

Verruiming van de toegangsgeul naar Tees Port

**M.A. Wolters
augustus 1997**

Voorwoord

Dit afstudeerwerk, 'Verruiming van de toegangsgeul naar Tees Port', is gedaan naar aanleiding van een opdracht van de havenautoriteiten van de Britse Tees & Hartlepool Port. De havenautoriteiten (THPA) wilden inzicht verkrijgen in de huidige en toekomstige mogelijkheden om grotere schepen toe te laten op de River Tees. Een van de bedrijven in de haven heeft de wens geuit om grotere schepen af te handelen. Gebruik van grotere schepen voor vervoer van kolen en ijzererts kan lagere transportkosten opleveren. De havenautoriteiten wilden een onderzoek om hun positie in de onderhandelingen te versterken.

Ingenieursbureau Witteveen + Bos heeft een onderzoeksvoorstel opgesteld voor de havenautoriteiten.

Naar aanleiding hiervan is door mij onderzoek gedaan naar de benodigde geulafmetingen voor schepen, groter dan het momenteel toegelaten grootste schip. Verder is er onderzocht wat de effecten van geuluitbreiding zijn op het onderhoudsbaggerwerk.

Voor dit afstudeerwerk zijn veel gegevens gebruikt, die door Witteveen + Bos zijn verzameld. Ik ben ir. S. Meijer (Witteveen + Bos) dankbaar voor de verleende medewerking bij de tot stand koming van dit afstudeerwerk. Verder gaat mijn dank uit naar prof. H. Ligteringen (TU-Delft), ir. R. Groenveld (TU-Delft), dr. ir. J. van de Graaff (TU-Delft) en ir. J. van Doorn (Maritime Simulation Centre the Netherlands).

Milou Wolters
augustus 1997

Samenvatting

Tees & Hartlepool Port is een van de grootste havens in het Verenigd Koninkrijk. De havenautoriteiten willen meer inzicht krijgen in de mogelijkheid grotere schepen toe te laten in Tees Port. Het gebruik van grotere schepen kan de transportkosten van ijzererts en kolen verlagen. In dit verslag is gekeken naar benodigde vaargeulafmetingen voor een aantal schepen met verschillende afmetingen. De havenautoriteiten hebben enkele schepen voorgedragen, waarvoor de mogelijkheden onderzocht moeten worden.

Schip [-]	Loa [m]	Lpp [m]	B [m]	D [m]	Verplaatsing [x 1000ton]
1	305	295	48	17	207
2	310	299	53	17	232
3	310	299	55	17	241
4	310	299	55	18.8	266
5	339	327	55	23	356

Tabel 1. Door THPA voorgestelde schepen

In deel A wordt beschreven hoe de benodigde geulbreedte kan worden bepaald. De benodigde geulbreedte is bepaald met behulp van een fast-time simulatie model: SHIPMA. SHIPMA is een fast-time simulatieprogramma, waarmee gesimuleerd wordt hoe goed een schip de gewenste route kan afleggen onder verschillende omstandigheden. De geulbreedte die het schip nodig heeft kan uit de door het schip gevolgde route bepaald worden.

Het grootste schip dat de haven (met een geulbreedte van 244 m) kan bezoeken volgens de SHIPMA berekening is een schip van 310 m lang en 55 m breed.

Ter vergelijking is er ook een geulbreedte bepaald met behulp van richtlijnen van het PIANC. Volgens de PIANC-richtlijnen kan een iets breder schip, namelijk 55,5m breed, toegelaten worden.

Men wil met schepen varen met een breedte van maximaal 55m. De huidige geul is dus breed genoeg om aan die wensen te voldoen.

In deel B van dit afstudeerwerk wordt nagegaan wat de benodigde underkeel clearance is voor de voorgedragen schepen.

Om de geuldiepte te kunnen bepalen moet eerst de benodigde underkeel clearance van de schepen worden bepaald.

In dit onderzoek is er voor gekozen om met een semi-probabilistische methode te werken, de methode van Kimon. Met de methode van Kimon is underkeel clearance berekend, die hoort bij een kans dat het schip tijdens de passage de bodem raakt, van 1%

De benodigde underkeel clearance varieert van 1,82m tot 2,08m voor een schepen met een diepgang van respectievelijk 17m en 23m, bij golven tot 2,25m hoog. Voor de toelating van schepen met een diepgang van meer dan 17,5m moet de vaargeul verdiept worden.

In deel C is onderzocht wat de effecten zijn van de geulverdieping op de hoeveelheid sedimentatie in de vaargeul. De geulvarianten die onderzocht worden zijn de een geul met de huidige geulafmetingen en twee verdiepte varianten, die respectievelijk 2m en 6m dieper zijn dan de huidige geul.

Om het sedimenttransport over een gebaggerde geul te berekenen heeft Bijker een eenvoudige transportformule bedacht. Met een eenvoudige berekening kan de hoeveelheid sedimenttransport, onder stroming en golven, buiten de geul en boven de geul worden berekend. Het verschil tussen beide hoeveelheden is de hoeveelheid gesedimenteerd

materiaal in de geul. Deze hoeveelheid sediment moet gebaggerd worden om de benodigd geuldiepte voor de scheepvaart te kunnen garanderen.

Uit de berekening blijkt duidelijk dat de hoeveelheid sediment in de approach channel (het stuk geul buiten de golfbrekers) bij geulverdieping zal toenemen. Zeker bij een geulverdieping van zes meter is de toename groot, namelijk meer dan 100%.

Deze toename voor het onderhoudsbaggerwerk zal extra kosten met zich meebrengen en ook hinder voor de scheepvaart. Dit zijn ongewenste effecten.

Op de river channel (het beschutte gedeelte van de geul) zal de hoeveelheid sediment nauwelijks veranderen. Het sediment dat daar wordt afgezet komt voor 70% met de vloedstroom mee. Bij een geulverdieping blijft de grootte van de vloedstroom ongeveer gelijk en zo ook de getransporteerde hoeveelheid sediment. De andere 30% sediment wordt aangevoerd door de rivier. Ook aan deze hoeveelheid zal door geulverdieping niet veel veranderen.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	i
Samenvatting	ii
Inhoudsopgave	iv
1. Inleiding.....	1

Deel A

Samenvatting	3
Inhoudsopgave.....	4
1. Inleiding.....	5
1.1 Probleembeschrijving	7
2. Probleemstelling en doelstelling.....	8
2.1 Probleemstelling.....	8
2.2 Doelstellingen	8
3. Breedtebepaling	9
4. Het bepalen van de vaargeulbreedte met PIANC-richtlijnen	10
4.1 PIANC-richtlijnen	10
4.2 Benodigde breedte van de toegangsgeul volgens PIANC-richtlijnen:	10
5. Het bepalen van de vaargeulbreedte met SHIPMA	12
5.1 Beschrijving SHIPMA	12
5.2 Invoergegevens	13
5.3 Input SHIPMA-runs	15
5.4 Uitvoergegevens.....	16
5.5 Breedte berekening	19
6. Resultaten	21
6.1 PIANC-resultaten	21
6.2 SHIPMA-resultaten	21
6.3 Vergelijking van de resultaten	22
7. Conclusies	23
8. Aanbevelingen	24
Literatuur.....	25
Lijst van symbolen	26
Bijlage I. Algemene gegevens	
Bijlage II. Benodigde breedte volgens PIANC	
Bijlage III. SHIPMA invoerfiles	
Bijlage IV. SHIPMA plots	
Bijlage V. SHIPMA uitvoerfiles	

Deel B

Samenvatting	27
1. Inleiding.....	30
1.1 situatieschets Tees Port	31
2.1 probleemstelling.....	34
2.2 Doelstelling	34

3. Rekenmethodes voor diepte optimalisatie.....	35
3.1 Deterministische benadering.....	35
3.2 Probabilistische benadering.....	35
3.3 Semi-probabilistische benadering	36
4. Toepassing semi-probabilistische methode voor dieptebepaling op River Tees	37
4.1 Methode van Kimon.....	37
4.2 Bepaling van de factoren die de underkeel clearance beïnvloeden	38
5. Uitvoering van de underkeel clearance berekening.....	41
5.1 De bepaling van de benodigde UKC voor de stabiele factoren (UKC_S)	41
5.2 De bepaal van de benodigde UKC voor golven (UKC_W).....	44
5.3 Statistische sommatie van UKC_S en UKC_W	46
5.4 De bepaling van de squat.....	46
5.5 Bepaal de totale netto underkeel clearance	49
6. Resultaten van de underkeel clearance berekeningen voor Tees Port	50
6.1 Totale resultaten approach channel.....	50
6.2 Totale resultaten river channel	53
6.3 Totale resultaten ligplaats	55
7. Toelatingsbeleid	57
7.1 Toelating op de approach channel.....	57
7.2 Toelating op de river channel	58
8. Keuze vaarwegdiepte	60
8.1 Geuldiepte op de approach channel	60
8.2 Geuldiepte op de river channel	62
8.3 Bodemdiepte bij de ligplaats	63
9. Commentaar op de methode	64
10 Deterministische underkeel clearance berekening	65
11. Conclusies	68
12. Aanbevelingen	69
Literatuur.....	70
Lijst van symbolen	71
Bijlage I. Algemene gegevens	75
Bijlage II. Varianties van de stabiele factoren.....	77
Bijlage III. Golfrespons bepaling	81
Bijlage IV. Resultaten UKC_A berekeningen voor verschillende golfhoogtes en -periodes.	

Deel C

Samenvatting	72
Inhoudsopgave	75
1. Inleiding.....	76
1.1 situatieschets.....	76
2. Probleemstelling en doelstelling.....	78
2.1 Probleemstelling.....	78
2.2 Doelstelling	78
3. Beschrijving morfologische situatie.....	79
4. De approach channel	82
4.1 Methode van Bijker.....	82

4.1.1 Bodemtransport.....	83
4.1.2 Zwevend transport.....	84
4.2 Stroming over de geul.....	87
4.2.1 Loodrechte stroming.....	87
4.2.2 Stroming onder een hoek.....	87
5. Toepassing van methode van Bijker op River Tees.....	89
6. Hoeveelheid sedimentatie in de approach channel.....	91
7. De river channel.....	95
7.1 Riviersediment.....	95
7.2 Sedimentaanvoer van zee.....	95
7.3 Optredende veranderingen in sedimentatie bij geulverdieping.....	98
7.3.2 hoeveelheid riviersediment bij geulverdieping.....	98
7.3.3 Hoeveelheid sedimenttransport van zee bij geulverdieping:	98
8. Stabiliteit van het talud onder golven.....	100
9. Kostenbepaling van de uitbreiding van de toegangsgeul naar Tees Port...102	102
9.1 Kosten capital dredging.....	102
9.2 Kosten onderhoudsbaggerwerk.....	105
9.2.1 Uitvoering.....	105
9.2.2 Kostenberekening.....	106
10. Conclusie	108
11. Aanbevelingen	109
Literatuur.....	101
Bijlage I. Algemene gegevens	
Bijlage II. Stroomlijnen over de gebaggerde geul	
Bijlage III. Berekening methode van Bijker	
Bijlage IV. Meetgegevens	
Bijlage V. Stroommetingen langs de approach channel	
Bijlage VI. Baggersecties	

1. Inleiding

Tees & Hartlepool Port is een van de grootste havens in het Verenigd Koninkrijk. De havenautoriteiten, Tees & Hartlepool Port Authorities (THPA), willen meer inzicht verkrijgen in de huidige mogelijkheden en eventuele toekomstige aanpassingen van de River Tees. Dit is naar aanleiding van de wens van een bedrijf in de haven om grotere schepen af te handelen. Het gebruik van grotere schepen kan de transportkosten van ijzererts en kolen verlagen.

Voor dit onderzoek heeft THPA een aantal schepen voorgedragen, waarvoor de mogelijkheden onderzocht moeten worden.

Schip [-]	Loa [m]	Lpp [m]	B [m]	D [m]	Verplaatsing [x 1000ton]
1	305	295	48	17	207
2	310	299	53	17	232
3	310	299	55	17	241
4	310	299	55	18.8	266
5	339	327	55	23	356

tabel 1.1. Door THPA voorgestelde schepen

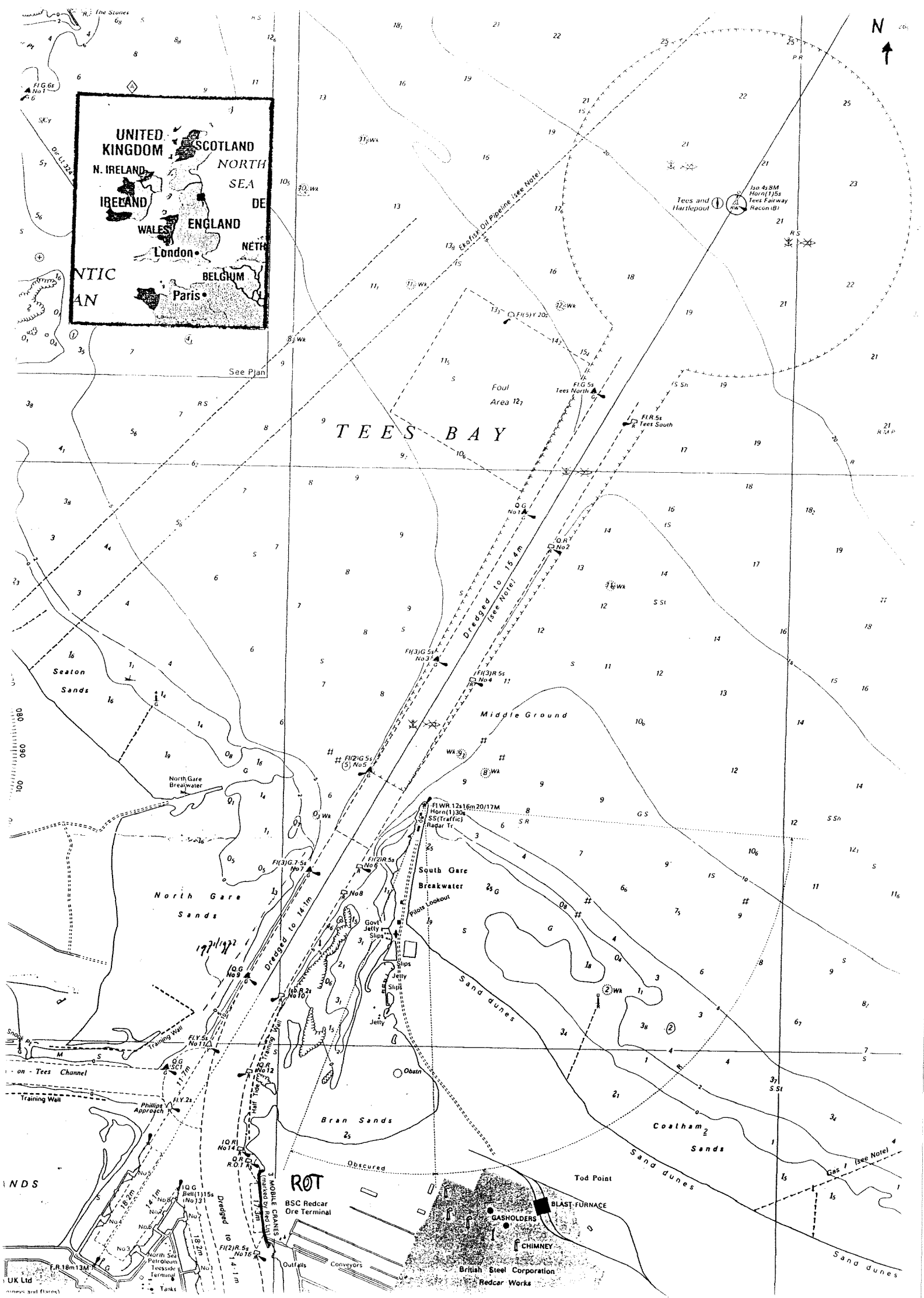
De geulbreedte en -diepte kunnen afhankelijk van elkaar worden berekend.

In deel A van dit rapport wordt de benodigde vaargeulbreedte voor de verschillende schepen bepaald. Met behulp van het fast-time simulatieprogramma, SHIPMA, wordt het scheepsgedrag onder extreme weersomstandigheden bestudeerd. De benodigde breedte die volgt uit de SHIPMA simulaties wordt vergeleken met de resultaten van een breedte berekening met de deterministische ontwerprichtlijnen van het PIANC.

In deel B wordt de benodigde underkeel clearance bepaald. Dit wordt gedaan met behulp van een semi-probabilistische rekenmethode, die is opgesteld door Kimon. Met de resultaten hiervan wordt een gewenste geuldiepte bepaald en wordt een toelatingsbeleid opgesteld.

In deel C van dit rapport wordt beschreven wat de effecten zijn van geulverruiming op de sedimenttransporten rond de vaargeul. Een geulverbreding of verdieping kan een toename van de sedimentatie in de geul betekenen. Dit resulteert vervolgens in een toename van de benodigde hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk. Dithindert de scheepvaart en brengt extra kosten met zich mee. De financiën spelen een overheersende rol in de besluitvorming over een eventuele geuluitbreiding.

In hoofdstuk 2 wordt berekend wat de kosten zijn voor het nieuwe baggerwerk voor de verschillende nieuwe geulvarianten. Ook de kosten voor onderhoudsbaggerwerk worden berekend.



Deel A

Breedtebepaling

Samenvatting

De havenautoriteiten van de Tees & Hartlepool Port (in noordoost Engeland) willen weten of er grotere schepen kunnen worden toegelaten op de haven toegangsgeul, de River Tees. In dit verslag is gekeken naar benodigde vaargeul afmetingen voor een aantal door de havenautoriteiten (THPA) voorgestelde standaard schepen.

Schip [-]	Loa [m]	Lpp [m]	B [m]	D [m]	Verplaatsing [x 1000ton]
1	305	295	48	17	207
2	310	299	53	17	232
3	310	299	55	17	241
4	310	299	55	18.8	266
5	339	327	55	23	356

tabel 1. Door THPA voorgestelde schepen

Loa = scheepslengte over alles

Lpp = scheepslengte tussen de loodlijnen

B = scheepsbreedte

D = diepgang

De haventoegangsgeul is opgedeeld in twee delen: de approach channel, het eerste stuk op open water, en de river channel, het tweede stuk in beschut water. Beide delen zijn 244m breed.

De benodigde afmetingen zijn bepaald met twee verschillende manieren:

1. een globaal ontwerp, uitgaande van de bestaande PIANC-richtlijnen
2. met behulp van een fast-time simulatie model, SHIPMA

Beide methodes hebben voor- en nadelen. De eerste is gemakkelijker en sneller, maar minder precies. De tweede is nauwkeuriger en geeft meer inzicht in de situatie. Het is echter wel een bewerkelijkere methode, waarvoor ook meer gegevens bekend moeten zijn.

Uiteindelijk verschillende de resultaten (de benodigde geulbreedtes) van beide methodes niet zo veel.

De resultaten, die vergeleken worden, gelden voor extreem ongunstige situaties, met windsnelheden tot 33 knopen en een significante golfhoogte van 3 m.

De PIANC berekening vraagt om een geulbreedte van $4.4 * B$. Voor de door THPA voorgestelde schepen gelden dan de benodigde breedtes die vermeld staan in tabel 1.

Schip [-]	Loa [m]	Lpp [m]	B [m]	D [m]	Approach channel [m]	River channel [m]
1	305	295	48	17	211,2	196,8
2	310	299	53	17	233,2	217,3
3	310	299	55	17	242	225,5
4	310	299	55	18.8	242	225,5
5	339	327	55	23	242	225,5

Tabel 1. Benodigde geulbreedte volgens PIANC berekening.

Het grootste schip dat de Tees & Hartlepool Port kan bezoeken, bij een geulbreedte van 244m, is dan $244/4,4 = 55.5$ m breed.

De SHIPMA simulaties zijn uitgevoerd met één schip. Dit is een Bulk carrier met de afmetingen $Loa = 293$ m, $B = 48$ m en $D = 16,7$ m. De geulbreedtes die voor de door THPA voorgestelde schepen vereist zijn, zijn uit de simulatieresultaten geëxtrapoleerd.

De SHIPMA berekening geeft een iets ander resultaat dan de berekening met de PIANC-richtlijnen. Dit resultaat staat in tabel 2.

Schip [-]	Loa [m]	Lpp [m]	B [m]	D [m]	Approach channel [m]	River channel [m]
1	305	295	48	17	222	214
2	310	299	53	17	240	232
3	310	299	55	17	246	239
4	310	299	55	18.8	246	239
5	339	327	55	23	249	241

Tabel 2. Benodigde geulbreedte volgens SHIPMA berekening.

De SHIPMA berekening vergt een vrij grote geulbreedte.

Het grootste schip dat de haven kan bezoeken volgens de SHIPMA berekening lengte $L = 310$ m en breedte $B = 55$ m.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
Inhoudsopgave	4
1. Inleiding	5
1.1 Probleembeschrijving	7
2. Probleemstelling en doelstelling	8
2.1 Probleemstelling	8
2.2 Doelstellingen	8
3. Breedtebepaling	9
4. Het bepalen van de vaargeulbreedte met PIANC-richtlijnen.....	10
4.1 PIANC-richtlijnen	10
4.2 Benodigde breedte van de toegangseul volgens PIANC-richtlijnen:	10
5. Het bepalen van de vaargeulbreedte met SHIPMA.	12
5.1 Beschrijving SHIPMA	12
5.2 Invoergegevens	13
5.3 Input SHIPMA-runs.....	15
5.4 Uitvoergegevens.....	16
5.5 Breedte berekening	19
6. Resultaten	21
6.1 PIANC-resultaten	21
6.2 SHIPMA-resultaten	21
6.3 Vergelijking van de resultaten.....	22
7. Conclusies	23
8. Aanbevelingen	24
Literatuur.....	25
Lijst van symbolen	26
Bijlage I. Algemene gegevens	
Bijlage II. Benodigde breedte volgens PIANC	
Bijlage III. SHIPMA invoerfiles	
Bijlage IV. SHIPMA plots	
Bijlage V. SHIPMA uitvoerfile	

1. Inleiding

De havenautoriteiten van de Tees & Hartlepool Port (THPA) willen dat de mogelijkheden onderzocht worden om grotere schepen toe te laten op de River Tees. De Tees & Hartlepool Port ligt in noordoost Engeland (zie figuur 1.1). Het is een van de grootste havens van het Verenigd Koninkrijk.

De havenautoriteiten willen meer inzicht krijgen in de huidige mogelijkheden en eventuele toekomstige aanpassingen van de River Tees. Dit is naar aanleiding van de wens van een bedrijf in de haven om grotere schepen af te handelen. Het gebruik van grotere schepen kan de transportkosten van ijzererts en kolen verlagen.

Het grootste schip dat momenteel de haven bezoekt is een bulk carrier met de volgende afmetingen: $L_{oa} = 305$ m, $B = 48$ m, $D = 17$ m, displacement = 207.000 ton. De grootste schepen komen naar de Redcar Ore Terminal (ROT), die maar een kade heeft. Regelmatig doen schepen met afmetingen tot $305 \text{ m} \times 46 \text{ m} \times 17 \text{ m}$ en een dwt van 160.000 de Redcar Ore Terminal aan. De schepen langer dan 200 m mogen geen andere schepen ontmoeten in de vaargeul.

de toegangsgeul is ruwweg op te delen in twee secties:

- de approach channel; Deze loopt van de Tees North/South boei tot de South Gare (dit is ongeveer ter hoogte van lichtboei nr. 5)
- de river channel; Deze loopt stroomopwaarts van lichtboei nr. 5.

De breedte van de vaargeul is nu 244 m (= 800 ft) op de rechte stukken en in de bochten. De diameter van de turning circle (stroomopwaarts van boei nr. 11) is 518 m (= 1700 ft)

De diepte van de vaargeul is:

	nominale diepte	tolerantie diepte	veilige diepte
Approach channel	15.4 m	14.7 m	14.5 m
River channel	14.1 m	13.3 m	13.1 m

Tabel 1.1 Huidige geuldiepte

De nominale diepte is de diepte volgens de Admiralty Charts.

Als de diepte minder wordt dan de tolerantie diepte, wordt er op de ondiepe plaatsen gebaggerd.

De veilige diepte komt tot stand door een marge op het getij van 0.2 m toe te passen, in verband met het getijvenster tijdens passage en voor afwijking van de voorspelde getijhoogte.

1.1 Probleembeschrijving

Er zijn verschillende manieren om de benodigde vaargeulafmetingen te bepalen. Er zijn vele factoren, zoals wind, stroming, getij, loodsen, navigatie hulpmiddelen etc., die allemaal hun invloed hebben op de benodigde afmetingen; Vooral het getij (vier tot zes meter getijverschil) speelt een belangrijke rol. Deze factoren zullen dan ook allemaal meegenomen moeten worden in de berekeningen.

De schepen varen geladen de river Tees op naar the Redcar Ore Terminal. Ze maken hierbij gebruik van het getij: de passage van de fairway buoy naar ROT duurt ongeveer een uur. Op 1.5 tot 2.5 km voor de fairway buoy komen er loodsen aan boord. De grote schepen worden geassisteerd door vier sleepboten. De sleepboten maken net voor het begin van de river channel (boei nr. 5) vast en dan gaan de motoren uit. De aanleg manoeuvre duurt ongeveer één uur. De aids to navigation zijn goed. De leading lights zijn erg goed zichtbaar. De kans dat er een golfhoogte hoger dan $H_m = 1.89$ m ($H_{sig} = 2.70$ m) voorkomt is 3.2%. De kans dat er golven hoger dan $H_m = 1.58$ m ($H_{sig} = 2.25$ m) voorkomen is 6.8%. (Bijlage I, tabel I.1). De scheepsbewegingen veroorzaakt door golven met een significante golfhoogte van meer dan 3 m hinderen de binnenvaar manoeuvre.

De wind komt 62% van de tijd over land en 38% van zee. De overschrijdingskans van een windsnelheid van 33 knopen (Beaufort 7) is 6.04% (zie verder bijlage I, tabel I.2). Voor geladen schepen is wind geen belemmerende factor. De maximaal acceptabele windsnelheid hangt af van de mogelijkheid de loodsen aan boord te krijgen.

De schepen passeren de vaargeul tussen één uur voor Hoog Water en Hoog water. Hoog Water ligt vier tot zes meter boven CD (Bijlage I, tabel I.3).

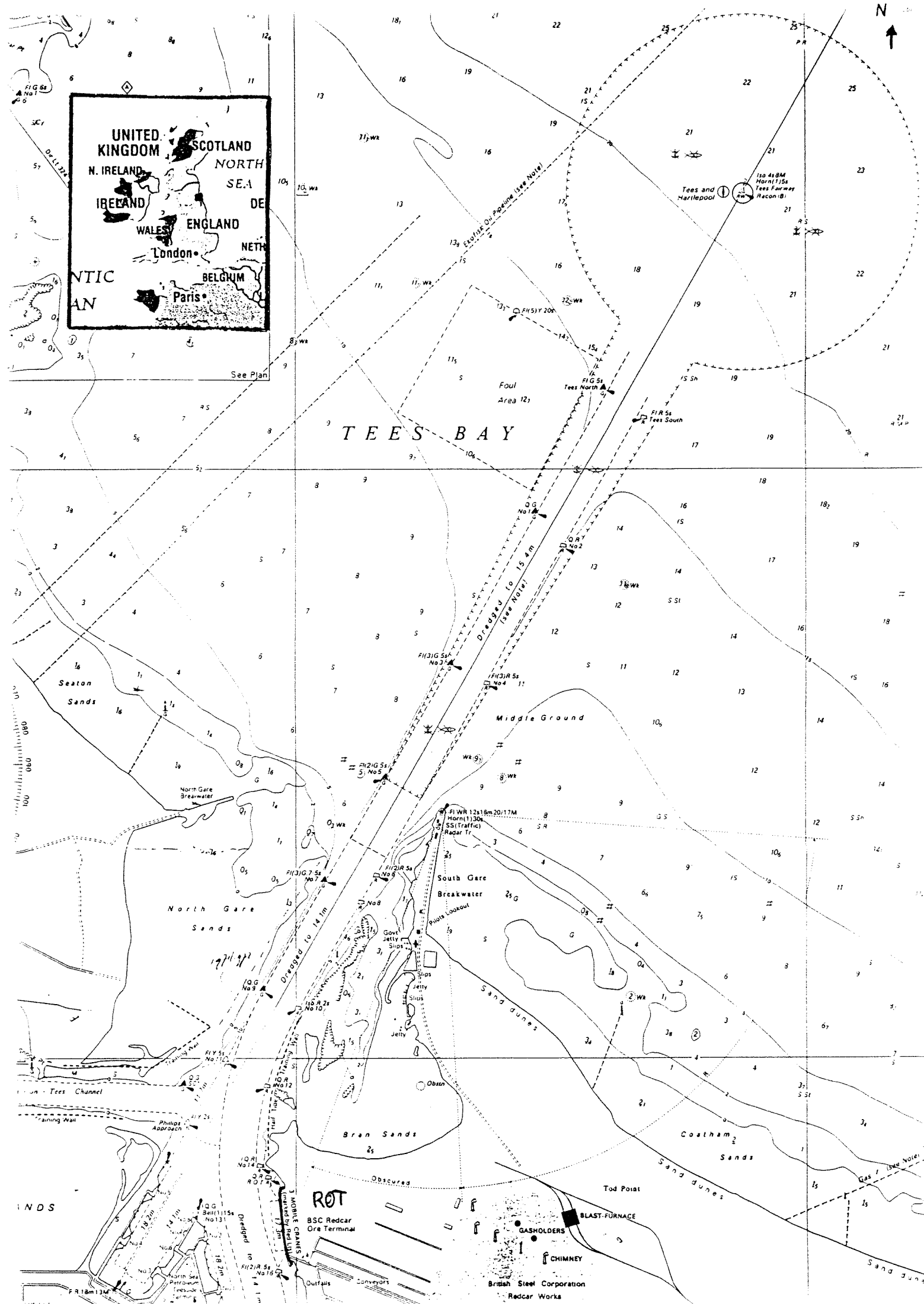
De stroming is niet zo sterk. Er zijn metingen gedaan in de periode van één uur voor Hoog Water tot Hoog Water. Deze metingen zijn op verschillende plaatsen langs de toegangsgeul gedaan voor springtij en doottij. De sterkste, gemeten stroomsnelheid bedraagt 0.27 m/s. (bijlage I, tabel I.4).

Van de in tabel 1.1 genoemde bulk carriers willen de THPA weten of en hoe de vaargeul aangepast moet worden.

Schip [-]	Loa [m]	Lpp [m]	B [m]	D [m]	Verplaatsin g [x 1000ton]
1	305	295	48	17	207
2	310	299	53	17	232
3	310	299	55	17	241
4	310	299	55	18.8	266
5	339	327	55	23	356

Tabel 1.2. Door THPA voorgestelde schepen

Het is mogelijk om de vaargeul breedte te bepalen met globale ontwerp-regels, bijvoorbeeld de PIANC-richtlijnen. Een andere methode is gebruik maken van een simulatieprogramma.



TEES BAY

ROT

BSC Redcar Ore Terminal

British Steel Corporation Redcar Works

2. Probleemstelling en doelstelling

2.1 Probleemstelling

Het is gewenst om grotere schepen (bulk carriers) toe te laten op de River Tees. Het gebruik van grotere schepen reduceert de transportkosten voor kolen en ijzererts.

Het is gewenst te weten wat de benodigde breedte van de vaargeul is voor toelating van grotere schepen. Deze breedte moet zo nauwkeurig mogelijk bepaald worden om de kosten te beperken.

2.2 Doelstellingen

- Bepaal de maximale afmetingen van de schepen die nog kunnen worden toegelaten bij de huidige geulbreedte.
- Bepaal de benodigde vaarwegbreedte voor enkele maatgevende schepen, die door de havenautoriteiten van Tees & Hartlepool Port zijn voorgesteld.

Schip [-]	Loa [m]	Lpp [m]	B [m]	D [m]	Verplaatsing [x 1000ton]
1	305	295	48	17	207
2	310	299	53	17	232
3	310	299	55	17	241
4	310	299	55	18.8	266
5	339	327	55	23	356

Tabel 2.1. Door THPA voorgestelde schepen

3. Breedtebepaling

De breedte van een vaargeul kan op verschillende manieren bepaald worden. Een globale methode is toepassen van de PIANC-richtlijnen, zoals die worden vermeld in [1]. De toepassing van PIANC-richtlijnen wordt besproken in hoofdstuk 4.

Een andere methode is het uitvoeren van computersimulaties. In dit onderzoek wordt gewerkt met een fast-time simulatiemodel, SHIPMA. Een beschrijving van SHIPMA staat in Hoofdstuk 5. Een gedetailleerde beschrijving van de werking van SHIPMA staat in de SHIPMA handleiding [2].

Er wordt een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van de PIANC berekening en de resultaten van de SHIPMA berekening in de hoofdstukken 6 en 7.

4. Het bepalen van de vaargeulbreedte met PIANC-richtlijnen

4.1 PIANC-richtlijnen

Het PIANC heeft richtlijnen opgesteld voor toegangsgeulen. Deze richtlijnen staan in [1] en zijn geschikt voor een globaal ontwerp van een toegangsgeul. De parameters breedte en diepte hangen met elkaar samen, maar in de meeste gevallen is deze samenhang niet heel sterk. Bij de globale geulbreedte bepaling volgens PIANC kan de diepte losgekoppeld worden van de breedte.

De volgens PIANC-richtlijnen benodigde breedte is opgebouwd uit (zie ook bijlage II):

- basic manoeuvrability; Deze is afhankelijk van de manoeuvreerbaarheid van het schip en van de kundigheid van de stuurman.
- omgevingsfactoren zoals stroom, wind en golven
- aids to navigation;
- soort lading; schepen met gevaarlijke lading moeten een verlaagd risico op vastlopen en aanvaringen hebben.
- passeerafstand; Deze is hier niet van toepassing. De grote schepen mogen bij het binnenvaren geen andere schepen ontmoeten.
- bank clearance; Het effect van de bank op het vaargedrag is voornamelijk afhankelijk van vaarsnelheid en waterdiepte.

4.2 Benodigde breedte van de toegangsgeul volgens PIANC-richtlijnen:

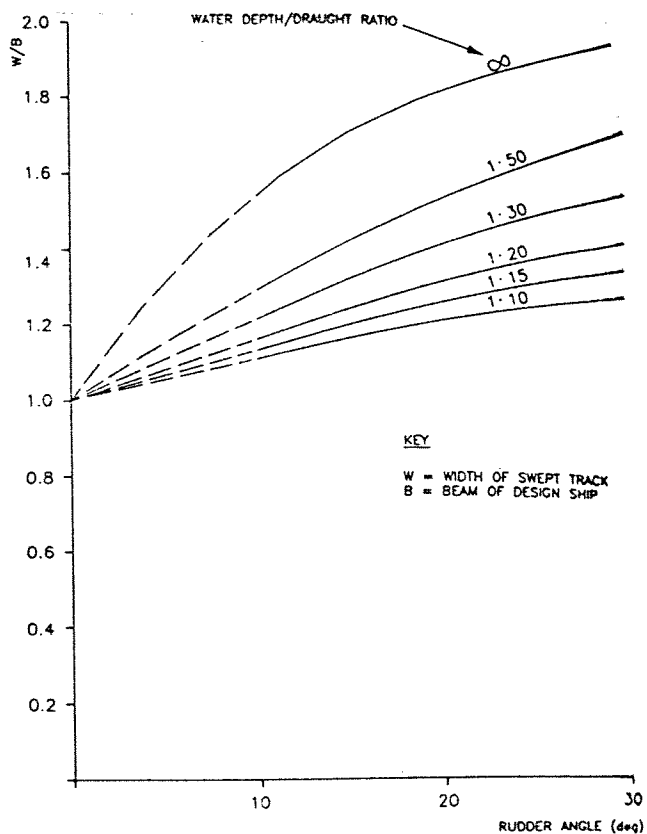
De breedte van zowel de approach channel als van de river channel wordt bepaald. De omstandigheden waarvan wordt uitgegaan zijn als volgt:

- Snelheid: aan het begin van de approach channel ongeveer 10 knopen, aan het eind 5 knopen.
- Wind: maximaal 33 knopen (Beaufort 7).
- Stroming: maximaal 0.27 m/s.
- Significante golfhoogte: maximaal 3 m
- Aids to navigation: goed.
- Bodem: glooiend en hard.
- Diepte: $< 1.25 D$
- Gevaarlijke lading: ongevaarlijk
- Bank clearance: Op de approach channel glooiende hellingen. Op de river channel harde banken en constructies.

De bepaling van de vaargeulbreedte gaat volgens de tabel in bijlage II. De breedtebepaling van de basic manoeuvring lane (swept path) in de bocht op de river channel gaat met behulp van figuur 4.1. Verder wordt de breedte van de bocht ook volgens de tabel in bijlage II bepaald.

Een richtlijn bij de uitvoering is dat de bochtbreedte nooit smaller moet zijn dan de breedte van het rechte stuk van de vaargeul.

In de bocht is een roerhoek nodig die kleiner is dan 30° . De diepte/diepgang verhouding is maximaal 1.20. Uit de grafiek volgt dan een swept path/breedte verhouding van 1.4. Het swept path (basic manoeuvring lane) is dan dus $1.4 B$.



figuur 4.1: Swept path in een bocht als functie van roerhoek en waterdiepte

	approach channel	river channel	bocht
basic man. lane	1.3 B	1.8 B	1.4 B
vessel speed	0	0	0
cross wind	0.5 B	0.5 B	0.5 B
cross current	0.2 B	0.2 B	0.2 B
longitudinal current	0	0	0
golffhoogte en -lengte	1.0 B	0	0
aids to navigation	0.1 B	0.1 B	0.1 B
bottom surface	0.1 B	0.1 B	0.1 B
depth of waterway	0.2 B	0.4 B	0.4 B
cargo hazard level	0	0	0
bank clearance	1.0 B	1.0 B	1.0 B
Totaal	4.4 B	4.1 B	3.7 B < 4.1 B dus 4.1 B nodig

tabel 4.1: benodigde vaarwegbreedte volgens PIANC.

5. Het bepalen van de vaargeulbreedte met SHIPMA.

5.1 Beschrijving SHIPMA

Het simulatieprogramma SHIPMA is geschikt om de horizontale scheepsbewegingen te bepalen en om te controleren of een bepaalde vaargeul wel aan de eisen voldoet.

SHIPMA is een fast-time simulatie programma. Hiermee kunnen in korte tijd vele simulaties worden uitgevoerd. Door de autopilot zijn de resultaten van de runs zijn altijd hetzelfde en dus reproduceerbaar. Zo kunnen de resultaten van runs met verschillende invoerdata vergeleken worden.

Van invloed op de resultaten van de runs zijn:

- scheepsmanoeuvre karakteristieken
- manoeuvre en vaarroute
- roer en motor
- sleepboot assistentie
- wind, golven en stroming
- bodemligging

Deze gegevens worden allemaal vastgelegd in invoerfiles, welke worden beschreven in paragraaf 5.2. Voor iedere run kunnen dus verschillende invoerfiles worden gebruikt.

De manoeuvre moet in de invoerfiles geschematiseerd worden, d.w.z. dat de route en de snelheid, de schroefomwentelingen etc. moeten worden ingevoerd. Er moet een zo'n realistisch mogelijke situatie worden nagebootst. Door de beperkingen die modellen altijd met zich mee brengen kan dit niet altijd even goed. Beperkingen bij SHIPMA zijn bijvoorbeeld:

- De sleepboten kunnen alleen krachten loodrecht op het schip uitoefenen.
- Bodemgegevens worden alleen op roosterpunten ingevoerd, verder wordt er geïnterpoleerd. Ook wind- en golfvelden en stroming worden zo ingevoerd.
- Door het gebruik van de autopilot kan het schip in de SHIPMA runs vrij exact de juiste koers aanhouden. In werkelijkheid zal de menselijke stuurman minder precies reageren.

SHIPMA berekent het zogenaamde 'swept path' van het schip. Dit is de vaarwegbreedte die het schip minimaal gebruikt onder de gegeven omstandigheden. In het simulatieprogramma zijn de effecten van stroming, wind, golven, keel clearance en eventuele sleepboten meegenomen.

De ongunstigste omstandigheden zijn gecombineerd in verschillende SHIPMA-runs om zo het breedst benodigde swept path te bepalen.

Met dit swept path kan men bepalen wat de uiteindelijk benodigde vaargeulbreedte gaat zijn. De methode om die vaargeulbreedte te berekenen wordt uiteengezet in paragraaf 5.5.

De ongunstigste omstandigheden, waarmee rekening gehouden wordt bij de River Tees, zijn:

- wind: 16m/s; 90°
- golven: $H_{sig} = 3,0$ m; 90° (of 135°)
- stroming: getijstroom 0,27 m/s

5.2 Invoergegevens

Voordat een run kan worden uitgevoerd moet worden aangegeven welke invoerfiles gebruikt moeten worden. Deze invoerfiles bevatten alle benodigde gegevens met betrekking tot het schip, de externe omstandigheden en de te varen route.

Van de invoerfiles zijn sommige files als standaard file gebruikt, d.w.z. dat voor alle runs dezelfde file is gebruikt. Dat geldt voor de volgende files:

- .MAN: in deze file staat de manoeuvre beschreven.
- .SHP: in deze file staan scheepseigenschappen vermeld.
- .CFT: in deze file staan ook scheepseigenschappen.
- .BOT: deze file bevat de bodemprofiel.
- .CUR: deze file geeft het stroombeeld van de omgeving.
- .TUG: deze file beschrijft de eigenschappen van de sleepboten.
- .PRI: hier wordt aangegeven welke gegevens naar de uitvoerfile worden geschreven.

Van de overige files zijn meerdere varianten gebruikt:

- .WIN: hierin wordt het windveld beschreven. Er zijn twee varianten van gebruikt.
- .WAV: in deze file staat het golfveld. Er zijn acht varianten van gebruikt.
- .BNK: deze file beschrijft het effect van de banken op het schip. Er zijn twee varianten van gebruikt.

Hieronder wordt uitgelegd wat er in de verschillende files staat en hoe die gegevens bepaald zijn. Voorbeelden van de invoerfiles staan in bijlage III.

Invoerfiles

.MAN-file: In deze file is de te varen route vastgelegd in record 2 en 3. De simulatie begint bij de fairway buoy ($s = 0$ m) en eindigt bij de Redcar Ore Terminal ($s = 7000$ m). De koers die het schip moet varen op het rechte stuk is 210° . Verder is het aantal omwentelingen van de schroef op verschillende routesecties ingevoerd in record 6. Er is gekeken naar de telegraafstanden van het schip en de daarbij passende omwenteling aantal. Het aantal omwentelingen moet zo aangepast worden dat de snelheid van het schip overeenkomt met de snelheid die het schip in werkelijkheid heeft; Dat is ongeveer 10 knopen bij de fairway buoy, 5 knopen bij het begin van de river channel en stilliggen bij de Redcar Ore Terminal. De run stopt als het schip stil ligt (record 7). In record 8 wordt aangegeven dat het schip een gegeven koers moet volgen en krijgt de autopilot besturingscoëfficiënten. De autopilot heeft een reactietijd van 1.25 maal de scheepslengte.

.SHP-file: Hierin staan scheepseigenschappen. Deze gegevens zijn aangeleverd door het MSCN en daar is verder niets mee gedaan.

.CFT-file: idem. Van deze invoerfile is geen voorbeeld bijgevoegd.

.BOT-file: voor alle runs is de zelfde bodemsituatie gebruikt. De bodemgegevens komen van de Admiralty Chart no. 2566, "Tees and Hartlepool Bays". De waterdieptes worden opgegeven voor een aantal roosterpunten. SHIPMA interpoleert deze dan tussen de roosterpunten. Als referentieniveau is gekozen voor de Chart Datum.

.CUR-file: Voor de stroming is gebruik gemaakt van de stroomgegevens die Witteveen + Bos verkregen heeft (Bijlage I, tabel 4). Dit zijn metingen bij enkele boeien langs de vaargeul tijdens doortij en springtij. Aangezien bij springtij de sterkste stroming heerst, zijn die stroomgegevens in SHIPMA gebruikt. Het stroombeeld om de vaargeul heen is geëxtrapoleerd uit deze gegevens. SHIPMA interpoleert de ingevoerde waarden tussen de

roosterpunten. Op alle roosterpunten wordt de stroomsterkte en de -richting gegeven (record 2b).

Voor de waterdiepte is uitgegaan van gemiddeld hoog water, omdat de grote schepen toch alleen maar met hoog water binnenvaren. Gemiddeld hoog water ligt op CD + 5m.

Overigens heeft een verschil in waterdiepte weinig effect op de benodigde breedte.

.WIN-file: Eerst is er bekeken voor welk windveld het schip het gevoeligst is. Dit is eerst uitgebreid gedaan met een kleiner maatgevend schip (217m * 32.2m * 12m). Later was de bul004a (293m * 48m * 16.7m) beschikbaar, waarmee verder overal gewerkt is. Dit laatste schip is korter getest op windgevoeligheid. Duidelijk was dat het schip de meeste hinder ondervond van dwarswind en ook van wind schuin van achteren. In de uiteindelijk uitgevoerde runs zijn twee verschillende windvelden losgelaten op het schip: Wind uit de richting dwars op het schip (120° in het SHIPMA coördinaatsysteem) met een windsnelheid van 10 m/s en wind enigszins schuin van achter (280° in het SHIPMA coördinaatsysteem) met een windsnelheid van 16 m/s.

.WAV-file: In deze file staan de wave drift coëfficiënten (record 3), die aangeven hoe gevoelig het schip is voor bepaalde golven. Deze coëfficiënten zijn gegeven door het MSCN en blijven onveranderd.

Er is uitgegaan van bepaalde golfhoogtes en -richtingen op open zee. De daaruit volgende golfhoogtes en -richtingen onder de kust en op het river channel zijn berekend met behulp van de refractie theorie uit de Shore Protection Manual. Er zijn files gemaakt (record 4) met vier verschillende diep water golfhoogtes: $H_s = 1.0$ m, $H_s = 1.5$ m, $H_s = 2.0$ m en $H_s = 3.0$ m. Deze golfhoogtes zijn gecombineerd met twee verschillende golfrichtingen: de richting dwars op het schip (120° in het SHIPMA coördinaatsysteem) en schuin van achter (165° in het SHIPMA coördinaatsysteem).

.BNK-file: In deze file staat de bank suction beschreven. De bank suction coëfficiënten (record 2) zijn aangeleverd door het MSCN en blijven onveranderd. Bank suction treedt op als de waterdiepte kleiner is dan 0.5 maal de diepgang. De plaatsen van de banken, ondieptes of steile oevers moest ingevoerd worden, samen met de afstand tot de gewenste vaarroute (record 1). De benodigde gegevens zijn afgelezen van de Admiralty Chart no. 2566, "Tees and Hartlepool Bays".

Als er geen bank suction optreedt moet de positie van de banken heel ver van de gewenste route worden gedefinieerd.

.TUG-file: De sleepboten komen in actie als het schip het river channel opvaart en z'n motoren stil zet (record 1 en 2). Dit is ook volgens de werkelijke procedure in de haven. In de haven zijn zes sleepboten beschikbaar met een operationeel vermogen van 35 ton (350 kN). De grote schepen worden bijgestaan door vier sleepboten. Dit is ook zo ingevoerd in SHIPMA (record 6). Bij gebruik van maar drie sleepboten in SHIPMA is het schip heel slecht onder controle te houden. De sleepboten in SHIPMA zijn niet helemaal realistisch, omdat ze alleen krachten loodrecht op het schip kunnen uitoefenen. Dit heeft ook invloed op de snelheid en het aantal roeromwentelingen bij het vaart minderen en is daar verder in verwerkt.

.PRI-file: In deze file wordt aangegeven welke data naar de uitvoerfiles geschreven moeten worden. Daartoe is een beperkte keuze gemaakt van relevante data. Van deze invoerfile is geen voorbeeld bijgevoegd.

5.3 Input SHIPMA-runs

Hieronder worden van een aantal SHIPMA-runs de ingevoerde wind- en golfvelden gegeven. Bij al deze runs is gebruik gemaakt van vier sleepboten. Deze maken vast net voordat het schip de river channel opvaart. Het schip vaart een koers van 210° (tot de bocht op de river channel).

Bij de runs schip00 t/m schip12 en schip18 t/m schip21 vindt geen bank suction plaats

schip00.run
wind: geen
golven: geen

schip01.run	schip07.run
wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°)	wind: 10 m/s, dwars (120°)
golven: Hs = 2.0 m, schuin van achteren (165°)	golven: Hs = 2.0 m, schuin van achteren (165°)

schip02.run	schip08.run
wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°)	wind: 10 m/s, dwars (120°)
golven: Hs = 2.0 m, dwars (120°)	golven: Hs = 2.0 m, dwars (120°)

schip03.run	schip09.run
wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°)	wind: 10 m/s, dwars (120°)
golven: Hs = 1.5 m, schuin van achteren (165°)	golven: Hs = 1.5 m, schuin van achteren (165°)

schip04.run	schip10.run
wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°)	wind: 10 m/s, dwars (120°)
golven: Hs = 1.5 m, dwars (120°)	golven: Hs = 1.5 m, dwars (120°)

schip05.run	schip11.run
wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°)	wind: 10 m/s, dwars (120°)
golven: Hs = 1.0 m, schuin van achteren (165°)	golven: Hs = 1.0 m, schuin van achteren (165°)

schip06.run	schip12.run
wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°)	wind: 10 m/s, dwars (120°)
golven: Hs = 1.0 m, dwars (120°)	golven: Hs = 1.0 m, dwars (120°)

schip18.run	schip20.run
wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°)	wind: 10 m/s, dwars (120°)
golven: Hs = 3.0 m, schuin van achteren (165°)	golven: Hs = 3.0 m, schuin van achteren (165°)

schip19.run	schip21.run
wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°)	wind: 10 m/s, dwars (120°)
golven: Hs = 3.0 m, dwars (120°)	golven: Hs = 3.0 m, dwars (120°)

Bij de runs schip13 t/m schip17 en schip22 t/m 25 vindt bank suction plaats

schip13.run
wind: geen
golven: geen

schip14.run	schip16.run
wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°)	wind: 10 m/s, dwars (120°)
golven: Hs = 2.0 m, dwars (120°)	golven: Hs = 2.0 m, dwars (120°)

schip15.run	schip17.run
wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°)	wind: 10 m/s, dwars (120°)
golven: Hs = 1.0 m, dwars (120°)	golven: Hs = 1.0 m, dwars (120°)

schip22.run	schip24.run
wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°)	wind: 10 m/s, dwars (120°)
golven: Hs = 3.0 m, schuin van achteren (165°)	golven: Hs = 3.0 m, schuin van achteren (165°)

schip23.run	schip25.run
wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°)	wind: 10 m/s, dwars (120°)
golven: Hs = 3.0 m, dwars (120°)	golven: Hs = 3.0 m, dwars (120°)

5.4 Uitvoergegevens

De resultaten van de SHIPMA-runs zijn in plots gezet. In deze paragraaf worden deze plots beschreven en de resultaten verklaard. De plots zijn te vinden in bijlage IV

Trackplot

Op de trackplot is de route te zien die het schip vaart van de fairway buoy tot de Redcar Ore Terminal (ROT).

Bij afgelegde afstand $s = 0$ is het schip bij de fairway buoy. Bij $s = 4200$ begint de river channel. De track eindigt bij $s = 7000$ m, voor ROT.

Flowplot

Deze plot laat het stroombeeld in en rond de toegangsgeul zien. De vaargeul is ook aangegeven.

Dataplots

In de SHIPMA dataplots (Bijlage IV) zijn de meest essentiële uitvoerdata in grafieken gezet. Dit zijn respectievelijk:

1. dy [m]; Dit is de afstand die de middellijn van het schip afwijkt van de gewenste koers.
2. swept path [m]; Dit is de minimale vaarwegbreedte die het schip inneemt als hij vaart.
3. $dpsi$ [deg]; Dit is de hoek die het schip maakt t.o.v. de koers die hij vaart. Als de hoek groter wordt, heeft hij een breder swept path.
4. u [m/s]; De snelheid van het schip.
5. rudder [deg]; De stand van het roer.

6. n [rev/s]; Het aantal omwentelingen per seconde van de schroef. Dit zijn invoergegevens en deze zijn voor iedere run gelijk.

ad.1. De dy wordt voornamelijk bepaald door het golfveld en het windveld. De schipper stuurt het schip een stuk naar de loefzijde van de gewenste track, om dat het schip door wind en golven weer weggezet wordt. Bij dezelfde wind en dezelfde golfhoogte geven de golven dwars op het schip beduidend (ongeveer 30 %) meer uitwijking dan de golven schuin van achteren. De windrichting veroorzaakt een kleiner verschil in uitwijking.

ad.2. De breedte van het swept path wordt bepaald door de hoek $dpsi$ en de lengte van het schip. Verder wordt de afwijking van de gewenste koers, dy , ook verwerkt in de swept path plot.

ad.3. Het verloop van $dpsi$ is gelijkmatig. Er zitten bij iedere run wel twee hele duidelijke pieken op respectievelijk 5750 m en 6800 m. Dit is precies waar de opgegeven rechte routelijn overgaat in de bocht en vervolgens de bocht overgaat in de tweede rechte routelijn. Het schip maakt op die plaatsen dus geen plotselinge draai, maar de geplande track richting maakt een sprong.

ad.4. De snelheid van het schip verandert nauwelijks onder de verschillende omstandigheden. Het schip vaart met ongeveer 5 m/s bij de fairway buoy en ligt stil bij de ROT.

ad.5. Bij hardere wind en hogere golven neemt de roeruitslag toe. Dit is vooral op het approach channel, waar met name de golven een grote rol spelen. Op het river channel is de roeruitslag tot voor de bocht klein in de runs zonder bank suction. Bij de runs met bank suction treedt een roeruitslag piek (0 - 12 graden) op. In de bocht slaat het roer in een keer uit tot 25 à 30° en keert dan langzaam terug tot nul graden in het einde van de bocht. De roeruitslag verloopt over het algemeen vloeiend, alleen als het schip de bocht in draait zwabbert het roer soms even.

Opmerking:

De eerste duizend meter lijkt SHIPMA nodig te hebben om het schip in een evenwicht te krijgen.

Het schip wordt door de stuurman naar een positie gestuurd aan de loefzijde, zodat het schip onder invloed van de wind- en golfkrachten toch de river channel zoveel mogelijk in het midden opvaart. Bij heel zwaar weer wordt het schip ruim 30m naar de loefzijde van de gewenste track gepositioneerd. Hieruit kan men afleiden dat de schepen met zwaar weer veel extra ruimte nodig hebben. Met rustig weer kunnen de schepen veel beter hun gewenste track volgen en hebben ze dus minder ruimte nodig.

Analyse afzonderlijke runs

schip00: dit is de referentie run. Er is wel stroming, maar er zijn geen golven en geen wind. Het schip blijft een vrijwel rechte koers varen.

De runs 'schip01 t/m 06' en '18; 19' verschillen alleen van elkaar met het golfveld. De windrichting is constant 280°, de windsnelheid 16 m/s. De golfrichting is 120° of 165°, de golfhoogte varieert. Bij hogere golven neemt de golfkracht op het schip meer dan evenredig toe. Bij het begin van de river channel neemt de golfhoogte snel af en dus worden ook de golfkrachten snel minder.

schip01: Het swept path in de approach channel is 60m, in de river channel 55m. Er is een geringe roeruitslag van 4°. Verder is er een kleine dy naar stuurboord en kleine dpsi. De golfkracht op het schip is op de approach channel veel groter dan de windkracht. Op de river channel neemt de golfhoogte geleidelijk af tot 0 m en dan overheerst de windkracht.

schip02: Met loodrecht invallende golven zijn de uitwijkingen (roerhoek, dy, dpsi) een stuk groter dan bij 'schip01', waar de even hoge golven ($H_{sig} = 2$ m) schuin invallen. Het schip hoeft maar ongeveer 8 m naar stuurboord uit te wijken om uiteindelijk goed de river channel op te varen.

schip03: door lagere golven wijkt het schip minder uit dan bij 'schip01'.

schip04: heeft dezelfde golfhoogte als 'schip03'. Dwars invallende golven vergen meer aanpassing van het schip. Kleine uitwijking naar stuurboord op approach channel. Bij begin river channel uitwijking naar bakboord van enkele meters. Hier begint de windkracht de golfkracht te overheersen.

schip05: lagere golven dan bij 'schip01' en 'schip03'. Het schip

schip06: Op de approach channel heffen wind- en golfkrachten in dwarsrichting op het schip elkaar ongeveer op (de wind overheerst iets). Het schip vaart niet veel naast de gewenste track. Op de river channel overheerst de wind dus houdt het schip in het begin de loefzijde aan (bakboord) en komt voor de bocht weer in de gewenste track.

schip18: Heel hoge golven ($H_{sig} = 3$ m), schuin van achteren, leveren heel grote krachten op het schip. Na een begin uitwijking van 16 m naar stuurboord komt het schip voor de bocht weer op de gewenste track.

schip19: Golven van 3 m hoog dwars op het schip vereisen een initiële uitwijking van 25 m.

Van 'schip' 7 t/m 12 en 20, 21 verschillen alleen van elkaar met het golfveld. De windrichting is 120°; de golfrichting is 120° of 165°. Wind- en golfveld versterken hun effecten op de scheepsbewegingen.

De runs zijn analoog aan de runs schip01 t/m 06 en 18, 19; Ze verschillen daarvan slechts in windveld.

schip07: In vergelijking met 'schip01' komt de wind nu van de andere kant (van stuurboord). Om deze kracht te weerstaan en uiteindelijk op de gewenste positie uit te komen moet het schip beginnen met een uitwijking van ruim 11 m naar stuurboord.

schip08: Door de dwarsgolven en de dwarswind uit dezelfde richting moet het schip beginnen met een uitwijking van 16 m. Er is een behoorlijke roeruitslag (17°) nodig om die uitwijking te bereiken. Vlak voor de bocht ligt het schip weer op de gewenste track. In de bocht heeft het schip een iets breder swept path dan op het rechte stuk.

schip09: Lagere golven dan 'schip07', waardoor minder uitwijking. In vergelijking met schip03 is de wind ongunstig. In plaats van een koers ongeveer langs het gewenste track, vaart het schip nu een stuk (7 m) stuurboord daarvan.

schip10: Lagere golven dan 'schip08'. Hierdoor een kleinere dy (10 m)

Vanaf de bocht wordt bij 'schip08 en 10' precies dezelfde track gevaren. Hier zijn ook geen golven meer, dus in principe zijn de omstandigheden dan verder ook gelijk.

schip11: Lagere golven (1.0 m) dan 'schip09' (1.5 m). Het verschil is klein. De track van het schip ligt iets meer naar stuurboord.

schip12: Golven nog lager dan bij 'schip08 en 10'. Hierdoor een kleinere dy (5 m)

Vanaf de bocht wordt bij 'schip08, 10 en 12' precies dezelfde track gevaren. Hier zijn ook geen golven meer, dus in principe zijn de omstandigheden dan verder ook gelijk

schip20: Heel hoge golven (3 m), schuin van achteren en harde wind (10 m/s) dwars op het schip dwingen het schip aan het begin van de approach channel om 23.5 m rechts van de gewenste track te varen. Op het begin van de river channel ligt het schip dan nog ruim 11 m naast de gewenste track.

schip21: De golven dwars op het schip hebben nog een veel groter effect op het schip dan de schuine in 'schip20'. Het begint op de approach channel met een uitwijking van 32.6 m en vaart de river channel op met een uitwijking van 15 m naar stuurboord. Onder deze zware omstandigheden vaart het schip wel stabiel: het slingert niet. Het schip probeert gestadig op de gewenste track uit te komen. Alleen voor de bocht klappert hij heel even met z'n roer. Effecten hiervan zijn niet te zien in de dy-plot.

In de eerste paar honderd meter van de bocht heeft het schip een uitwijking van ongeveer 5 m naar bakboord. Daarna volgt het schip de gewenste track bijna helemaal nauwkeurig. Dit geldt voor alle bovengenoemde runs.

Bij de runs 'schip13' t/m 'schip17' en 'schip22' t/m 'schip25' speelt bank suction een rol. De overige input is precies gelijk als in de respectievelijke runs 'schip00; 02; 06; 08; 12' en 'schip18; 19; 20; 21'.

Resultaten van de runs met bank suction verschillen pas van de runs zonder bank suction op de river channel. Hieronder zullen dan ook alleen de effecten van de bank suction besproken worden.

De banken beginnen ongeveer merkbaar te worden na 4700 m langs de track, dus een paar honderd meter na het begin van de river channel. De banken zitten aan bakboordzijde dicht langs de gewenste track.

schip13: In plaats van de gewenste track te volgen zoals in 'schip00' maakt het schip van 4800 m tot 6100 m (in de bocht) een uithaal van bijna 6 m naar stuurboord. In de roerhoek-plot is dit heel duidelijk te zien aan een piek in de roeruitslag van ruim 12° op dat traject.

Daarna volgt net als in de run zonder bank suction ('schip00') een uitwijking naar stuurboord.

schip14: vanaf het begin van de river channel wordt dezelfde track gevaren als 'schip13'.

schip15: ook hier wordt ongeveer gevaren als 'schip13 en 14'. Het verschil met de niet-bank suction run ('schip06') is de uitwijking naar stuurboord, van het rechte traject tot in de bocht.

schip22: Op de river channel wordt weer een slinger naar stuurboord gemaakt om uit de buurt van de banken te blijven. De uitwijking bedraagt bijna 7 m.

schip23: De uitwijking naar stuurboord is kleiner dan bij 'schip22': ongeveer 5 m.

schip16: Hier blijft het schip, vanaf de plek waar de bank suction begint tot het begin van de bocht, constant 5 m stuurboord van de gewenste track varen. Ook deze manoeuvre is in de roerhoek-plot herkenbaar aan de piek van 12°.

schip17: Het schip maakt vrijwel dezelfde manoeuvre als 'schip16'.

schip24: Een uitwijking van wel 8 m naar stuurboord voor de bocht. Waarschijnlijk omdat het op die afstand van de gewenste track vaart op het moment dat de bank suction begint. Het schip blijft, vanaf de bocht tot het einde van het gehele traject, enkele meters rechts varen van de gevaren track van de run zonder bank suction.

schip25: Hier begint het schip ook met een grote afwijking van de track, zodra de bank suction begint. Het gaat echter wel door met langzaam naar bakboord bijsturen

5.5 Breedte berekening

Het Maritime Simulation Centre the Netherlands (MSCN) bepaalt de benodigde geulbreedte uit de berekening die hieronder vermeld wordt. De geulbreedte wordt bepaald door de som van de volgende factoren:

- Swept path uit SHIPMA berekeningen (zie plots in bijlage IV)
- Invloed van de mens:

- position accuracy 25m
- navigation accuracy (variation along the track) $1,5 * B$
- safe bank clearance $1.0 * B$
- eventueel een foutenmarge op de SHIPMA berekening $0.2 * B$

Uitleg bij de berekening:

Position accuracy geeft aan hoe goed de schipper of loods op de brug zijn positie kan schatten. In het geval van de Tees zijn er erg goede leading lights, dus kan de schatting exact zijn. Met een formule van Drijfhout van Hooff (MARIN, 1982) [3] heeft het MSCN een waarde berekend van 25 m op de approach channel. Dichter bij de haven wordt de schatting van de positie nauwkeuriger.

De navigation accuracy is de precisie waarmee het schip in de juiste koers gehouden of gebracht kan worden. Het een vrij moeilijk te bepalen parameter die doorgaans ligt tussen $1*B$ en $1.5*B$. De parameter is afhankelijk van onder andere de vakmanschap van de stuurman, de reactietijd, de bestuurbaarheid van het schip en de weersomstandigheden. Gezien de zware weersomstandigheden waarmee nog gevaren wordt, wordt de parameter in dit onderzoek op $1.5*B$ gesteld.

Voor de safe bank clearance is een waarde van $1.0*B$ voor river channel aangenomen; Voor beide zijden $0.5*B$. Voor de approach channel is deze waarde wat ruim maar wel begrijpelijk: ook de boeien en dergelijke moeten niet overvaren worden.

6. Resultaten

Bij de simulatie met SHIPMA is gebruik gemaakt van het schip met de maximale afmetingen zoals dat nu op de River Tees vaart: een Bulk Carrier van 293 m * 48 m * 16.7 m. Om een vergelijking met de PIANC berekening mogelijk te maken wordt daarbij uitgegaan van hetzelfde schip.

6.1 PIANC-resultaten

De benodigde breedte met de deterministische benadering volgens het PIANC geeft als eis voor de benodigde breedte (zie bijlage II):

- approach channel : $4.4 * B = 211.2$ m
- river channel : $4.1 * B = 196.8$ m
- bocht : $4.1 * B = 186.8$ m

De benodigde geulbreedtes voor de door THPA voorgestelde schepen zijn vermeldt in tabel 6.2.

Schip [-]	Loa [m]	Lpp [m]	B [m]	D [m]	Approach channel [m]	River channel [m]
1	305	295	48	17	211,2	196,8
2	310	299	53	17	233,2	217,3
3	310	299	55	17	242	225,5
4	310	299	55	18.8	242	225,5
5	339	327	55	23	242	225,5

Tabel 6.1. Benodigde geulbreedte volgens PIANC berekening.

6.2 SHIPMA-resultaten

Uit de berekeningen van SHIPMA met het standaard schip volgt een vereiste breedte van:

- approach channel : $66 \text{ m} + 25 \text{ m} + 2.7 * B = 221 \text{ m}$
- river channel : $59 \text{ m} + 25 \text{ m} + 2.7 * B = 214 \text{ m}$
- bocht : $63 \text{ m} + 25 \text{ m} + 2.7 * B = 218 \text{ m}$

Een extrapolatie van deze geulbreedte gegevens voor schepen die iets groter (+/- 10%) zijn dan het schip, waarmee de SHIPMA-runs zijn uitgevoerd, is acceptabel volgens het MSCN. Het swept path moet dan bepaald worden op $L * \sin(\text{dpsi}) + B$.

Hierin is dpsi de hoek die het schip maakt ten opzichte van de te varen koers.

Voor de door de THPA gegeven voorbeeldschepen is de benodigde geulbreedte vastgelegd in tabel 5.2. Het grootste schip van 339 m lengte is ruim 15% langer dan het SHIPMA referentie schip. Een extrapolatie van de benodigde breedte uit de resultaten van de simulatie run wordt niet verantwoord geacht.

Schip [-]	Loa [m]	Lpp [m]	B [m]	D [m]	Approach channel [m]	River channel [m]
1	305	295	48	17	222	214
2	310	299	53	17	240	232
3	310	299	55	17	246	239
4	310	299	55	18.8	246	239
5	339	327	55	23	(249)	(241)

Tabel 6.2. Benodigde geulbreedte volgens SHIPMA berekening.

6.3 Vergelijking van de resultaten

Uitgaande van de met SHIPMA verkregen resultaten, zou, bij een geulbreedte van 244 m, een schip met een breedte van 54 m, afhankelijk van de lengte, nog toegelaten kunnen worden. Een schip met een breedte van 55 m, en een lengte van 310 m, is bij extreme omstandigheden net te breed. Als de omstandigheden net iets gunstiger zijn hebben de schepen minder breedte nodig. De schepen met een breedte van 55m kunnen dan wel toegelaten worden.

Uitgaande van de PIANC-regels zou op de river channel een schip van 59.5 m breed en op de approach channel een schip van 55.5 m breed toegelaten kunnen worden. De approach channel is hier de beperkende factor die een maximale scheepsbreedte van 55,5 m toestaat.

7. Conclusies

De resultaten van beide methodes worden op verschillende manieren verkregen. Aangezien de resultaten niet te veel van elkaar afwijken mag men aannemen dat ze een enigszins betrouwbaar beeld van de werkelijkheid geven.

De beide methodes geven in verschillende mate de werkelijkheid weer. De SHIPMA methode benadert hem veel meer dan de PIANC methode. Toch zijn er nog de nodige afwijkingen van de werkelijkheid. Dit heeft een nadelig effect op de betrouwbaarheid van het resultaat. Om meer duidelijkheid te krijgen en een nog meer waarheidsgetrouw beeld zou bijvoorbeeld een real time simulatie gebruikt kunnen worden.

De lagere waarde die met de PIANC methode wordt bereikt kan geweten worden aan de trapsgewijze breedte eisen met betrekking tot de golfhoogte. Als de maatgevende golfhoogte meer dan de nu gekozen 3,0 m zou zijn, had de benodigde breedte door golven $1,2*B$ groter genomen moeten worden. In dat geval zou PIANC dus een veel grotere breedte eisen dan de SHIPMA methode.

Een grote onzekerheid in het resultaat van de SHIPMA berekening zit vooral in de parameter 'navigation accuracy'. Deze moet ergens gekozen worden tussen $1*B$ en $1.5*B$. Er is in dit ontwerp dus een marge te creëren van $0.5*B = 24$ m. Deze parameter moet bepaald worden op basis van ervaring, om nog enige geldigheid te hebben. Er kan wel enig inzicht behaald worden uit de SHIPMA-parameter 'dy'. Uit de runs volgt een maximale dy van 33 m. Die marge zou aan twee zijden nodig zijn en dan moet de navigation accuracy op 66 m liggen, wat neerkomt op $1.375*B$. Als deze waarde van $1.375*B$ aangenomen zou worden voor de navigation accuracy, zou de benodigde breedte zoals die in hoofdstuk 6 bepaald is zes à zeven meter kleiner zijn. In dat geval zouden er zelfs schepen met een breedte groter dan 55m toegelaten kunnen worden onder extreme omstandigheden. Toch geeft de parameter dy niet helemaal het effect aan van de 'navigation accuracy'. De dy is namelijk de afwijking van de koers die het schip heeft terwijl de autopilot in werking is. De afwijking met een mens aan het roer kan groter zijn.

Met bijvoorbeeld een real-time simulatie zou de waarde van de 'navigation accuracy' beter bepaald kunnen worden.

8. Aanbevelingen

Om een nauwkeuriger resultaat met SHIPMA te verkrijgen is het aan te raden om de waarde van de parameter 'navigation accuracy' beter te bepalen. Dit zou bijvoorbeeld kunnen met behulp van resultaten van een real-time simulatie. Het lijkt niet nodig om alle simulaties met een real-time simulator te bekijken. Het mag duidelijk zijn dat, als de 'navigation accuracy' kleiner dan 1,5 B blijkt te zijn, onder de huidige omstandigheden de geulbreedte voldoende is voor schepen met een breedte van 55m.

Pas als er de wens bestaat om nog bredere schepen toe te laten, is het nuttig om uitgebreid met een real-time simulator te werken.

Literatuur

- [1] PIANC, Approach channels, preliminary guidelines. Supplement to bulletin no. 87, 1995
- [2] Waterloopkundig Laboratorium, Handleiding bij SHIPMA
- [3] Drijfhout van Hooff, MARIN, Rotterdam, 1982

Lijst van symbolen

B = breedte schip

D = diepgang

dwt = dead weight tonnage

H_{sig} = significante golfhoogte

HW = Hoog Water

L = lengte schip

L_{oa} = lengte over alles

L_{pp} = lengte tussen de loodlijnen

Deel B

Dieptebepaling

Samenvatting

De havenautoriteiten, Tees & Hartlepool Port Authorities (THPA), willen meer inzicht krijgen in de mogelijkheid grotere schepen toe te laten in Tees Port. Het gebruik van grotere schepen kan de transportkosten van ijzererts en kolen verlagen.

In dit deel van het rapport zal onderzoek worden gedaan naar de benodigde geuldiepte voor een aantal, door de THPA voorgestelde, schepen.

Schip [-]	Loa [m]	Lpp [m]	B [m]	D [m]	Verplaatsin g [x 1000ton]
1	305	295	48	17	207
2	310	299	53	17	232
3	310	299	55	17	241
4	310	299	55	18.8	266
5	339	327	55	23	356

Tabel 1. Schepen, door THPA voorgesteld voor onderzoek

Om de geuldiepte te kunnen bepalen moet eerst de benodigde underkeel clearance van de schepen worden bepaald. (De underkeel clearance is de ruimte tussen de kiel van het schip en de bodem.)

De bepaling van de benodigde underkeel clearance kan op verschillende manieren:

- met een deterministische methode,
- met een probabilistische methode,
- met een semi-probabilistische methode

In dit onderzoek is er voor gekozen om met een semi-probabilistische methode te werken, de methode van Kimon. Een voordeel van een semi-probabilistische methode is dat er met faalkansen kan worden gerekend. Er wordt niet met grote overdieptes gewerkt om veiligheid te garanderen, zoals dat bij een deterministische methode gebeurt. Door een krappere berekening kunnen de kosten aanzienlijk worden gedrukt.

Er moeten wel de nodige invoer gegevens bekend zijn, maar dat zijn doorgaans vrij gemakkelijk verkrijgbare gegevens. Hoe nauwkeuriger de invoer gegevens hoe nauwkeuriger het resultaat.

Verder is de gekozen methode niet erg ingewikkeld en biedt hij inzicht in wat er gebeurt.

Volgens de methode van Kimon is de benodigde underkeel clearance, UKC_A :

$UKC_A = \text{variaties door onzekerheid van stabiele factoren} + \text{golfrespons} + \text{squat}$

$UKC_A = UKC_s + UKC_w + \text{squat}$

De benodigde underkeel clearance voor maatgevende omstandigheden is berekend voor drie delen van de toegangsgeul

- de approach channel; Deze loopt van de Tees North/South buoy tot de South Gare (dit is ongeveer ter hoogte van lichtboei nr. 5)
- de river channel; Deze loopt stroomopwaarts van lichtboei nr. 5.
- de ligplaats; De schepen worden gelost aan de kade van Redcar Ore Terminal.

Op de approach channel komen golven voor tot 3,0 m. Deze golven komen echter weinig voor. Als maatgevende golf is een golf met een significante hoogte van 2,25m en een periode van 6s genomen. Aan het begin van de approach channel hebben de schepen een snelheid van 10 knopen (= 5m/s).

De underkeel clearance op de approach channel is dan:

T = 6s Hs = 2,25 m	UKCw [ft]	UKCs [ft]	correctie- factor	$\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft]	squat [ft]	Totaal [ft]	Totaal [m]
schip 1	2,180	1,6143	0,830	3,149	2,812	5,96	1,82
schip 2	2,144	1,6143	0,834	3,134	3,098	6,23	1,90
schip 3	2,123	1,6143	0,835	3,121	3,255	6,37	1,94
schip 4	2,058	1,782	0,840	3,226	3,400	6,63	2,02
schip 5	2,409	2,1795	0,844	3,873	2,934	6,807	2,08

Tabel 2. UKC_A op de approach channel voor T = 6s; Hs = 2,25m

De river channel is beschut, er komen dus slechts lage golven voor. De maatgevende golf hier heeft een hoogte van 0,60m met een periode van 6s. De schepen varen met een snelheid van maximaal 5,0 knopen (2,5 m/s). Dit levert een underkeel clearance van:

T = 6s Hs = 0,60 m	UKCw [ft]	UKCs [ft]	correctie- factor	$\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft]	squat [ft]	Totaal [ft]	Totaal [m]
schip 1	0,420	1,3586	0,93	1,655	0,742	2,397	0,73
schip 2	0,396	1,3586	0,935	1,641	0,828	2,469	0,75
schip 3	0,388	1,3586	,935	1,633	0,859	2,492	0,76
schip 4	0,352	1,5010	0,94	1,741	0,866	2,601	0,79
schip 5	0,267	1,7358	0,96	1,922	0,846	2,768	0,84

Tabel 3 UKC_a op de river channel voor T = 6s; Hs = 0,60m

Op de ligplaats ligt het schip in de luwte. Er worden hele lage golven verwacht van 0,30 m hoog. De stroomsnelheid is gering (0,5 kn).

T = 5s Hs = 0,30 m	UKCw [ft]	UKCs [ft]	correctie - factor	$\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft]	beam current squat [ft]	Totaal [ft]	Totaal [m]
schip 1	0,119	0,8369	0,978	0,935	0,346	1,281	0,39
schip 2	0,117	0,8369	0,978	0,933	0,346	1,279	0,39
schip 3	0,116	0,8369	0,978	0,931	0,346	1,278	0,39
schip 4	0,112	0,8718	0,979	0,964	0,344	1,308	0,40
schip 5	0,102	0,9465	0,980	1,027	0,312	1,339	0,41

Tabel 4. UKC_a op de ligplaats, met T = 5s; Hs = 0,30m

Of de schepen de haven kunnen binnenvaren is voornamelijk afhankelijk van de getijhoogte en natuurlijk de diepgang van het schip. De grote schepen varen alleen binnen met hoog water (CD + 4,0m tot CD + 6,0m). In de huidige situatie is de kans op passage, bij hoog water, voor maatgevende schepen 60% tot 65%. Ook in dit rapport is gezocht naar een geuldiepte waarbij de maatgevende schepen bij meer dan 60% van de hoog waters kunnen binnenvaren. Dit heeft geresulteerd in de volgende dieptes:

D [m]	gebaggerde diepte	tolerantie diepte	veilige diepte
17,0	CD - 15,2 m	CD - 14,5 m	CD - 14,3 m
18,8	CD - 17,1 m	CD - 16,4 m	CD - 16,2 m
23,0	CD - 21,2 m	CD - 20,5 m	CD - 20,3 m

Tabel 5. Gewenste diepte van de approach channel

D [m]	gebaggerde diepte	tolerantie diepte	veilige diepte
17,0	CD - 14,1 m	CD - 13,3m	CD - 13,1 m
18,8	CD - 16,0 m	CD - 15,2 m	CD - 15,0 m
23,0	CD - 20,2 m	CD - 19,4 m	CD - 19,2 m

Tabel 6. Gewenste diepte van de river channel

D [m]	gebaggerde diepte	tolerantie diepte
17,0	CD - 18,2 m	CD - 17,40 m
18,8	CD - 20,0 m	CD - 19,20 m
23,0	CD - 24,20 m	CD - 23,40 m

Tabel 7. Gewenste diepte op de ligplaats

met:

De gebaggerde diepte is de diepte volgens de Admiralty Charts, de zogenaamde charted depth. Het is ook de maximale gebaggerde diepte.

De tolerantie diepte is de minimaal aanwezige diepte. Bij kleinere gemeten dieptes wordt er gebaggerd. De geuldiepte wordt iedere zes weken gemeten.

De veilige diepte komt tot stand door een marge op het getij van 0.2 m toe te passen. Dit is om afwijking van de voorspelde getijhoogte te compenseren. De underkeel clearance wordt beschouwd ten opzichte van de veilige diepte.

Ter vergelijking is er ook een underkeel clearance berekening gedaan met een deterministische methode. De benodigde underkeel clearance die daaruit volgt is heel veel hoger dan die uit de semi-probabilistische berekening volgt. Het is dus duidelijk kostenbesparend om een nauwkeurige rekenmethode toe te passen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	27
Inhoudsopgave	30
1. Inleiding.....	31
1.1 situatieschets Tees Port	31
2.1 probleemstelling.....	34
2.2 Doelstelling.....	34
3. Rekenmethodes voor diepte optimalisatie.....	35
3.1 Deterministische benadering	35
3.2 Probabilistische benadering.....	35
3.3 Semi-probabilistische benadering	36
4. Toepassing semi-probabilistische methode voor dieptebepaling op River Tees	37
4.1 Methode van Kimon	37
4.2 Bepaling van de factoren die de underkeel clearance beïnvloeden	38
5. Uitvoering van de underkeel clearance berekening	41
5.1 De bepaling van de benodigde UKC voor de stabiele factoren (UKC_s)	41
5.2 De bepaal van de benodigde UKC voor golven (UKC_w).....	44
5.3 Statistische sommatie van UKC_s en UKC_w	46
5.4 De bepaling van de squat	46
5.5 Bepaal de totale netto underkeel clearance	49
6. Resultaten van de underkeel clearance berekeningen voor Tees Port	50
6.1 Totale resultaten approach channel	50
6.2 Totale resultaten river channel.....	53
6.3 Totale resultaten ligplaats	55
7. Toelatingsbeleid	57
7.1 Toelating op de approach channel.....	57
7.2 Toelating op de river channel.....	58
8. Keuze vaarwegdiepte	60
8.1 Geuldiepte op de approach channel	60
8.2 Geuldiepte op de river channel	62
8.3 Bodemdiepte bij de ligplaats	63
9. Commentaar op de methode	64
10. Deterministische underkeel clearance berekening	65
11. Conclusies	68
12. Aanbevelingen	69
Literatuur.....	70
Lijst van symbolen	71
Bijlage I. Algemene gegevens	
Bijlage II. Varianties van de stabiele factoren	
Bijlage III. Golfrespons bepaling	
Bijlage IV. Resultaten UKC_A berekeningen voor verschillende golfhoogtes en -periodes.	

1. Inleiding

In noordoost Engeland ligt de Tees & Hartlepool Port. Deze haven is een van de grootste van het Verenigd Koninkrijk. De havenautoriteiten, Tees & Hartlepool Port Authorities (THPA), willen meer inzicht krijgen in de mogelijkheid grotere schepen toe te laten in de haven. De havenautoriteiten willen meer inzicht krijgen in de huidige mogelijkheden en eventuele toekomstige aanpassingen van de River Tees. Dit is naar aanleiding van de wens van een bedrijf in de haven om grotere schepen af te handelen. Het gebruik van grotere schepen kan de transportkosten van ijzererts en kolen verlagen.

Een onderzoek naar de benodigde breedte is in deel A van dit rapport gedaan.

In dit deel van het rapport zal onderzoek worden gedaan naar de benodigde geuldiepte voor een aantal, door de THPA voorgestelde, schepen.

Schip [-]	Loa [m]	Lpp [m]	B [m]	D [m]	Verplaatsing [x 1000ton]
1	305	295	48	17	207
2	310	299	53	17	232
3	310	299	55	17	241
4	310	299	55	18.8	266
5	339	327	55	23	356

tabel 1.1. Schepen, door THPA voorgesteld voor onderzoek

1.1 situatieschets Tees Port

Het grootste schip dat momenteel de haven bezoekt is een bulk carrier met de volgende afmetingen: $L_{oa} = 305$ m, $B = 48$ m, $D = 17$ m, displacement = 207.000 ton. De grootste schepen komen naar de Redcar Ore Terminal (ROT), die maar een ligplaats heeft (zie kaartje 1). Regelmatig doen schepen met afmetingen tot 305 m 46 m 17 m en een dwt van 160.000 de Redcar Ore Terminal aan. De schepen langer dan 200 m, en schepen met een gevaarlijke lading, mogen geen andere schepen ontmoeten in de vaargeul.

de toegangsgeul is ruwweg op te delen in twee secties:

1. de approach channel; Deze loopt van de Tees North/South buoy tot de South Gare (dit is ongeveer ter hoogte van lichtboei nr. 5)
2. de river channel; Deze loopt stroomopwaarts van lichtboei nr. 5.

De breedte van de vaargeul is nu 244 m (= 800 ft) op de rechte stukken en in de bochten.

De diameter van de turning circle (stroomopwaarts van boei nr. 11) is 518 m (= 1700 ft). De diepte van de turning circle is voor het grootste gedeelte CD - 14.4 m. Een klein gedeelte is slechts CD - 11.7 m, wat soms het draaien hindert.

De ligplaats voor ROT (326m * 63 m) heeft een nominale diepte van 17.3 m en een tolerantie diepte van 16.5 m.

De diepte van de vaargeul is:

	gebaggerd ediepte	tolerantie diepte	veilige diepte
Approach channel	15.4 m	14.7 m	14.5 m
River channel	14.1 m	13.3 m	13.1 m

Tabel 1.2 Diepte van de toegangsgeul

De nominale diepte is de diepte volgens de Admiralty Charts, de zogenaamde charted depth.

De tolerantie diepte is de minimale diepte voordat er onderhoudsbaggerwerk wordt uitgevoerd. De geuldiepte wordt iedere zes weken gemeten.

De veilige diepte komt tot stand door een marge op het getij van 0.2 m toe te passen. Dit is om afwijking van de voorspelde getijhoogte en om het getijvenster te compenseren.

De vereiste keel clearance wordt genomen ten opzichte van de veilige diepte. De getijde niveaus worden continu geobserveerd en doorgegeven aan de loodsen.

De toelatingseisen zijn momenteel:

- voor schepen met afmetingen tot $Loa = 305$ m, $B = 46$ m en $D = 17.0$ m is de keel clearance in de approach channel 2.3 m en in de river channel 0.9 m.
- voor schepen met een breedte van 46 tot 48 m is de vereiste keel clearance 10% van de diepgang op zowel de approach channel als de river channel.

De schepen varen geladen de river Tees op naar the Redcar Ore Terminal. Ze maken hierbij gebruik van het getij: de passage van de fairway buoy naar ROT duurt ongeveer veertig minuten. Op 1.5 tot 2.5 km voor de fairway buoy komen er loodsen aan boord. De grote schepen worden geassisteerd door vier sleepboten. De sleepboten maken net voor het begin van de river channel (boei nr. 5) vast en dan wordt de voortstuwing afgezet. De aanleg manoeuvre duurt ongeveer één uur. De schepen leggen aan met de boeg stroomopwaarts gericht. De (gedeeltelijk) geloste schepen worden naar de turning circle gebracht en draaien daar met behulp van vier sleepboten.

Hoog water ligt tussen Chart Datum + 4 m en CD + 6 m (zie bijlage I). Laag water ligt tussen CD +0 m en CD +2 m.

De wind komt vaker vanaf het land (62 %) dan van over zee (38 %). Wind met een kracht van Beaufort 7 of harder (harder dan 33knopen), komt zes procent van de tijd voor. Zie ook bijlage I voor het windklimaat.

De golfhoogtes (gemiddeld en maximum) en de golfperiodes worden gemeten door een golfboei (zie bijlage I). De golfrichting wordt niet geregistreerd. Golven met een significante golfhoogte groter dan 3.10 m komen vrijwel niet voor.

De stroming is niet zo sterk. Er zijn metingen gedaan in de periode van één uur voor Hoog Water tot Hoog Water. Deze metingen zijn op verschillende plaatsen langs de toegangsgeul gedaan voor springtij en doodtij. De sterkste, gemeten stroomsnelheid bedraagt 0.27 m/s. (bijlage I).

2. Probleemstelling en doelstelling

2.1 probleemstelling

Het is gewenst om grotere schepen toe te laten op de River Tees. Het gaat hier om bulkcarriers voor het transport van erts en kolen. Het gebruik van grotere schepen kan de transportkosten reduceren. De havenautoriteiten willen weten wat de benodigde geuldiepte is voor grotere schepen en daarbij ook of, en hoe, de geuldiepte aangepast moet worden. Een verdieping van de geul brengt natuurlijk kosten met zich mee. Het is daarom nuttig om de benodigde diepte zo nauwkeurig mogelijk te bepalen om kosten voor geul verdieping zo laag mogelijk te houden. De havenautoriteiten willen van diverse schepen met uiteenlopende afmetingen weten hoeveel waterdiepte ze nodig hebben.

Behalve de diepgang en underkeel clearance speelt ook de getijhoogte een grote rol bij het bepalen van de optimale geuldiepte.

Schip [-]	Loa [m]	Lpp [m]	B [m]	D [m]	Verplaatsin g [x 1000ton]
1	305	295	48	17	207
2	310	299	53	17	232
3	310	299	55	17	241
4	310	299	55	18.8	266
5	339	327	55	23	356

Tabel 2.1. Schepen, door THPA voorgesteld voor onderzoek

2.2 Doelstelling

- Bepaal de benodigde geuldiepte bij toelating van enkele door THPA voorgedragen schepen (zie tabel 2.1).
- Stel een simpel toelatingsbeleid op.

3. Rekenmethodes voor diepte optimalisatie

Om zo groot mogelijke schepen toe te kunnen laten, met een zo laag mogelijk risico en zo laag mogelijke kosten, moet de benodigde diepte van de haventoeegangseul nauwkeurig bepaald worden.

De underkeel clearance is de afstand van de onderkant van het schip tot de vaargeulbodem. De minimale UKC die nodig is om een schip veilig te laten passeren wordt nergens eenduidig bepaald. Meestal bepalen de havenautoriteiten de minimaal toegestane UKC op grond van ervaring. Het is echter nuttig om de benodigde underkeel clearance te kunnen berekenen. Zo kan de UKC ook bepaald worden voor nog te bouwen havens of voor veranderde omstandigheden in bestaande havens. Ook kan eventueel de bestaande underkeel clearance eis gewijzigd worden, zodat er bijvoorbeeld grotere schepen kunnen worden toegelaten in een haven.

De optimalisatie van de diepte van een toegangseul kan met verschillende methodes:

- de deterministisch benadering
- de probabilistisch benadering
- de semi-probabilistisch benadering

Hieronder worden de verschillende methodes beschreven. De belangrijkste voor- en nadelen zullen worden aangegeven.

3.1 Deterministische benadering

De deterministische methode is de oudste en eenvoudigste methode. Hierbij worden de verschillende waarden van de termen die de benodigde diepte bepalen bij elkaar opgeteld. Deze factoren zijn: statische diepgang, squat, trim, getij, undercut, sedimentatie en verticale golfrespons.

De onzekerheid van de verschillende factoren wordt niet per afzonderlijke factor bepaald. Uit de som van de factoren die de waterdiepte bepalen minus de som van factoren die de diepgang van het schip bepalen volgt de underkeel clearance. Om de onzekerheden op te vangen wordt er een marge bij de berekende underkeel clearance opgeteld om de vereiste underkeel clearance te krijgen.

Een voordeel is dat de deterministische methode eenvoudig is uit te voeren. De berekende waarden zijn simpel bij elkaar op te tellen. Voor verschillende situaties, met verschillende waarden voor de bepalende factoren, zijn de waarden en de verschillen daarin ook makkelijk te vergelijken.

Een nadeel is dat de marge die de onzekerheid moet compenseren niet makkelijk is vast te stellen. Men weet niet in hoeverre de maximum waarden van de factoren tegelijk kunnen optreden. Sommatie van alle piekwaarden geeft een overschatting van de benodigde diepte. Welke lagere representatieve waarden dan wel genomen moeten worden is een subjectieve keuze, die het ontwerp sterk beïnvloed.

3.2 Probabilistische benadering

In de probabilistische methode wordt rekening gehouden met het feit dat er onzekerheden bestaan in de waarden van de factoren. Deze onzekerheden kunnen komen door o.a. fouten in voorspellingen of door reken- of meetfouten. Verder wordt er gewerkt met

kansverdelingen van randvoorwaarden/eigenschappen, zoals bodemligging, diepgang en verticale scheepsbewegingen.

Er bestaat een (kleine) kans dat de factoren die de diepgang van het schip bepalen samen groter zijn dan de som van factoren die de waterdiepte bepalen. Dit is ongewenst, want dan raakt het schip de bodem. Deze kans op bodemraken moet dus heel klein worden gesteld. Bij deze kleine kans op bodemraken hoort dan een bepaalde underkeel clearance.

Voordelen: De probabilistische methode biedt de mogelijkheid gevoeligheidsstudies uit te voeren. Er kan een beter inzicht worden gekregen in de bepalende factoren. Hierdoor kan bijvoorbeeld besloten worden om factoren, die het resultaat sterk beïnvloeden, nauwkeuriger te bepalen.

Nadelen: De gemiddelde klant is niet altijd bekend met de theorie en kan dan het resultaat van de berekening in twijfel trekken. Het is moeilijk om de kansverdelingsfuncties van de bepalende factoren nauwkeurig te bepalen.

Er moet ook veel rekenwerk worden uitgevoerd waar zeker een computer voor nodig is.

3.3 Semi-probabilistische benadering

In de semi-probabilistische benadering worden de onzekerheden en variaties van factoren in de berekening meegenomen. Als deze varianties gekwantificeerd zijn, moeten ze worden opgeteld en gecombineerd met de constante factoren. Met statistische regels kan een underkeel clearance bepaald worden met voldoende kleine kans dat het schip de bodem raakt. Door enkele vereenvoudigingen toe te passen, kan de probabilistische berekening gereduceerd worden tot een simpele rekensom.

Deze methode is vrij makkelijk toepasbaar; Er zijn veel minder gegevens nodig dan bij de probabilistische methode. Het is wel zo, dat de uitkomst nauwkeuriger wordt als de ingevoerde gegevens nauwkeuriger worden. De methode geeft gebruiker en klant inzicht in wat er gebeurt. Een voorbeeld van een probabilistische methode wordt in hoofdstuk 4 behandeld.

4. Toepassing semi-probabilistische methode voor dieptebepaling op River Tees

Voor de diepte bepaling van de river Tees is gekozen voor een semi-probabilistische methode om de volgende redenen:

- Er zijn voldoende gegevens bekend om de berekeningen uit te voeren
- Er kan een faalkans worden bepaald
- Voor veiligheid hoeft het ontwerp niet zwaar te worden overgedimensioneerd
- De berekeningen kunnen eenvoudig worden uitgevoerd

4.1 Methode van Kimon

Kimon [1982] heeft een methode bedacht om de benodigde underkeel clearance te bepalen voor schepen in diverse havens.

In verschillende havens is uitgebreid onderzoek gedaan naar de factoren die invloed hebben op de underkeel clearance. Deze gegevens zijn in tabellen en grafieken gezet. Uit deze tabellen en grafieken kunnen de waarden van de factoren van een gekozen haven geëxtrapoleerd worden. Met een vrij eenvoudige berekening kan dan de benodigde underkeel clearance voor bepaalde schepen in de betreffende haven bepaald worden. Hieronder zal eerst worden uitgelegd welke factoren de underkeel clearance beïnvloeden. Vervolgens zal, in hoofdstuk zes, de berekening van de underkeel clearance behandeld worden.

De factoren die de underkeel clearance beïnvloeden zijn te verdelen in de volgende groepen:

1. Factoren die de beschikbare waterdiepte bepalen
 - charted depth
 - getij
 - undercut
 - sedimentatie
2. Factoren die de nominale benodigde diepte bepalen
 - statische diepgang
 - squat
3. Bijkomende benodigde diepte door scheepsbewegingen in golven
 - golfrespons
4. Bijkomende marges, om onzekerheden en afwijkingen van enkele bovengenoemde factoren te compenseren.
 - charted depth deviatie
 - getijde deviatie
 - sedimentatie deviatie
 - statische diepgang deviatie
 - squat deviatie

Alle bovengenoemde factoren, behalve de golfrespons, zijn constante factoren; Bij constante diepte en snelheid blijven deze factoren ongeveer constant. De golven veroorzaken in tijd variërende benodigde UKC. In figuur 4.1 staan de factoren die de underkeel clearance bepalen.

Underkeel clearance kan worden gedefinieerd als:

Underkeel clearance = nominale waterdiepte - statische diepgang.

met: Nominale waterdiepte = charted depth + voorspelde getijhoogte (ten opzichte van charted depth) + undercut - sedimentatie.

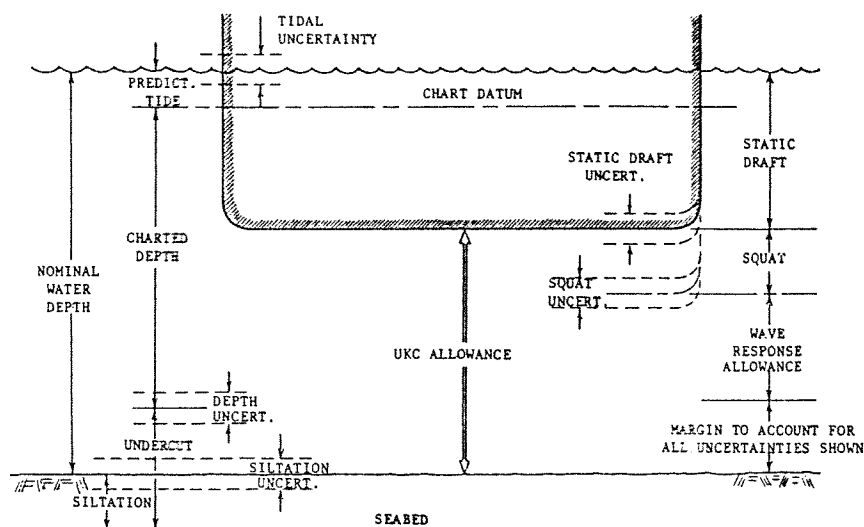


fig 4.1 Underkeel clearance factoren

4.2 Bepaling van de factoren die de underkeel clearance beïnvloeden

Zoals eerder vermeld, heeft Kimon de waarden van de factoren die de underkeel clearance bepalen in tabellen en grafieken gezet. Deze tabellen en grafieken staan in bijlage II vermeld. Hieronder worden de factoren beschreven.

Charted Depth: De bodemligging wordt, ten opzichte van Chart Datum, bepaald door survey. Hierbij kunnen onder andere meetfouten en afrondingsfouten optreden. Tezamen vormen deze een onzekerheid. Voor de verschillende secties van de haven: offshore fairway, port channel en berthing area, gelden verschillende waarden voor de onzekerheden. De THPA meten de waterdiepte iedere zes weken. Ook wordt er ieder jaar Onderhoudsbaggerwerk uitgevoerd.

Getij: De voorspelling van de getijhoogte houdt rekening met astronomische invloeden. Andere factoren, zoals wind, rivierdebiet, luchtdruk, storm etcetera hebben ook de nodige invloed op de getijhoogte en veroorzaken zo een fluctuatie in getijhoogte.

In Tees Port wordt het getijniveau continu geregistreerd. Ook wordt er een getijmarge van 0,2 m aangehouden op de bepaling van de nominale diepte (die hier 'veilige diepte' wordt genoemd).

Undercut: Meestal is de vaarweg dieper gebaggerd dan aangegeven op de kaart. De onzekerheid daarvan is verrekend in de charted depth onzekerheid. Bij Tees Port is de diepte die op de kaart staat juist de maximaal gebaggerde diepte van de geul.

Sedimentatie: Waterdiepte kan afnemen door sedimentatie. Als deze hoeveelheden onbekend zijn moet de sedimentatie deviatie de onzekerheid over verminderde diepte voor zijn rekening nemen.

In Tees Port wordt constant onderhoudsbaggerwerk uitgevoerd. Eventuele sedimentatie is al verwerkt in de tolerantie diepte.

Statische diepgang: Dit is de nominale diepgang die een schip verwacht te hebben wanneer het de haven binnenloopt. Ervaring wijst uit dat deze diepgang in de praktijk kan afwijken, zowel naar boven als naar beneden. Dit kan veroorzaakt worden door onder andere variërend brandstofverbruik, onnauwkeurige lading bepaling, trim en onnauwkeurig aflezen van de diepgang markering.

Dichtheid van het water: De dichtheid van het water kan niet altijd precies bepaald worden. Hiervoor moet nog een extra diepgang worden toegevoegd, welke kan worden afgeleid uit de hydrostatica. Als het water zoeter is, is de dichtheid lager. Het schip ligt dieper in het zoete water, dan in zout water.

Squat: Door de retourstroom rond een schip zinkt het schip dieper in het water. In ondiep water wordt dit effect groter. De squat in de approach channel en op de river channel kan bepaald worden met de Huuska/Guliev (ICORELS) formule. Deze formule luidt als volgt:

$$\text{Squat} = 2,4 * K_s * \nabla * F_{nh}^2 / (L_{pp}^2 * \sqrt{1-F_{nh}^2})$$

met: ∇ = displacement

$F_{nh} = v/\sqrt{gh}$, Froude diepte getal

L_{pp} = lengte van het schip tussen de loodlijnen

$K_s = 7.45 s_1 + 0.76$, voor $s_1 > 0.03$

$K_s = 1$, voor $s_1 \leq 0.03$

$s_1 = (A_s/A_{ch})/K_1$

K_1 = correctiefactor, zie figuur

A_s = midscheepse doorsnede ≈ 0.98 BT

A_{ch} = natte geuldoorsnede

Bij deze berekening van de squat treedt ook een afwijking op. Deze kan worden veroorzaakt door onder andere interactie van de schroef, verschillende scheepsvormen en ongelijke bodem. De squat variantie is afhankelijk van de diepgang, de snelheid en de waterdiepte.

Wave induced motions: Een schip dat door het water beweegt ondergaat periodieke verticale verplaatsingen door een combinatie van pitch, heave en roll. Bij de methode van Kimon is de respons van een 200 kDWT tanker in ondiep water geschat uit resultaten van tests. Respons van schepen van andere afmetingen zijn hier uit geëxtrapoleerd. De golfrespons wordt gegeven voor verschillende golf invalshoeken, namelijk 0°, 45°, 90°, 135° en 180° ten opzichte van het schip.

Voordat er gerekend kan worden aan de benodigde onderkeel clearance voor verschillende schepen in Tees Port moeten eerst de omstandigheden geanalyseerd worden.

Aangezien de omstandigheden voor de verschillende vaargeul secties verschillend zijn, moet de geul worden onderverdeeld in meerdere delen. De UKC voor de verschillende delen wordt met verschillende berekening bepaald. Bij Tees Port is de toegangsgeul op te delen in drie secties.

1. De approach channel. Deze sectie ligt in open water en is in de huidige toestand gebaggerd tot minimaal CD - 14,7 m. De approach channel loopt van de Tees noord/zuid boei tot ongeveer boei nr. 5.

2. De river channel. Deze sectie begint bij boei nr. 5 en loopt verder stroomopwaarts. De river channel is gebaggerd tot minimaal CD - 13,3 m. Verder is de river channel in redelijk beschut water: Er zijn slechts lage golven.

3. De ligplaats. De ligplaats is de kade van de Redcar Ore Terminal. De schepen liggen hier een aantal dagen om gelost te worden. Er staat een kleine stroming, maar de golven zullen niet hoger dan ongeveer 0,30 m worden door de beschutte ligging

Voor Tees Port wensen de havenautoriteiten (THPA) dat de underkeel clearance voor de volgende schepen wordt bepaald:

Schip [-]	Loa [m]	Lpp [m]	B [m]	D [m]	Verplaatsin g [x 1000ton]
1	305	295	48	17	207
2	310	299	53	17	232
3	310	299	55	17	241
4	310	299	55	18.8	266
5	339	327	55	23	356

Tabel 4.1. Door THPA voorgestelde schepen voor onderzoek

Enkele definities zullen hier nog worden gegeven.

De underkeel clearance kan worden gedefinieerd als:

Underkeel clearance = nominale waterdiepte - statische diepgang.

met: Nominale waterdiepte = charted depth + voorspeld getij + undercut - sedimentatie.

De minimale vereiste waarde voor de underkeel clearance is de UKC_A . Dit houdt in:

UKC_A = squat + golfrespons + variaties door onzekerheid van stabiele factoren.

De waarden van de factoren die de UKC_A vormen kunnen niet zomaar bij elkaar op geteld worden. De UKC_A wordt dan veel te groot. Kimon stelt een probabilistische benadering voor, waarbij eerst de som van de factor 'variati es door onzekerheden' statistisch wordt bepaald. Deze wordt vervolgens statistisch gecombineerd met de golfrespons. Tenslotte wordt de gemiddelde squat erbij opgeteld. Bovenstaande berekening wordt in Hoofdstuk 6 uitgebreider uiteen gezet.

5. Uitvoering van de underkeel clearance berekening

De underkeel clearance wordt volgens de semi-probabilistische methode van Kimon in verschillende stappen uitgevoerd.

5.1 De bepaling van de benodigde UKC voor de stabiele factoren (UKC_S)

De stabiele factoren die invloed hebben op de underkeel clearance zijn: charted depth, diepgang, getijhoogte, sedimentatie en squat. De waarde van deze zogenaamd stabiele factoren kan nooit met volledige zekerheid worden bepaald. Om rekening te houden met afwijkingen van de bepaalde waarden worden zogenaamde onzekerheden ingevoerd. Voor deze afwijkingen van de waarden van de stabiele factoren moet een extra stuk underkeel clearance geëist worden, de UKC_S. Kimon heeft gegevens van de stabiele factoren verzameld in havens over de hele wereld. De uit dit onderzoek gebleken waarden met hun varianties zijn in tabellen en grafieken gezet. Als de randvoorwaarden (bijv. scheepsdiepgang, kwaliteit van de haven) bekend zijn kan er een waarde voor de variantie van de stabiele factoren uit de tabellen en grafieken gehaald worden, die past bij het betreffende schip en de betreffende omstandigheden.

Om de totale afwijking van het alle stabiele factoren te verkrijgen moeten de verschillende onzekerheden niet zomaar worden opgeteld. De totale marge voor onzekerheden zou dan veel te groot worden. Beter is het om een statistische aanpak te volgen.

De onzekerheden van de stabiele factoren kunnen het best worden beschouwd als standaard deviaties met een normale kansdichtheid verdeling. Een normale kansdichtheidsverdeling is gedefinieerd als:

$$f(\xi) = 1/S\sqrt{2\pi} * \exp\{- (\xi-\mu)^2 / 2S^2\}$$

met: $f(\xi)$ = kansdichtheidsfunctie
 S = standaard deviatie
 μ = gemiddelde waarde

Een variabele x kan beschreven worden met :

$$x = \mu(x) + k1 * S(x)$$

S^2 is de variantie. Dit is de verwachtingswaarde (E) van het verschil tussen de gemiddelde waarde ($\mu\{x\}$) en de werkelijke waarde (x) in het kwadraat:

$$S^2 = E\{\mu(x) - x\}^2$$

Verder geldt:

$$E\{a(x) + b(x)\} = E\{a(x)\} + E\{b(x)\}$$

Hieruit volgt dat:

$$S^2(a + b) = S^2(a) + S^2(b)$$

Dit levert voor de dieptebepaling de gelijkheid:

$$S^2(\text{benodigde diepte}) = S^2(\text{som van alle factoren die de benodigde diepte bepalen}) = \sum_{i=1}^6 \{S_i^2\} = (S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + S_6^2)$$

De standaard deviatie is dan:

$$S_{\text{tot}} = \sqrt{(S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + S_6^2)}$$

Voor een belastinggeval (hier:diepgang) geldt:

$$Q = \mu(Q) + k_1 * \sigma(Q)$$

Voor een sterkte geval (waterdiepte) geldt:

$$R = \mu(R) - k_1 * \sigma(R)$$

strekke-eis: $R > Q$:

$$\mu(R) - \mu(Q) > k_1 * \sigma(Q) + k_1 * \sigma(R) = k_1 * S_{tot}$$

$$\text{gemiddelde diepte} - \text{gemiddelde diepgang} > k_1 * S_{tot}$$

met hier:

Q = diepgang

R = waterdiepte

σ = standaarddeviatie;

k_1 = coefficient die een onderschrijdingskans weergeeft van een normaal verdeelde functie.

$$S_{tot} = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + S_6^2}$$

De bodem wordt niet geraakt als

$$k_1 * S_{tot} < \text{gemiddelde diepte} - \text{gemiddelde diepgang}$$

Deze gebeurtenis moet 99% van de tijd voorkomen:

$$P(k_1 < v) = \Phi(v) = 0,99$$

$\Phi(v)$ = de verdelingsfunctie van een normale verdeling. Deze functie is niet analytisch op te lossen maar moet uit een tabel worden gehaald. Bij kleine kansen kan de volgende benadering worden gebruikt:

$$\Phi(v) = 1/(-v * \sqrt{2\pi}) * \exp(-v^2 / 2)$$

voor $v > 0$ geldt:

$$\Phi(v) = 1 - \Phi(-v)$$

voor een kans van 0,99 volgt een waarde van $v = 2,33$. Dus neem ook $k_1 = 2,33$

$$\text{gemiddelde diepte} - \text{gemiddelde diepgang} = UKCs$$

Hieruit volgt dan de definitie voor de $UKCs$:

$$UKC_s = k_1 * S_{tot} = k_1 \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + S_6^2}$$

met: k_1 = constante voor de kans op bodemraken

S_1^2 = Charted depth variantie

S_2^2 = getijdevoorspelling variantie

S_3^2 = sedimentatie variantie

S_4^2 = statische diepgang variantie

S_5^2 = water dichtheid variantie

S_6^2 = squat variantie

In bijlage II staan de tabellen en grafieken vermeld waaruit de waarden voor de varianties van de stabiele factoren zijn gehaald. Hieronder wordt de situatie in Tees Port beschreven en staan de waarden van de varianties gegeven, die bij Tees Port horen. De resultaten staan in de tabellen 5.1 t/m 5.4.

- Met een raakkans van 1% en een normale verdeling, volgt: $k_1 = 2,33$. De boven genoemde variantie termen zijn slechts bij benadering normaal verdeeld. Dit heeft als gevolg dat k_1 niet als een mathematisch bepaalde coëfficiënt kan worden beschouwd, maar als een soort semi-empirische coëfficiënt gezien moet worden. Deze coëfficiënt verzekerd wel dat de kans om aan de grond te lopen ten gevolge van de stabiele factoren heel klein is.
- De charted depth variantie hangt af van de situatie in de haven. Op de Tees meten de havenautoriteiten de waterdiepte iedere zes weken. Ook wordt er ieder jaar onderhoudsbaggerwerk uitgevoerd. De charted depth variantie is nul voor Tees Port (zie bijlage II, tabel II.1).
- De getijdevoorspelling variantie hangt af van de controle op de getijde voorspellingen. In Tees Port wordt de getijhoogte continu geobserveerd. Ook wordt er een veilige diepte gehanteerd die 0,2 m kleiner is dan de nominale diepte, om afwijking van het voorspelde getij op te vangen. Voor Tees Port geldt dan ook dat de getijdevoorspelling variantie nul is, zowel in de approach channel als in de river channel (bijlage II, tabel II.2).
- In Tees Port zijn de hoeveelheden sedimentatie bekend en wordt er bij de dieptebepaling rekening mee gehouden. De sedimentatie variantie is dan ook nul in approach channel en river channel. (bijlage II, tabel II.3).
- De statische diepgang variantie is afhankelijk van de diepgang en van de reistijd van de schepen. De statische diepgang varianties voor de verschillende schepen zijn in onderstaande tabel weergegeven (bijlage II, figuur II.1).
- Uit de gemeten waarden van het zoutgehalte op de river Tees volgt dat de range van specifieke relatieve dichtheid ongeveer 0,010 is. Deze relatieve dichtheid is het verschil tussen de grootste dichtheid en de kleinste dichtheid gedeeld door de gemiddelde dichtheid. Het verschil in dichtheid van het water veroorzaakt een verschil in scheepsdiepgang. De dichtheidsvariantie varieert met de diepgang van de schepen; In tabel II.2 staat deze gegeven voor enkele schepen
- De squat variantie is afhankelijk van de diepgang en de verhouding $\text{snelheid}^2 / \text{nominale waterdiepte}$. De grootste waarden voor de squat variantie vindt u in tabel 6.2. De varianties verlopen niet lineair met $\text{snelheid}^2 / \text{waterdiepte}$ - verhouding. De tabel 6.2 geeft daarom de totaal maximaal mogelijke squat variantie op de approach channel en de squat variantie bij een snelheid van 5 knopen, de minimale snelheid, op de approach channel. Op de river channel vaart het schip maximaal 5 knopen. De daarbij behorende variantie is de grootste die op de river channel kan voorkomen. Ook deze staat in tabel 6.2. de grafiek waar deze waarden uit zijn af te lezen staat in bijlage II (figuur II.3).

raakkans	1%
k_1 :	2,33
S1:	constant
S2:	constant
S3:	constant
S4:	afh. van reistijd en diepgang
S5:	constant
S6:	afh. van snelheid, diepte en diepgang
Squat:	afh. van snelheid, diepte en diepgang + breedte

	$S1^2 [ft^2]$	$S2^2 [ft^2]$	$S3^2 [ft^2]$	$S4^2 [ft^2]$	$S5^2 [ft^2]$
schip 1	0	0	0	0,195	0,02
schip 2	0	0	0	0,195	0,02
schip 3	0	0	0	0,195	0,02
schip 4	0	0	0	0,240	0,025
schip 5	0	0	0	0,265	0,035

Tabel 5.1. varianties van stabiele factoren [ft²] op de river channel en de approach channel.

	Approach channel		river channel
	$v = 5 \text{ kn}$	max. variantie	$v = 5 \text{ kn}$
schip 1	0,11	0,265	0,125
schip 2	0,11	0,265	0,125
schip 3	0,11	0,265	0,125
schip 4	0,13	0,32	0,15
schip 5	0,14	0,47	0,15

Tabel 5.2. Squatvariantie [ft²] op de river channel en de approach channel.

	$S1^2 [ft^2]$	$S2^2 [ft^2]$	$S3^2 [ft^2]$	$S4^2 [ft^2]$	$S5^2 [ft^2]$	$S6^2 [ft^2]$
schip 1	0	0	0	0,125	0,004	0
schip 2	0	0	0	0,125	0,004	0
schip 3	0	0	0	0,125	0,004	0
schip 4	0	0	0	0,135	0,005	0
schip 5	0	0	0	0,155	0,010	0

Tabel 5.3. Varianties van stabiele factoren [ft²] op de ligplaats.

De totale UKC_s volgens de formule: $UKC_s = k1 \sqrt{(S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + S_6^2)}$, staat vermeld in tabel 6.4

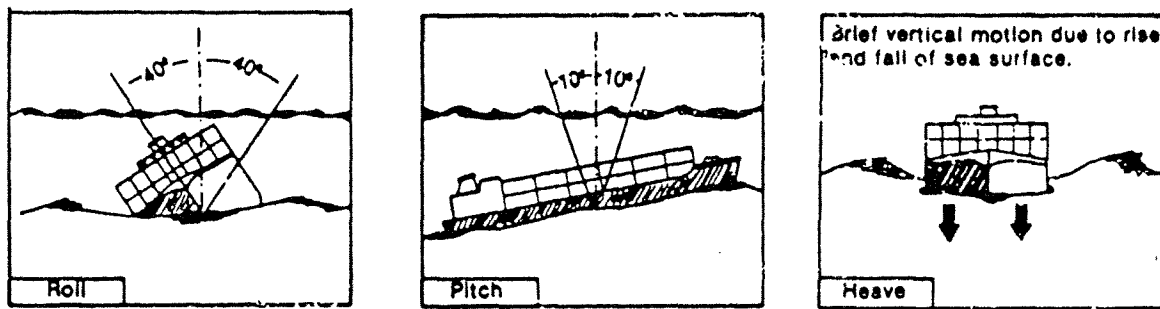
UKC_s [ft]	approach channel	river channel	ligplaats
schip 1	1,6143	1,3586	0,8369
schip 2	1,6143	1,3586	0,8369
schip 3	1,6143	1,3586	0,8369
schip 4	1,782	1,5010	0,8718
schip 5	2,1795	1,7358	0,9465

Tabel 5.4 UKC_s voor schepen op verschillende geuldelen [ft]

5.2 De bepaal van de benodigde UKC voor golven (UKC_w)

Schepen maken verticale bewegingen ten gevolge van de golven waarin ze zich voortbewegen. Deze golfbewegingen variëren in tijd. Te onderscheiden zijn:

- roll, rotatie om de (horizontale) lengteas van het schip
- pitch, rotatie om de (horizontale) breedtes van het schip
- heave, korte verticale beweging door stijgen en dalen van de zeespiegel



figuur 5.1 Verticale scheepsbewegingen

De methode van Kimon heeft grafieken ontwikkeld om de respons operators te bepalen in één-voet hoge golven. Deze grafieken zijn het resultaat van modeltests op een 200 kDWT tanker. De responswaarden zijn gegeven voor het diepste punt van het schip ten gevolge van de effecten van pitch, heave en roll.

Om de maximale verticale beweging te bepalen moet de respons worden vermenigvuldigd met de maximale significante golfhoogte, die van belang is bij de betreffende haven en met de golfontmoetingsmultiplier. De hoogste significante golfhoogte waarbij nog gevaren wordt bij Tees Port is 3 m (= 10 ft); Slechts in 0,14 % van de tijd wordt deze golfhoogte overschreden. De respons operators voor de schepen worden vermeld in bijlage III. Ze zijn verkregen uit de grafieken, die ook in bijlage III staan. De wave encounter multiplier verwerkt de invloed van de reisduur door de toegangseul. De multiplier is mede-afhankelijk van de vaarsnelheid en de golfrichting. Hoe de wave encounter multiplier wordt berekend staat in bijlage II vermeld.

Voor de passage door de approach channel naar Tees Port, die ongeveer 20 minuten duurt, zijn de wave encounter multipliers voor de verschillende omstandigheden vermeld in bijlage III.

Wave allowance = RMS respons voor gegeven schip * golfontmoetingsmultiplier

RMS response voor gegeven schip = RMS response in één-voet golfhoogte * significante golfhoogte (ft) * verplaatsingsratio

met:

wave allowance = de verticale verplaatsing die het schip kan maken, ten gevolge van de reacties op de golven

golfontmoetingsmultiplier = factor die het aantal golfontmoetingen tijdens de manoeuvre verdisconteert (figuur III.9, tabel III.4)

RMS respons in één-voet golfhoogte = de verticale verplaatsing, die het standaard schip van Kimon (een 200 kDWT tanker) maakt in golven met een significante golfhoogte van één voet (figuur III.1 t/m 5, tabel III.1)

verplaatsingsratio = een vermenigvuldigingsfactor, die nodig is om de golfreacties van het schip uit Kimons tests (een 200 kDWT tanker) om te zetten naar de waarden voor een schip van andere afmetingen (figuur III.6 A t/m E, tabel III.3)

Kimon gaat uit van een raakkans van 0,01%. Dat wil zeggen dat de uiterste verticale bewegingen door golven de verkregen waarde voor golfrespons slechts één keer in de 10.000 manoeuvres overschrijden. Die kans is door Kimon gebaseerd op de aanname dat schepen de beperkende golfhoogte in 1% van de tijd ontmoeten. Bij ontmoeting met de

beperkende golfhoogte is de kans dat de verkregen responswaarde wordt overschreden minder dan 1%.

De opdrachtgever wil graag uitgaan van een raakkans van 1,0%. De resultaten in dit verslag zijn dan ook gebaseerd op een raakkans van 1%. Deze gewijzigde raakkans (1%) ten opzichte van Kimons uitgangspunt (0,01%) is verwerkt in de wave encounter multiplier. Deze wordt hierdoor ruim 30% lager.

5.3 Statistische sommatie van UKC_s en UKC_w

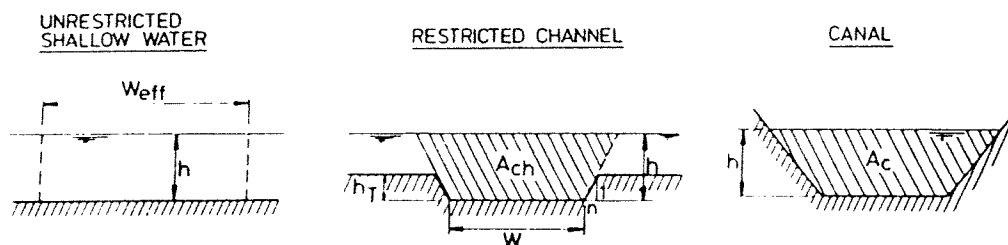
De UKC_s , die normaal verdeeld is, en de UKC_w , die Rayleigh verdeeld is, moeten bij elkaar opgeteld worden. Bij deze statistische optelsom moet een correctiefactor worden toegepast. De benodigde correctiefactor is te halen uit de grafiek in bijlage IV (figuur IV.1 en IV.2). De waarde van de correctiefactor kan variëren van 0,80 tot 1,0. Deze waarde is afhankelijk van de UKC_s -waarde, de UKC_w -waarde en het aantal golfontmoetingen. De sommatie ziet er dan als volgt uit:

$$\Sigma (UKC_s + UKC_w)_{stat} = \text{correctiefactor} * (UKC_s + UKC_w)$$

5.4 De bepaling van de squat

De squat kan met verschillende formules bepaald worden. Het PIANC [2] noemt er enkele. De verschillende formules kunnen resultaten geven die onderling behoorlijk veel verschillen. In het algemeen wordt dan aangeraden om een squat formule te gebruiken die een gemiddeld resultaat geeft. Ook in de berekening voor Tees Port wordt voor zo'n formule gekozen. De eventuele afwijking van de berekende squat waarde wordt gecompenseerd door de factor squat-variantie in de totale UKC_A berekening.

Niet alle formules zijn geldig voor alle soorten vaarwegen. De vaargeul naar Tees Port kan beschouwd worden als een restricted channel. Dit geldt voor zowel de approach channel als voor de river channel.



Figuur 5.2. Vaargeul configuraties

Wel zijn de verhoudingen tussen diepteligging van de geulbodem (h) en hoogte van de banken (h_T) erg verschillend. Het ligt dan voor de hand om een formule te kiezen die rekening houdt met deze omstandigheden. De formule van Huuska/Guliev (ICORELS) voldoet aan die eis. Zij luidt:

$$\text{Squat} = 2,4 * K_s * \nabla * F_{nh}^2 / (L_{pp}^2 * \sqrt{1 - F_{nh}^2})$$

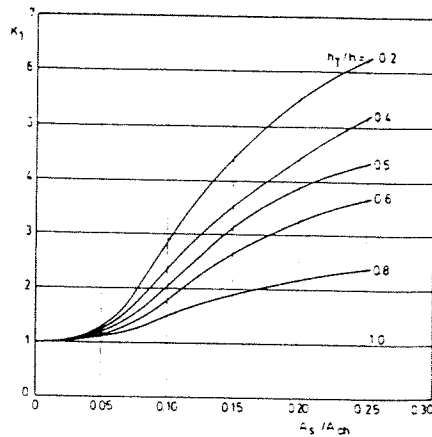
met: ∇ = displacement

$F_{nh} = v/\sqrt{gh}$, Froude diepte getal

L_{pp} = lengte van het schip tussen de loodlijnen

$K_s = 7,45 s_1 + 0,76$, voor $s_1 > 0,03$

$K_s = 1$, voor $s_1 \leq 0.03$
 $s_1 = (A_s/A_{ch})/K_1$
 K_1 = correctiefactor, zie figuur
 A_s = midscheepse doorsnede ≈ 0.98 BT
 A_{ch} = natte geuldoorsnede



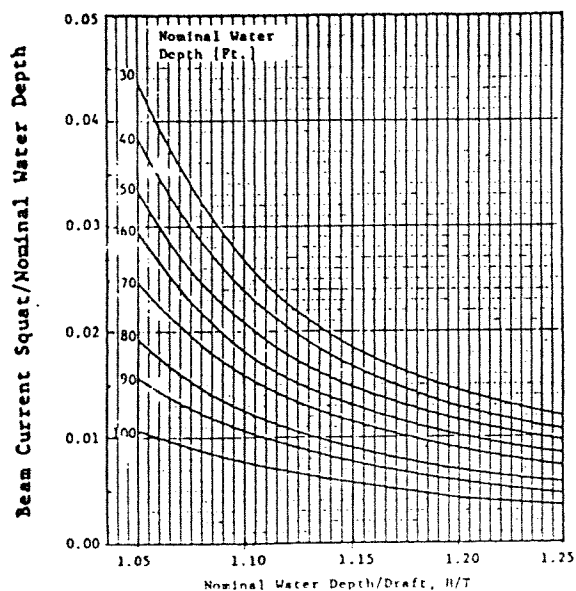
Figuur 5.3 correctiefactor K_1

De waarde K_s houdt rekening met de insnijding van de geul. Dat is de diepte van de geul ten opzichte van de omgeving. Dit bepaalt namelijk hoe goed het water dat door het schip wordt weggezet ook weg kan stromen. Na berekening blijkt dat de factor K_s langs de gehele geul maar iets groter is dan 1 tijdens hoog water.

De snelheid speelt een erg grote rol bij squat. De schepen varen de approach channel naar Tees Port op met een snelheid van 10 knopen (= 5 m/s). Bij deze snelheid treedt er squat op van 0,85 tot 1,0 m (afhankelijk van de scheepsafmetingen en de geuldiepte). Als de snelheid halverwege de approach channel is afgenomen tot ongeveer 8 knopen is de squat nog maar 0,53 tot 0,64 m. Dat scheelt toch meer dan 0,30 m. Indien het nodig en mogelijk is kan een schip met een lagere snelheid de toegangsgeul opvaren. De havenautoriteiten zouden dan eventueel een lagere underkeel clearance kunnen eisen.

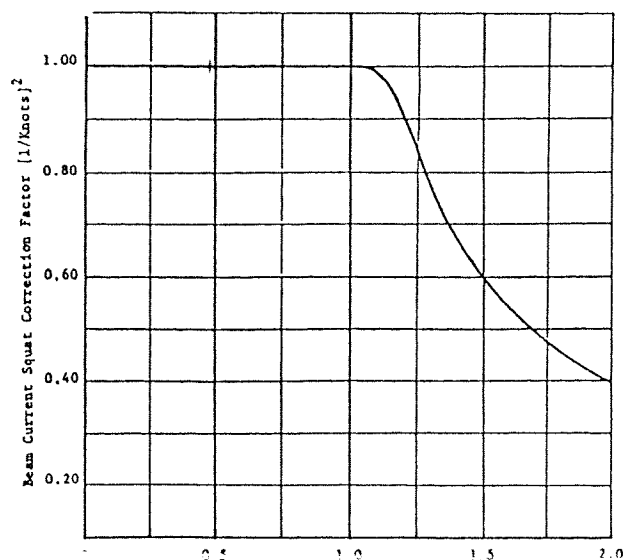
Op de ligplaats vaart het schip niet, maar kan er toch squat optreden. Deze squat wordt veroorzaakt door de stroomsnelheid van het water langs het schip. Deze squat wordt dan ook beam current squat genoemd.

Om deze beam current squat te bepalen moet eerst de verhouding 'beam current squat / nominale waterdiepte' uit figuur 5.4 gehaald worden.



Figuur 5.4. Beam current squat/nominale waterdiepte

Vervolgens moet de stroomsnelheid parallel aan het schip worden bepaald. Op river Tees, ter hoogte van ROT, is die snelheid bij laag water 0,23 m/s (= 0,45 kn). Dit levert een beam current squat correctiefactor van 1,0 op (zie figuur 5.5).



Figuur 5.5 Beam current squat correctiefactor

De totale beam current squat kan dan berekend worden met de vergelijking:

$$\text{beam current squat} = (\text{beam current squat/ nom. waterdiepte}) * \text{beam current squat correctiefactor} * \text{nom. waterdiepte} * \text{stroomsnelheid}^2$$

Dit levert voor de gegeven schepen op de ligplaats de volgende resultaten:

	beam cur. squat/ water diepte	correctie- factor	nominale waterdiepte [ft]	stroom- snelheid [kn]	beam current squat [ft]	beam current squat [m]
schip 1	0,03	1	57	0,45	0,3463	0,106
schip 2	0,03	1	57	0,45	0,3463	0,106
schip 3	0,03	1	57	0,45	0,3463	0,106
schip 4	0,027	1	63	0,45	0,3445	0,105
schip 5	0,02	1	77	0,45	0,3119	0,095

Tabel 5.5. Beam current squat op de ligplaats

5.5 Bepaal de totale netto underkeel clearance

De minimaal vereiste underkeel clearance wordt verkregen door bij de som van UKCs en UKCw de squat op te tellen. De vergelijking wordt dan als volgt:

$$UKC_A = \Sigma (UKC_S + UKC_W)_{stat} + UKC_{squat}$$

6. Resultaten van de underkeel clearance berekeningen voor Tees Port

Voordat de resultaten voor een aantal specifieke situaties gegeven worden, zullen eerst een aantal algemene bevindingen vermeld worden. Deze bevindingen hebben als doel om kort inzicht te geven in de kwalitatieve effecten van omgevingsfactoren (golven, snelheid, etc.) op de totale benodigde underkeel clearance van schepen van verschillende afmetingen. De bevindingen zijn:

- De snelheid heeft bijna geen invloed op de golfrespons.
- Met hogere snelheid neemt de squat meer dan evenredig toe.
- De golfrichting heeft grote invloed op de golfrespons.
- De golfrespons varieert evenredig met de golfhoogte.
- Lange golfperiode veroorzaakt heftige verticale scheepsbewegingen.
- Op relatief dieper water is de golfrespons groter.
- Op ondiep water wordt de squat groter.
- Een kleiner schip heeft onder dezelfde omstandigheden een grotere golfrespons dan een groter schip.
- Een schip met een grotere dwarsdoorsnede heeft grotere squat.

6.1 Totale resultaten approach channel

Op de approach channel kunnen behoorlijk hoge golven optreden. De significante golfhoogte, H_s , komt voor tot ongeveer 3,10m. De significante golfhoogte is hier het hoogste 1/3 deel van de voorkomende golven. De golven hebben een grote invloed op de benodigde underkeel clearance. De golfrespons van de schepen is afhankelijk van de golfhoogte, -periode en -richting. Een overzicht van het golfklimaat staat in bijlage I. Hierin staan alleen de golfhoogte en periode vermeld. De golfrichting wordt helaas niet geregistreerd. Ook de bijdrage aan de UKC_A door squat is groot (ongeveer 0,80 tot 1,0 m). Dit is vooral te wijten aan de snelheid waarmee aan het begin van de approach channel nog gevaren wordt (10 kn). Hieronder volgen de tabellen met de totale underkeel clearance (UKC_A) op de approach channel. Er is uitgegaan van een snelheid van 10 kn.

T = 6s Hs = 2,25 m	UKCw [ft]	UKCs [ft]	correctie- factor	$\Sigma(UKCs +$ UKCw) [ft]	squat [ft]	Totaal [ft]	Totaal [m]
schip 1	2,180	1,6143	0,830	3,149	2,812	5,96	1,82
schip 2	2,144	1,6143	0,834	3,134	3,098	6,23	1,90
schip 3	2,123	1,6143	0,835	3,121	3,255	6,37	1,94
schip 4	2,058	1,782	0,840	3,226	3,400	6,63	2,02
schip 5	1,782	2,1795	0,858	3,399	2,959	6,36	1,94

Tabel 6.1. UKC_A op de approach channel voor T = 6s; H_s = 2,25m

T = 6s Hs = 3,1 m	UKCw [ft]	UKCs [ft]	correctie- factor	$\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft]	squat [ft]	Totaal [ft]	Totaal [m]
schip 1	3,089	1,6143	0,825	3,880	2,776	6,656	2,03
schip 2	3,028	1,6143	0,825	3,830	3,047	6,877	2,10
schip 3	2,998	1,6143	0,825	3,805	3,219	7,024	2,14
schip 4	2,907	1,782	0,825	3,868	3,354	7,158	2,18
schip 5	2,409	2,1795	0,844	3,872	2,934	6,806	2,08

Tabel 6.2. UKCa op de approach channel voor T = 6s; Hs = 3,1m

T = 7s Hs = 2,25 m	UKCw [ft]	UKCs [ft]	correctie- factor	$\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft]	squat [ft]	Totaal [ft]	Totaal [m]
schip 1	3,826	1,6143	0,827	4,499	2,716	7,215	2,20
schip 2	4,063	1,6143	0,828	4,701	2,991	7,692	2,35
schip 3	4,098	1,6143	0,827	4,724	3,142	7,866	2,40
schip 4	3,519	1,782	0,825	4,373	3,308	7,681	2,34
schip 5	2,859	2,1795	0,833	4,197	2,926	7,123	2,17

Tabel 6.3 UKCa op de approach channel voor T = 7s; Hs = 2,25m

T = 7s Hs = 3,1 m	UKCw [ft]	UKCs [ft]	correctie- factor	$\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft]	squat [ft]	Totaal [ft]	Totaal [m]
schip 1	6,368	1,6143	0,854	6,817	2,605	9,422	2,87
schip 2	6,004	1,6143	0,850	6,475	2,879	9,354	2,85
schip 3	5,883	1,6143	0,848	6,357	3,040	9,397	2,87
schip 4	5,701	1,782	0,844	6,315	3,200	9,515	2,90
schip 5	3,863	2,1795	0,826	4,991	2,886	7,878	2,40

Tabel 6.4. UKCa op de approach channel voor T = 7s; Hs = 3,1m

T = 8s Hs = 2,25 m	UKCw [ft]	UKCs [ft]	correctie- factor	$\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft]	squat [ft]	Totaal [ft]	Totaal [m]
schip 1	8,421	1,6143	0,872	8,751	2,461	11,212	3,42
schip 2	8,340	1,6143	0,872	8,680	2,688	11,368	3,47
schip 3	8,295	1,6143	0,870	8,621	2,789	11,410	3,48
schip 4	6,836	1,782	0,866	7,463	2,954	10,417	3,18
schip 5	5,652	2,1795	0,846	6,625	2,795	9,420	2,87

Tabel 6.5. UKCa op de approach channel voor T = 8s; Hs = 2,25m

T = 8s Hs = 3,1 m	UKCw [ft]	UKCs [ft]	correctie- factor	$\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft]	squat [ft]	Totaal [ft]	Totaal [m]
schip 1	12,398	1,6143	0,895	12,541	2,360	14,901	4,54
schip 2	12,155	1,6143	0,895	12,324	2,486	14,810	4,52
schip 3	12,034	1,6143	0,895	12,215	2,613	14,828	4,52
schip 4	11,669	1,782	0,888	11,944	2,746	14,690	4,48
schip 5	8,372	2,1795	0,854	9,011	2,651	11,662	3,56

Tabel 6.6. UKCa op de approach channel voor T = 8s; Hs = 3,1m

In de tabellen 6.1 t/m 6.6 staan de resultaten vermeld voor verschillende omstandigheden. De tabellen geven de UKCa voor de ongunstigste situatie, d.w.z. dat de golven dwars op het schip staan of schuin van achter komen. Bij golven uit andere richtingen is de respons lager. Omdat de golfrichting niet geregistreerd wordt moet er wel rekening gehouden worden met golven uit de ongunstigste richting. Dit nadeel wordt groter als de golfperiode langer wordt. Dan kan de respons op golven uit de nadeligste richting (vaak dwars op het schip) zo'n 35 % groter zijn dan de respons op golven uit een andere richting. Dit kan bij hele hoge golven een verschil in golfrespons geven van meer dan een meter.

Meer dan de helft van de UKCa wordt, bij hoge golven, bepaald door de golfrespons. De golfrespons neemt lineair toe met de golfhoogte. Hierbij heeft de golfperiode een erg grote invloed op de UKCa. Bij een grotere golfperiode is de responsfactor veel hoger. Bij golven met een periode van acht seconden is de golfrespons ontzettend veel toegenomen ten opzichte van golven met een periode van zeven seconde. Gelukkig komen golven met een periode van meer dan zeven seconde, met willekeurige golfhoogte, slechts ongeveer 6% van de tijd voor.

Ook de diepte/diepgang-verhouding (H/D) heeft een niet onbelangrijke rol. Bij grotere H/D reageert het schip heftiger op de golven. Dit werkt in het voordeel van schepen met grote diepgang, zoals ook te zien is bij schip 5, dat een relatief kleinere H/D heeft. Dit schip, met een diepgang van 23m, heeft een duidelijk lagere golfrespons dan de kleinere schepen. De golfrespons wordt gedempt door de nabije bodem.

De squat heeft, zeker bij hoge snelheden, ook een behoorlijk aandeel in de verticale verplaatsingen van de schepen. Bij hoge snelheden wordt de squat heel snel hoger. In Tabel 6.7 en 6.8 is te zien dat een snelheidsverlaging van 5 m/s naar 4 m/s al snel een verminderde underkeel clearance van 0,30 m oplevert. Verder geldt dat de squat, in tegenstelling tot de golfrespons, toeneemt als de H/D afneemt.

V = 5 m/s	Hs = 2,25 m	Hs = 3,1 m	Hs = 2,25m	Hs = 3,1m	Hs = 2,25m	Hs = 3,1
	T = 6s	T = 6s	T = 7s	T = 7s	T = 8s	T = 8s
Schip 1	1,82	2,03	2,20 m	2,87 m	3,42	4,54
Schip 2	1,90	2,10	2,35 m	2,85 m	3,47	4,52
Schip 3	1,94	2,14	2,40 m	2,87 m	3,48	4,52
Schip 4	2,02	2,18	2,34 m	2,90 m	3,18	4,48
Schip 5	1,94	2,08	2,17 m	2,40 m	2,87	3,56

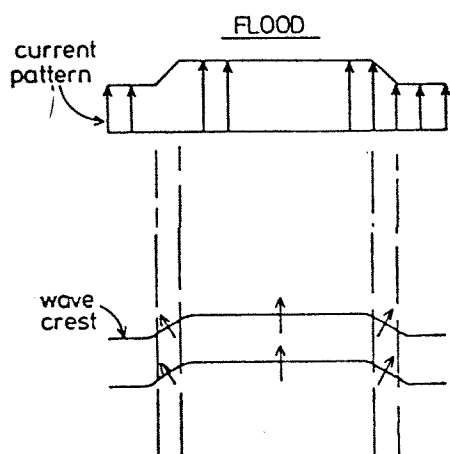
Tabel 6.7. UKCa op de approach channel bij 5 m/s

$v = 4 \text{ m/s}$	$H_s = 2,25 \text{ m}$	$H_s = 3,1 \text{ m}$	$H_s = 2,25 \text{ m}$	$H_s = 3,1 \text{ m}$	$H_s = 2,25 \text{ m}$	$H_s = 3,1 \text{ m}$
	$T = 6 \text{ s}$	$T = 6 \text{ s}$	$T = 7 \text{ s}$	$T = 7 \text{ s}$	$T = 8 \text{ s}$	$T = 8 \text{ s}$
Schip 1	1,51	1,73	1,91 m	2,58 m	3,12	4,09
Schip 2	1,56	1,76	2,03 m	2,53 m	3,17	4,06
Schip 3	1,57	1,79	2,08 m	2,53 m	3,13	3,98
Schip 4	1,64	1,79	1,99 m	2,54 m	2,82	4,07
Schip 5	1,62	1,78	1,85 m	2,08 m	2,55	3,26

Tabel 6.8 UKC_A op de approach channel bij 4 m/s

6.2 Totale resultaten river channel

Op de river channel zijn lagere golven dan op de approach channel. Er is dus ook een lagere golfrespons. De meeste golven worden tegengehouden door de golfbrekers (North Gare breakwater en South Gare breakwater). Deze golfbrekers liggen wel ver uit elkaar (ruim 1200m), waardoor er wel enige golfdoordringing kan optreden. Verder is het zo dat de combinatie met vloed (getijstrooming de river channel in) en golven er voor zorgt dat de stroming in de geul groter is dan erbuiten. De golven en de golfenergie worden afgebogen naar de oevers, zie figuur 6.1. Met vloed komen de golven dus zo niet ver de river channel op.



Figuur 6.1. Deflectie van golven in een geul met vloedstroom

Golven uit de richting 330° tot 30° zullen dus wel het eerste stuk van de river channel binnen dringen, maar niet al te diep. Hoe vaak golven uit deze richting voorkomen is onbekend, omdat de golfrichting niet geregistreerd wordt. Uit gegevens van de British Maritime Technology Limited [ref. 4] blijkt dat golven uit deze richting ongeveer 18% van de tijd voorkomen. Op het eerste stuk kunnen, naar schatting, golven voorkomen met een significante golfhoogte van maximaal 1,20 m. Dit zal alleen voorkomen bij zeer hoge golven op zee in de richting van de vaargeul.

Eventueel andere golven, die kunnen voorkomen op de river channel, zijn windgolven die opgewekt worden bij een westen wind. De North Gare (zie kaart in bijlage I) is een stuk land dat met hoog water onder water staat. Over een afstand van ongeveer twee kilometer kunnen hier windgolven opgewekt worden. Deze golven zullen niet hoger worden dan 0,60 m en hebben een korte periode van dan vijf seconde.

Ook op de river channel geldt de vergelijking voor de benodigde underkeel clearance:

$$UKC_A = \Sigma (UKC_S + UKC_W)_{stat} + UKC_{squat}$$

UKC_S = bijdrage aan de benodigde underkeel clearance door de variantie van de factoren (zie ook bijlage II)

UKC_{squat} = bijdrage aan de benodigde underkeel clearance door squat.

UKC_A = totale benodigde underkeel clearance.

De resultaten voor de verschillende golfhoogtes en golfperiodes zijn vermeld in de tabellen 6.9 t/m 6.12.

geen golven	UKCs [ft]	squat [ft]	Totaal [ft]	Totaal [m]
schip 1	1,3586	0,750	2,109	0,64
schip 2	1,3586	0,837	2,196	0,67
schip 3	1,3586	0,868	2,227	0,68
schip 4	1,5010	0,873	2,374	0,72
schip 5	1,7358	0,854	2,609	0,80

Tabel 6.9. UKCa op de river channel zonder golven

T = 6s Hs = 0,60 m	UKCw [ft]	UKCs [ft]	correctie-factor	$\Sigma(UKCs + UKCw)$ [ft]	squat [ft]	Totaal [ft]	Totaal [m]
schip 1	0,420	1,3586	0,93	1,655	0,742	2,397	0,73
schip 2	0,396	1,3586	0,935	1,641	0,828	2,469	0,75
schip 3	0,388	1,3586	,935	1,633	0,859	2,492	0,76
schip 4	0,352	1,5010	0,94	1,741	0,866	2,601	0,79
schip 5	0,267	1,7358	0,96	1,922	0,846	2,768	0,84

Tabel 6.10. UKCa op de river channel voor T = 6s; Hs = 0,60m

T = 6s Hs = 1,20 m	UKCw [ft]	UKCs [ft]	correctie-factor	$\Sigma(UKCs + UKCw)$ [ft]	squat [ft]	Totaal [ft]	Totaal [m]
schip 1	0,841	1,3586	0,876	1,927	0,740	2,667	0,81
schip 2	0,792	1,3586	0,878	1,889	0,827	2,716	0,83
schip 3	0,776	1,3586	0,878	1,874	0,857	2,731	0,83
schip 4	0,703	1,5010	0,904	1,993	0,863	2,856	0,87
schip 5	0,534	1,7358	0,946	2,147	0,844	2,991	0,91

Tabel 6.11. UKCa op de river channel voor T = 6s; Hs = 1,20m

T = 7s Hs = 1,20 m	UKC _w [ft]	UKCs [ft]	correctie- factor	$\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKC}_w)$ [ft]	squat [ft]	Totaal [ft]	Totaal [m]
schip 1	1,319	1,3586	0,847	2,268	0,739	3,007	0,92
schip 2	1,243	1,3586	0,852	2,217	0,824	3,041	0,93
schip 3	1,218	1,3586	0,855	2,203	0,855	3,058	0,93
schip 4	1,104	1,5010	0,868	2,261	0,861	3,122	0,95
schip 5	0,884	1,7358	0,895	2,345	0,846	3,191	0,97

Tabel 6.12. UKCa op de river channel voor T = 7s; Hs = 1,20m

De benodigde underkeel clearance op de river channel is veel lager dan op de approach channel. Dit heeft meerdere redenen. De eerste is dat de snelheid lager is en daardoor de squat. De tweede is dat de golven op de river channel lager zijn, waardoor de golfrespons lager is. De hoge golven, die mogelijk tussen de golfbrekers door komen, komen recht of schuin van achter en staan dus niet dwars op het schip. Dit levert minder hinderlijke bewegingen op.

Hoe lager de golven zijn, hoe groter het relatieve aandeel van de squat en de varianties van de stabiele factoren. De squat is maximaal 0,23 tot 0,26 m. Voor de verschillende scheepsafmetingen is er nauwelijks verschil. De UKCs (Underkeel clearance voor stabiele factoren) neemt wel degelijk toe als het schip groter wordt. Het is voornamelijk de diepgang die bepalend is voor het verschil in de UKCs.

6.3 Totale resultaten ligplaats

Bij de ligplaats komen bijna geen golven voor. Er wordt vanuit gegaan dat de maximaal optredende significante golfhoogte 0,3m (1,0 ft) is. De maatgevende situatie bij de ligplaats is laagwater. Dit in tegenstelling tot de dieptebepaling van de geul, waar de schepen met hoog water binnenvaren. De ligplaats ligt goed beschermt. De windgolven die eventueel door wind over de North Gare Sands zouden kunnen worden opgewekt worden bij laag water tegengehouden door de trainingwall. De ligplaats ligt ruim twee kilometer stroomopwaarts op de rivier, dus van zee kunnen er geen golven meer doordringen. De schatting van een golfhoogte van maximaal 0,30m is erg ruim. In praktijk zullen er nauwelijks golven voorkomen. Het effect van deze lage en korte golven op de gemeerde schepen is overigens ook zeer gering.

Verder wordt er vanuit gegaan dat het schip ongeveer 8 dagen op de ligplaats ligt. De resultaten zijn dan als volgt:

Schip	UKC _s [m]	UKC _w [m]	UKC _{beamcurrent} [m]	squat	UKC _A [m]	benodigde diepte [m]
1	0,255	0,036	0,1056		0,39	17,40
2	0,255	0,036	0,1056		0,39	17,40
3	0,255	0,035	0,1056		0,39	17,40
4	0,266	0,034	0,1051		0,40	19,20
5	0,289	0,031	0,0951		0,41	23,41

Tabel 6.13. Underkeel clearance en benodigde diepte op de ligplaats.

Overigens verschilt de benodigde diepte in de situatie met één-voet hoge golven vrijwel niet van de benodigde diepte in een situatie zonder golven. De marge voor golfrespons (wave allowance) bedraagt voor stilliggende schepen bij deze lage golven slechts ongeveer 3,5cm.

Als het schip langer of korter blijft liggen zal dat een te verwaarlozen extra UKC vereisen van ten hoogste één centimeter. Dit effect is dus minimaal.
De grootste bijdrage aan de vereiste underkeel clearance wordt duidelijk gegeven door de variantie van de stabiele factoren, UKC_s .

7. Toelatingsbeleid

Het huidige toegangsbeleid voor Tees Port is als volgt: de vereiste UKC op approach channel is 2,3 m. Op river channel is de vereiste UKC 0,9 m.

Bij schepen met een diepgang van 17 m is dus resp. 19,3m en 17,9 m diepte nodig. Dat vereist een minimale getijhoogte van CD + 4,8m. Deze getijhoogte heeft een overschrijdingskans van 63,93 % van het aantal hoogwaters. Erg veel speling is er niet voor het toelaten van schepen met een diepgang groter dan 17,0 m. Bijvoorbeeld een schip met een diepgang van 17,5m (dus een halve meter meer) kan, bij dezelfde UKC eis, slechts in 23,48% van de hoogwaters binnenvaren. Dit zal wel erg vaak lange wachttijden opleveren, en is dus geen aantrekkelijke situatie.

Momenteel is het zo dat de schepen toch al regelmatig moeten wachten. Er is geen geregeld binnenvaar patroon.

Om grotere schepen te kunnen toelaten moeten er dus veranderingen komen in het toelatingsbeleid en/of de geuldiepte. Het toelatingsbeleid kan scherper gesteld worden, waardoor er enigszins winst geboekt kan worden. De grote ruimtemarge zal echter van een vaargeul verdieping moeten komen.

Het stellen van slechts één vereiste UKC-waarde beperkt de toelating zeer. Om knappere marges te creëren en zo een ruimer toelatingsbeleid is het aan te raden om voor verschillende weersomstandigheden ook verschillende vereiste UKC-waarden aan te houden. Dit moeten er echter niet te veel worden om het beleid niet te ingewikkeld te maken. Dit zou slechts fouten kunnen veroorzaken en eventueel ongelukken/incidenten.

Alleen golfhoogte en golfperiode worden geregistreerd. Op basis van die gegevens moet dus het toelatingsbeleid worden gebaseerd. Golfrichting speelt ook een grote rol bij de UKC bepaling maar daar kan dus niets mee gedaan worden. Dit heeft als negatief effect op het toelatingsbeleid dat er altijd met de ongunstigste golfrichting, en bijbehorende golfrespons, rekening gehouden moet worden. Voor de toekomst is het aan te raden om golfrichtingsboeien neer te leggen.

Er wordt als uitgangspunt genomen dat de schepen toch in minimaal 60% van de gevallen bij hoogwater kunnen binnenlopen. Een getijhoogte hoger dan 4,90m komt in 56,15% van de gevallen voor, hoger dan 4,8m in 63,93% van de tijd.

7.1 Toelating op de approach channel

Omdat de golfhoogte en -richting een erg grote invloed hebben op de UKCa in de approach channel wordt er voor gekozen om een toegangsbeleid op te stellen met verschillende UKC eisen voor verschillende weersomstandigheden.

Hieronder worden verschillende golfomstandigheden gegeven, met de daarbij vereiste UKC en het percentage onderschrijdingen van de golfomstandigheden. Met onderschrijding wordt hier bedoeld de tijd dat de golven lager zijn dan de genoemde hoogte en/of dat de golfperiode korter is dan de genoemde periode. Het idee hierachter is dat in de tijd dat de waarden onderschreden worden de golfrespons, en daarmee ook de UKCa, kleiner of gelijk is aan de in de tabel genoemde grenswaarde.

	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4
Diepgang [m]	T=6s; Hs=2,25m T=7s; Hs=1,20m	T=6s; Hs=3,1m T=7s; Hs=1,80m T=8s; Hs=0,9m	T=6s; Hs=3,1m T=7s; Hs=2,25m T=8s; Hs=1,20m	T=6s; Hs>3,1m T=7s; Hs=3,1m T=8s; Hs=1,80m
	UKC			
17,0	1,94	2,14	2,40	2,87
18,8	2,02	2,18	2,34	2,90
23,0	1,94	2,08	2,17	2,40
	85,85% onderschrijding	88,98%	91,67%	95,64%

Tabel 1. Kans op onderschrijding van bepaalde golfvelden

In tabel 7.1 is te zien dat de hogere golven en lange perioden grote invloed hebben op de UKC, maar dat ze weinig voorkomen. Het ligt voor de hand om te kiezen voor een niet te extreme situatie als basisuitgangspunt, bijvoorbeeld optie 1. De UKC is dan niet te hoog, terwijl de kans dat de betreffende golfsituatie, of een gunstigere situatie, optreedt relatief groot is (85,85%). Afhankelijk van de diepgang van het toe te laten schip is de UKCa dan 1,94m of 2,02m. Als er golven voorkomen, zoals bijvoorbeeld in optie 2 of 3, kan er besloten worden om een hogere, bijbehorende UKC te eisen. De kans dat het schip kan binnenvaren is dan wel lager, maar de situatie, dat een hogere underkeel clearance wordt vereist zal zich ook niet vaak voordoen.

Er wordt voorgesteld om de underkeel clearance te kiezen die bij optie 1 hoort. Het resultaat is dan:

D [m]	UKC _A [m]
17,0	1,95
18,8	2,05
23,0	1,95

Tabel 7.2. Voorgestelde UKC_A voor de approach channel

7.2 Toelating op de river channel

Aangezien de golfhoogtes die op de river channel optreden niet al te hoog zullen zijn, zijn de UKC eisen ook niet hoog. In tabel 8.3 is te zien wat de UKC is voor verschillende golfhoogtes.

v = 2,5 m/s	Hs = 1,20 m	Hs = 1,20 m	Hs = 0,60 m
	T = 7s	T = 6s	T = 6s
D			
17,0 m	0,93 m	0,83 m	0,76 m
18,8 m	0,95 m	0,87 m	0,79 m
23,0 m	0,97 m	0,91 m	0,84 m

tabel 7.3. UKC_A op de river channel

De verwachting is dat de golven niet hoger zijn dan 0,60m. Mochten de optredende golven in de river channel toch veel hoger zijn dan 0,60 m, dan is het verstandig om een grotere UKC te eisen. Die UKC moet dan ongeveer 0,10 tot 0,20 m hoger zijn dan de voorgestelde UKC. Er wordt echter vanuit gegaan dat dat niet nodig zal zijn.

Afhankelijk van de maximale scheepsafmetingen wordt voorgesteld om de volgende underkeel clearance te eisen:

D	UKC _A
17,0 m	0,75 m
18,8 m	0,80 m
23,0 m	0,85 m

Tabel 7.4. Voorgestelde UKCa voor de river channel

8. Keuze vaarwegdiepte

De benodigde diepgang hangt samen met het toelatingsbeleid. Bij Tees Port is er geen regelmatig of gepland aankomstpatroon. Het komt dus vaak voor dat schepen buitengaats voor anker moeten. Dit is geen prettige situatie, want het kost geld om de schepen te laten wachten. Er wordt wel van uit gegaan dat een eventuele wachttijd voor de grote schepen, binnen zekere marges, aanvaardbaar is. Er wordt als uitgangspunt genomen dat de schepen minimaal 60 à 65 % van de tijd bij hoog water kunnen binnenvaren. Dat is de waarde die momenteel ook ongeveer geldt.

8.1 Geuldiepte op de approach channel

De bepaling van de benodigde UKC staat in hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 is het toelatingsbeleid behandeld. Op grond van de verkregen resultaten kan een gewenste veilige diepte van de toegangsegeul bepaald worden.

De mogelijke UKC eisen onder verschillende omstandigheden staan hieronder nogmaals vermeld. Daarna wordt voor verschillende opties de kans gegeven dat het schip kan binnenvaren. De geuldiepte is zodanig gekozen dat de schepen vaak genoeg kunnen binnenvaren. Voor de diepte voor ontvangst van schepen met een diepgang tot 17 m is de huidige veilige diepte (14,5 m) van de approach channel aangehouden. De andere dieptes zijn zo gekozen dat de mogelijkheid tot binnenvaren van de maatgevende schepen ongeveer even groot zijn.

	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4
Diepgang [m]	T=6s; Hs=2,25m T=7s; Hs=1,20m	T=6s; Hs=3,1m T=7s; Hs=1,80m T=8s; Hs=0,9m	T=6s; Hs=3,1m T=7s; Hs=2,25m T=8s; Hs=1,20m	T=6s; Hs>3,1m T=7s; Hs=3,1m T=8s; Hs=1,80m
	UKC			
17,0	1,94	2,14	2,40	2,87
18,8	2,02	2,18	2,34	2,90
23,0	1,94	2,08	2,17	2,40
	85,85% onderschrijding	88,98%	91,67%	95,64%

Tabel 8.1. UKCa bij verschillende golfvelden, met onderschrijdingskansen van de golfvelden

Diepgang [m]	vereiste UKC bij optie 1 [m]	onderschrijdingskansen optie 1	voorgestelde geuldiepte [m]	benodigde getijhoogte [m]	overschrijdingskansen getijhoogte	kans op voldoende diepte
17,0	1,95	85,85 %	CD - 14,5 ¹	CD + 4,45	87%	75%
18,8	2,05	85,85 %	CD - 16,4	CD + 4,45	87%	75%
23,0	1,95	85,85 %	CD - 20,5	CD + 4,45	87%	75%

Tabel 8.2. Kans op voldoende vaardiepte bij optie 1 golven en voorgestelde geuldiepte.

¹ De huidige veilige diepte is 14,5 m op de approach channel. Bij toepassing van de met Kimon berekende UKC is de kans op binnenvaren zo'n 10% groter dan met de huidige UKC

Diepgang [m]	vereiste UKC bij optie 2 [m]	onderschrijdingskans optie 2	voorgestelde geuldiepte [m]	benodigde getijhoogte [m]	overschrijdingskans getijhoogte	kans op voldoende diepte	cumulatieve kans bij 2 UKC eisen
17,0	2,15	88,98%	CD - 14,5	CD + 4,65	74,5%	66%	77%
18,8	2,20	88,98%	CD - 16,4	CD + 4,60	77,8%	69%	77%
23,0	2,10	88,98%	CD - 20,5	CD + 4,60	77,8%	69%	77%

Tabel 8.3. Kans op voldoende vaardiepte bij optie 2 golven en voorgestelde geuldiepte.

Diepgang [m]	vereiste UKC bij optie 3 [m]	onderschrijdingskans optie 3	voorgestelde geuldiepte [m]	benodigde getijhoogte [m]	overschrijdingskans getijhoogte	kans op voldoende diepte	cumulatieve kans bij 3 UKC eisen
17,0	2,40	91,67%	CD - 14,5	CD + 4,90	56%	51%	78%
18,8	2,35	91,67%	CD - 16,4	CD + 4,75	67%	61%	79%
23,0	2,20	91,67%	CD - 20,5	CD + 4,70	71%	65%	79%

Tabel 8.4. Kans op voldoende vaardiepte bij optie 3 golven en voorgestelde geuldiepte

Zoals te zien is in bovenstaande tabellen is het weinig lonend om naast de lage UKC eis van optie 1, ook nog de hogere eis van een van de andere opties te gebruiken. De kans dat een schip kan binnenvaren neemt nauwelijks toe. Het is dus verstandig om uit te gaan van de UKC eis van optie 1 en vervolgens een geuldiepte te kiezen die een voldoende grote kans op passage biedt. Deze kans op passage is in de huidige situatie 60 à 65%, en dat wordt voor de toekomstige scenario's aangehouden. Dit levert dan de volgende eis voor de veilige geuldiepte op:

Diepgang [m]	vereiste UKC bij optie 1 [m]	onderschrijdingskans optie 1	voorgesteld geuldiepte [m]	benodigde getijhoogte [m]	overschrijdingskans getijhoogte	kans op voldoende diepte
17,0	1,95	85,85 %	CD - 14,3	CD + 4,65	74,5%	64%
18,8	2,05	85,85 %	CD - 16,2	CD + 4,65	74,5%	64%
23,0	1,95	85,85 %	CD - 20,3	CD + 4,65	74,5%	64%

Tabel 8.5. Benodigde geuldiepte met binnenvaarkans voor maatgevende schepen

De vereiste keel clearance wordt genomen ten opzichte van de veilige diepte. De andere waarden voor tolerante diepte en nominale diepte worden dan:

D [m]	nominale diepte	tolerantie diepte	veilige diepte
17,0	CD - 15,2 m	CD - 14,5 m	CD - 14,3 m
18,8	CD - 17,1 m	CD - 16,8 m	CD - 16,2 m
23,0	CD - 21,2 m	CD - 20,5 m	CD - 20,3 m

Tabel 8.6 Diepte van de approach channel

8.2 Geuldiepte op de river channel

Op de river channel is de benodigde underkeel clearance onder normale omstandigheden niet groter dan 0,80 of 0,85 m. Dit geldt voor zowel de schepen met een diepgang van 17,0 m of 18,8 m, respectievelijk een diepgang van 23 m (zie hoofdstuk 7). Bij grote onzekerheid kan eventueel een underkeel clearance van maximaal 1,0 m geëist worden. De kans dat een schip kan binnenvaren bij een dergelijke hoge UKC eis is dan wel een stuk lager, maar de eis zal niet vaak gesteld worden.

De approach channel en de river channel moeten dezelfde getijhoogte als uitgangspunt hebben. De kans op passage van de river channel moet aansluiten bij dekans op passage van de approach channel.

De mogelijke passage van de river channel is bij de gestelde UKC eis alleen afhankelijk van de getijhoogte.

	D [m]	vereiste UKC bij Hs = 0,60 m	voorgestelde geuldiepte [m]	benodigde getijhoogte [m]	overschrijdingskans [%] (= passagekans)
schip 1	17	0,75 m	CD - 13,1	CD + 4,65	74,5 %
schip 2	17	0,75 m	CD - 13,1	CD + 4,65	74,5%
schip 3	17	0,75 m	CD - 13,1	CD + 4,65	74,5%
schip 4	18,8	0,80 m	CD - 15,0	CD + 4,60	77,79%
schip 5	23	0,85 m	CD - 19,2	CD + 4,65	74,5%

Tabel 8.7. Voorgestelde geuldiepte met getijhoogte benodigd voor binnenvaart

De overschrijdingskans van de getijhoogtes in de tabel is gelijk aan de kans op passage bij die optredende getijhoogte.

De onderschrijdingskans in tabel 8.7 zegt niet direct iets over de kans dat een schip ook echt de river channel opvaart. De passage van de approach channel is de beperkende factor. Wel is zeker dat, bij de gekozen geuldieptes, het schip de river channel kan passeren als het ook de approach channel kan passeren.

Hieronder, in tabel 8.8 worden nog effecten vermeld van een verhoogde UKC bij constant gebleven geuldiepte.

	D [m]	UKC (Hs=1,2m)	voorgestelde geuldiepte [m]	benodigde getijhoogte [m]	overschrijdingskan s bij hoge UKC
schip 1	17	0,93 m	CD - 13,1	CD + 4,83	61%
schip 2	17	0,93 m	CD - 13,1	CD + 4,83	61%
schip 3	17	0,93 m	CD - 13,1	CD + 4,83	61%
schip 4	18,8	0,95 m	CD - 15,0	CD + 4,75	68%
schip 5	23	0,97 m	CD - 19,2	CD + 4,77	66%

Tabel 8.8. Voorgestelde geuldiepte met benodigde getijhoogte voor hogere UKC eis

Te zien is dat bij een hogere UKC eis de kans op binnenvaren flink is afgenomen, maar nog steeds acceptabel hoog is. Daarbij is het hoogst waarschijnlijk dat als er een keer extreem hoge golven op de river channel optreden, de golven op de approach channel ook dusdanig hoog zijn dat de grootste schepen zo-wie-zo niet kunnen binnenvaren. Het voorbeeld dient dan ook meer als illustratie van de gevolgen van veranderde eisen.

Bij de keuze van de vaarwegdiepte wordt uitgegaan van een optredende golfhoogte van 0,60m. De daarbij behorende voorgestelde geuldiepte staat in tabel 8.7. Deze diepte is de

veilige diepte, want de underkeel clearance wordt bepaald ten opzichte van de veilige diepte. De andere waarden voor tolerantie diepte en gebaggerde diepte worden dan:

D [m]	gebaggerde diepte	tolerantie diepte	veilige diepte
17,0	CD - 14,1 m	CD - 13,3m	CD - 13,1 m
18,8	CD - 16,0 m	CD - 15,2 m	CD - 15,0 m
23,0	CD - 20,2 m	CD - 19,4 m	CD - 19,2 m

Tabel 8.9 Diepte van de river channel

8.3 Bodemdiepte bij de ligplaats

De schepen liggen enkele dagen op de ligplaats. Dat betekent dat ze ook met laag water (Hoog Laag Water én Laag Laag Water) in de box liggen en niet de bodem mogen raken. De laagste waterstand die kan optreden is CD +0.0 m. Vaak is laagwater echter hoger dan CD. Verder komen de schepen geladen aan en vertrekken ze geheel of gedeeltelijk gelost.

Zodra een schip aangemeerd is kan het lossen beginnen. De diepgang neemt dan natuurlijk af. Als maatgevende waterstand zou dus het eerste laagwater na binnenkomst van het schip genomen kunnen worden. Dit heeft echter als nadeel dat er voor schepen onzekerheid bestaat of ze wel kunnen aanleggen, terwijl ze wel kunnen binnenvaren. Ook is het lastig van te voren te bepalen wat de diepgang van het schip gaat zijn, waarmee dan rekening gehouden moet worden. Er kunnen ook problemen ontstaan als er nog niet meteen met lossen kan beginnen. Het is verstandiger om er vanuit te gaan dat alle schepen die aankomen altijd moeten kunnen aanleggen. Dan is het laagste laagwater dat kan optreden, CD +0,0m, maatgevend. Hierbij is de benodigde diepte voor de ligplaats dus $CD + 0,0m + \text{diepgang} + \text{Maximale UKC}$. Voor de door de THPA voorgestelde schepen geldt dan:

	D [m]	LLW	UKC _A [m]	Benodigde diepte
schip 1	17	CD + 0,0m	0,39	CD - 17,39 m
schip 2	17	CD + 0,0m	0,39	CD - 17,39 m
schip 3	17	CD + 0,0m	0,39	CD - 17,39 m
schip 4	18,8	CD + 0,0m	0,40	CD - 19,20 m
schip 5	23	CD + 0,0m	0,41	CD - 23,41 m

Tabel 8.10. Benodigde diepte van de ligplaats

Bij deze diepte kunnen de schepen dus altijd aanleggen. Bij de ligplaats is de benodigde diepte de tolerantie diepte. Er is geen veilige diepte, omdat er geen rekening hoeft te worden gehouden met afwijking in het voorspelde getij of met een getijvenster. Wel moet er rekening worden gehouden met variatie in de gebaggerde diepte. De diepte worden als volgt:

D [m]	nominale diepte	tolerantie diepte
17.0	CD - 18.2 m	CD - 17,40 m
18.8	CD - 20.0 m	CD - 19,20 m
23.0	CD - 24.20 m	CD - 23,40 m

Tabel 8.11 Gewenste diepte op de ligplaats

9. Commentaar op de methode

Uit de berekeningen is duidelijk geworden dat de vereiste UKC, met name op de approach channel, sterk afhankelijk is van de golfrespons. Enig afwijkend gedrag van schepen hierop kan dus grote veranderingen in de eisen bewerkstelligen. De in theorie verkregen getallen zouden in de praktijk getest moeten worden. Bij grote afwijkingen is het dan sterk aan te raden om de theorie aan te passen. Dit kan dan bijvoorbeeld door een constante coëfficiënt k_2 te plaatsen voor de golfrespons. Aangezien de UKC, die momenteel door de havenautoriteiten van Tees & Hartlepool Port wordt vereist niet al te veel afwijkt van de in dit verslag berekende UKC-waarde, lijkt de hier gebruikte methode de werkelijkheid wel goed te benaderen.

Een nadeel is momenteel dat er geen golfrichtingen worden gemeten. De kans op golven uit gunstige of ongunstige richting zou dan ook in de berekening verwerkt kunnen worden en zou er een lagere UKC uit kunnen komen. Nu wordt uitgegaan van de ongunstigste golfrichting, met bijbehorende UKC en raakkans. Dat is dus waarschijnlijk een te ruime UKC, wat onbevredigend is als het doel is om de benodigde diepte te optimaliseren. Het is aan te raden in de toekomst golfrichtingsboeien neer te leggen.

Een ander nadeel van de methode is dat de responscurves erg gevoelig zijn voor de golfperiode / roll of pitch periode. In de praktijk moet blijken of de aangenomen waarde voor de pitch of roll periode (10s) juist is. Bij afwijkende waarden zal de berekening dan opnieuw moeten worden gedaan.

Tenslotte moet niet vergeten worden dat de cijfers allemaal niet zo 'hard' zijn als ze lijken. De resultaten zijn verkregen uit een combinatie van laboratoriumtests en praktijkervaringen in bestaande havens. Ze vormen een beeld dat waar in specifieke plekken vanaf geweken kan worden.

Ervaring van loodsen en anderen kan kennis en informatie toevoegen over de bestaande situatie. Aan de andere kant kan de theorie een goede indicatie geven van een onbekende situatie.

De praktijk laat zien dat de berekende UKC-waarde behoorlijk goed overeenkomt met de waarde in de praktijk.

10. Deterministische onderkeel clearance berekening

Het doel van het maken van een nauwkeurige onderkeel clearance berekening is om de geuldiepte optimaal te kunnen ontwerpen. Het is nuttig om te weten of een nauwkeurige berekening wat oplevert. Dat wil zeggen of er ook een krappere onderkeel clearance berekend kan worden met een nauwkeurige methode, waardoor er kosten bespaard worden bij de uitvoering.

In dit hoofdstuk wordt daarom een berekening gedaan met een eenvoudige deterministische methode om de onderkeel clearance te bepalen. Het resultaat kan dan vergeleken worden met de resultaten van de semi-probabilistische methode, die eerder in dit verslag is uitgevoerd.

Met de deterministische methode wordt, volgens het PIANC [5], de benodigde geuldiepte geschat op de som van de volgende factoren:

- de diepgang van het schip
- getijhoogteverschil gedurende de passage
- squat
- scheepsbewegingen door golven
- een marge van 0,6m
- dichtheid van water en effecten daarvan op de diepgang

De onderkeel clearance is de som van bovengenoemde factoren minus de diepgang.

Verder moeten er nog enkele dingen gecontroleerd worden:

- Op beschut water mag de diepte/diepgang-verhouding niet kleiner zijn dan 1,1. Op open water is het minimaal 1,3 tot 1,5.
- Het Froude dieptegetal F_{nh} ($= V/\sqrt{gh}$) moet kleiner zijn dan 0,6 à 0,7

met: V = snelheid [m/s]

h = waterdiepte

g = zwaartekrachtsversnelling

De gegevens voor de toegangsgeul naar Tees Port zijn als volgt:

- De schepen waarvoor de berekening gedaan wordt hebben een diepgang van respectievelijk 17m, 18,8m en 23m.
- Gedurende de passage die plaats vindt tussen HW -1uur en HW is het getijvenster (bij een maximaal getijverschil van 6m) 0,4 m
- De squat wordt berekend met de formule van Huuska/Guliev (ICORELS). Zij luidt:

$$\text{Squat} = 2,4 * K_s * \nabla * F_{nh}^2 / (L_{pp}^2 * \sqrt{1-F_{nh}^2})$$

met: ∇ = displacement

$F_{nh} = v/\sqrt{gh}$, Froude diepte getal

L_{pp} = lengte van het schip tussen de loodlijnen

$K_s = 7.45 s_1 + 0.76$, voor $s_1 > 0.03$

$K_s = 1$, voor $s_1 \leq 0.03$

$s_1 = (A_s/A_{ch})/K_1$

K_1 = correctiefactor, zie figuur

A_s = midscheepse doorsnede ≈ 0.98 BT

A_{ch} = natte geuldoorsnede

- Op de approach channel wordt rekening gehouden met golven van $H_s = 2,25\text{m}$. Op de river channel komen geen golven voor.
- Er wordt rekening gehouden met een minimale waterdichtheid van 1010kg/m^3 en een maximale dichtheid van 1025kg/m^3 op de river channel

Bovenstaande gegevens leiden tot het volgende resultaat voor de underkeel clearance op de toegangsgeul naar Tees Port:

Diepgang schip	17m	18,8m	23m
getijmarge	0,4m	0,4m	0,4m
squat	1,0m	1,1m	0,9m
scheepsbeweging door golven	1,95m	1,35m	1,37m
veiligheidsmarge	0,6m	0,6m	0,6m
dichtheid water	0,25m	0,28m	0,34m
UKC	4,20m	3,73m	3,61m
waterdiepte	21,20m	22,53m	25,71m

Tabel 10.1. UKC met deterministische methode op de approach channel

Diepgang schip	17m	18,8m	23m
getijmarge	0,4m	0,4m	0,4m
squat	0,25m	0,25m	0,25m
scheepsbeweging door golven	0m	0m	0m
veiligheidsmarge	0,6m	0,6m	0,6m
dichtheid water	0,25m	0,28m	0,34m
UKC	1,5m	1,53m	1,59m
waterdiepte	18,50m	20,23m	24,59m

Tabel 10.2. UKC met deterministische methode op de river channel

De waarden die in tabel 10.1 en 10.2 staan zijn al veel hoger dan de waarden voor de UKC die met de semi-probabilistische methode zijn berekend. Dit wil zeggen dat het financieel zeker gunstig is om een nauwkeurige methode, zoals de semi-probabilistische methode van Kimon, toe te passen bij een underkeel clearance berekening.

De hierboven berekende underkeel clearance voldoet formeel nog niet aan alle eisen. Aan de eis met betrekking tot het Froude dieptegetal wordt wel voldaan. Maar de eis van een voldoende grote diepte/diepgang-verhouding wordt niet vervuld. Als aan de laatstgenoemde eis wordt voldaan moeten de waarden uit tabel 10.3 minimaal worden aangehouden.

Diepgang schip	17m	18,8m	23m
UKC op de river channel	1,7m	1,88m	2,3m
UKC op de approach channel	5,1m	5,64m	6,9m

Tabel 10.3. UKC met strikte deterministische methode

De waarden voor de underkeel clearance die volgen uit de diepte/diepgang eis zijn heel veel groter dan de deterministisch bepaalde waarden zonder die eis. Ze zijn veel groter dan de eerder berekende waarden, zonder dat er een aanwijsbare reden voor is. Hierdoor kan de geldigheid van de hoge eis sterk in twijfel getrokken worden. Zeker als de waarden vergeleken worden met de resultaten van de semi-probabilistische methode.

Er kan dan ook zeker aangeraden worden om een geavanceerdere rekenmethode toe te passen om de underkeel clearance te bepalen. Hiermee zullen veel kosten bespaard worden bij uitvoering en onderhoud.

11. Conclusies

Om schepen met een veel grotere diepgang dan 17,0 m toe te laten in Tees Port zal de vaargeul aangepast moeten worden. De eis voor underkeel clearance kan wel iets krappere gesteld worden dan nu gebeurt, maar erg veel wordt daar niet mee gewonnen. De benodigde underkeel clearance is voor grotere schepen niet per definitie groter.

Op de approach channel speelt de golfrespons een belangrijke rol. Kleinere, slankere schepen reageren heftiger op de golven dan grotere schepen. Grotere schepen varen in een kleinere relatieve diepte (geuldiepte/diepgang), waardoor ze minder bewegen in de golven. De nabije bodem dempt de bewegingen. Wel hebben kleinere en slankere schepen minder squat. Ook de variantie van de stabiele factoren is kleiner. Deze laatste twee factoren compenseren de hogere golfrespons gedeeltelijk. Het schip van 18,8 m lengte heeft de grootste benodigde UKC op de approach channel, van 2,05 m (tegen 1,95 m voor de andere schepen).

Op de river channel spelen golven een kleine rol. Hier zijn het voornamelijk de squat en de variantie door stabiele factoren die de UKC bepalen. Deze factoren nemen allebei toe voor toenemende scheepsafmetingen. De UKC is dan ook respectievelijk 0,75; 0,80 en 0,85m voor schepen met een respectievelijke diepgang van 17; 18,8 en 23m.

Op de ligplaats zijn de verschillen klein. Het resultaat is een vereiste UKC van ongeveer 0,40 m voor alle schepen.

De geuldieptes die nodig zijn, zijn afhankelijk van het toelatingsbeleid en van de getijhoogte. Het toelatingsbeleid heeft een kleine speling van enkele decimeters, afhankelijk van het weer. Deze speling is echter heel klein vergeleken bij een hoogwaterstand die een variatie heeft van 2,0m (tussen CD + 4,0m en CD + 6,0m). De kans op voldoende hoog water speelt dus een bepalende rol bij de bepaling van de mogelijkheid om binnen te varen.

De berekende underkeel clearance en de daaraan verbonden gewenste geuldiepte wijken bij een maximale scheepsdiepgang van 17m niet veel af van de momenteel voorkomende geuldiepte en vereiste UKC. Wel is de diepte van de ligplaats, die nu aanbevolen wordt voor schepen van 17m diep, veel groter (0,90m), dan de huidige diepte. De nu aanbevolen diepte voor de ligplaats kan ook minder worden als een hogere waterstand als maatgevend wordt aangenomen.

De resultaten die voor Tees Port zijn berekend komen behoorlijk overeen met de huidige praktijk. Dit moet het vertrouwen in de gebruikte methode ten goede komen wat betreft de resultaten voor de eventuele uitbreidingen.

Een underkeel clearance berekening met een deterministische benadering geeft veel hogere waarden dan de semiprobabilistische berekening. Dit laat zien dat een nauwkeurige rekenmethode kan leiden tot grote kostenbesparingen.

12. Aanbevelingen

De in dit verslag gebruikte methode van Kimon geeft resultaten die behoorlijk overeenkomen met de situatie in de praktijk. Dit garandeert niet helemaal dat de resultaten voor een nieuwe situatie even waarheidsgetrouw zijn. Om dit te controleren is het verstandig om het gedrag van grotere schepen in een diepere geul te testen in een real-time simulator of in de praktijk.

Ervaring over scheepsgedrag van loodsen, die met grotere schepen (dus groter dan de nu varende 17m diepe schepen) hebben gevaren kan aanvullende informatie en meer inzicht geven voor de praktijk.

Het plaatsen van een golfrichtingsboei is nuttig. Er kan dan met een lagere UKC gewerkt worden als de golfrichting gunstig is.

Het is misschien interessant om de nu berekende resultaten te vergelijken met de resultaten van een probabilistische methode. Het is echter moeilijk om voldoende gegevens te verzamelen voor de uitvoering van de berekening.

Literatuur

- [1] Witteveen + Bos, 1996. Large vessel studie - River Tees
- [2] P.M. Kimon, 1982. Underkeel Clearance in Ports. Ship-Transport symposium, Rotterdam
- [3] PIANC, 1997. Approach channels, a Guide for Design. Supplement to bulletin no. 95
- [4] British Maritime Technology Limited, 1986. Global wave statistics
- [5] PIANC, 1995. Approach channels, preliminary guidelines. Supplement to bulletin no. 87

Lijst van symbolen

B = breedte schip
CD = chart datum
D = diepgang
Hs = significante golfhoogte
k1 = constante voor de kans op bodemraken
LW = laag water
LWW =
Loa = scheepslengte over alles
Lpp = scheepslengte tussen de loodlijnen
S = standaard deviatie
 S_i^2 = variantie
T = gemiddelde golfperiode
 UKC_A = minimaal vereiste underkeel clearance
 UKC_S = bijdrage aan underkeel clearance van de varianties van de stabiele factoren
 UKC_w = bijdrage aan de underkeel clearance door golfrespons
v = snelheid schip
 θ = relatieve golfinvalshoek

Deel C

Sedimenttransport

Samenvatting

In voorgaande delen van dit afstudeerverslag wordt beschreven hoe de geul moet worden aangepast om grotere schepen te kunnen toelaten. Hieruit bleek dat de aanpassingen voornamelijk de geuldiepte betroffen. In dit deel wordt onderzocht wat de effecten zijn van de geulverdieping op de hoeveelheid sedimentatie in de vaargeul.

De geulafmetingen die onderzocht worden zijn de afmetingen die behoren bij schepen met een diepgang van respectievelijk 17m, 18,8m en 23m.

	approach channel		channel river	
D [m] schip	veilige diepte	gebaggerde diepte	veilige diepte	gebaggerde diepte
17,0	CD - 14,3 m	CD - 15,2 m	CD - 13,1 m	CD - 14,1 m
18,8	CD - 16,2 m	CD - 17,1 m	CD - 15,0 m	CD - 16,0 m
23,0	CD - 20,3 m	CD - 21,2 m	CD - 19,2 m	CD - 20,2 m

Tabel 1. gewenste geuldieptes voor diverse maatgevende schepen

Op de twee delen van de toegangsgeul, de approach channel en de river channel, werken verschillende sedimenttransport mechanismen (zie ook figuur 1.1).

1. De approach channel ligt tussen boei no. 3 en de Tees North/South boei. Dit is een gebaggerde geul in een ondiepere omgeving. De stroming trekt, met sediment, over de geul. Tijdens eb is de stroom noordwaarts gericht (ongeveer 330°) en tijdens vloed zuidwaarts (ongeveer 160°). Bij de geul verandert het stroombeeld en vindt sedimentatie en erosie plaats. Een klein deel van de tijd loopt de stroming parallel aan de geul, maar ook dan ontstaan er verschillen in sedimenttransport, wat resulteert in sedimentatie of erosie.
2. De river channel en zijn omgeving loopt tot ongeveer boei no. 5. De rivier mondt uit in een soort estuarium. Hier ontmoeten de rivier en de zee elkaar. De rivier heeft een kleine afvoer, die fijne sedimentdeeltjes bevat. De zee stroomt met vloed binnen en met eb naar buiten en neemt ook sediment mee. Het sediment, dat met vloed naar binnen komt zal voor het grootste gedeelte sedimenteren op de river channel.

De approach channel:

Als een stroming met sediment een gebaggerde geul nadert, wordt de stroomsnelheid en -richting veranderd door de geul. Hierdoor verandert ook de sedimentflux en vindt er erosie of sedimentatie plaats. Bij een gebaggerde geul is sedimentatie niet gewenst.

Om het sedimenttransport over een gebaggerde geul te berekenen heeft Bijker een eenvoudige transportformule bedacht. Met een eenvoudige berekening kan de hoeveelheid bodemtransport buiten de geul onder stroming en golven worden berekend. Vervolgens wordt daaruit de hoeveelheid zwevend transport bepaald. Op dezelfde manier wordt de hoeveelheid sedimenttransport boven de geul berekend. Het verschil tussen de totale hoeveelheid sedimenttransport buiten de geul en de hoeveelheid boven de geul is de hoeveelheid gesedimenteerde materiaal in de geul. Deze hoeveelheid sediment moet gebaggerd worden om de benodigd geuldiepte voor de scheepvaart te kunnen garanderen.

Van de huidige situatie zijn de hoeveelheden gebaggerd materiaal in de vaargeul bekend. De vaargeul is opgedeeld in secties ('charts') van ongeveer 1350m lang. De hoeveelheid gebaggerd materiaal is per sectie gegeven (zie bijlage I). De approach channel bestaat ongeveer uit de secties 11, 12 en gedeeltelijk 13 (zie overzicht van geulsecties).

	Sectie 11	Sectie 12	Sectie 13
[m3/jaar]	125.000	92.000	0

Tabel 2. Gemiddelde hoeveelheden gebaggerd materiaal per sectie in de huidige situatie op de approach channel

Met de methode van Bijker is voor de verschillende geulontwerpen de sedimentatie berekend over een heel jaar.

Hiertoe zijn verschillende golfhoogtes en periodes ingevoerd, bij de stroombeelden voor doodtij en springtij. De resultaten staan in de tabellen 3 t/m 5.

sectie 11	geuldiepte CD-15,2m	geuldiepte CD - 17,1m	geuldiepte CD -21,1m
percentage	100%	106%	141%
hoeveelheid per sectie [m3/jaar]	202.162	214.933	285.137

Tabel 3. Berekende hoeveelheid sedimentatie in sectie 11

sectie 12	geuldiepte CD-15,2m	geuldiepte CD - 17,1m	geuldiepte CD -21,1m
percentage	100%	147%	221%
hoeveelheid per sectie [m3/jaar]	146.067	215.286	323.047

Tabel 4. Berekende hoeveelheid sedimentatie in sectie 12

sectie 13	geuldiepte CD-15,2m	geuldiepte CD - 17,1m	geuldiepte CD -21,1m
hoeveelheid per sectie [m3/jaar]	-	-	123.847

Tabel 5. Berekende hoeveelheid sedimentatie in sectie 13

De berekende hoeveelheden voor de huidige situatie (geuldiepte op CD -15,2m) zijn ongeveer 1,6 keer groter dan de werkelijk gebaggerde hoeveelheden. Voor een sedimenttransport berekening is dat toch een aardige benadering. Er wordt vanuit gegaan dat de percentages van de sedimenttoename voor de verdiepte geulen wel behoorlijk nauwkeurig zijn. Daaruit blijkt duidelijk dat de hoeveelheid sediment in de geul bij geulverdieping zal toenemen. Zeker bij een geulverdieping van zes meter is de toename groot, namelijk meer dan 100%.

Deze toename voor het onderhoudsbaggerwerk zal extra kosten met zich meebrengen en ook hinder voor de scheepvaart. Dit zijn ongewenste effecten.

De river channel

De sedimentatie op de river channel kent twee oorzaken:

1. Sedimentaansvoer van de rivier. Door afnemende stroomsnelheid wordt het materiaal afgezet.
2. Sedimentaansvoer van zee. De vloedstroom neemt sediment mee de rivier op. Het grootste gedeelte daarvan krijgt de tijd om te bezinken.

Rivierafvoer:

De afvoer van de River Tees is klein. Toch is de hoeveelheid sediment die door rivier wordt meegenomen aanzienlijk. De hoeveelheid sedimenttransport, die de rivier nog bevat aan het begin van de river channel wordt geschat op 150.000 m3/jaar. Dit is ongeveer 30% van de jaarlijkse hoeveelheid gebaggerd materiaal op de river channel, van ongeveer 470.000 m3.

Als de vaargeul verdiept wordt blijft de rivierafvoer gelijk. De stroomsnelheid kan iets afnemen door de geulverdieping, waardoor de hoeveelheid sedimenttransport ook iets lager wordt. Ondanks het feit dat de hoeveelheid sediment die maximaal door de rivier afgezet kan worden ongeveer 30 % van de totale gebaggerde hoeveelheid bedraagt, zal een kleine verandering in de hoeveelheid riviersediment geen effect van betekenis hebben op de toekomstige te baggeren hoeveelheid.

Sedimenttransport van zee:

Met vloed komt er een hoeveelheid water de rivier op, die ongeveer gelijk is aan het volume van de getijdeprisma. Een deel van dat inkomende water komt direct binnen over zee. Het andere gedeelte stroomt binnen via de vaargeul. Het water dat over zee binnen stroomt neemt meer sediment mee dan het water dat via de geul stroomt.

Bij verdieping van de vaargeul blijft de getijdeprisma even groot. Als de geul verdiept wordt zal er voor de hoeveelheid water en sedimentaanvoer van direct over zee niets veranderen. De stroomsnelheid van het water door de vaargeul daarentegen zal afnemen. Hierdoor neemt ook de sedimentconcentratie af uiteindelijk vermindert de hoeveelheid sedimenttransport.

Uiteindelijk zal een verdieping van de vaargeul leiden tot een kleine afname van de hoeveelheid sediment op de river channel.

Stabiliteit van het talud

Tenslotte is de stabiliteit van het talud onder golven bekeken. Het blijkt dat de golven weinig kracht uitoefenen op het, vrij diep liggende, talud. De maximale helling die toegepast kan worden zonder gevaar voor de stabiliteit is 1: 2,4. Dit is een erg steile helling en toepassing wordt afgeraden. Er moet in de praktijk ook rekening worden gehouden met de afzetting van sediment op het talud, waardoor dit steiler wordt. Als dit te steil wordt kan het talud instorten waardoor een grote hoeveelheid sediment in een keer in de vaargeul belandt. Om stabiliteit ook met sedimentatie te behouden wordt een helling van ongeveer 1:4 aangeraden. Deze helling wordt in de praktijk vaak toegepast.

Inhoudsopgave

Samenvatting	72
Inhoudsopgave	75
1. Inleiding	76
1.1 situatieschets	76
2. Probleemstelling en doelstelling	78
2.1 Probleemstelling	78
2.2 Doelstelling	78
3. Beschrijving morfologische situatie	79
4. De approach channel	82
4.1 Methode van Bijker	82
4.1.1 Bodemtransport	83
4.1.2 Zwevend transport	84
4.2 Stroming over de geul	87
4.2.1 Loodrechte stroming	87
4.2.2 Stroming onder een hoek	87
5. Toepassing van methode van Bijker op River Tees	89
6. Hoeveelheid sedimentatie in de approach channel	91
7. De river channel	95
7.1 Riviersediment	95
7.2 Sedimentaansvoer van zee	95
7.3 Optredende veranderingen in sedimentatie bij geulverdieping	98
7.3.2 hoeveelheid riviersediment bij geulverdieping	98
7.3.3 Hoeveelheid sedimenttransport van zee bij geulverdieping:	98
8. Stabiliteit van het talud onder golven	100
9. Kostenbepaling van de uitbreiding van de toegangsgeul naar Tees Port	102
9.1 Kosten capital dredging	102
9.2 Kosten onderhoudsbaggerwerk	105
9.2.1 Uitvoering	105
9.2.2 Kostenberekening	106
10. Conclusie	108
11. Aanbevelingen	109
Literatuur	101
Bijlage I. Algemene gegevens	
Bijlage II. Stroomlijnen over de gebaggerde geul	
Bijlage III. Berekening methode van Bijker	
Bijlage IV. Meetgegevens	
Bijlage V. Stroommetingen langs de approach channel	
Bijlage VI. Baggersecties	

1. Inleiding

De havenautoriteiten van Tees & Hartlepool Port (THPA) willen dat de mogelijkheden onderzocht worden om grotere schepen toe te laten op de river Tees. Uit eerder onderzoek (zie delen A en B van dit afstudeerverslag) is gebleken dat de vaargeul niet of nauwelijks hoeft te worden aangepast in de breedte om langere en bredere schepen toe te kunnen laten. Wel moet de diepte worden aangepast als er grotere schepen moeten worden toegelaten. Het grootste schip dat momenteel Tees Port aandoet heeft een diepgang van 17,0m.

Als de diepte van de toegangsgeul wordt veranderd zal dat de nodige gevolgen hebben voor de morfologie. Voor de havenautoriteiten is vooral van belang te weten wat deze morfologische veranderingen betekenen voor de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk. Onderhoudsbaggerwerk kost geld en hindert de scheepvaart. Deze factoren spelen een rol in de afweging of het rendabel is om de vaargeul geschikt te maken voor grotere schepen.

1.1 situatieschets

De toegangsgeul naar Tees Port is ruwweg op te delen in twee secties (zie figuur 1.1):

1. de approach channel; Deze loopt van de Tees North/South boei tot de South Gare (dit is ongeveer ter hoogte van lichtboei nr. 5)
2. de river channel; Deze loopt stroomopwaarts van lichtboei nr. 5.

De diepte wordt gegeven ten opzichte van Chart Datum (CD). Chart Datum is ongeveer de waterstand bij Laag Laag Water, met springtij

De breedte van de vaargeul is nu 244 m (= 800 ft) op de rechte stukken en in de bochten.

De diameter van de turning circle (stroomopwaarts van boei nr. 11) is 518 m (= 1700 ft). De diepte van de turning circle is voor het grootste gedeelte CD - 14.4 m. Een klein gedeelte is slechts CD - 11.7 m, wat soms het draaien hindert.

De ligplaats voor ROT (326m * 63 m) heeft een nominale diepte van 17.3 m en een tolerantie diepte van 16.5 m.

De diepte van de vaargeul staat vermeld in tabel 1.1

	gebaggerde diepte	tolerantie diepte	veilige diepte
Approach channel	CD - 15.4 m	CD - 14.7 m	CD - 14.5 m
River channel	CD - 14.1 m	CD - 13.3 m	CD - 13.1 m

Tabel 1.1. Huidige diepte van de toegangsgeul naar Tees Port

De nominale diepte is de diepte volgens de Admiralty Charts, de zogenaamde charted depth.

De tolerantie diepte is de minimale diepte voordat er onderhoudsbaggerwerk wordt uitgevoerd. De geuldiepte wordt iedere zes weken gemeten.

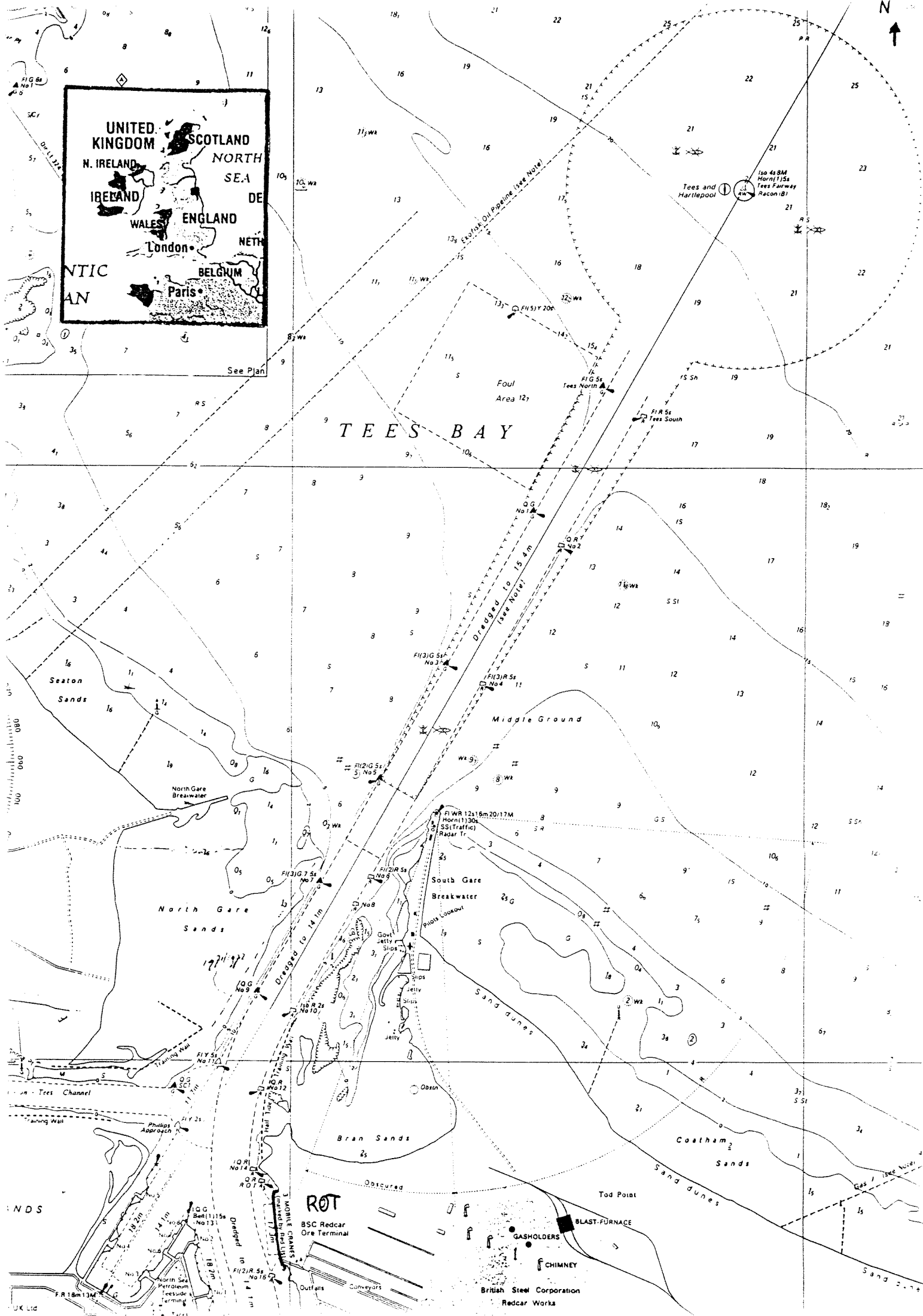
De veilige diepte komt tot stand door een marge op het getij van 0.2 m toe te passen. Dit is om afwijking van de voorspelde getijhoogte en om het getijvenster te compenseren.

Uit voorgaand onderzoek komen de gewenste veilige dieptes voor andere schepen. Deze staan in tabel 1.2.

	approach channel		channel river	
D [m]	veilige diepte	gebaggerde diepte	veilige diepte	gebaggerde diepte
17,0	CD - 14,3 m	CD - 15,2 m	CD - 13,1 m	CD - 14,1 m
18,8	CD - 16,2 m	CD - 17,1 m	CD - 15,0 m	CD - 16,0 m
23,0	CD - 20,3 m	CD - 21,2 m	CD - 19,2 m	CD - 20,2 m

Tabel 1.2 Gewenste geuldieptes voor diverse maatgevende schepen

In dit onderdeel van het verslag wordt bekeken hoeveel de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk toeneemt. Eerst zal de huidige situatie worden beschreven. Vervolgens zullen de gevolgen van geulverdieping voor de approach channel en de river channel apart behandeld worden.



2. Probleemstelling en doelstelling

2.1 Probleemstelling

Als er grotere schepen moeten worden toegelaten in de toegangsgeul naar Tees Port, moet de geul verdiept worden. Bij de approach channel naar Tees Port lopen eb- en vloedstromingen, onder een hoek, over de vaargeul. Als er stroming over een geul loopt, verandert de stroming boven de geul en daardoor ook de sedimenttransporten. Dit heeft tot gevolg dat er erosie of sedimentatie optreedt. In de meeste gevallen is dat sedimentatie, waardoor de geul ondieper wordt. De vaargeul moet regelmatig worden uitgebaggerd om voldoende diepte te kunnen garanderen voor de scheepvaart. Dit baggerwerk kost geld en hindert de scheepvaart en moet dus zo veel mogelijk beperkt worden. De verwachting is dat de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk toeneemt als de gebaggerde geul dieper wordt. Het is belangrijk te weten hoeveel dit baggerwerk toeneemt, omdat de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk, en de kosten daarvan, een rol spelen in de afweging of het rendabel is om de vaargeul geschikt te maken voor grotere schepen. Voor een aantal maatgevende schepen is, in deel B van dit afstudeerverslag, een gewenste geuldiepte bepaald (zie tabel 2.1). De havenautoriteiten willen weten wat de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk voor de verschillende geuldieptes zal worden.

D [m] schip	approach channel		channel river	
	veilige diepte	gebaggerde diepte	veilige diepte	gebaggerde diepte
17,0	CD - 14,3 m	CD - 15,2 m	CD - 13,1 m	CD - 14,1 m
18,8	CD - 16,2 m	CD - 17,1 m	CD - 15,0 m	CD - 16,0 m
23,0	CD - 20,3 m	CD - 21,2 m	CD - 19,2 m	CD - 20,2 m

Tabel 2.1 Gewenste geuldieptes voor diverse maatgevende schepen

2.2 Doelstelling

- De hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk voor verschillende geuldieptes moet bepaald worden.

3. Beschrijving morfologische situatie

Enige jaren geleden is er op ongeveer 15 km stroomopwaarts van de riviermonding een stuw gebouwd. Deze stuw zal enige invloed hebben op het rivierregime, bijvoorbeeld op de stroomsnelheid. Aangezien deze veranderingen slechts klein zullen zijn en er geen recente gegevens zijn, waarin de invloed van de stuw uitkomt, wordt er in dit rapport gewerkt met door THPA geleverde data, waarbij de stuw nog niet aanwezig is.

De River Tees mondt uit in een soort estuarium. Stroomafwaarts van de Redcar Ore Terminal wordt de rivier aan beide kanten geflankeerd door een trainingwall. Deze trainingwalls zijn van slakken gemaakt en reiken tot 'half-tide hoogte'; Dit is ongeveer CD + 3,0m. Het doel van de trainingwalls is :

- om de rivierrichting bij te sturen
- om erosie te voorkomen (waarschijnlijk in de buitenbocht van de rivier)
- om te voorkomen dat er materiaal binnen komt in de river channel (vooral uit het noorden).

Verder wordt de rivier geflankeerd door ondiepe gronden. Aan de noordkant liggen de North Gare Sands, aan de zuidkant de Bran Sands. Deze stukken land liggen droog met laag water en met hoog water staan ze blank.

Uiteindelijk mondt de rivier in zee uit. De geul loopt door in zee. De gebaggerde geul staat loodrecht op de kustlijn. De as van de geul loopt in de richting 30° - 210° ten opzichte van het noorden. De bodem aan de zuidkant (zuidoost) van de geul ligt gemiddeld één à twee meter dieper dan de bodem aan de noordkant (noordwest).

Met eb stroomt het water noordwaarts, met vloed gaat het zuidwaarts over de geul (zie de stroomfiguren in figuur 3.1). Op drie à vier uur voor hoog water stroomt het water, op alle meetpunten langs de geul, ongeveer parallel aan de geul (dus 210°). De stroming noordwaarts is, tussen boei no.3 en de Tees North/South boei, langduriger en sterker dan de zuidwaartse stroming.

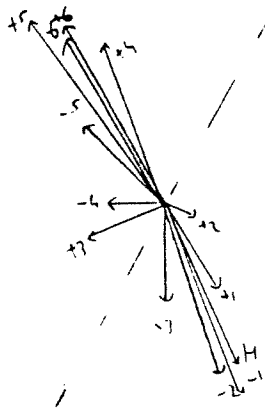
Op de rivier en in de monding stroomt het water met opkomend tij naar binnen en met kerend tij naar buiten. Bij boei no. 5 zijn de invloeden van de eb- en vloedbeweging op open zee duidelijk herkenbaar. Maar de stroming gaat bij opkomend tij onder een kleine hoek richting het zuiden de geul in en met kerend tij de geul weer uit met een noordwaarts gerichte afwijking.

Het golfklimaat is bekend (zie bijlage I). Er komen golven voor met een maximum gemiddelde golfhoogte van ongeveer 3,1m.

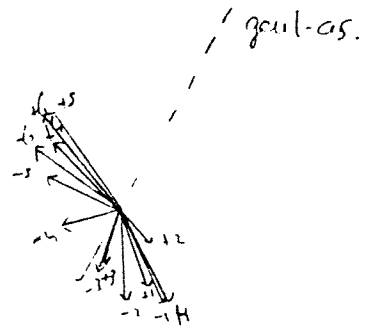
Er zijn twee morfologisch verschillende gebieden te onderscheiden

1. De river channel en zijn omgeving tot ongeveer boei no. 5. De rivier mondt uit in een soort estuarium. Hier ontmoeten de rivier en de zee elkaar. De rivier heeft een bepaalde afvoer, die fijne sediment deeltjes bevat. De zee stroomt met vloed binnen en met eb naar buiten en neemt ook sediment mee. Het sediment, dat met vloed naar binnen komt zal voor het grootste gedeelte sedimenteren op de river channel.
2. De approach channel, tussen boei no. 3 en de Tees North/South boei. Dit is een gebaggerde geul in een ondiepere omgeving. De stroming trekt, met sediment, over de geul. Tijdens eb is de stroom noordwaarts gericht (ongeveer 330°) en tijdens vloed zuidwaarts (ongeveer 160°). Bij de geul verandert het stroombeeld en vindt sedimentatie en erosie plaats. Een klein deel van de tijd trekt de stroming parallel aan de geul, maar ook dan ontstaan er verschillen in sedimenttransport, wat resulteert in sedimentatie of erosie.

In de volgende hoofdstukken worden de morfologische effecten van geulverdieping op de twee hierboven genoemde geuldelen beschreven.

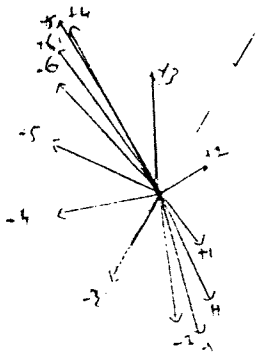


Teer North

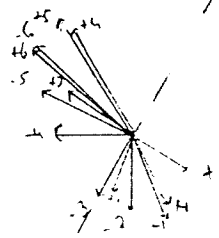


springs

neaps

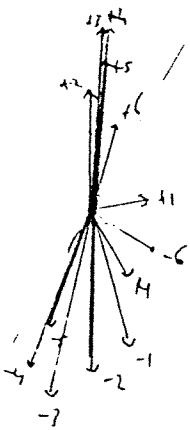


boei nr. 3

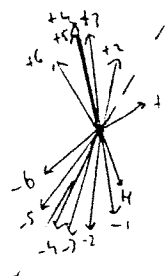


springs

neaps



boei nr. 5



"+1" = ver. totu.
hoog water
H = hoog water

1 cm $\hat{=}$ 0.1 m/s

springs

neaps

Figuur 3.1 Stroming langs de geul gemeten gedurende de gehele getijcyclus.

4. De approach channel

De approach channel naar Tees Port is een gebaggerde geul onder invloed van (getij-) stroming en golven.

Bij een gebaggerde geul verandert de waterdiepte abrupt ten opzichte van de omgeving. Deze snelle verandering beïnvloedt het stroom- en golfpatroon, welke op hun beurt weer de sedimentatie beïnvloeden.

Over het algemeen wordt er sediment afgezet aan de bovenstroomse zijde van een gebaggerde geul. Aan de benedenstroomse zijde vindt dan erosie plaats. Bij de approach channel trekt tijdens eb de stroming noordwaarts, tijdens vloed zuidwaarts. De noordwaartse stroming is langduriger en sterker. Op de zuidelijke oever zal dus meer sediment neerslaan.

Lean (1980) geeft enkele methodes om onderhoudsbaggerwerk te schatten:

- Proefgeulen baggeren en dan de sedimentatie meten. Deze methode is direct, maar erg duur.
- Een schatting maken van de sedimentflux die de geul nadert en de verandering daarvan door de geul. Deze methode is in beginsel eenvoudig, maar de relatie tussen de sedimentflux en de hydraulische parameters is niet altijd evengoed bekend. Ook de invloed van de geul op de sedimentflux en het stroombeeld is lastig te bepalen.

Uit praktische overwegingen zal de eerste methode verder niet behandeld worden en zijn we aangewezen op de tweede. Lean beschrijft in zijn onderzoek de mechanismen die boven een gebaggerde geul werken en geeft er een berekeningsmethode van sediment transport bij. De berekeningsmethode is een eenvoudige aanpak die door Bijker in 1971 is opgesteld.

De mechanismen die verantwoordelijk zijn voor de sedimentatie in een gebaggerde geul zijn

- het afvlakken van het talud door **bodemtransport**, en
- afzetting van **zwevende stof**, dat door stroming over de gebaggerde geul wordt meegenomen.

Het bodemtransport reageert direct op veranderingen in de omgeving. Het is vrijwel alleen afhankelijk van de lokale snelheid en de bodemwrijving. Hierdoor kunnen de bodemtransporten relatief gemakkelijk worden bepaald.

Zwevend transport is veel lastiger te bepalen. Het reageert met vertraging op veranderingen in de omgeving.

Bijker heeft in 1980 een eenvoudige methode bedacht om het zwevend transport te bepalen, die met de hand kan worden uitgevoerd. De berekeningsmethode die Bijker in 1980 heeft opgesteld wordt voor de berekeningen van sedimenttransport over de approach channel naar Tees Port toegepast. De methode van Bijker uit 1980 wordt in paragraaf 4.1 beschreven en zal 'de methode van Bijker' genoemd worden.

Er is ook onderzoek (Renger en Bednarczyk; 1986) gedaan naar de effecten van scheepvaart op de hoeveelheid sedimenttransport in een vaargeul. Daaruit is nog niet gebleken dat de scheepvaart een significante invloed heeft op de hoeveelheid sediment transport. Er is dus ook hier vanuit gegaan dat er geen invloed van de scheepvaart is.

4.1 Methode van Bijker

De methode van Bijker (1980) om sedimentatie in een gebaggerde geul te berekenen is makkelijk uit te voeren. Er worden enkele aannames gedaan om de situatie te vereenvoudigen. Hieronder volgt een korte beschrijving van de aanpak van Bijker.

Voordat een stroming een geul bereikt is er een evenwichtssituatie voor het sediment:

$$w * c(z) + \varepsilon * dc(z)/dz = 0$$

met: w = valsnelheid sediment
 $c(z)$ = sedimentconcentratie op hoogte z boven de bodem
 ε = verticale diffusie coëfficiënt

Als de stroom de geul kruist wordt de diepte groter. Door de traagheid van het zwevend transport, verandert die hoeveelheid niet meteen. De nieuwe concentratie hangt af van de oude evenwichtsconcentratie. De concentratie op de bodem past zich wel direct aan, aan de nieuwe situatie. Deze neemt af bij toenemende diepte.

Bij de combinatie van golven en stroming kunnen grote sedimenttransporten optreden. Het sediment wordt door de golven opgewoeld en door de stroming getransporteerd. De golven hebben, door hun oscillerende beweging, snelheidscomponenten die tot op grote diepte op de bodem werken. De invloed van de golven wordt meegenomen door een toegenomen bodemschuifspanning, τ_{cw} .

Bijkers transport formule bestaat uit een bodemtransport gedeelte en een zwevend transport gedeelte. Hieronder worden beide elementen besproken.

4.1.1 Bodemtransport

Om het bodemtransport te bepalen gebruikte Bijker een aangepaste formule van Kalinske Frijlink.

De aanpassingen zijn als volgt:

- Het bodemtransport vindt plaats over een laag met een dikte gelijk aan de bodemruwheid, r . De waarde van r moet ongeveer gelijk worden genomen aan de halve hoogte van de bodemribbels.
- De bodemschuifspanning voor stroming is vervangen door de bodemschuifspanning voor stroming en golven, τ_{cw} .

De aangepaste formule luidt dan:

$$S_b = B * D50 * (V/C) * \sqrt{g} * \exp [-0,27 * \Delta * D50 * \rho * g / \mu * \tau_{cw}] \quad [m^3/m/s] \quad [4.1]$$

met: S_b = bodemtransport ($m^3/m/s$)
 B = constante, met een waarde van 1 tot 5
 $D50$ = korreldiameter (m)
 V = gemiddelde stroomsnelheid (m/s)
 C = chezy coëfficiënt ($= 18 \log \{12 h / r\}$)
 r = bodemruwheid
 g = zwaartekrachtsversnelling (m/s^2)
 Δ = relatieve dichtheid bodemmateriaal ($= \rho_s - \rho / \rho$)

ρ_s = dichtheid bodemmateriaal (kg/m³)

ρ = dichtheid water (kg/m³)

μ = ribbelfactor (= $\{C / C90\}^{1.5}$)

C90 = Chezy coëfficiënt, gebaseerd op D90

τ_{cw} = bodemschuifspanning door golven en stroming ($\tau_{cw} = \tau_c [1 + \frac{1}{2} \cdot \xi \cdot u^2 / V^2]$)

$\xi = C \cdot \sqrt{f_w / 2g}$

f_w = wrijvingsfactor

Het bodemtransport vindt plaats over een laag met een dikte gelijk aan de bodemruwheid, r . De concentratie bodemmateriaal in deze laag, c_b , is :

$$c_b = S_b / (6,34 \cdot r \cdot V^*) \quad [-] \quad [4.2]$$

4.1.2 Zwevend transport

Het zwevend transport volgt veranderingen in de omgeving met een vertraging. De referentieconcentratie van bodemmateriaal, c_b , kan in de zwevend transport berekening anders zijn dan in de bodemtransport berekening.

Om het zwevend transport te bepalen voerde Bijker een paar vereenvoudigingen in:

- de continuïteitsvergelijking wordt over de diepte geïntegreerd:

$$d/dx (S_s\{x\}) + S_v\{x\} = 0 \quad [4.3]$$

met: $S_s\{x\}$ = het totale sediment transport, in x

$S_v\{x\}$ = verticaal sediment transport op bodemhoogte, in x

x = afstand van de bovenstroomse oever, gemeten langs de stroomlijn

- De diffusiecoëfficiënt ε wordt constant verondersteld over de diepte. Bijker gebruikte de formule van Coleman:

$$\varepsilon = 0,16 V^* h \cdot \sqrt{g} / C = 0,16 V^* \cdot h \quad [m^2/s] \quad [4.4]$$

als er golven zijn (zoals bij Tees Port het geval is) wordt deze:

$$\varepsilon = 0,16 h \cdot \sqrt{\tau_{cw} / \rho} \quad [m^2/s] \quad [4.5]$$

met: g = zwaartekrachtsversnelling

h = waterdiepte

C = Chezy coëfficiënt

V = horizontale snelheid, gemiddeld over de diepte

V^* = schuifspanningssnelheid

Het evenwichtsconcentratie profiel wordt:

$$c(z) = c_b \cdot \exp [-w \cdot z / \varepsilon] \quad [-] \quad [4.6]$$

en de gemiddelde concentratie wordt dan:

$$c_{gem} = c_b \cdot (\varepsilon / w \cdot h) \cdot \{1 - \exp [-w \cdot h / \varepsilon]\} [-]$$

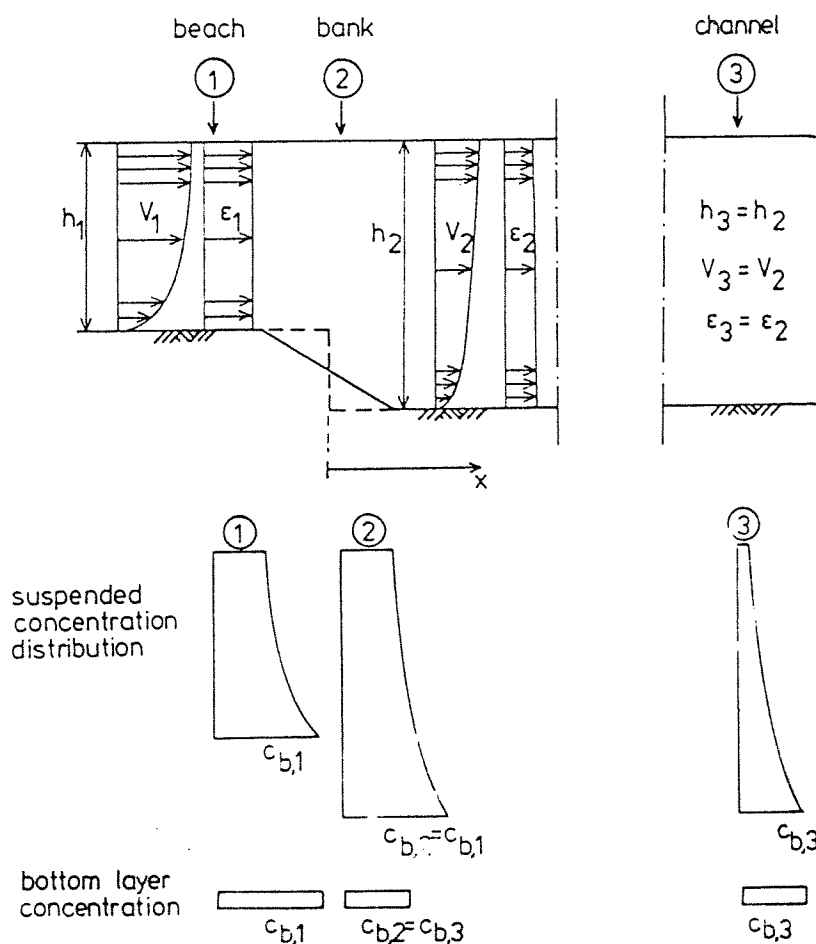
- Het sediment transport wordt:

$$S_s = V * c_{gem} * h \quad [m^2/s] \quad [4.7]$$

met: S_s = horizontaal zwevend sediment transport
 V = horizontale snelheid, over de diepte gemiddeld
 c_{gem} = over de diepte gemiddelde sedimentconcentratie
 h = waterdiepte

Nadeel van deze aanname is dat de fout bij toepassing van deze aanname, in gevallen met stroming en golven, kan oplopen tot meer dan 10%.

- De vaargeul wordt geschematiseerd tot een rechte bak met verticale wanden. De wanden worden halverwege het talud geplaatst, zie figuur 4.1



Figuur 4.1 Geulschematisatie volgens Bijker

Er wordt vanuit gegaan dat er nog geen sedimentatie is opgetreden in de geul. Het verschil tussen profiel 1 en profiel 2 is de veranderde diffusiecoëfficiënt, ε , en de verticale concentratiegradiënt. De eerste is veranderd door de veranderde snelheid, diepte en wrijvingscoëfficiënt. Het is onbekend hoe snel de diffusiecoëfficiënt zich aanpast. In normale gevallen wordt aangenomen dat de stroom de bedding volgt. Hier wordt dan ook aangenomen dat ε zich direct aanpast. De nieuwe waarde voor ε wordt dan:

$$\varepsilon_2 = 0,16 V_2^2 \cdot h_2 \cdot \sqrt{g} / C = 0,16 \cdot V_2^2 \cdot h_2 \quad [m^2/s] \quad [4.8]$$

als er golven zijn:

$$\varepsilon_2 = 0,16 h_2 \cdot \sqrt{\tau_{cw,2} / \rho} \quad [m^2/s] \quad [4.9]$$

De verticale sedimentconcentratie, bovenstrooms van de geul, net voordat er sedimentatie is opgetreden, is:

$$c_2 = c_2(z) = c_{b,1} \cdot \exp[-w \cdot z \cdot h_1 / \varepsilon_1 \cdot h_2] \quad [-] \quad [4.10]$$

Zoals al gezegd, wordt er van uit gegaan dat de diffusiecoëfficiënt zich snel aanpast aan de nieuwe situatie boven de geul. De sedimentatie aan de bovenstroomse kant wordt dan:

$$S_v(0) = w \cdot c_{b,2} + \varepsilon_2 \cdot [dc_2 / dz]_b \quad [m^3 / s / m^2 \text{ bodemopp.}] \quad [4.11]$$

met: $c_{b,2} = c_{b,1}$ = referentie bodemconcentratie voor zwevend transport berekening

Verderop in de geul is de bodemconcentratie $c_{b,3}$, en de verdeling van de zwevend transportconcentratie zoals in figuur 4.1 te zien is.

De sedimentatie wordt verderop in de geul:

$$S_v(x) = w \cdot c_{b,3} + \varepsilon_2 \cdot [dc_x / dz]_b \quad [m/s] \quad [4.12]$$

Uiteindelijk moet er een nieuw transportevenwicht bereikt worden in de geul (als deze breed genoeg is). Dit evenwicht is:

$$w \cdot c_3 + \varepsilon_2 \cdot dc_3 / dz = 0 \quad [4.13]$$

met: w = valsnelheid sediment

ε = verticale diffusiecoëfficiënt

c_3 = sedimentconcentratie over de verticaal: $c_3 = c_3(z) = c_{b,3} \cdot \exp[-w \cdot z / \varepsilon_2]$

Het verticale transport in deze nieuwe evenwichtssituatie, $S_{v,3}$, is dan nul.

De evenwichtsvergelijking, die hoort bij de sedimentatie in de geul, is:

$$d S_s(x) / dx + S_v(x) = 0 \quad [4.14]$$

Bijker heeft deze vergelijking opgelost.

Hij nam aan dat het zwevend transport exponentieel met x afneemt:

$$S_s\{x\} = f \cdot (\exp[-\beta \cdot x]) \quad [4.15]$$

Dit kan met de randvoorwaarden:

$$S_s(0) = S_{s,1} \quad [4.16]$$

$$Ss(\infty) = Ss,3 \quad [4.17]$$

worden geschreven als:

$$Ss\{x\} = Ss,1 + (Ss,1 - Ss,3) * (\exp [- \beta * x] - 1) \quad [4.18]$$

wanneer vergelijking [4.18] in [4.14] wordt ingevuld met de volgende randvoorwaarden:

$$x = 0: \quad Sv = Sv(0) = w * c_{b,2} + \varepsilon_2 * [dc_2 / dz]_b \quad [4.19]$$

$$x = \infty: \quad Sv = 0 \quad [4.20]$$

volgt voor β :

$$\beta = Sv(0) / (Ss,1 - Ss,3) \quad [4.21]$$

Het totale sedimenttransport over een gebaggerde geul kan dan beschreven worden met de vergelijking:

$$Stot(x) = Ss(x) + Sb,2 \quad [4.22]$$

4.2 Stroming over de geul

De stroming kan de geul onder verschillende hoeken naderen. Deze invalshoeken hebben invloed op het stromingspatroon boven de geul. Zowel stroomrichting als stroomsnelheid zijn afhankelijk van deze invalshoeken en beiden hebben die invloed op de het sedimenttransport over de geul. Hieronder wordt beschreven hoe golven invallen en hoe ze vervolgens over de gebaggerde geul lopen. Een uitgebreidere beschouwing staat in bijlage II.

4.2.1 Loodrechte stroming

Als de stroom loodrecht over de geul loopt, wordt de stroomsnelheid direct boven de geul gereduceerd door de toename in waterdiepte. Dit is een simpel gevolg van de continuïteitsvergelijking:

$$v_1 * h_1 * b_1 = v_2 * h_2 * b_2 \quad [4.23]$$

met: v = snelheid
 h = waterdiepte
 b = afstand tussen de stroomlijnen

De stroomrichting blijft verder onveranderd. Als de stroom de geul over is neemt de snelheid weer toe.

4.2.2 Stroming onder een hoek

De stroom kan de geul ook onder een hoek naderen. Bij het passeren van de geul treedt er dan refractie op aan de bovenstroomse en benedenstroomse oever (zie figuur 4.2). Hierdoor treedt contractie van de stroomlijnen op, waardoor de snelheid toeneemt. Tegelijkertijd echter neemt de snelheid ook af door toenemende diepte. Afhankelijk van de hoek van inval

van de stroom en van de diepte van de geul neemt de stroomsnelheid dan af of toe boven de geul.

Ook hier geldt de continuïteitsvergelijking:

$$v_1 \cdot h_1 \cdot b_1 = v_2 \cdot h_2 \cdot b_2 \quad [4.23]$$

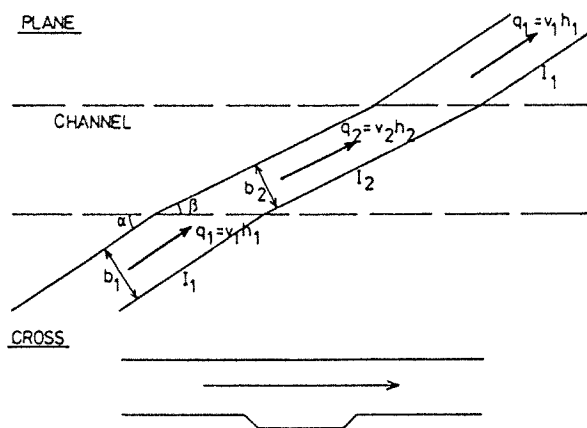
met: v = snelheid
 h = waterdiepte
 b = afstand tussen de stroomlijnen

waaruit volgt:

$$b_1/b_2 = \sin \alpha / \sin \beta \quad [4.24]$$

met: α = hoek tussen stroomrichting en geul buiten de geul
 β = hoek tussen stroomrichting en geul boven de geul

$$\text{Dit resulteert in } V_1/V_2 = h_1/h_2 \cdot \sin \alpha / \sin \beta \quad [4.25]$$



figuur 4.2 stroomlijnen over een geul

Door afnemende snelheid boven de geul treedt er sedimentatie op aan de bovenstroomse zijde van de geul. Aan de benedenstroomse zijde kan erosie optreden. Bij de River Tees speelt het getij een rol. Tijdens eb is er een overheersend noordwaarts gerichte stroom tijdens vloed een zuidwaarts gerichte stroom. De bovenstroomse zijde en de benedenstroomse zijde zijn dus niet telkens dezelfde. Om het totale resultaat van de zandtransport te verkrijgen moeten de transporten van een jaar, tijdens eb en vloed, springtij en doottij, gesommeerd worden. Hieruit zal dan blijken of de zandtransporten door eb en vloed elkaar in evenwicht houden. Als dit niet het geval is zal de geul de neiging hebben om zich in de richting van de overheersende stroom te verplaatsen. In ieder geval zal de geul van vorm veranderen. Het midden van de geul zal ondieper worden door sedimentatie, terwijl de zijanten afgeschuurd worden ten gevolge van erosie. Overigens zal de doorsnede van de geul even groot blijven.

Een klein gedeelte van de tijd stroomt het water parallel aan de geul. Hier treedt dan ook sedimentatie door zwaartekracht op. De deeltjes op het talud worden door de stroming parallel aan de geul verplaatst. Door de zwaartekracht rollen sommige deeltjes naar beneden. Er is geen kracht om ze weer omhoog te rollen en het resultaat is extra sedimentatie in de geul.

5. Toepassing van methode van Bijker op River Tees

De methode van Bijker, zoals die hierboven is beschreven, is toegepast om de verandering van de hoeveelheid sedimenttransport over de approach channel naar Tees Port te berekenen.

Van de huidige situatie zijn de hoeveelheden gebaggerd materiaal bekend. De vaargeul is opgedeeld in secties ('charts') van ongeveer 1350m lang. De hoeveelheid gebaggerd materiaal is per sectie gegeven (zie bijlage VI). De approach channel bestaat ongeveer uit de secties 11, 12 en gedeeltelijk 13 (zie overzicht van geulsecties in bijlage VI).

Het golfklimaat over het hele jaar is bekend (zie bijlage I).

Op enkele plekken langs de approach channel zijn metingen van het stroombeeld gedaan, namelijk bij de Tees North boei, bij boei nr. 3 en bij boei nr. 5. Het stroombeeld rond boei nr. 1 is verkregen door interpolatie van de gegevens bij de Tees North boei en boei nr. 3. Boei nr. 1 ligt ongeveer midden tussen deze twee boeien. De stroomgegevens zijn bekend voor springtij en voor doodtij.

Boei nr. 1 ligt ongeveer halverwege sectie 12. Boei nr. 3 ligt in sectie 11, ten zuiden van het midden. De Tees North boei ligt in sectie 13, in de zuidelijke helft.

Voor de secties 11, 12 en 13 is een gemiddeld stroombeeld en een gemiddeld morfologisch beeld van de omgeving opgesteld.

Sectie 11: De bodem aan de noordkant van de geul ligt op ongeveer CD - 10m, aan de zuidkant op CD - 11m. Het stroombeeld rond boei nr. 3 is gebruikt als gemiddeld stroombeeld. De stroming die noordwaarts is gericht is langduriger en sterker. Hij komt voor rond laag water. Met springtij is de stroming sterker dan met doodtij en is de hoek die de stroom met de geul maakt iets scherper.

Aan de bovenstroomse rand van sectie 11 ligt boei nr. 5. Naast deze boei zijn ook stroommetingen gedaan. Deze zijn niet meegenomen in de berekening van de sedimentflux over sectie 11. Dit is niet gedaan om de volgende redenen:

- De noordwaartse stroming, die met kerend tij optreedt, loopt ongeveer in de richting 340° tot 30°. De stroom loopt dus parallel aan de geul of onder een kleine hoek de geul uit. De stroom komt dus van op de rivier en de werking van het sedimenttransport kan niet worden beschreven met de methode van Bijker.
- De zuidwaartse stroming loopt met komend tij de geul in. Deze stroming heeft dus geen effect meer op de sedimenthoeveelheden in sectie 11, maar op sectie 10.

Momenteel bedraagt de totale gemiddelde hoeveelheid sediment die per jaar gebaggerd wordt in sectie 11: 125.000 m³.

Sectie 12: Aan de noordkant van de geul ligt de bodem op ongeveer CD - 11m en ten zuiden van de geul op CD - 13m. Het stroombeeld, dat rond boei nr. 1 voorkomt is gebruikt als gemiddeld stroombeeld voor deze sectie. Ook hier is de stroming in noordelijke richting, die rond laag water optreedt, sterker en langduriger. Met springtij is de stroomsterkte groter en de nadert de stroom de geul iets schuiner.

Momenteel bedraagt de totale gemiddelde hoeveelheid sediment die per jaar gebaggerd wordt in sectie 12: 92.000 m³.

Sectie 13: Van deze sectie zijn geen gebaggerde hoeveelheden bekend. Momenteel zal er ook niet of nauwelijks gebaggerd hoeven te worden, want de omgeving van de geul is voor het grootste stuk dieper dan de maximale gebaggerde diepte. Hier zal natuurlijk wel

verandering in komen als de gebaggerde diepte van de geul toeneemt. De hoeveelheden sedimentatie zullen voor het diepste geulontwerp (21,1m) bekeken worden. Voor de andere geuldieptes geldt nog steeds dat de geul (bijna) niet dieper is dan de omgeving.

Als gemiddeld stroomprofiel moeten de resultaten van metingen bij de Tees North boei dienst doen. Deze boei ligt enigszins aan de zuidelijke rand van sectie 13, maar er zijn geen andere stroommetingen beschikbaar. Vermoedelijk zal het stroomprofiel op een noordelijkere plek ook niet veel afwijken van het nu gebruikte stroomprofiel.

Aan de noordkant van de geul ligt de bodem op ongeveer CD - 17m en ten zuiden van de geul op CD - 18m.

Voor de verschillende geulontwerpen (zie tabel 5.1) is de sedimentatie, per geulsectie, berekend over een heel jaar.

	approach channel	
D [m]	veilige diepte	nominale diepte
17,0	14,3 m	15,2 m
18,8	16,2 m	17,1 m
23,0	20,3 m	21,2 m

Tabel 5.1 Geuldieptes bij diverse maatgevende schepen

Voor de sedimentatieberekening zijn verschillende golfhoogtes en periodes ingevoerd, bij de stroombeelden voor doottij en springtij. Om de berekening iets te vereenvoudigen is het golfklimaat vereenvoudigd ingevoerd. Het is geschematiseerd tot een golfklimaat met 3 verschillende golfhoogtes en periodes:

$H_m = 0,5 \text{ m}$; $T_m = 4 \text{ s}$; gedurende 65% van de tijd
 $H_m = 1,0 \text{ m}$; $T_m = 5 \text{ s}$; gedurende 20% van de tijd
 $H_m = 1,7 \text{ m}$; $T_m = 6 \text{ s}$; gedurende 15% van de tijd

met: H_m = de gemiddelde golfhoogte
 T_m = de gemiddelde golfperiode

Er zijn stroomgegevens bekend voor ieder uur van de getijcyclus (zie figuur 3.1). Met deze gegevens is voor ieder uur afzonderlijk de gemiddelde hoeveelheid sedimentatie (in $\text{m}^3/\text{m/s}$) in de geul berekend.

De hoeveelheid sedimentatie is: de hoeveelheid sedimenttransport net buiten de geul minus de hoeveelheid sedimenttransport boven de stroomafwaartse oever van de geul

Uit de hoeveelheden sedimentatie per uur zijn gemiddelde waarden voor de hoeveelheden sedimentatie per getijcyclus berekend, waarbij de hoeveelheden bij doottij en springtij apart berekend zijn.

Uit de berekende waarden van de hoeveelheid sedimentatie per getij is de totale hoeveelheid sedimentatie per jaar berekend (in m^3/jaar). De resultaten hiervan staan in hoofdstuk 6.

6. Hoeveelheid sedimentatie in de approach channel

De resultaten die de berekening met Bijkers methode geeft voor de hoeveelheid sedimentatie in de geul staan in de tabellen 6.2 t/m 6.4 In bijlage III staat een voorbeeld van de rekenmethode en staan de waarden van de parameters vermeld. De transporten zijn apart berekend per uur van het getij. In de tabellen zijn alleen de totale sediement hoeveelheden per getijcyclus vermeld.

sectie 11	geuldiepte CD-15,2m	geuldiepte CD - 17,1m	geuldiepte CD -21,1m
springtij [m2/s]	6,2637 E-6	6,1215 E-6	8,0019 E-6
doodtij [m2/s]	3,2334 E-6	3,9755 E-6	5,3931 E-6
jaargemiddeld [m2/s]	4,7485 E-6	5,0485 E-6	6,6975 E-6
percentage	100%	106%	141%
hoeveelheid per sectie [m3/jaar]	202.162	214.933	285.137

Tabel 6.2 Berekende hoeveelheid sedimentatie in sectie 11

sectie 12	geuldiepte CD-15,2m	geuldiepte CD - 17,1m	geuldiepte CD -21,1m
springtij [m2/s]	3,9878 E-6	5,8508 E-6	8,7400 E-6
doodtij [m2/s]	2,8740 E-6	4,2628 E-6	6,4359 E-6
jaargemiddeld [m2/s]	3,4309 E-6	5,0568 E-6	7,5880 E-6
percentage	100%	147%	221%
hoeveelheid per sectie [m3/jaar]	146.067	215.286	323.047

Tabel 6.3 Berekende hoeveelheid sedimentatie in sectie 12

sectie 13	geuldiepte CD-15,2m	geuldiepte CD - 17,1m	geuldiepte CD -21,1m
springtij [m2/s]	-	-	4,3693 E-6
doodtij [m2/s]	-	-	1,4541 E-6
jaargemiddeld [m2/s]	-	-	2,9090 E-6
percentage	nvt	nvt	nvt
hoeveelheid per sectie [m3/jaar]	-	-	123.847

Tabel 6.4. Berekende hoeveelheid sedimentatie in sectie 13

Er zijn een aantal algemene conclusies te trekken uit de resultaten van de sedimentatie berekening met de methode van Bijker:

- Bij hogere golven neemt de hoeveelheid initieel getransporteerd sediment snel toe. De golven veroorzaken met hun oscillerende beweging een toenemende bodemschuifspanning, die de sedimentconcentratie doen toenemen.
- Bij een hogere stroomsnelheid neemt de hoeveelheid initieel getransporteerd sediment snel toe. Ook de hoeveelheid gesedimenteerd materiaal in de geul neemt dan snel toe
- Bij een kleinere invalshoek is de hoeveelheid initieel getransporteerd sediment en de hoeveelheid gesedimenteerd materiaal groter.
- In de geulsecties met een diepere zeebodem naast de geul (dus de secties, die verder in zee liggen), treedt minder sedimentatie op dan in geulsecties in ondieper water.
- Bij een diepere geulinsnijding (dus geschikt voor grotere schepen) neemt de hoeveelheid gesedimenteerd materiaal over het algemeen ook sterk toe. Slechts bij lage golven en de diepste geulvariant neemt de hoeveelheid gesedimenteerd materiaal enigszins af. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan het afnemende effect op de bodemschuifspanning van de oscillerende beweging van de lage golven op grote diepte.
- Bij enkele gevallen treedt er geen sedimentatie maar erosie op. Dit komt voor bij hoge golven over ondiepe geulen en niet al te grote invalshoeken van de stroming. Oorzaak hiervoor is de toenemende stroomsnelheid door de gereflecteerde stroomlijnen over de geul gecombineerd met de grote invloed (oscillerende beweging) van de hoge golven op de ondiepe geulbodem. De hoeveelheid erosie kan niet worden berekend met de methode van Bijker. In de gevallen dat er erosie optreedt is de sedimentatie op nul gesteld.
- Als de stroom de benedenstroomse bank bereikt moet de hoeveelheid getransporteerd sediment weer teruggebracht worden naar de oude evenwichtstoestand. Hierdoor treedt in de meeste gevallen (na sedimentatie in de geul, niet na erosie) erosie op aan de benedenstroomse oever. Ook deze hoeveelheid wordt niet met de methode van Bijker berekend. Er zijn dus geen kwantitatieve waarden aan te koppelen, maar wel kwalitatieve effecten te beschrijven.
- De noordwaartse stroming is overheersend. Het resultaat daarvan is dat de hoeveelheid sedimentatie aan de zuidkant van de geul hoger is dan aan de noordkant. In de praktijk komt daar nog als versterkend effect bij, dat de erosie op de zuidelijke oever kleiner is door de zwakkere zuidelijk gerichte stroming.
- De geul is zo breed dat in de meeste gevallen weer de evenwichtstoestand voor sedimenttransport wordt bereikt voordat de stroomafwaartse oever is bereikt. Na het bereiken van de evenwichtstoestand treedt er geen sedimentatie (of erosie) meer op zolang de condities (stroming, golven, geuldiepte) constant blijven. De volledige hoeveelheid sediment die kon worden afgezet is dan in de geul gedeponneerd. Dit betekent verder nog, dat bij een eventuele verbreding van de geul de hoeveelheid sedimentatie in de geul nauwelijks toeneemt.
- Aangezien het sedimenttransport bij benadering exponentieel afneemt met de afstand over de geul, wordt het meeste sediment aan de zijkanen van de geul afgezet. In het midden van de geul ontstaat dan ook een 'bult' omdat dat sediment uit beide richtingen wordt afgezet.
- De hoeveelheden sedimentatie, die met Bijkers methode berekend zijn, zijn respectievelijk 1,63 en 1,58 keer zo groot als de in praktijk gebaggerde hoeveelheden materiaal in de secties 11 en 12. Dit is gedeeltelijk te verklaren met het feit dat bij Bijkers methode de erosie niet meegerekend wordt. Verder zijn er door Bijker een aantal vereenvoudigingen toegepast, die de berekening wel eenvoudiger maken, maar ook minder nauwkeurig. Ook het optredende golfveld is vereenvoudigd, wat ook ten koste gaat van de nauwkeurigheid. Tenslotte kan in het algemeen gesteld worden dat het erg moeilijk is om sedimenttransporten goed te bepalen, omdat de mechanismen die werken complex zijn. Zeker de gecombineerde werking van golven en stroming is complex en over de exacte werking bestaan de nodige onzekerheden. Een afwijking met een factor 1,6 is in de praktijk wel werkbaar. Zeker de veranderingen in sedimenttransport bij een veranderde geuldiepte kan behoorlijk goed bepaald worden.

In de tabellen 6.1 t/m 6.3 is duidelijk af te lezen, dat de hoeveelheid sedimentatie flink toeneemt bij een verdieping van de vaargeul. Over het algemeen is de sedimentatie in sectie 12 lager dan in sectie 11. Opvallend is dan ook, dat de hoeveelheid sedimentatie voor de diepste geulvariant in sectie 12 groter is dan in sectie 11. Dit komt waarschijnlijk doordat de stroomrichting in een relatief minder diepe geulinsnijding minder wordt afgebogen. Hierdoor is de stroomsnelheid lager en de sedimentatie hoger.

Bij de diepe geul (CD - 21,1 m) in sectie 13 vindt er ook sedimentatie plaats in de vaargeul. Dit is echter minder dan er met de huidige geuldiepte (CD - 15,4m) in de sectie 11 of 12 sedimenteert.

In de huidige toestand, met de geulbodem op CD- 15,2m, blijken de berekende waarden voor de hoeveelheid gesedimenteerd materiaal een factor 1,58 à 1,63 te groot te zijn. Als men er van uit gaat, dat de overige berekende waarden met dezelfde factor afwijken van de hoeveelheid sediment in de praktijk, kunnen de berekende hoeveelheden sediment worden omgerekend naar 'werkelijke' hoeveelheden sediment in de geul.

De resultaten van een omrekening van berekende hoeveelheden sedimentatie in de secties 11 en 12, naar de 'werkelijke' hoeveelheid sedimentatie staan in de tabellen 6.5 en 6.6. De 'werkelijke' hoeveelheden sedimentatie worden afgeleide hoeveelheden genoemd.

sectie 11	geuldiepte CD-15,2m	geuldiepte CD - 17,1m	geuldiepte CD -21,1m
percentage	100%	106%	141%
hoeveelheid per sectie [m3/jaar]	124.000	132.000	175.000

Tabel 6.5. Afgeleide hoeveelheid sediment in sectie 11

sectie 12	geuldiepte CD-15,2m	geuldiepte CD - 17,1m	geuldiepte CD -21,1m
percentage	100%	147%	221%
hoeveelheid per sectie [m3/jaar]	92.000	136.000	204.000

Tabel 6.6. Afgeleide hoeveelheid sediment in sectie 12

Voor sectie 13 zijn geen referentie gegevens bekend. Aangezien de omgeving en de stroming voor sectie 13 ongeveer gelijk zijn aan die in sectie 11 en 12, wordt er vanuit gegaan dat de fout in de berekening van de hoeveelheden sediment in sectie 13 gelijk is aan de fout voor sectie 11 en 12. Dit zou betekenen dat de hoeveelheden sedimentatie in sectie 13 ongeveer 1,6 keer zo klein zou moeten zijn als is berekend. Het resultaat van de omrekening staat in tabel 6.7.

sectie 13	geuldiepte CD -21,1m
percentage	nvt
hoeveelheid per sectie [m3/jaar]	77404

Tabel 6.7. afgeleide hoeveelheid sediment in sectie 13

In het totaal wordt de hoeveelheid te baggeren materiaal voor de gehele approach channel:

approach channel (sectie 11 + 12 + 13)	geuldiepte CD-15,2m	geuldiepte CD - 17,1m	geuldiepte CD -21,1m
percentage	100%	124%	211%
hoeveelheid per sectie [m3/jaar]	216.000	268.000	456.000

Tabel 6.8. Afgeleide hoeveelheid sediment in de gehele approach channel

Bij een geulverdieping van ongeveer 2m is de toename te baggeren materiaal nog te overzien. Bij een verdieping van zes meter moet er ruim twee keer zoveel gebaggerd worden als in de huidige situatie. Dat is erg duur en levert veel hinder op voor de scheepvaart.

7. De river channel

De river channel wordt aan beide kanten geflankeerd door training walls die tot gemiddeld waterniveau reiken (ongeveer CD + 3m). Over de precieze effecten van de training wall is geen cijfermateriaal bekend. Wel is de training wall onder andere gebouwd om aanvoer van materiaal van buiten de geul te voorkomen. Het mag duidelijk zijn dat de muur zeker wel het bodemtransport zal tegenhouden. Pas als het waterniveau hoger wordt dan de training wall zal er water met sediment over de muur kunnen komen. Met hoog water zal er niet al te veel water met sediment over de training walls komen, omdat de grootste concentratie sediment onderin het water zit. Met kerend tij zal ook het sediment dat door de geul vervoerd wordt niet of nauwelijks over de training wall afgevoerd worden.

Het materiaal dat wordt gebaggerd tijdens onderhoudsbaggerwerk is fijn en bevat vervuild materiaal. Het is niet geschikt voor industrieel gebruik en wordt offshore gedumpt. Het materiaal dat op de North Gare Sands wordt afgezet is wel geschikt voor industrieel gebruik. Hoogst waarschijnlijk komt het materiaal dat op de North Gare Sands wordt afgezet van zee. Op de rivier wordt dan toch veel (vervuild) rivier sediment afgezet en slib en zand van zee.

De sedimentatie op de river channel kent twee oorzaken:

1. Sedimentaanvoer van de rivier. Door afnemende stroomsnelheid wordt het materiaal afgezet.
2. Sedimentaanvoer van zee. De vloedstroom neemt sediment mee de rivier op. Het grootste gedeelte daarvan krijgt de tijd om te bezinken.

7.1 Riviersediment

De River Tees heeft een kleine afvoer. Het debiet van de rivier is gemiddeld ongeveer 150m³/s. In het algemeen is de getijstroom voor het grootste gedeelte (80%) verantwoordelijk voor de sedimentatie in de monding van een getijde rivier.

Uit de metingen die stroomopwaarts van ROT zijn gedaan (zie bijlage IV) blijkt dat de concentratie zwevende stof in de rivierafvoer gemiddeld ongeveer 10 mg/l is. Met een debiet van 150m³/s komt dan de hoeveelheid sedimenttransport door de rivier voorbij ROT op 150.000 m³/jaar. Het volume van het gesedimenteerde riviersediment is afhankelijk van de dichtheid van het slib. De hoeveelheid van 150.000m³/jaar is ongeveer 30 % van de totale gemiddelde gebaggerde hoeveelheid over de secties 8, 9 en 10 van 470.000 m³/jaar. Daar komt bij dat verondersteld mag worden dat niet al het zwevend transport, wat ter hoogte van ROT nog aanwezig is, sedimenteert op de rivier.

De grootste bijdrage van het sedimenttransport op de rivier (320.000m³) moet van zee komen. Het is dus nodig om te bekijken hoe dat sedimenttransport mechanisme werkt.

7.2 Sedimentaanvoer van zee

Bij een getijde rivier, zoals de River Tees, wordt het estuarium met hoog water gevuld met een hoeveelheid water gelijk aan het getijde prisma:

$$P = \Delta h * A$$

met: P = getijdeprisma

Δh = verschil in waterhoogte tussen laag water en hoog water

A = het gemiddelde oppervlak van het estuarium.

Dit opvullen gebeurt enerzijds door de rivierafvoer, die niet meer naar zee stroomt door het stijgende zeewater. Anderzijds wordt het estuarium gevuld met zeewater van de stijgende zee.

De zee voert zout water aan wat een grotere dichtheid heeft dan zoet water. Het zoute water stroomt hierdoor onder het zoete water. Als het zoute water onder het zoete water naar binnen stroomt is er sprake van een zouttong.

Uit meetgegevens blijkt dat op de River Tees de zouttong bij hoog water tot voorbij ROT komt. Dit is te zien aan het feit dat de onderste waterlaag zouter is dan het water aan de oppervlakte, en de getijdebeweging die er in de onderste waterlaag zit (met opkomend tij de rivier op, met kerend tij de rivier uit). In de gebruikte meetgegevens staan onder andere de stroomsnelheden en -richtingen en het zoutgehalte van het water, op drie verschillende dieptes gemeten (zie bijlage IV).

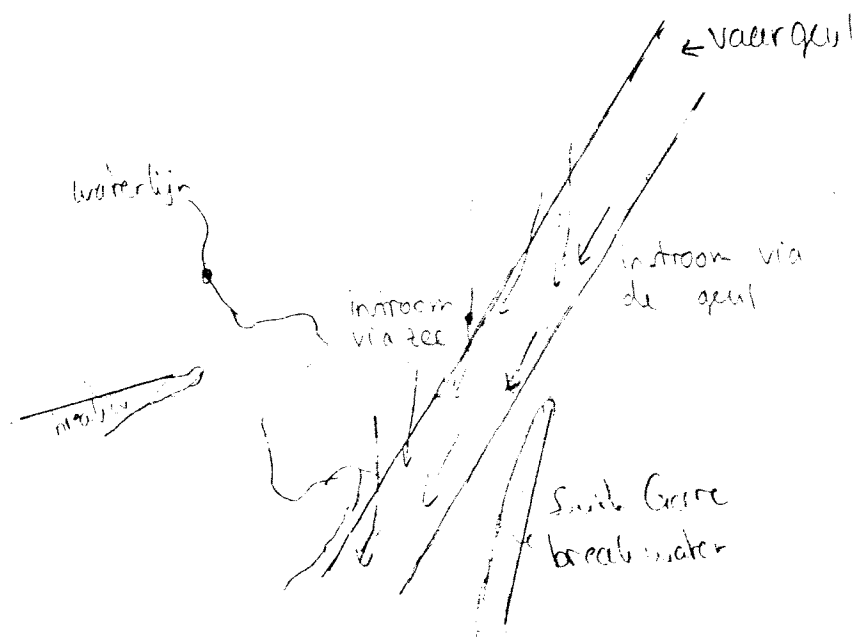
Uit de gehalten zwevende deeltjes kan afgeleid worden hoeveel sediment er nog in het zeewater zit ter hoogte van ROT. Het gehalte zwevende deeltjes in het water dat met opkomend tij voorbij ROT stroomt is 12 mg/l.

Het verschil tussen de hoeveelheid sediment aan het stroomafwaartse eind van de river channel en de hoeveelheid bij ROT moet dan zijn gesedimenteerd.

De hoeveelheid sedimenttransport aan het zeewaartse eind van de river channel kan berekend worden met de methode van Bijker (zie hoofdstuk 4).

De hoeveelheid water die met hoog water de rivier opstroomt is te verdelen in twee delen. Eén gedeelte van het water stroomt, voordat het de river channel bereikt, al over enige afstand door de geul met een stroomsnelheid en sedimentconcentratie die horen bij stroming over een geul. Een ander gedeelte komt over de ondiepe zeebodem aan en komt dan de rivier op. De hoeveelheid sedimenttransport die bij die situatie hoort is bepaald door de stroomsnelheid en het sedimentgehalte boven het ondiepe stuk zee.

De verhouding tussen de aandelen die deze beide stromen leveren aan de totale hoeveelheid water, die binnenstroomt, is niet bekend. Om een berekening te kunnen maken wordt aangenomen dat de instroom door de geul gelijk is aan de instroom over zee.



Figuur 7.1 Waterinstroompatroon met komend tij

Het totale debiet dat de rivier opstroomt met opkomend tij is kan geschat worden door de stroomsnelheid in de geul te vermenigvuldigen met de geuldoorsnede. De hoeveelheid

waterinstroom is niet constant. De waterinstroom over een geheel getij is berekend uit stroomgegevens die per uur bekend zijn. Er worden hoeveelheden waterinstroom berekend van respectievelijk 33.870.000m³/getij met springtij en 22.245.000m³/getij met doottij.

De hoeveelheid water die de rivier opstroomt met opkomend tij moet ongeveer gelijk zijn aan de getijdeprisma.

In de huidige situatie bevat het gedeelte van de getijdeprisma tot ROT ongeveer 11.400.000 m³/getij met doottij en 15.900.000m³/getij met springtij. Het gaat hier om de waterspiegelstijging op de river channel, de Bran Sands, de Seal Sands en Seaton Channel. We nemen aan dat het water dat de North Gare laat overlopen niet via de geul binnen komt, maar binnenstroomt via de opening tussen de geul en de North Gare breakwater.

Er stroomt ook nog een grote hoeveelheid water voorbij ROT, die ook deel uit maakt van de getijdeprisma. Deze hoeveelheid is te bepalen uit stroommetingen stroomopwaarts van ROT. Met doottij is dit 11.340.000m³ en met springtij 18.650.000m³ per getij. Ook dit water moet eerst binnenstromen via de geul.

De totale getijdeprisma bedraagt dan:

met doottij: 11.400.000 + 11.340.000 = 22.740.000 m³/getij, en

met springtij: 15.900.000 + 18.650.000 = 34.550.000 m³/getij.

Deze hoeveelheden kloppen goed met de eerder berekende waarden.

Voor de berekening van de hoeveelheid sedimenttransport door de waterstroom, die door de geul de rivier oploopt, wordt eerst de gemiddelde sedimentconcentratie boven de geul berekend. Vervolgens wordt er gekeken wat het debiet van die waterstroom de rivier op is. De hoeveelheid sediment die de rivier op wordt getransporteerd volgt daaruit en staat in tabel 7.1.

De hoeveelheid sediment die over zee de rivier opstroomt wordt op eenzelfde manier berekend als de stroom door de geul. Het resultaat van deze berekening is ook vermeld in tabel 7.1.

	door instroom via de geul	door instroom direct van zee	Totaal
spring [m ³ /getij]	419	750	1169
neap [m ³ /getij]	139	422	561
totaal per jaar [m ³ /jaar]	203.700	427.800	631.500

Tabel 7.1 Hoeveelheid sediment die de rivier op getransporteerd wordt

Een deel van de hoeveelheid sediment die de rivier op wordt vervoerd wordt voorbij de secties 10, 9 en 8 gevoerd. Er zijn meetgegevens over het gehalte zwevende stof in het water, stroomopwaarts van ROT. ROT ligt nog in sectie 8, maar de waarden gemeten bij ROT worden hier als benadering van de waarden op de sectiegrens aangehouden. Er zijn geen andere meetgegevens bekend, dus is dit de beste benadering. Gemiddeld is het gehalte zwevende stof in het water, dat met opkomend tij voorbij ROT stroomt, 12mg/l. Uitgaande van de debieten voorbij ROT, die eerder in dit hoofdstuk zijn berekend, van 11.340.000m³/getij met doottij en 18.650.000m³/getij met springtij, komt de hoeveelheid sediment die voorbij ROT wordt getransporteerd op:

51 m³/getij met doottij, en

84,5 m³/getij met springtij.

De hoeveelheid sediment van zee die in totaal in de secties 8, 9 en 10 afgezet, is de totale aangevoerde hoeveelheid sediment van op zee minus de hoeveelheid sediment die verder de rivier op wordt gevoerd (ongeveer voorbij ROT). Deze hoeveelheden staan vermeld in tabel 7.2.

	Totale sediment invoer	sediment voorbij ROT	sedimentatie in sectie 8, 9 en 10	
spring [m3/getij]	1169	84,5	1084,5	
neap [m3/getij]	561	51	510	
totaal per jaar [m3/jaar]	631.500	49.500	582.000	

Tabel 7.2 Totale hoeveelheid sedimentatie in sectie 8, 9 en 10

In tabel 7.2 is te zien dat uit de berekeningen volgt dat de hoeveelheid sedimentatie in de secties 8, 9 en 10 ongeveer 582.000m³ per jaar is. Volgens de gegevens over de gebaggerde hoeveelheden wordt er nu gemiddeld 470.000m³/jaar gebaggerd, waarvan ongeveer 320.000m³ door zee wordt aangevoerd. Uit berekeningen met de methode van Bijker voor het sediment transport over de approach channel (zie hoofdstuk 5 en 6) bleek dat de resultaten ongeveer 1,6 maal hoger waren dan de praktijkwaarden. Omdat het mechanisme van sediment transport exact het zelfde is in de beide transportberekening, is het aannemelijk dat ook bij de berekening van het transport de rivier op de transportwaarden 1,6 maal te groot zijn. Als we berekende hoeveelheid van 582.000m³ sediment delen door 1,6 komen we uit op een jaarlijkse sedimentatie van 364.000m³. Deze waarde is slechts 12% hoger dan de in praktijk gebaggerde waarde.

Hieruit kan worden geconcludeerd dat het mechanisme van sedimentinstroom op de rivier, zoals dat hiervoor beschreven en toegepast is, een beeld kan geven van de werkelijkheid. Aan de hand van het nu verkregen inzicht in de mechanismen van sedimenttransport de rivier op, kan een voorspelling voor de situaties met een diepere geul worden gedaan

7.3 Optredende veranderingen in sedimentatie bij geulverdieping.

7.3.2 hoeveelheid riviersediment bij geulverdieping

Als de vaargeul verdiept wordt blijft de rivierafvoer gelijk. Doordat de geuldoorsnede groter wordt zal de stroomsnelheid wel iets afnemen, maar zal het debiet gelijk blijven. Een gevolg daarvan kan zijn dat er meer riviersediment neerslaat in de geul. Ook al vormt de hoeveelheid riviersediment die in de river channel neerslaat ongeveer 30% van de totale gebaggerde hoeveelheid, zal een eventuele toename van neergeslagen riviersediment toch geen effect van betekenis hebben op de toekomstige te baggeren hoeveelheid.

7.3.3 Hoeveelheid sedimenttransport van zee bij geulverdieping:

Bij verdieping van de vaargeul verandert het verschil in waterstand bij eb en vloed niet. De hoeveelheid zeewater die met komend tij de rivier op stroomt om het bekken (getijde prisma) te vullen, zal dus ook ongeveer gelijk blijven. De stroomsnelheid in de geul zal iets afnemen en daardoor zal ook de sedimentconcentratie in de geul lager worden. De totale hoeveelheid sediment die dan door de geulstroom de rivier op wordt getransporteerd zal iets afnemen. Voor het aandeel water die niet direct via de geul binnen stroomt, maar direct van zee komt zal er niets veranderen. De stroomsnelheden op zee blijven hetzelfde en zo ook de

sedimentconcentratie en dus ook de hoeveelheid sediment, die naar binnen wordt getransporteerd. Het water dat rechtstreeks van zee de rivier opkomt, neemt twee keer zo veel sediment mee, als het water dat via de geul binnenstroomt. Een verandering in het transport door de geul zal dus maar beperkte invloed hebben op het totale sediment transport. Wel is zeker dat bij een geulverdieping de hoeveelheid sedimentatie op de rivier afneemt. Over de exacte waarde valt weinig te voorspellen.

8. Stabiliteit van het talud onder golven.

Bij eventuele aanpassingen van de approach channel naar Tees Port, moet ook gekeken worden naar de stabiliteit van het talud.

Sonderingen in de geul (zie sonderingen in bijlage V) geven aan dat de bodem van de geul bestaat uit medium zand met eventueel wat grind of keien. Een paar meter daaronder zit verschillend materiaal, onder andere stijve klei. Uit deze gegevens wordt afgeleid dat de omgeving en de taluds van de geul uit zand bestaan.

Door golfwerking zou er onder bepaalde omstandigheden instabiliteit kunnen optreden op de taluds van de geul. Hieronder wordt de werking van golven op een zandbed uitgelegd. Ook zal de stabiliteitseis voor het talud van de approach channel worden berekend.

Als (bijna) brekende golven over een zandbed trekken kan het bed instabiel worden. Het is gebleken dat het falen te wijten is aan grote horizontale drukverschillen die ontstaan door de hoge waterspiegel gradiënt van de brekende golven. Het wordt niet waarschijnlijk geacht dat de verticale waterbeweging bij brekende golven dit falen veroorzaakt. Lean (1980) laat zien dat het begin van falen kan optreden bij een kritieke horizontale drukgradiënt van:

$$-1/\rho g * (\delta P_b / \delta x)_c = (\rho_t - \rho / \rho) * \tan \lambda_i \quad [8.1]$$

met: ρ_t = dichtheid verzadigd bed
 ρ = dichtheid van water
 $(\delta P_b / \delta x)_c$ = kritieke drukgradiënt bij het bed door golven
 λ_i = hoek van interne wrijving

Het linker lid van vergelijking [8.1] kan worden vergeleken met de waterspiegelhelling in ondiep water. Volgens Miche geldt voor de maximale golfsteilheid:

$$H_{\max} / L \equiv 0,14 * \tanh (2 \pi h / L) \quad [8.2]$$

Het rechterlid van vergelijking 8.1 geeft de maximale belasting die het zandbed kan weerstaan. Vergelijking 8.1 geldt allen voor rechte zandbodems. Voor taluds van een vaargeul, waar de golven de geul gewoon naderen, verandert vergelijking [8.1] in:

$$-1/\rho g * (\delta P_b / \delta x)_c = (\rho_t - \rho / \rho) * \tan \lambda_i * [1 - (\tan \alpha_s / \tan \lambda_i)] \quad [8.3]$$

met: α_s = de taludhelling

Als het falen optreedt is dat gedurende de tijd dat de kritieke gradiënt wordt overschreden. Dat wil zeggen dat het drukverschil dat ontstaat door overtrekkende golven te groot wordt. Bij het falen schuiven er schijven zand de helling af.

De bodem naast de approach channel naar Tees Port heeft een diepte die varieert van ongeveer 6m (bij laag water) tot 25m. Volgens de vergelijking van Miche voor golfsteilheid [8.2], volgt hieruit dat de maximale golfsteilheid, die op de approach channel zal voorkomen, 0,14 zal zijn.

Het rechterlid (dat aangeeft wat de kritieke belasting voor het talud is) van vergelijking [8.1] de moet dan groter zijn dan 0,14 om stabiliteit te garanderen.

Met: $\rho_t \equiv 2000 \text{ kg/m}^3$
 $\rho \equiv 1025 \text{ kg/m}^3$
 $\tan \lambda_i \equiv \tan (30^\circ) \equiv 0,577$

volgt dat de factor $[1 - (\tan \alpha_s / \tan \lambda_i)]$ groter moet zijn dan 0,255. Hieruit volgt dat $\tan \alpha_s > 0,43$. Het talud mag niet steiler zijn dan 1:2,4 om stabiliteit onder golfaanvallen te garanderen. Dat is een hele steile helling voor een gebaggerde geul. Bij sediment afzetting op het talud kan de helling snel te steil worden en afkalven. Er komen dan grote hoeveelheden sediment in de geul. Dit is niet gewenst. Er wordt dan ook aangeraden om een flauwere helling te kiezen. Een standaard waarde die wordt aangehouden is ook wel 1:4. De approach channel heeft momenteel ook een talud van ongeveer 1:4. Het is dus onmogelijk dat er momenteel instabiliteit van het talud zal optreden door golven.

Bij eventuele verdieping van de vaargeul verandert de situatie niet noemenswaardig. De diepte van de omgeving blijft gelijk en ook het talud blijft van zand. Slechts bij hele grote dieptes kan het voorkomen dat het onderste stuk van het talud uit stijve klei bestaat. Gezien de kleine dikte van die eventueel voorkomende kleilaag en de grote diepte waarop die laag zich bevindt mag worden aangenomen dat hij nauwelijks invloed heeft op de stabiliteit van het talud. Ook bij een verdiepte geul geldt dat een talud van 1:2,4 bestand is tegen de optredende golfbelasting. Het wordt aangeraden om net als bij de huidige geul, om dezelfde reden, een talud van 1 : 4 toe te passen.

9. Kostenbepaling van de uitbreiding van de toegangsgeul naar Tees Port.

Het is gewenst om de toegangsgeul naar Tees Port te verruimen, om grotere schepen toe te kunnen laten. Aan deze uitbreiding van de geul zijn kosten verbonden. Ten eerste zijn er eenmalige kosten voor de capital dredging om de geul op de gewenste diepte te brengen. Daarnaast zijn er jaarlijkse extra kosten voor de toegenomen hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk.

9.1 Kosten capital dredging

Om grotere schepen toe te laten naar Tees Port is alleen een geulverdieping nodig (zie deel A en B van dit verslag). De gewenste gebaggerde diepte van de geul is als volgt:

	nul optie schepen D=17m	tot	optie één schepen D=18,8m	tot	optie twee schepen D=23m	tot
approach channel	CD - 15,2m		CD - 17,1m		CD - 21,2m	
river channel	CD - 14,1m		CD - 16,0 m		CD - 20,2m	

Tabel 9.1 Gewenste gebaggerde geuldiepte voor verschillende maatgevende schepen

Uit de boorgegevens is te halen wat voor bodem er ongeveer gebaggerd moet worden voor de verschillende geuldieptes. De belangrijkste gegevens uit die uit de boringen zijn afgelezen staan hieronder beschreven.

Approach channel:

T204: gravel en keien en stenen

T205: eerst 3m zand, dan stijve klei

T206: zand met keien en stenen

T209: eerst 0,5m zand en dan stijve klei

T212: eerst 2m zand met keien, dan 2m zachte klei, daarna stijve klei

T215: 2m zand met daaronder stijve klei

T219: 2m zand met daaronder stijve klei

T218: eerst 2m zand, dan 2m klei/zand tenslotte stijve klei

T405: alleen zand

T402: ruim 3m zand, dan zandig grind

T401: bijna 4 m zand, daaronder stijve klei

Zo te zien bestaat de bovenste laag van ongeveer 2m voornamelijk uit zand. Daaronder zit veelal stijve klei.

River channel:

T390: minder dan 1m zand met daaronder stijve klei

T183: 4m zand en dan zachte tot stevige klei

T195: eerst 1m zacht slib, daarna zand

T197: alleen zand

T198: eerst 1m zand, dan 4m zachte tot stevige klei, daaronder stijve klei

Het valt op dat de bodemlagen van de river channel nogal variëren. Op sommige plaatsen zit voornamelijk klei, op andere voornamelijk zand. Er is geen eenduidig bodemprofiel.

Doordat er zowel stijve klei als zand gebaggerd moet worden is het aan te raden om met een cutterzuiger te baggeren.

De produktie-capaciteit van verschillende cutterzuigers is:

vermogen op snijkop	500kW	1000kW	2000 kW	3000kW
compacte grond	400	700	1200	1600
normale grond	1200	1800	2500	3200
losgepakt zand/ slappe klei	1800	3000	4000	5000

Tabel 9.2 produktie van een snijkopzuiger [m³/uur]

Bij de keuze van de cutterzuiger is vooral gekeken naar het vermogen en de cutterdiepte. Bij baggerwerk voor de diepste geulvariant moet een cutterdiepte van ongeveer 27m beschikbaar zijn. De kenmerken van de cutterzuiger die wordt gekozen om het werk uit te voeren staan in tabel 9.3. De gegevens zijn ontleend aan de NIVAG kostennormen.

drsn. persbuis [mm]	vermogen pompen [kW]	cutter-vermogen [kW]	cutter-diepte [m]	eigen massa [ton]	waarde-norm [f]	A + r per week [f]	O + R per week [f]
900	8300	2000	30	4350	59.790.000	248.129	161.433

Tabel 9.3. Kenmerken cutterzuiger

met: A + r = afschrijving + rente

O + R = onderhoud + reparatie

A + r en O + R zijn gegeven voor het werken in dubbele ploegen (90 uur/week)

De geul wordt niet verbreed. De gewenste verdieping is te halen uit tabel 9.1. De hoeveelheden te baggeren grond die hieruit volgen staan vermeld in tabel 9.4..

	optie één	optie twee
approach channel	1.530.000	6.090.000
river channel	1.520.000	4.880.000

Tabel 9.4. Te baggeren hoeveelheden [m³]

Uitgaande van de verschillende grondsoorten die moeten worden gebaggerd worden voor de verschillende opties per geuldeel een schatting gemaakt van de produktie-capaciteit. Deze staat vermeld in tabel 9.5.

	optie één	optie twee
approach channel	zand: 2500 m ³ /u	zand + stijve klei: 1700 m ³ /u
river channel	zand: 2500 m ³ /u	zand + klei: 2000 m ³ /u

Tabel 9.5. Produktie-capaciteit

Met bovengenoemde capaciteit wordt het netto aantal te werken weken:

	optie één	optie twee
approach channel	6,8	37,6
river channel	6,8	27,1

Tabel 9.6. Netto aantal te werken weken

De schepen kunnen niet altijd werken. Dit kan zijn doordat bijvoorbeeld de golven te hoog zijn. De werkbaarheidsgrenzen van een grote cutterzuiger, zoals hier gebruikt wordt, zijn:

	korte golven	lange golven
max. golfhoogte	0,5 à 1,0 m	0,3 à 0,6 m

Tabel 9.7. maximale significante golfhoogte waarbij gebaggerd kan worden

Bij het golfklimaat dat er heerst rond Tees Bay houdt dit in, dat het werk op de approach channel 40 % van de tijd stil ligt. Tijdens het stilliggen lopen de kosten voor afschrijving en rente gewoon door. Doordat er niet gewerkt wordt, worden de kosten voor onderhoud en reparatie geschat op 10% van de kosten die gemaakt worden als er gewoon gewerkt wordt. Verder moet er voor onderhoud en reparatie een dag per week worden gerekend. Als er 90 uur per week gebaggerd wordt kan dat wel gebeuren in de overige uren. Dit heeft dus geen effect op de bruto werktijd.

De totale kosten voor het baggerwerk worden:

		optie één	optie twee
approach channel	A + r	2.362.188	13.061.511
	O + R	1.141.654	6.312.676
	subtotaal	3.503.842	19.374.187
river channel	A + r	1.687.277	6.724.296
	O + R	1.097.744	4.374.834
	subtotaal	2.785.021	11.099.130
TOTALE PROJECT		6.289.000	30.473.000

Tabel 9.8. Kosten van capital dreging (Hfl.)

Optie twee (ongeveer zes meter verdieping) is veel duurder dan optie 1 (twee meter verdieping). Dit komt niet alleen door de grotere hoeveelheid materiaal dat gebaggerd moet worden. Het wordt ook veroorzaakt doordat het materiaal wat dieper in de bodem ligt minder gemakkelijk snijbaar is.

9.2. Kosten onderhoudsbaggerwerk

De toename van de hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk voor de approach channel, bij geulverdieping, is berekend in deel C van dit afstudeerwerk. De verandering van de hoeveelheid baggerwerk in de river channel, is niet nauwkeurig genoeg te bepalen. Wel is het zeker dat de hoeveelheid baggerwerk op de river channel iets afneemt, bij geulverdieping. Omdat de afname niet bekend is en omdat verwacht wordt dat de afname op de river channel niet al te groot zal zijn, wordt de verandering in hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk op de river channel verwaarloosd. Er wordt dus alleen met de kosten van het baggerwerk op de approach channel gerekend.

9.2.1. Uitvoering

De aannames die gedaan worden bij de uitvoering van het onderhoudsbaggerwerk zijn:

- Er wordt alleen zand gebaggerd
- Het volume in situ materiaal is 1,67 maal het volume vaste stof (uitgaande van 40% poriënvolume)
- Er wordt een sleeppopperzuiger gebruikt met deiningscompensatoren
- De hoeveelheid te baggeren materiaal voor de verschillende geulontwerpen is:

	geul bodem op CD -15,2m	geulbodem op CD - 17,2m	geulbodem op CD - 21,1m
hoeveelheid vaste stof	216.000 m3	268.000 m3	456.000 m3
hoeveelheid in situ materiaal	360.000 m3	447.000 m3	760.000 m3

Tabel 9.9. Hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk op de approach channel

met: CD = Chart Datum = Waterspiegel bij Laag Laag Water

- De dumpplaats voor het gebaggerde zand ligt op 5 km varen van de geul
- De sleeppopperzuiger heeft de volgende eigenschappen:
 - snelheid = 12 knopen = 22 km/u
 - beuninhoud is 3000 m3
 - nuttig draagvermogen is 4000 ton
- Voor het zand in de hopper geldt:
 - de zuigconcentratie is 25%
 - het debiet is 2,5 m3/s
 - de beladingsgraad is ongeveer 90%
 - de overloopverliezen zijn 20% (cumulatief)
 - de uitlevering is 5%
 - de dichtheid van het materiaal in het beun is 1900 kg/m3
 - de dumptijd is 5 min.
- De werkbaarheidsgrens voor een sleeppopperzuiger, met deiningscompensatoren, ligt bij golven met een hoogte van 2,0 - 4,0m.

- De kostennormen voor de in te zetten sleeppopperzuiger zijn:

laadvermogen [ton]	eigen massa [ton]	geïnstalleerd pompvermogen [kW]	schroefvermogen [kW]	waardenorm [Hfl]	(A + r) per week [Hfl]	(O + R) per week [Hfl]
4000	2200	1100	2200	30.100.000	102.942	63.210

Tabel 9.10. Eigenschappen en kostennormen van de in te zetten sleeppopperzuiger

A + r = afschrijving en rente

O + R = onderhoud en reparatie

De gegevens in tabel 9.10 zijn verkregen uit de NIVAG kostennormen. De normen voor A + r en O + R zijn gebaseerd op werken in dubbele ploegen (90 uur/week).

9.2.2 Kostenberekening

Het laadvermogen (4000 ton) moet even groot zijn als de massa van het zandmengsel en het water in het beun. 90% van het beun is gevuld met een zandmengsel met een dichtheid van 1900kg/m³. De overige 10% bevat water met een dichtheid van 1025kg/m³.

$$(0,9 * 1900 + 0,1 * 1025) * \text{gevuld beunvolume} = 4000.000$$

$$\text{gevuld beunvolume} = 4000.000 / 1812,5 = 2207 \text{ m}^3$$

$$\text{volume zand} = 0,9 * \text{gevuld beunvolume} = 1986 \text{ m}^3$$

met een uitlever verlies van 5% volgt:

$$\text{de effectieve vracht} = \text{volume zand} / 1,05 = 1892 \text{ m}^3 \text{ in situ materiaal}$$

$$\text{De zuigtijd} = \text{effectieve vracht} / \{(1 - \text{overloopverlies}) * \text{zuigproductie}\} = 1892 / (0,80 * 0,25 * 2,5) = 3784 \text{ s} = 63,1 \text{ min.}$$

de dumptijd is: 5 min

de vaartijd van en naar de dump is:

$$2 * 5 / 22 = 0,455 \text{ u} = 27,3 \text{ min.}$$

extra tijd voor versnellen en vertragen bij vaart naar dump en terug = 10 min.

De totale cyclustijd is:

zuigtijd:	63,1	min.
dumptijd:	5	min.
vaartijd:	27,3	min.
extra vaartijd:	10	min. +
totaal:	105,4	min.

$$\text{De cyclusproductie} = \text{effectieve vracht} / \text{totale cyclus tijd} = 1892 * 60 / 105,4 = 1077 \text{ m}^3/\text{uur.}$$

Voor de verschillende geulontwerpen staat de benodigde uitvoeringstijd vermeld in tabel... Bij de berekening van het aantal weken is uitgegaan van werkweken van 90 uur. Omdat de sleepzuiger deiningscompensatoren heeft, kan er bij alle golfhoogtes die in Tees Bay voorkomen nog gewerkt worden.

	geulbodem op CD -15,2m	geulbodem op CD - 17,2m	geulbodem op CD - 21,1m
	334 uur	415 uur	706 uur
	3,7 weken	4,6 weken	7,8 weken

Tabel 9.11. Uitvoeringstijd onderhoudsbaggerwerk

Met deze werktijden komen de geraamde kosten voor het onderhoudsbaggerwerk op :

	geul bodem op CD -15,2m	geulbodem op CD - 17,2m	geulbodem op CD - 21,1m
kosten	Hfl. 336.819,-	Hfl. 418.748,-	Hfl. 710.051,-

Tabel 9.12. Totale kosten onderhoudsbaggerwerk op de approach channel.

De in tabel 9.12 vermelde kosten voor het onderhoudsbaggerwerk zijn erg laag me een prijs van ongeveer f 2,- per kubieke meter gebaggerd materiaal. Momenteel ligt de prijs toch op minimaal f4,- / m3.

Bij een verdieping van de vaargeul komen er, door de toegenomen hoeveelheid sedimentatie, extra kosten voor het onderhoudsbaggerwerk. Vergeleken met de kosten die worden gemaakt voor de capital dredging zijn de kosten voor extra onderhoudsbaggerwerk laag. Natuurlijk zijn de kosten voor capital dredging eenmalig en komen de kosten voor onderhoudsbaggerwerk jaarlijks terug.

10. Conclusie

Bij geulverdieping treden er grote veranderingen op bij de approach channel. Bij een geulverdieping van twee meter neemt de sedimentatie in de geul met 24 % toe. Bij een geulverdieping van 6m wordt de hoeveelheid sedimentatie in de geul ruim twee keer zo groot als in de huidige situatie. Vooral de toegenomen hoeveelheid sediment in de 6m verdiepte variant is behoorlijk groot. Het zal hoge kosten met zich meebrengen en hinder opleveren voor de scheepvaart.

Op de sedimentatie in de river channel heeft de geulverdieping minder effect. De hoeveelheid sediment van de rivier is al klein ten opzichte van de hoeveelheid sediment van zee. Een eventuele toename van de eerste zal dus nauwelijks merkbaar zijn.

Bij een geulverdieping verandert het getijde prisma niet en daarmee blijft ook de hoeveelheid binnendringend zeewater gelijk. De hoeveelheid sediment die via de geul de rivier op wordt getransporteerd zal wel enigszins veranderen. Dit komt door de verlaging van de stroomsnelheid in de geul. Hierdoor wordt de sedimentconcentratie lager en uiteindelijk de totale hoeveelheid meegenomen sediment. De exacte verandering van de hoeveelheid sediment in de verdiepte geul is niet goed te voorspellen. Wel is het zeker dat er minder sediment de rivier op komt bij geulverdieping.

Het talud van de approach channel ondervindt weinig hinder van golfaanvallen. Met een helling van 1:2,4 is de stabiliteit onder golfaanvallen gegarandeerd. Er wordt voor de praktijk echter een flauwere helling aangeraden van 1:4. Dit is in verband met effecten van sedimentafzetting op het talud.

Bij een verdieping van de vaargeul komen er, door de toegenomen hoeveelheid sedimentatie op de approach channel, extra kosten voor het onderhoudsbaggerwerk.

Vergeleken met de kosten die worden gemaakt voor de capital dredging zijn de kosten voor extra onderhoudsbaggerwerk laag. Natuurlijk zijn de kosten voor capital dredging eenmalig en komen de kosten voor onderhoudsbaggerwerk jaarlijks terug.

11. Aanbevelingen

Om de hoeveelheden sedimentatie nauwkeuriger te kunnen berekenen zijn meer meetgegevens nodig. Het is dus aan te raden om meer metingen uit te voeren.

De volgende gegevens moeten verzameld worden:

- stroomsnelheden en richting op meerdere plaatsen langs de approach channel
- hoeveelheden zwevend materiaal langs de approach channel. Dan kunnen die gegevens vergeleken worden met de uitkomsten van de berekeningen.
- meer metingen langs de rivier van hoeveelheden zwevende stof. Er kan dan gekeken worden hoe snel de hoeveelheid zwevende stof afneemt en dus waar het sediment ongeveer terecht komt op de rivier.
- stroomsnelheid, stroomrichting en hoeveelheid zwevende stof langs verschillende plekken tussen de twee havendammen. Er kan dan gekeken worden welke hoeveelheid water, met welke hoeveelheid sediment binnenkomt.

Het verzamelen van alle meetgegevens brengt wel behoorlijke kosten met zich mee. Het kan zijn dat de voordelen van een grotere zekerheid over de sediment hoeveelheden niet opwegen tegen de kosten voor het verzamelen van de gegevens. In dat geval moet de onzekerheid geaccepteerd worden en zal praktijkervaring inzicht moeten geven in de effecten van geulverdieping.

Uit dit afstudeerverslag is het voor de havenautoriteiten van Tees & Hartlepool Port wat gevolgen van een geuluitbreiding zijn voor de kosten van het baggerwerk. Om een volledig beeld te krijgen van alle kosten die door een geuluitbreiding veroorzaakt worden, moet ook worden uitgezocht wat voor aanpassingen verder nodig zijn. Hierbij moet gedacht worden aan aanpassingen aan bijvoorbeeld kademuren. De kosten daarvan kunnen hoog oplopen. Pas als alle kosten in beeld zijn gebracht kan een beslissing over eventuele geuluitbreiding genomen worden.

Ook de voordelen van de diepere geul voor transportkosten moet bepaald worden.

Als kosten en besparingen volledig bekend zijn kunnen de bedrijven in de haven en de havenautoriteiten samen een kostenverdeling bepalen en de rendabiliteit van een geuluitbreiding.

Literatuur

- [1] E. Renger en K. Bednarczyk (1986): die Küste, deel 44.
- [2] G.H. Lean (1980): Estimation of maintenance dredging for navigation channels; Hydraulics Research Station.
- [3] E. W. Bijker (1971): Longshore transport computations
- [4] E. W. Bijker (1980): Sedimentation in channels and trenches.
- [5] G.L.M. van der Schrieck, 1996. Baggertechnieken, Faculteit der Civiele Techniek, TU Delft.

Verruiming van de toegangsgeul naar Tees Port

Bijlagen

Bijlagen

Deel A

Bijlage I. Algemene gegevens

In deze bijlage worden een aantal gegevens gegeven die betrekking hebben op de omstandigheden in en rond de Tees & Hartlepool Port. De gegevens zijn afkomstig van Witteveen + Bos

vaargeul afmetingen

De breedte van de vaargeul is nu 244 m (800 ft)

De diameter van de turning circle: 518 m (1700 ft)

	nominale diepte	tolerantie diepte	veilige diepte
Approach channel	15.4 m	14.7 m	14.5 m
River channel	14.1 m	13.3 m	13.1 m

algemeen

Bij binnenvaren van grote schepen of schepen met gevaarlijke lading is er geen ander verkeer toegestaan op de rivier

Grote schepen maken gebruik van het getij. Ze passeren de vaargeul tussen HW -1 uur en HW.

De transit tijd van de fairway buoy tot aan de terminal duurt ongeveer een uur.

Scheepsgegevens bul004a

	L _{oa} [m]	L _{pp} [m]	B [m]	D [m]	displacement [*1000 ton]	dwt [*1000 ton]
Bulk carrier (bul004a)	293	285	48	16.7	205	184

Telegraafstande n	rpm	n (= rps)	speed [knots]
sea full	66	1.1	13.7
harbour full	50	0.83	10.4
half	42	0.7	8.7
slow	35	0.58	7.3
dead slow	28	0.47	5.8

klimaat

golfklimaat: zie tabel I.1

windklimaat: zie tabel I.2

getij: zie tabel I.3

stroming: zie tabel I.4

Wave Climate

Frequency of occurrence

Mean Wave period [s] from to		Mean wave height [m]									TOTAL
		0.00	0.32	0.63	0.95	1.26	1.58	1.89	2.21	2.52	
		0.32	0.63	0.95	1.26	1.58	1.89	2.21	2.52		
0 --	5	37.72	19.29	6.84	2.35	0.33	0.01	0.00	0.00	0.00	66.54
5 --	6	2.22	3.55	4.44	3.33	1.96	0.87	0.03	0.00	0.00	16.40
6 --	7	0.62	1.32	1.87	1.56	2.09	1.99	1.45	0.00	0.00	10.90
7 --	8	0.12	0.55	0.60	0.53	0.80	0.68	1.30	0.00	0.00	4.58
8 --	9	0.04	0.21	0.24	0.07	0.05	0.06	0.20	0.00	0.00	0.87
9 --	10	0.01	0.08	0.11	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.28
10 --		0.00	0.03	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.43
TOTAL		40.73	25.03	14.36	7.85	5.23	3.61	3.05	0.00	0.14	100.00

tabel I.1. golfklimaat

Wind Climate

Frequency of occurrence

Windspeed [knots]

Direction [deg]		0	16	21	27	33	40	47	55	63	TOTAL
from	to	16	21	27	33	40	47	55	63		
349 --	11 .	5.91	0.57	0.57	0.36	0.07	0.01	0.00	0.00	0.22	7.71
11 --	34 .	2.41	0.45	0.33	0.15	0.07	0.04	0.00	0.00	0.00	3.45
34 --	56 .	2.23	0.44	0.25	0.12	0.07	0.16	0.02	0.00	0.00	3.29
56 --	79 .	2.06	0.39	0.41	0.34	0.23	0.07	0.01	0.00	0.00	3.51
79 --	101 .	2.80	0.88	0.87	0.67	0.33	0.08	0.01	0.00	0.00	5.64
101 --	124 .	4.15	0.92	0.69	0.41	0.18	0.06	0.01	0.00	0.00	6.42
124 --	146 .	1.85	0.32	0.23	0.07	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01	2.54
146 --	169 .	1.08	0.31	0.39	0.20	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	2.09
169 --	191 .	1.82	0.78	0.63	0.35	0.15	0.06	0.01	0.00	0.00	3.80
191 --	214 .	3.88	1.55	1.46	1.01	0.54	0.15	0.03	0.00	0.00	8.62
214 --	236 .	6.72	1.75	1.66	1.11	0.63	0.20	0.06	0.02	0.00	12.15
236 --	259 .	10.56	2.28	2.08	1.20	0.68	0.23	0.06	0.00	0.00	17.09
259 --	281 .	4.09	1.45	1.09	0.50	0.25	0.14	0.05	0.01	0.00	7.58
281 --	304 .	2.34	0.79	0.83	0.42	0.25	0.06	0.02	0.00	0.00	4.71
304 --	326 .	2.21	1.52	0.96	0.68	0.24	0.02	0.00	0.00	0.00	5.63
326 --	349 .	2.99	0.95	0.85	0.56	0.27	0.08	0.01	0.00	0.00	5.71
TOTAL		57.10	15.35	13.30	8.15	4.09	1.40	0.29	0.03	0.23	99.94

tabel I.2. windklimaat

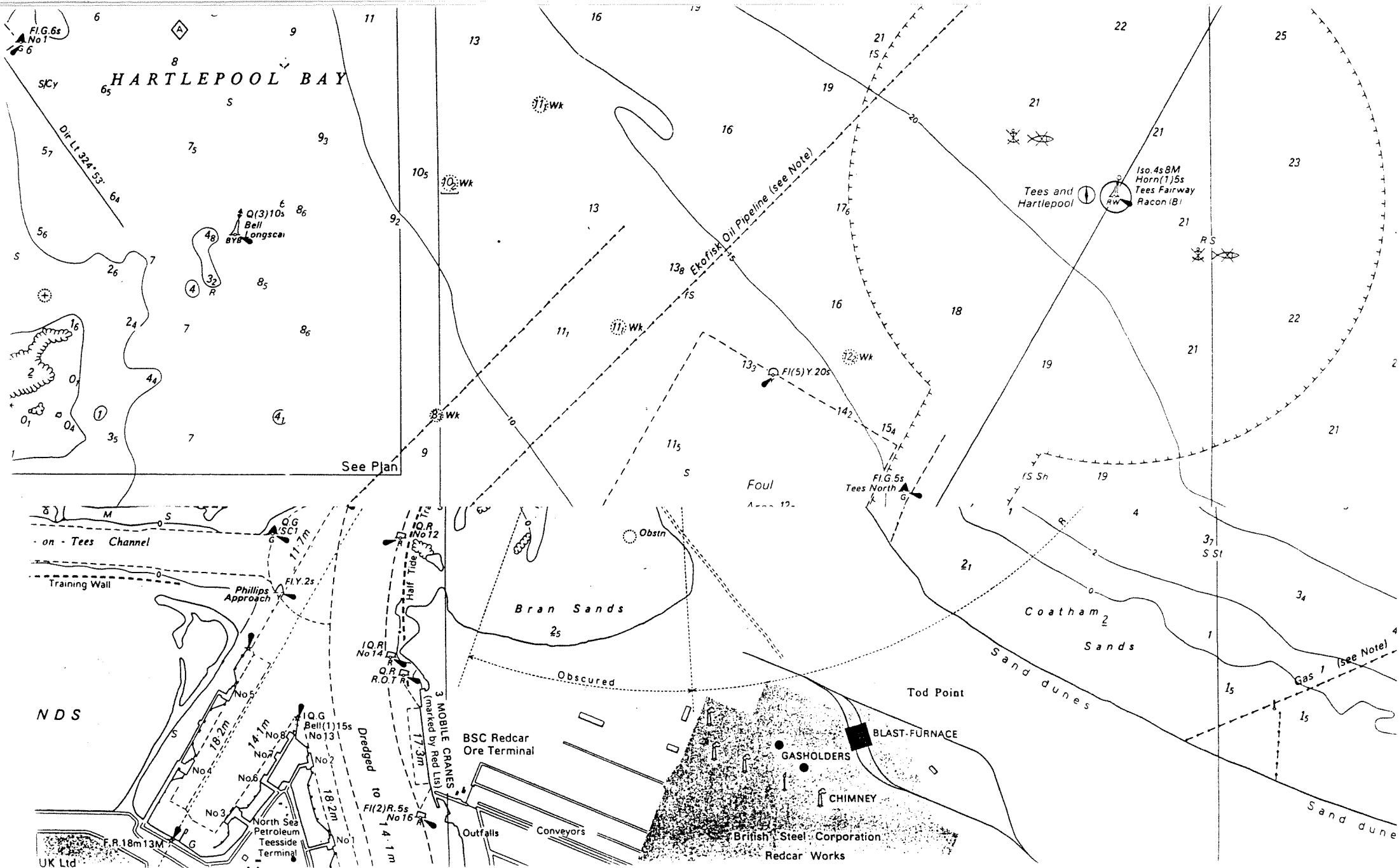
High Water [m]	Exceedance Probability [%]
4.00	100.00
4.10	99.72
4.20	97.88
4.30	95.19
4.40	90.24
4.50	84.16
4.60	77.79
4.70	71.15
4.80	63.93
4.90	56.15
5.00	47.52
5.10	39.32
5.20	31.54
5.30	23.48
5.40	16.97
5.50	11.60
5.60	7.78
5.70	4.38
5.80	2.55
5.90	0.57

Tabel I.3. Hoogwaterverdeling

Location	Spring tide		Neap tide	
	Vcurrent [m/s]	Direction [deg]	Vcurrent [m/s]	Direction [deg]
Tees North	0.27	160	0.14	158
Buoy 3	0.21	155	0.09	155
Buoy 5	0.17	164	0.11	170
Buoys 9/7	0.18	216	0.15	216
Turning Circle	0.0	-	0.0	-

Current velocity and direction

tabel I.4. stroming



Bijlage II. Benodigde breedte volgens PIANC

De bodembreedte w van een vaarweg is voor een geul met éénrichtingsverkeer als volgt:

$$W = W_{BM} + \sum W_i + W_{Br} + W_{Bg}$$

Alle elementen van bovenstaande sommatie staan vermeld in de tabellen hieronder.

Basic manoeuvring lane:

bestuurbaarheid schip	goed	gemiddeld	slecht
Basic manoeuvring lane, W_{BM}	1,3 B	1,5 B	1,8 B

Toegevoegde breedte voor rechte vaargeulsecties:

Breedte, W_i		approach channel open water	river channel beschut water
(a) Snelheid (knopen)			
snel > 12		0,1 B	0,1 B
gemiddeld > 8-12		0,0	0,0
langzaam 5-8		0,0	0,0

Breedte	snelheid	Buiten geul open water	binnen geul beschut water
(b) heersende dwarswind (kn)			
mild < 15 (Beaufort 4)	alle	0,0	0,0
gemiddeld > 15-33 (Beaufort 4-7)	snel	0,3 B	-
	gem.	0,4 B	0,4 B
	langz.	0,5 B	0,5 B
zwaar > 33-48 (>Beaufort 7-9)	snel	0,6 B	-
	gem.	0,8 B	0,8 B
	langz.	1,0 B	1,0 B
© heersende dwarsstroom (kn)			
verwaarloosbaar < 0,2	alle	0,0	0,0
zwak > 0.2-0,5	snel	0,1 B	-
	gem.	0,2 B	0,1 B
	langz.	0,3 B	0,2 B
gemiddeld > 0,5-1,5	snel	0,5 B	-
	gem.	0,7 B	0,5 B
	langz.	1,0 B	0,8 B
sterk > 1,5-2,0	snel	0,7 B	-
	gem.	1,0 B	-
	langz.	1,3 B	-

(d) heersende parallele stroom (kn)			
zwak < 1,5	alle	0,0	0,0
gemiddeld > 1,5-3	snel gem. langz.	0,0 B 0,1 B 0,2 B	- 0,1 B 0,2 B
sterk > 3	snel gem. langz.	0,1 B 0,2 B 0,4 B	- 0,2 B 0,4 B
Breedte, Wi	snelheid	Buiten geul open water	binnen geul besluit water
(e) significante golfhoogte Hs en lengte λ (m)			
Hs < 1 ; λ < L	alle	0,0	0,0
3 > Hs > 1; λ = L		2,0 B 1,0 B 0,5 B	
Hs > 3; λ > L		3,0 B 2,2 B 1,5 B	
(f) aids to navigation			
-perfect, met kust verkeerscontrole		0,0	0,0
-goed		0,1 B	0,1 B
-gemiddeld		0,2 B	0,2 B
soms slecht zicht			
-gemiddeld		> 0,5 B	> 0,5 B
vaak slecht zicht			
(g) bodem oppervlak			
als diepte > 1,5 D		0,0	0,0
als diepte < 1,5 D, dan		0,1 B	0,1 B
-vlak en zacht		0,1 B	0,1 B
-vlak of hellend en hard		0,2 B	0,2 B
-ruw en hard			
(h) diepte vaargeul			
> 1,5 D		0,0	> 1,5 D
1,5 D - 1,25 D		0,1 B	1,5D- 1,25D
< 1,25 D		0,2 B	< 1,25 D
(i) gevaarlijke lading			
-laag		0,0	0,0
-gemiddeld		> 0,5 B	> 0,4 B
-hoog		> 1,0 B	> 0,8 B

Toegevoegde waarde voor bank clearance:

breedte voor bank clearance, W_{BR} of W_{BG}	snelheid	Buiten geul open water	binnen geul beschut water
flauw talud en ondieptes			
	snel gem. langz.	0,7 B 0,5 B 0,3 B	- 0,5 B 0,3 B
steil en hard talud, constructies			
	snel gem. langz.	1,3 B 1,0 B 0,5 B	- 1,0 B 0,5 B

B = breedte schip

L = lengte schip

D = diepgang schip

Bijlage III. SHIPMA invoerfiles

```

*****
**      GENERAL INPUT DATA AND DESCRIPTION OF DESIRED MANOEUVRE      *
*****
**
**
**      *
**      *
**      *
**      *
**      *
**
***** DELFT HYDRAULICS **** OCTOBER 1990 ***
**
**      IDENTIFICATION.
**      Record 1a: Title.                      Maximum = 70 characters
RIVER TEES, ENTRANCE MANOEUVRE.
**-----
**      Record 1b: Project identification.      Maximum = 8 characters
schip.1
**=====
**      TRACK DATA.
**      Record 2a:
**      Number of track lines.          (a)   Minimum = 2
**      Starting point for distances along the track. (SP)          [m]
2      0.
**-----
**      Record 2b: Track co-ordinates.                      [m]
**      Total number of co-ordinate pairs = (a)+1   Minimum = 3
**      Specify the co-ordinates in the direction the ship sails.
17000. 4000. 11500. 900. 10700. 1200.
**-----
**      Record 2c: Radii between two adjacent track lines.    [m]
**      Total number of values = (a)-1   Minimum = 1
1200
**=====
**      Record 3 : Orientation of the North in the SHIPMA co-ordinate system.
**      Angle between the SHIPMA x-axis and the North (clockwise = +). [deg]
0.
**=====
**      START VALUES.
**      Record 4a: 0 = Equilibrium values calculated by SHIPMA.
**      1 = Values specified by the user.
0
**-----
**      Record 4b: Start values for the calculation. (if record 4a = 0)
**      x co-ordinate (in SHIPMA co-ordinate system).          [m]
**      y co-ordinate (in SHIPMA co-ordinate system).          [m]
**      Propeller revolutions.                                  [1/s]
**      x      y      n
17000. 4000. 0.8
**-----
**      Record 4c: Values specified by the user. (if record 4a = 1)
**      X co-ordinate3                      [m]
**      Y co-ordinate3 (in SHIPMA co-ordinate system)          [m]
**      Course angle3                      [deg]
**      Rudder angle.                      [deg]
**      Propeller revolutions.              [1/s]
**      Longitudinal velocity.              [m/s]
**      Transverse velocity.               [m/s]
**      Rate of turn.                      [deg/s]

```

```

** x y psi d n u v r
** 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
=====
** Record 5: Time-step. [s]
** Maximum number of time-steps. Minimum = 2 [-]
10. 400
=====
** TRACK SECTIONS.
** For propeller revolution control.
** Record 6a: Number of track sections. Minimum = 1 [-]
6
** -----
** Record 6b: Start position of track sections. [m]
0 1200 4000 5000 6000 6600
** -----
** Record 6c: Propeller revolutions per track section. [1/s]
0.7 .5 .5 .0 -.2 -.4
** -----
** Record 6d: Power bursts allowed? 0 = no. (inactivate record 6e)
** 1 = yes. ( specify record 6e)
1
** -----
** Record 6e: Maximum propeller revolutions per track section. [1/s]
** Specify this record only if record 6d = 1
** Values for the propeller revolutions during a power burst must be
** positive and greater than the corresponding values in record 6c!!!
1.1 .9 .7 .5 .5 .6
=====
** STOP CRITERION.
** Record 7: Minimum forward speed for terminating the run. [m/s]
.0
=====
** SELECTION OF THE DESIRED MANOEUVRE AND/OR AUTOPILOT SETTING.
** Record 8: Kind of manoeuvre.
** 1 = Track keeping. (specify record 8.1)
** 2 = Turning circle. (specify record 8.2)
** 3 = Zig-zag. (specify record 8.3)
1
** -----
** Record 8.1a: Track keeping. (if record 8 = 1)
** Anticipation distance expressed in overall ship's length. [-]
1.25
** -----
** Record 8.1b: Autopilot setting. (if record 8 = 1)
** coefficient rudder. (A) [-]
** coefficient rudder rate. (B) [-]
** coefficient course angle. (C) [-]
** coefficient cross-track deviation. (D) [-]
** coefficient rate of turn. (E) [-]
** coefficient cross-current. (F) [-]
** coefficient turn acceleration. (G) [-]
** constant rudder angle. (H) [deg]
** A B C D E F G H
1. 0. 7.8 3.8 5.7 7.8 0. 0.
** -----
** Record 8.2: Turning circle manoeuvre. (if record 8 = 2)
** Start time of manoeuvre. [s]
** Rudder angle. *) [deg]

```

** Desired turn angle to return rudder. [deg]

**30. 20. 360.

**-----

** Record 8.3: Zig-zag manoeuvre. (if record 8 = 3)

** Start time of manoeuvre. [s]

** Rudder angle. *) [deg]

** Execute angle. [deg]

**30. 20. 20.

** *) Value must be less or equal to the maximum value in the .SHP file.

**=====

```

*****
**                BOTTOM SCHEMATIZATION                *
*****
**
**
** FILE   : TEES.BOT
** PROJECT : RIVER TEES.
** CLIENT  : MILOU.
** COMMENT : STANDARD .BOT FILE.
**
***** DELFT HYDRAULICS **** OCTOBER 1990 ***
**
**                GRID
** Record 1a: Number of grid points.
**   Number of points in x-direction. (NX)   Minimum = 2
**   Number of points in y-direction. (NY)   Minimum = 2
16 12
**
** Record 1b: Grid origin and grid-cell size.
**   First x-value.                        [m]
**   Grid-cell size in x-direction.        [m]
**   First y-value.                        [m]
**   Grid-cell size in y-direction.        [m]
** x  dx  y  dy
10000. 500. 0. 500.
**=====
** Record 2: Bottom level per grid point with respect to the ref. level.
** !!The reference level must be the same as applied in the .CUR file!!!
** Total number of values = NX * NY
** Values must be entered in rows and parallel to the x-axis. [m]
0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. -5. -5. -5. -7. -8. -8.
0. 0. -14.1 -14.1 -14.1 0. 0. 0. -1. -4. -7. -6. -7. -9. -8. -8.
-14.1 -14.1 -14.1 -14.1 -14.1 0. 0. 0. -5. -6. -7. -7. -7. -9. -10. -10.
0. 0. 0. -14.1 -14.1 -14.1 -14.1 0. -7. -8. -7. -9. -9. -11. -12. -12.
0. 0. 0. 0. -14.1 -14.1 -14.1 -15.4 -9. -9. -8. -10. -11. -13. -14. -14.
0. 0. 0. 0. 0. 0. -8. -15.4 -15.4 -11. -11. -13. -14. -16. -16.
0. 0. 0. 0. 0. 0. -5. -8. -8. -12. -15.4 -15.4 -15. -16. -17. -18.
0. 0. 0. 0. 0. -2. -8. -9. -9. -13. -14. -16. -15.4 -18. -19. -20.
0. 0. 0. 0. -2. -3. -10. -11. -11. -14. -16. -17. -19. -19. -20. -21.
0. 0. 0. 0. -2. -5. -10. -12. -12. -15. -16. -18. -19. -21. -21. -21.
0. 0. 0. -2. -5. -8. -12. -14. -14. -15. -17. -19. -20. -22. -23. -23.
0. 0. 0. -2. -5. -8. -12. -14. -14. -17. -19. -19. -21. -23. -23. -25.
**=====

```

** CURRENT-PATTERN AND WATER LEVEL *

** *
** FILE : TEES.CUR. *
** PROJECT : RIVER TEES. *
** CLIENT : MILOU *
** COMMENT : STANDARD .CUR FILE. *
** *

***** DELFT HYDRAULICS **** OCTOBER 1990 ***

**

** GRID.

** Record 1a: Number of grid points.

** Number of points in x-direction. (NX) Minimum = 2

** Number of points in y-direction. (NY) Minimum = 2

16 10

** -----

** Record 1b: Grid-origin and grid-cell size.

** Co-ordinates in the earthfixed co-ordinate system.

** First x-value. [m]

** Grid-cell size in x-direction. [m]

** First y-value. [m]

** Grid-cell size in y-direction. [m]

** x dx y dy
10000. 500. 0. 500.

** =====

** WATER LEVEL AND CURRENT-DATA.

** Record 2a:

** Water level w.r.t. the same reference as in the .BOT file. [m]

** Tidal factor (Multiplication factor for current-velocities). [-]

5.0 .5

** -----

** Record 2b: Current-velocity [m/s] and direction [deg] per grid point.

** Direction in the earth-fixed co-ordinate system.

** Total number of data pairs = NX * NY

** Values must be entered in rows and parallel to the x-axis.

.0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .17 160. .20 160. .23 160. .27
160. .27 160. .27 160.
.0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .17 160. .23 160. .25 160. .27
160. .27 160. .27 160.
.0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .1 216. .18 216. .0 0. .0 0. .0 0. .18 160. .21 160. .25 160. .27 160.
.27 160. .27 160. .27 160.
.0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .18 216. .18 216. .18 216. .18 180. .18 160. .20 155. .23 160. .25 160. .27
160. .27 160. .27 160. .27 160.
.0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .16 216. .17 200. .17 164. .19 160. .22 155. .25 160. .25 160. .27
160. .27 160. .27 160. .27 160.
.0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .14 180. .0 0. .17 164. .20 162. .22 160. .24 160. .26 160. .27
160. .27 160. .27 160. .27 160.
.0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .10 160. .16 164. .22 160. .24 160. .24 160. .26 160. .27
160. .27 160. .27 160. .27 160.
.0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .10 164. .16 164. .18 160. .22 160. .24 160. .24 160. .26 160. .27
160. .27 160. .27 160. .27 160.
.0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .12 164. .16 162. .18 160. .23 160. .24 160. .25 160. .26 160. .27
160. .27 160. .27 160. .27 160.
.0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .0 0. .16 164. .18 162. .18 160. .23 160. .25 160. .26 160. .26 160. .27
160. .27 160. .27 160. .27 160.

** =====

** WIND PATTERN *

** *

** FILE : TEES.WIN *

** PROJECT : RIVER TEES. *

** CLIENT : MILOU. *

** COMMENT : STANDARD .WIN FILE; 10M/S *

** *

***** DELFT HYDRAULICS ***** OCTOBER 1990 ***

**

** WIND LINE.

** Record 1a: Number of points on wind line. Minimum = 2

7

** =====

** Record 1b: Definition wind line.

** Co-ordinates in the earth-fixed co-ordinate system.

** x co-ordinate of first wind line point. [m]

** y co-ordinate of first wind line point. [m]

** Tangent of the wind line. [-]

** Step size along the wind line. [m]

** x y tg ds
10000. 0. 0. 500.

** =====

** Record 2: Wind speed [m/s] and direction [deg] per grid point.

** Direction in the earth-fixed co-ordinate system.

** Number of data pairs as specified in record 1a.

10. 120. 10. 120. 10. 120. 10. 120. 10. 120. 10. 120. 10. 120.

** =====

** Record 3: Mass density of air. [kg/m**3]

1.22

** =====

```

*****
**                                WIND PATTERN                                *
*****
**                                *
**
** FILE      : TEES2.WIN                *
** PROJECT   : RIVER TEES.              *
** CLIENT    : MILOU                    *
** COMMENT   : 2e STANDARD .WIN FILE: 16 M/S      *
**                                *
***** DELFT HYDRAULICS ***** OCTOBER 1990 ***
**
**                                WIND LINE.
** Record 1a: Number of points on wind line.      Minimum = 2
7
**-----
** Record 1b: Definition wind line.
** Co-ordinates in the earth-fixed co-ordinate system.
**   x co-ordinate of first wind line point.      [m]
**   y co-ordinate of first wind line point.      [m]
**   Tangent of the wind line.                    [-]
**   Step size along the wind line.                [m]
**   x      y      tg      ds
    10000.  0.    0.    500.
**=====
** Record 2: Wind speed [m/s] and direction [deg] per grid point.
** Direction in the earth-fixed co-ordinate system.
** Number of data pairs as specified in record 1a.
16. 280. 16. 280. 16. 280. 16. 280. 16. 280. 16. 280. 16. 280.
**=====
** Record 3: Mass density of air.                [kg/m**3]
1.22
**=====

```

**** FILE : VAAR.WAV.
**** SHIP : BULK CARRIER: bul004a5.
**** DIMENSIONS : 293 m * 48 m * 16.7 M
**** PROJECT : RIVER TEES
**** CLIENT : MILOU
**** COMMENT : STANDARD .WAV FILE (Dir165° , Hs = 2.0 m)

**** BUL004a5.wav **** Hs =2.0 m *

**** SHIP: BULKCARRIER Loa=293 m Lpp=285 m B=48.0 m T=16.7 m **

** Input file for Labelled Common area
** for wave drag coefficients, wave height and direction.

** Record 1a:
** Number of angles for which coefficients to be entered : NGALF (W)
** Number of points in wave field : NGV (P)
** 1 < NGALF < 21
** 1 < NGV < 51
**

19 9

**

** record 1b:
** Angles in vessel coordinate system : GALFA [deg]
** Number of figures to read: NGALF
**

0. 10. 20. 30. 40. 50. 60. 70.
80. 90. 100. 110. 120. 130. 140. 150.
160. 170. 180.

**

** record 2a:
** Coefficients, X-axis : CXG [N/m/m]
** Number of figures to read: NGALF
**
3.032E4, 3.032E4, 3.032E4, 3.032E4, 3.032E4, 3.032E4, 3.948E4, 3.422E4
1.053E4,-5.264E3,-1.716E4,-2.896E4,-3.028E4,-2.896E4,-2.896E4,-2.896E4
-2.896E4,-2.896E4,-2.896E4

**

** record 2b:
** wave drift Coefficients, Y-axis : CYG [N/m/m]
** Number of figures to read: NGALF
**

0.00E00, 1.449E4, 4.348E4, 7.896E4, 1.238E5, 1.751E5, 2.088E5, 2.464E5
2.788E5, 2.800E5, 2.612E5, 2.424E5, 2.404E5, 1.751E5, 1.226E5, 8.080E4
4.182E4, 1.349E4, 0.00E00

**

** record 2c:
** Coefficients of moment : CNG [N/m]
** Number of figures to read : NGALF
**

0.00E00,-7.061E5,-1.410E6,-1.668E6,-1.774E6,-1.552E6,-1.152E6,-7.399E5
-3.760E5,-9.399E4, 3.061E5, 5.880E5, 8.218E5, 8.218E5, 7.640E5, 6.579E5
4.820E5, 2.579E5, 0.00E00

-3.760E5,-9.399E4, 3.061E5, 5.880E5, 8.218E5, 8.218E5, 7.640E5, 6.579E5
4.820E5, 2.579E5, 0.00E00

**

**=====

** record 3: definition of wave-line

** WAVE FIELD:

** First wave field point, x-coordinate : X1G [m]

** First wave field point, y-coordinate : Y1G [m]

** Directional coefficient, line : RCG [-]

** Step size : STAPG

**

** x y tg ds
10000. 0. 0. 1000.

**

**=====

** record 4: Wave points consisting of:

** 1 Wave height (Hs) [m]

** 2 Wave direction in simulator coordinate system [deg]

**

** The grid is now defined as a number of points on the line.

** Up to four wave points per line.

** Total number of figures to read: 2 * NGV ; (P) pairs

**

0.0 170. 0.0 200. 0.20 200. 0.90 180. 1.50 165.

2.0 165. 2.0 165. 2.0 165. 2.0 165.

**

**

=====

**** FILE : VAARB.WAV

**** SHIP : BULK CARRIER: bul004a5.

**** COMMENT : STANDARD .WAV FILE (Dir. 120° , Hs = 2.0 m)

=====

** record 4

**

** Wave points consisting of:

** 1 Wave height (Hs) [m]

** 2 Wave direction in simulator coordinate system [deg]

**

** The grid is now defined as a number of points on the line.

** Up to four wave points per line.

** Total number of figures to read: 2 * NGV ; (P) pairs

**

0.0 170. 0.0 200. 0.0 200. 0.80 160. 1.30 130.

2.0 120. 2.0 120. 2.0 120. 2.0 120.

**

**

=====

**** FILE : VAAR1A.WAV

**** SHIP : BULK CARRIER: bul004a5.

**** COMMENT : STANDARD .WAV FILE (Dir.165° , Hs = 1.0 m)

=====

** record 4

**

** Wave points consisting of:

** 1 Wave height [m]

** 2 Wave direction in simulator coordinate system [deg]

**

** The grid is now defined as a number of points on the line.

** Up to four wave points per line.

** Total number of figures to read: 2 * NGV ; (P) pairs

**

0.0 170. 0.0 200. 0.10 200. 0.45 180. 0.75 165.

1.0 165. 1.0 165. 1.0 165. 1.0 165.

**

**

=====

**** FILE : VAAR1B.WAV

**** SHIP : BULK CARRIER: bul004a5.

**** COMMENT : STANDARD .WAV FILE (Dir.120° , Hs =1.0 m)

**=====

** record 4

**

** Wave points consisting of:

** 1 Wave height [m]

** 2 Wave direction in simulator coordinate system [deg]

**

** The grid is now defined as a number of points on the line.

** Up to four wave points per line.

** Total number of figures to read: 2 * NGV ; (P) pairs

**

0.0 170. 0.0 200. 0.0 200. 0.40 160. 0.65 130.

1.0 120. 1.0 120. 1.0 120. 1.0 120.

**

**

=====

```

*****
**** FILE : VAAR2A.WAV
**** SHIP : BULK CARRIER: bul004a5.
**** COMMENT : STANDARD .WAV FILE (Dir.165° , Hs = 1.5 m )
*****
**=====
** record 4
**
** Wave points consisting of:
**      1 Wave height                      [m]
**      2 Wave direction in simulator coordinate system  [deg]
**
** The grid is now defined as a number of points  on the line.
** Up to four wave points per line.
** Total number of figures to read: 2 * NGV  ; (P) pairs
**
0.0 170. 0.0 200. 0.15 200. 0.65 180. 1.0 165.
1.5 165. 1.5 165. 1.5 165. 1.5 165.
**
**
=====

```

```

*****
**** FILE : VAAR2B.WAV
**** SHIP : BULK CARRIER: bul004a5.
**** COMMENT : STANDARD .WAV FILE (Dir.120° , Hs = 1.5 )
*****
**=====
** record 4
**
** Wave points consisting of:
**      1 Wave height                      [m]
**      2 Wave direction in simulator coordinate system  [deg]
**
** The grid is now defined as a number of points  on the line.
** Up to four wave points per line.
** Total number of figures to read: 2 * NGV  ; (P) pairs
**
0.0 170. 0.0 200. 0.0 200. 0.60 160. 1.0 130.
1.5 120. 1.5 120. 1.5 120. 1.5 120.
**
**
=====

```

```
*****
**** FILE : VAAR3A.WAV
**** SHIP : BULK CARRIER: bul004a5.
**** COMMENT : STANDARD .WAV FILE (Dir.165° , Hs = 3.0 m )
*****
```

```
=====
** record 4
**
** Wave points consisting of:
**      1 Wave height                [m]
**      2 Wave direction in simulator coordinate system  [deg]
**
** The grid is now defined as a number of points on the line.
** Up to four wave points per line.
** Total number of figures to read: 2 * NGV ; (P) pairs
**
0.0 170. 0.0 200. 0.30 200. 1.4 180. 2.25 165.
3.0 165. 3.0 165. 3.0 165. 3.0 165.
**
**
=====
```

```
*****
**** FILE : VAAR3B.WAV
**** SHIP : BULK CARRIER: bul004a5.
**** COMMENT : STANDARD .WAV FILE (Dir.120° , Hs = 3.0 m )
*****
```

```
=====
** record 4
**
** Wave points consisting of:
**      1 Wave height                [m]
**      2 Wave direction in simulator coordinate system  [deg]
**
** The grid is now defined as a number of points on the line.
** Up to four wave points per line.
** Total number of figures to read: 2 * NGV ; (P) pairs
**
0.0 170. 0.0 200. 0.0 200. 1.20 160. 1.80 130.
3.0 120. 3.0 120. 3.0 120. 3.0 120.
**
**
=====
```

```

*****
**                BANK SUCTION                *
*****
**
**
** FILE      : VAAR.BNK
** PROJECT   : RIVER TEES.
** CLIENT    : MILOU.
** COMMENT   : STANDARD .BNK FILE FOR CONDITIONS WITH BANK SUCTION. *
**
***** DELFT HYDRAULICS **** OCTOBER 1990 ***
**
**                POSITION OF THE BANKS.
** Record 1a: Number of track parameters at which the banks will be
** defined.                Minimum = 2
6
** -----
** Record 1b: Track parameters and distances to the banks.
** Track parameter.                [m]
** Distance to the bank at the portside of the desired track. [m]
** Distance to the bank at the starboard side of the desired track. [m]
** Number of data lines as specified in record 1a.
4700. 10000. 10000.
4760. 182. 400.
5500. 140. 180.
6000. 160. 180.
6700. 200 400.
7000. 400. 400.
** =====
**                BANK SUCTION COEFFICIENTS.
** Coefficients according to the water depths in related CFT file.
**                Water depth: H1
** Record 2a: Coefficients. (x-forces)
** xuuu_bh xuavb_b
0. 0.
** -----
** Record 2b: Coefficients. (y-forces)
** yuvx yauu yaaauu yaauv
0. -5.07E5 0. 0.
** -----
** Record 2c: Coefficients. (moment)
** nuvx nauu naaaau naauv
0. 2.4E7 0. 0.
** -----
**                Water depth: H2
** Record 2d: Coefficients. (x-forces)
** xuuu_bh xuavb_b
0. 0.
** -----
** Record 2e: Coefficients. (y-forces)
** yuvx yauu yaaauu yaauv
0. -1.8e5 0. 0.
** -----
** Record 2f: Coefficients. (moment)
** nuvx nauu naaaau naauv
0. 0.8e7 0. 0.
** =====
**                MOMENT MULTIPLICATION FACTORS.
** Record 3a: Number of track parameters with multiplication factors.

```

Minimum = 2

2

**

** Record 3b: Track parameters and moment multiplication factors.

** Track parameter. [m]

** Multiplication factor at the portside of the desired track. [-]

** Multiplication factor at the starbord side of the desired track.[-]

** Number of data lines as specified in record 3a.

1.e6 1. 1.

2.e6 1. 1.

**=====

```

*****
**                                *
**                                TUGS
**                                *
*****
**                                *
**                                *
** FILE      : VAAR.TUG
** PROJECT   : RIVER TEES.
** CLIENT    : MILOU.
** COMMENT   : STANDARD .TUG FILE. (4 TUGS: BOLLARD PULL 35 TONS EACH) *
**                                *
***** DELFT HYDRAULICS ***** OCTOBER 1990 ***
**
** Record 1: Start-and-stop criteria for tug assistance.
** Track parameters for start position and stop position.      [m]
4000. 7500.
**=====
** Record 2: Maximum number of ship's propeller revolutions at which
** tugs are in track keeping mode.                               [1/s]
0.
**=====
** Record 3: Tug coefficients for power-burst control.          [-]
** tfactY tfactN
50. 50.
**=====
** Record 4: Time-constant for reaching the maximum tug force. [s]
10.
**=====
** Record 5: Lining-up.
** Track parameter at which tugs will be in lining-up mode.    [m]
1E6
**=====
** Record 6: Bollard pull of the eight available tugs.
**
**
**      1
**      <--^-->
**      8 --> / \ <-- 2
**      | |
**      | |
**      7 --> | | <-- 3
**      | |
**      | |
**      6 --> | | <-- 4
**      <--\___/-->
**      5
**
**      NB. Tugs nr. 1 and 5 can pull in both
**      directions perpendicular to the
**      ship's x-axis.
**      Tugs nrs. 2, 3, 4, 6, 7 and 8 can
**      only push perpendicular on the
**      ship's x-axis.
**
**      -----IMPORTANT-----
**      !!! BOLLARD PULL IN KILONEWTONS !!!
**      -----
**
** Bollard pull for tug number:      [kN]
** 1 2 3 4 5 6 7 8
350. 0. 350. 0. 350. 0. 350. 0.
**=====
** Record 7: Coefficients for the tug controller.              [-]
** KvY KrY krPSI
0.5 2.0 2.0
**=====

```

Bijlage IV. SHIPMA plots

In deze bijlage staan de plots van de gemaakte SHIPMA-runs.

De eerste plot is de trackplot. Deze geeft aan hoe het schip vaart langs de gewenste route. De getallen naast de baan van het schip geven aan hoever het schip gevaren heeft ten opzichte van het opgegeven vertrekpunt (het begin van de approach channel). Deze afstand wordt ook gebruikt in de dataplots.

De tweede plot is de flowplot. Hierop is te zien hoe de stroming loopt en hoe sterk die is. Ook de track van het schip is erop aangegeven.

De andere plots zijn dataplots. Hierin staan de waardes van een aantal parameters uitgezet tegen de afstand.

Vaak zijn meerdere runs gecombineerd in één plot. Zo zijn de verschillende runs gemakkelijker te vergelijken. Onder de plots staat aangegeven welke runs er zijn afgebeeld.

met:

dy = afwijking naar bak- of stuurboord die het schip heeft van z'n ideale baan [m]

swept path = de ruimte die het schip inneemt bij het volgen van z'n baan [m]

dpsi = de hoek die de lengte-as van het schip maakt met de as van de ideale baan [graden]

u = vaarsnelheid [m/s]

rudder = de roerhoek [graden]

n = aantal omwentelingen van de schroef per seconde [omw./s]

SB = stuurboord

P = bakboord

Op de horizontale as staat de afstand die het schip heeft afgelegd ten opzichte van het beginpunt (het begin van de approach channel)

Hieronder worden van een aantal SHIPMA-runs de ingevoerde wind- en golfvelden gegeven. Bij al deze runs is gebruik gemaakt van vier sleepboten. Deze maken vast net voordat het schip de river channel opvaart. Het schip vaart een koers van 210° (tot de bocht op de river channel).

Bij de runs schip00 t/m schip12 en schip18 t/m schip21 vindt geen bank suction plaats

| |
|--------------|
| schip00.run |
| wind: geen |
| golven: geen |

| | |
|--|--|
| schip01.run | schip07.run |
| wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°) | wind: 10 m/s, dwars (120°) |
| golven: Hs = 2.0 m, schuin van achteren (165°) | golven: Hs = 2.0 m, schuin van achteren (165°) |

| | |
|--|----------------------------------|
| schip02.run | schip08.run |
| wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°) | wind: 10 m/s, dwars (120°) |
| golven: Hs = 2.0 m, dwars (120°) | golven: Hs = 2.0 m, dwars (120°) |

| | |
|--|--|
| schip03.run | schip09.run |
| wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°) | wind: 10 m/s, dwars (120°) |
| golven: Hs = 1.5 m, schuin van achteren (165°) | golven: Hs = 1.5 m, schuin van achteren (165°) |

| | |
|--|----------------------------------|
| schip04.run | schip10.run |
| wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°) | wind: 10 m/s, dwars (120°) |
| golven: Hs = 1.5 m, dwars (120°) | golven: Hs = 1.5 m, dwars (120°) |

| | |
|--|--|
| schip05.run | schip11.run |
| wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°) | wind: 10 m/s, dwars (120°) |
| golven: Hs = 1.0 m, schuin van achteren (165°) | golven: Hs = 1.0 m, schuin van achteren (165°) |

| | |
|--|----------------------------------|
| schip06.run | schip12.run |
| wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°) | wind: 10 m/s, dwars (120°) |
| golven: Hs = 1.0 m, dwars (120°) | golven: Hs = 1.0 m, dwars (120°) |

| | |
|--|--|
| schip18.run | schip20.run |
| wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°) | wind: 10 m/s, dwars (120°) |
| golven: Hs = 3.0 m, schuin van achteren (165°) | golven: Hs = 3.0 m, schuin van achteren (165°) |

| | |
|--|----------------------------------|
| schip19.run | schip21.run |
| wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°) | wind: 10 m/s, dwars (120°) |
| golven: Hs = 3.0 m, dwars (120°) | golven: Hs = 3.0 m, dwars (120°) |

Bij de runs schip13 t/m schip17 en schip22 t/m 25 vindt bank suction plaats

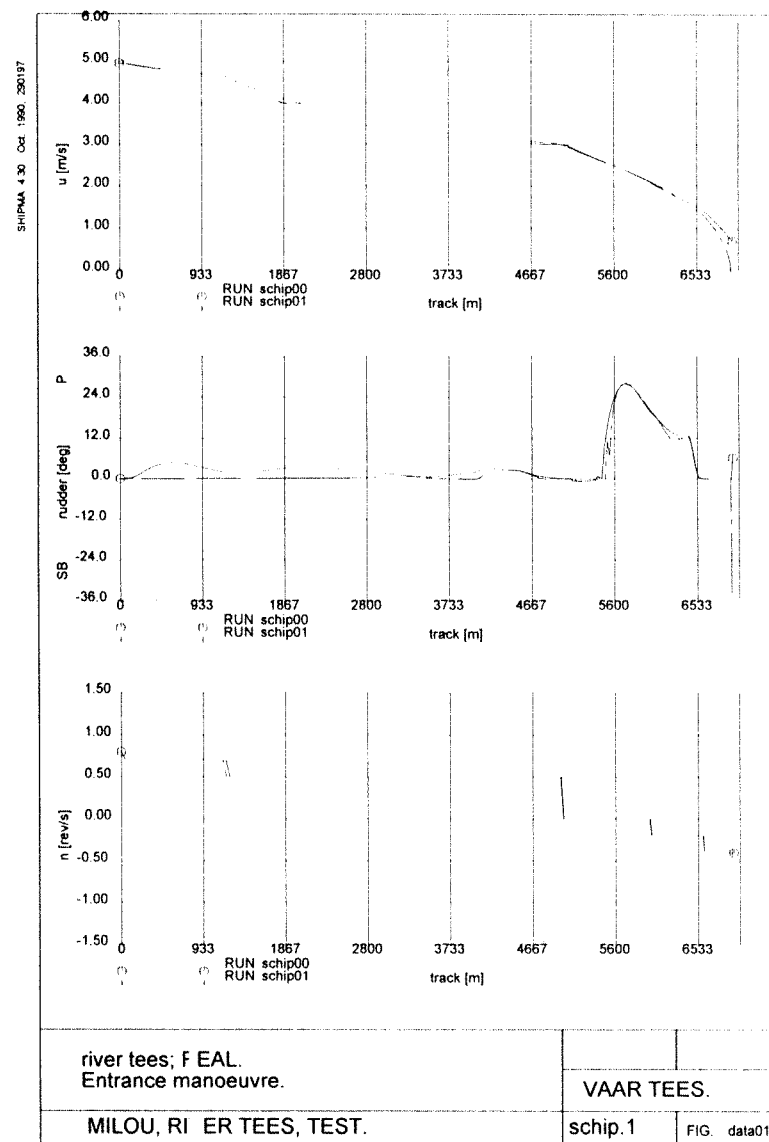
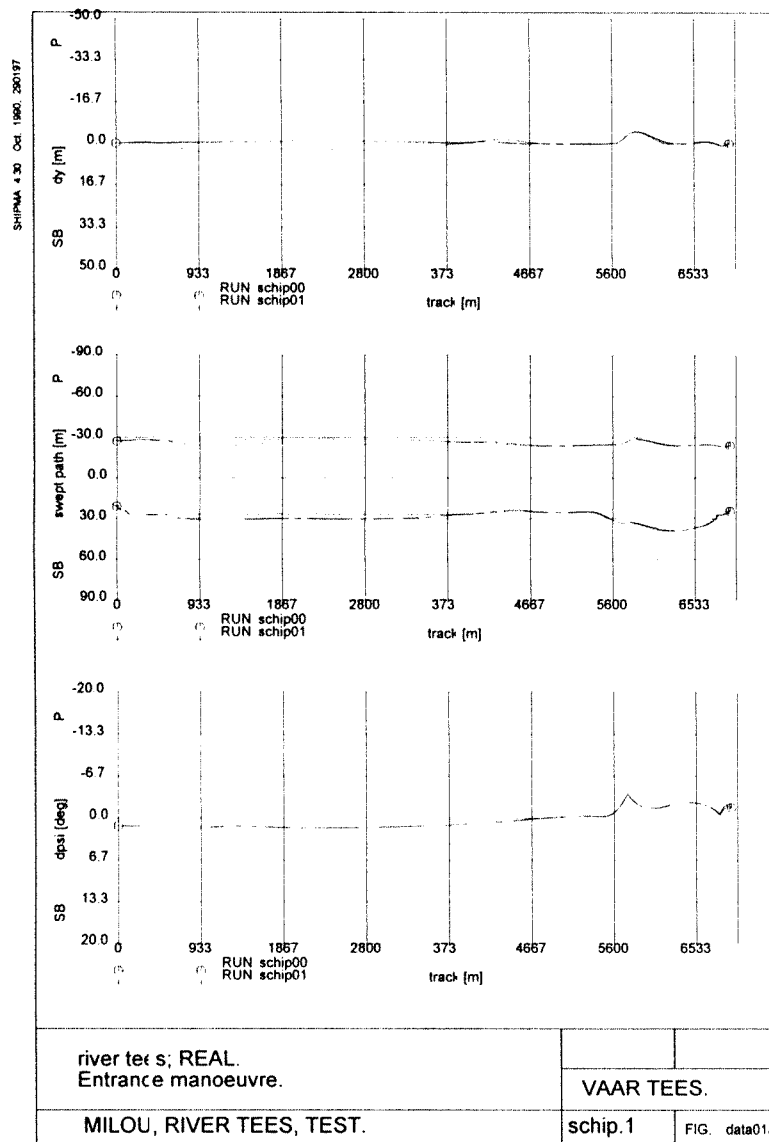
| |
|--------------|
| schip13.run |
| wind: geen |
| golven: geen |

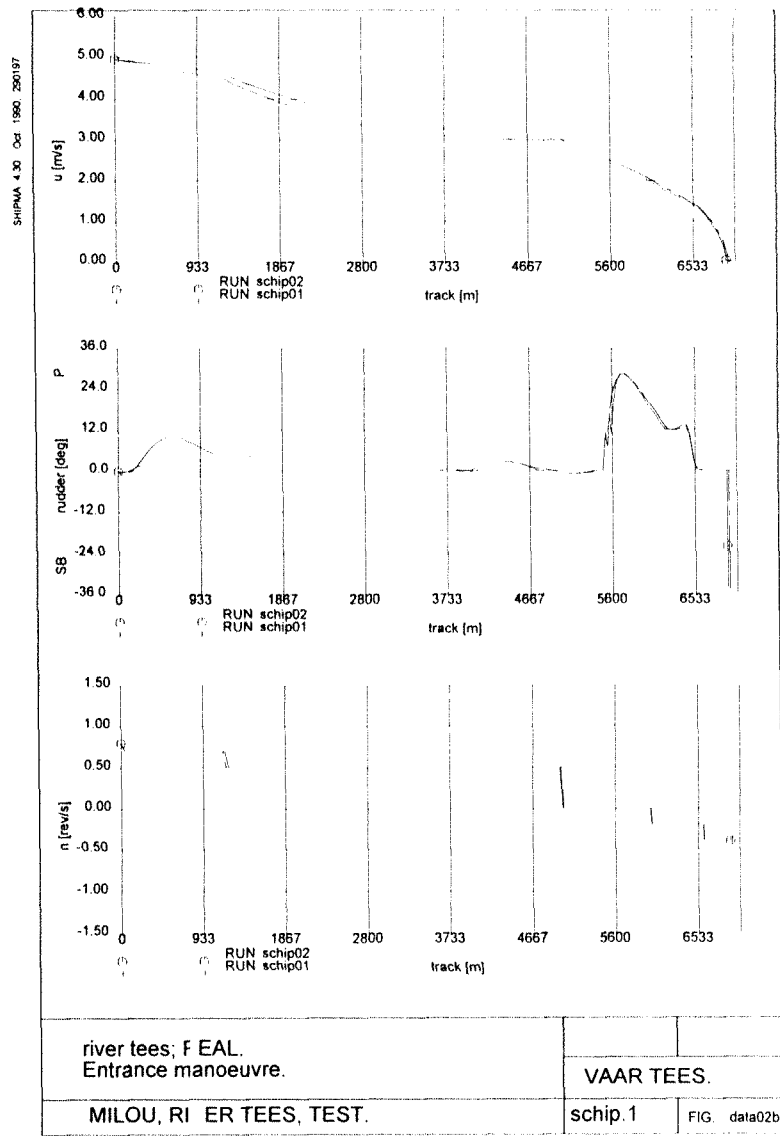
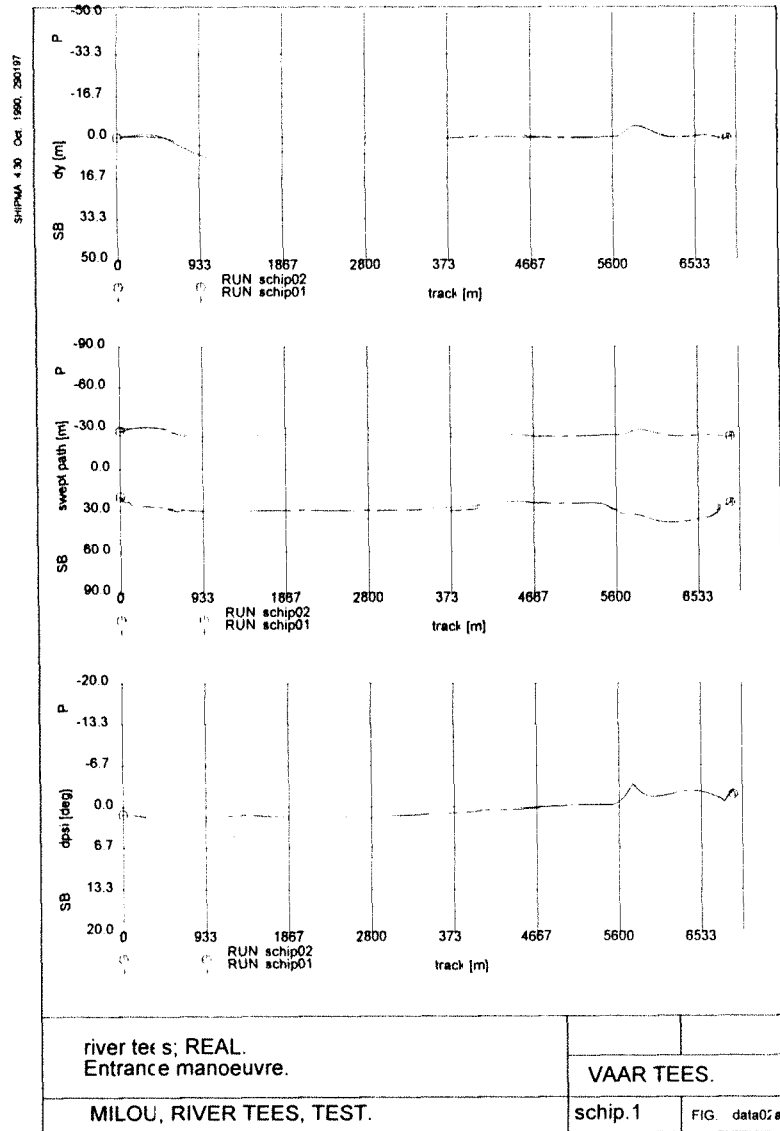
| | |
|--|----------------------------------|
| schip14.run | schip16.run |
| wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°) | wind: 10 m/s, dwars (120°) |
| golven: Hs = 2.0 m, dwars (120°) | golven: Hs = 2.0 m, dwars (120°) |

| | |
|--|----------------------------------|
| schip15.run | schip17.run |
| wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°) | wind: 10 m/s, dwars (120°) |
| golven: Hs = 1.0 m, dwars (120°) | golven: Hs = 1.0 m, dwars (120°) |

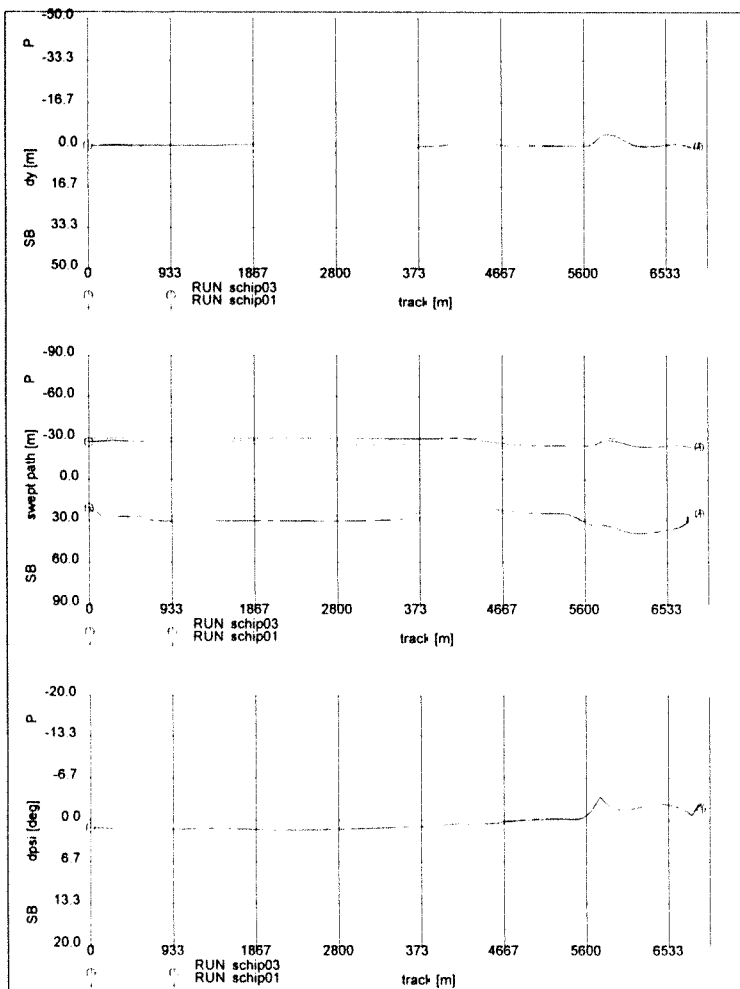
| | |
|--|--|
| schip22.run | schip24.run |
| wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°) | wind: 10 m/s, dwars (120°) |
| golven: Hs = 3.0 m, schuin van achteren (165°) | golven: Hs = 3.0 m, schuin van achteren (165°) |

| | |
|--|----------------------------------|
| schip23.run | schip25.run |
| wind: 16 m/s, schuin van achteren (280°) | wind: 10 m/s, dwars (120°) |
| golven: Hs = 3.0 m, dwars (120°) | golven: Hs = 3.0 m, dwars (120°) |





SHIPMA 4.30 Oct 1990 250197



river tees; REAL.
Entrance manoeuvre.

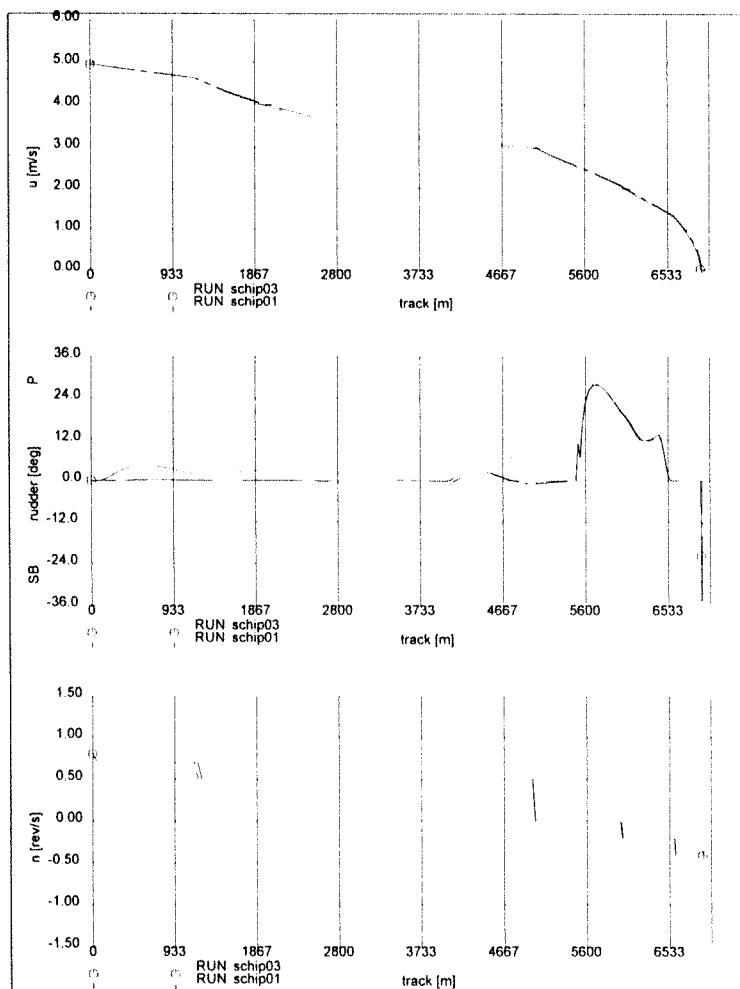
VAAR TEES.

MILOU, RIVER TEES, TEST.

schip.1

FIG. data03a

SHIPMA 4.30 Oct 1990 250197



river tees; F EAL.
Entrance manoeuvre.

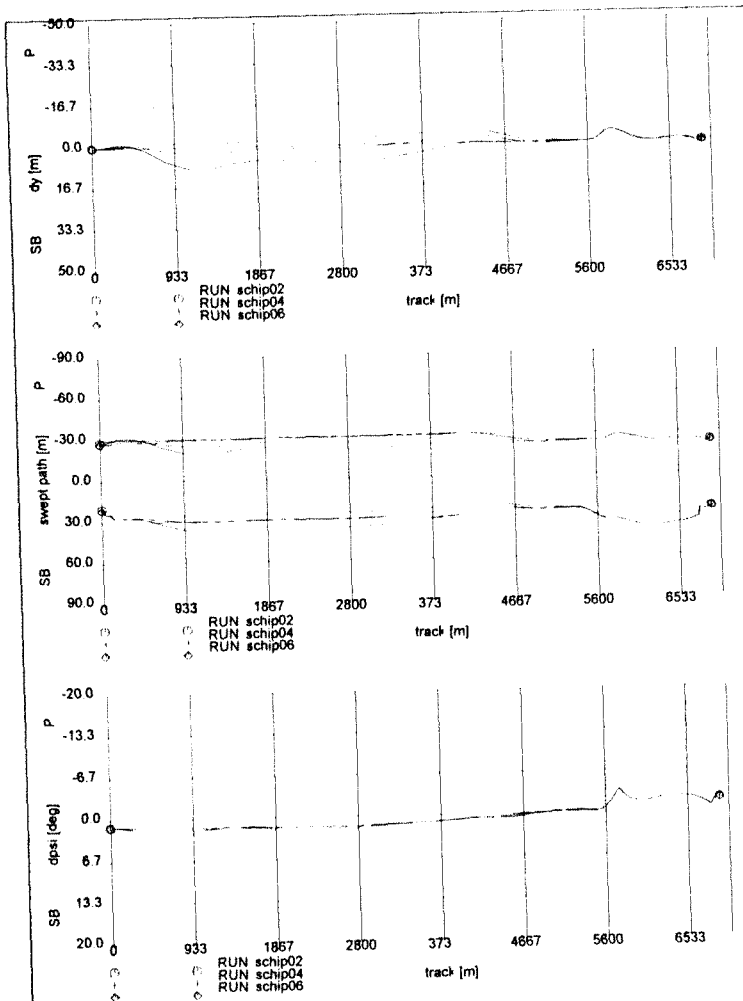
VAAR TEES.

MILOU, RIVER TEES, TEST.

schip.1

FIG. data03b

SHIPMA 4.30 Oct 1992 200197



river tees; REAL.
Entrance manoeuvre.

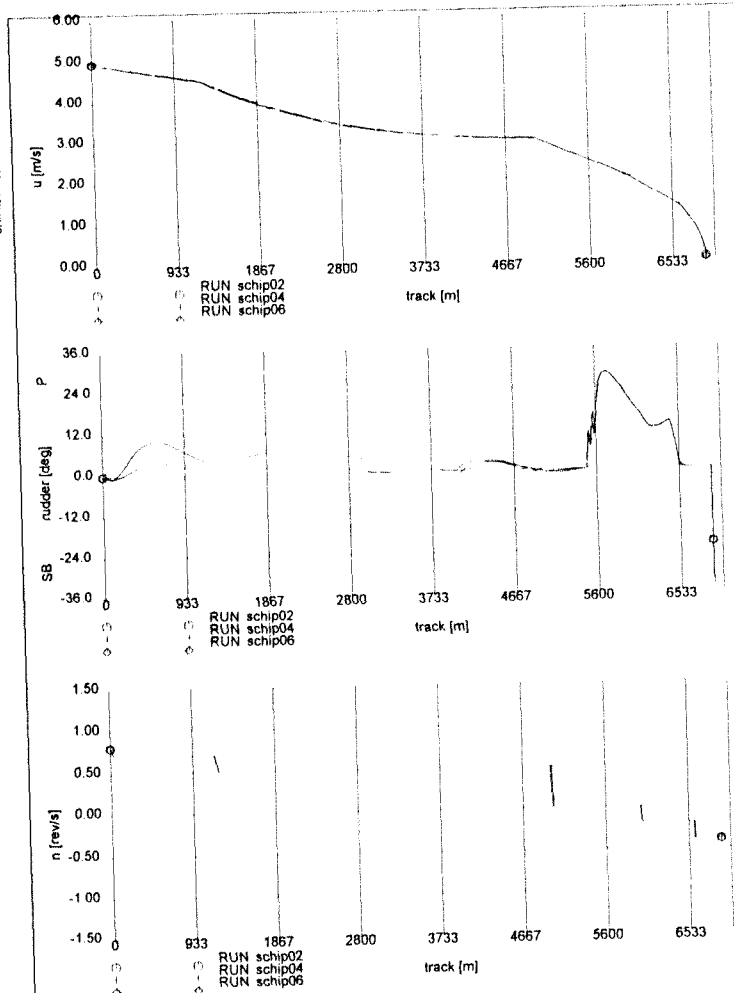
MILOU, RIVER TEES, TEST.

VAAR TEES.

schip.1

FIG. data04a

SHIPMA 4.30 Oct 1992 200197



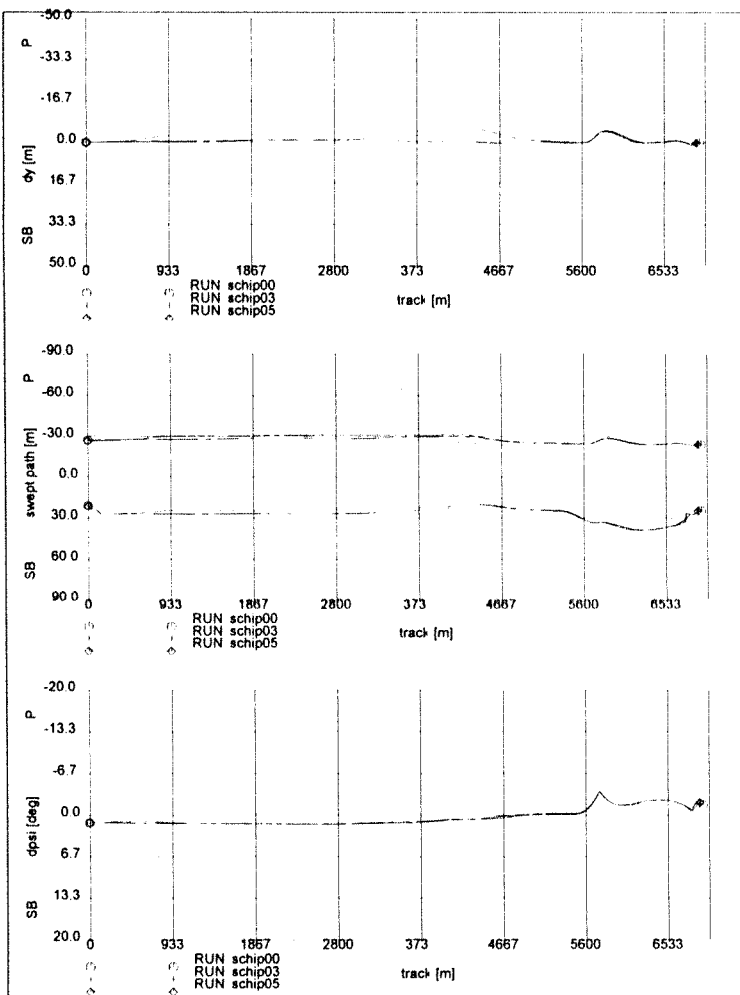
river tees; F EAL.
Entrance manoeuvre.

MILOU, RIVER TEES, TEST.

VAAR TEES.

schip.1

FIG. data04b



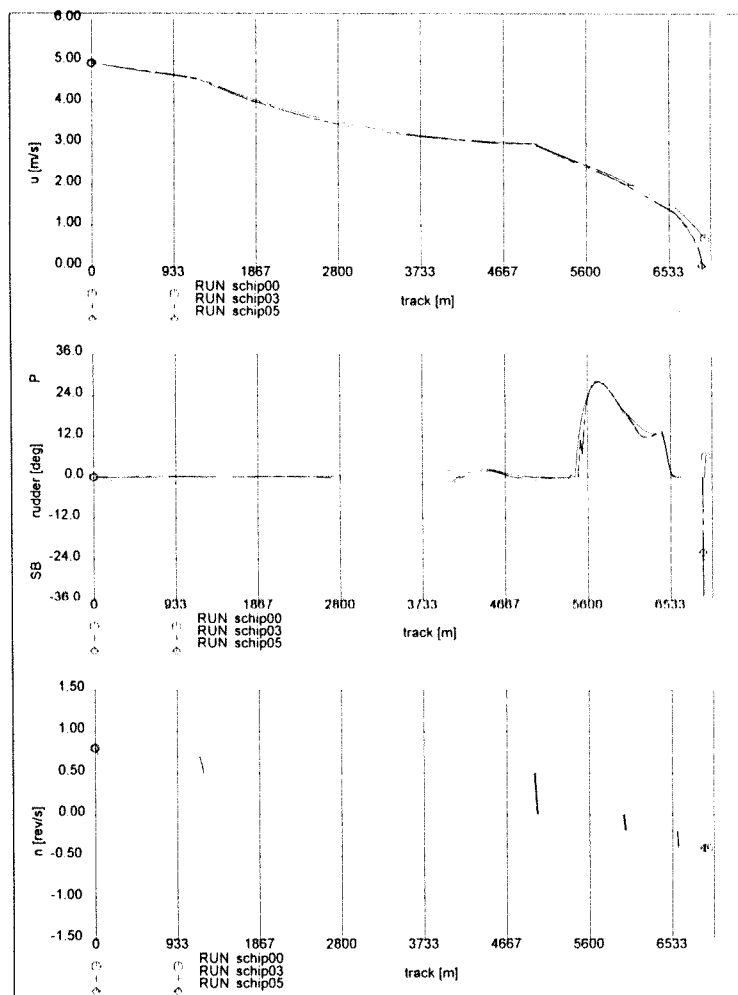
river tees; REAL.
Entrance manoeuvre.

MILOU, RIVER TEES, TEST.

VAAR TEES.

schip. 1

FIG data05a



river tees; F EAL.
Entrance manoeuvre.

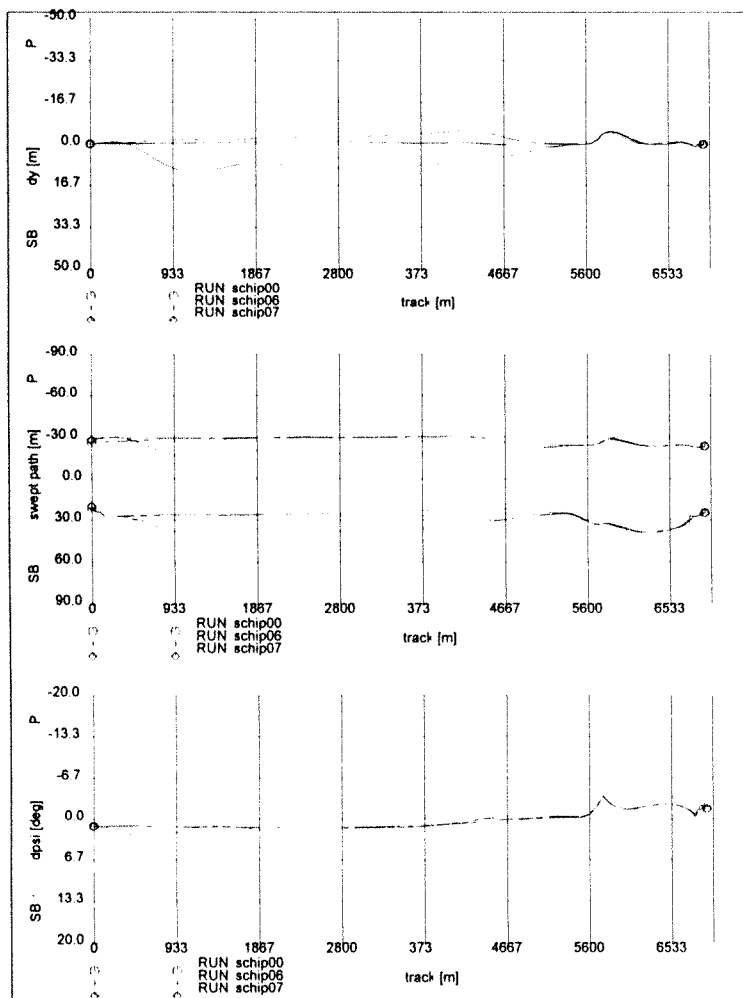
MILOU, RIVER TEES, TEST.

VAAR TEES.

schip. 1

FIG data05b

SHIPMA 4.30 Oct 1990 20:197



river tees; REAL.
Entrance manoeuvre.

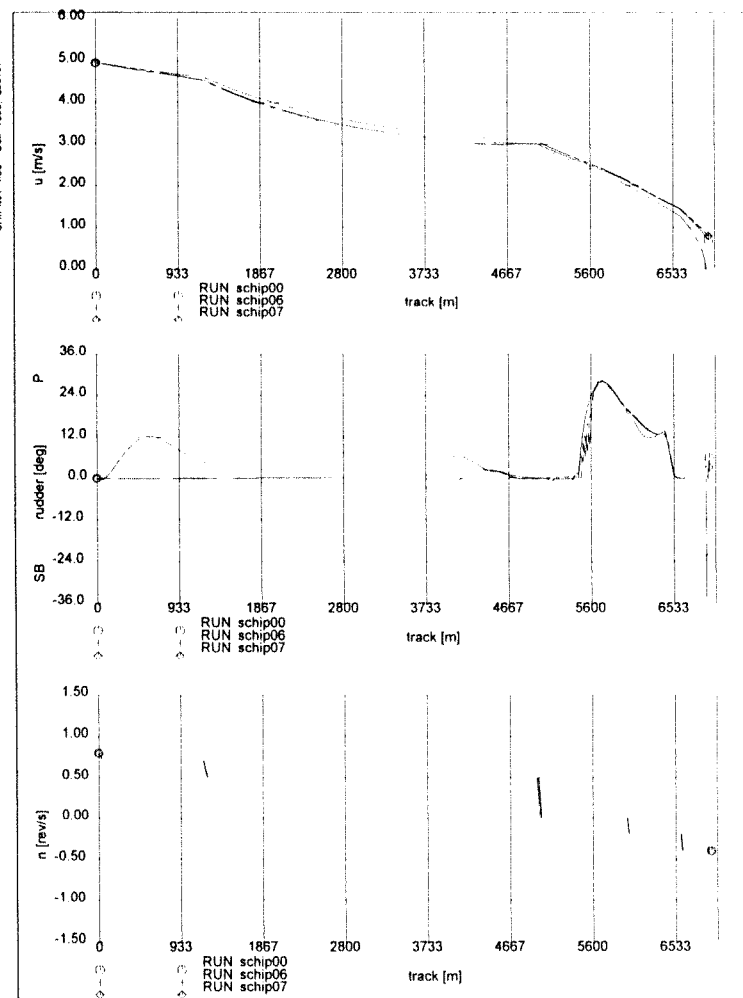
VAAR TEES.

MILOU, RIVER TEES, TEST.

schip.1

FIG. data06a

SHIPMA 4.30 Oct 1990 20:197



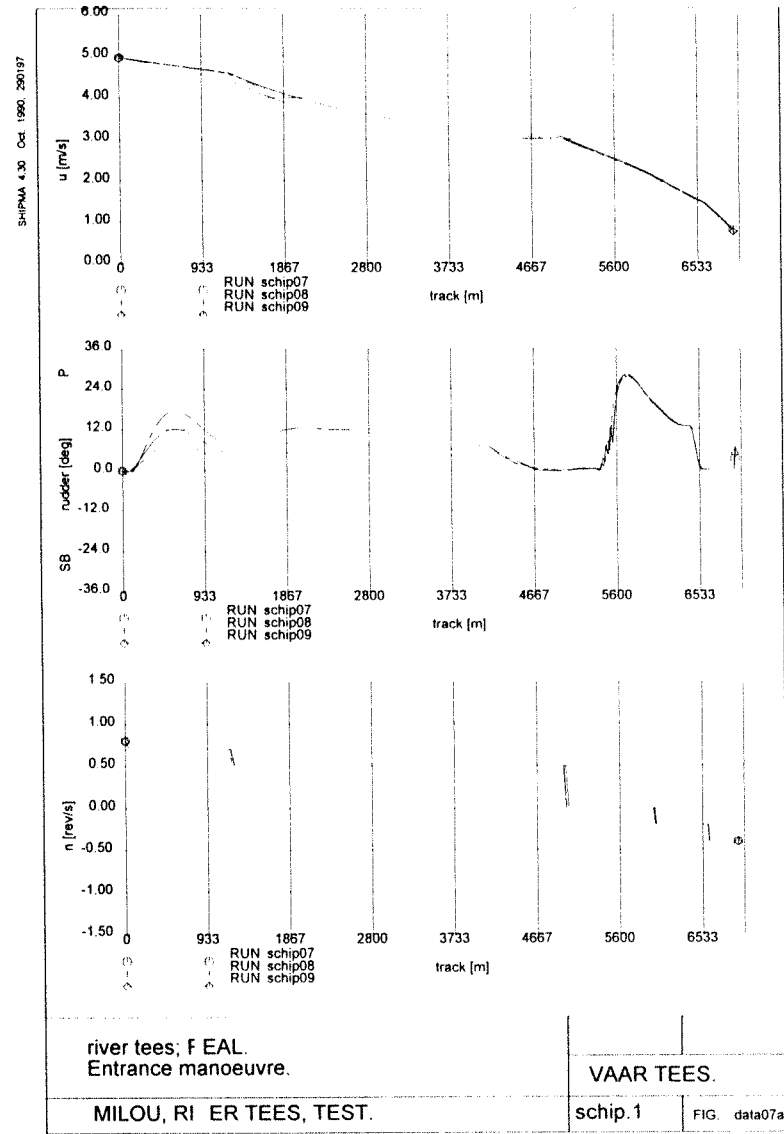
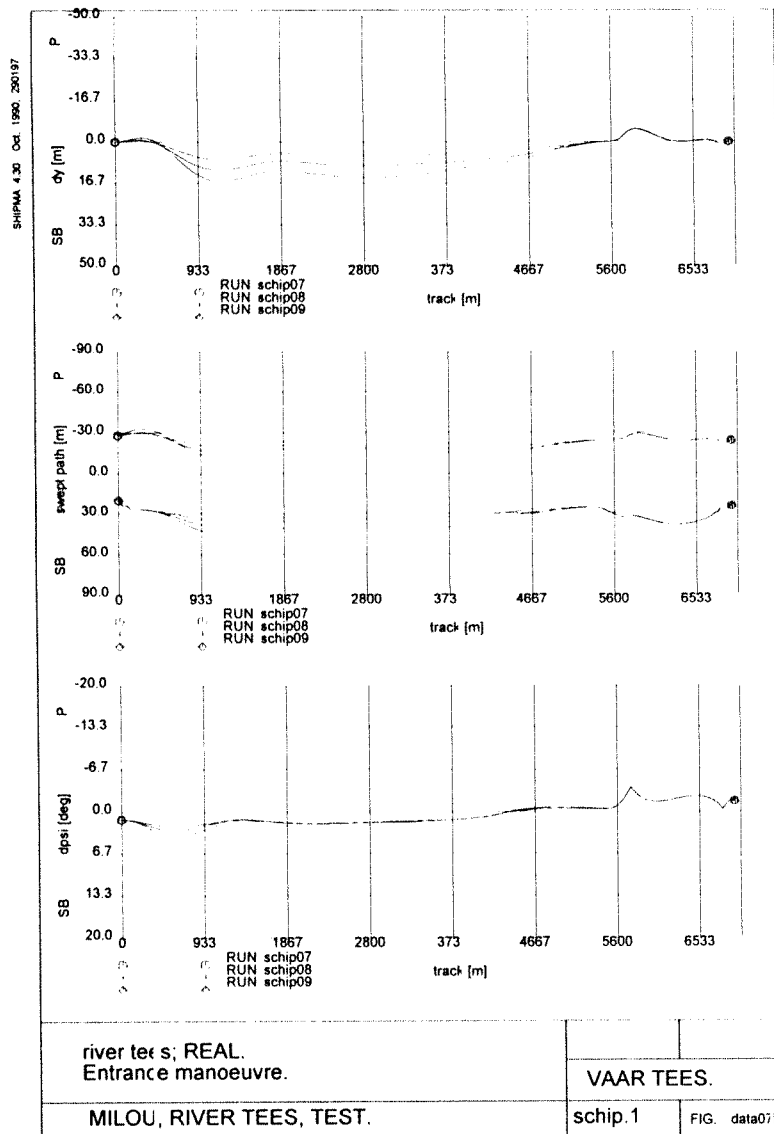
river tees; F EAL.
Entrance manoeuvre.

VAAR TEES.

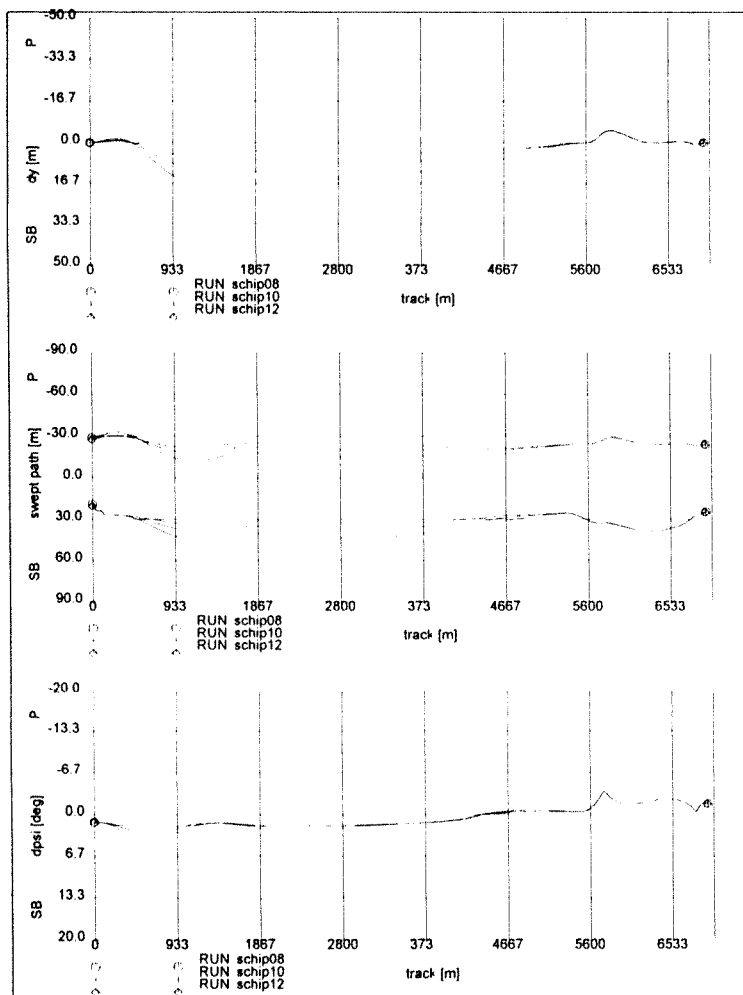
MILOU, RIVER TEES, TEST.

schip.1

FIG. data06b



SHIPMA 4.30 Oct 1962 200197



river tees; REAL.
Entrance manoeuvre.

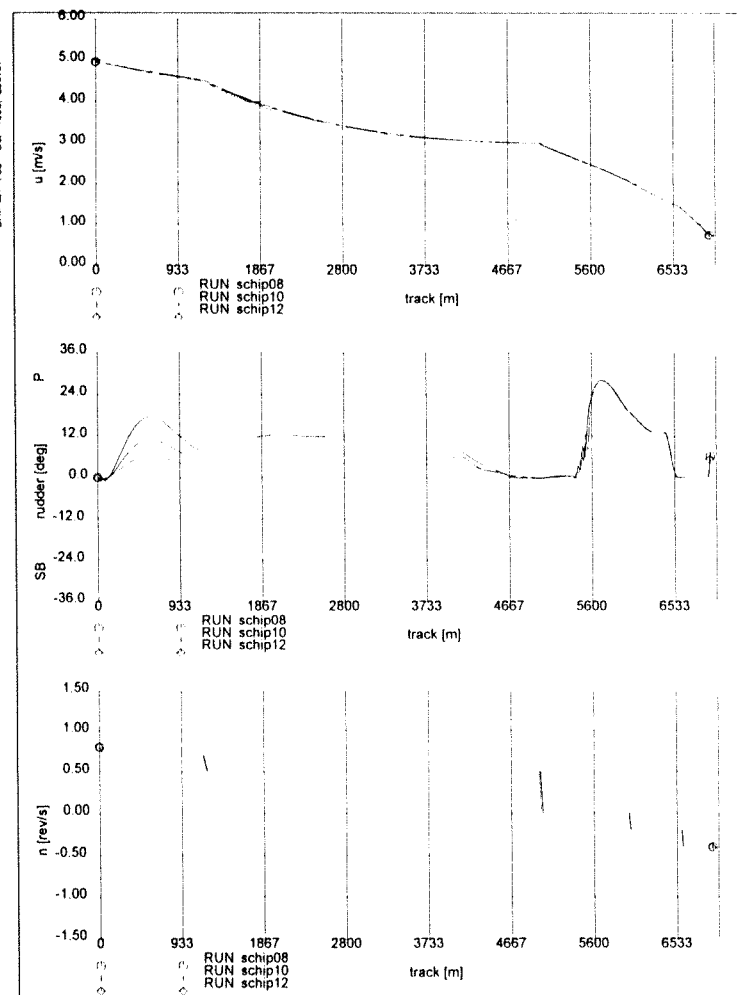
VAAR TEES.

MILOU, RIVER TEES, TEST.

schip.1

FIG. data06b

SHIPMA 4.30 Oct 1962 200197



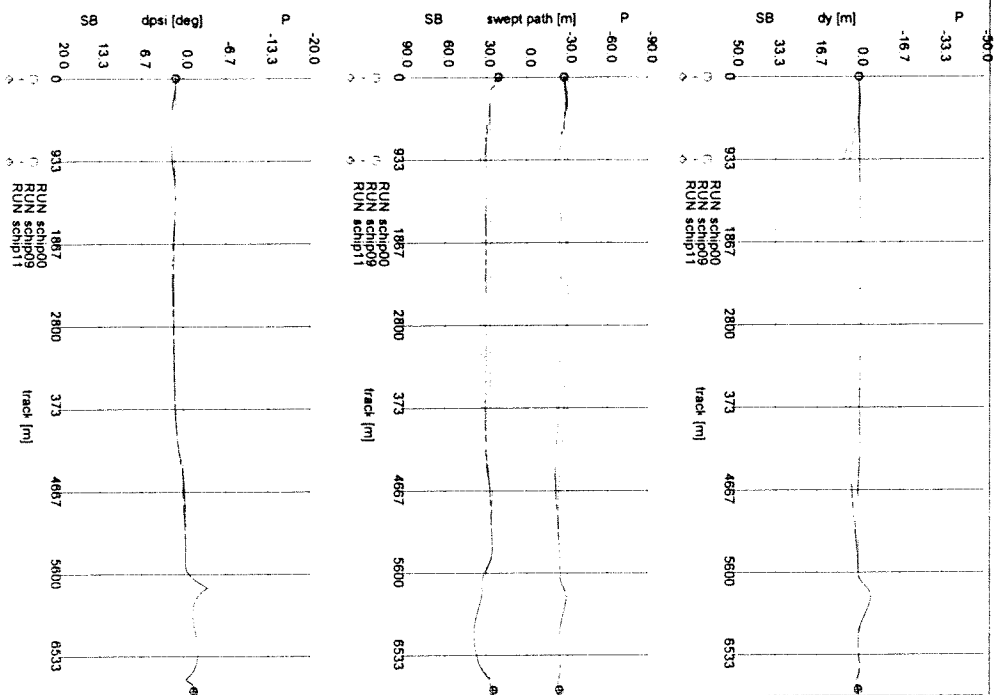
river tees; F EAL.
Entrance manoeuvre.

VAAR TEES.

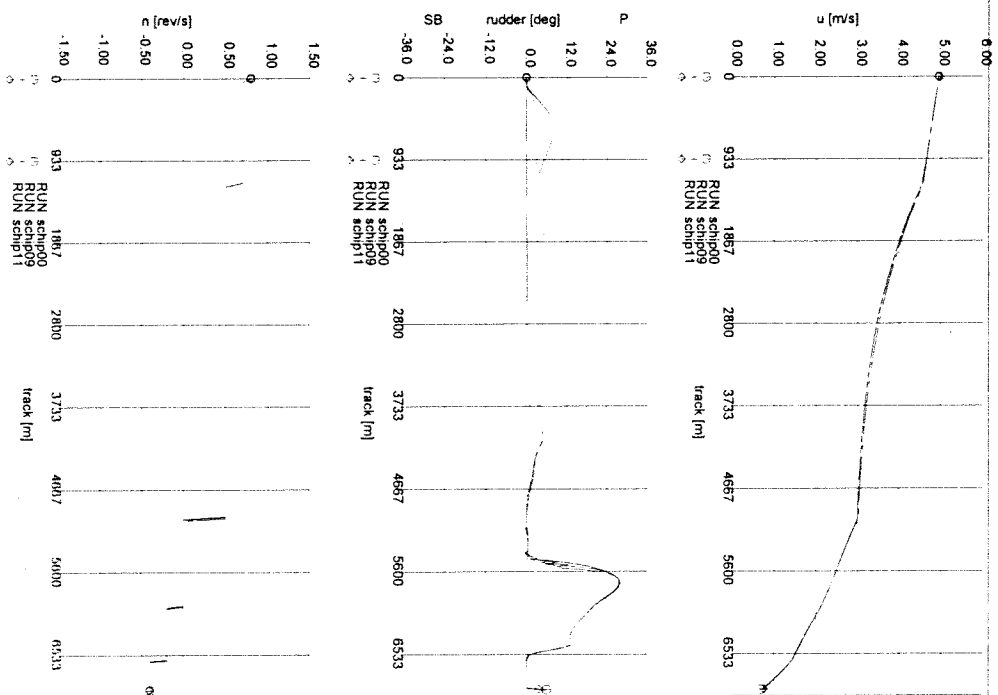
MILOU, RIVER TEES, TEST.

schip.1

FIG. data08a

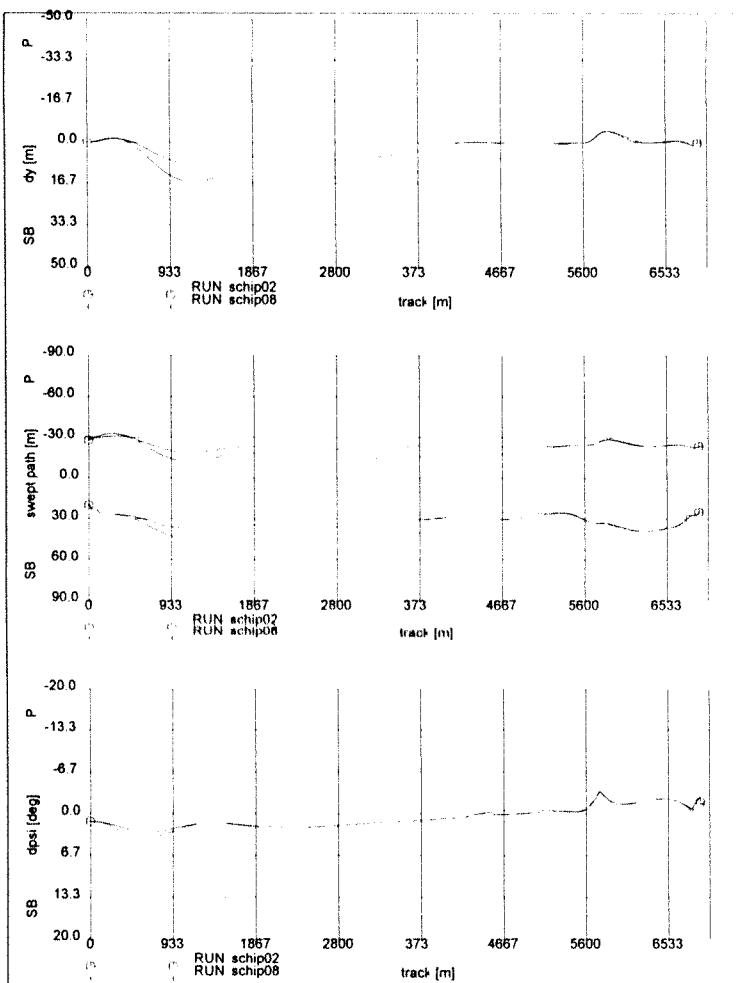


| | |
|---------------------------|--------------|
| river tees: REAL. | |
| Entrance manoeuvre. | |
| MILLOU, RIVER TEES, TEST. | VAAR TEES. |
| | |
| schip. 1 | FIG. data05a |



| | |
|---------------------------|--------------|
| river tees: f EAL. | |
| Entrance manoeuvre. | |
| MILLOU, RIVER TEES, TEST. | VAAR TEES. |
| | |
| schip. 1 | FIG. data09b |

SHIPMA 4.30 Oct 1990 200197



river tees; REAL.
Entrance manoeuvre.

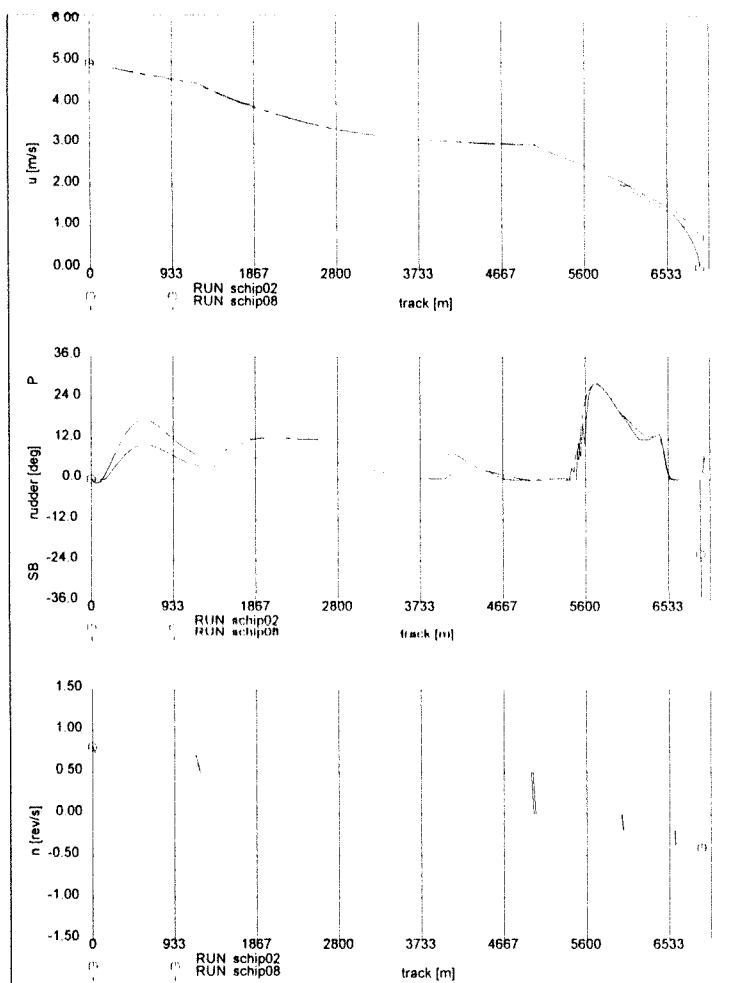
VAAR TEES.

MILOU, RIVER TEES, TEST.

schip.1

FIG. data1a

SHIPMA 4.30 Oct 1990 200197



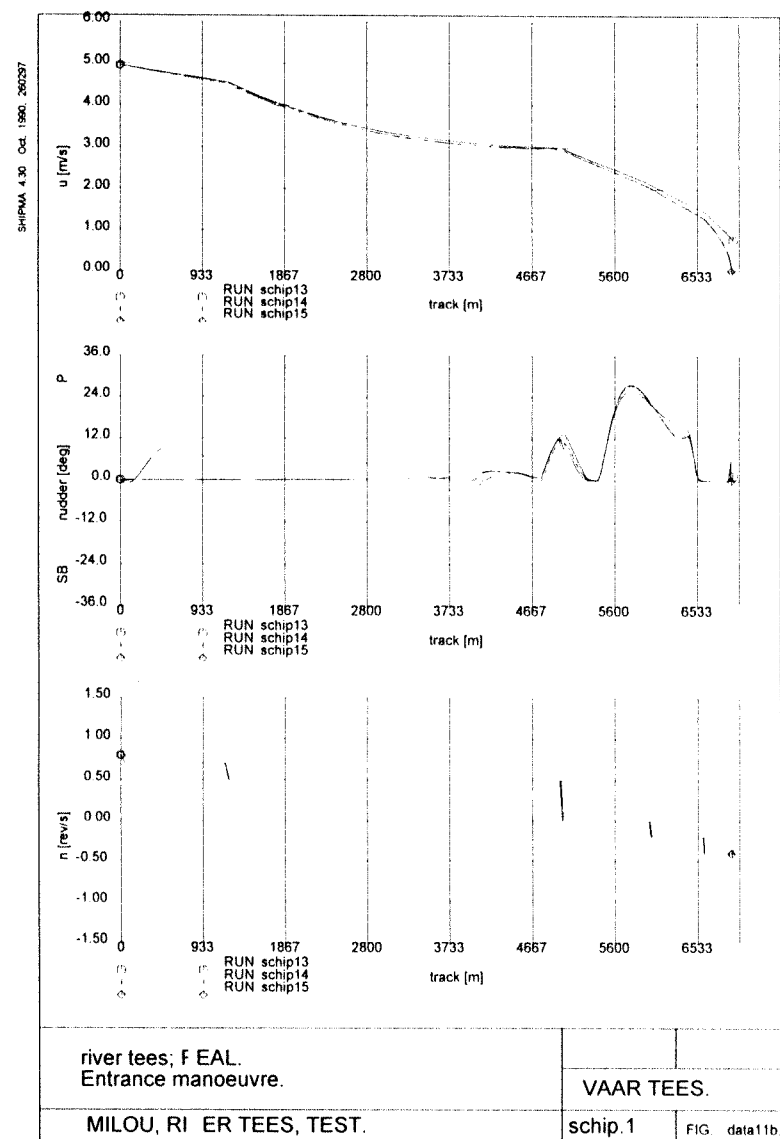
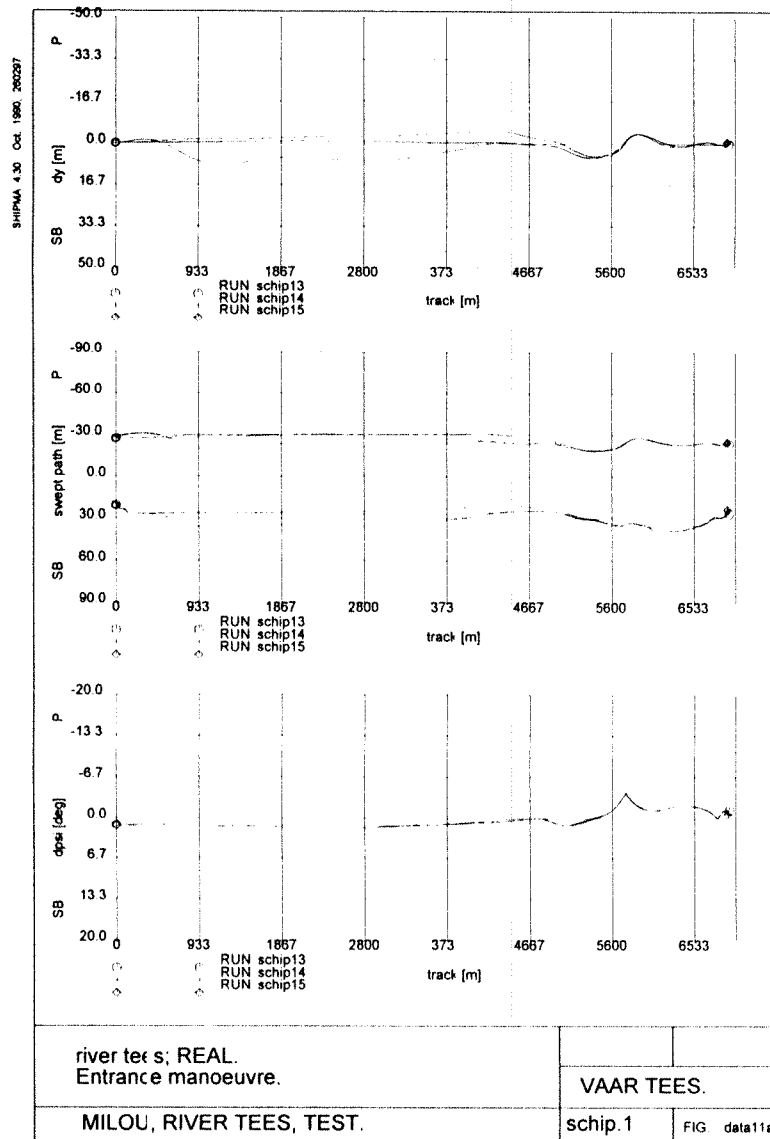
river tees; F EAL.
Entrance manoeuvre.

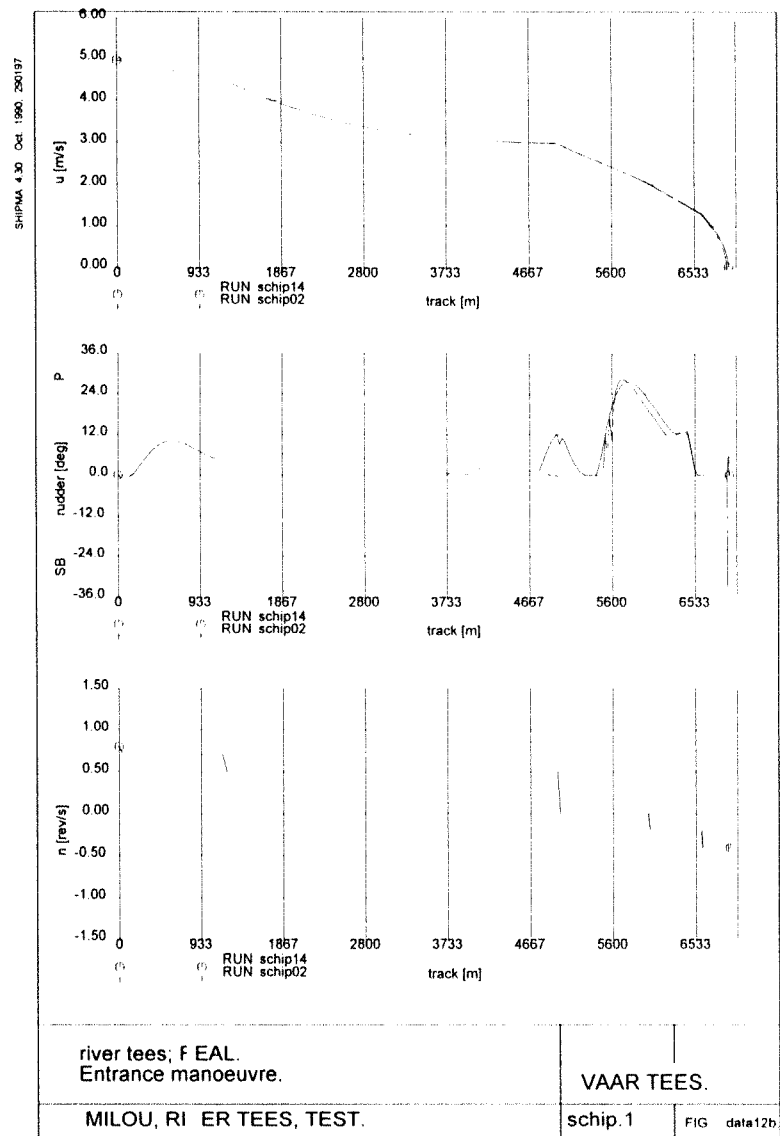
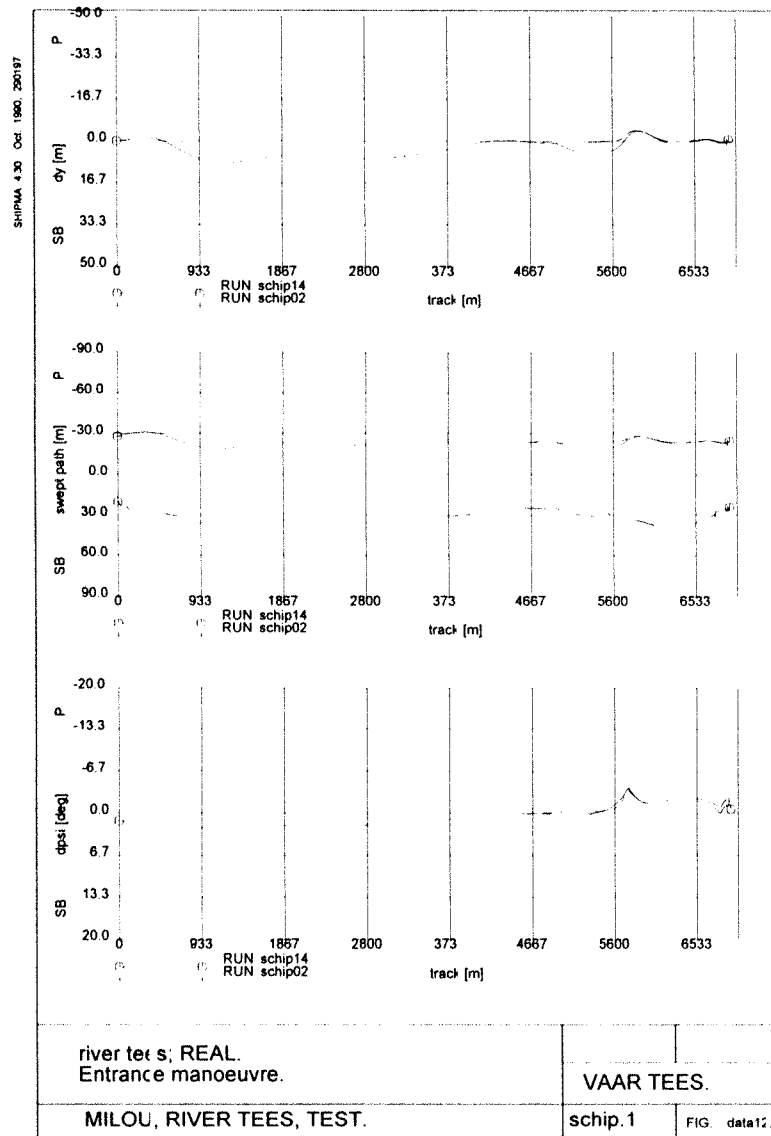
VAAR TEES.

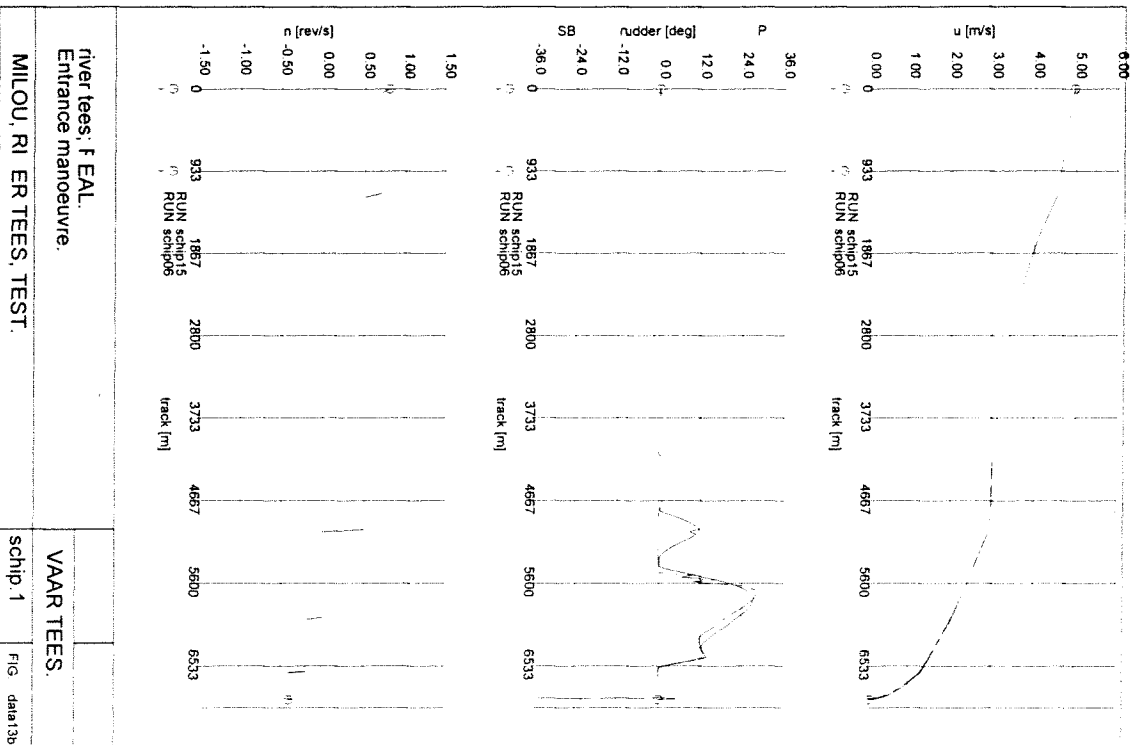
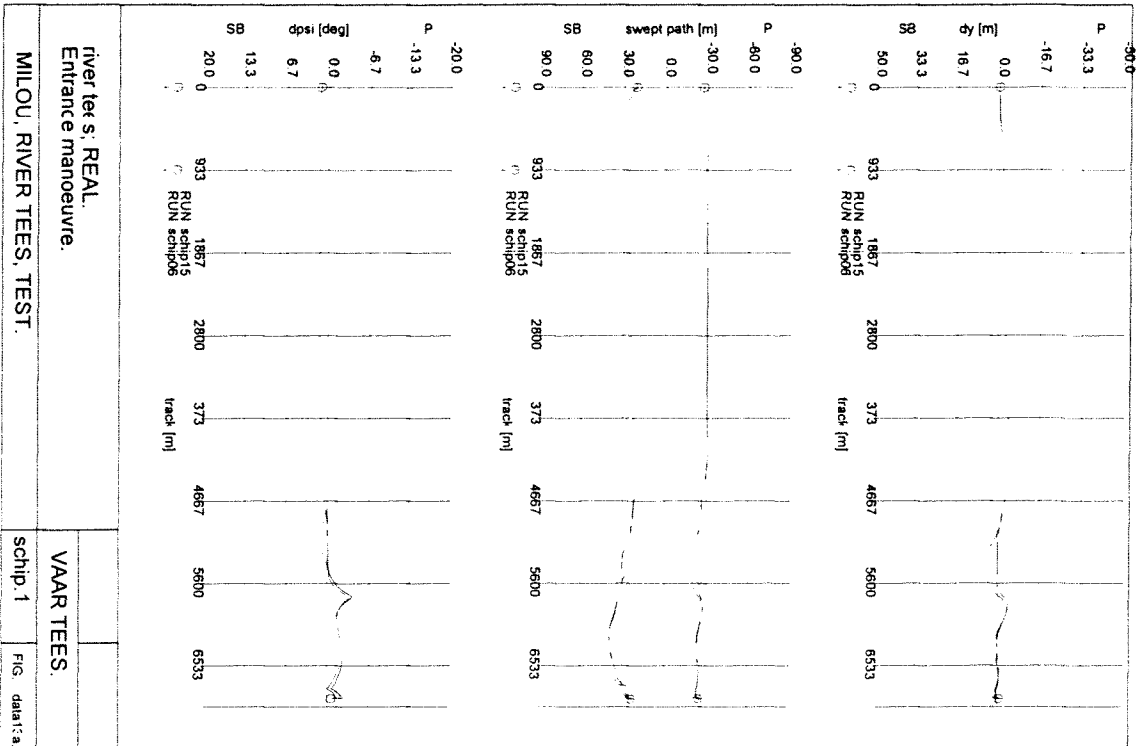
MILOU, RIVER TEES, TEST.

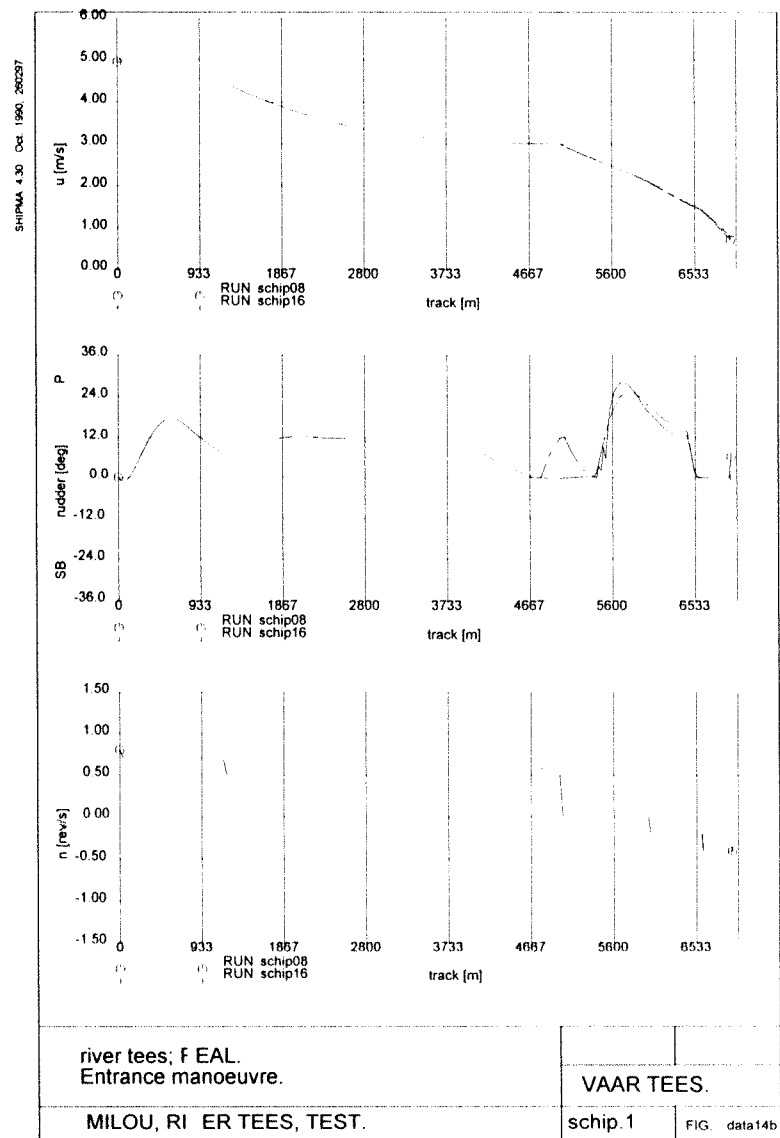
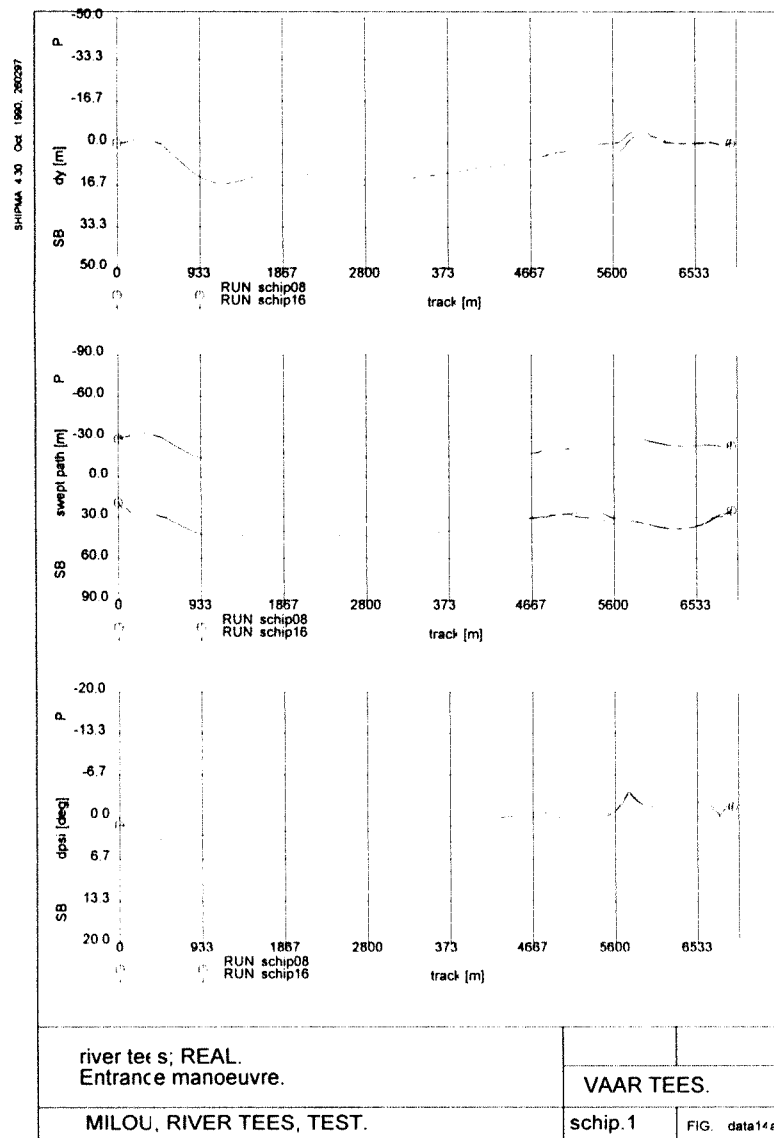
schip.1

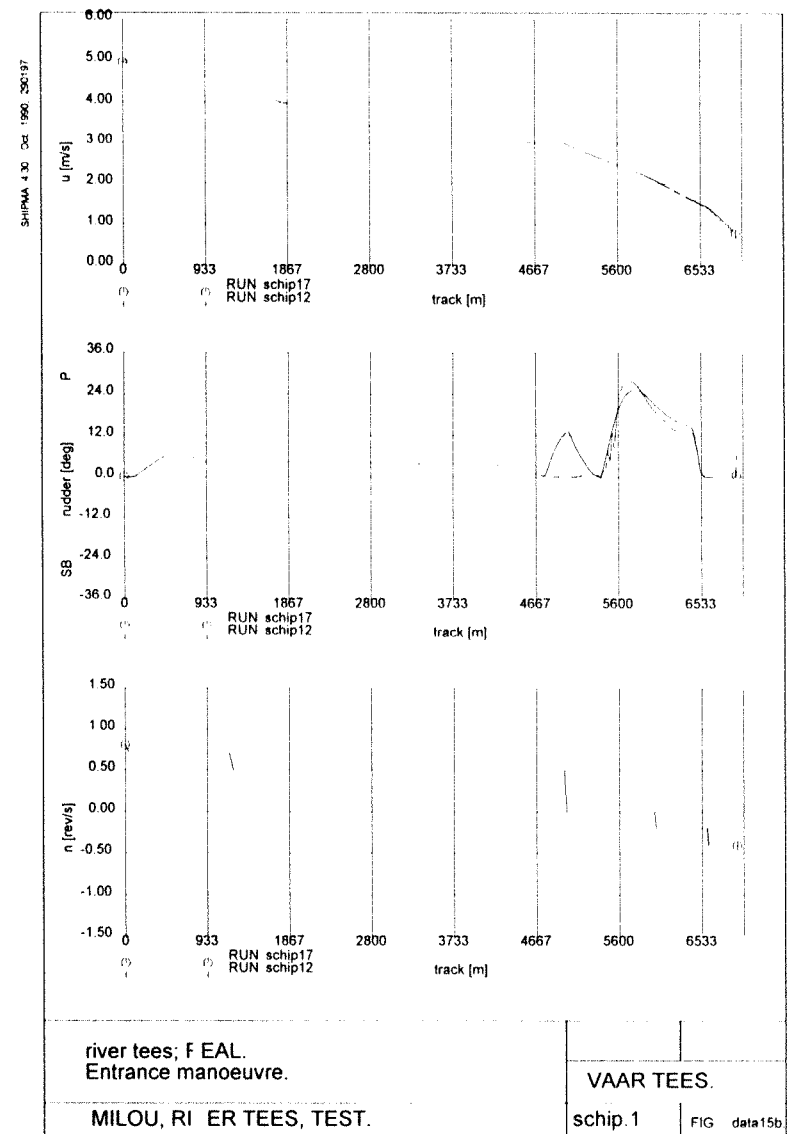
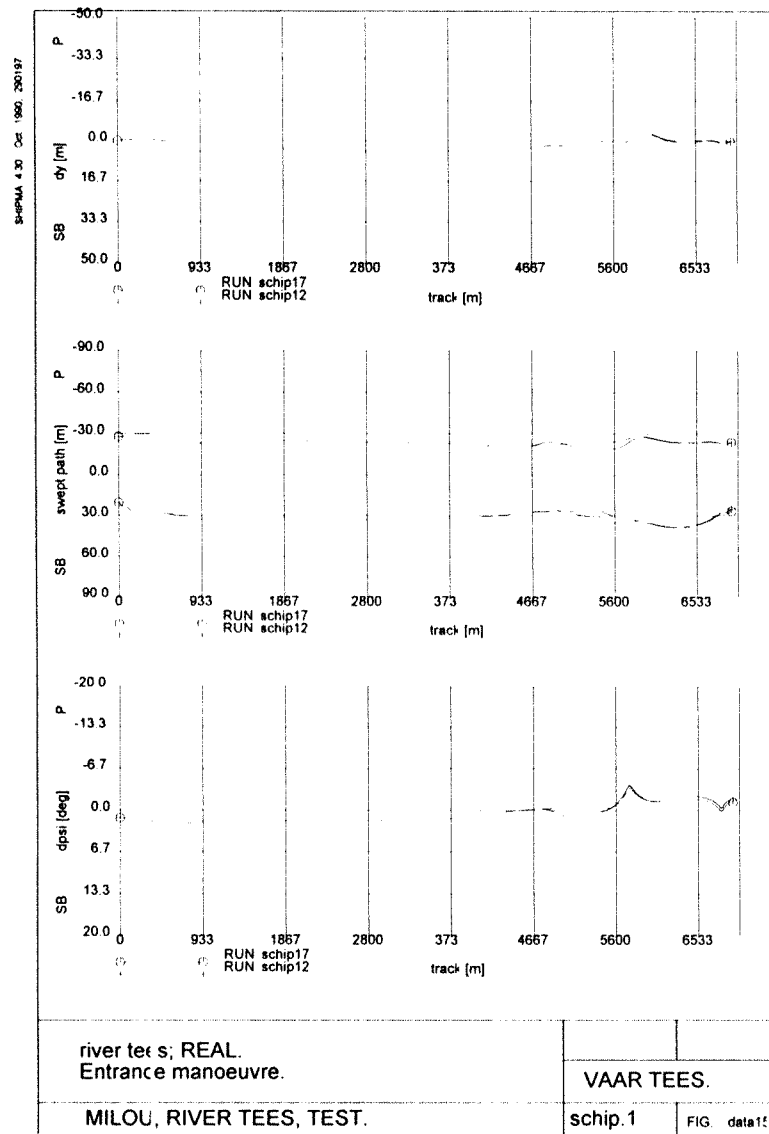
FIG. data10b

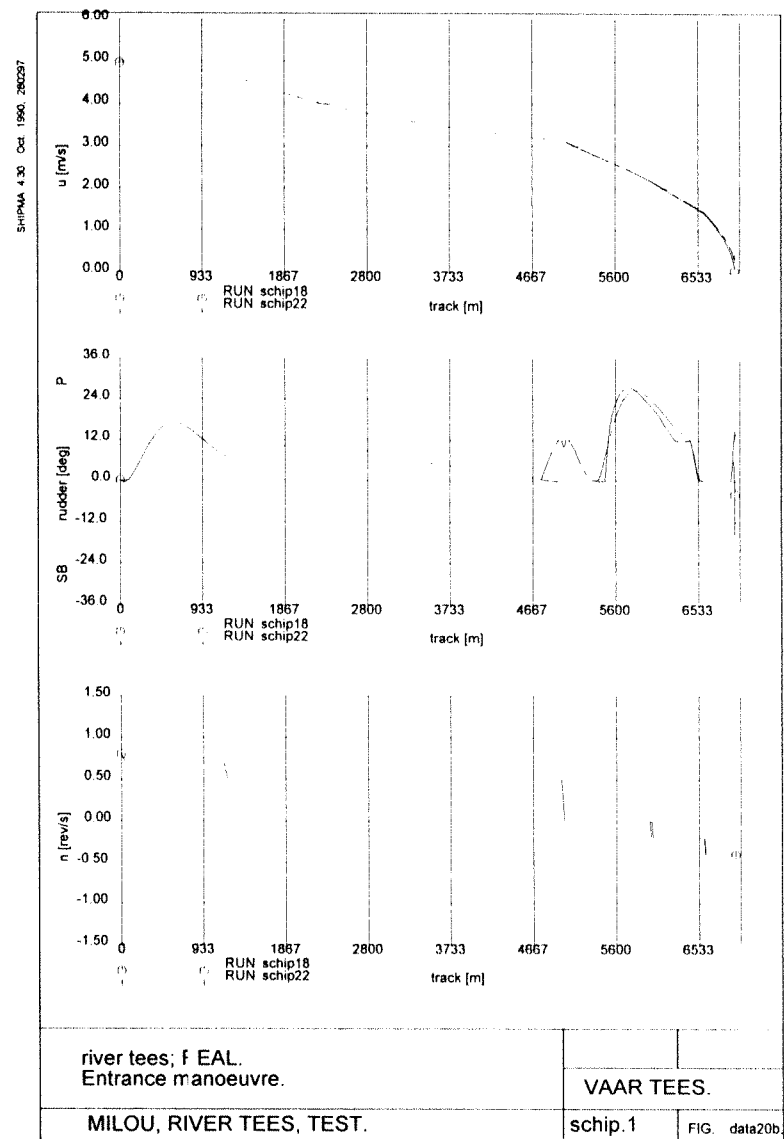
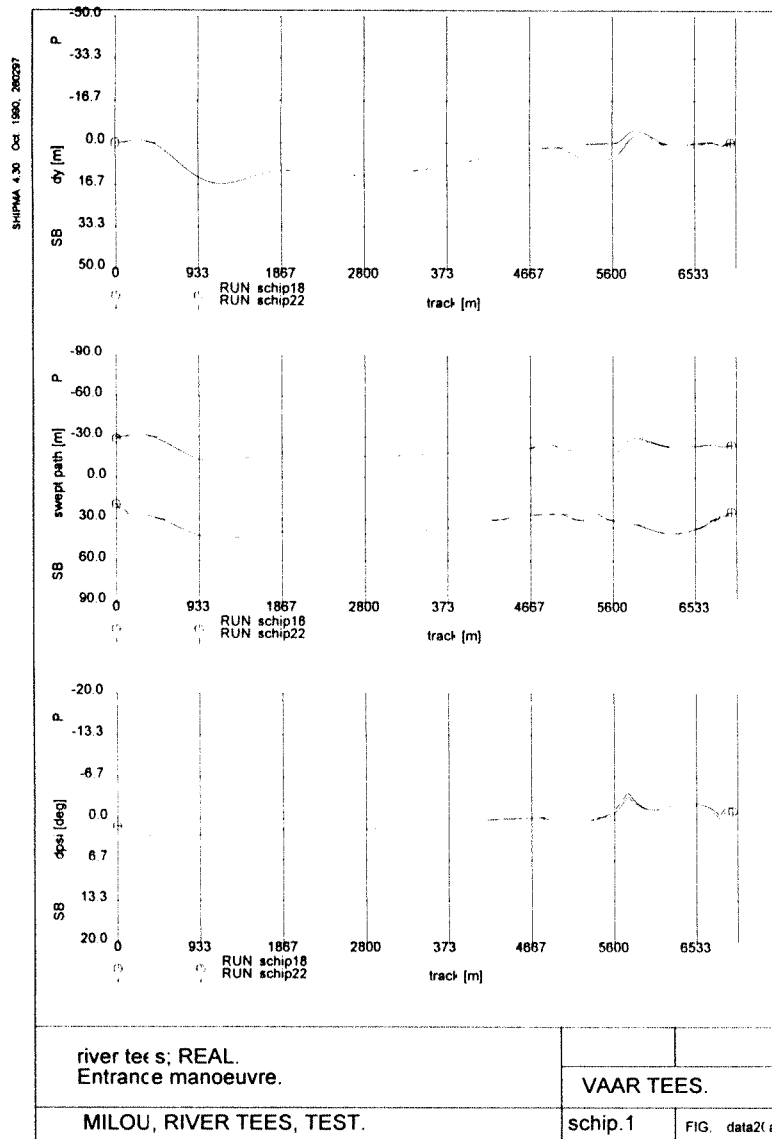


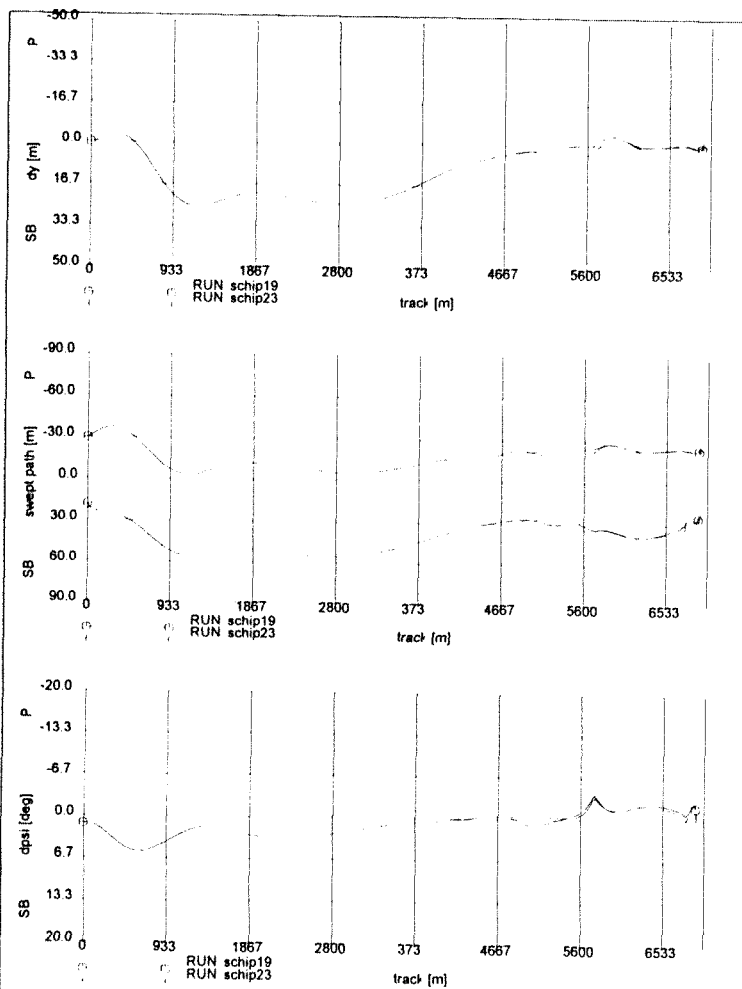












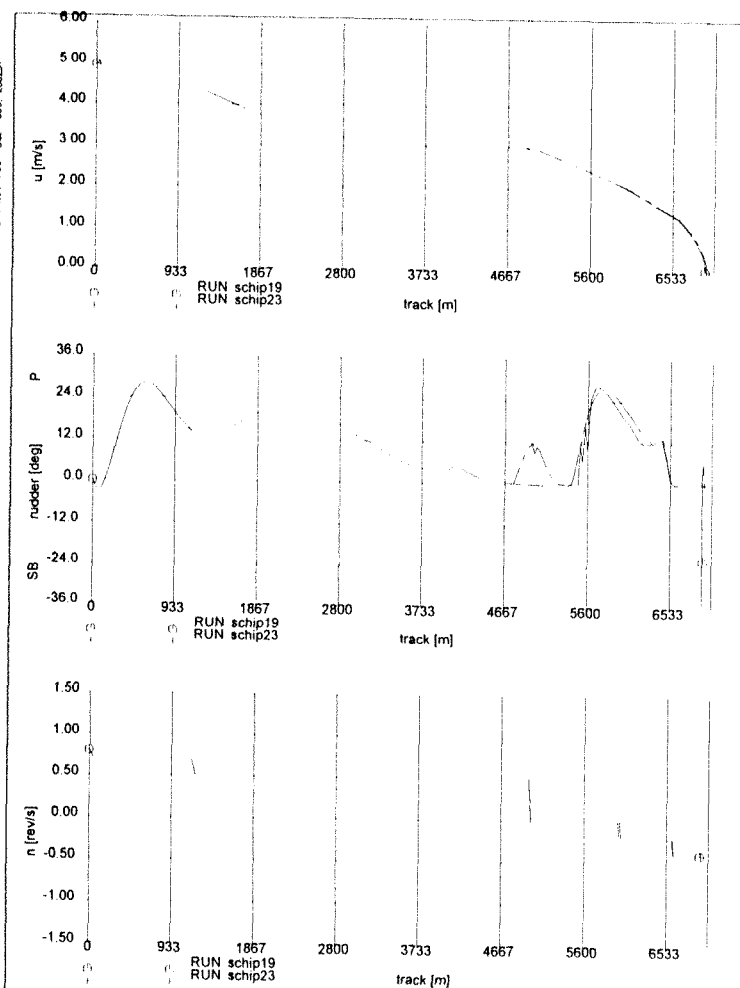
river tees; REAL.
Entrance manoeuvre.

VAAR TEES.

MILOU, RIVER TEES, TEST.

schip.1

FIG. data2'a



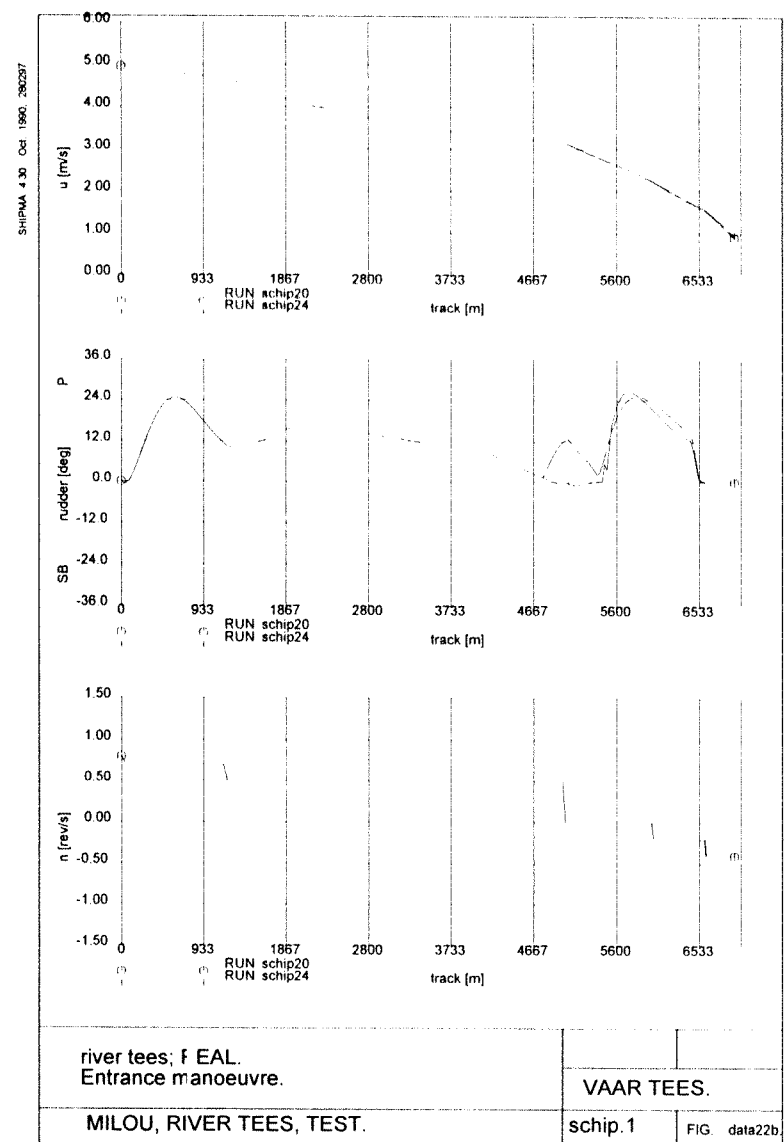
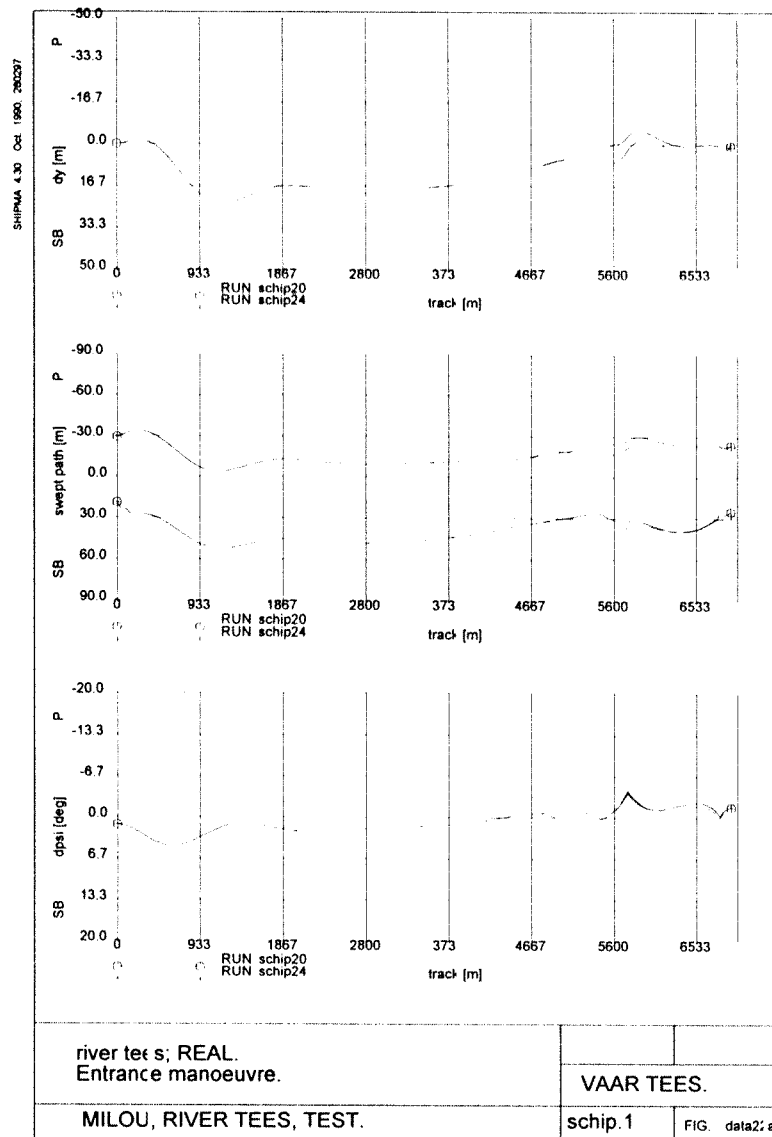
river tees; F EAL.
Entrance manoeuvre.

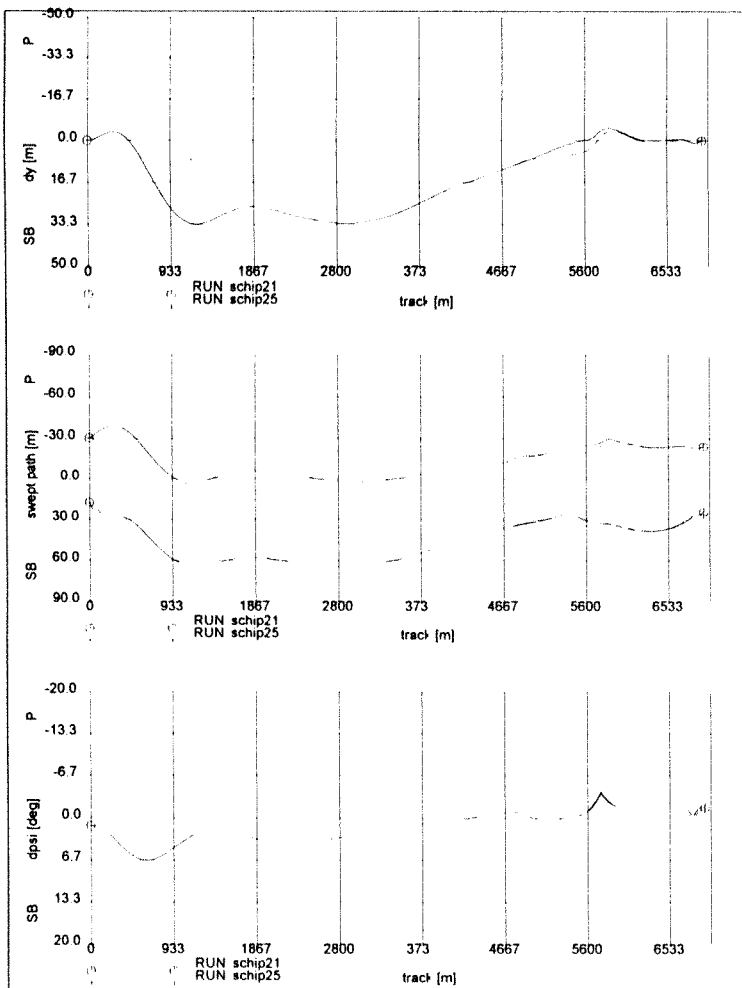
VAAR TEES.

MILOU, RIVER TEES, TEST.

schip.1

FIG. data21b





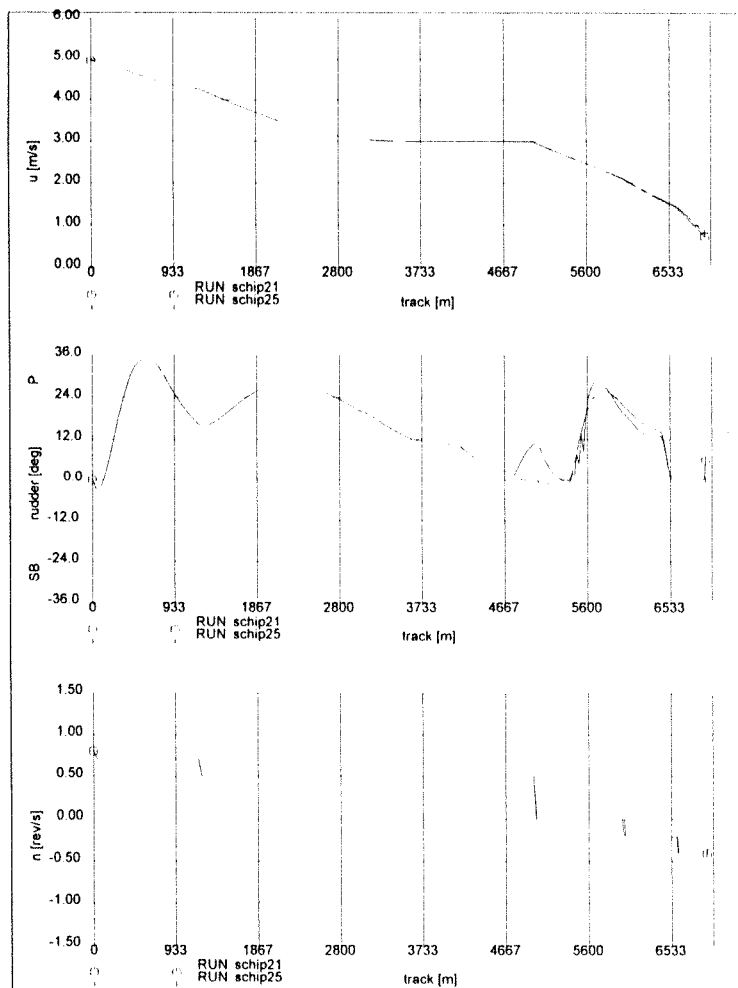
river test; REAL.
Entrance manoeuvre.

VAAR TEES.

MILOU, RIVER TEES, TEST.

schip.1

FIG. data2.a



river test; F EAL.
Entrance manoeuvre.

VAAR TEES.

MILOU, RIVER TEES, TEST.

schip.1

FIG. data23b

Bijlage V. SHIPMA uitvoerfile

| POINT OF CONTACT | X [m] | Y [m] | S [m] |
|------------------|----------|---------|---------|
| 1 | 17000.00 | 4000.00 | .00 |
| 2 | 11987.06 | 1174.53 | 5754.38 |
| 3 | 10976.50 | 1096.31 | 6800.81 |
| 4 | 10700.00 | 1200.00 | 7096.11 |

=====

PROPELLER REVOLUTIONS:

START VALUE : .8 rev/s

REVOLUTIONS PER TRACK SECTION:

SECTION TRACK PARAMETER REVOLUTIONS MAX. REV. POWER BURST

| | [m] | [rev/s] | [rev/s] |
|---|---------|---------|---------|
| 1 | .00 | .700 | 1.100 |
| 2 | 1200.00 | .500 | .900 |
| 3 | 4000.00 | .500 | .700 |
| 4 | 5000.00 | .000 | .500 |
| 5 | 6000.00 | -.200 | .500 |
| 6 | 6600.00 | -.400 | .600 |

=====

AUTO PILOT:

ANTICIPATION DISTANCE EXPRESSED IN OVERALL

SHIPLength(S) : 1.3

COEFFICIENTS:

| | | |
|----------------------|-----|---------|
| RUDDER | A : | 1.00 |
| RUDDER RATE | B : | .00 |
| COURSE | C : | 7.80 |
| CROSS-TRACK DISTANCE | D : | 3.80 |
| RATE OF TURN | E : | 5.70 |
| CROSS-CURRENT | F : | 7.80 |
| TURN ACCELERATION | G : | .00 |
| CONSTANT | H : | .00 deg |

=====

CURRENT:

NUMBER OF GRID POINTS IN X-DIRECTION : 16

X-CO-ORDINATE OF FIRST GRID POINT : 10000.00 m

STEPSIZE IN X-DIRECTION : 500.00 m

NUMBER OF GRID POINTS IN Y-DIRECTION : 10

Y-CO-ORDINATE OF FIRST GRID POINT : .00 m

STEPSIZE IN Y-DIRECTION : 500.00 m

MULTIPLICATION FACTOR : .50

WATER-LEVEL : 5.00 m

NOTE: the bottomlevel and the waterlevel are with respect to
a user defined reference level!

VELOCITY [m/s] (upper) AND DIRECTION [deg] (lower):

| X= | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|-----|-----|-----|-----|--------|--------|-----|-----|-----|--------|
| Y | | | | | | | | | | |
| 1 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| 2 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| 3 | .00 | .00 | .00 | .00 | .05 | .09 | .00 | .00 | .00 | .09 |
| | .00 | .00 | .00 | .00 | 216.00 | 216.00 | .00 | .00 | .00 | 160.00 |

| | | | | | | | | | | |
|----|-----|-----|-----|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 4 | .00 | .00 | .00 | .00 | .09 | .09 | .09 | .09 | .09 | .10 |
| | .00 | .00 | .00 | .00 | 216.00 | 216.00 | 216.00 | 180.00 | 160.00 | 155.00 |
| 5 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .08 | .09 | .09 | .09 | .11 |
| | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | 216.00 | 200.00 | 164.00 | 160.00 | 155.00 |
| 6 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .07 | .00 | .09 | .10 | .11 |
| | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | 180.00 | .00 | 164.00 | 162.00 | 160.00 |
| 7 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .05 | .08 | .11 | .12 |
| | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | 160.00 | 164.00 | 160.00 | 160.00 |
| 8 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .05 | .08 | .09 | .11 | .12 |
| | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | 164.00 | 164.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 |
| 9 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .06 | .08 | .09 | .12 | .12 |
| | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | 164.00 | 162.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 |
| 10 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .08 | .09 | .09 | .12 | .13 |
| | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | 164.00 | 162.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 |

| | X= | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|----|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Y | | | | | | | |
| 1 | | .09 | .10 | .12 | .14 | .14 | .14 |
| | | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 |
| 2 | | .09 | .12 | .13 | .14 | .14 | .14 |
| | | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 |
| 3 | | .10 | .13 | .14 | .14 | .14 | .14 |
| | | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 |
| 4 | | .12 | .13 | .14 | .14 | .14 | .14 |
| | | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 |
| 5 | | .13 | .13 | .14 | .14 | .14 | .14 |
| | | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 |
| 6 | | .12 | .13 | .14 | .14 | .14 | .14 |
| | | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 |
| 7 | | .12 | .13 | .14 | .14 | .14 | .14 |
| | | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 |
| 8 | | .12 | .13 | .14 | .14 | .14 | .14 |
| | | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 |
| 9 | | .13 | .13 | .14 | .14 | .14 | .14 |
| | | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 |
| 10 | | .13 | .13 | .14 | .14 | .14 | .14 |
| | | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 | 160.00 |

WIND:

NUMBER OF POINTS ON THE WIND LINE : 7
 START POINT OF THE WIND LINE : X-CO-ORDINATE : 10000.00 m
 Y-CO-ORDINATE : .00 m
 TANGENT OF WIND LINE : .00
 STEP SIZE ON THE WIND LINE : 500.00 m
 AIR DENSITY : 1.22 kg/m**3
 WINDAGE AREA : : X-DIRECTION : 1382.00 m**2
 Y-DIRECTION : 3161.00 m**2

WIND SPEED AND WIND DIRECTION:

| POINT | WIND SPEED
[m/s] | DIRECTION
[deg] |
|-------|---------------------|--------------------|
| 1 | 10.00 | 120.0 |
| 2 | 10.00 | 120.0 |
| 3 | 10.00 | 120.0 |
| 4 | 10.00 | 120.0 |
| 5 | 10.00 | 120.0 |
| 6 | 10.00 | 120.0 |

7 10.00 120.0

COEFFICIENTS:

| | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ANGLE [deg] = | .00 | 10.00 | 20.00 | 30.00 | 40.00 | 50.00 | 60.00 | 70.00 | 80.00 | 90.00 | |
| CXW [-] | = | .788 | .814 | .794 | .601 | .537 | .286 | -.024 | -.158 | -.227 | -.170 |
| CYW [-] | = | .000 | .105 | .244 | .421 | .489 | .591 | .642 | .660 | .664 | .664 |
| CNW [-] | = | .000 | -.041 | -.098 | -.135 | -.149 | -.154 | -.118 | -.092 | -.066 | -.030 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ANGLE [deg] = | 100.00 | 110.00 | 120.00 | 130.00 | 140.00 | 150.00 | 160.00 | 170.00 | 180.00 | |
| CXW [-] | = | -.151 | -.235 | -.484 | -.833 | -1.117 | -1.046 | -.973 | -.906 | -1.076 |
| CYW [-] | = | .659 | .649 | .670 | .617 | .371 | .287 | .219 | .112 | .000 |
| CNW [-] | = | -.023 | -.018 | -.018 | -.013 | .003 | .024 | .027 | .021 | .000 |

=====

WAVES:

NUMBER OF POINTS ON THE WAVE LINE : 9
START POINT OF THE WIND LINE : X-CO-ORDINATE : 10000.00 m
Y-CO-ORDINATE : .00 m

TANGENT OF THE WAVE LINE : .00
STEP SIZE ON THE WAVE LINE : 1000.00 m

SIGNIFICANT WAVE HEIGHT AND WAVE DIRECTION:

POINT WAVE HEIGHT DIRECTION

| | [m] | [deg] |
|---|------|--------|
| 1 | .00 | 170.00 |
| 2 | .00 | 200.00 |
| 3 | .00 | 200.00 |
| 4 | .80 | 160.00 |
| 5 | 1.30 | 130.00 |
| 6 | 2.00 | 120.00 |
| 7 | 2.00 | 120.00 |
| 8 | 2.00 | 120.00 |
| 9 | 2.00 | 120.00 |

COEFFICIENTS:

| ANGLE [deg] | CXWAVE | CYWAVE | CNWAVE |
|-------------|-------------|------------|-------------|
| .0 | 3.0320E+04 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 10.0 | 3.0320E+04 | 1.4490E+04 | -7.0610E+05 |
| 20.0 | 3.0320E+04 | 4.3480E+04 | -1.4100E+06 |
| 30.0 | 3.0320E+04 | 7.8960E+04 | -1.6680E+06 |
| 40.0 | 3.0320E+04 | 1.2380E+05 | -1.7740E+06 |
| 50.0 | 3.0320E+04 | 1.7510E+05 | -1.5520E+06 |
| 60.0 | 3.9480E+04 | 2.0880E+05 | -1.1520E+06 |
| 70.0 | 3.4220E+04 | 2.4640E+05 | -7.3990E+05 |
| 80.0 | 1.0530E+04 | 2.7880E+05 | -3.7600E+05 |
| 90.0 | -5.2640E+03 | 2.8000E+05 | -9.3990E+04 |
| 100.0 | -1.7160E+04 | 2.6120E+05 | 3.0610E+05 |
| 110.0 | -2.8960E+04 | 2.4240E+05 | 5.8800E+05 |
| 120.0 | -3.0280E+04 | 2.4040E+05 | 8.2180E+05 |
| 130.0 | -2.8960E+04 | 1.7510E+05 | 8.2180E+05 |
| 140.0 | -2.8960E+04 | 1.2260E+05 | 7.6400E+05 |
| 150.0 | -2.8960E+04 | 8.0800E+04 | 6.5790E+05 |
| 160.0 | -2.8960E+04 | 4.1820E+04 | 4.8200E+05 |
| 170.0 | -2.8960E+04 | 1.3490E+04 | 2.5790E+05 |
| 180.0 | -2.8960E+04 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

=====

BANK SUCTION:

BANK POSITION : POINT TRACK PARAMETER LEFT RIGHT

| | [m] | [m] | [m] |
|---|---------|----------|----------|
| 1 | 4700.00 | 10000.00 | 10000.00 |
| 2 | 4760.00 | 182.00 | 400.00 |
| 3 | 5500.00 | 140.00 | 180.00 |
| 4 | 6000.00 | 160.00 | 180.00 |
| 5 | 6700.00 | 200.00 | 400.00 |
| 6 | 7000.00 | 400.00 | 400.00 |

REDUCTION FACTORS: POINT TRACK PARAMETER LEFT RIGHT

| | [m] | [-] | [-] |
|---|------------|------|------|
| 1 | 1000000.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2 | 2000000.00 | 1.00 | 1.00 |

H1= 20.04 m

H2= 83.50 m

xuuu_bh1 = 0.0000E+00

xuuu_bh2 = 0.0000E+00

xuavb_b1 = 0.0000E+00

xuavb_b2 = 0.0000E+00

yuvx1 = 0.0000E+00

yuvx2 = 0.0000E+00

yauu1 = -5.0700E+05

yauu2 = -1.8000E+05

yaaauu1 = 0.0000E+00

yaaauu2 = 0.0000E+00

yaauv1 = 0.0000E+00

yaauv2 = 0.0000E+00

nuvx1 = 0.0000E+00

nuvx2 = 0.0000E+00

nauu1 = 2.4000E+07

nauu2 = 0.0000E+00

naaaau1 = 0.0000E+00

naaaau2 = 8.0000E+06

naauv1 = 0.0000E+00

naauv2 = 0.0000E+00

BOTTOM LEVEL:

NUMBER OF GRID POINTS IN X-DIRECTION : 16

X-CO-ORDINATE OF FIRST GRID POINT : 10000.00 m

STEPSIZE IN X-DIRECTION : 500.00 m

NUMBER OF GRID POINTS IN Y-DIRECTION : 12

Y-CO-ORDINATE OF FIRST GRID POINT : .00 m

STEPSIZE IN Y-DIRECTION : 500.00 m

NOTE: the bottomlevel and the waterlevel are with respect to
a user defined reference level!

| X= | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Y | | | | | | | | | | |
| 1 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 |
| 2 | .00 | .00 | -14.10 | -14.10 | -14.10 | .00 | .00 | .00 | -1.00 | -4.00 |
| 3 | -14.10 | -14.10 | -14.10 | -14.10 | -14.10 | .00 | .00 | .00 | -5.00 | -6.00 |
| 4 | .00 | .00 | .00 | -14.10 | -14.10 | -14.10 | -14.10 | .00 | -7.00 | -8.00 |
| 5 | .00 | .00 | .00 | .00 | -14.10 | -14.10 | -14.10 | -15.40 | -9.00 | -9.00 |
| 6 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | -8.00 | -15.40 | -15.40 |
| 7 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | -5.00 | -8.00 | -8.00 | -12.00 |
| 8 | .00 | .00 | .00 | .00 | .00 | -2.00 | -8.00 | -9.00 | -9.00 | -13.00 |
| 9 | .00 | .00 | .00 | .00 | -2.00 | -3.00 | -10.00 | -11.00 | -11.00 | -14.00 |
| 10 | .00 | .00 | .00 | .00 | -2.00 | -5.00 | -10.00 | -12.00 | -12.00 | -15.00 |
| 11 | .00 | .00 | .00 | -2.00 | -5.00 | -8.00 | -12.00 | -14.00 | -14.00 | -15.00 |
| 12 | .00 | .00 | .00 | -2.00 | -5.00 | -8.00 | -12.00 | -14.00 | -14.00 | -17.00 |

| X= | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Y | | | | | | |
| 1 | -5.00 | -5.00 | -5.00 | -7.00 | -8.00 | -8.00 |
| 2 | -7.00 | -6.00 | -7.00 | -9.00 | -8.00 | -8.00 |

| | | | | | | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3 | -7.00 | -7.00 | -7.00 | -9.00 | -10.00 | -10.00 |
| 4 | -7.00 | -9.00 | -9.00 | -11.00 | -12.00 | -12.00 |
| 5 | -8.00 | -10.00 | -11.00 | -13.00 | -14.00 | -14.00 |
| 6 | -11.00 | -11.00 | -13.00 | -14.00 | -16.00 | -16.00 |
| 7 | -15.40 | -15.40 | -15.00 | -16.00 | -17.00 | -18.00 |
| 8 | -14.00 | -16.00 | -15.40 | -18.00 | -19.00 | -20.00 |
| 9 | -16.00 | -17.00 | -19.00 | -19.00 | -20.00 | -21.00 |
| 10 | -16.00 | -18.00 | -19.00 | -21.00 | -21.00 | -21.00 |
| 11 | -17.00 | -19.00 | -20.00 | -22.00 | -23.00 | -23.00 |
| 12 | -19.00 | -19.00 | -21.00 | -23.00 | -23.00 | -25.00 |

TUGS:

TRACK PARAMETER : TUGS STANDBY : 4000.00 m
 TUGS NOT STANDBY : 7500.00 m
 LINING-UP : 1000000.00 m
 TIME LAG TO REACH MAXIMUM TUG FORCE : 10. s
 MAXIMUM NUMBER OF SHIP'S PROPELLER
 REVOLUTIONS AT WHICH TUGS ARE IN
 TRACK KEEPING MODE : .00 1/s
 POWERBURSTS : Y-FACTOR : 50.00
 N-FACTOR : 50.00
 COEFFICIENTS : Kvy : .50
 Kry : 2.00
 Krpsi : 2.00

TUG CONFIGURATION:

```

      1
      <=====>
      /\
8==>| |<== 2      1      350.0  146.50
      | |
      | |      2      .0  117.20
      | |      3      350.0  .00
      | |      4      .0 -102.55
7==>| | + |<== 3      5      350.0 -146.50
      | |
      | |      6      .0 -102.55
      | |      7      350.0  .00
6==>| |<== 4      8      .0  117.20
      | |
      \ \
      <=====>
      5
  
```

START VALUES: (Calculated from equilibrium situation)

START POSITION : X-CO-ORDINATE : 17000.00 m
 Y-CO-ORDINATE : 4000.00 m
 COURSE ANGLE : -149.4 deg
 RUDDER ANGLE : .0 deg
 U-velocity : 4.958 m/s
 V-velocity : -.104 m/s
 RATE OF TURN : .0000 deg/s

[illegible]

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-----------|-------|------|------|------|-----|--------|----|
| 186 | 1850. | 6156.14 * | 188.9 | -.81 | -1.4 | 1.95 | .07 | -.0953 | |
| 18. | | | | | | | | | |
| 191 | 1900. | 6250.98 * | 184.2 | .24 | -1.5 | 1.84 | .06 | -.0910 | |
| 16. | | | | | | | | | |
| 196 | 1950. | 6340.49 * | 179.8 | .81 | -1.6 | 1.74 | .06 | -.0857 | |
| 15. | | | | | | | | | |
| 201 | 2000. | 6425.19 * | 175.6 | .99 | -1.8 | 1.65 | .05 | -.0808 | |
| 14. | | | | | | | | | |
| 206 | 2050. | 6505.56 * | 171.7 | .87 | -1.8 | 1.57 | .05 | -.0751 | 5. |
| 211 | 2100. | 6582.03 * | 168.1 | .51 | -1.8 | 1.49 | .04 | -.0688 | 0. |
| 216 | 2150. | 6654.42 * | 164.9 | .10 | -1.5 | 1.39 | .03 | -.0586 | 0. |
| 221 | 2200. | 6720.51 * | 162.2 | -.03 | -1.0 | 1.26 | .02 | -.0472 | 0. |
| 226 | 2250. | 6780.47 * | 160.2 | .38 | -.2 | 1.14 | .02 | -.0342 | 0. |
| 231 | 2300. | 6834.70 * | 158.8 | 1.11 | -.6 | 1.03 | .01 | -.0204 | 0. |
| 236 | 2350. | 6883.53 * | 158.1 | .88 | -1.3 | .92 | .01 | -.0075 | 0. |
| 241 | 2400. | 6927.19 * | 158.1 | .19 | -1.4 | .82 | .00 | .0034 | 0. |

DELFT HYDRAULICS SHIPMA 4.30

Version 4.30

Oct. 1990.

Date of calculation: 260297

Time Time [s] s [m] * n [rev/s] h [m] Vwi [m/s] phiwi [deg] Xwi [kN] Ywi [kN]

Nwi [kNm]

step

| | | |
|----------|----------|----------|
| SCALE | SCALE | SCALE |
| 1.00E+01 | 1.00E+02 | 1.00E+03 |

| | | | | | | | | |
|---------|-------|-----------|-----|-------|-------|------|----------|----------|
| 1 | 0. | .00 * | .80 | 25.00 | 10.00 | 120. | -4.29121 | -1.58188 |
| 1.25660 | | | | | | | | |
| 6 | 50. | 245.77 * | .70 | 24.33 | 10.00 | 120. | -4.35693 | -1.56635 |
| 1.24251 | | | | | | | | |
| 11 | 100. | 486.13 * | .70 | 23.68 | 10.00 | 120. | -4.59472 | -1.58899 |
| 1.25765 | | | | | | | | |
| 16 | 150. | 720.84 * | .70 | 22.81 | 10.00 | 120. | -4.47743 | -1.58623 |
| 1.25723 | | | | | | | | |
| 21 | 200. | 950.78 * | .70 | 21.44 | 10.00 | 120. | -4.08058 | -1.55405 |
| 1.23667 | | | | | | | | |
| 26 | 250. | 1176.62 * | .70 | 20.35 | 10.00 | 120. | -3.69233 | -1.51800 |
| 1.21273 | | | | | | | | |
| 31 | 300. | 1396.26 * | .50 | 20.46 | 10.00 | 120. | -3.32938 | -1.48014 |
| 1.18687 | | | | | | | | |
| 36 | 350. | 1606.04 * | .50 | 20.54 | 10.00 | 120. | -3.13444 | -1.45957 |
| 1.17278 | | | | | | | | |
| 41 | 400. | 1807.19 * | .50 | 20.47 | 10.00 | 120. | -3.01269 | -1.44790 |
| 1.16496 | | | | | | | | |
| 46 | 450. | 2000.76 * | .50 | 20.39 | 10.00 | 120. | -2.88554 | -1.43732 |
| 1.15815 | | | | | | | | |
| 51 | 500. | 2187.62 * | .50 | 19.65 | 10.00 | 120. | -2.73067 | -1.42515 |
| 1.15046 | | | | | | | | |
| 56 | 550. | 2368.50 * | .50 | 18.79 | 10.00 | 120. | -2.56335 | -1.41116 |
| 1.14143 | | | | | | | | |
| 61 | 600. | 2544.29 * | .50 | 18.38 | 10.00 | 120. | -2.41648 | -1.39936 |
| 1.13392 | | | | | | | | |
| 66 | 650. | 2715.78 * | .50 | 18.79 | 10.00 | 120. | -2.28314 | -1.38946 |
| 1.12777 | | | | | | | | |
| 71 | 700. | 2883.66 * | .50 | 19.91 | 10.00 | 120. | -2.17733 | -1.38147 |
| 1.12613 | | | | | | | | |
| 76 | 750. | 3048.51 * | .50 | 20.28 | 10.00 | 120. | -2.13457 | -1.37654 |
| 1.13475 | | | | | | | | |
| 81 | 800. | 3210.85 * | .50 | 19.26 | 10.00 | 120. | -2.09791 | -1.37298 |
| 1.14306 | | | | | | | | |
| 86 | 850. | 3370.97 * | .50 | 18.26 | 10.00 | 120. | -2.06351 | -1.36972 |
| 1.15097 | | | | | | | | |
| 91 | 900. | 3529.20 * | .50 | 17.19 | 10.00 | 120. | -2.03331 | -1.36694 |
| 1.15803 | | | | | | | | |
| 96 | 950. | 3685.84 * | .50 | 16.89 | 10.00 | 120. | -2.00872 | -1.36497 |
| 1.16418 | | | | | | | | |
| 101 | 1000. | 3841.22 * | .50 | 17.74 | 10.00 | 120. | -1.98523 | -1.36343 |
| 1.17054 | | | | | | | | |
| 106 | 1050. | 3995.58 * | .50 | 19.70 | 10.00 | 120. | -1.95836 | -1.36187 |
| 1.17809 | | | | | | | | |
| 111 | 1100. | 4149.07 * | .50 | 19.02 | 10.00 | 120. | -1.93239 | -1.36405 |
| 1.19049 | | | | | | | | |
| 116 | 1150. | 4301.79 * | .50 | 17.87 | 10.00 | 120. | -1.88868 | -1.36341 |
| 1.20538 | | | | | | | | |
| 121 | 1200. | 4453.81 * | .50 | 17.94 | 10.00 | 120. | -1.84833 | -1.36183 |
| 1.21777 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|------|-------|-----------|-----|-------|---------|---------|--------|-----|
| .126 | 1250. | 4605.22 * | .79 | 160. | 1.90784 | -.10565 | .99616 | .09 |
| .00 | | | | | | | | |
| .131 | 1300. | 4756.06 * | .69 | 165. | 1.43356 | -.06679 | .80305 | .09 |
| .01 | | | | | | | | |
| .136 | 1350. | 4906.35 * | .58 | 171. | 1.02772 | -.03991 | .59646 | .09 |
| .01 | | | | | | | | |
| .141 | 1400. | 5055.84 * | .48 | 176. | .69252 | -.02228 | .39102 | .09 |
| .01 | | | | | | | | |
| .146 | 1450. | 5200.42 * | .38 | -179. | .43221 | -.01077 | .23424 | .09 |
| .01 | | | | | | | | |
| .151 | 1500. | 5338.64 * | .28 | -174. | .24021 | -.00450 | .11937 | .09 |
| .01 | | | | | | | | |
| .156 | 1550. | 5471.02 * | .19 | -169. | .10853 | -.00141 | .04702 | .08 |
| .01 | | | | | | | | |
| .161 | 1600. | 5598.01 * | .10 | -165. | .03060 | -.00024 | .00939 | .07 |
| .01 | | | | | | | | |
| .166 | 1650. | 5719.87 * | .01 | -161. | .00064 | .00000 | .00010 | .06 |
| .01 | | | | | | | | |
| .171 | 1700. | 5836.70 * | .00 | -160. | .00000 | .00000 | .00000 | .05 |
| .01 | | | | | | | | |
| .176 | 1750. | 5948.70 * | .00 | -160. | .00000 | .00000 | .00000 | .03 |
| .01 | | | | | | | | |
| .181 | 1800. | 6055.44 * | .00 | -160. | .00000 | .00000 | .00000 | .02 |
| .01 | | | | | | | | |
| .186 | 1850. | 6156.14 * | .00 | -160. | .00000 | .00000 | .00000 | .01 |
| .01 | | | | | | | | |
| .191 | 1900. | 6250.98 * | .00 | -160. | .00000 | .00000 | .00000 | .00 |
| .00 | | | | | | | | |
| .196 | 1950. | 6340.49 * | .00 | -160. | .00000 | .00000 | .00000 | .00 |
| .00 | | | | | | | | |
| .201 | 2000. | 6425.19 * | .00 | -160. | .00000 | .00000 | .00000 | .00 |
| .00 | | | | | | | | |
| .206 | 2050. | 6505.56 * | .00 | -160. | .00000 | .00000 | .00000 | .00 |
| .00 | | | | | | | | |
| .211 | 2100. | 6582.03 * | .00 | -160. | .00000 | .00000 | .00000 | .00 |
| .00 | | | | | | | | |
| .216 | 2150. | 6654.42 * | .00 | -160. | .00000 | .00000 | .00000 | .00 |
| .00 | | | | | | | | |
| .221 | 2200. | 6720.51 * | .00 | -160. | .00000 | .00000 | .00000 | .00 |
| .00 | | | | | | | | |
| .226 | 2250. | 6780.47 * | .00 | -160. | .00000 | .00000 | .00000 | .00 |
| .00 | | | | | | | | |
| .231 | 2300. | 6834.70 * | .00 | -162. | .00000 | .00000 | .00000 | .00 |
| .00 | | | | | | | | |
| .236 | 2350. | 6883.53 * | .00 | -163. | .00000 | .00000 | .00000 | .00 |
| .00 | | | | | | | | |
| .241 | 2400. | 6927.19 * | .00 | -164. | .00000 | .00000 | .00000 | .00 |
| .00 | | | | | | | | |

DELFT HYDRAULICS SHIPMA 4.30

Version 4.30

Oct. 1990.

Date of calculation: 260297

tug order 3=full or higher

tug order 2=half - full

tug order 1=zero - half

tug order 0=no order

| Time
step | Time [s] | s [m] * | rc [deg/s] | tug | 12345678
SCALE
1.00E+02 | Ytug [kN]
SCALE
1.00E+04 | Ntug [kNm] |
|--------------|----------|-----------|------------|----------|-------------------------------|--------------------------------|------------|
| 1 | 0. | .00 * | .0000 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 6 | 50. | 245.77 * | .0000 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 11 | 100. | 486.13 * | .0000 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 16 | 150. | 720.84 * | .0000 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 21 | 200. | 950.78 * | .0000 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 26 | 250. | 1176.62 * | .0002 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 31 | 300. | 1396.26 * | .0004 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 36 | 350. | 1606.04 * | .0004 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 41 | 400. | 1807.19 * | .0007 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 46 | 450. | 2000.76 * | .0008 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 51 | 500. | 2187.62 * | .0008 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 56 | 550. | 2368.50 * | .0004 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 61 | 600. | 2544.29 * | .0006 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 66 | 650. | 2715.78 * | .0009 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 71 | 700. | 2883.66 * | .0012 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 76 | 750. | 3048.51 * | .0011 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 81 | 800. | 3210.85 * | .0010 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 86 | 850. | 3370.97 * | .0013 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 91 | 900. | 3529.20 * | .0013 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 96 | 950. | 3685.84 * | .0013 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 101 | 1000. | 3841.22 * | .0012 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 106 | 1050. | 3995.58 * | .0026 | 0 | .00000 | .00000 | |
| 111 | 1100. | 4149.07 * | .0056 | 30303030 | 2.60115 | .00000 | |
| 116 | 1150. | 4301.79 * | .0060 | 30303030 | 2.65823 | .00000 | |
| 121 | 1200. | 4453.81 * | .0062 | 20303030 | 2.64262 | -.09641 | |
| 126 | 1250. | 4605.22 * | .0041 | 20302030 | 2.41732 | -.22228 | |
| 131 | 1300. | 4756.06 * | .0017 | 20302030 | 2.02718 | -.20347 | |
| 136 | 1350. | 4906.35 * | .0011 | 20302030 | 1.75658 | -.18138 | |
| 141 | 1400. | 5055.84 * | .0004 | 30303030 | .00000 | -4.27313 | |
| 146 | 1450. | 5200.42 * | .0000 | 30303030 | .00000 | -4.76441 | |
| 151 | 1500. | 5338.64 * | -.0002 | 20303030 | .53221 | -4.42373 | |
| 156 | 1550. | 5471.02 * | -.0003 | 10303030 | 1.24086 | -3.78038 | |
| 161 | 1600. | 5598.01 * | -.0005 | 10002010 | 1.33397 | -3.68744 | |
| 166 | 1650. | 5719.87 * | -.0010 | 10002010 | 1.31412 | -4.26707 | |
| 171 | 1700. | 5836.70 * | -.0017 | 20003010 | 1.22103 | -4.96977 | |
| 176 | 1750. | 5948.70 * | -.0022 | 20003010 | 1.14139 | -5.44267 | |
| 181 | 1800. | 6055.44 * | -.0025 | 20003010 | 1.14025 | -5.83329 | |
| 186 | 1850. | 6156.14 * | -.0027 | 20002010 | 1.16617 | -5.80677 | |
| 191 | 1900. | 6250.98 * | -.0019 | 20002010 | 1.12969 | -5.63745 | |
| 196 | 1950. | 6340.49 * | -.0006 | 10002010 | 1.09855 | -5.45232 | |
| 201 | 2000. | 6425.19 * | .0000 | 10002010 | 1.06410 | -5.22104 | |
| 206 | 2050. | 6505.56 * | .0000 | 10002010 | 1.03344 | -5.13950 | |
| 211 | 2100. | 6582.03 * | .0000 | 10002010 | .98729 | -5.14355 | |
| 216 | 2150. | 6654.42 * | .0000 | 10002010 | .95253 | -5.02190 | |
| 221 | 2200. | 6720.51 * | .0000 | 10001010 | .91102 | -3.83089 | |
| 226 | 2250. | 6780.47 * | .0000 | 10001010 | .87438 | -2.67428 | |

| | | | | | | |
|-----|-------|-----------|-------|----------|--------|----------|
| 231 | 2300. | 6834.70 * | .0000 | 10001010 | .85239 | -1.90309 |
| 236 | 2350. | 6883.53 * | .0000 | 10001010 | .84414 | -1.48024 |
| 241 | 2400. | 6927.19 * | .0000 | 10001010 | .84803 | -1.49507 |

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

Bijlagen

Deel B

Bijlage I. Algemene gegevens

In deze bijlage worden een aantal gegevens gegeven die betrekking hebben op de omstandigheden in en rond de Tees & Hartlepool Port. De gegevens zijn afkomstig van Witteveen + Bos

vaargeul afmetingen

de toegangsgoed is ruwweg op te delen in twee secties:

1. de approach channel; Deze loopt van de Tees North/South buoy tot de South Gare (dit is ongeveer ter hoogte van lichtboei nr. 5)
2. de river channel; Deze loopt stroomopwaarts van lichtboei nr. 5.

De breedte van de vaargeul is nu 244 m (= 800 ft) op de rechte stukken en in de bochten. De diameter van de turning circle (stroomopwaarts van boei nr. 11) is 518 m (= 1700 ft). De diepte van de turning circle is voor het grootste gedeelte CD - 14.4 m. Een klein gedeelte is slechts CD - 11.7 m, wat soms het draaien hindert.

De diepte van de vaargeul is:

| | nominale
diepte | tolerantie
diepte | veilige
diepte |
|------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| Approach channel | 15.4 m | 14.7 m | 14.5 m |
| River channel | 14.1 m | 13.3 m | 13.1 m |
| Ligplaats | 17,3 m | 16,5 m | ---- |

Tabel I.1 Geuldieptes in Tees Port

De nominale diepte is de diepte volgens de Admiralty Charts, de zogenaamde charted depth.

De tolerantie diepte is de minimale diepte voordat er onderhoudsbaggerwerk wordt uitgevoerd. De geuldiepte wordt iedere zes weken gemeten.

De veilige diepte komt tot stand door een marge op het getij van 0.2 m toe te passen. Dit is om afwijking van de voorspelde getijhoogte en om het getijvenster te compenseren.

Underkeel clearance

De vereiste keel clearance wordt genomen ten opzichte van de veilige diepte. De getijde niveaus worden continu geobserveerd en doorgegeven aan de loodsen.

De toelatingseisen zijn momenteel:

- voor schepen met afmetingen tot $Loa = 305$ m, $B = 46$ m en $D = 17.0$ m is de keel clearance in de approach channel 2.3 m en in de river channel 0.9 m.
- voor schepen met een breedte van 46 tot 48 m is de vereiste keel clearance 10% van de diepgang op zowel de approach channel als de river channel.

algemeen

Bij binnenvaren van grote schepen of schepen met gevaarlijke lading is er geen ander verkeer toegestaan op de rivier

Grote schepen maken gebruik van het getij. Ze passeren de vaargeul tussen HW -1 uur en HW.

De transittijd van de fairway buoy tot aan de terminal is ongeveer veertig minuten.

klimaat

golfklimaat: zie tabel I.1 en I.2

getij: zie tabel I.3.

Wave Climate

Frequency of occurrence

| | | Mean wave height [m] | | | | | | | | | TOTAL |
|----------------------|----|----------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Mean Wave period [s] | | 0.00 | 0.32 | 0.63 | 0.95 | 1.26 | 1.58 | 1.89 | 2.21 | 2.52 | |
| from | to | 0.32 | 0.63 | 0.95 | 1.26 | 1.58 | 1.89 | 2.21 | 2.52 | | |
| 0 -- | 5 | 37.72 | 19.29 | 6.84 | 2.35 | 0.33 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 66.54 |
| 5 -- | 6 | 2.22 | 3.55 | 4.44 | 3.33 | 1.96 | 0.87 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 16.40 |
| 6 -- | 7 | 0.62 | 1.32 | 1.87 | 1.56 | 2.09 | 1.99 | 1.45 | 0.00 | 0.00 | 10.90 |
| 7 -- | 8 | 0.12 | 0.55 | 0.60 | 0.53 | 0.80 | 0.68 | 1.30 | 0.00 | 0.00 | 4.58 |
| 8 -- | 9 | 0.04 | 0.21 | 0.24 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.87 |
| 9 -- | 10 | 0.01 | 0.08 | 0.11 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.28 |
| 10 -- | | 0.00 | 0.03 | 0.26 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.14 | 0.43 |
| TOTAL | | 40.73 | 25.03 | 14.36 | 7.85 | 5.23 | 3.61 | 3.05 | 0.00 | 0.14 | 100.00 |

tabel 1.1. golfklimaat

| High Water
[m] | Exceedance
Probability
[%] |
|-------------------|----------------------------------|
| 4.00 | 100.00 |
| 4.10 | 99.72 |
| 4.20 | 97.88 |
| 4.30 | 95.19 |
| 4.40 | 90.24 |
| 4.50 | 84.16 |
| 4.60 | 77.79 |
| 4.70 | 71.15 |
| 4.80 | 63.93 |
| 4.90 | 56.15 |
| 5.00 | 47.52 |
| 5.10 | 39.32 |
| 5.20 | 31.54 |
| 5.30 | 23.48 |
| 5.40 | 16.97 |
| 5.50 | 11.60 |
| 5.60 | 7.78 |
| 5.70 | 4.38 |
| 5.80 | 2.55 |
| 5.90 | 0.57 |

Tabel I.3. Hoogwaterverdeling

| NORTH WEST | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-----|-----|------|-------|-------|---|---|---|---|---|-------|
| PERCENTAGE OF OBS = 12.80% | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 35 | 206 | 348 | 262 | 114 | 34 | 8 | 2 | - | - | - | 1000 |
| SIGNIFICANT WAVE HEIGHT (m) | >14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| | 13-14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| | 12-13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| | 11-12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| | 10-11 | - | - | - | 1 | 1 | - | - | - | - | - | 2 |
| | 9-10 | - | - | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | 3 |
| | 8-9 | - | - | 1 | 2 | 2 | - | - | - | - | - | 5 |
| | 7-8 | - | - | 2 | 3 | 3 | 1 | - | - | - | - | 9 |
| | 6-7 | - | 1 | 3 | 6 | 4 | 2 | 1 | - | - | - | 17 |
| | 5-6 | - | 1 | 7 | 10 | 7 | 3 | 1 | - | - | - | 30 |
| | 4-5 | - | 3 | 15 | 20 | 12 | 5 | 1 | - | - | - | 56 |
| | 3-4 | - | 8 | 32 | 37 | 20 | 6 | 2 | - | - | - | 105 |
| | 2-3 | 1 | 22 | 66 | 62 | 28 | 8 | 2 | - | - | - | 189 |
| | 1-2 | 5 | 58 | 119 | 82 | 28 | 6 | 1 | - | - | - | 298 |
| | 0-1 | 29 | 112 | 103 | 39 | 8 | 1 | - | - | - | - | 291 |
| | | 4-5 | 6-7 | 8-9 | 10-11 | 11-12 | | | | | | TOTAL |
| | <4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 | >13 | | | | | | |
| | ZERO CROSSING PERIOD (s) | | | | | | | | | | | |

| NORTH | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-----|-----|------|-------|-------|-------|---|---|---|------|
| PERCENTAGE OF OBS = 11.34% | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 28 | 173 | 328 | 278 | 135 | 45 | 11 | 2 | 1 | - | 1000 |
| SIGNIFICANT WAVE HEIGHT (m) | | | | | | | | | | | |
| >14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13-14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 12-13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11-12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10-11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 9-10 | - | - | - | 1 | 1 | - | - | - | - | - | 2 |
| 8-9 | - | - | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | 4 |
| 7-8 | - | - | 1 | 2 | 2 | 1 | - | - | - | - | 7 |
| 6-7 | - | - | 2 | 4 | 4 | 2 | 1 | - | - | - | 13 |
| 5-6 | - | 1 | 5 | 9 | 7 | 3 | 1 | - | - | - | 26 |
| 4-5 | - | 2 | 11 | 18 | 13 | 6 | 2 | - | - | - | 52 |
| 3-4 | - | 6 | 26 | 36 | 23 | 9 | 2 | 1 | - | - | 103 |
| 2-3 | 1 | 18 | 60 | 66 | 35 | 11 | 3 | 1 | - | - | 192 |
| 1-2 | 4 | 50 | 117 | 94 | 37 | 9 | 2 | - | - | - | 313 |
| 0-1 | 23 | 96 | 106 | 48 | 12 | 2 | - | - | - | - | 288 |
| | | 4-5 | 6-7 | 8-9 | 10-11 | 12-13 | TOTAL | | | | |
| | <4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 | >13 | | | | | |
| | ZERO CROSSING PERIOD (s) | | | | | | | | | | |

| NORTH EAST | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|---|---|---|---|------|
| PERCENTAGE OF OBS = 8.47% | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 154 | 358 | 308 | 135 | 39 | 8 | 2 | - | - | - | - | 1000 |
| SIGNIFICANT WAVE HEIGHT (m) | | | | | | | | | | | | |
| >14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13-14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 12-13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11-12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10-11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 9-10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| 8-9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| 7-8 | - | - | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | 2 |
| 6-7 | - | 1 | 2 | 2 | 1 | - | - | - | - | - | - | 5 |
| 5-6 | - | 2 | 4 | 3 | 1 | - | - | - | - | - | - | 10 |
| 4-5 | 1 | 5 | 9 | 7 | 3 | 1 | - | - | - | - | - | 24 |
| 3-4 | 2 | 13 | 22 | 15 | 6 | 1 | - | - | - | - | - | 60 |
| 2-3 | 7 | 40 | 56 | 31 | 10 | 2 | - | - | - | - | - | 146 |
| 1-2 | 29 | 114 | 115 | 49 | 13 | 2 | - | - | - | - | - | 323 |
| 0-1 | 116 | 183 | 100 | 27 | 5 | 1 | - | - | - | - | - | 431 |
| | 4-5 | 6-7 | 8-9 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | TOTAL | | | | | |
| | <4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 | >13 | | | | | | |
| | ZERO CROSSING PERIOD (s) | | | | | | | | | | | |

| WEST | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-----|-----|------|-------|-------|-------|---|---|---|------|
| PERCENTAGE OF OBS = 15.85% | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 69 | 273 | 353 | 209 | 74 | 19 | 4 | 1 | - | - | 1000 |
| SIGNIFICANT WAVE HEIGHT (m) | | | | | | | | | | | |
| >14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13-14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 12-13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11-12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10-11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 9-10 | - | - | - | 1 | 1 | - | - | - | - | - | 2 |
| 8-9 | - | - | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | 3 |
| 7-8 | - | - | 2 | 2 | 1 | 1 | - | - | - | - | 6 |
| 6-7 | - | 1 | 3 | 4 | 3 | 1 | - | - | - | - | 12 |
| 5-6 | - | 2 | 7 | 8 | 4 | 2 | - | - | - | - | 23 |
| 4-5 | - | 5 | 15 | 15 | 8 | 2 | 1 | - | - | - | 47 |
| 3-4 | 1 | 13 | 34 | 30 | 13 | 4 | 1 | - | - | - | 95 |
| 2-3 | 3 | 35 | 71 | 51 | 19 | 5 | 1 | - | - | - | 184 |
| 1-2 | 12 | 85 | 124 | 66 | 19 | 4 | 1 | - | - | - | 310 |
| 0-1 | 53 | 132 | 96 | 30 | 6 | 1 | - | - | - | - | 317 |
| | | 4-5 | 6-7 | 8-9 | 10-11 | 12-13 | TOTAL | | | | |
| | <4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 | >13 | | | | | |
| | ZERO CROSSING PERIOD (s) | | | | | | | | | | |

| ALL DIRECTIONS | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|----|-------|---|-------|---|-------|
| PERCENTAGE OF OBS = 100.00% | | | | | | | | | | | | |
| (INCLUDING 2.40% DIRECTION UNKNOWN) | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 23 | 160 | 324 | 288 | 145 | 50 | 13 | 3 | 1 | - | - | 1000 |
| SIGNIFICANT WAVE HEIGHT (m) | | | | | | | | | | | | |
| >14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13-14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 12-13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11-12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10-11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 9-10 | - | - | - | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| 8-9 | - | - | - | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| 7-8 | - | - | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | - | - | - | - | - |
| 6-7 | - | - | 2 | 4 | 4 | 2 | 1 | - | - | - | - | - |
| 5-6 | - | 1 | 4 | 9 | 7 | 4 | 1 | - | - | - | - | - |
| 4-5 | - | 2 | 11 | 19 | 14 | 6 | 2 | 1 | - | - | - | - |
| 3-4 | - | 6 | 27 | 39 | 26 | 10 | 3 | 1 | - | - | - | - |
| 2-3 | 1 | 17 | 63 | 73 | 40 | 13 | 3 | 1 | - | - | - | - |
| 1-2 | 3 | 49 | 121 | 99 | 40 | 10 | 2 | - | - | - | - | - |
| 0-1 | 19 | 86 | 94 | 41 | 10 | 2 | - | - | - | - | - | - |
| | | 4-5 | | 6-7 | | 8-9 | | 10-11 | | 12-13 | | TOTAL |
| | <4 | 5-6 | | 7-8 | | 9-10 | | 11-12 | | >13 | | |
| | ZERO CROSSING PERIOD (s) | | | | | | | | | | | |

| EAST | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-----|-----|------|-------|-------|---|---|---|---|-------|
| PERCENTAGE OF OBS = 9.15% | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 121 | 340 | 329 | 153 | 44 | 9 | 2 | - | - | - | 1000 |
| SIGNIFICANT WAVE HEIGHT (m) | | | | | | | | | | | |
| >14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13-14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 12-13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11-12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10-11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 9-10 | - | - | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - | 2 |
| 8-9 | - | - | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | 3 |
| 7-8 | - | 1 | 2 | 2 | 1 | - | - | - | - | - | 6 |
| 6-7 | - | 2 | 4 | 4 | 2 | 1 | - | - | - | - | 11 |
| 5-6 | - | 3 | 8 | 6 | 3 | 1 | - | - | - | - | 22 |
| 4-5 | 1 | 8 | 16 | 12 | 5 | 1 | - | - | - | - | 42 |
| 3-4 | 2 | 19 | 33 | 22 | 8 | 2 | - | - | - | - | 86 |
| 2-3 | 6 | 44 | 65 | 38 | 11 | 2 | - | - | - | - | 164 |
| 1-2 | 20 | 99 | 107 | 46 | 11 | 2 | - | - | - | - | 285 |
| 0-1 | 91 | 164 | 92 | 24 | 4 | 1 | - | - | - | - | 375 |
| | | 4-5 | 6-7 | 8-9 | 10-11 | 12-13 | | | | | TOTAL |
| | <4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 | >13 | | | | | |
| | ZERO CROSSING PERIOD (s) | | | | | | | | | | |

SOUTH WEST

PERCENTAGE OF OBS = 15.79%

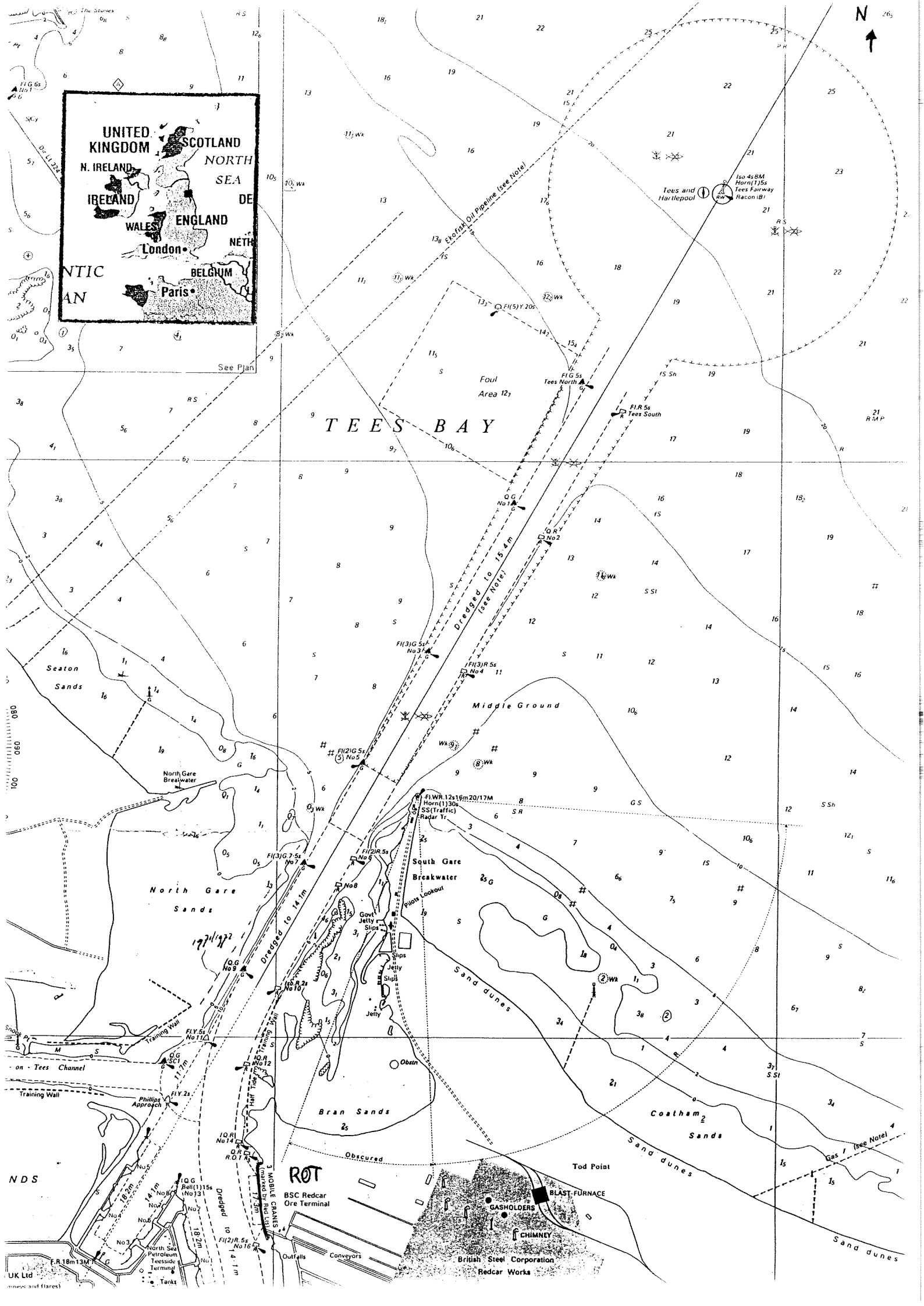
| TOTAL | 122 | 341 | 330 | 154 | 45 | 10 | 2 | ~ | ~ | ~ | 1000 |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|
| SIGNIFICANT WAVE HEIGHT (m) | | | | | | | | | | | |
| >14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13-14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 12-13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11-12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10-11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 9-10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8-9 | - | - | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| 7-8 | - | - | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| 6-7 | - | 1 | 3 | 3 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| 5-6 | - | 2 | 6 | 5 | 2 | 1 | - | - | - | - | - |
| 4-5 | 1 | 7 | 14 | 11 | 5 | 1 | - | - | - | - | - |
| 3-4 | 2 | 18 | 33 | 22 | 8 | 2 | - | - | - | - | - |
| 2-3 | 7 | 48 | 70 | 39 | 12 | 2 | - | - | - | - | - |
| 1-2 | 25 | 115 | 121 | 50 | 12 | 2 | - | - | - | - | - |
| 0-1 | 87 | 150 | 82 | 21 | 3 | - | - | - | - | - | - |
| | <4 | 4-5 | 5-6 | 6-7 | 7-8 | 8-9 | 9-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | TOTAL |

ZERO CROSSING PERIOD (s)

| SOUTH | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-----|-----|------|-------|-------|-------|---|---|---|---|-----|
| PERCENTAGE OF OBS = 14.12% | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 111 | 327 | 335 | 164 | 49 | 11 | 2 | - | - | - | - | 100 |
| SIGNIFICANT WAVE HEIGHT (m) | | | | | | | | | | | | |
| >14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13-14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 12-13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11-12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10-11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 9-10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8-9 | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 7-8 | - | - | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| 6-7 | - | 1 | 2 | 2 | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| 5-6 | - | 2 | 5 | 5 | 2 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| 4-5 | 1 | 6 | 13 | 11 | 5 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| 3-4 | 2 | 17 | 33 | 24 | 9 | 2 | - | - | - | - | - | - |
| 2-3 | 6 | 47 | 74 | 44 | 14 | 3 | 1 | - | - | - | - | - |
| 1-2 | 22 | 110 | 124 | 55 | 14 | 2 | - | - | - | - | - | - |
| 0-1 | 81 | 144 | 82 | 22 | 4 | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 4-5 | 6-7 | 8-9 | 10-11 | 12-13 | TOTAL | | | | | |
| | <4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 | >13 | | | | | | |
| | ZERO CROSSING PERIOD (s) | | | | | | | | | | | |

| SOUTH EAST | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-----|-----|-------|-------|-------|---|---|---|---|------|
| PERCENTAGE OF OBS = 10.08% | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 185 | 386 | 290 | 110 | 27 | 5 | 1 | - | - | - | 1000 |
| SIGNIFICANT WAVE HEIGHT (m) | | | | | | | | | | | |
| >14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13-14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 12-13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11-12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10-11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 9-10 | - | - | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - | 2 |
| 8-9 | - | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - | 4 |
| 7-8 | - | 1 | 2 | 2 | 1 | - | - | - | - | - | 6 |
| 6-7 | - | 2 | 4 | 3 | 1 | - | - | - | - | - | 11 |
| 5-6 | 1 | 5 | 8 | 5 | 2 | - | - | - | - | - | 21 |
| 4-5 | 1 | 10 | 15 | 9 | 3 | 1 | - | - | - | - | 39 |
| 3-4 | 4 | 22 | 29 | 15 | 4 | 1 | - | - | - | - | 75 |
| 2-3 | 10 | 49 | 55 | 24 | 6 | 1 | - | - | - | - | 148 |
| 1-2 | 33 | 112 | 92 | 32 | 6 | 1 | - | - | - | - | 276 |
| 0-1 | 137 | 184 | 82 | 17 | 2 | - | - | - | - | - | 422 |
| | 4-5 | 6-7 | 8-9 | 10-11 | 12-13 | TOTAL | | | | | |
| | <4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 | >13 | | | | | |
| | ZERO CROSSING PERIOD (s) | | | | | | | | | | |

TABULATED PROBABILITIES ARE IN PARTS PER THOUSAND OF THE POPULATION IN EACH TABLE



Bijlage II. Varianties van de stabiele factoren

De factoren die de UKC bepalen zijn de volgende:

- charted depth
- getij
- undercut
- sedimentatie
- statische diepgang
- squat
- golfrespons

Op de golfrespons na zijn alle factoren constant voor gegeven constante snelheid, diepte etc. Deze 'constante' factoren worden ook wel de stabiele factoren genoemd. De waarde van deze zogenaamd stabiele factoren kan echter nooit met volledige zekerheid worden bepaald. Om rekening te houden met afwijkingen van de bepaalde waarden worden zogenaamde onzekerheden ingevoerd. Deze afwijkingen van de waarden van de stabiele factoren vormen samen een deel van de underkeel clearance die geëist wordt. Het wordt de underkeel clearance voor stabiele factoren genoemd, de UKC_S .

Om de totale afwijking van het alle stabiele factoren, de UKC_S , te verkrijgen mogen de verschillende onzekerheden niet zomaar worden opgeteld. De totale marge voor onzekerheden zou dan veel te groot worden. Beter is het om een statistische aanpak te volgen.

De onzekerheden van de stabiele factoren kunnen het best worden beschouwd als standaard deviaties met een normale kansdichtheid verdeling. Een normale kansdichtheidsverdeling is gedefinieerd als:

$$f(\xi) = 1/S\sqrt{2\pi} \exp\{- (\xi-\mu)^2 / 2S^2\}$$

met: $f(\xi)$ = kansdichtheidsfunctie
 S = standaard deviatie
 μ = gemiddelde

Om rekenen met deze getallen gemakkelijker te maken worden de onzekerheden vaak uitgedrukt in de variantie (= standaard deviatie in het kwadraat). De standaarddeviaties kunnen worden benaderd met een normale verdeling

Uit statistische sommatie van de onzekerheden volgt dan de underkeel clearance voor stabiele factoren, de UKC_S :

$$UKC_S = k1 \sqrt{(S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + S_6^2)}$$

met: $k1$ = constante voor de kans op bodemraken
 S_1^2 = Charted depth variantie
 S_2^2 = getijdevoorspelling variantie
 S_3^2 = sedimentatie variantie
 S_4^2 = statische diepgang variantie
 S_5^2 = water dichtheid variantie
 S_6^2 = squat variantie

Hierin is k_1 de waarde die de kans op bodemraken extreem klein maakt. Indien de standaarddeviaties precies een normale verdeling zouden hebben, zou k_1 een exacte kans aangeven. Omdat de standaard deviatie slechts benaderd worden met een normale verdeling, geeft k_1 slechts een benadering van de kans op bodemraken. In dit onderzoek is er toch vanuit gegaan dat de kans die k_1 moet aangeven ook werkelijk optreedt.

De waarden van de varianties van de stabiele factoren worden uit tabellen gehaald. Hierna volgt de uitleg bij de verkregen waarden.

- S_1^2 , de chartered depth variantie. De waarde kan worden gehaald uit tabel II.1
De chartered depth variantie hangt af van de situatie in de haven. Op de Tees meten de havenautoriteiten de waterdiepte iedere zes weken. Ook wordt er ieder jaar onderhoudsbaggerwerk uitgevoerd. Hiermee is Tees Port duidelijk een klasse 1 haven. De chartered depth variantie is nul voor Tees Port voor zowel de river channel als de approach channel.
- S_2^2 , getijdevoorspelling variantie. De waarde kan worden gehaald uit tabel II.2
De getijdevoorspelling variantie hangt af van de controle op de getijde voorspellingen. Factoren als wind, onbekende stromingen, stormen en luchtdrukvariaties zijn onvoorspelbaar en kunnen de getijhoogte beïnvloeden. Daarvoor moet een marge worden opgeteld bij de voorspelde getijhoogte. In Tees Port wordt de getijhoogte continu geobserveerd. Ook wordt er een veilige diepte gehanteerd die 0,2 m kleiner is dan de nominale diepte, om afwijking van het voorspelde getij op te vangen. Deze marge is voldoende. Voor Tees Port geldt dan ook dat de getijdevoorspelling variantie nul is, zowel in de approach channel als in de river channel.
- S_3^2 , sedimentatie variantie. De waarde komt uit tabel II.3.
In Tees Port zijn de hoeveelheden sedimentatie bekend en wordt er bij de dieptebevestiging rekening mee gehouden. Er is een marge van respectievelijk 0,7 en 0,8 m op de diepte van de approach channel en de river channel voor sedimentatie. De sedimentatie variantie is dan ook nul in approach channel en river channel.
- S_4^2 , statische diepgang variantie. De waarden komen uit figuur II.1.
De statische diepgang kan afwijken door factoren als onnauwkeurige lading bepaling, brandstof verbruik, trim en onnauwkeurig aflezen van het merkteken. De onnauwkeurigheid is sterk afhankelijk van de duur van de reis en natuurlijk ook van de diepgang zelf. Aangezien de schepen die Tees Port aandoen van over de hele wereld komen kan de reistijd lang zijn. Er is dan ook voor gekozen om de maximale variantie voor een gegeven diepgang aan te houden.
- S_5^2 , water dichtheid variantie. De waarden staan in figuur II.2 vermeld.
Uit de gemeten waarden van het zoutgehalte op de river Tees volgt dat de range van specifieke dichtheid ongeveer 0,010 is bij hoog water. De dichtheidsvariantie varieert met de diepgang van de schepen.
- S_6^2 , squat variantie. De waarden komen uit figuur II.3.
De squat variantie is afhankelijk van de diepgang en de verhouding snelheid² / nominale waterdiepte. De grootste waarden voor de squat variantie vindt u in tabel II.5. De varianties verlopen niet lineair met snelheid² / waterdiepte - verhouding. De tabel geeft daarom de maximaal mogelijke squat variantie bij een snelheid van 5 knopen en de totaal maximaal mogelijke variantie op de approach channel. Op de river channel vaart het schip maximaal 5 knopen. De bij die snelheid behorende variantie is de grootste die op de river channel kan voorkomen.

CHARTED DEPTH VARIANCE

| Classification of Water Depth or Navigation Chart Data | | |
|---|---|---------------|
| Class | Description | Variance |
| I | <p>Port Authority maintained data. Proven water depth rigorously maintained by public or private agency.</p> <p>Typical Characteristics:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Locations where port authority defines maximum draft for tankers. • Locations where vessels at same or greater depth have frequently navigated. • Locations where frequent detailed surveys over a recent extended period of time (for example, 5 yrs.) consistently show the same water depth or increasing depths due to scouring or maintenance dredging. | 0.00 ft. |
| II | <p>Detailed hydrographic survey with precision similar to National Ocean Survey (NOS) proposed standards.</p> <p>Typical Characteristics:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Locations where surveys consistently show same water depth or where published IHB chart depth has been confirmed by recent local survey less than 5 years old. • Locations where vessels have transited with underkeel clearances less than 10% of the reported water depth.* | See Figure 3A |
| III | <p>Hydrographic survey with precision to International Hydrographic Bureau (IHB) standards.</p> <p>Typical Characteristics:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Locations where local surveys are only data available and surveys are less than 5 years old. • Locations where vessels have transited with underkeel clearances less than 15% of the reported water depth.* | See Figure 3B |
| IV | <p>Hydrographic survey or navigation chart of unknown accuracy.</p> <p>Typical Characteristics:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Location where available local survey data is greater than 5 years old. | See Figure 3C |
| <p>* These percentages are used to establish the survey classification and should not be used to select the ship underkeel clearance.</p> | | |

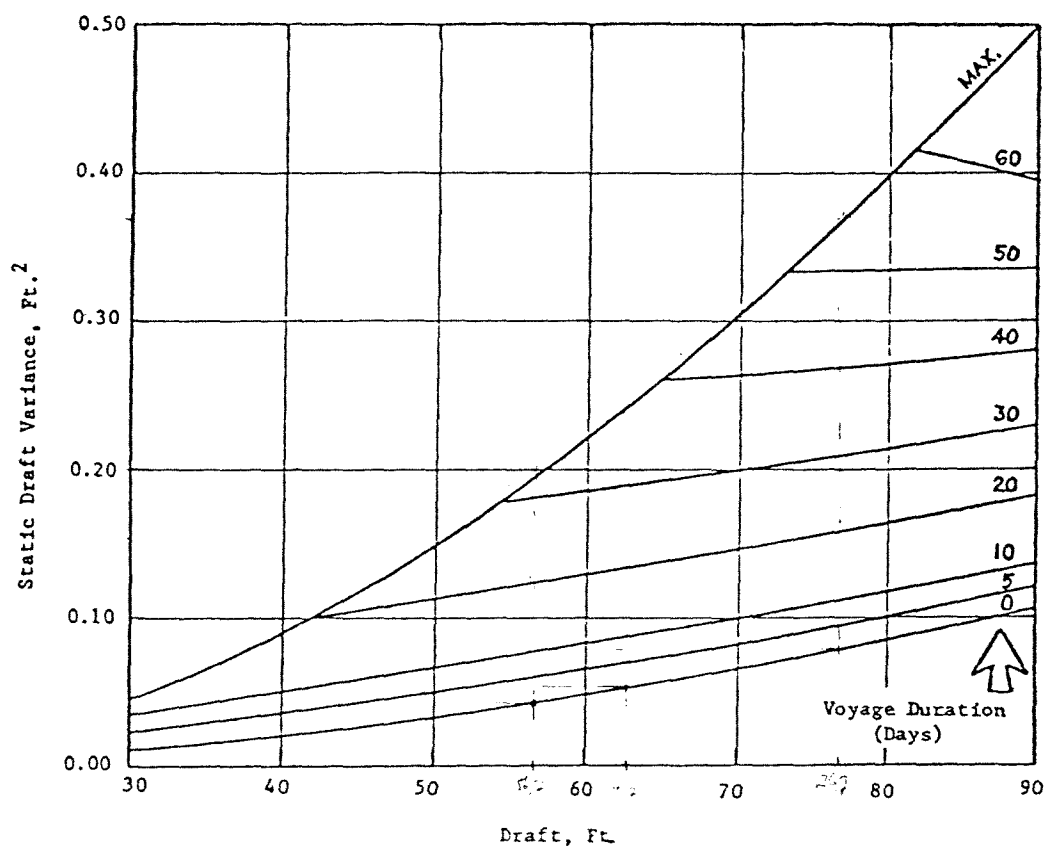
Tabel II.1. Charted depth variantie

| Tidal Data Source | Variance for Location [Ft ²] | | |
|---|---|-------------------------------------|------------------------------|
| | Berth Area | Within Port
Or Protected Channel | Offshore
Fairway Approach |
| Observed water levels* | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Predicted Water Levels: | | | |
| - Reference station | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| - Subordinate station | 0.4 | 0.4 | 0.5 |
| No tidal data or available information
is out of date | Use 0.0, but tidal level in determining Nominal Water Depth
should correspond to Lower Low Water (LLW) | | |
| * Also includes situation where predicted tide will not be fully used; i.e., the tide level used in
determining Nominal Water Depth is at least one foot less than the predicted tide level. | | | |

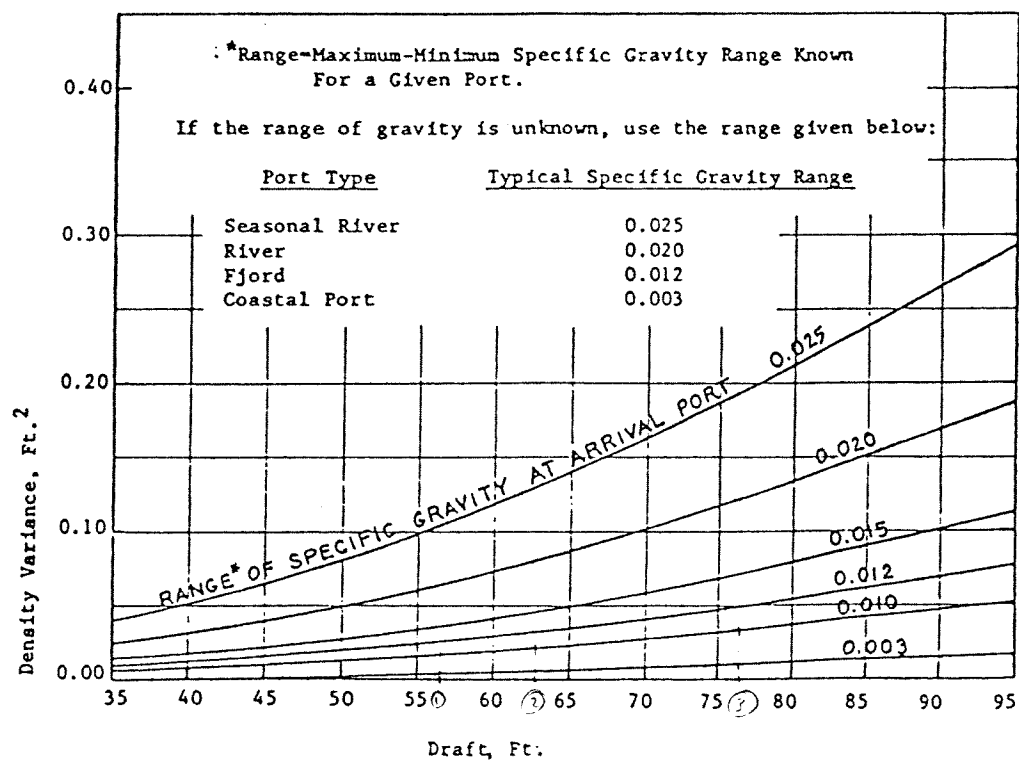
Tabel II.2. Getijvoorspelling variantie

| Siltation Data | Variance for Location (Ft ²) | | |
|---|--|-------------------------------------|------------------------------|
| | Berth Area | Within Port
Or Protected Channel | Offshore
Fairway Approach |
| Field data available and siltation variation
accounted for in determination of Nominal
Water Depth. | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Field data unavailable and siltation
variance not accounted for in determination
of Nominal Water Depth | | | |
| Sedimentary Regime (Figure 2) is: | | | |
| - Estuary : | 1.0 | 0.8 | 0.4 |
| - Natural Bay or Inlet : | 0.75 | 0.6 | 0.2 |
| - Open Coastal : | 0.5 | 0.4 | 0.1 |
| - Artificial Enclosed Coastal: | 0.25 | 0.2 | 0.1 |

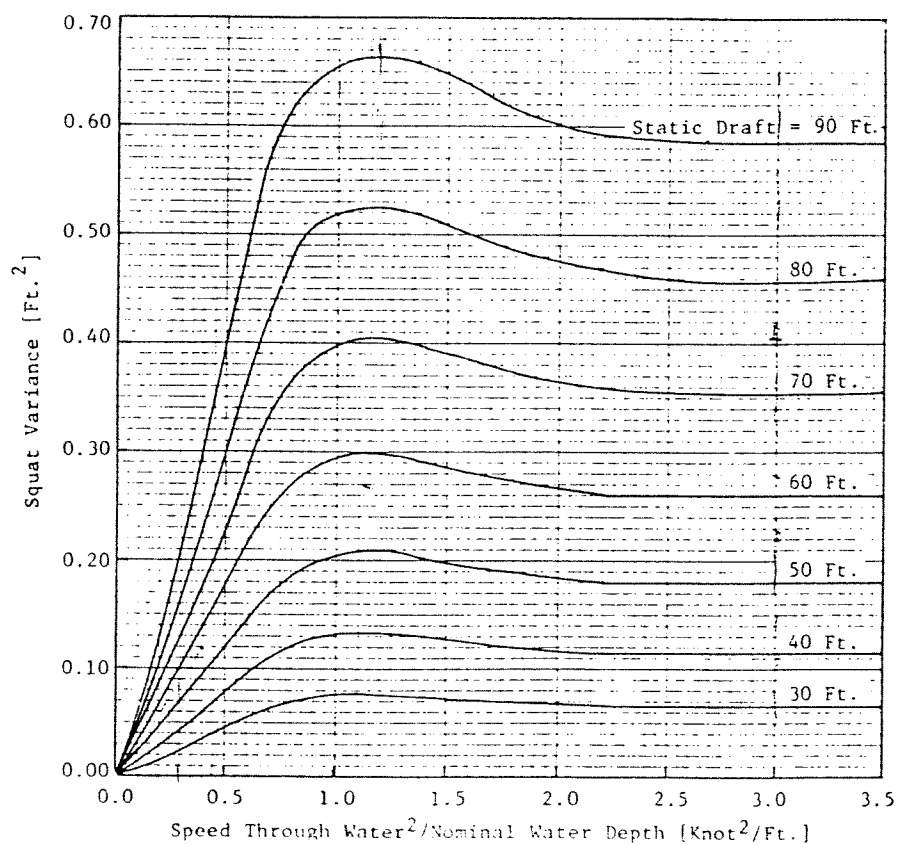
Tabel II.3. Sedimentatie variantie



Figuur II.1. Statische diepgang variantie



Figuur II.2. Dichtheidsvariantie



figuur II.3. Squat variantie

Voor de onderzochte schepen, in Tees Port, zijn de in tabel II.4 II.5 en II.6 genoemde waarden voor de varianties van stabiele factoren gevonden.

| Approach | en river | channel | | | |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | $S_1^2 [ft^2]$ | $S_2^2 [ft^2]$ | $S_3^2 [ft^2]$ | $S_4^2 [ft^2]$ | $S_5^2 [ft^2]$ |
| schip 1 | 0 | 0 | 0 | 0,195 | 0,02 |
| schip 2 | 0 | 0 | 0 | 0,195 | 0,02 |
| schip 3 | 0 | 0 | 0 | 0,195 | 0,02 |
| schip 4 | 0 | 0 | 0 | 0,240 | 0,025 |
| schip 5 | 0 | 0 | 0 | 0,265 | 0,035 |

Tabel II.4 Varianties van stabiele factoren $[ft^2]$ voor river channel en approach channel.

| | Approach
channel | | river
channel |
|---------|---------------------|-------------------|--------------------|
| | $v = 5 \text{ kn}$ | max.
variantie | $v = 5 \text{ kn}$ |
| schip 1 | 0,11 | 0,265 | 0,125 |
| schip 2 | 0,11 | 0,265 | 0,125 |
| schip 3 | 0,11 | 0,265 | 0,125 |
| schip 4 | 0,13 | 0,32 | 0,15 |
| schip 5 | 0,14 | 0,47 | 0,15 |

Tabel II.5 Squat variantie (S_6^2) in ft^2 voor river channel en approach channel.

| | $S_1^2 [ft^2]$ | $S_2^2 [ft^2]$ | $S_3^2 [ft^2]$ | $S_4^2 [ft^2]$ | $S_5^2 [ft^2]$ | $S_6^2 [ft^2]$ |
|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| schip 1 | 0 | 0 | 0 | 0,125 | 0,004 | 0 |
| schip 2 | 0 | 0 | 0 | 0,125 | 0,004 | 0 |
| schip 3 | 0 | 0 | 0 | 0,125 | 0,004 | 0 |
| schip 4 | 0 | 0 | 0 | 0,135 | 0,005 | 0 |
| schip 5 | 0 | 0 | 0 | 0,155 | 0,010 | 0 |

Tabel II.6 Varianties van stabiele factoren $[ft^2]$ voor de ligplaats.

De totale UKC_s volgens de formule: $UKC_s = k_1 \sqrt{(S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + S_6^2)}$, staat vermeld in tabel II.7.

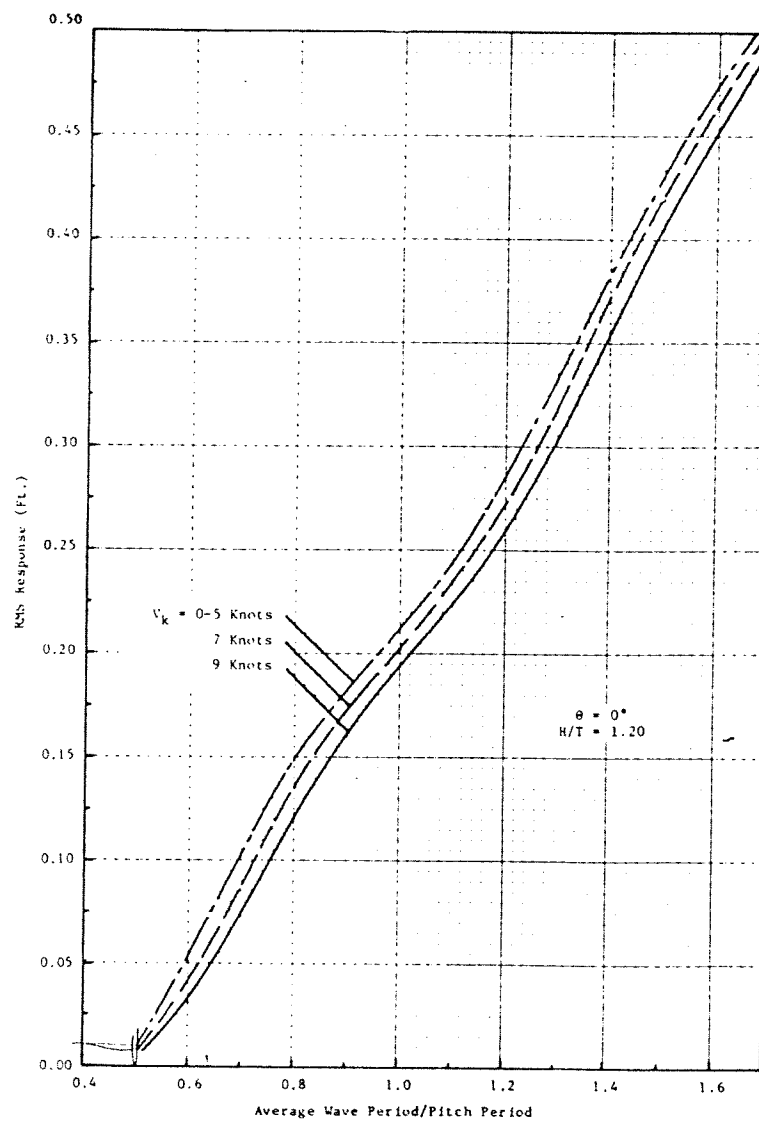
| UKC_s
[ft] | approach
channel | river
channel | ligplaats |
|-----------------|---------------------|------------------|-----------|
| schip 1 | 1,6143 | 1,3586 | 0,8369 |
| schip 2 | 1,6143 | 1,3586 | 0,8369 |
| schip 3 | 1,6143 | 1,3586 | 0,8369 |
| schip 4 | 1,782 | 1,5010 | 0,8718 |
| schip 5 | 2,1795 | 1,7358 | 0,9465 |

Tabel II.7. UKC_s voor schepen op verschillende geuldelen [ft]

Bijlage III. Golfrespons bepaling

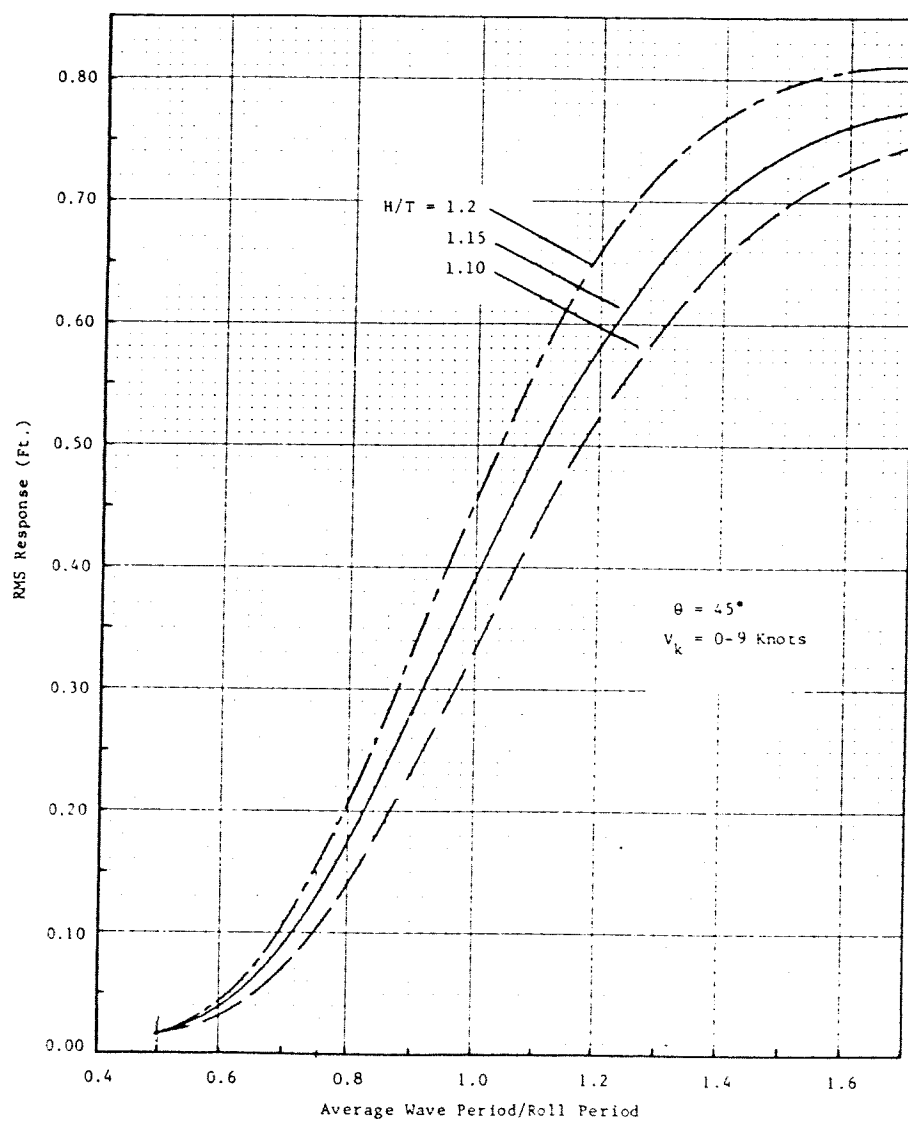
In de haven en de toegangseul komen golven voor. De respons van het schip op deze golven vereist nog een underkeel clearance marge. De underkeel clearance van een schip in de golven varieert periodiek rond de gemiddelde waarde door het effect van pitch, heave en roll. In de methode van Kimon zijn resultaten van tests gegeven van de respons van een 200 kDWT tanker in ondiep water. De resultaten van de respons, de zogenaamde RMS respons, van dit schip in één-voet ($\approx 0,30$ m) hoge golven (significante golfhoogte), voor verschillende golfperiodes (gemiddelde golfperiode) en verschillende golfrichtingen staan in de figuren III.1 t/m III.5. Ook de diepte/diepgang verhouding wordt meegenomen. Verschillende waarden zijn in tabel III.1 verzameld.

Er wordt aangenomen dat de pitch en roll periode van de schepen ongeveer 10s is. Deze waarde is door Kimon aangeraden.

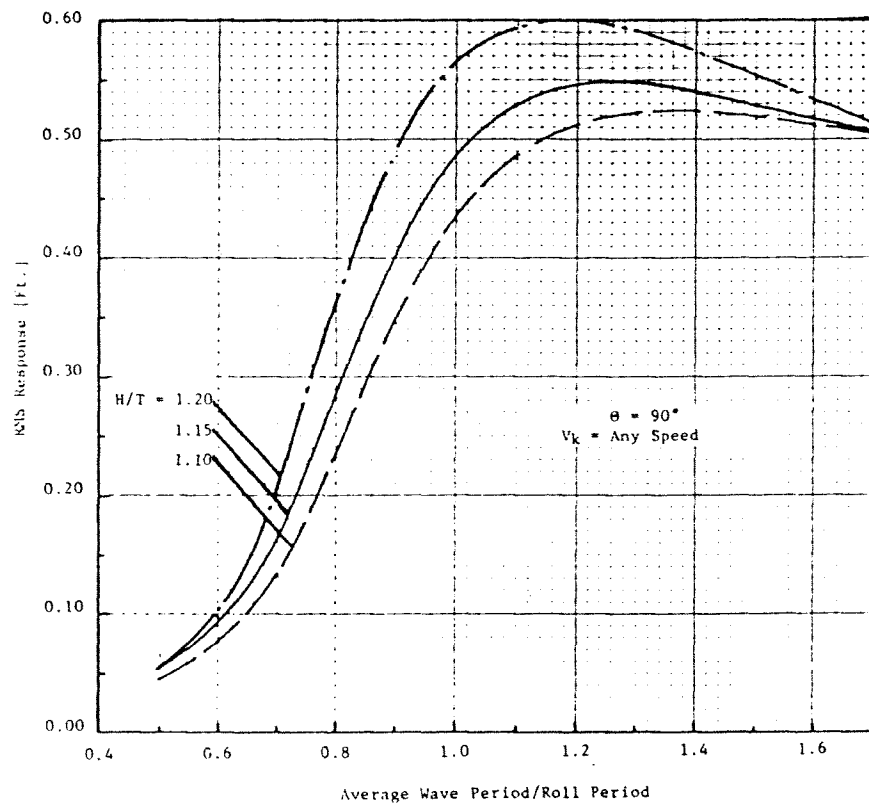


Figuur III.1. Golfrespons met een relatieve golfvalshoek van 0°

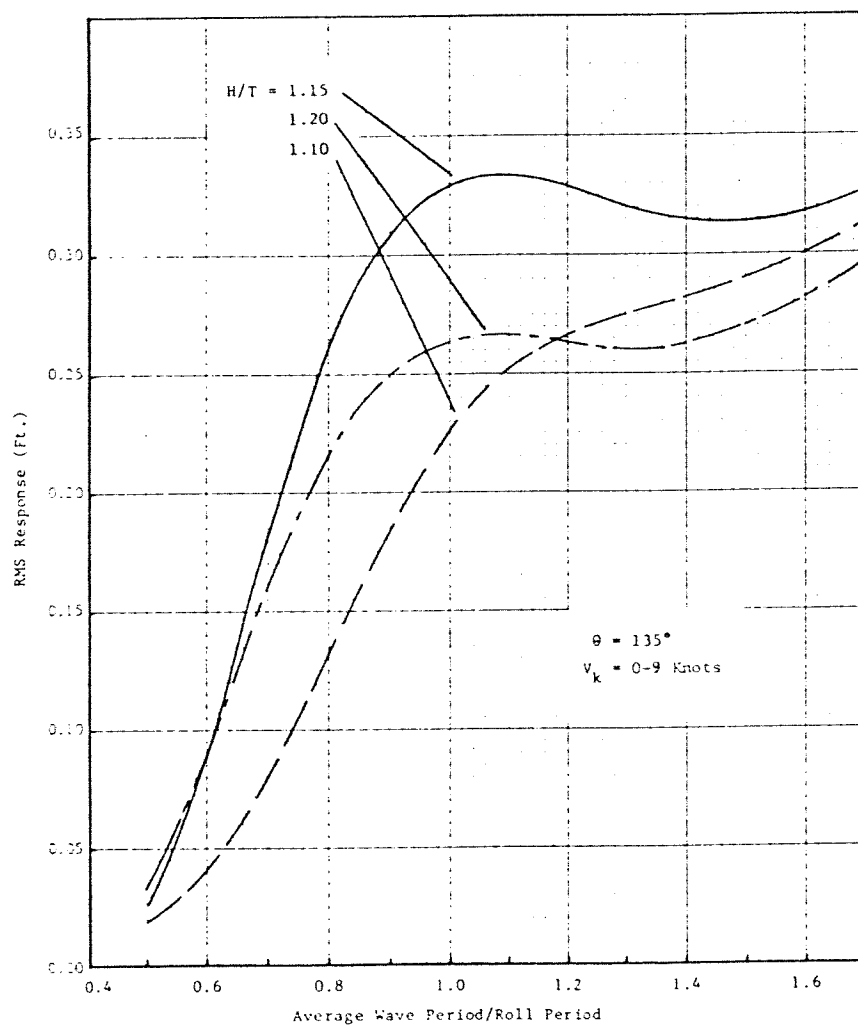
H = waterdiepte
 T = diepgang van het schip
 θ = relatieve golfvalshoek
 V_k = snelheid van het schip



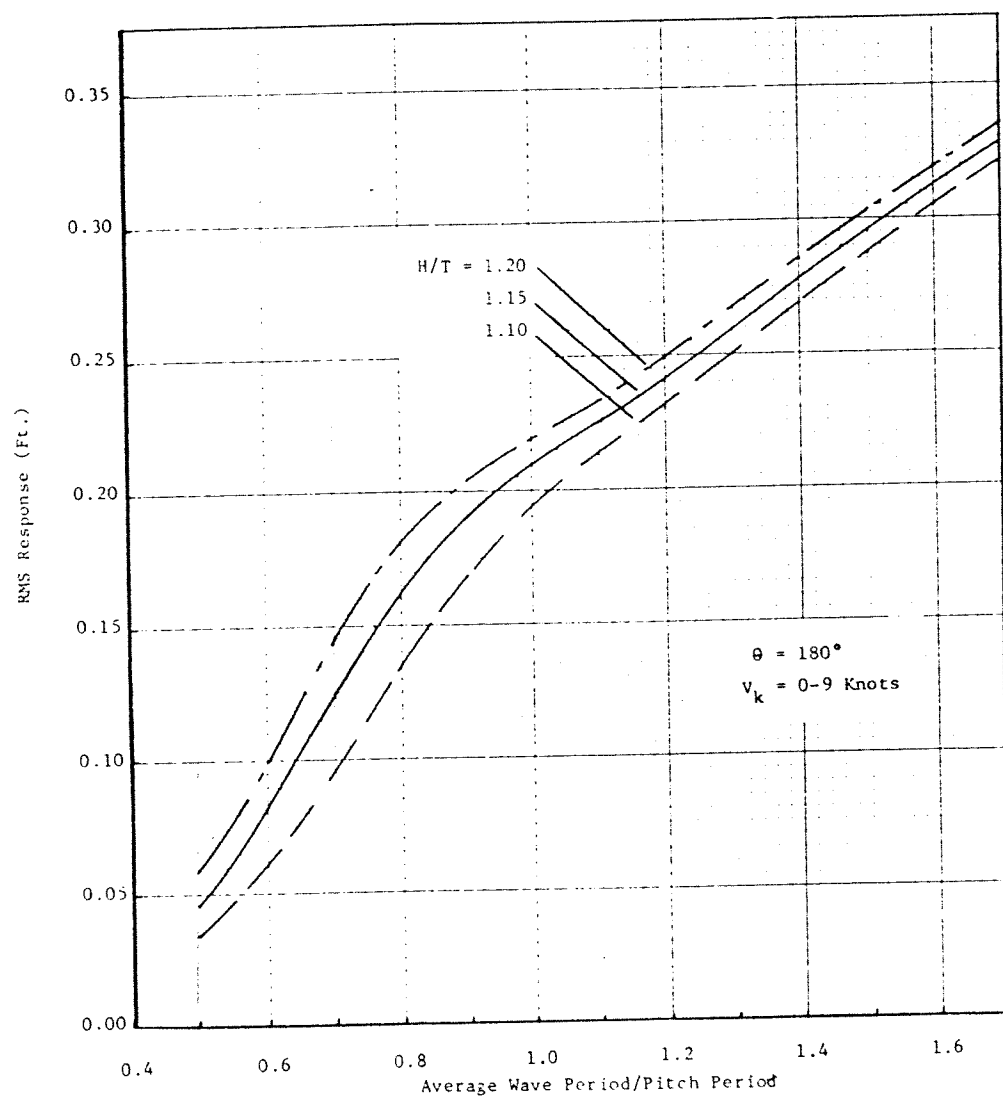
Figuur III.2. Golfrespons met een relatieve golfvalshoek van 45°



Figuur III.3. Golfrespons met een relatieve golfvalshoek van 90°



Figuur III.4. Golfrespons met een relatieve golfvalshoek van 135°



Figuur III.5. Golfrespons met een relatieve golfvalshoek van 180°

| | | | | | | |
|------|--|--------------|------|------|-------|-------|
| T=5s | | | | | | |
| | | respons [ft] | | | | |
| H/D | | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 1,1 | | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,035 |
| 1,15 | | 0,001 | 0,02 | 0,05 | 0,025 | 0,045 |
| 1,2 | | 0,001 | 0,02 | 0,05 | 0,032 | 0,06 |

| | | | | | | |
|--------|--|--------------|-------|-------|------|-------|
| T = 6s | | | | | | |
| | | respons [ft] | | | | |
| H/D | | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 1,1 | | 0,05 | 0,03 | 0,08 | 0,04 | 0,06 |
| 1,15 | | 0,05 | 0,04 | 0,095 | 0,09 | 0,085 |
| 1,2 | | 0,05 | 0,045 | 0,105 | 0,09 | 0,1 |

| | | | | | | |
|------|--|--------------|------|------|------|-------|
| T=7s | | | | | | |
| | | respons [ft] | | | | |
| H/D | | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 1,1 | | 0,1 | 0,07 | 0,13 | 0,08 | 0,095 |
| 1,15 | | 0,1 | 0,09 | 0,16 | 0,18 | 0,125 |
| 1,2 | | 0,1 | 0,1 | 0,21 | 0,16 | 0,145 |

| | | | | | | |
|------|--|--------------|-------|-------|-------|-------|
| T=8s | | | | | | |
| | | respons [ft] | | | | |
| H/D | | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 1,1 | | 0,15 | 0,14 | 0,235 | 0,13 | 0,135 |
| 1,15 | | 0,15 | 0,175 | 0,285 | 0,26 | 0,16 |
| 1,2 | | 0,15 | 0,21 | 0,36 | 0,215 | 0,18 |

Tabel III.1 RMS responswaarden voor een 200kDWT tanker

T = gemiddelde golfperiode

H = waterdiepte

D = diepgang van het schip

De waarden van de golfrespons van 200 kDWT tankers zijn geëxtrapoleerd, om zo waarden voor schepen met andere afmetingen te verkrijgen. Hiertoe moet de gevonden waarde van de 200 kDWT tanker vermenigvuldigd worden met de verplaatsingsratio. Deze kan gehaald worden uit de figuren III.6A t/m III.6^E. In Tabel III.2 staan de deadweight tonnages van de voorbeeldschepen.

In Tabel III.3 staan de verplaatsingsratio's voor de gekozen schepen.

RMS response voor gegeven schip = RMS respons van 200 kDWT tanker
verplaatsingsratio

| Schip
[-] | Loa
[m] | Lpp
[m] | B
[m] | D
[m] | Verplaatsin
g
[x 1000ton] | DWT *
[x 1000ton] |
|--------------|------------|------------|----------|----------|---------------------------------|----------------------|
| 1 | 305 | 295 | 48 | 17 | 207 | 186 |
| 2 | 310 | 299 | 53 | 17 | 232 | 208 |
| 3 | 310 | 299 | 55 | 17 | 241 | 216 |
| 4 | 310 | 299 | 55 | 18.8 | 266 | 239 |
| 5 | 339 | 327 | 55 | 23 | 356 | 320 |

Tabel III.2 Afmetingen van de door THPA voorgestelde schepen.

Loa = lengte over alles

Lpp = lengte tussen de loodlijnen

B = breedte schip

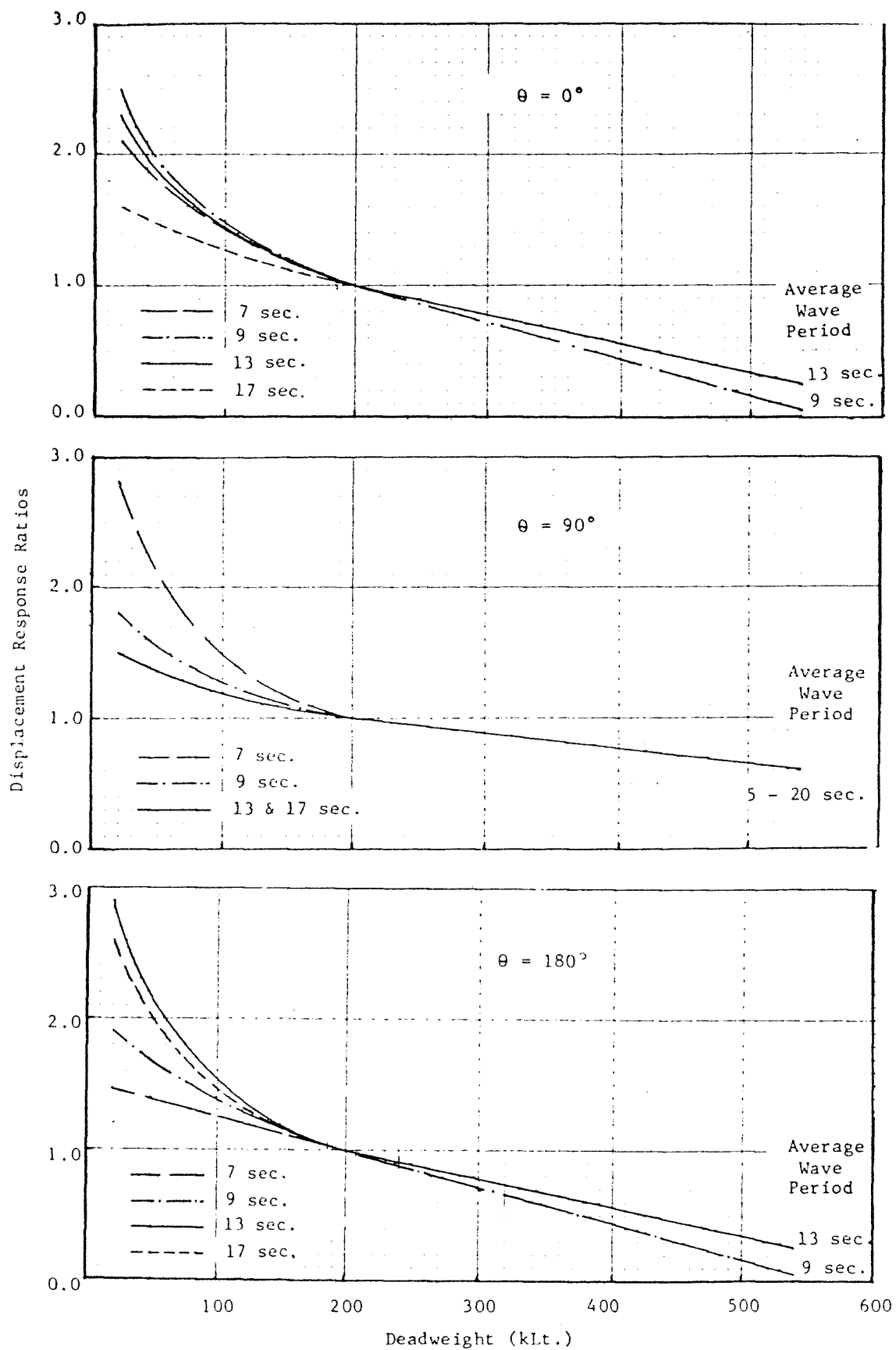
D = diepgang schip

DWT = dead weight tonnage

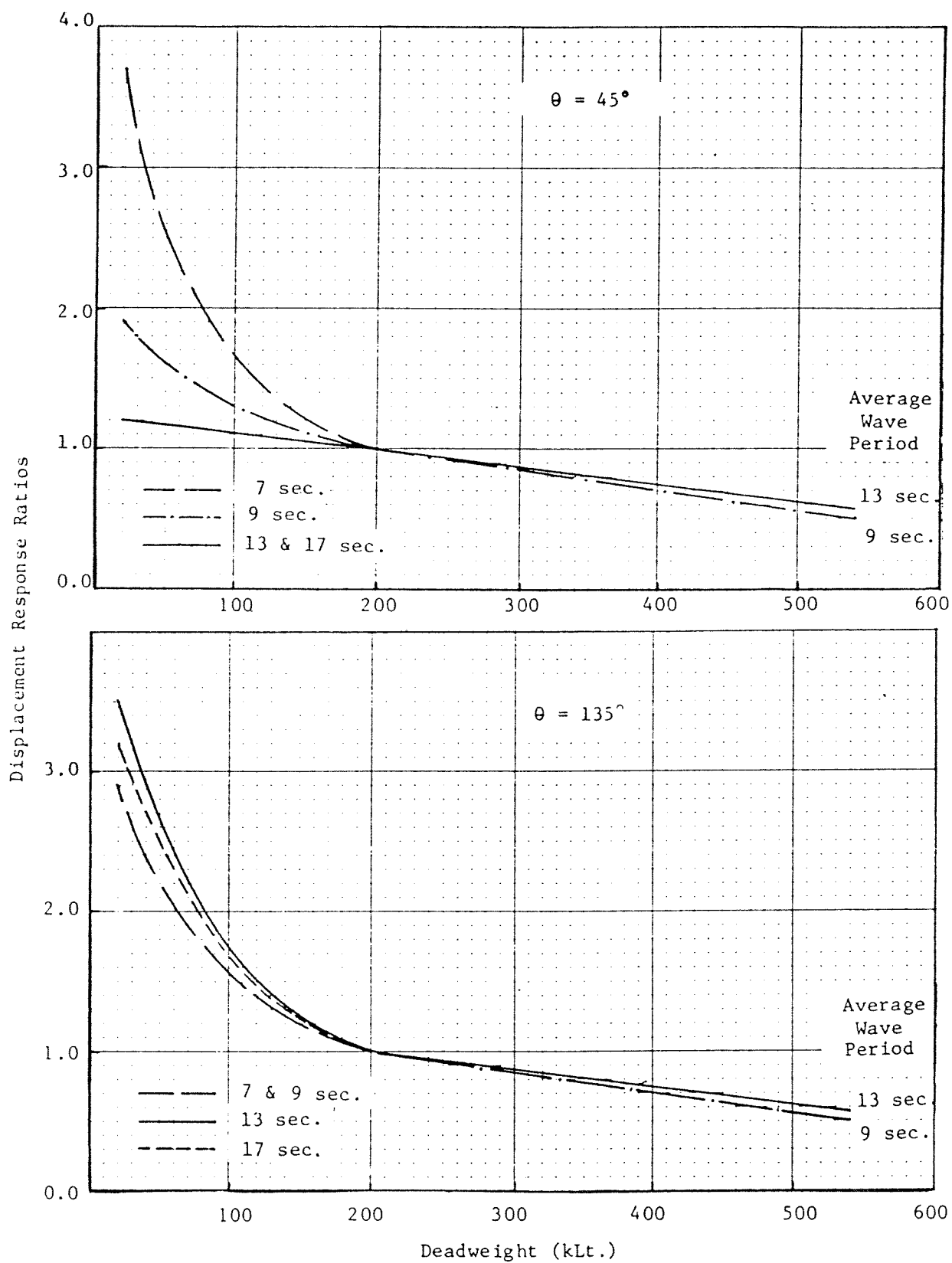
| schip | hoek | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | | 1,02 | 1,05 | 1,02 | 1,05 | 1,04 |
| 2 | | 0,98 | 0,99 | 1 | 0,99 | 0,98 |
| 3 | | 0,96 | 0,97 | 0,99 | 0,97 | 0,96 |
| 4 | | 0,9 | 0,94 | 0,96 | 0,94 | 0,87 |
| 5 | | 0,66 | 0,82 | 0,87 | 0,82 | 0,66 |

Tabel III.3 Verplaatsingsratio van de schepen voor verschillende relatieve golfrichtingen.

* Het exacte deadweight tonnage van de schepen is niet gegeven door THPA. De tonnages zijn geschat aan de hand van tabellen van het PIANC [ref. 2]. In deze tabellen staan veel voorkomende scheepstypen, waaronder bulkcarriers, met hun afmetingen en bijbehorende deadweight tonnages.



Figuur III.6 A t/m E. Verplaatsingsratio van de schepen voor verschillende relatieve golfrichtingen.



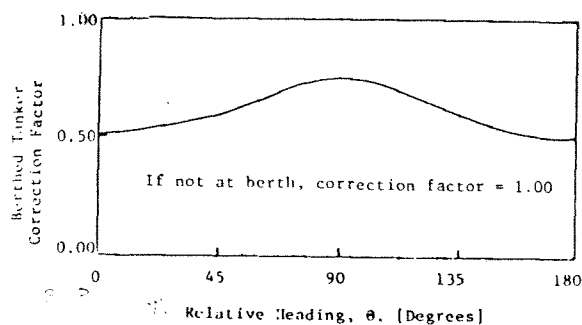
Figuur III.6 A t/m E. Verplaatsingsratio van de schepen voor verschillende relatieve golfrichtingen.

Om de respons van het schip te krijgen voor een bepaalde golfhoogte moet de respons van het schip in één-voet hoge golven worden vermenigvuldigd met de optredende significante golfhoogte [in ft.]. Dit geeft:

RMS respons van schepen bij gegeven golfhoogte = RMS respons 200 kDWT tanker * verplaatsingsratio * significante golfhoogte.

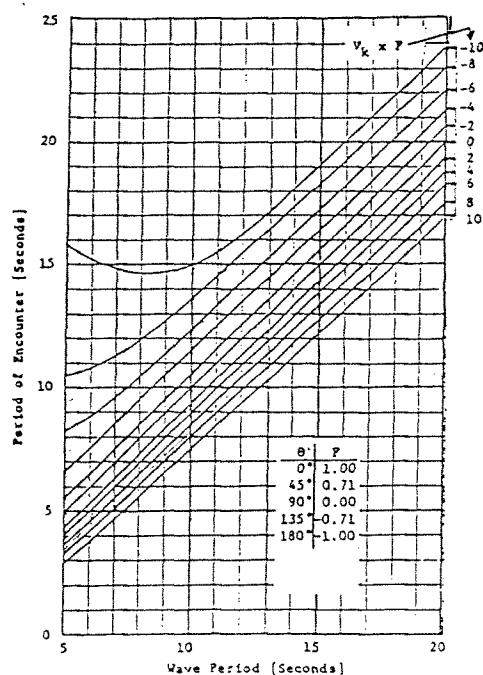
Bij schepen die aangemeerd liggen komt hier nog een correctiefactor (zie figuur III.7) voor aangemeerde schepen bij. Dit levert:

RMS responsie van gemeerde schepen bij gegeven golfhoogte = RMS respons 200 kDWT tanker * verplaatsingsratio * significante golfhoogte * correctie factor voor gemeerde schepen.



Figuur III.7. Correctiefactor voor gemeerde schepen

De golfontmoetingsperiode met de golven kan worden verkregen door de golfperiode, de golfrichting en de golflengte in te voeren in Figuur III.8.



Figuur III.8. Golfontmoetingsperiode

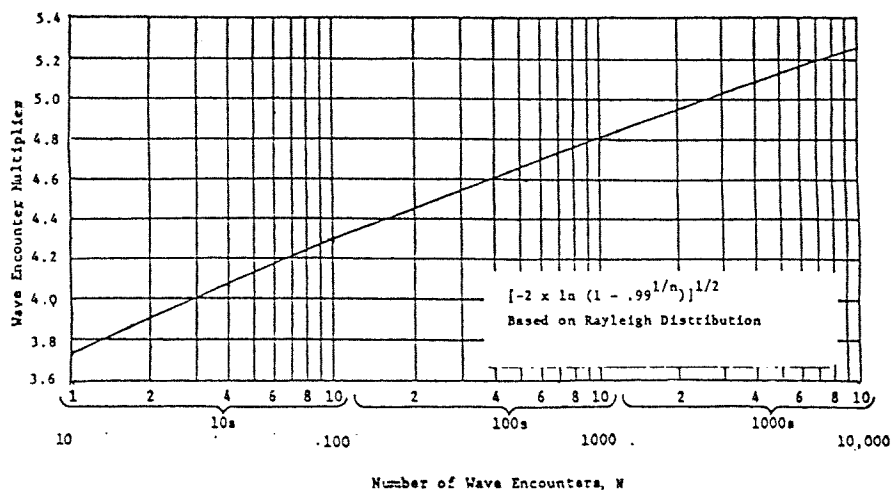
met: Het aantal golfontmoetingen = de reistijd / golfontmoetingsperiode

De totale reistijd van de schepen van het begin van de approach channel tot aan ROT duurt ongeveer 40 minuten = 2400 s.

De golfontmoetingsmultiplier wordt verkregen door het aantal golfontmoetingen in te vullen in Figuur III.9 of in de formule:

$$\text{golfontmoetingsmultiplier} = [-2 \ln (1 - 0,99^{1/n})]^{1/2}$$

n = aantal golfontmoetingen



Figuur III.9. Golfontmoetingsmultiplier

Om de totale marge voor golfrespons, de UKCw, te verkrijgen moet de RMS ratio voor schepen bij gegeven golfhoogte nog vermenigvuldigd worden met de golfontmoetingsmultiplier.

UKCw = RMS respons 200 kDWT tanker * verplaatsingsratio * significante golfhoogte * golfontmoetingsmultiplier * (eventueel) gemeerde tanker correctie factor.

Volgens Kimon is de kans dat de verticale scheepsbeweging de berekende waarde overschrijdt slecht 1/10.000. Hierbij wordt aangenomen dat de schepen slechts in 1% van de tijd golven met beperkende hoogte ontmoeten en dat als dat gebeurd er in slechts 1% van de gevallen de bodem wordt geraakt. In dit rapport wordt met een raakkans van 1/100 gewerkt. Om die te bereiken moet de golfontmoetingsmultiplier worden aangepast. Dit leidt tot de vergelijking:

$$\text{golfontmoetingsmultiplier} = [-2 \ln (1 - 0,99^{1/N})]^{1/2}$$

N = aantal golfontmoetingen/100 = $n/100$

De resultaten van de golfontmoetingsmultiplier berekening, volgens bovenstaande formule, staan in tabel III.4

| | | hoek | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
|----|-------|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| T | v | | | | | | |
| 5s | 10 kn | | 3,655193 | 3,612803 | 3,51278 | 3,325327 | 3,169069 |
| 5s | 8 kn | | 3,637505 | 3,589985 | 3,51278 | 3,376518 | 3,292284 |
| 5s | 5 kn | | 3,582748 | 3,555415 | 3,51278 | 3,441873 | 3,395547 |
| 6s | 10 kn | | 3,589985 | 3,542617 | 3,460549 | 3,315983 | 3,181223 |
| 6s | 8 kn | | 3,555415 | 3,530333 | 3,460549 | 3,355068 | 3,286614 |
| 6s | 5 kn | | 3,518521 | 3,501609 | 3,460549 | 3,403486 | 3,369209 |
| 7s | 10 kn | | 3,530333 | 3,496171 | 3,415775 | 3,298052 | 3,189568 |
| 7s | 8 kn | | 3,51278 | 3,480405 | 3,415775 | 3,334944 | 3,272848 |
| 7s | 5 kn | | 3,475322 | 3,455775 | 3,415775 | 3,369209 | 3,338213 |
| 8s | 10 kn | | 3,480405 | 3,446439 | 3,376518 | 3,275556 | 3,193818 |
| 8s | 8 kn | | 3,460549 | 3,432933 | 3,376518 | 3,303922 | 3,254476 |
| 8s | 5 kn | | 3,428556 | 3,411626 | 3,376518 | 3,334944 | 3,309898 |

Tabel III.4 Golfontmoetingsmultiplier voor verschillende omstandigheden bij Tees Port.

Tenslotte wordt in tabel III.5 de waarden van de marges voor golfrespons gegeven in één-voet hoge golven. De definitie

UKCw = RMS respons 200 kDWT tanker * verplaatsingsratio * significante golfhoogte * golfontmoetingsmultiplier * (eventueel) gemeerde tank correctie factor

kan dan als volgt worden geschreven:

UKCw = marge voor golfrespons in één-voet hoge golven * significante golfhoogte [ft]

Bovenstaande omzetting is gedaan om het berekenen en vergelijken van de marge voor golfrespons onder verschillende golfomstandigheden te vergemakkelijken.

| | | | | | | | | |
|------|-----------|-----------|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| T=5s | H/D= 1,1 | v= 10kn | | 0,037283 | 0,075869 | 0,143321 | 0,069832 | 0,115354 |
| | | 8 | | 0,037103 | 0,07539 | 0,143321 | 0,070907 | 0,119839 |
| | | 5 | | 0,036544 | 0,074664 | 0,143321 | 0,072279 | 0,123598 |
| | 1,15 | 10 | | 0,003728 | 0,075869 | 0,179152 | 0,08729 | 0,148312 |
| | | 8 | | 0,00371 | 0,07539 | 0,179152 | 0,088634 | 0,154079 |
| | | 5 | | 0,003654 | 0,074664 | 0,179152 | 0,090349 | 0,158912 |
| | 1,2 | 10 | | 0,003728 | 0,075869 | 0,179152 | 0,111731 | 0,19775 |
| | | 8 | | 0,00371 | 0,07539 | 0,179152 | 0,113451 | 0,205439 |
| | | 5 | | 0,003654 | 0,074664 | 0,179152 | 0,115647 | 0,211882 |
| | | | | | | | | |
| T=6s | H/D= 1,1 | v= 10kn | | 0,183089 | 0,111592 | 0,282381 | 0,139271 | 0,198508 |
| | | 8 | | 0,181326 | 0,111205 | 0,282381 | 0,140913 | 0,205085 |
| | | 5 | | 0,179445 | 0,110301 | 0,282381 | 0,142946 | 0,210239 |
| | 1,15 | 10 | | 0,183089 | 0,14879 | 0,335327 | 0,31336 | 0,28122 |
| | | 8 | | 0,181326 | 0,148274 | 0,335327 | 0,317054 | 0,290537 |
| | | 5 | | 0,179445 | 0,147068 | 0,335327 | 0,321629 | 0,297838 |
| | 1,2 | 10 | | 0,183089 | 0,167389 | 0,370625 | 0,31336 | 0,330847 |
| | | 8 | | 0,181326 | 0,166808 | 0,370625 | 0,317054 | 0,341808 |
| | | 5 | | 0,179445 | 0,165451 | 0,370625 | 0,321629 | 0,350398 |
| | | | | | | | | |
| T=7s | H/D = 1,1 | v = 10 kn | | 0,360094 | 0,256969 | 0,452932 | 0,277036 | 0,315129 |
| | | v = 8 kn | | 0,358304 | 0,25581 | 0,452932 | 0,280135 | 0,323357 |
| | | 5 | | 0,354483 | 0,253999 | 0,452932 | 0,283014 | 0,329815 |
| | 1,15 | 10 | | 0,360094 | 0,330388 | 0,557454 | 0,623332 | 0,414644 |
| | | 8 | | 0,358304 | 0,328898 | 0,557454 | 0,630304 | 0,42547 |
| | | 5 | | 0,354483 | 0,326571 | 0,557454 | 0,636781 | 0,433968 |
| | 1,2 | 10 | | 0,360094 | 0,367098 | 0,731659 | 0,554073 | 0,480987 |
| | | 8 | | 0,358304 | 0,365443 | 0,731659 | 0,560271 | 0,493545 |
| | | 5 | | 0,354483 | 0,362856 | 0,731659 | 0,566027 | 0,503403 |
| | | | | | | | | |
| T=8s | H/D = 1,1 | v = 10 kn | | 0,532502 | 0,506627 | 0,809351 | 0,447113 | 0,448412 |
| | | 8 | | 0,529464 | 0,504641 | 0,809351 | 0,450985 | 0,456928 |
| | | 5 | | 0,524569 | 0,501509 | 0,809351 | 0,45522 | 0,46471 |
| | 1,15 | 10 | | 0,532502 | 0,633283 | 0,981554 | 0,894227 | 0,531451 |
| | | 8 | | 0,529464 | 0,630801 | 0,981554 | 0,901971 | 0,541545 |
| | | 5 | | 0,524569 | 0,626886 | 0,981554 | 0,91044 | 0,550767 |
| | 1,2 | 10 | | 0,532502 | 0,75994 | 1,239857 | 0,739457 | 0,597883 |
| | | 8 | | 0,529464 | 0,756962 | 1,239857 | 0,74586 | 0,609238 |
| | | 5 | | 0,524569 | 0,752263 | 1,239857 | 0,752864 | 0,619613 |

Tabel III.5A. Marges voor golfrespons in één-voet hoge golven van schip 1

| | | | | | | | | |
|------|-----------|-----------|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| T=5s | H/D= 1,1 | v= 10kn | | 0,035821 | 0,071533 | 0,140511 | 0,065841 | 0,108699 |
| | | 8 | | 0,035648 | 0,071082 | 0,140511 | 0,066855 | 0,112925 |
| | | 5 | | 0,035111 | 0,070397 | 0,140511 | 0,068149 | 0,116467 |
| | 1,15 | 10 | | 0,003582 | 0,071533 | 0,175639 | 0,082302 | 0,139756 |
| | | 8 | | 0,003565 | 0,071082 | 0,175639 | 0,083569 | 0,14519 |
| | | 5 | | 0,003511 | 0,070397 | 0,175639 | 0,085186 | 0,149744 |
| | 1,2 | 10 | | 0,003582 | 0,071533 | 0,175639 | 0,105346 | 0,186341 |
| | | 8 | | 0,003565 | 0,071082 | 0,175639 | 0,106968 | 0,193586 |
| | | 5 | | 0,003511 | 0,070397 | 0,175639 | 0,109039 | 0,199658 |
| | | | | | | | | |
| T=6s | H/D= 1,1 | v= 10kn | | 0,175909 | 0,105216 | 0,276844 | 0,131313 | 0,187056 |
| | | 8 | | 0,174215 | 0,104851 | 0,276844 | 0,132861 | 0,193253 |
| | | 5 | | 0,172408 | 0,103998 | 0,276844 | 0,134778 | 0,19811 |
| | 1,15 | 10 | | 0,175909 | 0,140288 | 0,328752 | 0,295454 | 0,264996 |
| | | 8 | | 0,174215 | 0,139801 | 0,328752 | 0,298937 | 0,273775 |
| | | 5 | | 0,172408 | 0,138664 | 0,328752 | 0,303251 | 0,280655 |
| | 1,2 | 10 | | 0,175909 | 0,157824 | 0,363358 | 0,295454 | 0,31176 |
| | | 8 | | 0,174215 | 0,157276 | 0,363358 | 0,298937 | 0,322088 |
| | | 5 | | 0,172408 | 0,155997 | 0,363358 | 0,303251 | 0,330183 |
| | | | | | | | | |
| T=7s | H/D = 1,1 | v = 10 kn | | 0,345973 | 0,242285 | 0,444051 | 0,261206 | 0,296949 |
| | | v = 8 kn | | 0,344252 | 0,241192 | 0,444051 | 0,264128 | 0,304702 |
| | | 5 | | 0,340582 | 0,239485 | 0,444051 | 0,266841 | 0,310788 |
| | 1,15 | 10 | | 0,345973 | 0,311509 | 0,546524 | 0,587713 | 0,390722 |
| | | 8 | | 0,344252 | 0,310104 | 0,546524 | 0,594287 | 0,400924 |
| | | 5 | | 0,340582 | 0,30791 | 0,546524 | 0,600393 | 0,408931 |
| | 1,2 | 10 | | 0,345973 | 0,346121 | 0,717313 | 0,522411 | 0,453238 |
| | | 8 | | 0,344252 | 0,34456 | 0,717313 | 0,528255 | 0,465072 |
| | | 5 | | 0,340582 | 0,342122 | 0,717313 | 0,533683 | 0,47436 |
| | | | | | | | | |
| T=8s | H/D = 1,1 | v = 10 kn | | 0,51162 | 0,477676 | 0,793482 | 0,421564 | 0,422542 |
| | | 8 | | 0,508701 | 0,475805 | 0,793482 | 0,425215 | 0,430567 |
| | | 5 | | 0,503998 | 0,472851 | 0,793482 | 0,429207 | 0,437899 |
| | 1,15 | 10 | | 0,51162 | 0,597096 | 0,962308 | 0,843128 | 0,500791 |
| | | 8 | | 0,508701 | 0,594756 | 0,962308 | 0,85043 | 0,510302 |
| | | 5 | | 0,503998 | 0,591064 | 0,962308 | 0,858415 | 0,518992 |
| | 1,2 | 10 | | 0,51162 | 0,716515 | 1,215546 | 0,697202 | 0,56339 |
| | | 8 | | 0,508701 | 0,713707 | 1,215546 | 0,70324 | 0,57409 |
| | | 5 | | 0,503998 | 0,709277 | 1,215546 | 0,709843 | 0,583866 |

Tabel III.5B. Marges voor golfrespons in één-voet hoge golven van schip 2

| | | | | | | | | |
|------|-----------|-----------|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| T=5s | H/D= 1,1 | v= 10kn | | 0,03509 | 0,070088 | 0,139106 | 0,064511 | 0,106481 |
| | | 8 | | 0,03492 | 0,069646 | 0,139106 | 0,065504 | 0,110621 |
| | | 5 | | 0,034394 | 0,068975 | 0,139106 | 0,066772 | 0,111409 |
| | 1,15 | 10 | | 0,003509 | 0,070088 | 0,173883 | 0,080639 | 0,136904 |
| | | 8 | | 0,003492 | 0,069646 | 0,173883 | 0,081881 | 0,142227 |
| | | 5 | | 0,003439 | 0,068975 | 0,173883 | 0,083465 | 0,146688 |
| | 1,2 | 10 | | 0,003509 | 0,070088 | 0,173883 | 0,103218 | 0,182538 |
| | | 8 | | 0,003492 | 0,069646 | 0,173883 | 0,104807 | 0,189636 |
| | | 5 | | 0,003439 | 0,068975 | 0,173883 | 0,106836 | 0,195584 |
| T=6s | H/D= 1,1 | v= 10kn | | 0,172319 | 0,10309 | 0,274075 | 0,12866 | 0,183238 |
| | | 8 | | 0,17066 | 0,102733 | 0,274075 | 0,130177 | 0,189309 |
| | | 5 | | 0,168889 | 0,101897 | 0,274075 | 0,132055 | 0,194066 |
| | 1,15 | 10 | | 0,172319 | 0,137454 | 0,325465 | 0,289485 | 0,259588 |
| | | 8 | | 0,17066 | 0,136977 | 0,325465 | 0,292897 | 0,268188 |
| | | 5 | | 0,168889 | 0,135862 | 0,325465 | 0,297124 | 0,274927 |
| | 1,2 | 10 | | 0,172319 | 0,154635 | 0,359724 | 0,289485 | 0,305397 |
| | | 8 | | 0,17066 | 0,154099 | 0,359724 | 0,292897 | 0,315515 |
| | | 5 | | 0,168889 | 0,152845 | 0,359724 | 0,297124 | 0,323444 |
| T=7s | H/D = 1,1 | v = 10 kn | | 0,338912 | 0,23739 | 0,43961 | 0,255929 | 0,290889 |
| | | v = 8 kn | | 0,337227 | 0,236319 | 0,43961 | 0,258792 | 0,298484 |
| | | 5 | | 0,333631 | 0,234647 | 0,43961 | 0,261451 | 0,304445 |
| | 1,15 | 10 | | 0,338912 | 0,305216 | 0,541059 | 0,57584 | 0,382748 |
| | | 8 | | 0,337227 | 0,303839 | 0,541059 | 0,582281 | 0,392742 |
| | | 5 | | 0,333631 | 0,301689 | 0,541059 | 0,588264 | 0,400586 |
| | 1,2 | 10 | | 0,338912 | 0,339129 | 0,71014 | 0,511858 | 0,443988 |
| | | 8 | | 0,337227 | 0,337599 | 0,71014 | 0,517583 | 0,45558 |
| | | 5 | | 0,333631 | 0,33521 | 0,71014 | 0,522901 | 0,464679 |
| T=8s | H/D = 1,1 | v = 10 kn | | 0,501178 | 0,468026 | 0,785547 | 0,413048 | 0,413919 |
| | | 8 | | 0,498319 | 0,466192 | 0,785547 | 0,416625 | 0,42178 |
| | | 5 | | 0,493712 | 0,463299 | 0,785547 | 0,420536 | 0,428963 |
| | 1,15 | 10 | | 0,501178 | 0,585033 | 0,952684 | 0,826095 | 0,49057 |
| | | 8 | | 0,498319 | 0,58274 | 0,952684 | 0,833249 | 0,499888 |
| | | 5 | | 0,493712 | 0,579123 | 0,952684 | 0,841073 | 0,5084 |
| | 1,2 | 10 | | 0,501178 | 0,70204 | 1,203391 | 0,683117 | 0,551892 |
| | | 8 | | 0,498319 | 0,699288 | 1,203391 | 0,689033 | 0,562374 |
| | | 5 | | 0,493712 | 0,694948 | 1,203391 | 0,695503 | 0,57195 |

Tabel III.5C. Marges voor golfrespons in één-voet hoge golven van schip 3

| | | | | | | | | |
|------|-----------|-----------|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| T=5s | H/D= 1,1 | v= 10kn | | 0,032897 | 0,067921 | 0,134891 | 0,062516 | 0,096498 |
| | | 8 | | 0,032738 | 0,067492 | 0,134891 | 0,063479 | 0,10025 |
| | | 5 | | 0,032245 | 0,066842 | 0,134891 | 0,064707 | 0,103394 |
| | 1,15 | 10 | | 0,00329 | 0,067921 | 0,168613 | 0,078145 | 0,124069 |
| | | 8 | | 0,003274 | 0,067492 | 0,168613 | 0,079348 | 0,128893 |
| | | 5 | | 0,003224 | 0,066842 | 0,168613 | 0,080884 | 0,132936 |
| | 1,2 | 10 | | 0,00329 | 0,067921 | 0,168613 | 0,100026 | 0,165425 |
| | | 8 | | 0,003274 | 0,067492 | 0,168613 | 0,101566 | 0,171857 |
| | | 5 | | 0,003224 | 0,066842 | 0,168613 | 0,103532 | 0,177248 |
| | | | | | | | | |
| T=6s | H/D= 1,1 | v= 10kn | | 0,161549 | 0,099902 | 0,26577 | 0,124681 | 0,16606 |
| | | 8 | | 0,159994 | 0,099555 | 0,26577 | 0,126151 | 0,171561 |
| | | 5 | | 0,158333 | 0,098745 | 0,26577 | 0,127971 | 0,175873 |
| | 1,15 | 10 | | 0,161549 | 0,133202 | 0,315602 | 0,280532 | 0,235251 |
| | | 8 | | 0,159994 | 0,132741 | 0,315602 | 0,283839 | 0,243045 |
| | | 5 | | 0,158333 | 0,131661 | 0,315602 | 0,287935 | 0,249153 |
| | 1,2 | 10 | | 0,161549 | 0,149853 | 0,348823 | 0,280532 | 0,276766 |
| | | 8 | | 0,159994 | 0,149333 | 0,348823 | 0,283839 | 0,285935 |
| | | 5 | | 0,158333 | 0,148118 | 0,348823 | 0,287935 | 0,293121 |
| | | | | | | | | |
| T=7s | H/D = 1,1 | v = 10 kn | | 0,31773 | 0,230048 | 0,426289 | 0,248014 | 0,263618 |
| | | v = 8 kn | | 0,31615 | 0,229011 | 0,426289 | 0,250788 | 0,270501 |
| | | 5 | | 0,312779 | 0,22739 | 0,426289 | 0,253365 | 0,275903 |
| | 1,15 | 10 | | 0,31773 | 0,295776 | 0,524663 | 0,55803 | 0,346866 |
| | | 8 | | 0,31615 | 0,294442 | 0,524663 | 0,564273 | 0,355922 |
| | | 5 | | 0,312779 | 0,292359 | 0,524663 | 0,57007 | 0,363031 |
| | 1,2 | 10 | | 0,31773 | 0,32864 | 0,68862 | 0,496027 | 0,402364 |
| | | 8 | | 0,31615 | 0,327158 | 0,68862 | 0,501576 | 0,41287 |
| | | 5 | | 0,312779 | 0,324843 | 0,68862 | 0,506729 | 0,421116 |
| | | | | | | | | |
| T=8s | H/D = 1,1 | v = 10 kn | | 0,469855 | 0,453551 | 0,761742 | 0,400273 | 0,375114 |
| | | 8 | | 0,467174 | 0,451774 | 0,761742 | 0,403739 | 0,382238 |
| | | 5 | | 0,462855 | 0,44897 | 0,761742 | 0,40753 | 0,388747 |
| | 1,15 | 10 | | 0,469855 | 0,566939 | 0,923815 | 0,800546 | 0,444579 |
| | | 8 | | 0,467174 | 0,564718 | 0,923815 | 0,807479 | 0,453023 |
| | | 5 | | 0,462855 | 0,561212 | 0,923815 | 0,81506 | 0,460738 |
| | 1,2 | 10 | | 0,469855 | 0,680327 | 1,166925 | 0,66199 | 0,500152 |
| | | 8 | | 0,467174 | 0,677661 | 1,166925 | 0,667723 | 0,509651 |
| | | 5 | | 0,462855 | 0,673455 | 1,166925 | 0,673992 | 0,51833 |

Tabel III.5D. Marges voor golfrespons in één-voet hoge golven van schip 4

| | | | | | | | | |
|------|-----------|-----------|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| T=5s | H/D= 1,1 | v= 10kn | | 0,024124 | 0,05925 | 0,122245 | 0,054535 | 0,073205 |
| | | 8 | | 0,024008 | 0,058876 | 0,122245 | 0,055375 | 0,076052 |
| | | 5 | | 0,023646 | 0,058309 | 0,122245 | 0,056447 | 0,078437 |
| | 1,15 | 10 | | 0,002412 | 0,05925 | 0,152806 | 0,068169 | 0,094121 |
| | | 8 | | 0,002401 | 0,058876 | 0,152806 | 0,069219 | 0,097781 |
| | | 5 | | 0,002365 | 0,058309 | 0,152806 | 0,070558 | 0,100848 |
| | 1,2 | 10 | | 0,002412 | 0,05925 | 0,152806 | 0,087257 | 0,125495 |
| | | 8 | | 0,002401 | 0,058876 | 0,152806 | 0,0886 | 0,130374 |
| | | 5 | | 0,002365 | 0,058309 | 0,152806 | 0,090315 | 0,134464 |
| T=6s | H/D= 1,1 | v= 10kn | | 0,11847 | 0,087148 | 0,240854 | 0,108764 | 0,125976 |
| | | 8 | | 0,117329 | 0,086846 | 0,240854 | 0,110046 | 0,13015 |
| | | 5 | | 0,116111 | 0,08614 | 0,240854 | 0,111634 | 0,133421 |
| | 1,15 | 10 | | 0,11847 | 0,116198 | 0,286014 | 0,24472 | 0,178467 |
| | | 8 | | 0,117329 | 0,115795 | 0,286014 | 0,247604 | 0,184379 |
| | | 5 | | 0,116111 | 0,114853 | 0,286014 | 0,251177 | 0,189013 |
| | 1,2 | 10 | | 0,11847 | 0,130723 | 0,316121 | 0,24472 | 0,209961 |
| | | 8 | | 0,117329 | 0,130269 | 0,316121 | 0,247604 | 0,216917 |
| | | 5 | | 0,116111 | 0,129209 | 0,316121 | 0,251177 | 0,222368 |
| T=7s | H/D = 1,1 | v = 10 kn | | 0,233002 | 0,20068 | 0,386324 | 0,216352 | 0,199986 |
| | | v = 8 kn | | 0,231843 | 0,199775 | 0,386324 | 0,218772 | 0,205208 |
| | | 5 | | 0,229371 | 0,198361 | 0,386324 | 0,22102 | 0,209306 |
| | 1,15 | 10 | | 0,233002 | 0,258017 | 0,475476 | 0,486792 | 0,263139 |
| | | 8 | | 0,231843 | 0,256854 | 0,475476 | 0,492238 | 0,27001 |
| | | 5 | | 0,229371 | 0,255036 | 0,475476 | 0,497295 | 0,275403 |
| | 1,2 | 10 | | 0,233002 | 0,286686 | 0,624062 | 0,432704 | 0,305242 |
| | | 8 | | 0,231843 | 0,285393 | 0,624062 | 0,437545 | 0,313212 |
| | | 5 | | 0,229371 | 0,283374 | 0,624062 | 0,44204 | 0,319467 |
| T=8s | H/D = 1,1 | v = 10 kn | | 0,34456 | 0,395651 | 0,690329 | 0,349174 | 0,284569 |
| | | 8 | | 0,342594 | 0,394101 | 0,690329 | 0,352198 | 0,289974 |
| | | 5 | | 0,339427 | 0,391655 | 0,690329 | 0,355505 | 0,294912 |
| | 1,15 | 10 | | 0,34456 | 0,494564 | 0,837208 | 0,698349 | 0,337267 |
| | | 8 | | 0,342594 | 0,492626 | 0,837208 | 0,704396 | 0,343673 |
| | | 5 | | 0,339427 | 0,489568 | 0,837208 | 0,71101 | 0,349525 |
| | 1,2 | 10 | | 0,34456 | 0,593477 | 1,057525 | 0,577481 | 0,379426 |
| | | 8 | | 0,342594 | 0,591151 | 1,057525 | 0,582481 | 0,386632 |
| | | 5 | | 0,339427 | 0,587482 | 1,057525 | 0,587951 | 0,393216 |

Tabel III.5E. Marges voor golfrespons in één-voet hoge golven van schip 5

Bijlage IV. Resultaten UKC_A berekeningen voor verschillende golfhoogtes en -periodes.

De UKC_A, de totale, minimale underkeel clearance, wordt berekend volgens de formule:

$$UKC_A = \Sigma (UKC_S + UKC_W)_{stat} + UKC_{squat}$$

met: $\Sigma (UKC_S + UKC_W)_{stat}$ = correctiefactor $(UKC_S + UKC_W)$

De correctiefactor is afhankelijk van de waarde van de UKC_S en de UKC_W. De grafiek om de waarde van de correctiefactor te bepalen staat in de figuren IV.1 en IV.2

UKC_S = underkeel clearance voor stabiele factoren

$$UKC_S = k_1 \sqrt{(S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + S_6^2)} = UKC_S$$

met: k_1 = constante voor de kans op bodemraken

S_1^2 = Charted depth variantie

S_2^2 = getijdevoorspelling variantie

S_3^2 = sedimentatie variantie

S_4^2 = statische diepgang variantie

S_5^2 = water dichtheid variantie

S_6^2 = squat variantie

UKC_W = underkeel clearance voor golfrespons

UKC_{squat} = underkeel clearance voor squat

$$UKC_{squat} = 2,4 K_s \nabla F_{nh}^2 / (L_{pp}^2 \sqrt{1-F_{nh}^2})$$

met: ∇ = displacement

$F_{nh} = v/\sqrt{gh}$, Froude diepte getal

L_{pp} = lengte van het schip tussen de loodlijnen

$K_s = 7,45 s_1 + 0,76$, voor $s_1 > 0,03$

$K_s = 1$, voor $s_1 \leq 0,03$

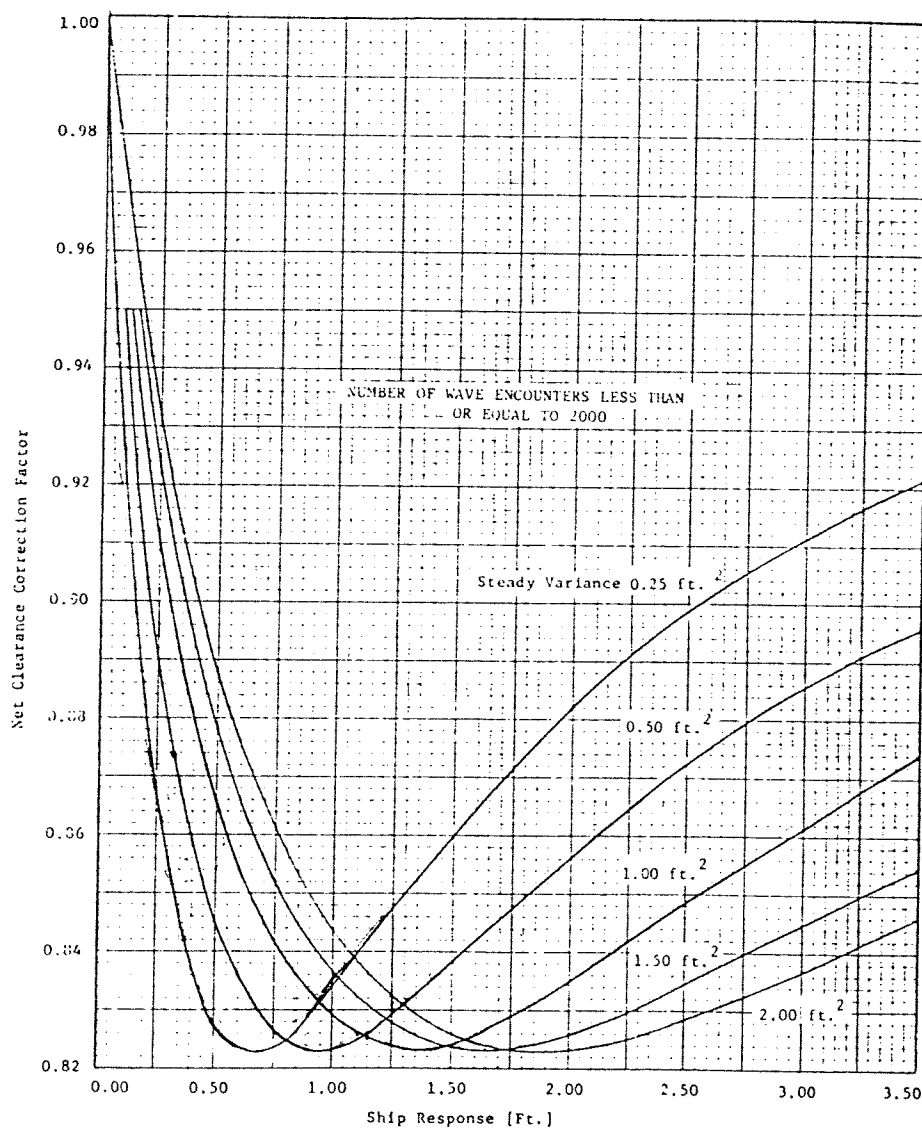
$s_1 = (A_s/A_{ch})/K_1$

K_1 = correctiefactor, zie figuur

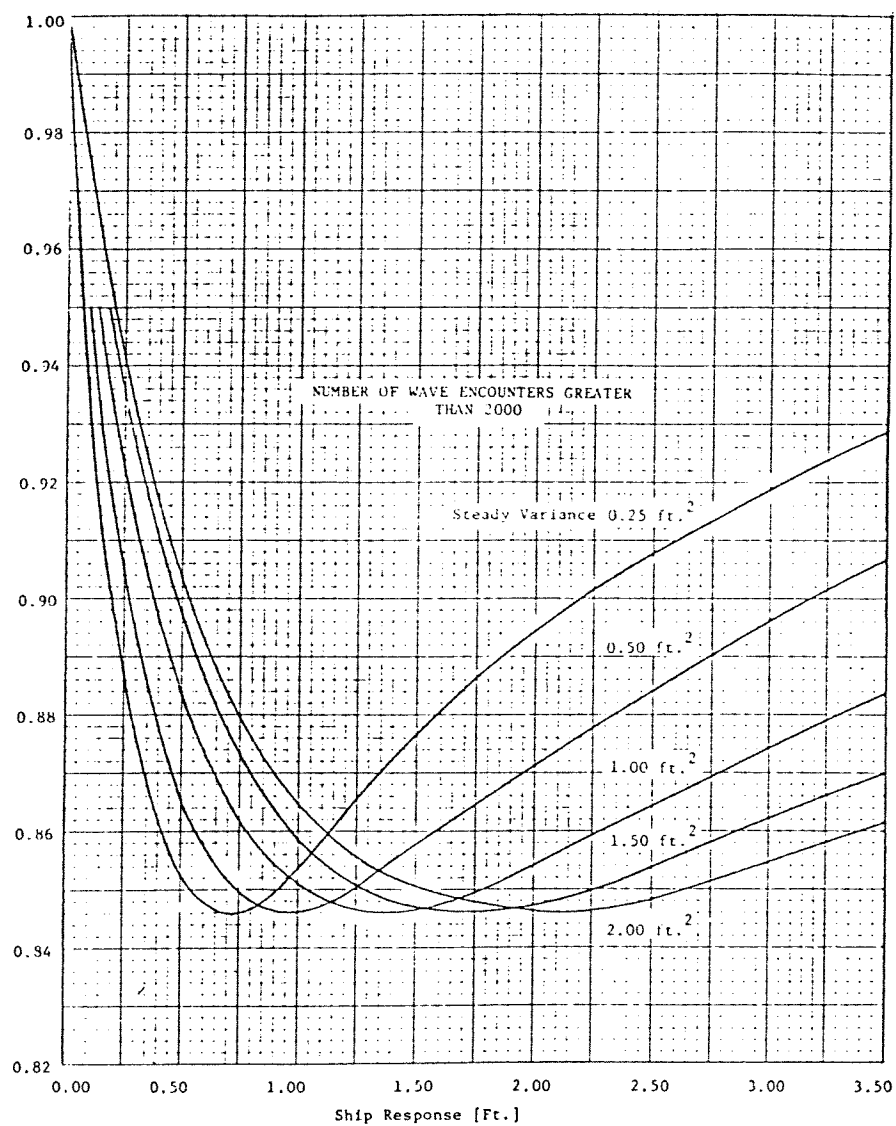
A_s = midscheepse doorsnede $\approx 0,98 BT$

A_{ch} = natte geuldoorsnede

Voor enkele relevante golfhoogtes en golfperiodes zijn er berekeningen gemaakt van de UKC_A. Deze staan hierna in tabellen uitgezet.



Figuur IV.1 Correctiefactor voor somming van UKCs en UKCw, voor minder dan 2000 golfontmoetingen.



Figuur IV.2 Correctiefactor voor sommering van UKCs en UKCw, voor meer dan 2000 golfontmoetingen.

UKCa op de approach channel

| T = 6s
Hs = 2,25
m | UKCw
[ft] | UKCs
[ft] | correctie-
factor | $\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft] | squat
[ft] | Totaal
[ft] | Totaal
[m] |
|--------------------------|--------------|--------------|----------------------|--|---------------|----------------|---------------|
| schip 1 | 2,180 | 1,6143 | 0,830 | 3,149 | 2,812 | 5,96 | 1,82 |
| schip 2 | 2,144 | 1,6143 | 0,834 | 3,134 | 3,098 | 6,23 | 1,90 |
| schip 3 | 2,123 | 1,6143 | 0,835 | 3,121 | 3,255 | 6,37 | 1,94 |
| schip 4 | 2,058 | 1,782 | 0,840 | 3,226 | 3,400 | 6,63 | 2,02 |
| schip 5 | 1,782 | 2,1795 | 0,858 | 3,399 | 2,959 | 6,36 | 1,94 |

Tabel IV.1. UKCa op de approach channel voor T = 6s; Hs = 2,25m

| T = 6s
Hs = 3,1
m | UKCw
[ft] | UKCs
[ft] | correctie-
factor | $\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft] | squat
[ft] | Totaal
[ft] | Totaal
[m] |
|-------------------------|--------------|--------------|----------------------|--|---------------|----------------|---------------|
| schip 1 | 3,089 | 1,6143 | 0,825 | 3,880 | 2,776 | 6,656 | 2,03 |
| schip 2 | 3,028 | 1,6143 | 0,825 | 3,830 | 3,047 | 6,877 | 2,10 |
| schip 3 | 2,998 | 1,6143 | 0,825 | 3,805 | 3,219 | 7,024 | 2,14 |
| schip 4 | 2,907 | 1,782 | 0,825 | 3,868 | 3,354 | 7,158 | 2,18 |
| schip 5 | 2,409 | 2,1795 | 0,844 | 3,872 | 2,934 | 6,806 | 2,08 |

Tabel IV.2. UKCa op de approach channel voor T = 6s; Hs = 3,1m

| T = 7s
Hs = 2,25
m | UKCw
[ft] | UKCs
[ft] | correctie-
factor | $\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft] | squat
[ft] | Totaal
[ft] | Totaal
[m] |
|--------------------------|--------------|--------------|----------------------|--|---------------|----------------|---------------|
| schip 1 | 3,826 | 1,6143 | 0,827 | 4,499 | 2,716 | 7,215 | 2,20 |
| schip 2 | 4,063 | 1,6143 | 0,828 | 4,701 | 2,991 | 7,692 | 2,35 |
| schip 3 | 4,098 | 1,6143 | 0,827 | 4,724 | 3,142 | 7,866 | 2,40 |
| schip 4 | 3,519 | 1,782 | 0,825 | 4,373 | 3,308 | 7,681 | 2,34 |
| schip 5 | 2,859 | 2,1795 | 0,833 | 4,197 | 2,926 | 7,123 | 2,17 |

Tabel IV.3 UKCa op de approach channel voor T = 7s; Hs = 2,25m

| T = 7s
Hs = 3,1
m | UKCw
[ft] | UKCs
[ft] | correctie-
factor | $\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft] | squat
[ft] | Totaal
[ft] | Totaal
[m] |
|-------------------------|--------------|--------------|----------------------|--|---------------|----------------|---------------|
| schip 1 | 6,368 | 1,6143 | 0,854 | 6,817 | 2,605 | 9,422 | 2,87 |
| schip 2 | 6,004 | 1,6143 | 0,850 | 6,475 | 2,879 | 9,354 | 2,85 |
| schip 3 | 5,883 | 1,6143 | 0,848 | 6,357 | 3,040 | 9,397 | 2,87 |
| schip 4 | 5,701 | 1,782 | 0,844 | 6,315 | 3,200 | 9,515 | 2,90 |
| schip 5 | 3,863 | 2,1795 | 0,826 | 4,991 | 2,886 | 7,878 | 2,40 |

Tabel IV.4. UKCa op de approach channel voor T = 7s; Hs = 3,1m

| T = 6s
Hs = 1,20
m | UKCw
[ft] | UKCs
[ft] | correctie-
factor | $\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft] | squat
[ft] | Totaal
[ft] | Totaal
[m] |
|--------------------------|--------------|--------------|----------------------|--|---------------|----------------|---------------|
| schip 1 | 0,841 | 1,3586 | 0,876 | 1,927 | 0,740 | 2,667 | 0,81 |
| schip 2 | 0,792 | 1,3586 | 0,878 | 1,889 | 0,827 | 2,716 | 0,83 |
| schip 3 | 0,776 | 1,3586 | 0,878 | 1,874 | 0,857 | 2,731 | 0,83 |
| schip 4 | 0,703 | 1,5010 | 0,904 | 1,993 | 0,863 | 2,856 | 0,87 |
| schip 5 | 0,534 | 1,7358 | 0,946 | 2,147 | 0,844 | 2,991 | 0,91 |

Tabel IV.9. UKCa op de river channel voor T = 6s; Hs = 1,20m

| T = 7s
Hs = 1,20
m | UKCw
[ft] | UKCs
[ft] | correctie-
factor | $\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft] | squat
[ft] | Totaal
[ft] | Totaal
[m] |
|--------------------------|--------------|--------------|----------------------|--|---------------|----------------|---------------|
| schip 1 | 1,319 | 1,3586 | 0,847 | 2,268 | 0,739 | 3,007 | 0,92 |
| schip 2 | 1,243 | 1,3586 | 0,852 | 2,217 | 0,824 | 3,041 | 0,93 |
| schip 3 | 1,218 | 1,3586 | 0,855 | 2,203 | 0,855 | 3,058 | 0,93 |
| schip 4 | 1,104 | 1,5010 | 0,868 | 2,261 | 0,861 | 3,122 | 0,95 |
| schip 5 | 0,884 | 1,7358 | 0,895 | 2,345 | 0,846 | 3,191 | 0,97 |

Tabel IV.10. UKCa op de river channel voor T = 7s; Hs = 1,20m

| T = 7s
Hs = 2,40
m | UKCw
[ft] | UKCs
[ft] | correctie-
factor | $\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft] | squat
[ft] | Totaal
[ft] | Totaal
[m] |
|--------------------------|--------------|--------------|----------------------|--|---------------|----------------|---------------|
| schip 1 | 1,979 | 1,3586 | 0,828 | 2,763 | 0,732 | 3,495 | 1,07 |
| schip 2 | 1,865 | 1,3586 | 0,832 | 2,682 | 0,818 | 3,500 | 1,07 |
| schip 3 | 1,827 | 1,3586 | 0,832 | 2,650 | 0,849 | 3,499 | 1,07 |
| schip 4 | 1,655 | 1,5010 | 0,84 | 2,651 | 0,856 | 3,507 | 1,07 |
| schip 5 | 1,326 | 1,7358 | 0,86 | 2,633 | 0,841 | 3,474 | 1,06 |

Tabel IV.11. UKCa op de river channel voor T = 7s; Hs = 2,40m

UKCa op de ligplaats

| T = 5s
Hs = 0,30
m | UKCw
[ft] | UKCs
[ft] | correctie
-
factor | $\Sigma(\text{UKCs} + \text{UKCw})$ [ft] | beam current squat
[ft] | Totaal
[ft] | Totaal
[m] |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------------------|--|----------------------------|----------------|---------------|
| schip 1 | 0,119 | 0,8369 | 0,978 | 0,935 | 0,346 | 1,281 | 0,39 |
| schip 2 | 0,117 | 0,8369 | 0,978 | 0,933 | 0,346 | 1,279 | 0,39 |
| schip 3 | 0,116 | 0,8369 | 0,978 | 0,931 | 0,346 | 1,278 | 0,39 |
| schip 4 | 0,112 | 0,8718 | 0,979 | 0,964 | 0,344 | 1,308 | 0,40 |
| schip 5 | 0,102 | 0,9465 | 0,980 | 1,027 | 0,312 | 1,339 | 0,41 |

Bij golven die twee voet hoog (0,60 m) zijn, in plaats van één voet, wordt de UKCa iets hoger. De UKCw wordt in dat geval twee keer zo hoog. Het effect daarvan is dat de UKCa 3,0 tot 3,5 cm groter moet worden. Dit is niet echt een grote verandering in diepte. Er wordt echter vanuit gegaan dat de schepen bij ROT geen hogere golven dan 0,30m ontmoeten

Bijlagen

Deel C

Bijlage I. Algemene gegevens

Wave Climate

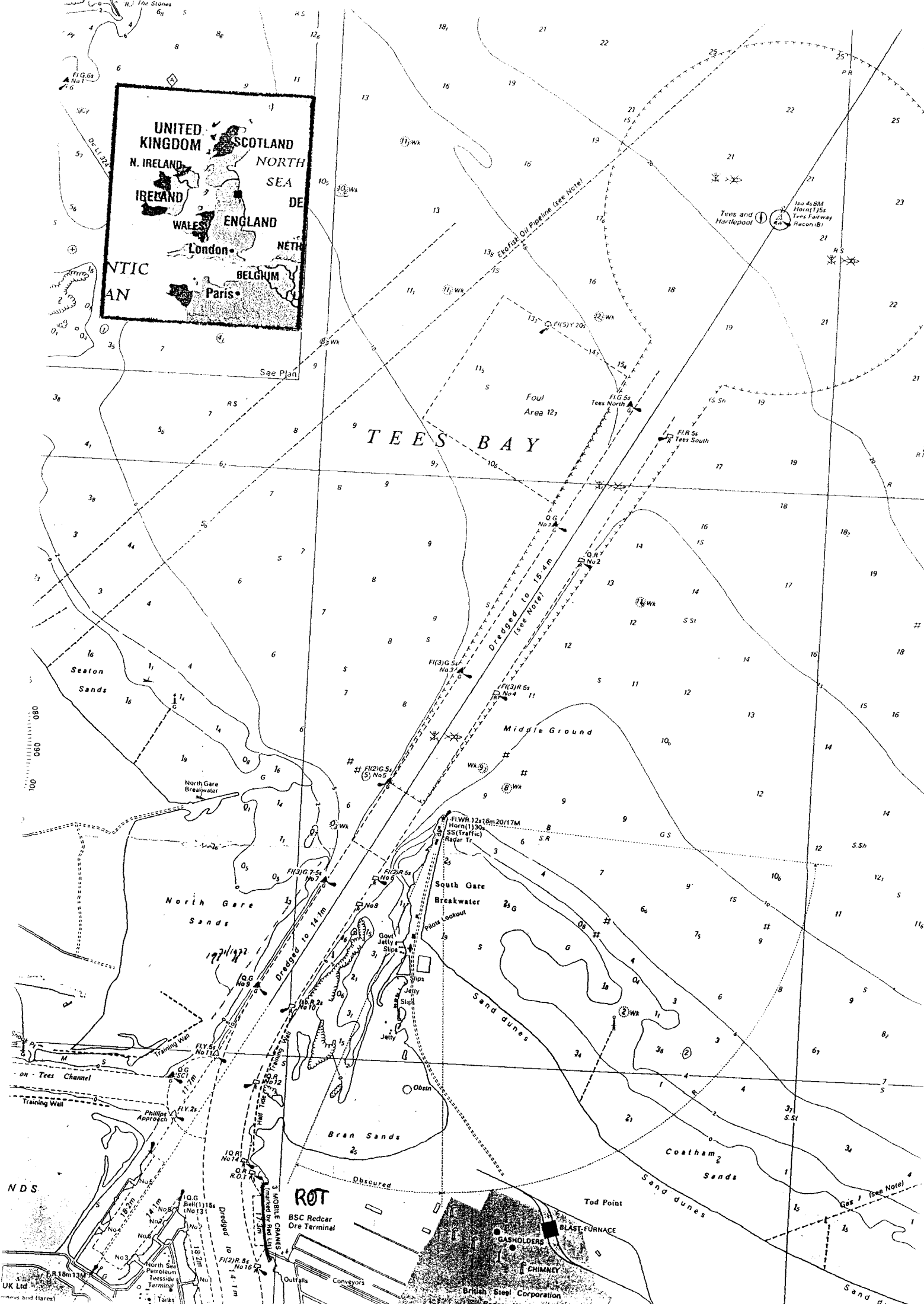
Frequency of occurrence

| | | Mean wave height [m] | | | | | | | | | TOTAL |
|----------------------|----|----------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Mean Wave period [s] | | 0.00 | 0.32 | 0.63 | 0.95 | 1.26 | 1.58 | 1.89 | 2.21 | 2.52 | |
| from | to | 0.32 | 0.63 | 0.95 | 1.26 | 1.58 | 1.89 | 2.21 | 2.52 | | |
| 0 -- | 5 | 37.72 | 19.29 | 6.84 | 2.35 | 0.33 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 66.54 |
| 5 -- | 6 | 2.22 | 3.55 | 4.44 | 3.33 | 1.96 | 0.87 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 16.40 |
| 6 -- | 7 | 0.62 | 1.32 | 1.87 | 1.56 | 2.09 | 1.99 | 1.45 | 0.00 | 0.00 | 10.90 |
| 7 -- | 8 | 0.12 | 0.55 | 0.60 | 0.53 | 0.80 | 0.68 | 1.30 | 0.00 | 0.00 | 4.58 |
| 8 -- | 9 | 0.04 | 0.21 | 0.24 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.87 |
| 9 -- | 10 | 0.01 | 0.08 | 0.11 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.28 |
| 10 -- | | 0.00 | 0.03 | 0.26 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.14 | 0.43 |
| TOTAL | | 40.73 | 25.03 | 14.36 | 7.85 | 5.23 | 3.61 | 3.05 | 0.00 | 0.14 | 100.00 |

tabel I.1. golfklimaat



TEES BAY



Bijlage II. Stroomlijnen over de gebaggerde geul

De stroming kan de geul onder verschillende hoeken naderen. Deze invalshoeken hebben invloed op het stromingspatroon boven de geul. Zowel stroomrichting als stroomsnelheid zijn afhankelijk van deze invalshoeken en beiden hebben die invloed op de het sedimenttransport over de geul. Hieronder wordt beschreven hoe golven invallen en hoe ze vervolgens over de gebaggerde geul lopen.

Loodrechte stroming

Als de stroom loodrecht over de geul loopt, wordt de stroomsnelheid direct boven de geul gereduceerd door de toename in waterdiepte. Dit is een simpel gevolg van de continuïteitsvergelijking:

$$v_1 * h_1 * b_1 = v_2 * h_2 * b_2 \quad [II.1]$$

met: v = snelheid
 h = waterdiepte
 b = afstand tussen de stroomlijnen

De stroomrichting blijft verder onveranderd. Als de stroom de geul over is neemt de snelheid weer toe.

Stroming onder een hoek

De stroom kan de geul ook onder een hoek naderen. Bij het passeren van de geul treedt er dan refractie op aan de bovenstroomse en benedenstroomse oever. Hierdoor treedt contractie van de stroomlijnen op, waardoor de snelheid toeneemt. Tegelijkertijd echter neemt de snelheid ook af door toenemende diepte. Afhankelijk van de hoek van inval van de stroom en van de diepte van de geul neemt de stroomsnelheid dan af of toe boven de geul.

Ook hier geldt de continuïteitsvergelijking:

$$v_1 * h_1 * b_1 = v_2 * h_2 * b_2$$

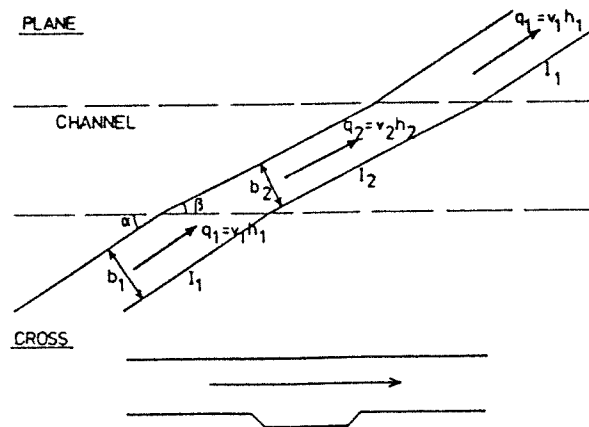
met: v = snelheid
 h = waterdiepte
 b = afstand tussen de stroomlijnen

waaruit volgt:

$$b_1/b_2 = \sin \alpha / \sin \beta \quad [II.2]$$

met: α = hoek tussen stroomrichting en geul buiten de geul
 β = hoek tussen stroomrichting en geul boven de geul

$$\text{Dit resulteert in } V_1/V_2 = h_1/h_2 * \sin \alpha / \sin \beta \quad [II.3]$$



Figuur II.1 Stroming over een geul

Door afnemende snelheid boven de geul treedt er sedimentatie op aan de bovenstroomse zijde van de geul. Aan de benedenstroomse zijde kan erosie optreden. Bij de River Tees speelt het getij een rol. Met laag water is er een overheersend noordwaarts gerichte stroom, met hoog water een zuidwaarts gerichte stroom. De bovenstroomse zijde en de benedenstroomse zijde zijn dus niet telkens dezelfde. Om het totale resultaat van de zandtransport te verkrijgen moeten de transporten van een jaar, tijdens eb en vloed, springtij en doodtij, gesommeerd worden. Hieruit zal dan blijken of de zandtransporten door eb en vloed elkaar in evenwicht houden. Als dit niet het geval is zal de geul de neiging hebben om zich in de richting van de overheersende stroom te verplaatsen. In ieder geval zal de geul van vorm veranderen. Het midden van de geul zal ondieper worden door sedimentatie, terwijl de zijkanten afgeschuurd worden ten gevolge van erosie. Overigens zal de doorsnede van de geul even groot blijven.

Stroming onder een grote hoek ($> 70^\circ$)

Als de stroom de geul onder een grote hoek nadert is de snelheidscomponent parallel aan de geul op een plaats net boven de geul gelijk met die component net buiten de geul. Dit levert:

$$v_2/v_1 = \cos \alpha / \cos \beta \quad [II.4]$$

samen met [II.2] en [II.3] levert dit uiteindelijk:

$$v_2/v_1 = h_1/h_2 * [\sin \alpha / \sin \arctan(\{h_1/h_2\} * \tan \alpha)] \quad [II.5]$$

Stroming onder een kleine hoek ($< 60^\circ$)

Indien de stroom de geul nadert onder een kleine hoek, worden de stroomlijnen langer en speelt de afnemende weerstand door toenemende diepte een belangrijke rol. Bij benadering zijn het verhang in de geul en aan beide kanten daarvan gelijk. Uit de geometrie moet dan volgen:

$$l_2/l_1 = \cos \alpha / \cos \beta \quad [II.6]$$

met: l_1 = verhang buiten de geul

I2 = verhang boven de geul

volgens Chezy kan de volgende formule:

$$I1 = V1^2 / C1^2 * h1 \quad [II.7]$$

$$I2 = V2^2 / C2^2 * h2 \quad [II.8]$$

met: C = Chézy coëfficiënt

worden ingevuld. Dit leidt tot de vergelijking:

$$(V1^2 / C1^2 * h1) * \cos \alpha = (V2^2 / C2^2 * h2) * \cos \beta \quad [II.9]$$

oftewel:

$$\sin \beta * \tan \beta = (h1/h2)^{3/2} * (C1/C2)^2 * \tan \alpha * \sin \alpha \quad [II.10]$$

Voor hoeken kleiner dan 30°, waarbij $\cos \alpha$ en $\cos \beta$ ongeveer gelijk zijn, geldt:

$$\sin \beta = [h1/h2]^{3/2} * [C1/C2]^2 * \sin \alpha \quad [II.11]$$

stroming parallel aan de geul

Bij stroming parallel aan de geul, met $\alpha = \beta = 0$, nemen we aan dat $C1 = C2$. Dan volgt uit $I1 = I2$ en de Chezy formule:

$$V2/V1 = \sqrt{h2/h1} \quad [II.12]$$

De snelheid in de geul wordt dan groter dan de snelheid in de geul

Een klein gedeelte van de tijd stroomt het water parallel aan de geul. Hier treedt dan ook sedimentatie door zwaartekracht op. De deeltjes op het talud worden door de stroming parallel aan de geul verplaatst. Door de zwaartekracht rollen sommige deeltjes naar beneden. Er is geen kracht om ze weer omhoog te rollen en het resultaat is extra sedimentatie in de geul.

Bijlage III. Berekening methode van Bijker

Toelichting bij de invoergegevens van de methode van Bijker

De berekening met de methode van Bijker is uitgevoerd met verschillende golfhoogtes. Hiertoe is het golfklimaat opgedeeld in drie delen:

| | |
|----------------------|-----------------|
| Hm = 0,5 m; Tm = 4s; | 65% van de tijd |
| Hm = 1,0 m; Tm = 5s; | 20% van de tijd |
| Hm = 1,7 m; Tm = 6s; | 15% van de tijd |

met: Hm = de gemiddelde golfhoogte
Tm = de gemiddelde golfperiode

De hoeveelheid sedimentatie in een situatie met een bepaalde golfhoogte moet worden vermenigvuldigd met de tijd dat die golfhoogte voorkomt per jaar. De som van de resultaten van die vermenigvuldiging geven dan de totale hoeveelheid sedimentatie per jaar.

Gedurende het getijverloop veranderen de stroomrichting en stroomsterkte voortdurend. Er zijn van een getijcyclus stroomgegevens (snelheid en richting) bekend van ieder uur. Door de bijdrage aan de sedimentatie in de geul, die ieder uur afzonderlijk wordt geleverd, te sommeren wordt de totale sedimentatie per getij bekend. De hoeveelheden zijn voor springtij en doottij apart berekend.

Om de constante B te bepalen in de formule van Bijker voor het bodemtransport:

$$S_b = B \cdot D_{50} \cdot (V/C) \cdot \sqrt{g} \cdot \exp [-0,27 \cdot \Delta \cdot D_{50} \cdot \rho \cdot g / \mu \cdot \tau_{cw}] \quad [\text{III.1}]$$

met: B = constante, met een waarde van 1 tot 5
S_b = bodemtransport (m³/ms)
D₅₀ = korreldiameter
V = gemiddelde stroomsnelheid
C = chezy coëfficiënt (= 18 log {12 h / r})
r = bodemruwheid
g = zwaartekrachtsversnelling
Δ = relatieve dichtheid bodemmateriaal (= ρ_s - ρ / ρ)
ρ_s = dichtheid bodemmateriaal
ρ = dichtheid water
μ = ribbelfactor (= {C / C₉₀}^{1.5})
C₉₀ = Chezy coëfficiënt, gebaseerd op D₉₀
τ_{cw} = bodemschuifspanning door golven en stroming (τ_{cw} = τ_c [1 + ½ * {ξ * u₀ / v}²])
ξ = C * √(f_w / 2g)
f_w = wrijvingsfactor

zijn er de volgende richtlijnen:

| | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------|---|-------|---------|
| voor Hr _{ms} /h = 0.7 | (H _m /h = 0,8) | → | B = 5 | [III.2] |
| voor Hr _{ms} /h = 0.1 | (H _m /h = 0,113) | → | B = 2 | [III.3] |

met: $H_{rms} = 1,125 H_m$
 h = waterdiepte
 B = constante uit de bodemtransportformule

Voor tussenliggende waarden van H_{rms}/h kan de waarde van B verkregen worden door lineaire interpolatie tussen de gegeven waarden.

Dit resulteert in de volgende waarden van B voor de omgeving rond de approach channel naar Tees Port en de vaargeul zelf:

| | $H_m = 1,7m$ | $H_m = 1,0m$ | $H_m = 0,5m$ |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|
| sectie 11
$h = 14m$ | 2 | 2 | 2 |
| sectie 12
$h = 15m$ | 2 | 2 | 2 |
| sectie 13
$h = 21m$ | 2 | 2 | 2 |
| vaargeul
$h = 18,4m$ | 2 | 2 | 2 |

Tabel III.1 waarde van de constante B uit de bodemtransportformule van Bijker.

In Tees Bay ligt de bodem diep, waardoor de waarde van B laag is. Het resultaat daarvan is dat de hoeveelheid sedimenttransport fors lager is, dan in een situatie met heel ondiep water.

Hieronder wordt de berekening met de methode van Bijker uitgeschreven. Bijker heeft de vaargeul geschematiseerd to een rechte bak., zoals in figuur III.1 te zien is.

Figuur III.1 Schematisatie van stroming over een geul volgens Bijker

Voor drie verschillende plaatsen in en naast de geul worden de sedimenttransporten berekend. Deze plekken zijn:

1. net buiten de geul
2. in de geul direct na het talud. Het bodemtransport heeft zich al aangepast aan de nieuwe situatie. Het zwevend transport nog niet.
3. ver in de geul waar het nieuwe transportevenwicht moet zijn bereikt

Met behulp van de resultaten van de berekeningen op bovengenoemde plekken kan de sedimentatie in de geul worden berekend. In hoofdstuk 4 staat de hele rekenprocedure beschreven.

Belangrijk is dat de totale hoeveelheid sedimenttransport, $Stot$, wordt gegeven door de vergelijking:

$$Stot(x) = Ss(x) + Sb,2 \quad [III.4]$$

Waarbij de hoeveelheid zwevend transport over de geul, $Ss(x)$ is gegeven door:

$$Ss(x) = Ss,1 + (Ss,1 - Ss,3) * \exp [-\beta * x] - 1) \quad [III.5]$$

met:

x = de horizontale afstand langs de stroomlijn

$Ss,1$ = de hoeveelheid zwevend transport net buiten de geul (plek 1, zie fig. III.1)

$Ss,3$ = de hoeveelheid zwevend transport ver in de geul (plek 3, zie fig. III.1)

β = een constante = $Sv(0) / (Ss,1 - Ss,3)$

$Sv(x)$ = sedimentatie

Om tot een berekening van de $Stot$, in een bepaalde situatie, te komen moeten waarden van de volgende parameters worden ingevuld of berekend:

$D50$ = de 50% korreldiameter; is constant

$D50 = 0,0002$

$D90$ = de 90% korreldiameter; is constant

$D90 = 0,0003$

r = bodemruwheid; is constant

$r = 0,06$

w = valsnelheid; is constant

$\log [1/w] = 0,4758 * (\log D50)^2 + 2,1795 * (\log D50) + 3,1915$

$h1$ = bodemdiepte naast de geul, is afhankelijk van getijhoogte

$h2$ = bodemdiepte van de gebaggerde geul, is afhankelijk van de geulvariant en de getijhoogte

$v1$ = stroomsnelheid in gebied buiten de geul, is bekend uit meetgegevens. Verschilt per uur

$v2$ = stroomsnelheid boven de geul. De berekening hiervan wordt uitgelegd in het bijlage II "stroomlijnen over de gebaggerde geul"

H = gemiddelde golfhoogte; wordt afwisselend ingevoerd

T = golfperiode; wordt afwisselend ingevoerd

k = golfgetal

$k = 2\pi/L$

L = golflengte
 $L = 1,56 * T^2$
 ω = golffrequentie
 $\omega = 2\pi/T$

Als de bovenstaande parameters zijn ingevoerd kan de berekening voor het sedimenttransport, voor de ingevoerde omstandigheden stap voor stap worden berekend. Hieronder staan alle benodigde stappen vermeld.

$Stot,1$ = het totale sediment transport in buiten de geul
 $= Ss,1 + Sb,1$
 $Sb,1$ = het bodemtransport buiten de geul
 $= B * D50 * V1 * (\sqrt{g/C1}) * \exp [-0,27 * \Delta * D50 * \rho * g / \mu_1 * \tau_{cw,1}]$
 C_1 = Chézy-coëfficiënt
 $= 18 \log [12 * h1 / r]$
 $C_{90,1}$ = Chézy-coëfficiënt op basis van D90
 $= 18 \log [12 * h1 / D90]$
 μ_1 = ribbelfactor buiten de geul
 $= (C_1 / C_{90})^{3/2}$
 $\tau_{cw,1}$ = bodemschuifspanning onder stroming en golven
 $= \tau_{c,1} * (1 + \frac{1}{2} * [\xi_1 * u_{0,1} / V1]^2)$
 $\tau_{c,1}$ = bodemschuifspanning onder stroming
 $= \rho * g * (V1 / C1)^2$
 ξ_1 = constante
 $= C1 * \sqrt{(f_{w,1} / 2g)}$
 $f_{w,1}$ = wrijvingsfactor
 $= \exp [-5,977 + 5,213 * (a_{0,1} / r)^{-0,194}]$
 $a_{0,1}$ = maximale verticale verplaatsing op de bodem, door golven
 $= u_{0,1} * T / 2\pi$
 $u_{0,1}$ = maximale snelheid op de bodem, door golven
 $= \omega * H / 2 * \sinh(k * h1)$
 $Ss,1$ = zwevend transport buiten de geul
 $= V1 * c_{gem,1} * h1$
 $c_{gem,1}$ = gemiddelde sedimentconcentratie buiten de geul
 $= (c_{b,1} * \varepsilon_1 / w * h1) * (1 - \exp[-w * h1 / \varepsilon_1])$
 $c_{b,1}$ = bodemconcentratie buiten de geul
 $= Sb,1 / (6,34 * V_1 * r)$
 $V_{,1}$ = schuifspanningssnelheid
 $= \sqrt{(\tau_{cw} / \rho)}$
 ε_1 = verticale diffusiecoëfficiënt
 $= 0,16 * V_1 * h1$

De hieronder genoemde parameters zijn allemaal al uitgelegd. Ze moeten alleen nog berekend worden voor andere plaatsen in de geul. De index 1 geeft aan dat het een waarde voor plek 1 betreft, dus net buiten de geul. De index 2 geeft aan dat het om een plek net binnen de geul gaat. Bij de index 3 gaat het om een waarde ver weg in de geul. Onderstaande parameters moeten wel eerst berekend worden voordat we het de sedimentatie kunnen berekenen.

$$\begin{aligned}
Stot(x) &= Ss(x) + Sb,2 \\
Sb,2 &= B * D50 * V2 * (\sqrt{g/C2}) * \exp[-0,27 * \Delta * D50 * \rho * g / \mu_2 * \tau_{cw,2}] \\
C2 &= 18 \log [12 * h1 / r] \\
C_{90,1} &= 18 \log [12 * h1 / D90] \\
\mu_1 &= (C_1 / C_{90})^{3/2} \\
\tau_{cw,2} &= \tau_{c,2} * (1 + 1/2 * [\xi_2 * u_{0,2} / V2]^2) \\
\tau_{c,2} &= \rho * g * (V2 / C2)^2 \\
\xi_2 &= C2 * \sqrt{(f_{w,2} / 2g)} \\
f_{w,2} &= \exp[-5,977 + 5,213 * (a_{0,2} / r)^{-0,194}] \\
a_{0,2} &= u_{0,2} * T / 2\pi \\
u_{0,2} &= \omega * H / 2 * \sinh(k * h2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Ss(x) &= Ss,1 + (Ss,1 - Ss,3) * (\exp[-\beta * x] - 1) \\
Ss,3 &= V3 * c_{gem,3} * h3 \\
V3 &= V2 \\
h3 &= h2 \\
c_{gem,3} &= (c_{b,3} * \varepsilon_2 / w * h3) * (1 - \exp[-w * h3 / \varepsilon_2]) \\
c_{b,3} &= Sb,3 / (6,34 * V_{,3} * r) \\
V_{,3} &= \sqrt{(\tau_{cw,3} / \rho)} \\
\varepsilon_2 &= 0,16 * V_2 * h2 \\
\beta &= Sv(0) / (Ss,1 - Ss,3) \\
Sv(0) &= \text{de sedimentatie op } x = 0 \\
&= w * c_{b,1} + \varepsilon_2 * [dc/dz]_b = w * c_{b,1} + \varepsilon_2 * c_{b,1} * [-w * h1 / (\varepsilon_1 * h2)]
\end{aligned}$$

Als alle parameters zijn uitgerekend kan de totale hoeveelheid sediment langs de stroomlijn in de geul berekend worden:

$$Stot(x) = Ss(x) + Sb,2 \quad [III.4]$$

Het verloop van het sedimenttransport kan worden uitgezet in een grafiek. Hiermee kan snel inzicht verkregen worden over het verloop van het sedimenttransport over de geul. De sedimentatie in de geul is gelijk aan het verschil tussen de sedimenthoeveelheid net buiten de geul $Stot(0)$ en de sedimenthoeveelheid aan het einde van de geul, $Stot(x)$. Welke waarde x heeft is afhankelijk van de geulbreedte (die constant is) en de stroomrichting over de geul.

Voorbeeld van een berekening met de methode van Bijker

Om de berekening van Bijker snel uit te kunnen voeren is de berekening door een spreadsheet programma gemaakt. Op de volgende bladzijden staat een voorbeeld afgedrukt van een berekening onder zekere condities.

Die condities zijn:

stroomsnelheid buiten de geul, $v_1 = 0,101 \text{ m/s}$

stroomrichting buiten de geul, $\alpha = 87,2^\circ$

waterdiepte buiten de geul, $h_1 = 8\text{m}$

waterdiepte in de geul, $h_2 = 16,2\text{m}$

golfhoogte, $H = 1,7\text{m}$

golfperiode $T = 6\text{s}$

In tabel III.2 staan de golfgegevens

In tabel III.3 staan de overige parameters.

In de eerste kolom staan basis invoergegevens, die eerder in deze bijlage beschreven staan. Verder staan er in de eerste kolom waarden van de parameters op plek 1, net buiten de geul. In de tweede kolom staan de waarden van de parameters op plek 2, net in de geul.

In de derde kolom staan de waarden van de parameters op plek 3, ver in de geul.

Na deze parameters volgt de berekening van het totale sedimenttransport, $Stot(x)$, op verschillende afstanden langs de stroomlijn over de geul. $Stot(x)$ is uitgezet in de grafiek eronder.

De sedimentatie in de geul moet berekend worden door de volgende vergelijking in te vullen:
Sedimentatie over de geul = $Stot(0) - Stot(x_{eind})$

x_{eind} = de afstand langs de stroomlijn van bovenstroomse oever ($x = 0$) tot benedenstroomse oever. In dit voorbeeld geldt $x_{eind} = 250\text{m}$

In dit voorbeeld geldt voor de sedimentatie:

Sedimentatie over de geul = $5,19 \text{ E-5} - 1,85 \text{ E-5} = 3,34 \text{ E-5} \quad [\text{m}^3/\text{m/s}]$

| | |
|-------|---------|
| H | 1,7 |
| T | 6 |
| labda | 56 |
| omega | 1,02472 |
| k | 0,11188 |

Tabel III.2. golfgegevens

| | |
|----------|----------|
| D50 | 0,0002 |
| D90 | 0,0003 |
| r | 0,06 |
| visc | 0,000001 |
| rho | 1000 |
| rho,s | 2650 |
| delta | 1,65 |
| w | 0,022926 |
| h1 | 8 |
| V1 | 0,101 |
| h2 | 16,2 |
| | |
| V2 | 0,050067 |
| alpha | 1,521156 |
| C1 | 57,67416 |
| C 90,1 | 99,0927 |
| mu 1 | 0,444027 |
| tau c,1 | 0,030085 |
| | |
| u o,1 | 0.873159 |
| a o,1 | 0.833803 |
| f w,1 | 0.057942 |
| ksi 1 | 3.13422 |
| tau cw,1 | 11.07397 |
| S b,1 | 4.59E-06 |
| | |
| V *1 | 0.105233 |
| c b,1 | 0.000115 |
| eps 1 | 0.134698 |
| cgem 1 | 6.27E-05 |
| S s,1 | 5.06E-05 |

Tabel III.3

| | |
|----------|----------|
| D50 | 0,0002 |
| D90 | 0,0003 |
| r | 0,06 |
| visc | 0,000001 |
| rho | 1000 |
| rho,s | 2650 |
| delta | 1,65 |
| w | 0,022926 |
| h1 | 8 |
| V1 | 0,101 |
| h2 | 16,2 |
| | |
| V2 | 0,050067 |
| | |
| C2 | 63,18981 |
| C 90,2 | 104,6084 |
| mu 2 | 0,469484 |
| tau c,2 | 0,006158 |
| | |
| u o,2 | 0.298585 |
| a o,2 | 0.285127 |
| f w,2 | 0.119523 |
| ksi 2 | 4.932011 |
| tau cw,2 | 2.670126 |
| S b,2 | 1.24E-06 |
| | |
| V *2 | 0.051673 |
| c b,2 | 6.29E-05 |
| eps 2 | 0.133937 |
| cgem 2 | 2.13E-05 |
| | |

| | |
|----------|----------|
| D50 | 0,0002 |
| D90 | 0,0003 |
| r | 0,06 |
| visc | 0,000001 |
| rho | 1000 |
| rho,s | 2650 |
| delta | 1,65 |
| w | 0,022926 |
| h1 | 8 |
| V1 | 0,101 |
| h2 | 16,2 |
| | |
| V2 | 0,050067 |
| | |
| C3 | 63,18981 |
| C 90,3 | 104,6084 |
| mu 3 | 0,469484 |
| tau c,3 | 0,006158 |
| | |
| u o,3 | 0.298585 |
| a o,3 | 0.285127 |
| f w,3 | 0.119523 |
| ksi 3 | 4.932011 |
| tau cw,3 | 2.670126 |
| S b,3 | 1.24E-06 |
| | |
| V *3 | 0.051673 |
| c b,3 | 6.29E-05 |
| eps 2 | 0.133937 |
| cgem 3 | 2.13E-05 |
| S s,3 | 1.72E-05 |

In de eerste kolom van tabel III.3 staan basis invoer gegevens, die eerder in deze bijlage beschreven staan. Verder staan er in de eerste kolom de waarden van de parameters op plek 1, net buiten de geul.

In de tweede kolom staan de waarden van de parameters op plek 2, net in de geul.

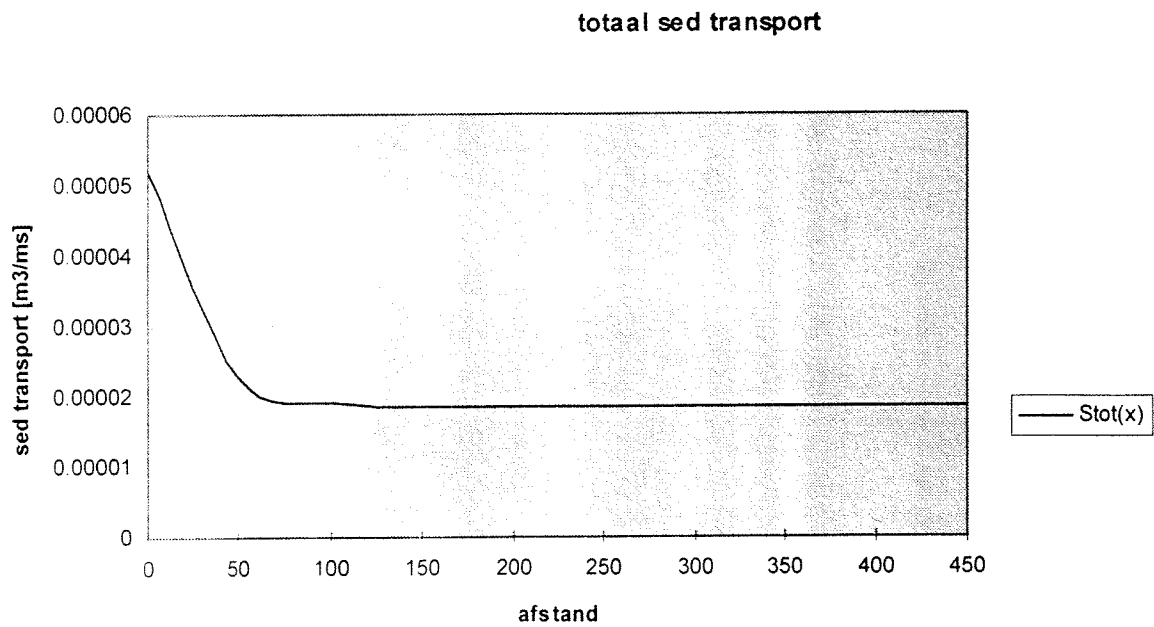
In de derde kolom staan de waarden van de parameters op plek 3, ver in de geul.

| | |
|-------|----------|
| Sv(0) | 1.34E-06 |
| Ss,1 | 5.06E-05 |
| Ss,3 | 1.72E-05 |
| beta | 0.04009 |
| S b,2 | 1.24E-06 |

Tabel III.4 Transportwaarden, nodig om Stot uit te rekenen

| x | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ss(x) | 5.06E-05 | 2.17E-05 | 1.78E-05 | 1.73E-05 | 1.73E-05 | 1.72E-05 | 1.72E-05 | 1.72E-05 | 1.72E-05 |
| Stot(x) | 5.19E-05 | 2.3E-05 | 1.91E-05 | 1.86E-05 | 1.85E-05 | 1.85E-05 | 1.85E-05 | 1.85E-05 | 1.85E-05 |

Tabel III.5 Sedimenttransport langs de stroomlijn over de geul in m³/m/s



Figuur III.2 Totaal sedimenttransport langs de stroomlijn over de geul

Bijlage IV. Meetgegevens

In deze bijlage staan grafieken van metingen, die gedaan zijn bovenstrooms van de Redcar Ore Terminal. In de grafieken staat:

- de getijhoogte

de op de bodem gemeten, aan het oppervlak gemeten en gemiddelde waarde van:

- de stroomsnelheid
- de stroomrichting
- de concentratie zwevende stof
- het zoutgehalte
- de watertemperatuur

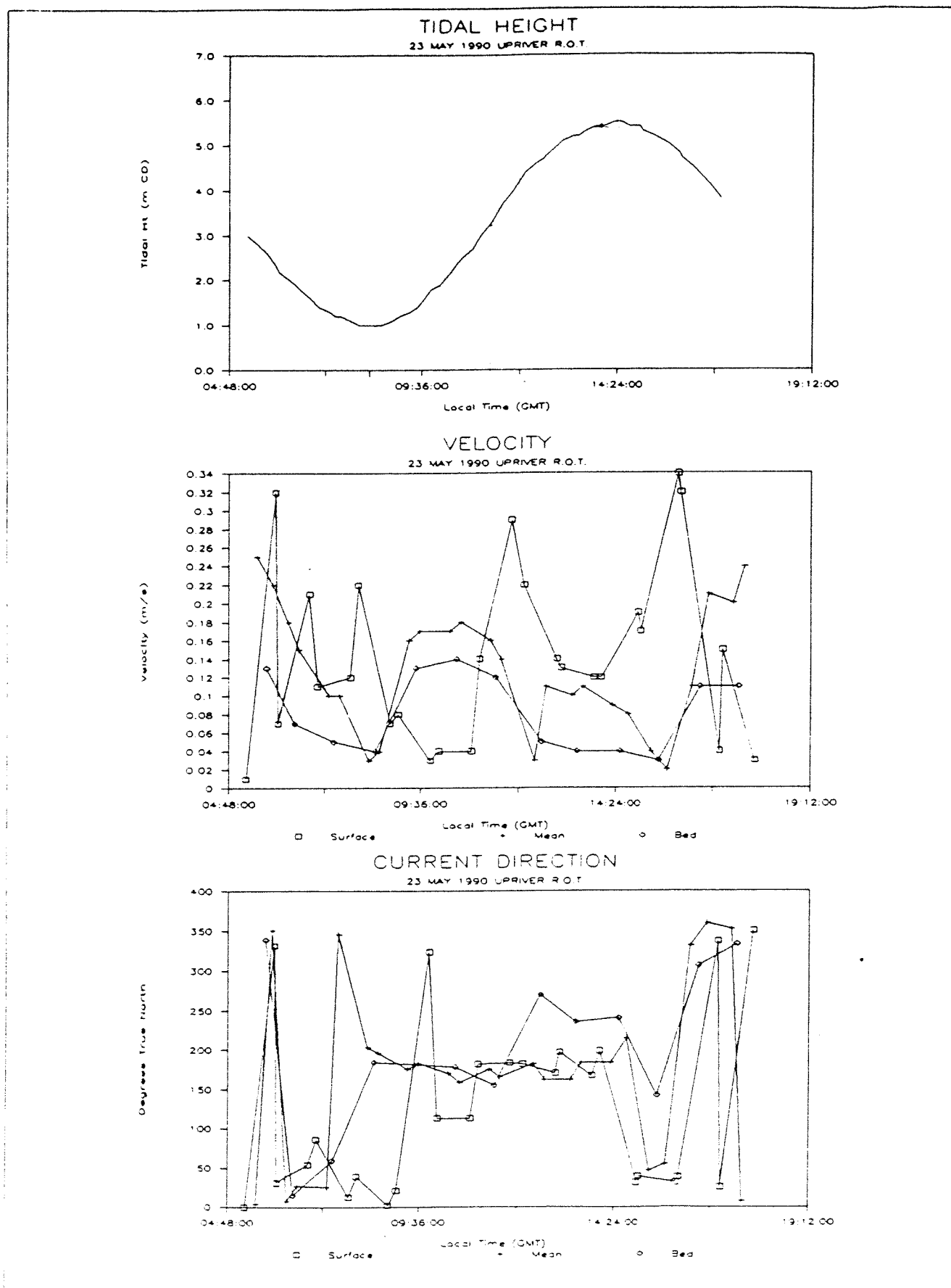


Fig. 30a Upriver R.O.T.: Dry period

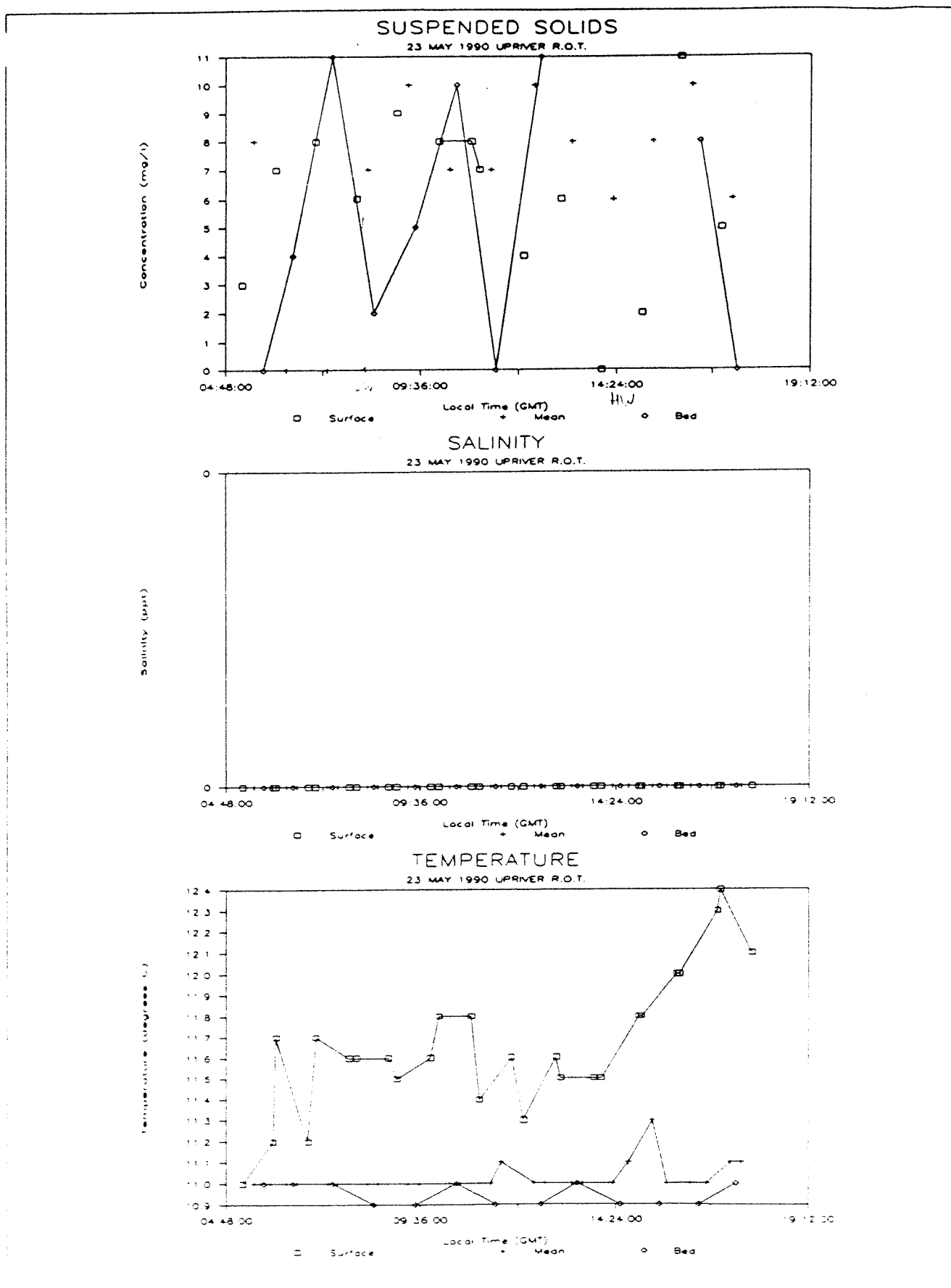


Fig. 30b Upriver R.O.T.: Dry period

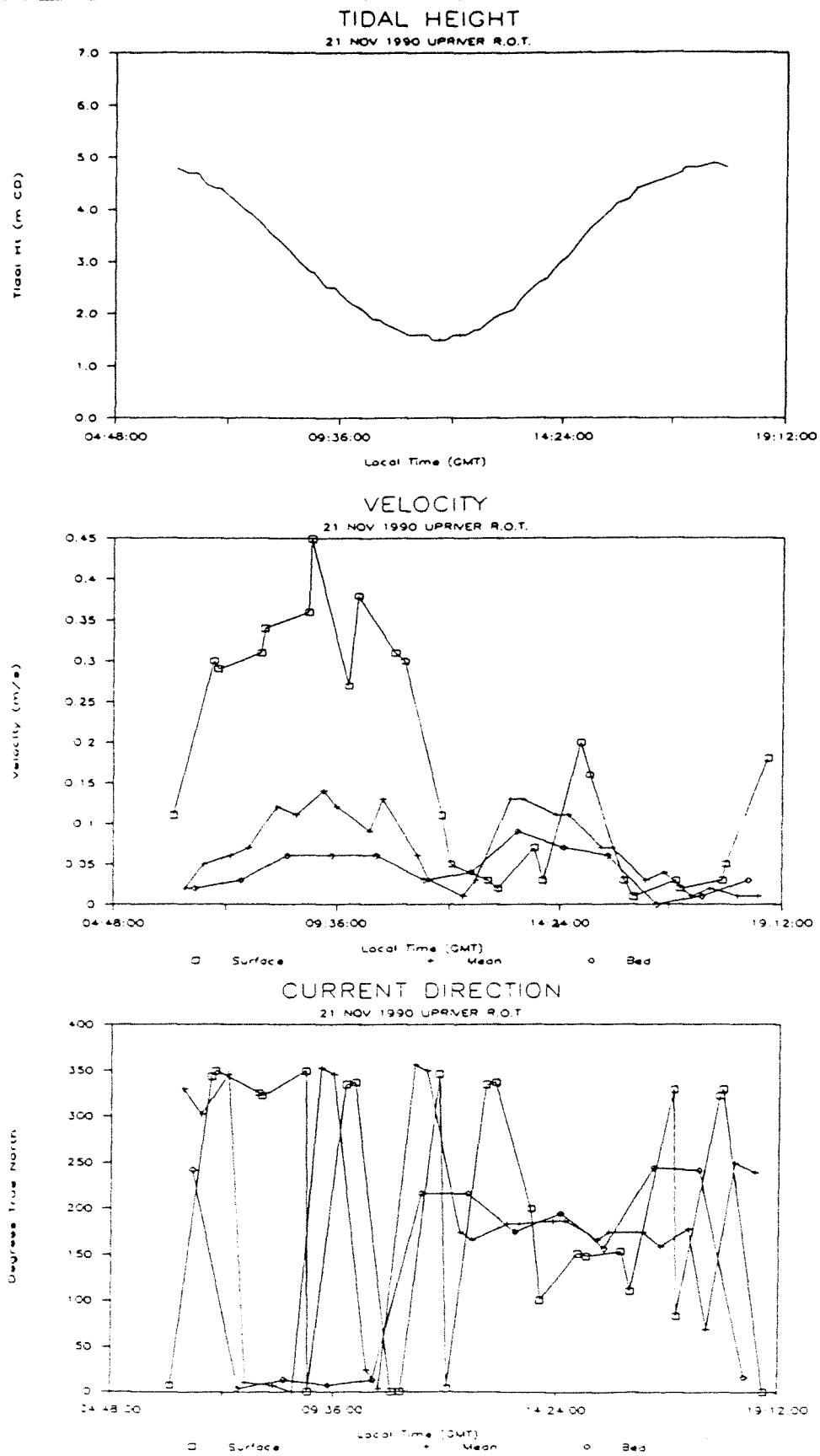


Fig 31a Upriver R.O.T.: Dry period

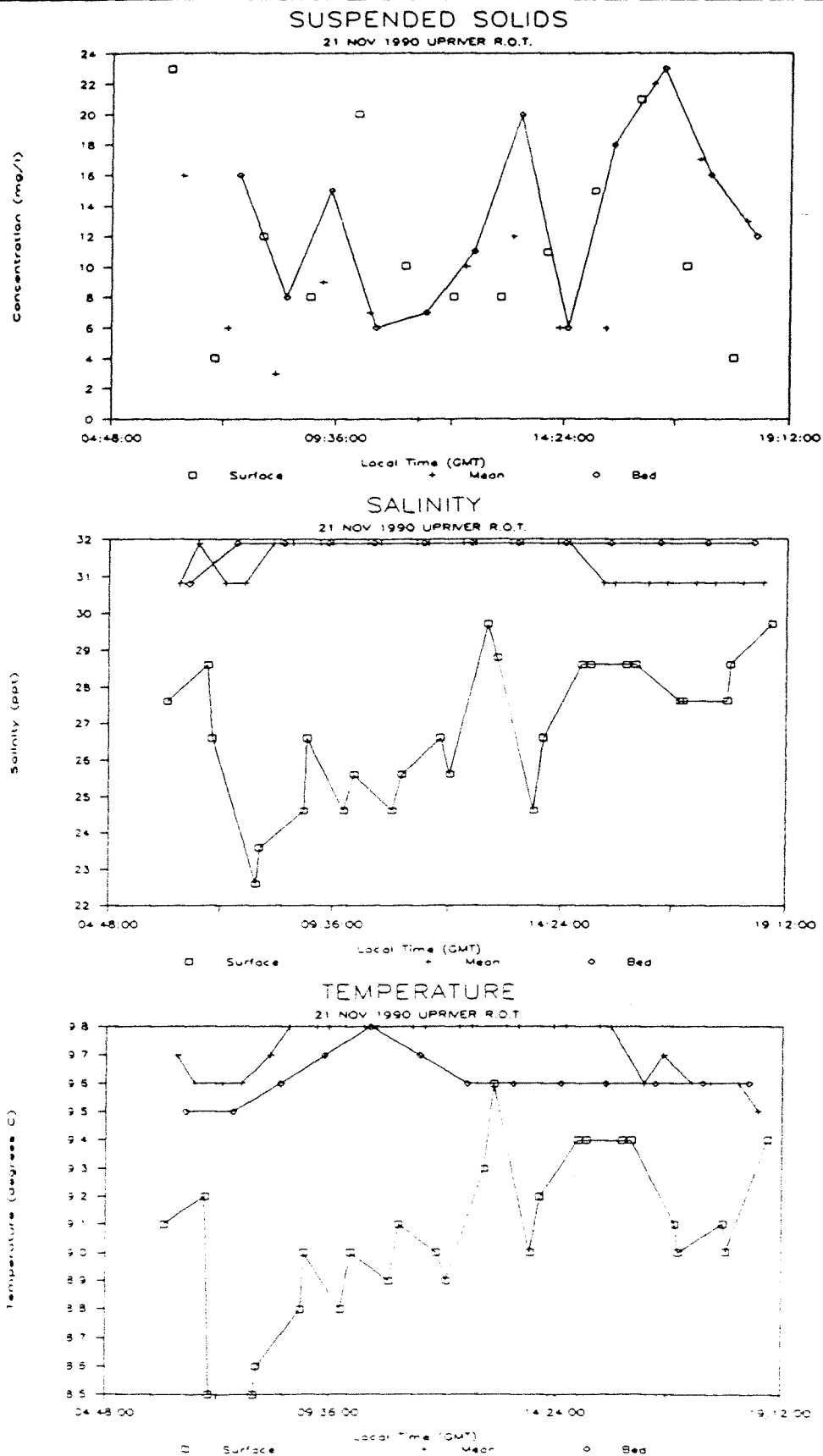


Fig 31b Upriver R.O.T.: Dry period

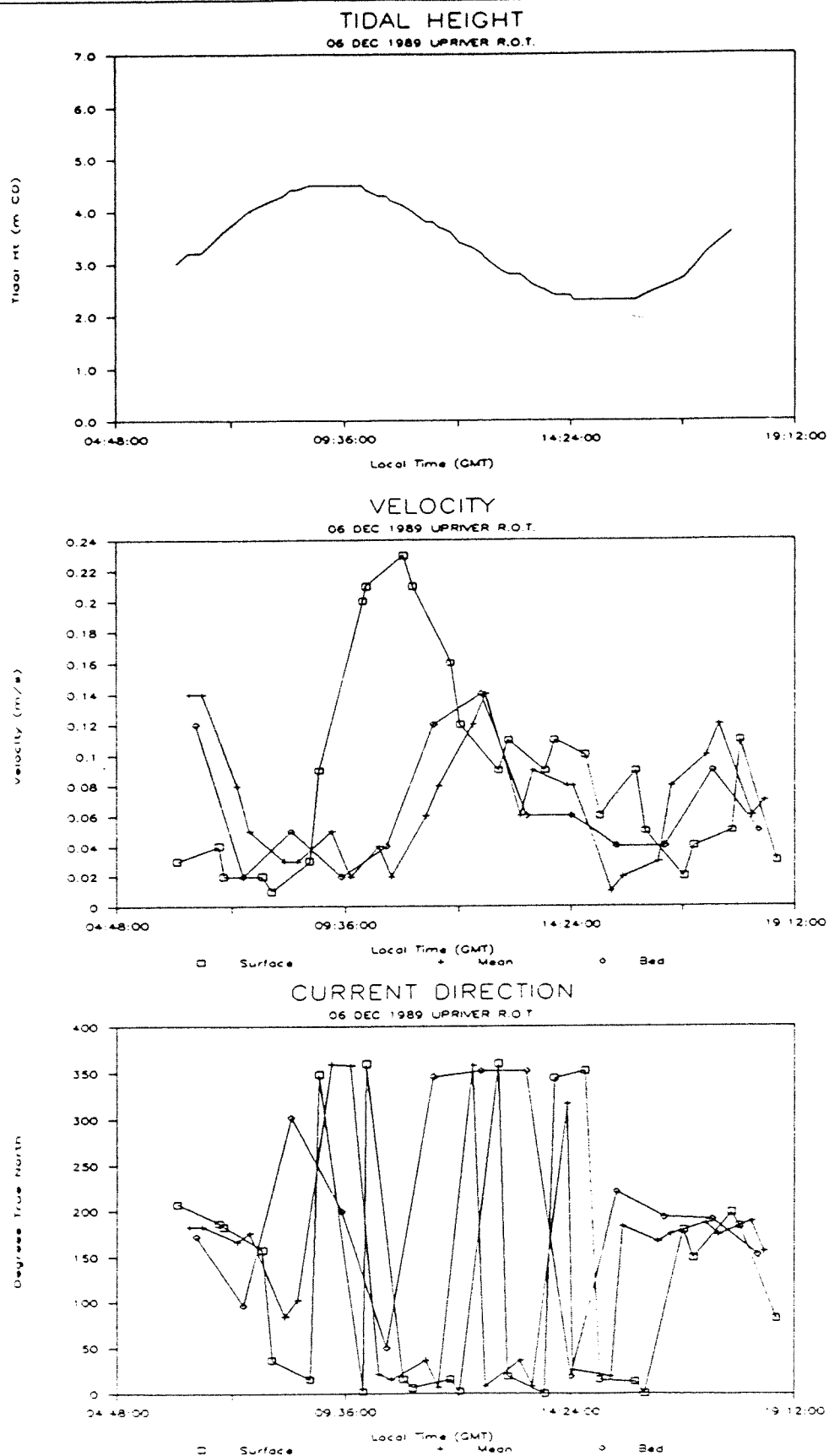


Fig. 32a Upriver R.O.T.: Neap tide

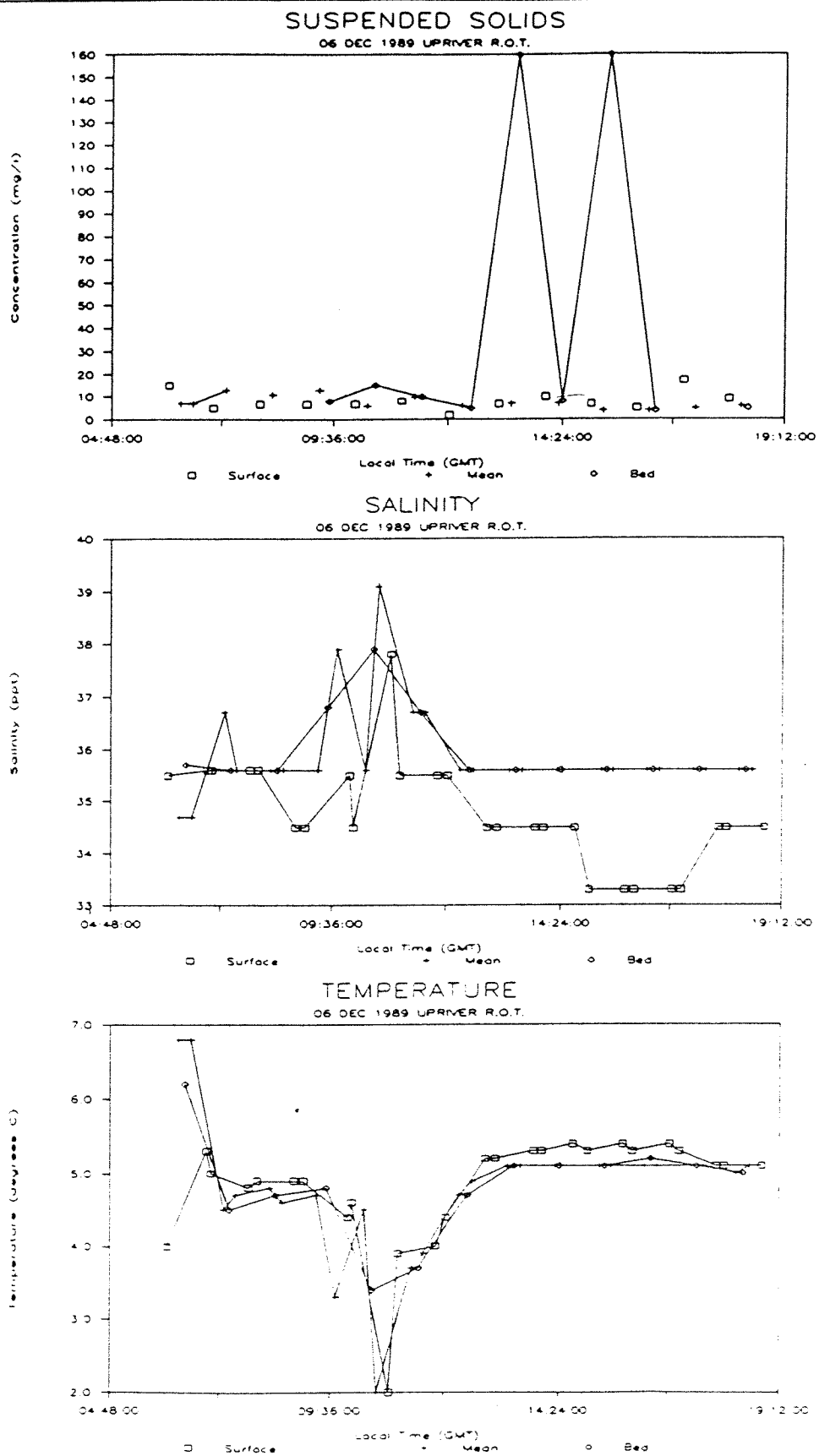


Fig. 32b Upriver R.O.T.: Neap tide

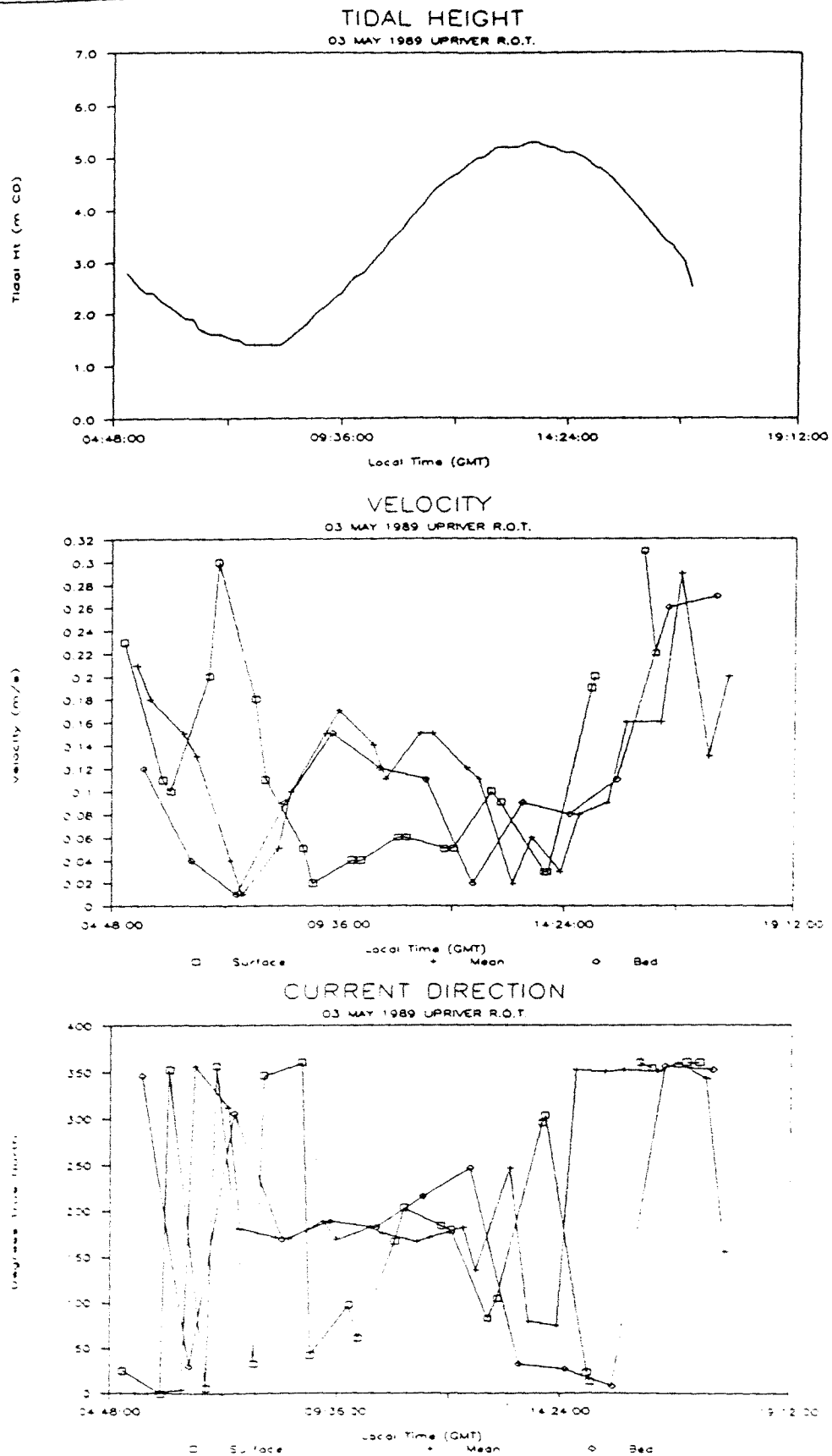
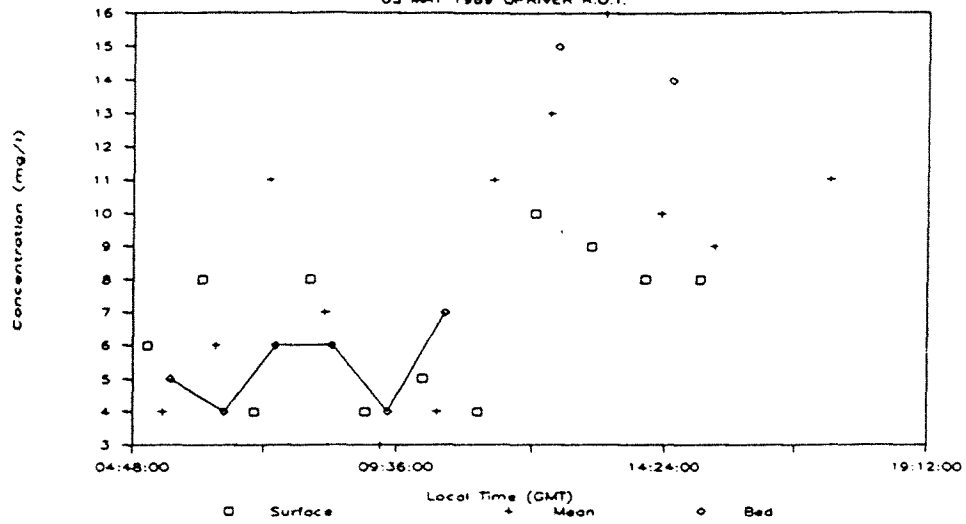


Fig 33a Upriver R.O.T.: Spring tide

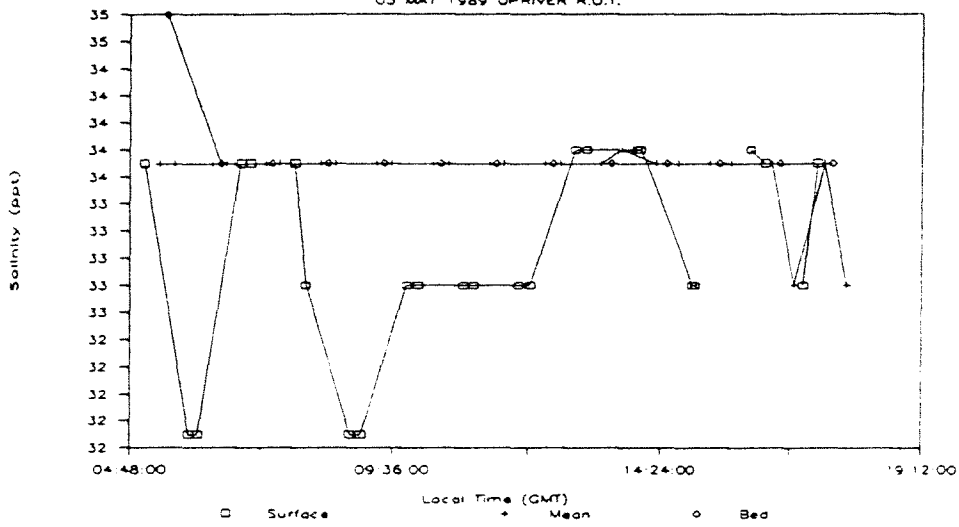
SUSPENDED SOLIDS

03 MAY 1989 UPRIVER R.O.T.



SALINITY

03 MAY 1989 UPRIVER R.O.T.



TEMPERATURE

03 MAY 1989 UPRIVER R.O.T.

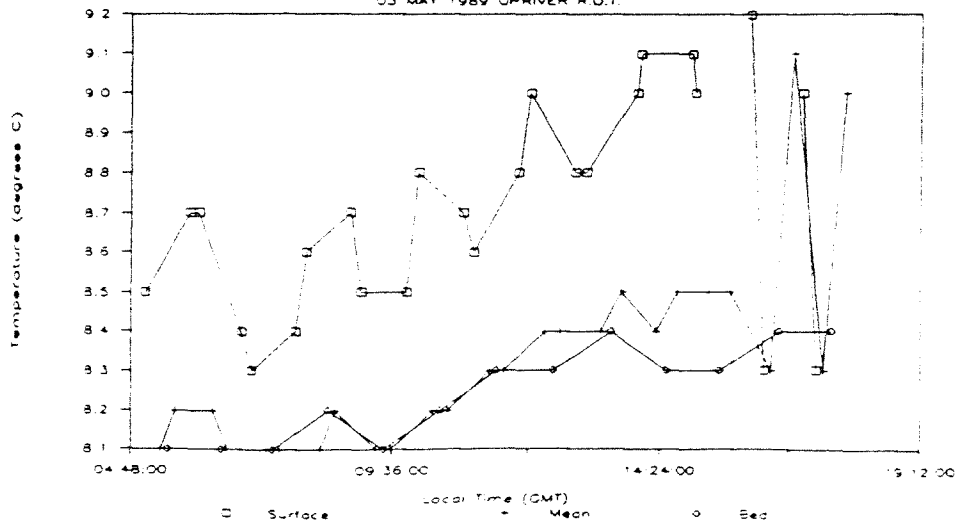


Fig 33b Upriver R.O.T.: Spring tide

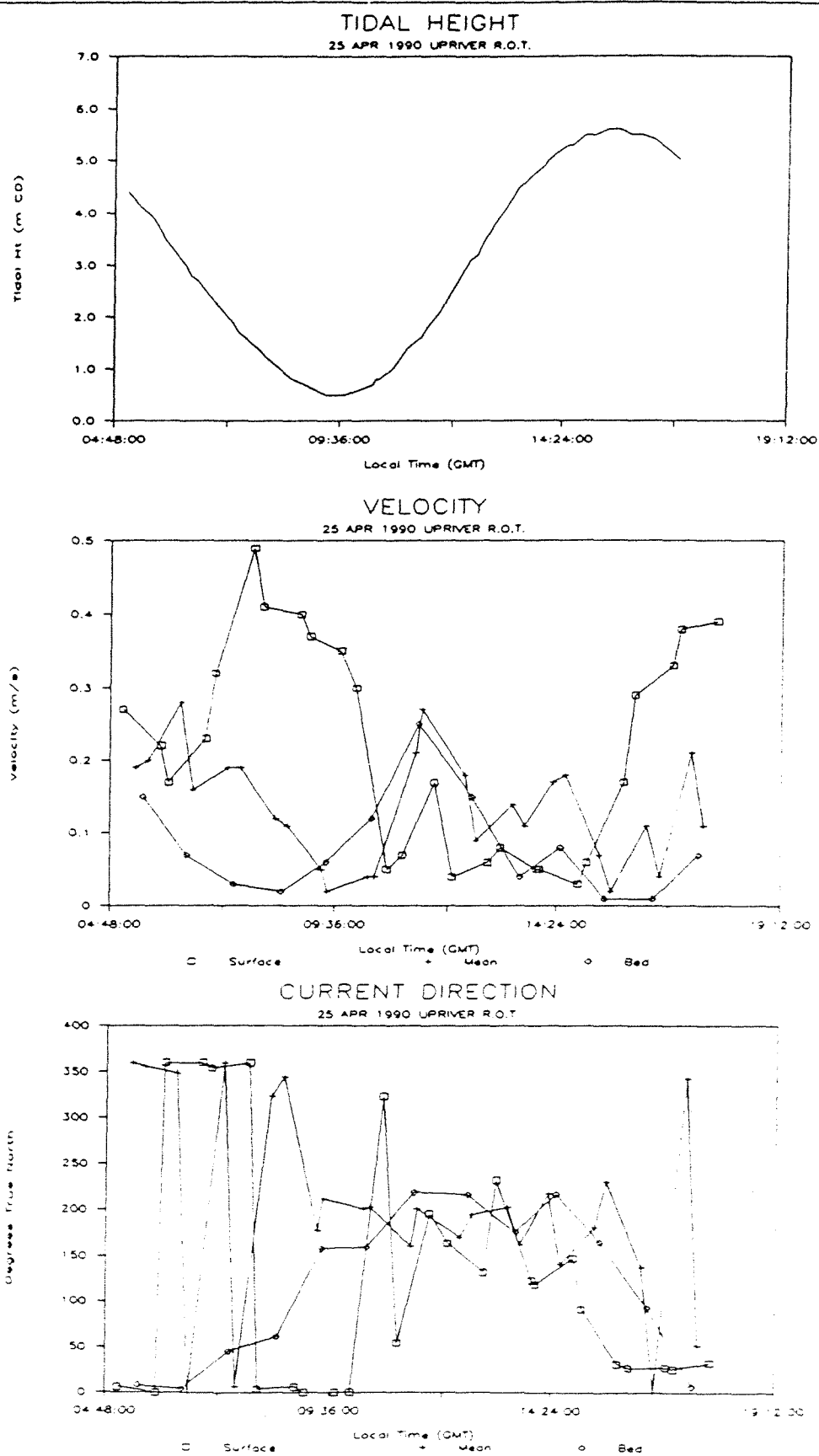


Fig. 34c Upriver R.O.T.: Spring tide

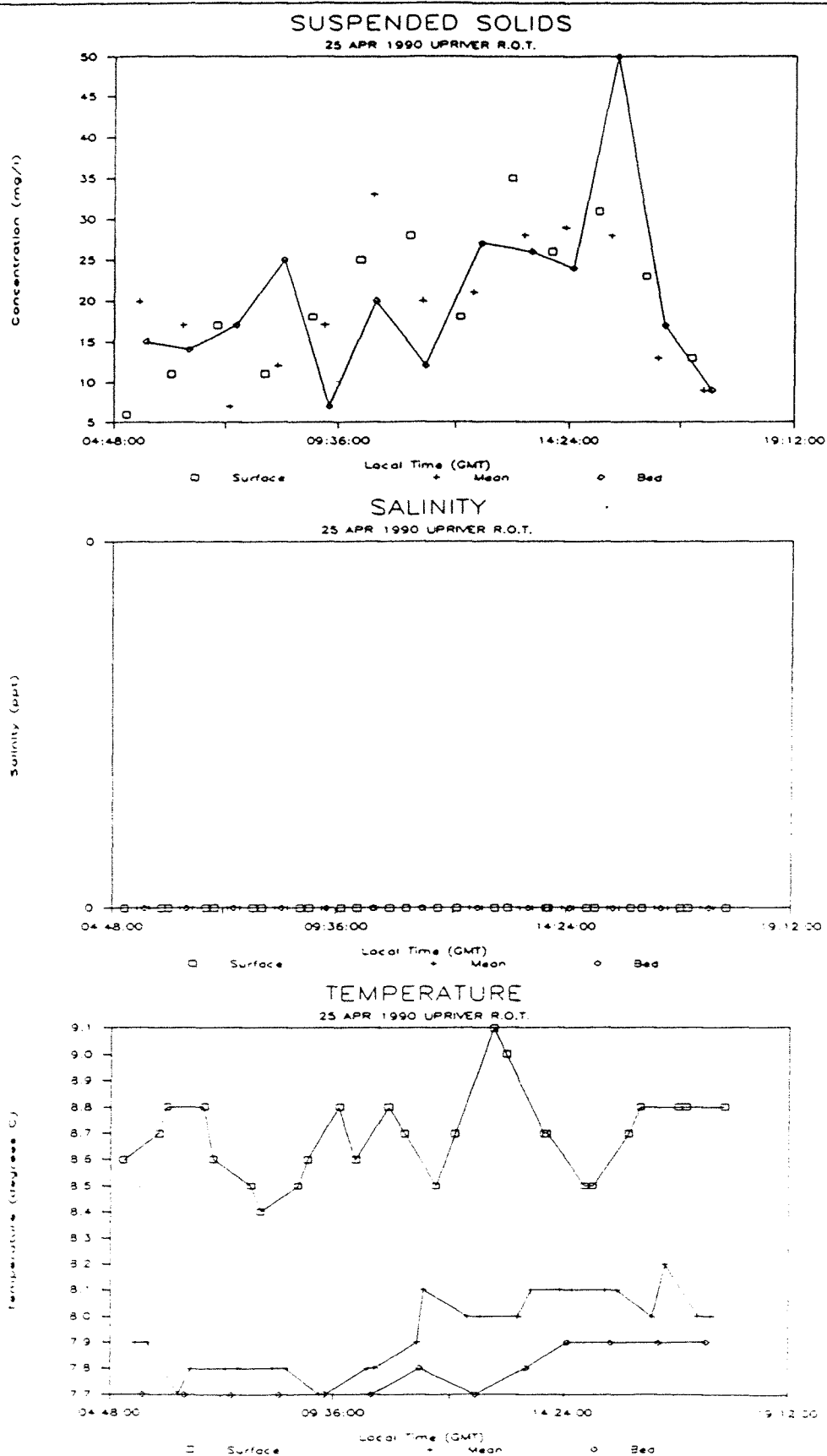


Fig. 34b Upriver R.O.T.: Spring tide

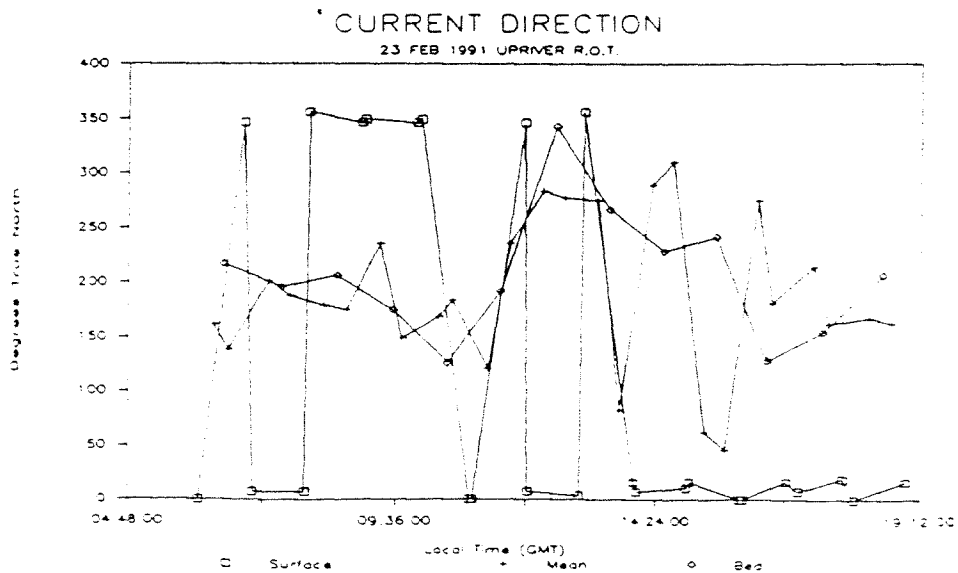
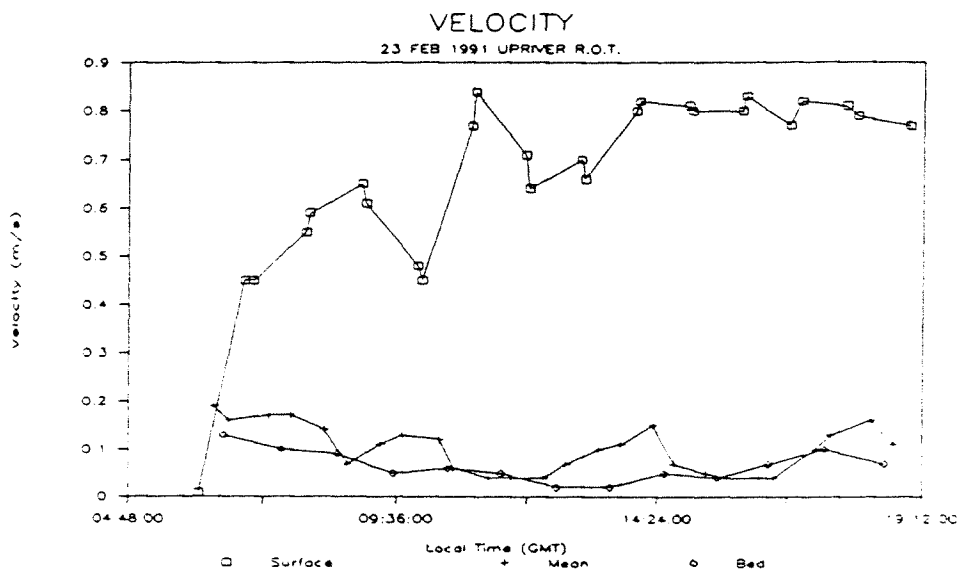
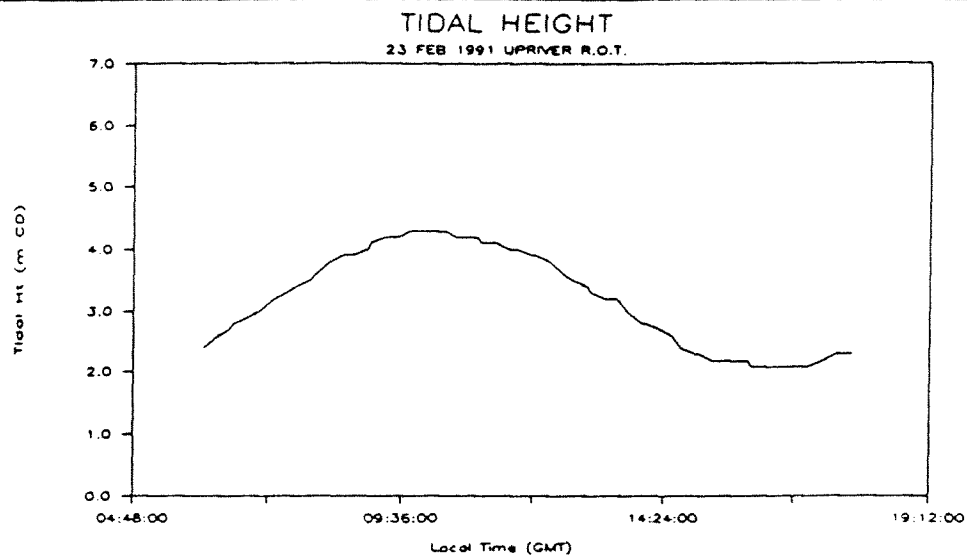
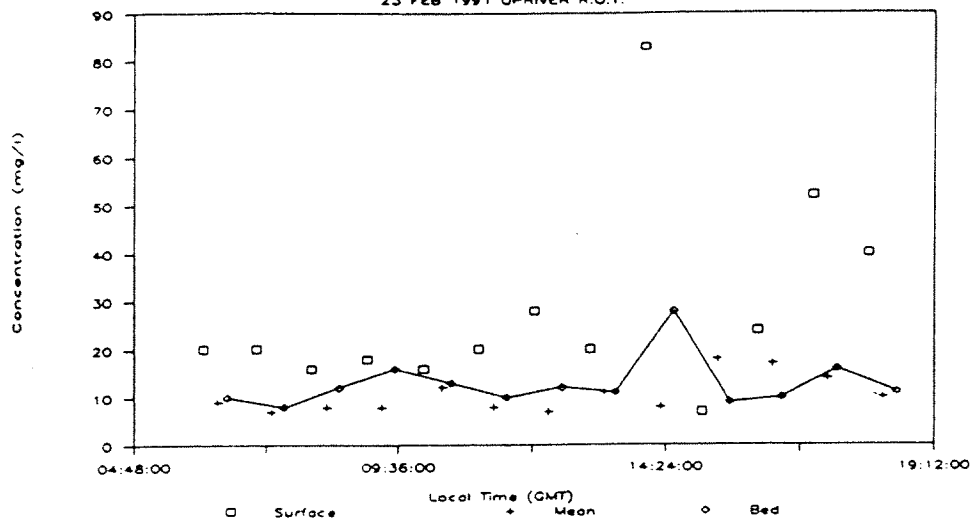


Fig 35c Upriver R.O.T.: Wet period

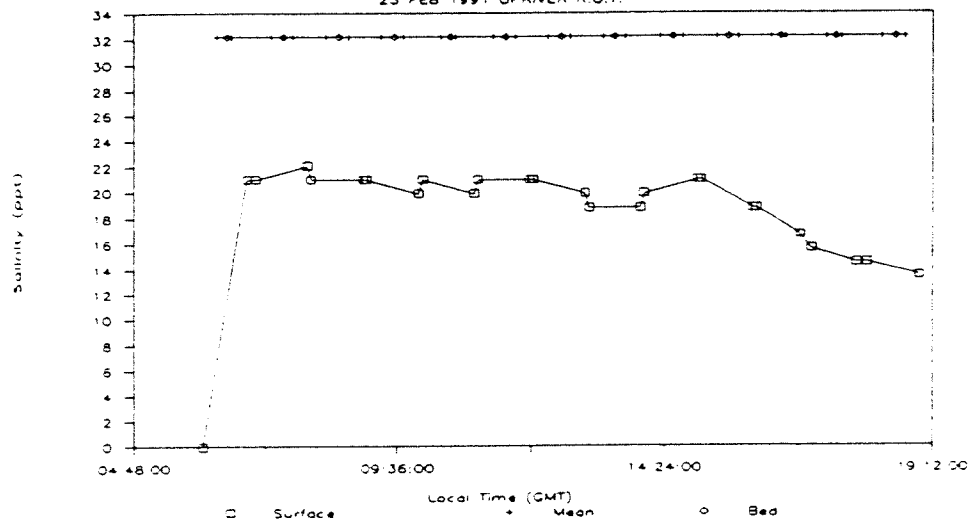
SUSPENDED SOLIDS

23 FEB 1991 UPRIVER R.O.T.



SALINITY

23 FEB 1991 UPRIVER R.O.T.



TEMPERATURE

23 FEB 1991 UPRIVER R.O.T.

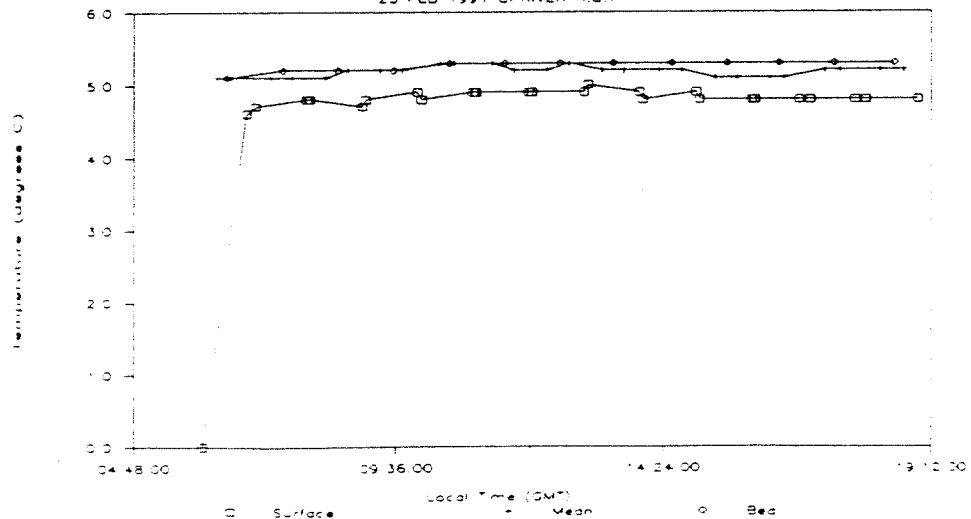
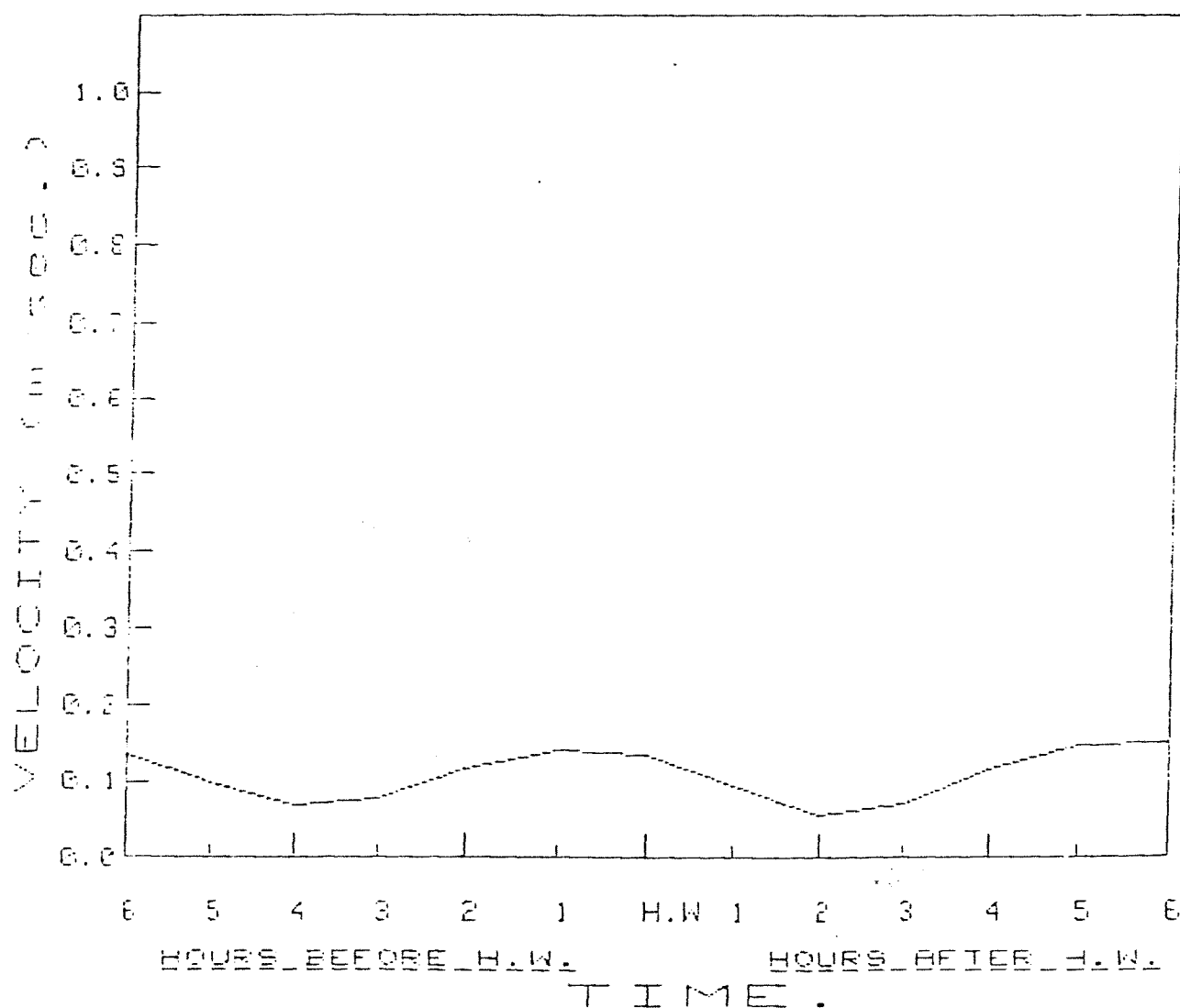


Fig. 35b Upriver R.O.T.: Wet period

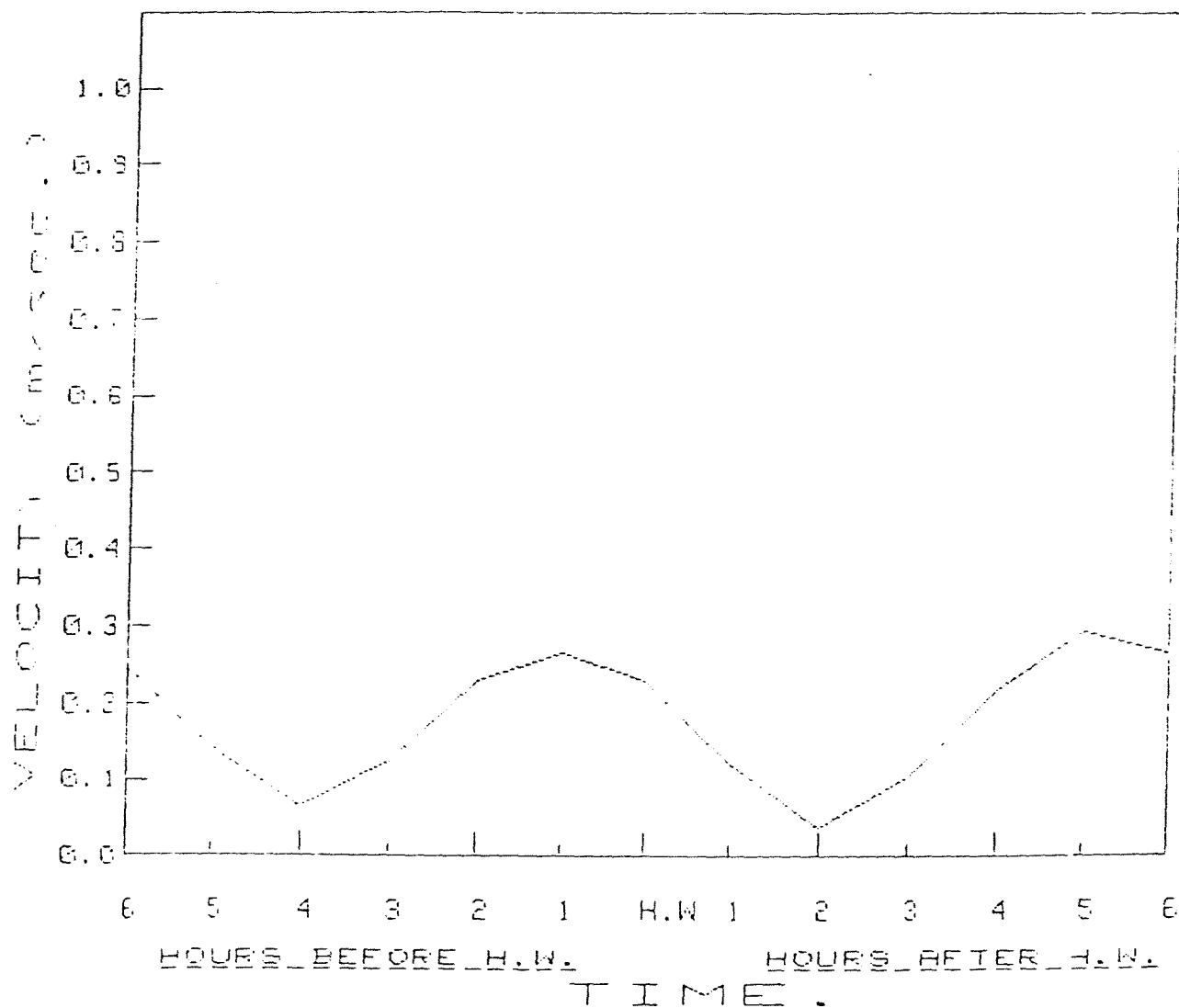
OVERALL TIDE ANALYSIS NEAP TIDES 26-2-85 — 3-4-85

| DATE | 26-02-85 | TIME | 10:55:00 | EASTINGS | 456703.759 | NORTHINGS | 531088.963 |
|----------|---------------------|--------------|-----------|-------------|--------------|-----------|------------|
| LOCATION | 100M N. TEES. NORTH | | | | | | |
| DEPTH | 3.7 | SCALE FACTOR | | 8.00 | INTERVALS | 300.00 | |
| No | TIME | VELOCITY | DIRECTION | TEMPERATURE | CONDUCTIVITY | SALINITY | |
| 1 | -6 HOURS | .134 | 308.4 | 5.1 | 32.42 | 34.09 | |
| 2 | -5 HOURS | .099 | 296.9 | 5.1 | 32.42 | 34.09 | |
| 3 | -4 HOURS | .069 | 261.0 | 5.1 | 32.44 | 34.05 | |
| 4 | -3 HOURS | .077 | 197.5 | 5.1 | 32.42 | 34.07 | |
| 5 | -2 HOURS | .117 | 176.5 | 5.1 | 32.43 | 34.13 | |
| 6 | -1 HOURS | .142 | 157.9 | 5.0 | 32.45 | 34.13 | |
| 7 | H. WATER | .135 | 156.1 | 5.0 | 32.43 | 34.10 | |
| 8 | +1 HOURS | .096 | 161.9 | 5.0 | 32.44 | 34.13 | |
| 9 | +2 HOURS | .055 | 139.7 | 5.0 | 32.42 | 34.10 | |
| 10 | +3 HOURS | .070 | 199.4 | 5.0 | 32.46 | 34.12 | |
| 11 | +4 HOURS | .117 | 311.2 | 5.1 | 32.46 | 34.12 | |
| 12 | +5 HOURS | .148 | 317.4 | 5.1 | 32.45 | 34.09 | |
| 13 | +6 HOURS | .151 | 314.8 | 5.1 | 32.44 | 34.12 | |



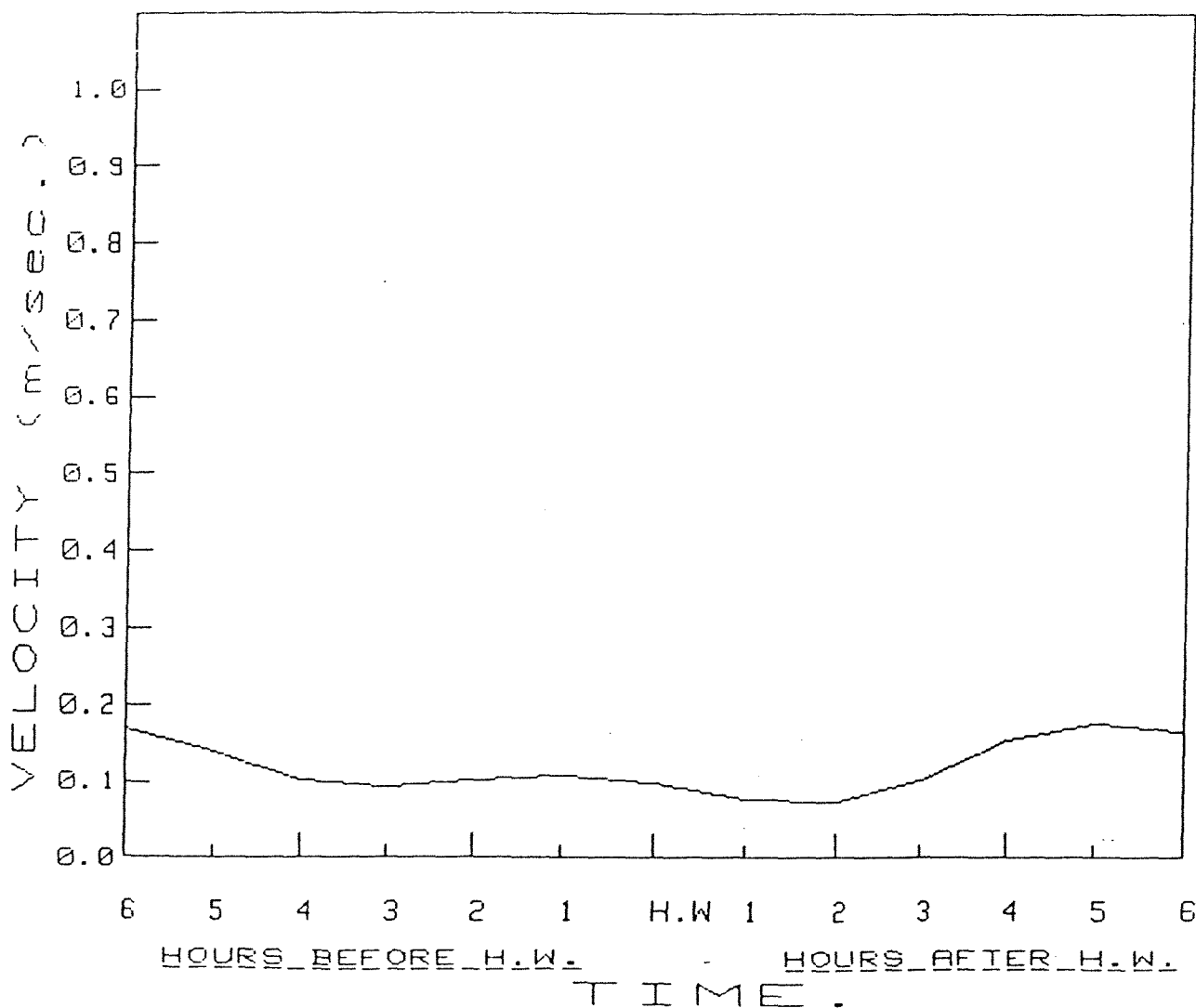
CC MSCN

| DATE | 26-02-85 | TIME | 10:55:00 | EASTINGS | 456703.759 | NORTHINGS | 530088.963 |
|----------|---------------------|--------------|-----------|-------------|--------------|-----------|------------|
| LOCATION | 100M N. TEES. NORTH | | | | | | |
| DEPTH | 3.7 | SCALE FACTOR | | 8.00 | INTERVALS | 300.00 | |
| NO. | TIME | VELOCITY | DIRECTION | TEMPERATURE | CONDUCTIVITY | SALINITY | |
| 1 | -6 HOURS | .245 | 328.8 | 5.1 | 32.57 | 34.34 | |
| 2 | -5 HOURS | .144 | 315.9 | 5.1 | 32.59 | 34.33 | |
| 3 | -4 HOURS | .064 | 288.6 | 5.1 | 32.61 | 34.41 | |
| 4 | -3 HOURS | .125 | 181.1 | 5.1 | 32.61 | 34.40 | |
| 5 | -2 HOURS | .229 | 163.7 | 5.1 | 32.59 | 34.43 | |
| 6 | -1 HOURS | .265 | 160.3 | 5.1 | 32.57 | 34.43 | |
| 7 | H. WATER | .229 | 157.6 | 5.1 | 32.60 | 34.43 | |
| 8 | -1 HOURS | .124 | 151.4 | 5.1 | 32.61 | 34.43 | |
| 9 | -2 HOURS | .037 | 114.6 | 5.1 | 32.59 | 34.39 | |
| 10 | -3 HOURS | .106 | 248.1 | 5.1 | 32.59 | 34.39 | |
| 11 | -4 HOURS | .218 | 340.7 | 5.1 | 32.57 | 34.38 | |
| 12 | -5 HOURS | .294 | 325.9 | 5.1 | 32.55 | 34.42 | |
| 13 | -6 HOURS | .265 | 329.2 | 5.1 | 32.55 | 34.39 | |



FINAL TIDE ANALYSIS : Neap Tides

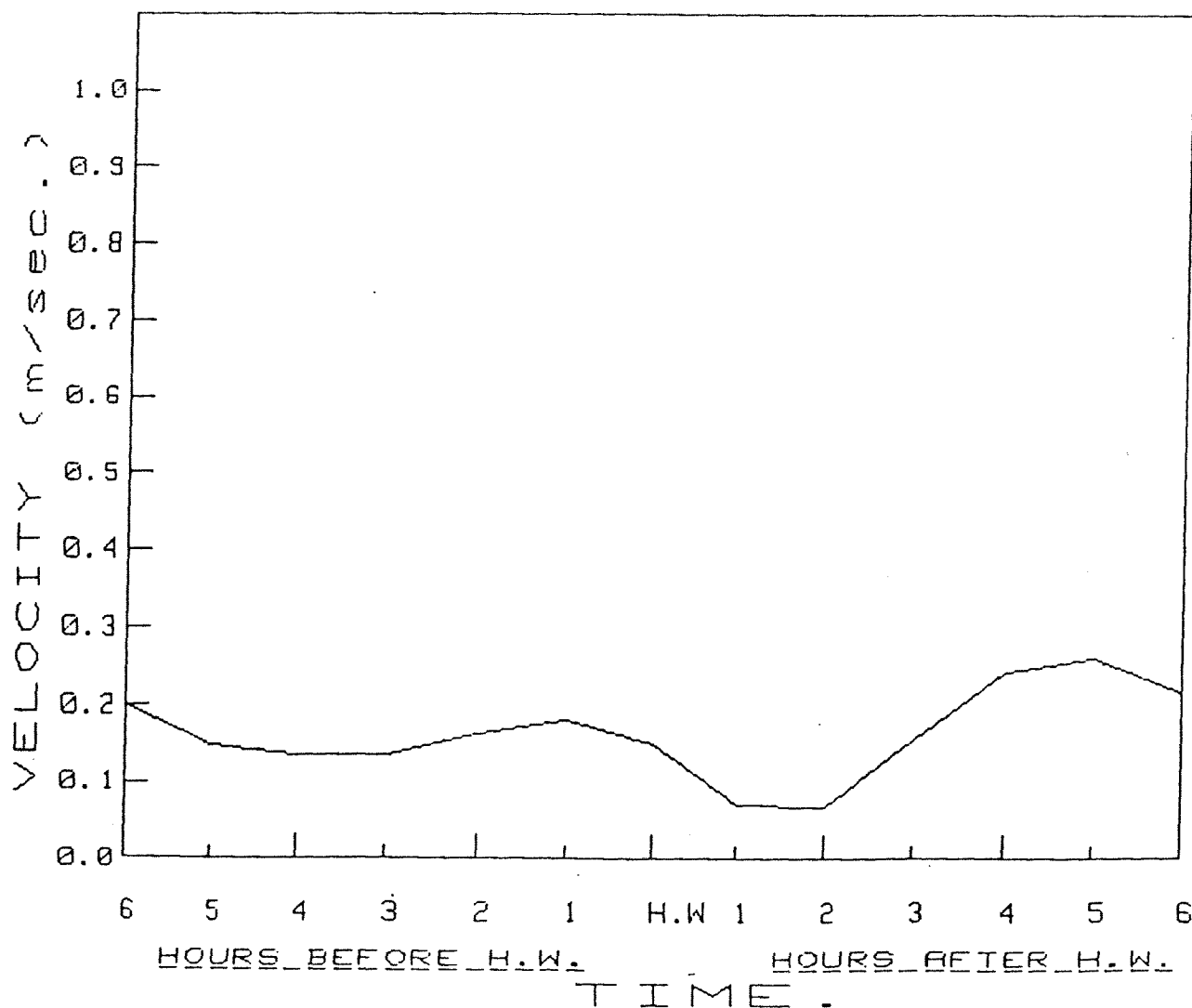
| DATE | 12.02.83 | TIME | 12:30:00 | EASTINGS | 455651.957 | NORTHINGS | 529391.437 |
|----------|--------------------|----------|-----------|--------------|--------------|-----------|------------|
| LOCATION | 200m N.W TEES NO.3 | | | | | | |
| DEPTH | 3.0m | LAT | | SCALE FACTOR | 4.00 | INTERVALS | 300.00 |
| No. | TIME | VELOCITY | DIRECTION | TEMPERATURE | CONDUCTIVITY | SALINITY | |
| 1 | -6 HOURS | .168 | 313.7 | 5.2 | 31.33 | 32.35 | |
| 2 | -5 HOURS | .137 | 296.2 | 5.2 | 31.50 | 32.54 | |
| 3 | -4 HOURS | .101 | 268.4 | 5.2 | 31.57 | 32.62 | |
| 4 | -3 HOURS | .092 | 218.4 | 5.2 | 31.62 | 32.68 | |
| 5 | -2 HOURS | .103 | 179.5 | 5.2 | 31.63 | 32.69 | |
| 6 | -1 HOURS | .108 | 155.1 | 5.2 | 31.65 | 32.71 | |
| 7 | H. WATER | .099 | 155.4 | 5.2 | 31.66 | 32.72 | |
| 8 | +1 HOURS | .078 | 123.5 | 5.2 | 31.66 | 32.72 | |
| 9 | +2 HOURS | .074 | 200.7 | 5.2 | 31.64 | 32.70 | |
| 10 | +3 HOURS | .102 | 308.8 | 5.2 | 31.65 | 32.71 | |
| 11 | +4 HOURS | .153 | 327.9 | 5.2 | 31.58 | 32.63 | |
| 12 | +5 HOURS | .176 | 326.8 | 5.2 | 31.16 | 32.15 | |
| 13 | +6 HOURS | .165 | 311.4 | 5.2 | 31.13 | 32.12 | |



C. MSCN

DETAILED TIDAL ANALYSIS SPRING TIDES

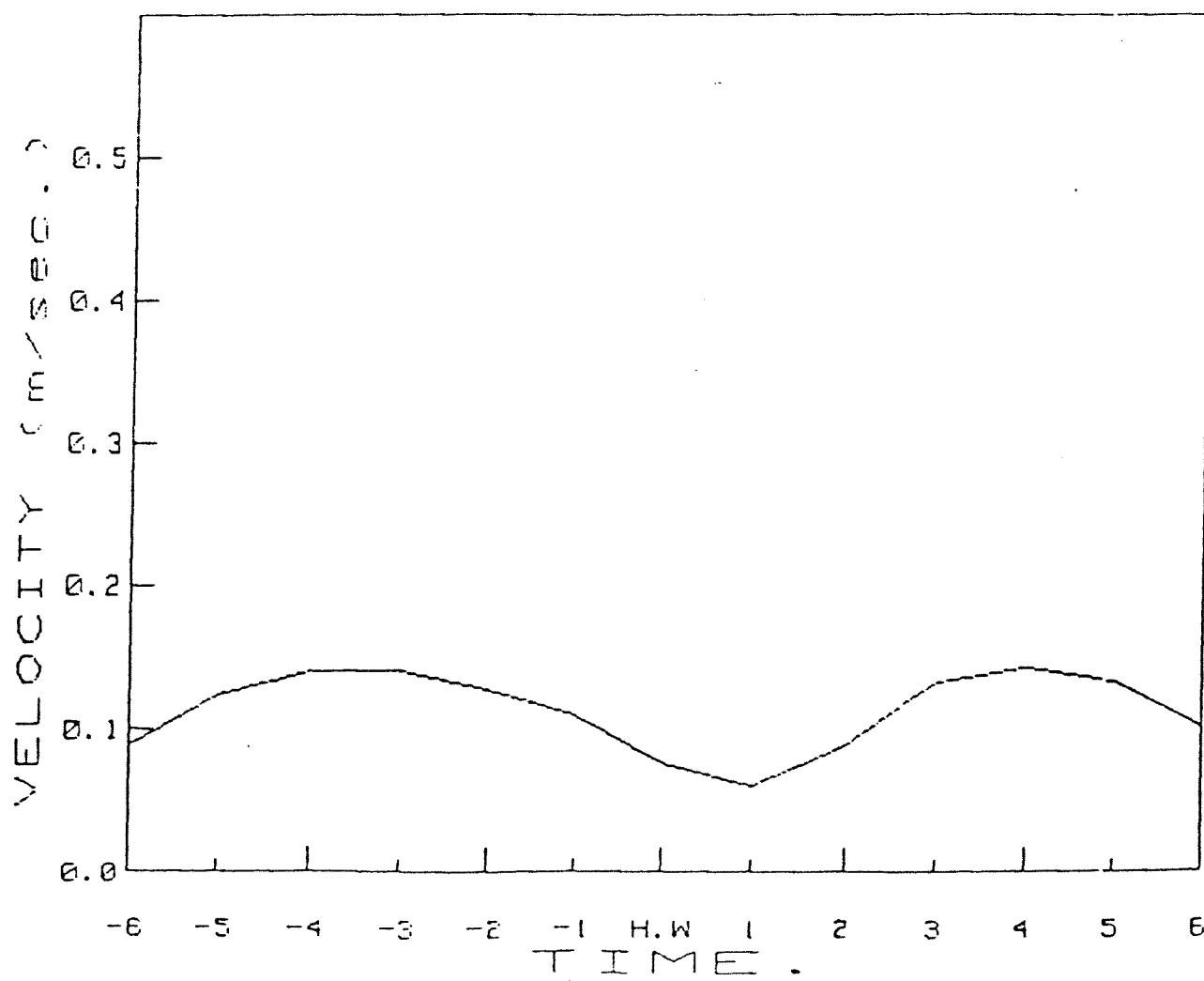
| DATE | 18.02.83 | TIME | 12:30:00 | EASTINGS | 455651.957 | NORTHINGS | 529391.437 |
|----------|--------------------|----------|-----------|--------------|--------------|-----------|------------|
| LOCATION | 200m N.W TEES NO.3 | | | | | | |
| DEPTH | 200m | LAT | | SCALE FACTOR | 4.00 | INTERVALS | 300.00 |
| No | TIME | VELOCITY | DIRECTION | TEMPERATURE | CONDUCTIVITY | SALINITY | |
| 1 | -6 HOURS | .199 | 322.3 | 5.3 | 31.33 | 32.25 | |
| 2 | -5 HOURS | .148 | 295.6 | 5.3 | 31.50 | 32.44 | |
| 3 | -4 HOURS | .136 | 259.1 | 5.3 | 31.57 | 32.52 | |
| 4 | -3 HOURS | .135 | 210.7 | 5.3 | 31.62 | 32.58 | |
| 5 | -2 HOURS | .163 | 175.2 | 5.3 | 31.63 | 32.59 | |
| 6 | -1 HOURS | .180 | 165.5 | 5.3 | 31.65 | 32.61 | |
| 7 | H. WATER | .150 | 155.2 | 5.3 | 31.66 | 32.62 | |
| 8 | +1 HOURS | .072 | 143.4 | 5.3 | 31.66 | 32.62 | |
| 9 | +2 HOURS | .068 | 57.8 | 5.3 | 31.64 | 32.60 | |
| 10 | +3 HOURS | .158 | 354.7 | 5.3 | 31.65 | 32.61 | |
| 11 | +4 HOURS | .244 | 334.7 | 5.3 | 31.58 | 32.53 | |
| 12 | +5 HOURS | .263 | 331.6 | 5.3 | 31.16 | 32.05 | |
| 13 | +6 HOURS | .217 | 325.1 | 5.3 | 31.13 | 32.02 | |



cc MSCW

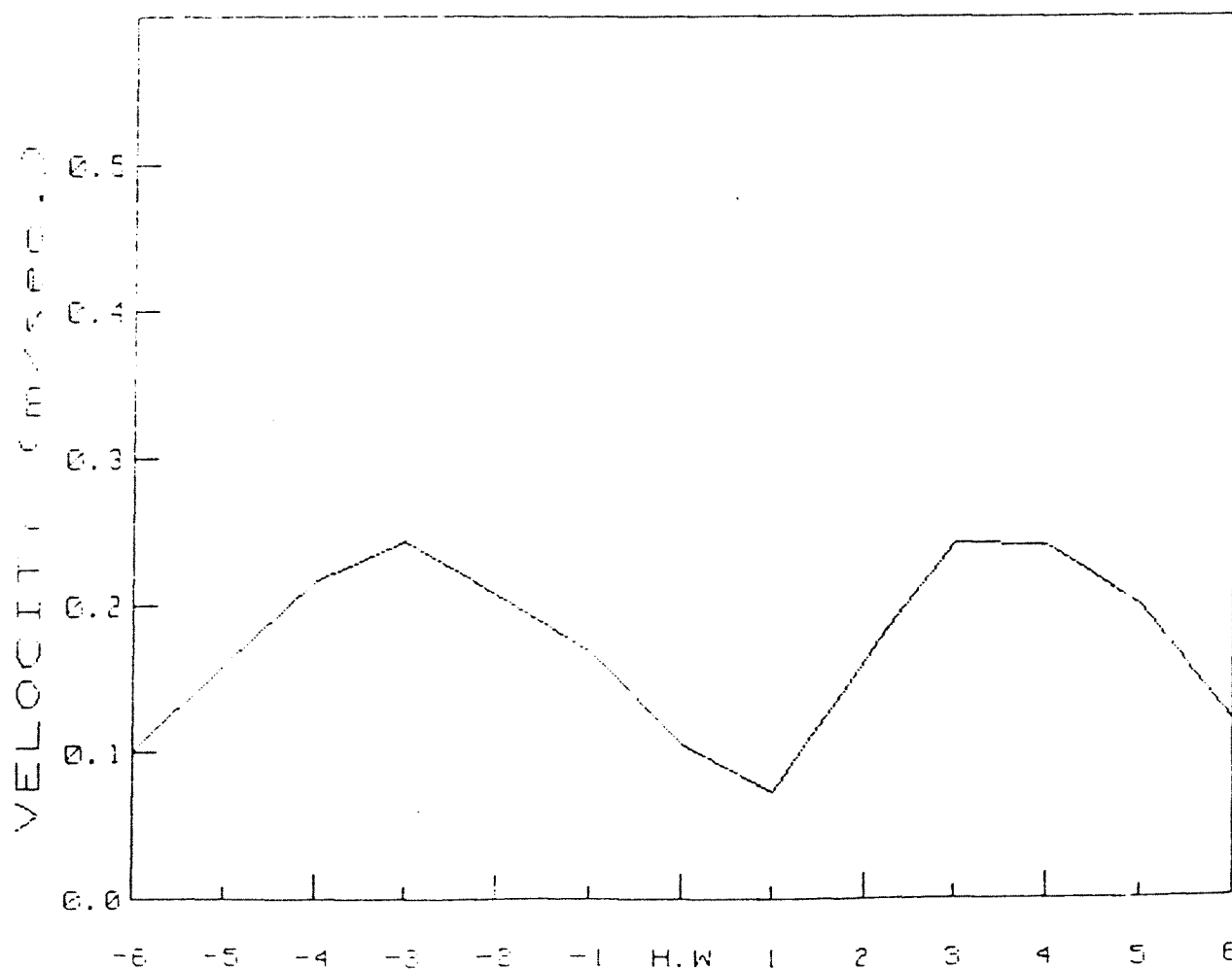
OVERALL TIDAL ANALYSIS: NEAP TIDES

| DATE | 23.4.86 | TIME | 10:50:00 | EASTINGS | 455341.379 | NORTHINGS | 528623.619 |
|----------|--------------|--------------|-----------|-------------|--------------|-----------|------------|
| LOCATION | No 5 Buoy | | | | | | |
| DEPTH | 3m Below LAT | SCALE FACTOR | | 4.00 | INTERVALS | 300.00 | |
| No | TIME | VELOCITY | DIRECTION | TEMPERATURE | CONDUCTIVITY | SALINITY | |
| 1 | -6 HRS | .088 | 229.9 | 7.3 | 32.79 | 31.96 | |
| 2 | -5 HRS | .123 | 216.9 | 7.2 | 32.84 | 32.03 | |
| 3 | -4 HRS | .140 | 208.6 | 7.1 | 32.85 | 32.23 | |
| 4 | -3 HRS | .141 | 197.4 | 7.0 | 32.82 | 32.21 | |
| 5 | -2 HRS | .127 | 185.3 | 7.0 | 32.80 | 32.20 | |
| 6 | -1 HRS | .110 | 169.9 | 7.0 | 32.77 | 32.18 | |
| 7 | H WATER | .077 | 161.3 | 7.0 | 32.78 | 32.21 | |
| 8 | +1 HRS | .061 | 58.3 | 7.0 | 32.77 | 32.12 | |
| 9 | +2 HRS | .089 | 13.8 | 7.0 | 32.77 | 32.13 | |
| 10 | +3 HRS | .132 | 353.3 | 7.0 | 32.74 | 32.11 | |
| 11 | +4 HRS | .142 | 350.5 | 7.0 | 32.73 | 31.07 | |
| 12 | +5 HRS | .132 | 348.5 | 7.1 | 32.70 | 32.00 | |
| 13 | +6 HRS | .102 | 329.2 | 7.2 | 32.74 | 31.96 | |



OVERALL TIDAL ANALYSIS: SPRING TIDES

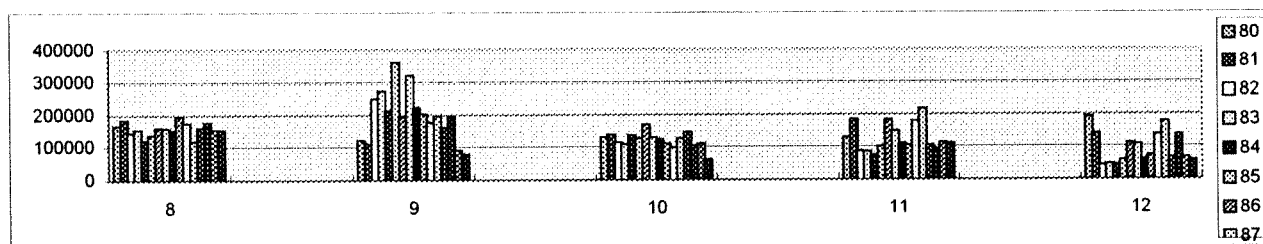
| | | | | | | | |
|----------|--------------|--------------|-----------|-------------|--------------|-----------|------------|
| DATE | 23.4.86 | TIME | 10:50:00 | EASTINGS | 455341.379 | NORTHINGS | 528623.619 |
| LOCATION | No 5 Buoy | | | | | | |
| DEPTH | 3m Below LAT | SCALE FACTOR | | 4.00 | INTERVALS | 300.00 | |
| No | TIME | VELOCITY | DIRECTION | TEMPERATURE | CONDUCTIVITY | SALINITY | |
| 1 | -6 HRS | .101 | 122.8 | 6.9 | 32.15 | 31.65 | |
| 2 | -5 HRS | .160 | 200.5 | 6.8 | 32.33 | 31.89 | |
| 3 | -4 HRS | .217 | 200.4 | 6.7 | 32.42 | 32.06 | |
| 4 | -3 HRS | .244 | 193.2 | 6.7 | 32.41 | 32.11 | |
| 5 | -2 HRS | .207 | 177.9 | 6.6 | 32.38 | 32.16 | |
| 6 | -1 HR | .169 | 164.4 | 6.6 | 32.37 | 32.20 | |
| 7 | H. Water | .105 | 150.3 | 6.6 | 32.36 | 32.19 | |
| 8 | +1 HRS | .072 | 74.9 | 6.7 | 32.39 | 32.13 | |
| 9 | +2 HRS | .162 | 2.6 | 6.7 | 32.36 | 32.11 | |
| 10 | +3 HRS | .242 | 4.5 | 6.7 | 32.29 | 32.01 | |
| 11 | +4 HRS | .240 | 4.8 | 6.8 | 32.26 | 31.95 | |
| 12 | +5 HRS | .198 | 4.8 | 6.8 | 32.18 | 31.80 | |
| 13 | +6 HRS | .121 | 15.6 | 6.9 | 32.12 | 31.61 | |



Bijlage VI. Baggersecties

Gebaggerde hoeveelheden in m3
totalen

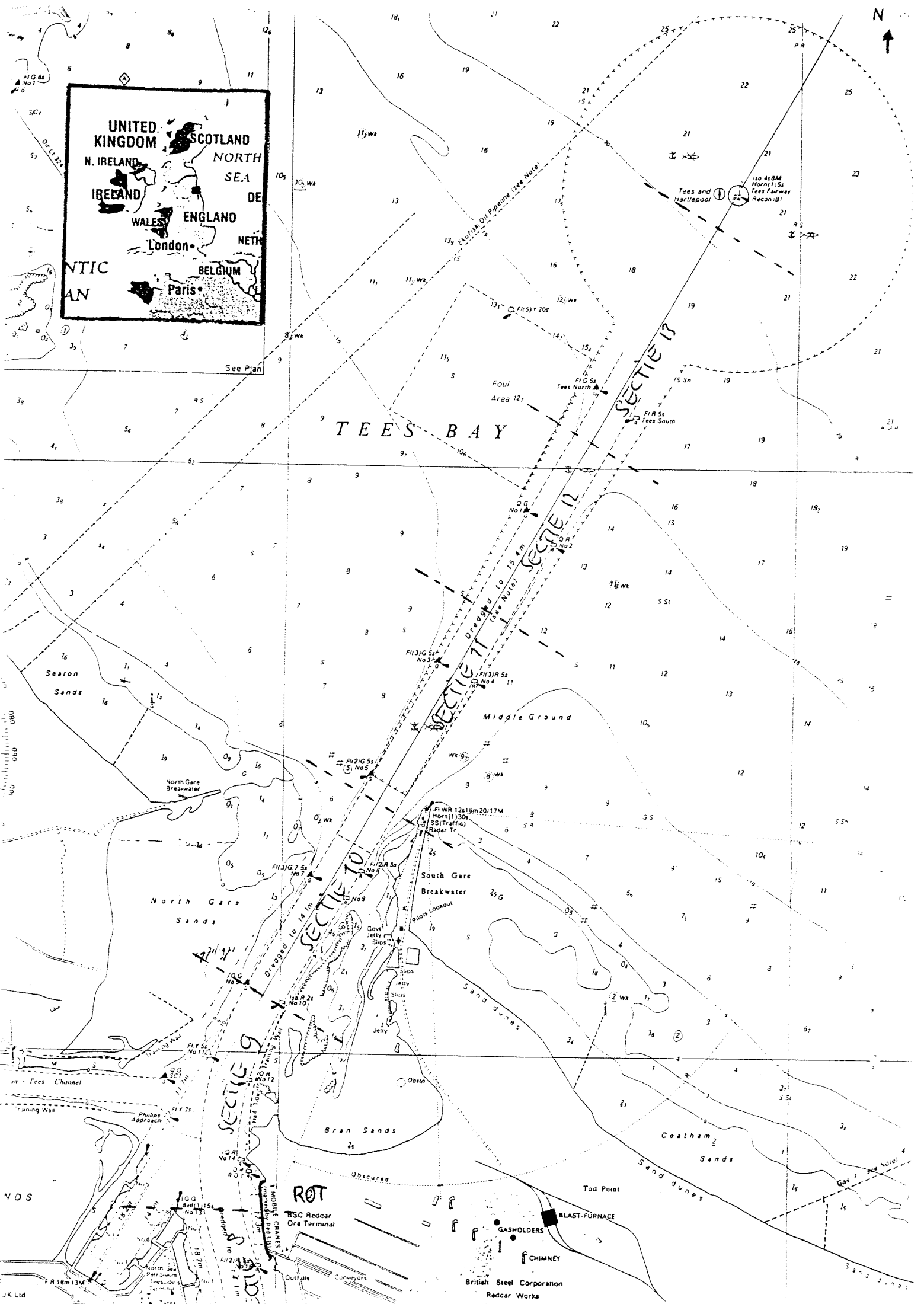
| chart | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 94 | totaal/chart | gem. |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|---------|
| 8 | 164162 | 183618 | 142953 | 152573 | 121086 | 137318 | 158050 | 156505 | 150060 | 192249 | 173756 | 115588 | 158355 | 175082 | 152169 | 153343 | 2486867 | 155429 |
| 9 | 120745 | 109321 | 246990 | 271893 | 210279 | 359743 | 190407 | 319639 | 221475 | 200420 | 175106 | 195515 | 158331 | 195364 | 89144 | 76303 | 3140675 | 196292 |
| 10 | 128016 | 136338 | 113396 | 105748 | 134140 | 124573 | 167103 | 128768 | 123103 | 109360 | 96417 | 124764 | 143721 | 102384 | 109353 | 60547 | 1907731 | 119233 |
| 11 | 128017 | 183214 | 83790 | 83318 | 71552 | 98064 | 181249 | 145966 | 108843 | 102058 | 176819 | 214536 | 103512 | 91033 | 110304 | 107971 | 1990246 | 124390 |
| 12 | 188097 | 137749 | 40529 | 44707 | 41415 | 55461 | 109141 | 104423 | 57551 | 69928 | 134706 | 174936 | 64266 | 135619 | 64139 | 57027 | 1479694 | 92480.9 |
| totaal/jr | 729037 | 750240 | 627658 | 658239 | 578472 | 775159 | 805950 | 855301 | 661032 | 674015 | 756804 | 825339 | 628185 | 699482 | 525109 | 455191 | 1.1E+07 | 687826 |



Figuur VI.2. Baggerhoeveelheden per sectie, in verschillende jaren

De secties 8, 9, en 10 bevinden zich in de river channel

De secties 11 en 12 liggen in de approach channel



TEES BAY

SECTION 11
Dredged to 15.4 m

SECTION 13

SECTION 10
Dredged to 14 m

SECTION 9
Dredged to 14 m

ROT

British Steel Corporation
Redcar Works