

En drumlin-bakke ved Mýrdalsjökull, Island

JOHANNES KRÜGER



Krüger, J.: En drumlin-bakke ved Mýrdalsjökull, Island. *Dansk Geol. Foren., Årsskrift for 1982*, side 1–10, København, 6. juni 1983.

Geomorphology, internal structure and till fabric of a small drumlin belonging to a drumlin field exposed in front of the retreating glacier Mýrdalsjökull, Iceland, are described. The investigated drumlin clearly shows the shape of a typical drumling indicating the highest most point to be situated in the up-glacier end of the streamlined hill.

The core of the drumlin consists of a pre-existing small plateau of meltwater deposits with an incomplete cover of lower lodgement till. The materials contained in the core are only slightly eroded by the glacier. The core is mantled by younger lodgement till.

Seven till fabrics from the till mantle indicate a considerable between-site variability ranging up to 43°. The preferred clast orientation for samples taken along the crest of the drumlin only deviates 0–2° from the regional ice movement direction, whereas the deviation for samples located at the flanks and the stoss-side amounts up to 33°. However, five out of the seven fabrics show a characteristic pattern relative to shape of the drumlin.

It is concluded that a glacier forefield characterized by a maze of abandoned stream channels with intervening plateaus has favoured the initial drumlin formation. The present shape of the drumlin is due to subglacial lodgement processes.

Johannes Krüger, Laboratorium for Geomorfologi, Geografisk Centralinstitut v. Københavns Universitet, Haraldsgade 68, 2100 København Ø. 28. oktober 1982.

Drumlin-bakker er ofte beskrevet fra pleistocæne nedslingsområder i Nordamerika og Europa, hvor de optræder i sværme, der dækker store områder. De er altid knyttet til bundmorænelandskaber og beskrives som bakker, der er mere eller mindre langstrakte i isens bevægelsesretning og med et grundrids svarende til en oval eller halv lemniskat. Bakkernes størrelse kan variere fra område til område; typiske drumlin-bakker har en længde på 0,5–2 km, en bredde på 200–600 m og er 5–50 m høje med største højde og bredde i bakkens proximal ende, d.v.s. den ende af bakken, der vender mod isens bevægelsesretning. Drumlin-bakkers indre beskrives i almindelighed som bestående af glaciale sedimentter (till), men kan også indeholde en kerne af smeltevandsmateriale eller grundfjeld (Flint, 1971; Embleton og King, 1975).

I Danmark findes grupper af bakker, der morfologisk svarer til drumlin-bakker. Det er f.eks. tilfældet på Øst- og Nordøstfyn (Smed, 1962; Rasmussen, 1975), i Sydsjælland (Krüger, 1969), samt i området omkring Ringsted i Midsjælland og syd for Kolind-sund på Djursland.

I den glacialgeologiske litteratur er der bred enighed om, at drumlin-bakker er af subglacial

oprindelse og dannet under en aktiv gletscher, men hvilke processer, der egentlig betinger dannelsen, er der derimod delte meninger om. Nogle opfatter drumlin-bakker som et resultat af glacial erosion (Jewtuchowicz, 1956), andre betragter

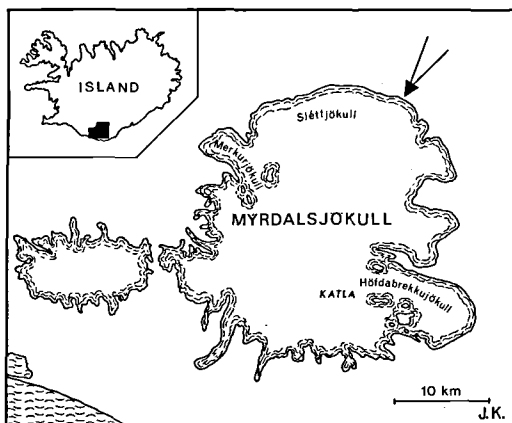


Fig. 1. Oversigtskort, hvor pilen viser placeringen af undersøgelsesområdet syd og sydvest for Mælifell. Misvisningen i dette område er i 1979 målt til 22°Ø.

Location map on which the arrow shows the research area south and southwest of Mælifell. In this area the magnetic variation was measured to be 22°E in 1979.

dem som et produkt af erosion og aflejring (Kupsch, 1955; Hill, 1971; De Jong et al., 1982), medens andre igen mener, at drumlin-bakker kan dannes alene ved glacial aflejring (Charlesworth, 1957). De mange teorier skyldes ikke blot, at drumlin-begrebet omfatter bakker af forskellig form, størrelse og indre opbygning (Flint, 1971; Glückert, 1973; Embleton og King, 1975; Rose og Letzer, 1977), men skyldes også, at der mangler detaljerede undersøgelser af tilsvarende bakker foran recente gletschere som grundlag for sammenlignende studier.

Langs nordranden af Mýrdalsjökull i Island findes et stort antal bakker, der morfologisk svarer til drumlin-bakker. En undersøgelse af disse bakkers morfogenese indgår derfor i det glacialmorfologiske-sedimentologiske forskningsprojekt ved Mýrdalsjökull (fig. 1). I 1977 blev der under dette projekt udført geomorfologisk kortlægning i skalaen 1:10.000 af området syd og sydøst for Mælifell herunder også en kortlægning af drumlin-bakkernes udbredelse i dette område (Krüger og Humlum, 1981). I 1979 blev et stort drumlin-felt sydvest for Mælifell kortlagt i skalaen 1:5.000, og

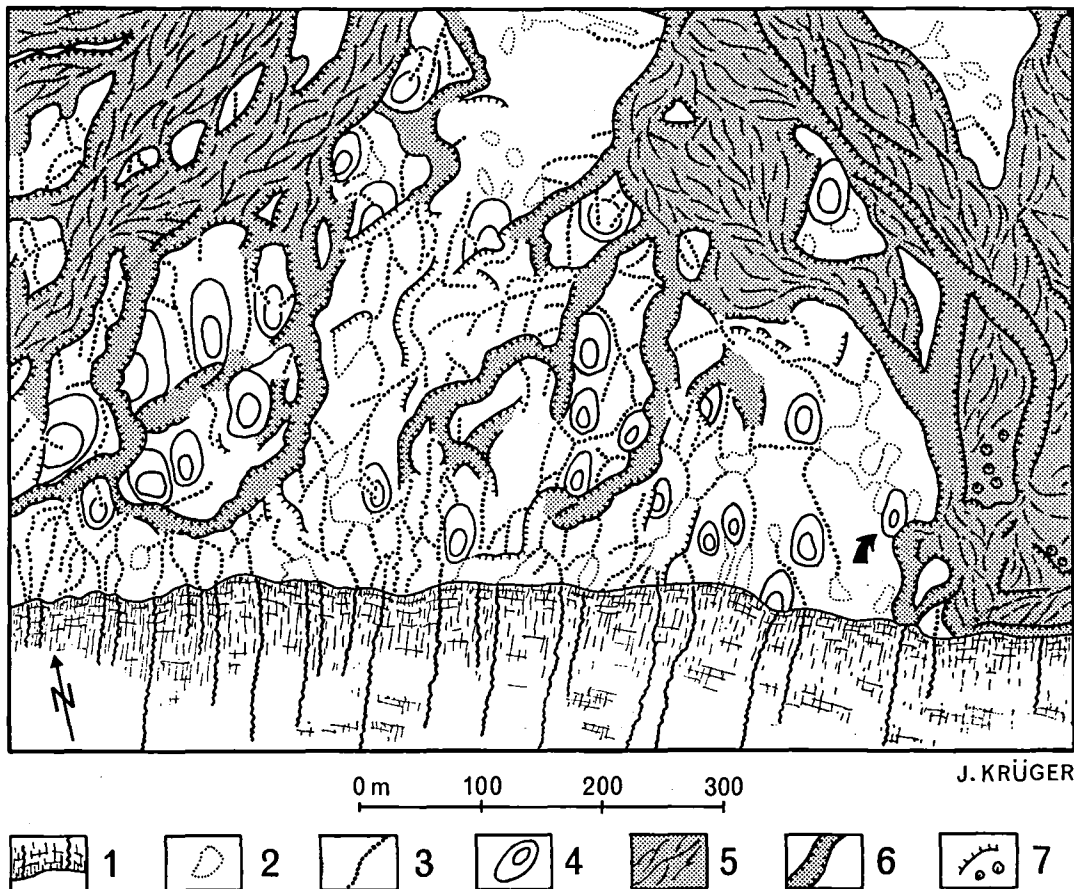


Fig. 2. Geomorfologisk kort over et udsnit af drumlin-feltet syd og sydvest for Mælifell. Området er smeltet fri af isen i perioden 1960–1979 (1) Gletscherfronten med angivelse af de største smeltevandsløb på isoverfladen. (2) Bundmoræne med lavning med smeltevands- og nedskylsedimenter. (3) Mindre smeltevandsrende dybt nedskåret i bundmorænen. (4) Drumlin-bakke. (5) Smeltevandsflade med spor efter flettede strømløb. (6) Bred smeltevandskanal. (7) Fremtrædende erosionskant samt dødshuller. Pilen i kortets sydøstlige del angiver den udvalgte drumlin-bakke. Kortlagt på basis af flyfoto fra 1979 samt feltobservationer i 1982. Retningsangivelsen er korrigeret for lokal misvisning.

Geomorphological map showing a part of the drumlin field south and southwest of Mælifell. This area was exposed by frontal retreat during the period 1960–1979. (1) The glacier margin with some of the supraglacial meltwater streams. (2) Ground moraine with meltwater and downwash basin. (3) Smaller meltwater channel cut in ground moraine. (4) Drumlin. (5) Outwash plain with braided river channels. (6) Large meltwater channel. (7) Erosion scarp and kettles. The arrow in the southeastern part of the map indicates the drumlin under discussion in the present paper. Mapped on basis of air photographs taken in 1979 as well as field observations in 1982. Correction for the magnetic variation.

samme år udførtes desuden morfologiske og stratigrafiske undersøgelser af udvalgte drumlin-bakker (Krüger og Humlum, 1980; Krüger og Thomsen, 1981; Thomsen, 1982). Disse undersøgelser videreførtes i 1982, således at der nu er detailundersøgt fem drumlin-bakker. Her skal redegøres for en enkelt af de undersøgte bakker.

Områdets geomorfologi

Den nordlige del af den tempererede iskappe Mýrdalsjökull, der undertiden benævnes Sléttjökull (Rist, 1967), har været under frontal tilbagesmelting siden begyndelsen af dette århundrede. Spor efter gletscherens maksimale udbredelse i historisk tid ses tydeligt i gletscherforlandet som et svagt buet randmorænesystem 1200–1500 m foran den nuværende isrand. Mellem randmorænen og gletscherfronten ligger et fladt til bølget bundmorænelandskab, der er frilagt i takt med Sléttjökulls frontale tilbagesmelting (Krüger og Humlum, 1981).

I området syd og sydvest for Mælifell er størstedelen af det frilagte bundmorænelandskab nær den nuværende gletscherfront stærkt drumliniseret (fig. 2). Det drejer sig om forholdsvis små bakker, der er langstrakte i isens bevægelsesretning. De enkelte bakker er 20–80 m lange, 15–40 m brede, og hæver sig kun 2–3 m over det omgivende terræn. For størstepartens vedkommende ligger højeste punkt i bakkens proximale ende.

Således har bakkerne nok den typiske drumlin-bakkes form, men er meget små sammenlignet med klassiske drumlins.

I takt med gletscherens frontale tilbagesmelting har smeltevand fra talrige supraglaciale løb skåret smalle, dybe kanaler i det foranliggende bundmorænelandskab (fig. 2). Som følge af deres specielle oprindelse forløber denne type af erosionskanaler ofte gennem terrænet uafhængigt af dets topografi, således at både bakker og lavninger gennemskæres (se figur 6 i Krüger og Thomsen, 1981). Det har derfor ikke været muligt at kortlægge samtlige drumlin-bakker i området, idet mange er så dissekerede af smeltevandet, at de ikke kan afgrænses og erkendes morfologisk som drumlin-bakker (se figur 3 i Krüger og Humlum, 1980). Som det fremgår af figur 2 domineres de brede smeltevandskanaler i bundmorænelandskabet derimod af to retninger nemlig VSV-ØNØ og SSV-NNØ. Dette dræningsmønster skyldes, dels terrænets generelle hældning mod nordøst, dels en karakteristisk »en échelon« beliggenhed for mange af drumlin-bakkernes vedkommende. Det sidste træder især frem i den vestlige del af det geomorfologiske kort.

På figur 2 ses endvidere den vestligste del af et komplekst system af smeltevandskegler, hvor den ene kegle er bygget uden på den foregående i takt med gletscherfrontens tilbagesmelting. Aflejringskeglerne, der er præget af grovklastisk ma-



Fig. 3. Den undersøgte drumlin-bakke foran Sléttjökull viser den for drumlin-bakker typiske form med højeste punkt beliggende i den aflange bakkens proximale ende. Isbevægelsen fra højre mod venstre. Bemærk bundmorænenes karakteristiske overflade med spredtliggende sten og blokke. Set mod øst-sydøst. Juli 1982.

The investigated drumlin beyond the margin of Sléttjökull clearly shows the shape of a typical drumlin indicating the highest most point to be situated in the up-glacier end of the small elongated hill. Glacier flow from right to left. Note the many scattered boulders on the ground moraine surface. View towards the east-southeast. July 1982.

teriale, består af terrasser med spor efter flettede strømløb og stedvis også dødishuller. Ydermere optræder ret dybe erosionsrender, der flere steder skærer sig ned i ældre glaciale og glaciofluviale sedimenter. Herved fremtræder den proximale del af smeltevandskomplekset som terrasser og tenformede erosionsrester med top lag af grovklastiske sedimenter, der ligger i forskellige niveauer og hælder svagt i nordlig retning.

Den undersøgte drumlin-bakke

Den valgte drumlin-bakke, hvis placering er vist på figur 2, ligger ca. 90–130 m foran den nuværende gletscherrand (1982). Af flyfotos fra 1960 og 1979 samt feltobservationer over Sléttjökulls årlig tilbagesmeltning i perioden 1977–1982 fremgår det, at den pågældende drumlin-bakke er smeltet fri af isen i begyndelsen af 1970'erne.

Denne bakke er valgt, fordi den stort set er uberørt af den extramarginale smeltevandserosion og ydermere fremtræder morfologisk som en typisk drumlin-bakke (fig. 3). Desuden kunne der forholdsvis let renses en profilvæg i en erosionsskrænt i bakkens sydøstlige ende med henblik på stratigrafiske undersøgelser.

I felten er der udført en detaljeret geomorfologisk kortlægning af den udvalgte bakke med en højdekurvækvidistance på 0,25 m (fig. 4). Bakken er 38 m lang, 22 m bred og hæver sig 1,5–2 m over det omgivende terræn. Dens grundrids må nærmest beskrives som pæreformet, hvor den stumpe ende vender mod isbevægelsen, medens den spidse ende peger i isbevægelsens retning. Største højde og bredde findes således i bakkens proximale ende, og bakkens længdeakse, der er orienteret NNØ, er strengt parallel med den seneste isbevægelse hen over bakken.

Drumlin-bakkens overflade har samme karakteristiske udseende og indhold af småformer som det øvrige bundmoræneterræn foran Sléttjökull. Således er terrænoverfladen stort set dækket af forholdsvis løstliggende sten, der er smeltet fri af isen i takt med den frontale tilbagesmeltning og menes at udgøre et residual fra den glaciale bundtransport (Humlum, 1981 a). Desuden findes der spredt ud over terrænet et stort antal sten og blokke, der er forankret i bakkens overflade og sandsynligvis aflejret subglacialt ved den såkaldte lodgement proces – en aflejningsmåde, der beskrives som en friktionsbetinget »partikel på partikel aflejring« i kontaktzonen gletschersål-

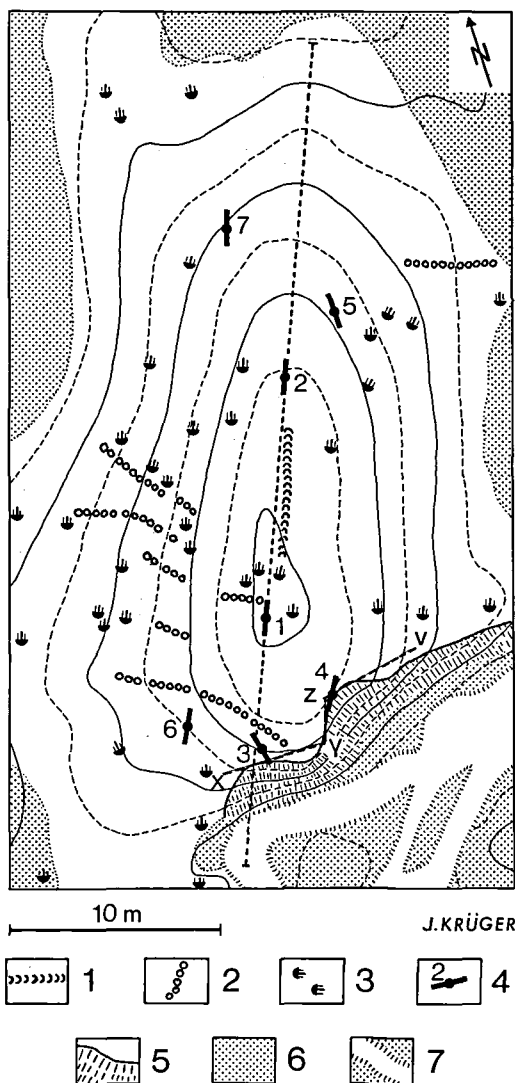


Fig. 4. Geomorfologisk kort over den undersøgte drumlin-bakke foran Sléttjökull (se figur 2). Højdekurvækvidstanden er 0,25 m. (1) Fluted moraine. (2) Annual moraine. (3) Clast (> 10 cm) with stoss-and-lee form. The lines indicate the lee side. (4) Till fabric showing preferred clast orientation. (5) Erosion scarp with scree. (6) Ground moraine affected by meltwater as well as glaciofluvial and downwash deposits. (7) Meltwater stream. Placeringen af profilerne i figur 5 og 6 er vist med tyk, stiplede linie. Isbevægelse fra syd-sydvest. Retningsangivelsen korrigeret for lokal misvisning.

Geomorphological map showing the investigated drumlin in front of Sléttjökull (see figure 2). Contour interval 0.25 m. (1) Fluted moraine. (2) Annual moraine. (3) Clast (> 10 cm) with stoss-and-lee form. The lines indicate the lee side. (4) Till fabric showing preferred clast orientation. (5) Erosion scarp with scree. (6) Ground moraine affected by meltwater as well as glaciofluvial and downwash deposits. (7) Meltwater stream. The locations of the sections shown in figures 5 and 6 are indicated by thick dot-and-dash lines. Glacier flow from south-southwest. Correction for the magnetic variation.

underlag (Holmes, 1941; Boulton, 1975; Krüger, 1978, Humlum, 1981 b). Talrige af disse blokke har ydermere en udviklet stød-læ-side form med konsistent orientering af stødsiden i forhold til isbevægelsesretningen (fig. 4), hvilket netop er karakteristisk for bund till aflejret under en aktiv gletscher (Boulton, 1978; Krüger, 1979).

Af småformer skal nævnes en fluted moraine ryg, der er 6 m lang og beliggende nær bakkens top. Den er ligeledes dannet subglacialt og angiver den generelle isbevægelse hen over bakken (Humlum, 1979; Krüger og Thomsen, 1981). Mere eller mindre vinkelret på bakkens længdeakse ses et antal ganske lave morænerygge eller stenkoncentrationer, der antages at være dannet langs den generelt vigende gletscherfront, når denne om vinteren er rykket nogle få meter frem. På steder, hvor terrænet hælder ind mod gletscheren, dannes der ofte flere sådanne smårygge samme vinter (Krüger in prep.).

Det kan derfor konkluderes, at bakken med sin karakteristiske form og orientering må opfattes som en drumlin-bakke, og at dette ydermere underbygges af de mange subglaciale aflejningsstrukturer, der kendetegner bakkens overflade.

Bakkens stratigrafi

Den stratigrafiske opbygning af drumlin-bakken fremgår af et 12 m langt profil i bakkens sydende (fig. 5) samt af tre skaktudgravninger langs bakkens længdeakse (fig. 6). Profilet knækker to steder, således at stykkerne X-Y og Z-V tilsammen danner et tværsnit i bakken, medens det mellem-liggende profilstykke Y-Z udgør et længdesnit.

Lagererien kan inddeles i to genetiske hovedtyper af sedimenter nemlig en nedre del bestående af glaciofluviale aflejringer og en øvre del bestående af glaciæle sedimenter. Desuden er der indslag af solifluktsmateriale.

En faciesanalyse viser, at den nedre del af profilet består af tre sedimentære facies (fig. 5): (1) En sandfacies bestående af småribbet finsand, der flere steder fremtræder med klatrende ribber. Mægtigheden af denne facies udgør mere end 40 cm, idet undergrænsen ikke kendes. Småskråløjring og indslag af suspensionsaflejring viser, at sedimentationen er foregået i nedre strømområde ved ret lave, men vekslende strømhastigheder. Strømrretningen har været mod Ø til NØ. Denne sedimentære enhed er gennemsat af en spalteudfyldning bestående af solifluktsmateriale. (2)

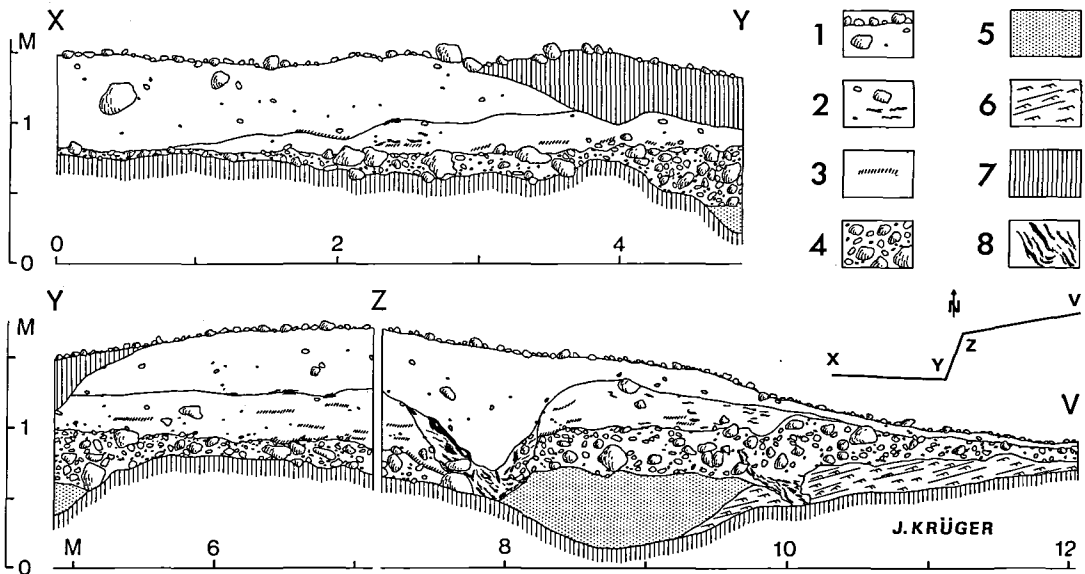


Fig. 5. Profil i sydenden af drumlin-bakken vist i figur 4. (1) Øvre bund till med top lag af sten. (2) Nedre bund till med slirer og linser af sand og grus. (3) Humusholdig horisont eller slire. (4) Klastunderstøttet smeltevandsgrus. (5) Strukturløst grovsand. (6) Småribbet finsand. (7) Skred. (8) Solifluktsmateriale. Retningsangivelsen er korrigeret for lokal misvisning.

Cliff section in the southern end of the drumlin shown in figure 4. (1) Upper lodgement till mantled by a pavement of stones. (2) Lower lodgement till with schlieren and lenses of sand or gravel. (3) Humus layer or smudge. (4) Meltwater gravel. (5) Coarse-grained meltwater sand. (6) Fine-grained sand showing small scale current ripples. (7) Scree. (8) Solifluction deposits. Correction for the magnetic variation.

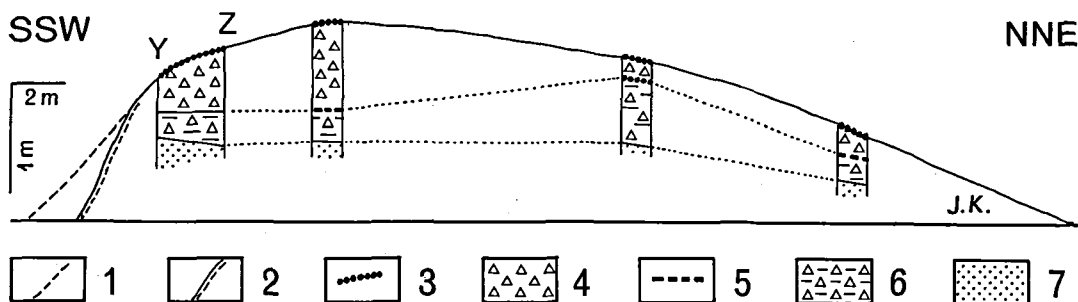


Fig. 6. Længdeprofil af drumlin-bakken med angivelse af profilvæggen Y-Z (se figur 5) samt tre skaktudgravninger. (1) Stødsidens oprindelige overflade. (2) Overfladen af skred. (3) Brolægning af sten. (4) Øvre bund till. (5) Sandlag. (6) Nedre bund till. (7) Klastunderstøttet smeltevandsgrus. Isbevægelse fra venstre mod højre. Retningsangivelsen er korrigeret for lokal misvisning.

Longitudinal section of the drumlin indicating the cliff section Y-Z (see figure 5) as well as three pits. (1) Former stoss-side surface. (2) Surface of scree. (3) Pavement of stones. (4) Upper lodgement till. (5) Layer of sand. (6) Lower lodgement till. (7) Meltwater gravel with stones and boulders. Glacier flow from left to right. Correction for the magnetic variation.

En sandfacies bestående af strukturløst grovsand med en mægtighed på mere end 50 cm. Grænsen mod finsandet er erosiv og delvis trugformet. Denne facies tolkes som en kanaludfyldning med strømretning mod NNV. Spalteudfyldningen i finsandet viser, at kanalens ene side er skredet sammen. (3) En grusfacies, der overlejrer de to sandfacies og består af homogent til dårlig lagdelt grus, som er klastunderstøttet. Sorteringsgraden er dårlig. Den maximale kornstørrelse er 15–30 cm, og sten og blokke er velafrundede til butkantede. Denne facies kan med en enkelt afbrydelse følges gennem hele det 12 m lange profil og udgør endvidere bundmaterialet i skaktudgravningerne (fig. 6). Mægtigheden er 25–30 cm; ud mod bakkens østlige flanke aftager den dog til 10 cm. I den østlige del af profilet, hvor undergrænsen er synlig, fremtræder den erosiv. Begrænsningen mod den overliggende formation er ligeledes veldefineret og hælder svagt i nordlig retning. Denne facies tolkes som aflejret af en meget kraftig, nordgående strøm i den proximale del af en aflejringskegle.

Det er karakteristisk, at de glaciofluviale sedimenter i profilet bliver grovere opad, svarende til et stigende energiniveau. Dette tolkes almindeligvis som et resultat af en smeltevandsstrøm fra en avancerende gletscher. Imidlertid findes der en humusholdig horisont i sænkninger i overfladen af det grovklastiske sediment (fig. 5). Den repræsenterer sandsynligvis en ældre terrænoverflade svarende til at smeltevandsseriens overflade har været eksponeret gennem længere tid. Det stigende energiniveau i smeltevandsstrømmen

synes derfor i dette tilfælde at være knyttet til en vigende gletscherfront. At dette kan være tilfældet, er iagttaget ved den recente isrand, hvor der flere steder er vandfyldte bassiner (se figur 6 i Krüger og Humlum, 1981). En forholdsvis langsom vandgennemstrømning i disse bassiner – ofte langs isfronten – betinger, at bundsedimentet er finsand med ribbestruktur. De stadige ændringer i dræneringsforholdene resulterer undertiden i en tørlægning af et søbassin. Derefter gennemskæres sedimentfladen af en eller flere smeltevandskanaler svarende til kanaludfyldningen i profilvæggen i figur 5. Ydermere er det karakteristisk, at den sedimentære facies ændres radikalt hen langs isranden. I kort afstand fra et sedimentationsbassin kan der findes en gletscherport, hvor en meget kraftig vandstrøm aflejrer sten og blokke i en fane foran gletscheren. I takt med gletscherfrontens tilbagerykning vil fanen udbygges lateralt med det resultat, at den grovklastiske facies vandrer ud over de finkornede bassinsedimenter og danner en beskyttende kappe. Det er tidligere nævnt, hvorledes smeltevand kan skære sig ned gennem grovklastisk materiale og lade den proximale del af en kegle stå tilbage i form af terrasser og tenformede erosionsrester med top-lag af grovklastiske smeltevandssedimenter. Det er tilsyneladende en tilsvarende erosionsrest, der har været udgangspunkt for dannelsen af drumlin-bakken.

Den øvre del af profilet består af to till-enheder nemlig en nedre grågul till med mange slirer af sand og grus, samt en øvre mørkegrå till, der er homogen og kompakt, og som fremtræder blank på friske snitflader.

Den nedre till, der kun optræder i den centrale del af profilet, har en maximal mægtighed på 40 cm; dog er den 54 cm i en af skaktudgravningerne på bakkens læside. Foruden sand- og grusslirer findes slirer, der i udseende svarer til den førnævnte humushorizont. De mange slirer antages derfor at stamme fra den underliggende formation. I kontakten mellem den nedre till og smeltevandsserien er flere af blokkene i toppen af den sedimentære grusenhed entydigt isskurede mod nord på oversiden. I profilvæggen Y-Z (fig. 5) ses endvidere en retvendt sten med udviklet stød-læside form og med skurestriberetningen 13–193 på oversiden. I felten kunne der ved stenens læside – d.v.s. nord for stenen – spores en svagt udviklet foliation i till'en tilsyneladende svarende til en cavitetsudfyldning i lighed med den, der er beskrevet fra Spitsbergen af Boulton (1971, s. 63). Den nedre till tolkes som en bund till aflejret af en is med bevægelse i nordlig retning (Krüger, 1979).

I profilvæggen Z-V (fig. 5) ses endvidere, at den nedre till samt den underliggende smeltevandsformation gennemskæres af en 1 m bred og 0,8 m dyb kanal, der har retningen SSØ-NNV. I kanalen er der aflejret solifluktionsmateriale med en mægtighed på 10–30 cm. Kanalen menes at være dannet i forbindelse med frontal deglaciation efter aflejringen af den nedre till, idet et supraglaciale strømløb er fortsat ud i det fremsmeltende gletscherforland og har skåret sig ned i den nedre tills bundmoræne på tilsvarende måde som det sker overalt langs den vigende gletscherrand i dag. Lignende kanaler dannes kun i et begrænset antal foran en avancerende gletscher. Det skyldes, dels at en avancerende gletscher ofte er rig på spalter og derfor tilsvarende fattig på supraglaciale smeltevandsløb, dels at den randmoræneryg, der vil dannes foran gletscheren, kun gennembyrdes få steder af smeltevandet. Dette kendes f.eks. fra den avancerende gletscher Sólheimajökull, der er en sydlig udløbsgletscher fra Mýrdalsjökull.

I profilet er kontakten mellem den nedre og øvre till skarp. I skaktudgravningerne (fig. 6) dannes overgangen derimod af en sandhorizont eller et stenlag. Det sidste tolkes som et residual fra den glacielle bundtransport og derfor frilagt i forbindelse med en frontal deglaciation efter aflejringen af den nedre till. Da overgrænsen for den nedre till imidlertid antages at være erosiv i bak-

kens proximale ende, er det derfor vanskeligt at få et fuldstændigt indtryk af den nedre tills oprindelige overfladeform.

Bakkens nuværende form er udelukkende knyttet til den øvre till, der overalt danner terrænoverfladen og udfylder samtlige ujævnheder i den tidligere terrænoverflade, f.eks. den dybe erosionskanal. På bakkens top har den øvre till en mægtighed på 75 cm, på stødsiden er mægtigheden 40–50 cm, medens den på bakkens læside og flanker aftager til 10–20 cm. Det fremgår af figur 6, at bakkens karakteristiske længdeprofil, der er kendetegnende for typiske drumlin-bakker, udelukkende skyldes aflejringen af den øvre till.

I profilvæggen X-Y på figur 5 sidder der i den øvre till to blokke med veludviklet stød-læside form. Blokkene er 21 og 34 cm lange og vender begge stødsiden mod syd-sydvest. På blokkenes overside er målt en skurestriberetning NNØ-SSV i overensstemmelse med bakkens orientering og de glacielle retningselementer på bakkens overflade. Den øvre till tolkes som en bund till aflejret af en is med bevægelse i nord-nordøstlig retning.

Sammenfattende består drumlin-bakken således af en kappe af subglacielle sedimenter (øvre bund till) og en uforstyrret kerne af ældre subglacielle aflejringer (nedre bund till) samt extramarginale smeltevandsmaterialer.

Till fabric

På drumlin-bakken er der udført 7 fabric analyser 10–15 cm under terrænoverfladen i den øvre till. Analyserne er udført, dels langs en linie centralt hen over bakken, dels langs bakkens flanker (fig. 4). I hver analyse indgår 25 blad- og stavformede partikler med en længde på 0,6–5 cm. På stavformede partikler er målt længste aksens (a-aksens) kompasretning og dyk. På bladformede partikler er desuden målt den intermediære aksens (b-aksens) dyk.

Resultaterne af de 7 analyser fremgår af stereogrammerne i figur 7. Angående valg af afbildnings- og kontureringsmetode henvises til Krüger og Thomsen (1981, s. 23). Samtlige analyser viser en longitudinal a-akse orientering, der er statistisk signifikant. I hvert stereogram er den fremherskende orientering angivet som en symmetriakse gennem det prikkede felt i det konturerede Wulff-net. Betragtes variationen fabric analyserne imellem, fremgår det, at den dominerende a-akse orientering kan variere op til næsten 45° inden for

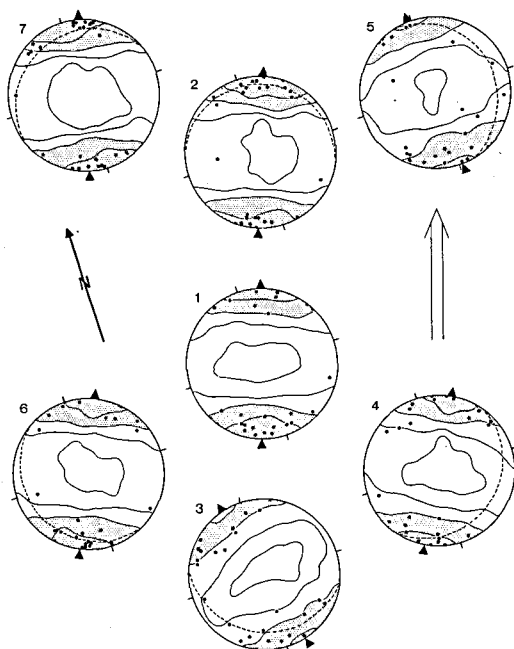


Fig. 7. Till fabric analyser fra øvre bund till i drumlin-bakken. Tallene 1–7 henviser til analysernes placering på drumlin-bakken i figur 4. Stereogrammerne (Wulff-net, nedre halvkugle) viser plot af blad- og stavformede partiklers a-akse og er kontureret med en ækvidistance på tre gange standardafvigelsen fra en tilfældig fordeling. Den prikkede signatur viser, at den tilsyneladende fremherskende orientering er statistisk signifikant. Den sorte pil i stereogrammerne angiver den fremherskende a-akse orientering. Den stiplede linie viser den hældende terrænoverflade. Den åbne pil angiver den generelle isbevægelsesretning hen over bakken. Alle retningsangivelser er korrigeret for lokal misvisning.

Till fabric analyses from the upper lodgement till in the drumlin presented as point and contour diagrams (the lower hemisphere of the Wulff net). The contour intervals are three times the standard deviation from a random distribution. The dotted area visualizes the statistical significance of the apparent orientation peak. The black arrow in the diagrams shows the preferred a-axis orientation of blade- or rod-shaped clasts. The dot-and-dash line indicates the sloping terrain surface. The open arrow indicates the ice flow direction. Correction for the magnetic variation. Numbers 1–7 correspond to the sample sites shown in figure 4.

en afstand af 25 m. Denne variation, der langt overstiger variationen i fabric på moræneflade (Krüger og Thomsen, 1981), synes i nogen grad at være knyttet til bakkens form, idet analyserne centralt på bakken (analyse nr. 1 og 2) viser en fremherskende a-akse orientering, der kun afviger 0–2° fra den generelle isbevægelse hen over bakken, hvorimod afvigelsen på flankerne tilsvarende er 4–21°. Størst er afvigelsen på bakkens stødside (analyse nr. 3) med 33°. Bortset fra

analyse nr. 6 og 7 viser bakkens flanker et fabric mønster, hvor fremherskende partikelorientering stort set følger højdekurvernes orientering. Det er tænkeligt, at analyse nr. 6 er påvirket af den lokale isbevægelse under dannelsen af den foranliggende vintermoræne.

Der er tidligere påvist en systematisk variation i till fabric langs en drumlin-bakkes flanker (Krüger og Thomsen, 1981; Thomsen, 1982). I takt med aflejringen af den øvre bund till, der har resulteret i bakkens dannelse, er der tilsyneladende sket en gradvis påvirkning af det lokale isbevægelsesmønster omkring bakken, således at isen omkring bakkens stødside er presset ud langs flankerne af bakken og derefter søgt ind omkring læsiden.

I figur 7 er a-aksernes dyk angivet i forhold til et horisontalt plan. Da den subglaciale aflejring af till imidlertid er foregået på en hvælvet flade med forskellig hældning og hældningsretning, må af-

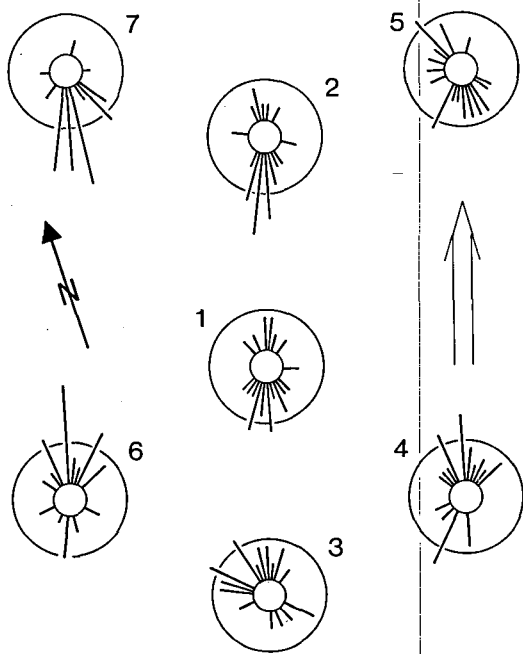


Fig. 8. Samme till fabric analyser som afbildet i figur 7, men her vist som rosedigrammer med den lokale terrænoverflade som referenceplan for hældningsmåling af partiklernes a-akse. Cirklen angiver 10 procent af målte partikler. Retningsangivelser er korrigeret for lokal misvisning.

The same till fabric analyses as shown in figure 7, but now presented as rose diagrams with the local terrain as a reference surface for measurement of a-axis dip. Circle represents 10 percent of clasts. Correction for the magnetic variation.

lejningsfladen genetisk set være det rimeligste plan at relatere partikelaksernes dyk til. I rose-diagrammerne i figur 8 er a-aksernes dykretning angivet i forhold til terrænoverfladen, der skønnes at svare til den subglaciale aflejningsflade. Som det fremgår af figuren, kan der ikke påvises en entydig partikel-imbrikation; centralt på bakken og i bakkens distale ende er den fremherskende partikelhældning mod isbevægelsen, medens partiklernes a-akse fortrinsvis dykker i isbevægelsens retning omkring bakkens stødside.

Bakkens dannelse

Den stratigrafiske undersøgelse viser, at dannelsen af den pågældende drumlin-bakke er knyttet til et tidligere geomorfologisk element nemlig en glaciofluvial erosionsrest i den proximale del af en smeltevandskegle. Sléttjökull er gledet frem over denne terrænform i nordlig retning og aflejret den nedre till ovenpå et grovklastisk smeltevands sediment. Under dette fremstød har den maximale ismægtighed på stedet næppe udgjort mere end 75 m, idet den nedre till synes at kunne følges stratigrafisk frem til en senere isoverskredet push-randmoræne beliggende ca. 600 m nord for drumlin-bakken. En efterfølgende frontal deglaciation har frilagt en embryonal morænebakke, der næppe har raget mere end 1 m op over det omgivende terræn. Endvidere har den daværende bakke været gennemskåret i nord-nordvestlig retning af en smeltevandsrende. Mod slutningen af forrige århundrede trængte gletscheren atter frem, denne gang i en mere nord-nordøstlig retning, og nåede sin maximale udbredelse i historisk tid. Isfronten lå da ca. 1400 m nord-nordøst for drumlin-bakken, og ismægtigheden over bakken udgjorde derfor ca. 150 m. I indledningsfasen har isen tilsyneladende eroderet ubetydeligt i den lille bakke. Dernæst er den øvre bund till aflejret ved den såkaldte lodgement proces. Aflejringen har i første omgang medført en udfyldning af ujævnheder i den embryonale drumlin-bakke. Siden har sammenspillet mellem subglacial aflejring og den fremvoksende bakkens effekt på isbevægelsen omkring bakken betinget drumlin-bakkens nuværende form. Drumlin-bakken er således i første række et resultat af subglacial aflejring omkring en eksisterende kerne. Bakkens beskedne størrelse skyldes givetvis en ringe tilførsel af materiale

samt den begrænsede tid – måske 100 år – bakken har været isdækket.

Afsluttende bemærkninger

Fra nordranden af Mýrdalsjökull er der nu beskrevet to hovedtyper af drumlin-bakker, der begge er knyttet til et tidligere eksisterende glacialt eller glaciofluvialt terrænelement:

(1) Drumlins knyttet til isoverskredne randmoræner og derfor indeholder en kerne af dislocerede glaciale og glaciofluviale sedimenter (Krüger og Humlum, 1980). Denne type drumlin-bakker ligger derfor oftest rækkeordnede (Krüger og Humlum, 1981; Thomsen, 1982).

(2) Drumlins knyttet til erosionsrester i smeltevandsformationen og derfor indeholder en kerne af uforstyrrede smeltevands sedimenter. Denne type, der kan have et till-dække bestående af en eller to enheder, har ofte en »en échelon« beliggenhed betinget af et extramarginalt dræningsmønster (Krüger og Thomsen, 1981; Thomsen, 1982).

En sammenfattende artikel om drumlin-bakkers udbredelse og morfogenese ved nordranden af Mýrdalsjökull er under forberedelse (Krüger og Thomsen, in prep.).

Tak

Forfatteren ønsker at takke Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd og Carlsbergfondet, der har støttet undersøgelseerne i Island. Desuden takkes lic. scient. Ole Humlum samt stud. scient.erne Anette Engraf og Gerald Hyde, Geografisk Centralinstitut, for inspirerende diskussioner og medvirken i feltundersøgelseerne. Reynir Ragnarsson, Politiet i Vík Mýrdal, takkes for sikkerhedsinspektion og flyassistance i undersøgelsesområdet. Endelig takkes Islands Forskningsråd for tilladelse til at arbejde i området.

Litteratur

- Boulton, G. S. 1971: Till genesis and fabric in Svalbard, Spitsbergen. I: Goldthwait, R. P. (ed.) *Till, a symposium*. Ohio State Univ. Press, 41–72.
- Boulton, G. S. 1975: Processes and patterns of subglacial sedimentation: a theoretical approach. I: *Ice Ages: Ancient and Modern*, eds. A. E. Wright and F. Moseley, Seel House Press, Liverpool, 7–42.
- 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, 773–799.

- Charlesworth, J. K. 1957: *The Quaternary Era*. London. 1700 pp.
- De Jong, M. G. G., Rappol, M. og Rupke, J. 1982: Sedimentology and geomorphology of drumlins in western Allgäu, South Germany. *Boreas*, 11, 37–45.
- Embleton, C. og King, C. A. M. 1975: *Glacial Geomorphology*. Edw. Arnold (ed.). 573 pp.
- Flint, R. F. 1971: *Glacial and Quaternary Geology*. New York 892 pp.
- Glückert, G. 1973: Two large drumlin fields in central Finland. *Fennia*, 120, 37 pp.
- Hill, A. 1971: The internal composition and structure of drumlins in North Down and South Antrim, Northern Ireland. *Geogr. Annlr.* 53 A, 14–31.
- Holmes, C. D. 1941: Till fabric. *Bull. Geol. Soc. Am.* 52, 1299–1354.
- Humlum, O. 1979: Fluted moraine på Omø – isbevægelsesretning og aflejningsmåde. *Dansk geol. Foren., Arsskrift for 1978*, 15–22.
- Humlum, O. 1981 a: Observations on debris in the basal transport zone of Mýrdalsjökull, Iceland. *Annals of Glaciol.* 2, 71–77.
- Humlum, O. 1981 b: Brolægninger i tills: Iagttagelser fra Mýrdalsjökull, Island. *Dansk geol. Foren., Arsskrift for 1980*, 7–17.
- Jewtuhowicz, S. 1956: Structure des drumlins aux environs de Zbojno. *Acta geogr. Univ. Lodz.* 7, 1–74.
- Krüger, J. 1969: Landskabsformer i sydlige Sjælland. Studier over glacielandskabets morfologi, opbygning og dannelse. *Geogr. Tidsskr.*, 68, 105–212.
- Krüger, J. 1978: Bestemmelse af isens bevægelsesretning i et bundmorænelandskab. *Geografisk Orientering* 8, 318–322.
- Krüger, J. 1979: Structures and textures in till indicating subglacial deposition. *Boreas*, 8, 323–340.
- Krüger, J. (in prep.): A case study on frontal glacier retreat and the formation of annual moraines at the northern margin of Mýrdalsjökull, Iceland.
- Krüger, J. og Humlum, O. 1980: Deformations- og erosionsstrukturer i bundmorænelandskabet ved Mýrdalsjökull, Island. *Dansk geol. Foren., Arsskrift for 1979*, 31–39.
- Krüger, J. og Humlum, O. 1981: The proglacial area of Mýrdalsjökull with particular reference to Sléttjökull and Höfdabrekkujökull. General report on the Danish Geomorphological Expedition to Iceland, 1977. *Folia Geographica Danica*, Tom. XV, 1, 58 pp.
- Krüger, J. og Thomsen, H. H. 1981: Till fabric i et recent bundmorænelandskab, Island. *Dansk geol. Foren., Arsskrift for 1980*, 19–28.
- Krüger, J. og Thomsen, H. H. (in prep.): Morphology, stratigraphy, and genesis of small drumlins in front of Mýrdalsjökull, Iceland.
- Kupsch, W. O. 1955: Drumlins with jointed boulders near Dollard, Saskatchewan. *Bull. Geol. Soc. Am.* 66, 327–338.
- Rasmussen, L. Aa. 1975: Kineto-stratigraphic glacial drift units on Hindsholm, Denmark, *Boreas* 4, 209–217.
- 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, 471–480.
- Smed, P. 1962: Studier over den fynske øgruppes glaciale landskabsformer. *Meddr. dansk geol. Foren.*, 15, 1–74.
- Thomsen, H. H. 1982: *Geomorfologisk analyse af drumlinbakker ved Sléttjökull, Island, samt ved Varangerfjorden, Nordnorge*. 183 pp. Besvarelse af Københavns Universitets prisopgave 1980.