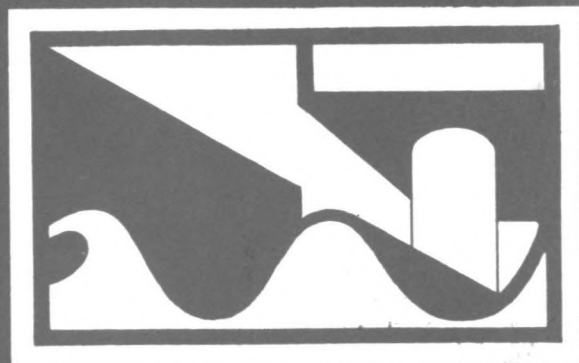


75



ONTWERP TOEGANGSGEUL NAAR DE
HAVEN VAN BEIRA IN MOZAMBIQUE

F. TH. VAN DER HORST
MAART 1984

Deelproject
Vakgroep Kustwaterbouwkunde
Afdeling Civiele Techniek
Technische Hogeschool Delft

ONTWERP TOEGANGSGEUL NAAR DE HAVEN VAN BEIRA

IN MOZAMBIQUE

F.Th. van der Horst

Delft, maart 1984

Vakgroep Kustwaterbouwkunde
Technische Hogeschool Delft

Inhoudsopgave

| Hoofdstuk | bladzijde |
|---|-----------|
| I. INLEIDING | 1 |
| II. HET ONTWERPSCHIP | 6 |
| III. GEULDIEPTE | 7 |
| Introductie | 7 |
| Diepgang en snelheid van het ontwerpschip | 8 |
| Waterstand | 8 |
| Inzinking | 8 |
| IV. GOLVEN | 10 |
| Algemeen | 10 |
| Hydraulisch onderzoek | 12 |
| Golfgegevens | 14 |
| Golfrichting | 15 |
| V. SCHEEPSBEWEGINGEN | 18 |
| Algemeen | 18 |
| Responsfunctie | 18 |
| Responsfunctie berekening | 21 |
| Set down | 23 |
| VI. BODEM-ONREGELMATIGHEID | 25 |
| VII. BEREKENING OPTIMALE GEULDIEPTE | 27 |
| Kans op raken van de bodem | 28 |
| Kosten schade | 35 |
| Baggerkosten | 37 |
| Kosten wachttijd | 39 |
| Kosten kapitalisatie | 41 |
| Berekening | 42 |
| Traject 2 | 42 |
| Resultaten traject 2 | 48 |
| Beperkte omstandigheden | 52 |
| Berekening | 52 |
| Resultaten traject 2 | 55 |
| Berekening % extra wachttijd | 57 |
| Konklusies | 62 |
| Berekening | 64 |
| Traject 1 | 64 |

| | | |
|-------|---|----|
| | Traject 3 | 69 |
| VIII. | RESUME EN KONKLUSIES | 73 |
| IX. | LITERATUUR | 74 |
| X. | BIJLAGEN | 75 |
| | SCHEEPSAFMETINGEN | 75 |
| | WATERVERPLAATSING SCHIP | 75 |
| | UNIVERSELE RESPONSFUNCTIE VOOR | |
| | ERTSCARRIERS | 75 |
| | GETIJ-KROMMEN | 75 |
| | TABEL WATERSTANDEN | 75 |
| | RESULTATEN MEETPUNT 3 | 75 |
| | SPECTRUM MET EEN PIEK | 75 |
| | SPECTRUM MET TWEE PIEKEN | 75 |
| | OVERSCHRIJDINGSKROMME WATERSTANDEN HW | 75 |
| | TABEL STANDAARD-NORMALE VERDELING | 75 |

Lijst van gebruikte figuren

| figuur | bladzijde |
|---|-----------|
| 1. Mozambique en omringende landen | 2 |
| 2. Toegangsgeul Beira, trace met golfrichting | 3 |
| 3. Gedetailleerde kaart | 3 |
| 4. Geuldiepte | 7 |
| 5. Energie (dichtheids)spectrum. | 11 |
| 6. Locaties van onderzoek | 12 |
| 7. Invalshoek van de golven | 15 |
| 8. Systeem schip in golf | 18 |
| 9. Uitwijking massa-veer systeem | 19 |
| 10. Scheepsbewegingen | 20 |
| 11. Responsfunctie ontwerpschip | 22 |
| 12. Set down | 23 |
| 13. Set down model LNG-carrier | 24 |
| 14. Set down in an irregular wave | 24 |
| 15. Bodem-onregelmatigheid | 25 |
| 16. Keelclearance | 27 |
| 17. Verloop van $c(t)$ | 28 |
| 18. Geschetste kosten | 33 |
| 19. Geuldiepte | 34 |
| 20. Initieel- en onderhoudsbaggerwerk | 38 |
| 21. Wachttijden | 40 |
| 22. Kosten zonder vaarbepkeringen | 51 |
| 23. Gemiddelde wachttijd tgv golfomstandigheden | 58 |

24. Kosten met vaarbepeningen 60

Lijst van gebruikte tabellen

| tabel | bladzijde |
|---|-----------|
| 1. Available wave recordings | 16 |
| 2. Wave conditions outer buoy | 16 |
| 3. Wave directions | 16 |
| 4. Wave conditions inner and outer buoy | 17 |
| 5. Wave reduction | 17 |
| 6. Resultaten traject 2 (a) | 48 |
| 7. Aantal schepen per jaar met schade (a) | 49 |
| 8. Resultaten traject 2 (b) | 55 |
| 9. Aantal schepen per jaar met schade (b) | 56 |
| 10. Overzicht van de de extra wachttijden | 59 |
| 11. Golfregistratie | 61 |

Hoofdstuk I

INLEIDING

Beira is een havenstad met ca 130.000 inwoners gelegen in de Volksrepubliek Mozambique, in het zuid-westelijke deel van Afrika.

Beira ligt ongeveer halweg langs de Mozambiqueaanse kust aan de monding van het estuarium waar de rivieren de Punque en de Buzi uitmonden, zie figuur 1.

Naast de hoofdstad Maputo behoren Beira en Nacala tot de drie belangrijkste havens van Mozambique. Alledrie de havens zijn vooral belangrijk als doorvoerhavens voor de omliggende landen, Maputo in het zuiden, Nacala in het noorden en Beira voor midden Mozambique.

Beira dient als toegangspoort voor de ingesloten landen Zimbabwe, Malawi en Zambia. Er is een spoorverbinding met deze landen en er ligt een olie-pijpleiding naar de grens van Zimbabwe.

De geografische ligging van Beira is $19^{\circ} 50'$ ZB en $34^{\circ} 51'$ OL.

De zeehaven is gelegen aan een vrij ondiep estuarium. De haven is bereikbaar via een ongeveer 21 km lange toegangseul. (Zie figuur 2)

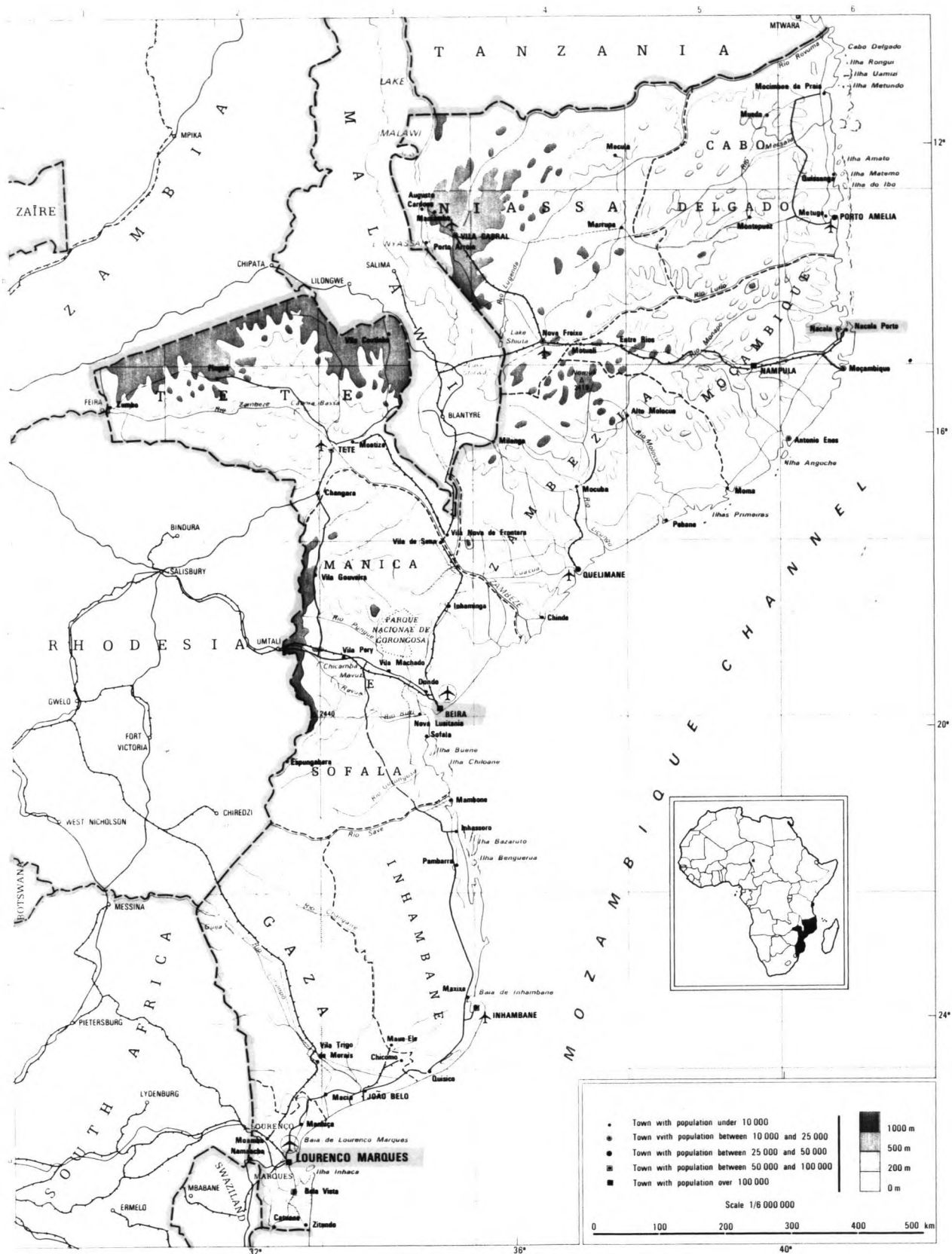
Het gedeelte dat de meeste problemen geeft bevindt zich in traject 2 tussen boei nr 3 en boei nr 8, het zogenaamde "Canal do Macuti". (Zie figuur 2)

Hier is de geul het smalst, de breedte is ongeveer 200 m en de diepte bedraagt ca 5.50 m bij laag water springtij. De lengte van dit gedeelte is ca 3 km.

Er is een aanzienlijk getij-verschil, variërend van 1.65 m bij doodtij tot 5.75 m bij springtij. Dit grote getij-verschil veroorzaakt aanzienlijke stroomsnelheden tijdens de eb- en vloedperiode met maxima van ca $4 \text{ kn} \approx 2 \text{ m/s}$. Hieruit volgt meteen het tweede probleem, bij het rondnemen van de bocht bij boei nr 8 moet met de stroomsnelheden en de stroomrichting heel goed rekening worden gehouden.

Vanwege de geringe diepte en de heersende stroomsnelheden concentreert het grootste deel van de grote handelsvaart zich rondom de periode van hoog water (HW).

Een verdere beperking wordt nog gevormd door het feit dat in het genoemde traject 2 tussen boei nr 3 en boei 8, en de daarop aangrenzende trajecten, over een totale lengte van 10 km slechts eenrichtingsverkeer mogelijk is voor schepen groter dan 10.000 DWT.



figuur 1: Mozambique en omliggende landen

Met de uittocht van Portugezen bij het onafhankelijk worden van Mozambique in 1975 en de boycot van het vroegere Rhodesie door Amerikaanse en West-Europese landen is het goedertransport afgenomen van ca 4.3 milj ton in 1965 tot ca 1.5 milj ton in 1980. Na beëindiging van de boycot op 18 april 1980, bij de onafhankelijkheid van Zimbabwe, is er weer sprake van een opleving van het goedertransport. In 1985 wordt weer een transport van ca 3.43 milj ton verwacht. Daarbij komt dat Mozambique op grote schaal kolen wil gaan exporteren, 8.2 miljoen ton in het jaar 2000. Voor een goede concurrentie positie ten opzichte van de overige havens aan de Oostkust van Afrika is het noodzakelijk dat grote schepen Beira kunnen aanlopen. Een diepe toegangseul is daarbij onontbeerlijk. In het hoofdonderzoek is berekend dat het maatgevende schip dat geladen uit Beira moet kunnen vertrekken, 80.000 DWT draagt.

Het doel van deze deelstudie is dan ook: het ontwerpen en dimensioneren van de toegangseul naar Beira, zodanig dat :

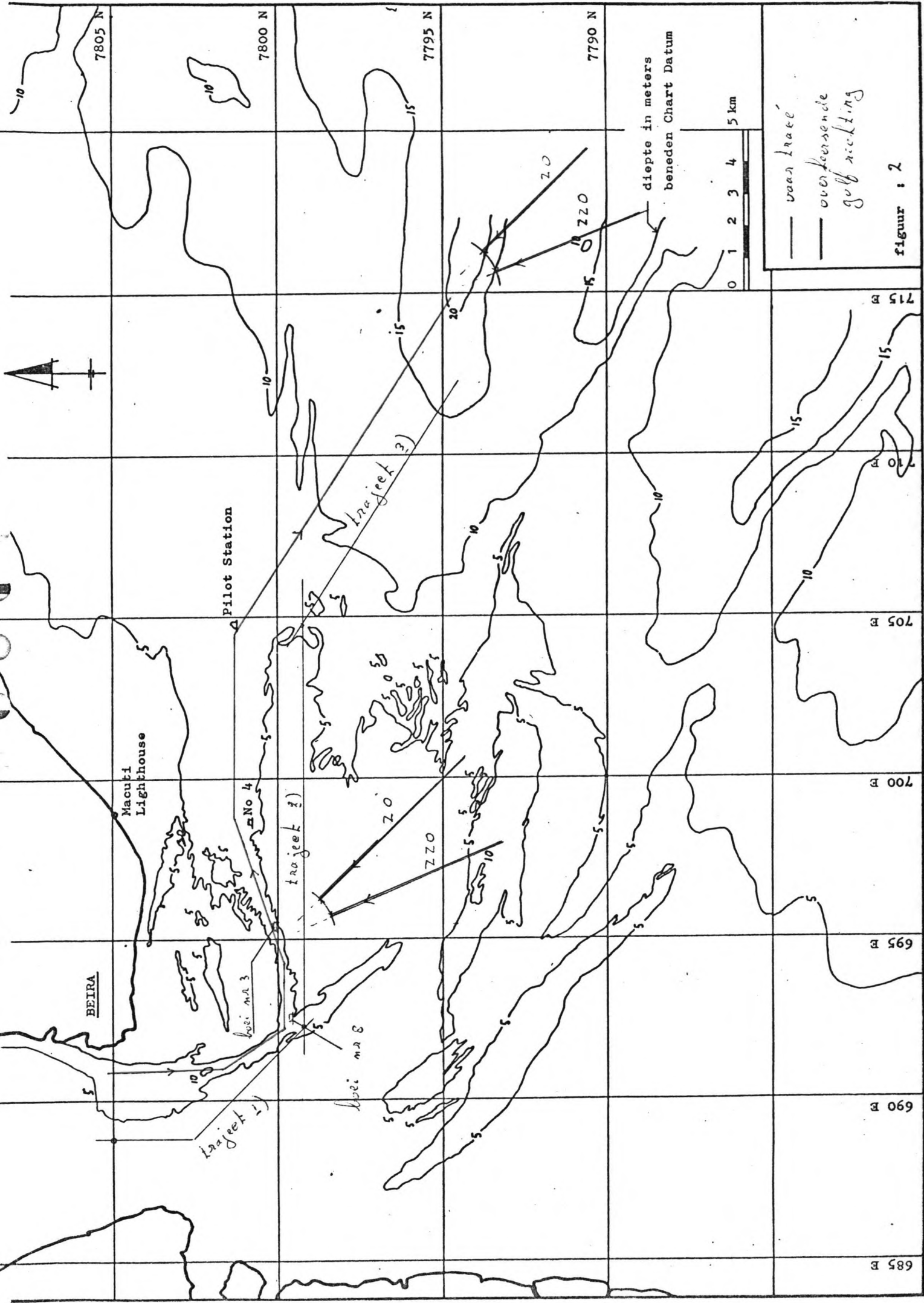
- a) de toegangseul bevaarbaar is voor geladen kolencarriers tot 80.000 DWT
- b) een vlotte afwikkeling van het scheepvaartverkeer in het jaar 2000 mogelijk is.

figuur 2: Toegangseul Beira, tracé met golfrichting

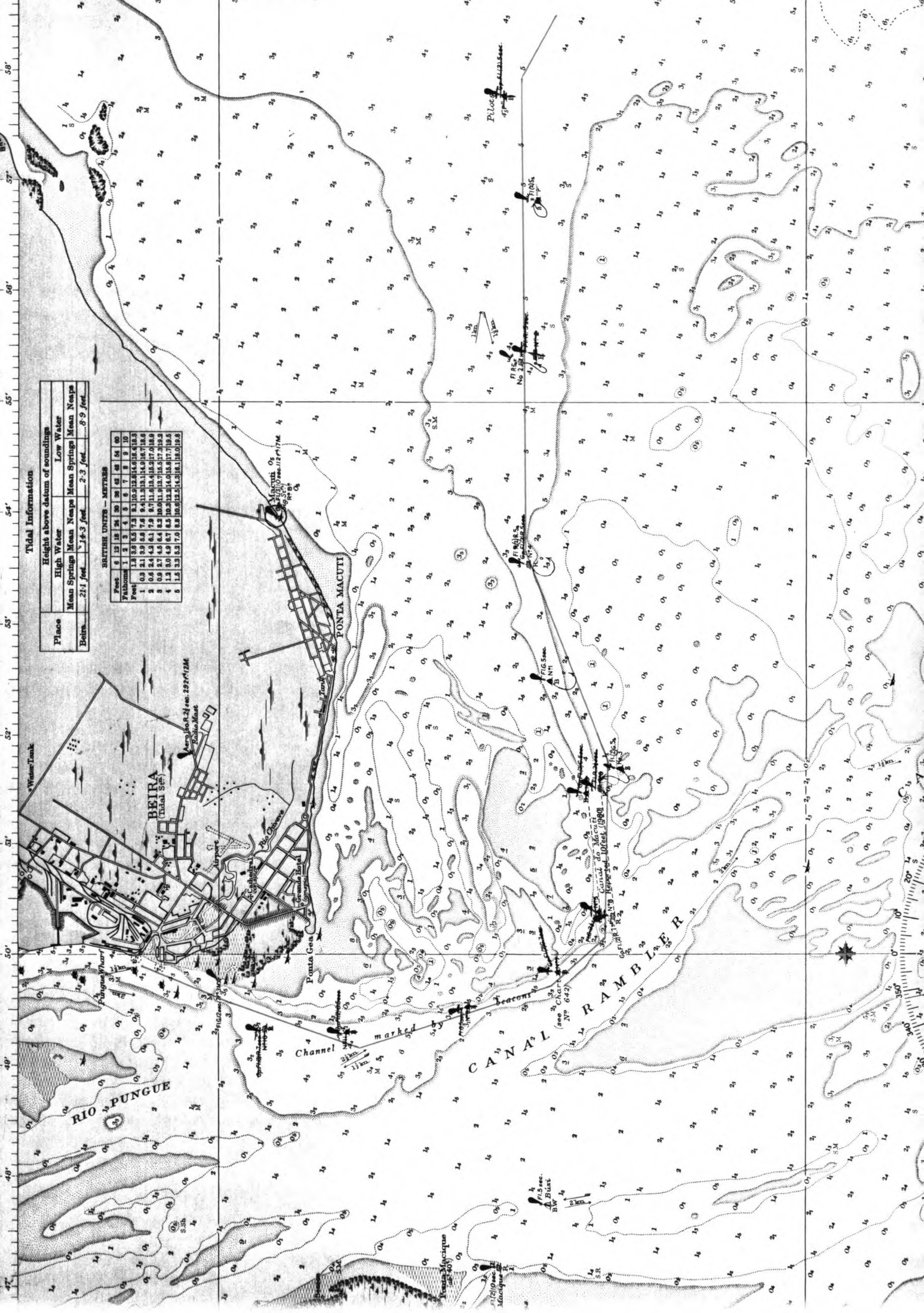
zie pagina 4

figuur 3: Gedetailleerde kaart

zie pagina 5



figuur : 2



Tidal Information

| Place | Heights above datum of soundings | | | |
|-------|----------------------------------|-----------|--------------|------------|
| | High Water | Low Water | Mean Springs | Mean Neaps |
| | 21.1 feet | 14.3 feet | 2.3 feet | 8.9 feet |

BRITISH UNITS - METERS

| | | | | | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Feet | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 |
| Meters | 1.8 | 3.7 | 5.5 | 7.3 | 9.1 | 11.0 | 12.8 | 14.6 | 16.4 | 18.3 |
| Feet | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 10.0 |
| Meters | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 | 2.7 | 3.0 |
| Feet | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 |
| Meters | 0.15 | 0.30 | 0.45 | 0.60 | 0.75 | 0.90 | 1.05 | 1.20 | 1.35 | 1.50 |
| Feet | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 10.0 |
| Meters | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 | 2.7 | 3.0 |

Hoofdstuk II

HET ONTWERPSCHIP

Zoals uit het hoofdonderzoek blijkt moet de toegangsheul naar Beira bevaarbaar gemaakt worden voor schepen tot 80.000 DWT.

De eigenschappen van dit ontwerpschip zijn:

| | | |
|------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Lengte | L = 244 m | |
| Breedte | B = 30.50 m | |
| Diepgang | D = 13.10 m | |
| Waterver- plaatsing | $\nabla = 98.000 \text{ m}^3$ | Zie bijlagen 1 en 2. |

De gemiddelde belading = 70.000 ton kolen.

Bij het uitvaren van de haven bedraagt de snelheid van een dergelijk schip in de heul: 8-10 kn.
Voor het transporteren van ca 8.2 miljoen ton kolen in het jaar 2000 worden dan ongeveer $8.2 \cdot 10^6 / 70 \cdot 10^3 = 117$ kolencarriers verwacht.

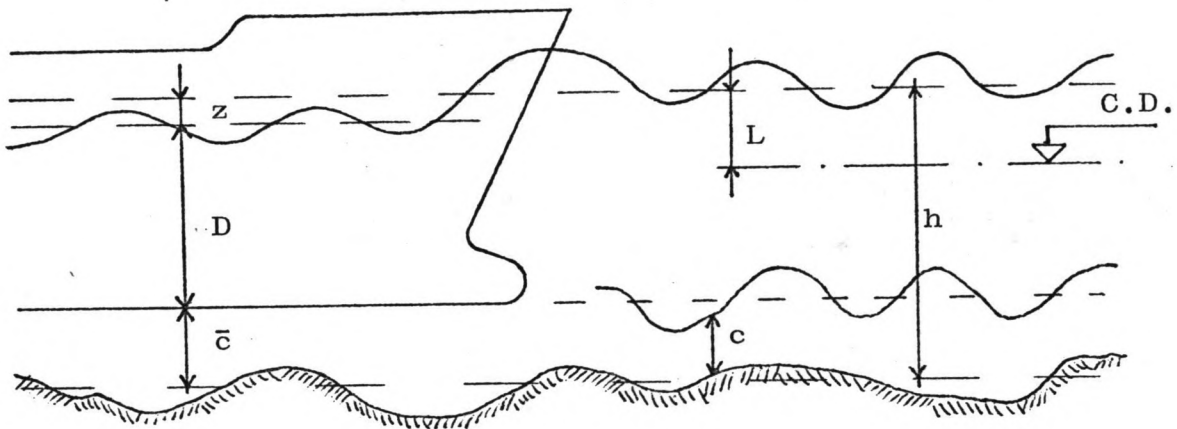
In figuur 2 is het in eerste instantie aangenomen tracé aangegeven, wat overeenkomt met de bestaande situatie.

Hoofdstuk III

GEULDIEPTE

3.1 INTRODUCTIE

De factoren die de geuldiepte bepalen zijn aangegeven in onderstaande figuur.



figuur 4: Geuldiepte

hierin is :

- D = diepgang van het schip
- h = waterdiepte
- L = waterstand tov Chart Datum
- z = inzinking (squat + trim)
- \bar{c} = gemiddelde keelclearance

De waarde van de momentane keelclearance c wordt vooral bepaald door de scheepsbeweging en de mate van bodem-onregelmatigheid.

De scheepsbewegingen zijn afhankelijk van :

- a) eigenfrequentie van het schip
- b) snelheid van het schip
- c) golfklimaat waarin het schip verkeert;
dwz door: golfhoogte en golfperiode
golfrichting
set down (zie paragraaf 5.4)

Samengevat, zal men enig inzicht moeten verkrijgen van :

- 1) Diepgang en snelheid van het ontwerpschip
- 2) Waterstand ten opzichte van Chart Datum
- 3) Inzinking (squat + trim)
- 4) Golfklimaat
- 5) Scheepsbewegingen
- 6) Bodemonregelmatigheid

De factoren 1 t/m 3 zullen hierna worden besproken, de factoren 4 t/m 6 zullen wat meer uitgebreid worden behandeld in de hoofdstukken IV t/m VI.

3.2 DIEPGANG EN SNELHEID VAN HET ONTWERPSCHIP

Dit zijn randvoorwaarden voor het ontwerp van de toegangsgeul. Zoals reeds in hoofdstuk II vermeld bedraagt de :

diepgang $D = 13.10$ m
snelheid $v = 8-10$ kn

3.3 WATERSTAND

De waterstand in de geul is bepaald door een dubbeldaags getij. In bijlage 4 is een getijkromme voor springtij en doodtij afgebeeld. De gemiddeld optredende waterstanden zijn vermeld in de tabel op bijlage 5.

Het gemiddeld getij-verschil bedraagt

bij : springtij 5.75 m
doodtij 1.65 m

3.4 INZINKING

Bij een varend schip wordt bij de boeg een hoeveelheid water verdrongen om plaats te maken voor het schip en zal tegelijkertijd een zelfde hoeveelheid water achter het schip moeten worden aangevuld.

Hierdoor ontstaat een retourstroom rond het schip die een waterspiegeldaling naast het schip tot gevolg heeft. Aangezien de waterverplaatsing door het schip onveranderlijk dezelfde blijft, zal het schip deze waterspiegeldaling vol-

gen en zal dus de afstand tussen de kiel en de bodem van het vaarwater afnemen.

Naast deze gelijkmatige inzinking ontstaat een trim van het schip veroorzaakt door de schroef.

Door de schroefwerking ontstaat een sterke aanzuiging van het water voor de schroef, waardoor, door de extra stroming, een drukverlaging onder het achterschip ontstaat. Het resultaat is dat, in het algemeen, het schip achterover trimt. Zeer grote schepen met een hoge blokcoefficient C_b blijken echter voorover te trimmen vanwege retourstroom concentraties bij de boeg.

Tuck [1] heeft onderstaande benaderingsformules afgeleid:

$$\text{waterspiegeldaling } z_i = c_i + \frac{v}{L_{pp}^2} \times \frac{Fn^2}{\sqrt{1-Fn^2}}$$

$$\text{trim } z_t = c_t + \frac{v}{L_{pp}^3} \times \frac{Fn^2}{\sqrt{1-Fn^2}}$$

Hierin is:

Fn = Froude getal ($= v/\sqrt{g*d}$)
 v = waterverplaatsing van het schip
 L_{pp} = lengte tussen de loodlijnen
 c_i en c_t = vormfactoren van de scheepsromp
 waarbij volgens Tuck $c_i = 1.42$ en $c_t = 1.00$
 goede benaderingen zijn.

$$z = z_i + z_t \cdot \frac{1}{2} L_{pp} = \frac{Fn^2}{\sqrt{1-Fn^2}} \times (c_i + \frac{1}{2} c_t) \times \frac{v}{L_{pp}^2}$$

Substitutie van de volgende gegevens van de kolencarrier:

$$L = 244 \text{ m}$$

$$v = 10 \text{ kn} \approx 5 \text{ m/s}$$

$$d = 15 \text{ m}$$

$$\nabla = 98.000 \text{ m}^3$$

$$v = 8 \text{ kn} \approx 4 \text{ m/s}$$

$$\text{geeft } z = 0.58 \text{ m}$$

$$z = 0.36 \text{ m}$$

Opmerking:

De benaderingsformule van Tuck geldt voor zijdelings onbeperkt vaarwater. Voorlopig worden invloeden ten aanzien van de vormgeving van het kanaal, en het varen uit de as van het kanaal buiten beschouwing gelaten.

Hoofdstuk IV

GOLVEN

In dit hoofdstuk wordt onder meer beschreven welke gegevens beschikbaar zijn en op welke wijze ze zijn gemeten. Bij het verwerken en toepassen van deze gegevens, ook verder in het rapport wordt gebruik gemaakt van een aantal begrippen die nader zijn omschreven door BATTJES, J.A. [litt 2 en 3].

4.1 ALGEMEEN

Het golfbeeld op zee vertoont een chaotisch karakter, vele golfhoogtes, golflengtes en golfrichtingen zijn op hetzelfde moment waar te nemen. De momentane waarden van deze parameters zijn betrekkelijk onvoorspelbaar; het zijn stochastische onafhankelijke variabelen.

Door middel van een statistische beschouwing is het mogelijk bepaalde wetmatigheden vast te stellen waarmee men het gebeuren kan beschrijven.

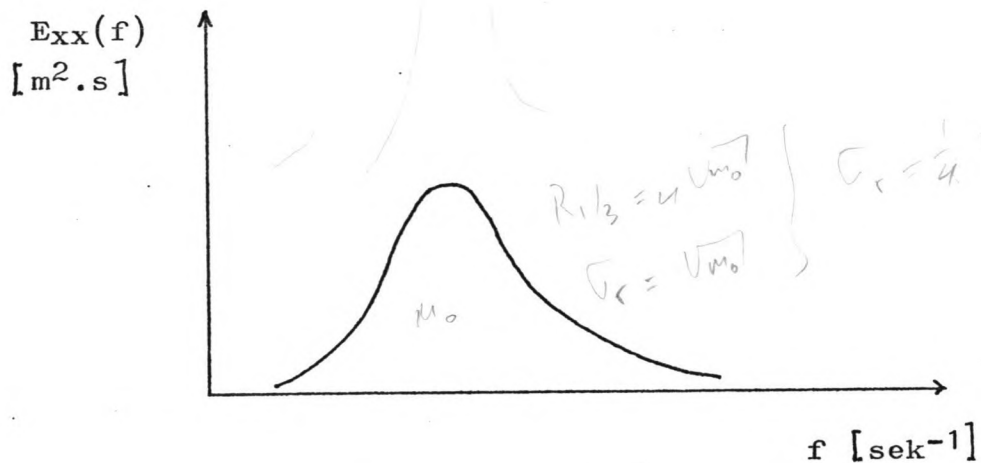
BATTJES [3] laat zien dat op grond van de centrale limietsstelling, windgolven en linearizeerbare responsies daarop kunnen worden opgevat als een stationair Gaussisch proces (x_t) .

Alle statistische eigenschappen van een stationair Gaussisch proces worden bepaald door het variantiespectrum $E_{xx}(f)$ van dat proces.

Een fysische omschrijving van het spectrum is, dat het de verdeling van de golfenergie over de frekwenties geeft, vandaar dat dit ook wel een energie(dichtheids)spectrum wordt genoemd.

Een enkelvoudige sinusbeweging, met slechts een frekwentie verschijnt als een lijn in het spectrum. Een vrij regelmatige harmonische beweging heeft een smal spectrum, terwijl een onregelmatige beweging een breed spectrum heeft. Twee belangrijke eigenschappen van het energiespectrum zijn :

- 1) de oppervlakte van het spectrum $M_0 = \int_0^{\infty} E_{xx}(f) df$.
- 2) de variantie van $(x_t) = \overline{x^2} = M_0$.



figuur 5: Energie (dichtheids) spectrum.

In het geval van een golfspectrum dat bovendien smal is, mag men verder aannemen dat de golfhoogten Rayleigh verdeeld zijn. Hiervoor geldt dan dat de significante golfhoogte H_s is uit te drukken als:

$$H_s = 4 \sqrt{\mu_0}$$

Battjes [3]

Overigens geldt bij een Rayleigh verdeling dat de kans dat een golfhoogte gelijk is aan H of wordt overschreden, is:

$$P(H) = e^{-2\left(\frac{H}{H_s}\right)^2} \quad \text{of} \quad e^{-1/8 \frac{H^2}{\mu_0}}$$

Opmerking :

H_s = de significante golfhoogte: het gemiddelde van de hoogste 33 % van de golfhoogten. H_s sluit goed aan bij de visuele waarnemingen van golfhoogten. Voor H_s wordt ook wel de schrijfwijze $H_{1/3}$ gebruikt.

4.2 HYDRAULISCH ONDERZOEK

De gehanteerde meetgegevens zijn voor het merendeel verzameld door het Waterloopkundig Laboratorium te Delft, dat in opdracht van Nedeco, samen met Osint in 1981 en 1982 een hydraulisch onderzoek verrichtte in het estuarium en de toegangseulen naar de haven van Beira.

Hierbij zijn op verschillende locaties metingen uitgevoerd waarbij onder meer zijn gemeten;

- * golfhoogte, periode en richting
- * windsnelheid en windrichting
- * stroomsnelheid en stroomrichting
- * waterstand
- * sedimenttransport

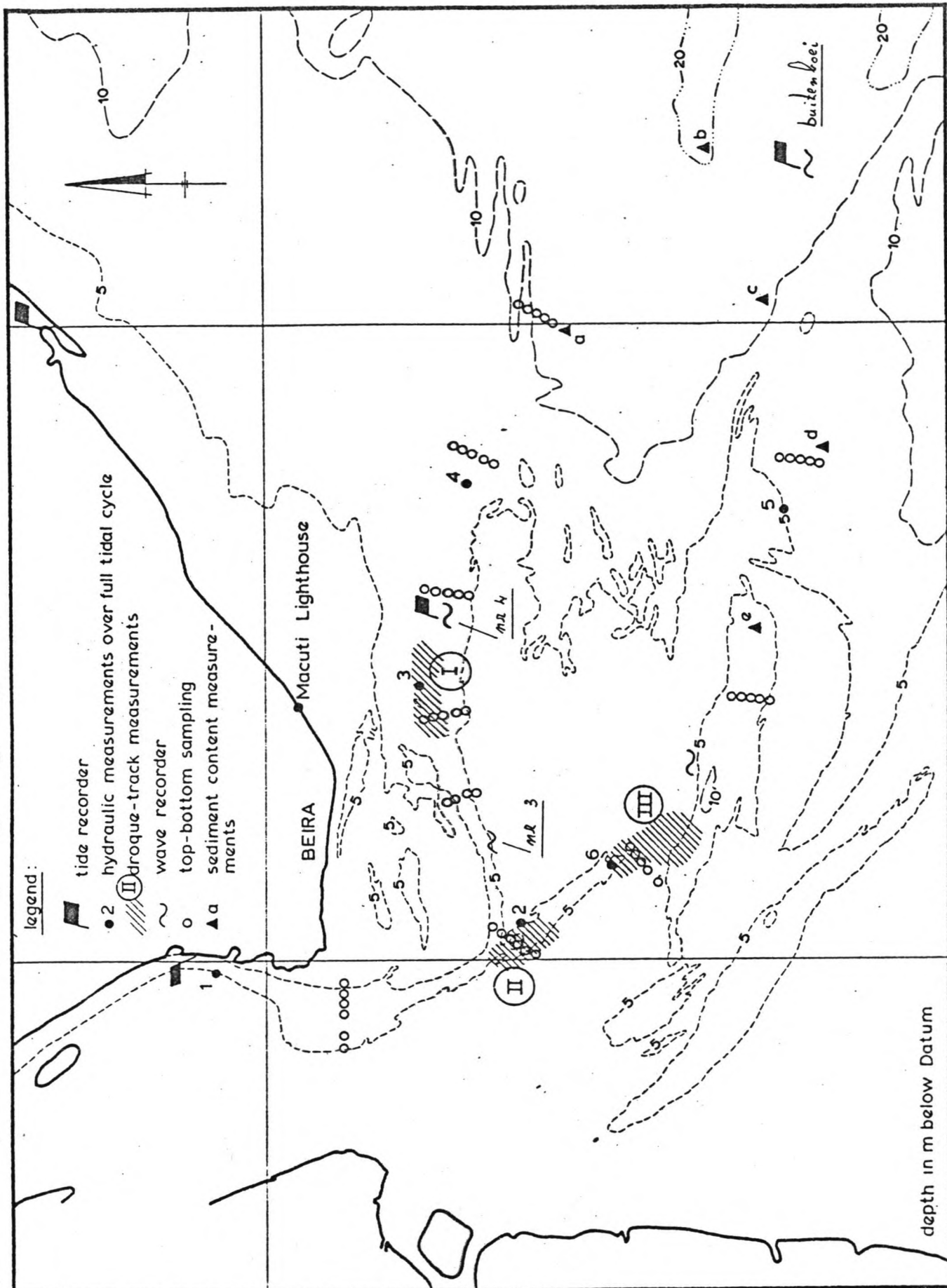
Verder zijn er op een aantal locaties boringen verricht en bodemonsters genomen. Een overzicht van de locaties waar men enig onderzoek heeft gedaan, is aangegeven in figuur 6 op de volgende pagina.

Voor de volledigheid kan nog vermeld worden dat het onderzoek in twee delen heeft plaats gehad. Men heeft namelijk eerst een onderzoek gedaan tijdens de droge periode van augustus tot december 1981 en later nog eens herhaald tijdens de natte periode van januari tot april 1982. Sommige metingen (getij, golf en wind) zijn zonder onderbreking uitgevoerd vanaf juli 1981 tot maart 1982.

Een voorbeeld van de verkregen resultaten van bijvoorbeeld meetpunt III is in bijlage 6 opgenomen.

figuur 6: Locaties van onderzoek

zie pagina 13



MEASURING LOCATIONS DRY SEASON SURVEY 1981

SCALE APPR. 1:140,000

NEDECO

FIG. 5.

4.3 GOLFGEGEVENS

Golfmetingen zijn uitgevoerd met 2 "Datawell waveriders". Een ervan werd gestationeerd aan het begin van de toegangsgeul vanaf juli 1981. De andere werd gedurende kortere periodes langs de Macuti geul geplaatst. (zie figuur 6)

Om de 6 uur werd gemeten met een meetduur van 20 min. De meetgegevens zijn verwerkt tot golfspectra, waarbij 2 typen zijn te onderscheiden: (zie bijlagen 7 en 8)

* spectra met een piek

* spectra met twee pieken, een deiningspiek met een piekperiode > 8 sek en een windgolfpiek.

Bij het analyseren van de resultaten heeft men het spectrum met de 2 pieken beschouwd als een sommatie van 2 afzonderlijke spectra met 2 verschillende piekperiodes en bijbehorende significante golfhoogten.

De meetresultaten van de buitenboei zijn weergegeven in tabel 2.

Significante golfhoogten van meer dan 2 m zijn slechts gedurende 1.3 % van de waarnemingsperiode gemeten.

Het aantal gegevens van de meting bij boei nr 4 is beperkt. De gegevens van de nr 4 locatie zijn weergegeven in tabel 4, tesamen met de gegevens van de buitenboei, geregistreerd tijdens dezelfde periode.

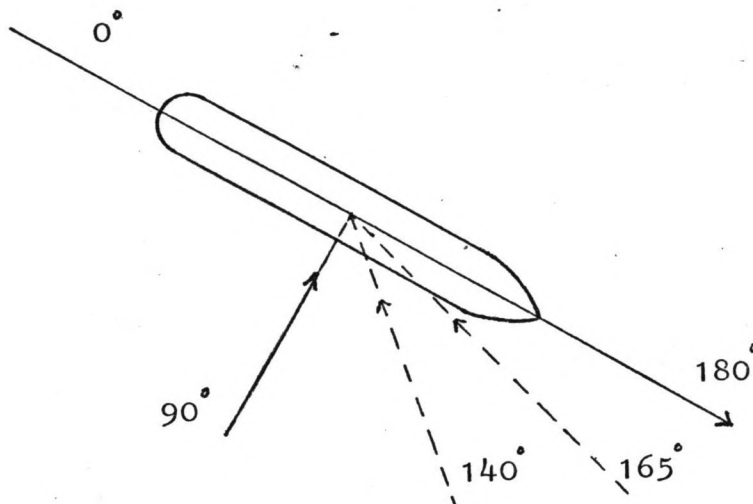
Hieruit kan worden gekonkludeerd dat vanwege de ondiepten de golfhoogten afnemen. Duidelijk is ook dat het verschil van de golfhoogten tussen de twee locaties afhankelijk zijn van het verticale getij. Bij laag water is de reductie veel sterker dan bij hoog water.

4.4 GOLFRICHTING

Golven met een periode groter dan 8 seconden komen in het algemeen vanuit het ZO en ZZO.

Met het oog hierop kan men bij het uitvaren van het tracé, 3 trajecten onderscheiden: (zie figuur 2)

- 1) Vanaf de kade naar de bocht bij boei nr 8. Hierbij is de golfinval nagenoeg frontaal (dwz 180°).
- 2) Vanaf boei nr 8 door de Macuti geul naar de Pilot Station, golfinval ongeveer loodrecht op het schip (dwz 90°).
- 3) Vanaf de Pilot Station naar open zee, met een golfinval van 140° - 165° .



figuur 7: Invalshoek van de golven

tabel 1.

Available wave recordings

| buoy | location | measuring period |
|-------|------------|------------------------|
| outer | | July 1981 - March 1982 |
| inner | nr. 4 buoy | August - November 1981 |
| inner | nr. 3 buoy | March 1982 |

tabel 2.

Wave conditions outer buoy

| T _p (s) H _s (m) | T _p (s) | | | | | | | tot |
|--|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| | 2-4 | 4-6 | 6-8 | 8-10 | 10-12 | 12-14 | > 14 | |
| 0-0,5 | 0,20 | 0,70 | 1,29 | 6,16 | 3,58 | 0,30 | | 12,23 |
| 0,5-1,0 | 0,30 | 12,62 | 12,62 | 18,59 | 7,55 | 1,49 | | 53,17 |
| 1,0-1,5 | 0,10 | 11,03 | 10,24 | 3,38 | 0,60 | 0,10 | 0,10 | 25,55 |
| 1,5-2,0 | | 2,49 | 4,67 | 0,60 | | | | 7,76 |
| 2,0-2,5 | | | 1,09 | | | | 0,10 | 1,19 |
| 2,5-3,0 | | | 0,10 | | | | | 0,10 |
| > 3,0 | | | | | | | | |

occurrence (%)

tabel 3.

Wave directions

| H (m) | wave direction | | | | | ALL |
|----------|----------------|---------|---------|-------|--------------|-------|
| | E T < 8 s | SE | | | S T < 8 s | |
| | | T < 8 s | T > 8 s | all T | | |
| 0-1.0 | 9.7 | 11.9 | 37.6 | 49.5 | 6.1 | 65.3 |
| 1.0-2.0 | 7.2 | 13.4 | 4.8 | 18.2 | 8.0 | 33.4 |
| 2.0-3.0 | - | 0.4 | 0.1 | 0.5 | 0.8 | 1.3 |
| | 17.0 | 25.7 | 42.5 | 68.2 | 14.9 | 100.0 |

occurrence (%)

bron: Beira Port Study
Nedeco

tabel 4.

Wave conditions inner and outer buoy

| T_p (s) \ H_s (m) | 2-4 | 4-6 | 6-8 | 8-10 | 10-12 | 12-14 | > 14 | tot |
|-----------------------|------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|
| 0-0,5 | 0,89 | 4,91 | 2,23 | 7,59 | 11,61 | 1,34 | | 28,57 |
| 0,5-1,0 | 6,25 | 31,70 | 9,37 | 4,02 | 0,45 | | | 51,79 |
| 1,0-1,5 | | 16,52 | 2,23 | | | | | 18,75 |
| 1,5-2,0 | | 0,89 | - | | | | | 0,89 |
| 2,0-2,5 | | | | | | | | |

inner buoy location no. 4 buoy 224 observations

| | | | | | | | | |
|---------|------|------|-------|-------|-------|------|--|-------|
| 0-0,5 | 0 | 0 | 0 | 5,24 | 3,85 | 0 | | 9,09 |
| 0,5-1,0 | 0,35 | 5,94 | 8,04 | 17,43 | 15,78 | 1,40 | | 48,94 |
| 1,0-1,5 | | 9,09 | 11,89 | 3,85 | 2,10 | | | 26,93 |
| 1,5-2,0 | | 3,85 | 7,34 | 0,70 | | | | 11,89 |
| 2,0-2,5 | | | 2,80 | | | | | 2,80 |
| 2,5-3,0 | | | 0,35 | | | | | 0,35 |

outer buoy 286 observations

occurrence (%)

tabel 5.

Wave reduction

| T_p (s) | 4-6 | 6-8 | 8-10 | 10-12 | 12-14 |
|------------|------|------|------|-------|-------|
| low water | 0,60 | 0,45 | 0,45 | 0,30 | 0,30 |
| high water | 0,90 | 0,80 | 0,80 | 0,70 | 0,70 |

H_s inner buoy/ H_s outer buoy

bron: Beira Port Study
Nedeco

Hoofdstuk V

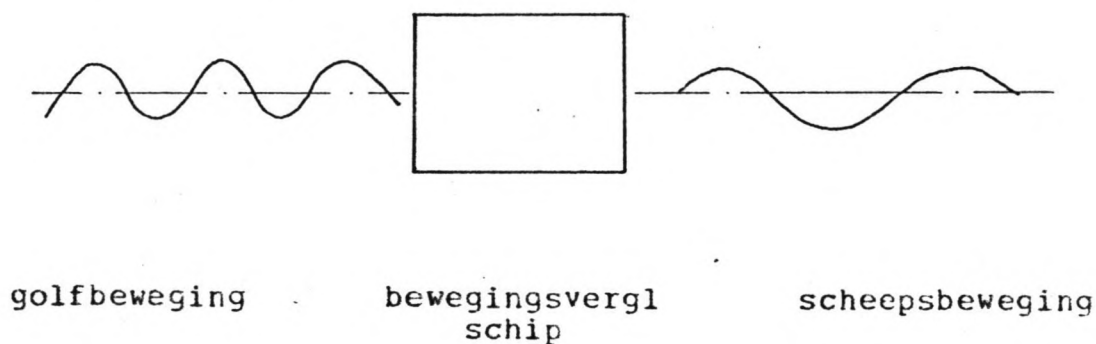
SCHEEPSBEWEGINGEN

5.1 ALGEMEEN

De bewegingen die een schip kan maken als gevolg van golven zijn weergegeven in figuur 10.

Van deze 6 bewegingen zijn het dompen, het stampen en het slingeren van invloed op de diepgang van het schip, vandaar dat nu uitsluitend naar deze 3 bewegingen gekeken zal worden.

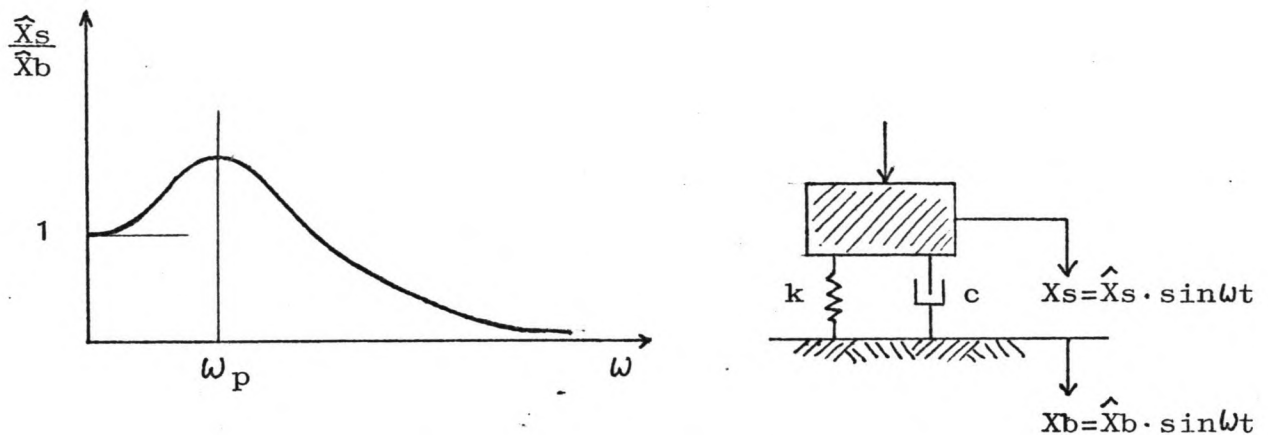
Het dynamisch systeem: schip in golfbeweging is schematisch als volgt voor te stellen:



figuur 8: Systeem schip in golf

Zonder uitgebreid in te gaan op de bewegingsvergelijkingen van het schip, zie hiervoor GERRITSMA Scheepsbewegingen [4] en HAKKERS [5], is het geheel voor te stellen als een gedempt massa-veer systeem.

De uitwijking van het schip \hat{X}_s ten opzichte van de opgelegde harmonische beweging $f(t) = \hat{X}_b \sin \omega t$ kan geschetst worden als hieronder:



figuur 9: Uitwijking massa-veer systeem

5.2 RESPONSFUNCTIE

Door middel van modelproeven kan gemeten worden welke bewegingen optreden bij verschillende golfrekwenties.

Op deze manier is een responsfunctie van een schip te bepalen voor het dompen, stampen en slingeren.

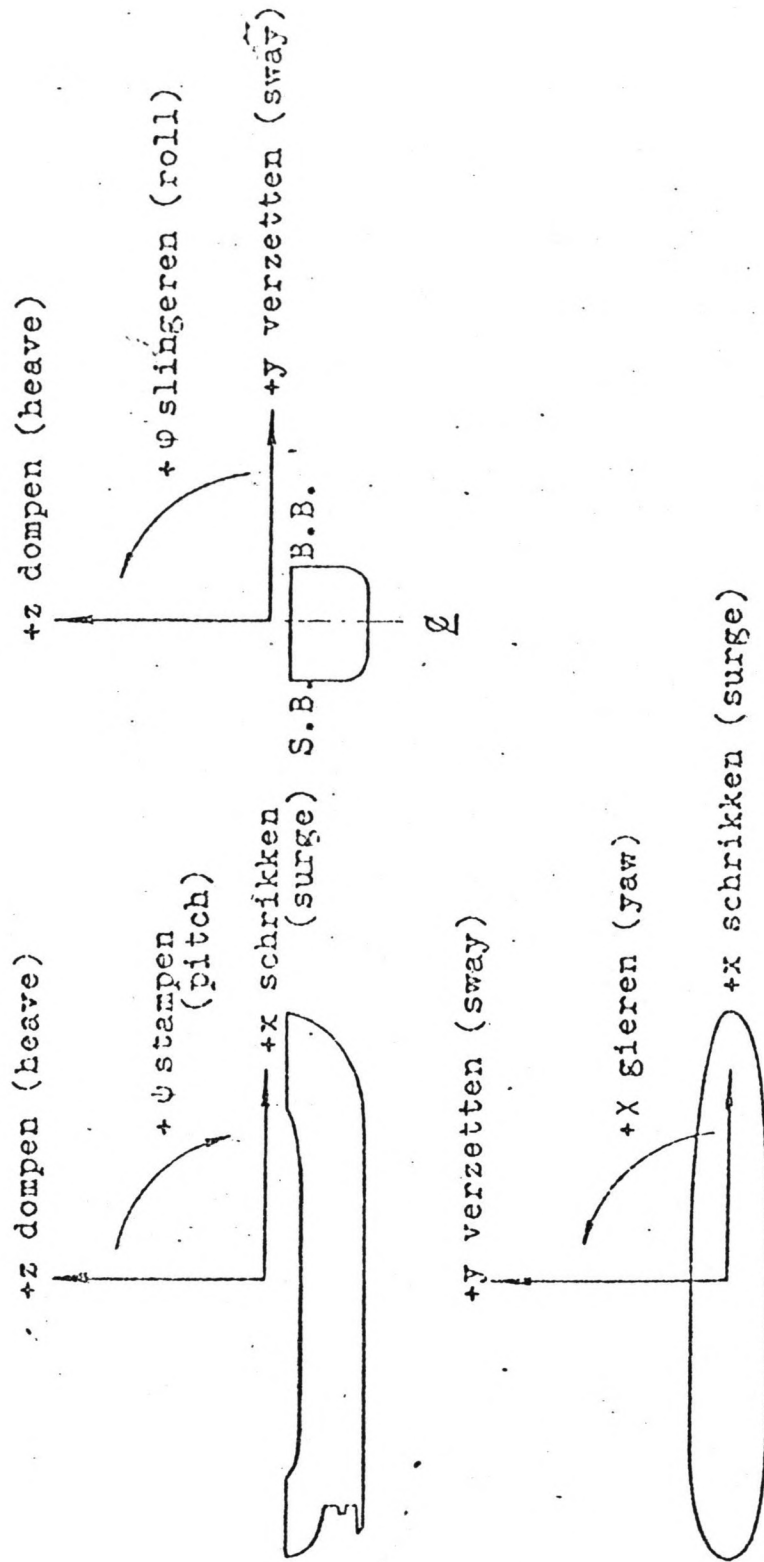
De maximale verticale uitwijking die optreedt is meestal een combinatie van bovengenoemde respnsfuncties. Het NSP (Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation) te Wageningen heeft uit verschillende model proeven van ertscarriers een figuur samengesteld waaruit een goede schatting kan worden verkregen van de verticale bewegingen van deze schepen. (Zie bijlage III)

Aan de hand van deze figuur zijn de responsfuncties van het ontwerpschip berekend en getekend voor $\mu = 90^\circ$, 152° en 180° . Zie de berekening op pagina 21 en figuur 11 op pagina 22.

figuur 10: Scheepsbewegingen

zie pagina 20

Definities van de gebruikte tekenafspraken



figuur 10: Scheepsbewegingen

5.3 RESPONSIEFUNCTIE BEREKENING

- \bar{T}_e = gemiddelde golfontmoetingsperiode
 ∇ = waterverplaatsing van het schip
 R = responsie-factor
 v = snelheid van het schip
 μ = invalshoek van de golven
 $z_{a/3}$ = significante verticale scheepsbeweging van het diepste punt van het schip
 $\xi_{a/3}$ = significante golfhoogte

80.000 DWT
 $\nabla = 98.000 \text{ m}^3$
 $v = 0 \text{ kn}$

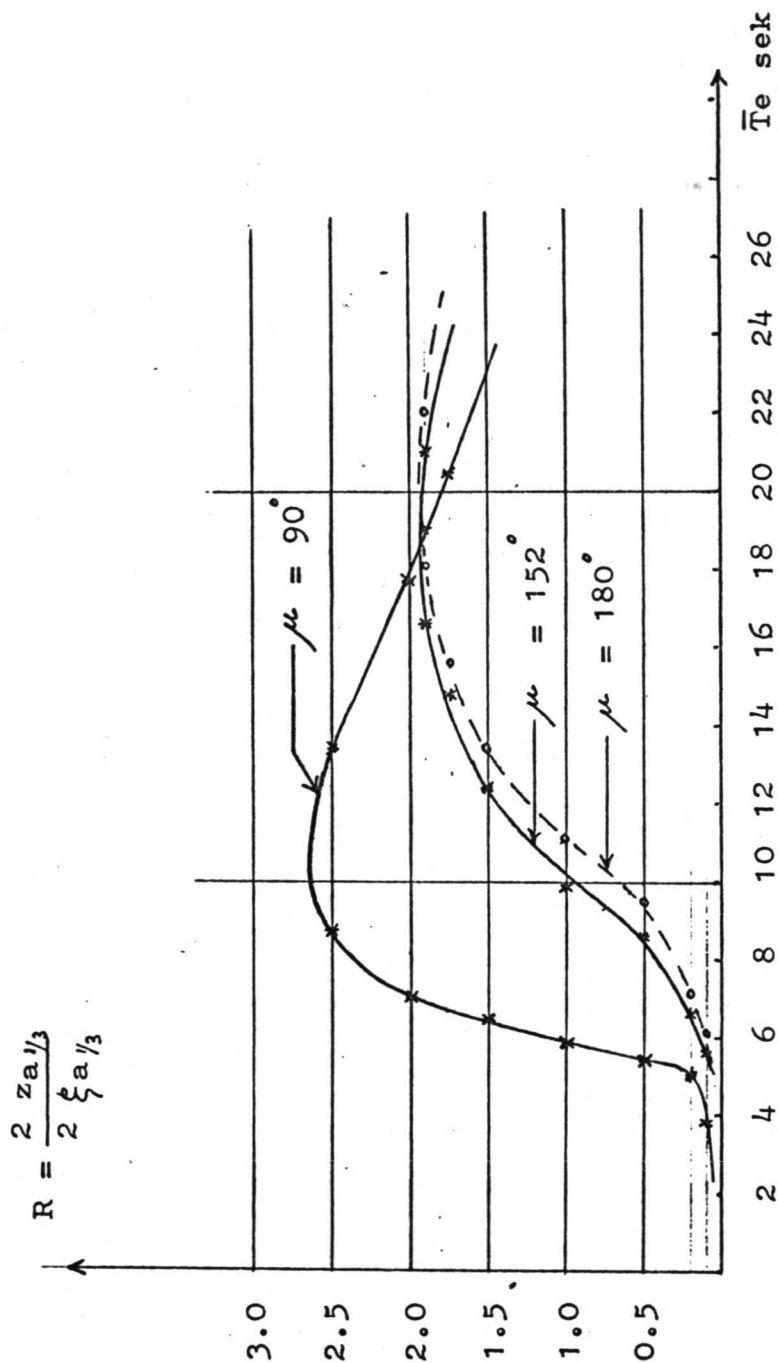
$$R = \frac{2 z_{a/3}}{2 \xi_{a/3}}$$

$$\frac{\nabla}{\text{m}^3} = 6.79$$

De onderstaande waarden volgen uit de figuur van bijlage 3 op pagina 78.

| R | $\mu = 90^\circ$ | | $\mu = 180^\circ$ | | $\mu = 152^\circ$ | |
|------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | \bar{T}_e/∇ % | \bar{T}_e | \bar{T}_e/∇ % | \bar{T}_e | \bar{T}_e/∇ % | \bar{T}_e |
| 0.1 | 0.58 | 3.9 | 0.90 | 6.1 | 0.82 | 5.6 |
| 0.2 | 0.73 | 5.0 | 1.05 | 7.1 | 0.97 | 6.6 |
| 0.5 | 0.78 | 5.3 | 1.40 | 9.5 | 1.27 | 8.6 |
| 1.0 | 0.86 | 5.8 | 1.64 | 11.1 | 1.46 | 9.9 |
| 1.5 | 0.94 | 6.4 | 1.98 | 13.4 | 1.82 | 12.4 |
| 1.75 | 0.97 | 6.6 | 2.30 | 15.6 | 2.18 | 14.8 |
| 1.90 | 1.00 | 6.8 | 2.67 | 18.1 | 2.44 | 16.6 |
| 2.0 | 1.02 | 6.9 | responsie-factor 2 | | — | — |
| 2.5 | 1.28 | 8.7 | wordt niet bereikt | | — | — |
| 2.5 | 1.97 | 13.4 | — | — | — | — |
| 2.0 | 2.61 | 17.7 | — | — | — | — |
| 1.9 | 2.82 | 19.1 | 3.22 | 21.9 | 3.09 | 21.0 |
| 1.75 | 3.00 | 20.4 | — | — | — | — |

een figuur no 11

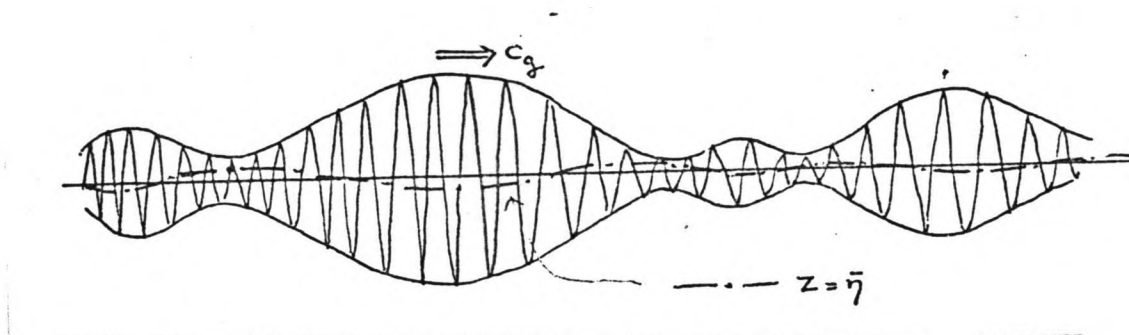


figuur 11: Responsfunctie ontwerpship

5.4 SET DOWN

Golven die op zee door de wind zijn opgewekt zijn niet periodiek, in zo'n golfveld bevinden zich golven met verschillende frekwenties. Er kunnen golfgroepen optreden die elk gekenmerkt zijn door een opeenvolging van relatief hoge golven, en groepen waartussen de beweging duidelijk minder sterk is (zweving).

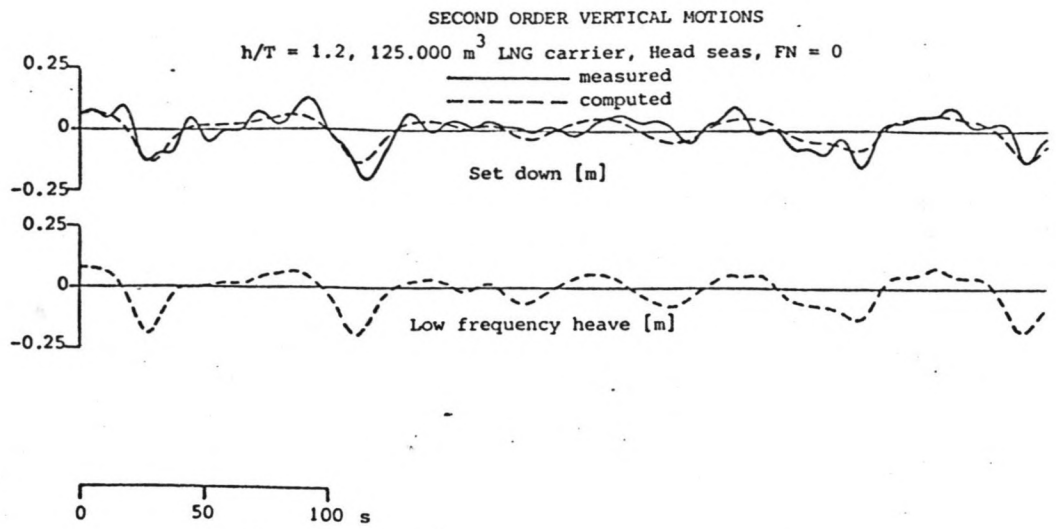
Battjes [2] legt uit dat dit aanleiding geeft tot lokale verhogingen (set up) en verlagingen (set down) van de gemiddelde waterstand (gemiddeld over een paar individuele golven maar niet over een hele golfgroep). (Zie fig 12)



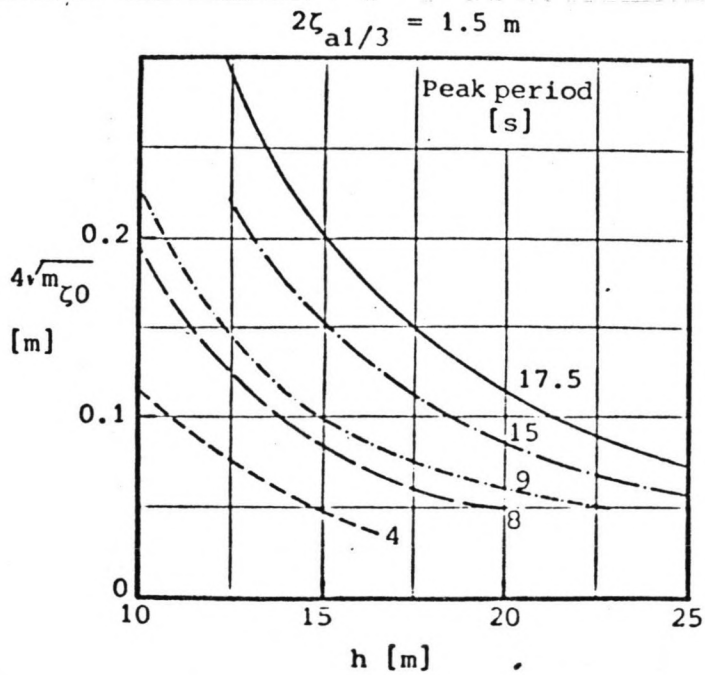
figuur 12: Set down

Volgens een onderzoek van het NSP door HUIJSMANS en DALLINGA [7] zullen de verticale scheepsbewegingen met deze lokale waterstandsverschillen corresponderen. Ze hebben dit aangetoond met behulp van model-experimenten van een LNG-carrier van 125.000 m³.

Een vergelijking tussen de verticale beweging van het model en de geobserveerde set down is geïllustreerd in figuur 13. Uit berekeningen die zij verder hebben uitgevoerd is een figuur samengesteld waarin de set down is uitgezet tegen de piekperiode van een golf met $H_s = 1.5$ m. (zie figuur 14) Deze figuren gelden voor een stilliggend schip.



figur 13: Set down model LNG-carrier



figur 14: Set down in an irregular wave

Bron: N.S.P. Wageningen

Hoofdstuk VI

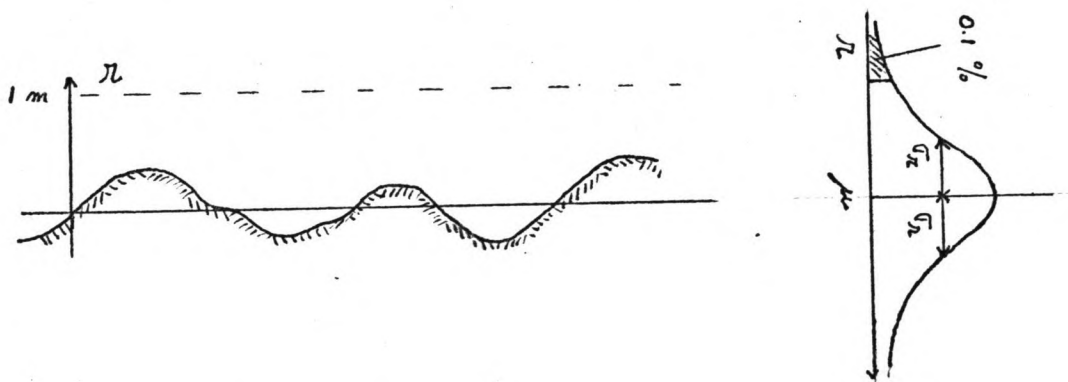
BODEM-ONREGELMATIGHEID

De bodem-onregelmatigheid in een gebaggerde geul wordt aanvankelijk bepaald door de kwaliteit van het uitgevoerde baggerwerk. De nauwkeurigheid van het geleverde werk wordt mede bepaald door de vereiste toleranties en de nauwkeurigheid van de diepte-metingen ter controle van het baggerwerk.

De Koning [6] geeft voor sleepzuigers in de klasse 6.000 - 18.000 ton een verticale tolerantie van 0.75 m. zowel positief als negatief.

Met een toeslag voor het getij-verschil van 5 cm per m¹ getij, wordt de verticale tolerantie 1.00 m.

Indien wordt aangenomen dat de bodemdiepten normaal verdeeld zijn en een afwijking van 1.00 m ten opzichte van de gemiddelde diepte een overschrijdingskans van 0.10 % heeft dan is de standaardafwijking σ_r als volgt te berekenen:



figuur 15: Bodem-onregelmatigheid

$$\mu(r) = 0 \quad p(r \geq 1 \text{ m}) = 0.1 \% = 0.001$$

$$\rightarrow p(r \geq 1 \text{ m}) = p(u \geq 3.09) \quad \text{uit de tabel van de standaard-normale verdeling, zie bijlage 10.}$$

$$\rightarrow p\left(\frac{r - \mu(r)}{\sigma_r} \geq 3.09\right) = p(r \geq 3.09 \sigma_r)$$

$$\Rightarrow \sigma_r = 1 \text{ m} / 3.09 = 0.32 \text{ m.}$$

Op dezelfde wijze is ook de standaardafwijking voor de bodem-onregelmatigheid bepaald voor een overschrijdingskans van 1 %.

$$\Rightarrow \sigma_r = 1 \text{ m} / 2.33 = 0.43 \text{ m.}$$

Voor de berekening van de optimale geuldiepte is gekozen voor $\sigma_r = 0.32 \text{ m.}$

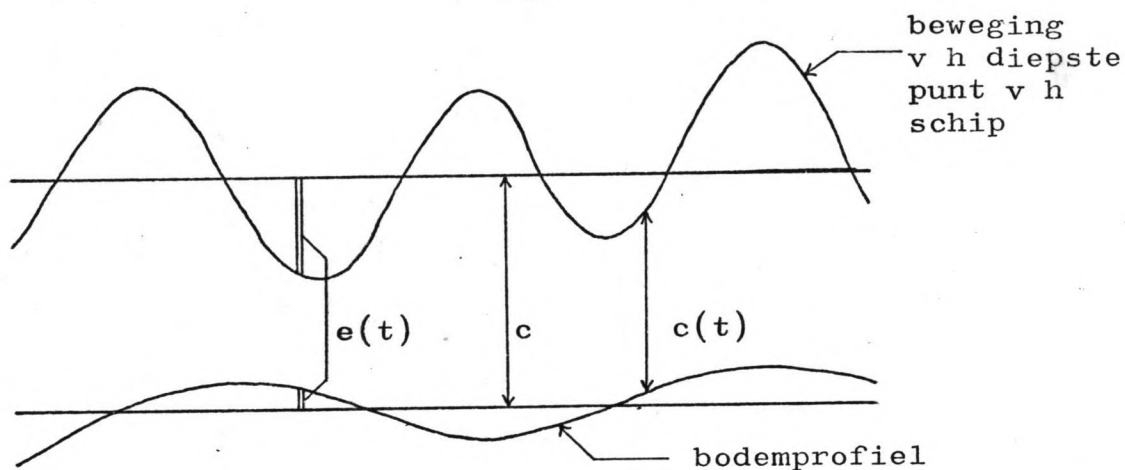
Hoofdstuk VII

BEREKENING OPTIMALE GEULDIEPTE

Uitgaande van figuur 4 op pagina 7 is de gemiddelde keelclearance \bar{c} als volgt uit te drukken :

$$\bar{c} = h - D - z$$

waarin h = waterdiepte
 D = diepgang van het schip
 z = inzinking (squat + trim)



figuur 16: Keelclearance

De momentane keelclearance $c(t)$ is te schrijven als :

$$c(t) = \bar{c} - e(t) \quad \text{zie figuur 16}$$

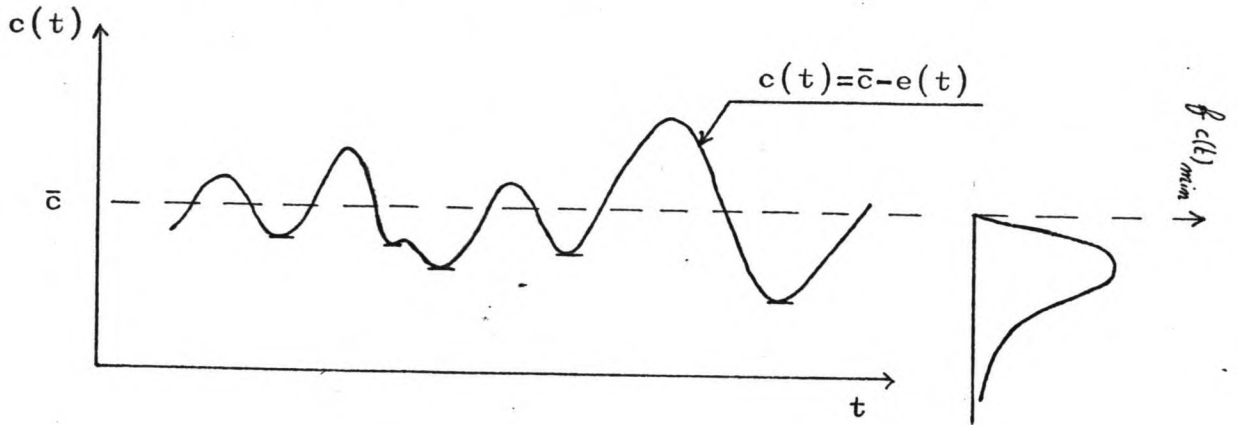
waarbij $e(t)$ de gezamenlijke invloed is van :

- de variatie van de bodem
- de variatie van de verticale beweging van het diepste punt van het schip

7.1 KANS OP RAKEN VAN DE BODEM

Raken treedt op als $c(t) \leq 0$, dus als $e(t) > \bar{c}$.

Voor het bepalen van de kans op raken wordt de verdeling van de minima van $c(t)$ beschouwd.



figuur 17: Verloop van $c(t)$

De minima zijn met een ∇ aangegeven.

Zoals reeds in paragraaf 4.1 is behandeld kan voor de verdeling van de minima een Rayleigh verdeling worden aangenomen, mits het spectrum voldoende smal is.

Aangezien hier steeds wordt uitgegaan van de lineariteit van de grootheden golfbeweging - scheepsbeweging en tevens wordt aangenomen dat de invloed van de scheepsbeweging op de keelclearance overheersend is, is de aanname voor een Rayleighverdeling gerechtvaardigd.

De kans dat één extreme waarde van de keelclearance variatie $e(t)$ de gemiddelde keelclearance \bar{c} bereikt of overschrijdt, is

$$P(e(t) \geq \bar{c}) = P(\bar{c}) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\bar{c}}{\sigma_e} \right)^2}$$

Het schip ondervindt tijdens zijn vaart door het kanaal een aantal extremen N , afhankelijk van :

- * afstand van het af te leggen traject
- * vaarsnelheid over dat traject
- * bewegingsfrequentie van het schip, dat wordt bepaald door de frequentie waarmee het schip de golven ontmoet.

Van belang is de kans dat het schip tijdens de vaart door het kanaal tenminste 1 maal de bodem raakt.

We nemen hierbij aan dat bij 1 keer raken reeds schade optreedt. Voor het verhaal is het verder niet van belang hoe vaak de bodem geraakt wordt.

Volgens de wetten van de kansrekening is de kans

P (gebeurtenis treedt minstens 1 maal op) = $1 - P$ (gebeurtenis treedt nooit op)

Met andere woorden, de kans dat een extreme waarde van de keelclearance variatie $e(t)$ kleiner is dan \bar{c} is :

$$1 - P(\bar{c})$$

Gedurende de passage van het schip treden er N extremen op. De kans dat geen van deze extreme waarden \bar{c} bereikt is :

$$[1 - P(\bar{c})]^N$$

Tenslotte is dan de kans dat het schip minstens 1 * de bodem raakt gedurende zijn passage, gelijk aan :

$$E1 = 1 - [1 - P(\bar{c})]^N$$

$E1$ is de kans dat een schip tijdens een bepaalde golfkonditie de bodem raakt bij de doorvaart van het beschouwde traject.

Men kan zich voorstellen dat ook rekening moet worden gehouden met:

- 1) het tijdstip waarop een ontwerpschip in de geul aanwezig is, dit in verband met de waterstand op dat moment
- 2) de kans op voorkomen van de betreffende golfkondities
- 3) de kans op voorkomen van de gemiddelde keelclearance \bar{c}
- 4) het aantal schepen per jaar dat van de geul gebruik maakt

ad 1)

Bij het dimensioneren van de geul wordt ervan uitgegaan dat het geladen kolenschip alleen bij HW zal uitvaren, en wel om twee redenen.

- a. In verband met het manoevreren, en vooral bij het varen door de bocht bij boei nr 8 in de Macuti geul, is het van belang dat de optredende stroomsnelheden klein zijn. In het algemeen kan men het best manoevreren wanneer er enige tegenstroom is.

Zoals het getijplaatje op bijlage 6 laat zien dient het schip zijn vertrektijdstip dan zodanig te kiezen dat het zich ongeveer 1 uur voor HW op het meest kritieke punt bevindt. (de bocht bij boei nr 8, zie figuur 2 op pagina 4)

b. Grote besparing aan baggerwerk.

Indien ook bij andere waterstanden dan HW gevaren moet kunnen worden, dan zal uiteraard de diepgang van de geul groter moeten worden.

Alleen varen bij HW is een gegeven beperking. Een tweede punt is dat er maar 1 geladen kolenschip tegelijk in de geul aanwezig zal zijn. Dit hangt samen met het feit dat er slechts 1 kade beschikbaar is om het schip te laden.

ad 2)

De kans op voorkomen van een bepaalde golfkonditie is gegeven in tabel 2 op pagina 16.

Zoals reeds in de betreffende paragraaf is opgemerkt zijn deze gegevens afkomstig uit metingen van 20 minuten, en om de 6 uur gemeten, waaruit vervolgens Hs en T zijn berekend. Bij het varen door de geul wat ca 1.5 uur in beslag neemt wordt ervan uitgegaan dat de beschouwde golfkonditie konstant blijft.

De kans dat het schip de bodem raakt bij de gekozen golfkonditie en dat die golfkonditie optreedt is :

$$E2 = E1 * P (Hs, T)$$

Zo is er voor elke golfkonditie i een E2i te berekenen, gegeven dat er een schip aanwezig is.

De totale kans op raken E3, gedurende een gegeven tijdsinterval van 6 uur, is dan te vinden door de sommatie van alle (= N') golfkondities :

$$E3 = \sum_{i=1}^{N'} E2i \quad (i=1, 2, \dots, N')$$

ad 3)

Bij het berekenen van de voorgaande waarden is men ervan uitgegaan dat de waterstand tijdens de vaart konstant bleef. Dit is ook wel min of meer het geval, echter de waterstanden van elk HW variëren van HWS tot HWN, daarmee verandert dus ook de gemiddeld optredende keelclearance \bar{c} . Het is duidelijk dat bij een hoger HW-peil de \bar{c} toeneemt en daarmee dus de kans op raken afneemt.

Op dezelfde wijze als bij het berekenen van de kans op raken bij de verschillende golfkondities, kunnen ook de waterstanden in een aantal klassen worden ingedeeld. Bij elke klasse met een gemiddelde waterstand L behoort een gemiddelde keelclearance \bar{c} . Van elke klasse is dan weer de kans op raken te berekenen.

Door deze met de kans op voorkomen van de betreffende waterstands-klasse te vermenigvuldigen is de kans op raken van deze klasse bekend. Door deze procedure te herhalen voor de overige klassen en dan al deze waarden te sommeren, wordt de kans op raken E_4 bepaald.

$$E_4 = \sum_{j=1}^k E_{3j} * P(\text{voorkomen klasse } j)$$

waarin k = aantal klassen waarin de waterstanden zijn verdeeld.

E_4 is aldus de kans van raken wanneer 1 schip per jaar tijdens een willekeurig HW Beira verlaat.

Van de waterstanden bij HW in de haven is een overschrijdingskromme bekend. (zie bijlage 9)

Aan de hand hiervan zijn de waterstanden bij HW ingedeeld naar de volgende klassen. (klassebreedte van 0.50 m)

| Waterstand tov Chart Datum | Kans op voorkomen |
|-------------------------------|----------------------|
| 4.0 - 4.5 m | 0.10 |
| 4.5 - 5.0 m | 0.16 |
| 5.0 - 5.5 m | 0.17 |
| 5.5 - 6.0 m | 0.20 |
| > 6.0 m | 0.37 |

HW > 6.0 m wordt niet verder onderverdeeld daar de kans op raken in deze klasse veel kleiner is dan in de overige klassen, en aldus bij de sommatie nauwelijks enige bijdrage zal leveren.

Voor een nauwkeuriger berekening kunnen de eerste twee klassen gehalveerd worden tot 4 kleinere klassen met een klassebreedte van 0.25 m.

Op dit moment is de kans van raken bekend voor een schip dat op een willekeurig HW naar buiten vaart; waarbij moet worden aangenomen dat tijdens deze vaart

- a) het golfklimaat niet verandert.
- b) de waterstand in het kanaal konstant blijft.

ad 4)

Het is in de praktijk gebruikelijk de kans op raken per jaar te hanteren. Zoals op pagina 6 is vermeld doen er gemiddeld 117 kolenschepen per jaar Beira aan.

De kans dat 1 schip de bodem raakt = E_4 .

De kans dat het schip niet de bodem raakt = $1-E_4$.

De kans dat 117 schepen niet de bodem raken = $(1-E_4)^{117}$.

De kans dat een van deze 117 schepen wel de bodem raakt = $E_5 = 1-(1-E_4)^{117}$.

Met E_5 hebben we nu de totale kans op raken per jaar te pakken.

Voor een optimalisatie van de geuldiepte, bekeken vanuit het gezichtspunt van de havenautoriteiten, zijn de belangrijkste factoren die een rol spelen :

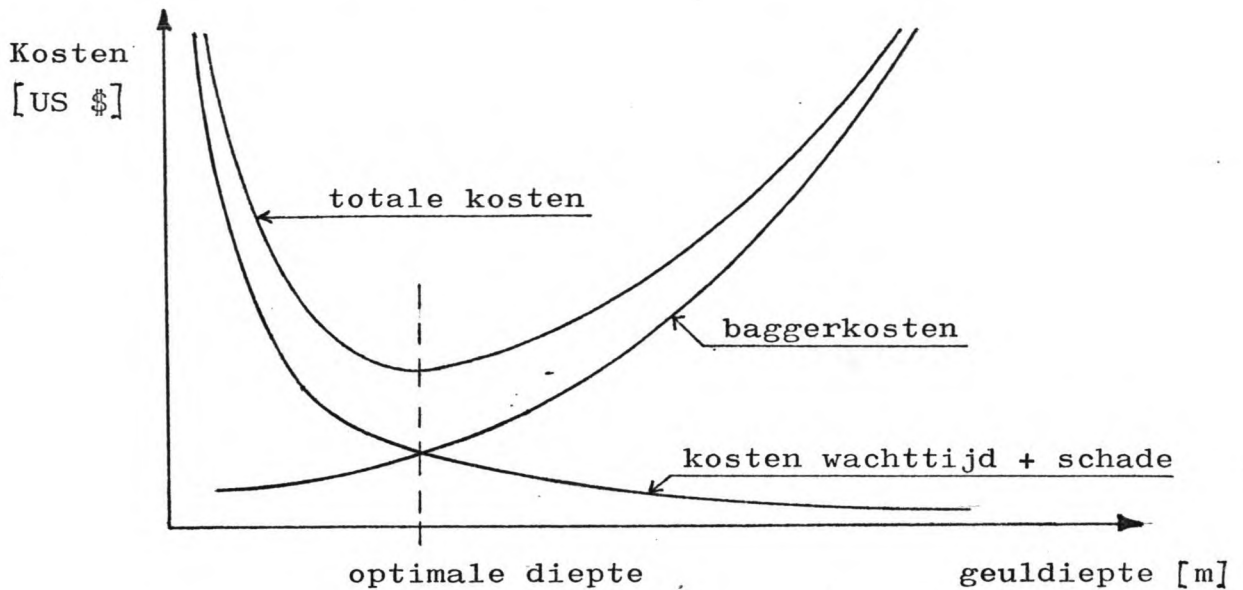
- * kosten in geval van schade
- * baggerkosten
 - initieel
 - onderhoudswerk
- * kosten tgv optreden van wachttijden
 - strandingen
 - niet varen bij hogere golven

Wanneer we ervan uitgaan dat men ter dekking van de schade W een verzekeringspremie betaalt, dan zal de premie hoger zijn naarmate de kans op schade toeneemt.

Bij afnemende geuldiepte -> meer gevaar -> hogere premie

Bij een ondiepe geul hebben we ook te maken met wachttijden, die hoger zullen worden naarmate de geul minder diep wordt. Ook dit is in geld uit te drukken. De baggerkosten spreken voor zich. Een diepere geul kost meer aan initieel baggerwerk en zal in de regel ook meer onderhouds baggerwerk vergen.

Wanneer we de kosten in een figuur schetsen, dan zal het resultaat ongeveer de volgende gedaante aannemen.



figuur 18: Geschetste kosten

Uit de gegeven krommen kan een optimum gevonden worden. Hiertoe is wel een berekening nodig waarbij men voor een aantal geuldiepten de bovenstaande kosten moet berekenen. Door middel van proberen kan aldus het optimum gevonden worden.

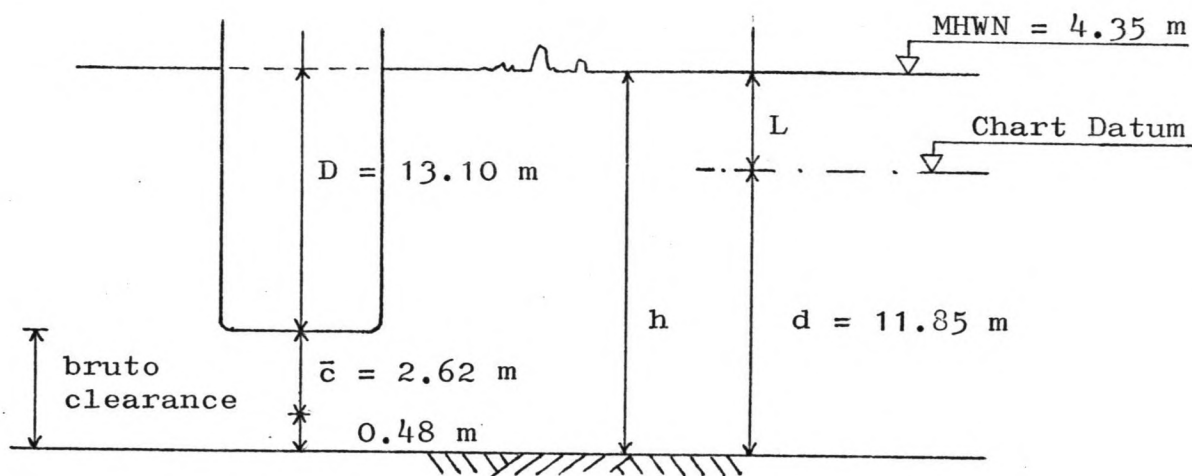
Het is niet de bedoeling in dit verslag een nauwkeurige kosten analyse te maken. Er zal daarom worden volstaan met het behandelen van enkele aspecten van de bovenstaande kosten.

Aan de hand van de daarbij gemaakte veronderstellingen en de berekeningen voor traject 2, kan de bovenstaande figuur dan nader worden bepaald.

Hiertoe zal voor een aantal geuldiepten de kans op raken worden berekend, waardoor ook de schadekosten voor de verschillende geuldiepten bepaald zijn.

Aan de hand van de gevonden resultaten is dan een benadering te geven van het verloop van de in figuur 18 geschetste kosten.

Het is vaak handiger om gebruik te maken van de geuldiepte tov CD (als referentie-vlak), in plaats van de gemiddelde keelclearance bij MHWN. Aangezien deze twee factoren onverbreekelijk met elkaar verbonden zijn, zie figuur 19, is het niet moeilijk hun onderlinge relatie vast te stellen. Hierbij moet wel rekening worden gehouden met de optredende waarden voor de inzinking (squat en trim) en de set down. Zie ook paragraaf 3.1 op pagina 7 en verder.



figuur 19: Geuldiepte

Voor traject 2 is aangenomen dat de vaarsnelheid van het ko-
lenschip 8 kn bedraagt.

De hierbij behorende inzinking van het schip is dan 0.36 m.
Dit was reeds berekend in paragraaf 3.4 op pagina 9. Een
waarde voor de set down is af te lezen uit figuur 12 op pa-
gina 24.

Bij een aanname van :

golfhoogte $H_s = 1.5$ m
diepte $h = 15$ m
golfperiode $T = 11$ sek

volgt een set down van 0.12 m.

De totale waarde van

set down + inzinking is dan $0.12 + 0.36 = 0.48$ m.

De ligging van de bodem tov CD kan nu worden bepaald.

| | |
|------------------------------------|---------------------------|
| Gemiddelde clearance bij MHW | Geuldiepte beneden CD. |
|------------------------------------|---------------------------|

| | |
|--------|---------|
| 1.62 m | 10.85 m |
| 2.12 | 11.35 |
| 2.62 | 11.85 |
| 3.12 | 12.35 |
| 3.62 | 12.85 |

7.2 KOSTEN SCHADE

De kosten in geval van schade zijn moeilijk te bepalen. De oorzaak is dat de gevolgen van het raken van de bodem moeilijk te voorspellen zijn.

Wanneer men veronderstelt dat de kanaalbodem op ca 11.35 m beneden Chart Datum komt, horende bij een aanname van een keelclearance van 20 %, dan bestaat de bodem voornamelijk uit vaste tot harde klei.

Bij het raken van de bodem zal niet direct gevaar bestaan dat het schip lek slaat. Meestal zal het schip namelijk aan het eind van zijn neergaande beweging zijn waardoor het slechts even de bodem aantikt. De schade-kosten zijn daarbij beperkt.

In het andere geval waarbij het schip nog niet aan het eind van zijn neergaande beweging is, zal het schip zich een eind in de grond boren en kan men een veel grotere schade verwachten.

Wanneer men deze redenering als leidraad aanhoudt, kunnen de schade-kosten verdeeld worden in twee gevallen:

- 1) Lichte schade.
- 2) Zware schade.

ad 1) In dit geval wordt verondersteld dat de kosten beperkt blijven tot de kosten van een inspectie van het geraakte vlak van het schip, en de verlette tijd.

Stel de kosten van lichte schade op:

| | | |
|------------|--------------|-------------------|
| 1 wachtdag | 25.000 US \$ | (NEI/DHV rapport) |
| sleepboot | 5.000 US \$ | |
| inspectie | 5.000 US \$ | |
| | ----- | + |
| totaal | 35.000 US \$ | |

ad 2) In het geval van zware schade wordt aangenomen dat het schip ten gevolge van het raken van de bodem uit zijn roer zal lopen en vast zal komen te zitten. Het schip zal daarbij de geul blokkeren waardoor de geul gestremd is voor diepliggende schepen zoals geladen kolen-, olie- en roro-schepen. Voor de kleinere schepen wordt aangenomen dat ze bij HW om het gestrande schip heen kunnen varen.

Verder wordt aangenomen dat het een week zal duren voordat er een sleper met voldoende trekkracht arriveert om het schip vlot te trekken.

Globaal kunnen dan de volgende kostenfactoren worden onderscheiden:

- * kosten tgv extra opgelopen wachttijd van
 - het gestrande schip
 - de geblokkeerde schepen
- * kosten voor
 - vlot trekken
 - opgelopen schade aan schip

In het hoofdonderzoek is berekend dat er gemiddeld per jaar 117 kolen-, 40 olie- en ca 86 roro-schepen de haven aanlopen. Dit zijn totaal gemiddeld 250 schepen per jaar. De kosten die nu in rekening worden gebracht zijn:

Bij zware schade :

Voor het gestrande schip

| | | |
|--------------|---------------|-----------------|
| 7 dagen vast | 175.000 US \$ | |
| vlot trekken | 25.000 US \$ | |
| reparatie | 75.000 US \$ | |
| | ----- | + |
| totaal | 275.000 US \$ | |
| | | |
| tgv blokkade | 425.000 US \$ | (zie hieronder) |
| | ----- | + |
| totaal | 700.000 US \$ | |

De kosten ten gevolge van de geblokkeerde schepen is als volgt berekend.

In 1 week zijn er gemiddeld 5 schepen die aankomen cq vertrekken en die gemiddeld 3.5 dagen moeten wachten. Totaal zijn dit 17 wachtdagen.

Dit kost dan : $17 * 25.000 = 425.000$ US \$.

De kosten van al deze schepen worden gelijkgesteld aan 25.000 US \$ per dag.

7.3 BAGGERKOSTEN

Zoals reeds in paragraaf 4.2 en figuur 6 is vermeld zijn er op verscheidene plaatsen in het kanaal grondboringen verricht. Uit dit onderzoek blijkt dat de bodemsamenstelling onder andere bestaat uit:

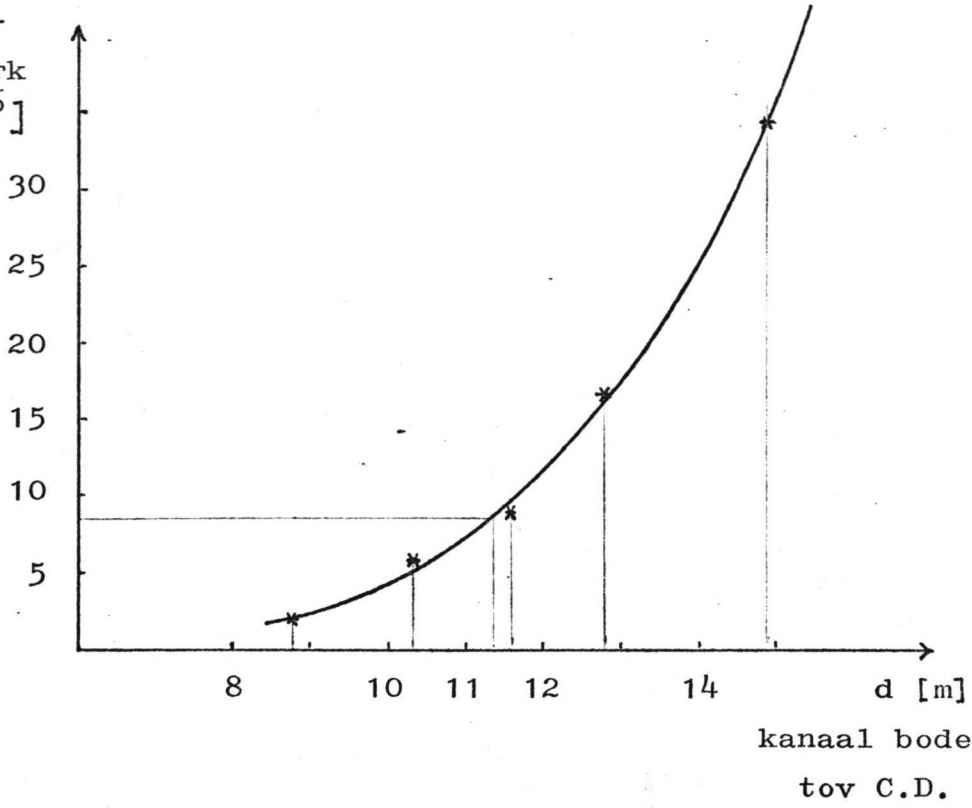
- zachte klei
- grof zand
- vaste klei
- harde klei

De eerste twee komen vooral aan de oppervlakte van de bodem voor, de vaste en harde klei komen wat dieper voor.

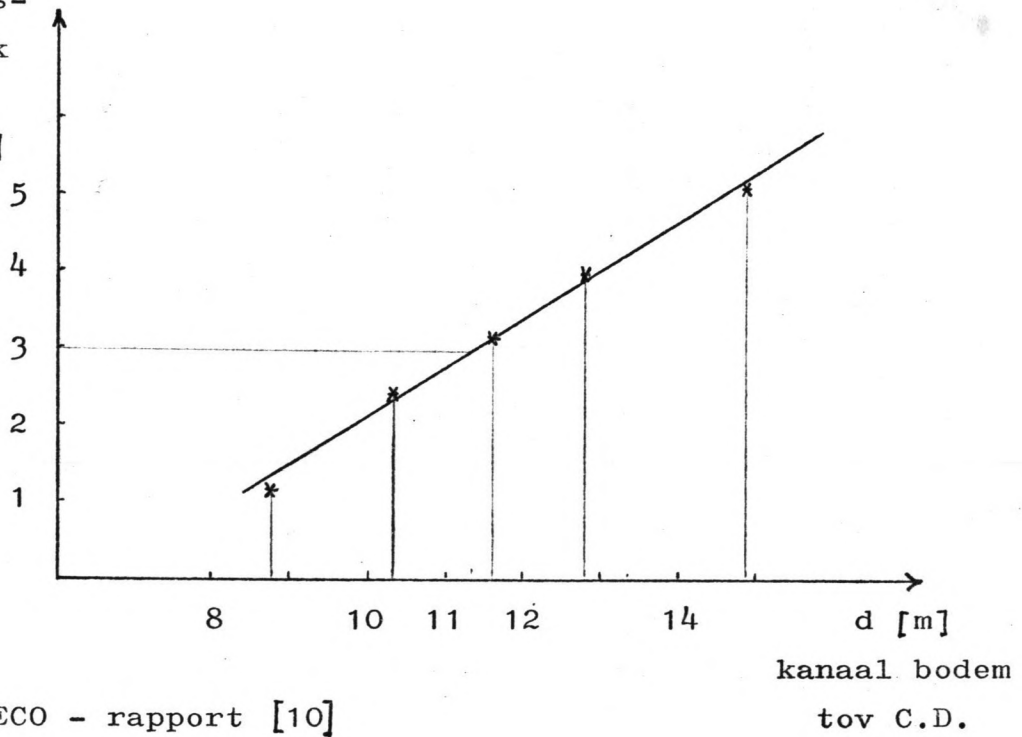
In een studie van NEDECO [10] zijn voor een aantal kanaal-diepten de hoeveelheden baggerwerk berekend. Deze zijn in figuur 20 op de volgende pagina uitgezet.

Voor het berekenen van de kosten wordt een eenheidsprijs van 3 US \$ per m³ gehanteerd voor het initiele baggerwerk en 2 US \$ per m³ voor het onderhoudsbaggerwerk.

Initieel-
baggerwerk
[m³ x 10⁶]



Onderhouds-
baggerwerk
per jaar
[m³ x 10⁶]



Bron: NEDECO - rapport [10]

figuur 20: Initieel- en onderhoudsbaggerwerk

7.4 KOSTEN WACHTTIJD

Een van de oorzaken voor het optreden van wachttijden is reeds ter sprake geweest, namelijk golfomstandigheden. Wanneer men de toegangsgemaal steeds minder diep maakt, om zo op het baggerwerk te besparen, dan bereikt men op een gegeven moment een punt waarop bij HW, zelfs onder gunstige omstandigheden niet meer naar buiten kan worden gevaren met het kolenschip.

Dit veroorzaakt niet alleen extra wachttijden voor dit schip, ook voor de andere schepen worden de wachttijden groter omdat het getijdenster waarin de schepen naar binnen en naar buiten moeten kunnen varen steeds smaller wordt. Wanneer men bovendien bedenkt dat in de geul op bepaalde plaatsen slechts eenrichtingsverkeer mogelijk is, dan is het niet moeilijk zich voor te stellen dat de wachttijden snel zullen toenemen.

Dit is ook het resultaat van experimenten met behulp van een computersimulatie-model van de haven van Beira. Dit onderzoek is gedaan in de hoofdstudie van het afstudeerproject, bij de afdeling Verkeerswaterbouwkunde. Zie hiervoor deel II van het afstudeerverslag.

Bij het onderzoek met het simulatie-model is het uitgangspunt dat het kolenschip nog net kan uitvaren bij de laagst optredende HW-stand (HWN), wanneer de kanaalbodem op 11.35 m beneden C.D. ligt.

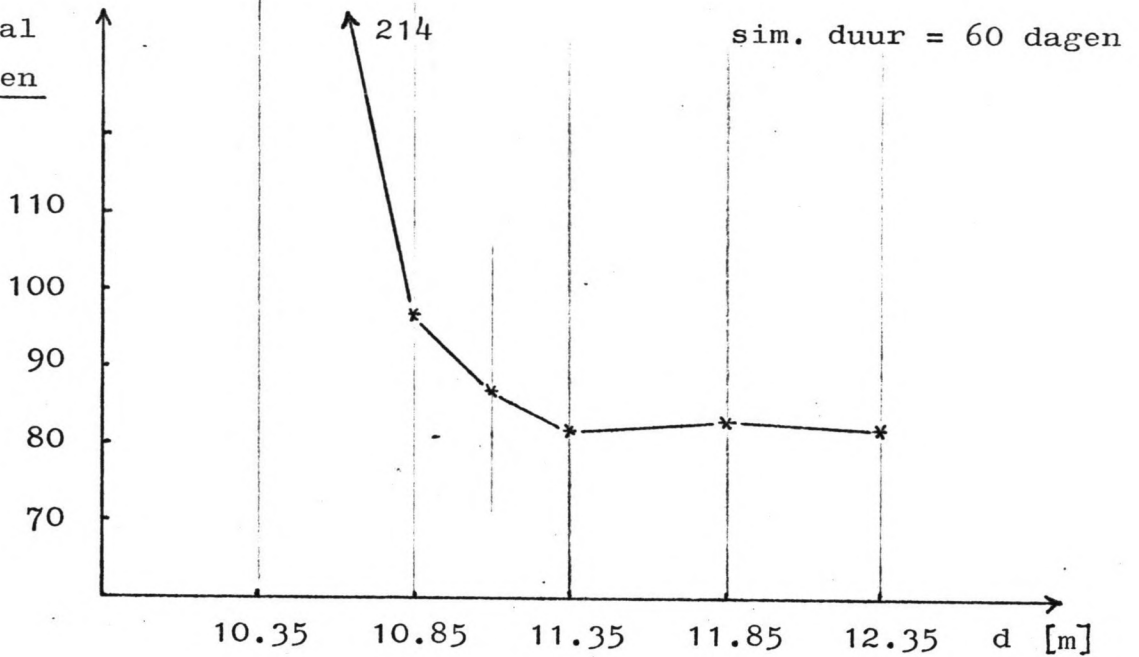
Vanuit dit gegeven zijn de wachttijden bepaald indien de kanaalbodem varieert van 10.35 m tot 12.35 m, beneden C.D., met een stapgrootte van 0.50 m. De resultaten hiervan zijn weergegeven in figuur 21.

Hieruit blijkt duidelijk dat de wachttijden snel toenemen wanneer de kanaaldiepte kleiner dan 11.35 m wordt, en dat dit bijna geheel op rekening komt van het kolenschip.

Gezien dit resultaat is daarom besloten het hiervoor genoemde uitgangspunt verder als randvoorwaarde te hanteren. Met andere woorden; het schip dient bij "normale omstandigheden" met de gemiddeld optredende HW-standen bij doodtij (MHWN), uit te kunnen varen.

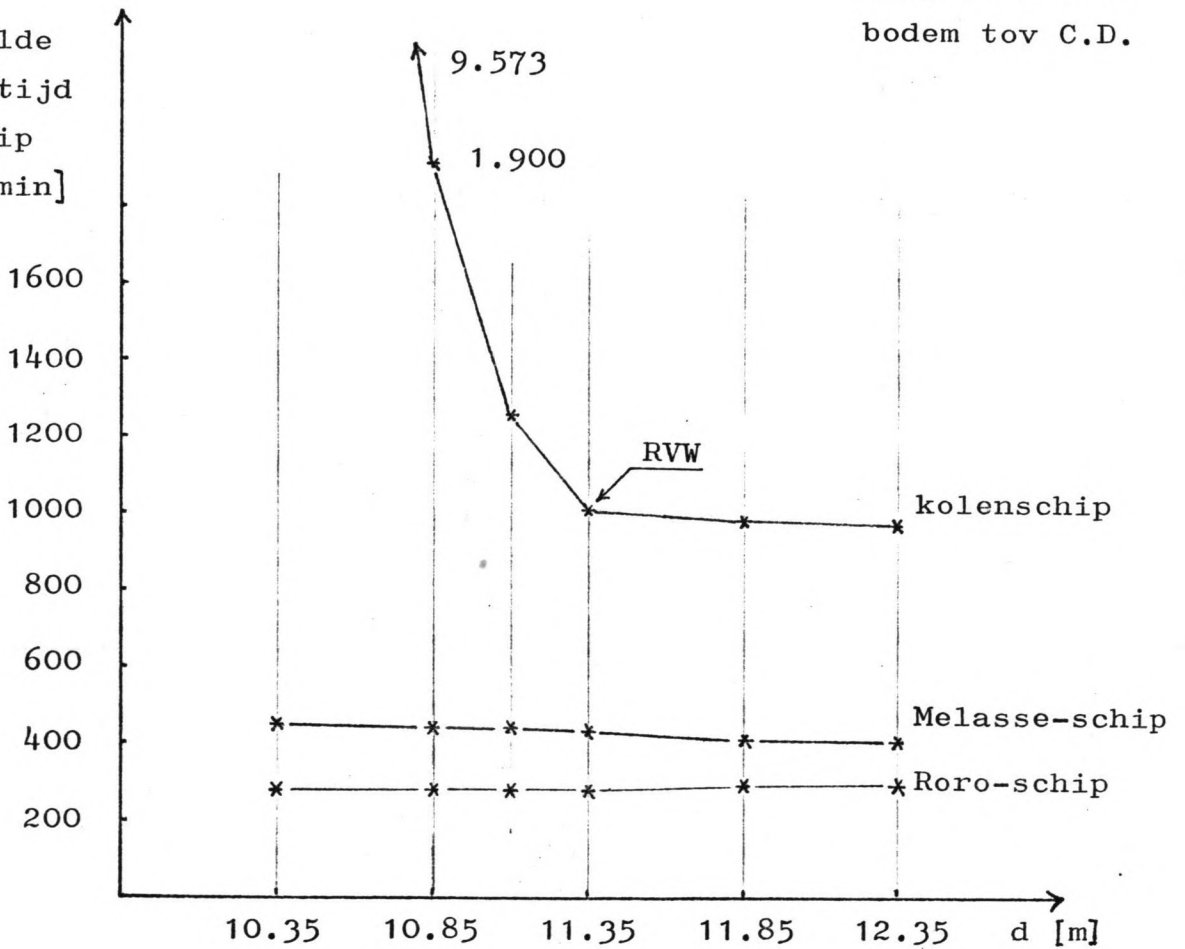
Wanneer men veronderstelt dat de kosten van een kolenschip ongeveer 25.000 US \$ per dag bedragen (uit NEI/DHV rapport), dan zijn de kosten ten gevolge van die extra wachttijd te berekenen.

tot aantal
wachtdagen



diepte kanaal-
bodem tov C.D.

gemiddelde
wachttijd
per schip
[min]



kanaal bodem

figuur 21: Wachttijden

tov C.D.

7.5 KOSTEN KAPITALISATIE

Om een totale evaluatie van een bepaalde ontwerpdiepte mogelijk te maken moeten de jaarlijkse kosten omgezet worden tot een hoeveelheid kapitaal dat indien het wordt uitgezet tegen een rente van i %, juist genoeg rente oplevert om deze jaarlijkse kosten te betalen voor een leefduur van n jaren van de geul.

Deze kapitaalsom wordt bepaald door de jaarlijkse kosten te vermenigvuldigen met een zogenaamde "present worth factor":

$$Pwf = \frac{(1 + i)^n - 1}{i (1 + i)^n}$$

Bijker [8]

waarin i = rente-percentage
 n = aantal betaalperioden

| | | | | | |
|--------|-------------|----|---------------|----|-------------|
| Indien | $i = 10 \%$ | en | $n = 20$ jaar | -> | $Pwf = 8.5$ |
| | $= 8 \%$ | | $= 20$ jaar | | $= 9.8$ |
| | $= 7.5 \%$ | | $= 20$ jaar | | $= 10.2$ |

Voor de eenvoud van de berekening wordt in het vervolg gerekend met een $Pwf = 10$, dat als een realistische aanname kan worden beschouwd.

7.6 BEREKENING

Uitgaande van een redelijke schatting voor de keelclearance zal eerst de kans op raken bepaald worden. Uitgegaan wordt van een benadering van de keelclearance genoemd door PIANC :

- 20 % van de diepgang van het schip,
voor traject 2. (golfinval 90°)
- 10 % van de diepgang van het
voor de trajecten 1 en 3. (golfinval 180°)

7.6.1 Traject 2

Traject 2. Lengte 13.4 km
 Diepgang D = 13.10 m
 $\bar{c} = 0.2 * D = 2.62$ m

Gemiddelde vaarsnelheid tov de vaste wal = 8 kn = 14.8 km/u
-> vaartijd over traject 2 = 13.4/14.8 = 0.905 u = 3260 sek.

Het aantal extremen $N = 3260 / \bar{T}_e$

Bij de berekening van de significante beweging van het schip is ook rekening gehouden met de golfreductie. (zie paragraaf 4.3 op pagina 14)

De responsie-factor R volgt uit de responsfunctie van figuur 11 op pagina 22.

| $\bar{T} = \bar{T}_e$ | N | red coeff | R |
|-----------------------|-----|-----------|------|
| 7 | 464 | 0.8 | 2.00 |
| 9 | 361 | 0.8 | 2.55 |
| 11 | 295 | 0.7 | 2.60 |
| 13 | 255 | 0.7 | 2.55 |
| 15 | 217 | 0.7 | 2.30 |

Verder is het voor de berekening van de kans op raken $P(\bar{c})$, nodig de waarde van de standaardafwijking van de keelclearance, σ_e te berekenen. Zoals eerder is gezegd is de keelclearance variatie $e(t)$, een functie van de scheepsbeweging $R(t)$ en de bodem-onregelmatigheid $r(t)$. Indien nu wordt aangenomen dat $R(t)$ en $r(t)$ stochastisch onafhankelijk zijn dan geldt dat

$$\sigma_e^2 = \sigma_R^2 + \sigma_r^2$$

\bar{U}_r is bepaald in het vorige hoofdstuk; $\bar{U}_r = 0.32 \text{ m}$

$$\bar{U}_R = \sqrt{M_0} = 1/4 * R_{1/3} \text{ (zie par 4.1)}$$

waarin $R_{1/3}$, de significante verticale scheepsbeweging van het diepste punt van het schip voorstelt.

Rekening houdend met de golfreductie-coëfficiënt wordt

$$\bar{U}_R = 1/4 * R_{1/3} = 1/4 * \text{red coëff} * R * H_s$$

De berekening is in tabelvorm op de volgende pagina's uitgevoerd. In het kort herhaald verloopt de berekening als volgt:

- gegeven $\bar{c} = 20 \% D = 2.62 \text{ m}$. pagina 42
- bereken de kans op raken $P(\bar{c})$ pagina 44
bij golfhoogten van resp. $H_s = 1.75 \quad 1.25 \quad 0.75 \text{ m}$.
- hieruit volgt dan E_1 ; pagina 44
voor H_s tussen $1.5 - 2.0 \text{ m}$
 $1.0 - 1.5 \text{ m}$
 $0.5 - 1.0 \text{ m}$
- herhaal dit voor $\bar{c} = 20 \% D - 1.00 \text{ m} = 1.62 \text{ m}$.
 $\bar{c} = 20 \% D - 0.50 \text{ m} = 2.12 \text{ m}$.
 $\bar{c} = 20 \% D + 0.50 \text{ m} = 3.12 \text{ m}$. pagina 44
 $\bar{c} = 20 \% D + 1.00 \text{ m} = 3.62 \text{ m}$.
 $\bar{c} = 20 \% D + 1.50 \text{ m} = 4.12 \text{ m}$.
 $\bar{c} = 20 \% D + 2.00 \text{ m} = 4.62 \text{ m}$. pagina 45
- bereken $E_2 = E_1 * P(H_s, T)$ pagina 46
voor $\bar{c} = 1.62 \quad 2.12 \quad 2.62 \quad 3.12 \text{ m}$
 $3.62 \quad 4.12 \quad 4.62 \text{ m}$
- bereken $E_3j = \sum_{i=1}^{N'} E_2i$ pagina 46
- verdeel de waterstanden in k klassen; bepaal de kans op voorkomen van deze klassen. pagina 31
- bereken $E_4 = \sum_{j=1}^k E_3j * P(\text{voorkomen klasse } j)$. pagina 47
- bereken $E_5 = 1 - (1 - E_4)^{117}$ pagina 47

$\sigma_R = 1/4 \times \text{red coef} \times R \times H_s$
 $\sigma_e^2 = \sigma_R^2 + \sigma_x^2$
 $\sigma_x = 0.32 \text{ m}$

$P(\bar{c}) = e^{-\frac{H(\bar{c})^2}{\sigma_e^2}}$
 $E1 = 1 - [1 - P(\bar{c})]^N$

$\bar{c} = 20\% D - 1.00 \text{ m} = 2.12 \text{ m}$
 $\bar{c} = 20\% D - 0.50 \text{ m} = 2.62 \text{ m}$
 $\bar{c} = 20\% D + 0.50 \text{ m} = 3.12 \text{ m}$

| Hs [m] | σ _R | σ _e | c̄ = 20% D - 1.00 m = 2.12 m | | c̄ = 20% D - 0.50 m = 2.62 m | | c̄ = 20% D + 0.50 m = 3.12 m | | | | |
|--|----------------|----------------|------------------------------|------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | P(c̄) | E1 | P(c̄) | E1 | P(c̄) | E1 | | | |
| T̄ = 7 sek red coef = 0.8 N = 464 R = 2 | 0.7 | 0.77 | 1.1 * 10 ⁻¹ | 1 | 2.3 * 10 ⁻² | 1 | 3.0 * 10 ⁻³ | 0.76 | 0.76 | 2.7 * 10 ⁻⁴ | 0.12 |
| | 0.5 | 0.59 | 2.3 * 10 ⁻² | 1 | 1.7 * 10 ⁻³ | 0.55 | 5.9 * 10 ⁻⁵ | 2.70 * 10 ⁻² | 1.0 * 10 ⁻⁶ | 1.0 * 10 ⁻⁶ | 4.66 * 10 ⁻⁴ |
| | 0.3 | 0.44 | 1.1 * 10 ⁻³ | 0.41 | 8.5 * 10 ⁻⁶ | 3.92 * 10 ⁻³ | 1.8 * 10 ⁻⁸ | 8.35 * 10 ⁻⁶ | 1.0 * 10 ⁻¹¹ | 1.0 * 10 ⁻¹¹ | 4.64 * 10 ⁻⁹ |
| | 0.89 | 0.95 | 2.3 * 10 ⁻¹ | 1 | 6.0 * 10 ⁻² | 1 | 2.2 * 10 ⁻² | 1 | 4.5 * 10 ⁻³ | 4.5 * 10 ⁻³ | 0.80 |
| T̄ = 9 sek red coef = 0.8 N = 361 R = 2.55 | 0.64 | 0.71 | 7.4 * 10 ⁻² | 1 | 1.2 * 10 ⁻² | 0.99 | 1.2 * 10 ⁻³ | 0.35 | 7.0 * 10 ⁻⁵ | 7.0 * 10 ⁻⁵ | 2.50 * 10 ⁻² |
| | 0.38 | 0.50 | 5.3 * 10 ⁻³ | 0.85 | 1.2 * 10 ⁻⁴ | 4.21 * 10 ⁻² | 1.0 * 10 ⁻⁶ | 3.66 * 10 ⁻⁴ | 3.2 * 10 ⁻⁹ | 3.2 * 10 ⁻⁹ | 1.14 * 10 ⁻⁶ |
| | 0.57 | 0.65 | 4.5 * 10 ⁻² | 1 | 5.1 * 10 ⁻³ | 0.78 | 3.2 * 10 ⁻⁴ | 8.91 * 10 ⁻² | 1.1 * 10 ⁻⁵ | 1.1 * 10 ⁻⁵ | 3.20 * 10 ⁻³ |
| | 0.34 | 0.47 | 2.6 * 10 ⁻³ | 0.54 | 3.5 * 10 ⁻⁵ | 1.02 * 10 ⁻² | 1.5 * 10 ⁻⁷ | 4.55 * 10 ⁻⁵ | 2.2 * 10 ⁻¹⁰ | 2.2 * 10 ⁻¹⁰ | 6.45 * 10 ⁻⁸ |
| T̄ = 13 sek red coef = 0.7 N = 250 R = 2.55 | 0.56 | 0.64 | 4.1 * 10 ⁻² | 1 | 4.4 * 10 ⁻³ | 0.67 | 2.5 * 10 ⁻⁴ | 6.03 * 10 ⁻² | 7.7 * 10 ⁻⁶ | 7.7 * 10 ⁻⁶ | 1.93 * 10 ⁻³ |
| | 0.33 | 0.46 | 2.0 * 10 ⁻³ | 0.39 | 2.4 * 10 ⁻⁵ | 6.09 * 10 ⁻³ | 1.1 * 10 ⁻⁷ | 2.79 * 10 ⁻⁵ | 1.4 * 10 ⁻¹⁰ | 1.4 * 10 ⁻¹⁰ | 3.45 * 10 ⁻⁸ |
| | 0.50 | 0.60 | 2.6 * 10 ⁻² | 1 | 1.8 * 10 ⁻³ | 0.32 | 6.4 * 10 ⁻⁵ | 1.38 * 10 ⁻² | 1.1 * 10 ⁻⁶ | 1.1 * 10 ⁻⁶ | 2.46 * 10 ⁻⁴ |
| | 0.34 | 0.47 | 2.6 * 10 ⁻³ | 0.54 | 3.5 * 10 ⁻⁵ | 1.02 * 10 ⁻² | 1.5 * 10 ⁻⁷ | 4.55 * 10 ⁻⁵ | 2.2 * 10 ⁻¹⁰ | 2.2 * 10 ⁻¹⁰ | 6.45 * 10 ⁻⁸ |

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_R &= 1/4 * \text{red coef} * R * H_s \\ \bar{\sigma}_e &= \sqrt{\bar{\sigma}_R^2 + \bar{\sigma}_I^2} \\ \bar{\sigma}_I &= 0.32 \text{ m} \end{aligned}$$

$$P(\bar{c}) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\bar{c}}{\bar{\sigma}_e} \right)^2}$$

$$E1 = 1 - [1 - P(\bar{c})]^N$$

$$\begin{aligned} \bar{c} = 20 \% D + 1.00 \text{ m} & \quad \bar{c} = 20 \% D + 1.50 \text{ m} & \quad \bar{c} = 20 \% D + 2.00 \text{ m} \\ = 3.62 \text{ m} & \quad = 4.12 \text{ m} & \quad = 4.62 \text{ m} \end{aligned}$$

| Hs [m] | $\bar{\sigma}_R$ | $\bar{\sigma}_e$ | $\bar{c} = 20 \% D + 1.00 \text{ m}$ = 3.62 m | | $\bar{c} = 20 \% D + 1.50 \text{ m}$ = 4.12 m | | $\bar{c} = 20 \% D + 2.00 \text{ m}$ = 4.62 m | |
|---|------------------|------------------|--|------------------|--|------------------|--|------------------|
| | | | P(\bar{c}) | E1 | P(\bar{c}) | E1 | P(\bar{c}) | E1 |
| $\bar{T} = 7 \text{ sek}$ red coef = 0.8 N = 464 R = 2 | 1.75 | 0.77 | $1.6 * 10^{-5}$ | $7.27 * 10^{-3}$ | $6.0 * 10^{-7}$ | $2.78 * 10^{-4}$ | $1.5 * 10^{-8}$ | $6.96 * 10^{-6}$ |
| | 1.25 | 0.59 | $0.4 * 10^{-9}$ | $3.91 * 10^{-6}$ | $3.5 * 10^{-11}$ | $1.58 * 10^{-8}$ | — | |
| | 0.75 | 0.44 | $1.6 * 10^{-15}$ | — | — | — | — | |
| | | | | | | | | |
| $\bar{T} = 9 \text{ sek}$ red coef = 0.8 N = 361 R = 2.55 | 1.75 | 0.95 | $6.8 * 10^{-4}$ | 0.22 | $7.9 * 10^{-5}$ | $2.8 * 10^{-2}$ | $1.5 * 10^{-6}$ | $5.48 * 10^{-4}$ |
| | 1.25 | 0.71 | $2.6 * 10^{-6}$ | $9.22 * 10^{-4}$ | $5.7 * 10^{-8}$ | $2.06 * 10^{-5}$ | $7.8 * 10^{-10}$ | $2.80 * 10^{-7}$ |
| | 0.75 | 0.50 | $3.6 * 10^{-12}$ | $1.08 * 10^{-9}$ | $1.5 * 10^{-15}$ | — | — | — |
| | | | | | | | | |
| $\bar{T} = 11 \text{ sek}$ red coef = 0.7 N = 295 R = 2.60 | 1.25 | 0.65 | $2.1 * 10^{-7}$ | $6.14 * 10^{-5}$ | $2.2 * 10^{-9}$ | $6.53 * 10^{-7}$ | — | — |
| | 0.75 | 0.47 | $9.9 * 10^{-14}$ | — | — | — | — | — |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| $\bar{T} = 13 \text{ sek}$ red coef = 0.7 N = 250 R = 2.55 | 1.25 | 0.64 | $1.3 * 10^{-7}$ | $3.29 * 10^{-5}$ | $1.2 * 10^{-9}$ | $3.06 * 10^{-7}$ | — | — |
| | 0.75 | 0.46 | $5.4 * 10^{-14}$ | — | — | — | — | — |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| $\bar{T} = 15 \text{ sek}$ red coef = 0.7 N = 217 R = 2.3 | 1.25 | 0.60 | $9.9 * 10^{-9}$ | $2.15 * 10^{-6}$ | $4.3 * 10^{-11}$ | $9.12 * 10^{-9}$ | — | — |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

$$E2 = E1 * P(Hs, T)$$

P(Hs, T) = kans op voorkomen van de beschouwde

$$E3 = \sum_{i=1}^M E2_i$$

golfkonditie (zie tabel 3 op pag 16)

| T | Hs [m] | P(Hs, T) | c̄ = 1.62 | | c̄ = 2.12 | | c̄ = 2.62 | | c̄ = 3.12 | | c̄ = 3.62 | | c̄ = 4.12 | | c̄ = 4.62 | |
|--------|--------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|----|
| | | | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 |
| 7 sek | 2.0 | 4.7 * 10 ⁻² | 4.70 * 10 ⁻² | 4.70 * 10 ⁻² | 3.57 * 10 ⁻² | 5.64 * 10 ⁻³ | 3.42 * 10 ⁻⁴ | 1.31 * 10 ⁻⁵ | 3.27 * 10 ⁻⁷ | | | | | | | |
| | 1.5 | 10.2 * 10 ⁻² | 10.2 * 10 ⁻² | 2.57 * 10 ⁻³ | 4.75 * 10 ⁻⁵ | 3.99 * 10 ⁻⁷ | 1.61 * 10 ⁻⁹ | | | | | | | | | |
| | 1.0 | 12.6 * 10 ⁻² | 5.17 * 10 ⁻² | 1.05 * 10 ⁻⁶ | 5.85 * 10 ⁻¹⁰ | | | | | | | | | | | |
| | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 sek | 2.0 | 6 * 10 ⁻³ | 6 * 10 ⁻³ | 6 * 10 ⁻³ | 4.8 * 10 ⁻³ | 1.32 * 10 ⁻³ | 1.68 * 10 ⁻⁴ | 3.29 * 10 ⁻⁶ | | | | | | | | |
| | 1.5 | 3.4 * 10 ⁻² | 3.4 * 10 ⁻² | 1.19 * 10 ⁻² | 8.5 * 10 ⁻⁴ | 3.13 * 10 ⁻⁵ | 7.00 * 10 ⁻⁷ | 9.54 * 10 ⁻⁹ | | | | | | | | |
| | 1.0 | 18.6 * 10 ⁻² | 1.58 * 10 ⁻¹ | 6.81 * 10 ⁻⁵ | 2.12 * 10 ⁻⁷ | 2.01 * 10 ⁻¹⁰ | | | | | | | | | | |
| | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 sek | 1.5 | 6 * 10 ⁻³ | 6 * 10 ⁻³ | 5.35 * 10 ⁻⁴ | 1.92 * 10 ⁻⁵ | 3.68 * 10 ⁻⁷ | 3.92 * 10 ⁻⁹ | | | | | | | | | |
| | 1.0 | 7.6 * 10 ⁻² | 4.11 * 10 ⁻² | 3.46 * 10 ⁻⁶ | 4.91 * 10 ⁻⁹ | | | | | | | | | | | |
| | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 sek | 1.5 | 1 * 10 ⁻³ | 1 * 10 ⁻³ | 6.03 * 10 ⁻⁵ | 1.93 * 10 ⁻⁶ | 3.29 * 10 ⁻⁸ | 3.06 * 10 ⁻¹⁰ | | | | | | | | | |
| | 1.0 | 1.5 * 10 ⁻² | 5.97 * 10 ⁻³ | 4.19 * 10 ⁻⁷ | 5.18 * 10 ⁻¹⁰ | | | | | | | | | | | |
| | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 sek | 1.5 | 1 * 10 ⁻³ | 1 * 10 ⁻³ | 1.38 * 10 ⁻⁵ | 2.46 * 10 ⁻⁷ | 2.15 * 10 ⁻⁶ | 9.12 * 10 ⁻¹² | | | | | | | | | |
| | 1.0 | | | 5.70 * 10 ⁻² | 1.14 * 10 ⁻² | 1.70 * 10 ⁻³ | 1.82 * 10 ⁻⁴ | 3.65 * 10 ⁻⁶ | | | | | | | | |

$$E3 = \sum E2_i =$$

$$E4 = E3_j * P(\text{voorkomen klasse } j)$$

$$E5 = 1 - (1 - E4)^{117}$$

c̄ vanaf 1.62 m

$$\begin{aligned} 0.10 * 4.54 * 10^{-1} &= 4.54 * 10^{-2} \\ 0.16 * 1.57 * 10^{-1} &= 2.51 * 10^{-2} \\ 0.17 * 5.70 * 10^{-2} &= 9.69 * 10^{-3} \\ 0.20 * 1.14 * 10^{-2} &= 2.28 * 10^{-3} \\ 0.37 * 1.70 * 10^{-3} &= 6.29 * 10^{-4} \\ \hline 1.00 & E4 = 8.31 * 10^{-2} \end{aligned}$$

$$E5 = 1$$

c̄ vanaf 2.62 m

$$\begin{aligned} 0.10 * 5.70 * 10^{-2} &= 5.70 * 10^{-3} \\ 0.16 * 1.14 * 10^{-2} &= 1.82 * 10^{-3} \\ 0.17 * 1.70 * 10^{-3} &= 2.89 * 10^{-4} \\ 0.57 * 1.82 * 10^{-4} &= 1.04 * 10^{-4} \\ \hline 1.00 & E4 = 7.92 * 10^{-3} \end{aligned}$$

$$E5 = 0.61$$

c̄ vanaf 3.62 m

$$\begin{aligned} 0.10 * 1.70 * 10^{-3} &= 1.70 * 10^{-4} \\ 0.16 * 1.82 * 10^{-4} &= 2.91 * 10^{-5} \\ 0.74 * 3.63 * 10^{-6} &= 2.67 * 10^{-6} \\ \hline 1.00 & E4 = 2.02 * 10^{-4} \end{aligned}$$

$$E5 = 0.023$$

c̄ vanaf 2.12 m

$$\begin{aligned} 0.10 * 1.57 * 10^{-1} &= 1.57 * 10^{-2} \\ 0.16 * 5.70 * 10^{-2} &= 9.12 * 10^{-3} \\ 0.17 * 1.14 * 10^{-2} &= 1.94 * 10^{-3} \\ 0.20 * 1.70 * 10^{-3} &= 3.40 * 10^{-4} \\ 0.37 * 1.82 * 10^{-4} &= 6.73 * 10^{-5} \\ \hline 1.00 & E4 = 2.72 * 10^{-2} \end{aligned}$$

$$E5 = 0.96$$

c̄ vanaf 3.12 m

$$\begin{aligned} 0.10 * 1.14 * 10^{-2} &= 1.14 * 10^{-3} \\ 0.16 * 1.70 * 10^{-3} &= 2.72 * 10^{-4} \\ 0.17 * 1.82 * 10^{-4} &= 3.09 * 10^{-5} \\ 0.57 * 3.63 * 10^{-6} &= 2.07 * 10^{-6} \\ \hline 1.00 & E4 = 1.45 * 10^{-3} \end{aligned}$$

$$E5 = 0.16$$

7.6.2 Resultaten traject 2

Het resultaat van de berekeningen op de voorgaande pagina's is als volgt samen te vatten:

tabel 6.

Resultaten traject 2 (a)

| geuldiepte beneden Chart Datum | netto clearance bij MHWN | kans op raken per jaar: E5 | kans op raken per schip E4 |
|--------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 10.85 m | 1.62 m | 1.00 | $8.31 * 10^{-2}$ |
| 11.35 | 2.12 | 0.96 | $2.72 * 10^{-2}$ |
| 11.85 | 2.62 | 0.61 | $7.92 * 10^{-3}$ |
| 12.35 | 3.12 | 0.16 | $1.45 * 10^{-3}$ |
| 12.85 | 3.62 | 0.02 | $2.02 * 10^{-4}$ |

Zoals in paragraaf 7.2 is opgemerkt wordt de schade verdeeld in twee gevallen.

- 1) Lichte schade
- 2) Zware schade

Lichte schade ontstaat indien het schip slechts even de bodem aantikt. Hierbij wordt verondersteld dat het schip nagevoeg aan het eind is van zijn neergaande beweging.

Voor de berekening van de schade wordt aangenomen dat de "ongestoorde" neergaande beweging niet meer dan 50 cm de beschikbare keelclearance overschrijdt.

Deze kans van raken vermenigvuldigd met de kosten van lichte schade, worden als lichte schade-kosten beschouwd.

Wanneer de "ongestoorde neergaande beweging van het schip" meer dan 50 cm de beschikbare keelclearance overschrijdt, wordt verondersteld dat het schip zware schade oploopt. De kans van raken in dit geval vermenigvuldigd met de kosten van zware schade worden als zware schade-kosten beschouwd.

De kans van raken van het schip is in de vorige paragraaf berekend = E4. Met de gegevens van de kosten zoals deze vermeld waren op de pagina's 35 t/m 40 zijn aldus de kosten te bepalen. Een voorbeeld van deze berekening behorende bij een geuldiepte van 11.35 m beneden Chart Datum wordt op de volgende pagina uitgevoerd.

Voor de overige geuldiepten verloopt de berekening analoog. De resultaten hiervan worden in tabel 7 weergegeven.

Voorbeeld.

geuldiepte = 11.35 m
 gemiddelde keelclearance bij MHWN = 2.12 m (zie pagina 34)

Voor 1 schip geldt:

$$P(\text{neergaande beweging} \geq 2.12 \text{ m}) = E4 = 2.72 * 10^{-2}$$

$$P(\text{neergaande beweging} \geq 2.62 \text{ m}) = E4 = 7.92 * 10^{-3}$$

Per jaar gemiddeld 117 schepen:

$$\text{Totaal aantal schepen met schade} = 117 * 2.72 * 10^{-2} = 3.18$$

$$\text{Aantal schepen met zware schade} = 117 * 7.92 * 10^{-3} = 0.93$$

$$\text{Aantal schepen met lichte schade} =$$

$$117 * (2.72 * 10^{-2} - 7.92 * 10^{-3}) = 2.25$$

tabel 7.

Aantal schepen per jaar met schade (a)

| geuldiepte beneden CD | lichte schade | zware schade | totaal |
|--------------------------|------------------|-----------------|--------|
| 10.85 | 6.54 | 3.18 | 9.72 |
| 11.35 | 2.25 | 0.93 | 3.18 |
| 11.85 | 0.76 | 0.17 | 0.93 |
| 12.35 | 0.15 | 0.02 | 0.17 |
| 12.85 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |

Schade-kosten: geuldiepte 11.35 m beneden CD.

$$\text{zware schade} \quad 0.93 * 700 * 10^3 = 651 * 10^3 \text{ US \$}$$

$$\text{lichte "} \quad 2.25 * 35 * 10^3 = 79 * 10^3 \text{ US \$}$$

$$\text{-----} +$$

$$730 * 10^3 \text{ US \$}$$

$$\text{onderhoudsbaggerwerk} = 6,000 * 10^3 \text{ US \$}$$

$$\text{zie fig 20} = (3.0 * 10^6 \text{ m}^3 * 2 \text{ US \$})$$

$$\text{-----} +$$

$$\text{totaal} \quad 6,730 * 10^3 \text{ US \$}$$

$$\text{gekapitaliseerd} = 67.30 * 10^6 \text{ US \$}$$

$$\text{hoofdbaggerwerk} = 25.20 * 10^6 \text{ US \$}$$

$$(8.4 * 10^6 \text{ m}^3 * 3 \text{ US \$})$$

$$\text{-----} +$$

$$\text{totale kosten} = 92.50 * 10^6 \text{ US \$}$$

Samengevat:

| geuldiepte beneden CD | gekapitaliseerde kosten schade | kosten onderh bgw | kosten hoofdbgw | totale kosten |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|--------------------|------------------|
| 10.85 m | 24.6 | 53.8 | 19.8 | 98.2 |
| 11.35 | 7.3 | 60.0 | 25.2 | 92.5 |
| 11.85 | 1.5 | 66.2 | 32.4 | 100.1 |
| 12.35 | 0.2 | 72.5 | 39.6 | 112.3 |
| 12.85 | 0.1 | 78.8 | 48.0 | 126.9 |

De kosten zijn in US \$ * 10⁶.

In figuur 22 op de volgende pagina zijn deze kosten grafisch weergegeven.

Opmerkingen.

1) Er is verondersteld dat er niet gevaren wordt bij een significante golfhoogte > 2 m vanwege problemen bij het aan boord brengen van de loads.

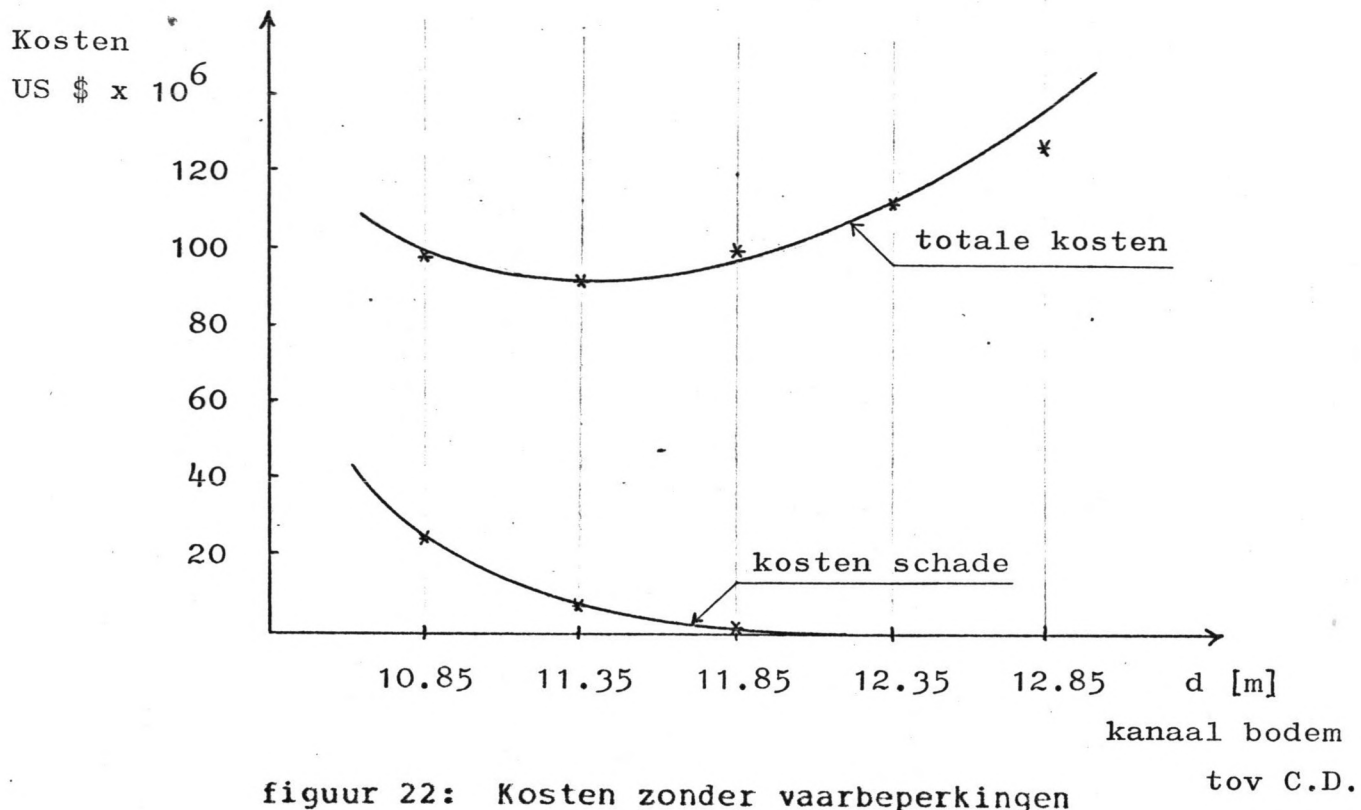
Significante golfhoogten > 2 m komen slechts gedurende 1.3 % van de tijd voor. De extra wachttijd die als gevolg hiervan optreedt is minimaal en de kosten daarvan zijn daarom verwaarloosd.

2) Bij de berekening zijn hoge waarden voor E1 geregistreerd, in vele gevallen is deze waarde zelfs ongeveer gelijk aan 1. E1 is de kans dat een schip tijdens een bepaalde gegeven golfkonditie de bodem raakt bij de passage van het beschouwde traject.

Wanneer het duidelijk is dat het schip bij deze golfkonditie de grond zal raken, dan zal de kapitein besluiten niet te gaan varen en gunstiger omstandigheden afwachten.

In dit geval worden de schade-kosten belangrijk verminderd, terwijl een nieuwe schadepost ontstaat namelijk die ten gevolge van extra opgelopen wachttijd.

Dit geval wordt in de volgende paragraaf behandeld onder de titel "beperkte omstandigheden".



7.6.3 Beperkte omstandigheden

In dit geval wordt aangenomen dat de kapitein pas besluit te gaan varen indien de kans op raken klein genoeg is. Gezien de bodemgesteldheid op het beschouwde traject wordt aangenomen dat een kans van raken van 5 % acceptabel is. Er zal dus alleen gevaren worden indien bij de gegeven omstandigheden de waarden voor $E1 \leq 0.05$ zijn.

Het verloop van de berekening is natuurlijk hetzelfde als in het vorige geval. Ook het eerste gedeelte, namelijk de berekening van $E1$ en $E2$ is nog steeds geldig. De eerste verandering treedt pas op bij de berekening van $E3 = \sum E2i$.

Duidelijk is dat er extra wachttijd ontstaat voor de schepen die nu onder bepaalde omstandigheden niet kunnen varen. De berekening van deze wachttijd volgt in paragraaf 7.6.6 op pagina 57.

7.6.4 Berekening

Uit de berekening op pagina 44 blijkt dat er alleen gevaren kan worden indien $\bar{c} \geq 2.12$ m (bij HW), hiervoor geldt immers dat $E1 \leq 0.05$. (bij $Hs \leq 1$ m)

Wanneer $\bar{c} < 2.12$ m (bij HW), dan betekent dit dat het schip moet wachten op het volgende hoog water. Zoals figuur 21 op pagina 40 laat zien nemen de wachttijden hierdoor zeer sterk toe, en daarmee ook de kosten tgv het wachten. Hierop wordt later teruggekomen.

Eerst worden voor dit geval de factoren $E3$, $E4$ en $E5$ berekend.

$E2 = E1 \cdot P(Hs, T)$ $P(Hs, T) = \text{kans op voorkomen van de beschouwde}$
 $E3 = \sum_{i=1}^N E2_i$ $\text{golfkonditie (zie tabel 3 op pag 16)}$

| \bar{T} | Hs [m] | P(Hs, T) | $\bar{c} = 1.62$ | | $\bar{c} = 2.12$ | | $\bar{c} = 2.62$ | | $\bar{c} = 3.12$ | | $\bar{c} = 3.62$ | | $\bar{c} = 4.12$ | | $\bar{c} = 4.62$ | |
|-----------|--------|----------------------|------------------|----------------------|----------------------|----|------------------|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|----|
| | | | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 |
| 7 sek | 2.0 | $4.7 \cdot 10^{-2}$ | — | — | — | — | — | — | — | — | $3.42 \cdot 10^{-4}$ | $1.31 \cdot 10^{-5}$ | $3.27 \cdot 10^{-7}$ | — | — | — |
| | 1.5 | $10.2 \cdot 10^{-2}$ | — | — | — | — | — | — | $4.75 \cdot 10^{-5}$ | $3.99 \cdot 10^{-7}$ | $1.61 \cdot 10^{-9}$ | — | — | — | — | — |
| | 1.0 | $12.6 \cdot 10^{-2}$ | — | $4.34 \cdot 10^{-4}$ | $1.05 \cdot 10^{-6}$ | — | — | — | $5.85 \cdot 10^{-10}$ | — | — | — | — | — | — | — |
| | 0.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 9 sek | 2.0 | $6 \cdot 10^{-3}$ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | $1.60 \cdot 10^{-4}$ | $3.29 \cdot 10^{-6}$ | — | — |
| | 1.5 | $3.4 \cdot 10^{-2}$ | — | — | — | — | — | — | $0.5 \cdot 10^{-4}$ | $3.13 \cdot 10^{-5}$ | $7.00 \cdot 10^{-7}$ | — | — | — | — | — |
| | 1.0 | $10.6 \cdot 10^{-2}$ | — | $7.03 \cdot 10^{-3}$ | $6.01 \cdot 10^{-5}$ | — | — | — | $2.12 \cdot 10^{-7}$ | $2.07 \cdot 10^{-10}$ | — | — | — | — | — | — |
| | 0.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 11 sek | 1.5 | $6 \cdot 10^{-3}$ | — | — | — | — | — | — | $1.92 \cdot 10^{-5}$ | $3.60 \cdot 10^{-7}$ | — | — | — | — | — | — |
| | 1.0 | $7.6 \cdot 10^{-2}$ | — | $7.75 \cdot 10^{-4}$ | $3.46 \cdot 10^{-6}$ | — | — | — | $4.81 \cdot 10^{-9}$ | — | — | — | — | — | — | — |
| | 0.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 13 sek | 1.5 | $1 \cdot 10^{-3}$ | — | — | — | — | — | — | $1.93 \cdot 10^{-6}$ | $3.29 \cdot 10^{-8}$ | — | — | — | — | — | — |
| | 1.0 | $1.5 \cdot 10^{-2}$ | — | $3.15 \cdot 10^{-5}$ | $4.19 \cdot 10^{-7}$ | — | — | — | $5.10 \cdot 10^{-10}$ | — | — | — | — | — | — | — |
| | 0.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 15 sek | 1.5 | $1 \cdot 10^{-3}$ | — | — | — | — | — | — | $2.46 \cdot 10^{-7}$ | $2.15 \cdot 10^{-6}$ | $9.12 \cdot 10^{-12}$ | — | — | — | — | — |
| | 1.0 | — | — | $3.19 \cdot 10^{-3}$ | $7.30 \cdot 10^{-5}$ | — | — | — | $9.19 \cdot 10^{-4}$ | $3.76 \cdot 10^{-4}$ | $1.82 \cdot 10^{-4}$ | — | — | — | — | — |

$E3 = \sum E2_i =$

$$E4 = E3_j * P(\text{voorkomen klasse } j)$$

$$E5 = 1 - (1 - E4)^{117}$$

c vanaf 1.62 m

N.V.T.

$$=$$

$$=$$

$$=$$

$$=$$

$$=$$

$$=$$

E4 =

$$E5 =$$

c vanaf 2.12 m

$$0.10 * 9.19 * 10^{-3} = 9.19 * 10^{-4}$$

$$0.16 * 7.30 * 10^{-5} = 1.17 * 10^{-5}$$

$$0.17 * 9.19 * 10^{-4} = 1.56 * 10^{-4}$$

$$0.20 * 3.76 * 10^{-4} = 7.52 * 10^{-5}$$

$$0.37 * 1.82 * 10^{-4} = 6.73 * 10^{-5}$$

$$\frac{1.00}{+}$$

$$E4 = 1.23 * 10^{-3}$$

$$E5 = 0.13$$

c vanaf 2.62 m

$$0.10 * 7.30 * 10^{-5} = 7.30 * 10^{-6}$$

$$0.16 * 9.19 * 10^{-4} = 1.47 * 10^{-4}$$

$$0.17 * 3.76 * 10^{-4} = 6.39 * 10^{-5}$$

$$0.57 * 1.82 * 10^{-4} = 1.04 * 10^{-4}$$

$$\frac{1.00}{+}$$

$$E4 = 3.22 * 10^{-4}$$

$$E5 = 3.70 * 10^{-2}$$

c vanaf 3.62 m

$$0.10 * 3.76 * 10^{-4} = 3.76 * 10^{-5}$$

$$0.16 * 1.82 * 10^{-4} = 2.91 * 10^{-5}$$

$$0.74 * 3.63 * 10^{-6} = 2.69 * 10^{-6}$$

$$\frac{1.00}{+}$$

$$E4 = 6.94 * 10^{-5}$$

$$E5 = 8.10 * 10^{-3}$$

7.6.5 Resultaten traject 2

Beperkte omstandigheden.

Het resultaat van de berekeningen op de voorgaande pagina's is als volgt samen te vatten:

tabel 8.

Resultaten traject 2 (b)

| geuldiepte beneden Chart Datum | netto clearance bij MHWN | kans op raken per jaar: E5 | kans op raken per schip E4 |
|--------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 10.85 m | 1.62 m | ---- | ---- |
| 11.35 | 2.12 | $1.30 * 10^{-1}$ | $1.23 * 10^{-3}$ |
| 11.85 | 2.62 | $3.70 * 10^{-2}$ | $3.22 * 10^{-4}$ |
| 12.35 | 3.12 | $2.14 * 10^{-2}$ | $1.85 * 10^{-4}$ |
| 12.85 | 3.62 | $8.10 * 10^{-3}$ | $6.94 * 10^{-5}$ |

Bij een geuldiepte van 10.85 m beneden C.D. zijn geen resultaten gegeven van de waarden van E4 en E5. Dit is het gevolg van het feit dat er in dit geval helemaal niet gevaren kan worden, zelfs niet onder gunstige omstandigheden. De kans van raken is minimaal 39 % en dit is veel groter dan de gestelde 5%.

Voor het berekenen van de kosten zal evenals in het vorige geval de berekening in detail worden nagelopen voor een geuldiepte van 11.35 m beneden CD. Hierbij hoort een minimale netto keelclearance van 2.12 m bij MHWN. Voor de overige geuldiepten verloopt de berekening identiek en wordt volstaan met het geven van de resultaten.

Voorbeeld.

geuldiepte = 11.35 m
gemiddelde keelclearance bij MHWN = 2.12 m

Voor 1 schip geldt:

$P(\text{neergaande beweging} \geq 2.12 \text{ m}) = E4 = 1.23 * 10^{-3}$

$P(\text{neergaande beweging} \geq 2.62 \text{ m}) = E4 = 3.22 * 10^{-4}$

Per jaar zijn er gemiddeld 117 schepen:

Totaal aantal schepen met schade = $117 * 1.23 * 10^{-3} = 0.144$

Aantal schepen met zware schade = $117 * 3.22 * 10^{-4} = 0.038$

Aantal schepen met lichte schade =
 $117 * (1.23 * 10^{-3} - 3.22 * 10^{-4}) = 0.106$

tabel 9.

Aantal schepen per jaar met schade (b)

| geuldiepte beneden CD | lichte schade | zware schade | totaal |
|--------------------------|------------------|-----------------|--------|
| 10.85 | -- | -- | -- |
| 11.35 | 0.106 | 0.038 | 0.144 |
| 11.85 | 0.016 | 0.022 | 0.038 |
| 12.35 | 0.014 | 0.008 | 0.022 |
| 12.85 | 0.005 | 0.003 | 0.008 |

Schade-kosten: geuldiepte 11.35 m beneden CD.

| | | | |
|--|------------------------|----------------|-------|
| zware schade | $0.038 * 700 * 10^3 =$ | $26.6 * 10^3$ | US \$ |
| lichte " | $0.106 * 35 * 10^3 =$ | $3.7 * 10^3$ | US \$ |
| | | ----- + | |
| | | $30 * 10^3$ | US \$ |
| onderhoudsbaggerwerk | $=$ | $6,000 * 10^3$ | US \$ |
| zie fig 20 = $(3.0 * 10^6 \text{ m}^3 * 2 \text{ US } \$)$ | | ----- + | |
| totaal | | $6,030 * 10^3$ | US \$ |
| gekapitaliseerd | $=$ | $60.30 * 10^6$ | US \$ |
| hoofdbaggerwerk | $=$ | $25.20 * 10^6$ | US \$ |
| $(8.4 * 10^6 \text{ m}^3 * 3 \text{ US } \$)$ | | ----- + | |
| Totaal | $=$ | $85.50 * 10^6$ | US \$ |

Samengevat:

| geuldiepte beneden CD | gekapitaliseerde schade | kosten onderh bgw | kosten hoofdbgw | totale kosten |
|--------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------|------------------|
| 10.85 m | --- | 53.8 | 19.8 | 73.6 |
| 11.35 | 0.30 | 60.0 | 25.2 | 85.5 |
| 11.85 | 0.16 | 66.2 | 32.4 | 98.8 |
| 12.35 | 0.06 | 72.5 | 39.6 | 112.2 |
| 12.85 | 0.02 | 78.8 | 48.0 | 126.8 |

De kosten zijn in US \$ * 10⁶.

7.6.6 Berekening % extra wachttijd

In tabel 2 op pagina 16 was al eerder een overzicht gegeven van de golfgegevens zoals ze bij de meetcampagne waren geregistreerd. Voor de overzichtelijkheid zijn deze gegevens nogmaals op pagina 61 weergegeven.

Uit deze tabel kan men bepalen hoe vaak onderstaande omstandigheden voorkomen.

Hs > 2.0 m -> 1.3 %
Hs > 1.5 m -> 6.6 %
Hs > 1.0 m -> 21.0 %

Hs > 2.0 m
muv $\bar{T} = 9$ sek -> 1.9 %
waarvoor Hs > 1.5 m

Golven met een ontmoetingsperiode $T_e < 6$ sek spelen verder geen rol daar het schip hierop nauwelijks reageert. Dit is af te leiden uit de responsfunctie van figuur 11 op pagina 22. ($R = 0.2$ voor $T_e = 5$ sek)

Wanneer het schip een grote keelclearance heeft bij zijn vaart door de geul, bijvoorbeeld $\bar{c} > 4.12$ m, kan het als het ware onder alle omstandigheden varen.

Bij HWN heeft het schip slechts een geringe keelclearance, bijvoorbeeld $\bar{c} = 2.12$ m (bij een bodemdiepte op 11.35 m beneden Chart Datum). Met dit gegeven kan het schip slechts onder beperkte omstandigheden varen.

Meestal zullen de omstandigheden zich hier ergens tussenin bevinden.

In figuur 23 op de volgende pagina is getracht de bovenstaande combinatie van factoren uit te beelden. Hieruit is vervolgens te berekenen hoeveel tijd men gemiddeld niet kan varen bij deze aangenomen bodemligging.

De berekening is weer gemaakt voor hetzelfde voorbeeld dat ook in de vorige paragrafen is behandeld. Voor de kolen-schepen betekent dit dat 7.4 % van de schepen niet met HW uit kunnen varen en een volgend Hw moeten afwachten, dwz dat ze een extra wachttijd oplopen van ca 12 u 25 min. Per jaar wordt de gemiddelde extra wachttijd :

$$117 * 0.0743 * 12 \text{ u } 25 \text{ min} = 109 \text{ uur}$$

$$\text{De kosten zijn } 109/24 * 25.000 \text{ US \$} = 114.000 \text{ US \$}.$$

$$\text{Gekapitaliseerd is dit } 1.14 * 10^6 \text{ US \$}.$$

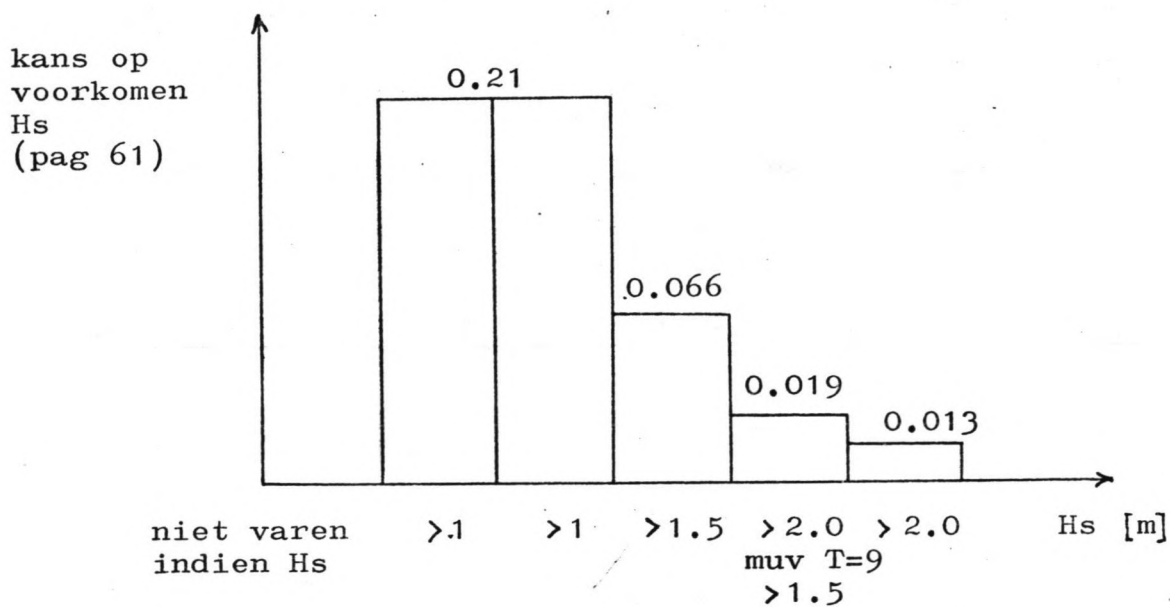
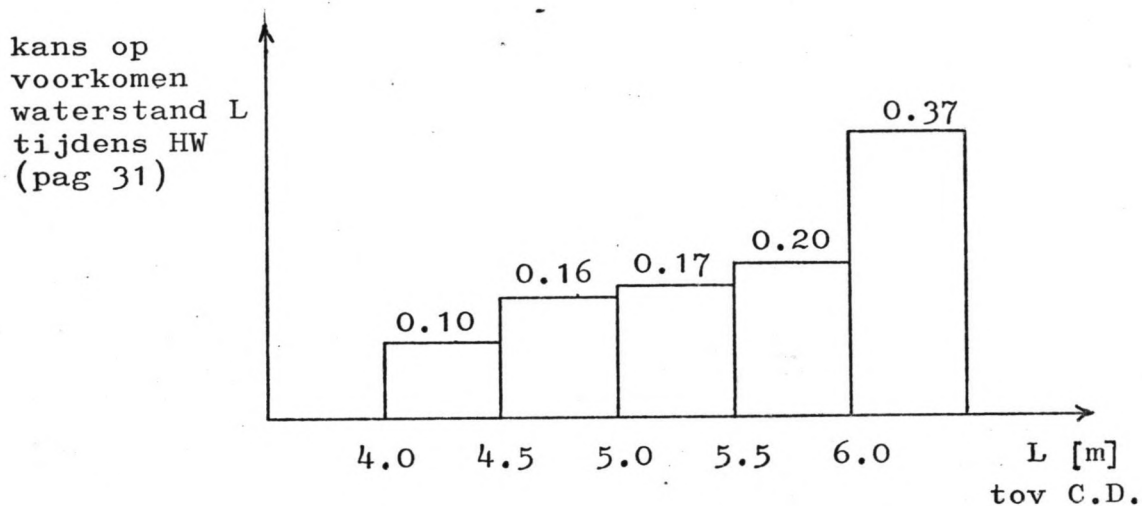
Voor de overige geuldiepten geldt weer dezelfde rekenwijze muv de geuldiepte van 10.85 m beneden CD.

Zoals op pagina 53 is aangetoond kan er in dit geval niet gevaren worden indien de waterstand < 4.50 m is, zelfs niet onder gunstige omstandigheden.

Wachttijd tgv het niet kunnen varen.

\bar{c} vanaf 2.12 m (geuldiepte 11.35 m C.D.)

| | | |
|--------------|-----------------------|---------------|
| niet varen : | 0.10 x 0.21 = | 0.0210 |
| | 0.16 x 0.21 = | 0.0336 |
| | 0.17 x 0.066 = | 0.0112 |
| | 0.20 x 0.019 = | 0.0038 |
| | <u>0.37 x 0.013 =</u> | <u>0.0048</u> |
| | 1.00 | 0.0743 + |



figuur 23: Gemiddelde wachttijd tgv golfomstandigheden

Experimenten met het simulatie-model in het hoofdonderzoek hebben uitgewezen dat de wachttijden nu snel toenemen. Dit is ook geïllustreerd in figuur 21 op pagina 40. De extra wachttijd loopt op met 90 dagen per jaar. Hierbij komen dan nog de extra wachtdagen tgv de ongunstige omstandigheden. Dit leidt tot het volgende overzicht.

tabel 10.

Overzicht van de de extra wachttijden

| Geuldiepte beneden CD | % Extra wachttijd | Wachtdagen per jaar | Kosten per jaar |
|--------------------------|----------------------|------------------------|--------------------|
| 10.85 m | 8.95 | 5.5 + 90 | 2.387 |
| 11.35 | 7.43 | 4.5 | 114 |
| 11.85 | 4.22 | 2.6 | 65 |
| 12.35 | 1.92 | 1.2 | 30 |
| 12.85 | 0.31 | 0.2 | 5 |

De kosten zijn in US \$ * 10³.

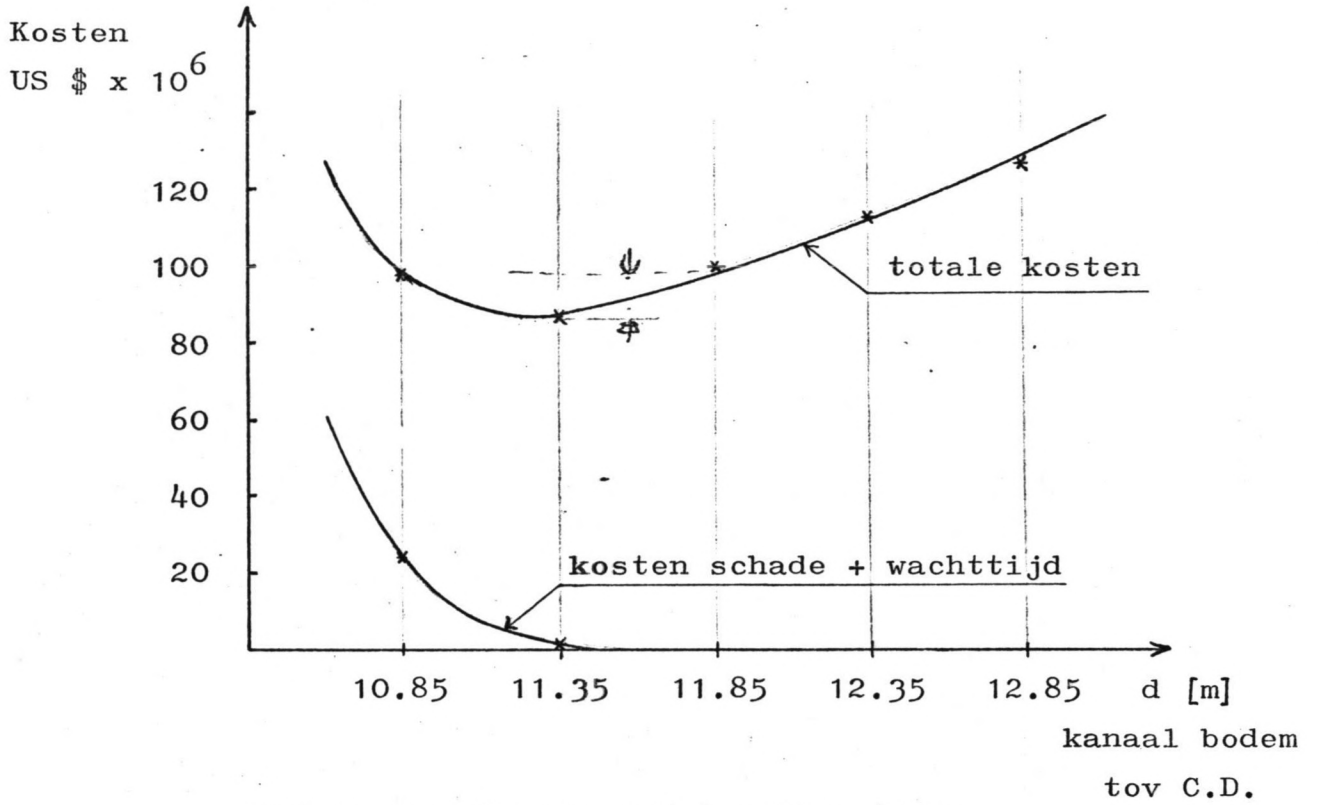
De gekapitaliseerde waarde van deze kosten zijn weer te vinden door ze te vermenigvuldigen met de pwf waarde die gelijk is aan 10.

De totale kosten worden nu in dit geval:

| geuldiepte beneden CD | kosten baggerw + schade | kosten extra wachttijd | totale kosten |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------|
| 10.85 m | 73.6 | 23.9 | 97.5 |
| 11.35 | 85.5 | 1.1 | 86.6 |
| 11.85 | 98.8 | 0.7 | 99.5 |
| 12.35 | 112.2 | 0.3 | 112.5 |
| 12.85 | 126.8 | 0.1 | 126.9 |

De kosten zijn in US \$ * 10⁶.

In figuur 24 op de volgende pagina is het een en ander grafisch weergegeven.



figuur 24: Kosten met vaarbeperkingen

tabel 11.
Golfregistratie

| Hs [m] | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | T sec |
|--------|----|------|------|------|-----|-----|----|----|------|--------------|
| 3.0 | | | | 10 | | | | | 10 | |
| 2.5 | | | | 109 | | | | 10 | 119 | |
| 2.0 | | | 249 | 467 | 60 | | | | 776 | |
| 1.5 | 10 | 1103 | 1024 | 338 | 60 | 10 | 10 | | 2555 | |
| 1.0 | 30 | 1262 | 1262 | 1859 | 755 | 149 | | | 5317 | |
| 0.5 | 20 | 70 | 129 | 616 | 358 | 30 | | | 1223 | |
| 0.0 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | totaal 10000 |

7.7 KONKLUSIES

Op grond van de veronderstellingen die gemaakt zijn met betrekking tot de kosten, en de resultaten die gevonden zijn in de paragrafen 7.6.2 en 7.6.5, kan men konkluderen dat de optimale geuldiepte van traject, 2 11.35 m beneden Chart Datum is.

In het tweede geval, met beperkte omstandigheden, zijn de kosten ook nog minimaal.

Wanneer verder geen rekening zou worden gehouden met andere factoren, dan is dit de ontwerp geuldiepte.

Uit de gemaakte berekeningen kan ook worden vastgesteld dat de schadekosten slechts een fractie bedragen van de kosten voor onderhoudsbaggerwerk en initieel baggerwerk. Alleen wanneer erg veel schepen schade oplopen, heeft dit pas invloed op de totale kosten van het project.

Zelfs bij een geuldiepte van 10.85 m beneden CD, waarbij volgens tabel 7 meer dan 9 schepen schade oplopen, zijn de schadekosten nog geen 50 % van het onderhoudsbaggerwerk. In het tweede geval, met beperkte vaaromstandigheden, zijn de schadekosten nog geen 1 % van het onderhoudsbaggerwerk. Ook de kosten die ontstaan als gevolg van de extra wachttijd van de schepen zijn relatief laag ten opzichte van het onderhoudsbaggerwerk. Alleen wanneer de diepte van de geul zover afneemt dat de schepen bij HW soms niet meer uit kunnen varen, lopen de wachttijden en dus ook de kosten in snel tempo op.

Hoewel kosten-overwegingen natuurlijk van groot belang zijn voor het vast stellen van de optimale geuldiepte, moeten ook andere overwegingen niet uit het oog verloren worden. Het is bijvoorbeeld erg nadelig voor de "naam van de haven" als er regelmatig schepen aan de grond lopen. De reders zouden kunnen besluiten andere minder gevaarlijke havens aan te doen. Uit de tabellen 6 en 8 blijkt ook dat de kans op raken per jaar = E5 bij een geuldiepte van 11.35 m beneden CD groot is, namelijk:

onder alle omstandigheden E5 = 0.96

onder beperkte omstandigheden E5 = 0.13

In de praktijk worden meestal strengere eisen gesteld. Zo heeft NEDECO [10] in haar rapport een kans op raken van 10 % per jaar acceptabel geacht. Deze eis is onder meer gebaseerd op het feit dat de bodem op 11.50 m beneden CD voornamelijk uit vaste tot harde klei bestaat. Overigens geldt het percentage van 10 % voor de totale lengte van de geul.

In het verslag wordt dit percentage verder als randvoorwaarde aangenomen.

De totale lengte van de toegangsgeul wordt ongeveer 26.6 km. De lengte van traject 2 is 13.4 km. Voor traject 2 wordt nu verlangd dat $E5 < 13.4/26.6 * 10 \% = 5 \%$ moet zijn.

Uit tabel 8 blijkt dat hierbij een ontwerp geuldiepte hoort van 11.85 m beneden CD. ($E5 = 3.7 * 10^{-2}$)
Voor de trajecten 1 en 3 geldt dan dat

$E5 \leq 10^{-1} - 3.7 * 10^{-2} \leq 6.3 * 10^{-2}$ moet zijn.

Daar de lengte van deze twee trajecten niet veel van elkaar verschillen, wordt voor elk van de trajecten in eerste instantie aangenomen dat $E5 < (6.3 * 10^{-2}) / 2$,
dus $< 3.15 * 10^{-2}$ moet zijn.

7.8 BEREKENING

7.8.1 Traject 1

De berekening verloopt bijna analoog aan de berekening voor traject 2. Er zijn twee factoren die veranderen in dit geval, te weten :

- 1) de reductie-coëfficiënt van de golfhoogten
- 2) de responsie-factor van de verticale beweging van het schip

ad 1) Zoals figuur 2 op pagina 4 laat zien komen de golven nagenoeg frontaal op het uitvarende kolenschip. Verder is te zien dat wanneer de golven uit zuid-oostelijke richting komen ze precies door een natuurlijke geul lopen. In tegenstelling tot het vorige geval ondervinden deze golven nauwelijks hinder van plaatselijke ondiepten. Het is daarom niet reëel om aan te nemen dat er enige reductie van de golfhoogten zal optreden.

De reductie-coëfficiënt zal bij de berekening worden weggelaten.

ad 2) Een schip dat als het ware tegen de golven in vaart zal per tijdseenheid meer golven ontmoeten, dan een schip dat stil ligt. Omdat de responsbeweging van het schip afhangt van de periode waarop het de golven ontmoet, zie de responsfunctie op pagina 22, is het daarom noodzakelijk eerst de ontmoetingsperiode T_e te berekenen.

Men kan verwachten dat de ontmoetingsfrequentie $f_e = 1/T_e$ afhangt van :

- * snelheid van het schip v
- * golfsnelheid c
- * hoek van inval van de golf μ

De juiste formulering is :

$$f_e = f (1 - v/c \cos \mu)$$

Bijker [8]

Met $\mu = 180^\circ$ en $c = L/T$ volgt dan dat

$$f_e = f (1 + T*v / L) \quad \text{of anders uitgedrukt}$$

$$T_e = T / (1 + T*v / L)$$

$$v = 8 \text{ kn} = 4.12 \text{ m/s}$$

L is te berekenen met behulp van de theorie van korte golven [2] waarbij wordt aangenomen dat de golven nog sinusoidaal zijn. De hierbij gebruikte formules zijn :

$$L_0 = 1.56 * T^2 \qquad h = 15 \text{ m}$$

$$L = L_0 * \tanh kh$$

Wanneer L_0 is berekend, dan is in een tabellenboek aan de hand van de waarde h/L_0 de bijbehorende waarde voor $\tanh kh$ te bepalen. Hieruit volgt dan tenslotte L .

| \bar{T} sek | L_0 m | h/L_0 | L m | \bar{T}_e sek |
|---------------|---------|---------|-------|-----------------|
| 7 | 76.44 | 0.196 | 67.5 | 4.9 |
| 9 | 126.36 | 0.119 | 95.6 | 6.5 |
| 11 | 188.8 | 0.079 | 122.0 | 8.0 |
| 13 | 263.6 | 0.057 | 148 | 9.5 |
| 15 | 350.0 | 0.043 | 173 | 11.1 |

Kontrole of de sinusoidale theorie toegepast mag worden :

$$U = HL^2/h^3 \qquad \text{stel } H = 1.5 \text{ m} \qquad L = 173 \text{ m} \qquad (T = 15 \text{ sek})$$

$$\qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad h = 15 \text{ m}$$

-> $U = 13.3 < 15$ theorie is geldig!

Overige gegevens voor

Traject 1. Lengte 6.0 km
Diepgang $D = 13.10$ m
 $\bar{c} = 0.1 * D = 1.31$ m

Gemiddelde vaarsnelheid tov de vaste wal = 8 kn = 14.8 km/u
-> vaartijd over traject 1 = 6.0 / 14.8 = 0.41 u = 1500 sek.

Het aantal extremen $N = 1500 / \bar{T}_e$

De responsie-factor R volgt uit de responsfunctie van figuur 11 op pagina 22.

| \bar{T}_e | N | R |
|-------------|-----|------|
| 4.9 | 306 | 0.10 |
| 6.5 | 231 | 0.15 |
| 8.0 | 188 | 0.30 |
| 9.5 | 158 | 0.50 |
| 11.1 | 135 | 1.00 |

$$\sigma_e^2 = \sigma_R^2 + \sigma_r^2$$

$$\sigma_r = 0.32 \text{ m}$$

$$\sigma_R = 1/4 * R * H_s$$

De berekening verloopt verder als in het vorige geval en is in tabelvorm weergegeven op de volgende pagina's.

De eerste konklusie die men kan trekken is dat de responsiefactor voor de verticale beweging van het schip sterk afneemt.

Hiervoor zijn twee oorzaken aan te wijzen :

- 1) De invalshoek verschuift van 90° naar 180° waardoor de beweging van het schip overgaat van slingeren naar stampen.
- 2) De ontmoetingsfrequentie van de golven wordt hoger, $\rightarrow T_e$ neemt af. Zolang T_e kleiner dan 18 seconden is levert dit ook een reductie van de responsie op. (Zie figuur 11 op pagina 22)

Door de genoemde twee oorzaken neemt daardoor ook de kans op raken af. Wel moet men er op bedacht zijn dat het aantal extremen op het traject zal toenemen ($T_e < T$), waardoor de bovenstaande afname van de kans op raken weer enigszins teniet wordt gedaan.

Toelichting op de berekening.

In paragraaf 7.6.3 is reeds bepaald, dat een kapitein besluit te gaan varen indien $E_1 \leq 5\%$ is.

Uit de tabel blijkt nu dat bij een gemiddelde keelclearance van 10% van de diepgang van het schip = 1.31 m geen enkele waarde van E_1 hieraan voldoet. Het heeft dan ook geen zin met deze keelclearance verder te rekenen.

Uitgaande van een gemiddelde keelclearance van 1.81 m bij MHWN, blijkt dat de gemiddelde kans op raken per jaar $E_5 = 1.55 * 10^{-6}$ te zijn.

Deze waarde is veel kleiner dan $3.15 * 10^{-2}$, de waarde voor E_5 gesteld in de vorige paragraaf.

Een betere benadering wordt gevonden door uit te gaan van $\bar{c} = 1.50 \text{ m} \Rightarrow E_5 = 2.21 * 10^{-2}$.

Een verdere verlaging van \bar{c} naar bijvoorbeeld 1.40 m, heeft tot gevolg dat E_5 stijgt naar $3.7 * 10^{-2}$, en aldus niet meer voldoet.

Voor traject 1 wordt dan de ontwerp geuldiepte :

$$\text{MHWN} - D - \bar{c} - 0.48 = \quad (\text{zie figuur 19 op pagina 34})$$

$$4.35 - 13.10 - 1.50 - 0.48 = 10.73 \text{ m beneden Chart Datum.}$$

Opmerking.

In de tabel zijn de waarden die niet van belang zijn, met een streep aangegeven. (Zie ook de opmerking op pagina 70).

$$\sqrt{R} = 1/4 * R * H_s$$

$$\sqrt{e} = \sqrt{R^2 + \sqrt{x}^2}$$

$$\sqrt{x} = 0.32 \text{ m}$$

$$P(\bar{c}) = e^{-1/2 \left(\frac{\bar{c}}{\sqrt{e}} \right)^2}$$

$$E1 = 1 - [1 - P(\bar{c})]^N$$

$$\bar{c} = 10 \% D = 1.31 \text{ m}$$

$$\bar{c} = 10 \% D + 0.50 \text{ m} = 1.81 \text{ m}$$

$$\bar{c} = 10 \% D + 1.00 \text{ m} = 2.31 \text{ m}$$

$$\bar{c} = 1.50 \text{ m}$$

$$\bar{c} = 1.50 + 0.50 \text{ m} = 2.00 \text{ m}$$

| Hs [m] | \sqrt{R} | \sqrt{e} | $\bar{c} = 10 \% D$ | | $\bar{c} = 10 \% D + 0.50 \text{ m}$ | | $\bar{c} = 10 \% D + 1.00 \text{ m}$ | | $\bar{c} = 1.50 \text{ m}$ | | $\bar{c} = 1.50 + 0.50 \text{ m} = 2.00 \text{ m}$ | |
|--------------------------------|------------|------------|---------------------|------------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------------------|------------------|----------------------------|------------------|--|------------------|
| | | | P(\bar{c}) | E1 | P(\bar{c}) | E1 | P(\bar{c}) | E1 | P(\bar{c}) | E1 | P(\bar{c}) | E1 |
| $\bar{T} = 7 \text{ sek}$ | 0.04 | 0.323 | $2.68 * 10^{-4}$ | $7.87 * 10^{-2}$ | $1.51 * 10^{-7}$ | $4.63 * 10^{-5}$ | $7.83 * 10^{-12}$ | $2.14 * 10^{-9}$ | — | — | — | — |
| $\bar{T}_e = 4.9 \text{ sek}$ | 0.05 | 0.322 | $2.48 * 10^{-4}$ | $7.32 * 10^{-2}$ | $1.31 * 10^{-7}$ | $4.02 * 10^{-5}$ | $6.68 * 10^{-12}$ | $1.84 * 10^{-9}$ | — | — | $4.20 * 10^{-9}$ | $1.23 * 10^{-6}$ |
| N = 306 | 0.02 | 0.321 | $2.36 * 10^{-4}$ | $6.97 * 10^{-2}$ | $1.19 * 10^{-7}$ | $3.65 * 10^{-5}$ | $5.69 * 10^{-12}$ | $1.53 * 10^{-9}$ | — | $1.81 * 10^{-5}$ | — | — |
| R = 0.1 | | | | | | | | | | | | |
| $\bar{T} = 9 \text{ sek}$ | 0.07 | 0.327 | $3.22 * 10^{-4}$ | $7.17 * 10^{-2}$ | $2.15 * 10^{-7}$ | $4.97 * 10^{-5}$ | $1.46 * 10^{-11}$ | $3.24 * 10^{-9}$ | — | — | — | — |
| $\bar{T}_e = 6.5 \text{ sek}$ | 0.05 | 0.323 | $2.74 * 10^{-4}$ | $6.13 * 10^{-2}$ | $1.58 * 10^{-7}$ | $3.65 * 10^{-5}$ | $8.36 * 10^{-12}$ | $1.85 * 10^{-9}$ | — | — | — | — |
| N = 231 | 0.03 | 0.321 | $2.45 * 10^{-4}$ | $5.50 * 10^{-2}$ | $1.28 * 10^{-7}$ | $2.95 * 10^{-5}$ | $5.90 * 10^{-12}$ | $1.16 * 10^{-9}$ | — | $1.81 * 10^{-5}$ | — | — |
| R = 0.15 | | | | | | | | | | | | |
| $\bar{T} = 11 \text{ sek}$ | 0.09 | 0.333 | $4.45 * 10^{-4}$ | $8.03 * 10^{-2}$ | $4.00 * 10^{-7}$ | $7.52 * 10^{-5}$ | $3.55 * 10^{-11}$ | $6.58 * 10^{-9}$ | — | — | $1.47 * 10^{-8}$ | $2.67 * 10^{-6}$ |
| $\bar{T}_e = 8.0 \text{ sek}$ | 0.06 | 0.325 | $2.95 * 10^{-4}$ | $5.40 * 10^{-2}$ | $1.82 * 10^{-7}$ | $3.42 * 10^{-5}$ | $1.07 * 10^{-11}$ | $1.88 * 10^{-9}$ | — | $2.57 * 10^{-5}$ | — | — |
| N = 188 | | | | | | | | | | | | |
| R = 0.3 | | | | | | | | | | | | |
| $\bar{T} = 13 \text{ sek}$ | 0.16 | 0.356 | $1.15 * 10^{-3}$ | $1.67 * 10^{-1}$ | $2.46 * 10^{-6}$ | $3.88 * 10^{-4}$ | $7.20 * 10^{-10}$ | $1.14 * 10^{-7}$ | — | $1.40 * 10^{-4}$ | $2.18 * 10^{-2}$ | $2.21 * 10^{-5}$ |
| $\bar{T}_e = 9.5 \text{ sek}$ | 0.09 | 0.333 | $4.45 * 10^{-4}$ | $6.79 * 10^{-2}$ | $4.00 * 10^{-7}$ | $6.32 * 10^{-5}$ | $3.55 * 10^{-11}$ | $5.53 * 10^{-9}$ | — | $3.93 * 10^{-5}$ | $6.18 * 10^{-3}$ | $2.25 * 10^{-6}$ |
| N = 158 | | | | | | | | | | | | |
| R = 0.5 | | | | | | | | | | | | |
| $\bar{T} = 15 \text{ sek}$ | 0.51 | 0.447 | $1.37 * 10^{-2}$ | $8.45 * 10^{-1}$ | $2.78 * 10^{-4}$ | $3.68 * 10^{-2}$ | $1.59 * 10^{-6}$ | $2.14 * 10^{-4}$ | — | $3.59 * 10^{-3}$ | $3.84 * 10^{-1}$ | $6.05 * 10^{-3}$ |
| $\bar{T}_e = 11.1 \text{ sek}$ | | | | | | | | | | | | |
| N = 135 | | | | | | | | | | | | |
| R = 1.0 | | | | | | | | | | | | |

$E2 = E1 * P(Hs, T)$ $P(Hs, T) =$ kans op voorkomen van de beschouwde
 golfconditie (zie tabel 3 op pag 16)
 $E3 = \sum_{i=1}^{N'} E2_i$

$$E4 = \sum_{j=1}^k E3_j * P(\text{voorkomen klasse } j)$$

$$E5 = 1 - (1 - E4)^{117}$$

| \bar{T}_e | Hs [m] | P(Hs, T) | $\bar{c} = 1.81$ | | $\bar{c} = 2.31$ | | $\bar{c} = 1.50$ | | $\bar{c} = 2.00$ | |
|-------------|--------|------------------|------------------|-------------------|------------------|----|------------------|----|------------------|------------------|
| | | | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 |
| 4.9 sek | 2.0 | $4.7 * 10^{-2}$ | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 1.5 | $10.2 * 10^{-2}$ | — | $1.08 * 10^{-10}$ | — | — | — | — | — | — |
| | 1.0 | $12.6 * 10^{-2}$ | $4.59 * 10^{-6}$ | $1.93 * 10^{-10}$ | $6.97 * 10^{-4}$ | — | — | — | — | — |
| | 0.5 | | | | | | | | | |
| 5.5 sek | 2.0 | $6 * 10^{-3}$ | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 1.5 | $3.4 * 10^{-2}$ | — | $6.29 * 10^{-11}$ | — | — | — | — | — | — |
| | 1.0 | $10.6 * 10^{-2}$ | $5.49 * 10^{-6}$ | $2.16 * 10^{-10}$ | $7.77 * 10^{-4}$ | — | — | — | — | — |
| | 0.5 | | | | | | | | | |
| 3.0 sek | 1.5 | $6 * 10^{-3}$ | — | $3.95 * 10^{-11}$ | — | — | — | — | — | — |
| | 1.0 | $7.6 * 10^{-2}$ | $2.60 * 10^{-6}$ | $1.43 * 10^{-10}$ | $3.38 * 10^{-4}$ | — | — | — | — | — |
| | 0.5 | | | | | | | | | |
| 9.5 sek | 1.5 | $1 * 10^{-3}$ | — | $1.14 * 10^{-10}$ | — | — | — | — | — | — |
| | 1.0 | $1.5 * 10^{-2}$ | $9.40 * 10^{-7}$ | $0.30 * 10^{-11}$ | $9.28 * 10^{-5}$ | — | — | — | — | — |
| | 0.5 | | | | | | | | | |
| 11.1 sek | 1.5 | $1 * 10^{-3}$ | — | $2.14 * 10^{-7}$ | — | — | — | — | $6.05 * 10^{-6}$ | — |
| | 1.0 | | | | | | | | | $6.05 * 10^{-6}$ |

$E3 = \sum E2_i =$

\bar{c} vanaf 1.81 m

$$E4 = 0.10 * 1.36 * 10^{-5}$$

$$\frac{0.90 * 2.15 * 10^{-7}}{1.55 * 10^{-6}} +$$

$$E5 = 1.02 * 10^{-4}$$

\bar{c} vanaf 1.50 m

$$E4 = 0.10 * 1.90 * 10^{-5}$$

$$\frac{0.90 * 6.05 * 10^{-6}}{1.96 * 10^{-4}} +$$

$$E5 = 2.21 * 10^{-2}$$

7.8.2 Traject 3

De berekening van dit traject verloopt op dezelfde wijze als de berekening van traject 1.

Alleen de lengte en de golfvalshoek van dit traject verschillen met het vorige geval.

Voor de bepaling van de lengte van het traject is eerst een schatting nodig van de diepgang van de geul, om het einde van de geul vast te stellen.

| | |
|--|-----------|
| Stel de benodigde minimale keelclearance = 10 % D + 0.50 m | = 1.81 m |
| squat (v = 10 kn) | = 0.58 m |
| set down (Te = 11.1 s) | = 0.12 m |
| diepgang schip | = 13.10 m |
| | ----- + |
| benodigde diepte | = 15.61 m |
| MHWN | = 4.35 m |
| | ----- - |
| diepte beneden Chart Datum | = 11.26 m |

stel de bodem op 11.50 m beneden Chart Datum.

Uit figuur 2 op pagina 4 is dan de lengte van het traject te bepalen : => 7.2 km.

De golfvalshoek $\mu = 152^\circ$.

Te en L worden weer bepaald met de formules op pagina 64 en 65, waaruit dan volgt dat :

$$Te = T / \left(\frac{1 + 0.88 * T * v}{L} \right)$$

Samenvattend leidt dit dan tot de volgende gegevens voor

| | |
|------------|---|
| traject 3. | Lengte 7.2 km |
| | Diepgang D = 13.10 m |
| | $\bar{c} = 0.1 * D + 0.50 \text{ m} = 1.81 \text{ m}$ |

Gemiddelde vaarsnelheid tov de vaste wal = 10 kn = 18.5 km/u
-> vaartijd over traject 3 = 7.2 / 18.5 = 0.39 u = 1400 sek.

Het aantal extremen $N = 1400 / \bar{T}_e$.

De responsie-factor R volgt uit de responsfunctie van figuur 11 op pagina 22.

| \bar{T} | L | \bar{T}_e | N | R |
|-----------|-------|-------------|-----|------|
| 7 | 67.5 | 4.8 | 292 | 0.10 |
| 9 | 95.6 | 6.3 | 222 | 0.15 |
| 11 | 122.0 | 7.8 | 180 | 0.40 |
| 13 | 148 | 9.3 | 151 | 0.85 |
| 15 | 173 | 10.8 | 130 | 1.25 |

$$\sigma_e^2 = \sigma_R^2 + \sigma_r^2$$

$$\sigma_r = 0.32 \text{ m}$$

$$\sigma_R = 1/4 * R * H_s$$

De berekening is in tabelvorm weergegeven op de volgende pagina's.

Toelichting.

Gezien het resultaat van de berekening van traject 2, wordt gestart met een gemiddelde keelclearance $\bar{c} = 10 \% D + 0.50 \text{ m} = 1.81 \text{ m}$.

Hieruit volgt dan dat $E5 = 6.26 * 10^{-4} \ll 3.15 * 10^{-2}$. Een betere benadering wordt gevonden door uit te gaan van $\bar{c} = 1.60 \text{ m}$, waaruit volgt dat $E5 = 8.39 * 10^{-3}$.

De ontwerpdiepte van de geul voor traject 3 wordt dan :

$$\text{MHWN} - D - \bar{c} - 0.70 =$$

$$4.35 - 13.10 - 1.60 - 0.70 = 11.05 \text{ m beneden Chart Datum.}$$

Opmerking.

Verschillende waarden in de tabel zijn niet berekend en met een streep aangegeven. Dit kan zijn om twee redenen :

- 1) De waarde is zo klein tov de overige waarden in de kolom dat ze geen invloed heeft, of
- 2) Er wordt bij de betreffende golfhoogte niet gevaren. ($E1 > 5 \%$).

$$\bar{\sigma}_R = 1/4 * R * H_s$$

$$\bar{\sigma}_e = \bar{\sigma}_R^2 + \bar{\sigma}_T^2$$

$$\bar{\sigma}_T = 0.32 \text{ m}$$

$$P(\bar{c}) = e^{-\frac{H_s}{\bar{c}} \left(\frac{\bar{c}}{e}\right)^2}$$

$$E1 = 1 - [1 - P(\bar{c})]^N$$

$$\bar{c} = 10\% D + 0.50 \text{ m} \quad \bar{c} = 10\% D + 1.00 \text{ m} \quad \bar{c} = 1.60 \text{ m} \quad \bar{c} = 1.60 \text{ m} + 0.50 \text{ m}$$

$$= 1.81 \text{ m} \quad = 2.31 \text{ m} \quad = 2.10 \text{ m}$$

| Hs [m] | $\bar{\sigma}_R$ | $\bar{\sigma}_e$ | P(\bar{c}) | E1 | P(\bar{c}) | E1 | P(\bar{c}) | E1 |
|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| $\bar{T} = 7 \text{ sek}$ | 0.04 | 0.323 | — | — | — | — | — | — |
| $\bar{T}_e = 4.8 \text{ sek}$ | 0.03 | 0.322 | — | — | $6.68 * 10^{-12}$ | — | $5.81 * 10^{-10}$ | $1.00 * 10^{-7}$ |
| N = 292 | 0.02 | 0.321 | $1.19 * 10^{-7}$ | $3.64 * 10^{-5}$ | $5.69 * 10^{-12}$ | $1.53 * 10^{-9}$ | $4.03 * 10^{-6}$ | $1.18 * 10^{-3}$ |
| R = 0.10 | | | | | | | | |
| $\bar{T} = 9 \text{ sek}$ | 0.07 | 0.327 | — | — | — | — | — | — |
| $\bar{T}_e = 6.3 \text{ sek}$ | 0.05 | 0.323 | — | — | $8.36 * 10^{-12}$ | $1.05 * 10^{-9}$ | — | — |
| N = 222 | 0.03 | 0.321 | $1.28 * 10^{-7}$ | $2.95 * 10^{-5}$ | $5.90 * 10^{-12}$ | $1.16 * 10^{-9}$ | $4.03 * 10^{-6}$ | $8.94 * 10^{-4}$ |
| R = 0.15 | | | | | | | | |
| $\bar{T} = 11 \text{ sek}$ | 0.125 | 0.344 | — | — | $1.52 * 10^{-10}$ | $2.74 * 10^{-8}$ | — | $8.08 * 10^{-9}$ |
| $\bar{T}_e = 7.8 \text{ sek}$ | 0.075 | 0.329 | $2.60 * 10^{-7}$ | $4.68 * 10^{-5}$ | $1.08 * 10^{-11}$ | $3.24 * 10^{-9}$ | $7.32 * 10^{-6}$ | $1.52 * 10^{-3}$ |
| N = 180 | | | | | | | | |
| R = 0.40 | | | | | | | | |
| $\bar{T} = 13 \text{ sek}$ | 0.266 | 0.416 | $7.71 * 10^{-5}$ | $1.16 * 10^{-2}$ | $2.00 * 10^{-7}$ | $3.01 * 10^{-5}$ | $6.13 * 10^{-4}$ | $8.85 * 10^{-2}$ |
| $\bar{T}_e = 9.3 \text{ sek}$ | 0.159 | 0.357 | $2.71 * 10^{-6}$ | $4.10 * 10^{-4}$ | $8.58 * 10^{-10}$ | $1.29 * 10^{-7}$ | $4.35 * 10^{-5}$ | $6.54 * 10^{-3}$ |
| N = 151 | | | | | | | | |
| R = 0.85 | | | | | | | | |
| $\bar{T} = 15 \text{ sek}$ | 0.391 | 0.505 | $1.62 * 10^{-3}$ | $1.90 * 10^{-1}$ | $2.06 * 10^{-5}$ | $3.71 * 10^{-3}$ | $6.61 * 10^{-3}$ | $5.78 * 10^{-1}$ |
| $\bar{T}_e = 10.8$ | | | | | | | | $1.76 * 10^{-4}$ |
| N = 130 | | | | | | | | $2.26 * 10^{-2}$ |
| R = 1.25 | | | | | | | | |

$$E2 = E1 * P(Hs, T)$$

$$E3 = \sum_{i=1}^N E2_i$$

$P(Hs, T)$ = kans op voorkomen van de beschouwde golfkonditie (zie tabel 3 op pag 16)

| \bar{T}_e | H_s [m] | $P(Hs, T)$ | $\bar{c} = 1.81$ | | $\bar{c} = 2.31$ | | $\bar{c} = 1.60$ | | $\bar{c} = 2.10$ | |
|-------------|-----------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|----|------------------|---|
| | | | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | E2 | | |
| 4.8 sek | 2.0 | $4.7 * 10^{-2}$ | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 1.5 | $10.2 * 10^{-2}$ | — | $1.08 * 10^{-10}$ | — | — | — | — | — | — |
| | 1.0 | $12.6 * 10^{-2}$ | $4.59 * 10^{-6}$ | $1.93 * 10^{-10}$ | $1.48 * 10^{-4}$ | — | — | — | — | — |
| | 0.5 | | | | | | | | | |
| 5.3 sek | 2.0 | $6 * 10^{-3}$ | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 1.5 | $3.4 * 10^{-2}$ | — | $6.29 * 10^{-11}$ | — | — | — | — | — | — |
| | 1.0 | $18.6 * 10^{-2}$ | $5.49 * 10^{-6}$ | $2.16 * 10^{-10}$ | $1.66 * 10^{-4}$ | — | — | — | — | — |
| | 0.5 | | | | | | | | | |
| 7.8 sek | 1.5 | $6.3 * 10^{-3}$ | — | $1.64 * 10^{-10}$ | — | — | — | — | — | — |
| | 1.0 | $7.6 * 10^{-2}$ | $3.56 * 10^{-6}$ | $2.46 * 10^{-10}$ | $1.00 * 10^{-4}$ | — | — | — | — | — |
| | 0.5 | | | | | | | | | |
| 9.3 sek | 1.5 | $1 * 10^{-5}$ | — | $3.01 * 10^{-8}$ | — | — | — | — | $4.42 * 10^{-7}$ | — |
| | 1.0 | $1.5 * 10^{-2}$ | $6.15 * 10^{-6}$ | $1.94 * 10^{-9}$ | $9.02 * 10^{-5}$ | — | — | — | — | — |
| | 0.5 | | | | | | | | | |
| 10.8 sek | 1.5 | $1 * 10^{-5}$ | — | $3.71 * 10^{-6}$ | — | — | — | — | $2.16 * 10^{-5}$ | — |
| | 1.0 | | $1.90 * 10^{-5}$ | $3.74 * 10^{-6}$ | $5.12 * 10^{-4}$ | $2.51 * 10^{-5}$ | — | — | — | — |

$$E3 = \sum E2_i$$

$$E4 = \sum_{j=1}^A E3_j * P(\text{voorkomen klasse j})$$

$$E5 = 1 - (1 - E4)^{117}$$

$$\bar{c} \text{ vanaf } 1.81 \text{ m}$$

$$E4 = 0.10 * 1.98 * 10^{-5}$$

$$0.90 * 3.74 * 10^{-6} +$$

$$5.35 * 10^{-6}$$

$$E5 = 6.26 * 10^{-4}$$

$$\bar{c} \text{ vanaf } 1.60 \text{ m}$$

$$E4 = 0.10 * 5.12 * 10^{-4}$$

$$0.90 * 2.51 * 10^{-5} +$$

$$7.20 * 10^{-5}$$

$$E5 = 0.39 * 10^{-3}$$

Hoofdstuk VIII

RESUME EN KONKLUSIES

Door voorwaarden te stellen aan de kans van raken van de schepen aan de bodem, zijn voor de ontwerpdiepte van de geul de onderstaande waarden gevonden.

| | | | |
|-----------|--------------|---------|---------------------|
| Traject 1 | Geuldiepte : | 10.73 m | beneden Chart Datum |
| 2 | | 11.85 m | |
| 3 | | 11.05 m | |

Het is ook mogelijk een optimale geuldiepte te bepalen aan de hand van een kosten-analyse.
Met inachtneming van

- kosten voor schade
- baggerkosten
- en kosten van wachttijden

is voor traject 2 een optimale geuldiepte gevonden van 11.35 m beneden CD.

Hoewel deze geuldiepte optimaal is, moet gekonkludeerd worden dat de kans dat de schepen schade oplopen, groot is. De gemaakte kosten-analyse is beperkt en niet nauwkeurig genoeg. Voor een betere analyse is een grondig onderzoek nodig, waarbij ook andere ermee samenhangende kostenfactoren meegenomen dienen te worden. (kosten havenoverslag-installaties, havenbeheer e.d.)

De responsfunctie van het kolenschip is gebaseerd op een schatting van het N.S.P. in Wageningen. Hij geldt voor een relatief "stijf" schip met een tanker/bulkcarrier vorm.

De grootste responsies treden op bij een golfinval van 90°, zoals dit voorkomt op traject 2. Hierbij leveren golven met een periode van 6 - 10 sek de grootste bijdrage aan de kans op raken.

Op de trajecten 1 en 3 is de responsie duidelijk minder dan op traject 2. Dit wordt veroorzaakt doordat de golven nu nagenoeg frontaal op het schip komen. In dit geval geven golven met een periode groter dan 12 sek de belangrijkste bijdrage aan de kans op raken.

Hoofdstuk IX

LITERATUUR

- [1] TUCK, E.O. and
TAYLOR, P.J. Shallow water problems in
ship hydronamics
8 th S.N.H. Pasedena 1970
- [2] BATTJES, J.A. Korte Golven
dictaat b 76 TH Delft 1980
- [3] BATTJES, J.A. Windgolven
dictaat b 78 TH Delft 1982
- [4] GERRITSMA, J. Scheepsbewegingen
dictaat k 16 TH Delft 1974
- [5] HAKKERS, A. Optimale diepte scheepvaartgeul
Ontwerp toegangsegeul Zeebrugge
Afstudeerverslag
afd Kustwaterbkw TH Delft 1978
- [6] de KONING, J. Randvoorwaarden voor het
inzetten van baggermaterieel
dictaat i 82 a TH Delft 1968
- [7] HUIJSMANS, R.H.M.
DALLINGA, R.P. Non-linear ship motions
in shallow water
Verslag NSP Wageningen 1983
- [8] BIJKER, E.W.
MASSIE, W.W.
v. DIJK, J.J.
v. ESSEN, G.W. Coastal Engineering
dictaat f 11 b TH Delft 1980
- [9] Toegangsegeul naar de Eemshaven
tbv 125.000 m³ LNG - tankers
Afstudeerverslag
afd Kustwaterbkw TH Delft 1981
- [10] NEDECO Beira Port Study
Access Channel Study
Main Report
WL Delft 1982
- [11] v. SOEST, J. Elementaire Statistiek

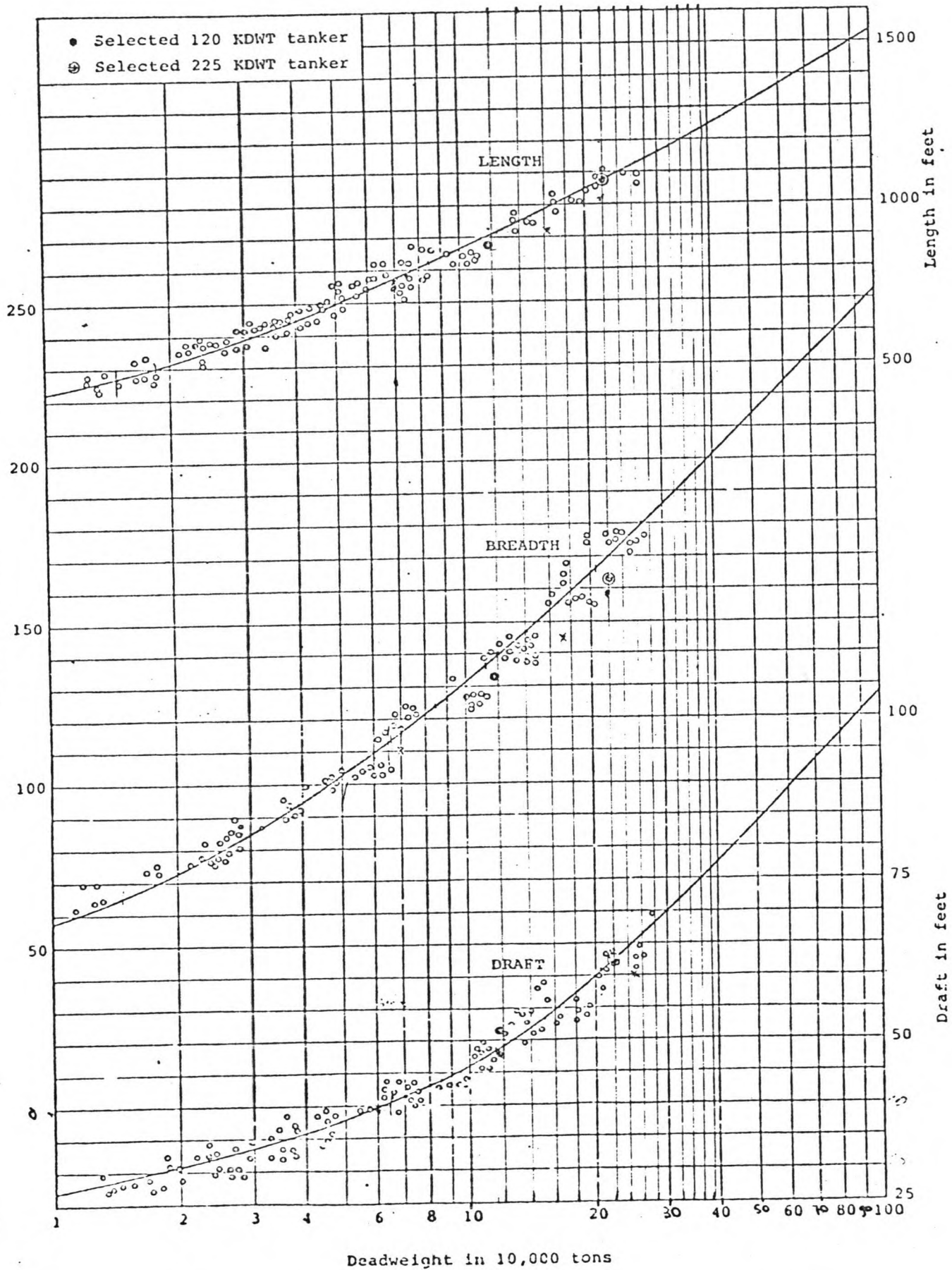
Hoofdstuk X

BIJLAGEN

- 10.1 SCHEEPSAFMETINGEN
- 10.2 WATERVERPLAATSING SCHIP
- 10.3 UNIVERSELE RESPONSFUNCTIE VOOR ERTSCARRIERS
- 10.4 GETIJ-KROMMEN
- 10.5 TABEL WATERSTANDEN
- 10.6 RESULTATEN MEETPUNT 3
- 10.7 SPECTRUM MET EEN PIEK
- 10.8 SPECTRUM MET TWEE PIEKEN
- 10.9 OVERSCHRIJDINGSKROMME WATERSTANDEN HW
- 10.10 TABEL STANDAARD-NORMALE VERDELING

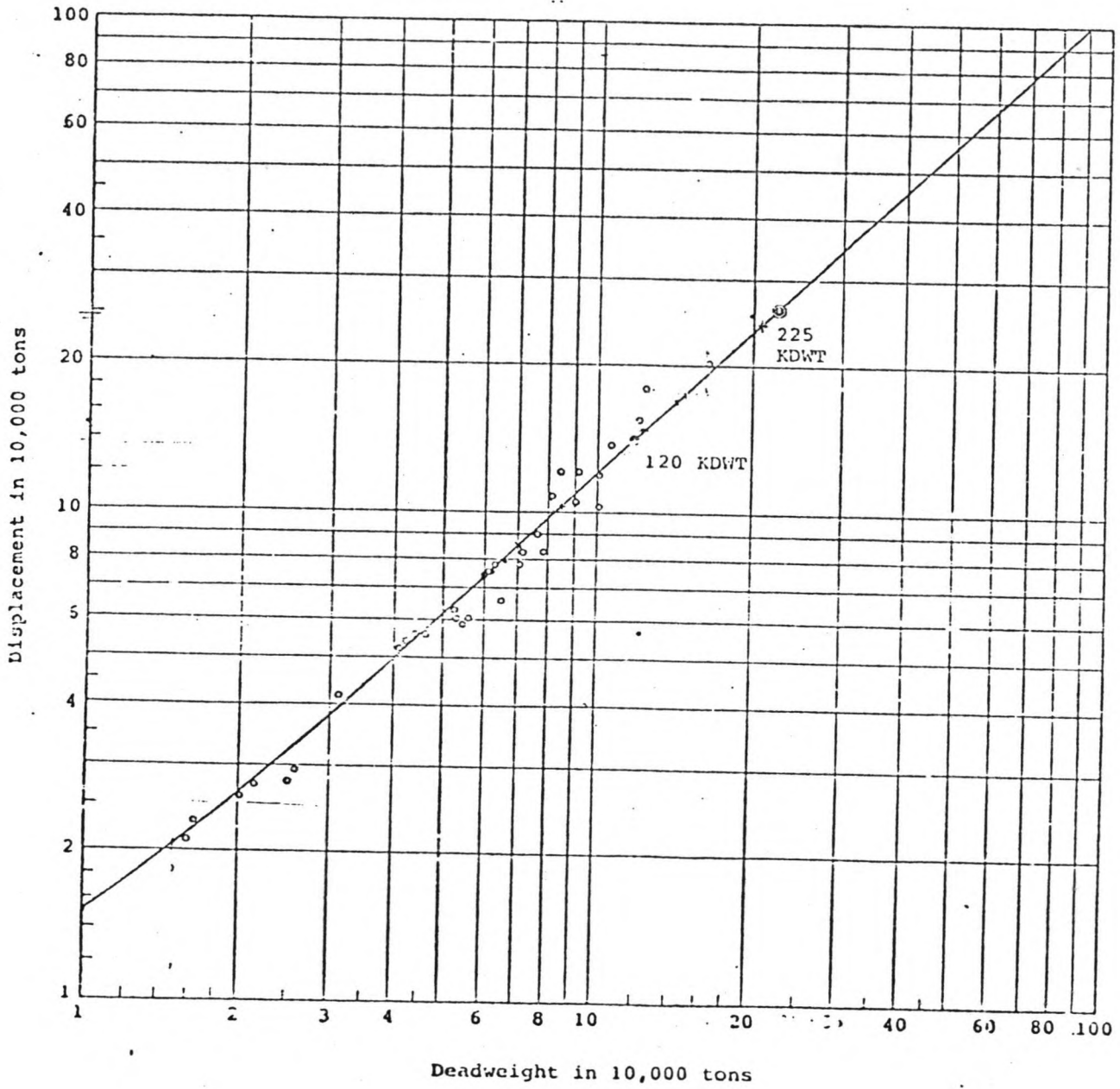
Static launching calculations for a 120 KDWT slipway design

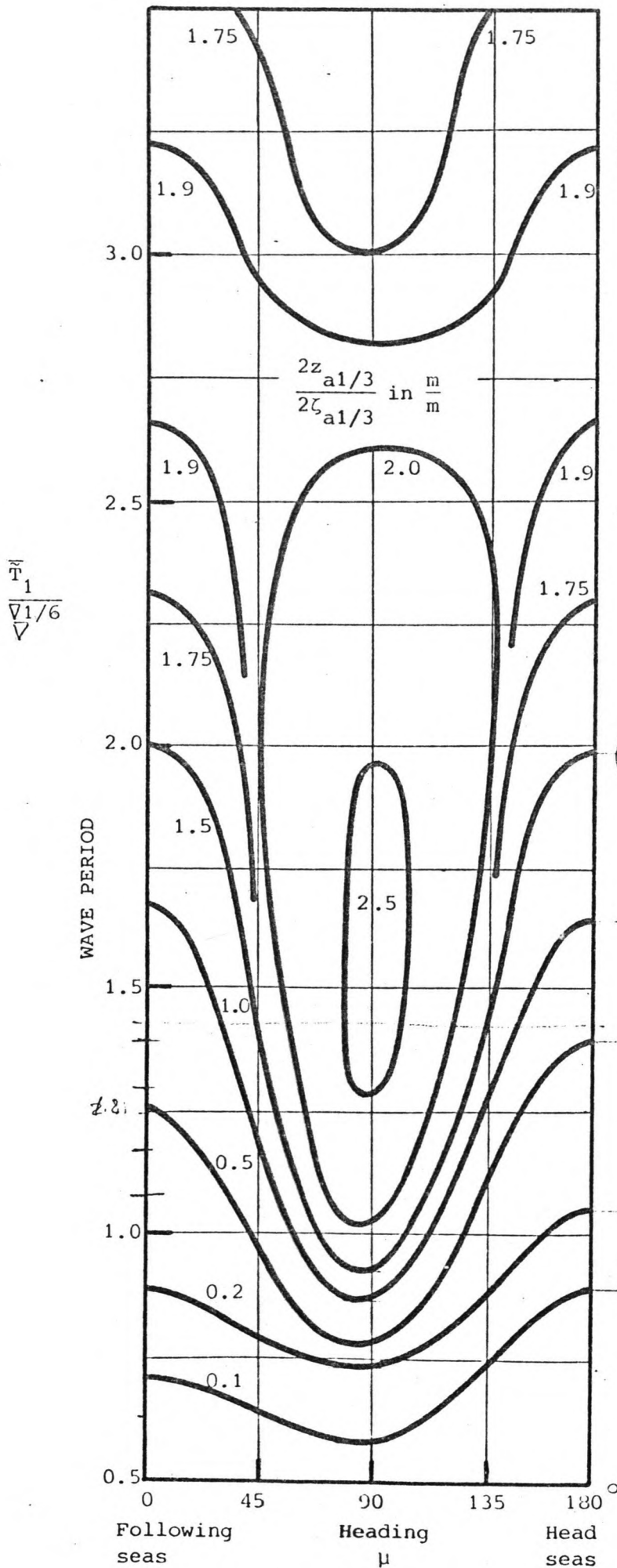
APPROXIMATE DIMENSIONS



Static launching calculations for a 120 KDWT slipway design

APPROXIMATE DISPLACEMENTS





Waves: PM Spectra of unit height
 Water depth: 1.175 * Draft
 \bar{T} : Average wave period [s]
 ∇ : Displacement [m³]
 μ : Heading [deg.]

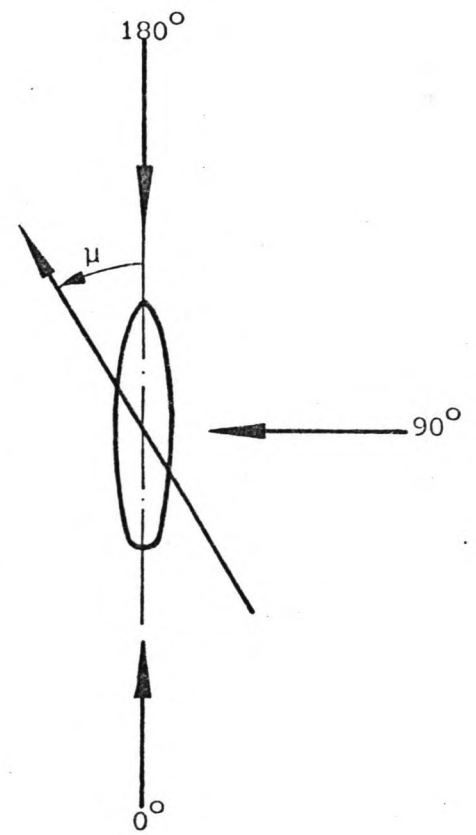
$R=1.5$

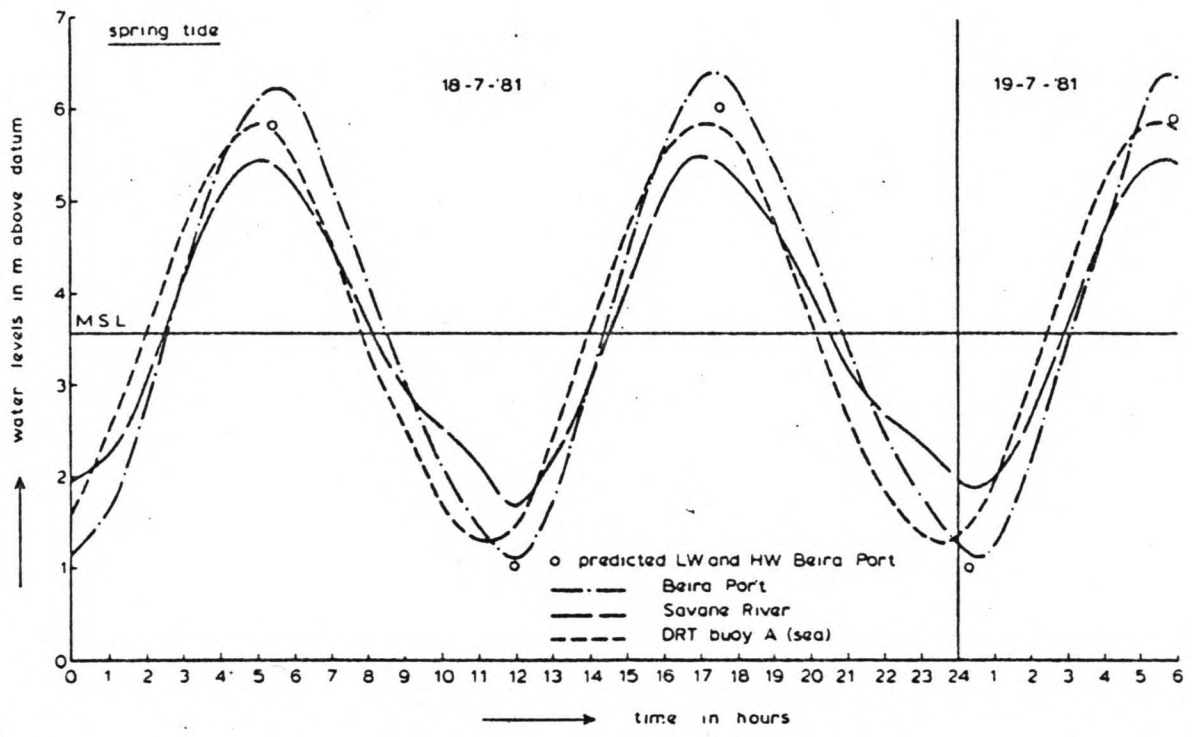
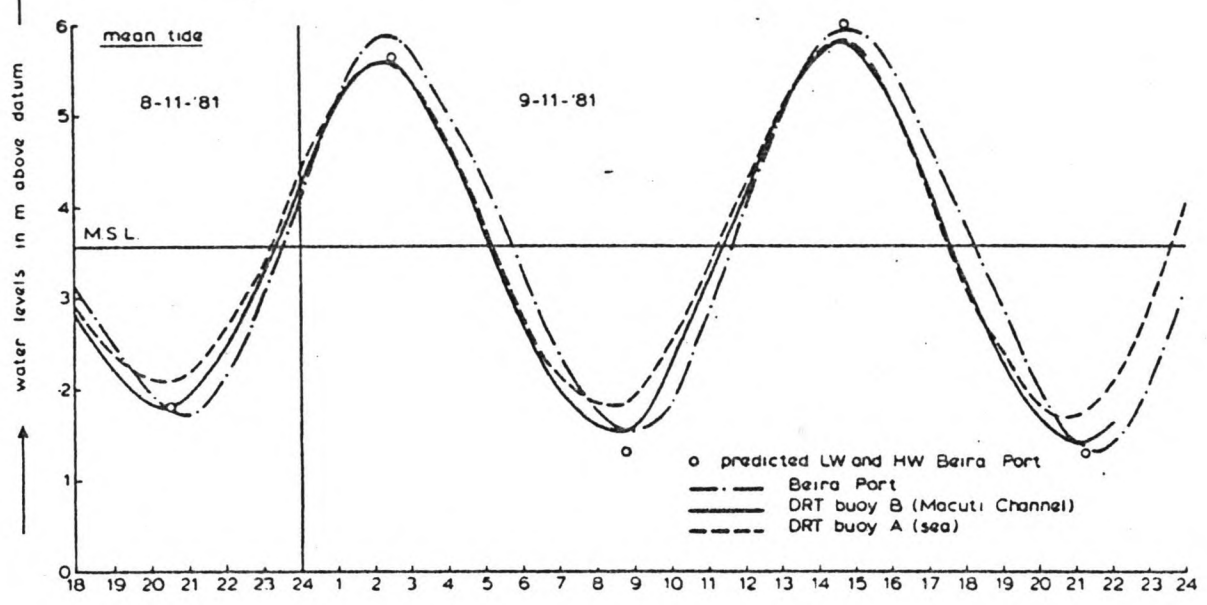
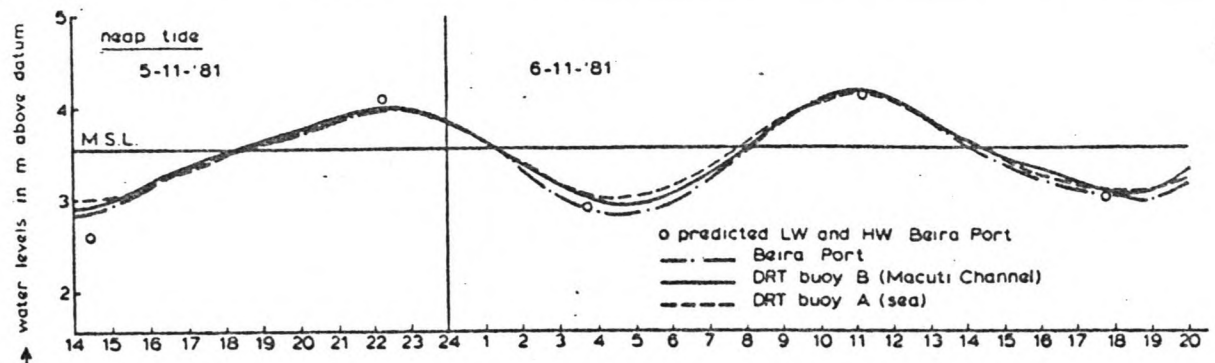
$R=1.0$

$R=0.5$

$R=0.2$

$R=0.1$





TIDAL PROPAGATION IN THE BEIRA AREA

DRY SEASON

NEDECO

tabel

Getijgegevens

Gemiddeld Springtij

Gemiddeld Doodtij

MHWS 6.45 m boven CD

MHWN 4.35 m boven CD

MLWS 0.70 m "

MLWN 2.70 m "

Gemidd verschil = 5.75 m

Gemidd verschil = 1.65 m

Periode tussen de hoog waters = 12 u 25 min

Periode springtij tot springtij = 342 u 51 min of 14.3 dagen

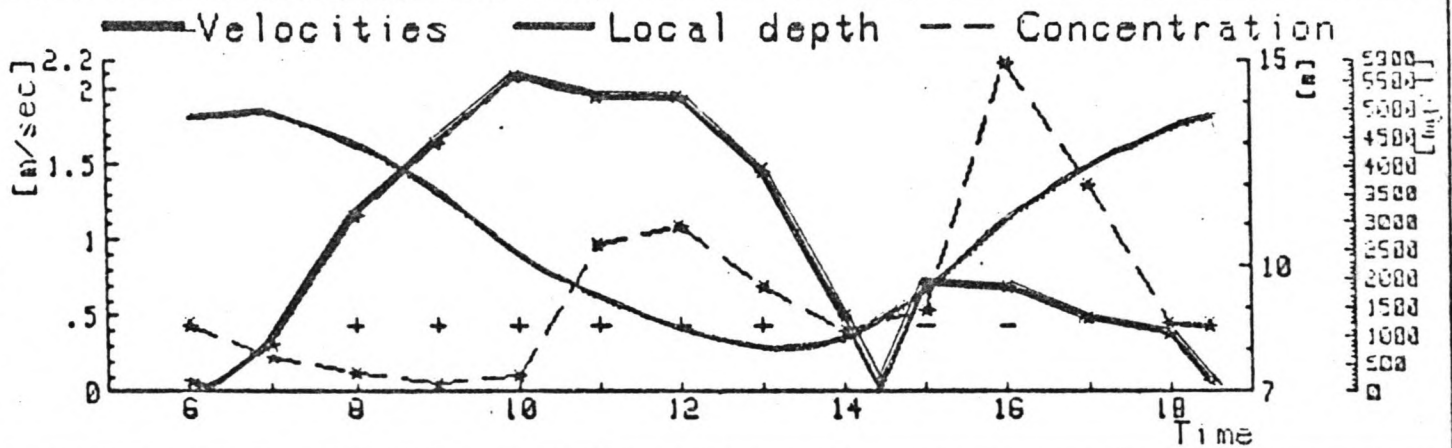
Waterhoogten in meters boven Chart Datum

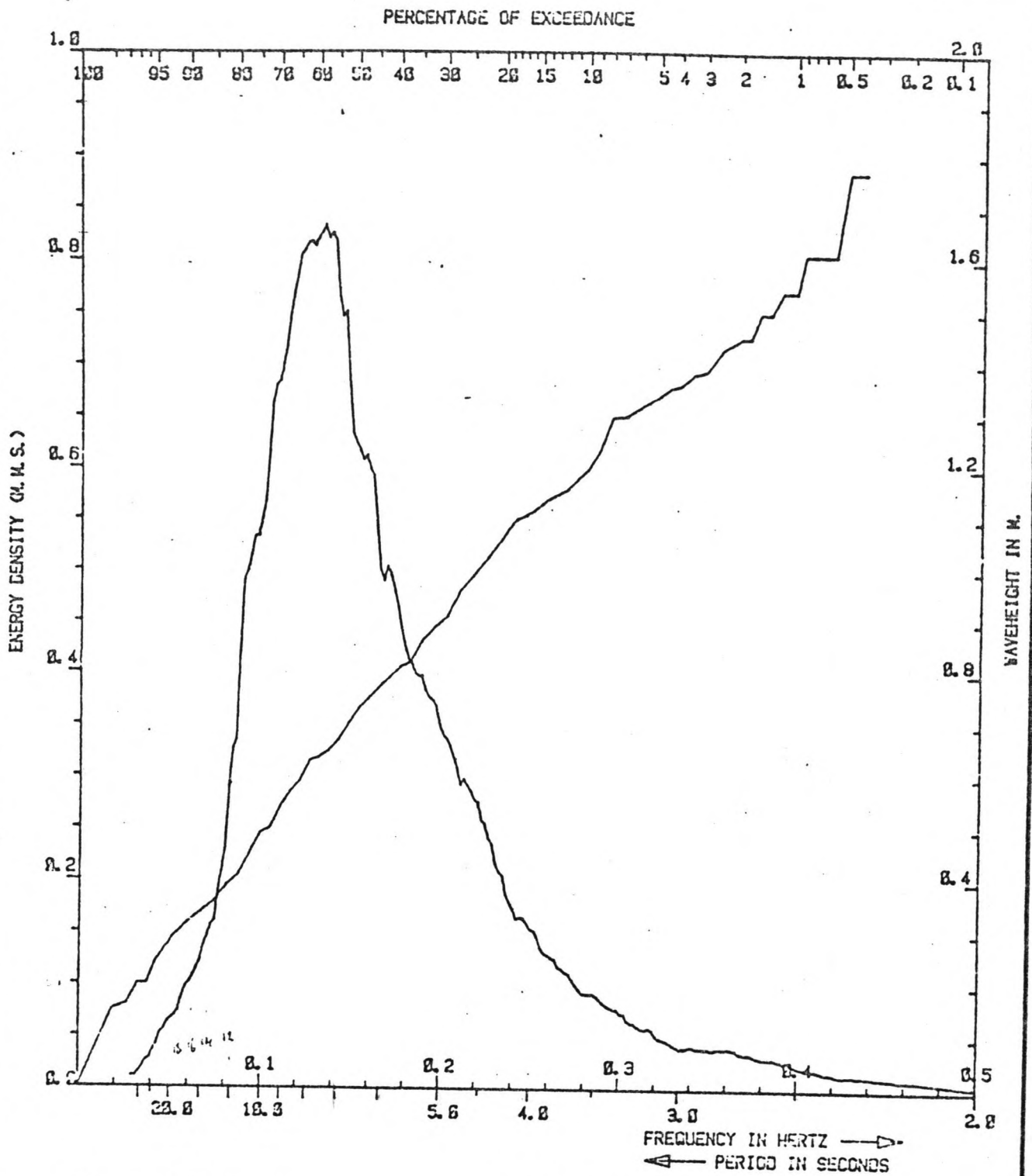
| Tijdstip | Springtij | Doodtij |
|-------------|-----------|---------|
| t = 0 u | 3.60 | 3.55 |
| 1 | 5.00 | 3.90 |
| 2 | 6.15 | 4.15 |
| 3 | 6.45 | 4.25 |
| 4 | 6.00 | 4.30 |
| 5 | 5.05 | 4.35 |
| 6 | 4.00 | 4.10 |
| 7 | 2.75 | 3.70 |
| 8 | 1.35 | 3.15 |
| 9 | 1.10 | 2.80 |
| 10 | 0.70 | 2.70 |
| 11 | 1.35 | 3.00 |
| 12 | 2.75 | 3.40 |
| 12 u 25 min | 3.60 | 3.55 |

| DATE : 27-2-1982 | | |
|--------------------------------------|--------------|--------------------------------|
| LOCATION : 691600 E III 7806300 N | | |
| Time | Depth [m] | Average Velocity [m/sec] |
| 6.00 | 13.60 | -0.07 |
| 7.00 | 13.75 | +0.33 |
| 8.00 | 13.00 | +1.16 |
| 9.00 | 11.80 | +1.64 |
| 10.00 | 10.30 | +2.09 |
| 11.00 | 9.20 | +1.95 |
| 12.00 | 8.50 | +1.95 |
| 13.00 | 8.00 | +1.46 |
| 14.00 | 8.20 | +0.51 |
| 15.00 | 9.30 | -0.71 |
| 16.00 | 11.10 | -0.69 |
| 17.00 | 12.40 | -0.49 |
| 18.00 | 13.30 | -0.39 |
| 19.30 | 13.60 | -0.07 |
| EBB : | T= 8.14 | +1.32 |
| FLOOD : | T= 4.16 | -0.48 |
| TOTAL : | T= 12.30 | +0.71 |

LOCATION : 691600 E
III 7806300 N

27-2-1982
SPRING TIDE



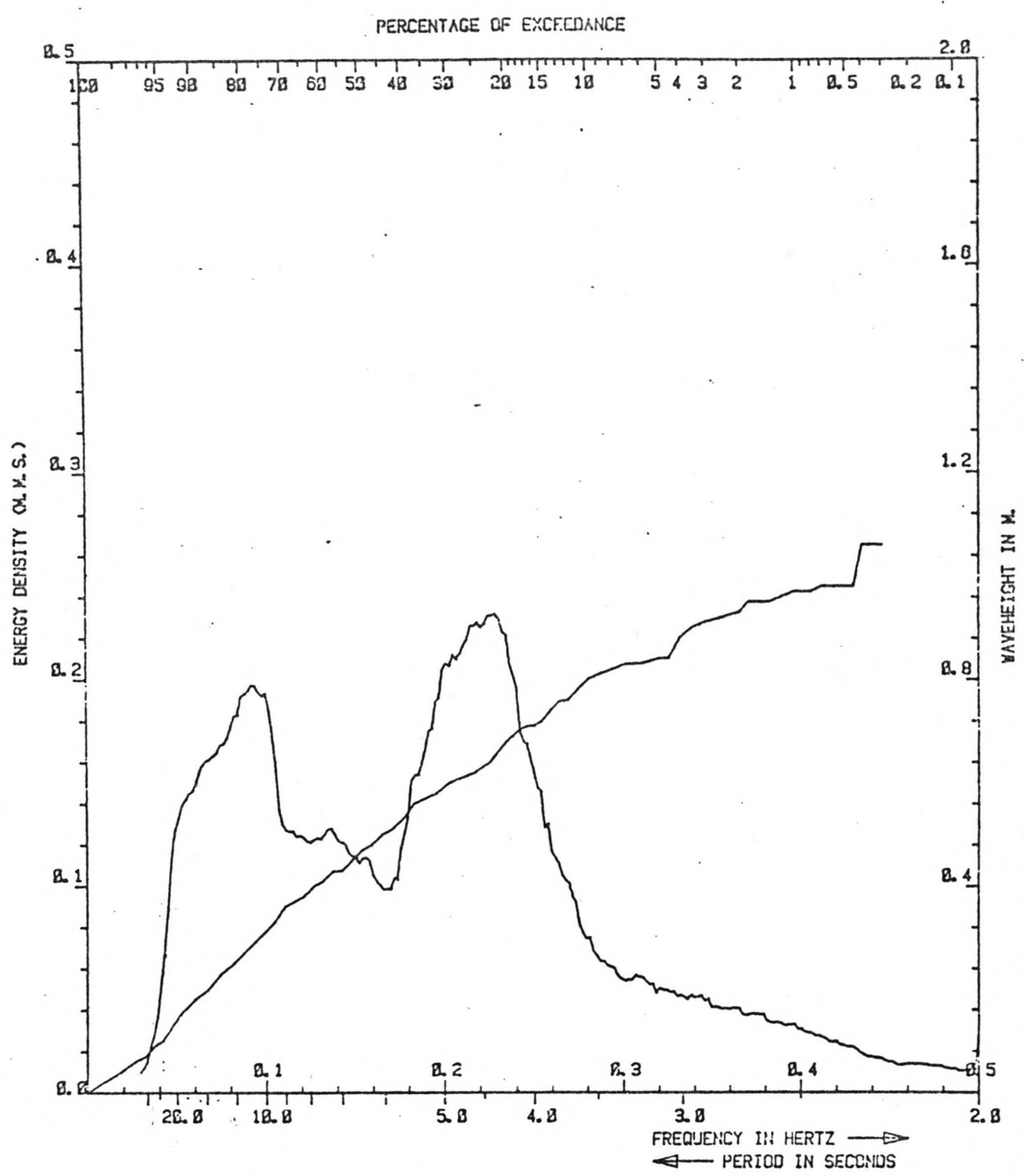


$H_s = 1.14 \text{ M.}$
 $H_{21} = 1.54 \text{ M.}$
 $T_x = 5.7 \text{ S.}$
 $T_p = 7.4 \text{ S.}$

$S_p = 0.83 \text{ M.M.S.}$
 $M_c = 0.89 \text{ M.M.}$
 $J = 267$

ONE PEAK SPECTRUM

NEDECO

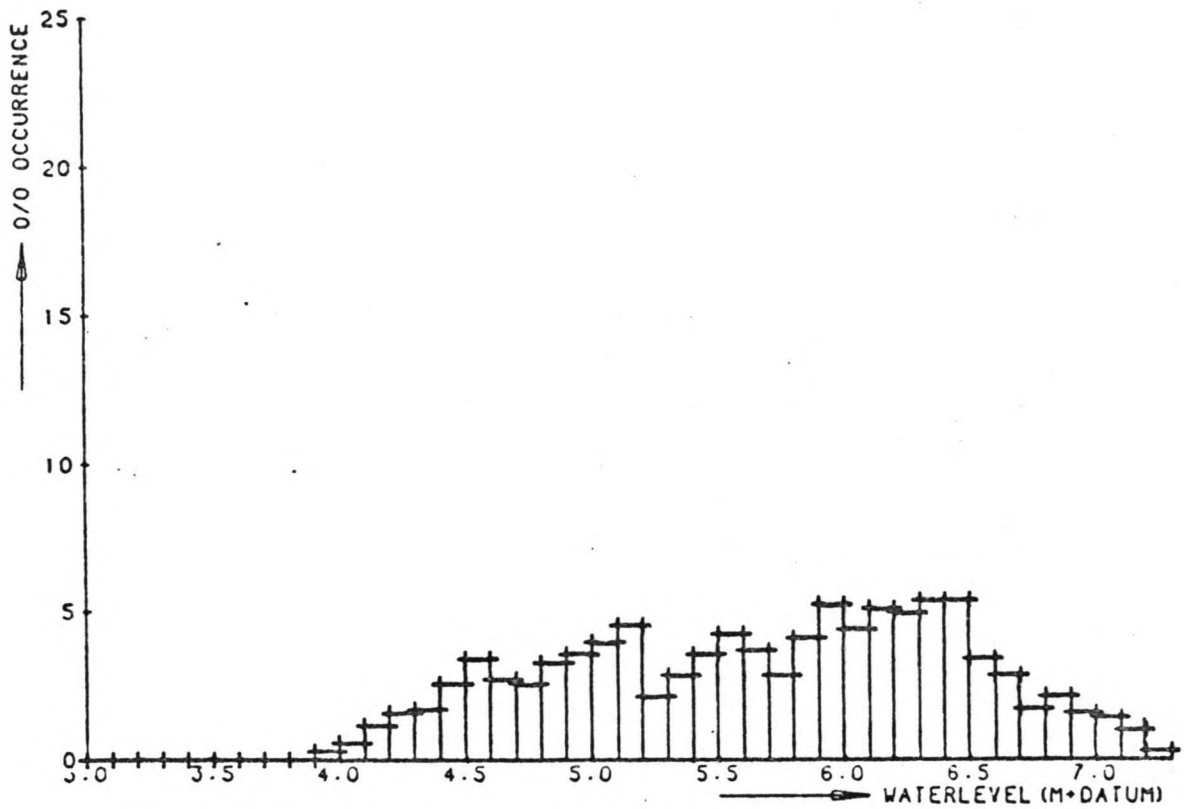
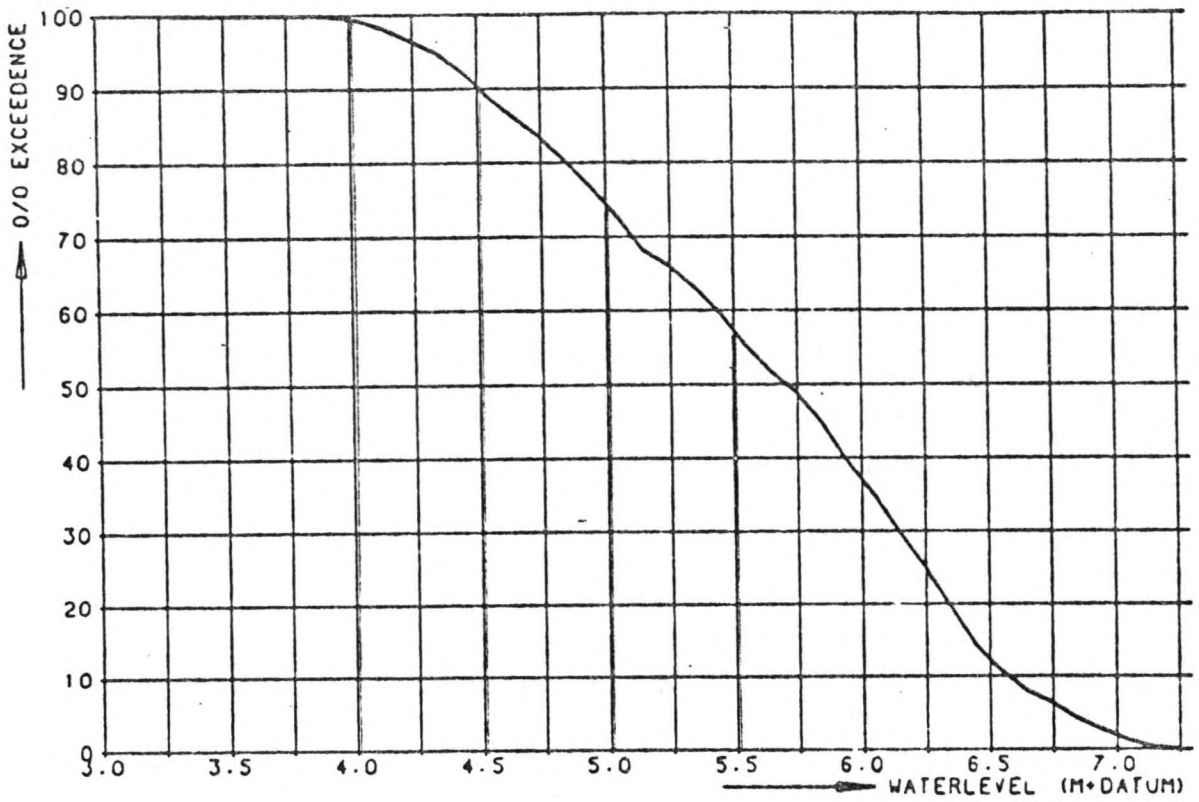


$H_s = 0.73 \text{ M.}$
 $H_{Z1} = 0.97 \text{ M.}$
 $T_H = 4.43 \text{ S.}$
 $T_P = 4.37 \text{ S.}$

$S_p = 0.23 \text{ M.M.S.}$
 $M_0 = 0.04 \text{ M.H.}$
 $J = 346$

TWO PEAK SPECTRUM

NEDECO



TIDE LEVELS
 LOCATION : BEIRA PORT
 HIGHWATER +0 HOUR

NEDECO

