



Det 'døde' Hav

af Valdemar Poulsen

Mange af fortidens havaflejringer kan sammenlignes med et væltet korthus. På en lagflade, som var en tidligere havbund, kan "kortene" findes som en forstøvet fauna af bunddyr blandet med fossilformer, der levede svævende eller svømmende nær havoverfladen. Den væltede bunke spillekort fortæller ikke meget om korthuset, og forsteningerne siger heller ikke noget umiddelbart om naturen af den vandsøjle, der stod over havbunden.

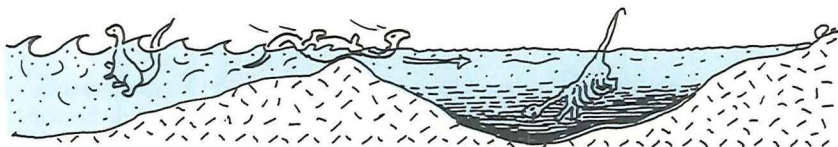


Figur 1. Sortskifer fra Øvre Kambrium, Newfoundland. Se også forsiden til VARV 2, 1980. Foto: forfatteren.

Blandt havaflejringerne falder nogle sorte lerskifre i øjnene (figur 1). De havde lejlighedsvis en stor geografisk udbredelse i den Palæozoiske Æra, og findes således også i Norge, Sverige og Danmark. Hvorfor tog deres omfang af efter Karbon-tiden, og hvorfor er de indeholdte forstenede rester næsten udelukkende pelagiske organismer fra havoverfladen (figur 2), og - endelig - hvordan kan det tilsvarende hav have set ud ?

Analysen af de sorte skifre viser et betydeligt indhold af kun delvis omdannet organisk stof, og desuden optræder mineralet svovlkis, der indeholder en reduceret form af jern. Konklusionen bliver, at de sorte skifre oprindeligt må være aflejret som sort slam i et miljø uden ilt, eller næsten uden ilt.

Næste skridt bliver at se på forholdene i nutidens have, og her optræder stedvis sort slam, der ved senere sammenpresning og hærkning ville kunne minde en del om de sorte skifre. Sort iltfattigt slam findes idag i to forskellige miljøer.



Det ene er tærskelafspærrede bassiner som Sortehavet og visse norske fjorde. I Norge er tærsklen endemoræner fra istiden. Her kan havvandet frit strømme ind og ud o v e r tærsklen, mens bundvandet, det vil sige vandmassen under tærskelhøjden, er spærret inde. Nedsynkende organiske partikler går i forrådnelse, og det er en iltforbrugende proces. Da der ikke sker nogen fornyelse eller ventilation af bundvandet, vil al ilt snart være opbrugt, hvorefter aflejring af sort slam med et indhold af organisk stof begynder.



Figur 2. Sort lerskifer fra Silur med en graptolit (Monograptus), som har levet svævende i havenes øvre vandmasse. Den er her efter aflejring blevet udfyldt af svovlkis, der indeholder reduceret jern. Forstørret 3 gange.

Det andet miljø med sort slam findes på lav dybde i delvis afsnørede bugter og flodmundinger - her bevirker afsnøringen, at der ikke er en helt fri ventilation, og samtidig er der et meget stort indhold af organisk stof, dels fra de marine organismer og dels bragt ud fra det tilstødende land.

Gennem det meste af vort århundrede har fortidens sortskifer-forekomster været søgt tolket ud fra de lige omtalte miljøer - men de kan ikke forklare tidligere perioders meget store udbredelse af sortskifer. Tærskelafspærrede bassiner er ikke, og kan ikke have været almindelige. Nogle geologer har forestillet sig perioder, hvor der skete markante opsving i havenes biomasse, således at forrådning af det store overskud kunne forbruge den tilstedeværende ilt. Mange andre mener dog, at selv om der kan have været variationer i biomassen, kan udsvingene ikke have nået det formødne omfang.

Her kan indskydes, at Østersøen idag er en helt speciel undtagelse. Store arealer af Østersøens bund er helt livløse på grund af iltmangel, og det skyldes, at ilten sluges ved omsætning af de organiske stoffer i den helt abnorme tilførsel af affald fra bysamfundene i de omkringliggende lande.



Hvor kommer ilten fra ?

Idag får de øverste godt 200 m af havets vandmasse tilskud af ilt fra atmosfæren ved "omrøringen" forårsaget af vindsystemerne. Fra havoverfladen, hvor vandet endda kan være overmættet med ilt produceret ved algernes fotosyntese, falder iltkoncentrationen nedefter til en minimumsværdi, der afhænger af forbruget til forrådnelsesprocesserne og dermed også af den tilstedeværende døde biomasse. Den øvre vandmasse er velventileret eller *o x i s k* (fra oxygenium = ilt).

Under det oxiske niveau kan der være en iltfattig eller *a n o x i s k* zone, som kun er 400-500 m mægtig, men derfra nedefter stiger indholdet af opløst ilt hurtigt til en ensartet høj værdi nær mætning på grund af opblanding med vand fra de store dybder.

Det iltrige vand på de store dybder er født i polarområderne - især om vinteren. Ved afkølingen her mod den overliggende havis bliver det overfladenære polvand tungere og synker som en bundstrøm i retning af ækvator. Da bundstrømmenes vand opstår om vinteren er det organiske liv på et minimum og iltforbruget dermed lavt. Derfor vil bundvandet i oceanet være nær mætningspunktet med hensyn til ilt. Denne ilt opretholder et temmelig rigt liv på selv store oceandybder, og aflejringerne viser også, at jern for det meste er tilstede i iltet tilstand.

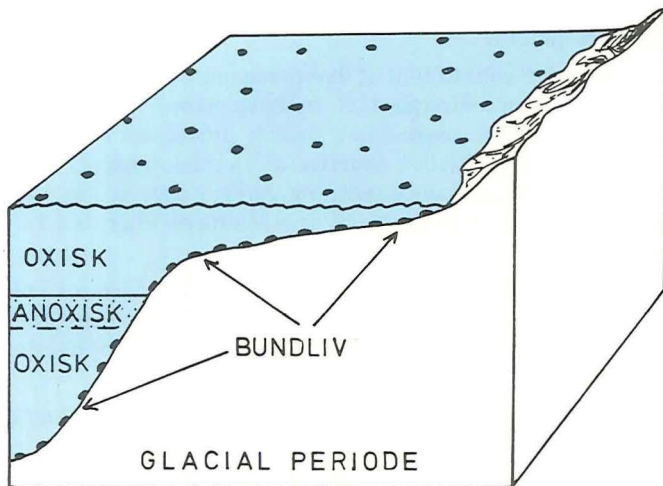
De skitserede forhold nutidens oceaner viser, at de iltfattige eller anoxiske tilstande er begrænset til en zone omkring 500 meters dybde, og det kan ikke give nogen større udbredelse af aflejringer af sortskifer-type.

Den oceaniske vandsøjle til forskellig tid

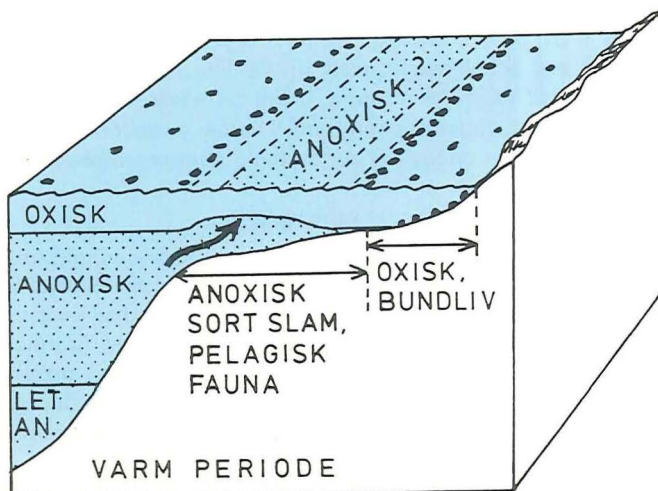
Hvis den primære kilde til opløst ilt i havvandet er atmosfæren, og hvis den primære kilde til atmosfærens ilt stammer fra alge-vegetationens fotosyntese - ja, så må alle oceaner principielt have været anoxiske fra bund til overflade indtil den organiske fotosyntese nåede et niveau, hvor fri ilt kunne afgives til atmosfæren. Det tidspunkt ligger i Prækambrium godt 2000 millioner år tilbage. I den videre udvikling kunne ventilationen af oceanerne skride frem efter de allerede omtalte mekanismer.

Man kunne nu måske tro, at der var tale om en jævn udvikling, hvor oceanerne gradvis blev mere og mere ilttrige - men, der har været store variationer i takt med klimaændringerne gennem Jordens historie.

Den skitserede nutidige situation svarer nogenlunde til tilstandene under istider. Karakteristisk for glaciære perioder er hyppige storme og store vindstyrker på grund af den store temperaturforskel mellem tropenerne og polarregionerne. Den resulterende kraftige omrøring af de øvre vandmasser under en istid kombineret med, at det afkølede havvand kan opløse mere ilt, fører til, at undergrænsen for den oxiske zone er blevet forskudt til et dybere niveau - dybere end idag. Samtidig er vandstanden faldet på grund af den store vandmængde bundet i ismasserne. Se figur 3.



Figur 3. Dyreliv og iltforhold i oceanerne under istider. Bemærk den lave vandstand. Oxisk angiver ilttrigt vand, anoxisk tilsvarende iltfattigt vand. De sorte prikker viser forekomster af dyreliv, der er jævnt fordelt i vandmasserne, foruden at et bundliv kunne trives over hele shelfen og det meste af Kontinental-skråningen.



Figur 4. Dyreliv og iltforhold i oceanerne i varme perioder. Den høje anoxiske vand søjle bevirker, at størstedelen af kontinentalskråningen ikke kan have et bundliv, og opstrømmende anoxisk vand kan trænge langt ind over shelfområderne. I de øvre vandmasser vil pelagiske organismer have meget gunstige kår lige ved grænsen til det opstrømmende anoxiske vand med dets store indhold af ubrugte næringsalte. Modificeret efter Berry & Wilde.

En model for de varme perioder

Under varme perioder, som der er mange vidnesbyrd om gennem geologisk tid, har der ikke eksisteret havis i polregionerne, og derved er der sket en markant ændring af klimaforholdene. Antallet af storme og formentlig også vindstyrker er aftaget, da temperaturforskellen mellem troperne og polerne blev mindre. Derfor blev omrøringen mindre effektiv, og undergrænsen for den oxiske zone blev forskudt op efter i vandmasserne til 50-100 m under overfladen (figur 4).

Denne udvikling må være blevet styrket yderligere af to forhold: 1) Med den højere temperatur af det overfladenære vand fulgte en lavere iltopløsningssevne, og 2) den højere vandtemperatur fremmede plante- og dyrelivet, hvorved mere organisk stof under forrådelse kunne forbruge ilten. Som et resultat voksede højden af det anoxiske vandlag i varme perioder og har ligget mellem 50-2000 m under overfladen.

Også på de store oceaniske dybder skete ændringer under de varme perioder. Cirkulationen i dybhavet er som nævnt styret af tyngdeforskellen mellem det iltede, afkølede overfladevand og det underliggende vand i de polare områder. Med manglende polare iskapper vil der ikke opstå strømme af polare vandmasser til at synke ned og give det oceaniske bundvand på de lave breddegrader et

større tilskud af ilt, og den stadige ”regn” af organiske partikler vil ved forrådnelsen bruge en god del af bundvandets ilt. På den anden side vil størsteparten af det organiske stof være blevet omsat, inden det nåede bunden, og det er derfor sandsynligt, at det oceaniske bundvand i varme perioder kun har været lettere anoxisk - eller måske endog har et iltindhold lidt over minimumsgrænsen.

Kan modellen for de varme perioder være rigtig ?

Vender vi nu tilbage til de sorte skifre, kan deres fossil indhold løse nogle af gåderne. De sorte skifre er aflejret i shelfområderne og på den øvre del af kontinentalskråningen. Fossilerne er overvejende former, der har levet i de øverste dele af vandmasserne, hvor iltindholdet utvivlsomt har været ”normalt”. Meget almindeligt ses, at store dele af skifersøjlen er fossiltom, mens enkelte niveauer til gengæld er rene kirkegårde. Man kommer let på den tanke, at organismerne har været udsat for en massedød - f.eks. forårsaget af opstrømmende anoxisk vand fra større dybde.

Sådanne opstigende strømme (”upwelling”) med anoxisk vand ses idag bl.a. ud for vestkysten af Nordamerika, Sydamerika og Afrika. Det opstrømmende vand har en stor rigdom af uforbrugte næringssalte, og som skitseret i figur 4 har de pelagiske organismer muligvis været koncentreret lige op ad grænsen til det opstrømmende anoxiske vand, som kan være nået helt op til havoverfladen. Et lille skifte i strømningsmønstret ville da være nok til at forårsage massedød af de pågældende organismer.



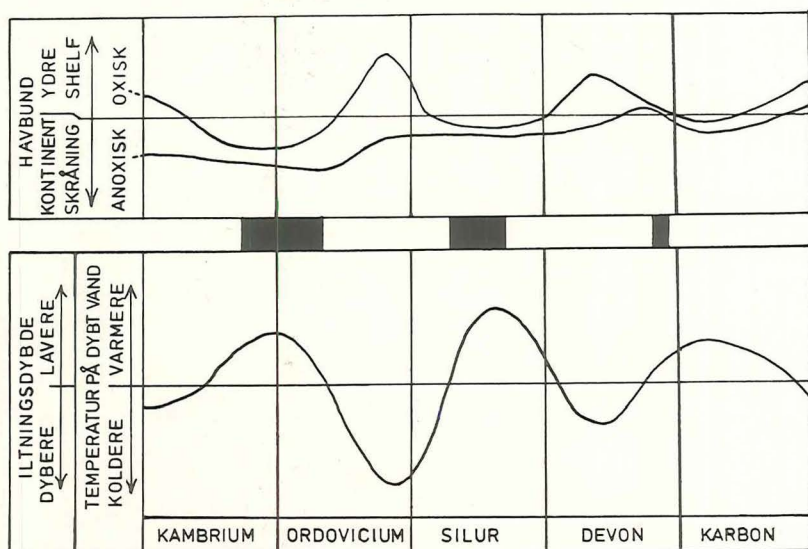
Figur 4 viser også, at der kun skulle ske små ændringer i havniveauet, før det anoxiske vand kunne trænge langt ind over shelfområdet, hvorved arealerne med aflejring af sort slam voksede.

Under istider må det omvendte foregå (figur 3). Havspejlet synker, de oxiske tilstande ved overfladen strækker sig længere ned, den anoxiske vand søjle skrumper i højde, og overgrænsen for denne søjle kommer til at ligge et godt stykke nede ad kontinentalskråningen. Derved frigøres store bundarealer til at huse et bundliv, og med et mere normalt iltindhold løber forrådnelsen til ende, hvorfor de resulterende aflejringer bliver lysere og får en mere normal sammensætning.

Prøver man at vurdere summen af vidnesbyrd om aflejringsmiljøerne i de Palæozoiske aflejringer, kan man nå frem til en syntese som vist i figur 5.

De sorte felter i figur 5 markerer tidsafsnit, hvor sortskiferaflejringer havde en stor udbredelse. Det gælder for Øvre Kambrium - Nedre Ordovicium, hvor den skandinaviske alunskifer kan tages som et eksempel på de sorte skifre der aflejredes over store dele af Jorden. Næste afsnit med udbredte sortskiferaflejringer

faldt i Silur, og her findes mange steder i Skandinavien mørke skifre med graptoliter (figur 2). Endelig ses et mere kortvarigt forløb i Devon, hvorfra der iøvrigt ikke kendes marine aflejringer i Skandinavien.



Figur 5. Skematisk fremstilling af faktorer førende til udbredelse af sortskiferaflejringer i den Palæozoiske Æra. Kurverne angiver kun relative tendenser i forhold til de vandrette linier, der kan repræsentere en tænkt middeltilstand. Sorte felter viser større udbredelse af sortskifer. Se teksten angående tolkning. Stærkt modificeret efter Berry & Wilde.

Kurverne i figur 5 viser samspillet mellem de fire faktorer, som anses for afgørende for fremkomsten af sortskifer. I den øverste ramme ses, at sortskiferaflejring hænger sammen med, at både den ydre shelf og den øvre del af kontinentalskråningen kom i en anoxisk tilstand. Kurven i den underste ramme viser samtidig den relative dybde for den oxiske vandmasse og den relative temperatur på dybt vand. Det fremgår, at sortskifermiljøet fremmes af et globalt varmt klima med varmt bundvand og migration op efter af niveauet for iltminimum.

Årsagen til sortskifer-regimets ophør fremgår også klart - især i yngre Ordovici-um. De oxiske tilstande fik et opsving, og samtidig ses, at det oceaniske bundvand blev koldt - det falder sammen med en stor istid i yngre Ordovici-um. På overgangen Karbon-Perm følger den næste større nedisning, som satte et definitivt punktum for dominansen af sortskifer. Fra de følgende perioder Trias, Jura og Kridt kendes sorte skifre lejlighedsvis og stedvis - men altid af mere lokal omfang.