Hexactinellide sponzen in Ordovicische "baksteenkalk"

Freek Rhebergen
Slenerbrink 178
7812 HJ Emmen
freek.rhebergen@planet.nl

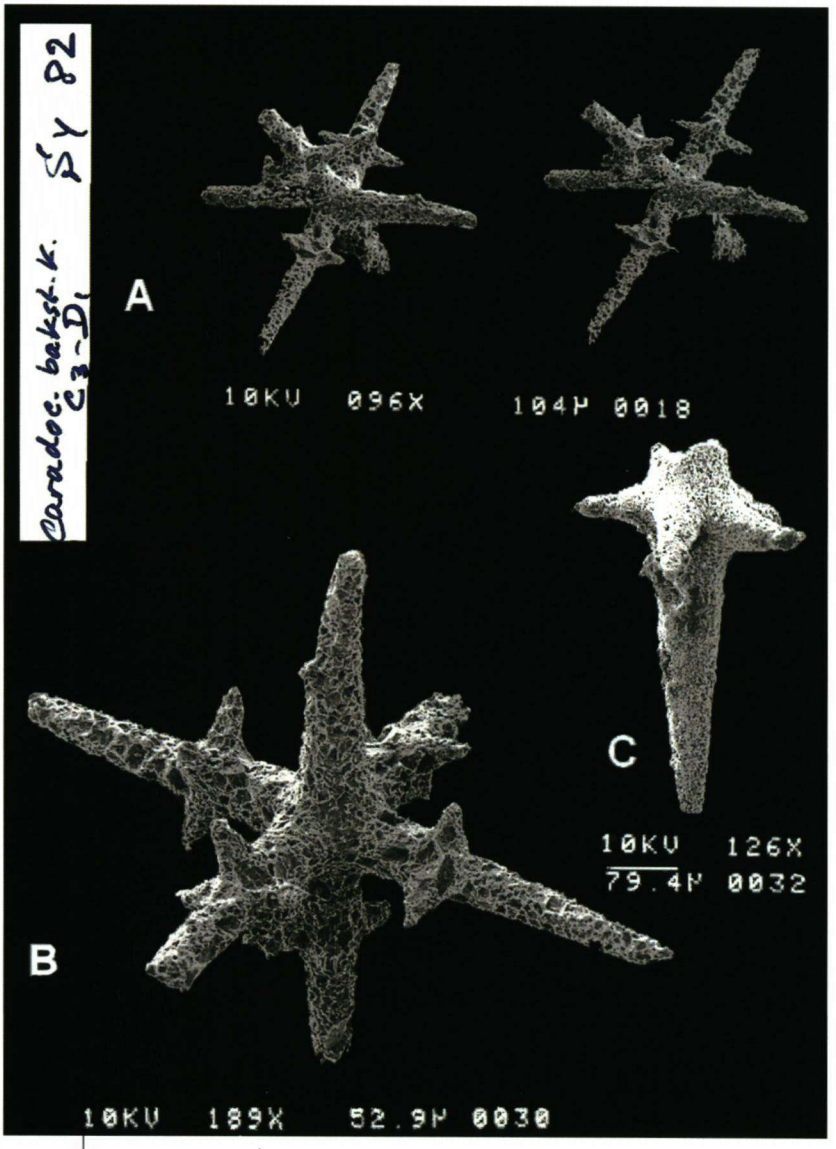
De verkiezelde Ordovicische kalksteen uit de afzettingen van het oude Baltische rivierstelsel levert steeds weer tot nu toe niet herkende of zelfs nieuwe soorten fossielen op. In dit geval betreft het hexactinellide sponzen, namelijk *Haljalaspongia inaudita* en een *Brachiospongia*-achtige spons, afkomstig van het palaeo-continent Baltica. Tot voor kort waren van deze sponzengroep slechts losse sponsnaalden bekend in residu's van opgelost Ordovicisch gesteente in Zweden, Estland en West-Rusland. Dat toont opnieuw aan dat "baksteenkalk" een uniek gesteente is met een bijzondere flora en fauna. Doel van dit artikel is dan ook om iedere verzamelaar, die zich met deze zogenaamde "baksteenkalk" bezighoudt, te attenderen op mogelijk aanvullende vondsten van een hexactinellide spons(rest) in de eigen collectie.

Afbeelding 9 links. | *Detail van afbeelding 8 (zie pagina 442). Opvallend is de komvormige holte, met daarin zuiltjes met wortelachtige structuren en knobbels. Bovenaan de halfcirkelvormige begrenzing van de spons. De pijl wijst naar de afdruk van een gastropode (zie tekst).*

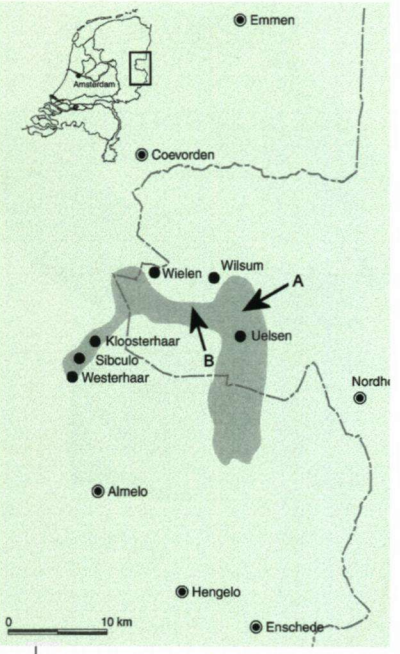
"Baksteenkalk"

De Ordovicische verkiezelde kalkstenen omvatten een complex van typen van verschillende ouderdom, elk met een eigen karakteristieke flora en fauna. De naam "baksteenkalk" is dan ook een misleidend begrip, in de vorige eeuw overgenomen van Duitse geologen. Zij vonden in de omgeving van Berlijn door Saale-ijs getransporteerde, verkiezelde Ordovicische kalkstenen *(Geschiebe)*. Die waren gebroken langs oude diaklazen, waardoor ze rechthoekige, scherpkantige vormen vertoonden, die hen aan baksteen deden denken. Ze zijn volkomen afwijkend van de sterk afgeronde fluviatiele stenen *(Gerölle)*, die een kleine miljoen jaar geleden door het oude Baltische rivierstelsel, de Eridanos, zijn getransporteerd. Ook de fossiele fauna en flora erin vertonen aanzienlijke verschillen.

Een van de meest voorkomende typen is, wat ik in een eerder artikel (Rhebergen, 1993) heb genoemd, "baksteenkalk in engere zin". De blokken hebben doorgaans een wat knollig, onregelmatig golvend uiterlijk. Kenmerkende fossielen erin zijn de



Afbeelding 2. | *Acanthohexactines uit het residu van een in fluorwaterstof opgeloste baksteenkalk van Sylt. A. Stereo-opname. B. Hetzelfde exemplaar onder een andere hoek. C. Een losse arm. (Foto's vervaardigd in het toenmalige Instituut voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit, Amsterdam)*



Afbeelding 1. | *Geografische aanduiding van de vindplaatsen in het WWW-gebied. A. Groeve Jansen, Wilsum; B. Voormalige groeve Warrink, Ratzel.*

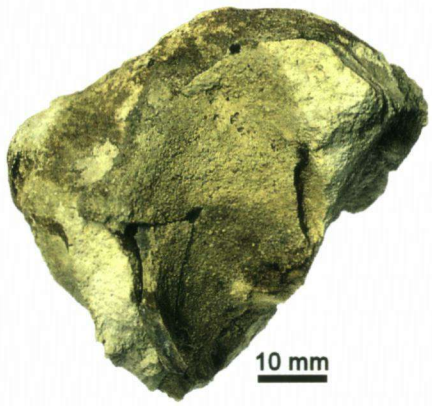
knikkeralgen *Coelosphaeridium sphaericum* en de kleine peervormige *Apidium*. Op grond daarvan, alsmede van enkele trilobietensoorten, is de ouderdom van het gesteente bekend, namelijk het Sandbian, in grote lijnen overeenkomend met wat voorheen het Caradoc heette. Voor de aanduiding van de ouderdom gebruiken we overigens liever de regionale indeling die in de Baltische staten en West-Rusland gangbaar is, en recentelijk ook enkele keren in Grondboor & Hamer is afgedrukt (Van Keulen, 2011, Afb. 2; Rhebergen, 2012, Afb. 1). Voor "baksteenkalk in engere zin" is dat de regionale Baltische Haljala-etage (C_3-D_1).

Het ligt in de bedoeling in de toekomst voor het complex van Ordovicische (verkiezelde) gesteenten een bruikbare indeling in types op te stellen, in de hoop de begripsverwarring te verminderen. In onderstaand artikel noem ik het gesteente weliswaar nog "baksteenkalk", maar bedoel daarmee "baksteenkalk in engere zin".

In baksteenkalk zitten fossielen vaak als nesten gegroepeerd, dikwijls ongeordend. Deze en andere kenmerken doen vermoeden dat deze afzetting ontstaan is door kleine stromen van kalkmodder (mini-turbidieten) dus met een

Afbeelding 3. | *Haljalaspongia inaudita. Groeve Jansen, Wilsum. Ex-coll. Norbert Huuskes, Overdinkel. Nederlands Centrum voor Biodiversiteit / Naturalis, Leiden. Coll. nr. RGM 617 943. Zijaanzicht van het holotype.*

Afbeelding 4. | *Hetzelfde exemplaar als in afbeelding 3. Het bovenaanzicht geeft enigszins een beeld van de meanderende sponswand.*



Afbeelding 5. | *Los deel (zie Afb. 3) van hetzelfde exemplaar, waarin de sponswand zichtbaar is. Het middendeel (zie tekst) is omgezet in chalcedoon. Naalden in andere delen van de sponswand zijn opgelost en bewaard gebleven als afdrukken.*

zeer snelle sedimentatie. Aan de fossielen is te zien dat het vooral om detritus gaat, organische restanten op de zeebodem, zoals losse delen van het pantser van trilobieten, losse schubben van Machaeridia (een groep problematische wormachtigen) en losse steeldelen van zeelelies. Verkiezelde demosponzen, zoals *Aulocopium, Astylospongia* en *Carpospongia* zijn er tot nu toe niet in aangetroffen. Wel komen er af en toe afdrukken van opgeloste losse sponsnaalden in voor, soms ook als chalcedoon-afgietsels. Meestal zie je dan een kruis van vier loodrecht op elkaar staande armen, een gereduceerde vorm van de zesarmige hexactine (*hexa* = zes). Deze laatste zijn kenmerkend voor, en naamgevend aan de klasse der Hexactinellida. Het is in dit gesteente, dat de hieronder beschreven sponzen voorkomen.

Sponzenverzamelaars zullen de naam Hexactinellida herkennen omdat in het Boven-Krijt van bijvoorbeeld Coesfeld, Höver en Misburg talrijke hexactinellide sponzen voorkomen, zoals *Coeloptychium, Ventriculites, Coscinopora* en *Napaeana*, de vroegere *Cinclidella* (Koops, 2010). Er bestaat echter een wezenlijk verschil tussen de "jonge", Mesozoïsche sponzen en die uit het Ordovicium. De hexactines van Krijtsponzen waren stevig met elkaar verbonden (Koops, 2010), terwijl hexactines in het Vroeg-Palaeozoïcum slechts in elkaar haakten, maar niet vergroeid waren. Bepaald geen ideale manier voor een sponslichaam om te fossiliseren. Vrijwel alle hexactinellide sponzen vielen dan ook na hun dood in losse naalden uiteen. Dat maakt hexactinellide sponzen met een bewaard gebleven sponswand, zoals in dit artikel beschreven, dan ook zo bijzonder.

Toeval en geluk

Dit verhaal hangt van een aantal toevalligheden aan elkaar. In 1985 vond ik in de groeve Jansen in de Wilsumer Bergen (Afb. 1), aan de voet van een grindhoop drie achtergelaten fragmenten van een stukgeslagen baksteenkalk. Ze vertoonden vormen, die mij niet bekend voorkwamen: een gladde, gebogen wand en veel "gefriemel". Thuis zag ik door de microscoop een wirwar van (opgeloste) sponsnaalden. De stukjes kregen een nummer en een plaatsje in de lade: "Sponsresten in baksteenkalk".

In 2006 snuffelden Tom Koops en ik een dag lang in de verzameling van Norbert Huuskes in Overdinkel. Terwijl Norbert en Tom Krijtsponzen bekeken, zag ik een emmer met onbewerkte stukken baksteenkalk, ook uit de Wilsumer Bergen. Eén stuk trok mijn aandacht: een gebogen, gladde, deels in chalcedoon omgezette wand van een spons, talloze min of meer parallel gerangschikte monaxonen en dezelfde wirwar van opgeloste sponsnaalden, die ik met de inmiddels toegenomen kennis herkende als hexactine-achtige sponsnaalden. Ik mocht het fossiel langdurig lenen.

Ik ben al jarenlang bezig met de bestudering en beschrijving van een omvangrijke, nieuwe Onder-Silurische (Llandovery) sponzenfauna van Gotland. Ik kon twee problemen door gebrek aan kennis niet naar tevredenheid oplossen. Het ene was het interpreteren van hexactines in groeven van "gewone sponzen" en in heldere chalcedoon. Het andere probleem vormden kussentjes van kleine sponzen die als commensaal op "gewone" sponzen zaten vastgehecht. Daarom riep ik in 2010 de hulp in van Dr. Joe Botting, een jonge Brit, gespecialiseerd in Paleozoïsche hexactinellide sponzen. Hij nam dat deel van het onderzoek graag op zich. Hij kwam een week naar Emmen om al het materiaal met hexactinellide sponsresten te bekijken. Ook hield hij zich bezig met het probleem van de kussentjes. Dat bleken kleine, nooit eerder beschreven sponsjes te zijn, die uitsluitend uit monaxonen bestonden. Tijdens het selecteren van mee te nemen sponzen kwamen zijdelings andere sponzenproblemen ter tafel. Ik liet hem mijn drie fragmenten en het stuk van Norbert Huuskes zien; hij was heel verbaasd. Hij herkende zogenaamde acanthohexactines (*acanthos* = doorn, stekel), hexactines met doornachtige vertakkingen, en besefte dat hier iets nieuws op tafel lag. Hij stelde voor een gezamenlijke publicatie over deze nieuwe spons te schrijven.

De laatste toevalligheid vond de volgende avond plaats. Ik liet hem een grote doos zien met daarin enkele duizenden nog uit te zoeken foto's uit de nalatenschap van Ulrich von Hacht, de grote kenner van fossielen van het eiland Sylt, die daarover ook verscheidene artikelen voor Grondboor & Hamer heeft geschreven. In een aparte envelop lagen enkele SEM-foto's van ... acanthohexactines.

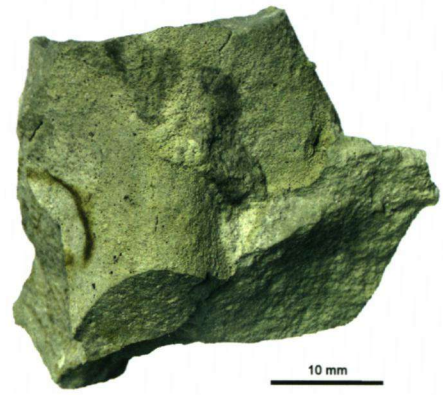
In de marge stond een aantekening van Theo van Kempen, de sponzenkenner die destijds aan de VU in Amsterdam verbonden was. Kennelijk heeft hij daar een deel van een stuk baksteenkalk van Sylt voor Von Hacht opgelost in fluorwaterstof. De bijzondere foto's van dit monster zijn hier opgenomen als afbeelding 2. Ons artikel is inmiddels gepubliceerd (Botting & Rhebergen, 2011) en de spons heeft een naam: *Haljalaspongia inaudita*. Zowel het holotype uit de collectie van Norbert Huuskes als het paratype uit mijn collectie zijn ondergebracht in het Centrum voor Biodiversiteit Naturalis in Leiden.

Haljalaspongia inaudita

Van de nieuwe spons is slechts een deel bewaard gebleven. We stellen ons voor dat het een cilindervormige, wellicht ook uitwaaierende spons is, met een meanderende sponswand (Afb. 3 en 4). De horizontale doorsnede van het holotype kan wel 10 cm zijn geweest, terwijl de dikte van sponswand 3 mm bedraagt (Afb. 5). Van het andere exemplaar zijn slechts drie fragmenten bekend. Deze spons is aanzienlijk kleiner. De gladde, gebogen binnenwand (Afb. 6) toont de gelijkenis met die in afbeelding 3.

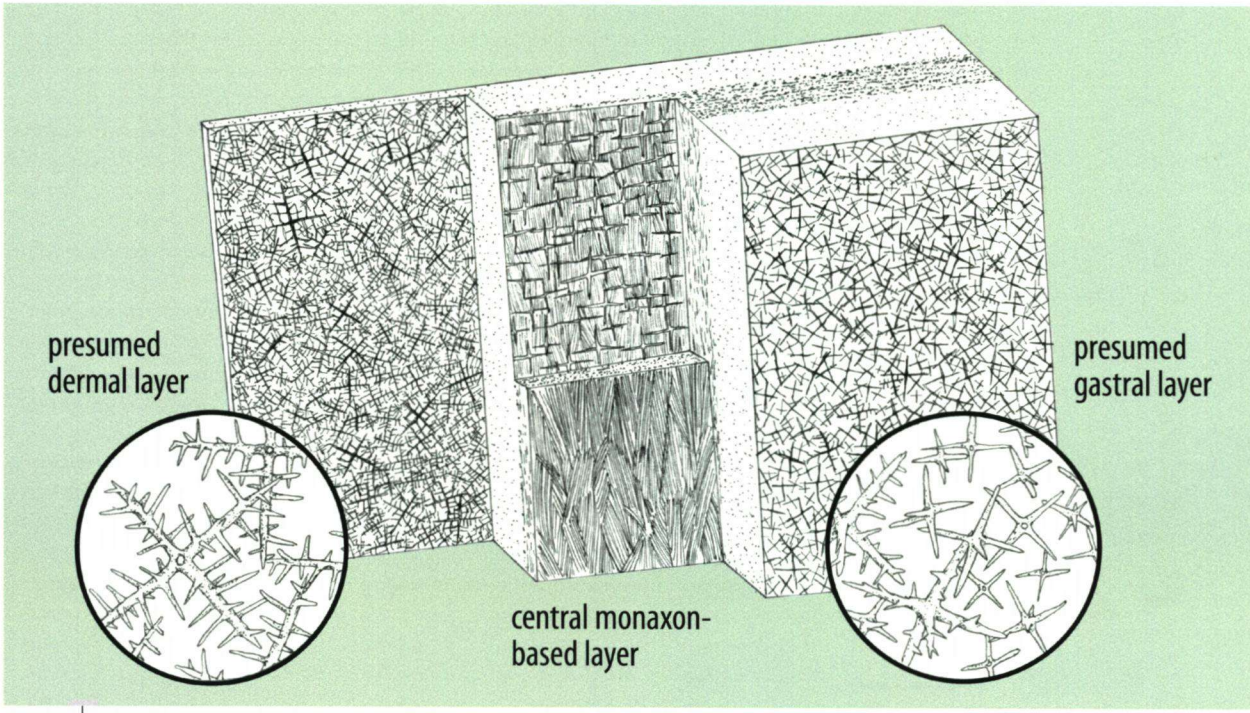
De wand van *Haljalaspongia* is uiterst gecompliceerd van bouw, bestaande uit een (dermale) buitenlaag, een middenlaag en een (gastrale) binnenlaag. De middenlaag bestaat grotendeels uit chalcedoon, terwijl de buiten- en binnenwand uit talloze afdrukken van opgeloste acanthohexactines bestaan. Waar de middenwand bewaard is gebleven zien we ook daar weer twee verschillende structuren. Aan de veronderstelde buitenkant zien we een soort rechthoekig netwerk van horizontale en verticale armen van de hexactines, waartussen talloze sub-parallelle monaxonen, verticaal georiënteerd, een soort opvulling tussen de hexactines vormen. Aan de veronderstelde binnenzijde van de middenlaag liggen talloze monaxonen, in kegelvormige bundels geordend. De overgangen tussen de lagen zijn vrij abrupt. Het voert hier te ver deze complexe structuur in detail te beschrijven. Joe Botting heeft echter met uiterste precisie en geduld de wand weten te analyseren en te tekenen. Zijn tekening, hier als afbeelding 7 afgedrukt, is met toestemming overgenomen uit de oorspronkelijke publicatie.

Haljalaspongia inaudita is volkomen afwijkend van bestaande taxa, en is slechts onder te brengen in de klasse der Hexactinellida. Orde en familie zijn onbekend.

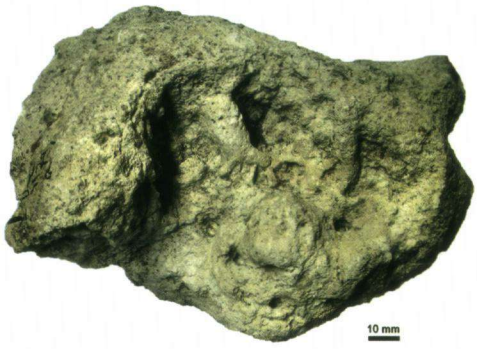


Afbeelding 6. | *Een van de drie fragmenten van het paratype van Haljalaspongia inaudita. Vergelijk met Afb. 3. Groeve Jansen, Wilsum. Ex-coll. Freek Rhebergen, Emmen. Nederlands Centrum voor Biodiversiteit Naturalis, Leiden. Coll. nr. RGM 617 944.*

Hierop slaat dan ook de soortnaam *inaudita*, wat wil zeggen: ongehoord, ongewoon, zonder precedent. Er zijn enkele overeenkomsten met een bestaande familie, maar die verwantschap is uit deze twee fossielen niet met zekerheid aan te tonen. Wie weet komt er te zijner tijd aanvullend materiaal tevoorschijn.
De ouderdom van de spons kon worden vastgesteld op grond van enkele exemplaren van *Apidium*, kleine peervormige

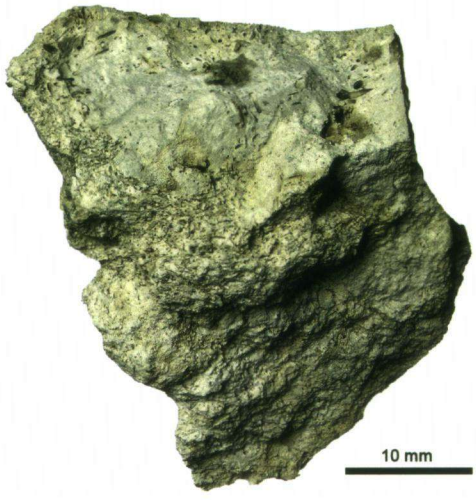


Afbeelding 7. | *Reconstructie van de gecompliceerde sponswand van Haljalaspongia inaudita door Joe Botting. Van links naar rechts de veronderstelde (dermale) buitenwand, de uit meer lagen samengestelde middenwand en de veronderstelde (gastrale) binnenwand (zie tekst).*



Afbeelding 8. | *Onbekende spons, waarschijnlijk uit de superfamilie Brachiospongioidea. Bovenaanzicht. Groeve Warrink, Ratzel. Coll. Freek Rhebergen, Emmen. Reg. nr. Ue 117.17 (voor een detail, zie Afb. 9 op pag. 438).*

Afbeelding 10. | *Vers breukvlak met een pakking van hexactinellide naalden, rechtsboven geordend tot een zuiltje. De pijl wijst naar enkele globella van de alg Mastopora concava. Let op doorsneden van grote monaxonen in het hexactine-loze deel (zie tekst).*



Afbeelding 11. | *Los fragment met overeenkomstige structuren en verdeling als in afbeelding 10.*

knikkeralgen, die kenmerkend zijn voor dit gesteente: de Haljala-etage (C_3–D_1). De genusnaam *Haljalaspongia* geeft dan ook de ouderdom weer en verwijst tegelijkertijd naar het Oost-Baltische gebied, het herkomstgebied van onze "baksteenkalken".

Opnieuw een raadselachtige spons

In 1995 vond ik in de groeve Warrink in Ratzel, tussen Wilsum en Wielen, een merkwaardige spons in "baksteenkalk". Het blok was langs een oude wand naar beneden gerold. Een holte met daarin een merkwaardig zuiltje trok mijn aandacht (Afb. 8). Met de loep ontdekte ik hexactines en andere hexactinellide structuurtjes. Langdurig zoeken in het losse materiaal leverde twee niet passende fragmenten op. De door en door verweerde steen had kennelijk in het bovenste deel van de wand gelegen, want holtes waren gevuld met humusrijk materiaal. Na meer dan vijftien jaar liet ik ook deze aan Joe Botting zien. Opnieuw toonde hij zijn verbazing. Door tijdgebrek moesten we verder onderzoek laten rusten. Te zijner tijd zal ook deze spons formeel beschreven worden.

Deze spons vormt een ingewikkelde puzzel waar ik nog niet uit ben. Enerzijds zitten hexactines verspreid door het onderste deel van de steen, terwijl ze in het bovenste deel ontbreken. En wat is dat zuiltje met zijn wortelachtige vertakkingen in afbeelding 9 (de openingsfoto op pag. 438)? Hoort het bij de spons of is het een heel ander fossiel? Of gaat het om een ichnofossiel, bijvoorbeeld een graafspoor? Telkens weer een uurtje waarnemen leverde uiteindelijk een voorlopig beeld op.

Aan de bovenzijde van de grote holte is een halfcirkelvormige rand zichtbaar die duidelijk de grens van de sponswand markeert (Afb. 9, pag. 438). Daarbuiten bevinden zich wel andere fossielen in het gesteente, maar geen sponsnaalden. De holte is een deel van een grote, komvormige spons. In de holte bevinden zich grote, onregelmatig gebogen cilinders, die schijnen te ontspringen in de waarschijnlijk platte basis van de spons. Onderaan de cilinders bevindt zich een onregelmatig vlechtwerk van kleine knobbels en wortelachtige structuren. Afbeelding 10 toont een wat onregelmatige cilinder, lopend van het centrum van de afbeelding naar rechtsboven. De cilinders blijken te bestaan uit hexactines en uiterst fijne structuurtjes, met enkele sub-parallelle kanalen, zoals is te zien in afbeelding 11. Oorspronkelijk waren de ruimtes tussen deze naalden opgevuld met organisch sponsmateriaal dat bij de dood van de spons verging. Tijdens het sedimentatieproces zijn de ontstane holle ruimtes volgelopen met sediment. Bij nauwkeurige bestudering van het zuiltje in afbeelding 9 zie je op de zijwand nog enkele afdrukken van hexactines. Blootgesteld aan verwering en erosie, is het zuiltje ook zo'n met sediment gevulde en vervolgens afgesleten cilinder. Kleine halfbolvormige knobbels als deel van het "wortelstelsel" van het zuiltje of tussen de "wortels" in, vertonen doorsneden van sponsnaalden en hebben dus ook deel uitgemaakt van het sponsskelet.

Het is een forse spons geweest, met een doorsnede van tenminste 6 cm. De hoogte is onbekend maar moet tenminste 6,5-7 cm hebben bedragen. Hoogstwaarschijnlijk had de spons een min of meer platte basis. In een deel van de basis van het gesteente zijn afgesleten afdrukken van hexactines waar te nemen, in het ernaast gelegen deel niet. Ook in afbeelding 10 zien we een dergelijke scheiding in het verse breukvlak: het onderste deel mèt en het bovenste deel zonder sponsnaalden.

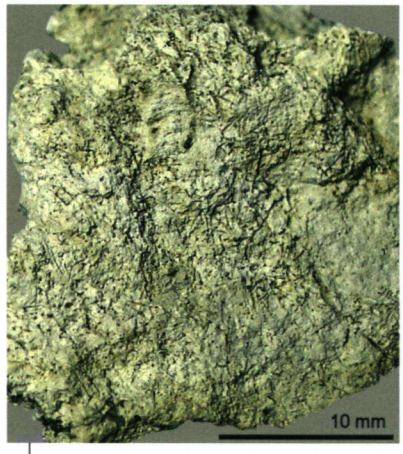
Het verreweg meest voorkomende type sponsnaald is de (zesarmige) hexactine. Veel verspreid voorkomende hexactines zijn heel groot. De meeste hebben een armlengte van 2-2,5 mm, dus de hexactine kan 4-5 mm lang / breed / hoog zijn geweest. De gemiddelde doorsnede van een arm bedraagt 0,1 mm. De naalden die als een pakking de cilinders vormen zijn aanzienlijk korter: 0,3-0,6 mm.

Afbeeldingen 10 en 11 tonen nòg een bijzonderheid. In het bovenste deel, zonder hexactines, komen lange, dikke monaxone naalden voor. Geen enkel exemplaar kon volledig worden gemeten, doordat het overgrote deel "verticaal" in de steen staat, d.w.z. parallel aan de veronderstelde hoogte van de spons. De grootst gemeten lengte bedraagt 6 mm, maar de oorspronkelijke lengte zal waarschijnlijk minstens het tweevoudige zijn geweest. De doorsnede is maar liefst 0,2-0,5 mm, met een

gemiddelde doorsnede van 0,3 mm. Dit waren geen naalden van een worteltoef, want dan zouden ze juist bij de basis aanwezig zijn geweest. Zeer waarschijnlijk waren het lange, schuin naar boven en buiten gerichte naalden, zogenaamde prostalia, die bij veel hexactinelliden voorkomen en waarschijnlijk dienden als bescherming.

Combineren we alle genoemde elementen, als a) een diep komvormige spons, met b) een vlakke basis zonder worteltoef, c) een skelet van grote, vrij dunne hexactines, en d) cilinders van kleinere dicht opeengepakte hexactines of daarvan afgeleide naalden, dan komt volgens Finks & Rigby (2004), de uitgebreide superfamilie van de Brachiospongioidea als een mogelijkheid in beeld. Ik hoop er in de toekomst op terug te komen, ook als ik met mijn interpretaties de plank heb misgeslagen. Wie weet komt een van de lezers met nieuw, aanvullend materiaal!

Ook van deze spons is de stratigrafische ouderdom goed te bepalen, onder andere aan de hand van meegefossiliseerde algen. In afbeelding 10 zijn linksboven een paar globella van de alg *Mastopora concava* te zien. Ook komt een exemplaar van *Coelosphaeridium sphaericum* voor. Deze algen tonen aan dat de spons uit de Haljala-etage afkomstig is. Een afdruk van een vrij platte gastropode duidt op het bovenste deel van de Haljala-etage, namelijk de Jöhvi-sub-etage (D_1), omdat in de oudere Idavere-etage (C_3) geen gastropoden bekend zijn. Andere ingesloten fossielen zijn enkele bryozoën, een niet te determineren ostracode en een klein deel van een cephalopode, waarschijnlijk *Endoceras*, maar deze zijn voor de stratigrafie van weinig belang.



AFBEELDING 12. | *Vers breukvlak met ongeordend verspreide grote hexactines van de uiteengevallen sponswand.*

Uitzonderlijke sedimentatie?

De flora en fauna in de "Haljala-baksteenkalk" of "baksteenkalk in engere zin" heeft in een tropische tot subtropische zee op het zuidelijk halfrond geleefd. Het milieu was een zee met een diepte van minstens tientallen meters, maar niet dieper dan ongeveer 80 meter. De tere hexactinellide sponzen konden namelijk slechts beneden de stormbasis groeien, terwijl algen voor de koolstofassimilatie licht nodig hadden, hetgeen op een grotere diepte dan 80-90 meter onvoldoende is. De bodem bestond waarschijnlijk uit een zwak golvend kalkplateau, wellicht met kalkheuvels. Kleine kalkslibstromen nivelleerden op gezette tijden het oppervlak. In de literatuur wordt dit milieu wel vergeleken met dat van de Bahama-eilanden.

Zoals in de inleiding al gezegd, fossiliseren Paleozoïsche hexactinellide sponzen zelden. Snel na hun dood valt het skelet in losse elementen uiteen. Als het sedimentatieproces langzaam verloopt (en dat is normaliter het geval), is de kans op het intact blijven van de wand uiterst klein. Kennelijk hebben zich bij de drie hier beschreven sponzen dus andere omstandigheden voorgedaan. Van de twee exemplaren van *Haljalaspongia* zijn weliswaar slechts delen bewaard, maar de sponswand zelf is intact gebleven. In het omringend gesteente zijn geen sponsnaalden te zien. In de *Brachiospongia*-achtige spons is wèl een deel van de wand uiteengevallen en zijn de naalden enigszins ongeordend in het sediment geraakt. Toch is een zekere scheiding waar te nemen. In het sediment van het bovenste deel ontbreken hexactines. Daar zijn, samen met de bovengenoemde fossielresten, alleen de robuuste prostalia *(in situ?)* te zien. Dit wijst erop dat de spons heel snel, maar zonder geweld, door een kalkmodderstroom is begraven, anders waren de sponswanden verwoest. Ook een daarop volgende modderstroom heeft zich snel maar rustig afgezet, anders was er een grotere verstrooiing van de fragiele, los in elkaar gehaakte naalden geweest. Dit komt overeen met onze jarenlange waarnemingen, waaruit we concluderen, dat een groot deel van de "baksteenkalk in engere zin" ontstaan is door de hierboven beschreven kleine kalkmodderstromen. En daaraan danken wij de fossilisatie van (voorlopig!) drie bijzondere hexactinellide sponzen.

Dank

Ik dank Joe Botting, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Nanjing, (China), voor zijn hulp en ideeën; Stephen K. Donovan, eindredacteur van Scripta Geologica (NCB Naturalis), Leiden, voor zijn toestemming enkele afbeeldingen te gebruiken; en Percy van Keulen, Harderwijk, voor zijn commentaar. In het bijzonder dank ik Norbert Huuskes, Overdinkel, voor het langdurig lenen van de besproken spons en de schenking van het holotype aan het NCB Naturalis, Leiden.

LITERATUUR

Botting, J.P. & Rhebergen, F., 2011. **A remarkable new Middle Sandbian (Ordovician) hexactinellid sponge in Baltic erratics. Scripta Geologica, 143: pp. 1-14.**

Finks, R.M. & Rigby, J.K., 2004. **Paleozoic hexactinellid sponges. In: Kaesler, R.L. (ed.), Treatise on Invertebrate Paleontology, Part E, Porifera revised, 3: pp. 319-448.**

Keulen, P.S.F. van, 2011. **Cyclocrinites, een Ordovicische alg. Grondboor & Hamer 65: pp. 184-190.**

Koops, T., 2010. **Van Cinclidella solitaria naar Napaeana striata. Grondboor & Hamer 64: pp. 19-23.**

Rhebergen, F., 1993. **Ordovicische zwerfstenen in het Twents-Duitse grensgebied. Over herkomst en transport. Grondboor en Hamer 47: pp. 132-140.**

Rhebergen, F., 2012. **Ordovicische sponzen uit vast gesteente in Estland en bij St. Petersburg en hun relatie tot "onze" zwerfsteensponzen. Grondboor & Hamer 66, nr. 3: pp. 294-300.**