vanligvis innenfor blokk-, stein- eller grusfraksjonene. Det er som regel svært få informasjoner om sammensetningen av det finere materialet. Det er klart at sammensetningen av finmaterialet i morenen normalt vil være av minst like stor interesse i praktisk sammenheng som sammensetningen av det grove materialet. Det har vært vist at blokk-, stein- og gruspetrografien for bunnmorener kan være svært lite representativ for sammensetningen av sand-, silt-og leirfraksjonene.

Det blir arbeidet med å finne fram til relevante parametre for å beskrive finstoffet i morener. Det kan kanskje bli aktuelt å inkludere slike parametre i kartbladbeskrivelser eller å avmerke dem på selve kartbladene. Sannsynligvis vil det bli produsert temakart der enkelte parametre blir viet spesielt stor oppmerksomhet.

LITTERATUR:

Norsk morenelitteratur:

Se Haldorsen, S. 1976: Norwegian Moraines and Till Deposits - A Bibliography. Rapport fra Institutt for Geologi, Norges Landbrukshøgskole, 3. 21 s.

Litteraturhenvisninger for figurer som er brukt i teksten:

Bergersen, O.F. & Garnes, K. 1972: Ice movements and till stratigraphy in the Gudbrandsdal area. Norsk geogr. Tidsskr.26, fig.12, s.9.

Bergersen, O.F. & Garnes, K. 1976: Distribution and genesis of tills in Central South Norway. Foredrag på INQUA - symposiet Till / Sweden - 76, fig.10 & fig.17.

Boulton, G.S. 1970: On the origin and transport of englacial debris in Svalbard glaciers. Jour.Glac.9, fig.4, s.217.

Dreimanis, A. 1975: Terminology and genetic classifications of tills and moraines currently used in Europe and North America. Manuskript, skrevet for INQUA Commission on Genesis and Lithology of Quaternary Deposits, Tab.1 s.12.

Flint, R.F. 1971: Glacial and Quaternary geology. John Wiley & Sons Ltd, New York, fig.23-1, s.594.

Follestad, B.A. 1973: Løten. Beskrivelse til kvartærgeologisk kart 1916 I - M 1: 50 000, Norges geol. Unders.296, fig.9, s.15.

Gry, H. 1974: Ledeblokkes kornstørrelse og transport. Dansk geol.For., Årsskrift 1973, fig.4, s.148.

Hyvärinen, L., Kauranne, K. & Yletyinen V. 1973: Modern boulder tracing in prospecting. I: Jones, M.J. (red): Prospecting in areas of glaciated terrain 1973, fig.9, s.93.

Jørgensen, P. 1977: Some properties of Norwegian tills. Boreas (under trykking), fig.1 & fig.11.

Price, 1973: Glacial and fluvioglacial landforms. Oliver & Boyd. Edinbourgh. Fig.28, s.93.

Selmer-Olsen, R. 1954: Om norske jordarters variasjon i korngradering og plastisitet. Norges geol.Unders.186, fig.25.

Østeraas, T. 1973: Kvartærgeologisk kart. Ringsaker. Kartblad Skvaldra. M 1: 10 000. NLH.

RAPPORTER FRA INSTITUTT FOR GEOLOGI
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE:

1975: 1. Englund, Jens-Olaf: 1. En oversikt over de viktigste senprekambriske og "Eokambriske" lagrekker i områdene rundt Nord-Atlanteren utenfor Skandinavia. 2. Noen trekk ved gråvakke sandsteiner og deres dannelse.

Prøveforelesninger holdt for den filosofiske doktorgrad ved Universitetet i Oslo 1/11-1974.

1976: 2. Nystuen, Johan Petter: Hovedtrekk av den tektoniske utviklingen i østre del av sparagmittområdet i Sør-Norge.

Foredrag ved XII Nordiske Geologvintermøtet Gøteborg 7.-10. januar 1976.

3. Haldorsen, Sylvi: Norwegian Moraines and Till Deposits. - A Bibliography.

Køhler, Jens Chr. og Østeraas, Tore: Kvartærgeologisk kart Bøverlundsmarka, Ringsaker. 1: 20 000 - Ås-NLH, 1976.

1977: 4. Haldorsen, Sylvi: Nedknusning av bergartsfragmenter og mineralkorn ved bretransport.

Foredrag ved Norsk Geologisk Forenings Landsmøte Oslo 6.-7.januar, 1977.

5. Haldorsen, Sylvi: Morener; dannelse, klassifikasjon og egenskaper.

ISBN 82 - 576 - 2503 - 5

Ås-Trykk