

Oversigt over det reviderede Mellem Kambrium på Bornholm

VIVIANNE BERG-MADSEN



Berg-Madsen, V.: Oversigt over det reviderede Mellem Kambrium på Bornholm. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1985*, side 1-13, København, 1. marts 1986.

This paper summarizes eight papers published on aspects of the Middle Cambrian in southern Baltoscandia and in particular on Bornholm. The Kalby clay, now found to be a marl (35% CaCO₃), is re-described as an equivalent to the Exsulans Limestone. High-alumina glauconite indicative of cool-temperate waters and a new morphological variant have been described. A new monoplacophoran genus and species, *Kalbyella poulseni*, is described from the rich fauna in the Kalby marl. From the Exsulans Limestone the mollusc *Metoptoma* has been reclassified as *Scenella*. A thin deposit of basal anthraconite at Læså has been discovered. The rich trilobite fauna in the lower alum shale has caused a radical change of its stratigraphical position. On the basis of its trilobites a previous "anthraconite" is correlated with its Swedish equivalent and re-described as Hyolithes limestone. The validity of Westergård's zone of *Ptychagnostus nathorsti* is questioned, and the biostratigraphy in general adjusted to North American standards. SEM studies of phosphatized cystoid stem columnals stereom from the Exsulans and Andrarum Limestone Formations have shown the Middle Cambrian echinoderms to be more differentiated than previously believed. The Middle-Upper Cambrian boundary has been located within a 10 cm interval on basis of a Middle Cambrian brachiopod genus and an Upper Cambrian conodont. A short historical review of previous investigations is given to show the background and need for a revision.

Vivianne Berg-Madsen, *Geologiska Institutionen, Stockholms Universitet, Box 6801, S-106 91, Stockholm, 25. september 1985.*

Følgende oversigt over det bornholmske Mellem Kambrium er en sammenfatning af dels rent biostratigrafiske arbejder (Berg-Madsen 1981, 1985b, 1985c), dels arbejder omhandlende specielle emner indenfor fauna og facies (Berg-Madsen 1983, 1986 (in press), Berg-Madsen & Peel 1978, in press). Disse udgør tilsammen en afhandling: Middle Cambrian biostratigraphy, fauna and facies in southern Baltoscandia (Berg-Madsen 1985a) forsvaret for den filosofiske doktors-eksamen ved Uppsala Universitet maj 1985. Desuden indgår foreløbige resultater af arbejder under forberedelse.

De Mellem Kambriske lokaliteter

Kun to steder på Bornholm er den Mellem Kambriske lagserie blottet i dag. Syd for Store og Lille Kalbygård i Læsåens højre bred og vest for Borregård i bunden af Øleå og i resterne af det gamle stenbrud.

Begge lokaliteter har ændret sig væsentligt gennem tiderne, dels på grund af naturlig erosion, dels menneskets direkte indgriben. Tidli-

gere var begge åløb stemmet op flere steder i forbindelse med vandmøller. Det medførte flere tilgængelige blotninger, blandt andet partiet under broen over Øleå, hvor vanddybden nu forhindrer nærmere undersøgelser. Men samtidig medførte den begrænsede gennemstrømning akkumulation af materiale i selve ålejet, som derved blev skjult. Johnstrup (1874, 1891) kendte hverken Exsulanskalken eller den overliggende basale antrakonit, men en af hans få etiketter er mærket »Øleå« og stenprøven er Exsulanskalk, som sikkert er indsamlet *in situ*. Ældre fotografier (Hansen 1936, 1937, 1945) illustrerer det tydeligt. End ikke under ekstrem tørke udtørres Læså og Øleå i samme grad i dag. Størsteparten af stenbruddet ved Øleå er nu dækket af nedskredet moræne og tilgroet med buske og træer, kun selve hovedprofilet står relativt uændret (Grönwall 1899, Hansen 1945). Begge fotografier her (fig. 1 og 2) er taget under ideelle forhold, yderst lav vandstand omend lavere forekommer efter en tør sommer.

Temporære blotninger i form af brønd- og grøftegravninger henvises der også til i flere ældre arbejder. På grund af moderne teknik optræder disse former sjældent i dag. Den Mellem Kam-

briske lagserie er kun påvist to steder i borer, begge på andre forkastningsblokke end lokaliteterne ved Læså og Øleå. Fra en skylleboring ved Bavnegård (Poulsen 1978) er det basale Mellem Kambrium i form af Exsulanskalk identificeret. De overliggende alunskifer er stratigrafisk uanvendelige. Derimod findes hele Mellem Kambrium repræsenteret i den forsøgsboring (kerne), som Grønlands Geologiske Undersøgelse udførte 1982 ved den geologiske feltstation Gravgårde. Den samlede mægtighed modsvarer stort set den i blotningerne, dog afhængig af positionen af grænsen Mellem-Øvre Kambrium.

Det basale Mellem Kambrium

I tidlig Nedre Kambrium bestod den sydlige del af Baltoscandia af én, relativ rigid, blok. Mod slutningen af Nedre Kambrium ændredes situationen, blokken deltes i to omtrent »vestlig« respektive »østlig« halvdele, der vippede langs en N-S akse, den smålandske geosutur. Aksen løb øst for Bornholm, som derfor lå hævet over havniveau i slutningen af Nedre og begyndelsen af Mellem Kambrium. På Öland havde man således en kontinuerlig sedimentation, og Mellem Kambrium indledes her med mere end 50 m Oelandicusskifer, en skifrig siltsten med indslag af kalksten. Da blokken begyndte at vippe modsat, indledtes en regression på Öland og andre steder i det sydøstlige Sverige. Regressionen ophørte først i slutningen af Mellem Kambrium. På Bornholm og i Skåne blev det basale Mellem Kambrium i form af Exsulanskalken resultatet af den samtidige transgression.

Den sydlige del af Baltoscandia (Oslofeltet og Mjøsa regionen medregnet i nord) er således domineret af komprimerede lagserier, der repræsenterer trans- og regressioner. Disse anses for at være forårsaget dels af instabilitet i det Prækambriske underlag, dels den igangværende havbundsspredning i vest. Senere Palæozoisk og post-Kretacisk tektonik er ansvarlig for hovedparten af forkastningerne og opsplittningen af Bornholm og Skåne i blokke af varierende størrelse. De forskellige istider har udformet overfladen og derved fjernet en meget stor del af de oprindeligt aflejrede sedimenter.

Exsulans Limestone Formation, med typelokalitet ved Kiviks Esperöd i Skåne, opdeles på

Bornholm i Borregård Member, der repræsenterer kalkstenen og det chronostratigrafisk ækvivalente Kalby Member. Kalby Member opdeles i en nedre »marl bed« og en øvre »pyritic bed«. Mindre formelt anvendes lettest betegnelserne Exsulanskalk og Kalby mergel.

Exsulanskalken er kun blottet i Øleås leje over en strækning af ca. 50 m umiddelbart vest for Borregård og kan følges ca. 30 m fra stenbruddet rundt om knækket mod sydvest. Mægtigheden er gennemsnitlig omkring 25 cm. Den nederste del er mørk med stort indhold af kvartskorn, fosforit, glaukonit og pyrit i kalkmatrix. Opefter aftager kvartsen og fosforiten, der optræder i form af større eller mindre, afrundede korn eller klumper. Omtrent midt i kalkbænken optræder større og runde knolde af fosfatiseret sandsten, tydeligt stammende fra den underliggende Nedre Kambriske Rispebjerg Sandsten, hvis øverste 40 cm er fosfatiserede. På grund af erosionen i ålejet optræder disse fosfatknolde undertiden i den tilsyneladende øverste del af Exsulanskalken, hvilket Hansen (1945) anså den for at være. Den øverste del af Borregård Member er en lys grå, mikrokrySTALLIN kalksten med mængder af fossilfragmenter og indslag af glaukonit og pyrit. Enkelte steder forekommer derover et kraftigt pyritiseret lag, under hvilket kalken er delvis forvitret på samme måde som Kalby merglen. Overgangen til den overliggende basale antrakonit er ujævn men tydeligt afgrænset de fleste steder. I hulheder på Exsulanskalkens eroderede overflade kan der også findes forekomster af kvartskorn. Det er muligt, at Exsulanskalken har haft større mægtighed oprindeligt, og at den øverste del er forsvundet i forbindelse med den hiatus, der følger inden den overlejrende alunskifer afsattes. Mægtigheden afviger dog ikke væsentligt fra typelokalitetens.

Kalby Member kendes kun fra Læså. Ved gravning i åens venstre bred (fig. 1) kan man følge det i gennemsnit 15 cm mægtige lag ialt omkring 1.5 m over vandniveau og ca. 5 m under vandniveau på grund af lagseriens hældning. Største mægtighed er 40 cm i den nordligste del af blotningen. Den laterale udstrækning synes at være begrænset til disse 6.5 m, muligvis er der tale om mindre forkastninger på begge sider, den nordligste resulterende i vandfaldet over den underliggende Rispebjerg Sandsten.

Kalby merglen gennemstrømmes af grund-

vand, som følger lagseriens hældning. Vandindholdet, 20–25%, giver merglen sin plasticitet i våd tilstand, mens den tør bliver hård og må knuses med hammer. Merglen kan inddeles i tre kornstørrelsesgrupper: 1) småsten, det vil sige lithiske fragmenter af skifer og den underliggende Rispebjerg Sandsten, som her kun er let fosfatiseret, 2) sand domineret af afrundede kvartskorn, glaukonit, pyrit og fosforit og 3) silt bestående af calcitkorn. Over 50% af sedimentet (tør vægt) er mindre end 125 µm, og det gennemsnitlige indhold af calciumkarbonat er 35%. Lerindholdet (illit) er under 5%, hvorfor betegnelsen Kalby ler ikke er relevant.

Mere end 80% af siltfraktionen består af fritliggende calcitkrystaller med mærker efter ætning. Dette tolkes som et residuum efter en tidligere kalksten (Exsulanskalken). Lignende ætningmærker ses på recent karbonat i undermættet havvand (Alexandersson 1975, 1978), hvilket styrker teorien om delithifikation. En C¹⁴-datering af calciten udelukker Recent alder (>36.200 y. B.P.).

Det overliggende pyritlag har tidligere været beskrevet som et konglomerat. I tværsnit indeholder de kompakte pyritboller klaster af fosforit og fosfatiseret sandsten. Den sekundært udviklede pyrit ligger i et tyndt, omkring 5 cm tykt lag af pulveragtig pyrit og fosforit og overlejres af et sammenhængende fosforitlag. Dette såvel som pulveret er meget fossilrigt, alle fossiler er fosfatiserede.

Merglen er opbygget af alternerende grove (sand) og fine (silt) lag, siltlagene tiltagende i tykkelse oppefter. Det nederste sandlag direkte på Rispebjerg Sandstenen indeholder flest klaster. Tilstedeværelsen af afrundede knolde af fosfatiseret Rispebjerg Sandsten, også i pyritlaget, tolkes som bevis på umiddelbar nærhed til kysten. Denne har dog næppe været fikseret til en bestemt linie, snarere har gentagne lokale trans- og regressioner fundet sted over et nederoderet landområde uden signifikante morfologiske træk. Kalby Member er muligvis aflejret nærmere kysten end Borregård Member.

Fossiler

Fossilindholdet er i princippet identisk i de to members. En kumulativ liste over fossilerne kan ses i Berg-Madsen (1981). Trilobiter, i merglen siltstenkerner eller forvitret kalksten, i pyritlaget

fosfatstenkerner, og inartikulate brachiopoder dominerer faunaen. De fleste trilobitarter kan henføres til *Ptychagnostus gibbus* Zonen, men tilstedeværelsen af *Ptychagnostus atavus* i pyritlaget angiver den øvre stratigrafiske grænse i zonen af samme navn (fig. 3). Blandt mikrofaunaen dominerer *Lapworthella bornholmiensis*, conodonten *Amphigeisina danica* og det problematiske fossil *Hadimopanella* sp. i Kalby Member, mens forekomsten i Borregård Member er antalsmæssig meget begrænset. Der kan være tale om sammenskyttet materiale eller en faciesbetinget biotop. *Hadimopanella* sp. er af en anden morfologisk type end de, der er kendt fra Exsulanskalkens nederste del i Skåne og det ækvivalente *Acrothele granulata* konglomerat på Öland. Fragmenter af hyolithellider har tidligere været tolket som bevis for omlejring af et nu forsvundet sediment mellem Rispebjerg Sandstenen og Exsulans Lst. Fm. Der er ikke fundet nogen bevis for dette, alle fossiler forekommer i alle grader af slitage i Kalby merglen, hvilket tilskrives den naturlige ætning den oprindelige kalksten har været udsat for. De talrige echinodermfragmenter har vist sig at komme dels fra eocrinoideer, dels stylophorer.

En lang række mollusker fra Australiens Mellem Kambrium blev beskrevet af Runnegar & Jell (1976). Den planispirale monoplacophor *Protowenella flemingi* forekommer hyppigt i form af glaukonitstenkerner i Kalby merglen og Exsulanskalken. Bedst bevaret er dog de fosfatstenkerner, som findes i pyritlaget over merglen. Et andet eksemplar af en 2.6 mm lang, hue-formet monoplacophor, *Kalbyella poulsenii* n.g. n.sp., fandtes ligeledes i Kalby merglen. Australsk materiale kunne henføres til arten (Berg-Madsen & Peel 1978). En anden hue-formet mollusk kendt fra Exsulanskalken i Sverige, Norge og på Bornholm er blevet revideret. Navnet *Metoptoma* blev ofte anvendt til hue-formede mollusker i forrige århundrede, men *Metoptoma* er nu navnet på en gruppe Øvre Palæozoiske gastropoder. Alle tilgængelige eksemplarer inklusive nye fund er blevet undersøgt og henført til *Scenella*. Den systematiske position er stadig under debat, men arten anses her for at være en monoplacophor (Berg-Madsen & Peel in press).

Glaukonit – mineral og facies

Glaukonit er både betegnelsen for »små grønne korn« uanset kemisk sammensætning og et speci-



Fig. 1. Den Mellem Kambriske lagseries udstrækning ved Læså. Stadiet i baggrunden står på den Nedre Kambriske Rispebjerg Sandsten. Umiddelbart til venstre herfor det hul, som markerer blotningen af Kalby Member. Neds kreden jord dækker det meste af den overliggende nedre alunskifer, Hyolithes- og Andrarumkalk, mens den øvre alunskifer ses helt oppe under morænelaget (denne del af profilet er skjult på dette billede). Hyolithes- og Andrarumkalken ses igen i bredden ved A (detaljer i dette parti er illustreret i Berg-Madsen (1985c)). Andrarumkalken (B) forsvinder ned under den overliggende øvre alunskifer (C) som derefter udgør åbunden. Foto A. Philip, okt. 1984.

The Middle Cambrian strata at Læså. The levelling rod in the background stands on the Lower Cambrian Rispebjerg Sandstone. Immediately to the left of the rod the cavity which indicates the exposure of the Kalby Member. Most of the overlying lower alum shale, Hyolithes- and Andrarum limestones are covered by soil and vegetation fallen down from above. The upper alum shale is visible just below the overhanging soil (the profile is not visible on this photograph). The Hyolithes- and Andrarum limestones are again exposed in the bank (A), for detail of this part see Berg-Madsen (1985c). The Andrarum Limestone (B) dips below the upper alum shale (C) which from then on forms the stream bed. Photograph A. Philip, Oct. 1984.

fikt mineral. Røntgendiffraction af total-sediment prøver fra Exsulanskalken og Kalby merglen viste ingen glaukonit til trods for rigelige mængder små grønne korn. Disse kunne derfor muligvis bestå af ren chlorit, som tydeligt viste sig i diffraktogrammerne. En separering af kornene viste sig vanskelig, da de kun var svagt magnetiske.

Analyser viste dog, at det var en ren dioktahedral 1M glaukonit. Supplerende mikrosonde analyser på de enkelte korn viste derimod præcis det modsatte: den kemiske sammensætning kunne ikke passes ind i den iøvrigt meget brede glaukonitformel.

Glaukoniten i Exsulans Lst. Fm. har et højt

kaliumindhold (>7.5%), hvilket er af betydning for mineralets renhed. Derimod er aluminiumprocenten (>17%) for høj og totaljernprocenten for lav (<8%), dette sidste forklarer, hvorfor glaukoniten ikke som normalt er magnetisk. Ifølge Odin & Matter (1981) bør aluminiumindholdet ikke overstige 9% og totaljernmængden ligge mellem 19 og 27%. Høj-aluminium glaukonit er tidligere kun beskrevet fra et niveau lige omkring Kridt-Tertiær grænsen i New England (Owens & Sohl 1973). På grundlag af fauna og lithologi blev glaukoniten knyttet til køligt og relativt lavt vand.

Glaukonitgenese er blandt andet temperaturbestemt, og da nutidens forekomster er subtropiske og tropiske, bliver havdybden derfor stor. I troperne findes en zonerings med goethitdannelse fra 0–10 meters dybde, chamosit forekommer overvejende mellem 10 og 60 m, hvorefter glaukoniten begynder med største hyppighed omkring 125 m. Owens & Sohl (1973) fremsatte den teori, at høj-aluminium glaukonit i køligt vand erstattede chamosit, d.v.s. på 10–60 m.

Overført til Mellem Kambriske forhold understøtter denne teori beregningerne af Baltoscandias placering omkring 40°–50°S. Trods forekomsten af alunskifer, der nu af næsten alle anses for at være dannet i et shelfmiljø, har havdybden i Mellem Kambrium næppe oversteget 100–150 m og ofte været langt mindre. Med hensyn til glaukonitgenesen kan også laveste havdybde estimeres, idet dannelsen ikke anses at kunne finde sted i turbulent vand. Under hensyntagen til det frie stræk over et åbent hav med kraftige bølgebevægelser, eventuelt tidevand og strømme, bedømmes havdybden til næppe at have været mindre end 10–15 m men heller ikke over 30 m. Muligheden for at glaukoniten er transporteret udelukkes ikke, men 90% af alle glaukonitkorn tilhører en hidtil ukendt morfologisk type, der kun kan være authigen. Kornene er afstøbninger af de porerum i calciten, hvori de ligger. Den hyppigst forekommende morfologiske form er lobate korn, hvilke også forekommer her. I princippet er formen fra Bornholms Mellem Kambrium også lobat, men de omgivende calcitkrystaller har presset lobeerne kantede. Glaukonitkornene får på denne måde falske krystalflader, hvilket giver et glitrende udseende i modsætning til lobate, ovoide eller tabulære konformer.

Desværre vides endnu så lidt om selve gene-

sen, at det ikke kan afgøres, hvorvidt calcitkrystallerne er vokset ind i glaukoniten, eller om denne er ekspanderet i sit porerum og har presset sig mod calcitkrystallerne.

Til sammenligning med den bornholmske glaukonit blev også glaukoniten fra det ækvivalente *Acrothele granulata* konglomerat på Öland analyseret. Denne glaukonit viste ikke lige så store ekstreme værdier for aluminium og totaljern, men lå dog over respektivt under det normale (>13% Al/<14% Fe). Denne glaukonit er tydeligt transporteret og aflejret på lavt vand i et turbulent miljø. Hårdheden (<2) anses at være en hindring for langvarig transport.

Ligeledes er glaukonit heller ikke syrebestandig i længere tid. Tilstedeværelsen af frisk, uforvitret glaukonit i Kalby merglen tages som bevis for, at delithifikationen er af sen dato. Årsagen er ukendt, men en svag svovlsyre som følge af grundvandet og pyritlaget kunne være årsagen og tidspunktet kunne være postglacialt. Den istunge, der uddybede Læsådalen, eroderede de overliggende lag bort, og Exsulanskalken blev blottet. Iltning i forbindelse med gennemstrømmende grundvand (kalken var mere merglet fra starten) og pyrit dannede en svag svovlsyre, som gradvist opløste kalken. Svovlsyre og kalk giver normalt gipsudfældning, gipskrystaller forekommer i merglen. Andre forklaringer er dog mulige.

Mellem Kambriums alder

Den radiometriske tidsskala er først og fremmest dateret på den radiometriske alder af tuf og andre vulkanske bjergarter, som optræder i niveauer, hvis stratigrafiske placering er bestemt på grundlag af fossilindholdet. Foruden vulkanske indslag er også synsedimentære mineraler basis for radiometrisk datering, og glaukonit er her det mest benyttede mineral. Hidtil har K/Ar metoden været anset for relativt upålidelig på grund af de mange fejlmuligheder, men gode resultater er opnået ved at udvælge glaukoniten med større omhu.

Fejlkilderne kan være stratigrafiske, mineralogiske, historisk geologiske og/eller analytiske. De stratigrafiske fejlkilder kan der i dette tilfælde ses bort fra, idet Exsulans Lst. Fm. er biostratigrafisk veldateret.

Mineralogisk er glaukoniten ideel, fordi den er

velkrystalliseret (1 M) og har høj kalium procent, hvorved den også er mere stabil. Undersøgelser har vist, at tektoniske forstyrrelser – for eksempel forkastninger – påvirker glaukoniten mindre end indsynkning til store dybder (Odin 1982). Dog vil en opvarmning til 200°C betyde tab af argon og dermed rekrystallisation. Dateringen vil i så fald angive dette tidspunkt og ikke den oprindelige alder. Meget tyder på, at Bornholms Palæozoiske aflejringer har været udsat for en indsynkning på over 2 km og en opvarmning på >90°C begyndende i sen Silurisk tid (Buchardt & Nielsen 1985).

De analytiske fejlmuligheder strækker sig fra selve prøvetagningen og dens behandling til den endelige analyseproces. Påvirkning af syre bør helst undgås, hvilket har været umuligt med hensyn til Exsulanskalken. Kalby merglen er naturligt opløst (svag syre!) men har til gengæld gennemgået en behandling med ultralyd for at blive rensat for forvittringsprodukter (goethit). Til sammenligning har glaukoniten fra *Acrothele granulata* konglomeratet været udsat for længere tids syrepåvirkning men har formodentlig hverken været udsat for indsynkning eller andre tektoniske påvirkninger. Dette skulle i nogen grad opveje den lidt lavere kalium procent og dermed den lidt mindre stabile glaukonit.

Paul Martin Holm, Institut for Petrologi, København, har okt.–nov. 1985 analyseret glaukoniten fra Bornholms Mellem Kambrium og opnået følgende resultater (minimumsaldre):

Exsulanskalken 496 ± 6 Ma
Kalby merglen 513 ± 5 Ma

Analyserne viste også spor af en opvarmning tidsmæssigt modsvarende den kaledoniske orogese. På nærværende tidspunkt kan forskellen mellem de to dateringer ikke umiddelbart forklares, men yderligere undersøgelser pågår. Dateringerne stemmer vel overens med de foreslåede officielle aldre (Odin 1982) for Kambrium-Ordovicium (495 ± 10 Ma) og Prækambrium-Kambrium (530 ± 10 Ma) grænserne. Sidstnævnte er dog under diskussion og skal muligvis placeres ca. 570 Ma. Glaukoniten fra *Acrothele granulata* konglomeratet gav en alder i kraftig uoverensstemmelse med de ovennævnte, hvorfor analysen må betragtes som værdiløs.

Nedre alunskifer og antrakoniterne

Efter en sedimentationsafbrydelse, eventuelt med efterfølgende erosion og muligvis tørlægning, indledtes aflejringen af det lersediment, der nu udgør alunskiferen. Indslag af kalk i den indledende fase koncentreredes omkring partier med tidligere afsat kalksten og udvikledes diagenetisk til den basale antrakonit. Denne overlejrer Exsulans Lst. Fm. både ved Læså og Øleå, omend mægtigheden varierer betydeligt. Det stærkt forvitrede lag over Kalby Member er 20–50 mm, mens mægtigheden ligger mellem 15 og 20 cm over Borregård Member. Undertiden mangler antrakoniten helt, for eksempel ved det gamle stenbrud i Øleå, hvor nedre alunskifer ligger direkte på Exsulanskalken. Andre steder ses alunskiferen direkte på den Nedre Kambriske Rispebjerg Sandsten.

Grönwall (1899, 1902) beskrev den basale antrakonit som halve boller, der var så tætliggende, at det virkede som et sammenhængende lag. Hansen (1945) anså derimod antrakoniten for at være et sammenhængende lag på toppen af en meget ujævn Rispebjerg Sandsten i hvis sænkninger Exsulanskalken var aflejret. Kombineret har både Grönwall og Hansen ret, bortset fra at alunskiferen og antrakoniten er chronostratigrafiske ækvivalenter.

Med hensyn til betegnelsen basal antrakonit, anvendes denne kun på grund af den lange tradition for navnet (Johnstrup 1974). Ifølge de seneste opslagsværker (Walton et al. 1983) er antrakonit synonym til stinkstone. Trods et indhold på omkring 4% organisk C afgiver den basale antrakonit ingen lugt. Det samme gælder den »antrakonit« der overlejrer den nedre alunskifer, men på grund af fossilindeholdet kan denne henføres til den svenske ækvivalent, Hyolitheskalken, hvorfor dette navn indføres på Bornholm. Først antrakonitbollen, der direkte overlejrer Andrarumkalken i det gamle stenbrud ved Øleå, modsvarer sit navn. Igangværende undersøgelser har vist, at antrakonit og stinksten oprindeligt omfattede alle ildelugtende bjergarter og mineraler, for eksempel baryt.

Den nedre alunskifer har en mægtighed af 1.4 m ved Læså, af hvilke de nederste 30 cm er let foldede. Undertiden ses mindre samlinger af rundede kvartskorn på lagfladerne og ganske tynde (2 mm) kalklag optræder nu og da mellem

lagfladerne. Mellem 50 og 60 cm fra undergrænsen forekommer et mere glimmerholdigt og blødere niveau, end den omgivende hårde skifer. Dette niveau er meget fossilrigt, men fossilerne er ikke bestembare. Toppen af alunskiferen er svagt fosfatiseret på visse steder. Ved Øleå er den totale mægtighed 80 cm (Grönwall 1902). Ingen steder i dag kan den maksimale mægtighed ses, den forekommer muligvis under broen, hvor vanddybden normalt er for stor til nærmere undersøgelser. Den svage foldning er begrænset til de nederste 20 cm, og det glimmerholdige niveau ligger noget højere, 65–75 cm over Exsulanskalken. De tynde kalklag mangler helt.

Betegnelsen Alun Shale Formation med nedre alunskifer som Lower Member og både den Mellem og Øvre Kambriske øvre alunskifer som Upper Member blev indført af Gee (1972). Eftersom årsagen var ren bekvemmelighed, hverken typelokalitet, total mægtighed eller generel udvikling blev diskuteret, anvendes og anbefales betegnelsen ikke af forfatteren. Det skandinaviske Palæozoikum er fra gammel tid belastet med så mange, efter nutidens stratigrafiske nomenklatur, ukorrekte betegnelser, at nye ikke bør få indpas. En fælles indsats af de skandinaviske palæontologer burde løse disse problemer.

Hyalitheskalken har været beskrevet af Hansen (1945), Hadding (1958) og Larsen & Thiede (1971). Fælles er inddelingen i forskellige enheder, omend disse ikke altid stemmer overens. Hansen placerede et fosforitkonglomerat i toppen af den underste del og noterede mængdeforskellen mellem fosforitknoldene ved Læså og Øleå. Den mellemste del var en grovkrystallin, sort kalksten og den øverste del indeholdt de karakteristiske fjer-formede calcitkrystaller, som også ses i den basale antrakonit. Hadding beskrev hele kalkbænken som en mørk kalksten med konglomerat i underste og mellemste del, øverst var den udviklet som antrakonit. Heraf ses, at Hadding tolkede antrakonit som en speciel krystalstruktur, d.v.s. den der også forekommer rundt om de Øvre Kambriske antrakonitboller. Larsen & Thiede beskrev Hyolitheskalken fra Læså og placerede konglomeratet i den mellemste del. En kraftig erosion inden den øverste del blev aflejret havde skåret igennem både den mellemste og underste del.

Udviklingen ved Øleå afviger en del, og variationerne inden for selv korte horisontale afstande

er store. Den nederste centimeter er udviklet som store, fibrøse (fjer-formede) calcitkrystaller, der vokser ned i den underliggende alunskifer. Aftryk i skiferen viser, at den ikke var fuldkommen konsolideret inden Hyolitheskalken udvikledes. To trediedele af den 15–20 cm mægtige Hyolitheskalk består af sort, lamineret kalksten med små pyritkrystaller, der antyder lagflader. Den øverste trediedel er et fossilholdigt fosforitkonglomerat, dog er fosforitknoldene yderst små. Den øverste del er ikke fundet tilstede. Både erosionen og konglomeratet anses for et resultat af slumping. Der er dog ingen tegn på en betydelig erosion inden eller samtidig med aflejringen af konglomeratet, som foreslået af Larsen & Thiede (1971). I lighed med den basale antrakonit er Hyolitheskalken en tidlig diagenetisk kalksten (Buchardt & Nielsen 1985).

Fossiler

Ikke uventet indeholder både den basale antrakonit og især de nederste 30 cm af nedre alunskifer de samme trilobitarter. I alunskiferen er mere end 400 eksemplarer fundet, af hvilke de fleste kun var bestembare til slægt. Af størst stratigrafisk betydning er *Ptychagnostus punctuosus punctuosus*, idet den kun findes i zonen af samme navn (Westergård 1946). Tilstedeværelsen af *Tomagnostus perrugatus*, som betegnes som hyppigst forekommende i den øverste del af *Hypagnostus parvifrons* Subzonen (Fig. 3), medfører at den nedre stratigrafiske grænse ikke kan ligge højere. Den tidligere placering var til dels grundet på tilstedeværelsen af *Ptychagnostus atavus* (V. Poulsen 1966) af Grönwall (1902) beskrevet som *P. intermedius* og almindelig i den nederste del af alunskiferen. Da der tidligere har været vanskeligheder med at skelne mellem de to arter, formodede V. Poulsen alene på grund af den stratigrafiske placering, at der var tale om *P. atavus*. Robison (1982, 1984) løste problemet vedrørende adskillelsen og angav Grönwalls eksemplar som *P. intermedius*. Eftersom *P. intermedius* kun forekommer i *P. gibbus* Zonen og *P. punctuosus punctuosus* nu løfter alunskiferens undergrænse betydeligt, må der være tale om enten omlejring eller, hvilket forekommer usandsynligt, en grov fejlbestemmelse. En undersøgelse har vist, at der ikke eksisterer eller har været registreret noget eksemplar af *P. intermedius* i Geologisk Museums samlinger. Ligeledes har Robi-

son aldrig set det (personlig kommunikation) og blandt de fundne trilobitarter i nedre alunskifer forekommer ingen, som på nogen måde kan forveksles med *P. intermedius* eller *P. atavus*. Man kan undre om Grönwall bevidst forsøgte at tilpasse den bornholmske stratigrafi til den skånske? Foruden trilobiter forekommer inartikulate brachiopoder, *Protospongia fenestrata*, conodonter?, hyolithider? og andre problematiske fossiler i alunskiferen, hvorimod den basale antrakonit kun indeholder trilobiter.

Lister over samtlige trilobitarter (reviderede hvor det har været muligt) registrerede fra alle formodede antrakonitboller og Hyolitheskalken af Johnstrup (1874, 1891) og Grönwall (1899, 1902) er opstillet i Berg-Madsen (1958b). Disse lister viser tydeligt, at den overvejende del af de polymeride trilobiter er begrænsede til *P. punctuosus* Zonen, færre til *Solenopleura brachymetopa* Zonen (fig. 3) og få, ofte problematiske, til enten *P. gibbus* Zonen eller *Tomagnostus fissus* Subzonen. Agnostiderne har større udbredelse, men også disse er begrænsede til enten *Hypagnostus parvifrons* Subzonen – *P. punctuosus* Zonen eller *S. brachymetopa* – *Lejopyge laevigata* zonerne. Flere agnostider end polymeride trilobiter forekommer i både *P. punctuosus* og *S. brachymetopa* zonerne, det vil sige overlapper det niveau, der tidligere var *P. nathorsti* Zonen. Denne zone indgår nu i *P. punctuosus* Zonen (se nedenfor). Som allerede noteret af Grönwall (1902) er der tale om to forskellige faunaer i Hyolitheskalken, som derfor anbringes i to zoner. Indholdet af hyolithider svarer til indholdet i den svenske Hyolitheskalk. På grund af den fra Andrarumkalken afvigende lithologiske udvikling gav Linnarsson (1883) den navnet Hyolitheskalk. Både denne og senere Westergård (1946) anså den som hørende til samme zone som Andrarumkalken (*S. brachymetopa*). Inartikulate brachiopoder er sjældne, men både conodonter og pelagiellaceer forekommer hyppigt.

Det øverste Mellem Kambrium

Andrarumkalken er kendt fra adskillige lokaliteter i det sydlige Baltoscandia, og hvor selve kalken ikke er udviklet viser de karakteristiske trilobitarter niveauets placering i alunskiferen. Stratigrafisk er Andrarumkalken således det eneste

helt faste punkt i den Mellem Kambriske lagserie.

Mægtigheden er omkring 60 cm både ved Læså og Øleå. I den ældre litteratur angives ofte 80 cm, men da er Hyolitheskalken medregnet. Lithologisk forekommer to forskellige typer: mørk grå, finkornet kalk med de enkelte calcitkorn omgivet af bitumen og lerminerale og en lysere grå, mere grovkrystallin kalk med nogen kvarts og glaukonit. Fosforitklumper og uregelmæssige aggregater forekommer overvejende i den øvre del, hvor den antyder lagfladerne og ofte indeholder fossiler. Det store lerindhold (>25%) i forbindelse med kalk og pyrit har været medvirkende årsag til udnyttelsen ved cementfremstilling (hydraulisk cement som kunne størkne under vand) og til mergling. Af samme årsag er den usædvanligt hård, og det er forståeligt at Johnstrup (1874, 1891) indsamlede sine prøver ved knusemøllen (Cementmøllen) nord for stenbruddet ved Øleå. Ved Læså er både Andrarumkalken og den underliggende Hyolitheskalk kraftigt forvitrede hvor de overlejrer Kalby merglen. Årsagen hertil er ukendt, muligvis hænger forvitringen af alle kalklag sammen, men på den anden side er de tynde kalkindslag i den 1.4 m mægtige mellem-liggende alunskifer ikke forvitrede. Ved Læså kan Andrarumkalken følges omkring 20 m, inden den på grund af hældningen forsvinder under den øvre alunskifer i højre bred og åbunden (fig. 1). Ved Øleå er lagserien næsten horisontal, forkastningsblokken danner her en meget åben synklinale, hvis akse ligger lige vest for broen. Som følge heraf er lagserien størst på dette sted, mens den tynder ud og forsvinder i nærheden af det, der nu er tilbage af det gamle stenbrud. Her kan Hyolithes- og Andrarumkalken følges mere end 25 m med næsten maksimal mægtighed, mens den underliggende nedre alunskifer på dette sted kun er ca. 15 cm mægtig og den basale antrakonit helt mangler (fig. 2).

Makro- og mikrofossiler

Sammenlignet med antallet trilobitarter kendt fra typelokaliteten ved Andrarum i Skåne er den bornholmske Andrarumkalk artsfattig, omend visse arter er endemiske for Bornholm. Bortset fra revision af navne og enkelte fund af agnostider (*Peronopsis fallax minor*, *Lejopyge lundgreni*) ikke tidligere kendte fra Andrarumkalken på Bornholm er trilobiterne ikke undersøgt nær-



Fig. 2. Del af det gamle stenbrud ved Øleå. Stadiet står på den nedre alunskifer, som her overlejrer Exsulanskalken direkte. Hyolithes- og Andrarumkalken (A) overlejres af øvre alunskifer, rygsækken ligger på alunskiferlaget, der adskiller de to kalkbænke. Grænsen Mellem-Øvre Kambrium ligger mellem 1.2 og 1.3 m over Andrarumkalken, prøvetagningsstedet er her markeret med X. Et oversigtsbillede over hele partiet vises i Berg-Madsen (1958c). Foto A. Philip.

Detail of part of the old quarry at Øleå. The levelling rod stands on the lower alum shale which here immediately overlies the Exsulans Limestone. The Hyolithes- and Andrarum limestones (A) are overlain by the upper alum shale, the rucksack lies on the thin layer of alum shale separating the two limestone units. The Middle-Upper Cambrian boundary lies between 1.2 and 1.3 m above the Andrarum Limestone, the sampling location here indicated by X. A general view of the complete cliff section is shown in Berg-Madsen (1958c). Photograph A. Philip.

mere. En liste med reviderede navne findes i Berg-Madsen (1985c). Hyolither forekommer hyppigt men er ikke heller undersøgt nærmere. *Hyolithes tenuistriatus* er tidligere den eneste registrerede, men et velbevaret operculum af *Linevitus obscurus* er også fundet. De inartikulate brachiopoder blev allerede beskrevet af Seebach (1865) og Linnarsson (1876) og er under revision (Bassett & Berg-Madsen, upubliceret). *Dictyo-*

nina og *Micromitra* er de hyppigst forekommende slægter. Conodonten *Gapparodus bisulcatus* forekommer relativt hyppigt, og de få eksemplarer fundne af *Lapworthella bornholmensis* repræsenterer dette problematiske fossils højest kendte stratigrafiske niveau. Spikler af *Protospongia fenestrata*, *Chancelloria eros* og cf. *Hintzespongia* forekommer overalt i kalken. Foruden en lang række problematiske mikrofossiler

indeholder Andrarumkalken særdeles velbevarede ostracoder (Hesslandonidae), pelagiellaecer, monoplacophorer og muslinger. Flere lignende arter er beskrevet fra Australien og New Zealand, hvor de er fundet i stratigrafisk ækvivalente strata (MacKinnon 1982, 1985). En beskrivelse af de bornholmske arter er under forberedelse.

Delvis og helt fosfatiserede echinodermfragmenter forekommer hyppigt i både Exsulans Lst. Fm. og i Andrarumkalken. En rekonstruktion er ikke mulig, men visse fragmenter kan henføres til eocrinoideer og stylophorer. De fleste fosfatiserede fragmenter gengiver stereomstrukturen i mindste detalje, hvilken ikke tidligere har været kendt fra Mellem Kambriske echinodermer. Ligeledes er eocrinoideer med stilk sjældne, den ældste og eneste Mellem Kambriske kendes fra Bøhmen hvor den forekommer i et niveau, der ligger over Exsulanskalken men under Andrarumkalken. I alt er mere end 50 stilkled fundet i det bornholmske Mellem Kambrium, og de samme typer forekommer både i Exsulans Lst. Fm. og Andrarumkalken. Stilkledene varierer med hensyn til højde og bredde, ornamentering i form af knopper eller pigge og artikulation. En enkelt type kan henføres til en problematisk eocrinoidé, *Trachelocrinus resseri*, oprindeligt beskrevet som en crinoidé. Artikulationen hos eocrinoideer har heller ikke tidligere været beskrevet, og den har vist sig langt mere udviklet end tidligere troet. Ligheden med stilkledene hos de tidlige crinoideer fra Nedre Ordovicium muliggør en parallel udvikling allerede i Mellem Kambrium. De fleste echinodermfragmenter fremviser en rig variation på specialiseret stereomstruktur, kun stilkledene er relativt enkelt opbyggede. Der er ingen tegn på sammenvoksning af to eller flere dele, hvilket skulle vise overgangen mellem polymere (eocrinoideer og tidlige crinoideer) og holomere (andre cystoideer og crinoideer) stilkled (Berg-Madsen 1986).

Grænsen Mellem-Øvre Kambrium

Ved Læså ses den Mellem Kambriske del af øvre alunskifer over den forvitrede del af Andrarumkalken samt på det sted, hvor kalken forsvinder (fig. 1). Ved Øleå følger den ligeledes Andrarumkalken, og her ses dels en antrakonitbolle, der direkte overlejrer Andrarumkalken, dels hul-

ler efter nedfaldne eller nedbrudte boller. Disse ligger dog så højt, at alunskiferen er blevet Øvre Kambrisk. Skiferen er let at kløve, men specielt ved Læså findes op til 5 cm tykke, ret massive lag. Skiferen ved Øleå er mere forvitret og lagfladerne mere ujævne. Jarosit og små flade gipsrosetter forekommer hyppigt på lagfladerne. Omkring 10 cm over Andrarumkalken ved Læså findes et lag med delvis forvitrede kalknoder.

Fossiler er sjældne. I 55 kg materiale fandtes kun to bestembare trilobiter, heraf den ene i en kalknodul. Begge arter forekommer i den øverste del af *Lejopyge laevigata* Zonen (fig. 3), hvilket betyder at den nederste del af zonen kun er ca. 10 cm mægtig. Dette modsvarer forholdene ved Andrarum i Skåne, hvor den nederste del er omkring 30 cm mægtig. Inartikulate brachiopoder findes hyppigt i de nederste 40 cm og specielt ved Læså, men de forekommer overalt i lagserien. *Micromitra* er den almindeligste art, den forekommer kun i Mellem Kambrium og er ikke fundet højere end 1.5 m over Andrarumkalken ved Øleå og 65 cm ved Læså. I samme niveau, hver prøve omfatter et 10 cm interval, forekommer conodonten *Westergaardodina tricuspidata*. Denne art er kun kendt fra Øvre Kambrium. Den formodede ostracod *Svealuta primordialis*, som C. Poulsen (1923) angav fra Øleå 80 cm over Andrarumkalken, er fundet helt op til 1.2 m over kalken (30 cm ved Læså). Ligeledes forekommer andre, overvejende hesslandonide ostracoder i de samme niveauer.

V. Poulsen (1923) placerede grænsen Mellem-Øvre Kambrium mellem 80 cm og 2.1 m over Andrarumkalken på grundlag af *S. primordialis*, som er Mellem Kambrisk, og den første optræden af *Agnostus pisiformis*. Denne agnostid kan dog også forekomme i det øverste Mellem Kambrium, hvilket Poulsen gjorde opmærksom på. Den nuværende grænse er fundet ved både Læså og Øleå, den er begrænset indenfor et 10 cm niveau og ligger lavere end tidligere antaget. Mægtigheden af Mellem Kambrium er således ikke mere end 3 m ± 10 cm på de to kendte lokaliteter, hvorfra blotninger er kendte.

Historisk tilbageblik

De foretagne ændringer af bio- og lithostratigrafisk karakter er lettest forståelige, når man følger den historiske udvikling.

MIDDLE CAMBRIAN BIOSTRATIGRAPHY	ZONAL GROUPS	Sweden	Norway	Denmark	LITHOSTRATIGRAPHICAL DIVISIONS
	Paradoxides	<i>Lejopyge laevigata</i>	<i>Lejopyge laevigata</i>	<i>Lejopyge laevigata</i>	upper alum shale
forchhammeri	<i>Solenopleura brachymetopa</i>	<i>Solenopleura brachymetopa</i>	<i>Solenopleura brachymetopa</i>	Andrarum Lst. Form.	
	<i>Ptychagnostus nathorsti</i>	<i>Ptychagnostus nathorsti</i>	<i>Ptychagnostus punctuosus</i>	Hyolithes lst.	
Paradoxides	<i>Ptychagnostus punctuosus</i>	<i>Ptychagnostus punctuosus</i>		lower alum shale	
	<i>Hypagnostus parvifrons</i>	<i>Hypagnostus parvifrons</i>	<i>Hypagnostus parvifrons</i> SUBZONE	Hiatus?	
paradoxissimus	<i>Tomagnostus fissus</i> <i>Ptychagnostus atavus</i>	<i>Tomagnostus fissus</i> <i>Ptychagnostus atavus</i>	<i>Tomagnostus fissus</i> SUBZONE		
	<i>Ptychagnostus gibbus</i>	<i>Ptychagnostus gibbus</i>	<i>Ptychagnostus gibbus</i>	Exsulans Lst. Form.	
Eccaparadoxides	<i>E. oelandicus forma pinus</i>	<i>E. oelandicus forma pinus</i>	NOT PRESENT		
oelandicus	<i>Eccaparadoxides insularis</i>	<i>E. insularis</i>			

Fig. 3. Den reviderede bio- og lithostratigrafiske inddeling af Mellem Kambrium på Bornholm sammenlignet med de tilsvarende fra Sverige og Norge (Berg-Madsen 1985 a).

Comparative trilobite zonation showing the local standards in Sweden, Norway and the revised biostratigraphy and lithostratigraphical divisions of Bornholm (Berg-Madsen 1985 a).

Forchhammer (1835) var den første, der beskrev Bornholms geologi. Han noterede de Mellem Kambriske alunskifer og deres kalkstenslag og kalkstensboller – kaldet *stinksteen* eller *anthracolith*. Størrelsesangivelsen viser tydeligt, at der er tale om antrakonitbollerne i den Øvre Kambriske alunskifer ved Læså. »Så kaldte antrakonitboller« fra Øleå blev omtalt af Seebach (1865), men hans lokalitetsbegreb er noget difust, og den daværende stratigrafiske inddeling ukorrekt (Angelin 1854, Nathorst 1869).

Johnstrup (1874) opstillede den første detaljerede inddeling af Bornholms Palæozoikum. Med undtagelse af Andrarumkalken blev alle Mellem Kambriske kalkstenslag og -boller benævnt antrakonit. Bestemte fossiler blev ikke fundet i alunskiferen, men artslister opstillet over fund fra både formodede antrakonitboller og Andrarumkalken. Han anvendte dels museumsmateriale, dels eget, som for hovedpartens vedkommende ikke var indsamlet *in situ*. Dette er etiketteret »Cementmøllen«. I teorien har Johnstrup haft tre lithologisk næsten identiske »antrakoni-

ter« at blande sammen. Den basale antrakonit, som han ikke kendte og som tilsyneladende er borte i selve stenbruddet, Hyolitheskalken og de overliggende antrakonitboller. Formodningen om boller i nedre alunskifer skyldes udelukkende den svage foldning, ingen blev rent faktisk set i skiferen.

Tullberg (1880) noterede som den første forskellene mellem lagserien ved Læså og Øleå. Fra Hyolitheskalken opregnede han en række trilobitarter, inklusive fire arter tidligere indsamlede og deponeret på Geologisk Museum i København.

supplerede sine tidligere fossilister med fire arter fra Tullbergs liste. To af disse var blandt dem, som Tullberg selv supplerede med fra Geologisk Museum!

Grönwall (1899, 1902) opdagede den basale del af Mellem Kambrium i form af Kalby merglen ved Læså og Exsulanskalken og den overliggende basale antrakonit ved Øleå. Han anså Kalby merglen som et residuum af Exsulanskalken, fra hvilken en række fossiler noteredes. Den

basale antrakonit blev anset som fossilfri. Bestemte fossiler blev ikke fundet i alunskiferen, men lister opstillet på grundlag af museumsmateriale (indsamlet af Johnstrup og andre) påviste nu to niveauer med antrakonitboller ved Øleå. Her var den maksimale mægtighed nu 80 cm. Et tredje niveau med boller indføres i et tillæg (Grönwall 1902). Desuden viste Hyolitheskalken sig at indeholde to adskilte faunaer. Ved Læså fandtes yderligere en overgangsfauna mellem Hyolithes- og Andrarumkalken, et tyndt lag alunskifer adskilte de to kalkbænke ved Øleå.

Grönwall opdelte Mellem Kambrium i fire zoner inklusive tre underzoner svarende til inddelingen i Sverige (Torell 1870, Tullberg 1880, Linnarsson 1883). Denne inddeling anvendtes med mindre ændringer og tilføjelser af C. Poulsen (1923, 1942, 1960) og Hansen (1937, 1945). Bornholms Kambro-Silure stratigrafi blev revideret af V. Poulsen (1963, 1966) og Mellem Kambrium inddelt i zoner følgende det svenske system indført af Westergård (1946, 1953). Dette system har siden fået vid udbredelse, dog med lokale variationer.

Agnostidzoneringsen diskutabel

Westergård opdelte Mellem Kambrium i tre »Stages«, hver opdelt i et antal zoner betegnet med bogstaver og tal. En stratigrafisk inddeling på grundlag af Paradoxidesarter blev anset for utilfredsstillende, idet fossilmaterialet oftest var fragmentarisk og svært at bestemme til art. Agnostider blev derfor anvendt som indexfossiler til de fleste zoner. Indexfossilerne blev udvalgt på to grundlag: 1) første optræden og begrænset vertikal udbredelse globalt, og 2) en pludselig hyppig forekomst. Dette sidste gælder blandt andet *Tomagnostus fissus* og *Hypagnostus parvifrons*, som derfor bør indgå som subzoner i *Ptychagnostus atavus* Zonen. Derved undgås komplikationer med Westergårds bogstav-tal nomenklatur, og stratigrafien bliver direkte sammenlignelig med den nordamerikanske.

P. lundgreni – *P. nathorsti* Zonen er derimod problematisk på mange punkter. Westergård undersøgte fire borekerner og over 1000 løse blokke på forskellige lokaliteter i Skåne. Zonen optræder i en antrakonit, som til dels er sammenvokset med Andrarumkalken præcis som Hyolitheskalken, der også betegnes som antrakonit. Stratigrafisk hører den til samme zone som An-

drarumkalken. Visse antrakoniter henføres til *P. punctuosus* Zonen, uagtet fossilindholdet er nøjagtigt det samme som i de antrakoniter, der henføres til *P. lundgreni* – *P. nathorsti* Zonen. Resultatet bliver at antrakonit sammenvokset med Andrarumkalken henføres til tre forskellige zoner. Yderligere forekommer ingen trilobiter specifikke for den specielle zone. En enkelt art, *P. scannensis*, anses dog af Westergård som begrænset til zonen, men den forekommer sammen med *P. nathorsti*, som har en vid udbredelse. På Bornholm findes den næsten altid sammen med *P. punctuosus punctuosus*, men går helt ned i *H. parvifrons* Subzonen.

Westergård selv var i tvivl om zonen berettigelse, idet den ikke fandtes andre steder end Skåne, men besluttede at beholde den provisorisk (Westergård 1944). Uden yderligere grundlag bibeholdt han den også senere (Westergård 1946, 1953). På Bornholm noterede V. Poulsen (1966) Hyolitheskalkens lighed med den tilsvarende skånske, dog uden at indføre navnet og stratigrafisk anbringe den i den underliggende zone (*P. lundgreni* – *P. nathorsti*). Undersøgelser har nu vist, at den overvejende del af faunaen hører hjemme i *P. punctuosus* Zonen, mens resten hører til *Solenopleura brachymetopa* Zonen. Ingen indikationer på hverken en mellemliggende zone eller en hiatus omfattende denne kan påvises. Af denne årsag anbringes Hyolitheskalken på Bornholm i begge de ovennævnte zoner, og *P. lundgreni* – *P. nathorsti* Zonen indgår i *P. punctuosus* Zonen. Dette anbefales for alle øvrige lande, hvor zonen stadig anvendes. I Nord Amerika formodes *P. punctuosus* Zonen at indeholde flere subzoner, men en *P. nathorsti* Subzone vil der ikke blive tale om (Robison 1984). En underopdeling af *P. punctuosus* Zonen på Bornholm bør derfor udsættes til senere. Westergårds bogstav-tal betegnelse kan kombineres (B4+ C1) eller C1 helt ignoreres.

Litteratur

- Alexandersson, E. T. 1975: Etch patterns on calcareous sediment grains: Petrographic evidence of marine dissolution of carbonate minerals. *Science* 189, 47–48.
- Alexandersson, E. T. 1978: Petrographic saturation in marine carbonate sediments. *Scanning Electron Microscopy* 1978(1), 503–511.
- Angelin, N. P. 1854: *Palaeontologia Scandinavica*, 1–92. Lund.

- Berg-Madsen, V. 1981: The Middle Cambrian Kalby and Borregård Members of Bornholm, Denmark. *Geol. Fören. i Stockholm Förhandl.* 103, 215–231.
- Berg-Madsen, V. 1983: High-alumina glaucony from the Middle Cambrian of Öland and Bornholm, southern Baltoscandia. *Jour. Sed. Petrology*, v. 53, No. 3, 875–893.
- Berg-Madsen, V. 1985a: Middle Cambrian biostratigraphy, fauna and facies in southern Baltoscandia. *Acta Universitatis Upsaliensis. Abstracts of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science*, 781, 37 pp.
- Berg-Madsen, V. 1985b: The Middle Cambrian of Bornholm, Denmark: A stratigraphical revision of the lower alum shale and associated anthraconites. *Geol. Fören. i Stockholm Förhandl.* 106 (for 1984), 357–376.
- Berg-Madsen, V. 1985c: A review of the Andrarum Limestone and the upper alum shale (Middle Cambrian) of Bornholm, Denmark. *Bull. Geol. Soc. Denmark*, v. 34, in press.
- Berg-Madsen, V. 1986: Middle Cambrian cystoid (*sensu lato*) stem columnals from Bornholm, Denmark. *Lethaia* 19, in press.
- Berg-Madsen, V. & Peel, J. S. 1978: Middle Cambrian monoplacophorans from Bornholm and Australia, and the systematic position of the bellerophonitiform molluscs. *Lethaia* 11, 113–125.
- Berg-Madsen, V. & Peel, J. S. 1986 (in press): *Scenella barandei* (Mollusca) from the Middle Cambrian of Baltoscandia. *Norsk Geol. Tidsskrift* 65, in press.
- Buchardt, B. & Nielsen, A. T. 1985: Carbon and oxygen isotope composition of Cambro-Silurian calcareous rocks from Bornholm: Evidence for deep burial diagenesis. *Bull. geol. Soc. Denmark* 33, 415–435.
- Forchhammer, J. G. 1835: Danmarks geognostiske forhold. *Indbydelsesskrift til Reformationsfesten den 14de November 1835 i Kjøbenhavn*, 121 pp.
- Gee, D. G. 1972: The regional geological context of the Täsjö uranium project, Caledonian Front, Central Sweden. *Sveriges geol. unders.* C 671, 36 pp.
- Grönwall, K. A. 1899: Bemærkninger om de sedimentære dannelser på Bornholm og deres tektoniske forhold. *Danm. Geol. Unders.* II rk., Nr. 10, 52 pp.
- Grönwall, K. A. 1902: Bornholms Paradoxideslag og deres fauna. *Danm. Geol. Unders.* II rk., Nr. 13, 250 pp.
- Hadding, A. 1958: Cambrian and Ordovician limestones. The pre-Quaternary sedimentary rocks of Sweden, VII. *Lunds Univ. Årsskr.* N. F. Avd. 2, Bd. 54, Nr. 5, 262 pp.
- Hansen, K. 1936: Die gesteine des Unterkambriums von Bornholm. *Danm. Geol. Unders.* II rk., Nr. 62, 194 pp.
- Hansen, K. 1937: Sammenlignende studier over kambriet i Skåne og på Bornholm. *Meddr. dansk geol. Foren.* 9, 151–183.
- Hansen, K. 1945: The Middle and Upper Cambrian sedimentary rocks of Bornholm. *Danm. Geol. Unders.* II rk., Nr. 72, 81 pp.
- Johnstrup, F. 1874: Oversigt over de palæozoiske dannelser på Bornholm. *Beretning IIte skandinaviske naturforskermøde i Kjøbenhavn 1873*, 1–10.
- Johnstrup, F. 1891: Abriss der Geologie von Bornholm, als Führer zu der Exkursion der Deutschen Geologische Gesellschaft der Insel Bornholm im Anschluss an die allgemeine Versammlung in Greifswald 1889. 66 pp.
- Larsen, G. & Thiede, J. 1971: Sedimentary structures in Cambrian limestones studied by radiography. *Lethaia* 4, 66–69.
- Linnarsson, G. 1876: Brachiopoda of the Paradoxides beds of Sweden. *Bihang Kungl. Sv. Vetensk.-Akad. handl.* 3, 34 pp.
- Linnarsson, G. 1883: De undre Paradoxideslagren vid Andrarum. *Sveriges geol. unders.* C 54, 47 pp.
- MacKinnon, D. I. 1982: *Tuarangia paparuia* n. gen. and n. sp., a late Middle Cambrian pelecypod from New Zealand. *Jour. of Paleont.* 56, 589–598.
- MacKinnon, D. I. 1985: New Zealand late Middle Cambrian molluscs and the origin of Rostroconchia and Bivalvia. *Alcheringa* 9, 65–81.
- Nathorst, A. G. 1869: Om lagerföljden inom Cambriska formationen vid Andrarum i Skåne. *Öfversigt. Kungl. Sv. Vetenskaps-Akad. Förhandl.* 26, 61–65.
- Odin, G. S. (ed.) 1982: *Numerical dating in stratigraphy I–II*, 1040 pp. Wiley-Interscience, London.
- Odin, G. S. & Matter, A. 1981: De glauconiarum origine. *Sedimentology* 28, 611–641.
- Owens, J. P. & Sohl, N. F. 1973: Glauconite from New Jersey–Maryland Coastal Plain, their K/Ar ages and application in stratigraphic studies. *Geol. Soc. Am. Bull.* 84, 2811–2838.
- Poulsen, C. 1923: Bornholms Olenuslag og deres fauna. *Danm. Geol. Unders.* II rk., Nr. 40, 83 pp.
- Poulsen, C. 1942: Nogle hidtil ukendte fossiler fra Bornholms Exsulanskalk. *Meddr. dansk geol. Foren.* 10, 212–235.
- Poulsen, C. 1960: The Palaeozoic of Bornholm. *XXI Intern. Geol. Congress, Guide to Excursions nos. A 46 and C 41*, 15 pp.
- Poulsen, V. 1963: The lower Middle Cambrian Kalby-ler (Kalby Clay) on the island of Bornholm. *Biol. Meddr. Dan. Vidensk. Selsk.* 23, Nr. 14, 14 pp.
- Poulsen, V. 1966: Cambro-Silurian stratigraphy of Bornholm. *Meddr. dansk geol. Foren.* 16, 117–137.
- Poulsen, V. 1978: *Dalmanitina* beds (late Ordovician) on Bornholm. *Danm. Geol. Unders., Årbog 1976*, 53–87.
- Robison, R. A. 1982: Some Middle Cambrian agnostoid trilobites from western North America. *Jour. of Paleont.* 56, 132–160.
- Robison, R. A. 1984: Cambrian agnostids of North America and Greenland, Part I, Ptychagnostidae. *Univ. Kansas Paleont. Contr.* 109, 59 pp.
- Runnegar, B. & Jell, P. A. 1976: Australian Middle Cambrian molluscs and their bearing on early molluscan evolution. *Alcheringa* 1, 109–138.
- Seebach, K. von 1865: Beiträge zur geologie der Insel Bornholm. *Z. Deutsch. geol. Gesellsch.* 17, 338–347.
- Torell, O. 1870: Petrificata suecana formationis cambricae. *Lunds Univ. Årsskr.* VI, 14 pp.
- Tullberg, S. A. 1880: Om agnostus-arterne i de kambriska aflageringerne vid Andrarum. *Sveriges geol. unders.* C 42, 37 pp.
- Walton, E. K., Randall, B. A. O., Battey, M. H. & Tomkeieff, O. 1983: *Dictionary of Petrology – S. I. Tomkeieff*, 680 pp. Wiley-Interscience, London.
- Westergård, A. H. 1944: Borringar genom Skånes alunskiffer 1941–1942. *Sveriges geol. unders.* C 459, 45 pp.
- Westergård, A. H. 1946: Agnostidea of the Middle Cambrian of Sweden. *Sveriges geol. unders.* C 477, 141 pp.
- Westergård, A. H. 1953: Non-agnostidean trilobites of the Middle Cambrian of Sweden III. *Sveriges geol. unders.* C 526, 59 pp.

(Bidrag til Project Tornquist, IGCP No. 86).