

# Deformations- og erosionsstrukturer i bundmorænelandskabet ved Mýrdalsjökull, Island

JOHANNES KRÜGER OG OLE HUMLUM

Krüger, J. og Humlum, O.: Deformationsstrukturer og erosionsstrukturer i bundmorænelandskabet ved Mýrdalsjökull, Island. *Dansk geol. Foren., Arsskrift for 1979*, side 31–39, København, 18. januar 1980.

Some deformation and erosion structures are presented from two cliff profiles in a ground moraine landscape in front of Mýrdalsjökulls northern margin, Iceland. One of the sections shows glaciodynamic fold structures and overthrusts which are shown to be of subglacial origin and in accordance with the ice movement direction. The second profile shows erosional structures with pocket-form. These structures are interpreted as filled and deformed erosion channels formed by supraglacial meltwater streams during an earlier frontal deglaciation of the area, and filled and deformed during a later advance of the glacier.

*Johannes Krüger og Ole Humlum, Laboratorium for Geomorfologi, Geografisk Institut v. Københavns Universitet, Haraldsgade 68, 2100 København Ø, 10. oktober 1979.*

De seneste års forsøg på en tolkning af det glacialle landskab i Danmark har undertiden ført til modstridende opfattelser af landskabets dannelseshistorie. En væsentlig årsag hertil er rimeligvis, at indenfor dansk istidsforskning lægges hovedvægten næsten udelukkende på en beskrivelse af det glacialle slutprodukt – det Pleistocæne landskabs terrænformer og materialer – medens interessen for de glacialle processer hidtil har været yderst begrænset. Når f.eks. en specifik moræneaflejring forklares af én forsker som flyde till aflejret ovenpå stagneret eller død is, og af en anden som bund till afsat under en gletscher i bevægelse, beror dette forståeligt nok på en usikkerhed overfor de glacialle aflejningsmekanismer og de sedimentære strukturer, som de kan resultere i.

Her kan studiet af glacialle processer og sedimentter ved recente gletschere ganske givet støtte den kvartære forskning. Det er dog med rette hævdet, at anvendelsen af det »aktualistiske princip« er en vanskelig opgave i kvartærgeologisk sammenhæng. Begrundelsen er den, at der ikke findes et recent sidestykke til det nordeuropæiske iskjold. Da det imidlertid må antages, at det glacialle sedimentationsmiljø har ændret sig, ikke blot fra sted til sted selv indenfor den danske del af iskjoldet, men også i løbet af en istid, er det rimeligt at konkludere, at der blandt recente gletschere findes typer, der med fordel kan benyttes til sammenlignende studier.

På den baggrund er der i 1977 og 1979 med støtte fra Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd gennemført en række undersøgelser langs nord- og østranden af Mýrdalsjökull i Island med det formål at redegøre for de sedimentære karakterer, der kendetegner forskellige genetiske till typer ved en recent iskappe (Krüger, 1979, Krüger og Humlum in press).

Her skal redegøres for nogle observationer, der blev gjort i sommeren 1979 i to erosionssnit i et bundmorænelandskab foran Mýrdalsjökulls nordrand (Fig. 1).

Områdets geomorfologi

Mýrdalsjökull er en tempereret iskappe på 700 km<sup>2</sup> beliggende 150 km ØSØ for Reykjavík. Iskappens nordlige parti, der undertiden benævnes Sléttjökull (Rist, 1967), ender med sin godt 20 km lange front på en udstrakt højslette 550–600 m.o.h. Størstedelen af denne slette udgøres af mere eller mindre permeable og deformerbare sedimentter i lighed med det nordeuropæiske iskjolds underlag i Danmark. Kun enkelte steder afbrydes fladekarakteren af opragende kraterrækker og enkeltliggende vulkanrester (f.eks. Mælifell) tilhørende palagonitformationen.

Mod slutningen af forrige århundrede rykkede Sléttjökull frem som følge af en ændring af klimaet i retning af et køligere klima. Spor efter dette

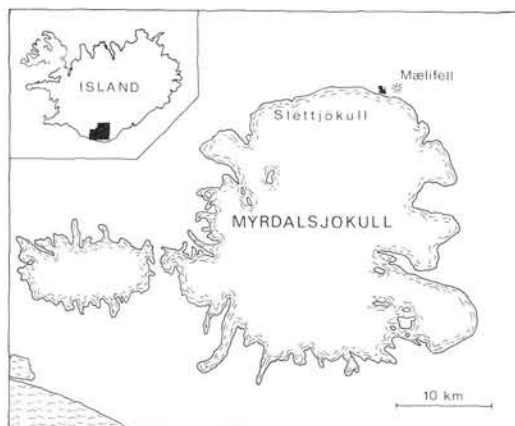


Fig. 1. Oversigtskort viser placeringen af undersøgelsesområdet sydvest for Mælifell. Misvisningen i dette område er i 1979 målt til 22° Ø.

Location map showing the research area southwest of Mælifell. In this area the magnetic variation was measured to be 22° E in 1979.

fremstød ses tydeligt i gletscherforlandet som en svagt buetformet randmoræne ca. 1,5 km foran den nuværende isrand. Mellem randmorænen og gletscherfronten ligger et næsten fladt til svagt bølget bundmorænelandskab, der er frilagt i takt med en frontal afsmeltning af Sléttjökull siden århundredeskiftet. Gletscherfronten smelter stadig tilbage, men hastigheden er dog stærkt reduceret fra en gennemsnitlig tilbagesmeltning på

godt 30 m pr. år i 1930'erne til 8–10 m pr. år i slutningen af 1970'erne (Krüger og Humlum in press).

I et område sydvest for Mælifell er størstedelen af det frilagte bundmorænelandskab nær den nuværende gletscherrand stærkt drumliniseret (Fig. 2). Det drejer sig om forholdsvis små bakker, der er langstrakte i isens bevægelsesretning. De enkelte bakker er 30–100 m lange, 15–40 m brede og hæver sig kun 2–4 m over det omgivende terræn. Flere steder er de små drumlin-bakker vokset sammen til et større drumlin-kompleks i lighed med drumlins beskrevet af Rose og Letzer (1977) fra Scotland og England.

Det forholdsvis jævne terræn fortsætter ind under gletscheren, hvilket viser sig at have betydning for dræningen af gletscheroverfladen. Det jævne underlag betyder nemlig, at gletscheren er forholdsvis spaltefattig, således at overfladesmeltevandet i stor udstrækning forbliver på gletscheroverfladen og dér drænes via talrige meanderende, supraglaciale løb. Denne situation har stor betydning for udviklingen af naturlige klintprofiler i områdets glaciale aflejringer, idet vandet fra disse supraglaciale løb skærer sig 1–4 m ned i gletscherunderlaget i takt med den frontale afsmeltning (Fig. 2), hvorved der er dannet et stort antal 100–800 m lange erosionssnit i bundmorænelandskabet, omtrent vinkelret på isranden. Som følge af deres specielle oprindelse



Fig. 2. Udsigt mod øst langs Sléttjökulls rand viser det drumliniserede bundmorænelandskab, der er frilagt ved frontal deglaciation.

View towards the east showing the margin of Sléttjökull and the drumlinized ground moraine exposed during the glacier front retreat.

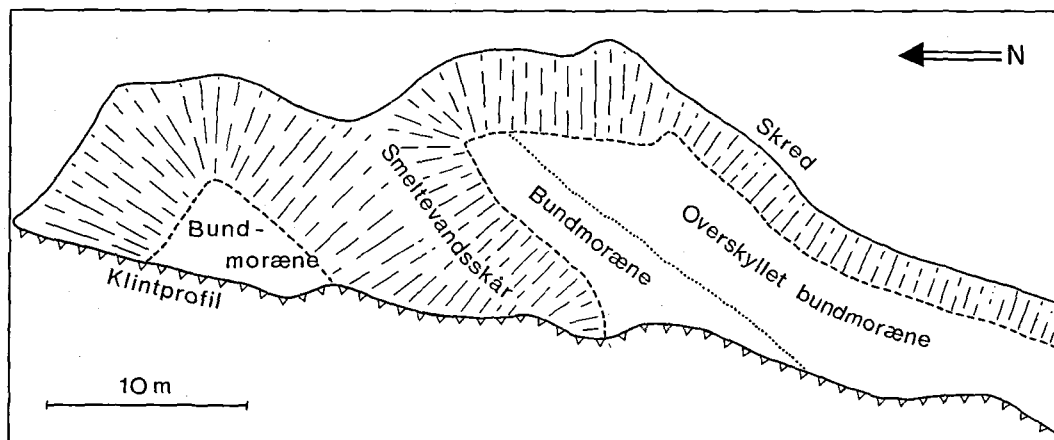


Fig. 3. Kortet viser omridset af den stærkt smeltevandseroderede drumlin-bakke, lokalitet 1, og beliggenheden af klintprofilen i figur 4.

Map showing the outline of a drumlin (locality 1) strongly affected by meltwater. The cliff section shown in figure 4 is indicated.

forløber disse erosionskanaler gennem landskabet uafhængigt af dets topografi, således at såvel bakker som lavninger gennemskæres.

#### Områdets stratigrafi

De mange erosionssnit har gjort det muligt at danne sig et foreløbigt indtryk af den generelle stratigrafi indenfor det drumliniserede område. Der kan udskilles to stokværker:

Det nederste stokværk består af en uforstyrret smeltevandsserie med en tykkelse på mere end 2–3 m, idet dens undergrænse ikke kendes. Serien opbygges stort set af planlejrrede lag af grove sedimenter, fortrinsvis groft sand og grus, men enkelte steder griber også banker med skrålejrning ind over hinanden og viser en strømretning bort fra isranden, dvs. i nordlig retning.

Det øvre stokværk er udviklet som en 0,1–2 m mægtig bæk af kompakt till, der i de fleste tilfælde afgrænses yderst skarpt fra den underliggende smeltevandsserie. Bænkens overflademorfologi med udvikling af fluted moraines samt dens indhold af subglaciale aflejringsstrukturer viser, at det øvre stokværk består af bund till (Humlum, 1979; Krüger, 1979). I nogle profilvægge ses indslag af en ofte mere gruset till mellem smeltevandsserien og den overliggende bæk af bund till. Fra lokaliteter ved isranden længere mod øst vides till af denne type at kunne være bund till, men da tilsvarende gruset till også kan indgå sammen med smeltevandsmateriale i udfyldningen af fossile strømløb beliggende øverst i smel-

tevandsserien, kan denne till stedvis tolkes som flyde till, der fra en avancerende gletscherfront er flydt ud over den nærmeste del af en foranliggende smeltevandsslette.

#### Lokalitet 1

Profil i drumlin-bakke, beliggende ca. 300 m foran den nuværende gletscherrand. Ifølge ældre flyfotos er denne bakke smeltet fri af isen i begyndelsen af 1960'erne og er siden blevet delvis ødelagt af smeltevandets erosion. Figur 3 viser bakkens nuværende omrids i grove træk. Af den oprindelige bakkens overflade er der kun få rester tilbage, idet smeltevandet på et tidligt tidspunkt har bortskyllet dele af till-aflejringerne og udformet et erosionsskår gennem bakken. Senere har en smeltevandsstrøm skåret sig ind i den lille bakkens østflanke, der nu fremtræder med tilskredne erosionsskrænter. I dag foregår erosionen udelukkende i bakkens vestlige flanke, hvor en 50 m lang og op til 3 m høj klint danner et nord-syd-gående erosionssnit omtrent parallelt med den bevægelsesretning. Sléttjökull ifølge flyfotos har haft hen over dette sted.

Medens den sydlige del af klintprofilen blot afspejler den generelle stratigrafi i området, viser den nordlige del en noget anden udvikling, idet der i det 3 m høje klintprofil kan udskilles tre stokværker (Fig. 4).

Det nedre stokværk genkendes som den uforstyrrede smeltevandsserie, hvis synlige del på dette sted har en mægtighed på 0,6–1,3 m. Den

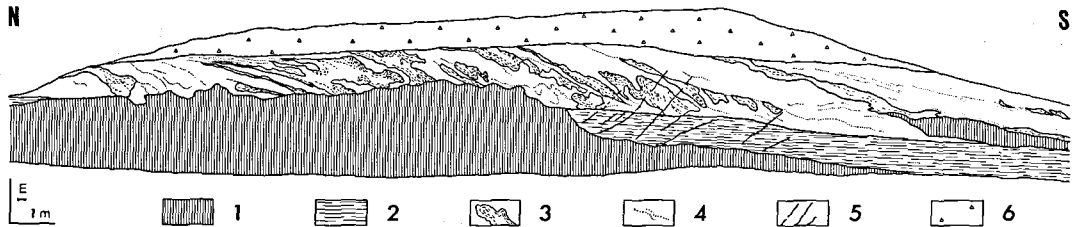


Fig. 4. Erosionssnit i nordenden af drumlin-bakken vist i figur 3. (1) Skred. (2) Uforstyrret smeltevandsserie fortrinsvis med planlejrning. (3) Deformerede smeltevandsaflejringer. (4) Deformeret till med båndethed og overskydninger. (5) Tensions-joints. (6) Bund till.

Cliff section in the northern end of the drumlin shown in figure 3. (1) Scree. (2) Undisturbed meltwater deposits mainly with even lamination. (3) Dislocated meltwater deposits. (4) Banding and thrust planes in dislocated till. (5) Tension joints. (6) Lodgement till.

mindste lagmægtighed findes i den sydlige del af profilet, hvorfor smeltevandsseriens overflade dér hælder mod syd.

Det mellemste stokværk har en mægtighed på 0,7–1,3 m og omfatter en stærkt disloceret serie, hvor løs, gruset till med båndet struktur dominerer, men desuden indgår partier med smeltevandsgrus og -sand svarende til materialet i den underliggende smeltevandsserie. Den strukturelle opbygning af det mellemste stokværk viser en noget forskellig udvikling hen gennem profilet. I den sydligste og nordligste ende ses sydhældende overskydninger, medens den centrale del af klintprofilen fortrinsvis består af overkippede foldestrukturer med sydhældende axialplaner.

Sydligst i den centrale del af profilvæggen er udviklet tensions-joints, som ikke blot optræder i det mellemste stokværk, men også kan følges ned i det nedre stokværk med smeltevandsaflejringerne. Af orienteringen af overskydningsplaner, foldeakser og jointsflader, som er vist i figur 5A, sluttet, at lagforstyrrelserne er forårsaget af et ispres fra syd.

Det øverste stokværk i klintprofilen udgøres af en 0,5–1 m mægtig kompakt till-bænk, der hviler direkte på den dislocerede lagserie. Den kompakte till adskiller sig visuelt og texturelt fra det mellemste stokværks grusede till. I toppen af till-bænken er der ca. 20 cm under terræn udført en till macro-fabric analyse på 25 rod- og bladfor-

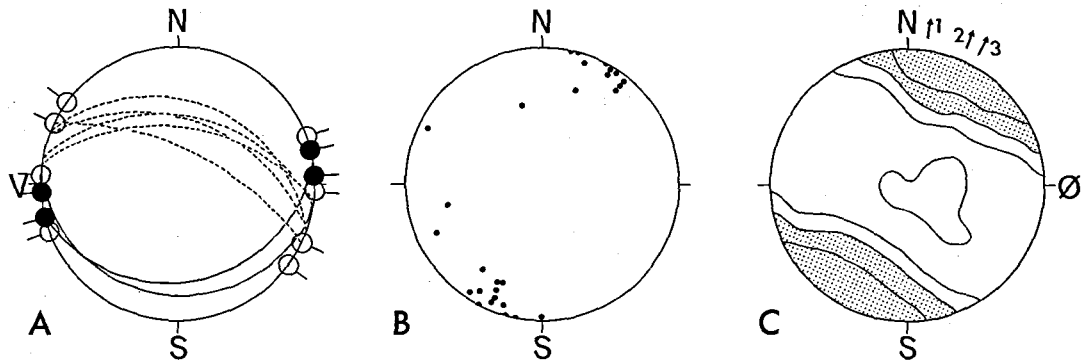


Fig. 5. Strukturer og till fabric (Wulff net) i henholdsvis den dislocerede smeltevands/till-serie og overliggende bund till i klintprofilen på lokalitet 1. (A) Orienteringen af overskydningsplaner (optrukne linier) og tensions joints (stiplede linier), samt målte (åbne hoveder) og konstruerede (udfyldte hoveder) foldeakser. (B) Plot af 25 blad- og rodformede partiklers a-akse. (C) Kontureret diagram med en ækvistand på tre gange standardafvigelsen. Den prikkede signatur viser, at den tilsyneladende fremherskende orientering i B er statistisk signifikant. Pilene 1 og 2 angiver orienteringen af læsiden på to blokke med stød-læ-side form, medens pil 3 viser orienteringen af fluted moraines samt en blokrække. Alle retningsangivelser er korrigeret for lokal misvisning.

Structures and till fabric (Wulff net) in the dislocated meltwater/till bed and the above lodgement till, respectively. (A) Orientation of thrust planes (full-drawn lines) and tension joints (dashed lines), as well as measured (open circles) and constructed (black dots) fold axes. (B) Point diagram showing the long axis orientation of 25 blades and rods. (C) Contour diagram with intervals of three times the standard deviation. The dotted area visualizes the statistical significance of the apparent orientation peak in B. The arrows Nos. 1 and 2 show the orientation of lee sides on two clasts with stoss-and-lee form. The third arrow shows the orientation of flutes and a line of four boulders embedded in the till surface. Correction for the magnetic variation.

mede partikler (Fig. 5B og C). Analysen viser en stærk nordnordøstlig-sydsydvestlig partikelorientering, der passer naturligt ind i det glaciæle bevægelsesmønster i Mælifell-området (Krüger in prep.). Da det samme stort set gælder for orienteringen af to blokke med udviklet stød-læside form samt en blokrække bestående af 4 tætliggende blokke, alle forankret i bakkens terrænoverflade, tolkes klintprofillets øvre stokværk som bund till (Boulton, 1978; Krüger, 1979).

#### Diskussion

I det Pleistocæne landskab aflæses isstrømmenes palæoflydemønster fortrinsvis ved retningsbestemmelser af glacialtektoniske forstyrrelser og partiklers orientering i bund till. Ved Sléttjökull er isbevægelsesretningen derimod kendt, og opgaven er derfor at se, i hvor høj grad de glaciæle retningsselementer på lokalitet 1 stemmer overens med denne bevægelsesretning.

Deformationerne, som ses i klintprofillet, kan henføres til Sléttjökulls fremstød i slutningen af forrige århundrede. Da der ikke hidtil er observeret iskilestrukturer i den begravede smeltevandslette, som repræsenteres af den udbredte smeltevandsserie, antages det, at deformationerne er opstået i ufrosset materiale. Dette understreges også af deformationernes komplicerede geometri. Retningen af den randmoræne, der angiver Sléttjökulls maksimale udbredelse, viser, at gletscheren på det tidspunkt bevægede sig i retningen N 16° Ø. Overensstemmende hermed viser de observerede dislocationer (Fig. 5A), at istrykket kom fra N 188° Ø med variationsbredden  $\pm 28^\circ$ , idet de enkelte folder og planer kan være vredet noget.

Derefter aflejedes den kompakte bund till. I følge flyfotos fra 1946 og 1960 er isbevægelsesretningen drejet en anelse i østlig retning til N 23° Ø. Denne ændring aflæses også i de observerede retningsselementer i bund till'en (Fig. 5B og C). Fluted moraines og blokrækken, der erfaringsmæssigt er meget følsomme indikatorer på isbevægelsesretningen, angiver en bevægelse mod N 29° Ø. De to blokke med stød-læ-side form, der er en noget mindre følsom indikator (Krüger 1979, fig. 19), angiver retninger på henholdsvis N 8° Ø og N 24° Ø.

Till fabric analyser udført systematisk i bundmorænelandskabet foran Sléttjökull viser, at den fremherskende a-akse orientering kan variere

10°–20° selv indenfor så korte afstande som 100–300 m (Krüger in prep.). På lokalitet 1 er der særdeles fin overensstemmelse mellem a-akse orientering (N 27° Ø) og isbevægelsesretning.

Observationerne foran Sléttjökull støtter således anvendelsen af glacialtektoniske strukturer som glaciæle retningsselementer i Pleistocæne aflejringer og som udtryk for en aktiv gletschers arbejde.

#### Lokalitet 2

Omtrent 1 km vest for lokalitet 1 er der i et ca. 100 m langt profil iagttaget en struktur, der formodes at være karakteristisk for vertikalsnit gennem et bundmorænelandskab, som er frilagt ved frontal afsmeltning.

Profillet, som følger højre bred af et større smeltevandsløb, er 2–4 m højt og forløber omtrent parallelt med den tidligere isbevægelsesretning. Afstanden fra profilets sydende til den nuværende isrand er ca. 400 m. Profilet består hovedsagelig af smeltevandssedimenter, fortrinsvis silt, sand og grus, der dækkes af 0,1–0,6 m bund till. Mellem denne till og smeltevandsserien findes mange steder rester af ældre till(s). Med 3–20 m mellemrum brydes denne enkle stratigrafi dog af iøjnefaldende strukturer, hvoraf der her skal beskrives et par typiske eksempler (fig. 6–8).

Strukturerne har et karakteristisk udseende: Fra undersiden af den øvre till udgår snævre lommer af sand, grus og till (Fig. 6), der strækker sig ned i den underliggende smeltevandsserie, hvis laggrænser typisk er noget nedadbøjede tæt ved lommernes ydergrænser. Lommerne, der er 1–2 m dybe og 0,3–1 m brede, kan stå helt lodret, men hyppigt hælder den øverste del dog bort fra den nuværende isrand (Fig. 8). Lommernes begrænsning mod smeltevandssedimenterne er sædvanligvis udformet som en erosionsdiskordans, men kan dog også være mere diffus, især hvor smeltevandssedimenterne selv viser deformationsstrukturer op til undersiden af bund till'en (se fig. 6B og 8). Foldeakser i disse deformationer står omtrent vinkelret på den tidligere isbevægelsesretning (Fig. 6B og 9).

Sedimenterne i lommerne viser i de fleste tilfælde en tydelig lagdeling, der er stejltstillet og som ofte følger lommernes begrænsning (Fig. 6). Undertiden optræder løsrevne fragmenter af det omgivne sediment i lommerne. Bag profilvæggen er udført nogle sonderingsgravninger, der viser,

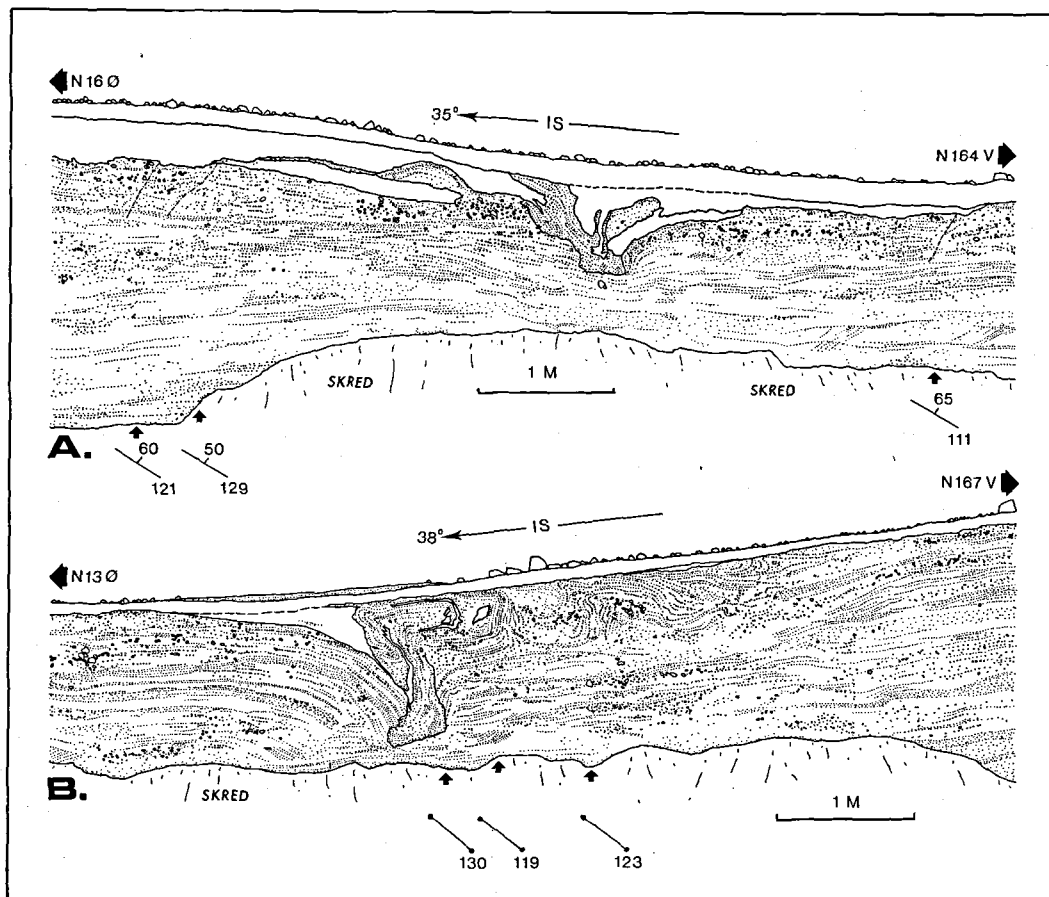


Fig. 6. Profiludtegning af erosionssnit i bundmorænelandskabet på lokalitet 2. Till er vist med åben (hvid) signatur, smeltevands-sedimenter med priksignatur. Alle retningsangivelser er korrigeret for lokal misvisning.

Profile in glacial and glaciofluvial sediments in the ground moraine on locality 2. Tills are shown with open (white) signature, glaciofluvial sediments with a dotted signature. All directions are corrected for the local magnetic variation. Note the erosional structures with pocket-form in the central part of the two profiles. These structures are interpreted as filled and deformed erosion channels formed by supraglacial meltwater streams during an earlier frontal deglaciation of the area, and filled and deformed during a later advance of the glacier.

at lommerne ikke er isolerede udfyldninger, men derimod synes at have en betydelig horisontal udstrækning. Forløbet er noget uregelmæssigt indenfor korte afstande, men den overordnede retning er parallel med den tidligere isbevægelsesretning. Den øvre till fortsætter altid ukompliceret hen over lommerne, hvorimod forekomsterne af ældre till normalt indgår i sedimentet i lommerne eller også ses at være afskåret langs lommernes ydergrænser (Fig. 7).

#### Diskussion

Omridset af nogle af forekomsterne af ældre till i eller op til lommerne kan gøre, at disse minder

om till wedges, der er subglaciale intrusioner af till i underliggende sedimenter og kan anvendes som et glacialt retningselement (Dreimanis, 1969; Mörner, 1972; Humlum, 1978). De beskrevne forekomster af till er dog ikke till wedges, hvilket indses af deres geometriske relation til lommestrukturerne, der nemlig viser, at till'en er ældre eller samtidig med lommernes dannelse. Den øvre till er derimod klart yngre end lommerne. Lommernes form og erosionsdiskordansen til de omgivende smeltevandsaflejringer viser, at strukturen heller ikke er glacialtektonisk, men snarere skyldes lokal erosion efterfulgt af aflejring. Senest er lommernes øvre del trukket noget



Fig. 7. Nærbillede af erosionsstrukturen fra fig. 6A. Målebåndet er 1 m langt.

Detail of the structure shown in figure 6A. The ruler is 1 m in length.

ud i isbevægelsens retning, sandsynligvis i forbindelse med aflejringen af den øvre bund till, på hvilket tidspunkt også folderne (fig. 9) i smeltevandsseriens øverste del må være dannet.

Lommernes snævre form – eventuelt med overhængende kanter (Fig. 6B) – kombineret med deres tilsyneladende betydelige horisontale udstrækning i isens bevægelsesretning viser, at lommestrukturerne skal ses som udfyldningsformer af erosionskanaler af samme type som de, der i dag dannes i stort antal af supraglaciale løb under gletscherens tilbagesmeltning. Nedbøjningen af laggrænserne i de tilstødende smeltevandssedimenter er givetvis sket i forbindelse med erosionen af kanalerne, idet tilsvarende nedbøjninger kan iagttages langs de recente erosionskanaler foran isranden.

Profilen på lokalitet 2 synes således at vise følgende hændelsesforløb: (1) Aflejring af smeltevandsserien og den ældre till. (2) Frontal deglaciation med dannelse af erosionskanaler dér, hvor supraglaciale løb fortsætter ud i gletscherforlandet. (3) Isfremstød med udfyldning af erosionskanalerne, deformation af disse, samt aflejring af den øvre till. Den beskrevne struktur opfattes dermed som et muligt tegn på isfrilægning af et område ved frontal deglaciation.

Forfatterne ønsker at takke Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd, der har støttet undersøgelserne i Island. Desuden takkes stud. scient'erne Eskild Lund, Lisbeth Pedersen og Henrik Højmark Thomsen, Geografisk Centralinstitut, for deres medvirken i feltundersøgelserne.

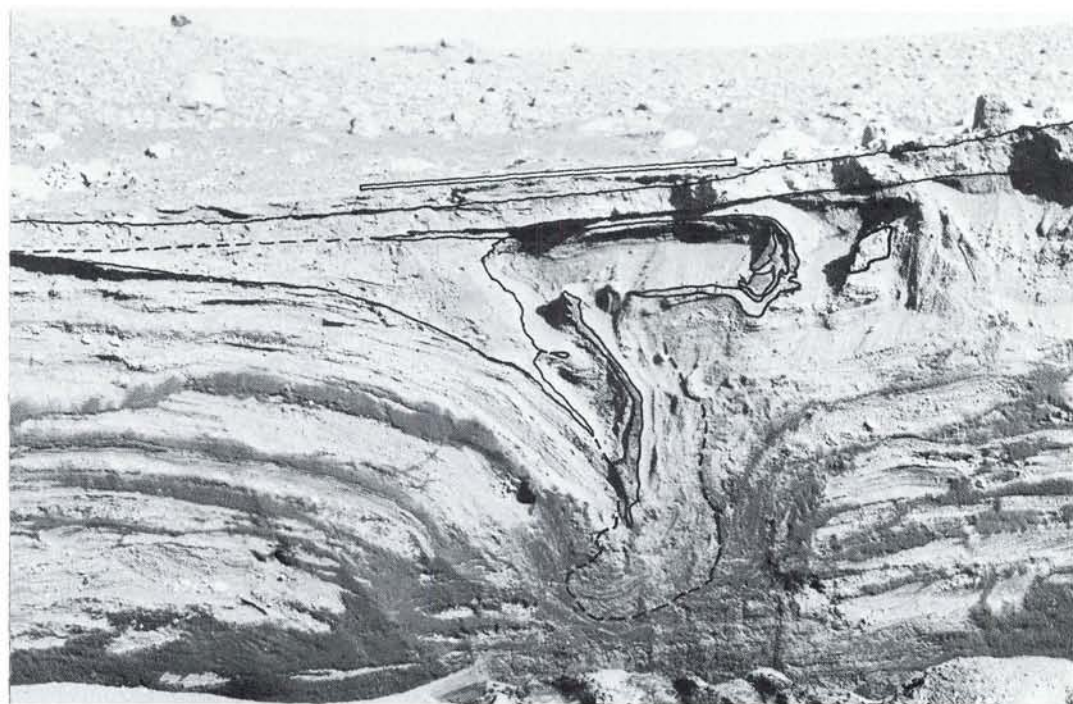


Fig. 8. Nærbillede af erosionsstrukturen fra fig. 6B. Målebåndet er 1 m langt.

Detail of the structure shown in figure 6B. The ruler is 1 m in length.

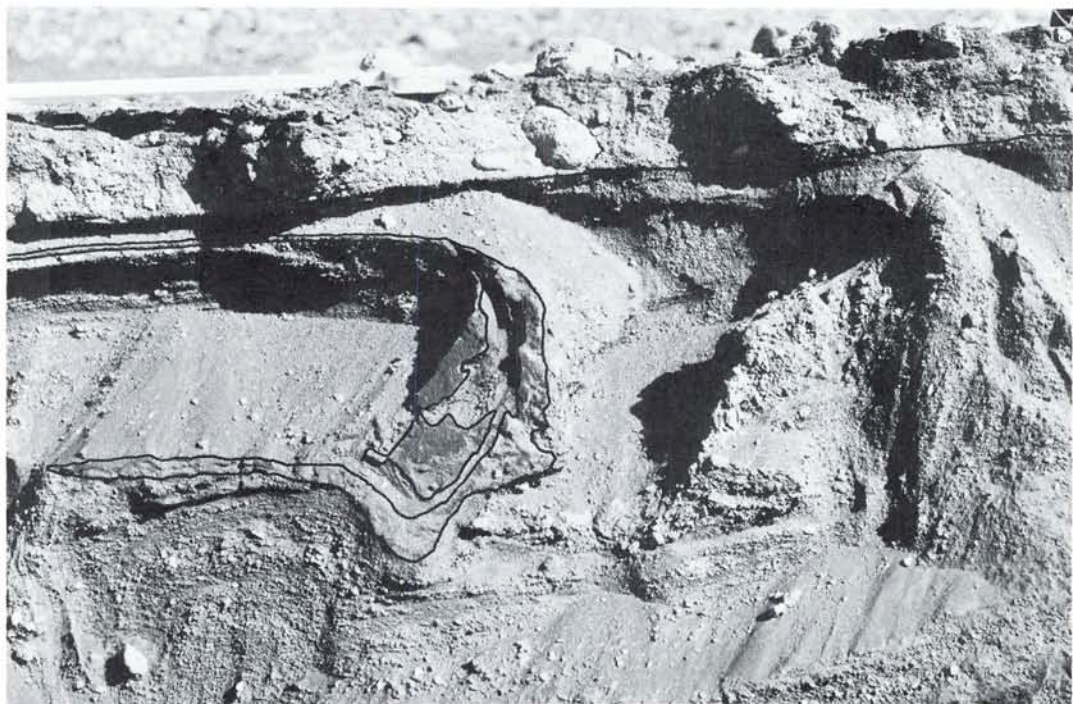


Fig. 9. Nærbillede af deformationer i smeltevandssedimenterne umiddelbart under den øvre till (Fig. 6B). Den synlige del af målebåndet er ca. 35 cm langt.

Detail of the deformations in the glaciofluvial sediments just below the upper till (Fig. 6B). The visible part of the ruler is apr. 35 cm in length.



## Litteratur

- Boulton, G. S. 1978: Boulder shapes and grain-size distributions of debris as indicators of transport paths through a glacier and till genesis. *Sedimentology*, 25: 6, 773-799.
- Dreimanis, A. 1969: Till wedges as indicators of direction of glacial movements. *Abstr. Programs, geol. Soc. Amer. Annual Meeting Atlantic City 1969*, 52-53.
- Humlum, O. 1978: A large till wedge in Denmark: implications for the subglacial thermal regime. *Bull. geol. Soc. Denmark*, 27: 1-2, 63-71.
- Humlum, O. 1979: »Fluted moraine« på Omø – isbevægelsesretning og aflejringsmåde. *Dansk geol. Foren., Arsskrift for 1978*, 15-22.
- Krüger, J. 1979: Structures and textures in till indicating subglacial deposition. *Boreas*, 8, 323-340.
- Krüger, J. (in prep.): Fabric in flow till and lodgement till in front of recent glaciers in Iceland.
- Krüger, J. og Humlum, O. (in press): The proglacial area of Mýrdalsjökull with special reference to Sléttjökull and Höfdabrekkujökull. General report on the Danish Geomorphological expedition to Iceland, 1977. *Folia Geographica Danica*, Tom. XV, No. 1, 64 p.
- Mörner, N.-A. 1972: The First Report on Till Wedges in Europe and Late Weichselian Ice Flows over Southern Sweden. *Geol. Fören. Stockholm Förhandl.*, 95, 581-587.
- Rist, S. 1967: The thickness of the ice cover of Mýrdalsjökull, Southern Iceland. *Jökull*, 17, 237-242.
- Rose, J. og Letzer, J. M. 1977: Superimposed drumlins. *Journ. Glaciol.*, 18: 80, 471-480.