

De pseudo-kruipsporen van de Kalamafka Formatie, Kreta

door Anne Rutger Fortuin
fortuinar@gmail.com

Ontsloten laagvlakken van sedimentgesteenten kunnen allerlei interessante structuren laten zien. Van golf- of stroomribbels tot dinosporen, om over eventuele ingesloten fossielen maar te zwijgen. Vooral sporen die dieren in het sediment achterlieten kunnen zeer tot de verbeelding spreken. Goed geconserveerde dinosporen zijn dan ook geheide publiekstrekkingen. Daarbij is het alleen al vanwege de afmetingen vrij duidelijk welke diergroep die sporen achterliet. Maar, bij kruip- en graafsporen in en op een voormalige zeebodem is de ontstaanswijze lang niet altijd duidelijk. Desondanks is er een hele wetenschap rondom "ichnologie" gegroeid, omdat sporenassociaties veel kunnen vertellen over het toenmalige zeebodemmilieu met zijn bewoners en de globale afzettingsdiepte. Het kan daarbij lastig zijn om onderscheid te maken tussen biogene- dan wel niet-biogene structuren. In dit artikel geef ik aandacht aan de intrigerende structuren die ik bij vroeger veldonderzoek op Kreta regelmatig tegenkwam in een bepaalde formatie. Structuren die noch ik, noch geraadpleegde vakgenoten met enige zekerheid konden interpreteren.

Wie vanuit Ayios Nikolaos de oude kustweg langs de mooie Golf van Merabellou rijdt (afb. 1), zal zich verbazen over de flinke hoeveelheid conglomeraten en breccies langs die weg. Ze vormen de noordelijke begrenzing van het Neogene Ierapetra Bekken. Als hij of zij vervolgens bij Kalo Horio zuidwestwaarts afslaat, richting de dorpen Prina en Kalamafka, zal er nog meer



▲ Afb. 2. Veldfoto van een calcilutietlaagvlak in de typesectie van de Kalamafka Formatie. Het vlak is volledig bedekt met de zo kenmerkende "vogelpootjes", zoals de veldbenaming was voor deze elkaar vaak raken- of snijdende inkepingen. De lensdop is 55 mm breed.



▲ Afb. 1. Topografisch overzicht van het midden-oostelijk deel van Kreta. De in de tekst beschreven route is geel gestippeld. De kaart is ontleend aan de website <https://www.explorecrete.com/dutch/kreta-plattegronden.html#map-Crete-large>. Een geologische kaart (Fortuin, 1977) is online te bekijken (zie de literatuur gegevens).

van dat grove gesteente volgen, totdat zich bij Prina het dal verbreedt en er ook mergels en kalkzandstenen verschijnen. Omhoog kronkelend tussen Prina en Kalamafka voert de weg door de Mioceen (Tortonien) Kalamafka Formatie. Over de fijnkorrelige en platig verwerende lagen binnen die formatie gaat dit verhaal. Die laagbovenvlakken zitten vaak vol met merkwaardige sporenachtige structuren (afb. 2). Hun voorkomen en mogelijke vormingswijze heeft me, sinds ik ze voor het eerst tijdens geologisch veldwerk tegenkwam, geïntrigeerd. Om er een veldnaam voor te hebben noemde ik ze maar 'vogelpootjes', al hebben de groefjes daar in deze mariene afzettingen niets mee te maken.

De kennismaking met deze "sporen" was een gevolg van het feit dat ik als Utrechts geologistudent het midden-oostelijke deel van Kreta kreeg toegewezen om te onderzoeken. De opdracht was: karteer, beschrijf en bemonster de daar voorkomende Neogene afzettingen en stel een formatieschema op. Uiteindelijk leidde mijn gezwoeg in de vlaktes en bergen tot een proefschrift over de sedimentatiegeschiedenis van dat ca. 500 km² grote gebied (Fortuin, 1977; 1978). Daar hoort een in kleuren gedrukte, gedetailleerde geologische kaart bij. Later, inmiddels als Amsterdams VU geoloog, ben ik nog meerdere malen naar Kreta teruggekeerd voor aanvullend onderzoek, studentenbegeleiding of vakantie. Zo schreef ik voor *Gea* een overzichtsartikel over de geologie van Kreta (zie onder Literatuur, met leeslink).

Kalamafka Formatie

De Kalamafka Formatie herken je in het veld door een afwisseling van mergelrijke intervallen met goed gelaagde kalkzandstenen (calcarenieten) en kleirijke kalkstenen (calcilutieten) met wisselende laagdiktes. Centimeter dunne calcilutietlaagjes wisselen af met tot een meter



▲ Afb. 3. Voorbeeld van de snelle afwisseling van dun gelaagde calcilutieten en calcarenieten. De calcarenieten vertonen doorgaans positieve gradering en/of parallelle laminatie. Ook stroomribbels komen regelmatig voor.

nismen) zijn goed ontwikkeld aan randen van zulke geulinschakelingen (afb. 4). Zulke sporen zijn juist schaars tot afwezig in de dungelaagde calcilutieten, waarop juist de zogenoemde vogelpootjes rijk vertegenwoordigd zijn.



▲ Afb. 4. Voorbeeld van sterk doorwoelde (bioturbate) calcarenieten als deel van een geleenheid binnen de Kalamafka Formatie. Er zijn zowel horizontaal als verticaal verlopende graafgangen.

stroming veroorzaakte kolksporen ("flute casts") op het laagondervlak (afb. 5). Alles wijst op sedimentaanvoer vanuit NNW- tot NNE richting. Microfauna's uit de mergels geven duidelijk aan dat deze formatie rond 10 miljoen jaar geleden is afgezet op ten minste enkele honderden meters diepte (350–500 m diepte). De formatie is, kortom, geïnterpreteerd als een onderzeese sedimentwaaier, opgebouwd uit materiaal dat vanuit een noordelijke sedimentbron werd aangevoerd.

De vorming van de Kalamafka Formatie volgde op een snelle verdrinkingsfase van dit deel van Kreta waarbij breukvorming en het omhoog komen van het gebied dat nu deel uitmaakt van de Golf van Merabellou (afb. 1) een belangrijke rol moet hebben gespeeld. De onderliggende formaties bestaan vooral uit de hiervoor al genoemde conglomeraten en breccies en dikke fluviaatiele pakketten. De fase van snelle verdieping ging gepaard met massale verglijding van de onderliggende eenhe-

dikke calcarenieten (afb. 3 en de voorplaat). Deze kalkzandstenen zijn vooral vanuit troebelingsstromen afgezet. Nog grofkorreliger inschakelingen komen voor, die als geulcomplexen zijn afgezet. Deze tot 10 m dikke geulcomplexen zijn opgebouwd uit zandsteen tot keienhoudende, zandige conglomeraten. Deze grove eenheden komen alleen voor in het noordelijke verspreidingsgebied van de formatie. Bioturbate structuren (de sporen van gravende en kruipende organen)

Door het platig verwerende karakter van de Kalamafka-lagen was het goed mogelijk om de herkomstrichting van het aangevoerde materiaal te achterhalen, door bijvoorbeeld de oriëntatie te meten van de door turbulente

den, samen met tot honderden meters grote schollen oudere kalkgesteenten. Rijdend tussen Kalamafka en het volgende dorp, Anatoli, kun je genieten van het merkwaardige landschap dat ontstaan is door de chaotische mengeling van vergleden Tripolitza-kalken (Krijt) en gebreccieerde varianten daarvan met de Neogene formaties die stratigrafisch onder de Kalamafka Formatie horen.

▲ Afb. 5. Kalamafka-laagondervlak met *flute casts*. Dit deel van een dungelaagde, gegradeerde kalkzandsteen tot siltsteen toont de afgietsels (casts) van opgevulde erosie-inkepingen die een turbulent kolkje binnen een troebelingsstroom veroorzaakte. De pijl geeft het noorden aan en de stroom kwam uit 30° NO. Het puntje van een *flute cast* geeft namelijk het moment aan waarop een draaikolkje uit de troebelingsstroom de bodem erodeerde. Stroomafwaarts verbreedt het erosiegeultje zich snel in de richting van de stroming en eindigt vervolgens ook weer snel, omdat het draaikolkje de bodem niet meer raakte.



Vogelpootjes, krabbensporen en meer

De afgebeelde calcilutietplaten (afb. 2, 6, 7) tonen die zo kenmerkende, overwegend één tot twee centimeter lange en vaak iets gebogen inkepingen in het laagoppervlak. De verspreiding daarvan is willekeurig. Inkepingen die elkaar aan hun uiteinde raken, maken onderling vaak een hoek van 60° tot 120°. Soms is de ene rand van

de inkeping een fractie hoger dan de andere kant. Dat zie je bijvoorbeeld ook bij krabbensporen over de bodem. Krabbenpootjes veroorzaken bij voortbeweging een zekere zijwaartse druk en die indrukken zijn vaak licht gebogen, zoals bij deze structuren. Na lang aarzelen en na enkele deskundigen geraadpleegd te hebben, heb ik deze sporen in mijn proefschrift als "mogelijke krabbensporen" benoemd, maar die interpretatie is niet vol te houden, zeker niet als je hedendaagse foto's van diepwaterkrabbensporen op internet opzoekt. Het moet iets heel anders zijn. Maar wat dan?

Dit jaar kwam de oplossing als vanzelf uit de lucht vallen. Dit door het bekijken van een dronefoto van dromedarissen die over een ingedampt en nu drooggevallen woestijnbekken lopen. Van bovenaf gezien, vielen me de onregelmatig verspreide korte krimp-scheuren op. Weliswaar vele malen groter dan van de Kalamafka-lagen. Maar het patroon toonde zoveel overeenkomst, dat ik mijn oude materiaal, zeven laagvlakstukken, nog maar eens voor de dag haalde en informatie opzocht over krimp in kleirijke lagen onder water. Toen werd het snel duidelijk. Deze Kalamafka-structuren moeten wel scheurtjes zijn die in het sediment ontstaan zijn door samentrekking van de kleideeltjes. Zulke scheurtjes in een dunne kleilaag staan bekend als "syneresis cracks" (Boggs, 2001).



▲ Afb. 6. Close-up van een 1 cm dikke calcilutietlaag met de zo kenmerkende rechte tot iets gebogen en soms elkaar snijdende structuren, die nu als synerese-krimpscheurtjes geïnterpreteerd zijn. Linksonder is een tekening toegevoegd uit het artikel van McMahon et al. (2017), dat sterk vergelijkbare structuren toont. De tekenschaal is mogelijk iets kleiner dan die van de maatlat.

Synerese

Synerese-scheurtjes worden omschreven als sedimentaire structuren die ontstaan zijn bij krimp van het sediment zonder invloed van uitdroging. Synerese is het afstoten van vloeistof uit een gel-achtige substantie. Zo is kaas maken uit melk ook een synerese-effect. Met hulp van een stremsel valt de melksuspensie uiteen in wrongel en wei. In zoetwatermilieu's blijven kleideeltjes, door hun negatieve lading, makkelijk in suspensie zweven. Maar als aanwezige kationen deze negatieve deeltjes neutraliseren, zullen de kleideeltjes zich tot vlokken samenvoegen en zo sneller tot afzetting komen. Dood organisch materiaal en bacteriën zijn daarbij natuurlijke vlokmiddelen. Echte ontwatering met samentrekking van inmiddels gesedimenteerde klei treedt vooral op als reactie op verandering in het zoutgehalte van de omgevende vloeistof. Ontvlokking van de kleideeltjes gaat dan gepaard met samentrekking van het kristalrooster van de kleimineralen. De daarbij optredende krimpscheurtjes in de kleilaag zijn discontinu en, afhankelijk van de omstandigheden, nogal variabel van vorm. Een recent overzichtsartikel over onderwaterkrimpstructuren (McMahon et al., 2017) bespreekt deze problematiek en geeft voorbeelden uit meerdere studies. Eén type (afb. 6 linksonder) komt treffend overeen met de Kalamafka-structuren. Dit type structuren schijnt zich te kunnen ontwikkelen bij dun gelaagde calcilutieten die in afwisseling voorkomen met zandstenen. Wat mij betreft is het raadsel dus opgelost.



▲ Afb. 7A en 7B. Bovenvlakken van twee Kalamafka-calcilutieten. Foto A (hoogte foto 15 cm) toont het typische patroon van 1,5 - 2 cm lange groefjes. Foto B (24 cm breed), uit dezelfde locatie als A, toont daarnaast enkele, deels met sediment opgevulde afdrucken van ingespoelde takjes van coniferen(?).

Saliniteitsverschillen

Vervolgens dringt de vraag zich op waarom de dunne kleilaagjes in het toenmalige afzettingsgebied in Kalamafka dit verschijnsel vertonen. Deden zich saliniteits-schommelingen voor? Of speelden andere in de literatuur wel genoemde redenen mee, namelijk ontwatering als klei compacteert onder het eigen gewicht? Er is zelfs een auteur die de vorming in verband brengt met aardbevingen (Pratt, 1998). Kritiek op deze interpretatie is echter dat seismische schokken vooral sedimentdeformatie veroorzaken. Daar kan ik op basis van eigen ervaring geheel mee instemmen. Ik houd het liever op saliniteitsschommelingen. Om te beginnen vertonen deze lagen weinig bioturbate structuren, structuren die dus elders in de formatie veel voorkomen. Dat zegt op zich nog niet alles, want snelle sedimentatie kan ook een rol spelen. En dat geldt zeker binnen deze submariene *fan setting*. Het feit dat ook plantenresten en takjes (afb. 7) aanwezig kunnen zijn, versterkt bij mij de idee dat saliniteitsschommelingen een rol speelden. Zo vermoed ik dat het kleirijke sediment, dat vanuit het nabije achterland bij afvoerpieken in troebele en turbulente sedimentwolken het bekken instroomde, nog niet de normale mariene saliniteit had. Pas na bezinking van de klei onder rustige omstandigheden manifesteerde zich de normale saliniteit en vielen de kleivlokken uiteen, met krimp tot gevolg.

Terugblik

Achteraf vraag ik me af waarom ik en geraadpleegde anderen destijds geen idee hadden over dit abiote ontstaan. De eerste vermelding van zulke krimpstructuren is namelijk al gedaan door Jüngst in 1934. Zijn zulke voorkomens dan zo zeldzaam? McMahon en medeauteurs citeren heel wat voorbeelden uit de literatuur, dus nee, zulke krimpstructuren zijn niet zeldzaam. Maar, de meeste van deze artikelen zijn van later datum dan mijn proefschrift (1977). Bovendien scharrelde je in die zeventiger jaren nog niet zo makkelijk literatuurgegevens op. Het is jammer dat ik er destijds niet achter kwam, maar beter laat dan nooit.

Foto's van de auteur.

Literatuur

- Boggs, S., Jr, 2001. Principles of Sedimentology and Stratigraphy, Third Edition. Uitg. Prentice Hall, New Jersey, 726 p.
- Fortuin, A.R. 1977. Stratigraphy and sedimentary history of the Neogene deposits in the Ierapetra Region, Eastern Crete. GUA Papers of Geology, Series 1 (8): 164 p. Proefschrift en/of geologische kaart zijn online te bekijken via www.researchgate.net/publication/280622240_Geo_map_Fortuin-1977_1
- Fortuin, A.R., 1978. Late Cenozoic history of eastern Crete and implications for the geology and geodynamics of the southern Aegean area. Geol. Mijnb., 57 (3): 451-464.
- A.R. Fortuin. (2007). De geologie van Kreta. De ontwikkeling van een stuk plaatgrens in de laatste 35 miljoen jaar. Gea, 40(3), 101-108. Lees online via <https://natuurtijdschriften.nl/pub/415444>.
- McMahon, S., Van Smeerdijk Hood, A. and McIlroy, D., 2017. In: Earth System Evolution and Early Life: A Celebration of the Work of Martin Brasier. Geol. Soc., London, Special Publications, 448: 285-309.
- Pratt, B.R., 1998. Syneresis cracks: subaqueous shrinkage in argillaceous sediments caused by earthquake-induced dewatering. Sedimentary Geology, 117: 1-10.