

# PALÆOZOIKUM

af Arne Thorshøj Nielsen



Det vides ikke i detaljer, hvad der skete efter dannelsen af graniterne og gnejsen i den yngre del af Prækambrium, men der foregik en del forkastningsaktivitet, stedvis med indtrængen af basaltisk magma i forkastningszonerne, hvorved de bornholmske doleriter eller 'diabaser' blev dannet. Intensiv erosion har utvivlsomt været den dominerende geologiske proces, og ved begyndelsen af Palæozoikum var områderne omkring Bornholm dybt forvitrede og næsten helt nedslidte. I denne forbindelse er det vigtigt at holde sig det geologiske tidsperspektiv for øje. Set med Prækambrisk målestok er det bornholmske grundfjeld 'ungt' med aldre på 1300 - 1400 mill. år, men alligevel er der et tidsspand på 600 - 700 mill. år frem til den Palæozoiske Æra - stort set lige så lang tid som fra Palæozoikums begyndelse og frem til nutiden.

Umiddelbart virker det fantastisk, at hele den bjergkæde, hvoraf nu kun de dybeste dele er bevaret i form af det bornholmske grundfjeld, skulle kunne nå at nederoderes før Palæozoikums begyndelse, men der har altså været tilstrækkelig med tid for de erosive kræfter. Forvittrings- og erosionsprocesserne har sandsynligvis også haft en lidt anden karakter og et lidt hurtigere forløb end tilsvarende processer i dag, blandt andet fordi et stabiliserende plantedække har manglet (egentlige landplanter dukkede først frem i midten af Palæozoikum).

## KAMBRIMUM

Den ældste Palæozoiske aflejring på Bornholm er **Nexø Sandstenen**, der er mindst 110 m tyk. Det er en overvejende rødlig sandsten uden forsteneringer. De strukturer (bl.a. krydslejringer og udtørringssprækker) der her og der ses i sandstenen viser, at den er aflejret i et flodslettemiljø af den type, der kaldes 'flette-floder'. Flodarmene har grenet sig ud over et stort areal og har ofte skiftet leje, hvorved der stedvis er opstået midlertidige lavvandede småøer.

Flodsletten har nok ikke ligget højt over havniveau, og landskabets relief var efter al sandsynlighed meget ringe, hvilket betød, at havvandet trængte ind over store områder ved kun en ringe stigning i havniveau, og at denne indtrængning af havet heller ikke betød de store omvæltninger i aflejringernes opbygning. Skiftet til det marine miljø er markeret i enkelte niveauer med tilstedeværelsen af det grønne mineral **glaukonit** (der kun dannes i havet), samt af et generelt skift fra rødlig til mere grålige farver.

PERIODE	AFLEJRING		'FORMATIONSNAVN'		
SILUR	Nedre				
		CYRTOGRAPTUS SKIFER	'SILUR SKIFER'		
		RASTRITES SKIFER			
ORDOVICIUM	Øvre	DALMANITINA SKIFER	TOMMARP FORM.		
		TRETASPIS SKIFER	JERRESTAD FORM.		
		DICELLOGRAPTUS SKIFER	'DICELLOGRAPTUS SKIFER'		
	Mellem				
	Nedre	KOMSTAD KALK	KOMSTAD KALK FORM.		
KAMBRIUM	Øvre	ØVRE ALUNSKIFER	'DICTYONEMA SKIFER'	ALUN SKIFER FORM.	
			'OLENID SKIFER'		
	Mellem	ANDRARUM KALK		ANDRARUM KALK FORM.	
		NEDRE ALUNSKIFER		ALUN SKIFER FORM.	
		EXSULANS KALK		EXSULANS KALK FORM.	
	Nedre	RISPEBJERG SANDSTEN		LÆSÅ FORM.	RISPEBJERG ST. MB.
		'GRØNNE SKIFRE'			BROENS ODDE MB.
BALKÅ SANDSTEN		HARDEBERGA ST. FORM.			
NEXØ SANDSTEN		NEXØ SANDSTEN FORM.			

Stratigrafisk skema for de Palæozoiske aflejringer på Bornholm. I venstre søjle er vist de klassiske betegnelser for lagenhederne, som man vil kunne finde dem i den ældre litteratur. Til højre er de nugældende navne opført.



*Figur 4. Krydslejringer i Nexø Sandstenen. Typen af krydslejringer afspejler energiforholdene under aflejringen, og de sedimentære strukturer giver derfor vigtige oplysninger om dannelsesmiljøet. I Nexø Sandstenen er det dog ikke altid lige let at erkende krydslejringer. Foto: N. O. Jørgensen.*

Efter ændringen til det marine miljø aflejredes **Balka Sandstenen**. Da overgangen er gradvis, har det været diskuteret, hvor grænsen mellem Nexø Sandsten og Balka Sandsten skulle trækkes. Det har ligefrem været overvejet at slå de to sandstensformationer sammen til én. Den store lighed mellem Balka Sandstenen på Bornholm og den skånske **Hardeberga Sandsten** har også været fremhævet, og det er foreslået at samle Balka - og Hardeberga Sandstenene under et navn, nemlig Hardeberga Sandstenen, da dette navn er det ældste. Det må forventes, at dette forslag vinder indpas fremover, hvorfor navnet Balka Sandsten nok efterhånden vil forsvinde.

Balka Sandstenen, der ligger over Nexø Sandstenen, er ca. 80 - 90 m tyk og består hovedsagelig af hvide, grå og sorte velsorterede kvartssandsten, der stedvis afbrydes af ganske tynde skiferlag. Sedimentære strukturer, bl.a. bølgeslagsribber og lodretstående gravegange efter ormelignende dyr viser, at sandstenen blev aflejret på ringe vanddybde tæt ved kysten. Eftersom området var meget fladt, har kystlinien næppe ligget på det samme sted ret lang tid af gangen, men er vandret frem og tilbage. Nogle geologer mener, at Balka Sandstenen er blevet dannet i kystzonen i et tidevandsmiljø, hvilket betyder, at kystzonen var mange kilometer bred på grund af det lave relief.



*Figur 5. Lagflade med U-formede gravegange (Diplocraterion) lidt nord for Snogebæk havn. Fladen viser et snit igennem de mellemste og nedre dele af gravegangene. På ikke-eroderede flader ses udmundingerne som 'parrede' huller. Foto: S. Sjørring.*

De ældst kendte danske forsteninger, i form af mikroskopiske algerester og kulhinder efter små ormeagtige dyr, er fundet i de tynde skiferlag i Balka Sandstenen. Ved hjælp af disse forsteninger har det været muligt at aldersbestemme enheden til den mellemste del af Nedre Kambrium. Da Balka Sandstenen ligger lige over Nexø Sandstenen, og da der ikke synes at være ophold imellem aflejringen af de to formationer, antages det, at også Nexø Sandstenen er aflejret i Nedre Kambrium. Tidligere henførtes Nexø Sandstenen til den yngste del af Prækambrium ('Eokambrium').

Over Balka Sandstenen følger ca. 80 - 100 m (tykkelse usikker) 'Grønne Skifre', der har farven bl.a. fra mineralet glaukonit. Bjergarten er mest en siltsten, det vil sige med en kornstørrelse mellem sand og ler, men hyppigt indgår også tynde lag af finsand. I de 'Grønne Skifre' er gravegange uhyre almindelige, men der er også fundet egentlige forsteninger. Bedst kendt er hyoliterne, der er små kegleformede rør, som antagelig har huset bløddyr. Der er også fundet mange andre typer forsteninger, men for størstedelens vedkommende er tilhørsforholdene til de enkelte dyregrupper uklare. Hovedparten af forsteningerne er fundet i sorte fosforitknolde, men er i øvrigt for det meste så små, at de kun kan ses under mikroskop. Ved hjælp af især de mikroskopiske alger er de 'Grønne Skifre' aldersbestemt til den mellemste del af Nedre Kambrium.



*Figur 6. 'Grønne Skifre' med gravegange og sorte fosforitknolde. Fosforiten er udfældet som koncretioner i sedimentet i perioder med ingen eller ringe sedimentation. Ofte er udfældningen sket omkring organisk materiale. Imprægnering med fosforit eller tynde konglomerater med fosforit-rullesten ses mange steder i den Palæozoiske lagsøjle og markerer ophold i sedimentationen. Foto: Ole Bang Berthelsen.*

Den mindre kornstørrelse og de hovedsageligt vandrette gravegange tyder på, at de 'Grønne Skifre' er aflejret på dybere vand end Balka Sandstenen, men dog næppe dybere end lige under den normale bølgebasis. Mange af de tynde sandstenslag i skifrene kan være aflejret i forbindelse med stormvejr.

Skiftet fra Balka Sandsten til 'Grønne Skifre' er skarpt (sjældent blottet), og kan også ses i alle samtidige lagfølger i de omkringliggende områder, hvilket tyder på en generel og ret pludselig stigning af havniveau.

Mod toppen af de 'Grønne Skifre' ses flere og flere sandstenslag, der tyder på, at havdybden har været aftagende, og 'skifrene' overlejres af 2 - 3 m sandsten, Rispebjerg Sandstenen, der indeholder meget velafrundede og ensstore kvartskorn. Rispebjerg Sandstenen er formodentlig aflejret i kystzonen, men den høje afrundingsgrad kunne tyde på, at der er tale om omlejet, vindpoleret ørken- og klitsand.

I Rispebjerg Sandstenen er gravegange sjældne, og egentlige forsteninger (hyoliter) er kun fundet i et meget lille antal, så sandstenen har ikke kunnet aldersbestemmes. Traditionelt regnes Rispebjerg Sandstenen til den øvre del af Nedre Kambrium, men da den næppe er meget yngre end de 'Grønne Skifre', er det tænkeligt, at den faktisk tilhører den mellemste del af Nedre Kambrium.

Aflejringsfølgen fra Nexø Sandsten over Balka Sandsten og 'Grønne Skifre' til Rispebjerg Sandsten udgør et sammenhængende forløb, afspejlende en tiltagende havdybde til midten af de 'Grønne Skifre' og derefter en aftagende dybde sluttende med tørlægningen efter Rispebjerg Sandstenen. Denne udvikling, en transgression fulgt af en regression, ses også i områderne omkring Bornholm (måske kan den endog følges helt til Nordamerika) og skyldes sandsynligvis globale ændringer i havniveauet.

Over Rispebjerg Sandstenen er der et større hul i lagserien omfattende lag fra hele (eller næsten hele) øverste del af Nedre Kambrium samt nederste del af Mellem Kambrium. Aflejringer fra dele af dette tidsrum kendes fra Skåne og Øland, og det er ikke utænkeligt, at der også blev afsat tynde aflejringer i dette tidsrum på Bornholm, men som kort tid efter blev fjernet ved erosion.

Da havet på ny trængte ind over Bornholm et stykke inde i Mellem Kambrium, indledtes et nyt sedimentationsforløb, der varede til ind i Nedre Ordovicium. I løbet af dette tidsrum aflejredes hovedsagelig sort, antagelig ildelugtende lerslam, der senere - under presset fra den overliggende lagserie - blev trykket sammen til en fint lamineret lerskifer, **Alunskiferen**. I den Mellem Kambriske del af lagfølgen indgår der dog et par tynde kalkhorisonter, **Exsulans Kalk** (navngivet efter en trilobit) og **Andrarum Kalk** (opkaldt efter en østskånsk løkalitet).



Figur 7. Antrakonit-bolle i Øvre Alunskifer. Foto: V. Poulsen.

I flere niveauer af Alunskiferen ses konkretioner eller lag af sort kalksten, den såkaldte **Antrakonit**. Denne kalktype er dannet tidligt ved udfældning af kalk i det bløde lerslam et lille stykke under havbunden. Den efterfølgende sammenpresning af det bløde slam har medført en fortykning af lagfølgen, mens den hårde Antrakonit bevarede sin oprindelige tykkelse, og derfor 'smyger' Alunskiferen sig nu omkring Antrakonitbollerne.

På Bornholm er Mellém Kambrium kun 3 - 4 m tyk, mens den Øvre Kambriske del af Alunskiferen er ca. 27 m tyk. Herover følger omkring 4 m Alunskifer af Nedre Ordovicisk alder.

I runde tal er denne lagfølge på næsten 40 m aflejret i løbet af ca. 40 mill. år, det vil sige med gennemsnitligt 1 mm per 1000 år, hvilket er lidt i underkanten af den mængde, der aflejres i nutidens dybhav! Man skal dog huske på, at den oprindelige aflejringstykkelser før sammenpresningen nok har været 4-5 gange større. Alligevel er der tale om en utrolig ringe sedimentationshastighed.

Alunskiferens sorte farve skyldes et højt indhold af organisk materiale, ca. 10 %, og et lige så stort indhold af fint fordelt svovlkis (der er en forbindelse af svovl og ikke-iltet jern). Den ufuldstændige nedbrydning af det organiske materiale, det høje svovlkis-indhold og den næsten totale mangel på gravegange i de fleste niveauer viser, at alunskiferen blev aflejret under meget iltfattige forhold.

Da Alunskiferen er et meget finkornet sediment (lerfraktionen), og da den er afsat med kun en meget ringe rate per 1000 år, kunne man tænke sig, at den var aflejret på meget store vanddybder, men det er næppe tilfældet. Flere steder er der nemlig observeret strukturer, der antyder, at havdybden ikke var så stor endda. Den lille kornstørrelse og den lave sedimentationshastighed er snarere et udtryk for, at de omkringliggende landområder var gennemgribende forvitrede og tæret helt ned af erosion, således at kun fine lerpartikler i begrænset omfang transporteredes ud i havet. Desuden dækkede havet dengang det meste af det nutidige Skandinavien, så det har kun været få og små landområder, hvorfra der kunne komme lerpartikler.

Hvorledes det kunne gå til, at iltfattige bundforhold blev opretholdt gennem så langt et tidsrum har været diskuteret, for det er ikke bare et lokalt bornholmsk fænomen, lignende sorte skifre aflejredes faktisk samtidigt over det meste af jordkloden. I nutiden kendes adskillige havområder, hvor der forekommer sort bundslam, der netop er forårsaget af iltfattigt miljø, og det sorte slam kunne med tiden udmærket blive til en slags Alunskifer. Hyppigt er områderne i dag begrænsede, mindre havbassiner, hvor en opragende undersøisk tærskel spærrer på en sådan måde, at der ikke sker cirkulation i de dybere vandmasser. Når bundvandet ikke udskiftes, slipper ilten hurtigt op - især ved forrådnelsesprocesser - og bunddyrene forsvinder. Nærliggende eksempler findes i dag i flere vestnorske fjorde, hvor den spærrende tærskel er en undersøisk randmoræne fra Istiden. Et endnu større havområde med iltfattige bundforhold er Sorte Havet, hvor det lavtvandede Bospærs Stræde forhindrer cirkulation i vandmasserne.

Den store udbredelse af sorte skifre i Skandinavien og i adskillige andre områder af verden i Kambrisk tid passer imidlertid ikke rigtigt sammen med en 'tærskel-model'. Man kan i stedet forestille sig, at et samspil mellem en række faktorer førte til en global 'ilt-krise' i havene, altså en storskala udgave af det, vi i dag ser i visse områder af Kattegat og Østersøen. Den nutidige ilt-krise i de omtalte havområder skyldes tilførsel af meget store mængder organisk materiale til havbunden, bl.a. med store tilskud, der er i spildevand fra bysamfund og i gødning fra landbruget. Nedbrydningen af det organiske materiale på havbunden forbruger ilt, og når tilførslen af organisk stof overstiger den naturlige tilførsel af ilt, bliver resultatet et iltfattigt, næsten livløst bundmiljø, hvor der aflejres sort slam.

I nutiden holder tilførslen af ilt stort set trit med tilførslen af organisk materiale til oceanerne. Det skyldes store kolde havstrømme, der bringer iltrigt vand fra polerne til de ækvatoriale egne. Igennem Kambrium var der imidlertid et mere ensartet klima uden polare iskapper, hvorfor der næppe var ilttilførsel via kolde havstrømme. Da de lavvandede havområder over kontinenterne tilmed havde en stor udbredelse på grund af et højt havniveau (bl.a. fordi der ikke var bundet vand i iskapper), var den organiske produktion sikkert også forholdsvis stor. I nutiden findes den største organiske produktion netop i de lavvandede have tæt ved kontinenterne.

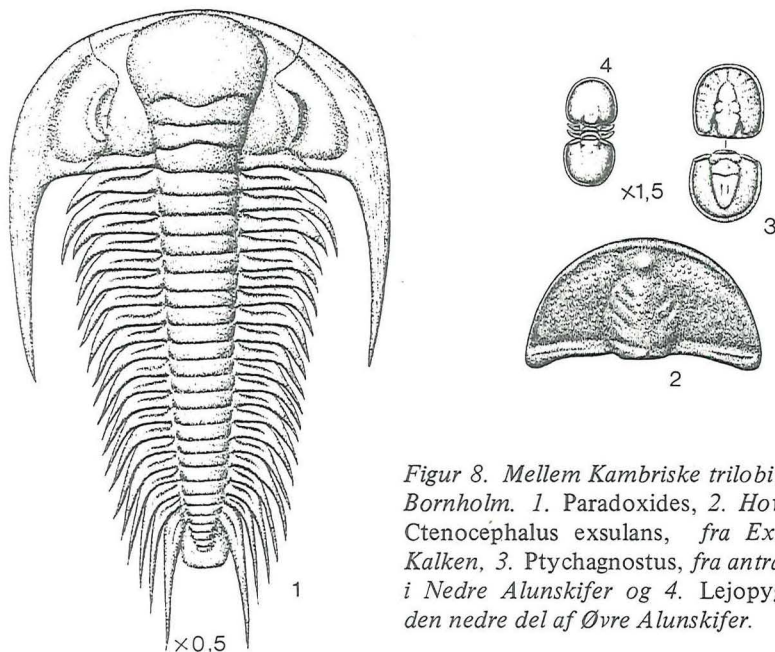
Kemiske analyser af Alunskiferen viser et påfaldende stort indhold af grundstoffet jod, som opkoncentreres af visse algetyper, og det er sandsynligt, at store algemasser (tang) drev omkring i havoverfladen dengang, og det organiske tilskud til havbunden kan således hovedsageligt stamme herfra. Da det iltfattige bundslam først havde fået en betydelig udbredelse, mener mange, at det blev 'selvregulerende', således at der skulle store ydre ændringer til for at bringe tilstanden til ophør.

Denne ændring indtraf et stykke ind i Ordovicium i forbindelse med, at havniveauet faldt, og for Bornholms vedkommende skete der en total tilbagetrækning af havet. Sandsynligvis var der i Ordovicium iskapper i de polare områder, og dette kunne være medvirkende til en bedre iltning af oceanerne. Det er fristende at sætte den tidlige Ordoviciske havspejls-sænkning i forbindelse med bindingen af vand i iskapper - men på dette tidspunkt fandt den første store fase af tektonisk uro i forbindelse med opfoldningen af den skandinaviske fjeldkæde også sted, og dette har sandsynligvis også påvirket havets niveau.

Bortset fra at aflejringsmiljøet var anderledes, adskiller Mellem og Øvre Kambrium sig også fra Nedre Kambrium ved at forsteningerne bliver meget mere almindelige - især **trilobiter**, som er en nu uddød leddyrsgruppe. De ligner lidt nutidens krebsdyr, hvormed de også er nært beslægtede, med mange ens kropsled, hvert med et par ben, mens leddene fortil og bagtil var smeltet sammen til henholdsvis hoved- og haleskjold. Forstenede hele trilobiter er ret sjældne at finde,



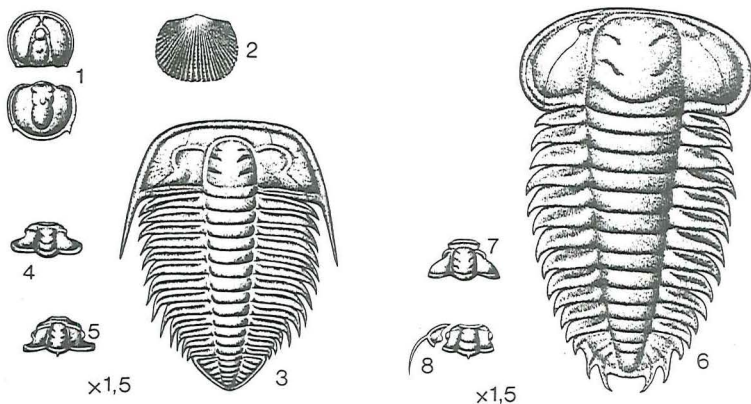
mens de splittede hudpansre ('løse' hoveder og haler) fra trilobiternes hudskifter er almindelige - i visse niveauer endda overordentlig hyppige. Foruden trilobiter findes i visse lag talrige skaller fra små brachiopoder, en dyregruppe, der i det udre ligner muslinger meget, men som har en helt afvigende indre opbygning.



Figur 8. Mellem Kambriske trilobiter fra Bornholm. 1. Paradoxides, 2. Hoved af Ctenocephalus exsulans, fra Exsulans Kalken, 3. Ptychagnostus, fra antrakonit i Nedre Alunskifer og 4. Lejopyge fra den nedre del af Øvre Alunskifer.

Langt de fleste trilobiter og brachiopoder levede ved og på havbunden - trilobiterne svømmende, kravlende og gravende, og brachiopoderne fasthæftet ved hjælp af en lille stilk. Nogle trilobiter, f.eks. agnostiderne med kun to kropsled og næsten ens hoved- og haleskjold, menes dog at have levet i de øvre vandmasser. I nutiden ses det ofte, at organismer i havets øvre vandmasser gennem havstrømme kan få en meget stor udbredelse, og netop de agnostide trilobiter havde en verdensomspændende udbredelse i modsætning til flertallet af de øvrige trilobiter.

De iltfattige bundforhold, der herskede under aflejringen af Alunskiferen, havde naturligvis stor indvirkning på den samtidige dyreverden. I Alunskiferen ses kun sjældent gravegange fra orme og andre bundlevende dyr - gravegange er dog ikke helt så sjældne, som det almindeligvis er beskrevet, blot er de meget svære at se, men de kan eventuelt være fremhævet ('foryldt') ved en senere imprægnering med svovlkis.



Figur 9. Øvre Kambriske forsteninger fra Bornholm. 1. Agnostus, 2. Orusia, 3. Olenus, 4-5. Hoveder af Ctenopyge (forskellige arter), 6. Peltura, 7. Hoved af Parabolina, 8. Hoved og kind af Sphaerophthalmus.

Nogle forskere mener, at trilobiterne holdt til i tangskover ved overfladen, hvor iltindholdet i vandet utvivlsomt har været højere end ved havbunden. Og i tangskoven kunne også brachiopoderne sidde fasthæftede med deres stilk. Andre forskere mener dog, at de Øvre Kambriske trilobittyper var specielt tilpassede til meget iltfattige forhold og derfor levede på havbunden på tidspunkter, hvor der var en lille smule ilt til stede, mens de til andre tider, når iltindholdet trods alt var for lavt, ikke kunne trives. Det passer med, at trilobiterne kun forekommer i visse intervaller af Alunskiferen, mens andre intervaller er fuldkommen fossiløse. De sporadisk optrædende gravegange findes faktisk netop i intervallerne med mange trilobiter.

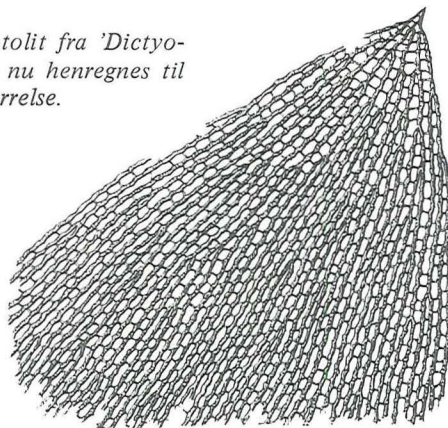
De Øvre Kambriske trilobitfaunaer er kendt for kun at optræde i visse niveauer, og inden for hvert niveau viser de en tilsyneladende jævn udvikling i retning af et smallere skelet. Dette kunne tolkes som en udvikling i retning af en bedre tilpasning til det daværende miljø, men det kan sandelig også opfattes som misvækst på grund af ugunstige miljøforhold, måske aftagende iltindhold i vandet. Denne tolkning forudsætter dog, at de Øvre Kambriske trilobiter levede på bunden.

## ORDOVICIUM

Ordovicium følger efter den Kambriske periode. Mange steder er grænsen mellem de to perioder markeret af tydelige sedimentationsafbrydelser og skift til andre aflejringstyper, men det er ikke tilfældet på Bornholm. Her foregik aflejringen af sort slam ubrudt hen over grænsen Kambrium/Ordovicium, men ved hjælp af forsteninger er grænsen dog let at fastlægge, for i Ordovicium ankom

de første repræsentanter for en ny dyregruppe, **graptoliterne**, der opnåede en stor udbredelse i Ordovicium og Silur, og som er meget vigtige for inddelingen af disse perioder i mindre tidsafsnit.

Figur 10. Den navn-givende graptolit fra 'Dictyonema Skiferen', 'Dictyonema', der nu henregnes til slægten Rhabdinopora. Naturlig størrelse.



Graptoliterne, der svævede rundt oppe i vandmasserne, var små kolonidannende dyr, hvis enkeltindivider sad i små bægre eller rør langs koloniskeletkets grene. Nu ses resterne som grafitkinnende hunder på skiferens lagflader. Dyregruppen er for længst uddød, men til trods for et primitivt udseende har graptoliterne været en højstående dyregruppe, der står hvirveldyrene nær. De første graptoliter på Bornholm henregnedes tidligere til slægten **Dictyonema**, og den Ordoviciske del af Alunskiferen (de øvre 4 meter) kaldtes derfor for '**Dictyonema Skifer**'. De nyeste undersøgelser viser imidlertid, at de fleste af de graptolitarter, der før udgjorde slægten Dictyonema, skal henføres til slægten **Rhabdinopora**, der omfatter mange-grenede, klokkeformede kolonier, som drev rundt i havoverfladen, muligvis fæstnet til alger. Graptoliternes pludselige succes i dyreverdenen skyldes nok, at de ændrede levevis fra at sidde fast på havbunden til en flydende levevis - muligvis via et mellemstadium, hvor de sad fasthæftet til flydende alger. Primitive graptoliter kendes faktisk helt tilbage til Mellem Cambrium - dog ikke fra Bornholm.

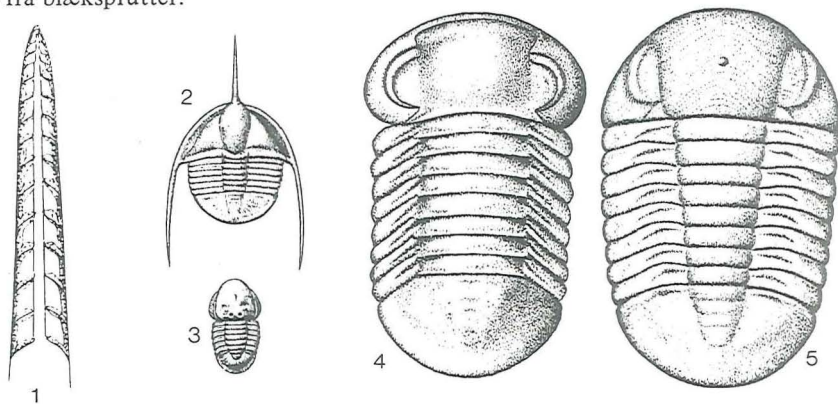
Efter aflejringen af 'Dictyonema Skiferen' trak havet sig tilbage, og der mangler aflejringer på Bornholm fra et langt tidsrum sammenlignet med nærliggende områder, f.eks. Skåne. Sænkningen af havniveauet kan også spores andre steder, men det store 'hul' i lagserien på Bornholm hænger sandsynligvis sammen med en samtidig lokal hævnning. Det er dog muligt, at der blev aflejret tynde, nu borteroderede lag fra det manglende tidsafsnit.

Da havet atter skyllede ind over Bornholm, var de sorte skiferes tid forbi, og der aflejredes 4-5 m grå kalk, **Komstad Kalk** (navngivet efter en lokalitet i Skåne).

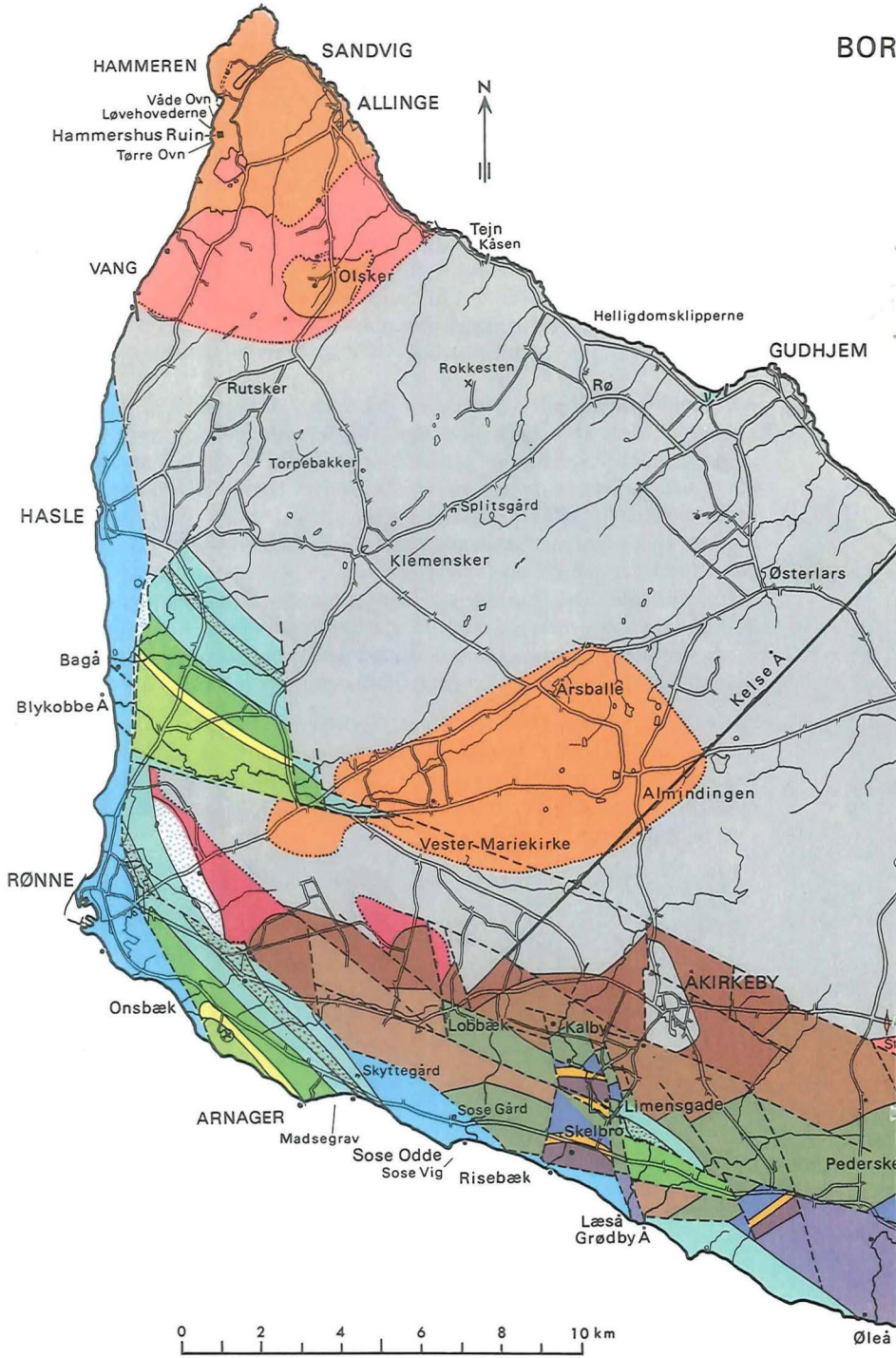
Kalkstenen er af den type, der tidligere betegnedes 'Orthoceratit Kalk' (navngivet efter en blæksprutte), og som er meget almindelig i Mellem Sverige og på Øland. Indslaget af en 'mellemsvensk' kalktype i en ellers skiferdomineret bornholmsk lagserie hænger sammen med en meget stor sænkning af havniveau, der gav en arealmæssig forøgelse af det forholdsvist lavvandede havområde, hvori der afsattes kalkslam. Det kan lyde sært, at en havspejlsænkning førte til aflejring af kalk på Bornholm, der jo tidligere var blevet hævet, men detaljerede studier af kalkens trilobitfauna i Skåne og på Bornholm viser, at havniveauet først steg, derved oversvømmedes Bornholm, for derefter at falde betragteligt - at Bornholm ikke derved blev tørlagt viser, at området atter må have sænket sig.

Aflejringsbetingelserne vekslede en del under afsætningen af Komstad Kalken, hvilket fremgår af, at kalken flere steder mellemlægges af centimetertykke lag af skifer, men i nok så høj grad af en stor forskel i trilobitfaunaen, der viser, at havniveau varierede meget under aflejringen. Mange af lagfladerne i kalken er opløsningsflader, der er udviklet på tidspunkter uden sedimentation, men stadigvæk under havoverfladen ved ændrede kemiske forhold. Længden af de perioder, hvor der skete opløsning af kalken, er længere end de tidsafsnit, hvor der skete sedimentation, så derfor er den gennemsnitlige aflejningsstørrelse for kalken som helhed yderst ringe på Bornholm, kun omkring 1 mm per 1000 år! Det er en størrelsesorden man kunne vente i dybhavsaflejringer, men den forstenede fauna viser klart, at Komstad Kalken ikke er aflejret på stor dybde.

På grundlag af indholdet af trilobiter er Komstad Kalken aldersbestemt til den øverste del af Nedre Ordovicium. Foruden trilobiter, der er ret almindeligt forekommende (især *Symphysurus*, *Nileus* og *Megistaspis*), indeholder kalken også forstenede små brachiopoder og aflange, kamrede skaller - 'Orthoceratiter' - fra blæksprutter.

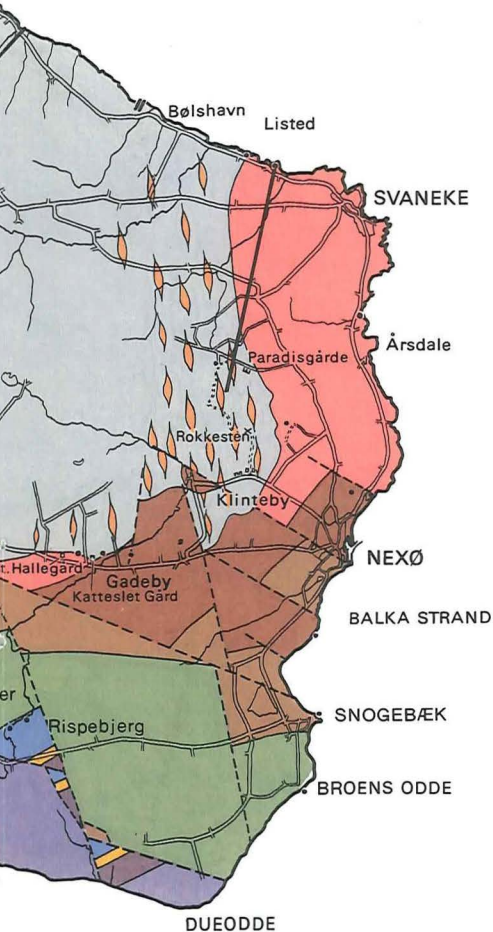


Figur 11. Forsteninger fra Komstad Kalken (ca. naturlig størrelse). 1. 'Orthoceratit', Endoceras, 2. Ampyx, 3. Cyclopyge, 4. Nileus og 5. Symphysurus.



# RNHOLMS UNDERGRUND

EFTER VARV 1977



## MESOZOIKUM

-  Bavnodde Grønsand
-  Arnager Kalk
-  Arnager Grønsand
-  Jydegård Ler og Sand  
Robbedale Sand  
Rabekke Ler
-  Trias og kulførende Jura
-  Kaolin

## PALÆOZOIKUM

-  'Cyrtograptus- og Rastrites Skifer'
-  'Dalmanitina-, Tretaspis- og Dicollograptus Skifer'
-  Komstad Kalk
-  Alunskifer
-  Grønne Skifre
-  Balka Sandsten
-  Neksø Sandsten

## PRÆKAMBRIMUM

-  Større diabasgang
-  Rønne granit
-  Hammer granit og Almindingen granit
-  Vang granit og Svaneke granit
-  Migmatitisk gnejs
-  Gnejs inklusive mindre forekomster af granit

— Sikker, skarp kontakt mellem grundfjeldsbergarter samt sedimentære laggrænser

..... Usikker eller gradvis kontakt mellem grundfjeldsbergarter

 Forkastninger

Efter aflejringen af Komstad Kalken trak havet sig atter tilbage, og der var et betydeligt ophold i aflejningsfølgen på Bornholm. Da havet atter trængte frem - i den nederste del af Øvre Ordovicium - var det for en længerevarende periode, nemlig til et godt stykke ind i Silur.

De mange havniveauændringer, enten på grund af svingninger i verdenshavens niveau eller på grund af lokale hævnings eller sænkninger af landniveauet, kan måske synes lidt hyppige eller tænkte, men her er det meget vigtigt, at holde det geologiske tidsperspektiv klart for øje og sammenholde det med de daværende miljøforhold og geologiske hændelser: I Ordovicium var det meste af Skandinavien og Østersø-området dækket af et lavvandet hav, hvori der hovedsagelig - og især i de centrale dele - skete aflejring af kalk, 'Orthoceratit Kalk', mens der langs randen mod syd og vest - ud mod det dybere vand - foregik sedimentation af skifre. De omkringliggende landområder var nedslidte, og kun ganske lidt nedbrydningsmateriale fandt vej herfra ud i bassinet. Hovedparten af lertilførslen kom fra vest, hvor den norske fjeldkæde var ved at skydes op som resultat af kollisionen mellem det nuværende Grønland og det nuværende Norge, og fra syd, hvor den Skandinaviske Platform begrænsedes af en meget stor sideværts forkastning, af samme type som den nuværende San Andreas forkastning i det vestlige U.S.A. Den tektoniske uro syd og vest for det skandinaviske område påvirkede også randområderne - inklusiv Bornholm - og dermed forklares de mange 'op- og nedture', der nøje kan sammenholdes med de tektonisk aktive faser i de tilstødende områder.

Hævninger og sænkninger af området har haft fundamental indflydelse på fordelingen af land og hav - og dermed på aflejningsmønstret. I Ordovicium var det skandinaviske område utroligt fladt - måske var havbundens hældning 2-3 gange mindre end i Vadehavet ved Jyllands vestkyst, hvilket betyder, at en ændring på 1 mm i havniveau flyttede kystlinien 2-3 km. Nu var der næppe udviklet en egentlig kystlinie, men snarere en kilometerbred kystzone - og hvis der var blot en smule tidevand, ville det forøge kystområdet til en tital kilometer bred zone.

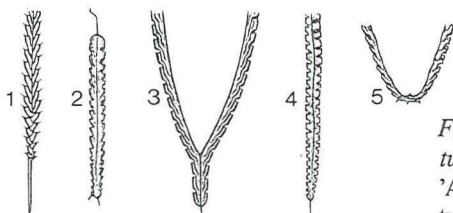
Endelig må tidsperspektivet ikke glemmes. Ordovicium varede ca. 65 mill. år, og f.eks. aflejringen af Komstad Kalken tog i størrelsesordenen 5 mill. år. Siden den sidste nedisning er der forløbet omkring 15.000 år. Omregnet til disse Ordoviciske forhold er det den gennemsnitlige tid, det tog, at aflejre mindre end 2 cm af Komstad Kalken!

Øvre Ordovicium på Bornholm omfatter 12 - 15 m '**Dicellograptus Skifer**' (opkaldt efter en graptolit), ca. 9 m '**Tretaspis Skifer**' (navn efter en trilobit) og ca. 6 - 7 m '**Dalmanitina Skifer**' (navn efter en trilobit).

Siden aflejringen af Komstad Kalken var miljøet blevet ændret, og der afsattes igen lerskifre, men de er generelt noget lysere end den Kambrisk-Ordoviciske Alunskifer, idet både det organiske indhold samt indholdet af svovlkis er mind-

re, og i mange niveauer, selv i den mørke 'Dicellograptus Skifer' ses gravegange efter bundlevende dyr. Visse niveauer af 'Dicellograptus Skiferen' er temmelig kompakte, og der ses kun fragmenter af graptoliter. Det skyldes, at de gravende organismer har ødelagt den oprindelige lamination - det er ofte umuligt at se gravegangene, man kan blot konstatere, at laminationen er ødelagt. Det er derfor rimeligt at antage, at havvandet i Ordovicium havde et noget højere iltindhold end i Kambrium, men den forstenede fauna i 'Dicellograptus Skiferen' er dog domineret af graptoliter fra de øvre vandmasser.

Siden begyndelsen af Ordovicium havde graptoliterne gennemgået en karakteristisk udvikling - fra koloniske skeletter med mange grene og mange individer i retning mod skeletter med færre grene med færre individer. Hos nogle (f.eks. retning mod skeletter med færre grene med færre individer. Hos nogle (f.eks. **Dicellograptus**) blev kun to grene tilbage, og i den videre udvikling klappede de to grene sammen, så der fremkom to-radede former ('**Dicranograptus**', '**Diplograptus**' og '**Climacograptus**').



Figur 12. Graptoliter fra *Dicellograptus Skiferen*. 1 - 2. '*Diplograptus*', 3. '*Amplexograptus*', 4. '*Dicranograptus*', 5. '*Climacograptus*' og 6. *Dicellograptus*. Omtrent naturlig størrelse.

I visse afsnit af 'Dicellograptus Skiferen' er der en vrimmel af den lille brachiopod **Paterula**. Nogle mener, den har levet fæstnet til alger i overfladen, mens andre tror, at den har levet på havbunden - tilpasset det iltfattige miljø. Ligesom gravegangene kunne dette tyde på tilstedeværelsen af noget ilt ved bunden.

I enkelte niveauer, specielt lige over Komstad Kalken (i reglen ikke blottet) ses lag af lyst hvidlig-gråt ler, hvori der under mikroskop ses små mineral-korn, der viser, at leret er omdannet vulkansk aske (**bentonit**). Tilsvarende bentonitlag har en betydelig udbredelse i Norge, Sverige og et stykke ind i Estland, og enkelte af lagene kan genkendes over meget store afstande og er velegnet til relative aldersbestemmelser. Der har været tale om en meget voldsom vulkanisme, men præcis hvor vulkanerne lå, vides ikke.

'Tretaspis Skiferen' får typisk et lidt brunligt overtræk, når den forvitrer. I frisk tilstand er den grå. Netop den lyse farve kunne tyde på et højere iltindhold ved bunden under aflejringen, og det passer da også fint sammen med den større hyppighed af gravegange, der helt har ødelagt den oprindelige lamination, hvor-





*Figur 13. Bentonitlag i skifer. De tykkere bentonitlag er let genkendelige, da de består af blødt ler. I frisk tilstand er bentonit typisk grå, mens forvitring ofte giver en karakteristisk gullig overflade. Foto: Merete Bjerreskov.*

for skiferen også flækker temmelig dårligt. I skiferen er der fundet mange forskellige trilobitslægter, men de er sjældne at finde. Graptoliter skal man slet ikke regne med at finde.

'Dalmanitina Skiferen', der tilhører det yngste Ordovicium, kendes på Bornholm kun fra borer. Der er tale om en lys skifer med flere indslag af sandede lag. Faunaen består især af brachiopoder og trilobiter.

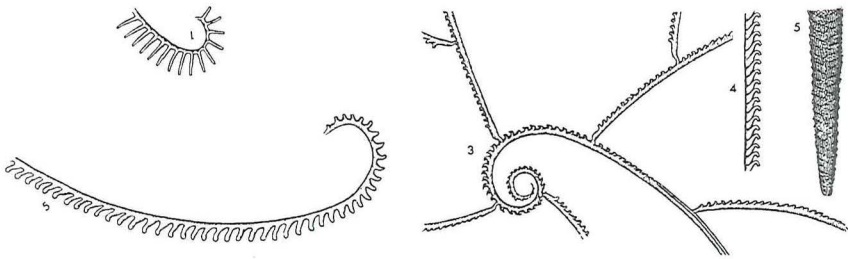
Skiftet fra mørk skifer ('Dicellograptus Skifer') til lysere skifer ('Tretaspis Skifer' og 'Dalmanitina Skifer') i den øvre del af Ordovicium afspejler en større sænkning af havniveauet, der kan spores over hele jordkloden. Havsænkningen er formodentlig samtidig med opbygningen af en stor iskappe ved den daværende sydpol, som dengang var placeret i Sahara.

## SILUR

På Bornholm er der bevaret omkring 160 m lerskifer fra den nederste del af Silur, mens aflejringer fra øverste Silur mangler. Tidligere betegnede man den mørke nedre del af skiferen for **Rastrites Skifer** og den øvre, lysere del for **Cyrtograptus Skifer** (begge navngivet efter graptoliter). Disse navne bruger geologerne ikke længere, men de anvendes her for at lette beskrivelsen, da de nye betegnelser ikke er mere korrekte. Begge skifertyper er generelt rige på graptoliter - og i mange niveauer ses tynde lag af bentonit (forvitret vulkansk aske).

Den ældste enhed i Silur, 'Rastrites Skiferen' (ca. 85 m tyk) består overvejende af mørke skifre, der umiddelbart kan minde om den Ordoviciske 'Dicellograptus Skifer', altså en grå-sort lerskifer med graptoliter, men nu er det helt andre graptolit-arter, der dominerer. De nye typer karakteriseres ved at have færre kolonigrene og færre beboelseskamre på grenene (f. eks. **Monograptus** og dens nære slægting **Rastrites**).

Den yngst bevarede enhed, 'Cyrtograptus Skifer' (ca. 75 m), er en lys skifer, der foruden graptoliter (**Monograptus** og **Cyrtograptus**) også indeholder aflange, kamrede skaller (fladtrykte) fra blæksprutter af næsten samme type som de, der ses i den Ordoviciske Komstad Kalk.



Figur 14. Graptoliter fra Rastrites Skiferen: 1. Rastrites og 2. 'Monograptus', og graptoliter fra Cyrtograptus Skiferen: 3. Cyrtograptus, 4. Monograptus og 5. Retiolites. Omtrent naturlig størrelse.

Flere steder i de Silure skifre ses vulkanske askelag i form af bentonit, og i nogle niveauer er der linser eller lag af kalkkonkretioner. Linserne kan blive op til 1 m i diameter, og deres indre er opsprækket. Ikke sjældent er sprækkesiderne beklædt med calcitkrystaller, men ind imellem ses en enkelt eller to (sjældent flere) klare kvartskrystaller, de såkaldte bornholmske diamanter.



Figur 15. Bornholmsk diamant omgivet af calcitkrystaller. 'Diamanterne' er kvartskrystaller. I ældre tid troede man, at klare kvartskrystaller gennem vækst og modning kunne udvikle sig til rigtige diamanter - deraf navnet.

Skiftet fra den lyse Øvre Ordoviciske 'Dalmanitina Skifer', der var domineret af brachiopoder, til den mørke Nedre Silure 'Rastrites Skifer', domineret af graptoliter, skyldes en markant havspejlsstigning som følge af afsmeltningen af den daværende iskappe i Sahara. Aflejningshastigheden for 'Rastrites Skiferen' var, sammenlignet med tidligere aflejningshastigheder på Bornholm, usædvanlig høj, nemlig omkring 1 cm pr. 1000 år.

Det er sandsynligt, at iltindholdet i bundvandet var højere, da 'Cyrtoagraptus Skiferen' blev aflejret, end da 'Rastrites Skiferen' blev dannet. Årsagen kan være en lavere vanddybde, men det kan også tænkes, at der er tilført større sedimentmængder, så det organiske indhold på den måde blev fortyndet. Aflejringstakten steg nemlig op gennem Silur og blev meget høj mod slutningen af perioden, men det kan ikke ses på Bornholm, hvor den yngste enhed ('Cyrtoagraptus Skifer') er fra det ældre Silur.



Figur 16. Røntgenbillede af en en cm tyk skive Cyrtograptus Skifer. Herved ses, hvor mange graptoliter, der egentlig er i skiferen. Man finder dem kun, hvis skiferen flækkes præcist i det rigtige niveau. Den spirallullede graptolit midt i billedet er *Monograptus spiralis*. Foto: Merete Bjerreskov.

Det yngste Silur er at finde i Skåne, 'Colonus Skifer' og Öved Ramsåsa Gruppens aflejringer af sandsten, kalksten og skifer med en samlet mægtighed på op mod 1200 m, - måske endda mere. Undersøgelser af den bevarede bornholmske del af den palæozoiske lagfølge - udført i forbindelse med olieeftersforskning - viser, at aflejringerne har været udsat for ret høje temperaturer på et eller andet tidspunkt før Trias perioden, og det er nærliggende at tro, at opvarmningen skete i forbindelse med en dyb begravelse under et tykt sedimentdække i Øvre Silur.

I det nordlige Polen - lige syd for Bornholm - er den samlede mægtighed af Silur stedvis næsten 4 km, og i Rønne Graven - et sænkingsområde i havet vest for Bornholm - er der i forbindelse med olieeftersforskning påvist en 4-5 km tyk lag-søjle af Palæozoisk alder, hvoraf hovedparten formodes at høre til Øvre Silur. Selv om det kan være vanskeligt at forestille sig det, har Bornholm nok været dækket af 3-4 km tykke aflejringer fra Øvre Silur bestående af skifre, siltsten og sandsten afsat i et indsynkningsområde, der opstod i tilknytning til de voldsomme bevægelser, som kendetegnede slutfasen af opfoldningen af den skandinaviske fjeldkæde og den tektoniske aktivitet i området lige syd for Skandinavien.

Efter dannelsen af fjeldkæden hævedes det skandinaviske område op over havniveau, og fra begyndelsen af Devon til ind i Trias fandt intensiv nedbrydning og borttransport sted, hvorved størstedelen af den Silure lagpakke forsvandt.

Aflejringer fra Karbon mangler på Bornholm, men sporer fra planter, der voksede i Mellem Karbon er fundet omlejrrede i yngre aflejringer både på Bornholm og i Skåne. Da sporerne næppe tåler lang transport, kunne det tyde på, at der var en kortvarig aflejringsfase i Mellem Karbon på Bornholm.

I den sene del af Palæozoikum, Karbon - Perm, er Bornholm blevet gennemsat af en lang række forkastninger. Derved blev de ældre Palæozoiske dannelser på Sydbornholm opdelt i en kompliceret mosaik af forkastningsblokke, og flertallet af blokke fik også en svag sydlig hældning. Det betyder, at man generelt kommer til yngre lag ved at gå mod syd.



*Figur 17. Sandsten fra øverste del af Nedre Silur med strømorienterede graptoliter. Disse sandsten findes flere steder på de sydbornholmske strande og vidner om, at silure lag, lidt yngre end de, der er blottet på land, findes ude på havbunden. Sandstenen udgøres i øvrigt af vulkansk aske, der ikke er forvitret. De længste graptoliter på stenen er ca. 10 cm lange. Foto: V. Poulsen.*