

Strukturer dannet ved jordflydning, udglidning og issø-tapning i kvartære smeltevandsaflejringer

af

H. WIENBERG RASMUSSEN

Abstract

Structures formed by solifluction, slumping and draining in quaternary melt-water deposits.

The cover of unsorted sediments resembling moraine which is found in many eskers and ice-pressed kames is interpreted as a result of solifluction from the surrounding ice. The occurrence of a superficial cover continued as pockets downwards into sediments from ice-dammed lakes and eskers is explained as a result of the final draining and the formation of pits around small icebergs left on the dry bottom. Irregular and folded structures in restricted layers of sedimentary series from ice-dammed lakes and eskers are formed by slumping during the sedimentation by a bottom slope of 4–8° and a resistance formed where the slope diminishes. Several of the structures show a resemblance to structures previously explained by processes in the active horizon above permafrost.

I lagserier af smeltevandsler og smeltevandssand aflejret i issøer samt i lag af smeltevandssand afsat i åse kan optræde lag, som afviger ved enten at mangle lagdeling eller ved at have stærkt uregelmæssige lagstillinger. Disse strukturer er af betydning for tolkningen af smeltevandsaflejringerne opståen. Nogle af strukturerne har været sammenlignet med moræne, flydejord og arktiske jordbundsstrukturer dannet i det aktive lag over permanent frosset jord. De har givet anledning til diskussion om mulighederne for, at sådanne froststrukturer har kunnet opstå i sammenhængende sedimentserier, som er aflejret under et vanddække af adskillige meters dybde. I de her undersøgte tilfælde synes disse strukturer at være fremkaldt ved jordflydning, udglidning og issø-tapning.

Flydejord i issøaflejringer

Lag af usortet materiale med et udseende som moræne, men beliggende i en uforstyrret lagserie af issøsedimenter er forklaret af dr. SIGURD HANSEN (1940 s. 82) som morænemateriale, der ved forårstid er gledet fra dødisens overflade ud over issøens tilfrosne overflade og siden er sunket til bunds når vinterisen på søen begyndte at smelte og belastningen blev

for stor. Disse lag af moræne, der er transporteret som flydejord, svarer i udseende til andet moræneler med en usorteret blanding af ler, sand og sten. De kan variere i tykkelse fra få centimeter til flere meter, ofte med størst mægtighed nær issøens bred. I plateaubakken Høveltsvang syd for Lillerød kunne således tidligere iagttages tre lag af moræne-lignende flydejord. De to nederste lag var kun få centimeter tykke, mens det øverste var omkring halvanden meter mægtigt. Under, mellem og over disse lag lå regelmæssigt vekslende, uforstyrrede lag af smeltevandssler og smeltevandssand uden tydeligt markerede årsvarv. Lignende lag af udviklede moræneler findes i issøaflejringen ved Knabstrup Teglværk, og en forekomst i en uforstyrret serie af smeltevandssgrus i Humlebjerg syd for Haraldsted Sø er tidligere beskrevet (S. A. ANDERSEN 1931 s. 85).

Flydejord i åse

I profiler gennem åse har man ikke hidtil fundet lag, som er tolket som flydejord. Moræneler forekommer i enkelte åse, kamåse, som en lodret stående midterkam, der formentlig repræsenterer moræneudfyldning af en spalte i isen, som senere er udvidet og har givet plads for åsens dannelse. Desuden er de fleste åse i en del af deres forløb dækket af et tyndt lag af moræneler, oftest med en mægtighed fra $\frac{1}{2}$ til $1\frac{1}{2}$ m. Horizontale lag af moræneler synes ikke at forekomme i åsenes indre bygning.

Det antages almindeligvis, at de danske åse er afsat i opstemmet vand i udvidede gletschertunneler nær isens rand. Den pletvise forekomst af et tyndt morænedække over åsene tages som vidnesbyrd om, at gletscherisen har dannet et ubrudt tag over tunnelen. Efter åsens dannelse er taget sunket sammen og har ved bortsmeltningen efterladt sit indhold af morænemateriale oven på åsen. I de tilfælde, hvor åsens dannelse er sket i overensstemmelse med denne fremstilling, kommer flydejord ikke i betragtning som en bestanddel af åsens lagserie.

Nogle kvartærgeologer har dog fremhævet den mulighed, at åse også kan være aflejret under en fri vandoverflade uden noget gletschertag, enten i en bred spalte eller en tidligere tunnel, som ved smeltningen er omdannet til en åben revne (S. A. ANDERSEN 1931, E. M. TODTMANN 1952 s. 404, A. ROSENKRANTZ & H. W. RASMUSSEN 1962 s. 21). S. A. ANDERSEN angiver, at de åse, som har et dække af moræneler, må være dannet under et tag af gletscheris eller dødis, mens de såkaldte planåse er aflejret i brede, åbne revner, hvor åsens plane overflade nåede op til overfladen af det opstemmede vand. (1931 s. 35, 43). I overensstemmelse hermed angives et morænedække at mangle over planåsene. Også kamåsenes dannelse i spalter i dødis må antagelig være foregået under en fri vandflade.

En gennemgang af de danske åse viser imidlertid, at også i kamåse og planåse kan et dække af moræneler forekomme. Som eksempler på kamåse med et dække af moræneler kan anføres Haraldsted Ås og Mulstrup Ås på Sjælland. Som eksempel på en planås med dække af moræneler kan anføres Strø Bjerger i Nordøstsjælland (NØRVANG 1936). På forskellige

steder i Strø Bjerge er tidligere iagttaget en serie af mindst 16 årsvarv. For tiden kan denne lagserie iagttages i graven ved Bredspjeld Gård. Under et dække af 1 m moræneler ses her 4–5 m finsand og derunder en serie af ler og finsand, som danner 22 markante årsvarv med en samlet mægtighed på 120 cm. Derunder følger yderligere ca. 8 m smeltevandsgrus. Både planåsens form og varvseriens ensartede udvikling i åsen er vanskelig at forene med teorien om en subglacial dannelse. Issøernes flydejord viser os imidlertid, at et dække af moræne-lignende materiale ikke er noget sikkert bevis for, at de morænedækkede lag er dannet under et tag af gletscheris eller dødís. Dette må også gælde for åsenes vedkommende. Man må antage, at den vedvarende, kraftige vandtransport gennem gletschertunnelerne har fremmet afsmeltningen i tunnelernes vægge så meget, at tunnelerne i isens randområde er omdannet til langstrakte indskæringer i isens rand. Her kan opstemmet vand have dannet en bred strøm eller en smal »langso«, hvori åsen aflejredes. Ligesom i andre issøer må vandoverfladen om vinteren være frosset, og ved forårstid kan den i nogle tilfælde være blevet dækket af morænemateriale, der som flydejord er gledet ned fra den omgivende gletscheris eller dødís. Muligheden for, at et sådant lag skulle blive dannet over en ås, er i almindelighed ringere end i andre issøer, fordi forårets stærke strøm hurtigt vil bryde vinterisen op. Muligheden for at et flydejordslag skulle sedimenteres i åsen er ligeledes ringe, fordi strømmen vil skylle leret bort, så kun sten og grus bliver tilbage som et lag af morænegrus i åsen. Sådanne lag af usortet grus kendes fra Køge Ås ved Vielsted og Vigersted og er af S. A. ANDERSEN netop tolket som udvasket moræneler (1931 s. 33, 42, 64, 90). Kun i de tilfælde, at den kraftige vandstrøm og dermed åsens dannelse er ophørt, vil et lag af moræneler kunne bevares og lægge sig som et tyndt morænedække over den færdigt dannede ås. En sådan formindsket strømhastighed kan skyldes ændringer i smeltevandsflodens forløb og vandføring, men kan også tænkes at forekomme i indskæringernes brede yderste del, mens åsdannelsen stadig foregår i indskæringens snævre proximale del nær gletscherporten eller inde i gletschertunnelen. Også i forbindelse med en tapning af det opstemmede vand og tørlægning af åsen under forårets smeltning kan åsdannelsen bringes til ophør, og moræneler eller flydejord blive efterladt som et dække over åsen.

Flydejord i ispressede kames

En anden type af smeltevandsaflejringer, hvor et tyndt, morænelignende dække kan forekomme, er de ispressede kames eller »hatformede bakker«, som de er blevet kaldt. Smeltevandsgruset, som udgør disse bakker, er oprindeligt afsat som vandrette lag i smeltevandssøer i randzonen af den levende indlandsis, og ved isens fortsatte bevægelse er lagene presset op, så de nu står mere eller mindre stejlt. Disse bakker rager op over det omgivende morænelandskab, som de skarpt skiller sig ud fra. Det synes udelukket, at disse bakker skulle have været overskredet og dækket af isen uden at blive jævnet ud. Alligevel finder vi i mange af disse bakker et ufuldstændigt dække af morænemateriale. Det ses udmær-

ket i Allinge Bjerg i Hornsherred, Kulsbjerg i Sydsjælland og flere steder på Langeland. Morænelerets tilstedeværelse kan forklares som et resultat af jordflydning fra isens overflade. Man kunne indvende, at en forhøjning af terrænet i læsiden af nogle af disse bakker er tolket som moræneslæb og taget som vidnesbyrd om, at isen virkelig skulle have overskredet bakkerne. Denne tolkning vil imidlertid blive imødegået i en senere artikel om disse bakkers karakter og dannelse.

Vidnesbyrd om taping af issøer

Nordøst for Vassingrød, umiddelbart vest for plateaubakken Olden findes en plateaubakke, som vi kan kalde Kurebakken, idet dette navn er anvendt om dens vestligste ende. I denne plateaubakke er gennem nogle år foretaget en intensiv gravning af teglværksler. I plateaubakken veksler tynde lag af fedt smeltevandssler med tynde lag af mere magert ler eller fint sand. Lagene ligger i størstedelen af graven uforstyrret og næsten horisontalt, som det normalt er tilfældet i en aflejring dannet i en sø, som var begrænset af dødis. Selvom lagene veksler regelmæssigt, kan en egentlig årscyclus ikke med sikkerhed påvises, hvilket også gælder de fleste andre ganske små issøer. Vejrets skiften og de lokale variationer i smeltevandstilløbenes vandføring og forløb giver anledning til en bestandig vekslen i bundsedimenternes kornstørrelse, så den årlige variation i tilløbenes strømhastighed camoufleres.

En undersøgelse af det store profil, som løber i retningen nord-syd fra landevejen nær bakkens sydrand og omtrent til bakkens nordrand, viser flere ejendommelige strukturer, hvoraf jeg først skal omtale de, som knytter sig til bakkens overfladelag.

Det øverste lag, som danner Kurebakkens jævne overflade, består af smeltevandssand uden synlig lagdeling. Laget er en halv til en meter tykt, men fortsættes stedvis i meterdybe gruber ned i det underliggende ler. I profilet ses, at gruberne er af vekslende størrelse. De er veladskilte, uregelmæssigt placerede, ofte med adskillige meters mellemrum. Langs grubernes kant er de tilstødende lerlag ofte svagt forstyrret, i reglen med nedbøjede lagender. På en horisontalt afgravet flade ses det, at gruberne er mere eller mindre afrundede, af uregelmæssig form og placeret med vekslende mellemrum uden at danne noget regelmæssigt mønster.

Ligesom ved profiler gennem polygonjord drejer det sig her om sandfyldte gruber adskilt af jordlag med samme karakter som de dybere liggende lag, men dermed ophører denne lighed. Deformationerne af lagenderne langs grubernes kant, den tilfældige afrundede form og den spredte beliggenhed er uden lighed med polygonjord. Disse strukturer må være opstået ved issøens taping. Da dødisøens afløb var eroderet ned til et sådant niveau, at søen tømtes for vand, er de isstykker, som lå spredt på søens overflade efterladt på den tør lagte bund og trykket ned i det bløde ler. Det er ikke siden kommet til aflejring af søsedimenter på stedet, men lidt sand er aflejret af små smeltevandsbække, som strømmede hen over den tør lagte bund. Sandet har dækket issøens sedimenter og udfyldt hullerne efter isstykkerne efterhånden som disse er smeltet bort.



Fig. 1. Isøen Hullet i Narssarsuaq distrikt, Sydgrønland, efter aftapningen 1960. Den tidligere søbund dækket af indtil 30 m høje isfjelde. Fot. A. WEIDICH 1960. Ice-dammed lake in Greenland after draining. Ice bergs up to 30 m high cover the bottom.

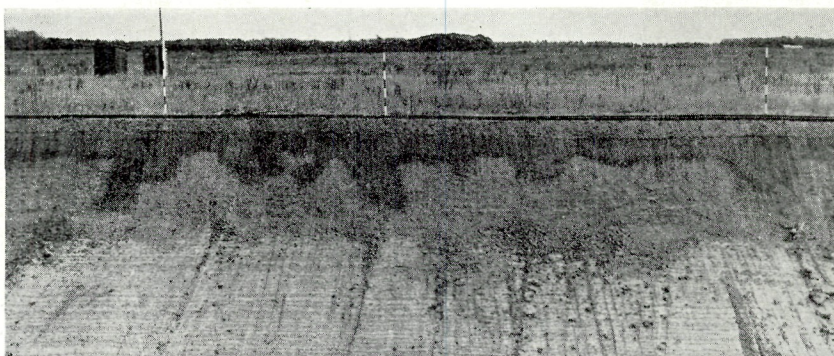


Fig. 2. Overfladen af plateaubakken Kurebakken. Fot. W. RASMUSSEN 1958. Surface of kame with pits filled by sand.

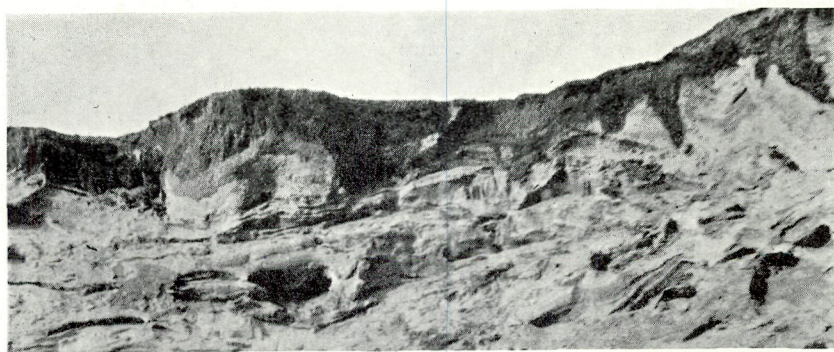


Fig. 3. Overfladen af Køge Ås nord for Yderholm. Fot. W. RASMUSSEN 1960. Surface of esker with pits filled by solifluction soil.

Også i åse forekommer strukturer, som kan være fremkommet ved en tapning og sænkning af vandspejlet som afslutning på åsdannelsen. I et profil i Køge Ås på østsiden af vejen fra Ejby til Yderholm ses et dæklag af sandet moræneler eller flydejord over åsens smeltevandsgrus. Dette dæklag har stærkt vekslende tykkelse og strækker sig stedvis meterdybt ned i gruber i det underliggende grus. Overfladelagets udformning minder således om dæklaget i Kurebakken. Dæklaget kan være dannet ved, at morænemateriale er gledet ud som flydejord på den frosne vandflade over åsen. Derefter er vandet tappet bort i forbindelse med forårets afsmeltning i området, så flydejord og isklumper er efterladt på toppen af åsen. Det kan dog ikke udelukkes, at et tilsvarende resultat kan være opstået, hvis åsen er dannet i en tunnel, hvis tag er sunket sammen efter at smeltevandsstrømmen er ophørt.

Udglidning (slumping) i Kurebakkens issøaflejringer

I plateaubakken Kurebakken er smeltevandsaflejringerne lagstilling i størstedelen af bakken omtrent horisontal, men i de dybere liggende lag dog noget bølgende med en svag hældning mod nord fra profilets sydende nær bakkens sydrend til profilets nordende noget nord for bakkens centrale del. Denne generelle hældning overstiger ikke et par grader, men kan lokalt nå op på 4–8° i forbindelse med de nederste lags bølgede karakter. Laghældningen og bølgerne er antagelig blot et resultat af sedimentmægtighedens variation på søbunden og kan skyldes en dominerende tilførsel af materiale fra smeltevandsbække i søens sydlige del. Dog kan rester af dødis i søens underlag ved en gradvis afsmeltning have bidraget til ujævnhedernes fremkomst.

I 1957 observeredes første gang to stærkt sammenfoldede partier af lagserien nær bunden af det 7 m høje profil, og en opmåling blev foretaget i 1958. Profilet har holdt sig næsten uændret indtil 1963, men ved gravningen i 1963 og 1964 er de tidligere blotninger forsvundet.

De stærkt foldede partier af lagserien har en næsten konstant tykkelse på omtrent 1 m og består af henimod 30 kraftige folder, der alle hælder mod syd og er overklippet mod nord, og stedvis overskudt mod nord. Nedadtil er den foldede lagserie skarpt afgrænset fra ufoldede sedimentter. Det drejer sig således åbenbart om glidefolder (*décollement*) fremkaldt af et tryk fra syd mod nord. Trykket kan ikke skyldes drivende isbjerge på den lille issø, for den foldede lagserie er af konstant tykkelse, men ligger i forskelligt niveau fra den ene ende til den anden, og der ses ikke spor af slæb langs folderens overside. Trykket kan heller ikke hidrøre fra søens isbegrænsning, for så ville hele lagserien have været forstyrret, ikke blot disse to partier af lagserien. En levende is, som er vandret frem over dødisen kan heller ikke forklare forholdene, eftersom forstyrrelsen fortoner sydpå, og lagene fortsætter uforstyrret hen mod sydenden, hvor trykket måtte være kommet fra. Det er kun muligt at forklare foldningen som resultat af en glidning hen over et hældende underlag, og glidningen må da være fremkaldt af sedimenternes egen vægt. Ved første øjekast

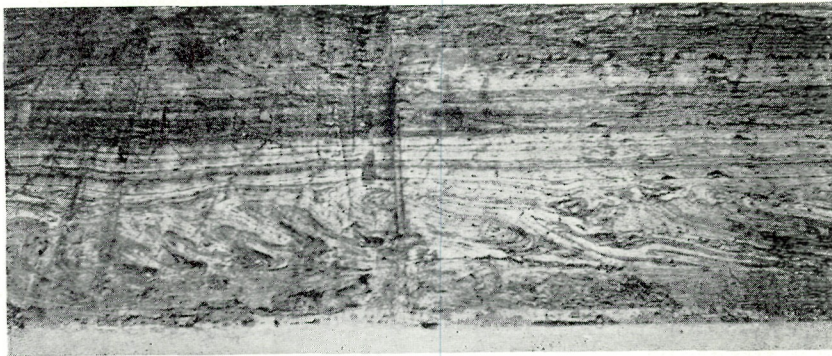


Fig. 4. Kurebakken omkring punkt 70 m i profilet. Fot. W. RASMUSSEN 1958.
Slumping in kame.

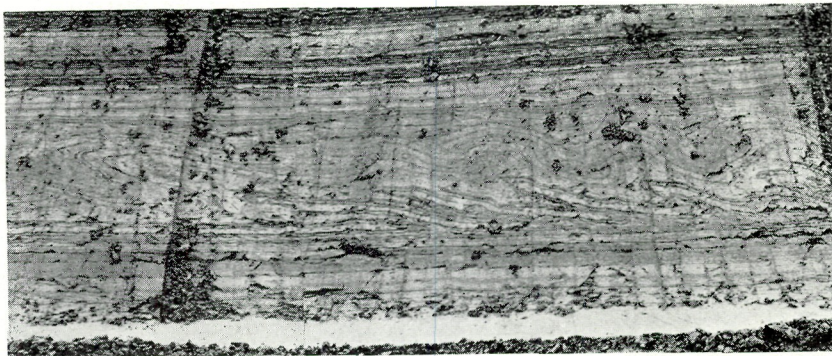


Fig. 5. Kurebakken omkring punkt 10–20 m i profilet. Fot. W. RASMUSSEN 1957.
Slumping in kame.



Fig. 6. Knabstrup Teglværk. Partiet 18–25 m i profilet. Fot. W. RASMUSSEN 1964.
Slumping in ice-dammed lake.

synes profilet udseende ikke at bekræfte denne opfattelse, idet foldningen ikke findes der, hvor hældningen er størst, men tværtimod ligger den foldede lagserie på et ret jævnt underlag. I den sydlige ende, hvorfra glidningen er sket, stiger de foldede lags underlag tilmed svagt mod nord. Ved nøjere eftersyn er dette dog let forståeligt. Den foldede lagserie ligger nemlig i fortsættelse af et parti, hvor underlaget hælder 4–8° mod nord. I dette parti ses ganske små, usymmetriske bølger i det tynde lag, som danner basis for den foldede lagserie længere fremme. Disse kun centimeterhøje folder er fremkommet ved de overliggende lags udglidning. Udglidningen er her sket uden at den sammenhængende sedimentseries lagdeling er forstyrret undtagen ved den fine undulation langs selve glidefladen. Først der, hvor bunden flader ud eller tilmed stiger mod nord, er modstanden så stor, at hele den nedgledne lagpakke foldes. Glidningen må være sket under sedimentationen, ikke efter dennes afslutning, ved at hele bundlaget i en tykkelse af knap en meter er gledet langs et lerlag. Mangelen af folder i den overliggende lagserie viser, at denne er afsat efter udglidningen.

Udglidning i issøaflejringer i Knabstrup Teglværks grav

Knabstrup Teglværk i Nordvestsjælland ligger i et dødislandskab med store plateaubakker. I teglværkets grav ses fint lagdelt smeltevandsler, som er afsat i en sø, der har været begrænset af dødis mod nord og vest, hvor det nuværende terræn ligger lavere. Issøens overflade ligger 15–25 m lavere end overfladen af plateaubakkerne i området. Den må således repræsentere et senere afsnit af dødisens afsmeltning. I gravens sydvestlige hjørne kunne man endnu i 1962 iagttage et lag af flydejord, som hurtigt aftog i tykkelse nordpå mod issøens centrale del. Materialet må således fra dødisen være skredet ud over søens rand. I 1895 kunne et tilsvarende lag af flydejord iagttages ledsaget af forstyrrelser i det underliggende smeltevandslers lagstilling (RØRDAM og MILTHERS 1900 s. 49–50). Nu ses et profil i et noget dybere niveau tværs gennem søens sedimenter i retningen omtrent nord–syd. Den nederste del af lagserien viser noget bølgede lag, der i den nordlige del har en generel hældning på 3–8° mod syd, mens den sydlige del viser en tilsvarende hældning mod nord. Disse lag hælder således fra søens rand i nord og syd ud mod søens bølgede bund i midten. Flere steder ses små forskydninger og sammenkrønligheder af lagene fremkommet ved en glidning ud mod de lavest liggende partier. Glidningens størrelse er ret ringe, men bevirker dog en sammenfoldning af lagene på de dybeste steder. Forskydningernes forskellige retninger i profilet forskellige dele og overensstemmelsen med underlagets hældning viser, at forstyrrelserne i lagstillingen er et resultat af en tyngdebetinget udglidning i issøens bund under sedimentationen.

Tolkningen af lignende strukturer på andre lokaliteter

Foldede og sammenkrøllede jordlag har været kendt fra danske smeltevandsaflejringer gennem mange år. I den geologiske litteratur finder vi

omtalt sådanne lag fra Frihavnsens udgravning og fra Stenlille Ås. Oprindelig blev strukturerne i Frihavnen tolket som resultat af et isfremstød, men senere har begge disse forekomster gentagne gange været fremdraget under diskussioner i Dansk Geologisk Forening som eksempel på formodet arktisk strukturjord.

Den arktiske strukturjord, der ses på overfladen i arktiske egne som polygonjord og stenringe, viser sig i profiler som grydeformede dannelser. »Gryderne« kan variere i størrelse fra $\frac{1}{4}$ m til over 1 m i diameter. De består almindeligvis af sand eller andet stenfrit materiale, mens væggene mellem gryderne har samme karakter som de underliggende lag (moræne eller smeltevandsaflejringer). Sådanne strukturer er kendt fra Nordeuropas nedslingsområde og er på tysk betegnet Brodelböden, Taschenböden eller Würgeböden, mens de på dansk er betegnet som gryder eller grydelag.

Med hensyn til dannelsen af disse former for arktisk strukturjord eksisterer der et betydeligt antal teorier (WASHBURN 1956). Nogle af teorierne går ud på, at der er sket en sortering af materialet som følge af vægtfyldebetingede strømninger i optøningshorisonten over et permafrostlag, mens andre begrundet sorteringen ved vinterfrostens fremtrængen i denne optøningshorisont. Men fælles for teorierne er, at de forudsætter en blottet jordoverflade med en optøningszone over et permafrostlag. Andre strukturer, der har karakter af en sortering eller en ændret lagstilling er ligeledes blevet beskrevet som arktiske frostfænomener dannet i det aktive lag over et permafrostlag. Mange af de strukturer, som er beskrevet som arktiske froststrukturer er dog ikke påvist i nutidens arktiske områder, og tolkningen af deres oprindelse er sket på et teoretisk grundlag.

Arktiske froststrukturer i form af grydelag forekommer mange steder i Danmark knyttet til overfladelaget, men kendes dog hovedsageligt fra Vestjylland (NØRVANG 1946). Fra det østlige Danmark er omtalt forekomsten af lignende strukturer knyttet til dybere liggende kvartærslag i Stenlille Ås og Frihavnen (NØRVANG 1946 s. 12, ROSENKRANTZ 1957 s. 252).

»Grydelaget« i Stenlille Ås

Forekomsten af lag med forstyrret lagstilling i Stenlille Ås er iagttaget og fotograferet af professor A. ROSENKRANTZ i 1933. I denne planås findes øverst ca. 5 m smeltevandsgrus og derunder en bæk på knap 1 meters tykkelse bestående af ler vekslende med tyndere lag af smeltevandssand, hvis lagstilling i størstedelen af profilet's længde er stærkt uregelmæssig. På grundlag af fotografierne skriver NØRVANG (1946 s. 12), at de krøllede lag ikke danner tydelige gryder og således ikke ligner den almindelige strukturjord. ROSENKRANTZ (1957 s. 252) omtaler forekomsten som grydeformede strukturer, hvori de enkelte lag af ler og sand bøjes konformt med grydens vægge. Der er ikke tale om nogen sortering inden for gryderne som normalt i strukturjord, og ROSENKRANTZ mener heller ikke, at lagstillingerne kan forklares ved glidning, da hældningen er ubetydelig. Derimod mener han, at lagserien kan være deformeret i

frosset tilstand, og de frosne flager af sand er stillet på højkant på samme måde som skiferbjergarter kan stå i arktiske stenringe. Grydelaget måtte da være opstået under en midlertidig tørlægning af den smeltevandstunnel, hvori åsdannelsen foregik.

SIGURD HANSEN (1957 s. 252) betvivler, at disse strukturer kan være fremkaldt af frost, da de forekommer langt nede i en sammenhængende serie af sedimenter dannet under et dække af adskillige meter vand. Her kan frost kun forekomme i forbindelse med en forbigående tørlægning, som vel er mulig, men dog ret usandsynlig. Han henviser til, at sådanne strukturer i issøaflejringer ofte er tolket som resultat af ispres eller glidning i bundens materiale under sedimentationen eller under issøens tapning.

Sammenligner vi de krøllede lag i Stenlille Ås med glidfolderne i Kurebakken, så ser vi, at det også her drejer sig om en lagserie med en hældning på nogle få grader og fortsat i næsten uforstyrrede lag. Hvor forstyrrelsen er svagest, ses det, at den forstyrrede del af lagserien omfatter fem lyse lag af lagdelt sand adskilt af mørkere lag af ler. Lagene ligger her med et guirlande-agtigt forløb, idet sandlagene med mellemrum er afbrudt og viser opbøjede lagender. Hvor sammenfoldningen er stærkere, afløses guirlanderne af kortere, grydeformet krummede brudstykker af lagdelt sand, idet de nedadbøjede partier, synklinalerne, er bevaret i sammenhæng, mens de opadbøjede partier er brækket itu, fordi de ikke var belastede af overliggende sedimenter og har mindre plasticitet end det mellemliggende ler. (Trækstyrken i ydersiden af ombøjningerne er overskredet i antiklinalerne, hvor lagserien er mindst belastet). Den stærkeste deformation viser sig i form af helt sammenlukkede, U-formede eller næsten kugleformede sandindeslutninger (slumpball structure). Forskellen i det udgledne lags udformning i Kurebakken og Stenlille Ås består således hovedsagelig i, at åsens sandede materiale ikke har kunnet foldes under glidningen uden at gå itu i flager og korte brudstykker. Med denne tolkning af strukturerne som et resultat af udglidning i sedimentet under sedimentationen bortfalder problemet om mulige froststrukturer under vand eller under en forbigående tørlægning af smeltevandsøens eller smeltevandsflodens leje.

De »kontortede lag« i Frihavnen

De lag af moræne og smeltevandsaflejringer, som blev gennemgravet under udgravningen af Frihavnen 1892–1893, blev undersøgt dels af H. N. ROSENKJÆR, dels af V. HINTZE. Desuden har K. RØRDAM og K. J. V. STÆENSTRUP besøgt udgravningen. Lagene er beskrevet ganske kortfattet i to artikler af ROSENKJÆR (1893 s. 19–22 og 1896 s. 12–13). Det fremgår heraf, at man øverst i profilerne finder postglaciale lag omfattende stenalderhavets og nutidens marine aflejringer og derunder stedvis fastlandstidens moseaflejringer. Derunder fandtes en øvre og en nedre moræne adskilt af en serie af smeltevandsaflejringer, der tolkedes som interglaciale. Den øvre moræne er af ganske ringe tykkelse, og kun som udfyldning

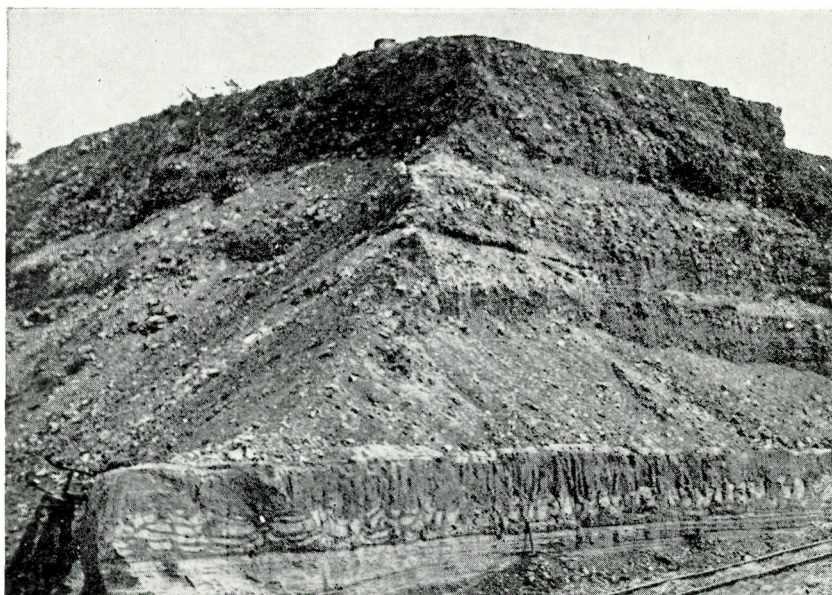
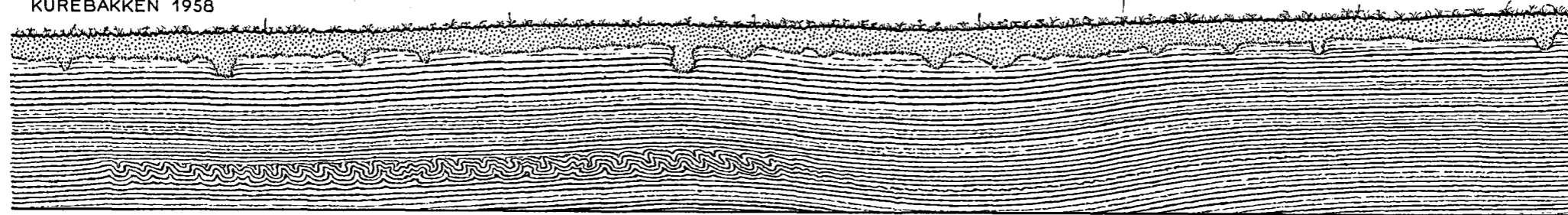
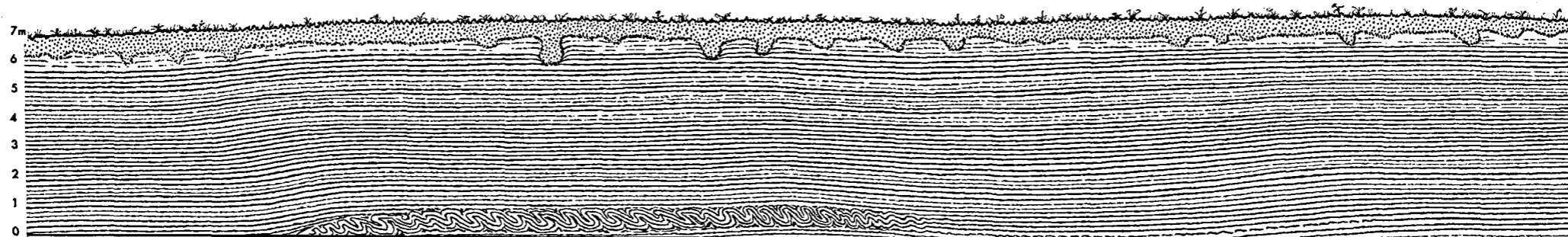


Fig. 7-8. Guirlandeformede og foldede, itubrudte sandlag omgivet af ler. Stenlille Ås.
Fot. A. ROSENKRANTZ 1933.
Slumping in esker. The sand-beds are broken in all anticlines.

KUREBAKKEN 1958



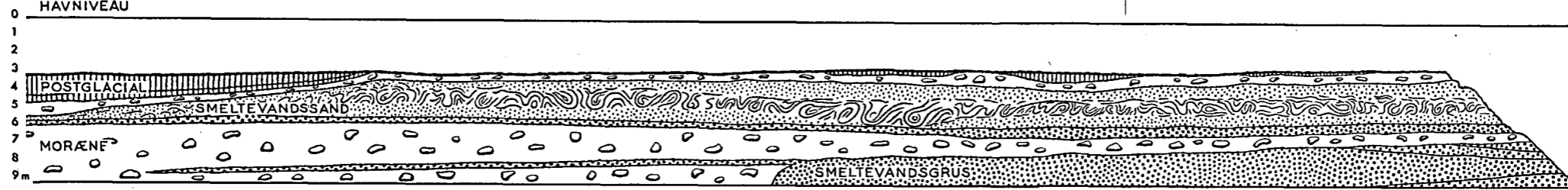
NORD 10 20 30 40 50



7m
6
5
4
3
2
1
0

60 70 80 90 100 m

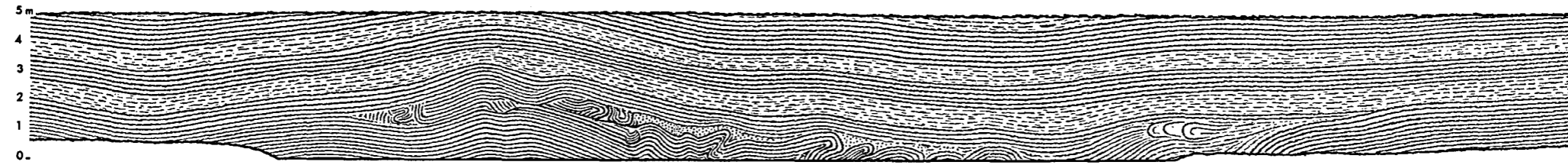
FRIHAVNENS MIDTMOLE 1892 NORDLIGE DEL
HAVNIVEAU



0
1
2
3
4
5
6
7
8
9m

10 20 30 40 50 60 70 80 m NORD

KNABSTRUP TEGLVÆRK 1964 DEN CENTRALE DEL AF ISSØEN



5m
4
3
2
1
0

10 20 30 40 50 m NORD

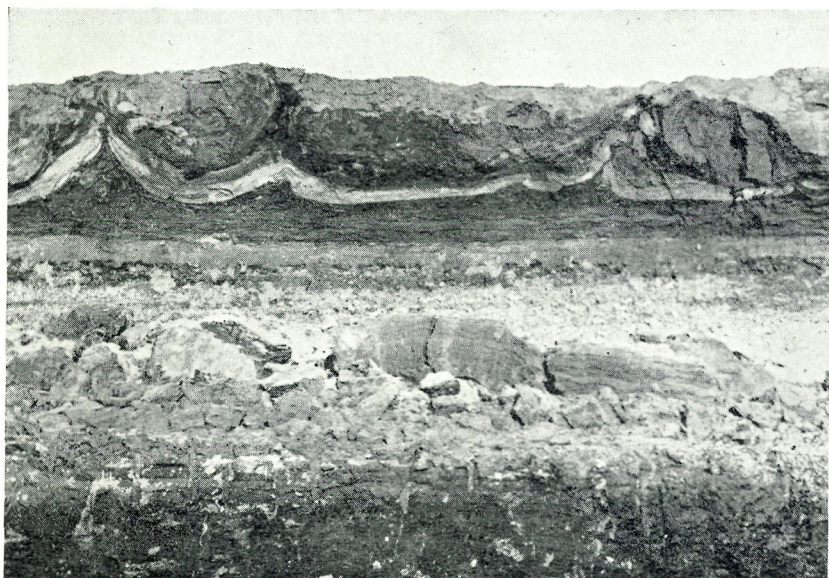


Fig. 9. Guirlandeformede sandlag. Frihavnen. Fot. K. J. V. STEENSTRUP 1892.
Slumping in melt-water sediments.



Fig. 10. Sammenkrollede sandlag i Frihavnen. Fot. K. J. V. STEENSTRUP 1892.
Slumping in melt-water sediments.

af en lavning i underlaget angives det, at den lokalt når op mod 6 m. Den dækker endvidere kun en del af området og når således intetsteds ud til 12 fods kurven. Smeltevandsaflejringerne omfatter smeltevandssgrus og især smeltevandssand med tynde lerlag imellem. Den kan nå en mægtighed af 3 m. Smeltevandslagene er nogle steder omtrent horisontalt stillede og uforstyrrede, men er andre steder stærkt forstyrrede med bøjede lagender og lag, som er vredne, så de danner nærmest kugleformede strukturer. Lagdelingen i de forstyrrede lag er velbevaret. ROSENKJÆR tolker forstyrrelserne i sandlaget som resultat af et isfremstød fra sydøst, hvorved tillige den øvre moræne skulle være afsat. Isens underlag skulle have været frosset, hvorved lagdelingen i sandlagene har kunnet bevares under deformationen. Forstyrrelserne blev iagttaget i smeltevandssandet i profiler langs Frihavnens vestbassin og ved færgelejet. Lignende forstyrrelser var antydet i sandpartier i den øvre moræne.

I Mineralogisk Museums arkiv findes et manuskript til et foredrag holdt af V. HINTZE i Dansk Geologisk Forening forud for en ekskursion til udgravningen. Foruden manuskriptet foreligger et profil langs midtermolens østside og en del af et profil fra gravens vestside, samt de fremviste lysbilleder. Profilerne er baseret på HINTZES opmåling. Her gengives den del, som omfatter midtermolens nordlige del, hvor de forstyrrede lagstillinger er vist. Endelig foreligger i arkivet nogle fotografier taget af K. J. V. STEENSTRUP under udgravningen, og i Danmarks Geologiske Undersøgelse findes RØRDAMS notater fra et besøg på stedet i 1892.

HINTZE oplyser, at hele den glacielle lagserie i gravens vestside danner en fold, og at den øvre moræne dækker smeltevandsseriens uforstyrrede overflade. Han slutter af lagstillingen, at den øvre moræne har deltaget i foldningen, som han mener må skyldes postglacial tektonik. I de bevarede profiltegninger varierer mægtigheden af den øvre moræne fra 0 til $1\frac{1}{2}$ m, og kun som udfyldning af et lavt parti ved den sydlige ende af det her gengivne profil samt ved basis af den ovennævnte fold når lagets tykkelse op på ca 1 m eller mere. Mange steder er den øvre moræne udviklet som et tyndt lag morænegrus, og over den sydlige halvdel af Frihavnens midtermole mangler en øvre moræne helt. Rørdam angiver fra et sted nær midtermolen ca. $1\frac{1}{2}$ m moræneler, som tynder ud og forsvinder et kort stykke nordvest for molens nordende. På grundlag af disse oplysninger kan det ikke med sikkerhed afgøres, om den øvre moræne repræsenterer et isfremstød eller er flydejord nedgledet fra det omgivende terræn eller fra isens overflade. Den øvre morænes ringe tykkelse og udstrækning, dens beliggenhed hen over smeltevandsseriens uforstyrrede overflade, selv hvor denne danner en ophvælvning, samt dens større mægtighed i lavt liggende partier er træk, som kan tyde på, at jordflydning har været en af årsagerne til dens tilstedeværelse eller nuværende fordeling.

I smeltevandsaflejringerne forekommer de krøllede lagstillinger, som af HINTZE blev betegnet »vredne lag« eller med et engelsk udtryk »contorted drift«. Forstyrrelserne kan variere fra et guirlande-agtigt forløb til stærkt sammenrullede, nærmest kugleformede strukturer, der kan findes i flere lag over hinanden adskilt af uforstyrrede lag af sand og ler. Sammenligner vi denne beskrivelse med HINTZES profiltegning, bemærker vi, at det

forstyrrede lag hviler på et noget bølget underlag, hvis hældning i andre retninger end profilet vi ikke kender. Det ses endvidere, at det forstyrrede lag har størst tykkelse i en lavning, som lagene fra begge sider hælder imod. Dette tyder på, at forstyrrelsen skal tolkes som resultatet af udglidninger. Også mangelen på forkastninger og forekomsten af forstyrrelserne i flere adskilte horisonter tyder mere på glidning i en søbund end på et isfremstød over et frosset underlag.

Strukturerne ligner ganske de former, som ses i Stenlille Ås, blot synes de stærkt deformerede partier af lagdelt sand, der er højet sammen i kuglefacon at være mere rigt repræsenteret i det foreliggende billedmateriale. Af RØRDAMS notater fremgår, at strukturerne forekommer også på steder, hvor den øvre moræne mangler, og på en lille skitse af lagerien angiver han det krøllede lag med et hældende forløb. Strukturerne har ingen lighed med sikkert erkendte froststrukturer, og der er ikke foregået nogen sortering af materialet, som overalt har bevaret lagdelingen. Forekomsten i flere niveauer og i varierende dybde tyder ligeledes på, at det ikke drejer sig om froststrukturer.

Nogle tidligere beskrevne strukturer i smeltevandsaflejringer

Strukturer, der i udseende svarer til gruberne i dæklaget af Kurebakken og Køge Ås er tidligere beskrevet som Taschenböden og tolket som arktisk strukturjord dannet ved konvektionsstrømme i optøningszonen over et permafrostlag.

Strukturer af lignende udseende og formentlig også af lignende oprindelse som de ovenfor beskrevne glidestrukturer kendes fra adskillige forekomster af smeltevandsaflejringer. Fra issøaflejringer ved Lübeck i Nordtyskland er beskrevet foldninger af to adskilte lag i en varvig serie af smeltevandsler (SCHLUNCK 1916). I den 100 m lange blotning kunne ikke påvises nogen væsentlig hældning af underlaget for den foldede lagserie. Udglidning blev derfor anset for udelukket, og foldningen blev forklaret som resultat af drivende isflager eller isbjerge.

Fra staten New York er beskrevet issøaflejringer, hvis øvre del er foldet og overskudt (HANSEN et al. 1961). Denne forekomst er dækket af et morænelignende lag. Foldningen og morænedækket blev tolket som vidnesbyrd om et gletscherfremstød over issøaflejringer. Den detaljerede tektoniske analyse viser imidlertid, at foldernes overskydningsretning og variation samt dæklagets stenorientering er i overensstemmelse med terrænets hældning og variation. Det vil derfor være rimeligt at anse også denne forekomst som et eksempel på glidning i en issø og tolke morænedækket som et resultat af jordflydning.

Fra Iergraven i Skåne har blandt andre G. JOHNSON (1956, 1962) beskrevet strukturer, som svarer til de beskrevne forekomster i Stenlille Ås og Frihavnen. JOHNSON accepterer, at slamstrømme kan fremkalde strukturer, der ganske svarer til de af ham beskrevne, mens sådanne strukturer ikke er påvist i nuværende permafrost-områder. Alligevel anser han strukturerne for frostfænomener, fordi der i samme lag forekommer frostspalter,

Tropfenbøden og vidnesbyrd om vinderosion. Han slutter deraf, at strukturerne er opstået ikke under et dække af vand, men på landjorden i et område med permafrost. Med hensyn til den strukturform, som betegnes Tropfenbøden, er dens oprindelse imidlertid ukendt, mens vidnesbyrdene om vinderosion næppe kan bedømmes af andre end iagttageren. Frostspalterne, som er grundigt undersøgt er derimod et væsentligt indicium for frostens virkning på tørt land. Frostspalterne viser dog ikke, at de krøllede strukturer skyldes samme årsager eller er dannet på samme tid. Tværtimod vises det på en af lokaliteterne, at frostspalterne er dannet senere og gennemskærer den foldede lagserie (1962 fig. 18).

Blandt de af JOHNSSON viste billeder af formodede froststrukturer ses hældende flader med små, usymmetriske bølger svarende til en glideflade ved basis af en foldet serie (1956 fig. 242–243, 1962 fig. 17). JOHNSSON beskriver endvidere guirlande-formede, grydeformede og næsten kugleformede strukturer af lagdelt sand omgivet af lerlag. Udviklingen af disse lag, som svarer til strukturerne i Stenlille Ås, forklares af JOHNSSON (1962 s. 387) som resultat af frost i en lagserie med vekslende lag af ler og sand. På grund af sandets og lerets forskellige vandkapacitet skulle der under frysningen være opstået mekaniske spændinger mellem lagene, som har fremkaldt disse strukturer. Om strukturer af denne type virkelig kan opstå ved frost er aldrig påvist, men både strukturerne selv og deres forekomst i en sammenhængende sedimentserie kan forklares ved udglidning i sedimenterne på bunden af en smeltevandssø.

De strukturer, som her er beskrevet, synes at have en vid udbredelse i glaciofluviatile bassinaflejringer. Foruden de ovenfor omtalte forekomster kan fra Danmark nævnes, at udglidning (slumping) kan iagttages i flere af de ispressede kames. Disse forhold vil blive nærmere behandlet i forbindelse med en beskrivelse af disse bakkers oprindelse.

Forfatteren takker tegner CHRISTIAN RASMUSSEN og fotograf P. NIELSEN for hjælp ved udarbejdelsen af illustrationerne.

LITTERATUR

- ANDERSEN, S. A., 1931: Om Aase og Terrasser inden for Susaa's Vandomraade. Danmarks Geol. Unders. II. Rk. Nr. 54. København.
- HANSEN, E., S. C. PORTER, B. A. HALL & A. HILLS, 1961: Décollement Structures in Glacial-Lake Sediments. Bull. Geol. Soc. America. Vol. 72 pag. 1415. New York.
- HANSEN, S., 1940: Varvighed i danske og skaanske senglaciale Aflejringer. Danmarks Geol. Unders. II. Rk. Nr. 63. København.
- 1957: (Diskussion). Meddelelser Dansk Geol. Foren. Bd. 13, 4 pag. 252. København.
- JOHNSSON, G., 1956: Glacialmorfologiska studier i södra Sverige. Meddelanden Lunds Univ. Geogr. Inst. Avh. 31. Lund.
- 1962: Periglacial Phenomena in Southern Sweden. Geogr. Annaler Vol. XLIV pag. 378. Stockholm.
- NORVANG, A., 1936: Nogle Iagttagelser over Strø Bjerges Opbygning. Meddelelser Dansk Geol. Foren. Bd. 9,1 pag. 67. København.
- 1946: Nogle Forekomster af arktisk Strukturmark (Brodelboden) bevaret i danske Istidsaflejringer. Danmarks Geol. Unders. II. Rk. Nr. 74. København.

- ROSENKJÆR, H. N., 1893: Fra Frihavnen. Naturen og Mennesket. Bd. 9 pag. 1. København.
- 1896: Fra Frihavnens Bund. Naturen og Mennesket. Bd. 15 pag. 259. København.
- ROSENKRANTZ, A., 1957: (Diskussion). Meddelelser Dansk Geol. Foren. Bd. 13, 4 pag. 252. København.
- & H. W. RASMUSSEN, 1962. Danmarks Geologi II. Danmarks kvartær. København.
- RØRDAM, K. & V. MILTHERS, 1900: Kortbladene Sejro, Nykøbing, Kalundborg og Holbæk. Danmarks Geol. Unders. I. Rk. Nr. 8. København.
- SCHLUNCK, J., 1916: Zur Kenntniss des glazialen Stauseegebietes bei Lübeck. Jahrb. Königl. Preuss. Geol. Landesanst. Berlin 1914. Bd. XXXV, II pag. 254. Berlin.
- TODTMANN, E. M., 1952: Im Gletscherrückzugebiet des Vatna Jökull auf Island, 1951. Neues Jahrb. Geol. Paläontol., Monatshefte 1952 pag. 401. Stuttgart.
- WASHBURN, A. L., 1956: Classification of Patterned Ground and Review of Suggested Origins. Bull. Geol. Soc. America. Vol. 67 pag. 823. New York.