

Tidevands- og stormdominerede aflejringsmiljøer i den Nedre Kambriske Hardeberga Formation i Skåne og på Bornholm

LARS HAMBERG



Hamberg, L.: Tidevands- og stormdominerede aflejringsmiljøer i den Nedre Kambriske Hardeberga Formation i Skåne og på Bornholm. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1987-89*, side 15-20, København, 15. januar 1990.

The 120 m thick Lower Cambrian Hardeberga Formation in Scania and on Bornholm comprises three depositional environments. A deltaic sequence was deposited directly on the weathered and peneplained Proterozoic basement and was continuously overlain by sediments representing a tide-dominated shoreline environment. This sequence is erosively truncated by a ravinement-surface covered by deposits belonging to a storm-dominated inner shelf environment.

The stratigraphical sequence shows the onset of a transgression over the stable, cratonic Baltic Shield which comprised the entire southern Scandinavia at the time of deposition. The delta deposits include fluvial channels which fed a southward prograding shallow marine delta, probably with a front of semi-enclosing barrier islands formed through reworking by marine processes.

Behind the barriers of high energy tidal environment was developed consisting of widespread sandy tidal flats dissected by tidal creeks. The tidal flat environment was continuously developed into an intertidal to shallow subtidal coast parallel channel and sandbar environment.

Erosive retreat of the barrier island complex in connection with the inferred rise in sea level truncated the back-barrier environment. Consequently only the tidal flat and the tidal channel and bar deposits in close proximity to the back-barrier shoreline are preserved.

The succeeding storm-dominated inner shelf environment is characterized by many beautiful examples of hummocky cross-stratification. The term »Hvælvet Krydslejrning« is here suggested as the Danish term covering these particular sedimentary structures.

Lars Hamberg, Institut for Almen Geologi, Øster Voldgade 10, 1350 København K. 7. marts 1989.

Introduktion

Den 100-120 meter tykke Hardeberga Formation i Skåne er aflejret direkte på en forvitret reliefflås overflade af Proterozoisk grundfjeld. Dette stabile grundfjeldsområde har formentligt indbefattet Bornholm og det meste af Norden, og dannet mikrokontinentet »Baltica« på aflejringstidspunktet (Surlyk, 1980; Bergström & Gee, 1985).

Detaljerede sedimentologiske undersøgelser af lokaliteter i Skåne og på Bornholm (fig. 1), har muliggjort en udskillelse af tre forskellige aflejringsmiljøer: et deltaisk miljø, et tidevandsdomineret kystnært miljø og et stormdomineret indre shelf miljø.

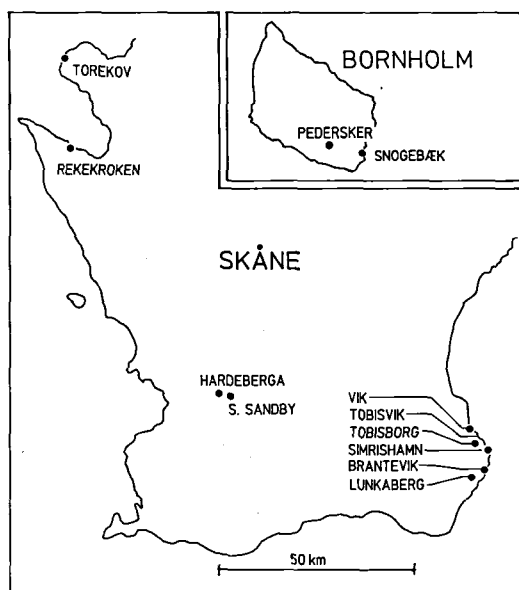
Den vertikale sekvens i Skåne viser en overgang fra prograderende delta-aflejringer, afsat direkte på grundfjeldet, til en sekvens af prograderende, tidevandsdominerede kystaflejringer. Disse er erosivt overlejret af transgressive indre shelf sedimenter, som ingen gradvist over-

lejres af prograderende, tidevandsdominerede kyst-aflejringer.

Denne vertikale udvikling fra tidevandsdomineret kyst til indre shelf er repeteret mindst tre gange indenfor Hardeberga Formationen i Skåne, hvorimod delta-aflejringerne kun er konstateret nederst i sekvensen.

Udviklingen fra kyst til shelf tolkes som et eksempel på en »diskontinuert aflejrende transgression« (Reineck & Singh, 1980), med trinvis udbygning i større indbugtninger på kysten efterfulgt af lokal transgression.

På Bornholm er Hardeberga Formationen (Balka Sandstenen) undersøgt på lokaliteter ved Pedersker og Snogebæk. Lagfølgen består her hovedsageligt af sedimenter tilhørende et kystnært tidevandsdomineret aflejringsmiljø, identisk med tidevandsaflejringerne observeret i Skåne. Videre modsvares de indre shelf aflejringer i Skåne nøje af sedimenterne tilhørende de



Figur 1. Lokalitetskort over Skåne og Bornholm.

Locality map covering Skåne (Southern Sweden) and Bornholm.

»grønne Skifre« (Broens Odde Mb. (Surlyk, 1980)), ved Snogebæk (fig. 1).

Nærværende artikel opsummerer de sedimentologiske træk af Hardeberga Formationen og beskriver kort de palæogeografiske implikationer heraf. Det tilgrund liggende datamateriale findes i en specialeopgave (Hamberg, 1988).

Stratigrafi

De nedre Kambriske sandsten i Skåne, beliggende mellem grundfjeldet og Norretorp Formationen, er samlet henført til Hardeberga Formationen (Bergström, 1981).

Sandstenene er oprindeligt opdelt i fire enheder (formationer) ud fra blotninger omkring Simrishamn, benævnt: Lunkaberg-, Vik-, Brantevik- og Hardeberga-enheden (Linström & Staude, 1971). Hamberg (1988) genkendte de øverste tre enheder i stenbrudene ved Hardeberga by og foretog en uformel opdeling af Hardeberga Formationen i fire led benævnt fra nederen som: Lunkaberg Mb., Vik Mb., Brantevik Mb.

og Tobisvik Mb. Tobisvik Mb. er navngivet efter en lokalitet på østkysten af Skåne (Hamberg, 1988), Fig. 1.

Fra opmålinger af profiler i stenbrud ved Hardeberga og S. Sandby samt i blotningerne omkring Simrishamn (fig. 1), har det været muligt at sammensætte en generel sedimentologisk lagsøjle for Hardeberga- og Norretorp Formationen i Skåne (fig. 2).

Sedimentologi

Deltaiske aflejringer

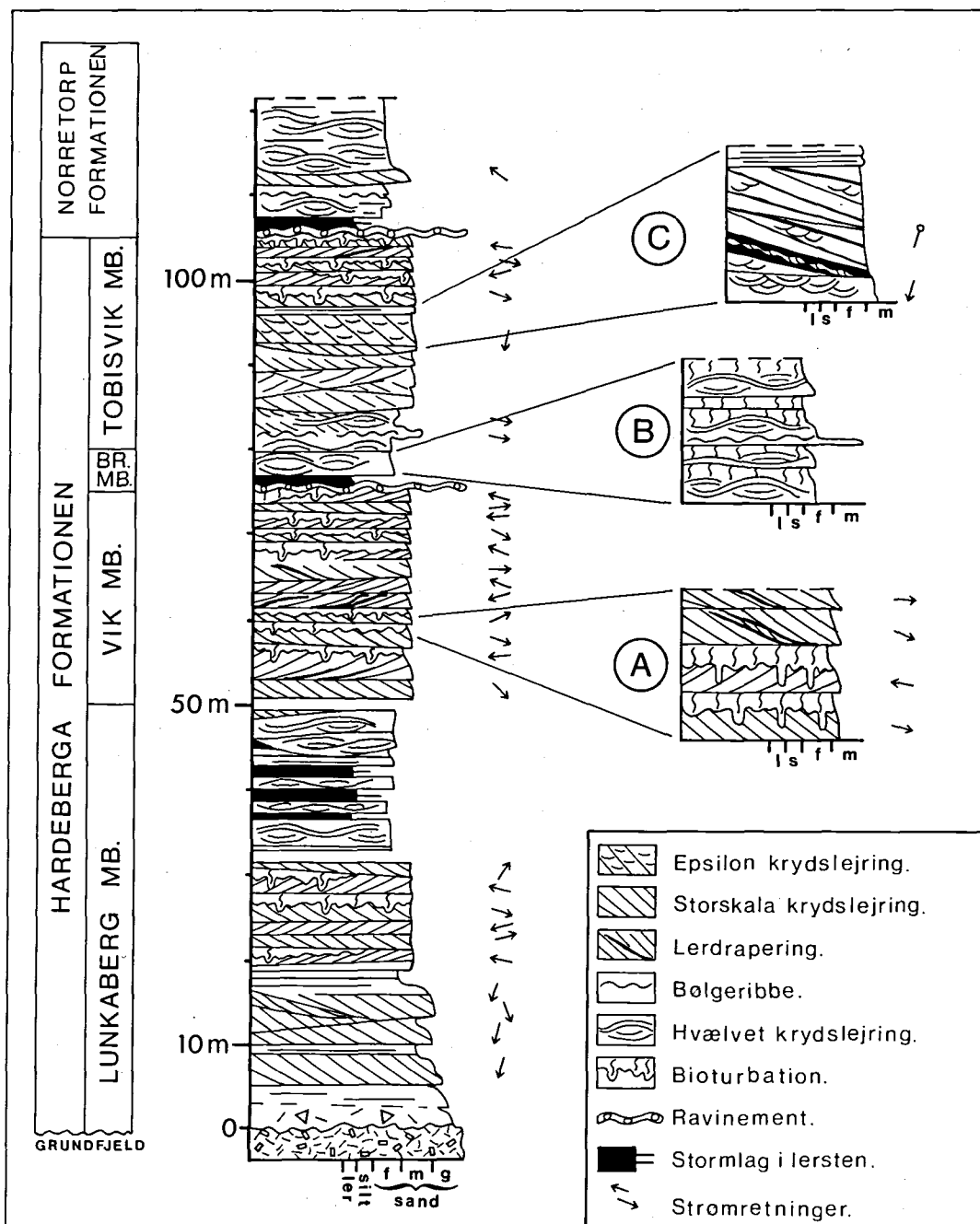
De deltaiske aflejringer udgøres nederst i Lunkaberg Mb. af usorterede og grovkornede, arkosiske sandsten med en mægtighed på 20 m (fig. 2). Sandstene repræsenterer et umodent forvittringsprodukt af det underliggende grundfjeld (Hadding, 1929).

Internt ses storskala krydslejring i sæt på 20 til 80 cm, adskilt af tynde, grusede enheder med horisontal lamination. Eksistensen af enkelte *Diplocraterion*-gravegange i toppen af de krydslejrrede sæt helt fra de nederste dele af sandstenen, viser den marine indflydelse. Sammenholdt med en ensidig sydlig strømretning (fig. 2), er sedimenterne tolket som afsat i fluvialtilt dominerede kanaler under udbygningen af et lavtvands delta (Hamberg, 1988). Denne tolkning er overensstemmende med de sydlige transportretninger observeret i den fluviale del af den arkosiske Nexø Formation (Surlyk, 1980).

I den midterste del af Lunkaberg Mb. ses et tydeligt skift til et tidevandsinflueret aflejringsmiljø med Ø-V og N-S orienterede transportretninger (fig. 2). Dette tolkes som en marin og tidevandspræget omlejring af den tidligere deltafront i den kystnære zone, efter forlægning af den fluviale sedimenttilskud.

Kystnære tidevandsaflejringer

De kystnære tidevandsaflejringer er karakteriseret ved lag af bioturbere bænke, med *Diplocraterion*- og *Skolithos*-gange, vekslede med storskala krydslejrrede sandstenslag (fig. 2,A). Denne faciesassociation udgør den midterste del af Lunkaberg Mb., hele Vik Mb. samt den øvre del af Tobisvik Mb. (fig. 2). Evidens for tidevandsaktivitet ses bl.a. indenfor de krydslejrrede sandstens-



Figur 2. Generaliseret sedimentologisk log for Hardeberga Formationen i Skåne. BR. Mb. = Brantevik Member. A og C refererer til typiske profiler af sedimenterne tilhørende det kystnære tidevandsdominerede aflejringsmiljø, og B til et typisk profil i de indre shelf sediment.

Generalized sedimentological profile of the Hardeberga Formation in Skåne, South Sweden. BR. Mb. = Brantevik Mb. A and C shows the typical bedding of the tidal dominated deposits, and B the bedding of the stormdominated inner shelf deposits.

lag ved en regelmæssig tilstedeværelse af mudderdraperinger og talrige reaktiveringsflader. I få tilfælde er der observeret dobbelte mudderdraperinger, der klart angiver en subtidal aflejningsramme (jf. Visser, 1980). Endvidere ses en tydelig bimodal orientering af strømretningerne mellem Ø-ØSØ til V-VNV (se fig. 2).

I de vertikale profiler ses et repeteret system af tykkere krydslejrede enheder, 1–6 m, overlejret af en enhed på 1–4 m af tynde, skiftevist krydslejrede og bioturbere lag. De tykkere krydslejrede enheder danner tabulære sandstenslegemer tolket som aflejret i lavvandede sub- til intertidale kanaler adskilt af mellemliggende sandbanker. De repræsenterer en fase med aktiv kanalopfyldning og bankemigration. Den overlejrende enhed med en rytmisk vekslen af krydslejring efterfulgt af biogen omlejring i de øverste 20–30 cm af det krydslejrede co-sæt, tyder modsat på en fase med lange lav-energi perioder repræsenteret ved de bioturbere horisonter, adskilt af kortere perioder med aktiv migration af bundformer indenfor et delvist forladt kanal/sandbanke miljø. De krydslejrede og bioturbere lag kan med rimelighed antages at afspejle en sæsonvariation i energiniveauet i tidevandsmiljøet, f.eks. svarende til de nutidige forhold med vinterstorme og relativt rolige somre på den nordlige halvkugle.

Egentlige tidevandsflade aflejringer er ikke observeret. I toppen af Vik og Tobisvik Mb. er de gennemgravede bænke indenfor den forladte kanal faciesassociation udformet som tidal lagdeling (jf. Reineck & Singh, 1980) gennemsat af vertikale graveange. Den tidale lagdeling er typisk opdelt i sæt af et 3–20 mm tykt sandstenslag med 1 mm lerdrapering, koblet med et 1–2 mm tyndt sandstenslag med 1 mm lerdrapering. Denne kobling viser en asymmetri i tidevandsstrømmen sammenlignelig med dannelsen af dobbelte mudderdraperinger, der igen indikerer et semi-diurnalt tidevandssystem. Enhederne med tidal lagdeling er tolket som repræsenterende en afsnøring af den forladte kanal, men formentlig subtidalt afsat. Polygonale tørkesprækker, små fladttoppede bølgeribber og interferens ribbelamination er iagtaget i flere tilfælde i den forladte kanal faciesassociation og angiver temporære intertidale forhold og eksponering.

De subtidale, kystparallelle kanalaflerjinger overlejrer en 10–13 m tyk sandstensenhed, der repræsenterer et oprindeligt tidevandsdyb barri-

erø-komplex. Tidevandsdyb-aflerjinger ses som ½ m tykke, skråtstillede lag opbygget internt af tværgående storskala krydslejring og bølgeribber (fig. 2, 90 m, angivet som krydslejret enhed). Udbredte 1.5–2 m tykke sandede enheder med epsilonkrydslejring (fig. 2, C) viser en omlejring ved migration af sinuøse dræningskanaler af de oprindeligt inter- til supratidale dele af selve barriereøen efter tidevandsdybet er forlagt ned af kysten. Aflerjinger fra sinuøse kanaler er smukt udviklet i stenbruddene ved Hardeberga og i Pedersker stenbrud på Bornholm.

Udbredte ravinementflader ses diskordant at skære de prograderende tidevandsmiljøer i toppen af Vik og Tobisvik Mb. (fig. 2). Ravinementfladerne markerer hver for sig en erosiv tilbagerykning af et barriereø strandplan som resultat af en et konstant stigende havniveau. Samlet er tidevandsaflerjingerne tolket som afsat bag delvist beskyttende barriereøer indenfor en høj-energi ramme, sandsynliggjort ved det høje sand/ler forhold og de manglende aflerjinger af tydeligt mudrede tidevandsflader. Ravinementfladerne overlejres af sedimenter afsat i et indre shelf aflejningsmiljø, der etableredes som følge af den fortsatte transgression af området.

Stormdomineret indre shelf aflejringer

Sedimenter afsat i det indre shelf aflejningsmiljø ses i toppen af Lunkaberg Mb. og udgør hele Brantevik Mb. samt det meste af Norretorp Formationen (fig. 2).

Faciessassociationen indikerer et stormdomineret aflejningsmiljø med tilstedeværelse af tynde distale stormsandslag associeret med gennemgravede mudderstenslag (fig. 2), samt enheder med gennemgravede sandstenslag, der erosivt er afskåret af 10–40 cm tykke sekvenser med hvælvet krydslejring og store grovkornede bølgeribber (fig. 2 B og 3). Sporfossil selskabet udgøres – modsat de kystnære tidevandsaflerjinger – fortrinsvist af horisontale krybespor *Psammitichnites* og *Didymaulichnus*. Bølgeribberne har en bølgelængde på 0.7–1 m og viser kamretninger, der er tæt grupperet indenfor 50–140°. Sammenholdt med observationer af lignende recente grovkornede bølgeribber (bl.a. Hunter et al., 1988), tolkes palæokystlinien som rettet Ø-V til Ø-SØ-VNV (Hamberg, 1988).



Figur 3. Finkornet glaukonitholding sandsten med hvælvet krydslejring (»hummocky cross-stratification«), tilhørende de indre shelfaflejringer. Bemærk vertikal overgang fra trugformet til hvælvet udformning af laminationen (pil), og ligeledes den laterale overgang fra trug til hvælvet form. Norretorp Fm. syd for Simrishamn, Skåne.

Finegrained glauconitic sandstone showing low-angle stratification with upward transitions from trough to convex upward forms (arrowed) interpreted as hummocky cross-stratification belonging to the inner shelf deposits. Norretorp Fm. south of Simrishamn in Skåne.

Hvælvet krydslejring

Harms et al. (1975) definerede sedimentstrukturen »hummocky cross-stratification« (HCS), der karakteristisk forekommer i sandede shelfaflejringer (Dott & Bourgeois, 1982). Hvælvet krydslejring er foreslået som en deskriptiv dansk term for »hummocky cross-stratification« (Hamberg, 1988). Veludviklet hvælvet krydslejring findes indenfor de stormdominerede afsnit af Hardeberga Formationen og i det meste af Norretorp Formationen (fig. 2), og endvidere er strukturen observeret i broens Odde Mb. i kystblotningerne syd for Snogebæk havn på Bornholm.

Hvælvet krydslejring genkendes på en erosiv trugformet undergrænse, som overlejres af draperende lamination, der vertikalt svulmer op i den centrale del og danner en hvælvet lamination (fig. 3). Ofte ses kun bevaret den trugformede del, der fremtræder ens i alle vertikale snit, og som videre kan kendes på en udfladning af laminationen mod trug-randen og overførelse af laminationen som »off-shoots« til sidestillede trug.

Palæoklimatiske implikationer

Lindström (1972) har foreslået tilstedeværelsen af et koldt klima på aflejringstidspunktet, ud fra tolkning af 2–3 cm brede og 10–90 cm lange og parallelle fordybninger, orienteret nord-syd, som værende dannet ved isskuring over et Kambrisk strandplan. Fordybningerne kan ses i kystblotninger ved Simrslund syd for Simrishamn, og findes fortrinsvis i sedimentære enheder tilhørende det indre shelf aflejrmiljø.

Reeksamination af disse lagflader har vist, at strukturerne sandsynligvis repræsenterer fremforvitrede forsæt der oprindeligt blev dannet ved migration af sinuøse megaribber. Den mere eller mindre konstante nord-syd orientering af fordybningerne er således konsistent med dominans af østlige forsæthældninger indenfor det indre shelfaflejrmiljø. Som en konsekvens af ovenstående omtolkning, må den foreslåede »koldt-vands« Trilobitfauna (Theokritoff, 1979, s. 284–287), ligeledes fremstå mindre sandsynlig, idet denne hovedsageligt er begrundet ud fra Lindström's »isskuringer«.

Tak

Nærværende artikel bygger på et kandidatspeciale fra 1988, udarbejdet under vejledning af lektor Gunver Krarup Pedersen. G. K. Pedersen og H. Tirsgaard har kommenteret den foreliggende artikel og O. B. Berthelsen har udført det fotografiske arbejde.

Litteratur

- Bergström, J. 1981: Lower Cambrian shelly faunas and biostratigraphy in Scandinavia. In: Taylor, M. E. (ed.): *Short papers for the 2. inter. symp. on the Cambrian system*.
- Bergström, J. & Gee, D. G. 1985: The Cambrian in Scandinavia. In: Gee, D. G. & Sturt, B. A. (eds.): *The Caledonide Orogen – Scandinavia and related Areas*.
- Dott, R. H. & Bourgeois, J. 1982: Hummocky stratification: Significance of its variable bedding sequences. *Geol. Soc. Am. Bull.* 93, p. 663–680.
- Hadding, A. 1929: The Pre-Quaternary sedimentary rocks of Sweden, III. The Palaeozoic & Mesozoic sandstones of Sweden. *Lunds Universitets Årsskrift*, N. F. 2, 25(3), 287 p.
- Hamberg, L. 1988: *Tidevands- og stormdominerede lavmarine aflejringsystemer relateret til en epi-kratonisk transgression, Nedre Kambriske Hardeberga Formation, Skåne*. Upubl. cand. scient. thesis, Inst. for Almen Geol. 1988, 127 p.
- Hunter, R. E., Dingler, J. R., Anima, R. J. & Richmond, B. M. 1988: Coarse-sediment bands on the inner shelf of Southern Monterey Bay, California. *Marine Geol.* 80, p. 81–98.
- Lindström, M. 1972: Cold age sediments in Lower Cambrian of South Sweden. *Geologica et Palaeontologica*, 6, p. 9–24.
- Lindström, M. & Staude, H. 1971: Beitrag zur Stratigraphie den Unterkambrischen Sandsteine des südlichsten Skandinavien. *Geologica et Palaeontologica*, 5, p. 1–8.
- Reineck, H.-E. & Singh, I. B. 1980: *Depositional Sedimentary Environments*. 2nd edition, Springer Verlag, Berlin. 550 pp.
- Surlyk, F. 1980: Denmark. In: *Geology of the European Countries, Denmark, Finland, Iceland, Norway, Sweden*. 26th Inter. Geol. Congr. p. 1–50.
- Theokritoff, G. 1979: Early Cambrian provincialism & biogeographic boundaries in the North Atlantic region. *Letihala*, 12, p. 281–295.
- Visser, M. J. 1980: Neap-spring cycles reflected in Holocene subtidal large-scale bedform deposits: a preliminary note. *Geology* 8, p. 543–546.