

# Fluviale kanaler fra et stort øvre kretassisk delta ved Pautût, Vestgrønland; sandlegemegeometri og kanalmorfologi

TORBEN OLSEN



Olsen, T.: Fluviale kanaler fra et stort øvre kretassisk delta ved Pautût, Vestgrønland; sandlegemegeometri og kanalmorfologi. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1990-91*, side 13-23, København, 18. november 1992.

Sedimentological investigations have been carried out in the Pautût area on the south coast of Nûgsuaq, central West Greenland. Deltaic sediments from the Upper Cretaceous Atane Formation comprising sand, shale and coal seams are here very well exposed in a series of steep sided gullies. The investigations were focused on an analysis of the sand-body geometry and the fluvial style of the different types of channels.

The use of an advanced photogrammetric system during the investigations enabled the construction of precise vertical sections of the exposures, which are up to 500 m high and 500-2000 m long. These sections formed the basis for the correlation of strata throughout the 8x3 km large area. A number of selected sand-bodies were mapped in a horizontal projection and thus their plan form geometry could be interpreted.

An analysis of the fluvial style of the sand-bodies reveals that two important types occur. The distributary channel sand-bodies were deposited in a low-sinuosity distributary river system. The channels were narrow and deep and bifurcated in a downstream direction. They migrated only little and thus form lenticular shoestring sand-bodies. In contrast the channel mouth complexes form laterally amalgamated sand sheets and are closely related to the top of the delta front sequences. They are interpreted as having been deposited very close to the delta front in a system of many small short lived channels.

The sediments are referred to 4 facies associations. The coarsening-upward delta front association was deposited beneath marine waters during the progradation of a delta lobe. On the sub-aerial delta plain fine grained material and organic matter accumulated to be preserved in the delta plain association. Sand-bodies from the channel association can be found intercalated with the delta plain association or eroded down into the delta front association. After abandonment the delta lobe eventually became transgressed and thus a thin and volumetrically insignificant layer of sand was laid down in the transgressive sand sheet association.

An example of the relationship between crevasse splay sand layers and fluvial channels is discussed. It is indicated that most commonly the crevasse splay sand layers were laid down first and then channelized.

The sedimentological evidence from Pautût suggests that the Atane Formation was deposited in a major fluvial dominated delta which may have been feed from the now ice covered interior of Greenland.

Torben Olsen, Institut for Almen Geologi, Østervoldgade 10, DK-1350 Kbh. K, Danmark. Nuværende adresse: Geologisk Institutt, avd. A, Allégaten 41, 5007 Bergen, Norge. 15. november 1991.

## Introduktion

Geometrien af sandlegemer dannet i fluviale kanaler er blevet undersøgt i et område på ca. 3 gange 8 km beliggende langs sydkysten af Nûgsuaq i det centrale Vestgrønland (fig. 1). Området er kendt som Pautût og består af en række stejle kløfter orienteret tilnærmelsesvist vinkelret på kystlinjen. I disse kløfter er den øvre kretassiske Atane Formation blottet i op til 500 m høje og 500 - 2000 m lange snit. Aflejringerne består af vekslende lag af skifer, sand og kul (fig. 2). Undersøgelserne var specielt koncentreret om en tolkning af den fluviale stil af de kanaler, hvori

sandlegemerne blev afsat. Deltaet, som gav ophav til aflejringerne ved Pautût, kan klassificeres som et bølgepåvirket, fluvialt domineret delta.

Pautûtområdet er specielt interessant, idet deltaiske aflejringer her kan observeres i meget store snit (fig. 2 & 3). For at kunne afslutte undersøgelserne indenfor en enkelt felt sæson blev der gjort stor brug af fotomosaikker samt en nyudviklet fotogrammetrisk metode (se herunder). Dette muliggjorde en udtegnelse af en målefast 2-dimensionel sektion for hver enkelt blotning (ialt 18) samt en horisontal kortlægning af udvalgte sandlegemer.

I denne artikel vil geometrien og den fluviale

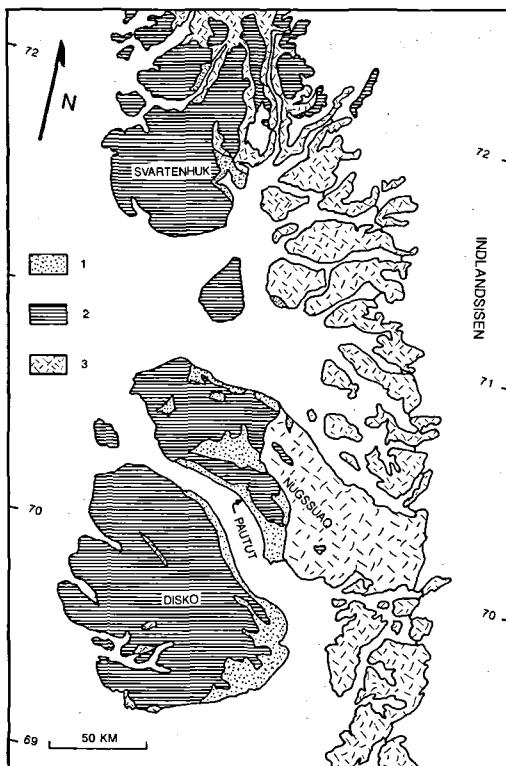


Fig. 1. Forekomsten af sedimenter og vulkaniter på land i det Vestgrønlandske Bassin. 1. Kretassiske sedimenter, 2. Tertiære plateaubasalts, 3. Proterozoisk Grundfjeld. To the east the Inland ice is found.

The occurrence of sediments and volcanics on land within the West Greenland Basin. 1. Cretaceous sediments, 2. Tertiary plateau basalts, 3. Proterozoic basement rocks. To the east the Inland ice is found.

stil af sandlegemerne kort blive diskuteret, og et eksempel på sammenhængen mellem kanaler og »crevasse splay« sandlag vil blive gennemgået. Desuden vil stratigrafien og den geologiske setting af de kretassiske aflejringer blive opsummeret. Undersøgelserne af Pautûtområdet skete som led i et speciale udført ved Københavns Universitet.

### Stratigrafi og geologisk setting

Atane Formationen er aflejret i det Vestgrønlandske bassin. Dette strækker sig på land fra Disko øen i syd til Svartenhuk halvøen i nord (fig. 1) mens det på shelfen kendes fra geofysiske målinger og boreriger (Henderson et al. 1981; Rolle 1985; Chalmers 1989). Sedimentationen i

dette bassin startede senest i Barremian – Aptian og fortsatte til Palæocæn (Koch 1959; Pedersen 1968; Croxton 1978). I Palæocæn og Eocæn blev store dele af bassinet dækket af tykke lag af hyaloklastiter og plateaubasalter (Clarke & Pedersen 1976).

De kretassiske sedimenter ved Pautût har svage hældninger på mellem 3° og 10° og et samlet stratigrafisk interval på 630 m er repræsenteret. Undergrænsen for Atane Formationen er ikke observeret. Den overlejres diskonformt af det palæocæne Quikavsqaq Member af Upper Atanikerdluk Formationen (Heer 1882; Koch 1959). Dette member danner i den centrale del af området et op til 300 m tykt erosivt nedskåret legeme. I den øvrige del af området mangler Quikavsqaq Member. Her overlejres Atane Formationen derfor direkte af tertiære hyaloklastiter (fig. 2).

Atane Formationen blev først omtalt af Nordenskiöld (1871) og mere formelt defineret af Heer (1883). I tillæg blev desuden oprettet en separat Pautût (Patoot) Formation. De rødbrændte skifre (Pautût Formationen), som Heer antog lå ovenpå Atane Formationen, kan i felten ses at være laterale ækvivalenter (se også Steenstrup 1883a). Brændingen er opstået i Pleistocæn tid som et resultat af selvantændelse af de kulførende sedimenter.

Marine fossiler fra Pautût er indsamlet af Steenstrup (1883b), White & Schuchert (1898), Ravn (1918) og Koch (1964). Da fossilerne ofte blev fundet i løse blokke eller dislocerede sekvenser, førte dette til spekulationer om, at marine sedimenter udelukkende var aflejret i en zone centralt i sekvensen (Rosenkranz & Pulvertaft 1969; Henderson et al. 1976). En nærmere undersøgelse af en *in situ* sekvens af brændte skifre viser dog, at forekomsten af marine fossiler er knyttet til den nedre finkornede del af deltafront associationen (Olsen & Pedersen 1991). Dermed er marine forhold blevet etableret i området i forbindelse med aflejringen af hver delta-cyklus.

De fundne fossiler indbefatter muslingerne *Inoceramus (Sphenoceramus) patootensis* (de Loriol) og *Oxytoma (Hypoxytoma) tenuicostata* (Roemer) samt to arter af muddergravende søpindsvin af slægterne *Schizaster* og *Hemiaster*. Forekomsten af fossiler indikerer, at lagserien er aflejret indenfor ca. 1,5 mill. år. Dette tidsrum



Fig. 2. Blotningsgraden i en af kløfterne ved Pautût. Det kontinuære sandlag centralt i billedet er ca. 22 m tykt. Oven på Atane Formationen ses tertiære hyaloklastiter.

The excellent degree of exposure within one of the gullies in the Pautût area. The widespread sand layer in the center of the picture is 22 m thick. Above the Atane Formation Tertiary hyaloclastites can be seen.

kan ifølge Seitz (1965) og A. V. Dhondt (i Olsen & Pedersen 1991) bestemmes til overgangen mellem Santonien og Campanien. Sedimenterne ved Pautût er hverken sedimentologisk eller aldersmæssigt forskellig fra omgivende lokaliteter med Atane Formation og må derfor henregnes hertil (Olsen og Pedersen 1991).

### Fotogrammetri

Undersøgelserne af Pautûtområdet blev i høj grad hjulpet af et nyt, avanceret fotogrammetrisk system udviklet ved Institut for landmåling og fotogrammetri, Danmarks Tekniske Højskole. Systemet bruger 60×60 mm eller 24×36 mm farvedias optaget med geologens eget kamera. (Dueholm 1990; Dueholm & Pedersen 1990). Ved betragtelse af overlappet mellem to billeder taget med forskelligt fotopunkt fremkommer en tredimensionel fornemmelse af blotningen, en stere-

oskopisk model. I et fotogrammetrisk instrument kan der opmåles præcise koordinater for geologiske grænseflader indenfor denne model. På denne basis blev de sedimentære enheder kortlagt (Olsen, i trykken).

I alt 50 60×60 mm fotografier blev brugt under undersøgelserne. Disse blev optaget fra luften mens helikopteren fløj parallelt med blotningen. På basis af fotografierne blev ialt 18 vertikale sektioner i skalaen 1:2000 udtegnet (fig. 3). Disse sektioner kombineret med eksisterende sedimentologiske logs gjorde det muligt at korrelere såvel deltacyklerne som de fluviale sandlegemer indenfor området. Herefter blev en horisontal projektion af området defineret. I denne blev udvalgte sandlegemer kortlagt. Kortlægningen kombineret med undersøgelser af tværsnitsformen samt i få tilfælde den interne opbygning og palæostrømmålinger muliggjorde en udtegnning af de enkelte sandlegemer over strækninger af 2-8 km. På basis heraf kan morfologien af palæokanalerne tolkes.

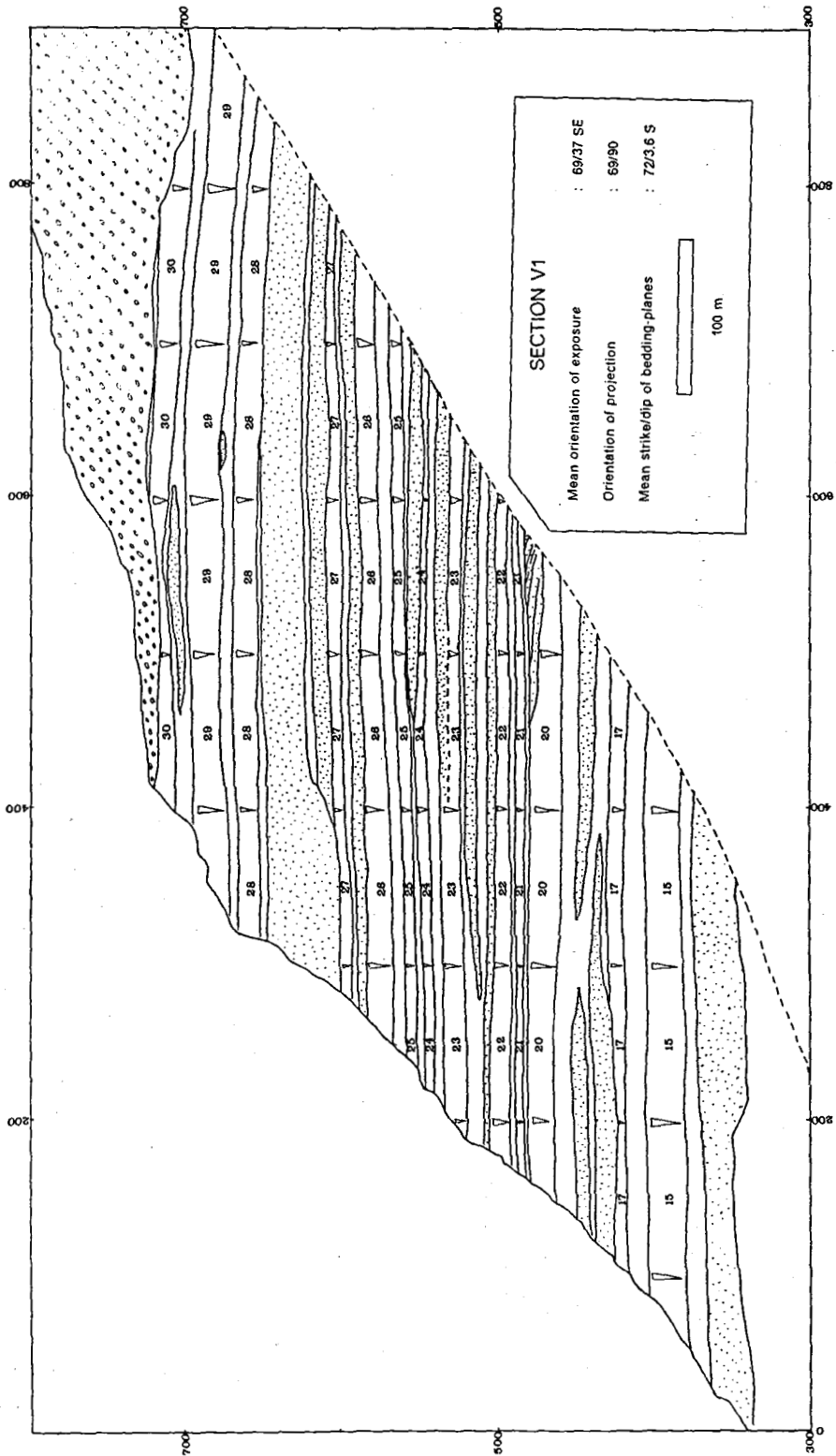


Fig. 3. Målfast to-dimensionelt profil af en fjeldside. Profilet er rentegnet på basis af en fotogrammetrisk opmåling. Sandlegemer er markeret med en prikket signatur mens deltafront sekvenserne er markeret med numre efter deres stratigrafiske position. I de mellemliggende områder (med hvidt) optræder deltaslette aflejringer samt tynde og dårligt blottede deltafront-sequenser.

To-dimensional section of one of the gully sides. The section is based on a photogrammetrical analysis. Sand-bodies are marked by a dotted signature and the coarsening-upward delta front sequences are numbered according to their stratigraphic position. The white areas comprise mainly delta plain deposits and thin and poorly exposed delta front sequences.

## Sandlegemegeometri

De fluviale sandlegemer optræder som 2-30 m tykke isolerede sandlegemer. De sedimentære facies indenfor disse legemer er henført til kanalsociationen, som ialt udgør 33% af lagserien. I bunden af sandlegemerne ses lokale »channel lag« aflejring af spredte ekstrabassinale pebbles, intrabassinale lerknolde samt forkullede tørvemåtter og calcificerede træstammer. Ellers er associationen domineret af dårligt sorteret mellem- og grovkornet kvartssand. De sedimentære strukturer består af en mængde forskellige typer storskala krydslejring af hvilke trugformede og stærkt kileformede sæts dominerer. Ofte indgår disse i op til 8 m tykke kosæts (fig. 4). Synsedimentære deformationsstrukturer er meget hyppige og varierer fra små folder på de enkelte forsæts til meterstore »konvolutions«, linser

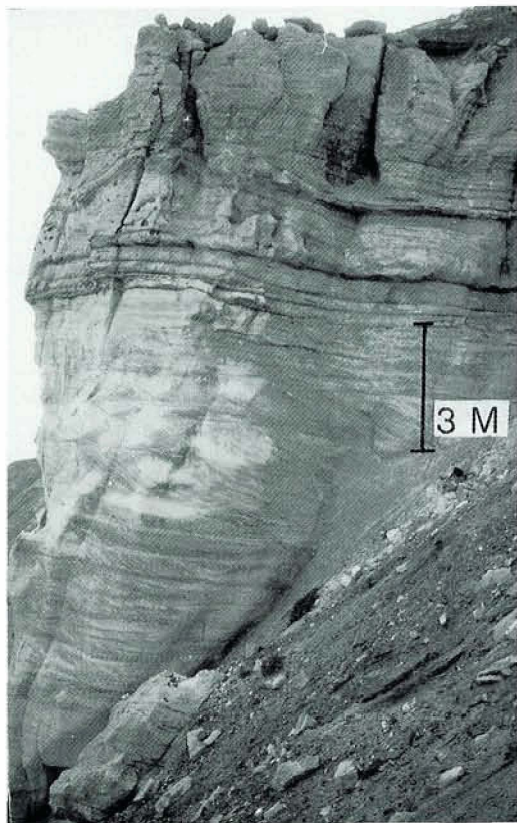


Fig. 4. Et eksempel på de typiske sedimentære strukturer, som kan findes i kanalsandlegemerne. Bemærk det meget tykke kosæt, som udgør hovedparten af legemet.

The fill of one of the sand-bodies. Note the very thick co-set which constitute the main part of the sand-body.

af massivt sand og vandundvigelsesrør. Findelt organisk materiale draperer næsten altid forsættene. I de øverste 0,1 til 2 m af sekvenserne ses en gradvis overgang til finkornede deltaslette sedimenter.

Krydslejringerne og den linseformede geometri af sandlegemerne indicerer en aflejring af strømmende vand i fluviale kanaler. De mange deformationsstrukturer tolkes i lighed med Johannessen og Nielsen (1982) som et resultat af bundforskydningspændingens påvirkning af et sediment med forhøjet porevandstryk. Dette indicerer en hurtig aflejring.

Sandlegemerne kan opdeles i fire typer alt efter hvilken type kanal indenfor deltasystemet, de er aflejret af. Langt de vigtigste er her fordelingskanal sandlegemer og kanaludmundingskomplekser, som tilsammen udgør 98 af de ialt 101 observerede tilfælde.

### Fordelingskanal sandlegemer

Disse er de hyppigste (80%) og er dannet i fordelingskanaler, som løb på deltasletten. Krydslejringerne indenfor disse sandlegemer opbygger større arkitektur elementer, som set i en mindre skala viser en aggradering og nedstrøms tilvækst, mens de set i en større skala indicerer en begrænset lateral migration af fordelingskanalerne.

Fordelingskanal sandlegemerne er dybt nedskårede i deltaslette og deltafront aflejring. Leveaflejring er lave og består af ler og silt. Disse er svære at adskille fra deltaslette sedimenterne, og selv ganske nær ved et fordelingskanal sandlegeme er det derfor svært at se tegn på dets nærhed. Hermed fremgår, at i borekerner mv. vil det være meget svært at forudsige i hvilken retning, der kan findes sådanne sandlegemer indenfor et givet niveau (se også eks. i Midtgaard & Olsen 1989).

Geometrien af fordelingskanalerne kan ud fra opbygningen af sandlegemerne beskrives som smalle og dybe. De var tilpasset en parabolisk form. Kanalerne havde et bredde/dybde forhold på ca. 6. Migrationen af fordelingskanalerne steg med dybden. De resulterende sandlegemer udviser derfor et stigende bredde/tykkelses forhold i forhold til tykkelsen (T). Ved regressionanalyse ses, at bredden (B) af et sandlegeme generelt er bestemt af ligningen:

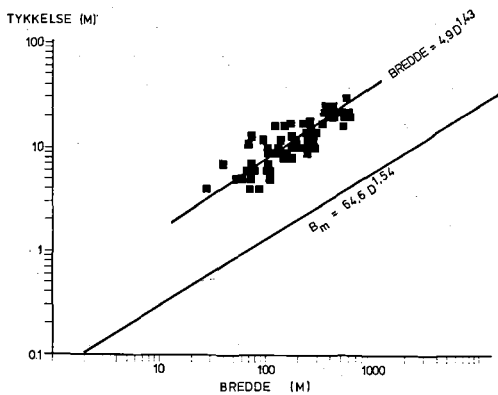


Fig. 5. Plot af bredde/tykkelsesdata for fordelingskanal sandlegemerne. Desuden er indtegnet en linie, som indicerer en teoretisk beregnet bredde af kanalbælte sandlag afsat af mæanderende floder (Collinson 1978). Det ses, at sandlegemerne fra Pautût er næsten en faktor 10 smallere og kan derfor ikke tolkes som mæanderbælte sandlegemer.

A plot of width/thickness data for the distributary channel sandbodies. A line indicating the theoretical width of meanderbelt sand-bodies is also shown (Collinson 1978). It can be seen that the sand-bodies from Pautût are by almost a factor 10 more narrow than meanderbelt deposits of the same thickness. The sand-bodies can therefore not be interpreted as meanderbelt deposits.

$$B = 4,9 T^{1,43} \text{ (fig. 5)}$$

Kanalerne havde en lav sinuøsitet (ca. 1.2) og løb generelt mod nordvest. De delte sig i mindre kanaler i en nedstrøms retning. Ud fra beregninger af vandføringen kan det vises, at dybden af to lige store kanaler dannet ved opdeling af en; kun vil være ca. 23% mindre end dybden af den oprindelige kanal.

Kanalgeometrien samt den deltske setting indicerer, at kanalerne primært transportererede suspenderet materiale. Bundtransporteret materiale, som nu opbygger sandlegemerne, udgjorde formodentlig mindre end 3% af den totale mængde.

Vandføringen kan beregnes for de fluviale kanaler ud fra deres dybde. Beregninger for en af de største fordelingskanaler indicerer, at denne alene havde en bredfyldt afstrømning på  $0,5-1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$  hvilket er ca.  $\frac{1}{2}$  af den »normale« årlige maksimale vandføring igennem hele Mississipp Delta systemet. Den maksimale tykkelse af fordelingskanal sandlegemerne er identisk med dybden af de største fordelingskanaler i Mississipp Deltaet. Atane Deltaet synes på denne

baggrund i størrelse sammenligneligt med de største recente deltaer.

Palæostrømretningerne indenfor Atane Formationen går mod vest og nordvest (Olsen 1991b). Oplandet for Atane deltaet er derfor sandsynligvis det centrale Grønland, som idag er dækket af indlandisen (Koch 1964; Olsen 1991b).

### Kanaludmundings komplekser

Disse udgør ca. 20% af de observerede sandlegemer og er tæt associerede med toppen af deltafront sekvenserne. Sandlegemerne er vidtstrakte (km) og blev dannet nær fordelingskanalernes udløb til bassinet. De er opbygget af mange mindre amalgamerede kanalfyld. Kanaler ved deltafronten havde formodentlig en ganske kort eksistensid.

Palæostrømmålinger viser, at sammenlignet med fordelingskanalerne havde kanalerne i disse komplekser et mere divergerende forløb. I forhold til det recente Mississipp Delta var kanaludmundings komplekserne væsentlig mindre. Til gengæld var de mere jævnt fordelt langs deltafronten.

### Øvrige typer

To andre typer fluviale sandlegemer er observeret; afvandingskanalfyld og hovedkanalfyld. Beskrivelsen af disse hviler dog på et spinkelt datagrundlag.

Afvandingskanalfyld er mindre, stærkt heterolitiske, linseformede legemer. Epsilon krydslejringer er et gennemgående fænomen. De meget finkornede fyld synes at indicere, at disse legemer blev dannet i kanaler uden direkte forbindelse til fordelingskanalsystemet. Kanalerne må derfor være dannet enten i forbindelse med et selvstændigt dæneringssystem på deltasletten eller som udløb fra større lavvandede søer.

Et meget tykt sandlegeme nær toppen af formationen synes ikke at kunne tolkes som et fordelingskanalsandlegeme eller som et resultat af amalgamering af sådanne. På baggrund af datamaterialet kan det ikke afgøres, om dette sandlegeme er dannet på grund af gennemgående ændringer i aflejringsystemet. Sandlegemet består af en relativ smal, central, op til 40 m tyk zone, hvorfra tykkelsen gradvist aftager udefter. Dette skal her tentativt tolkes som et resultat af en

forlægning af deltaets hovedkanal udover denne del af deltaet.

## Faciesassosiationer

I Pautût er blottet aflejringer fra 32 næsten identiske deltacykler. Sedimenterne indenfor hver cyklus kan udover kanal assosiationen henføres til 3 genetiske faciesassosiationer. Tilsammen opbygger disse en komplet deltacyklus, som er et resultat af progradering, aggradering og transgression af en deltalobe.

### Deltafront assosiationen

Denne assosiation danner 5-20 m tykke grovende-opad (CU) sekvenser. Tykkelsen og opbygningen af de enkelte sekvenser udviser ikke signifikante variationer indenfor området og blev derfor brugt til korrelation af deltacyklerne. Assosiationen udgør 33% af den samlede lagserie.

Den nedre del domineres af sort og mørkegråt ler og silt med en svag og uregelmæssig spaltelighed. Det er indenfor dette interval, at marine fossiler er rapporteret (Olsen & Pedersen 1991). I den øvre del stiger indholdet af sand, og mod toppen ses næsten rent, meget fint og fint sand med bølgelamination. I enkelte tilfælde består toppen af lamineret sand med svagt hældende (< 5°) erosionsflader og med få interkalerede storskala krydslejring. I de fleste tilfælde udgøres toppen af assosiationen dog af fint sand med unidirektionel småskala ribbelamination.

De sedimentære strukturer indenfor assosiation kan tolkes som et resultat af gradvist mindre og mindre vanddybde og dermed stigende bølgepåvirkning. Toppen af assosiationen er aflejret enten tæt på selve strandlinien (beach lamination) eller som crevasse splay aflejringer.

### Deltaslette assosiationen

Denne varierer i tykkelse fra 0,5 til 15 m og er karakteriseret af hyppigt vekslende lag af sand, silt og kul. Et typisk kendetegn er de generelt dårligt udviklede og udviskede sedimentære strukturer. Assosiationen udgør 33% af lagserien.

Småskala krydslejret sand med enkelte storskala strukturer opbygger vidtstrakte (km) cre-

vasse splay sandlag. Indenfor de tykkere sandlag (op til 2 m) ses normalt altid mere finkornede intervaller, der vidner om ophold og variationer i sedimentationen. Lagene har ofte en undulende undergrænse, som viser, at de blev aflejret på et blødt, vandmættet underlag.

Kullag forekommer hyppigt og udgør ofte toppen af assosiationen. Lagene er 0,1 til 3 m tykke og udgør ialt 6% af aflejringerne. Der forekommer opretstående træstubbe og under lagene ses enkelte rødder. Kullagene tolkes som et resultat af *in situ* vækst, akkumulation og forkulning af organisk materiale. Kullagene ved Pautût udgør en stor sub-økonomisk forekomst (Shekhar et al. 1982).

Sedimenterne i assosiationen er aflejret på en generelt subaerisk deltaslette. Under oversvømmelser og i søer og sumpe blev ler og silt akkumuleret. Ved flodsituationer og under løbsforlæggelse blev sand aflejret som vidtstrakte crevasse splay sandlag udover deltasletten. I tørvesumpe uden klastisk aflejring blev store mængder organisk materiale akkumuleret.

### Transgressionsassosiationen

Denne assosiation afslutter sedimentationen indenfor hver deltacyklus. Mængdemæssigt er den af underordnet betydning og udgør kun ca. 1% af lagserien. Assosiationen er opbygget af et 0-100 cm tykt hurtigt opad-finende lag af sand og silt. Undergrænsen er skarp og erosiv, mens overgrænsen viser en gradvis overgang til deltafront assosiationen. De sedimentære strukturer udgøres af horisontalt til svagt bølget lamination ofte med mange plantefragmenter. I enkelte tilfælde optræder der desuden enkelte bølgegenerede småskala krydslejring. Der er ikke observeret nogen form for bioturbation i assosiationen.

Assosiationen er dannet ved oparbejdning og omlejring af deltaslette- og kanalassosiationerne under en marin transgression indover en forladt deltalobe. Den opad-finende tendens reflekterer omlejring i gradvis dybere og dybere vand. På dybder under bølgebasis er omlejringen ophørt.

## Deltaslettesedimentation

I aggraderingsfasen foregik sedimentationen på en stor subaerisk deltaslette. Herunder blev aflej-

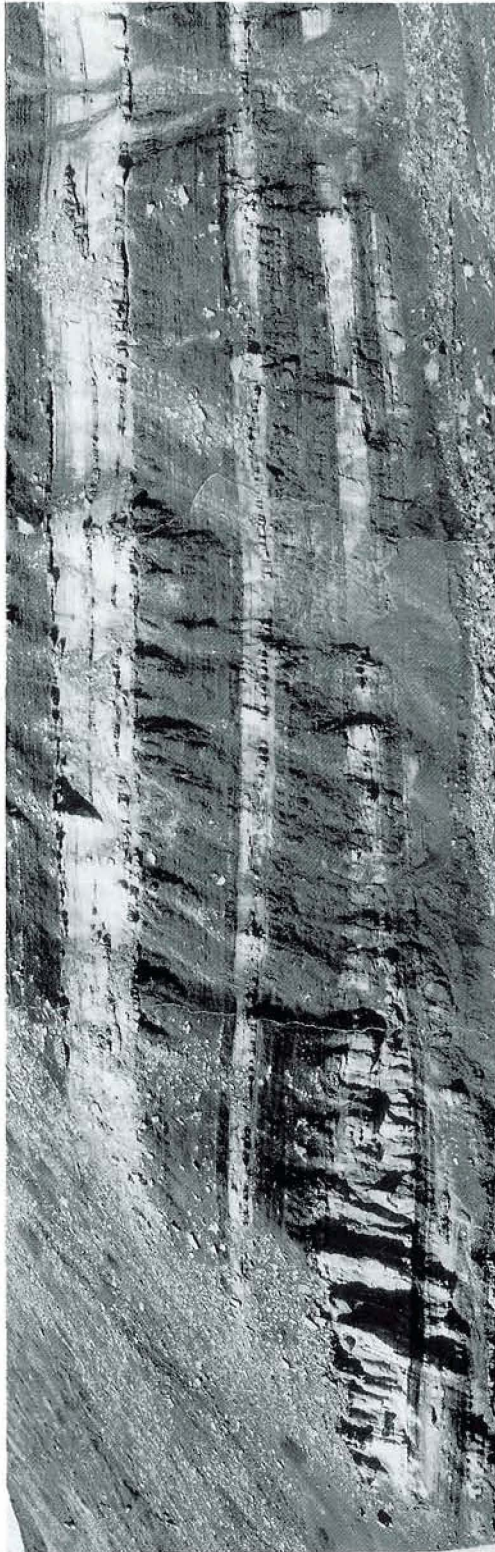
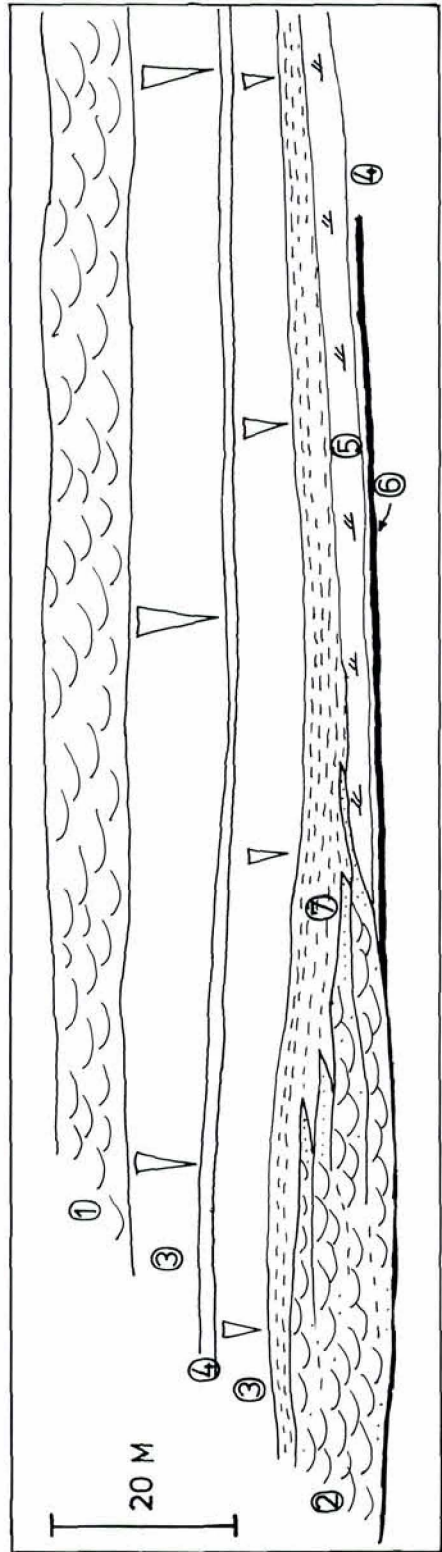


Fig. 6. Et 10 m tykt fordelingskanal sandlegeme (2), der lateralt går over i et ca. 3 tykt crevasse splay sandlag (5). Bemærk kullaget under enhederne (6). Der ses en svagt hældende erosionsflade på overgangen imellem de to enheder. Herover bemærkes en fortykkelse af skiferintervallet hvilket skyldes opbygningen af en mudderdomineret levee (7). Derefter følger så to grovende-opad sekvenser (3) adskilt af deltaslette sedimenter (4). Den øverste sekvens er erosivt overlejret af et kanaludmundningskompleks (1).



A 10 m thick distributary channel sand-body (2) which laterally can be followed into a 3 m thick crevasse splay sand layer (5). Note the coal seam below the units (6). An erosion surface occur between the two units and above this some thickening of the shaly interval can be seen. This is due to the development of a muddominated levee (7). These deposits are succeeded by two coarsening-upward sequences (3) separated by a thin interval of delta plain sediments (4). The uppermost sequence is truncated by a channel mouth complex (1).



ret sand i fordelingskanaler samt i crevasse splay sandlag. Ifølge traditionel anskuelse er crevasse splay sandlag aflejret i umiddelbar nærhed af en allerede etableret kanal (eks. Collinson 1986). Undersøgelser af recente aflejningsmiljøer viser imidlertid, at meget store områder af alluvial- eller deltasletten dækkes med crevasse splay sandlag i forbindelse med etableringen af nye kanalbælter (Smith et al. 1989). Sedimenterne ved Pautût viser gode eksempler på, at crevasse splay sandlag er blevet aflejret, før der etableres fluviale kanaler i området. Udviklingen fra ukanaliseret til kanaliseret strømning kan ligeledes begrundes teoretisk (Olsen 1991a). Til at belyse dette er derfor udvalgt et eksempel, hvor et 10 m tykt fordelingskanal sandlegeme lateralt går over i et 3 m tykt crevasse splay sandlag (fig. 6).

Crevasse splay sandlaget består af ondulerende lag af horisontalt lamineret og utydelig småskala ribbelamination ofte med enkelte størkskala trugkrydslejninger. Laget er opdelt i en række bænke adskilt af tynde intervaller med silt og findelt organisk materiale.

Den blottede del af sandlegemet består derimod af krydslejret mellem- til grovkornet sand. I bunden af legemet ses enkelte calcificerede træstammer, men ellers mangler der tydelige tegn på noget egentligt »channel lag«. Opmålte strømretninger indicerer, at transportretningen i palæokanalen gik tilnærmelsesvist direkte ind i blotningen. I de øverste få meter kan der observeres en uregelmæssig aftagen i kornstørrelsen, og der begynder at optræde lag af mørk silt. Disse siltlag går mod højre i blotningen over i rene finkornede lag og må derfor tolkes som epsilon krydslejninger (fig. 6). Siltlagene markerer aflejring under relativt stille faser og har formodentlig strakt sig næsten helt ned til bunden af kanalen. Under stigende vandføring er de nedre dele blevet eroderet væk og erstattet af erosionsflader internt i sandet. Disse er ikke genkendelige på afstand.

Under crevasse splay sandlaget forekommer først et ca. 1 m tykt skiferlag og dernæst et ca. 75 cm tykt kullag. Under sandlegemet er skiferen og en del af kullaget derimod eroderet bort. Idet kullagene er kompakteret med ca. en faktor 10, betyder dette, at der er sket en større kompaktion under crevasse splay sandlaget end under kanalsandlegemet. Hvis der kompenseres for dette, vil toppen af de to enheder på aflejnings-

tidspunktet have ligget i nogenlunde samme niveau.

Spørgsmålet er så, hvilken enhed der blev aflejret først. En nøjere analyse af lokaliteten viser, at kanalsandlegemet er adskilt fra crevasse splay sandlaget af en erosionsflade. Denne hælder ind mod kanalen og dermed må kanalsandlegemet være det yngste. For at forklare dette skal der her argumenteres for en model for tolkningen af crevasse splay sandlag vekslede med kanalfyld. Denne model er primært baseret på observationer af en avulsion af Saskatchewanfloden i Canada (Smith et al. 1989) samt på beregninger af vandføring og bundforskydningsspænding i fluviale kanaler (Olsen 1991a).

Under stigende vandføring vil vandstanden i en kanal stige, indtil den har nået toppen af leveerne. Herefter oversvømmes de omgivende lavereliggende områder. Dette resulterer i aflejringen af silt og lerlag over det meste af alluvial- eller deltasletten. Nær kanalen vil grovere kornstørrelser aflejres og bidrage på denne måde til at opbygge leveerne. Der kan under oversvømmelsen eroderes mere eller mindre dybe huller i leveerne. Disse kaldes crevasser. En crevasse vil virke som en tragt hvor igennem sedimentholdigt vand fosser ud. På den anden side af leveen aftager strømhastigheden og mister hurtigt transportevnen, hvilket resulterer i en meget hurtig aflejring af en flad sandkegle foran crevasen; et crevasse splay sandlag. Såfremt strømningen gennem crevasen opretholdes, vil der ske en udjævning af gradienterne på keglen. Dette betyder, at der i den øvre relativt stejle del af keglen vil ske en kanaliseret erosion, mens fronten af splayet stadig er præget af »sheet flow« og hurtig sedimentation. Under fortsat progradering vil zonen med kanaliseret strømning brede sig væk fra crevasen. I den distale del initieres mange små kanaler, men efterhånden som splayet prograderer, fyldes disse op som et resultat af den faldende gradient. Ved beregning kan det vises, at strømningen dermed må koncentreres i færre men dybere kanaler (Olsen 1991a).

Hvis gradienten fra hovedkanalen og ud på delta- eller alluvialsletten er stor, og vandet samtidigt effektivt kan ledes væk fra det pågældende område, vil der ske en omlægning af systemet således, at vandføringen i hovedkanalen efterhånden vil ledes ud gennem crevasen. Der er derved sket en løbsforlæggelse. Meget store dele

af delta- eller alluvialsletten vil derved blive dækket af et komplekst system af crevasse splay sandlag og mere eller mindre permanente kanaler (se beskrivelse i Smith et al. 1989).

Langt de færreste leveegennembrud leder dog til en løbsforlæggelse, og crevasse splayet bliver forladt under faldende vandføring. Nye flodepisoder kan genoplive det, men ellers vil der ske en genopbygning af leveerne, og splayet vil nu langsomt blive indkapslet i finkornede deltaslette sedimenter. Eftersom crevasse splay sandlag ikke vil aflejres på toppen af leveen, vil således kun de allerfærreste snit vise splay, som er dannet ved gennembrud af leveerne til et blottet kanalfyld.

Konklusionen er altså, at langt de fleste niveauer med crevasse splay sandlag og kanalfyld er aflejret som et resultat af først ukanaliseret strømning med hurtig aflejring af sand og dernæst kanaliseret strømning med senere opfyldning af kanalerne.

## Konklusion

Aflejringer fra den øvre kretassiske Atane Formation er blevet sedimentologisk undersøgt ved Pautût. Udfra dette kan det konkluderes:

1. Sedimenterne opbygger 10–30 m tykke deltacykler. Den observerede lagserie er opbygget af aflejringer fra 32 deltacykler med en samlet stratigrafisk tykkelse på 630 m. Den er aflejret indenfor en periode på ca. 1,5 mill. år på overgangen mellem Santonien og Campanien. Stablingen af næsten identiske deltacykler er en funktion af, at de faktorer, som styrede sedimentationsdynamikken, ikke udviste signifikante ændringer indenfor dette tidsrum.

2. Sedimenterne kan opdeles i faciesassociationer, som afspejler aflejring i 4 submiljøer indenfor et deltasystem. Fund af fossiler viser, at marine forhold herskede i området under aflejringen af deltafront sekvenserne.

3. Opbygningen af niveauer med crevasse splay sandlag og fluviale kanaler viser, at ved leveegennembrud blev der først af ukanaliseret strømning aflejret crevasse splay sandlag. Ved fortsat strømning gennem crevasse evt. i forbindelse med en løbsforlæggelse vil kanaliseret strømning erodere mere eller mindre permanente kanaler ned i crevasse splay sandlaget og de underliggende sedimenter.

4. En analyse af den fluviale stil for de forskellige typer sandlegemer viser, at de enten er dannet i vidtstrakte, lateralt amalgamerede komplekser nær ved deltafronten eller som indfyldninger af smalle, dybe fordelingskanaler. Disse kanaler delte sig op i nedstrøms retning og migrerede ikke eller kun ganske lidt. Der ses en stigende tendens til migrering med stigende dybde. Kanalerne var lav-sinuøse, men transporterede primært suspenderede materiale. Leveerne var lave og mudderdominerede.

5. Deltaet, som sedimenterne ved Pautût blev aflejret i, var meget stort og afvandede formodentlig det centrale Grønland.

## Tak

Nærværende artikel bygger på en specieleafhandling fra 1991 udarbejdet under vejledning af Gunver Krarup Pedersen og Lars Clemmensen. Grønlands Geologiske Undersøgelse financierede feltarbejdet. G.K. Pedersen og T. Rasmussen læste tidligere udkast.

## Litteratur

- Chalmers, J. A. 1989: A pilot seismo-stratigraphic study on the West Greenland continental shelf. *Grønlands geol. Unders. Rap.* 142, 16 s.
- Clarke, D. B. & Pedersen, A. K. 1976: Tertiary volcanic province of West Greenland. In Escher, A. & Watt, W.S. (eds): *Geology of Greenland, Grønlands geol. Unders.*, Copenhagen. 368–385.
- Collinson, J. D. 1978: Vertical sequences and sand body shape in alluvial sequences. In Miall, A. D. (Edit.): *Fluvial Sedimentology. Can. Soc. Petrol. Geol., Mem.* 5, 577–585.
- Collinson, J. D. 1986: *Alluvial sediments. I: Reading, H. G.: Sedimentary facies and environments.* Blackwell. Oxford. 20–62.
- Croxton, C. A. 1978: Report on field work undertaken between 69° and 72°N, central West Greenland in 1977 with some preliminary results. *Raport Grønlands geol. Unders.*, 19 pp.
- Dueholm, K. S. 1990: Multi-model stereo restitution. *Photogrammetric Engineering and remote sensing* 56, 239–242.
- Dueholm, K. S. & Pedersen, A. K. 1990: Multi-model photogrammetry applied to arctic terrains using colour slides from Greenland. *Proc. 3rd Int. Conf. Developments and Commercial Utilisation of technologies in Polar Regions, Copenhagen, Denmark 1990*, 151–160.
- Ehman, D. A., Sodero, D. E. & Wise, J. C. 1976: *Report on ARCO and Chevron groups 1975 West Greenland field party.* ARCO Greenland Inc., 84 s.
- Heer, O., 1882: *Flora Fossilis Arctica* vol. 6: *Flora Fossilis Groenlandica I.* Zurich 1882.
- Heer, O., 1883: Oversigt over Grønlands fossile Flora. *Meddr Grønland* 5, 79–202.

- Henderson, G., Rosenkrantz, A. & Schiener, E. J. 1976: Cretaceous – Tertiary rocks of West Greenland. In Escher, A. & Watt, W.S. (eds): *Geology of Greenland, Grønlands geol. Unders.*, Copenhagen. 340–363.
- Johannessen, P. N. & Nielsen L. H. 1982: Aflejringer fra flettede floder; Atane Formationen, Øvre Kridt, Pingo, Øst Disko. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1981*, 13–27.
- Koch, B. E., 1959: Contribution to the stratigraphy of the non-marine Tertiary deposits. *Meddr Grønland* 162, Nr 1, 100 s.
- Koch, B. E. 1964: Review of fossil floras and non marine deposits of West Greenland. *Bull. geol. Soc. Am.* 75. 535–548.
- Midtgaard, H. & Olsen, T. 1989: Sedimentological studies in the Upper Cretaceous coal bearing strata of southern Nûgssuaq, central West Greenland. *Grønlands geol. Unders. Rap.* 145, 32–37.
- Nordenskiöld, A. E. 1871: Redogörelse för en expedition till Grönland år 1870. *K. Vet.-Akad. Förh. Stockholm* 1870, No. 10, 973–1082.
- Olsen, T. 1990: Geometry of fluvial sand bodies from the Atane Formation, Pautut, West Greenland. *Abstr. 13th int. Sed. Congress*, Nottingham, 404–405.
- Olsen, T. 1991a: *Fluviale distributarie kanaler fra Atane Formationen, Pautût, Nûgssuaq, Vestgrønland: Sandlegemegeometri og kanal morfologi*. Upubliceret kandidatspeciale. Københavns Universitet. 201 s.
- Olsen, T. 1991b: Large fluvial sand-bodies from the Atane Formation, Pautût, central West Greenland: Evidence of a major Upper Cretaceous delta. *Abstr. 12th IAS reg. Mtg. Bergen* 1991. 41.
- Olsen, T. (i trykken): Photogrammetric mapping of distributary channel sandbodies in the Atane Formation at Pautût, Nûgssuaq, central West Greenland. *Grønlands geol. Unders. Rap.*
- Olsen, T. & Pedersen, G. K. 1991: The occurrence of marine fossils in the Upper Cretaceous deltaic sediments at Pautût, central West Greenland. *Bull. Geol. Soc. Denmark.*
- Pedersen, K. R. 1988: Angiospermous leaves from the Lower Cretaceous Kome Formation of northern West Greenland. *Rapport Grønlands geol. Unders.*, 15, 17–18.
- Ravn, J. P. J. 1918: De marine Kridtaflejringer i Vest-Grønland og deres Fauna. *Meddr. Grønland*, 56, 313–366.
- Rolle, F. 1985: Late Cretaceous-Tertiary sediments offshore central West Greenland: lithostratigraphy, sedimentary evolution and petroleum potential. *Can. J. Earth Sci.*, 22, 1001–1019.
- Rosenkrantz, A. & Pulvertaft, T.C.R. 1969: *Cretaceous – Tertiary stratigraphy and tectonics in northern West Greenland. Mem. Am. Ass. Petrol. Geol.* 12, 883–898.
- Seitz, O 1965: Die Inoceramen des Santon und Unter-Campan von Nordwestdeutschland. II. Teil. *Beihefte zum Geologischen Jahrbuch* 69. Hannover, 1–193.
- Shekhar, S. C., Frandsen, N. & Thomsen, E. 1982: *Coal on Nûgssuaq, West Greenland. Grønlands geol. Unders. Copenhagen.* 82 s.
- Smith, N. D., Cross, T. A., Dufficy, J. P. & Clough, S.R. 1989: Anatomy of an avulsion. *Sedimentology* 36, 1–23.
- Steenstrup, K. J. V. 1883a: Et par bemærkninger til Professor Heers afhandling i dette hefte. *Meddr Grønland* 5, 215–216.
- Steenstrup, K. J. V. 1883b: Om forekomsten af af Forsteninger i de kulførende Dannelser i Nord-grønland. *Meddr Grønland* 5, 43–77.
- White, D. & Schuchert, C. 1898: Cretaceous series of the west coast of Greenland. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 9, 343–368.