



Enige scheepsbouwkundige berekeningen voor drie werkschuiten  
gevonden op de kavels B19, B51 en B13 in Flevoland (stageverslag)

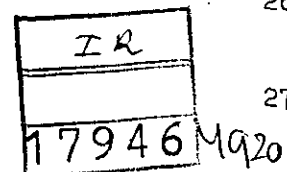
INHOUD	blz.
INLEIDING	2
1 PROBLEEMSTELLING, BEREKENINGSMETHODEN, BEGRIPPEN	3
1.1 Inleiding	3
1.2 Aanvangsstabieliteit	4
1.3 Gewichtsbeoordeling, gewichtszwaartepunt in hoogte en lengte	5
1.4 Gewichts- en zwaartepuntsschatting aan de hand van de schaalmodellen	7
2 MODDERSCHOUW (B19)	8
2.1 Inleiding	8
2.2 Lijntekening	9
2.3 Gewichtsbeoordeling en zwaartepuntsbeoordeling	9
2.4 Hydrostatische berekeningen	10
2.5 Stabieliteitsbeoordeling	13
2.6 Sterktebeoordeling	16
3 VEENDERSCHUIT (B51)	18
3.1 Inleiding	18
3.2 Gewichtsbeoordeling en zwaartepuntsbeoordeling	18
3.3 Hydrostatische berekeningen	19
3.4 Stabieliteitsbeoordeling	20
3.5 Sterktebeoordeling	21
4 VUILNISCHUIT (B13)	22
4.1 Inleiding	22
4.2 Gewichtsbeoordeling en zwaartepuntsbeoordeling	22
4.3 Hydrostatische berekeningen	23
4.4 Stabieliteitsbeoordeling	24
SAMENVATTING	25
BIJLAGES	26
LITERATUUR	27

17946

LITERATUUR

4920

Werkdocumenten zijn als regel eerste versies van te schrijven rapporten (uittypen geschreven tekst) en daardoor uitsluitend bestemd voor intern gebruik. De verantwoordelijkheid voor de tekst berust bij de auteur.



## INLEIDING

Bij het Museum voor Scheepsarcheologie te Ketelhaven is veel interessant materiaal voor scheepsbouwkundig onderzoek aanwezig. De medewerkers van de onderafdeling scheepsarcheologie van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP) verrichten voornamelijk scheepsopgravingen in de IJsselmeerpolders. Gezien het grote aantal scheepsopgravingen dat in het verleden is verricht en het jaarlijks opgraven van enkele scheepswrakken is veel van het onderzoeksmateriaal nog niet verwerkt. De stage in het kader van mijn studie scheepsbouwkunde aan de HTS te Haarlem, was de aanleiding om enig scheepsbouwkundig onderzoek te doen.

Gezien de betrekkelijk korte periode van de stage is besloten om een aantal scheepsbouwkundige berekeningen uit te voeren voor schepen met een eenvoudige vorm en constructiewijze. De schepen die voor dit onderzoek in aanmerking kwamen waren drie 17e eeuwse werkschuiten. Als basis voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de reconstructietekeningen en de schaalmodellen van deze schepen.

Voor de drie 17e eeuwse werkschuiten zijn het scheepsgewicht, de zwaartepuntsligging, het laadvermogen en enkele hydrostatische aspecten bepaald. De langsscheepse sterkte in vlak water is voor twee van deze schepen - de modderschouw en de veenderijschuit - berekend.

Veel van de waarden in dit rapport zijn benaderd omdat een aantal gegevens ontbraken of de bestaande gegevens onnauwkeurig waren. Toch is een zo groot mogelijke nauwkeurigheid bij de berekeningen nastreefd.

Een aantal begrippen en methoden zoals aanvangsstabiliteit, de methode van gewichtsberekening en de gewichtsschatting aan de hand van de schaalmodellen worden uitvoerig behandeld.

Hopelijk kan dit verslag dienen als leidraad voor scheepsbouwkundige berekeningen voor werkschuiten en andere kleine schepen met een eenvoudige vorm.

Tijdens de stage heb ik veel medewerking ondervonden van de medewerkers van de afdeling scheepsarcheologie, in het bijzonder van Rob Oosting die tevens behulpzaam was bij het samenstellen van dit verslag.

E.J. Metz

# 1. PROBLEEMSTELLING, BEREKENINGSMETHODEN, BEGRIPPEN

## 1.1. Inleiding

De aanleiding voor dit onderzoek over scheepsbouwkundige berekeningen voor werkschuiten waren de volgende vragen, die voortvloeiden uit het scheepsarcheologisch onderzoek van deze werkschuiten:

- wat is het maximum gewicht dat het schip redelijkerwijs aan lading kon dragen;
- wat was het soortelijk gewicht van de lading die het schip vervoerde;
- was de stabiliteitsomvang en de langsscheepse sterkte van het schip voldoende?

Naar het antwoord op bovenstaande vragen is op de volgende wijze gezocht:

### - Maximum laadvermogen

Om het laadvermogen van het schip te bepalen is allereerst het gewicht van het lege schip berekend. Vervolgens is de maximale diepgang geschat waarbij het schip nog voldoende vrijboord heeft. Bij deze diepgang is de waterverplaatsing bepaald. Het verschil tussen waterverplaatsing en leegschipgewicht is het maximum laadvermogen.

### - Soortelijk gewicht van de vervoerde lading

Het soortelijk gewicht van de vervoerde lading bij een bepaalde ruiminhoud is berekend door het quotiënt te nemen van het ladinggewicht en de ruiminhoud. Voor de veenderijschuit was af te leiden welk soort veen het schip vermoedelijk had vervoerd. Voor de vuilnischuit is gevonden dat men waarschijnlijk niet alleen het middengedeelte, maar ook het voor- en achterschip als laadruimte gebruikte. Bij de modderschouw zijn de uit oude geschriften bekende gegevens over de hoeveelheid vervoerde modder en de daarbij behorende diepgang van de schouw bevestigd. Hierdoor was het mogelijk het soortelijk gewicht van de vervoerde modder te bepalen.

### - Stabiliteitsomvang en langsscheepse sterkte

Het beoordelen van de stabiliteitsomvang van de werkschuiten is niet eenvoudig, daar er geen gegevens bekend zijn waaraan deze moet voldoen. Omdat bij hellingshoeken groter dan ongeveer  $10^\circ$  van de werkschuiten het water over de boorden zou stromen en de schepen zouden zinken, wordt volstaan met een berekening van het aanvangsmeta-centrum en de aanvangsstabiliteit.

Daar de schepen weinig of geen zegg hadden kan een beschouwing van het reservedrijfvermogen achterwege blijven. Voor een tweetal werkschuiten (modderschouw en veenderijschuit) is voor de maximale belading de langsscheepse sterkte in vlak water berekend.

De volgorde en het aantal uitgevoerde berekeningen was niet voor alle werkschuiten hetzelfde. In het algemeen zijn achtereenvolgens de volgende berekeningen uitgevoerd:

- gewichtsberekening;
- gewichtszwaartepuntbepaling;
- berekening waterverplaatsing;
- berekening ladinggewicht en ladingsdichtheid;
- berekening van het gemeenschappelijk gewichtszwaartepunt;
- berekening van het aanvangsmeta-centrum (MG);
- berekening van het maximale toegestane kenterend moment;
- berekening van het weerstandsmoment van een dwarsscheepse doorsnede (deze berekening is alleen voor de modderschouw en veenderijschuit uitgevoerd);

- berekening van het langsscheeps optredend buigend moment in vlak water (alleen berekend voor de modderschouw en de veenderijschuit).

Voordat nu, per schip, verslag wordt gedaan van de uitgevoerde berekeningen, zal eerst het begrip aanvangsstabiliteit, de methode van de gewichts- en zwaartepuntsbepaling en de gewichtsschatting aan de hand van de schaalmodellen worden besproken.

## 1.2. Aanvangsstabiliteit

In het navolgende zal het begrip aanvangsstabiliteit worden besproken. In bijlage 1 zijn enkele figuren opgenomen die het besprokene duidelijk maken. Allereerst zullen een aantal symbolen en begrippen worden verklaard:

- G = gewichtszwaartepunt van het schip + lading. In dit punt kan men het gehele gewicht geconcentreerd denken;
- B = drukkingspunt. Hier kan men alle opdrijvende kracht geconcentreerd denken;
- M = dwarsmetacentrum. Dit is het middelpunt van de cirkel waarover het drukkingspunt B zich verplaatst bij kleine hellingen.

### Stabiel evenwicht

Wanneer een schip, door één of andere oorzaak, gaat hellen zal het drukkingspunt (B) zich verplaatsen langs een cirkelbaan. Het centrum van deze cirkelbaan noemt men het dwarsmetacentrum (M). Als de helling niet wordt veroorzaakt door het verplaatsen van een gewicht, dan blijft het gewichtszwaartepunt (G) op dezelfde plaats liggen. G is een verticaal naar beneden gerichte kracht, B is een naar boven gerichte kracht. Beide krachten tezamen veroorzaken een oprichtend koppel dat het schip weer recht doet draaien bij een helling. Het dwarsmetacentrum (M) blijft alleen bij kleine hoeken (kleiner  $8^\circ$ ) bij benadering op zijn plaats. Bij grote hoeken verschuift M. De afstand tussen het aanvangsmetacentrum en het gewichtszwaartepunt in hoogte noemt men de metacentrumhoogte (MG). Uit de figuur valt af te leiden dat de dwarsmetacentrumhoogte  $MG = MB + BK - KG$ , hierin is:

- BK = hoogte van het drukkingspunt boven de basis, deze hoogte is uit te rekenen bij de berekening van de waterverplaatsing;
- MB =  $I_x/V$ ,  $I_x$  = het dwarstraagheidsmoment van de waterlijn, V = het volume van het onderwaterschip in  $m^3$ ;
- KG = hoogte van het systeemzwaartepunt van schip en lading boven de basis.

Als M boven G ligt is de aanvangsstabiliteit in principe voldoende, de MG-waarde is dan positief.

### Labiel evenwicht

Wanneer het dwarsmetacentrum (M) tussen het drukkingspunt (B) en het gewichtszwaartepunt (G) ligt, heet het evenwicht labiel. Het scheepsgewicht vormt dan samen met de opdrijvende kracht een kenterend moment. Het schip zal in dit geval verder draaien tot het evenwicht is hersteld. Bij een labiel evenwicht zal de MG-waarde negatief zijn.

### Statische aanvangsstabiliteit

Onder de statische aanvangsstabiliteit van een schip verstaat men het moment van het koppel, gevormd door het scheepsgewicht (G) en de geprojecteerde opdrijvende kracht bij die helling.

Bij een hoek kleiner dan  $6^\circ$  spreekt men meestal over statische aanvangsstabiliteit. In formule:  $S_a = P \times MG \times \sin \varphi$ , waarin P = totale scheepsgewicht, MG = het aanvangsmetacentrum en  $\varphi$  is de optredende hellingshoek.

### Langsstabiliteit

Voor de berekening van de langsstabiliteit kan men in principe uitgaan van hetgeen hiervoor besproken is. De formules voor de berekening van de waarde van het aanvangsmetacentrum en de aanvangsstabiliteit luiden respectievelijk:

- $MG \text{ (langs)} = MB \text{ (langs)} + BK - KG$ , BK en KG hebben dezelfde waarden als bij de berekening van het dwarsmetacentrum,  $MB \text{ (langs)} = I_y/V$  waarin  $I_y$  het langstraagheidsmoment is van de waterlijn;
- $S_a \text{ (langs)} = P \times MG \text{ (langs)} \times \sin \varphi$ .

### Opmerking

Wanneer er in het vervolg van het verslag wordt gesproken over de waarde van het aanvangsmetacentrum (MG), dan wordt hiermee bedoeld de afstand van het gewichtszwaartepunt (G) tot aan het aanvangsmetacentrum voor dwarsscheepse hellingen (M).

### 1.3. Gewichtsbepaling, gewichtszwaartepunt in hoogte en lengte

Bij het maken van hydrostatische berekeningen is het vrijwel in alle gevallen noodzakelijk dat men beschikt over het scheepsgewicht en de ligging van het gewichtszwaartepunt in hoogte en lengte. Aangezien er voor kleine houten vaartuigen geen benaderingsmethoden zijn voor de bepaling van het scheepsgewicht en de zwaartepuntsligging, is men meestal aangewezen op een berekeningsmethode waarbij alle onderdelen in rekening worden gebracht. Voor de gewichts- en zwaartepuntsberekening van de verschillende werkschuiten is gezocht naar een methode waarbij het rekenwerk aanzienlijk kan worden beperkt. Aan de hand van de modderschouw (B19) zal deze methode worden toegelicht.

### Berekeningsvoorwaarden

Enkele voorwaarden waaraan het vaartuig moet voldoen bij de gehanteerde berekeningsmethode zijn de volgende:

- Het schip moet een redelijk lang evenwijdig middenschip hebben van  $0,3/1,0 \times L$  (L = de scheepslengte);
- de constructie in het voor- en achterschip moet niet wezenlijk zwaarder zijn dan in het evenwijdig middenschip;
- bij de berekening van de gewichtscoefficienten van het evenwijdig middenschip worden alleen die constructie-elementen in rekening gebracht die zich zowel in het evenwijdig middenschip als in het voor- en achterschip bevinden.

### Gewichts- en zwaartepuntsberekening in het evenwijdig middenschip

Het evenwijdig middenschip wordt in een topsectie en een bodemsectie verdeeld. Tot de bodemsectie rekenen we de vlakplanken en de leggers tot in de zijde. De overige huidplanken, inhouten, berghouten en andere hoger gelegen delen vormen de topsectie. Oplangers die zowel tot de bodem- als tot de topsectie behoren worden in de zijde denkbeeldig doorgezaagd en bij de verschillende secties in rekening gebracht. Voor de beide secties wordt het gewicht per m<sup>2</sup> oppervlak en het zwaartepunt bepaald.

Als voorbeeld wordt de bepaling van het gewicht van de bodemsectie besproken. Allereerst wordt er een doorsnede gemaakt over de bodem in een stuk waar zich geen legger bevindt. Het oppervlak van de doorsnede (A<sub>v</sub>) vermenigvuldigd met de lengte van het evenwijdig middenschip (l) geeft de inhoud van de vlakplanken (I-vlak = A<sub>v</sub> x l). Vervolgens wordt de inhoud van de leggers op het vlak bepaald. Stel dat er zich 6 leggers van 3,00 m lengte op het vlak bevinden en de hoogtes van de leggers respectievelijk 10, 11, 12, 9, 10 en 8 cm zijn. De oppervlakte van de doorsnede A<sub>l</sub> = 30 x (1,0 + 1,1 + 1,2 + 0,9 + 1,0 + 0,8) / 6 = 30 dm<sup>2</sup>. Wanneer de leggers diktes hebben van respectievelijk 12, 15, 16, 18, 17 en 13 cm dan is de inhoud van de leggers I-leggers = 30 x (1,2 + 1,5 + 1,6 + 1,8 + 1,7 + 1,3) = 273 dm<sup>3</sup>.

De totale inhoud van het in de bodem verwerkte hout is: I-bodem = I-vlak + I-leggers. Het gewicht van de bodemsectie P-bodem = I-bodem x ρ eikehout. Het soortelijk gewicht van nat eikehout (ρ) bedraagt ongeveer 0,90 kg/dm<sup>3</sup>. De gewichtscoefficiënt voor de bodemsectie per m<sup>2</sup> vinden we nu door het quotiënt te nemen van het gewicht van de bodemsectie en het oppervlak van de bodemsectie (g-bodem = ρ x I-bodem / A-bodem). Tegelijkertijd met de gewichtsberekening wordt het zwaartepunt van de bodemsectie in het evenwijdig middenschip bepaald.

Op dezelfde wijze als hiervoor omschreven is wordt een gewichtscoefficiënt (g-top) per m<sup>2</sup> huidoppervlak en het gewichtszwaartepunt voor de topsectie in het evenwijdig middenschip bepaald.

### Gewichts- en zwaartepuntsberekening in het voor- en achterschip

Met behulp van de gewichtscoefficiënten per m<sup>2</sup> huidoppervlak die berekend zijn voor de bodem- en topsectie in het evenwijdig middenschip, wordt het gewicht van het voor- en achterschip bepaald. Zo is bijvoorbeeld het gewicht van het achterschip: P-achter = (g-top x A-top<sub>achter</sub>) + (g-bodem x A-bodem<sub>achter</sub>).

De zwaartepuntsligging in hoogte voor de bodem- en topsectie in het voor- en achterschip is, bij benadering, hetzelfde. Aangezien het voor- en achterschip gelijkvormig zijn hoeft de ligging van het scheepszwaartepunt in lengte niet te worden bepaald.

### Scheepsgewicht en zwaartepuntsligging

Tot slot worden de gewichten van de top- en bodemsecties in voor/achter- en evenwijdig middenschip bij elkaar geteld en is het totale scheepsgewicht bekend. Met behulp van de momentenstelling wordt het scheepszwaartepunt in hoogte bepaald. Door de gelijkvormigheid van het voor- en achterschip zal het scheepszwaartepunt in lengte op de halve

scheepslengte ( $L/2$ ) liggen. Bij deze totaalberekening worden scheeps-  
onderdelen die zich alleen in voor/achter- of het evenwijdig midden-  
schip bevinden (zoals slijtplanken, dekken enz.) extra in rekening  
gebracht. Als voorbeeld voor een dergelijke totaalberekening wordt ver-  
wezen naar de "gewichtsberekening en zwaartepuntsbepaling voor de modder-  
schouw" (2.3.).

#### 1.4. Gewichts- en zwaartepuntsschatting aan de hand van de schaal- modellen

Aan de hand van de reconstructietekeningen van de vier werkschuiten  
waren modellen (schaal 1 : 20) vervaardigd. Bij de bouw van de modellen  
zijn alle onderdelen nauwkeurig nagemaakt van hetzelfde materiaal als  
tijdens de opgraving was aangetroffen. IJzeren onderdelen, houten  
pennen, nagels en bouten zijn op de juiste plaatsen in de modellen aan-  
gebracht.

Het ligt nu voor de hand te veronderstellen dat, wanneer door weging  
van de modellen het gewicht bekend is, het scheepsgewicht kan worden  
bepaald door het modelgewicht te vermenigvuldigen met de schaalfactor <sup>3</sup>  
(20<sup>3</sup>). Het aldus gevonden scheepsgewicht moet nog gecorrigeerd worden  
met een factor 90/85, het verschil in soortelijk gewicht tussen nat  
en droog eikehout. Voor het model is droog eikehout gebruikt, bij de  
gewichtsberekeningen van de werkschuiten is gerekend met een soorte-  
lijk gewicht van 0,90 kg/dm<sup>3</sup>. Controle van de door de modelschatting  
gevonden scheepsgewichten met de berekende scheepsgewichten leverde  
een grootste fout van 10% op.

Ter controle van de berekeningen van de gewichtszwaartepunten in hoogte  
is getracht de gewichtszwaartepunten in hoogte van de modellen te  
bepalen. Hiertoe werden bij de modellen op de berekende hoogten van de  
zwaartepunten spelden of assen in de voor- en achterstevan aangebracht.  
Vervolgens zijn de modellen aan deze spelden of assen opgehangen.  
Wanneer nu het gewichtszwaartepunt van het model (op schaal) overeen-  
komt met het berekende gewichtszwaartepunt dan moet het evenwicht van  
het opgehangen model juist labiel zijn. Als de spelden of assen iets  
lager worden aangebracht dan moet het evenwicht van het opgehangen  
model weer stabiel zijn. Uit de modelschatting van het gewichtszwaarte-  
punt in hoogte kwamen velerlei waarden, sommigen klopten vrijwel met  
de berekende waarden, andere vertoonden grote afwijkingen.

Gezien de grote optredende verschillen tussen de berekende waarden  
van de gewichtszwaartepunten en de geschatte waarden van de gewichts-  
zwaartepunten aan de hand van de modellen, lijkt een schatting van het  
gewichtszwaartepunt in hoogte met behulp van de modellen niet verant-  
woord. Om deze reden zijn bij de berekening van de gewichtszwaarte-  
punten van de werkschuiten de geschatte waarden niet vermeld. Wel zijn  
de waarden van de gewichtsschattingen door weging van de modellen bij  
de gewichtsberekeningen vermeld.

## 2. MODDERSCHOUW (B19)

### 2.1. Inleiding

De modderschouw is een schip met een lengte van 16,32 m, een grootste breedte van 3,92 m en een holte van 0,81 m. Het schip heeft overnaads gebouwde zijden en een karveel gebouwd vlak met hoekige kimmén. De voor- en achterstevén zijn recht en sterk vallend zodat het schip een vletachtig uiterlijk heeft. De schouw is door twee zware schotten in drie compartimenten verdeeld. De twee schotten begrenzen het laadruim. Het voor- en achterschip dienen als twee waterdichte compartimenten daar zij door huid, dek en schotten goed worden afgesloten.

De modderschouw was bestemd om het opgebaggerde Amsterdamse havenslib te vervoeren naar voor dump bestemde gronden. De modder werd bij die gronden met de hand uit de schouw geschept. In de schouw is een zogenaamde boezemschop gevonden. In de 17e eeuw nam het dichtslibben van de haven steeds meer toe. Tussen 1674 en 1684 werd een onderzoek verricht naar de jaarlijkse aanslibbing, de produktie van de moddermolens en het transport van de modder. Het resultaat van dit onderzoek was dat men een advies uitbracht over het juiste aantal moddermolens en modderschouwen om de havens op diepte te houden. Vooral het aantal modderschouwen is hierbij belangrijk omdat een juist aantal modderschouwen het efficiënt werken van de molens bevorderde. Te weinig schouwen om de modder af te voeren resulteerden in het werkeloos liggen van de moddermolens.

Vlak, stevens, zijden, inhouten en schotten van de modderschouw zijn gemaakt van eikehout. De constructiedelen zijn aan elkaar bevestigd met behulp van houten pennen, spijkers en rozebouten. Het vlak bestaat uit 5-6 cm dikke planken van verschillende breedte. De overnaads gebouwde zijden bestaan uit twee gangen met daarop een berghoutsgang. De gangen lopen van steven tot steven met aan voor- en achterzijde, tussen de stevens en schotten, een extra gang waardoor zeeg ontstaat. Voor het verband tussen het vlak en de zijden zijn kromhouten, leggers, oplangers en kalven gebruikt. De leggers zijn op het vlak geplaatst en lopen van kim tot kim. Tegen de leggers staan kromhouten die vanaf de bovenkant van de zijde tot op het vlak lopen. De ruimte tussen de kromhouten is opgevuld met kalven. Bij de stevens zijn alleen kromhouten gebruikt.

De zijden worden met elkaar verbonden door drie dwarsbalken. Deze dwarsbalken rusten in klampen die aan de zijden zijn vastgespijkerd. Rozebouten en een T-vormig plat stuk ijzer zorgen voor een goede verbinding met de berghoutsgang. Aan de bovenzijde van de dwarsbalken bevinden zich aan de voor- en achterzijde uitsparingen waarin men aan bak- en stuurboord planken kon leggen die als loopplanken dienden tijdens het voortbomen van de schouw. De schotten bestaan uit twee planken van ongeveer 45 cm hoogte en 10 cm dikte. De schotten zijn met rozebouten aan de berghouten vastgemaakt.



## 2.2. Lijntekening

De voor- en achtersteven van de modderschouw vallen respectievelijk voor- en achterover, terwijl de zijden van het schip naar buiten vallen. Dit heeft tot gevolg dat bij een diepgangsverandering het waterlijnoppervlak zal veranderen. Hierdoor zal bij een grote diepgang meer gewicht nodig zijn om het schip 1 cm te doen inzinken dan bij een kleine diepgang. Berekeningen over draagvermogen, stabiliteit en dergelijke zijn dan nauwelijks te maken zonder lijntekening. Deze argumenten gaven aanleiding om een lijntekening (bijlage 2) van de modderschouw te maken.

Tijdens het onderzoek (1979-1980) was reeds een reconstructietekening gemaakt, waarop het verloop van de gangen in boven- en zijaanzicht en een aantal reconstructiedwarsdoorsneden zijn aangegeven. Bij het maken van de lijntekening is alleen de stuurboordzijde opgemeten en getekend. Hierbij is er dus van uitgegaan dat het schip bij benadering symmetrisch was gebouwd, iets dat in de praktijk niet altijd het geval was. De ontbrekende gegevens aan de stuurboordzijde zijn aangevuld met de gegevens van de bakboordzijde. De lijntekening is gemeten en getekend op binnenkant huid.

Nadat het netwerk voor de lijntekening nauwkeurig op papier was gezet zijn het zij- en bovenaanzicht van het schip, het verloop der gangen en de dwarsdoorsneden uit de reconstructietekening overgenomen. Vervolgens is met behulp van deze gegevens het spantenraam getekend. Vanuit dit spantenraam zijn de waterlijnen uitgestrookt. Punten die, bij het stroken, buiten een bepaalde waterlijn vielen zijn in het spantenraam gecorrigeerd, met behulp van dit gecorrigerde spantenraam zijn weer nieuwe waterlijnen uitgestrookt. Door op deze wijze een aantal iteraties uit te voeren is een redelijk nauwkeurige weergave van de scheepslijnen verkregen. Ter controle van de lijntekening maakt men meestal nog een aantal verticale en scheve doorsneden (de zogenaamde verticalen en senten) van de scheepsvorm. In dit geval is dit achterwege gelaten daar de gegevens uit het gangenplan een voldoende nauwkeurigheid waarborgen.

Aan de hand van de lijntekening zijn een aantal hydrostatische berekeningen uitgevoerd (zie 2.4). De oppervlakten van de verschillende dwarsdoorsneden tot aan de waterlijnen zijn met behulp van een planimeter bepaald. Deze spantoppervlakten uitgezet tegen de diepgang en uitgestrookt per spant geven de zogenaamde "Bonjeankrommen" (zie lijntekening). Voor één bepaalde lastlijn (zie 2.5. blz. 13/14) is een kromme van spantoppervlakten (afgekort K.v.S.O.) in de lijntekening weergegeven.

## 2.3. Gewichtsberekening en zwaartepuntsbepaling

Het scheepsgewicht en de ligging van het scheepszwaartepunt in hoogte zijn op de in paragraaf 1.3. besproken wijze bepaald. In de navolgende tabel is de berekening weergegeven.

1	2	3	4
Onderdeel	Inhoud (dm <sup>3</sup> )	X <sub>z</sub> (cm)	Produkt (2 x 3)
Bodemsectie: vlak	1554,7	3,0	4664,19
leggers	1274,5	12,1	15421,45
Topsecties : zonder inh.	857,4	84,8	36353,76
met inh.	570,8	81,6	23288,64
Vlak voorschip	496,5	7,1	3525,15
Vlak achterschip	477,1	7,1	3387,41
Zijden voor en achter	1358,4	41,7	56645,28
Schotten	250,0	49,2	12300,00
Dwarsbalken	45,0	72,5	3262,50
Dek achter	355,9	100,0	35590,00
Dek voor	458,2	90,0	41238,00
Dekbalkjes	89,1	92,5	8241,75
Stevens	233,3	60,0	13998,00
Acht loopplanken	163,8	80,0	13104,00
	$\Sigma 1 = 8184,7$		$\Sigma 2 = 271020,04$

De totale inhoud van het in het schip verwerkte hout is 8184,7 dm<sup>3</sup>. Uitgaande van een soortelijk gewicht  $\gamma = 0,90 \text{ kg/dm}^3$  van nat eikehout wordt het scheepsgewicht  $\gamma \times \Sigma 1 = 0,90 \times 8184,7 = 7366,23 \text{ kg}$ . Het gewichtszwaartepunt in hoogte van het schip ligt op  $\Sigma 2 / \Sigma 1 = 271020,04 / 8184,7 = 33,1 \text{ cm}$  boven de basis. Dit zwaartepunt ligt onder de halve holte hetgeen te verwachten was, daar er op het grootste gedeelte van de modderschouw geen dek ligt.

Uit de modelschatting volgt een scheepsgewicht van 6500 kg. Gecorrigeerd voor het op het model ontbrekende voordek wordt het scheepsgewicht  $6500 + 412 = 6912 \text{ kg}$ . Het procentuele verschil bedraagt:  $(7366 - 6912) / 7366 \times 100\% = 6,16\%$ . In werkelijkheid zal deze fout minder zijn omdat het gewogen model van droog eikehout is gebouwd (s.g. = 0,85 kg/dm<sup>3</sup>), terwijl bij de gewichtsberekening gerekend is met nat eikehout (s.g. = 0,90 kg/dm<sup>3</sup>).

#### 2.4. Hydrostatische berekeningen

Aan de hand van het lijnenplan, dat van de modderschouw is getekend, zijn een aantal hydrostatische berekeningen uitgevoerd. Voor iedere waterlijn zijn (op buitenkant huid) met behulp van de 1e regel van Simpson, een in de scheepsbouw veel gebruikte benaderingsformule ter bepaling van oppervlakten, inhouden enz., de volgende waarden bepaald:

- Het waterlijnoppeervlak in m<sup>2</sup> (Awl);
- de ligging van het waterlijnzwaartepunt in lengte in m (x<sub>a</sub>);
- het dwarstraagheidsmoment van de waterlijn in m<sup>4</sup> (Ix);
- het langstraagheidsmoment van de waterlijn in m<sup>4</sup> (Iy).

Voor de overzichtelijkheid zijn de berekeningstabellen niet in dit verslag opgenomen. De voor iedere waterlijn gevonden waarden zijn uitgezet tegen de diepgang en vervolgens zijn er krommen door de uitgezette punten heengestroekt (zie bijlage 3).

Er geldt nu dat het oppervlak ingesloten door de kromme van waterlijn-oppervlakken en de diepgangslijn de carène-inhoud (= waterverplaatsing) in m<sup>3</sup> voorstelt. Het zwaartepunt van bovengenoemd oppervlak geeft de hoogte van het drukingspunt (BK = zwaartepunt van de carène-inhoud) in m ten opzichte van de basis aan. In de volgende tabel zijn, met de eerste regel van Simpson, de carène-inhoud en het drukingspunt in hoogte tot de verschillende waterlijnen berekend. De gevonden waarden zijn vervolgens uitgezet in bijlage 3 en door de punten zijn krommen gestrookt.

Waterlijn	W.L.Opp.	Opp.factor	Produkt	Mom.factor	Produkt
0	0,0	1	0,0	0	0,0
½	36,0	4	144,0	1	144,0
1	39,2	1	39,2	2	78,4
			Σ1 = 183,2		Σ1 <sup>1</sup> = 222,4
1	39,2	1	39,2	2	78,4
1½	41,7	4	166,8	3	500,4
2	44,2	1	44,2	4	176,8
			Σ2 = 433,4		Σ2 <sup>1</sup> = 978,0
2	44,2	1	44,2	4	176,8
2½	46,4	4	185,6	5	928,0
3	48,4	1	48,4	6	290,4
			Σ3 = 711,6		Σ3 <sup>1</sup> = 2373,2
3	48,4	1	48,4	6	290,4
3½	50,5	4	202,0	7	144,0
4	52,4	1	52,4	8	419,2
			Σ4 = 1014,4		Σ4 <sup>1</sup> = 4496,8

De verschillende carène-inhouden (V) en drukingspunten (BK) kunnen nu met de volgende formules worden berekend:  $V = c \times l \times \Sigma$ ,  $BK = l \times \Sigma^1 / \Sigma$   
Hierin is:  $c = 1/3$  voor de 1e regel van Simpson

$l$  = ordinaatsafstand (= onderlinge afstand tussen de waterlijnen)

$l = 0,1$  m.

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 1/3 \times 0,1 \times 183,2 = 6,11 \text{ m}^3 & BK_1 &= 0,1 \times 222,4 / 183,2 = 0,12 \text{ m} \\
 V_2 &= 1/3 \times 0,1 \times 433,4 = 14,45 \text{ m}^3 & BK_2 &= 0,1 \times 978,0 / 433,4 = 0,23 \text{ m} \\
 V_3 &= 1/3 \times 0,1 \times 711,5 = 23,72 \text{ m}^3 & BK_3 &= 0,1 \times 2373,2 / 711,6 = 0,33 \text{ m} \\
 V_4 &= 1/3 \times 0,1 \times 1014,4 = 33,81 \text{ m}^3 & BK_4 &= 0,1 \times 4496,8 / 1014,4 = 0,44 \text{ m}
 \end{aligned}$$

In de waterverplaatsingskromme kan men aflezen hoe groot de waterverplaatsing is bij een bepaalde diepgang. Wanneer men de waterverplaatsing (V) vermenigvuldigt met het soortelijk ( $\gamma$ ) van het verplaatste water vindt men het displacement in formule:  $D = \gamma \times V$ . Het laadvermogen bij een bepaalde diepgang vindt men nu uit  $W_{\text{lading}} = D - W_{\text{schip}}$  (= scheepsgewicht + ballast). Uit bronnen, van de Gemeentelijke Archiefdienst van Amsterdam, is omtrent de belading van modderschouwen bekend dat deze voorzien waren van bouten en merken om de

juiste hoeveelheid modder te laden. In de modderschouw zijn deze bouten en merken niet gevonden, wel is het mogelijk dat men met deze merken de koppen van de rozebouten aanduidde. Volgens voorschrift moest een dubbele modderschouw met 2,5 schaft modder worden geladen (zie Reinders, Modderwerk blz. 26). Voor verschillende beladingstoestanden zal nu onderzocht worden in hoeverre deze bronvermeldingen juist zijn.

Het soortelijk gewicht van modder bedraagt gewoonlijk  $1,8 \text{ kg/dm}^3$ . In de modderschouw werd Amsterdams havenslib vervoerd, dit havenslib zal vermoedelijk een lager soortelijk gewicht van  $1,25 \text{ kg/dm}^3$  hebben. Voor beide genoemde soortelijke gewichten van modder zijn de beladingstoestanden doorgerekend.

#### Beladingstoestand 1: Gehele ruim gevuld met modder

De totale ruiminhoud tussen de dwarsschotten minus de inhoud van de inhouten bedraagt  $22,17 - 1,45 = 20,72 \text{ m}^3$ . Het scheepsgewicht (inclusief ballast) is ongeveer 7800 kg.

Bij een soortelijk gewicht van de modder van  $1,25 \text{ kg/dm}^3$  wordt het displacement  $D = 1250 \times 20,72 + 7800 = 33700 \text{ kg}$ . Bij dit displacement is de diepgang 80,5 cm (zie bijlage 3) en het resterende vrijboord 0,5 cm op het grootspant (ordinaat 10). Deze situatie is uitermate gevaarlijk omdat bij een klein lek in voor- of achterschip het schip zal zinken.

Het zal duidelijk zijn, gezien het resterende vrijboord van 0,5 cm, dat bij een belading van het gehele ruim met modder met een soortelijk gewicht van  $1,8 \text{ kg/dm}^3$  het schip zal zinken. Wel kan de conclusie worden getrokken dat wanneer het schip niet geheel beladen is met modder met een s.g. =  $1,25 \text{ kg/dm}^3$  het ruim vol kan slaan met water (s.g. =  $1,00 \text{ kg/dm}^3$ ) zonder dat het schip zinkt.

#### Beladingstoestand 2: Schip geladen tot aan de rozebouten

De ruiminhoud tussen de dwarsschotten tot aan de rozebouten bedraagt  $16,06 \text{ m}^3$ . Het scheepsgewicht inclusief ballast is 7800 kg.

Bij belading met modder met een soortelijk gewicht van  $1,25 \text{ kg/dm}^3$  wordt het displacement  $D = 1250 \times 16,06 + 7800 = 27875 \text{ kg}$ . De diepgang is dan 69 cm (zie bijlage 3) en het resterende vrijboord is dan 12 cm op het grootspant. Opvallend is dat bij deze diepgang de aan de buitenzijde zichtbare rozebouten juist aan het wateroppervlak liggen.

Gerekend met een soortelijk gewicht van modder van  $1,8 \text{ kg/dm}^3$  wordt het displacement  $D = 1800 \times 16,06 + 7800 = 36708 \text{ kg}$ . Bij deze belading zou het schip zinken.

#### Beladingstoestand 3: Schip geladen met $2\frac{1}{2}$ schaft modder

In archieven staat vermeld dat dubbele modderschouwen  $2,5$  schaft modder konden laden. Eén schaft is gelijk aan 144 cubieke Rijnlandse voet. Eén Rijnlandse voet is 0,314 m, zodat een cubieke voet  $0,030959 \text{ m}^3$  is. Eén schaft is dan  $144 \times 0,030959 = 4,4581 \text{ m}^3$ . Bij belading met  $2\frac{1}{2}$  schaft modder is de ruiminhoud  $11,15 \text{ m}^3$ .

Wanneer havenslib wordt vervoerd met een s.g. = 1,25 kg/dm<sup>3</sup> is het displacement  $D = 1250 \times 11,15 + 7800 = 21738$  kg. Bij dit displacement is de diepgang 55 cm en het resterende vrijboord 26 cm op het grootspant.

Uitgaande van modder met een s.g. = 1,8 kg/dm<sup>3</sup> wordt het displacement  $D = 1800 \times 11,15 + 7800 = 27870$  kg. Bij dit displacement is de diepgang 69 cm en het resterende vrijboord 12 cm op het grootspant. In dit geval zal het schip aan de buitenzijde tot aan de rozebouten inzinken.

### Conclusie

De in de literatuur vermelde belading met 2½ schaft modder zal waarschijnlijk zuivere, weinig water bevattende, modder zijn geweest met een soortelijk gewicht van 1,8 kg/dm<sup>3</sup>. In de praktijk kwam dit er op neer dat men het schip zo zwaar mocht beladen dat de koppen van de rozebouten juist het wateroppervlak raakten. Bij deze beladingstoestand is het reservedrijfvermogen ruimschoots voldoende. De diepgang is 69 cm, het resterende vrijboord 12 cm op het grootspant. Totaal werd er per vaart 2½ schaft (= ongeveer 20 ton) modder afgevoerd.

Bij de verdere beschouwingen over stabiliteit, trim en langsscheepse sterkte wordt uitgegaan van een diepgang van 69 cm en een displacement  $D = 21738$  kg.

## 2.5. Stabiliteitsbeschouwing

### Dwarsstabiliteit

Bij de beoordeling van de dwarsstabiliteit is er rekening mee gehouden dat er op de lading een laag water staat. Dit zogenaamde "vrije vloeistofoppervlak" heeft een grote nadelige invloed op de stabiliteit. Verder is aangenomen dat de lading gelijkmatig verdeeld in het ruim ligt. Gezien de hoeveelheid water in de modder (waterfactor = 3) wordt taludvorming uitgesloten.

Zoals eerder besproken (zie 1.2.) is de waarde van het aanvangsmeta-centrum (MG) bepalend voor de aanvangsstabiliteit. De waarde van MG wordt berekend met de formule:  $MG = MB + BK - KG$ .

$$MB = I_x/V = 54,2 / 27,8703 = 1,94 \text{ m}$$

$$I_x = 54,2 \text{ m}^4 \text{ (zie tabel bijlage 3 bij } T = 0,69 \text{ m)}$$

$$V = 27,8703 \text{ m}^3 \text{ (zie tabel bijlage 3 bij } T = 0,69 \text{ m)}$$

$$BK = 0,382 \text{ m (zie tabel bijlage 3 bij } T = 0,69 \text{ m)}$$

$$KG = 0,368 \text{ m (berekend voor schip met lading)}$$

$$MG = 1,94 + 0,382 - 0,368 = 1,954 \text{ m.}$$

De correctie op de aanvangsstabiliteit ten gevolge van het vrije vloeistofoppervlak wordt in rekening gebracht door uit te gaan van een stijging van het gewichtszwaartepunt (GK). Deze stijging is slechts schijnbaar en wordt veroorzaakt door het bewegen van het water naar de

lage kant van het schip bij het hellen. De schijnbare zwaartepuntsstijging ( $GG'$ ) wordt berekend met behulp van de volgende formule:

$$GG' = \gamma' \times i_x / \gamma \times V.$$

Hierin is:

$\gamma'$  = het soortelijk gewicht van de zich in het schip bevindende vloeistof

$i_x$  = het dwarstraagheidsmoment van het vrije vloeistofoppervlak

$\gamma$  = soortelijk gewicht van het water

$V$  = volume van het onderwaterschip.

Voor de modderschouw =  $GG' = 1 \times 9,12 / 1 \times 27,8703 = 0,327$  m. Bij correctie voor het vrij vloeistofoppervlak wordt het aanvangsmetacentrum  $MG' = 1,954 - 0,327 = 1,627$  m.

Tot een hellingshoek van ongeveer  $8^\circ$  kan het kenterend moment berekend worden met de formule:  $M_k = \gamma \times V \times MG' \times \tan \phi$ . De maximale hoek die het schip kan maken voordat de boorden overstromen is  $3,5^\circ$ . Hieruit volgt dat het maximaal toegestane kenterend moment  $M_k = 1,00 \times 27,8703 \times 1,627 \times \tan 3,5^\circ = 2,772$  tonm. Bij benadering kan worden gesteld dat het maximaal toegestaan kenterend moment overeenkomt met het verplaatsen van 18 man (à 77 kg) vanuit hart schip naar één van de boorden. De invloed van de hoogte van het zwaartepunt van het gewicht, bestaande uit 18 personen, op het systeemzwaartepunt (schip + lading + 18 personen) en het aanvangsmetacentrum (MG) is buiten beschouwing gelaten.

### Langsstabiliteit

In het achterschip van de modderschouw is 500 kg ballast aangetroffen. Hierdoor is het noodzakelijk een berekening te maken voor de vertrimming en de langsstabiliteit.

Voor de berekening van de langsstabiliteit wordt eerst het aanvangsmetacentrum in langsrichting bepaald met behulp van de formule:

$$M_1G = M_1B + BK - KG.$$

De  $M_1B$  waarde wordt gedefinieerd door  $I_y/V$  waarin  $I_y$  het langstraagheidsmoment van de waterlijn is.

$$M_1B = 726/27,870 = 26,05 \text{ m}$$

$$I_y = 726 \text{ m}^4 \text{ (zie tabel bijlage 3 bij } T = 0,69 \text{ m)}$$

$$V = 27,879 \text{ m}^3 \text{ (zie tabel bijlage 3 bij } T = 0,69 \text{ m)}$$

$$BK = 0,382 \text{ m} \text{ (zie tabel bijlage 3 bij } T = 0,69 \text{ m)}$$

$$KG = 0,368 \text{ m} \text{ (berekend voor schip met lading)}$$

$$M_1G = 26,05 + 0,382 - 0,368 = 26,06 \text{ m.}$$

Ten gevolge van de 500 kg ballast in het achterschip zal het schip vertrimmen over een hoek  $\tan \phi = (p \times y_p) / (\gamma \times V \times M_1G)$  hierin is:

$p$  = verplaatste gewicht = 0,50 ton

$y_p$  = verplaatsingsafstand = 5,00 m

$\gamma \times V$  = gewicht van het verplaatste water = 27,870 ton

$M_1G$  = langsmetacentrum = 26,06 m

$\tan \phi = (0,5 \times 5) / (27,870 \times 26,06) = 0,0034$ , de hierbij behorende hellingshoek  $\phi = 0,20^\circ$ .

Door het ballastgewicht in het achterschip zal het scheepszwaartepunt zich verplaatsen over een afstand van  $GG' = (p \times y_p) / P = (0,5 \times 5) / 27,870 = 0,09$  m. De diepgangen voor en achter worden op de volgende wijze berekend:

$$T_v = T - (L/2 + 0,09) \times \tan \varphi = 0,69 - (8,15 + 0,09) \times \tan 0,20^\circ = 0,66 \text{ m}$$

$$T_a = T + (L/2 - 0,09) \times \tan \varphi = 0,69 + (8,15 - 0,09) \times \tan 0,20^\circ = 0,72 \text{ m}$$

Het optredende diepgangverschil in volbeladen toestand ten gevolge van de 500 kg ballast in het achterschip is gering.

Als antwoord op de vraag waarom men ballast in het achterschip had aangebracht kan het volgende worden aangevoerd:

- Door de ballast in het achterschip is de schouw in lege toestand beter bestuurbaar;
- tijdens de bouw is het achterschip te vol uitgevallen waardoor men ballast moest aanbrengen om dit te compenseren. Erg waarschijnlijk is deze laatste reden echter niet daar controle van de maten van voor- en achterschip en vergelijking met de modderschouw (MZ6) weinig afwijkingen vertonen.

Ter controle van de waterverplaatsing is de bij de hellende lastlijn behorende kromme van spantoppervlakken in het lijnenplan getekend (zie lijnenplan bijlage 2). Het oppervlak onder deze kromme (afgekort K.v.S.O.) is een maat voor de carène-inhoud. In de navolgende tabel is door middel van berekening met de 1e regel van Simpson de waterverplaatsing bepaald.

1	2	3	4
Spantnummer	Spantoppervlak(m <sup>2</sup> )	Opp.factor	Produkt(2 x 3)
0	0,00	1	0,00
1	0,12	4	0,48
2	0,74	2	1,48
3	1,64	4	6,56
4	2,22	2	4,44
5	2,30	4	9,20
6	2,38	2	4,76
7	2,34	4	9,36
8	2,32	2	4,64
9	2,30	4	9,20
10	2,28	2	4,56
11	2,26	4	9,02
12	2,24	2	4,48
13	2,24	4	8,96
14	2,20	2	4,40
15	2,14	4	8,56
16	1,92	2	3,84
17	1,48	4	5,92
18	0,78	2	1,56
19	0,12	4	0,48
20	0,00	1	0,00 +

$\Sigma = 101,90$

De waterverplaatsing  $V = c \times l \times \Sigma 1 = 1/3 \times 0,8155 \times 101,90 = 27,70 \text{ m}^3$ .  
 $c = \text{coëfficiënt} = 1/3$   
 $l = \text{ordinaatsafstand} = 0,8155 \text{ m}$ .

De eerder gevonden waarde voor de waterverplaatsing bij een diepgang van  $T = 1,69 \text{ m}$  is  $V = 27,87 \text{ m}^3$ . Het verschil in de berekende waterverplaatsing voor een diepgang van  $0,69 \text{ m}$  en de waterverplaatsing bij de hellende lastlijn bedraagt slechts  $0,6\%$ . Hetgeen aantoont dat de voorgaande berekeningen voldoende nauwkeurig zijn.

## 2.6. Sterktebeschouwing

Als laatste berekening voor de modderschouw is een langsscheepse sterktebeschouwing gemaakt, dit om te controleren of de bepaalde hoeveelheid modder in het schip kan worden geladen zonder dat dit ontoelaatbaar ging vervormen of in tweeën brak.

Uit de toegepaste mechanica komt de volgende formule:  $M_b = \sigma_b \times W_b$

Hierin is:  $M_b = \text{maximaal toelaatbaar buigend moment}$

$\sigma_b = \text{de maximale toelaatbare buigspanning in het materiaal}$

$W_b = \text{het weerstandsmoment van de zwakste doorsnede}$

$W_b = I_o/e$

$I_o = \text{het traagheidsmoment van de beschouwde doorsnede t.o.v. de neutrale as}$

$e = \text{de uiterste vezelafstand}$

De maximale toelaatbare buigspanning voor nat eikehout is  $\sigma_b = 120 \text{ kgf/cm}^2$ . Het weerstandsmoment van de zwakste doorsnede, dit is een dwars-scheepse doorsnede waarbij leggers en oplangers buiten beschouwing worden gelaten, bedraagt  $W_b = 38292 \text{ cm}^3$ . Het maximaal toelaatbare moment dat mag optreden bedraagt:  $M_b = 38292 \times 120 = 4595040 \text{ kgfcm} = 45,95 \text{ tonm}$ .

Het grootste optredende buigende moment in vlak water dat kan optreden in het volbeladen schip wordt als volgt berekend. De belastingen in de vorm van ladinggewicht, opdrijvende kracht, ballast en scheepsgewicht zijn grafisch uitgezet (zie bijlage 4). Voor dit samengestelde belastinggeval zijn vervolgende de belastinglijn (q-lijn) en de dwarskrachtenlijn (D-lijn) bepaald. Het maximale buigende moment treedt op halverwege het schip ( $L/2$ ) en is bepaald door middel van voortschrijdende oppervlakteberekening van de D-lijn. Dit maximaal optredende buigende moment bedraagt  $7,553 \text{ tonm}$ . De maximale optredende buigspanning bedraagt  $\sigma_b = 755300/38292 = 19,72 \text{ kgf/cm}^2$ . Gezien het maximale toelaatbare buigend moment van  $45,95 \text{ tonm}$  en de maximale toelaatbare buigspanning van  $120 \text{ kgf/cm}^2$ , is de langsscheepse sterkte van de modderschouw ruimschoots voldoende.

Berekeningen voor het buigend moment in golven zijn niet gemaakt daar deze leiden tot gecompliceerde berekeningen. Wel mag men aannemen dat, gezien de ruime marges tussen maximale toegestane buigend moment en buigspanning enerzijds en maximaal optredende buigend moment en buigspanning anderzijds, in niet al te extreme golfcondities het schip sterk genoeg is. Hieraan kan nog worden toegevoegd dat de modderschouwen meestal in beschut water voeren.



Opmerking: Bij de berekening van het traagheidsmoment ( $I_0$ ) van de zwakste doorsnede is uitgegaan van een starre constructie, in werkelijkheid is de constructie enigzins flexibel zodat het traagheidsmoment van de beschouwde doorsnede kleiner zal zijn.

### 3. VEENDERIJSCHUIT (B51)

#### 3.1. Inleiding

De veenderijschuit is een zwaar geconstrueerd schip met rechte ruitvormige stevens. De stevens vertonen een geringe valling. Aan de bovenkant van de zijde is een berghout aangebracht. Hierdoor wordt een breed loopvlak verkregen over de zijden. De hoofdafmetingen van het schip zijn  $L \times B \times D = 14,45 \times 2,98 \times 0,66$  m. De zijden staan loodrecht op het vlak en bestaan uit twee gangen, die overnaads aan elkaar zijn bevestigd.

Voor en achter is een plecht aangebracht, verder is het schip helemaal open. Het ruim is rechthoekig en heeft de volgende afmetingen:  $L \times B \times D = 11,00 \times 2,40 \times 0,50$  m. In het ruim ligt op de leggers een middenzaathout. Het schip heeft een zeer lang evenwijdig middenschip. Op grond van de aanwezigheid van veen- en turfresten wordt aangenomen dat het schip vroeger veen of turf moet hebben vervoerd. De open plechten doen vermoeden dat de lading droog is geweest. Het schip dateert uit de laatste helft van de zeventiende eeuw.

#### 3.2. Gewichtsberekening en zwaartepuntsbepaling

Het scheepsgewicht en de ligging van het gewichtszwaartepunt in hoogte zijn op de reeds eerder genoemde wijze uitgerekend. In onderstaande tabel is deze berekening weergegeven.

Onderdeel	Inhoud (dm <sup>3</sup> )	X <sub>z</sub> (cm)	Produkt (2 x 3)
Vlak	952,5	2,4	2286,0
Leggers	790,9	9,5	7513,6
Zijden	832,6	43,8	36467,9
Zijden + inhouten	362,8	40,5	14693,4
Vlak (voor)	600,0	5,6	3360,0
Vlak (achter)	477,7	5,6	2675,1
Zijden (voor en achter)	1129,4	42,8	48338,3
Stevens	288,0	43,0	12384,0
Dekbalken	86,0	50,8	4364,5
Planken	116,8	51,3	5986,0
Middenzaathout	301,0 +	10,7	3220,7 +
	$\Sigma 1 = 5937,7$		$\Sigma 2 = 141289,5$

De totale inhoud van het verwerkte hout is 5937,7 dm<sup>3</sup>. Het gewicht van het schip bedraagt  $W_{\text{schip}} = 0,9 \times \Sigma 1 = 0,9 \times 5937,7 = 5343,9$  kg (afgerond 5300 kg). De berekening van het scheepsgewicht aan de hand van het model levert een gewicht van 5358 kg op. Het verschil tussen beide waarden is slechts 0,22%! Dit verschil zal in werkelijkheid iets groter zijn daar het model van droog eikehout is vervaardigd.

Het scheepszwaartepunt ligt op  $\Sigma 2 / \Sigma 1 = 141289,5 / 5937,7 = 23,8$  cm boven de basis. Het zwaartepunt in hoogte van de veenderijschuit ligt ver-

houdingsgewijs dichterbij de halve holte ( $D/2$ ) dan het zwaartepunt van de modderschouw, hetgeen in eerste instantie wat onlogisch lijkt omdat de veenderijschuit veel minder dekoppervlak heeft als de modderschouw. De reden hiervoor moet gezocht worden in het feit dat de holte van de veenderijschuit kleiner is dan die van de modderschouw, voorts heeft de veenderijschuit een veel zwaarder geconstrueerd berghout.

Aangezien het voor- en achterschip van de veenderijschuit gelijkvormig zijn, is een berekening van de ligging van het gewichtszwaartepunt in lengte achterwege gelaten. Het gewichtszwaartepunt in lengte zal op de halve scheepslengte ( $L/2$ ) liggen.

### 3.3. Hydrostatische berekeningen

De zijden van de veenderijschuit staan overal loodrecht op het vlak. Bij het dieper inzinken van het schip verandert de waterlijn alleen maar als er een nieuwe gang in het water komt. Een lijnentekening is dus niet noodzakelijk om een aantal berekeningen te kunnen uitvoeren.

De waterlijnen zijn als volgt bepaald: het model is op een stuk papier gelegd waarna de omtrekslijn is overgetrokken. Door nu de onderste waterlijn met 5 cm (de gangdikte) rondom te verbreden wordt de waterlijn van de middelste gang gevonden. Verbreding van de middelste waterlijn met 6 cm rondom geeft de waterlijn van de berghoutsgang.

Voor de drie waterlijnen, die over de gehele hoogte van de gangen constant zijn, zijn de waterlijnopervlakken met behulp van de eerste regel van Simpson bepaald. Het dwarstraagheidsmoment ( $I_x$ ) is alleen voor de middelste gang, waarop de geladen lastlijn ligt, berekend. In de onderstaande tabel is de hoogte van de gangen, het waterlijnopervlak ( $A_{wl}$ ), de verandering van het displacement per centimeter diepgangsverandering (Ton/cm) en de waterverplaatsing ( $V$ ) tot de bovenkant van de gang aangegeven. Een berekening van het drukkingspunt in lengte ( $x_g$ ) en het langstraagheidsmoment ( $I_y$ ) is achterwege gelaten, daar het voor- en achterschip gelijkvormig zijn en er zich in het schip geen vertrimmende elementen bevinden.

Gang	Ganghoogte (cm)	$A_{wl}$ (m <sup>2</sup> )	Ton/cm	$V$ (m <sup>3</sup> )	$I_x$ (m <sup>4</sup> )
onderste	31	33,28	0,333	10,32	niet berekend
middelste	17	34,66	0,347	16,22	21,53
berghouts	17 +	36,35	0,364	22,41	niet berekend
totaal	65				

Uitgaande van een scheepsgewicht  $W_{schip} = 5300$  kg (de waterverplaatsing  $V = 5,30$  m<sup>3</sup>) wordt de diepgang van het lege schip  $T = V_{schip}/A_{wl} = 5,30/33,28 = 0,16$  m, het vrijboord is dan  $0,65 - 0,16 = 0,49$  m.

Aan de hand van enkele laagveenturven (baggelaars) die in twee 17e eeuwse vrachtschepen (B71 en OZ 71) zijn gevonden, is door wegen het soortelijk gewicht van laagveenturf bepaald. Het gemiddelde soortelijk gewicht van de gewogen turven bedraagt 825 kg/m<sup>3</sup>.

Wanneer het gehele ruim met een inhoud van  $13,2 \text{ m}^3$  wordt gevuld met turven met dit soortelijk gewicht, dan wordt het gewicht van de lading  $W_{\text{lading}} = 13,2 \times 825 = 10890 \text{ kg}$ . Het displacement wordt nu  $D = W_{\text{schip}} + W_{\text{lading}} = 5300 + 10890 = 16190 \text{ kg}$  (de waterverplaatsing =  $16,19 \text{ m}^3$ ). Bij een waterverplaatsing van  $16,19 \text{ m}^3$  is de diepgang  $T = 0,48 \text{ m}$  (zie tabel), het vrijboord is dan  $0,65 - 0,48 = 0,17 \text{ m}$ .

Uit het bovenstaande kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Wanneer het gehele ruim van de veenderijschuit wordt gevuld met turf met een soortelijk gewicht van  $825 \text{ kg/m}^3$  dan zal het schip bijna tot aan het berghout inzinken
- bij een beladingstoestand zoals hiervoor genoemd is het resterende vrijboord  $0,17 \text{ m}$ , met dit kleine vrijboord zal het schip vermoedelijk op beschut water hebben gevaren;
- wanneer bij deze beladingstoestand de lading nat wordt door overkomend water of in een regenbui dan zal het schip aanmerkelijk dieper inzinken omdat veen en turf veel water kan opzuigen;
- als de veenderijschuit gebruikt is voor het transport van veen en turf op open water, dan werd het schip vermoedelijk minder zwaar beladen dan in eerste instantie is aangenomen.

#### 3.4. Stabiliteitsbeschouwing

De ligging van het scheepszwaartepunt boven de basis, waarbij de lading wordt meegerekend, is  $36,9 \text{ cm}$ . Hierbij is aangenomen dat het zwaartepunt van de lading op  $0,43 \text{ m}$  boven de basis ligt. Het aanvangsmeta-centrum (MG) is dan uit te rekenen met behulp van de formule:  $MG = MB + BK - KG$ . Uitgaande van  $MB = 0,62 \text{ m}$ ,  $KB = T/2 = 0,24 \text{ m}$  en  $KG = 0,369 \text{ m}$  vinden we een waarde van  $49,1 \text{ cm}$  voor MG. De maximale hellingshoek die het schip kan aannemen voordat de boorden beginnen over te stromen is  $6,51^\circ$ . Het benodigd kenterend moment om het schip deze helling te geven volgt uit  $M_k = \gamma \times V \times MG \times \tan \varphi = 1,00 \times 16636 \times 0,491 \times \tan 6,51^\circ = 932,0 \text{ kgm}$ .

Ondanks de lage MG-waarde lijkt het schip stabiel genoeg. Bij benadering kan worden gesteld dat het maximaal kenterend moment overeenkomt met het verplaatsen van 6 man ( $\approx 77 \text{ kg}$ ) vanuit hart schip naar één van de boorden. De invloed van de hoogte van het zwaartepunt van het gewicht, bestaande uit 6 personen, op het systeemzwaartepunt (schip + lading + 6 personen) en het aanvangsmeta-centrum MG is buiten beschouwing gelaten.

Tot slot dient te worden vermeld dat er bij de berekening geen rekening is gehouden met het veranderen van de waterlijn bij een bepaalde helling. De waterlijnbreedte wordt namelijk groter als het berghout te water raakt. Dit heeft tot gevolg dat het dwarstraagheidsmoment ( $I_x$ ) van de waterlijn groter zal worden, zodat het maximaal toegestane kenterend moment zal toenemen. Daar berekening van dit effect veel tijd zou vergen is dit achterwege gelaten.

Aangezien het voor- en achterschip gelijkvormig zijn, de lading gelijkmatig over het schip is verdeeld en er geen ballast is aangetroffen, zijn er geen berekeningen gemaakt voor de langsstabiliteit en trimligging.

### 3.5. Sterktebeschouwing

Voor de veenderijschuit is geen uitgebreide sterkteberekening gemaakt. Wel is de waarde berekend van het maximaal toegestane buigend moment. De gevonden waarde is vergeleken met de in de sterkteberekening van de modderschouw gevonden waarde.

Uit de berekening volgt dat het weerstandsmoment ( $W_b$ ) voor de zwakste doorsnede van de veenderijschuit  $W_b = 130221,1 \text{ cm}^3$  bedraagt. Uitgaande van de maximaal toelaatbare buigspanning in eikenhout  $\sigma_b = 120 \text{ kgf/cm}^2$  wordt het maximaal toelaatbare buigend moment  $M_b = W_b \times \sigma_b = 120 \times 130221,1 \times 10^{-5} = 156,27 \text{ tonm}$ . Het maximaal toelaatbare buigend moment voor de modderschouw bedraagt  $M_b = 45,95 \text{ tonm}$ , zodat gesteld kan worden dat de veenderijschuit een buigend moment kan opnemen dat ongeveer 3,4 maal groter is dan dat van de modderschouw.

Wanneer de ladingsverdeling en de gewichtsverdeling van de modderschouw en de veenderijschuit worden beschouwd, kan het volgende gesteld worden:

- Bij de modderschouw en de veenderijschuit is de belasting ten gevolge van scheepsgewicht, ladingsgewicht en het gewicht van het verplaatste water bij benadering op dezelfde wijze verdeeld;
- de optredende belastingen ten gevolge van de bovengenoemde gewichten zijn voor de veenderijschuit kleiner dan voor de modderschouw;
- de lading is in de veenderijschuit gelijkmatiger over de lengte van het schip verdeeld dan in de modderschouw;
- doordat de lading bij de modderschouw geconcentreerd is in het laadruim en voor en achter een waterdicht compartiment aanwezig is zal de modderschouw de neiging vertonen in het midden door te zakken;
- bij de veenderijschuit zal de neiging tot doorzakken door de gunstigere ladingsverdeling veel minder zijn.

Bovenstaande feiten gevoegd bij het maximaal toelaatbare buigend moment dat voor de veenderijschuit 3,4 maal zo groot is als voor de modderschouw, lijkt de uitspraak dat de veenderijschuit sterk genoeg is te rechtvaardigen.

Tot slot kan nog het volgende opgemerkt worden:

- De relatief grote lengte ten opzichte van de breedte in combinatie met het ontbreken van enig dekverband veroorzaakt een geringe torsievastheid bij de veenderijschuit. Toch zal door de zware constructie van het boord de torsievastheid waarschijnlijk wel voldoende zijn;
- het zwaar geconstrueerde bovenboord van de veenderijschuit draagt veel bij in het weerstandsmoment (sterkte) van de grootspantdoorsnede.

#### 4. VUILNISSCHUIT (B13)

##### 4.1. Inleiding

De vuilnisschuit werd in 1977 in Lelystad in de wijk "Punter" (kavel B13) opgegraven. Het schip dateert uit het begin van de 17e eeuw en is waarschijnlijk bestemd geweest voor het vervoer van (stads)vuil.

De hoofdafmetingen van het sloopje zijn:  $L \times B \times D = 9,32 \times 2,52 \times 0,52$  m. De kimmén zijn recht en staan haaks op het vlak. De zijden bestaan uit een eikehouten gang die van steven tot steven loopt, een eiken dubbeling en een grenen slijtplank tussen de schotten, die het schip in drie compartimenten verdelen.

De vorm van het sloopje kan misschien het best omschreven worden als een rechthoekige open bak waaraan een voor- en achterschip zijn gebouwd. De twee grenehouten schotten begrenzen het middengedeelte. Het voor- en achterschip zijn in de zijde voorzien van een extra gang aan de bovenkant. Hierdoor wordt het gebrek aan zeeg gecompenseerd. De zeeg is noodzakelijk voor extra drijfvermogen aan de einden bij eventueel overkomend water.

Op de vuilnisschuit zijn geen dekken aangetroffen. Het mag dan ook waarschijnlijk worden genoemd dat de ladingsdichtheid minder dan  $1000 \text{ kg/m}^3$  heeft bedragen, zodat als het schip vol water slaat dit niet ten gevolge van het gewicht van de lading kon zinken.

##### 4.2. Gewichtsberekening en zwaartepuntbepaling

Bij de gewichtsberekening van de vuilnisschuit is een verdeling gemaakt in eikehouten en grenehouten constructiedelen. Het soortelijk gewicht van (nat) grenehout bedraagt ongeveer  $660 \text{ kg/m}^3$ , voor eikehout wordt gerekend met een soortelijk gewicht van  $900 \text{ kg/m}^3$ . Met behulp van onderstaande tabellen is het scheepsgewicht en de ligging van het zwaartepunt in hoogte bepaald.

Eiken onderdelen:

1	2	3	4
Onderdeel	Inhoud ( $\text{dm}^3$ )	$X_z$ (cm)	Produkt (2 x 3)
Vlak	480,7	2,75	1321,9
Leggers	409,4	10,50	4298,7
Zijde (zonder inh.)	304,0	15,00	7600,0
Inhouten	78,4	33,00	2587,2
Vlak (voor en achter)	262,2	6,30	1652,1
Zijde (voor en achter)	563,6	26,60	14991,8
Stevens	50,4 +	36,00	1764,0 +
	$\Sigma 1(e) = 2184,7$		$\Sigma 2(e) = 34215,7$

Grenen onderdelen:

1	2	3	4
Onderdeel	Inhoud (dm <sup>3</sup> )	X <sub>x</sub> (cm)	Produkt (2 x 3)
Slijtplanken	130,0	7,20	936,0
Zijden (middenschip)	152,0	25,00	3800,0
Zijden (voor en achter)	224,0	25,00	5600,0
Extra gang (op het boord)	33,6	56,00	1881,6
Schotten	94,0 +	35,00	3290,0 +
	$\Sigma 1(g) = 633,6$		$\Sigma 2(g) = 15507,6$

Het totaal gewicht wordt:  $W_{\text{schip}} = 0,9 \times \Sigma 1(e) + 0,66 \times \Sigma 1(g) = 0,9 \times 2184,7 + 0,66 \times 633,6 = 2382,4$  kg (afgerond  $W_{\text{schip}} = 2400$  kg). Het zwaartepunt in hoogte wordt als volgt berekend:  $X_z = (0,9 \times \Sigma 2(e) + 0,66 \times \Sigma 2(g)) / W_{\text{schip}} = (0,9 \times 34215,7 + 0,66 \times 15507,6) / 2382,4 = 17,22$  cm boven de basis.

De berekening van het scheepsgewicht aan de hand van het model levert een gewicht van 2200 kg op. Tussen de beide waarden zit een verschil van 8%. Dit verschil zal in werkelijkheid minder zijn daar het model kurkdroog is.

Aangezien het voor- en achterschip gelijkvormig zijn zal het zwaartepunt in lengte op de halve scheepslengte ( $L/2$ ) liggen.

#### 4.3. Hydrostatische berekeningen

Voor de vuilnisschuit is een berekening gemaakt van de lege diepgang, vervolgens is bij een gekozen diepgang van 40 cm de waterverplaatsing en het bij die diepgang behorende laadvermogen bepaald.

De waterlijn is van het model af overgetrokken op papier. Met behulp van de eerste regel van Simpson is het waterlijnoppeervlak en het dwarstraagheidsmoment berekend, deze zijn respectievelijk  $A_{wl} = 17,368$  m<sup>2</sup> en  $I_x = 8,4$  m<sup>4</sup>.

Uitgaande van de boorden die haaks op het vlak staan en de rechte stevens, die een geringe valling vertonen, wordt de waterlijn bij de verschillende diepgangen als constant beschouwd.

Bij het berekende scheepsgewicht  $W_{\text{schip}} = 2400$  kg (de waterverplaatsing  $V = 2,40$  m<sup>3</sup>) wordt de diepgang van het lege schip  $T = V_{\text{schip}} / A_{wl} = 2,40 / 17,368 = 0,14$  m, het vrijboord is dan  $0,52 - 0,15 = 0,38$  m.

De waterverplaatsing bij de gekozen diepgang van 40 cm wordt  $V = T \times A_{wl} = 0,40 \times 17,368 = 7,055$  m<sup>3</sup> (het displacement  $D = 7055$  kg). Het berekende scheepsgewicht  $W_{\text{schip}} = 2400$  kg, het laadvermogen bedraagt dan  $7055 - 2400 = 4655$  kg.

De ruiminhoud van het middengedeelte is, na aftrek van de inhoud van de verbanddelen,  $2,212$  m<sup>3</sup>. Wanneer de gehele lading in het middelste

ruim wordt geconcentreerd dan wordt de ladingsdichtheid bepaald door het quotiënt te nemen van het laadvermogen en de ruiminhoud. De ladingsdichtheid is derhalve  $4655 / 2,212 = 2029,4 \text{ kg/m}^3$ . Dit lijkt voor een lading bestaande uit stadsvuil een zeer hoge dichtheid, zodat de conclusie dat voor- en achterschip ook als laadruim werden gebruikt voor de hand ligt.

Gezien de gelijkvormigheid van voor- en achterschip en het ontbreken van vertrimmende elementen is een berekening van het langstraagheidsmoment, de langsstabiliteit en de trimligging achterwege gelaten.

#### 4.4. Stabiliteitsbeschouwing

Het scheepszwaartepunt in hoogte ligt op 23,6 cm boven de basis. Hierbij is aangenomen dat het ladingszwaartepunt op 27 cm boven de basis ligt. Het aanvangsmetacentrum (MG) wordt bepaald met de formule:  $MG = MB + BK - KG$ . Uitgaande van  $MB = 1,2 \text{ m}$ ,  $BK = T/2 = 0,20 \text{ m}$  en  $KG = 0,236 \text{ m}$  vinden we  $MG = 1,164 \text{ m}$ . Aangezien de waarde van het aanvangsmetacentrum (MG) van de vuilnisschuit veel groter is dan die van de veenderijschuit ( $MG = 0,491 \text{ m}$ ) zal de aanvangsstabiliteit van de vuilnisschuit beter zijn.

De maximale hellingshoek die het schip kan aannemen voordat de boorden overstromen en het schip volloopt is  $4,5^\circ$ . Het benodigd kenteren moment om het schip deze helling te geven volgt uit  $MK = \gamma \times V \times MG \times \tan \phi = 1,00 \times 7,055 \times 1,163 \times \tan 4,5^\circ = 646,7 \text{ kgm}$ . Bij benadering kan worden gesteld dat dit overeenkomt met het verplaatsen van 7 man (à 73 kg) vanuit hart schip naar één van de boorden, waarbij de invloed van de hoogte van het gewichtszwaartepunt van de 7 personen op het systeemzwaartepunt en het aanvangsmetacentrum (MG) buiten beschouwing is gelaten.

Het berekende maximaal toegestane kenteren moment is vermoedelijk aan de hoge kant omdat het zwaartepunt van de lading vrij laag is gekozen. Bij storten van vuil kan het namelijk gemakkelijk voorkomen dat zwaar vuil bovenop licht vuil terecht komt. Hierdoor komt het ladingszwaartepunt hoger te liggen waardoor het aanvangsmetacentrum en diens gevolg de (aanvangs)stabiliteit kleiner worden.

Een ander punt is dat het vrijboord waarschijnlijk minder is, dan in eerste instantie is aangenomen. De toegestane hellingshoek waarbij het schip net niet volloopt zal dan kleiner zijn, hieruit volgt dat het maximale toegestane kenterend moment eveneens kleiner wordt.

Bovenstaande factoren hebben een grote invloed op het aanvangsmetacentrum (MG) en de (aanvangs)stabiliteit. Meer uitgebreide berekeningen voor een groter aantal beladingstoestanden en diepgangen kunnen hier meer duidelijkheid in verschaffen.

Er zijn geen berekeningen gemaakt voor langsstabiliteit en trimligging omdat het voor- en achterschip gelijkvormig zijn, de lading gelijkmatig over het ruim is verdeeld en er geen ballast in het schip is aangetroffen.



## SAMENVATTING

In dit stageverslag worden een aantal scheepsbouwkundige berekeningen besproken, die zijn uitgevoerd voor drie werkschuiten uit de 17e eeuw.

Voor de drie 17e eeuwse schepen is allereerst het scheepsgewicht en het gewichtszwaartepunt bepaald. Vervolgens is een berekening van het maximale laadvermogen en de aanvangsstabiliteit gemaakt. Deze aanvangsstabiliteit bleek in alle gevallen voldoende. Tot slot is voor de modderschouw en de veenderijschuit de langsscheepse sterkte in vlak water berekend. De langsscheepse sterkte was in de berekende gevallen ruimschoots voldoende.

Naast de resultaten van de gewichtsberekeningen, hydrostatische berekeningen en sterkteberekeningen, is het begrip aanvangsstabiliteit behandeld en wordt een methode voor de bepaling van het scheepsgewicht besproken. Schattingen van de scheepsgewichten aan de hand van de schaalmodellen leverden betrouwbare gegevens op. Voor de modderschouw is een lijnenplan getekend omdat de scheepsvorm te ingewikkeld was om goede benaderingen bij de berekeningen te kunnen toepassen.

In het verslag zijn lang niet alle uitgevoerde berekeningen opgenomen. Waar nodig zijn voorbeelden gegeven van de gebruikte berekenings- en benaderingsmethoden, zodat men dit verslag kan gebruiken als richtlijn voor het maken van toekomstige berekeningen voor werkschuiten en kleine schepen met een eenvoudige vorm.

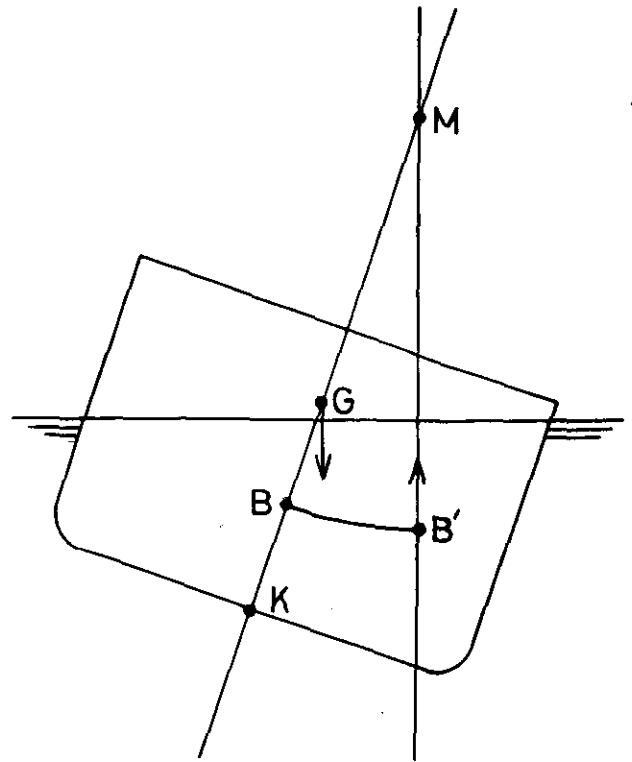
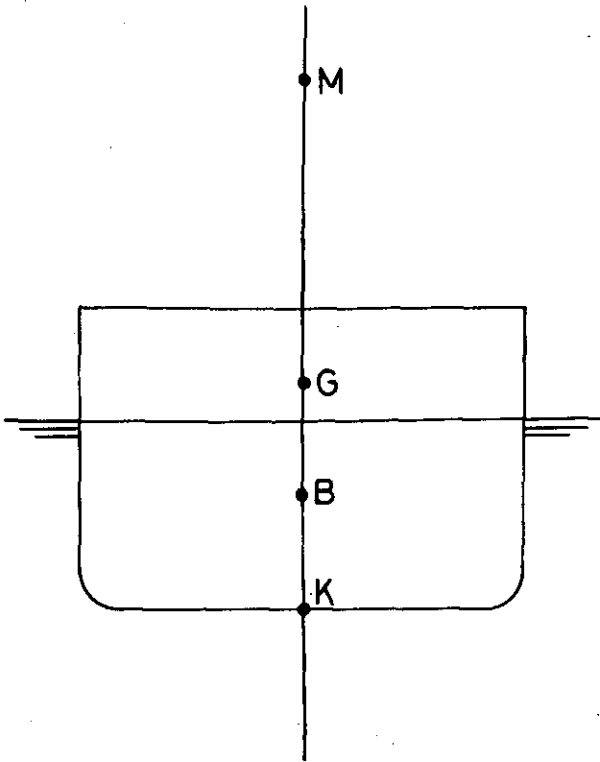
## CONCLUSIES

- Het is zeer goed mogelijk om aan de hand van de schaalmodellen van de werkschuiten het scheepsgewicht te schatten met de formule:  $W_{\text{schip}} = W_{\text{model}} \times (\text{schaalfactor})^3$ . In de behandelde gevallen is een grootste afwijking van 10% gevonden, tussen het berekende scheepsgewicht en het geschatte scheepsgewicht.
- Bepaling van het scheepszwaartepunt in hoogte door het scheepsmodel op te hangen in het gewichtszwaartepunt, waarbij het evenwicht van het opgehangen model labiel zou zijn, bleek niet betrouwbaar en moet daarom afgeraden worden.
- Voor de drie 17e eeuwse werkschuiten is een berekening van het aanvangsmetacentrum en de aanvangsstabiliteit gemaakt. Het aanvangsmetacentrum en de aanvangsstabiliteit waren ruimschoots voldoende.
- De langsscheepse sterkte van de modderschouw en de veenderijschuit in vlak water was ruimschoots voldoende. Bij de berekening van het traagheidsmoment van de grootspantdoorsnede is uitgegaan van een star geheel, men kan zich echter afvragen in hoeverre dit uitgangspunt juist is. Nader onderzoek naar de starheid van houtconstructies is daarom wenselijk.
- De in oude geschriften gevonden gegevens, omtrent de hoeveelheid vervoerde modder en de hierbij toegestane diepgang van de dubbele modderschouwen, lijken bevestigd. Per schouw laadde men  $2\frac{1}{2}$  schaft (=  $11,15 \text{ m}^3$ ) modder. Uitgaande van een soortelijk gewicht van de vervoerde modder van  $1,80 \text{ kg/dm}^3$  is het gewicht van de vervoerde lading ongeveer 20 ton. Bij deze belading raakten de rozebouten aan de buitenzijde juist het wateroppervlak.
- Het is zeker zinvol in de nabije toekomst meerdere scheepsbouwkundige berekeningen voor werkschuiten uit te voeren, zodat men de berekende waarden voor een groot aantal schepen onderling kan vergelijken.

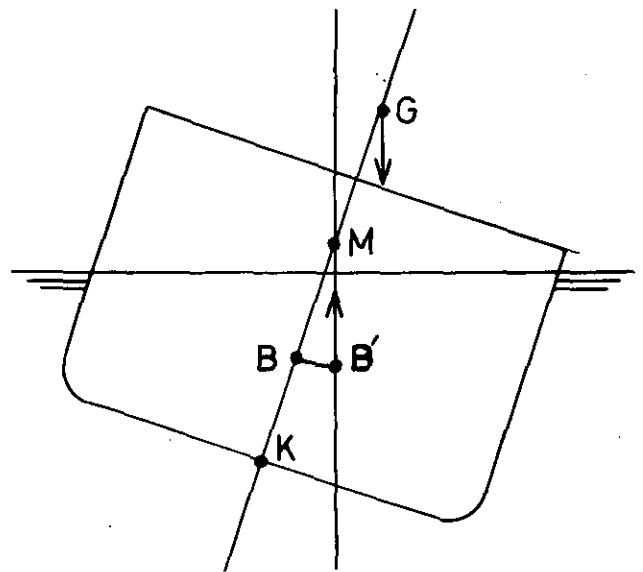
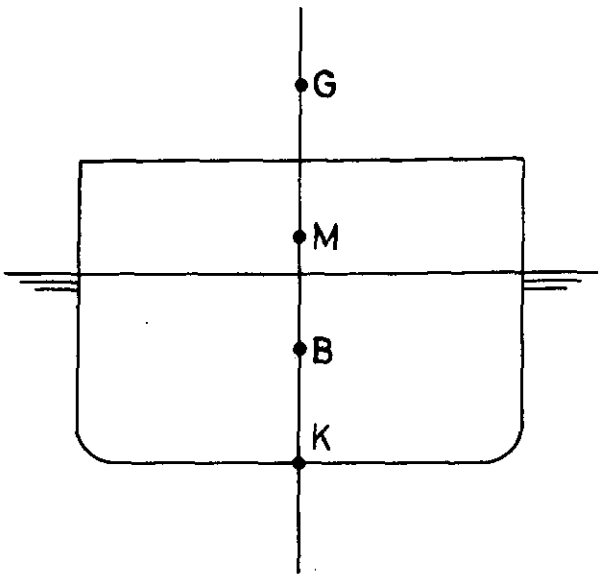
## LITERATUUR

- Reinders, H.R., 1978: Modderwerk, het uitdiepen van de haven van Amsterdam in de tweede helft van de zeventiende eeuw.  
RIJP-rapport 1978-19 Abw.
- Reinders, H.R. e.a., 1981: Drie schepen uit de late middeleeuwen.  
Flevobericht-Lelystad.
- Reinders, H.R. e.a. 1984: Vier werkschuiten uit de zeventiende eeuw.  
Flevobericht 235, Lelystad.
- Verhoef, J.M., 1983: De oude Nederlandse maten en gewichten.  
Publicatie no. 3 van het P.J. Meertens-Instituut, Amsterdam.
- Vrijlandt, ir. W en Molenaar, ir. J., 1948: Theoretische scheepsbouwkunde.  
Uitgevers H.Stam en G. van Herwijnen & Zonen.

STABIEL EVENWICHT

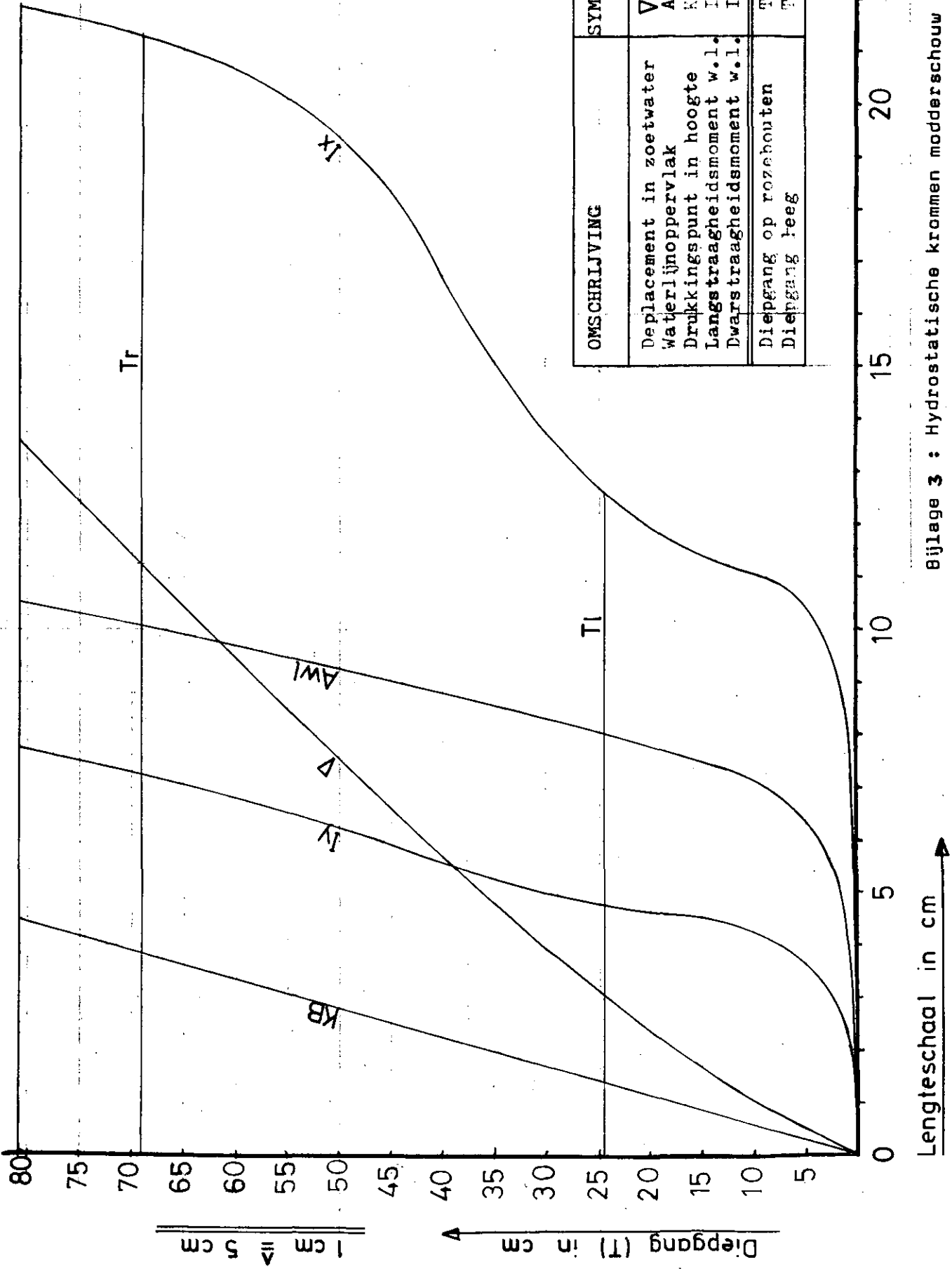


LABIEL EVENWICHT



- G = gewichtszwaartepunt
- B = drukkingspunt
- B' = geprojecteerde drukkingspunt
- M = dwarsmetacentrum
- K = kielpunt

Bijlage 1 : figuren aanvangsstabiliteit .

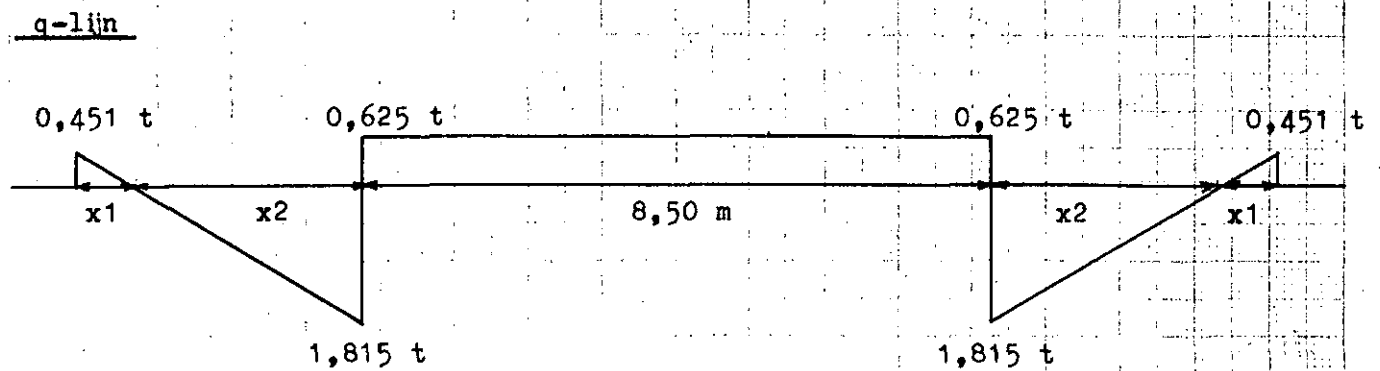
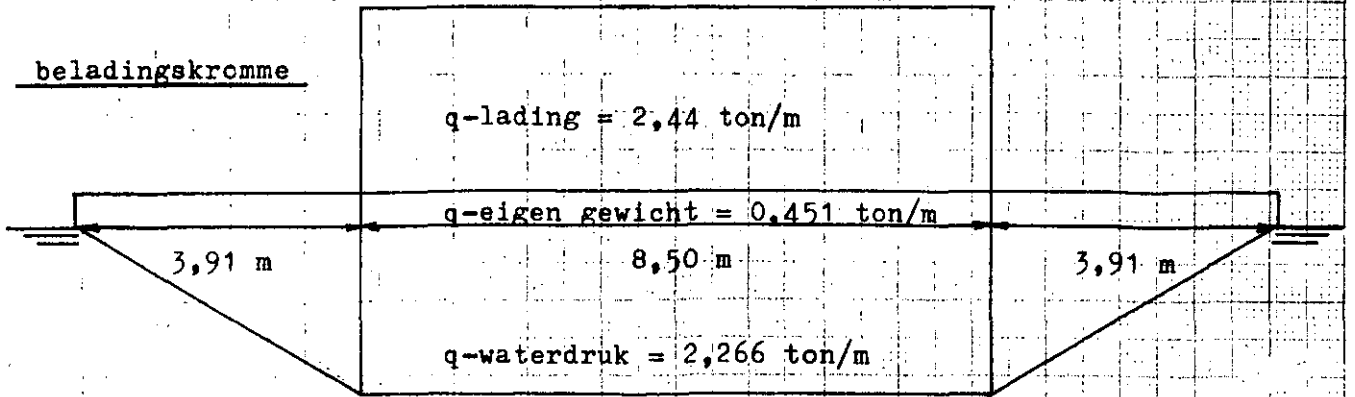


OMSCHRIJVING	SYMBOOL	LENGTESCHAAL ( 1 cm $\hat{=}$ )
Deplacement in zoetwater	V	2,5 m <sup>2</sup>
Waterlijnoppeervlak	AWI	5,0 m
Drukingspunt in hoogte	KB	10 cm
Langstraagheidsmoment w.l.	Iy	100 m <sup>4</sup>
Dwaarsstraagheidsmoment w.l.	Ix	2,5 m <sup>4</sup>
Diepgang op rozebouten	Tr	n.v.t.
Diepgang leeg	Tl	n.v.t.

Bijlage 3 : Hydrostatische krommen modderschouw B19 .

schepsgewicht = 7,36 ton  
 Displacement = 28,10 ton

laadvermogen = 20,74 ton  
 T = 0,69 m



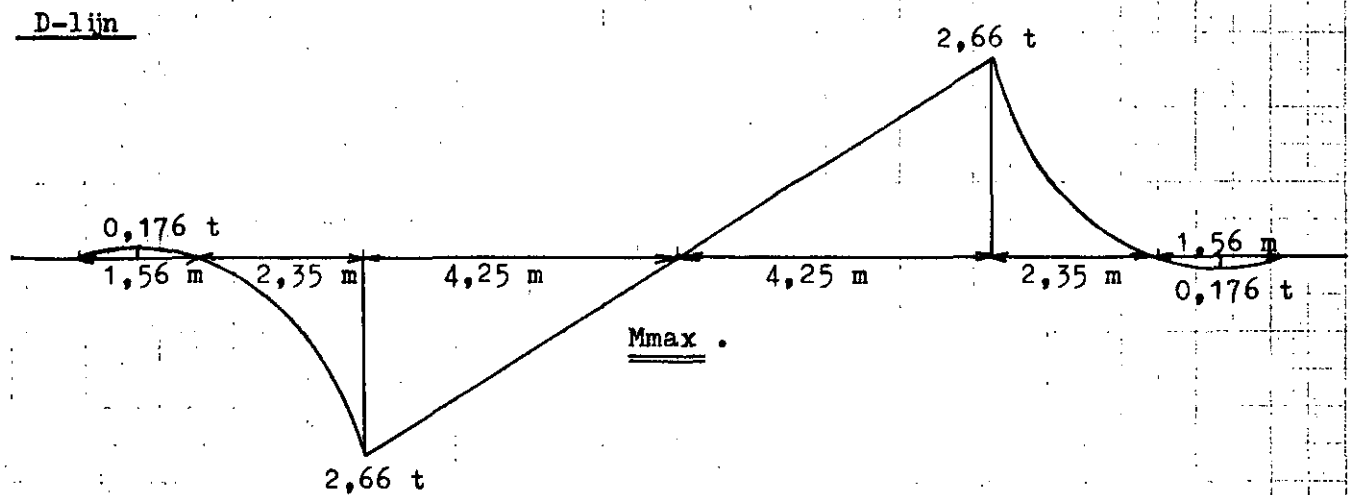
berekening x1, x2 :

$$0,451 : 1,815 = x1 : x2 \rightarrow 1,815x1 = 0,451x2$$

$$x1 + x2 = 3,91 \text{ m} \rightarrow x1 = 3,91 - x2$$

$$\rightarrow 1,815 \cdot (3,91 - x2) = 0,451 x2 \rightarrow x2 = 3,13 \text{ m}$$

$$x1 = 0,78 \text{ m}$$



horizontaal : 1 cm  $\hat{=}$  1,00 m      verticaal : 1 cm  $\hat{=}$  1,00 ton .

Mmax . = 2/3 x 1,56 x 0,176 - 1/3 x 2,35 x 2,66 - 1/2 x 4,25 x 2,66 = 7,553 tonm .