Fra fryktet jeger til pyrittfossil

Av Jørgen Løkken Skaatan

I det som er dagens vestlige Tyskland, nærmere bestemt Rhenish-massivene, lå det tidlig i devon et grunt hav med et yrende dyreliv på havbunnen. Blant dyrene som fantes her var Phacops, en trilobitt utstyrt med en kraftig rustning og avanserte øyne. Den kunne se det meste, men én ting kunne den ikke beskytte seg mot: Et plutselig undersjøisk ras begravde dyret, og forholdene under sedimentene endret seg drastisk. Over 400 millioner år senere gjenoppsto den, som et vakkert fossil i Hunsrückskiferen.

Hunsrückskiferen er en sekvens med sedimentære bergarter som finnes i Rhenish-massivene i Tyskland (Bartels m.fl., 1998). I denne sekvensen finnes det fossiler som er meget godt oppbevart. Dette er en konservatlagerstätten, der fossilene er omdannet til pyritt. Alderen er 408 til 400 millioner år, altså tidlig devon. Den nevnte trilobitten *Phacops* hadde på denne tiden utviklet øyne, og nettopp øynene er en kroppsdel som er godt bevart i fossilene. I Hunsrückskiferen er det nemlig ikke kun skjelett og skall som er fossilisert, men også bløtdeler.
Videre skal vi se på prosessen fra død til fossil, og hvordan pyrittiseringsprosessen foregår. Men først en introduksjon til slekten *Phacops* og geologien i området.



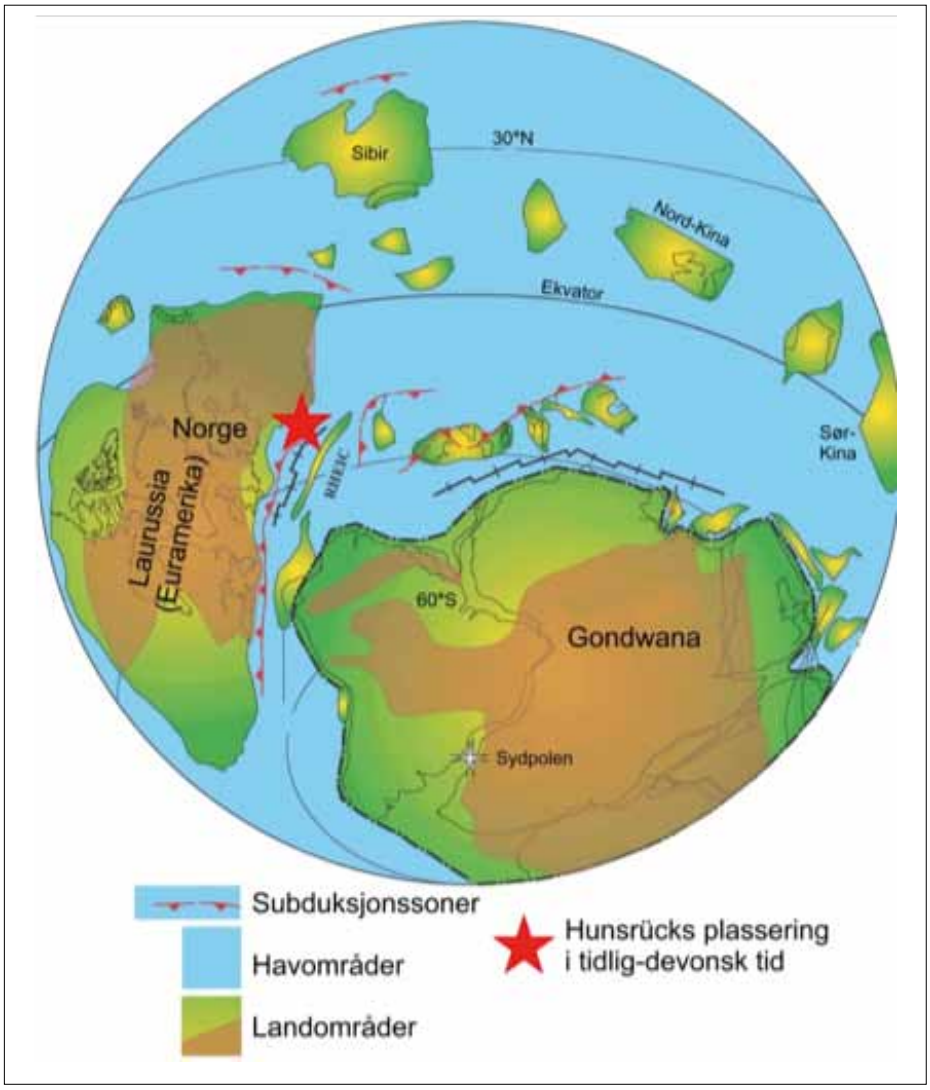
Figur 1 viser eksemplar av Phacops fra Hunsrückskiferen, PMO A24414. Gjengitt med tillatelse fra Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo. Foto: Hans Arne Nakrem (UiO).

Utviklingen av trilobitter fra kambrium til devon

Trilobitter er leddyr som kan dateres tilbake til tidlig kambrium, for omtrent 521 millioner år siden. Fra da av levde de på havbunnen frem til masseutryddelsen i overgangen mellom perm og trias, for ca. 251 millioner år siden (Doyle, 1996). Trilobitter levde i grunnmarine miljøer. De beveget seg i vannmassene, på havbunnen, og ned i bunnslammet. De hadde behov for rikelig tilgang på oksygen, samt relativt lavt saltinnhold (ikke mer enn 0,35% salt). Trilobitter levde i rolige energiregimer, fra lavt til moderat nivå. De fantes på sokkelen, noe som vil si at de ikke levde på større dyp enn omtrent 200 meter (Doyle, 1996).
Stamfaren til trilobitten var muligens et marklignende dyr, som i kambrium utviklet et hardt skall over sin segmenterte kropp. Dette skallet kan ha blitt dannet på grunn en oppblomstring av næring på sokkelen der trilobitten levde, som igjen kan ha vært en drivkraft til utvikling av mineralskall. Oppblomstringen av

næringsstoffer kan ha skjedd etter en stor istid som førte til større sirkulasjon i havene, som drev næringsstoffer opp på sokkelen der trilobittene levde (Doyle, 1996).
Trilobitter er delt inn i tre deler; hode, kropp og hale. På grunn av dette var de godt beskyttet mot rovdyr. Gjennom ordovicium utviklet trilobitten også øyne og antenner (Doyle, 1996). Arten som er funnet i Hunsrückskiferen er av en slik type. Den tilhører slekten *Phacops*, og hadde store, fluelignende øyne som kalles for fasettøyne. Dette kan være et tegn på at den var en aktiv jeger, i tillegg til at det fantes andre rovdyr den måtte passe seg for.

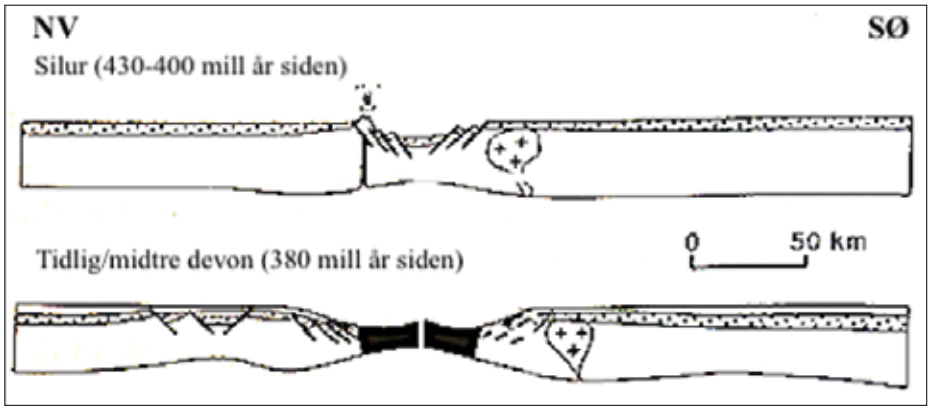
Geologien i området
Hunsrückskiferen er en sekvens i Rhenish-massivene som domineres av metamorf leirstein avsatt fra marine vifteformasjoner (Bartels m.fl., 1998). Erosjonsproduktene (sedimentene) kom fra fjellkjeden som er et produkt av den kaledonske fjellkjedefoldningen.
Avsetningene her stammer fra et grunt hav. Funn av strukturer som kryssjikt indikerer at dette var over stormbølgebasis, som er omtrent 200 meter. I tillegg tyder tilstedeværelse av algen *Receptaculites* på at dette er i fotisk sone, som er ca ned til 200 meter (Bartels m.fl., 1998). Det er med andre ord flere faktorer enn øynene på *Phacops* som beviser at sekvensen Hunsrückskiferen stammer fra et grunt hav. Opphavet til dette grunne havet var vulkanisme og riftdannelse. Det ble dannet en nedsynkning hvor det senere ble et hav (Bartels m.fl., 1998). Havet var mest sannsynlig oksygenrikt, men inni sedimentene var det noe som tydet på anoksiske (oksygenfattige) forhold. Det



Figur 2. Paleogeografisk rekonstruksjon fra tidlig devon. Gjengitt med tillatelse fra Trond H. Torsvik, Universitetet i Oslo.



Figur 3. Eksemplar av Phacops, der vi ser hodet, øyne og noen kroppsledd. Fra Hunsrückskiferen, PMO A24414. Gjengitt med tillatelse fra Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo.
Foto: Hans Arne Nakrem (UiO).
(Glabella er midtaksen på hodeskjoldet. Red. anm)



Figur 4 viser opphavet til nedsynkingen og havet som senere oppsto. Modifisert fra Bartels m.fl. (1998).

finnes ikke tegn til liv her, kun rømningsspor. Gravesporene finnes kun oppå sedimentflaten.
Gjennomsnittlig sedimentasjonsrate var på ca. 2 mm i året, men mye av sedimentasjonen er avsatt episodisk. Blant annet ved undersjøiske ras, som kunne være resultat av for eksempel tropiske stormer (Stürmer & Bergström, 1973). Siden lagene i ettertid er utsatt for kompaksjon av overliggende lag, er sedimentet komprimert omtrent til 1/10 av opprinnelig tykkelse (Bartels m.fl., 1998). Det er kun et veldig begrenset område det er mulig å finne godt bevarte, pyrittiserte fossiler. Ofte kun lag på ca. 1 cm tykkelse, og innen et lite område som ellers omfatter mer enn 400 km^2 (Bartels m.fl., 1998).

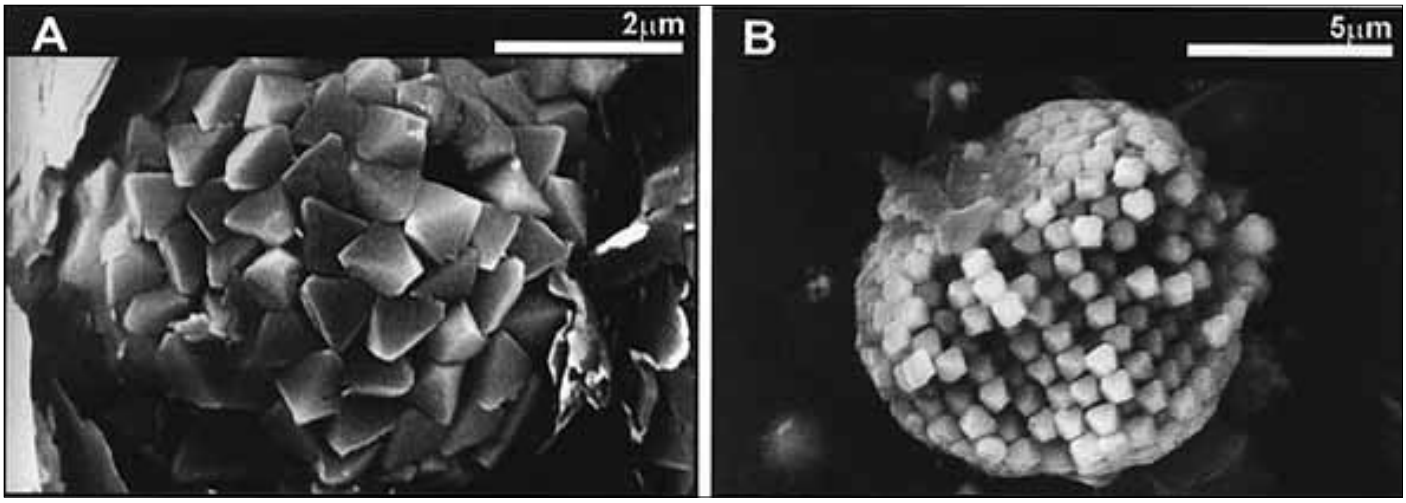
Tafonomi, fra død til fossil
For at et dyr skal bli til et fossil er det visse faktorer som er viktige. Først og fremst en rask begravning, samt at det er oksygenfattige forhold under sedimentene slik at åtseletere ikke spiser det døde dyret. I Hunsrückskiferen er fossilene spesielle på grunn av eksepsjonell oppbevaring av bløtdeler. Man kan blant annet se mage- og tarminnhold, i tillegg til fine detaljer som antenner og lemmer. En slik fossiloppbevaring er det vi kaller for konservat-lagerstätten, som indikerer at fossilene her er av meget god kvalitet. Dette gjelder både oppbevaring av hard- og bløtdeler (Bartels m.fl., 1998). Det trenger ikke nødvendigvis å være så mange fossiler i en konservat-lagerstätten.
Undersjøiske ras, muligens av typen turbidittstrømmer, kan ha vært årsaken til død og rask begraving for *Phacops*. Turbidittstrøm er en type ras der løsmasser, i høy hastighet, beveger seg nedover skråninger. Disse sedimentstrømmene førte dyret på utsiden av sokkelen og begravet det for godt. Det er kort avstand fra stedet de ble tatt av løsmassene og frem til stedet det ble endelig begravet. Man kan derfor si at det er noe alloktont (forflyttet etter død). Men det er ikke snakk om store avstander, da ville dyrene mest sannsynlig blitt mer ødelagt på veien, og det ville ikke vært en like fin fossilforekomst. Forholdene under sedimentene der dyrene ble begravet var noe helt annet enn forholdene der de levde. At det var lite oksygen til stede, i tillegg til en tilstedeværelse av mikroorganismer, skulle vise seg å være grunnen til at det ble dannet pyritt (Bottjer m.fl., 2002).

Pyrittiseringsprosessen
Det er viktig å skille mellom pyritt i fossiler fra Hunsrückskiferen, og pyritt i typiske kubiske former. Den kjemiske formelen er den samme, men dannelsen av de to er vidt forskjellige. De karakteristiske kubene dannes ved at det skjer kjemiske reaksjoner slik at det blir en utfelling. Pyritten i Hunsrückskiferen dannes bakterielt. Det må være to forskjellige typer bakterier til stede, en type som er sulfidoksiderende og en type som er sulfatreduserende. Pyritten som dannes kalles «framboid» pyritt, som stammer fra det franske ordet framboise som betyr bringebær. Bringebær passer bra til å beskrive formen på pyritten som legger seg rundt fossilet, se figur 5.
Det at bløtdeler pyrittiseres er et sjeldent fenomen, og det finnes kun et par andre forekomster av dette (Bartels m.fl., 1998). Det er to krav til dannelse av pyritt av bløtdeler fra dyr i Hunsrückskiferen; rask begraving og reduserende (oksygenfrie) forhold. Prosessen må ha skjedd relativt raskt. I skallet til *Phacops* finnes det noe som heter kutikula, og befinner seg i det ytre skjelettet. Pyritten som bevarer lemmene på dyret oppstår først på innsiden av kutikula, ved musklene. Dersom pyrittiseringsprosessen hadde gått langsomt, hadde lemmene forfalt og kutikula blitt ødelagt (Bartels m.fl., 1998), og det hadde ikke blitt en så fin forekomst.

Pyrittdannelsen skjer ofte øverst i lagene, nær grensen mellom aerobe (oksygenholdige) og anaerobe (oksygenfrie) forhold. I fraværet av oksygen bruker sulfatreduserende bakterier sulfat i porevannet for å fjerne organisk materiale (Bartels m.fl., 1998). Dette fører igjen til at hydrogensulfid blir frigjort, slik:

$$18CH_2O + 9SO_4^{2-} \rightarrow 18HCO_3^- + 9H_2S$$

Deretter reagerer sulfid med jern som ligger i sedimentene, og jernmonosulfid og svovel, før noe av jernmonosulfidet blir til pyritt:



Figur 5. Viser strukturen til framboid pyritt. Kilde: Richard (1999).

$6FeOOH + 9H_2S \rightarrow 6FeS + 3S^0 + 12H_2O$

$6Fe + 3S^0 \rightarrow 3FeS_2 + 3FeS$

Resterende jernmonosulfid blir til pyritt ved følgende reaksjon med hydrogensulfid:

$FeS + H_2S \rightarrow FeS_2 + H_2$

Pyrittisering på denne måten krever at det døde dyret har et høyt innhold av organisk materiale. Dersom det er for lite organisk materiale vil dette være en begrensning for den sulfatreduserende bakterien. I tillegg trengs det rikelig med jern. I Hunsrückskiferen er jernnivået uvanlig høyt sammenlignet med andre marine avsetninger, og dermed gunstig for dannelse av pyritt (Bartels m.fl., 1998).
Det bør nevnes at geologiske hendelser som jordskjelv og vulkanutbrudd kan være med på å ødelegge en forekomst. Det tyder derfor på at dette området har vært relativt rolig de siste 400 millioner årene (Bartels m.fl., 1998).

Sammendrag

Rask begraving og lite oksygen i sedimentene sørget for at døde dyr ikke ble spist opp av andre organismer. Med riktig kjemisk sammensetning i sedimentet, samt tilstedeværelse av visse mikroorganismer, åpnes muligheten for at et dødt dyr kan bli til pyritt. I Hunsrückskiferen har disse forholdene vært såpass gode og har dermed tilrettelagt for dannelse av pyritt. I tillegg har det vært en lengre periode uten geologiske hendelser som potensielt sett kunne ha ødelagt forekomsten av fossiler. På grunn av alt dette har vi fått en fossilforekomst der både bløtdeler, øyne og ekstraordinære detaljer i skjelettet er bevart, noe som gir oss en mulighet til å forstå litt mer om levestedet og levemåten til *Phacops*.

Referanser:

Bartels, C., Briggs,D.E.G., Brasses, G. (1998) *The fossils of the Hunsrück Slate – Marine life in the Devonian*. Utgiver: Cambridge University Press.

Bottjer, J. D., Etter, W., Hagadorn W. J., Tang, M. C. (2002) *Exceptional Fossil Preservation – A unique view on the evolution of Marine Life*. Utgiver: Columbia University Press.

Doyle, P. (1996) *Understanding Fossils – An Introduction to Invertebrate Palaeontology*. Utgiver: John Wiley & Sons.

Stürmer, W., Bergström, J. (1973) New discoveries on trilobites by X-rays. *Paläontologische Zeitschrift* **47** (1-2), 104-141.

Forfatter

Jørgen Løkken Skaatan
Borgestadveien 14,
0875 Oslo
jorgelsk@student.matnat.uio.no

