

# Overkippede krydslejringer: En penecontemporær deformationsstruktur fra smeltevandsaflejringer i Durup grusgrav, Nordjylland

LARS HAMBERG & HENRIK TIRSGAARD.



Hamberg, L. & Tirsgaard, H.: Overkippede krydslejringer: En penecontemporær deformationsstruktur fra smeltevandsaflejringer i Durup grusgrav, Nordjylland. *Dansk Geol. Foren., Årsskrift for 1986*, side 27-34, København, 1. juni 1987.

In a gravel pit in Northern Jutland, Quaternary braided river deposits have revealed two sets of very well-exposed recumbent cross-bedding. From the deformed shape of the cross-bedding it has been possible to reconstruct the original shapes of the foresets, by using a linear shear profile for the upper set and a shear profile in which displacement varies as the square of the height, for the lower set. It was not possible to obtain satisfactory foreset shapes by using only a single type of shear profile. It is suggested by the shape of the original sigmoidal- and concave foresets and the surrounding sedimentary structures, that both sets, prior to deformation were produced near the transition from dune to upper-stage planebed.

Deformation of the cross-bedding was a result of fluctuating discharge, which led to erosion of the cross side of dunes, creating a heavy sediment-laden current, which when overpassing the bedform, deformed the internal stratification, into recumbent cross-bedding. As a result of turbulence and possible dilution at the front of the bedform, the current lost its strength and deposited rapidly most of its sedimentary load, producing massive sand.

Fluctuation discharge might at the same time have created an abnormally high porewater pressure in the sediment, thus at a "critical" moment making the bedforms more liable to deformation.

The sedimentological data, and previous work on deformed cross-bedding, leads to the suggestion that recumbent cross-bedding is a good indicator of the hydrodynamic features, which may characterize low-sinuosity streams and tidal channel environments.

Lars Hamberg & Henrik Tirsgaard, Institut for Almen Geologi, Københavns Universitet, Øster Voldgade 10, 1350 København K. 15. januar 1987.

## Indledning

Overkippede krydslejringer (recumbent cross-bedding) er beskrevet fra talrige sedimentter af alle aldre. Langt de fleste iagttagelser stammer fra fluviale aflejringer (McKee, 1938; Robson, 1956; Stewart, 1961; Jones, 1962; Rust, 1968; Coleman, 1969; McCormick & Picard, 1969; Selley, 1969; Banks et al. 1971; Selley, 1972; Hobday, 1974; Mrakovich & Coogan, 1974; Hendry & Stauffer, 1975; Edwards, 1976; Haczewski, 1976; Miall, 1976; Hodgson, 1978; Long, 1978; Turner, 1981; Johannessen & Nielsen, 1982; Røe, 1987). Fra tidevandssekvenser har Singh (1969), Selley (1972) og Anderton (1976) beskrevet overkippede krydslejringer.

Som deformerende kraft er blevet foreslået strømmende, stærkt sedimentladet vand, henover vandmættet sediment (Robson, 1956; Ste-

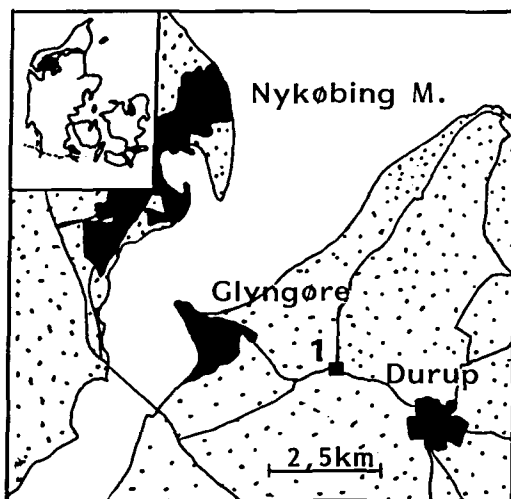


Fig. 1. Lokaltetskort, med placering af Durup grusgrav (1).

Location map of Durup gravel pit (1).

wart, 1961; McKee et al., 1962; Rust, 1968; Coleman, 1969; Singh, 1969; Banks et al., 1971; Hendry & Stauffer, 1975; Hodgson, 1978). Allen & Banks (1972) og Allen (1982) mener ud fra teoretiske beregninger at kunne eftervise, at sedimentet nødvendigvis må være likveficeret under deformationen og at strømmende vand under disse forhold, alene vil kunne forårsage deformationen.

På trods af mange beskrevne eksempler har de fleste forfattere alene koncentreret sig om sedimentets beskaffenhed under deformationen og den deformerende krafts karakter. Ingen har indtil nu beskæftiget sig mere indgående med de informationer, de omkringliggende lag og de deformerede strukturer kan give.

Intentionen med denne artikel er at give en nærmere sedimentologisk analyse af overkippede krydslejninger i smeltevandssedimenter i Durup grusgrav (fig. 1). Det vises, at deformationen er tæt associeret med aflejring af massivt sand afsat af stærkt sedimentladet vand, og at strukturerne er dannet på grænsen mellem nedre og øvre flowregime. Det foreslås endvidere, at overkippede krydslejninger er en god indikator for de hydrodynamiske forhold, der karakteriserer lavsinuøse floder og tidale kanaler.

Strukturerne, der ligger til grund for denne artikel, findes i Durup grusgrav, beliggende mellem Durup og Glyngøre, syd for Fur i Nordjylland (fig. 1). Grusgraven udgøres af kvartære smeltevandsaflejninger, med indlejrede tills.

## Deformations-strukturer

### Sedimentære Facies

Tre facies kan adskilles i det undersøgte profil i Durup; 1. Horisontal lamination (Sh), 2. Storskala trugkrydslejring (St), og 3. Massivt sand (Sm).

*Horisontal lamination (Sh)*: Denne facies er dominerende i den undersøgte del af grusgraven. Den både over- og underlejrer de deformerede krydslejninger (fig. 2). Kornstørrelsen varierer fra mellemkornet sand til grus med spredte sten. Et enkelt sted går den horisontale lamination lateralt over i massivt sand (Sm) (fig. 2, midt). Sedimentet er aflejret som planbund i øvre flowregime (Miall, 1977).

*Storskala trugkrydslejring (St)*: Kun to sæt er iagttaget, begge deformeret til overkippede krydslejninger. Kornstørrelsen varierer fra mellemkornet- til groft sand og grus med enkelte sten. Det nederste sæt er ca 80 cm højt og mindst 5 m langt. Undergrænsen er trugformet og erosiv (fig. 2). Forsæt var inden deformationen stærkt konkave (se afsnit om kinematik og fig. 3 & 4). Den øverste del af sættet er borteroderet.

Det øvre sæt er aflejret på en erosionsflade og er kun ca 40 cm højt og 4 m langt (fig. 2). De oprindeligt sigmoidale forsæt (se afsnit om kinematik og fig. 3 e,f) er stærkt deformerede, mens topsæt er velbevarede. Sættet overlejres svagt erosivt af facies Sh og Sm.

Konkave og sigmoidale forsæt dannes når strømningshastigheden, dybde-ratio (Joplin, 1965) og mængden af materiale i suspension, alle er store (Joplin 1965, 1966). Saunderson & Lockett (1983) har eksperimentelt vist, at sigmoidale forsæt dannes på grænsen mellem nedre og øvre flowregime. Typisk dannes en bundform, hvis interne struktur består af sigmoidale forsæt og velbevarede, tilnærmelsesvis horisontale topsæt. Ligheden mellem det øvre sæt fra Durup (fig. 2) og de bundformer, Saunderson & Lockett (1983) skabte eksperimentelt, sandsynliggør, at de oprindeligt sigmoidale forsæt blev skabt på grænsen mellem nedre og øvre flowregime.

Argumentet forstærkes yderligere af, at planbund er den dominerende bundform associeret med de trugkrydslejrings sæt i Durup, og at den sigmoidale krydslejring kun svagt erosivt overlejres af facies Sh.

Røe (1987) har beskrevet lignende strukturer, associeret med overkippede krydslejninger og tolker dem som værende dannet på grænsen mellem nedre og øvre flowregime.

*Massivt sand (Sm)*: Består af stukturløst, mellem- til grovkornet sand, grus og spredte sten. Facies Sm repræsenteres ved et ca 70 cm tykt og delvist linseformet legeme. Den overlejrer svagt erosivt facies St og overlejres erosivt af facies Sh (fig. 2).

Rust (1968) og Johannessen og Nielsen (1982) har beskrevet massive sandsten associeret med overkippede krydslejninger og mener, der er tale om aflejninger fra stærkt sedimentladede strømme, aflejret som følge af et pludseligt energitab. Den gradvise, laterale overgang fra udeformeret horisontal lamination til massivt sand i pro-

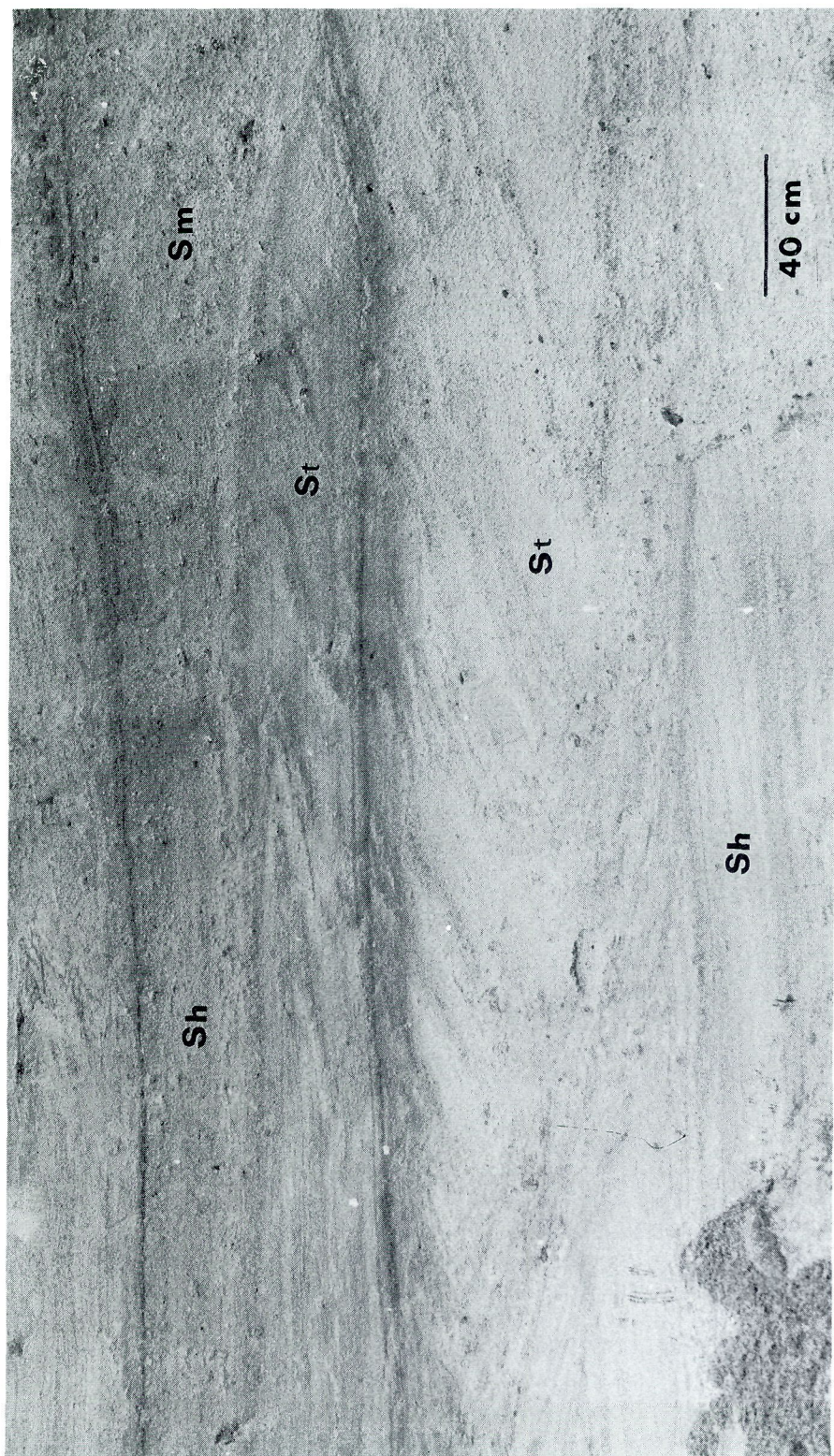


Fig. 2. Nærbillede af de to sæt overklippede krydslejringer fra Durup grusgrav. Folderne i det øverste sæt er tydeligt Z-formede, mens folderne i det nederste sæt er tydeligt U-formede. Bemærk de nedre konkave grænser og det øvre sæts veludviklede topset. Palæostrømretningen er fra venstre mod højre, fra NNØ mod SSV, nøjagtig som deformationsretningen.  
 Sh: Horisontal lamination. St: Storskala trugkrydslejrning. Sm: Massivt sand.

Close-up of the two sets of recumbent cross-bedding from Durup gravel pit. The folds in the upper set are clearly Z-shaped, while the folds in the lower set are clearly U-shaped. Notice the lower, concave contacts and the well-developed topsets in the upper set. Paleocurrent direction is from left to right, from NNE to SSW, and so is the direction of deformation.  
 Sh: Horizontal lamination. St: Largescale trough cross-bedding. Sm: Massive sand.

filet (fig. 2) støtter denne teori. En meget pludselig aflejring vil ligeledes kunne forklare tilstedeværelsen af spredte sten gennem hele bænken.

Glaciofluviale sedimenter er typisk aflejret af lav-sinuøse, flettede floder (Edwards, 1978) og dette, sammenholdt med sedimenternes grovkornede karakter, de tilstedeværende facies og forsættenes oprindelige form, gør det rimeligt at tolke aflejringerne i Durup grusgrav, som værende afsat af lav-sinuøse flettede smeltevandsfloder.

De tilstedeværende facies i Durup tyder meget på, at dannelsen af de overkippede krydslejringer er sket under strømningsforhold svarende til grænsen mellem nedre og øvre flowregime, i en lav-sinuøs, smeltevandsflod.

### Geometri

De deformerede lag, der oprindeligt bestod af to sæt trugkrydslejringer med konkave (nedre sæt) og sigmoidale (øvre sæt) forsæt, ses nu som intraformationelle folder, eller overkippede krydslejringer, omgivet af horisontal lamination og massivt sand (fig. 2). Palæostrømretningen har været mod SSV, parallelt med profilsnittet (fig. 2). Deformationsretningen har været fra NNØ mod SSV, altså svarende til den oprindelige strømningretning.

Deformationen er lokaliseret til et enkelt stratigrafisk niveau, men til to på hinanden følgende lag, hvert repræsenterende et trugkrydslejringsæt. Det nedre sæt er ca 80 cm. tykt, det øvre ca 40 cm. Deformationen har påvirket sætterne, gennem næsten hele deres mægtighed, kun de nederste centimeter i hvert sæt er ikke blevet deformeret (fig. 2).

Forsæt-laminæene ses efter deformationen som liggende folder, nøje afgrænset indenfor den oprindelige krydslejrings sætgrænser. Folden i det nedre sæt har U-form, en liggende synklinal med åbningen mod SSV (fig. 2). Folden i det øvre sæt er Z-formet, med en antyklinal i den øverste del med åbning mod NNØ og en synklinal nederst, der har åbning mod SSV (fig. 2). Det øvre sæt ses kraftigst deformeret nedstrøms og er næsten udvisket. De nedre flanker har for begge eksemplers vedkommende udpræget konkave kontakter til det underliggende sandlag.

Ved en vandret orientering og en manglende deformation af horisontale strukturer, indicerer folderne en generel horisontal translation af de

enkelte elementer. De modsvarer derved fuldt ud similarfolder, dannet ved simpelt shear.

De overkippede krydslejringer i Durup grusgrav må betegnes som penecontemporære i forhold til stratifikationsdannelsen. Dette begrundes ved yngre sedimenters erosive afskæring af deformationsstrukturene, hvilket også er blevet konkluderet for tilsvarende strukturer af bl.a. Allen & Banks (1972), Hendry & Stauffer (1975) og Allen (1982).

Trods sedimenternes glaciæle association, udelukkes isoverskridelser som årsag til deformationen af bundformerne i Durup grusgrav. Dette kan konkluderes på baggrund af følgende: to distinkte deformationer i stratigrafisk succession, manglende vertikale forskydninger, foldernes begrænsning til sæt, samt at de overkippede krydslejringer ikke modsvarer tydeligt is-relaterede strukturer i grusgraven.

### Kinematik

Overkippede krydslejrings foldestil, den similare udformning, den opstrømspegende ombøjningszone, samt den ofte gode kontinuitet, har ledt adskillige forfattere til at relatere dannelsen af folderne til friktionsbetinget væsketræk (fluid drag) (Robson, 1956; McKee et al., 1962; Rust, 1968; Coleman, 1969; Allen & Banks, 1972; Hendry & Stauffer, 1975; Allen, 1982; Johannessen & Nielsen, 1982).

Den deformerende krafts vektorielle variation med dybden i det trugkrydslejrings sand kan repræsenteres ved et shear-profil. Således angives størrelsen af forskydningen i det horisontale plan som funktion af dybden ved shear-profilerne (fig. 3 & 4).

Hvorledes de enkelte typer af overkippede krydslejringer er relateret til shear-profilets udformning, samt dybden af shear-bevægelsen i sandet (placering af »nul-shear« niveauet) er diskuteret af Allen & Banks (1972), Hendry & Stauffer (1975 & 1977) og Allen (1982 & 1985). Allen og Banks (1972) og Allen (1982 & 1985) foreslår ud fra et matematisk opstillet shear-profil, at alle typer af overkippede krydslejringer kan henføres til et parabelformet shear-profil, hvor forskydningen er en funktion af kvadratet på højden over sætbasis (fig. 4). Allen & Banks' (1972) modelberegninger forudsætter likveficeret sandmasse ved deformationen.

Hendry & Stauffer (1975 & 1977) benytter sig

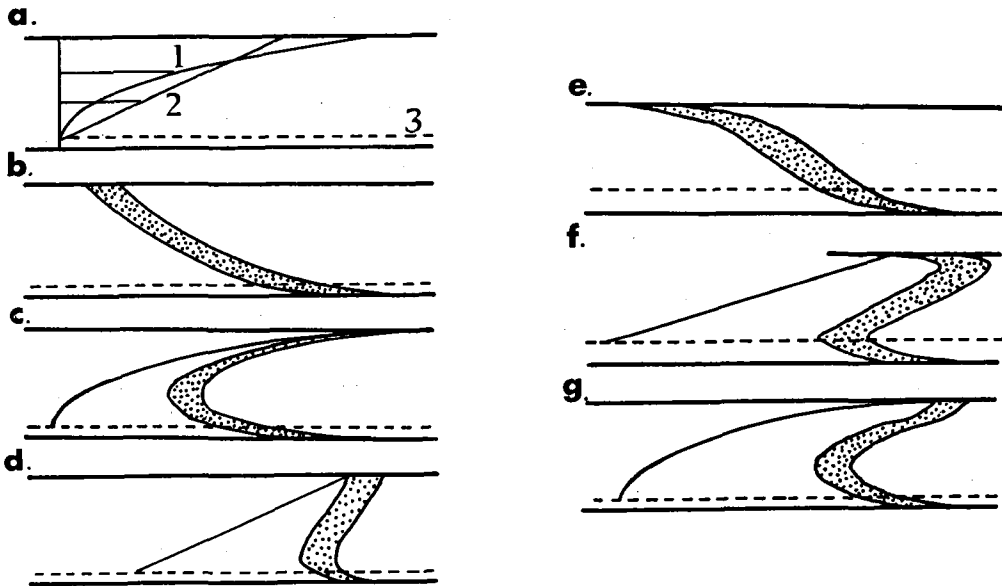


Fig. 3. Deformationsmønsterets variation ved overkipping af konkave og sigmoidale forsæt. a) Shear-profiler 1: Parabelformet. 2: Lineært. 3: »Nul-shear« niveau. b) Konkavt forsæt. c) Overkipping af konkavt forsæt ved et parabelformet shear-profil, medførende dannelsen af U-formede folder. d) overkipping af konkavt forsæt ved et lineært shear-profil. e) Sigmoidalt forsæt. f) Overkipping af et sigmoidalt forsæt ved et lineært shear-profil, medførende dannelsen af Z-formede folder. g) overkipping af sigmoidale forsæt ved et parabelformet shear-profil, hvilket ikke giver ophav til Z-formede folder. (Modificeret efter Hendry & Stauffer, 1975 & 1977).

Variation of the final shape of overturned concave and sigmoidal foresets. a) Shear-profiles, 1: Parabolic-shaped. 2: Linear-shaped. 3: level of "no shear". b) Concave foreset. c) Recumbent concave foreset according to a parabolic-shaped shear-profile. d) Recumbent concave foreset according to a linear shear-profile. e) Sigmoidal foreset. f) Recumbent sigmoidal foreset according to a linear shear-profile. g) Recumbent sigmoidal foreset, according to a parabolic-shaped shear-profile, which do not resemble the Z-shaped folds in the upper set in the gravel pit. (Modified after Hendry & Stauffer, 1975 & 1977).

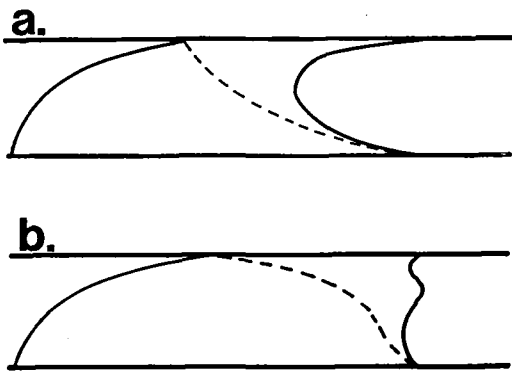


Fig. 4. Deformationsmønsterets variation ved overkipping af konkave og sigmoidale forsæt, for likvificeret sand. Shear-profilet er parabelformet. a) Konkavt forsæt. b) Sigmoidalt forsæt, der ikke giver ophav til Z-formede folder. »Nul-shear« niveauet er placeret ved sætgrænsen. (Modificeret efter Allen, 1985).

Variation of the final shape of overturned concave and sigmoidal foresets, for liquefied sediment. The shear-profile is parabolic in shape and level of "no-shear" is confined to the setbase. a) Concave foreset. b) Sigmoidal foreset., which do not give rise to a Z-shaped fold. (Modified after Allen, 1985).

af hypotetiske profiler og afviser eksistensen af et unikt shear-profil. De forestiller sig snarere et shear-profil, hvis form afhænger af sandets beskaffenhed på deformationstidspunktet. Forskydningen vil dog i alle tilfælde være størst i toppen af krydslejringer (Rust, 1968; Allen & Banks, 1972; Hendry & Stauffer, 1975).

Formen på de overkippede krydslejringer er nøje afhængig af både den oprindelige krydslejrings- og shear-profilets form (Allen & Banks, 1972; Hendry & Stauffer, 1975). Desuden foreslår Hendry & Stauffer (1975), at placeringen af »nul-shear« niveauet ligeledes er formdiktende. Ombøjningszonen vil nemlig altid opstå et stykke over »nul-shear« niveauet (fig. 3). I opposition til et varieret »nul-shear« niveau foreslår Allen & Banks (1972), at »nul-shear« niveauet altid er fastholdt til sætbasis.

Den kinematiske udvikling af de overkippede krydslejringer i Durup grusgrav afspejles af folderne geometri. Det nedre sæt svarer til type 1, hos Allen & Banks (1972). Det angiver den sim-

pleste, U-formede deformationsstruktur. Identisk med det nedre sæts folder er foldemønstre, teoretisk frembragt ved deformation hidrørende fra et parabelformet shear-profil (fig. 3c & fig. 4a) (Allen & Banks, 1972; Hendry & Stauffer, 1975).

Konkave forsæt giver ved deformation ud fra et lineært shear-profil en nærmest J-formet struktur (fig. 3d). En sådan form er ikke observeret i Durup grusgrav.

Strukturerne i det øvre sæt (fig. 2) er Z-formede og ikke sammenfaldende med overkippede krydslejringer, type 1 eller type 2 hos Allen & Banks (1972). Z-folder med tydeligt forstørrede ombøjningszoner, som følge af shearing, er teoretisk beskrevet som sigmoidale forsæt, deformeret ved et lineært shear-profil (Hendry & Stauffer, 1975) (fig. 3e,f). Z-folderne i Durup grusgrav (fig. 2) er identiske med de teoretisk frembragte Z-folder hos Hendry & Stauffer (1975). Folderne set som oprindelige sigmoidale forsæt giver desuden en god overensstemmelse med de øvrige strukturer i og omkring det deformerede sæt (fig. 2).

I den simplificerede tegning på fig. 4b, er vist et teoretisk deformeret sigmoidalt forsæt, dannet ud fra et parabelformet shear-profil, matematisk tilpasset likveficeret sand (Allen & Banks 1972; Allen, 1985). Resultatet modsvarer på intet sted de Z-formede folder fra Durup grusgrav. Et sigmoidalt forsæt pålagt et parabelformet shear-profil vil ifølge Hendry & Stauffer (1975) give et simpelt asymmetrisk mønster (fig. 3g).

Ovenstående giver altså ingen mulighed for anvendelse af kun et enkelt, parabelformet shear-profil som foreslået af Allen & Banks (1972) og Allen (1982). Derimod er der evidens for deformationer knyttet til både et parabelformet og et lineært shear-profil i Durup grusgrav. Endvidere må »nul-shear« niveauet tillægges en placering i den nedre del af sættet, som foreslået på fig. 3.

Det må konkluderes, at den store lighed mellem de overkippede krydslejringer fra Durup grusgrav og de teoretiske overvejelser angivet i fig. 3c og 3f, i stort omfang støtter de kinematiske ideer fremført af Hendry & Stauffer (1975 & 1977). Et parabelformet shear-profil tilskrives derved de simple U-formede folder i det nedre sæt, mens de Z-formede folder tilskrives oprindeligt sigmoidale forsæt deformeret ved et lineært shear-profil.

#### Dannelsesmekanisme

Allen & Banks (1972) og Turner (1981) mener, at dannelsen af overkippede krydslejringer ved kraftpåvirkning af en vandstrøm, forudsætter en likvefikation af sedimentet på deformationstidspunktet. Ved tilstedeværelsen af likvefikation vil tilstrækkeligt stress og forskydningsspænding kunne opnås under almindeligt strømmende vand (Allen & Banks, 1972; Allen, 1982). Oprindeligt konkave og sigmoidale forsæt i Durup grusgrav viser, at forskydningsspændingen har været stor (Joplin, 1965). Behovet for en nødvendig likvefikation af sedimentet er derfor reduceret, men det er ikke muligt at afgøre, i hvor høj grad sedimentet i Durup har været likveficeret på deformationstidspunktet. Det må dog formodes, at der har eksisteret et unormalt højt porevandstryk for at sikre en plastisk deformation.

Deformation og likvefikation er foreslået direkte relateret til seismisk aktivitet (Allen & Banks, 1972). Seismisk induceret likvefikation i Durup grusgrav er ikke sandsynlig, idet der kræves en værdi på minimum 6 (Richter skala) for at likveficere et sediment (Seed, 1968 i Allen, 1982), hvilket er en urealistisk høj værdi for området. Doe & Dott (1980) foreslår at likvefikation kan forårsages af hurtige fluktuationer i vandstanden. Sådanne kunne forventes i et glaciofluvialt miljø og det er derfor sandsynligt, at der på denne måde kunne skabes et forhøjet porevandstryk i sedimenterne i Durup.

Joplin (1965) har vist eksperimentelt, at et pludseligt fald i vandstanden (stigning i forskydningsspændingen) over en bundform forårsager betydelig erosion. Hvis sedimentet er delvist ustabil p.g.a. forhøjet porevandstryk, som det altså sandsynligvis har været i Durup, vil et pludseligt fald i vandstanden kunne resultere i en langt større erosion, end den Joplin (1965) kunne registrere. En væsentlig større mængde materiale vil blive bragt i suspension, og en hurtig aflejring vil kunne resultere i massivt sand, aflejret under turbiditagtige forhold.

En sådan teori støttes af de sedimentære strukturer dannet i Durup grusgrav. Generelt er øvre flowregimes planbund den dominerende bundform. Et fald i forskydningsspændingen, eventuelt som følge af en stigende vandstand, medfører overgang til nedre flowregime og dannelsen af dunes. Forøges forskydningsspændingen igen, vil der ske en tilbagevenden til øvre flowregime,

planbund, og en erosion af bundformen (Joplin, 1965). En tung sedimentladet strøm dannes og deformerer de interne strukturer til overkippede krydslejringer. Massivt sand vil undertiden aflejres nedstrøms i forhold til deformationen. Sådanne bratte skift i vandstanden er at forvente i et glaciofluvialt miljø.

De betingelser der her er fremsat for dannelsen af over kippede krydslejringer: hurtigt strømmende vand, stor dybde-ratio, bratte fluktuationer i vandstanden og stærkt sedimentladet vand, opfyldes i særdeleshed i lav-sinuøse floder og i tidevandskanaler. Hvis dannelsesbetingelserne for de overkippede krydslejringer i Durup grusgrav er af en mere generel karakter, må det forventes, at langt de fleste iagttagelser af overkippede krydslejringer stammer fra netop disse typer aflejringer. McKee (1938), Jones (1962), Rust (1968), Coleman (1969), Selley (1969), Singh (1969), Selley (1972), Banks & Røe (1974), Hobday (1974), Mrakovich & Coogan (1974), Hendry & Stauffer (1975), Anderton (1976), Haczewski (1976), Miall (1976), Hodgson (1978), Turner (1981), Johannessen og Nielsen (1982) og Røe (1987) har alle beskrevet overkippede krydslejringer fra sedimenter aflejret af lav-sinuøse floder, eller i tidevandsmiljøer. Kun i ganske få tilfælde (Frazier & Osarik, 1961 i McKee et al., 1962) er de blevet beskrevet fra høj-sinuøse floder. At overkippede krydslejringer kan dannes under helt ordinære strømningforhold, som postuleret af Allen & Banks (1972) og Allen (1982), synes derfor ikke at være i overensstemmelse med feltiagttagelser og de tolkninger, der er fremsat her. Det synes snarere rimeligt at antage, at overkippede krydslejringer især er karakteristiske for de hydrodynamiske forhold, der kendetegner lav-sinuøse floder og intertidale kanaler.

## Konklusion

Evidens for deformation relateret til to distinkte shear-profiler vises med eksempler på overkippede krydslejringer i Durup grusgrav. Z-formede folder dannes ved deformation af oprindeligt sigmoidale forsæt, ved påvirkning af et lineært shear-profil mens U-formede folder er kinematisk relateret til påvirkning af konkave forsæt ved et parabelformet shear-profil. Erkendelsen af to forskellige deformationstyper underbygger

shear-profilets variation og udelukker samtidig benyttelsen af kun et enkelt shear-profil.

Dannelsen af overkippede krydslejringer er forårsaget af en hurtigt pulserende vandstrøm. Øvre flowregimes planbund er den dominerende bundform, men fald i forskydningsspændingen resulterer undertiden i dannelsen af dunes. En stigning i forskydningsspændingen medfører kraftig erosion af den 3-dimensionelle bundform og en tilbagevenden til øvre flowregime, planbund. Som resultat af erosionen dannes en tung sedimentladet vandstrøm. Under passagen af sedimentstrømmen henover bundformens ryg, dannes overkippede krydslejringer. På grund af opblandingen omkring dune-fronten udfældes en stor del af sedimentet fra strømmen og massivt sand aflejres. Bratte skift i vandstanden vil desuden medføre dannelsen af et unormalt højt porevandstryk i sedimentet, som derved lettere vil kunne deformeres. Det foreslås endvidere, at overkippede krydslejringer er en god indikator for de hydrodynamiske forhold, der kendetegner lav-sinuøse floder og tidevandskanaler.

## Tak

Forfatterne ønsker at takke Peter R. Jakobsen, Preben Niebe og Mads Willumsen for tilladelse til at publicere data, Kaj S. Petersen for lån af fotografisk materiale og Gregers Dam for værdifuld inspiration under udarbejdelsen af manuskriptet. Lars B. Clemmensen, Gunver K. Pedersen og Hans Ladegaard takkes for en kritisk gennemlæsning af manuskriptet. En særlig tak til Stig A. S. Pedersen for fremvisning af lokaliteten og introduktion til problemstillingen.

## Litteratur

- Allen, J. R. L. 1982: Sedimentary structures, their character and physical basis. *Developments in Sedimentology* 30a-b. Elsevier, Amsterdam.
- Allen, J. R. L. 1985: *Principles of Physical Sedimentology*. Allen & Unwin. London. 400 s.
- Allen, J. R. L. & Banks, N. L. 1972: An interpretation and analysis of recumbentfolded deformed cross-bedding. *Sedimentology* 19, 257-283.
- Anderton, R. 1976: Tidal-shelf sedimentation: An example from the Scottish Dalradian. *Sedimentology* 23, 429-458.
- Banks, N. L., Edwards, M. B., Geddes, W. P., Hobday, D. K. & Reading, H. G. 1971: Late Precambrian and Cambro-Ordovician sedimentation in East Finmark. *Norges Geol. Unders.* Nr. 269, 197-236.
- Banks, N. L. & Røe, S.-L. 1974: Sedimentology of the Late Precambrian golneselv Formation, Varangerfjorden, Finmark. *Norges Geol. Unders.* Nr. 303, 17-38.
- Coleman, J. M. 1969: Brahmaputra River: Channel processes and sedimentation. *Sed. Geol.* 3, 129-239.
- Doe, T. W. & Dott, R. H. Jr. 1980: Genetic significance of de-

- formed cross-bedding with examples from the Navajo and Weber sandstones of Utah. *Jour. Sed. Petr.* 50, 793-812.
- Edwards, M. B. 1976: Depositional environments in Lower Cretaceous regressive sediments, Kikutodden, Sørkapp Land, Svalbard. *Årb. Norsk Polarinst.* 1974, 35-50.
- Edwards, M. B. 1978: Glacial environments. I: Reading, H. G. (ed.). *Sedimentary Environments and Facies*. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 416-438.
- Haczewski, G. 1976: Sedimentological reconnaissance of the San Cayetano Formation An accumulative continental margin in the Jurassic of Western Cuba. *Acta Geol. Pol.* 26, 331-353.
- Hendry, H. E. & Stauffer, M. B. 1975: Penecontemporaneous recumbent folds in trough cross-bedding of Pleistocene sands in Saskatchewan, Canada. *Jour. Sed. Petr.* 45, 932-943.
- Hendry, H. E. & Stauffer, M. B. 1977: Penecontemporaneous folds in cross-bedding: Inversion of facing criteria and mimicry of tectonic folds. *Bull. Geol. Soc. Am.* 88, 809-812.
- Hobday, D. K. 1974: Interaction between fluvial and marine processes in the lower part of the Late Precambrian Vadsø Group, Finmark. *Norges Geol. Unders. Nr.* 303, 39-56.
- Hodgson, A. V. 1978: Braided river bedforms and related sedimentary structures in the Fell Sandstone Group (Lower Carboniferous) of North Northumberland. *Proc. Yorks. Geol. Soc.* 41, 509-532.
- Johannessen, P. N. & Nielsen, L. H. 1982: Aflejringer fra flettede floder, Altane Formation, Øvre Kridt, Pingo, Øst Disko. *Dansk Geol. Foren., Årsskrift for 1981*, 13-27.
- Jones, G. P. 1962: Deformed cross-stratification in the Cretaceous Bima Sandstone, Nigeria. *Jour. Sed. Petr.* 32, 231-239.
- Joplin, A. V. 1965: Hydraulic factors controlling the shape of the laminae in laboratory deltas. *Jour. Sed. Petr.* 35, 777-791.
- Joplin, A. V. 1966: Some applications of theory and experiment to the study of bedding genesis. *Sedimentology* 7, 71-102.
- Long, D. G. F. 1978: Proterozoic stream deposits: Some problems of recognition and interpretation of ancient sandy fluvial systems. I: Miall, A. D. (ed.), *Fluvial Sedimentology*. *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.* 5, 313-341.
- McCormick, C. D. & Picard, D. M. 1969: Petrology of Gartra Formation (Triassic), Uinta Mountain Area, Utah and Colorado. *Jour. Sed. Petr.* 39, 1484-1508.
- McKee, E. D. 1938: Original structures in Colorado River flood deposits of Grand Canyon. *Jour. Sed. Petr.* 8, 77-83.
- McKee, E. D., Reynolds, M. A. & Baker, C. H. 1962: Experiments on intraformational recumbent folds in cross-bedded sand. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 424-D, 155-160.
- Miall, A. D. 1976: Proterozoic and Paleozoic geology of Banks Island, Arctic Canada. *Geol. Survey Can. Bull.* 258, 77 s.
- Miall, A. D. 1977: A review of the braided-river depositional environment. *Earth-Science Review* 13, 1-62.
- Mrakovich, J. V. & Coogan, A. H. 1974: Depositional environment of the Sharon Conglomerate Member of the Pottsville Formation in Northeastern Ohio. *Jour. Sed. Petr.* 44, 1186-1199.
- Robson, D. A. 1956: A sedimentary study of the Fell Sandstones of the Coquet Valley, Northumberland. *Geol. Soc. London Quart. Jour.* 112, 241-258.
- Rust, B. R. 1968: Deformed cross-bedding in Tertiary-Cretaceous sandstone, Arctic Canada. *Jour. Sed. Petr.* 38, 87-91.
- Røe, S.-L., 1987: Cross-strata and bedforms of probable dune to upper stage plane bed transitional origin from a Late Precambrian fluvial sandstone, northern Norway. *Sedimentology* 34, 89-102.
- Sauderson, H. C. & Lockett, F. P. J. 1983: Flume experiments on bedforms and structures at the dune-plane bed transitions. I: Collinson, J. P. & Lewin, J. (ed.). *Modern and Ancient Fluvial Systems. Spec. Publ. Int. Ass. sediment.* 6, 49-58.
- Selley, R. C. 1969: Torridonian alluvium and quicksands. *Scott. Jour. Geol.* 5, 328-346.
- Selley, R. C. 1972: Diagnosis of marine and non-marine environments from the Cambro-Ordovician sandstones of Jordan. *Jour. Geol. Soc. London*, 128, 135-150.
- Singh, I. B. 1969: Primary sedimentary structures in Precambrian quartzites of Telemark, southern Norway and their environmental significance. *Nor. Geol. Tidsskr.* 49, 1-32.
- Stewart, J. H. 1961: Origin of cross-strata in fluvial, sandstone layers in the Chinle Formation (Upper Triassic) on the Colorado Plateau. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, 424-B, 127-129.
- Turner, B. R. 1981: Deformed cross-bedding patterns in the Upper Triassic Molteno Formation in the main Karoo Basin, South Africa: A model for their genesis. *Geol. Rundschau* 70, 910-924.