

RADULA'S EN DE KUNST VAN HET BAGGEREN

door

Paul van der Wal

Enige jaren geleden is er een opmerkelijk project van start gegaan bij de Vakgroep Mariene Biologie van de Universiteit van Groningen naar aanleiding van een vraag uit het bedrijfsleven, zoals hieronder wordt uitgelegd.

De constructie van havens en het uitdiepen en openhouden van kanalen en schiepvaartroutes worden ernstig bemoeilijkt, wanneer de bedding van zee of rivier bestaat uit harde gesteenten. De schepen die gespecialiseerd zijn in het baggeren van dit substraat zijn voorzien van een freesmachine, een getande hemisferische constructie, waarmee het gesteente wordt gebroken. De grootste schepen in deze klasse kunnen echter zoveel schade lijden door slijtage, dat ze soms 50% van de tijd buiten gebruik zijn, hetgeen een enorm rendementsverlies betekent. Pogingen om de constructie te verbeteren faalden. Daarom nodigde een maatschappij, nl. Boskalis B.V. te Sliedrecht, een aantal mensen uit van verschillende disciplines om ideeën op te werpen over andere manieren van baggeren van harde grondsoorten. Een bioloog van de Universiteit van Groningen stelde voor in de leer te gaan bij de natuur: veel dieren zijn gespecialiseerd in het uitgraven van harde gesteenten en men mag verwachten, dat ze zulks zeer efficiënt doen, te oordelen naar het feit, dat ze gedurende miljoenen jaren zijn geëvolueerd. Zijn idee werd overgenomen en financiële middelen werden vrijgemaakt om een inventarisatie te maken van dieren, die harde gesteenten ontgraven. In een tweede stadium zou een gedetailleerd onderzoek worden gedaan aan enige geselecteerde dieren.

Voor het uitvoeren van dit tweede stadium van onderzoek werd een geoloog/bioloog, gespecialiseerd in de elektronenmicroscopie (P. van der Wal), aangesteld voor een periode van vier jaar: van januari 1985 tot januari 1989. De benodigde fondsen werden verkregen van de Stichting voor de Technische Wetenschappen, een stichting die het uitvoeren van toegepast wetenschappelijk onderzoek stimuleert. Twee groepen van weekdieren werden geselecteerd: Patella's of schaalhoorns (Gastropoda) en Chitons of keverslakken (Polyplacophora). Beide groepen leven op stenig substraat, waar ze zich voeden met epi- en endolitische organismen, die van de rotsen worden geschrapt en uitgegraven met de radula, een tandenriem, gelegen in de mondholte. Dit graafapparaat dankt zijn uitschurende werking vooral aan het feit, dat veel van zijn tanden harde, gemineraliseerde punten hebben. De werking, morfologie, bouw, chemische en mineralogische samenstelling, hardheid en elasticiteit van deze gemineraliseerde tanden werden bestudeerd. De technieken, die werden gebruikt, zijn o.a. raster- en transmissie-elektronenmicroscopie, elektronen diffractie, röntgenmicroanalyse, akoestische microscopie en het filmen met hoge snelheid.

In het volgende worden enige resultaten samengevat:

- De volgroeide tand bestaat uit een skelet van organische vezels geïmpregneerd met mineraal materiaal. De vezels zijn georiënteerd

loodrecht op de snijrand en maken een scherpe hoek met het spaanvlak, dat is het vlak, dat voorloopt in de richting van de schraapbeweging. De tand slijt af volgens vlakken, die evenwijdig liggen aan deze vezels. Het gevolg is, dat de wighoek (de hoek tussen spaanvlak en slijtvlak) altijd scherp is (zie tekening). In het voorlopende deel van de tand zijn er ook vezels, die evenwijdig liggen aan het spaanvlak (zie tekening).

- De mineralen die gedetecteerd zijn in de tanden van chitons, zijn magnetiet (Fe_3O_4) in het voorlopende deel en apatiet (Calciumfosfaat) in de rest van de tand, het nalopende deel. In de tanden van Patella's werden goethiet ($\alpha\text{-FeOOH}$) en amorfe siliciumoxide (SiO_2) aangetroffen. De goethiet-kristallen zijn langwerpig, liggen evenwijdig aan de organische vezels en zijn ingebed in het siliciumoxide.

- Ondanks de verschillen in minerale samenstelling zijn de hardheden opvallend gelijk: zowel bij Patella's als bij Chitons bedraagt het Vickers-hardheidgetal ongeveer 450 voor het voorlopende deel van de gemineraliseerde tanden en is twee- of driemaal zo laag voor het nalopende deel.

- Met akoestische microscopie werden snelheden van geluidsgolven bepaald op verschillende plaatsen in gemineraliseerde tanden van Chitons. Met de verkregen waarden konden ruwe schattingen worden gemaakt van de grootte van de elasticiteitsmodulus; in het voorlopende deel varieerde deze tussen 120 en 160 GN/m^2 ; in het nalopende deel bedroeg de modulus ongeveer 50 GN/m^2 .

- Gedurende de schraapbeweging zijn zowel vrijloophoek als spaanhoek positief (zie tekening), wat betekent dat de tand uiterst effectief is bij het verspanen van het substraat.

- De verspreiding, grootte en richting van de spanningen, opgewekt in de tand tijdens het schrapen, werden berekend in tweedimensionale modellen van tanden m.b.t. een speciale rekenmethode: de eindige elementen-analyse. Er werd aangetoond, dat de richtingen van de organische vezels zijn aangepast aan de richtingen van de opgewekte spanningen en ook, dat de plaats en grootte van de elasticiteitsmoduli en de vorm van de gemineraliseerde tanden een positieve invloed hebben op zowel grootte als verspreiding van de spanningen.

- De gemineraliseerde tanden van de radula van Patella's en Chitons hebben een aantal zeer functionele eigenschappen gemeenschappelijk. Aangezien deze combinatie van eigenschappen evolueerde in twee groepen, die taxonomisch ver van elkaar staan, zijn de tanden waarschijnlijk optimaal aangepast aan hun functie.

Gebaseerd op deze resultaten zijn een aantal voorstellen geformuleerd ter verbetering van bestaande baggermachines. Momenteel bestuderen ingenieurs uit de baggerindustrie de haalbaarheid van deze voorstellen.

Fig. 1.

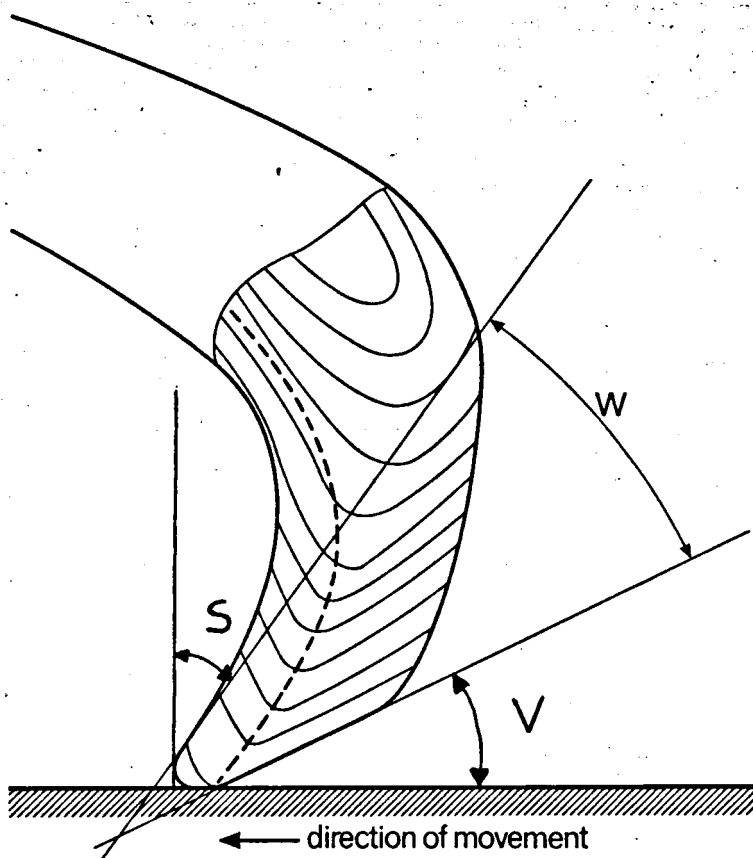


Fig. 1. Lengtedoorsnede van gemineraliseerde tand in schraappositie. De lijnen in de punt geven de richtingen aan van de organische vezels. De stippellijn geeft de afscheiding weer tussen het voorlopende deel (links) en het nalopende deel.

W = wighoek; S = spaanhoek; V = vrijloophoek.