

Tre eksempler på involutioner nær Varde

ELSE KOLSTRUP



Kolstrup, E.: Tre eksempler på involutioner nær Varde. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1986*, side 67-74, København, 1. juni 1987.

Involuted sediments are reported from three localities in western Jutland. Two localities exhibit relatively regular, 1.2 m high deformations in sand layers. It is thought that density differences between water saturated sediments in combination with increasing pore water pressures induced by freezing of sand from the top (and bottom?), caused decreased friction between sand grains and maybe also loss of intergranular contact in the sediments. This in turn could give rise to deformation. Probably underlying permafrost acted as the confining layer.

In the third locality, sand overlies unconsolidated peat, and it is suggested that the large density difference between the water saturated sediments was the main cause of these deformations.

Else Kolstrup, Mosevej 12, Blans, DK - 6400 Sønderborg, Danmark, 22. februar 1987.

I åbne profiler kan ofte ses horisonter, hvori den oprindelige lagdeling er forstyrret, så sedimenterne er mere eller mindre regelmæssigt omrodede. De postsedimentære ændringer af strukturerne i profilet kan variere fra bløde undulationer med en vertikal amplitude på enkelte decimeter, til horisonter, som kan blive op mod 2 m i tykkelse, med omkørte sediment, hvori det er umuligt at udrede de oprindelige lag (f. eks. Eissmann 1981, Jahn 1975, Gripp 1971, Vandenberghe & van den Broek 1982, Washburn 1979). Også i den danske litteratur er beskrevet eksempler på sådanne former (f. eks. Rasmussen 1965). I den ekstreme form må de opblandede sediment af og til klassificeres som diamikton.

Sådanne deformerede lag betegnes ofte involutioner og/eller kryoturvationer (f. eks. French 1976). I denne artikel benyttes den beskrivende term involutioner.

I det følgende vises tre eksempler på involutioner, og de mulige dannelsesmekanismer vil blive diskuteret. De væsentligste processer, som fører til dannelse af involutioner kan relateres til vægtyldeforskelle mellem forskellige sedimentenheder samt til frost-tø skift.

vægtfylde er ca. 1, kan man ud fra porøsitetprocenten direkte beregne vægten af det vand, der udfylder porerummene i vandmættet tilstand, og



Fig. 1. Kort med lokaliteterne Agervig 1 (27), Orten (46) og Blaksmark (17). Hovedopholdslinien er angivet (Milthers 1948).

Map of Denmark with the localities Agervig 1 (27), Orten (46) and Blaksmark (17) indicated. The location of the Main Stationary Line (Milthers 1948) is shown.

Sedimentegenskaber

I Morris & Johnson (1967) findes tabeller for forskellige sedimenttypers egenskaber, heriblandt tørvægt (i g/cm^3) og porøsitet (i %). Da vands

| | Vandaflejret | | | | | | | | Vindaflejret | | Isaflejret | | | Orga- nisk |
|--|-----------------|--------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|------------------|----------------------|---------------------|--------------|----------------|------------|------|------|---------------|
| | ler <45 μ | silt 45-62 μ | sand | | | grus | | | løss | eolisk sand | till | | | tørv |
| | | | fin 62-250 μ | mellem 250-500 μ | grov 0.5-2.0 mm | fin 2-8 mm | mellem 8-16 mm | grov 16-64 mm | | | silt | sand | grus | |
| Tør vf. g/cm ³ | 1.49 | 1.38 | 1.55 | 1.69 | 1.73 | 1.76 | 1.85 | 1.93 | 1.45 | 1.58 | 1.78 | 1.88 | 1.91 | 0.13 |
| Porøsitet i uforst. sed. % | 42 | 46 | 43 | 39 | 39 | - | - | - | 49 | 45 | 34 | 31 | - | 92 |
| Porøsitet i omlejret sed. % | 48 | 46 | 32 | 35 | 34 | 34 | 31.9 | 28.3 | 46 | 38 | - | - | 26 | - |
| Vf. vandmættet uforst. sed. g/cm ³ | (1.191) | 1.84 | 1.98 | 2.08 | 2.12 | - | - | - | 1.94 | 2.03 | 2.12 | 2.19 | - | 1.05 |
| Vf. vandmættet oml. sed. g/cm ³ | (1.97) | 1.84 | 1.84 | 2.04 | 2.07 | 2.10 | 2.169 | 2.213 | 1.91 | 1.96 | - | - | 2.17 | - |

Table 1. Vægtfylde og porøsitet for forskellige sedimenttyper, der ofte findes i forbindelse med involutioner. Kornstørrelser og terminologi er bibeholdt efter Morris & Johnson (1967).

Table 1. Specific gravities and porosities for various types of sediments that are often related to involutions in unconsolidated sediments. Grain size classes and terminology according to Morris & Johnson (1967). The three upper rows are from that paper. The information on the specific gravities of water-saturated sediments have been calculated from Morris and Johnson's figures.

dermed også vægtfylder for vandmættede sedimentter (tør vægt + porøsitet \times 1 = prøvens vægt i vandmættet tilstand). Tabel 1 giver gennemsnitsværdier af vægtfylder for tørre sedimentter samt for porøsiteter af uforstyrrede og omarbejdede sedimenttyper, der er relevante for denne sammenhæng (grus findes kun som omarbejdet materiale) (Morris & Johnson 1967). Desuden er gennemsnitsvægtfylder for de forskellige vandmættede typer udregnet.

Ud fra tabellen kan man opstille den tommelfingerregel, at jo større kornstørrelsen er, jo større er vægtfylden af det vandmættede sediment. Som det ses, er ler dog undtaget fra reglen.

Effekt af frost-tø påvirkning

Principperne for, hvordan indfrysning og optøning påvirker forskellige sedimentter, er bl.a. givet af Tsytoich (1975) og Mackay (f. eks. 1979a, 1979b, 1980, 1983), så kun de generelle linier vil blive ridset op her.

I vandmættede aflejringer af sand og grus vil vandet i porerummene fryse ved frostens indtrængen. Ved vands overgang til is sker en ca. 10% volumenforøgelse, og det endnu ikke frosne vand skubbes ud ved frysefronten ned i det underliggende materiale. Hvis der findes et imper-

meabelt underlag, f. eks. permafrost, kan vandet ikke slippe væk, og der sker en overmætning af sedimentet. Når frysefronten bevæger sig videre nedad (og evt. også opad fra permafrosten), stiger porevandstrykket, hvorved friktionen mellem de enkelte sand- og gruskorn nedsættes, og sedimentterne kan blive relativt mobile, indtil det sidste vand fryser.

Hvor siltindholdet er højt, kan der ske islinse-dannelse i silten, og man taler om frostfølsomme sedimentter. Islinser vokser, fordi der tilføres vand fra omgivelserne hen mod frysefronten, hvor det fryser, og der kan dannes tykke linser af næsten ren is (se f. eks. French 1976). Da det underliggende og omgivende sediment således tappes for vand, sker der en udtørring af dette materiale, hvis der ikke tilføres vand fra omgivelserne. Ved tøning i foråret kan der lokalt dannes meget vandrige partier, hvor islinserne smelter.

Tre vestjyske lokaliteter

Under udgravningerne til gas- og olieledninger i begyndelsen af 1980'erne blev deformationsstrukturer, der kan klassificeres om involutioner, ofte observeret i profilerne, især i det vestlige Jylland. Lokaliteterne Agervig 1 og Orten (fig. 1) viser eksempler på involutioner i sand. I disse ek-



Fig. 2. Lokallet Agervig 1 (Gas 27). Profilet er gengivet i samme skala på foto og tegning. Tegningen er baseret på feltskitser og farvedias. (I alle profiler gengivet i denne artikel er toplaget fjernet og profilerne afgravede overfladeniveau svarer til de mørke horisonter på fotografierne. Væggene hælder i alle profiler ca. 25° fra vertikal.)

Locality Agervig 1 (Gas 27). Involutions with a vertical amplitude of approximately 1.2 m have developed in sand. The photograph and the drawing are at the same scale and show the same picture. The drawing is made from a field sketch and colour slides. (In all figures in this paper the top soil was removed before trenching and the dark horizon near the top of the photographs represents the surface during trenching. The angle of slope of the profile in this and the other profiles in this paper is approximately 25° from the vertical.)

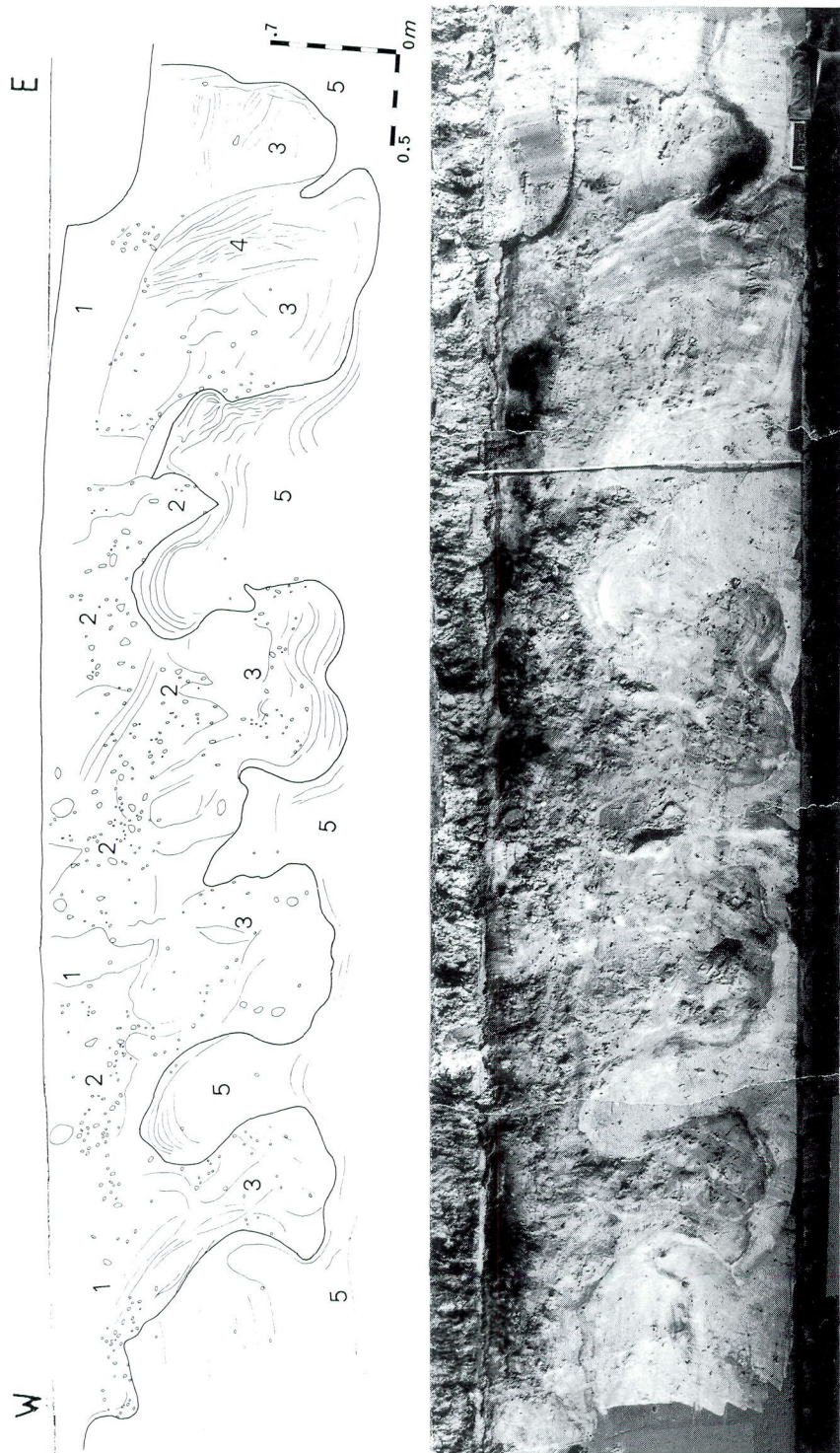


Fig. 3. Lokaltiet Orten (Gas 46). Profiliet er angivet i samme skala på tegning og foto. Tållene på tegningen svarer til profilbeskrivelsen i teksten.

Locality Orten (Gas 46). The photograph and the drawing show approximately 1.2 m deep involutions in sand. The scale is the same in both drawing and photograph.

sempler er strukturerne forholdsvis regelmæssige, omend de lateralt bliver mere komplekse på begge lokaliteter. Blaksmark er valgt som eksempel på en mere almindeligt forekommende type involution, hvor strukturerne ganske vist er mere uregelmæssige, men dog nogenlunde til at udrede, da der indgår mørkt organisk materiale.

Agervig 1, Gas 27 (fig. 2)

På denne lokalitet findes tre forskellige sedimentenheder:

Laget over deformationerne består af mellem-sorteret sand, domineret af partikler omkring 175 μm . Det indeholder 2% vindpolerede og facetterede gruskorn og småsten på op til 4 cm i diameter. Den nuværende jordbund er udviklet i denne enhed.

Fyldet i »lommerne« og i de isolerede klatter, der ses som mørkere partier på fotoet i fig. 2, er vel-til mellemsorteret sand med en overvægt af korn på omkring 250 μm , og de enkelte korn er vel-til subafrundede. De vestlige klumper har 2-5% vindpolerede og facetterede gruskorn og småsten på op til 4 cm i diameter. I de fleste boller og lommer kunne interne strukturer ikke gendes, men i enkelte sås en utydelig koncentrisk »foliation«.

Omkring lommerne og klatterne er der lysere sand»lag« med dominerende kornstørrelse mellem 105 og 175 μm . Sandkornene er subafrundede til subangulære, og der er mindre end 1% gruskorn og småsten, som kan have en diameter op til 4 cm.

De oprindeligt næsten horisontale laminæ i den nedre lyse enhed er deformeret omkring bollerne og lommerne (tegningen i fig. 2).

Mulig dannelse

Ombøjningerne af lagene i dette profil tyder på, at der har været vertikal bevægelse mellem den mellemste og den nedre enhed. Men der kan også have været lateral materialebevægelse: Bollerne, som de ses i snittet i fig. 2, synes isolerede fra hinanden samt fra udgangsmaterialet, der sandsynligvis lå i et højere niveau end bollerne er i nu, uden at der er efterladt spor i det mellemliggende sediment.

Kornstørrelsesfordelingen i den mellemste og nederste enhed viser, at det groveste lag er (var) øverst og det fineste nederst. Vægtfylderne for de vandmættede sedimentter (hvis man følger tom-

melfingerreglen nævnt ovenfor) må altså have været størst i toppen og lavest i bunden. Ved en indfrysning fra overfladen og nedad bliver sedimentet i den nuværende deformerede zone overmættet, hvis det vand, der skubbes ud ved frysefronten, ikke frit kan købe bort. Da der således kan opstå et forøget porevandttryk, kan friktionen mellem kornene nedsættes, og materialebevægelse er mulig.

Ud fra andre postsedimentære fænomener i Danmark, f. eks. iskilepseudomorfer, er det kendt, at der i perioder har været permafrost, og det er derfor nærliggende at mene, at involutionerne i fig. 2 er dannet i aktivlaget mellem permafrost og indfrysningshorisont. Det skal understreges, at en vandstandsende leraflejring under sandet kunne virke på samme måde som en permafrosthorisont, men da der i det tilgængelige profil ikke er konstateret sådanne leraflejringer, er det sandsynligt, at involutionerne er dannet i et permafrostmiljø.

Orten, Gas 46 (fig. 3)

I dette profil kan der erkendes 5 forskellige lag, nemlig:

- (1) siltet finsand.
- (2) Siltet finsand med ca. 5% grus- og stenpartikler op til 12 cm i diameter. Mange af disse er vindpolerede og facetterede.
- (3) Vel-til mellemsorteret sand med dominans i kornstørrelsen omkring 250 μm . Kornene er subafrundede til subangulære. Der er spredte polerede og facetterede grus- og stenkorn med en maksimum diameter på op til 12 cm. De interne strukturer er utydelige.
- (4) som (3), men uden grus og sten.
- (5) »Skarpt« sand med dominerende kornstørrelse omkring 175 μm . Der er en anelse silt og mindre end 1% grus med en maksimum diameter på 2 cm. I den nedre del er der utydelige subhorisontale laminæ, mens der imellem lommerne er »foliation« parallelt med kontaktfladerne. Materialet øverst mod øst er opfyldt.

Mulig dannelse

På denne lokalitet er sedimentenhed (3) grovere end (5), og der er derfor (igen under forudsætning af, at tommelfingerreglen ovenfor holder) også her et tungere sediment oven over et lettere. Dannelsen her var derfor sandsynligvis meget lig med udviklingen i Agervig, d.v.s., at udskubning



Fig. 4. Lokalitet Blaksmark (Olie 17). Foto af involutioner i sand, silt og tørv (sort). Skalaen til venstre er inddelt i 20 cm intervaller. De øvre ca. 40 cm er materiale omarbejdet i forbindelse med anlægsarbejdet.

Locality Blaksmark (Olie 17). Photograph of involutions in sand, silt and peat (black). The scale to the left is subdivided in to 20 cm intervals. The sediment in the upper approximately 40 cm of the photograph is reworked during construction works.

af porevand ved frysefronten i toplaget samt fra den opad frysende permafrost gav forhøjet porevandstryk i det mellemliggende sediment med formindsket kornfriktion til følge.

Det kan ikke udelukkes, at silten i toplaget lokalt har forårsaget en vis islinsedannelse der. Dog er siltindholdet så ringe, at der kun kan have været et begrænset antal kontakter siltkornene imellem, og dermed var betingelserne for udvikling af islinsler tilsvarende begrænset.

Ud fra samme argumentation som på Agervig lokaliteten har det impermeable underlag ved Orten sandsynligvis også været permafrost.

Blaksmark, Olie 17 (fig. 4)

I den nedre del af dette mere end 1.6 m høje profil er der tørv med enkelte tynde finsandsslirer. Opad stiger antallet af finsandslag (med korn-

størrelsesmaksimum omkring 150 μm), og samtidig kommer der et vist indhold af finsand og silt i selve det organiske materiale.

I den øvre del af profilet samt under tørvten er der velsorteret sand med en dominerende kornstørrelse omkring 125 μm . Sandet er sandsynligvis overvejende æolisk (bortset fra lidt gruset sand øverst i profilet).

Deformationerne er uregelmæssige og peger på både vertikale og horisontale bevægelser, men i de ombøjede lag kan man dog ofte genfinde de oprindelige laminaer.

Mulig dannelse

På denne lokalitet kan deformationerne være opstået primært på grund af vægtfyldeforskelle. Tabel 1 viser, at vandmættet sand har næsten dobbelt så stor vægtfylde som våd tørv. Hvis tørvten

ikke er særlig sammenhængende og kompakt, skal der ikke meget tryk eller rystelse til, før så forskellige vandmættede sedimentter som tørv og sand kan komme i bevægelse i forhold til hinanden.

Diskussion og konklusion

Litteraturstudier viser, at langt de fleste observationer af involuerede sedimentter indeholder mindst et »lag« med et stort siltindhold; desuden indgår der ofte lerede og/eller organiske lag. Det vil sige, at sedimentsammensætningen i disse rapporterede tilfælde til en vis grad kan sammenlignes med den, der findes i Blaksmark lokaliteten.

Lokaliteter med involutioner i rent eller næsten rent sand (som i Agervig og Orten) ses på den anden side sjældent beskrevet i litteraturen. Egne observationer langs gas- og olieledninger sammenholdt med observationer fra Nederlandene og Belgien tyder på, at litteraturen til en vis grad afspejler det forhold, at involutioner i sand faktisk er mindre hyppige. Det gælder for involutioner i den størrelsesorden, som det er vist her, men især gælder det for involutioner med en betydeligt mindre vertikal amplitude. Dette har resulteret i, at profiler med finkornede sedimentter har tiltrukket sig mest opmærksomhed, og det kan være grunden til, at der ud fra profiler med involutioner i finkornede sedimentter findes generaliseringer omkring involutions dannelsesmåde som sådan.

Da det, som nævnt i afsnittet »Effekt af frost-tø påvirkning« (side 68) er helt forskellige processer, der virker i sand og silt, er det nødvendigt, at hver lokalitet undersøges med hensyn til sedimenttyper, deres oprindelige placering og fordeling i profilet, samt at de post(syn) sedimentære deformationsstrukturers form og størrelse registreres.

Det er tidligere nævnt, at der har været perioder med permafrost i Danmark, og bedst kendt er perioden fra sidste istids kuldemaksimum for omkring 20.000 år siden (f. eks. Kolstrup 1980).

For de sandede sedimentter på lokaliteterne Agervig og Orten er det rimeligt at antage, at permafrost udgjorde det impermeable underlag, der betingede det øgede porevandstryk, som gjorde sedimentterne ustabile. Det vil sige: in-

volutionernes dannelse på disse to lokaliteter skønnes at være betinget af vægtfyldeforskelle i vandmættede sedimentter, der blev udsat for tryk forårsaget af efterårets isvækst i aktivlaget.

Det er ikke muligt med sikkerhed at afgøre, hvordan markoverfladen så ud, da involutionerne på disse to lokaliteter opstod. Der findes nogle få studier, der relaterer involuerede sedimentter til aktive overfladeformer (f. eks. Pissart 1976, Washburn 1979); men disse studier beskæftiger sig normalt med (ofte mindre) former i frostfølsomme sedimentter, der ved frost-tø ændringer reagerer anderledes end sand (som i Agervig og Orten). På trods af denne sedimentforskelle er det dog meget muligt, at også de former, der er beskrevet her, repræsenterer strukturjord.

Det er tænkeligt, at der også var permafrost, da deformationerne i Blaksmark dannedes. Men selv om den vertikale bevægelsesamplitude på denne lokalitet er større end i de to andre, er permafrost en mindre nødvendig forudsætning her, fordi vægtfyldeforskellene af de vandmættede sedimentter er større.

Tak

Jeg er meget taknemmelig for Tage Thyrstedts kommentarer og forslag til et tidligere manuskript. Også kommentarer fra Steen Sjørring har været til stor hjælp. C. og I. Torres (D.G.U.) hjalp til med foto- og reproarbejdet og D.G.U. stillede også andre faciliteter til rådighed. D.O.N.G. A/S gav beredvilligt tilladelse til at følge udgravningerne. Feltundersøgelsen er finansieret af Carlsbergfondet.

Litteratur

- Eissmann, L. 1981: Periglaziäre Prozesse und Permafroststrukturen aus sechs Kaltzeiten des Quartärs. *Attenburger Naturwissenschaftliche Forschungen*, 1, 171 pp.
- French, H. M. 1976: *The Periglacial Environment*. Longman, London. 309 pp.
- Gripp, K. 1971: Tropfenböden, räumlich untersucht. *Meyniana*, 21, 9–16.
- Jahn, A. 1975: *Problems of the Periglacial Zone*. PWN-Polish Scientific Publishers. Warszawa, 223 pp.
- Kolstrup, E. 1980: Climate and stratigraphy in northwestern Europe between 30.000 B.P. and 13.000 B.P., with special reference to the Netherlands. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*, 32–15, 181–253.
- Mackay, J. R. 1979a: Pingos of the Tuktoyaktuk Peninsula

- area, Northwest Territories. *Géogr. phys. Quat.*, 33, 1, 3-61.
- Mackay, J. R. 1979b: An equilibrium model for hummocks (nonsorted circles), Garry Island, Northwest Territories. Current Research, A, *Geol. Surv. Can., Paper 79-1A*, 165-167.
- Mackay, J. R. 1980: The origin of hummocks, western Arctic coast, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 17, 8, 996-1006.
- Mackay, J. R. 1983: Downward water movement into frozen ground, western Arctic coast, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 20, 1, 120-134.
- Milthers, V. 1948: Det danske Istidslandskabs Terrænformer og deres Opståen. *Danm. geol. Unders.*, III, 28, 233 pp.
- Morris, D. A. & Johnson, A. I. 1967: Summary of Hydrologic and Physical Properties of Rock and Soil Materials, as Analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey 1948-60. *Geological Survey Water-supply Paper 1839-D*, 1-42.
- Pissart, A. 1976: Sols a buttes, cercles non tries et sols stries non tries de l'île de Banks (Canada, N.W.T.). *Biuletyn Peryglacjalny*, 26, 275-285.
- Rasmussen, H. W. 1965. Strukturer dannet ved jordflydning, udglidning og issø-tapning i kvartære smeltevandsaflejringer. *Medd. Dansk Geol. Foren.*, 15, 4, 470-485.
- Tsytoich, N. A. 1975: *The mechanics of frozen ground*. McGraw-Hill, New York. 426 pp.
- Vandenbergh, J. & van den Broek, P. 1982. Weichselian convolution phenomena and processes in fine sediments. *Boreas*, 11, 299-315.
- Washburn, A. L. 1979. *Geocryology*. Edward Arnold. 406 pp.