

Dødisområdet ved Brorfelde, Nordvest-Sjælland

LOTTE SELSING

Selsing, L.: The Dead-ice Area at Brorfelde, Northwestern-Zealand. *Dansk geol. Foren., Arsskrift for 1979*, side 85-97, København, 18. januar 1980.

A dead-ice area, covering approximately 25 squarekilometres, was formed in the front of an ice lobe lying south of the Brorfelde area, Northwestern-Zealand. The maximum thickness of the dead-ice exceeded 100 metres. The gradient of the ice surface as well as the glacier sole were both approximately 5 m/km. Restricted by a fixed pattern of crevasses in the ice, the meltwater flowed over the dead-ice in braided streams from the active ice frontier in south. The sedimentation took place among and upon dead-ice, as the crevasses did not reach the base of the ice. The melting of the dead-ice resulted in faulting of the sediments. Due to this, accumulation of fluvioglacial sediments could continue, resulting in a maximum thickness of more than 60 metres fluvioglacial sediments. The dead-ice survived two ice advances, besides affecting the landforms at the final deglaciation.

Lotte Selsing, Arkeologisk museum i Stavanger, postboks 478, N-4001 Stavanger, Norge, 10. oktober 1979.

Brorfelde bakker (fig. 1) er opbygget af moræne-dækkede, meget tykke smeltevandsaflejringer. Området er kendt for sin særprægede topografi, hvor typiske formelementer er bakkerne, de større fladbundede sænkninger og slugterne (fig. 2). Klare dødistræk som overfordybninger samt små og store afløbsløse huller er karakteristiske. Det $6 \times 4 \text{ km}^2$ store område er buetformet med en nordøst- til sydvestlig udstrækning og åbning mod syd. Mod øst og sydøst fremstår området med velmarkerede bakker over fladerne omkring Tølløse, mens terrænet mod nord, nordvest og vest hælder jævnt i de nævnte retninger.

Bakkernes form varierer fra langstrakte til nærmest runde. Længdeprofilet er afladet, mens tværprofilet er afrundet som regel lidt fladt mod toppen. Bakkerne er næsten uden undtagelse sammenvoksede i bakkekomplekser, og mellem enkeltbakkerne ses mange afløbsløse sænkninger.

Bunden af de større fladbundede sænkninger findes i forskellige niveauer. Højdeforskellen mellem bakketop og sænkning er størst i øst (54 m) og mindre i vest (41 m).

Slugterne drænerer dels bakkekomplekserne til de større sænkninger og dels disse til områderne omkring Brorfelde bakker. De har et uregelmæssigt forløb med hyppige overfordybninger adskilt af tærskler.

Formerne på bakkerne, særlig længde- og tværprofilet, leder tanken hen på iskontaktfor-

mer, især kames. Det faktum, at bunden af de større sænkninger findes i forskellige niveauer, understøtter ideen om et dødisområde. Sugden & John (1977: 286) påpeger, at på en iskappe favoriserer relieffet en regelmæssig, men let radial smeltevandsdrænering nedover gletscheren ud mod randen. Denne beskrivelse stemmer godt

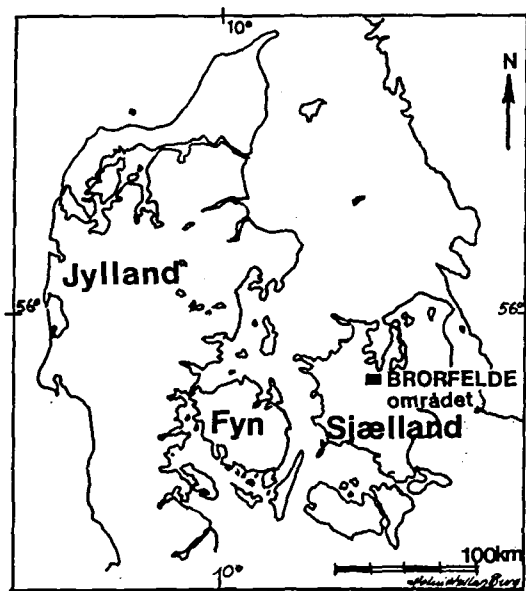


Fig. 1. Oversigtskort.

Location map.

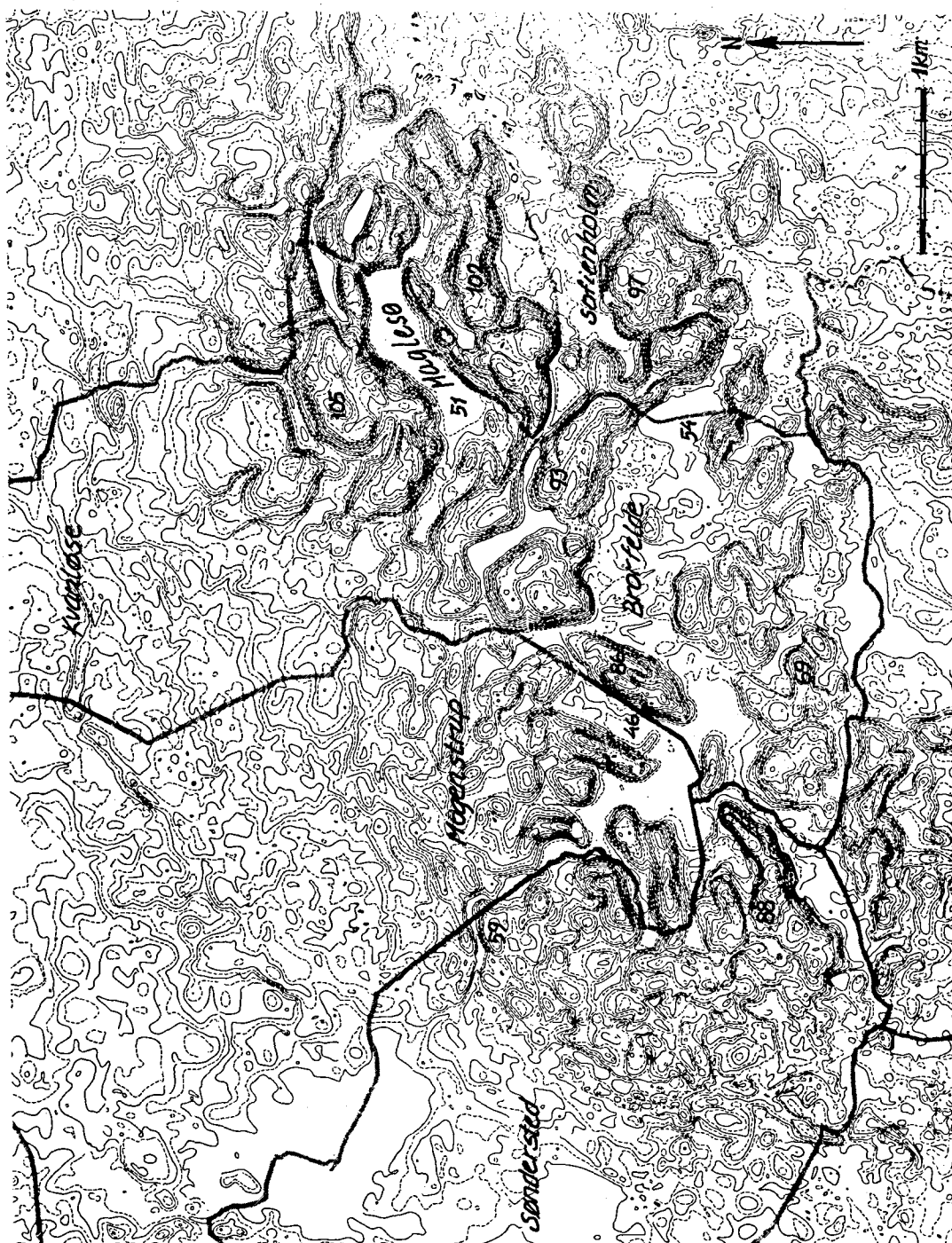


Fig. 2. Kortet viser terræforholdene i Brorfelde området. Det tolkes som et dødisområde opbygget af kamelignende bakker af enorme dimensioner. De hyppigste morfologiske retnings-elementer er orienteret NØ-SV og NV-SØ og opfattes som et resultat af sprækkesystemer i dødisen. Kurvækvilstand: 2,5 m. Sognegrænserne er skraveret. Reproduceret med tilladelse (A. 440/70) af Geodætisk Institut.

Topographical map of the Brorfelde area. The area is interpreted as a dead-ice area constructed by kamelike hills of vast dimensions. The most frequent morphological directional elements are oriented NE-SW and NW-SE. They are probably a result of crevasse systems in the dead-ice. Contour interval: 2.5 metres. The hatched lines indicate the parish boundaries. Reproduced by permission (A. 440/70) of Geodætisk Institut, Copenhagen.

med hovedtrækkene i morfologien. Rørdam & V. Milthers (1900) antyder, at linierne i landskabet ikke er entydige. Et nøjere studium gør det imidlertid klart, at retningerne nordøst-sydvest og nordvest-sydpøst går igen som ledetråde i landskabet. Det er muligt, at disse kan tilskrives sprækkesystemer i isen, og aflejringen af bakkerens smeltevandslag kan derfor være dirigeret af disse.

Smeltevandslagene

Karakteristisk for smeltevandslagene er de store mægtigheder og den store, hyppige variation i aflejringernes konrnstørrelse, både vertikalt og lateralt. Feltobservationer suppleret med oplysninger fra Borearkivet ved Danmarks Geologiske Undersøgelse viser, at smeltevandslagene i et vertikalt snit gennem en bakke (lok. 5, se fig. 5) har en minimumstykkelse på 60 m (arkiv nr. 205.356), hvoraf ca. halvdelen er blottet.

Lagserien består som regel af planparallelle horisontalstillede lag. Feltobservationer og kornfordelingsanalyser viser, at smeltevandslagene varierer fra dårligt sorteret ler over godt sorteret sand og dårligt sorteret sandet grus til grus med store sten og blokke. Tynde lerlag er hyppige i de finere partier. Variationsbredden i sedimentet er den samme gennem hele området. Det har ikke været muligt at konstatere nogen regelmæssighed, som f.eks. cyklicitet.

Geografisk er smeltevandslagene fordelt med mere fint materiale (særlig sand) i områdets nordøstlige del, mens det groveste optræder i syd og sydvest. Generelt viser profilerne i syd og vest grovere sedimenter mod toppen, hvilket viser, at øvre del af lagpakken er afsat under tilførsel af kraftigere strømmende smeltevand, muligvis fordi grænsen for den levende is var rykket nærmere. Det betyder i så fald, at denne grænse må have ligget syd for Brorfelde området.

Afrundingsanalyser er udført stort set som beskrevet af Reichelt (1961: 17). 100 sten med mellemakse 2–8 cm indsamles og grupperes i 4 klasser efter visuelle kriterier. De 4 klasser er: kantet, kanrundet, rundet og godt rundet (se også Bergersen, 1964: 22). I modsætning til flere andre former for rundingsanalyser (f.eks. Pettijohn, 1975: 57) er den anvendte metode så enkel, at den kan udføres i felten.

Rundingsanalyserne har budt på problemer p.gr. af bjergartsgruppernes meget forskellige

modstandsevne mod nedbrydning. Flinten, som er meget modstandsdygtig overfor fysisk og kemisk påvirkning, har som regel mange fremstikkende partier. For overhovedet at få en eventuel forskel i rundingsgraden frem, er flintens rundingsgrad bestemt ud fra rundingen af hjørner og andre fremstikkende partier. Denne fremgangsmåde er ikke anbefalelsesværdig for regionale undersøgelser, og metoden er meget grov for de komplicerede danske forhold.

Rundingsgraden i smeltevandslagene (fig. 3) er som ventet væsentlig højere end i den overliggende moræne. Morfogrammerne er karakteristiske ved et maximum i klassen rundet, og ved at kantet materiale så godt som ikke findes. Resultatet af rundingsanalyserne er sammenligneligt med resultater fra norske undersøgelser. Disse er foretaget på subaerile og subglaciale aflejringer fra isafsmeltningen, dannet langs hoveddræningskanaler i det centrale Øst-Norge (Bergersen, 1970: 256) og på interstadiale smeltevandslag perifert i forhold til isdeleren (Jæren, Sydvest-Norge, Bergersen & Follestad, 1971: 41). Selv om danske forhold ikke umiddelbart kan sammenlignes med norske, p.gr. af den store forskel i afstand til isdeleren, synes transportmåden, i højere grad end transportlængden, at være mest afgørende for rundingen af stenene. Da det i de nævnte områder antagelig drejer sig om centrale dræningskanaler, er det alligevel ikke så overraskende, at resultaterne harmonerer. Konklusionen må blive, at rundingsgraden er et resultat af en kraftig vandtransport.

Primære strukturer er almindelige og er anvendt til at bestemme strømretningen.

Blokke af resedimenteret glacifluvialt materiale, »xenolither«, viser, at smeltevandet er strømmet henover frosne aflejringer.

Indenfor området har smeltevandet strømmet vifteformet ud fra syd (fig. 4), mens variationen indenfor hver enkelt lokalitet er noget mindre (fig. 5). Variationen i strømretningen kan være stor fra lag til lag vertikalt i et snit (fig. 6). Afvigelser i lagserien findes som planparallelle lag med primær laghældning (fig. 7), hvor de hældende lag danner en vinkel med bakkens længdeudstrækning. Det drejer sig antagelig om deltalag, som kan tænkes opstået i forbindelse med, at smeltevandsløbet udmundede i et bassin (en isø).

Der kan udskilles to hovedstrømretninger (se

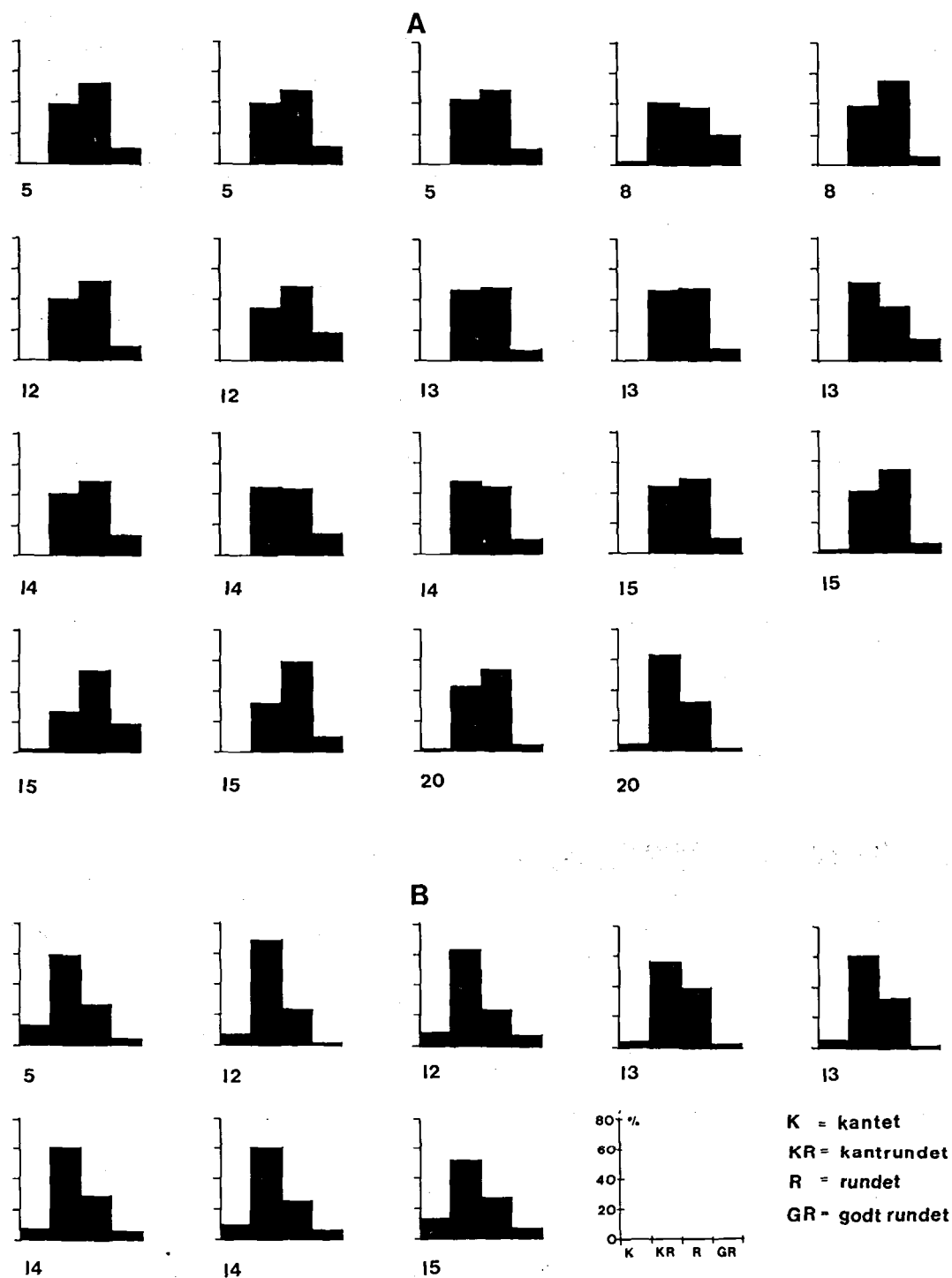


Fig. 3. Histogrammer over rundingsgraden på sten fra smeltevandslag (A) og moræne (B). Nummeret under hvert histogram refererer til lokalitet (se fig. 5).

Histograms showing the roundness on stones from fluvio-glacial material (A) and till (B). The number under each histogram refers to locality (cf. also fig. 5).

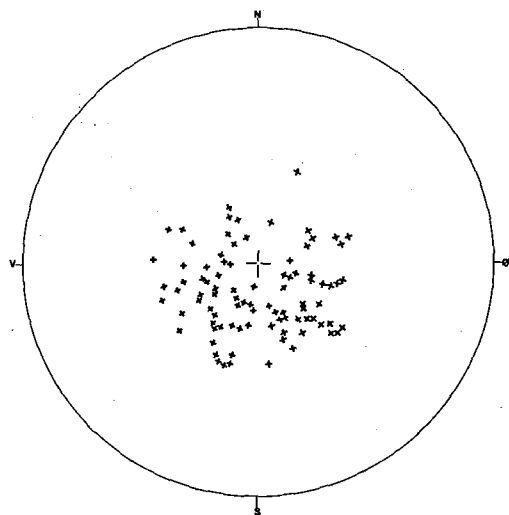


Fig. 4. Stereogrammet indeholder alle målinger, som er udført over smeltevandets strømretning. Smeltevandet strømmede vifteformet ud over Brorfelde området fra syd. Arealtro Schmidt net (nedre halvkugle): Et kryds angiver skæringspunktet for normalen til lagfladen.

Stereogram including all measurements on flow direction of meltwater. Streams of meltwater covered the Brorfelde area running from south in a fan-like pattern. An equal-area Schmidt net (lower hemisphere) is used. X indicates the intersecting point of the normal to the layer measured.

fig. 5): én mod nordvest til vest, som dominerer afsætningerne i vest, og én mod nord, nordøst og øst, som præger afsætningerne i øst, men der er ikke tegn på, at det skulle være to forskellige afsmeltningsskifter. Det antages derfor, at forskelle og variationer skyldes lokale forhold betinget af skiftende vand- og sedimentføring, samt smeltende dødis.

Bakkernes dimensioner og sedimenternes variationer viser, at aflejringen må være sket under tilførsel af meget store smeltevandsmængder. Sedimenter og strukturer tyder på hurtige ændringer i vandføring, strøm- og dødisforhold med lokale flytninger af strømløbet som resultat. Erosion og genaflejring må være sket ofte, som det er karakteristisk for et iskontakt-område.

Foldede smeltevandsslag er et resultat af isoverskridelse, undtagelsesvis af udglidning, flydning og belastning. De isforstyrrede lag består af meterstore disharmoniske folder, liggende, eventuelt kippede til overkippede, undertiden med parasitiske folder i ombøjningszonen (se også s. 7).

Glaciodynamiske foldestrukturer er i almindelighed karakteriseret af usymmetriske folder og

næsten horisontale foldeakser (Gry, 1940: 613–614), hvilket stemmer godt overens med forholdene i området. Glaciale folder er kun observeret i de øverste dele af smeltevandsserien nær toppen af bakkerne, eventuelt lidt nede på siden af disse. Det er derfor muligt, at bakkerne har været beskyttet mod deformation af den fremrykkende is, og at dødis har været den beskyttende faktor.

Laminerende siltgange i et uregelmæssigt mønster er fundet øverst i smeltevandsslagene i forbindelse med foldestrukturer og reverse forkastninger. Antagelig drejer det sig om clastic dikes (Heron et al., 1971).

Moræneaflejringer

Morænen optræder på to forskellige måder, dels som en dækkende moræne, dels som »morænelag og -tunger« i øvre del af smeltevandsslagene. Dækmorænen er som regel ganske kompakt og homogen. Kun på de steder, hvor den er tynd, er materialet løsere. Glaciodynamiske folder og flydestrukturer i morænen er adskilt på grundlag af udseende, størrelse og findesteder. Mens de førstnævnte er meter-store og oftest giver sig til kende ved hvide bånd af Kertemindemergel, er flydestrukturene af en størrelsesorden på 10–50 cm og forekommer som smalle, afsnørede silt-, sand- og gruslag. De glaciodynamiske folder er kun fundet i den dækkende moræne. Flydestrukturene er hovedsagelig iagttaget i »morænelag og -tunger«.

Dækmorænen

Analyse af foldestrukturer i morænen tyder på, at intern foldning er et resultat af isoverskridelse. Det samme indiceres af shearing i kontakten mellem moræne og smeltevandsslag. Også retningsanalyser (Selsing, in prep.), samt morænen hele habitus taler imod, at morænen er en ablationsmoræne. Den relativt grove tekstur kan også enklest forklares ved isens erosion i smeltevandsslagene med opblanding af materiale i morænen som resultat, hvorved morænen bliver grovere ned mod kontakten til smeltevandsslagene.

Morfogrammerne fra rundingsanalyserne på stenmaterialet i morænen (fig. 3) karakteriseres af et maksimum i klassen kantrundet. Klassen kantet er som regel lavere end 10%, mens klassen rundet er over 20%, i nogle tilfælde op mod 40%. Klassen godt rundet er dårligt repræsenteret.

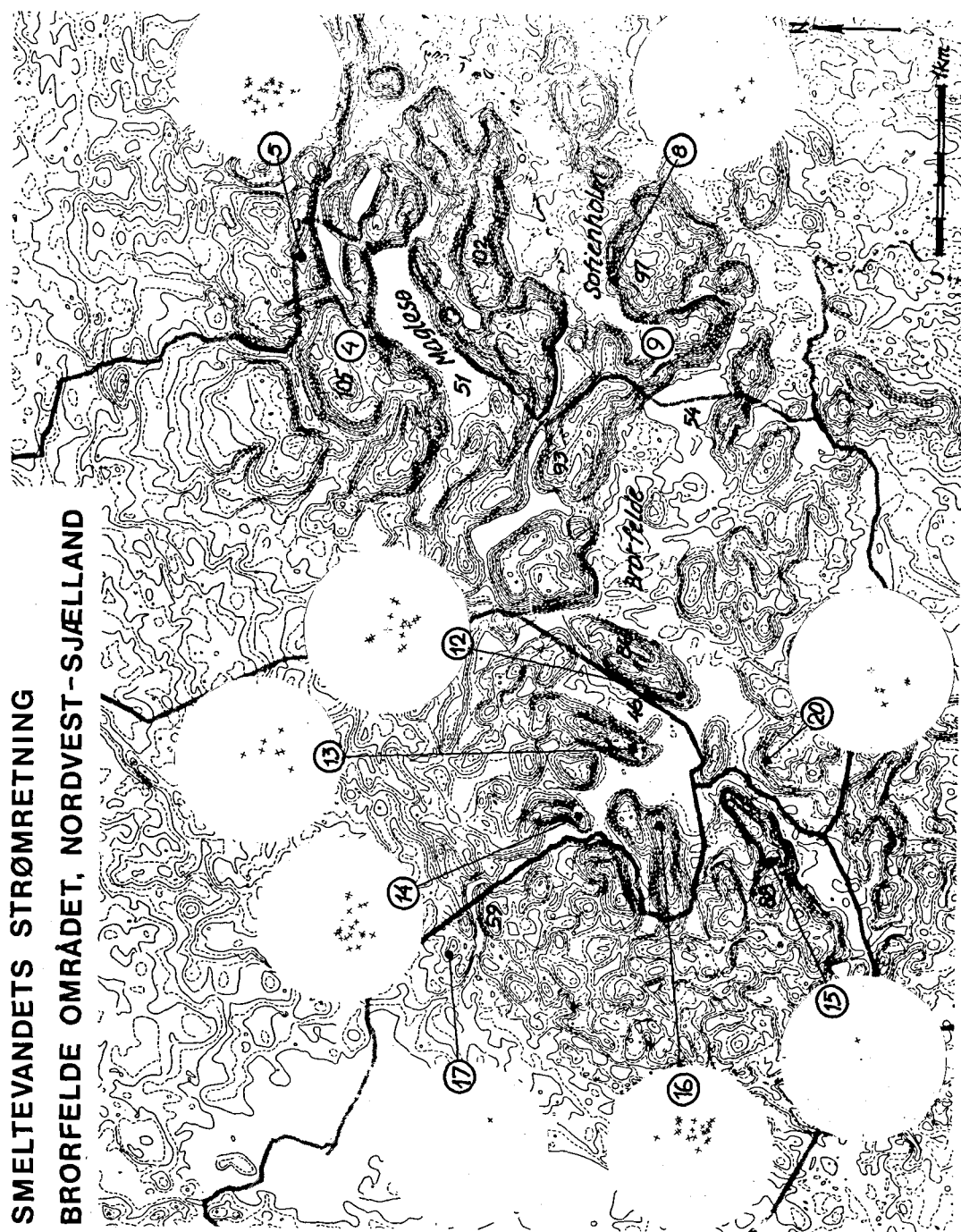


Fig. 5. Smeltevandets strømretning er præsenteret lokalitetsvis i et arealtro Schmidt net (nedre halvkugle). Lokalitetsnummer er omgivet af sort ring. I øst er hovedstrømningsretningen mod N, NØ og Ø, mens en NV- til V-lig smeltevandsstrøm præger afsætningerne i V. Forskelle og variationer i smeltevandstrømmen antages at være forårsaget af skiftende vandføring, sedimenttransport, samt lokal af smeltende dødis.

The flow of the meltwater are indicated for each locality in an equal-area Schmidt net (lower hemisphere). The locality number is incircled with black. In E the main flow direction has been towards N, NE and E; in the W, however, the sediments are characterized by a NW to W flow direction. Differences and variations in the flow direction are probably caused by varying watercharge, sedimentload, and locally by melting of buried dead-ice. Reproduced by permission (A. 440/70) of Geodætisk Institut, Copenhagen.

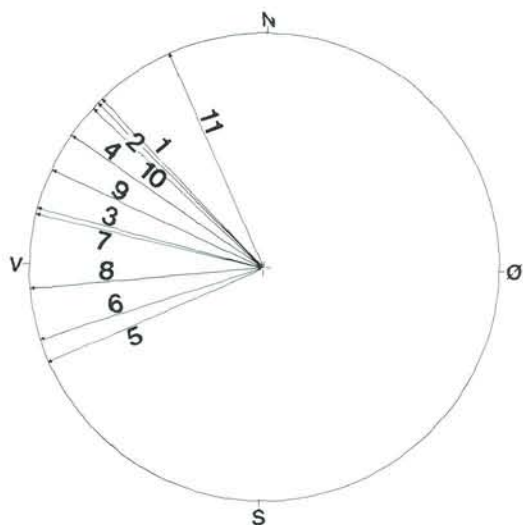


Fig. 6. Et eksempel på ændringer i smeltvandets strømretning på lok. 16 (se fig. 5). »1« angiver strømmen nederst, mens »11« angiver strømmen øverst i et 7 m højt profil.

An example of changes of the flow direction of meltwater at loc. 16 (cf. fig. 5). »1« respectively »11« indicates the flow direction at the bottom and at the top of the section. The section is 7 metres high.

Morfogrammerne viser stor lighed med gennemsnitsmorfogrammet fra det centrale Øst-Norge for »glacifluvialt materiale transporteret supra- og englacialt« (Bergersen, 1970: 256). Dette resultat skyldes muligvis, at moræne materialet er opblandet med smeltvandslag, og at transporten i isen er kortvarig. Årsagen kan også være den specielle metodik der er anvendt ved måling af flintens afrunding.

Stentællinger (Ussing & Madsen, 1897) er en analysemetode til adskillelse af moræneformationer indenfor korte afstande. Som et supplement til analysemetoden er bjergartssammensætningen indenfor hver af fraktionerne 4–8 mm, 8–16 mm, 16–32 mm og 32–64 mm undersøgt. Det viste, at mængdeforholdet mellem de forskellige bjergartsgrupper, som påpeget af f.eks. Petersen (1973:42), er afhængig af kornstørrelsen. Et andet resultat, at flintfrekvensen aftager med kornstørrelsen, stemmer også med andre undersøgelser (Rørdam & V. Milthers, 1900: 33 og Petersen, 1973). Forvitring og nedbrydning er ganske hyppig, særlig i grupperne kalksten og eruptiver +



Fig. 7. Profil på tværs af bakken på lok. 16. Bakken er i sin helhed opbygget af primært skråstillede, planparallelle smeltvandslag. Disse lag, deltalag, formodes at være dannet i forbindelse med, at smeltvandsløbet udmundede i et bassin (en issø).

Cross section of loc. 16. The hill is formed of dipping fluvio-glacial deposits. The structures are interpreted as foreset beds supposedly formed in a basin in the ice.

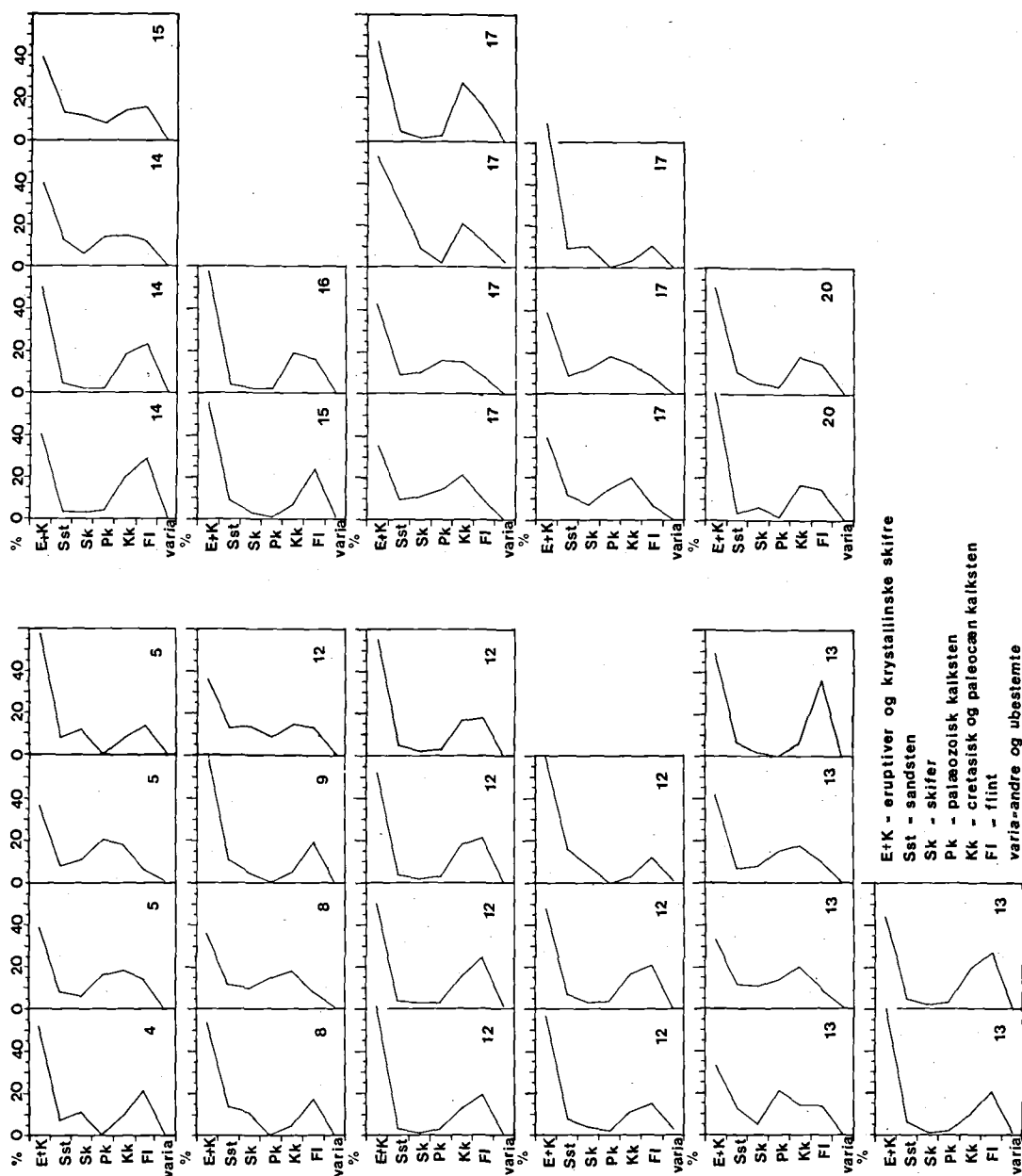


Fig. 8. Grafisk præsentation af alle stentællingsresultater. Nummeret ved hver kurve angiver lokalitet. Stentællingerne giver ingen anledning til at skille moræne materialet i forskellige typer.

Graph of all stone countings. Locality-number is associated with each curve. Different till types cannot be distinguished on stone-countings.

krystallinske skifre, hvorved stentællingskvotienten bliver større end den ville være blevet uden forvitring.

Stentællingskvotienten varierer mellem 0,14 og 0,72 (fig. 8). En vis variation i bjergartssammensætningen gør sig gældende, men i betragtning af forvitringen, anses denne variation for at

være for lille til at skille moræne materialet i forskellige typer. Stentællinger er en omdiskuteret analysemetode. Marcussen (1974: 22 ff.) har givet en kritisk vurdering af den og konkluderer, at stentællinger må betragtes med skepsis. Petersen (1973: 42) fremhæver imidlertid, at når metoden bliver benyttet til sammenligninger indenfor

korte afstande, som det oprindeligt var tanken, er den et brugbart supplement til andre undersøgelsesmetoder. Med tillid til dette konkluderes det, at der ikke kan udskilles forskellige moræner i undersøgelsesområdet.

Som supplement er den norske form for stentællinger (Bergersen, 1964: 18) anvendt, hvor 100 sten, 2–8 cm, sorteres i samme bjergartsgrupper, som i de danske stentællinger (se fig. 8). Denne delundersøgelse gav ikke oplysninger udover de danske stentællinger.

På bakketoppene er morænen 0–6 m tyk, på bakkесiderne er 8–10 m almindeligt. Borejournalerne fra Borearkivet ved Danmarks Geologiske Undersøgelse viser meget store morænetykkelser i sænkningerne mellem bakkerne (arkiv-nr. 205.2a : 58 m, 205.130 : 37 m, 205.142: 42 m og 204.353: 44 m). Morænen overlejrer på hvert af borestederne smeltevandslag. Den store morænetykkelse er sandsynligvis opstået ved en kombination af fremsmeltet materiale fra dødisen, moræne fra den overskridende is samt solifluktion. Korten for borestederne viser, at basis for morænen i sydvest (nærmest isranden) ligger godt 10 m o.h., mens den i sydøst ligger omkring

havniveau. Det er nærliggende at tolke basis af morænen som værende et resultat af basis af den døde is.

Højeste punkt i terrænet er i dag i sydvest 88 m, i sydøst 102 m. Det er derfor sandsynligt, at dødisen var tykkere i sydøst end i sydvest, og at tykkelsen har øget fra minimum 80 m i sydvest til minimum 102 m i sydøst. Det betyder, at gradienten på isens overflade var ca. 5 m/km. Disse dimensioner er forenelige med hvad som allerede er nævnt om tykkelsen på smeltevandslagene.

»Morænelag og -tunger«

En del profiler i bakkесiderne fremtræder med »morænelag og -tunger«. Fælles for disse profiler er, at kontakten mellem moræne og smeltevandslag hælder i samme retning som terrænet, ofte meget stejlt, i nogle tilfælde svagt overkippet. »Morænelag og -tunger« kan inddeles i to genetiske grupper med forskellig stratigrafisk placering: 1) dannet før de to sidste isfremstød og 2) dannet under deglaciationen.

Ad 1). Profilerne består af vekslende lag af moræne materiale og smeltevandslag, nogle gange dækket af foldede sedimenter (fig. 9). Den



Fig. 9. Et profil i NØ på lok. 9 er opbygget af vekslende lag af moræne og smeltevandslag. Det øvre smeltevandslag består af disharmoniske glaciodynamiske folder, som skæres diskordant af den dækkende moræne.

Section of NE part of loc. no 9 indicating layers of till and fluvio-glacial material. The upper layer of fluvio-glacial material indicates disharmonic folds of glaciodynamic origin cut discordantly by the covering till.

dækkende moræne forsejler disse profiler. Moræne materialet kan være groft, eventuelt bimodalt, og klassificeres som morænegrus.

Den bimodale fordeling kan skyldes sammenblanding af flere sedimenter f.eks. gennem solifluktion eller under dannelse af flow-till. Bimodal fordeling vil også opstå ved udfyldning af mellemrummene i et skelet bestående af groft materiale. Alt taget i betragtning er det mest rimeligt at tolke bakkerne som en iskontaktsætning og forklare denne form for »morænelag og -tunger« som et resultat af flydning af fremsmeltet ablationsmoræne under dannelse af flow-till.

Ad 2). Profilerne består af moræneflager adskilt af sorteret materiale (fig. 10). Materialet i moræneflagerne kan ikke skilles fra materialet i den dækkende moræne. Basis af nederste moræneflage overlejrer diskordant smeltevandslagene med en stejl, eventuelt vertikal til overkippet kontaktzone, som består af sorteret materiale med lag parallelle med kontakten. Det karakteristiske netværk af forkastninger i smeltevandslagene skæres diskordant af kontaktzonen og findes ikke over dette niveau.

Forkastningsanalyser sandsynliggør, at kontaktzonerne er forkastningsbetingede. Der er også observeret forkastninger med samme type parallelstilling af lagene i forkastningsplanet. Denne tolkning bestyrkes af, at retningsanalyser i de nedforkastede moræneflager falder sammen med den regionale isbevægelse fra sydvest.

Forskydningen langs disse forkastninger er ofte flere meter og må have influeret på tykkelsen af den dækkende moræne. Forkastningerne resulterede i terrænujævnen processer som skred og solifluktion. Det faktum, at denne form for forkastninger også gennemsetter den dækkende moræne viser, at de må være deglaciationsdannelser yngre end den dækkende moræne, samt at moræneflagerne består af brudstykker af den dækkende moræne flyttet en bloc.

Forkastningerne

Stress-analyse på de konjugerede normalforkastninger (Selsing, in prep.) har afsløret, at der eksisterer en klar sammenhæng mellem morfologien og forkastningerne, hvilket tolkes således, at morfologien og forkastningerne er et resultat af smeltende dødis.

Smeltevandslagene er afsat på og mellem dødis, som har været tykkere ud mod bakkernes pe-

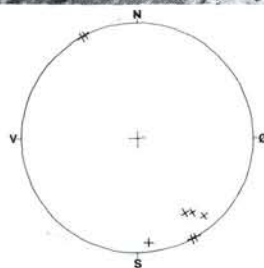


Fig. 10. Profil i siden af bakken på lok. 13 (tommestokken er 2 m). Blotningen består nederst (t.v.) af horisontaltstillede smeltevandslag med forkastninger. Derover og sideværts (t.h.) følger diskordant en moræneflage. I kontaktzonen, som står vertikalt til overkippet (se stereogram, arealtro Schmidt net) ses lagdelte smeltevandslag parallelle med kontaktzonen. Denne tolkes som en forkastning. Over moræneflagen (øverst i billedet) ses horisontaltstillede lagdelte sortererede sedimenter. Sedimenterne i bakkensiderne blev antagelig dannet under den endelige afsmeltning, da sidste del af den »gamle dødis« smeltede bort.

Section from the outskirts of the hill at loc. no 13. The scale enclosed is 2 metres. Horizontally layered fluvioglacial material with faults are seen at the bottom and the lower left part of the section. Till is found at the upper right part, approximately from the top of the enclosed scale. Parallel layers of fluvioglacial materials are seen in the contact zone, vertical to overhanging (cf. stereogram, equal-area Schmidt net, lower hemisphere), between the till and the fluvioglacial material. This zone is interpreted as a faulting plane. Sorted layered sediments are found above the till at the top of the section. The deposits at the hillsides presumably were formed during the time-span of the disappearance of the »old dead-ice«.

rifere dele og tykkest mellem bakkerne, hvor den også smeltede sidst. At dele af dødisen overlevede to isoverskridelser og eksisterede frem til den endelige afsmeltning bekræftes af forkastninger, som gennemsætter både smeltevandslag og moræne. Det betyder, at området morfologisk har fungeret som en nogenlunde jævnt hældende flade, både under afsætningen af smeltevandslagene og da isen rykkede frem, idet sedimentationen antagelig primært foregik i dødisens sprækker. Hartz (1912: 90) nævner eksempler på dødis, som først smeltede bort i tidlig Postglacial tid (se også Villumsen & Andersen, 1976:58).

Diskussion og sammenfatning

Rørdam & V. Milthers (1900: 2), V. Milthers (1943: 98) og Nielsen (1967: 329) har antydnet, at Brorfelde området er dødispræget. De her fremlagte undersøgelser har vist, at dødis utvivlsomt har givet ophav til dette enestående landskab gennem en kompliceret proces.

Langs fronten af en smeltende isstrøm udvikledes en dødis, som var mere end 100 m tyk på det tykkeste sted, og som havde en gradient både i bunden og på overfladen på ca. 5 m/km. Randen af den døde is afgrænsedes af en stagnerende, men sandsynligvis aktiv is i sydøst og syd.

Marcussen (1977) antager, at indlandsisen over Danmark i de fleste tilfælde har haft en lille gradient. Ud fra sin model postulerer han videre, at isens ligevægtslinje blev hævet således, at større ismasser omtrent samtidig blev udsat for smeltning. Konklusionen af modellen bliver, at man må forvente at finde store områder domineret af dødisafsætninger, noget Marcussen mener at finde i sine undersøgelsesområder fra deglaciationen.

Det ser imidlertid ikke ud til at være tilfældet i områderne rundt om Brorfelde bakker. Her kan grænserne for en død israndzone og en aktiv, men stagnerende is, markeres. Gradienten på denne front af død is er væsentlig større end de grader Marcussen (1977) kalkulerer med. Det er muligt, at Marcussens model er mest anvendelig i forbindelse med store og eventuelt langvarige klimaændringer som under deglaciationen. Se også Berthelsens kritik (Berthelsen, 1979: 127 ff.).

V. Milthers (1943: 100–102) lagde en israndslinje rundt om den nordlige, nordvestlige og vest-

lige rand af Brorfelde bakker. Den videre fortsættelse mod syd blev lagt parallelt med en lang voldformet bakkerække mellem Bonderup og Nyrup. V. Milthers (1943) opfattede denne som en fremstøds moræne. Rekognosceringer langs denne »fremstøds moræne« gør det umiddelbart klart, at der er tale om en ås. Hansen (1965: 41 fig. 10) nøjes med at opretholde den vestlige og sydlige del af israndslinjen, mens Nielsen (1967: 327 fig. 311) helt har sløjft den.

De nye undersøgelser bekræfter, at dødisafsætningens rand kan korreleres med en isrand, men at denne må være ældre end den endelige afsmeltning, samt at den er opstået under en deglaciation.

K. Milthers (1942: 68) antog ud fra ledeblok-analyser, at bakkerne i Brorfelde var opstået på grænsen mellem to istunger. Han kalder bakkerne sammenskydninger, eventuelt en slags midtmoræne. I princippet er der hverken tale om sammenskydning eller midtmoræne, men resultaterne er dog ikke uforenelige med afsætning mellem to islober, nemlig én, som lå ret syd for området, og én, som lå ret øst for området.

Det er muligt, at isfronten i Brorfelde området repræsenterer den længst tilbagesmeltede isfront i en kortvarig deglaciationsperiode. Sedimenterne kan omfatte hele perioden med afsmeltning, stilstand og fremrykning. Den store tykkelse på smeltevandslagene skyldes antageligvis en kombination af flere faktorer: Aflejringerne skete i en tyk dødis, som smeltede lidt efter lidt; derved sænkedes erosionsbasis, hvorved sedimentationen kunne fortsætte. Isranden må have ligget et stykke tid langs den sydlige rand af Brorfelde bakker eller lidt sydligere, mens store mængder smeltevand, sandsynligvis hoveddræneringen fra et stort opland, f.eks. hele Midt-Sjælland, er blevet koncentreret ud mod isranden, det er de vældige dimensioner på smeltevandslagene en bekræftelse på. Aflejringen skete i anastomoserende strømløb på og omgivet af is under dannelse af former, som mest har lighed med enorme kames. Antagelig har den enkelte smeltevandskanal eksisteret under hele den deglaciationsfase, som smeltevandslagene repræsenterer. Det aflejrende smeltevand strømede vifteformet ud over Brorfelde området: mod vest og nordvest i de vestlige dele og mod nord, nordøst og øst i de østlige dele.

Mens smeltevandslagene blev afsat smeltede dødisen. Derved dannedes et kompliceret møn-

ster af konjugerede normalforkastninger i sedimenterne og de akkumulerede kames blev formmæssigt modificeret. Først da dødisen smeltede væk i Sen- og Postglacial tid opstod bakkelandskabet.

Både foldning, reverse forkastninger og clastic dikes viser, at en aktiv is har overskredet området, efter afsætningen af smeltevandslagene.

Smeltevandslagene blev overskredet af to isfremstød, antagelig fra samme isstrøm og muligvis adskilt af en kort deglaciationsfase. Der er ikke fundet sikre spor, hverken af sedimentter eller permafrostfænomener, fra denne mulige deglaciationsfase i Brorfelde området (Selsing, in prep.). Mangelen på permafrostfænomener kan skyldes ustabile grundforhold p.gr. af dødisen.

Deglaciationen foregik hen over isdækket jordoverflade (V. Milthers 1943: 98). Slugternes forløb og længdeprofiler, samt observationer i gennemgravede små overfladiske dødishuller tyder på en dødispræget afsmeltning, muligvis som virkningen af den gamle dødis. Den gamle dødis under bakkerne smeltede væk før de gamle dødisrester mellem bakkerne. Muligvis smeltede den gamle dødis endeligt væk først i Postglacial tid. Resultatet er blevet et stortilet dødispræget bakkeområde pålejret overfladiske småformer af dødiskarakter. Boring i en af de store sænkninger viste, at isafsmeltningen blev fulgt af en lakustrin fase, som igen afløstes af en mosefase.

Stratigrafisk placering

Undersøgelserne i Brorfelde bakker viser, at mens isen var smeltet tilbage mod øst og syd, strømmede smeltevandet vifteformet ud mod isfrie områder i vest, nord og nordøst. Dette kan tyde på, at smeltevandslagene blev afsat af en smeltende Ungbaltisk is, Berthelsen, 1973 & 1978). At det sandsynligvis skete mellem to Ungbaltiske fremstød (i deglaciationsperioden Røsnæs varmetid, Berthelsen, 1975) bekræftes også af andre stratigrafiske undersøgelser i området (Selsing, in prep.).

Tak

Denne artikel er en del af min hovedopgave »En kvartærgeologisk undersøgelse over dannelsesmiljøet og stratigrafien i Brorfelde området, Nordvest-Sjælland, Danmark«. Hovedfagseksamen blev aflagt ved Geologisk Institutt, avd. B, Universitetet i Bergen, Norge, foråret 1977. I

forbindelse med dette arbejde var Asger Berthelsen min præceptor ved Almen Geologisk Institut, Københavns Universitet, mens Ole Fredrik Bergersen var min vejleder ved Geologisk Institutt, avd. B, Universitetet i Bergen. Et eksemplar af hovedopgaven er tilgængeligt ved biblioteket på følgende institutioner: Arkeologisk museum i Stavanger og Universitetet i Bergen, Norge, samt Geologisk Centralinstitut, Københavns Universitet. Jan Mangerud, Universitetet i Bergen, og Asger Berthelsen har læst manuskriptet. En hjertelig tak sendes også mine kolleger på Arkeologisk Museum i Stavanger for hjælp og inspiration.

Litteratur

- Bergersen, O. F. 1964: Løsmateriale og isavsmeltning i nedre Gudbrandsdalen og Gausdal. *Nor. Geol. Unders.* 228, 12–83.
- Bergersen, O. F. 1970: Undersøkelser av steinfraksjonens runningsgrad i glasigene jordarter. *Nor. Geol. Unders.* 266, 252–262.
- Bergersen, O. F. & Follestad, B. A. 1971: Evidence of Fossil Ice Wedges in Early Weichselian Deposits at Foss-Eikje-land, Jæren, South-West Norway. *Nor. Geogr. Tidsskr.* 25, 39–45.
- Berthelsen, A. 1973: Weichselian ice advances and drift successions in Denmark. *Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala*, New Ser. 5, 21–29.
- Berthelsen, A. 1975: *Geologi på Røsnæs*. Ekskursjonsfører nr. 3, Varv, Geol. Museum, København, 78 pp.
- Berthelsen, A. 1978: The methodology of kineto-stratigraphy as applied to glacial geology. *Bull. Geol. Soc. Denm.* 27, Special Issue, 25–38.
- Berthelsen, A. 1979: Contrasting views on the Weichselian glaciation and deglaciation of Denmark. *Boreas* 8, 125–132.
- Gry, H. 1940: De istektoniske Forhold i Moleromraadet. *Medd. dansk geol. Foren.* 9, 586–627.
- Hansen, S. 1965: The Quaternary of Denmark. I: *The Geologic Systems. The Quaternary*, I, ed. K. Rankama. Interscience Publishers, New York, 90 pp.
- Hartz, N. 1912: Allerød Gytje og Allerød Muld. *Medd. dansk geol. Foren.* 4, 85–92.
- Heron, S. D. jr., Judd, J. B. & Johnson, H. S. jr. 1971: Clastic Dikes Associated with Soil Horizons in the North and South Carolina Coastal Plain. *Geol. Soc. Am. Bull.* 82, 1801–1809.
- Marcussen, I. 1974: Stentællingsmetoden, ledeblokanalysen og glacialstratigrafi – en kritisk vurdering. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1973*, 20–42.
- Marcussen, I. 1977: Deglaciation landscapes formed during the wasting of the late Middle Weichselian ice sheet in Denmark. *Danm. geol. Unders.* rk. 2, 110, 72 pp.
- Milthers, K. 1942: Ledeblokke og Landskabsformer i Danmark. *Danm. geol. Unders.* rk. 2, 69, 137 pp.
- Milthers, V. 1943: Nordvestsjællands Geologi. *Danm. geol. Unders.* rk. 5, 6, 185 pp.
- Nielsen, A. V. 1967: Landskabets tilblivelse. I: *Danmarks natur, I, Landskabernes opståen*, ed. A. Nørrevang & H. Volsøe, Politikens forlag, København, 251–344.

- Petersen, K. S. 1973: Tills in dislocated drift deposits on the Røsnæs peninsula, northwestern Sjælland, Denmark. *Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala, New Ser.* 5, 41–49.
- Pettijohn, F. J. 1975: *Sedimentary Rocks*. 3. udgave, Harper & Row, New York, 628 pp.
- Reichelt, G. 1961: Über Schotterformen und Rundungsgradanalyse als Feldmethode. *Petermann's geographische Mitteilungen* 105, 15–24.
- Rørdam, K. & Milthers, V. 1900: Kortbladene Sejerø, Nykøbing, Kalundborg og Holbæk. *Danm. geol. Unders.* rk. 1, 8, 143 pp.
- Sugden, D. E. & John, B. S. 1976: *Glaciers and Landscape*. Edward Arnold, London, 376 pp.
- Ussing, N. V. & Madsen, V. 1897: Beskrivelse til Kortbladet Hindsholm. *Danm. geol. Unders.* rk. 1, 2.
- Villumsen, A. & Andersen, H. L. 1976: Late- and Post-glacial sediments in the Randers Fjord area. *Danm. geol. Unders.* rk. 2, 107, 124 pp.