



Nej - VARVs redaktion har ikke vendt billedet på hovedet. Den forstenede trilobit, der er ca. 5 cm lang, tilhører slægten *Nileus* og er fundet i den Nedre Ordoviciske Komstad Kalk på Bornholm.

Trilobiterne havde et udvendigt hårdt skelet, hvilket betød, at de blev nødt til at smide det gamle skelet, når de skulle vokse, præcis som nutidens krebsdyr. Trilobiternes skelet gik i stykker langs forudbestemte svaghedszoner i hovedet, og derefter 'gik trilobiten ud af sit gode skind', liggende på ryggen på havbunden. Hvis det ikke lykkedes at komme ud af det gamle skelet, var døden vis, for trilobiten kunne ikke optage næring, mens den skiftede hudpanser.

Billedet herover viser netop sådan en dødsulykke - brudlinierne i hovedet er åbnet, trilobiten er på vej ud, liggende på rygsiden, men 'heldigvis' døde den og blev senere fundet, så den nu kan ses på Geologisk Museum i København.



BORNHOLMS GEOLOGI I

Med dette nummer af VARV håber redaktionen at have opfyldt mange læsers ønske om en ny **Bornholms Geologi** til afløsning for den forlængst udsolgte **Ekskursionsfører nr. 1, Geologi på Bornholm, 2. udg. 1977.**

Denne udgave **Bornholms Geologi I** omfatter den geologiske ramme og baggrund for den nuværende viden om Bornholm, mens det kommende nummer **Bornholms Geologi II** alene kommer til at bestå af lokalitetsbeskrivelser. Det er også tanken at udsende denne anden del som et nummer af VARV.

Forfatterne og redaktionen ønsker alle læsere god fornøjelse.

I de følgende afsnit vil der være angivet lagtykkelser og grænsedragninger, der i en del tilfælde afviger fra tidligere trykte informationer. De fleste ændringer er rettelser, der er baseret på ganske nye og ikke publicerede oplysninger.

Forfatterne takker *Walter Bruch, Kurt Klitten, Nanna Noe-Nygaard, Gunver K. Pedersen, Finn Surlyk og Peter Tyge* for lån af ikke publicerede resultater, oplysninger om boredata og ideer til figurer trykt i dette hefte.

Det geologiske kort over Bornholm (side 56-57) samt fossilerne er tegnet af *Christian Rasmussen.*

Forsidebilledet viser haleskjoldet af en trilobit (*Megistaspis*) fra Komstad Kalken på Bornholm. Foto: *Ole Bang Berthelsen.*

Redigeret af *Steen Sjørring* under medvirken af forfatterne, *Svend Pedersen,* litograf *René Madsen* og fotograf *Ole Bang Berthelsen.*

VARV

Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Centralinstitut, Øster Voldgade 10, 1350 København K. Telefon: 01 11 22 32

Kontoret er åbent mandage 9 - 16. Andre dage kan henvendelse ske til Svend Pedersen eller Steen Sjørring på samme telefon.

Redaktion: Valdemar Poulsen (ansvarshavende), Asger Berthelsen, Jens Konnerup-Madsen, Svend Pedersen, Steen Sjørring og Sven Laufeld.

Renskrift: Gitte Sjørring

Montage: Steen Sjørring

Repro: Vest-Scan a/s, Esbjerg

Tryk: Johnsen + Johnsen a/s, København

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 70 kr i abonnement i 1988.

Abonnement tegnes ved at indsende beløbet til VARV. Postgiro 9 06 88 80, eller 65 SKr til VARVs svenske postgirokonto 4388-5.

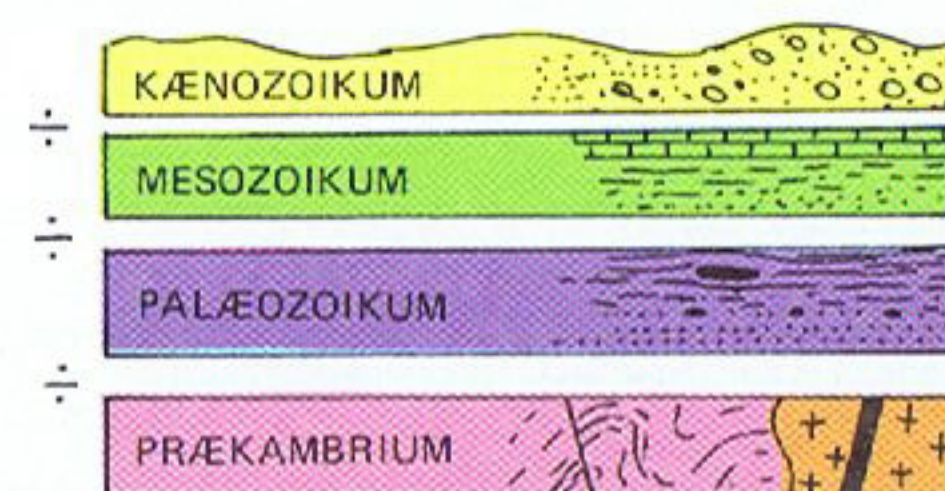
Adresseændringer eller fejl ved bladets levering bedes meddelt Postvæsenet.

© 1988 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kun efter aftale.

PERIODE		BJERGART/FORMATION
KVARTÆR		ISTIDSAFLEJRINGER M.V.
TERTIÆR		
KRIDT	Øvre	BAVNODDE GRØNSAND
		ARNAGER KALK
		ARNAGER GRØNSAND
	Nedre	JYDEGÅRD FORMATION
		ROBBERDALE FORMATION
		RABÆKKE FORMATION
JURA	Øvre	
	Mellem	BAGÅ FORMATION
	Nedre	HASLE FORMATION RØNNE FORMATION
TRIAS	Øvre Mellem Nedre	KÅGERØD FORMATION
DEVON-KARBON-PERM		
SILUR	Øvre	
	Nedre	'CYRTOGRAPTUS SKIFER' 'RASTRITES SKIFER'
ORDOVICIUM	Øvre	'DALMANITINA SKIFER' 'TRETASPIS SKIFER' 'DICELLOGRAPTUS SKIFER'
	Mellem	
	Nedre	KOMSTAD KALK
		'DICTYONEMA SKIFER'
		'OLENID SKIFER'
KAMBRIUM	Øvre	ØVRE ALUNSKIFER
		ANDRARUM KALK
	Mellem	NEDRE ALUNSKIFER 'EXSULANS KALK'
		RISPEBJERG SANDSTEN
	Nedre	'GRØNNE SKIFER'
		BALKA SANDSTEN NEXØ SANDSTEN
PRÆKAMBRIUM		
		DIABASGANGE GNEJS OG GRANIT

BORNHOLMS FJELD

af Asger Berthelsen



BORNHOLM - MELLEM NORDEN OG 'EUROPA'

Bornholm udgør med sine 581 km² kun 1,3 % af Danmarks areal, men intet sted i landet er geologien så righoldig som på Bornholm. Her er blottet bjergarter af vidt forskellig alder, og her kan der samles både mineraler og forsteninger. På øens nordlige del kan man tilmed gå og stå direkte på den krystalline jordskorpe, det Prækambriske grundfjeld. Det er i de andre egne af Danmark gemt godt væk under 1-10 km tykke sedimentlag.

Bornholm danner den sydligste udløber af grundfjeldet i det Baltiske Skjold, der ellers omfatter største delen af Sydnorge, Sverige og NØ-Norge samt Finland, Kola halvøen og Sovjetisk Karelen. De første kapitler af Bornholms geologiske historie er derfor en del af beretningen om det Baltiske Skjolds tilblivelse, se side 42 - 43.

Senere blev Bornholms geologiske historie imidlertid præget af begivenhederne i Mellem- og Syd-Europa, hvor der både i slutningen af Prækambrisk tid, og i Jordens oldtid (Palæozoikum), middelalder (Mesozoikum) og nyere tid (Kænozoikum) var livlig pladetektonisk aktivitet. Indflydelsen sydfra skyldtes, at der umiddelbart op mod Bornholm udvikledes et system af dybtgående brudzoner i jordskorpen. Dette brudsystem kan følges fra Sorte Havet i sydøst til Nordsøen i nordvest. Den første brudzone udvikledes hen mod slutningen af Prækambrisk tid, og den - samt flere nye - var aktive med både sideværts- og op-ned bevægelser gentagne gange - helt ind i Kvartærtiden.

Denne store brudzone, som adskiller Gammel-Europa fra Ung-Europa er velafgrænset fra Sorte Havet til Polen, hvor den er 50 - 90 km bred. Men hvor den forlader Polen, deler den sig op i et bundt af større og mindre brudzoner, som vifteformet spreder sig ind over det danske område og det nordligste Tyskland. Den nordligste gren i denne vifte rører ved Bornholm og kaldes sammen med zonen gennem Polen til Sorte Havet for **Tornquist Zonen**. Den sydligste gren, som er den ældste, kaldes den **Trans-Europæiske Brudzone**. Den passerer syd om Danmark og Østersøen og gemmer sig fra Polen og videre mod sydøst i Tornquist Zonen.

Dette komplicerede system af brudzoner har fungeret som en art stødpude mellem det pladetektoniske aktive Mellem- og Syd-Europa og det stabile Baltiske Skjold. Pladebevægelserne sydpå blev afledt ved bevægelser i brudzonerne, men Bornholm lå alligevel så tæt op ad bevægelsezonerne, at de store begivenheder sydpå kom til at afspejle sig tydeligt i den lagserie, der overlejrer det bornholmske grundfjeld. Begivenhederne markeres af store huller i lagserien, såkaldte **lakuner**, og ved at lagene under lakunerne viser lagforstyrrelser, der ikke findes i lagene over lakunerne. (Se vignetten øverst på denne side).

DE STORE LAKUNER

Den ældste store lakune i lagfølgen på Syd-Bornholm findes mellem det nedero-derede grundfjeld og de ældste Kambriske lag. Denne lakune spænder over ca. 300 mill. år, og tidsrummet (870 - 570 mill. år) svarer til opbrydningen af Gammel-Europa syd for den Trans-Europæiske Brudzone og den efterfølgende Sen-Prækambriske (Cadomiske) pladetektoniske udvikling, som var af stor betydning ved dannelsen af fundamentet i Ung-Europas jordskorpe.

Den mellemste store lakune i den bornholmske lagserie optræder mellem de yngste Silure skifre og de ældste Triassiske sedimenter. Den første del af denne lakune svarer til den afsluttende fase i den **Kaledoniske foldning** mod slutningen af Silur, hvor de Kaledoniske foldebjerger i Skandinavien og de Nordtyske - Polske Kaledonider blev dannet. Foldefronten for de Nordtyske - Polske Kaledonider er skjult under det sydligste Sønderjylland og i Østersøen, hvor den løber mellem Bornholm og Rügen, se side 43.

Men den mellemste lakune omfatter også den efterfølgende Hercyniske pladetektoniske udvikling med dannelsen af Mellem-Europas **Hercyniske foldebjerger** og den begyndende opbrydning af Gondwana-kontinentet. Det var den Hercyniske udvikling, der førte til dannelsen af Tornquist Zonens nordvestlige del, der som den nordlige viftegren i det store brudsystem strækker sig fra Bornholms sydvestkyst over Skåne til Kattegat og Nordjylland. Det kan godt være, at der i dele af den mellemste lakunes tidsrum blev aflejret sedimenter på Bornholm, men så er de blevet fjernet igen ved erosion, inden de ældste Trias-lag blev afsat.

Den yngste store lakune i Bornholms lagserie optræder mellem undergrundens yngste Kridttids lag og istidslagene fra Kvartærtiden. I tid svarer den yngste store lakune til den Alpine plade-kollision, hvorved de **Alpine foldebjerger** i Syd-Europa og Middelhavsområdet dannedes, og den efterfølgende sammenpresning af Europa og Afrika. Inden for Tornquist Zonen førte de Alpine spændinger, der forplantede sig nordpå gennem den Europæiske plade, til en skæv sammenpresning og opfoldning af lagene langs Bornholms sydvestlige kyst.

Foruden disse tre store lakuner, optræder der talrige mere kortvarige 'huller' i den bornholmske lagserie. De beretter om mange interessante detaljer i det overordnede pladetektoniske udviklingsbillede.

BORNHOLMS GRUNDFJELD:

PRÆKAMBRIUM

Groft set kan Bornholms grundfjeld beskrives som én brudbegrænset granit-horst, der rager op gennem de omgivende sedimenter, men i virkeligheden er denne 'store granitblok' ikke så ensartet. De yngste dannelser, de gennemskærende **diabasgange**, som er dannet ved at basisk magma er trængt op og størknet i sprækker, skiller sig klarest ud fra omgivelserne, men selv ude i omgivelserne

kan der ses forskelle. Selv om næsten alle grundfjeldets bjergarter (diabaserne undtaget) består af feldspat, kvarts og mørke mineraler, ligesom granit, og deres kemiske sammensætning ligner - eller svarer til en granit, kan man (efter struktur, forekomstmåde og kontakthold) direkte i felten adskille to hovedgrupper af 'granitiske bjergarter', der hver for sig kan inddeles yderligere, se kortet side 56 - 57. Bornholms grundfjeld omfatter i alt tre hovedgrupper: 1) Den bornholmske gnejs og ældre granit, 2) De yngre graniter, og 3) Diabasgangene.

BORNHOLMSK GNEJS OG ÆLDRE GRANIT

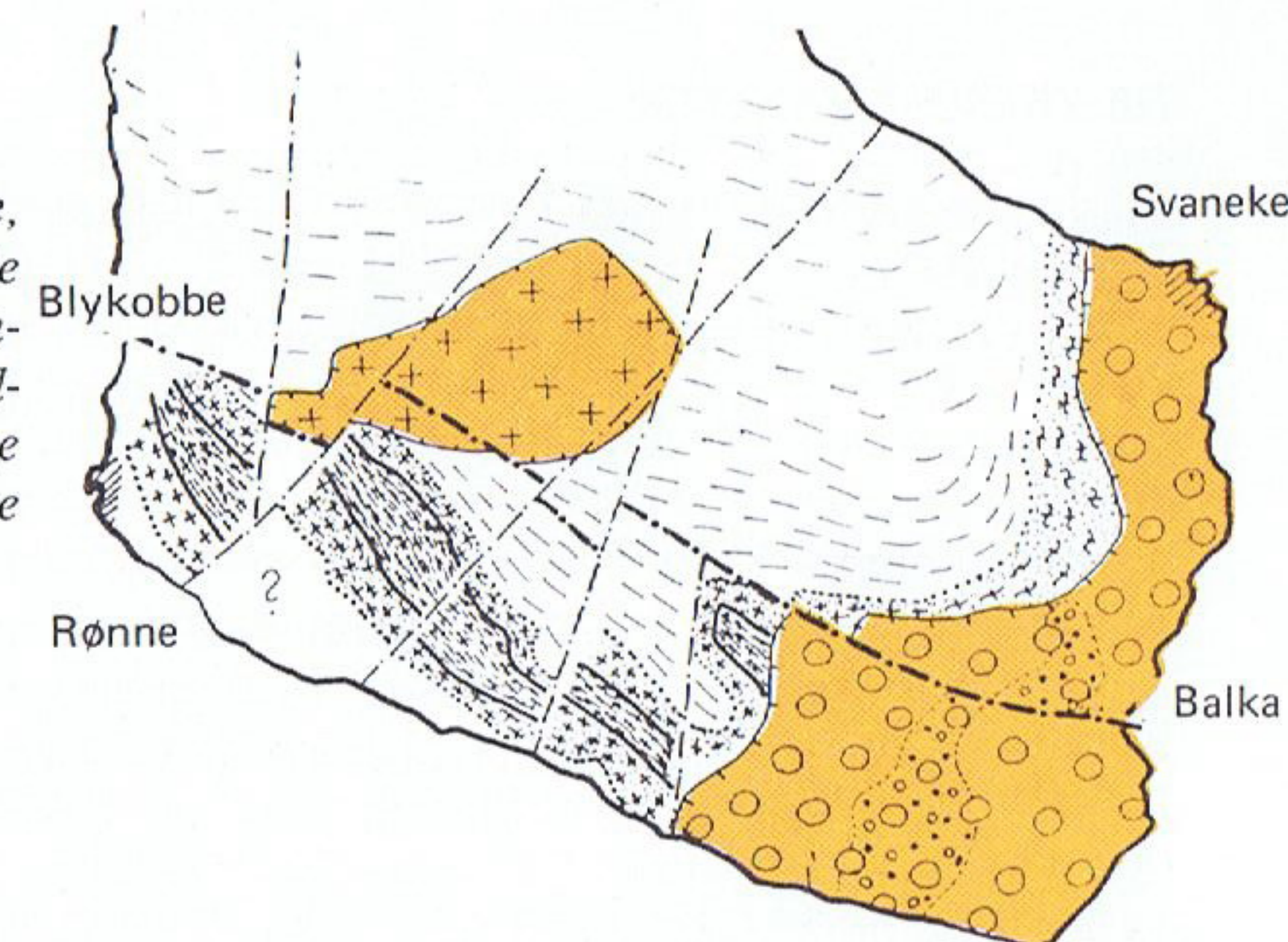
Den bornholmske gnejs adskiller sig først og fremmest fra det, der på undergrundskortet er angivet som granit, ved at de mørke mineraler er parallelt orienteret (linie- eller lagvist). Denne gnejs-struktur kaldes en **liniation** ved linievis parallelstruktur og **foliation** ved lagvis/planar parallelstruktur. Den giver gnejsen et sribet eller svagt båndet udseende i klippeoverfladen. Stribningen/båndingen ses her undertiden at bølge svagt eller være bøjet i fleksurer, der stedvis afbrydes af mindre, uregelmæssigt afgrænsede partier af lyst, strukturløst materiale. Disse partier er sandsynligvis blevet dannet ved delvis opsmeltning i gnejsen. Undertiden kan der ses en 'svederand' hvor ikke-opsmeltede mørke mineraler er blevet koncentreret uden omkring det udsondrede, oprindelig opsmeltede parti.

Østligst i gnejsområdet, i et nord-syd gående bælte ved Paradisbakkerne vest for den yngre Svaneke granit, optræder en ret mørk gnejs med flammeagtige slirer. Her har den delvise opsmeltning været så kraftig, at bjergarten med god ret kan kaldes **migmatitisk**, det vil sige en blandingsbjergart af gammelt og nyt materiale. De flammeagtige slirer er tilnærmelsesvist parallelt orienteret og de tegner en fladtrykt linsestruktur i gnejsen.

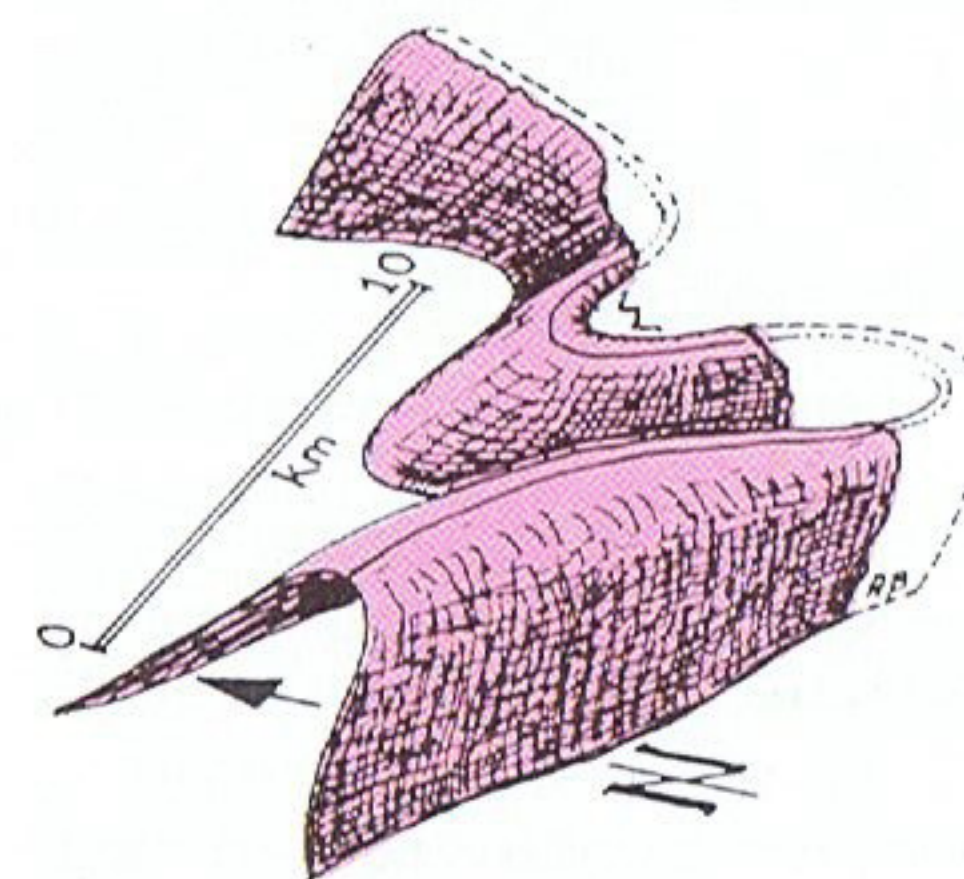
Stribningen/båndingen i den bornholmske gnejs er ikke altid lige fremtrædende. Der er overgangstyper til 'rigtig' granit, og der er flere mindre forekomster med strukturløs granit inden for gnejsområdet. Af de graniter, der her regnes som ældre graniter, er kun Rønne graniten afmærket på undergrundskortet længst mod sydvest, op mod det sydlige sedimentområde. Der er også en overgangszon mellem Rønne graniten og gnejsen nord for den. Når Rønne graniten og de magnetisk-forskellige granittyper, som er sporet nord for og under sedimentområdet, her er behandlet som ældre graniter i hovedgruppe med den bornholmske gnejs, skyldes det, at disse graniter følger sig konformt sammen med gnejsen i en og samme overordnede struktur. Det tyder på, at disse bjergarter sammen har været udsat for deformation i stor skala.

Rønne graniten er en blålig-grå, mørk granit. Den mørke farve skyldes, at feldspaten er så klar og gennemsigtig, at et indhold på ca. 15 % mørke mineraler kommer til at dominere. Foruden de mørke mineraler hornblende og biotit er der i Rønne graniten fundet rester af pyroxen-korn. Det tyder på, at Rønne graniten oprindelig udkrystalliserede fra et ret tørt magma. Graniten omkrystalliserede dog senere, nok samtidigt med hoveddeformationen af gnejsen og anlægget af de store strukturer, som den ældre hovedgruppes bjergarter udviser.

Figur 1. Strukturskitse, der viser den formodede udbredelse af den bornholmske gnejs og de ældre magmatisk-forskellige graniter (ufarvet). Yngre graniter er orange.



Hvis tolkningen af det magnetiske anomali-kort over det sydlige Bornholm er rigtig, betyder det, at Rønne graniten - sammen med de skjulte graniter og den bornholmske gnejs - danner en kompliceret dobbeltfoldet struktur, som fylder det meste af Bornholm. I en sådan struktur kommer Rønne graniten og de skjulte graniter til at lukke (antiformt) i sig selv omkring en næsten vandret nordvest-sydøst foldeakse, og denne fold bliver - sammen med gnejsen - i den øvre flanke tvunget ind i en noget ændret udgave af den 'østbornholmske fold'.



Men det må ikke glemmes, at der er usikkerheder ved denne tolkning, der dels bygger på andres tolkninger, og dels kan strukturer dannet af fremtrængende magma-bjergarter, hvis form før deformationen ikke kendes, let overfortolkes.

Figur 2. Hypotetisk dobbeltfold i gnejs og ældre granit, der afskæres mod øst af den yngre Svaneke granit.

Et vigtigt spørgsmål står tilbage. Hvad var den bornholmske gnejs' udgangsbjergarter, før de blev deformerede og under omkrystallisation udsattes for delvis opsmeltning her og der? Der kan have været tale om en sekvens af sure lavaer, porfyre og underordnede indslag af sedimenter, og der kan være trængt graniter ind i sekvensen, altså hovedsagelig sure bjergarter af magmatisk oprindelse. Selv om der er fundet rester af omdannede sedimenter (kvartsit, glimmerskifer og kalk-silikat) på flere lokaliteter, optræder disse bjergarter i helt underordnet mængde. Det samme gælder amfibolit, der er dannet ved omdannelse af basiske magmabjergarter.

DE YNGRE GRANITER

Til de yngre graniter regnes **Vang granit**, **Hammer granit**, **Almindingen granit** og **Svaneke granit**. På undergrundskortet (side 56 - 57) og på strukturskitsen ses de yngre graniter at afskære de store strukturer, som tegnes af gnejsen og de ældre graniter. Det er derfor rimeligt at antage, at de yngre graniter er trængt frem efter den bjergkædefoldning, der dannede de store strukturer. Medvirkende til, at de yngre graniter nu forklares som magmatisk fremtrængte er, at deres Strontium-isotopforhold ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) tyder på, at de er dannet ud fra magmaer i kappen snarere end de er dannet ved opsmeltning inden for skorpen. Dette isotopforhold er fremkommet sammen med en Rubidium-Strontium (Rb-Sr) isokron alder for Hammer -, Svaneke - og Vang granitterne på 1400 ± 60 mill. år. Dette betyder, at de yngre graniter tilhører en og samme generation af graniter, men dog ikke, at de er intruderet på nøjagtig samme tid. Vang graniten kunne godt have nået at storkne, før den lysere rødlig Hammer granit trængte frem.

De yngre graniter kan være både linierede og folierede. Der synes at være overensstemmelse mellem strukturerne i gnejsen og i f.eks. Hammer graniten, men gnejsagtige strukturer kan dog også udvikles i en magmatisk dannet granit i forbindelse med dens storkning. Det kan ikke udelukkes, at nogle af de gnejsagtige strukturer i de yngre graniter er dannet på denne måde.

På det geologiske kort (side 56 - 57) synes det som om, at Hammer graniten er trængt op i Vang graniten. Den lille forekomst af Vang granit inden for Hammer graniten, ville da være en rest af Hammer granitens 'tag', og graniten ved Olsker ville være en opragende sydlig udløber af Hammer graniten. Selv Almindingen graniten, der ligner Hammer graniten en del, ville kunne forklares som en endnu mere sydlig udløber, der stikker op gennem gnejsen.

Almindingen graniten viser en gradvis overgang til gnejsen og kan være folieret. Det kan skyldes, at graniten i sin yderste del var trængt frem som en gangsværm med gnejskiver imellem granitgangene. Varmepåvirkningen fra graniten kunne da - hvis temperaturen i forvejen var relativ stor - blive høj nok til en delvis opsmeltning af gnejskiverne.

At de yngre graniter blev intruderet i relativ stor dybde i jordskorpen i et 'lunt' miljø, fremgår af, at de først for 1350 - 1250 mill. år siden blev kølet ned til omkring 300°C , hvilket ses af Kalium-Argon (K-Ar) aldre for biotiter fra de yngre graniter, og for 950 - 800 mill. år siden til $200 - 100^{\circ}\text{C}$ (Ar-Ar - spektrum).

Svaneke graniten, der er den mest grovkornede af de yngre graniter, afskærer tydeligt strukturerne i de ældre graniter på det sydlige Bornholm, og Svaneke graniten selv ses at være 'klippet' af Blykøbbe-Balka forkastningen, så den nordlige del er forskudt mod øst i forhold til den sydlige, se fig. 1. Denne store forkastning blev sandsynligvis dannet før 1250 mill. år, måske i forbindelse med en begyndende ophævning og nederosion af det bornholmske grundfjeld.

DIABASGANGENE

Diabasgangene udgør den yngste hovedgruppe af bjergarter i det bornholmske grundfjeld. De er dannet ved at basisk magma er trængt op som sprækkefyldninger i granitterne og i gnejsen. En mere moderne betegnelse for diabas er dolerit, som f.eks. anvendes om lignende basiske gange i Sydsverige.

Ved en kortlægning af de bornholmske basiske gange blev der opmålt 200 gange med en samlet bredde på 400 m i et kystprofil på 30 km's længde. Det svarer til at ca. 1,3 % af grundfjeldets areal udgøres af diabas.

De bornholmske diabaser har næsten alle N-S, NNØ-SSV eller NØ-SV-retninger. Det vil sige, at de er parallelle med de bornholmske spaltedale, der er uderode-rede sprækkezoner, og diabaserne optræder ofte i selve sprækkedalene. Gangenes bredde varierer fra cm-tykkelse til m-brede, og enkelte når et tital af metre.

Den bredeste er Kelse Å-gangen, den er 60 m bred. Kelse Å-gangen er fulgt ved hjælp af magnetisk kortlægning fra nordkysten og i sydøstlig retning helt frem til kanten af sedimentområdet på det sydlige Bornholm. Den skærer uforsat Blykøbbe-Balka brudzonen i gnejsen og graniten, og Kelse Å-gangen anses for at tilhøre den Jotniske dolerit/diabas generation. Den er i Sverige dateret til ca. 1250 mill. år.

I det nordlige gnejs terræn skæres Kelse Å-gangen imidlertid (under en spids vinkel) af yngre brud, men forsætningerne er så små, at de ikke ses på kortet. Brud med samme retning forsætter Blykøbbe-Bagå forkastningen, og her kan deres sen-Prækambriske alder vises, da de ikke påvirker overliggende Kambriske sedimenter. Andre af de bornholmske diabasgange har sikkert samme alder som Blekinge-Dalarne gangsværmen i Sydsverige, hvor de er dateret til at være trængt frem for 970 - 870 mill. år siden. Dette er i overensstemmelse med de seneste palæomagnetiske undersøgelser af de basiske gange i det Baltiske Skjold.

Alle bornholmske diabasgange, der kan følges ind til det sydlige sedimentområde, har været ældre end sedimenterne, det vil sige, at diabasgangene er af Prækambrisk alder. Efter dannelsen af diabasgangene og før aflejringen af de ældste sedimenter (Nexø Sandstenen) er der en stor lakune i den bornholmske lagserie.

I Skåne blev der på overgangen Karbon - Perm intruderet en veludviklet doleritgangsværm, hvor talrige af gangene har retninger, der falder mere eller mindre sammen med Tornquist Zonens retning. Det har fra svensk side været fremhævet, at det er besynderligt, at gange med samme alder ikke optræder på Bornholm, der jo netop ligger i retningen af en eventuel fortsættelse af den svenske gangsværm. Imidlertid er der fra Bornholms nordkyst rapporteret nogle få meter brede diabasgange med Ø-V til NV-SØ-retninger, men der må nye undersøgelser til for at afgøre, om de nordbornholmske gange med afvigende retninger skulle være jævnaldrende med de skånske fra Karbon-Perm.

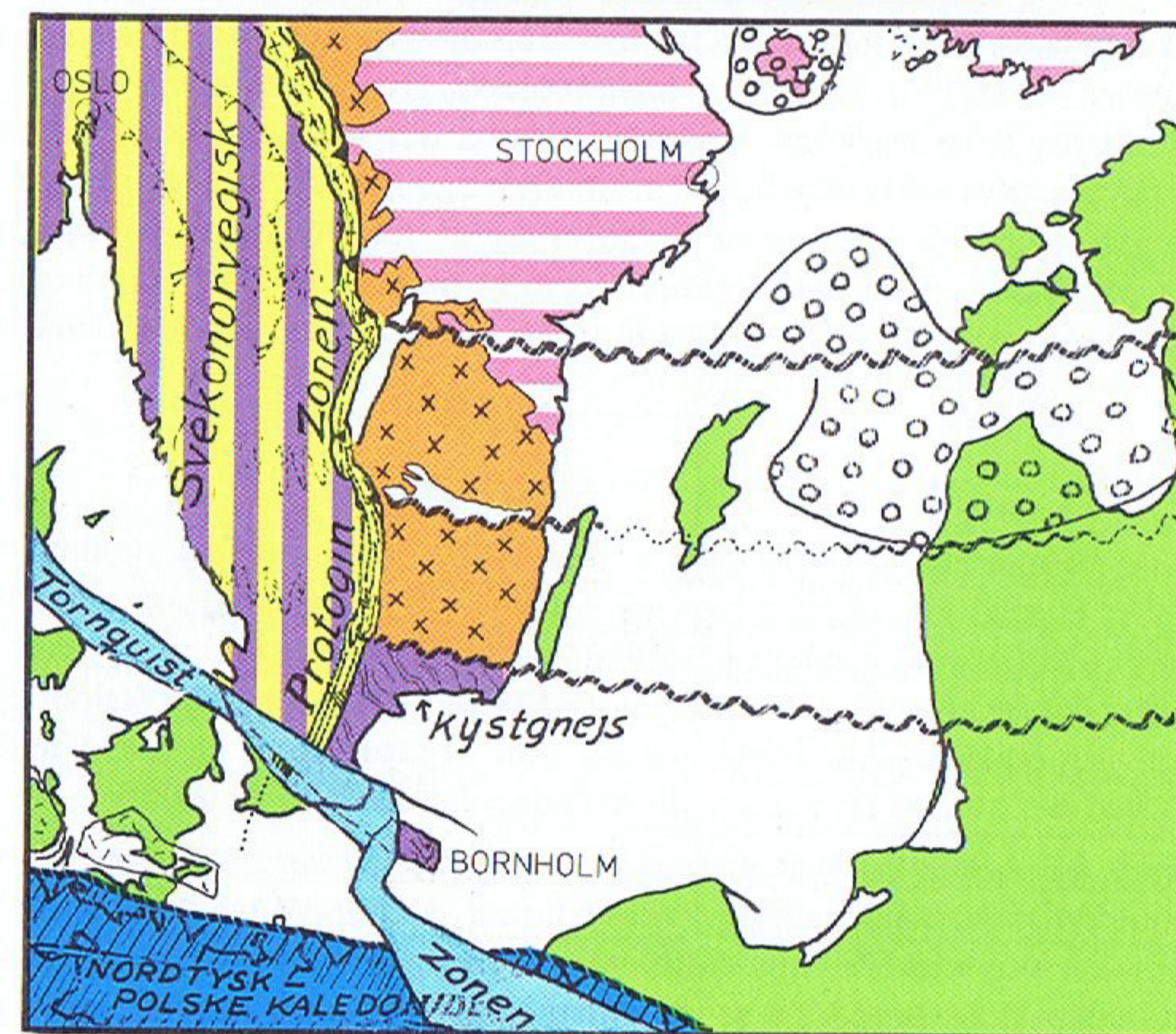
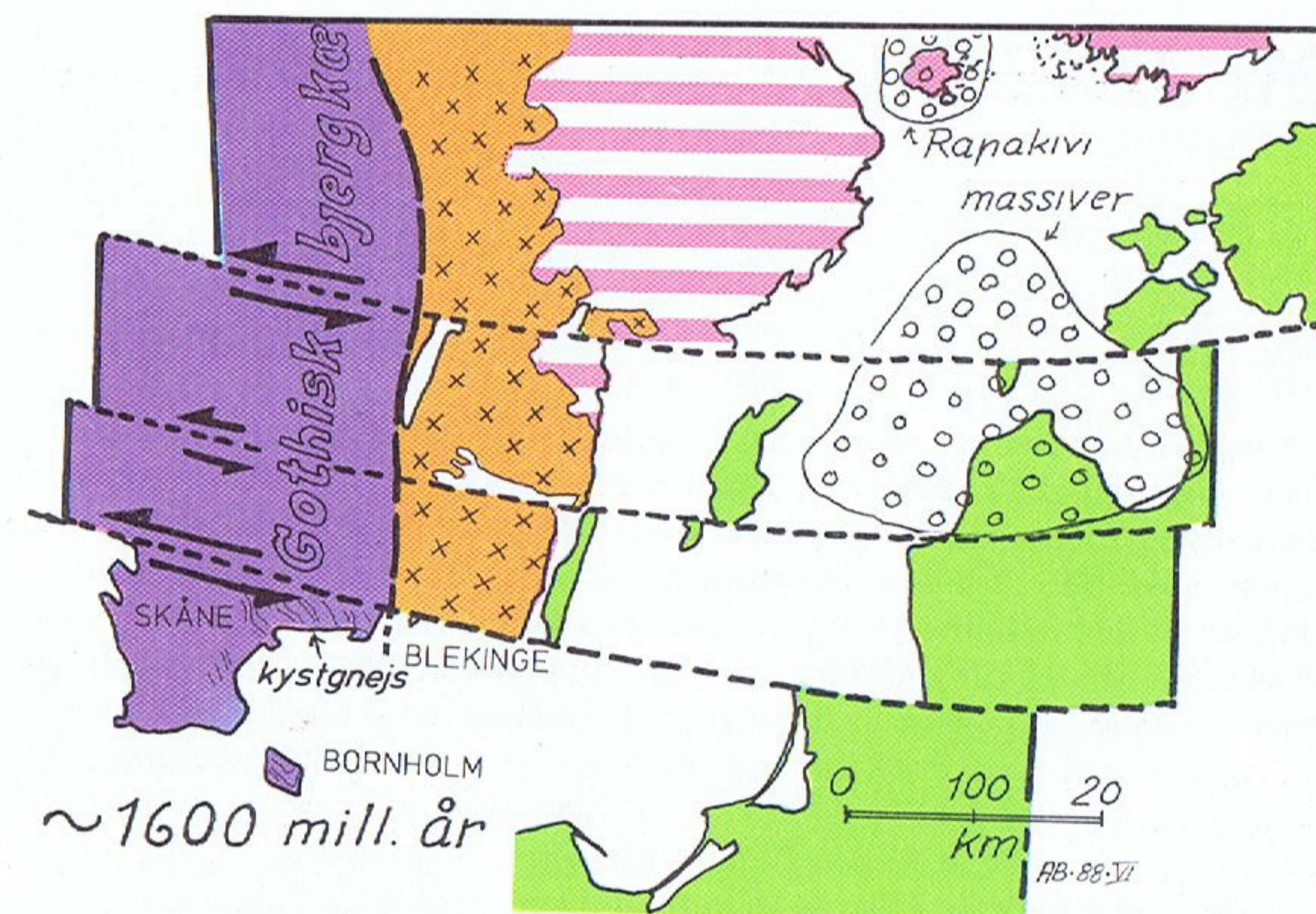
SYDSVERIGE - BORNHOLM - EN SAMMENLIGNING

Fra Bornholm foreligger der kun en enkelt Rb-Sr alder (ca. 1400 mill. år) for tre yngre graniter og nogle K-Ar biotitaldre fra to af graniterne. Men der er i de seneste år blevet udført mange dateringer i det sydlige Sverige, bl.a. i Blekinge.

Blekinges kystgnejs og ældre graniter er nu dateret til at være dannet, omdannet og deformeret for 1780 til 1650 mill. år siden. Det er fristende at foreslå, at den bornholmske gnejs og ældre granit har samme alder.

Blekinges kystgnejs gennemses af massiver af yngre (ca. 1400 mill. år) graniter, der - ligesom Bornholms yngre graniter - både optræder grovkornede, mellemkornede og gnejsagtige typer. Grundfjeldet i det sydøstligste Skåne, det sydlige Blekinge og på Bornholm synes helt klart at tilhøre en og samme provins, der repræsenterer en 1780 - 1650 mill. år gammel bjergkæde. Denne blev gennemsat af yngre graniter for ca. 1400 mill. år siden og blev hævet og nedroderet for 1350 - 1200 mill. år siden.

Det mystiske er blot, at denne bjergkæde ender blindt mod en Ø-V gående brudzone i Blekinge. Nord for brudzonen er der graniter og porfyrer, der er mindst lige så gamle som kystgnejsene, men de er ikke deformeret. Det sydlige Blekinges kystgnejs og ældre graniter har derfor næppe haft deres nuværende geografiske placering, dengang de blev dannet. Fig. 3 viser et forsøg på at løse dette mysterium. I skitsen øverst er Bornholm-Skåne-Blekinge grundfjeldets mulige placering i tiden kort efter den 1780 - 1650 mill. år gamle bjergkædefoldning angivet. Bornholm-Skåne-Blekinge dannede da sandsynligvis den sydlige del af en større foldekæde, den Gothiske foldekæde. Den Gothiske pladetektoniske udvikling (1780 - 1650 mill. år) var også ansvarlig for dannelsen af de ældste dybbjergarter i det sydvestsvenske gnejsområde. I rekonstruktionen ses de udeformeret graniter og porfyrer at optræde øst for den Gothiske foldekæde, i dens uforstyrrede forland. Nederste skitse viser situationen efter afslutningen af den senere Svekonorvegiske foldning (1100 - 950 mill. år siden). Bornholm-Skåne-Blekinge-'blokken' var da blevet forskudt mod øst, så denne del af det Gothiske foldebælte undgik at blive inddraget i den Svekonorvegiske deformation. Forskydningen af Bornholm-Skåne-Blekinge-'blokken' mod øst skete langs den Ø-V gående brudzone nord for kystgnejsene, og den skete før de yngre graniters fremtrængning for ca. 1400 mill. år siden. Et massiv af yngre granit afskærer brudzonen. De yngre graniters dannelse hænger måske sammen med denne forskydning, da brudzonen sikkert nåede dybt ned i skorpen og kappen. Den nederste skitse viser også hvorledes Protogin zonen er blevet påvirket af denne og andre mere nordligt placerede Ø-V gående brudzoner i skjoldet. Protogin zonen nuværende komplicerede struktur skyldes også et delvist sammenfald mellem østgrænsen for den ældre Gothiske og den yngre Svekonorvegiske deformation. Vest for Protogin zonen har den Svekonorvegiske foldning og sammenpresning sløret og skjult den oprindelige fortsættelse af de Ø-V gående brudzoner ind i de ældste sydvestsvenske gnejs.



Figur 3. Udviklingen af grundfjeldets strukturer i Sydsverige og omkring Bornholm. Se teksten for forklaring.

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).

KAMBRIUM

Den ældste Palæozoiske aflejring på Bornholm er **Nexø Sandstenen**, der er mindst 110 m tyk. Det er en overvejende rødlig sandsten uden forsteninger. 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 'flettede floder'. Flodarmene har grenet sig ud over et stort areal og har ofte skiftet leje, hvorved der stedvis er opstået midlertidige lavvandede småsøer.

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 rødlige til mere grålige farver.

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

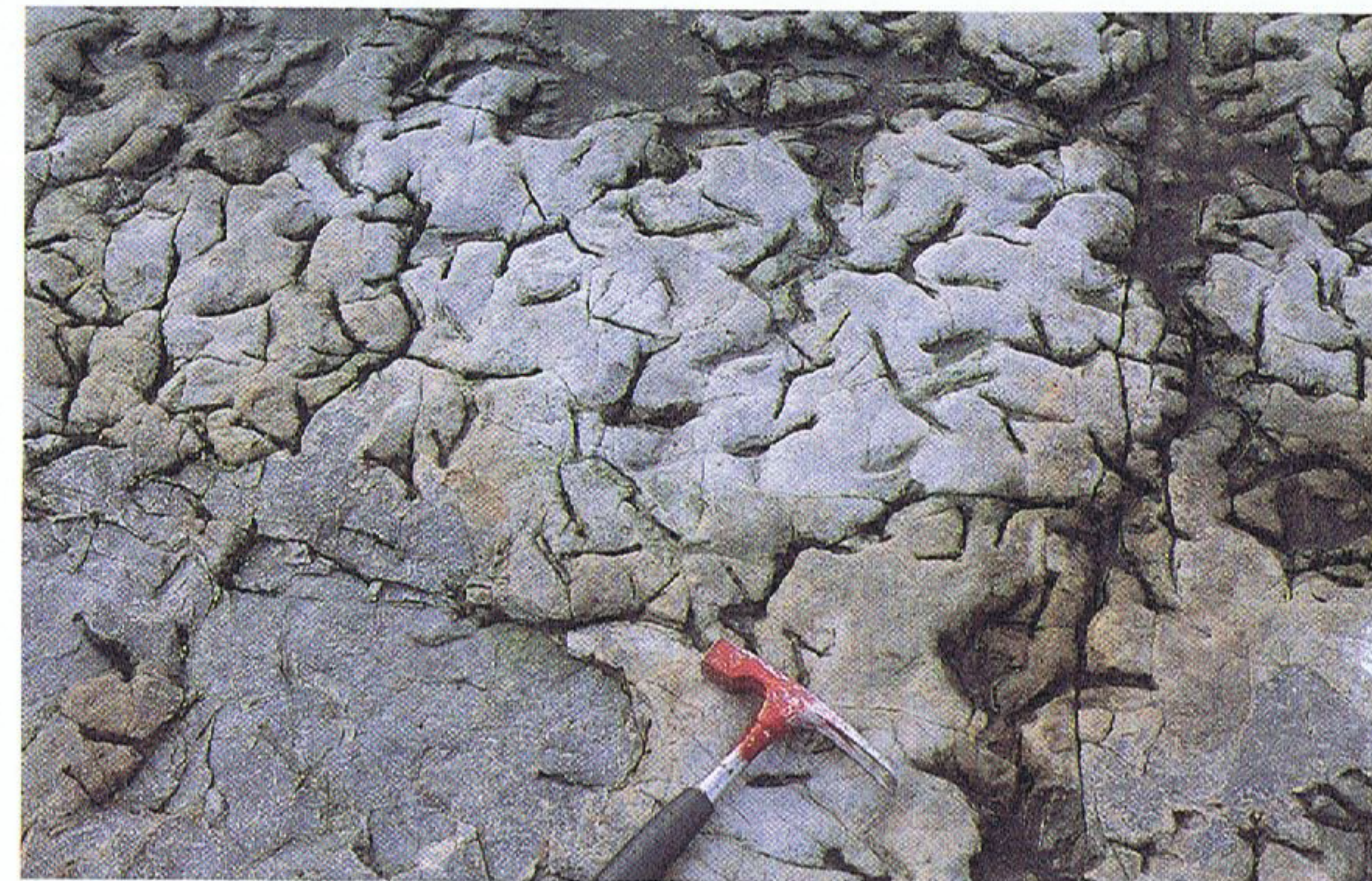
Stratigrafisk skema for de Palæozoiske aflejringer på Bornholm. I venstre søjle er vist de klassiske betegnelser for lagenhederne, som man vil kunne finde dem i den ældre litteratur. Til højre er de nugældende navne opført.



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.

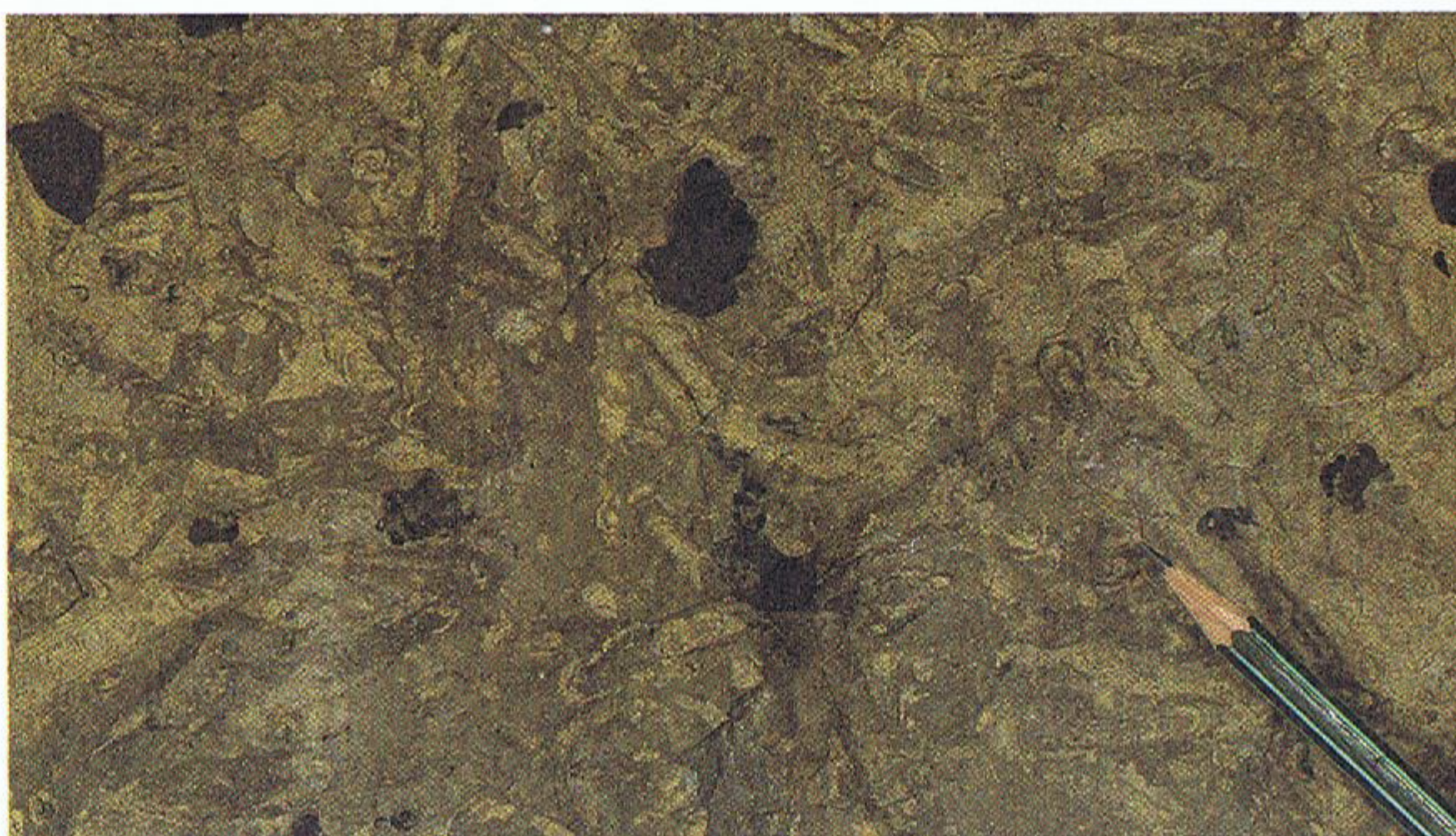
Balka Sandstenen, der ligger over Nexø Sandstenen, er ca. 80 - 90 m tyk og består hovedsagelig af hvide, grå og sorte velsorterede kvartssandsten, der stedvis afbrydes af ganske tynde skiferlag. Sedimentære strukturer, bl.a. bølgeslagsribber og lodretstående gravegange efter ormelignende dyr viser, at 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 omlejret, 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 påny 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 ler-slam, 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 lokalitet).



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 fortynding af lagfølgen, mens den hårde Antrakonit bevarede sin oprindelige tykkelse, og derfor 'smyger' Alunskiferen sig nu omkring Antrakonitbollerne.

På Bornholm er Mellem 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 Bospers 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.

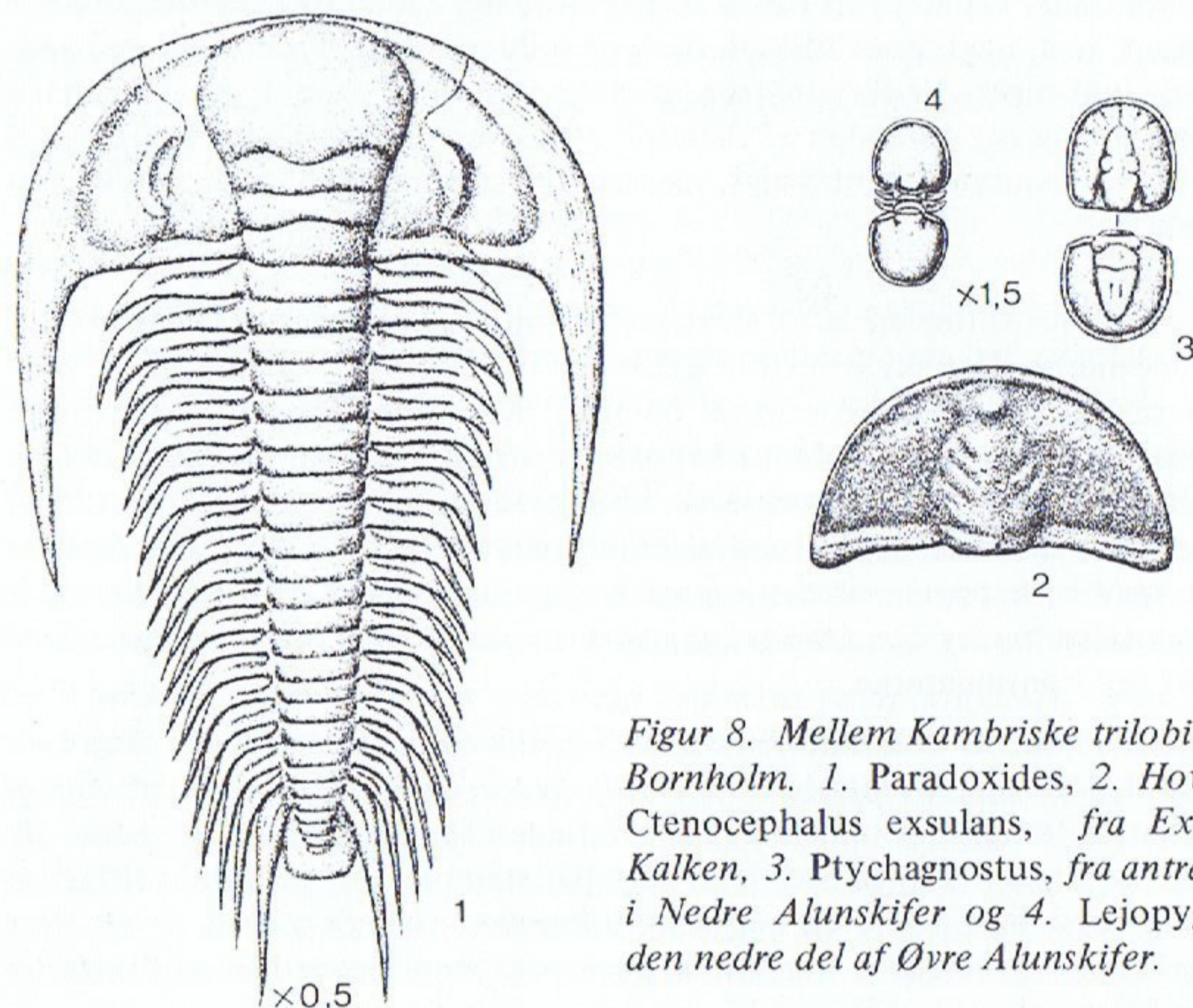
I nutiden holder tilførslen af ilt stort set trit med tilførslen af organisk materiale til oceanerne. Det skyldes store kolde havstrømme, der bringer iltrigt vand fra polerne til de ækvatoriale egne. Igennem Kambrium var der imidlertid et mere ensartet klima uden polare iskapper, hvorfor der næppe var 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 havspejlssænkning 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 aflejringstilstanden 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,

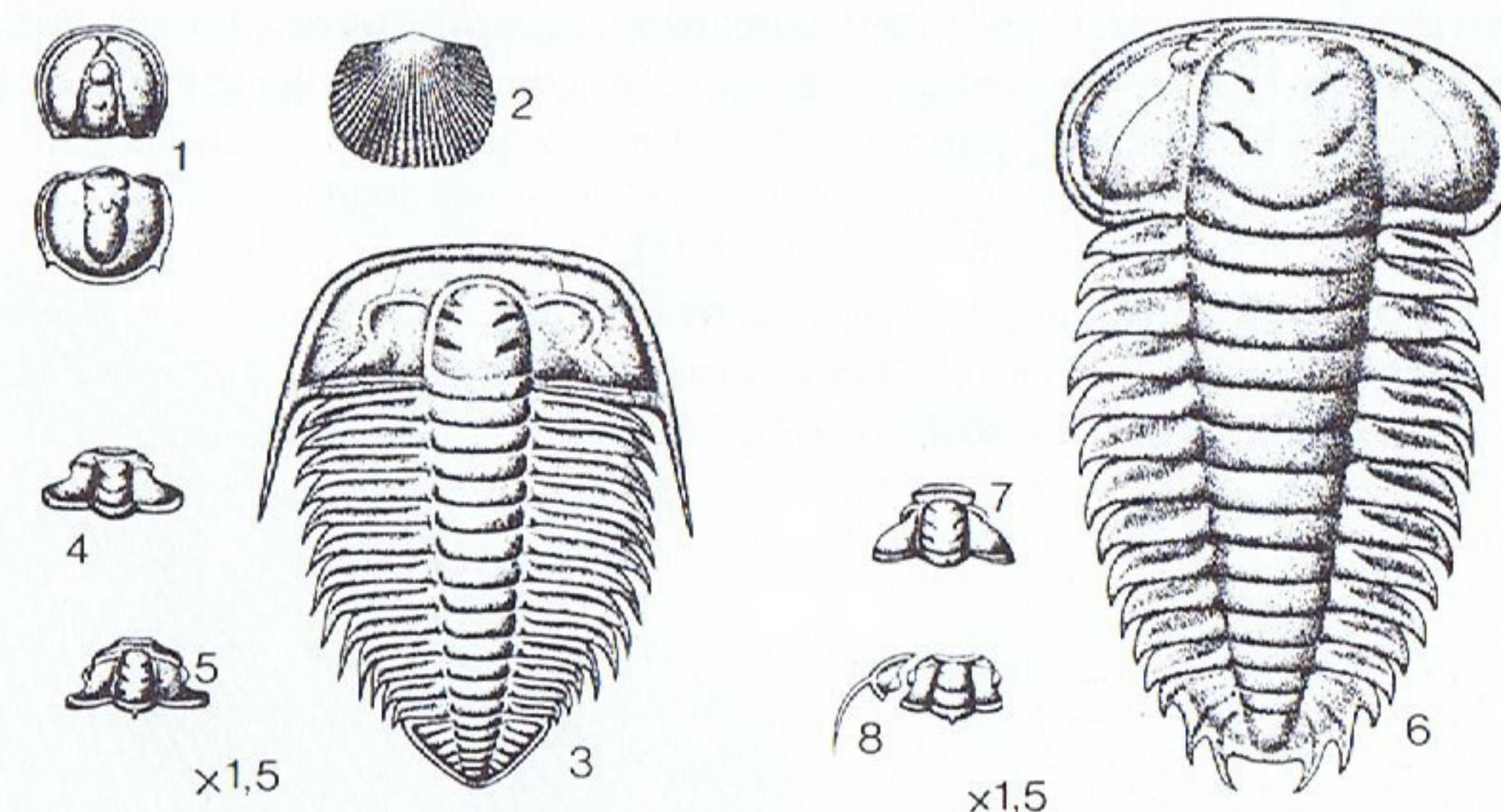
mens de splittede hudpansre ('løse' hoveder og haler) fra trilobiternes hudskifter er almindelige - i visse niveauer endda overordentlig hyppige. Foruden trilobiter findes i visse lag talrige skaller fra små **brachiopoder**, en dyregruppe, der i det udre ligner musliger meget, men som har en helt afvigende 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 ('forgyldt') 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 fossillose. De sporadisk optrædende gravegange findes faktisk netop i intervallerne med mange trilobiter.

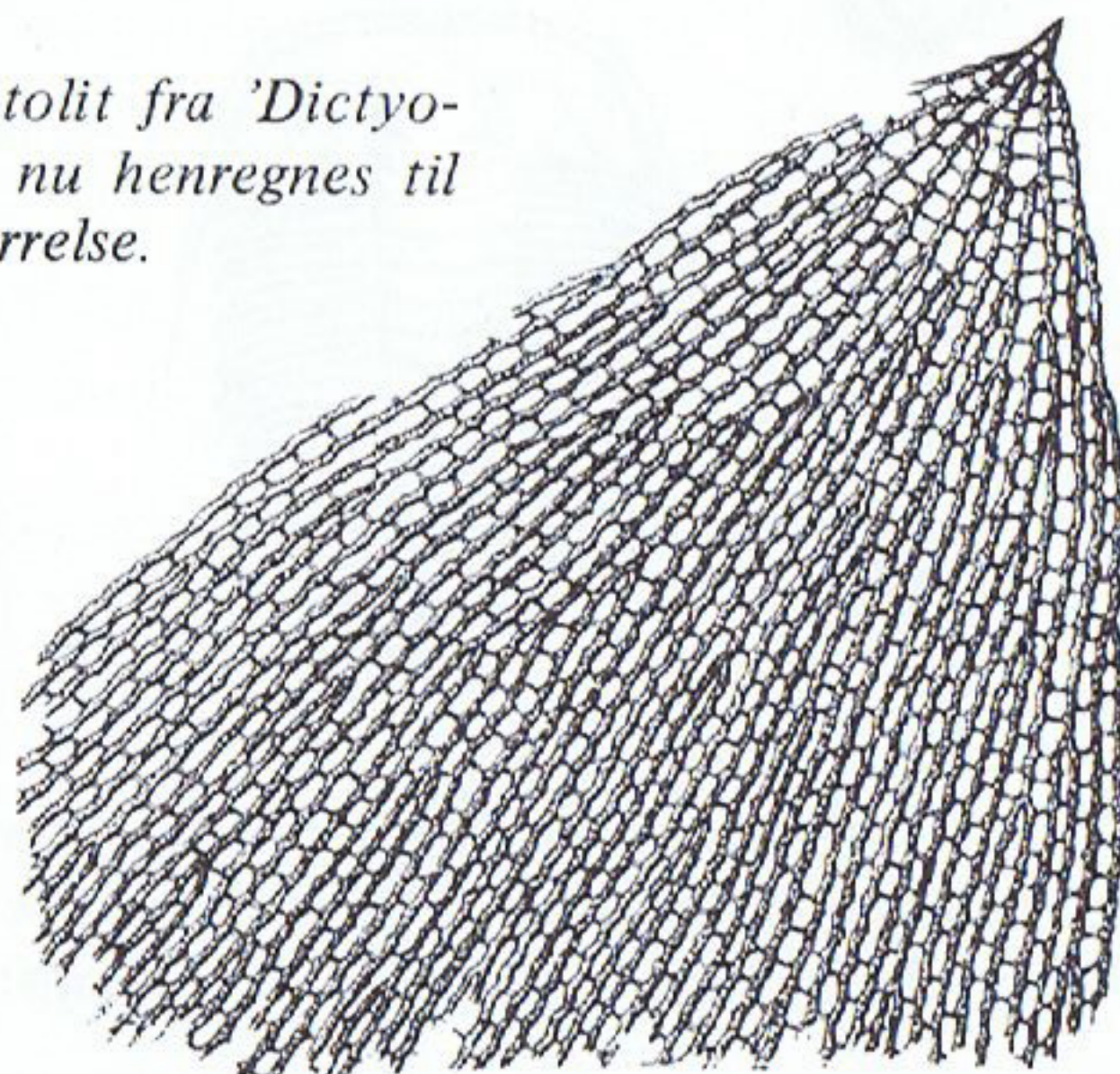
De Øvre Kambriske trilobitfaunaer er kendt for kun at optræde i visse niveauer, og inden for hvert niveau viser de en tilsyneladende jævn udvikling i retning af et smallere skelet. Dette kunne tolkes som en udvikling i retning af en bedre tilpasning til det daværende miljø, men det kan sandelig også 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 koloniskelettets grene. Nu ses resterne som grafitkinnende hider på skifrenes lagflader. Dyregruppen er for længst uddød, men til trods for et primitivt udseende har graptoliterne været en højtstående 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. Graptoliterne 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 Kambrium - dog ikke fra Bornholm.

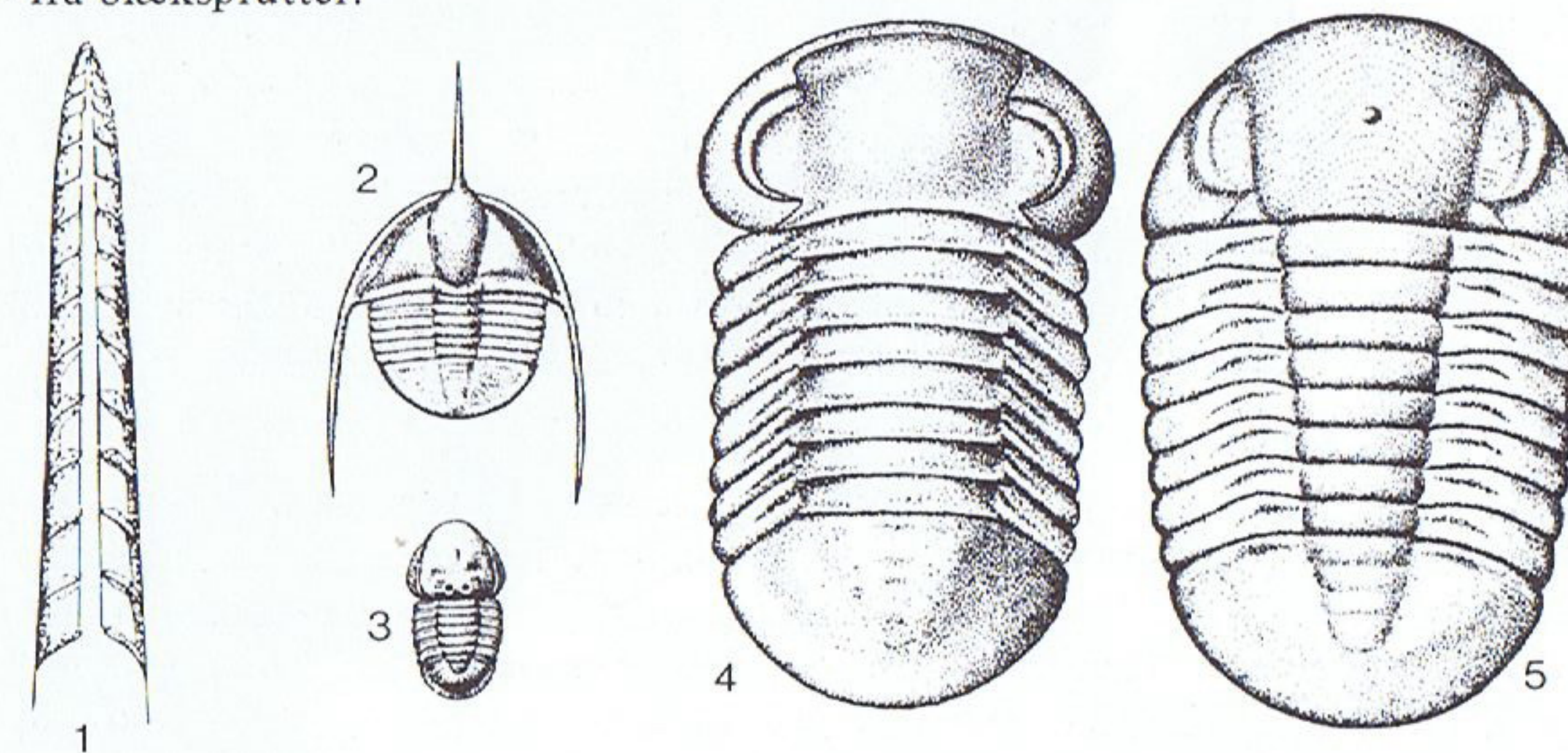
Efter aflejringen af 'Dictyonema Skiferen' trak havet sig tilbage, og der mangler aflejringer på Bornholm fra et langt tidsrum sammenlignet med nærliggende områder, f.eks. Skåne. Sænkningen af havniveauet kan også spores andre steder, men det store 'hul' i lagserien på Bornholm hænger sandsynligvis sammen med en samtidig lokal hævnings. 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 skifers 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 havspejlssænkning 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 aflejringsstørrelse 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.

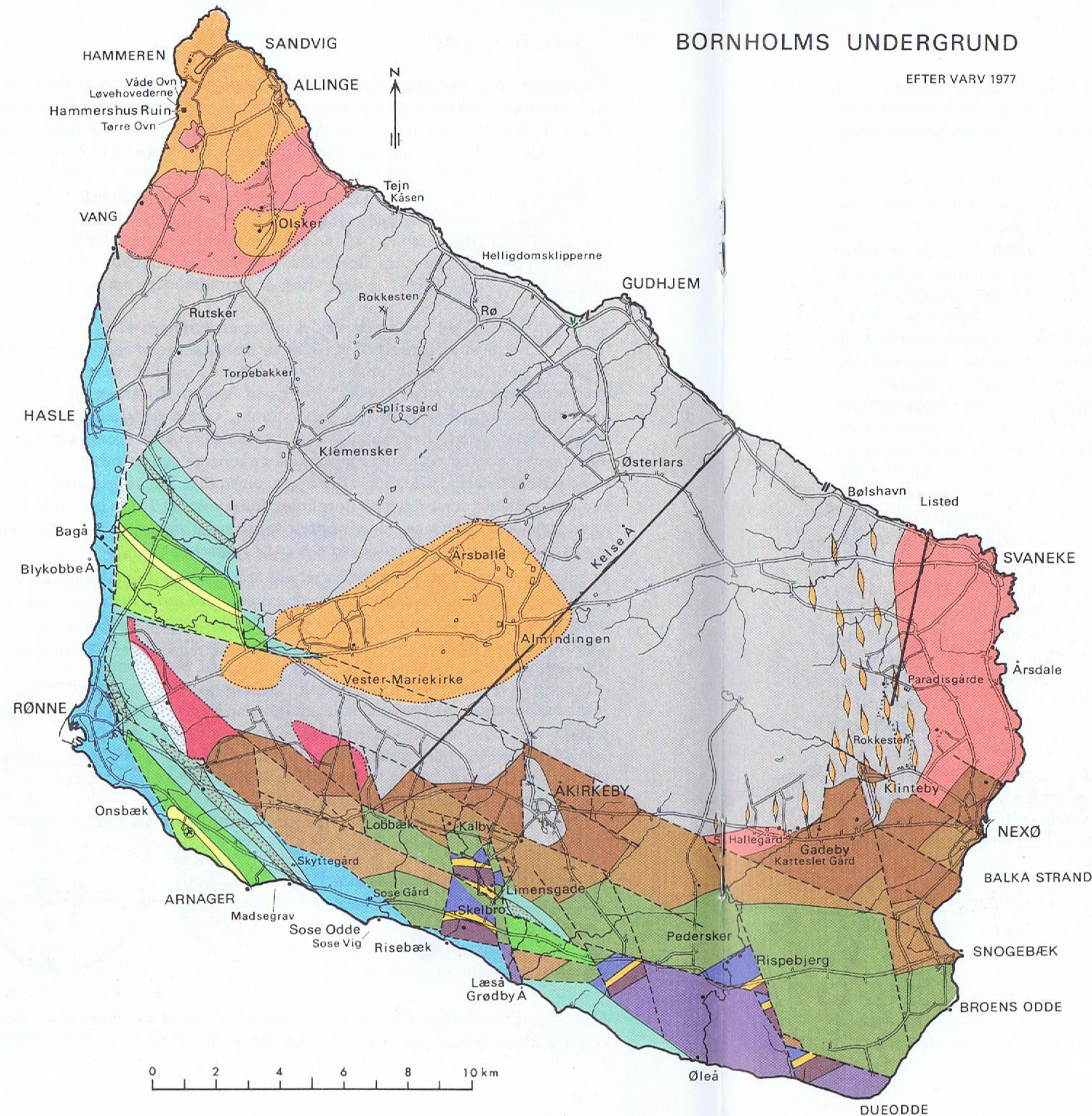
På grundlag af indholdet af trilobiter er Komstad Kalken aldersbestemt til den øverste del af Nedre Ordoviciet. Foruden trilobiter, der er ret almindeligt forekommende (især *Symphysurus*, *Nileus* og *Megistaspis*), indeholder kalken også forstenede små brachiopoder og aflange, kamrede skaller - '**Orthoceratiter**'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



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

BORNHOLMS 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 Dicellograptus 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 grundfjeldsbjergarter samt sedimentære laggrænser
- Usikker eller gradvis kontakt mellem grundfjeldsbjergarter
- 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.

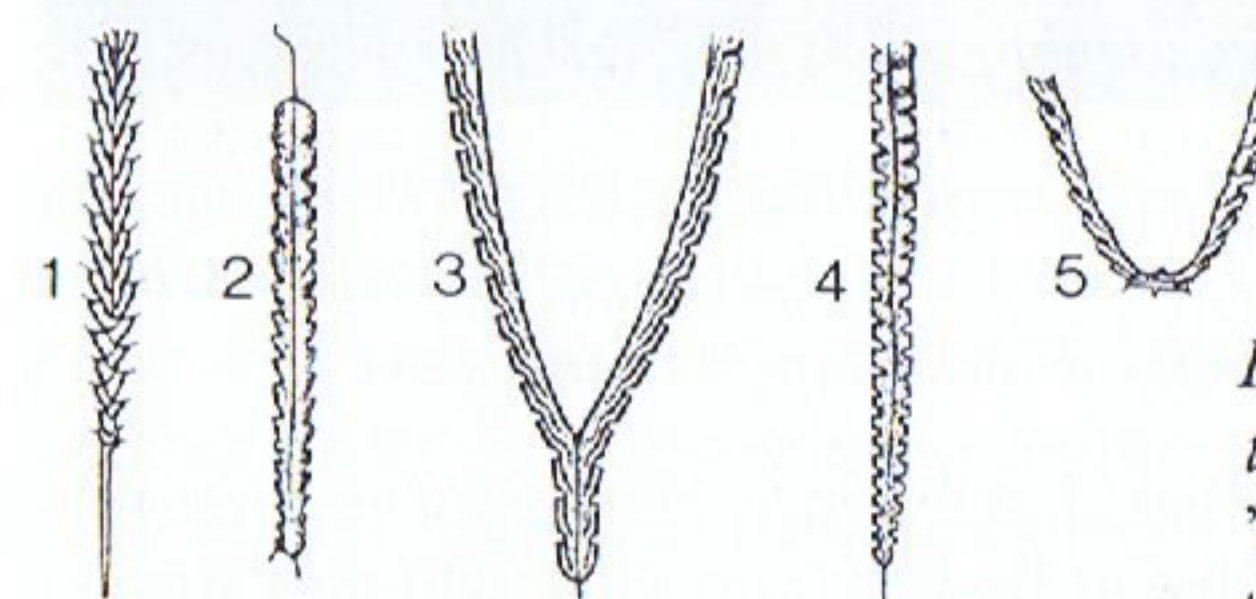
Endelig må tidsperspektivet ikke glemmes. Ordovicium varede ca. 65 mill. år, og f.eks. aflejringen af Komstad Kalken tog i størrelsesordenen 5 mill. år. Siden den sidste nedisning er der forløbet omkring 15.000 år. Omregnet til disse Ordoviciske forhold er det den gennemsnitlige tid, det tog, at aflejre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

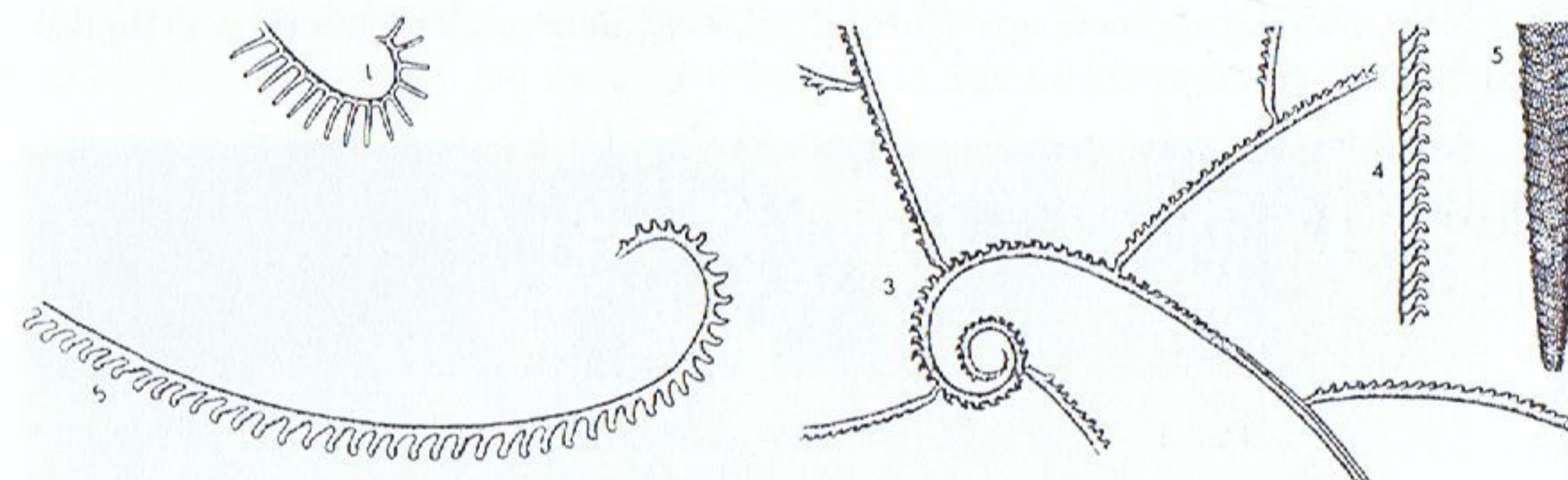
Skiftet fra mørk skifer ('Dicellograptus Skifer') til lysere skifer ('Tretaspis Skifer' og 'Dalmanitina Skifer') i den øvre del af Ordovicium afspejler en større sænkning af havniveauet, der kan spores over hele jordkloden. Havsænkningen er formodentlig samtidig med opbygningen af en stor iskappe ved 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 skifer, 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 slægtning **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 skifer 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. Aflejringshastigheden for 'Rastrites Skiferen' var, sammenlignet med tidligere aflejringshastigheder på Bornholm, usædvanlig høj, nemlig omkring 1 cm pr. 1000 år.

Det er sandsynligt, at iltindholdet i bundvandet var højere, da 'Cyrtograptus 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. Aflejrings-takten steg nemlig op gennem Silur og blev meget høj mod slutningen af perioden, men det kan ikke ses på Bornholm, hvor den yngste enhed ('Cyrtograptus Skifer') er fra det ældre Silur.



Figur 16. Røntgenbillede af en 1 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 spiralrullede 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 omlejlrede 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.

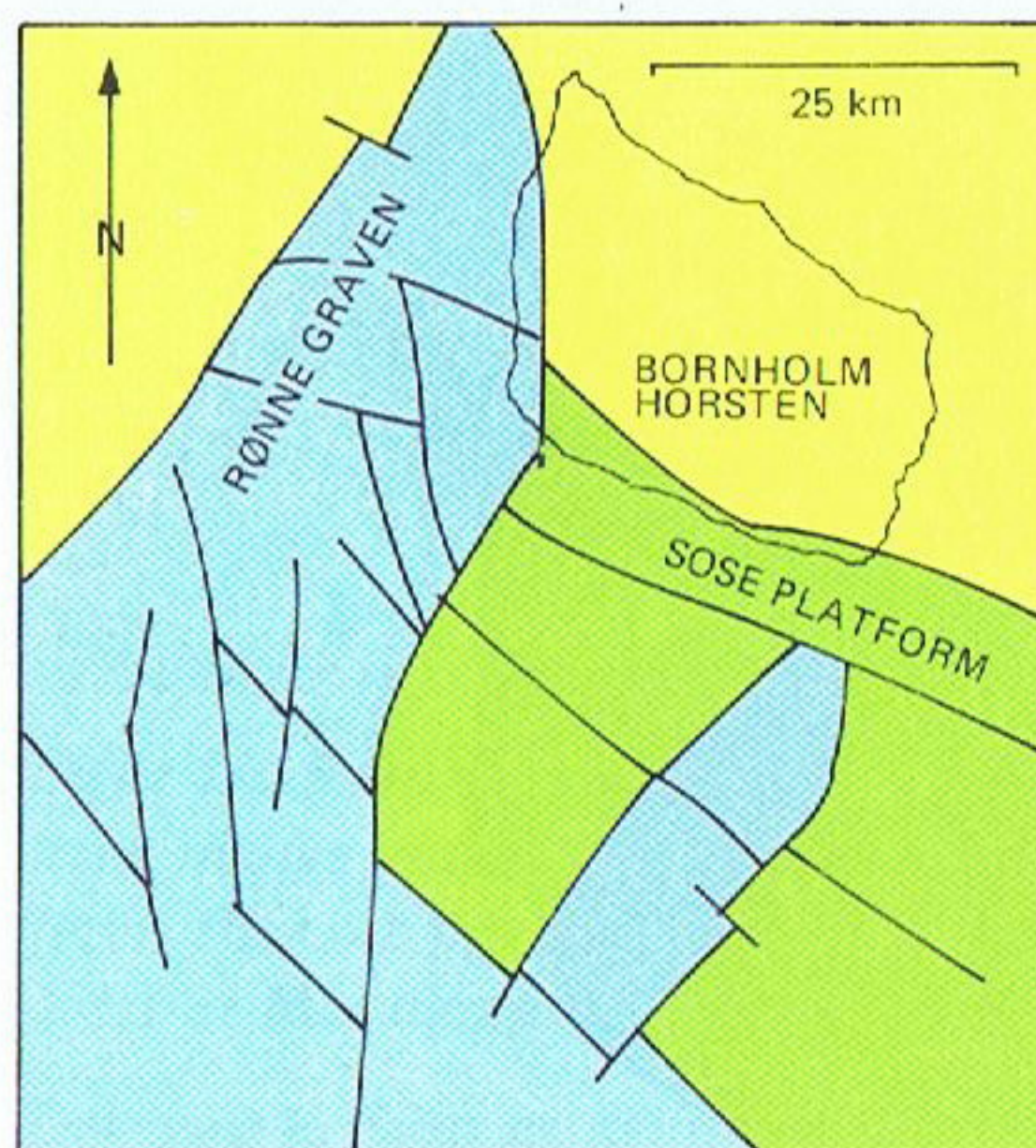


MESOZOIKUM

af Niels Erik Hamann

De mesozoiske aflejringer på Bornholm - dannet for 230 - 65 mill. år siden - afspejler i grove træk en geologisk udvikling præget af opbrydning af kontinenter og dannelsen af Atlanterhavet. I Nordvesteuropa dannedes samtidigt hermed en af de mest markante tektoniske zoner, **Tornquist Zonen**, der fra Nordsøen gennem Nordjylland og Kattegat strækker sig ind over Skåne og Bornholm og videre mod sydøst gennem Polen.

Tornquist Zonen omfatter blokke, der har bevæget sig indbyrdes og som er sunket ned i forhold til omgivelserne. Tæt ved Bornholm kan blokmosaikken opdeles i 3 større elementer: **Bornholm Horsten**, der udgør størstedelen af det nuværende Bornholm, **Rønne Graven**, som består af den vestlige del af Bornholm og området vest for Bornholm, og endelig **Sose Platformen**, der er det sydvestligste Bornholm og området syd og sydvest herfor.



Figur 18. Blokmosaikken omkring Bornholm. Det blå felt omfatter de blokke, der havde den største indsynkning i løbet af Mesozoikum. Det grønne område er blokke med moderat indsynkning, mens gule felter viser blokke, der gennem Trias og Jura har ligget hen som horstområder.

Mens Bornholm Horsten gennem det meste af Mesozoikum lå højt, sank Rønne Graven og Sose Platformen langsomt ned. Under indsynkningen aflejreredes store sedimentmængder på de indsynkende blokke. Flere steder opnår aflejringerne således tykkelser på mere end 5 km, hvilket lader sig gøre, når sedimentationshastigheden stort set følger indsynkningshastigheden, og det ser ud til, at havdybden kun sjældent oversteg omkring 100 m.

PERIODE		ETAGE	FORMATIONER	RG	SP	BH
KRIDT	Ø	Maastrichtian				
		Campanian				
		Santonian				
		Coniacian	BAVNODDE GRØNSAND ARNAGER KALK			
		Turonian				
		Cenomanian	ARNAGER GRØNSAND			
	N	Albian				
		Aptian				
		Barremian				
		Hauterivian				
		Valanginian	JYDEGÅRD ROBBEDALE RABÆKKE			
		Ryazanian				
JURA	Ø	Volgian				
		Kimmeridgian				
		Oxfordian				
	M	Callovian				
		Bathonian	BAGÅ			
		Bajocian				
		Aalenian				
	N	Toarcian				
		Pliensbachian	HASLE			
		Sinemurian	RØNNE			
		Hettangian				
		Rhaetian				
TRIAS	Ø	Norian				
		Carnian				
		Ladinian	KAGERÖD			
	M					

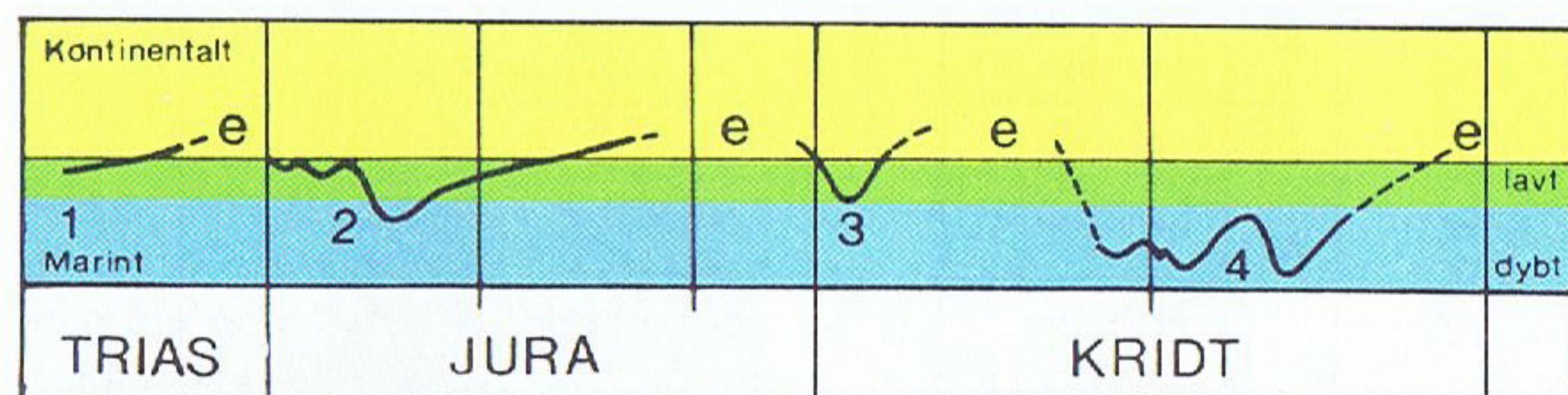
Figur 19. Geologisk tidstavle for Mesozoikum på Bornholm. De fire store aflejringsperioder er vist med tal i højre side af diagrammet, og e betyder tilsvarende perioder med hævnning og erosion. Kolonnerne: RG, SP og BH står for Rønne Graven, Sose Platform og Bornholm Horsten, og farverne viser aflejringsbetingelserne. Gult betyder aflejring på land, grønt en kystnær aflejring og blåt, at sedimentet er aflejret i havet.

Sammen med varierende havniveau har blokbevægelser og klimaændringer skabt forskellige betingelser for den geologiske udvikling. Klimaændringerne skyldes hovedsagelig, at Nordvesteuropa bevægede sig langsomt mod nordøst i forbindelse med Atlanterhavets udvidelse, og gled således gennem forskellige klimabælter.

På Bornholm omfatter den mesozoiske lagpakke 4 adskilte aflejringsperioder. Den første periode varede fra Mellem Trias til Øvre Trias, den anden fra Nedre Jura til Mellem Jura (Bornholm Gruppen), den tredje det ældre Kridt (Nyker Gruppen) og den fjerde det yngre Kridt.

Mellem - Øvre Trias

I Trias lå Nordvesteuropa og dermed også Bornholm i det subtropiske højtryksbælte med varmt og tørt klima. Dele af det nuværende Bornholm dækkedes dengang af lerede og sandede sedimenter (**Kågerød Formationen**), der blev aflejret på udstrakte og meget flade flodsletter. Under det varme og tørre klima var fordampningen så stor, at der blev udfældet karbonatminerale i de øvre dele af aflejringerne som **caliche noder**. I slutningen af Trias ændredes blokbevægelserne, hvorved flere af blokkene blev tippet og i særlig grad udsat for erosion, da havniveauet samtidig var faldende.



Figur 20. Variationer i aflejringsdybden gennem Mesozoikum ved Bornholm. Når kurven falder, betyder det, at det relative havniveau stiger, og når kurven stiger, betyder det, at der sker en relativ landhævning i forhold til nul-niveauet (kystlinien), som er vist med den vandrette streg. Gul farve svarer til aflejringer på land, grøn farve betyder kystnære aflejringer og blå farve betyder, at aflejringerne er sket i havet. Bogstavet e angiver perioder med sedimentationsstop eller erosion.

Nedre - Mellem Jura

Den anden aflejringsperiode indledes med en generel havstigning. Dette afspejles i kystnære aflejringer (**Rønne Formationen**), der begyndte som sø- eller laguneagtige aflejringer, hvor kulholdige lerede sedimenter blev dannet under rolige forhold. I de lerede aflejringer findes mange plantefossiler fra den såkaldte **Thaumatopteris-flora**, der omfatter bregner, koglepalmer m.v. Søaflejringerne efterfølges af krydslejlrede sandede sedimenter med kul- og rodhorisonter, lag som blev afsat på en deltaflade. Men havet steg fortsat og oversvøm-

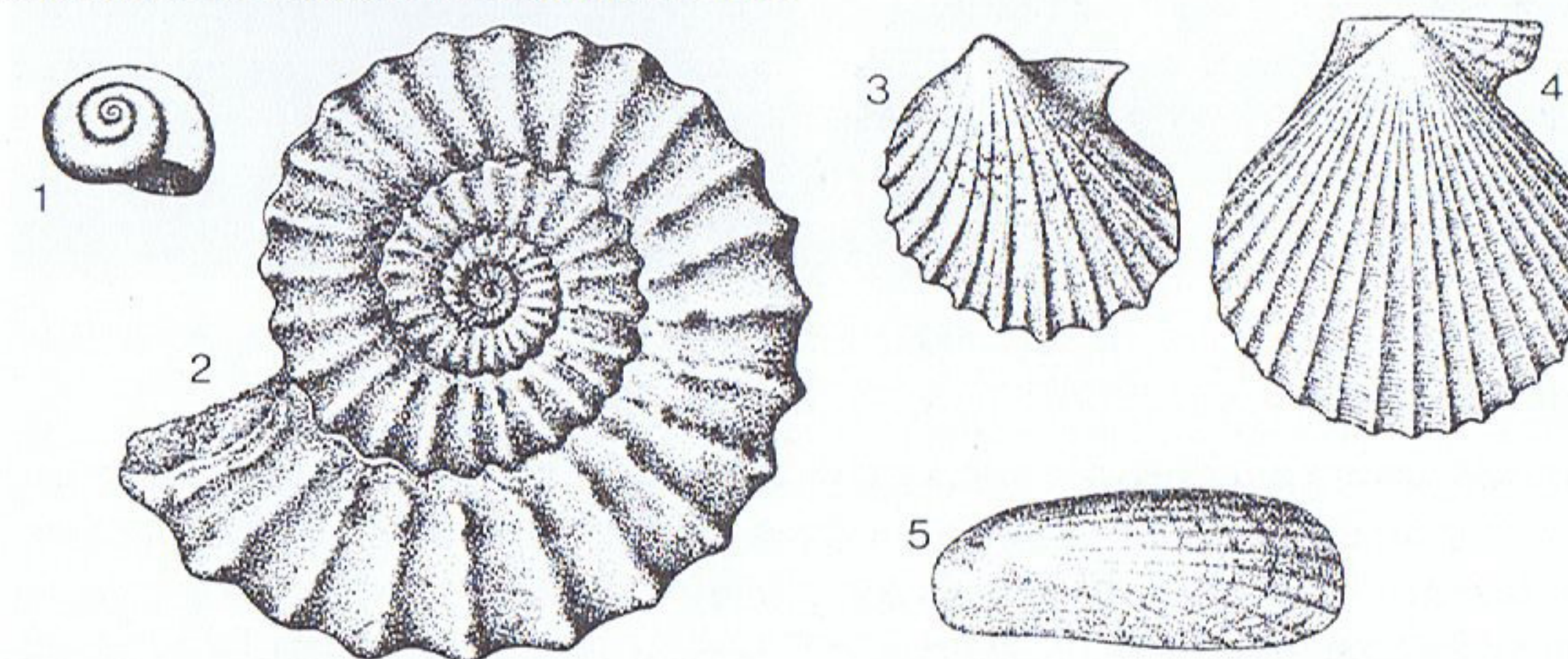


Figur 21. Bregnen *Thaumatopteris*, der er karakteristisk for floraen i Nedre Jura. Ca. halv størrelse.

mede deltafladen. Vekslede lag af finsand og ler tyder ny på et tidevandsmiljø, og tidevandsfladen gennemskæres flere steder af kanaler, hvor grovere sand danner store krydslejlrede bundformer.

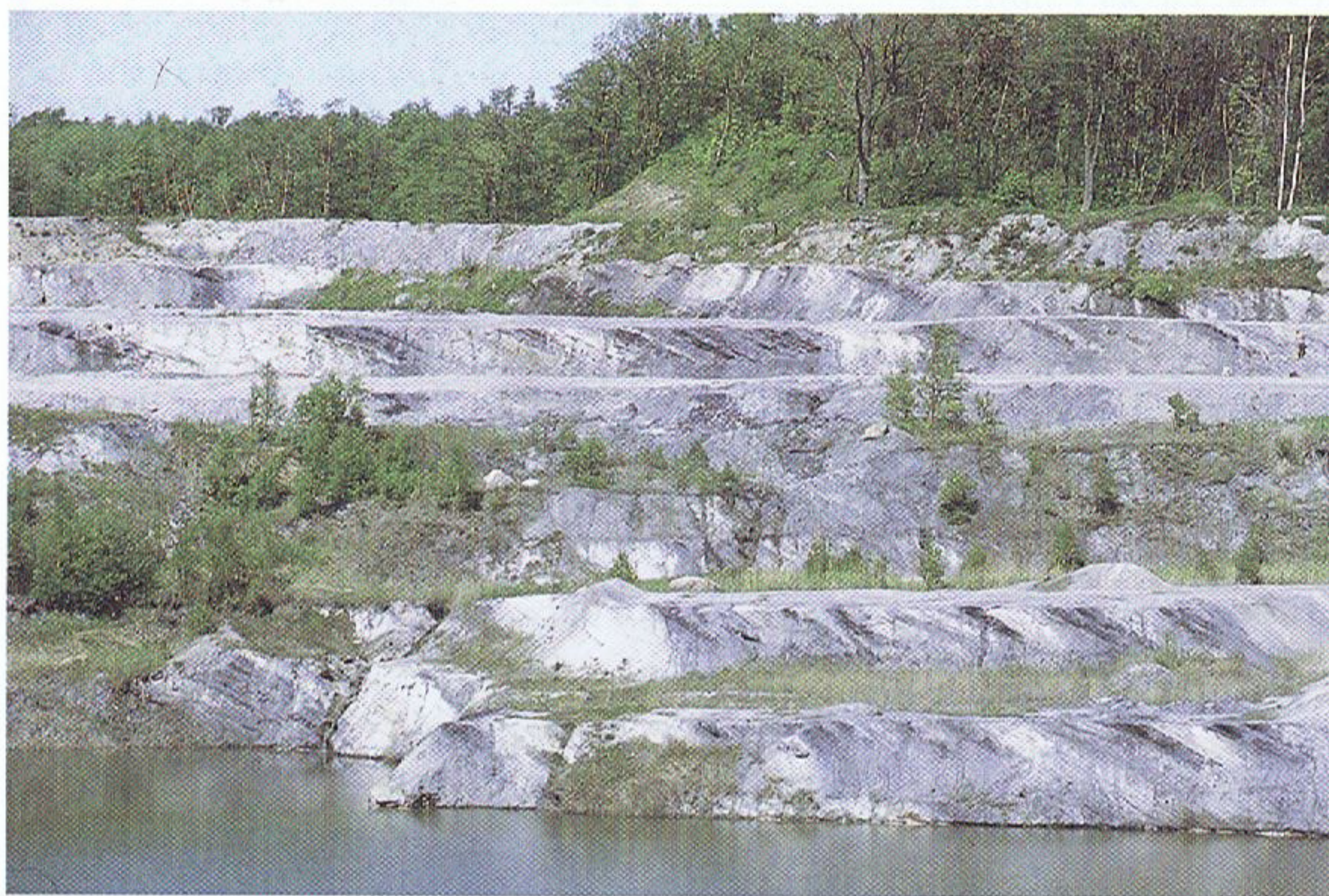
En mindre lokal landhævning resulterede i en delvis tørlægning af tidevandsfladen, så der kunne finde en marskdannelse sted. De organiske rester er senere blevet til kullag.

I den mellemste del af Nedre Jura nåede aflejringsdybden omkring 50 meter og der afsattes glimmerholdigt finsand (**Hasle Formationen**), som indeholder bl.a. brachiopoder, muslinger, snegle, ammoniter og rester af fisk. I sandstenen er der også fundet en tand fra en **Plesiosaurus**, der viser, at der også levede dinosaurer i det bornholmske område i Jura.



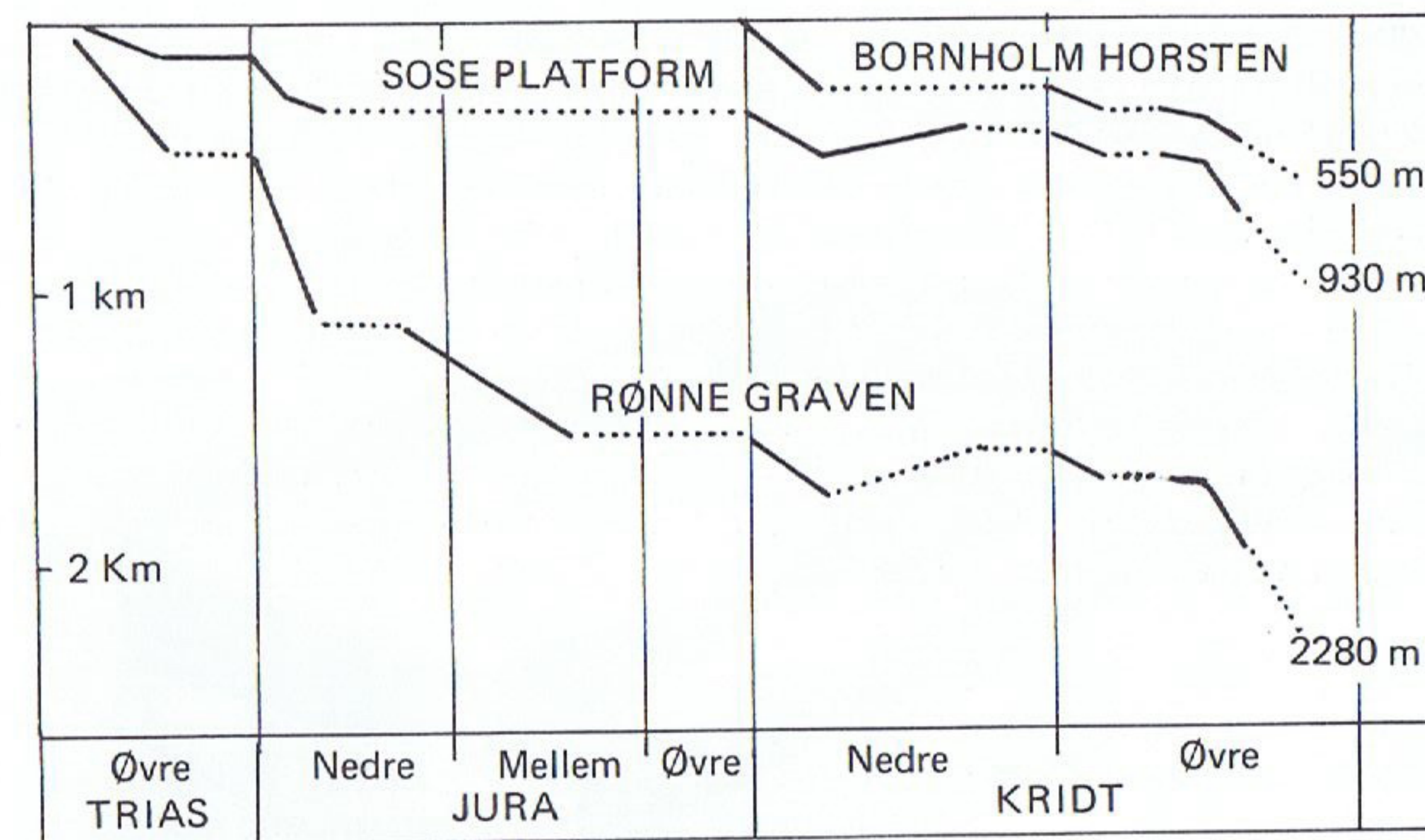
Figur 22. Forsteninger fra den marine del af Nedre Jura på Bornholm. 1. *Cryptaenia*, 2. *Polymorphites*, 3. *Oxytoma*, 4. *Aequipecten* og 5. *Myoconcha*.

I den sene del af Nedre Jura sank havet, og samtidig hermed gav ændrede blokbevægelser ophav til en hævnning af dele af Bornholm, så grundfjeldsområdet og området dækket med bjergarter fra Nedre Palæozoikum efterhånden blev blotlagt for erosion. I forbindelse med en generel stigning af havniveauet i den sene del af Mellem Jura og begyndelsen af Øvre Jura dannedes store deltagegler med en meget kompleks opbygningshistorie, hvilket kan spores i de mange sand-ler-kul lagfølger, der blev dannet i et system af slyngende kanaler og sumpe på deltafladen (**Bagå Formationen**). Hævningen af Bornholm fortsatte og lokalt kunne der fra opforkastede grundfjeldshorste lejlighedsvis flyde mudderstrømme ud på deltafladen. Ofte findes der kaoliniserede granitblokke i mudderstrømmene. Andre steder indgår sandsten fra Nedre Palæozoikum i konglomerater, der blev dannet i datidens floder.



Figur 23. Bagå Formationens vekslende lag af kul, ler og sand fra Mellem Jura. Hasle Klinkerfabriks lergrav. Foto: N. E. Hamann.

Fra den anden aflejringsperiode kendes der godt 1200 m sedimenter i den østlige del af Rønne Graven og endnu mere i den vestlige del. I Mellem og Øvre Jura blev det hævede og blottede grundfjeld udsat for en gennemgribende kemisk nedbrydning. I det fugtige og varme klima blev granitternes feldspat omdannet til lermineralet **kaolin**. Samtidig med hævnningen blev de jurassiske aflejringer svagt kippet, således at yngre aflejringer fra Nedre Kridt danner en lille vinkel med Jura-aflejringerne.



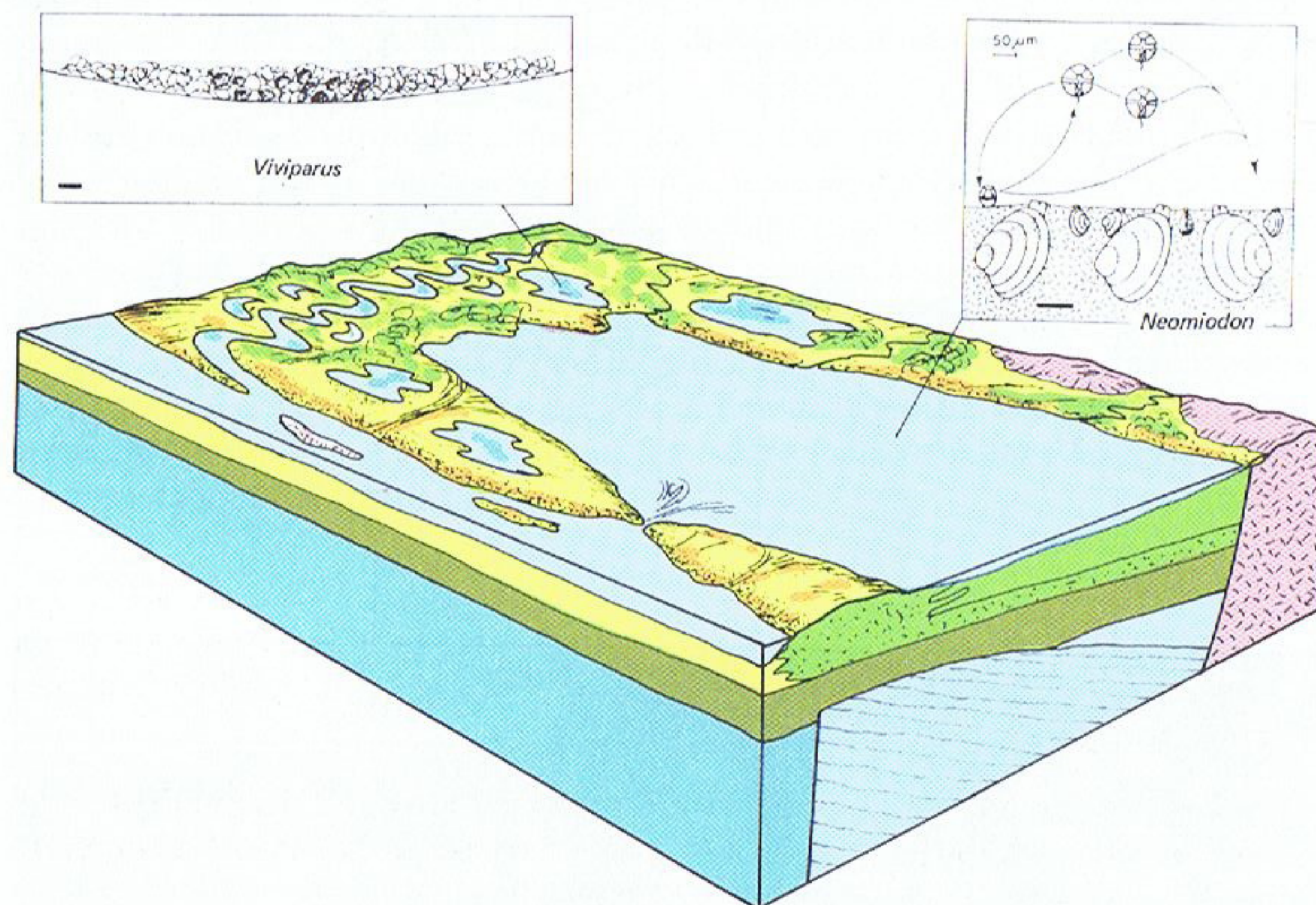
Figur 24. Indsynkningskurver for Bornholm Horsten, Sose Platform og Rønne Gravens østlige del. Kurverne er tegnet på grundlag af aflejringerens nuværende tykkelser, så kurverne 'fortæller' ikke hele sandheden om indsynkningsforholdene. Det ses, at indsynkningen har været nogenlunde ensartet gennem Mesozoikum, men ikke lige hurtigt for de enkelte blokke. Det ses også, at der først afsættes sedimenter på Bornholm Horsten i Kridt.

Ældre Kridt

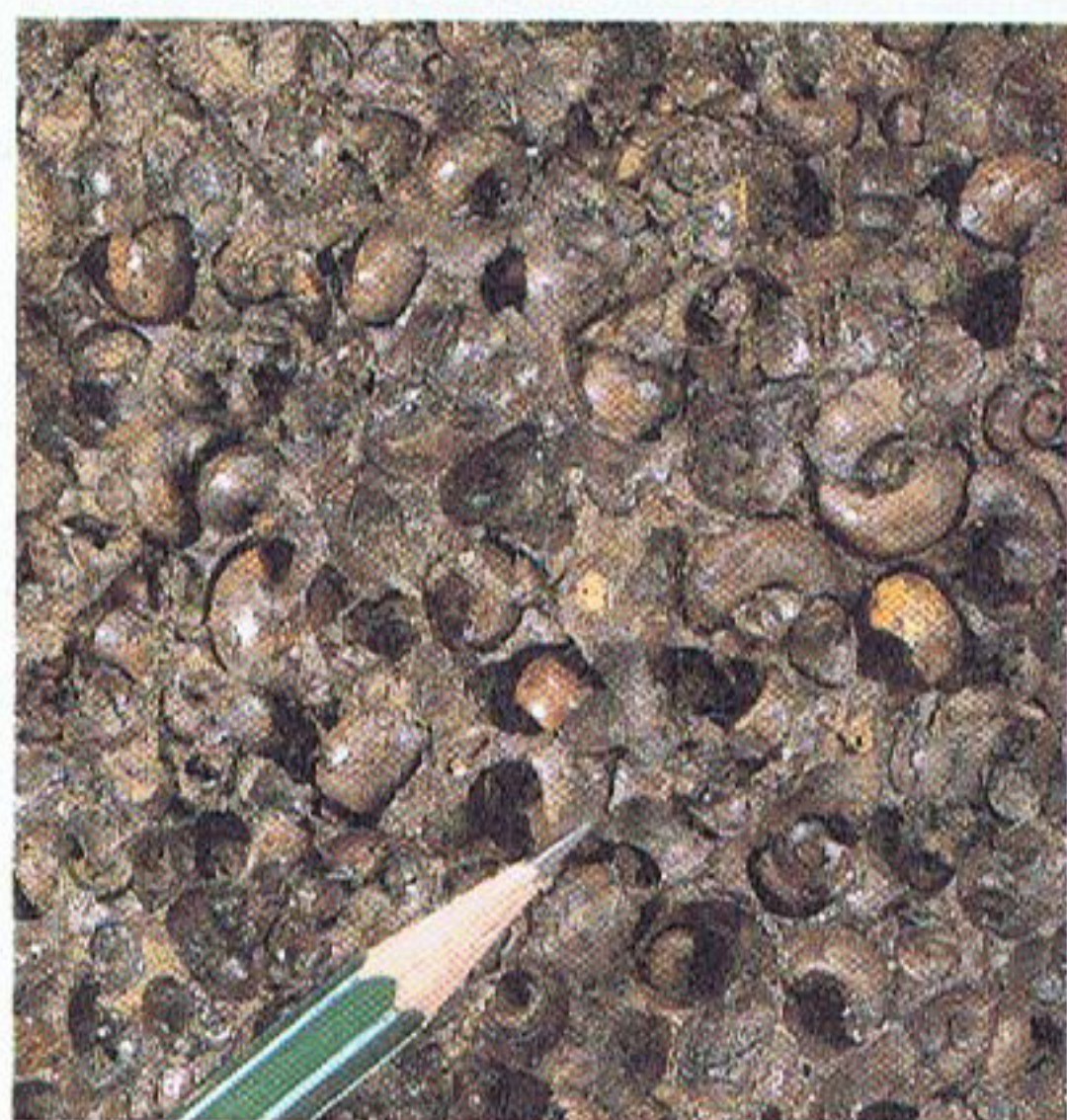
Den tredje aflejringsperiode viser en begyndende stigning af havniveau. Herunder blev Bornholm Horsten for første gang i Mesozoisk tid dækket af et tykke sedimentdække, som i dag kan ses bevaret i små nedforkastede blokke på Bornholm.

Kaolin og kvartssand fra det forvitrede grundfjeld blev med floder, som skar sig dybt ned i de jurassiske aflejringer, transporteret ud på flodsletter, hvor de grove kvartskorn og kaolinklumper blev aflejret (**Rabække Formationen**), mens det fine, opslemmede kaolin blev aflejret længere borte.

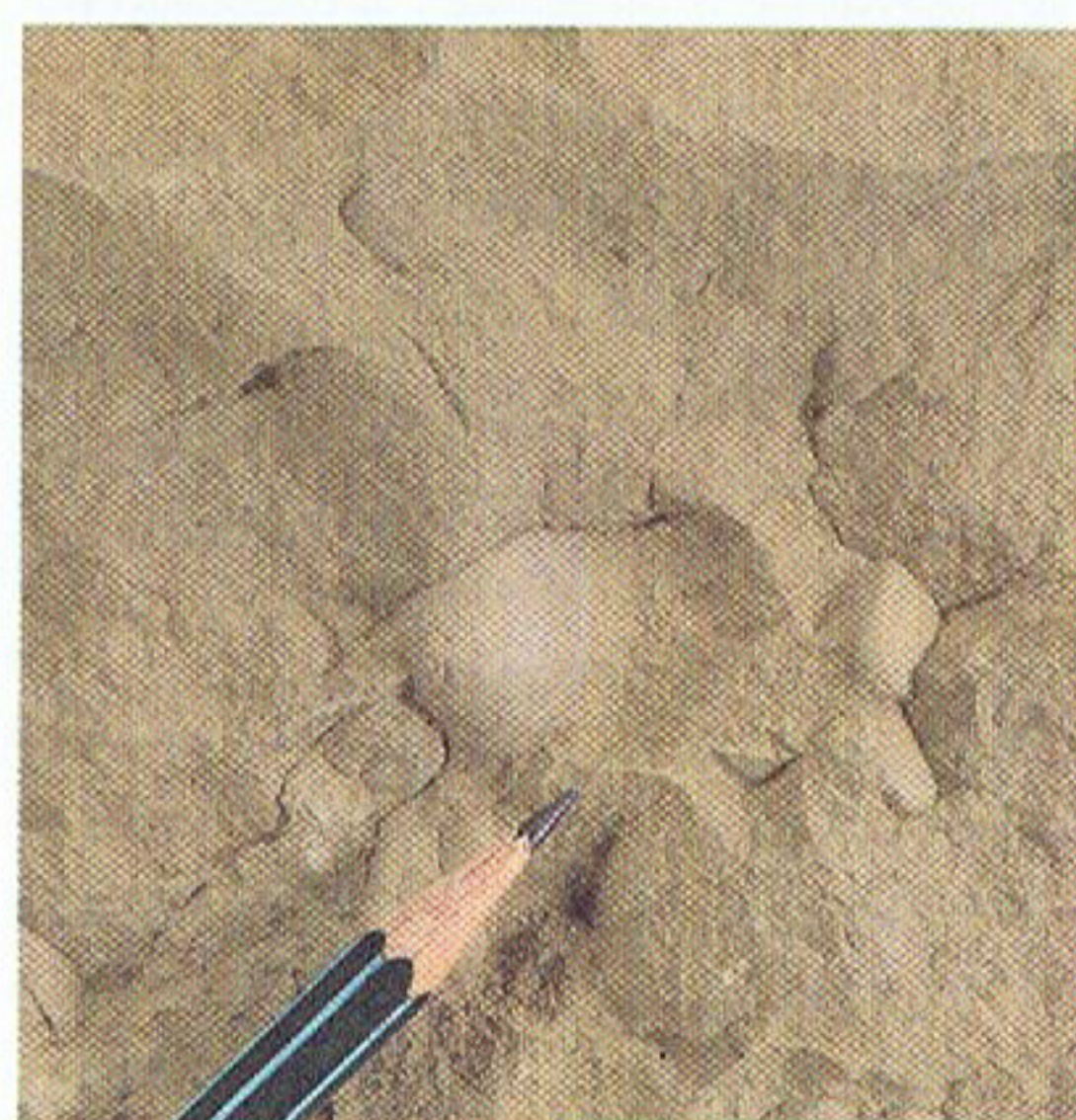
Efterhånden blev der dannet et kystmiljø, hvor et barrierekompleks mod syd-vest beskyttede et lagunemiljø. Ved barrierekomplekset aflejredes groft sand (**Robbedale Formationen**), hvori der levede gravende organismer, bl.a. et krebsdyr, der dannede lange, forgrenede centimeter-tykke gravegange. På indersiden af barrierekomplekset fandtes små lavvandede brak- og ferskvandssøer, hvor sneglen **Viviparus** og muslingen **Neomiodon** (tidligere: **Cyrena**) levede. Sæsonbetonet opblomstring af dinoflagellater og udtørring af de lavtvandede søer førte til masseuddøen af snegle og muslinger. Ofte finder man i dag linseformede lag af aftryk efter sneglehus, hvilket vidner om, at sneglene blev trængt sammen, efterhånden som søen tørrede ud.



Figur 25. Et vue over det mulige aflejringsmiljø, da Robbedale Formationen og Jydegård Formationen blev dannet. Bag barrieren ses lagunen, hvor de lerede sedimenter (Jydegård Formationen) blev afsat. På figuren er angivet, hvor sneglen *Viviparus* og muslingen *Neomiodon* holdt til. Omtegnet efter Noe-Nygaard, Surlyk og Piasecki, 1977. Anvendt farvekode på blokkanterne som i fig. 32.



Figur 26. Sneglen *Viviparus* som aftryk i en rusten sandsten. Foto: Ole Bang Berthelsen.



Figur 27. Aftryk af muslingen *Neomiodon*. Foto: Ole Bang Berthelsen.

I den beskyttede lagune aflejreredes senere lerede sedimenter og planterester (Jydegård Formationen), men under stormsituationer blev der ofte skyllet sand hen over barrieren og ind i lagunen, hvor bl.a. fiskene *Lepidotes* og *Pycnodonta* svømmede rundt sammen med ferskvandshajen *Hybodus*. I de senere år er der også fundet rester efter skildpadder og krokodiller. Samtidig med aflejringen af de lerede sedimenter i lagunen sank området langsomt ned, således der blev afsat omkring 100 m lerede sedimenter, uden at lagunen blev fyldt op.

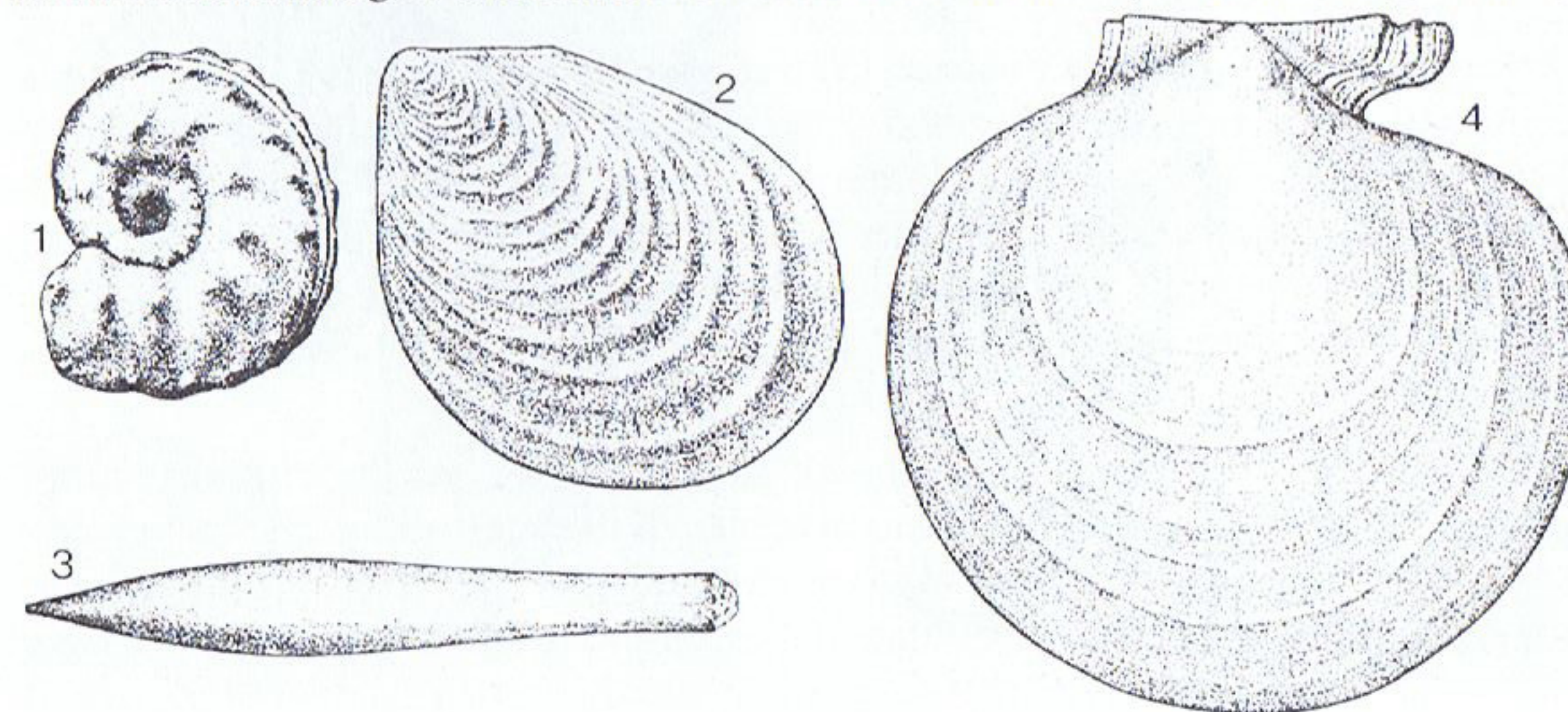
Den nedre kretassiske aflejringsperiode efterfulgtes af et længerevarende sedimentationsstop. I dette tidsafsnit blev lagene kippet og næsten eroderet bort. Ca. 5 km syd for Bornholm mangler de nedre kretassiske aflejringer fuldstændigt.

Yngre Kridt

Havstigningen, der begyndte i den senere del af Nedre Kridt, nåede sit maksimum (ca. 300 m) i den mellemste del af Øvre Kridt. Samtidig hermed gjorde en mere regional indsykning sig gældende, hvorfor de øvre kretassiske aflejringer findes som et jævnt dække over store områder.

De marine kridtaflejringer ved Bornholm er aflejret tæt ved land, nemlig tæt op af det skandinaviske grundfjeldsskjold, mens den øvrige del af det nuværende Danmark lå under flere hundrede meter af vand.

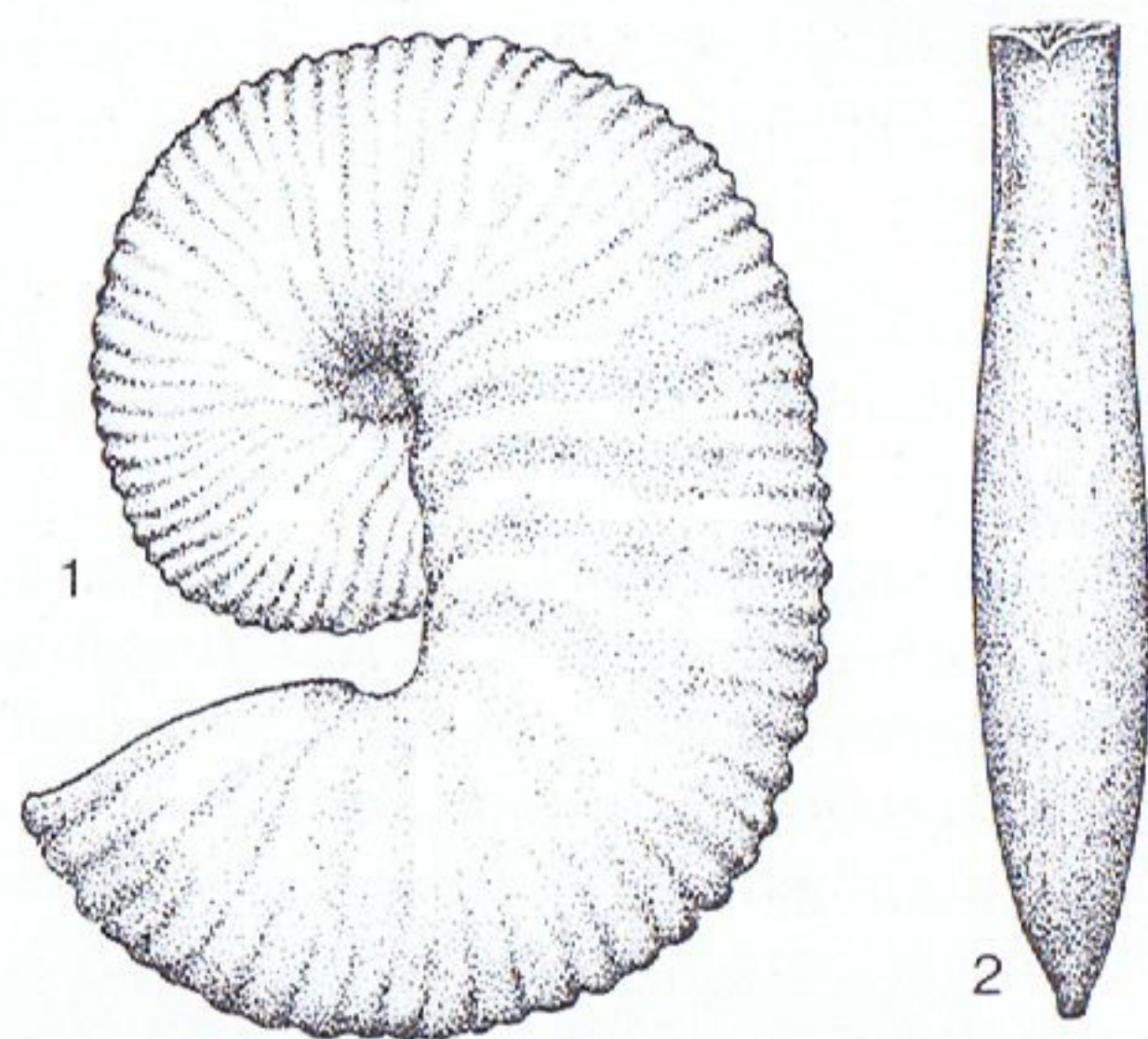
Ved havstigningen i den sene del af Nedre Kridt (Albien) opstod der shelfområder, hvor glaukonitholdige, sandede og siltede sedimenter med fosforitknoles blev dannet. I forbindelse med et antal mindre sedimentationsstop blev shelfaflejringerne eroderet, transporteret og igen sedimenteret, hvorved der dannedes fosforitkonglomerater. I den nederste del af Arnager Grønsandet findes der et fosforitkonglomerat, som indeholder fosforitiserede sandsten, skifre fra Nedre Palæozoikum og et stort antal fosforitiserede fossiler (ammoniter og muslinger).



Figur 28. Forsteninger fra Arnager Grønsandet. 1. *Schloenbachia*, 2. *Inoceramus*, 3. *Actinocamax*, 4. *Pecten*. Omtrent naturlig størrelse.

er) fra to forskellige perioder (Nedre Albien og Nedre Cenoman). I den tidlige Øvre Kridt (Cenoman) blev fosforitkonglomeratet omlejret og findes nu som et 30 cm tykt konglomeratlag i bunden af de glaukonitkoldige, sandede aflejringer, der udgør Arnager Grønsandet, som ellers blev dannet i en rolig periode i en vanddybde på ca. 100 m, så bølgebevægelserne ikke kunne forstyrre afsætningerne på bunden. Her nede levede mange gravende organismer, der næsten har fjernet et hvert spor af lagdeling. På havbunden levede den nu uddøde kæmpemusling *Inoceramus*, og i vandmasserne herover bl.a. ammoniter og belemniter.

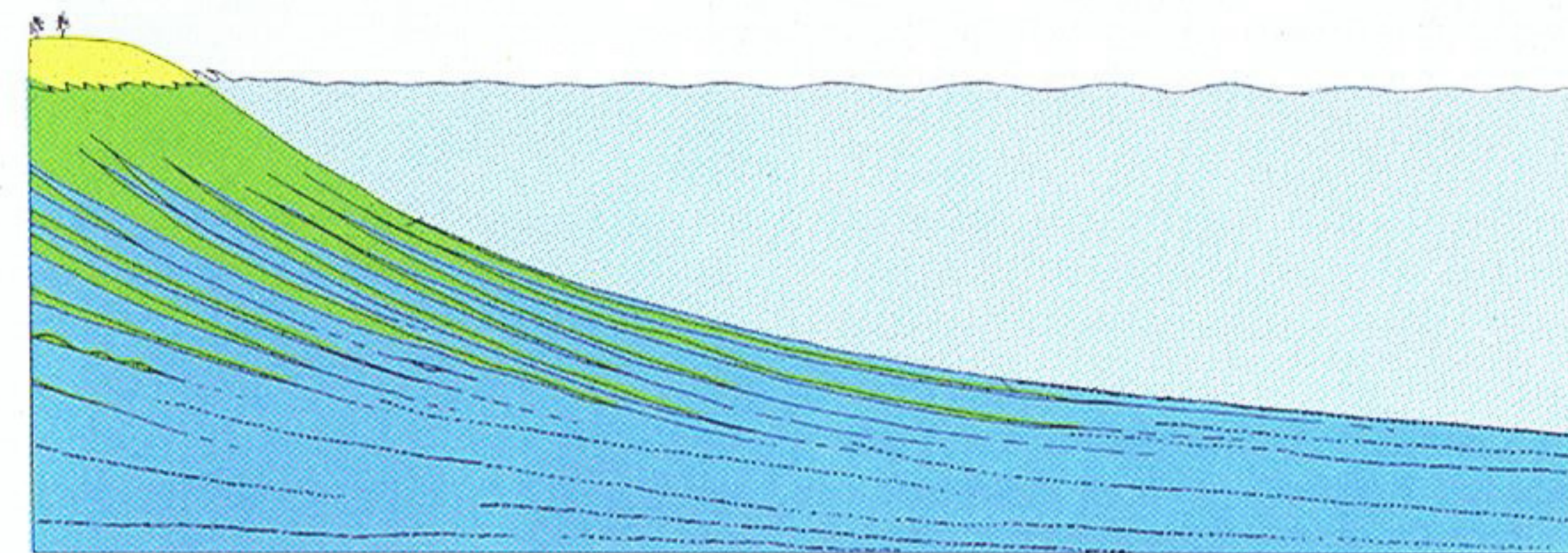
I stormvejrssituationer blev kystnært sand opslemmet i vandet og ført langt ud på havbunden. Sådanne hændelser var katastrofale for de gravende organismer, men enkelte overlevede dog ved at grave 'flugtspor' gennem stormsandslagene.



Figur 29. Forsteninger fra Arnager Kalken. 1. Scaphites og 2. Actinocamax.

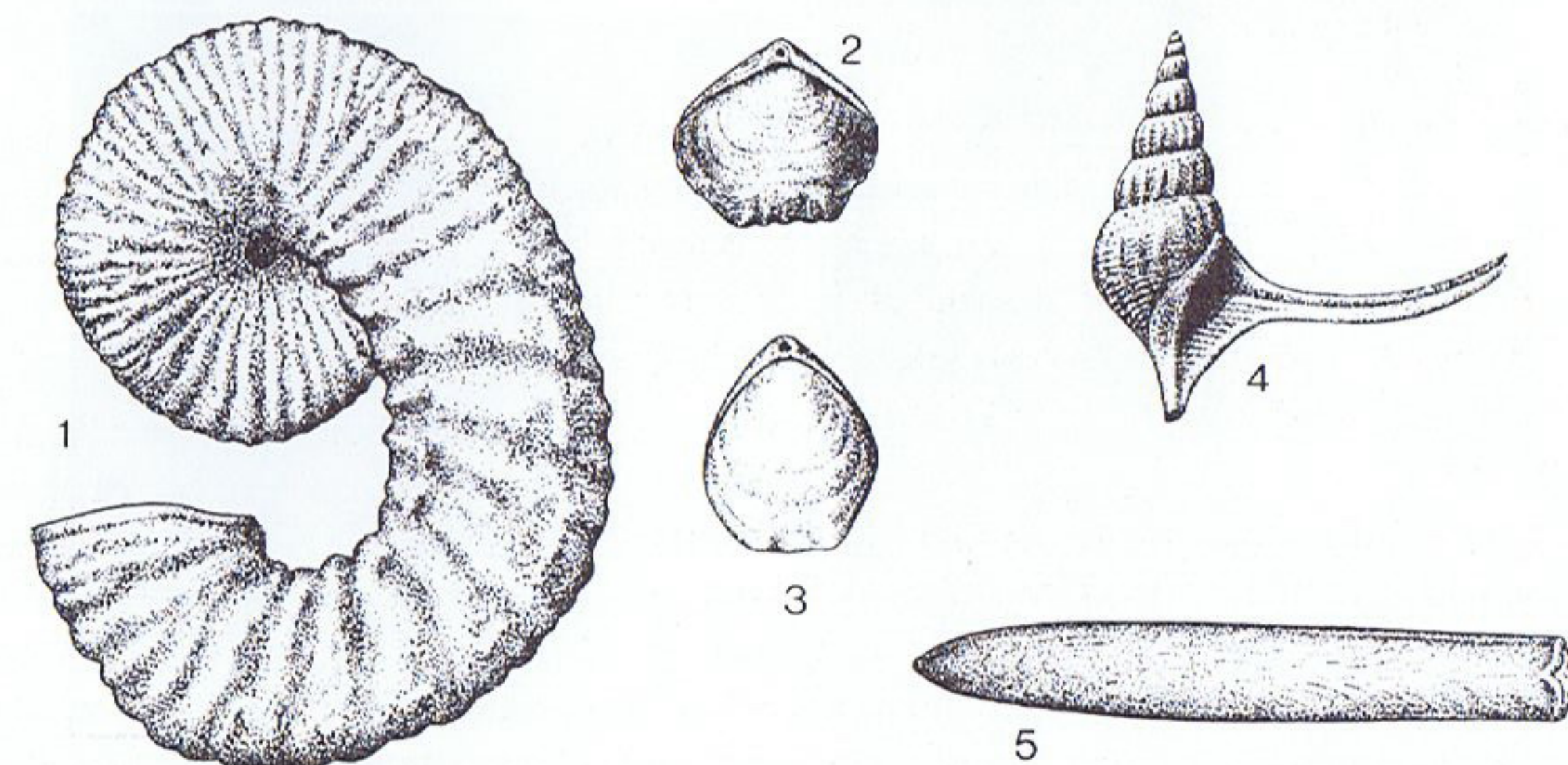
I Øvre Cenoman - Nedre Coniacien indtraf et sedimentationsstop, så der kunne dannes et nyt fosforitkonglomerat bestående af fosforitknolde og hærtnede glaukonitholdige kalksten. Konglomeratet danner basis i en 12-20 m tyk kiselrig kalksten (**Arnager Kalk**). Arnager Kalken repræsenterer ikke alene den største havudbredelse i den øvre kretassiske aflejringsperiode, men også det dybeste hav, idet det nuværende Bornholm har ligget 2-300 m under havniveau på dette tidspunkt.

På bunden af det hav, hvori Arnager Kalken blev dannet, var der et dække af kiselvampe, der fungerede som sedimentfælder. Kalkslam og kiselvampebevoksninger opbyggede efterhånden små lave overlappende banker, som udgjorde et langstrakt område på den sydvestlige del af det nuværende Bornholm. Arnager Kalken er omgivet af mere siltede glaukonitholdige aflejringer med indslag af mere mergelagtige lag. Fra Arnager Kalken kendes bl.a. muslingen *Inoceramus* samt ammoniter og belemniter. Op gennem Arnager Kalken stiger indholdet af kvartssand, hvilket kunne tyde på, at afstanden til kysten var blevet mindre.

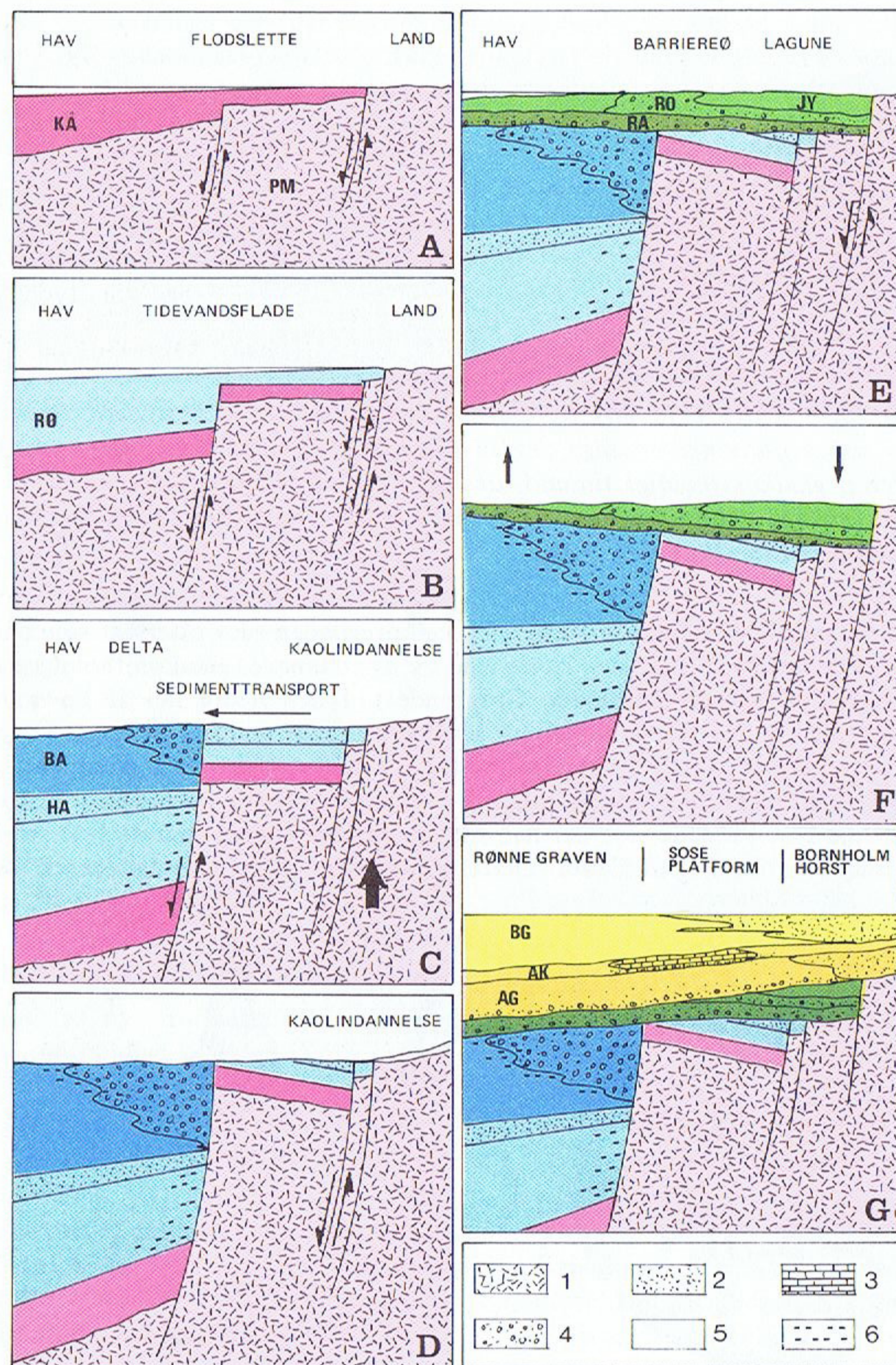


Figur 30. Aflejringsmodel for Bavnodde Grønsandet. I de dybere områder, hvor sedimentationen er ringe, ses lag af hærtnede knolde. Disse lag er omgivet af leret, glaukonitholdigt finsand, der ofte er helt gennemgravet. De sandede stormsandslag strækker sig ud i de dybere områder, men der er flere af dem tæt ved kysten. Efter W. Bruch, 1984.

Efter et kort sedimentationsstop, hvor kalkoverfladen blev efterladt som en ujævn, knoldet overflade, steg havet igen og der dannedes glaukonitholdige sandede shelfaflejringer (**Bavnodde Grønsandet**). I den nedre del af Bavnodde Grønsandet findes mange hærtnede knolde i lag. De mange hærtnede knolde afspejler perioder, hvor sedimenttilførslen var meget ringe. Op gennem det næsten 200 m tykke Bavnodde Grønsand tiltager antallet og tykkelsen af glaukonitfattige lyse sandede lag, der har den samme opbygning som de lyse stormsandslag i Arnager Grønsandet. Dette kunne tyde på, at den daværende kyst



Figur 31. Forsteninger fra Bavnodde Grønsandet. 1. Scaphites, 2. Rhyconella, 3. Terebratula, 4. Aporrhais og 5. Actinocamax.



rykkede nærmere. I stormsandslagene er der også fundet op til 5 cm store granitfragmenter, der viser, at blottet grundfjeld var i nærheden. Den fjerde aflejringsperiode afsluttedes med aflejringen af Bavnodde Grønsandet.

I den sene del af Øvre Kridt og i den tidlige del af Tertiær ændredes det tektoniske mønster i hele Nordvesteuropa. De nye forhold resulterede i en sammenpresning (folder, reverse forkastninger og sideværts forkastninger) i den tykke og forholdsvis 'bløde' mesozoiske lagpakke. I forbindelse med de nye deformationer er der også sket hævnings på mere end 1 km af delområder, men der har næppe på noget tidspunkt været tale om et landskab med et relief på 1 km, da erosionen i de 'bløde' lag sikkert kunne følge med hævnings.

Figur 32. En serie figurer illustrerer udviklingen gennem Mesozoikum på og omkring Bornholm. På figurerne er SV og Rønne Graven til venstre og Bornholm Horsten og NØ til højre. De specielle signaturer (1-6) omfatter: 1 Lag, som er ældre end Mesozoikum, 2 Stort sandindhold, 3 Kalksten, 4 Konglomerater og groft sand, 5 Lererede og siltede lag og 6 Indhold af kul. Udover de specielle signaturer angives første optræden af enheder med bogstavkombinationer der svarer til formationsnavnene: KÅ = Kågerød Fm., RO = Rønne Fm., HA = Hasle Fm., BA = Bagå Fm., RA = Rabække Fm., RO = Robbedale Fm., JY = Jydegård Fm., AG = Arnager Grønsand Fm., AK = Arnager Kalk Fm. og BG = Bavnodde Grønsand Fm. De enkelte enheder har også en farve, der muliggør identifikation af de enkelte enheder på de enkelte tegninger.

A: Aflejring af Kågerød Fm., **B:** Fortsat indsunkning under aflejring af Rønne Fm., **C:** Den yngre del af Bagå Fm., aflejres. Rønne Graven synker kraftigt ind, mens Bornholm Horsten hæves (kraftig pil). I forbindelse med hævnings blottes og eroderes grundfjeld, og en kaolindannelse finder sted. **D:** Hævning, tippning og erosion af området før afsætning af Rabække Fm., **E:** Robbedale og Jydegård Formationerne dannes, se også fig. 25. **F:** Området vippes og eroderes inden aflejring af Arnager Grønsand Fm. finder sted, **G:** Det skematiske snit gennem Rønne Graven, Sose Platformen og Bornholm Horsten inden lagene blev deformeret ved foldninger og forkastninger i den sene del af Øvre Kridt og begyndelsen af Tertiær. Ud fra orienteringen af de enkelte lag kan man konstatere, at Sose Platformen er tippet mod nordøst i to omgange, første gang i tidsrummet mellem afsætningen af Hasle Formationen og Rabække Formationen, anden gang mellem aflejringen af Jydegård Formationen og Arnager Grønsandet.

KÆNOZOIKUM

af Steen Sjørring



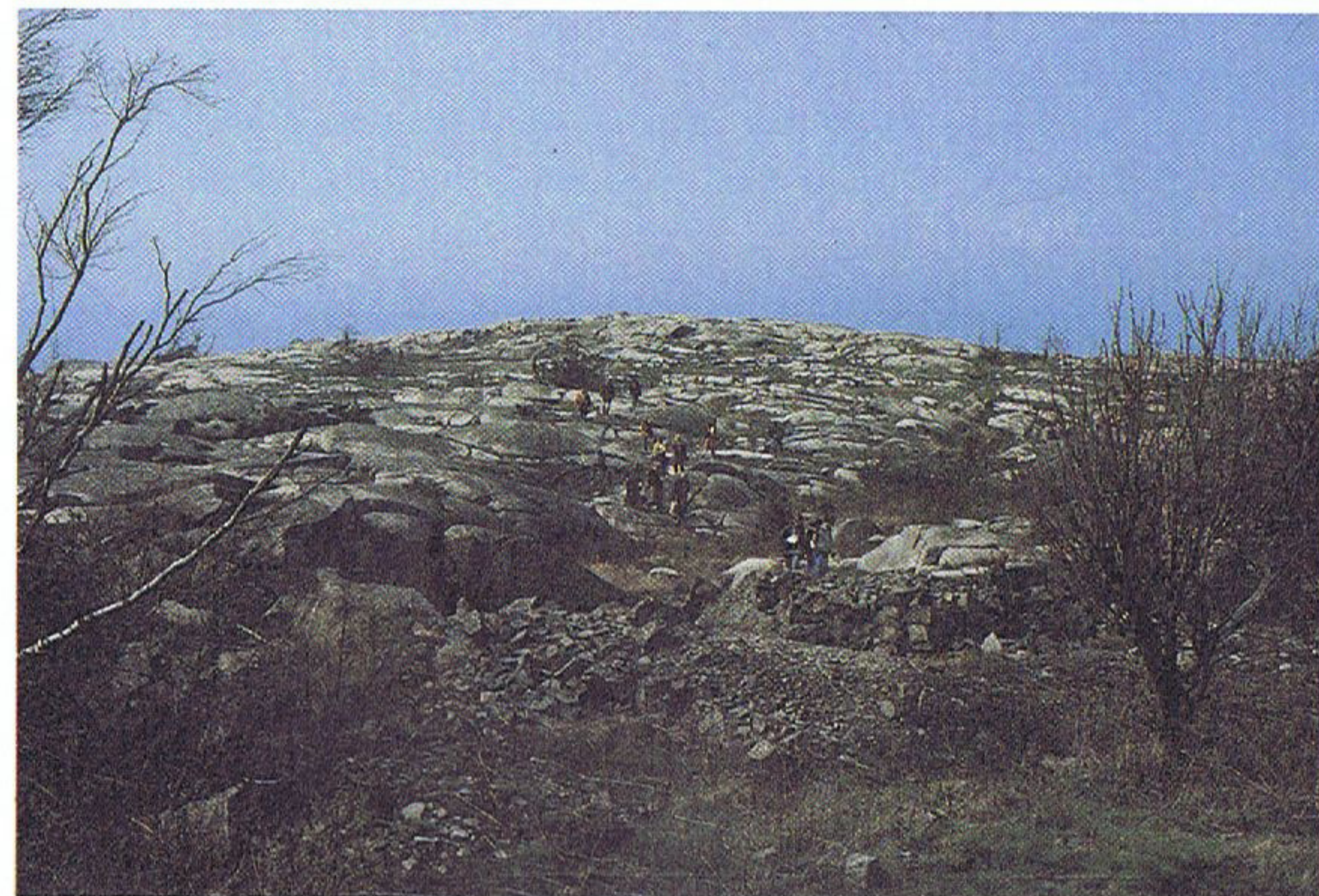
Kænozoikum omfatter perioderne Tertiær og Kvartær. Fra Tertiærperioden er der ikke aflejringer på Bornholm, men i dette ca. 60 mill. år lange tidsafsnit skete der store jordskorpeforskydninger, hævnninger og sænkninger, og en storstilet erosion. Store dele af det nuværende Bornholm var dækket af løse forvitningsprodukter, da de første isstrømme i Kvartærperioden nåede frem til øen.

Kvartærperioden omfatter de sidste 2-3 mill. år af Jordens udviklingshistorie, men det var kun i de seneste ca. 500.000 år, at der var isdækker i det skandinaviske område. På Bornholm synes der endda kun at være aflejringer fra den sidste istid, Weichsel Istiden, der varede fra omkring 100.000 til 10.000 år før nu. I Weichsel Istiden nåede isen næppe frem til Bornholm førend for omkring 25.000 år siden, såvidt man kan skønne ud fra vestdanske og tyske undersøgelser, hvorimod polske termoluminiscensdateringer kunne tyde på, at der havde været isdække i Polen allerede for godt 50.000 år siden.

Spor efter isoverskridelserne på Bornholm består dels af erosionsformer og dels af isens egne aflejringer. Erosionssporene ses typisk som en afrunding af opragende klippepartier og som en indridsning af skurestriber i klippeoverfladen. Skurestriberetningerne synes generelt at være fra nordøst mod sydvest på den højere del af øen, dvs. i grundfjeldet, mens skurestriberetningen er mere svingende fra nordøst over øst til sydøst mod sydvest over vest til nordvest på den lavere og sydlige del af Bornholm. Her findes dog også ældre skurestriber fra nordøst under de unge fra øst og sydøst, - der har altså ikke været tid til at forvitte de ældre striber væk, inden de nye blev indridset, og det har fået geologerne til at tro, at striberne er indridset i forbindelse med det samme isfremstød. Man forestiller sig, at isen skred frem over Bornholm fra nordøst, og under den generelle afsmeltning tyndede isen ud, så den ikke kunne overskride det højtliggende grundfjeld, men kunne 'smyge' sig hen over de lavere områder med sedimenter fra Palæozoikum og Mesozoikum.

På den nordvestligste del af Bornholm er de yngste skurestriber i øvrigt indridset fra en nordvestlig retning. Aldersrækkefølgen mellem disse striber fra nordvest og de yngre fra øst og sydøst på den sydlige del af Bornholm er endnu ikke kendt.

I forbindelse med den geologiske kortlægning af istidsaflejringerne på Bornholm har man kun fundet et lag moræneler eller morænesand (måske er der alligevel 2 lag?), som er direkte afsat af isen. Dette har nok også været medvirkende til at tro, at der kun var aflejringer (og dermed også skurestriber) fra en isoverskridelse.

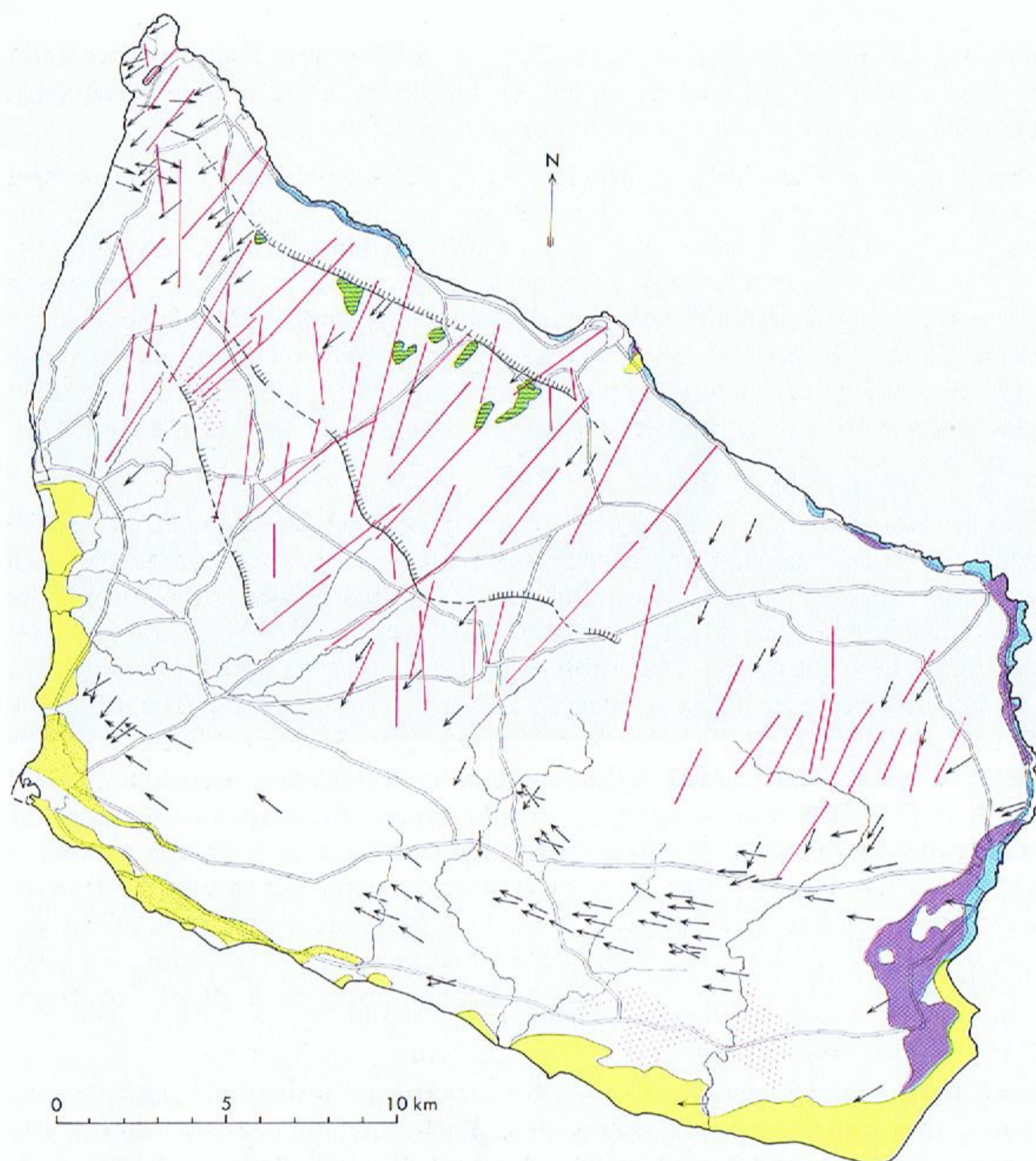


Figur 33. Isafsleben klippeoverflade på Hammerknuden, Nordbornholm. Dels er selve 'Knuden' én stor rundklippe, og dels udgøres overfladen på 'Knuden' af utallige mindre rundklipper. Foto: S. Sjørring.

Det isafsatte moræneler og -sand præges tydeligt af underlaget. Således er morænen mere sandet i grundfjeldsområdet og mere leret i områder med underlag af palæozoiske og mesozoiske sedimenter. Undersøgelser har i øvrigt vist, at man stort set kan spore underlagets beskaffenhed ved blot at se på stenindholdet i den dækkende moræne.

Arealmæssigt er det moræneaflejringerne, der præger Bornholm. Det er kun få steder, at der ligger smeltevandssand i overfladen, nemlig ved Pedersker på det sydlige Bornholm, ved Klemmensker på det nordlige Bornholm og mellem Hasle og Rønne. Sydøst for Rønne optræder der ganske unge (senglaciale) smeltevandaflejringer i overfladen i et bælte mellem Rønne og Sose Odde. Det er på denne flade Rønne Lufthavn ligger, og fladen kan i øvrigt følges ud i havet vest for Rønne på søkortene.

Egentlige israndsdannelser findes ikke på Bornholm, men det er lykkedes at lokalisere et par afsmeltningslinier, områder, hvor iskanten har ligget stille i længere tid. Den ene giver sig til kende ved en række sand- og grusbakker, der kan følges fra Olsker i nord og ind til Årsballe midt på øen. En anden afsmeltningslinie ligger et par kilometer inden for kysten mellem Allinge og Rø ved Gudhjem. Langs denne linie er der i de af is og smeltevand uderoderede spaltedale fundet lagdelte leraflejringer, der er typiske for et sø-miljø, men søernes nordøst sider mangler. Derfor mener geologerne, at de nordøstlige sider af søerne



- Skurestriber
- Israndslinier
- Senglaciale flodsletter
- Issøaflejringer
- Sprækkedale

- Større områder med smeltevandssand
- Senglaciale strandaflejringer
- Postglaciale strandaflejringer
- Flyvesand

Modificeret efter VARV 1977

i sin tid var den afsmeltende isrand. Da disse søaflejringer i spaltedalene ligger i en pæn nordvestlig-sydøstlig retning, er det troligt, at de er dannet samtidigt og mens isranden var nogenlunde stationær nordøst herfor.

Den centrale (og høje) del af Bornholm blev befriet for isen først. I lavninger og søer afsattes lerede - og senere organisk rige aflejringer, hvis indhold af pollen (blomsterstøv) fortæller om den datidige vegetation. I de disse søaflejringer blev der for få år siden fundet et tyndt lag af vulkansk aske, og denne aske er nu sporet til at stamme fra Lacher See-vulkanen syd for Köln. Denne vulkan var aktiv for 12 - 13.000 år siden, og aske fra samme udbrud er kendt fra flere vest- og østtyske lokaliteter og giver derfor mulighed for i detaljer, at få klarlagt planteindvandringen, da askenedfaldet - geologisk set - er sket på samme tid.

I forbindelse med isens endelige afsmeltning steg havniveauet over alt på Jorden, og det har også præget Bornholms kystegne, men her kompliceres den normalt vanskelige opgave yderligere af, at Østersøen ikke havde forbindelse til verdenshavene hele tiden. Ved Svaneke og mellem Nexø og Dueodde ses flade områder, der er dannet i forbindelse med den første egentlige havstigning ved isens afsmeltning. Disse senglaciale flader ligger nu omkring 10 m over havniveau, men samtidige terrassehak på det nordlige Bornholm ligger ca. 20 m over havniveau. Der er altså også i nyere tid sket en vipning af Bornholm.

Postglacial tid, de sidste 10.000 år, havde også sine havstigninger. For 5-6000 år siden trængte stenalderhavet ind i Østersøen, og rester herfra ses som en smal bræmme langs Bornholms kyster. Mod syd ligger stenalderhavets aflejringer omkring 4 m over nuværende havniveau, mod nord ligger samtidige aflejringer i omkring 12 m's højde - igen tegn på ganske unge vipninger af Bornholm.

Mange steder langs kysterne på det sydlige Bornholm ligger der et dække af ungt flyvesand, f.eks. på næsten hele strækningen fra Hasle over Rønne og Dueodde i syd til Snogebæk i øst. Specielt ved Dueodde kan man se, at det er processer, der også foregår i nutiden, men historiske beskrivelser beretter også om vindens virke, f.eks. er en stor del af sandområderne ved Sandvig på det nordlige Bornholm ført til stedet i midten af 1700-tallet.

