

Een onderzoek naar
DE AANSLIBBING VAN DE HAVEN VAN COLIJNSPLAAT

P. J.M. Brandjes
C.C.O. N. Granneman

Technische Hogeschool Delft
Afdeling der Civiele Techniek
Vakgroep Kustwaterbouwkunde

Een onderzoek naar

DE AANSLIBBING VAN DE HAVEN VAN COLIJNSPLAAT

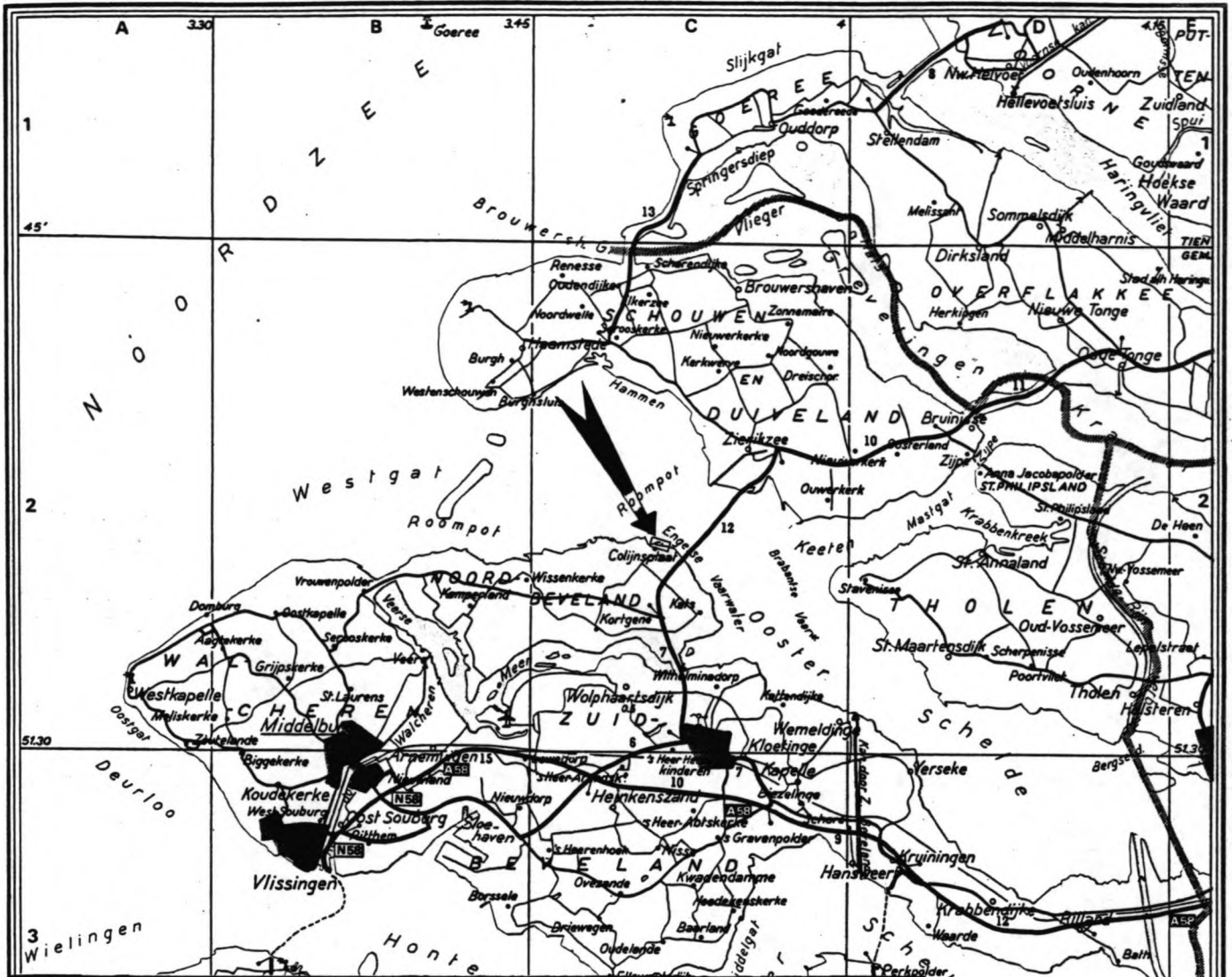
verslag

Afstudeerwerk van : P.J.M. Brandjes
C.C.O.N. Granneman

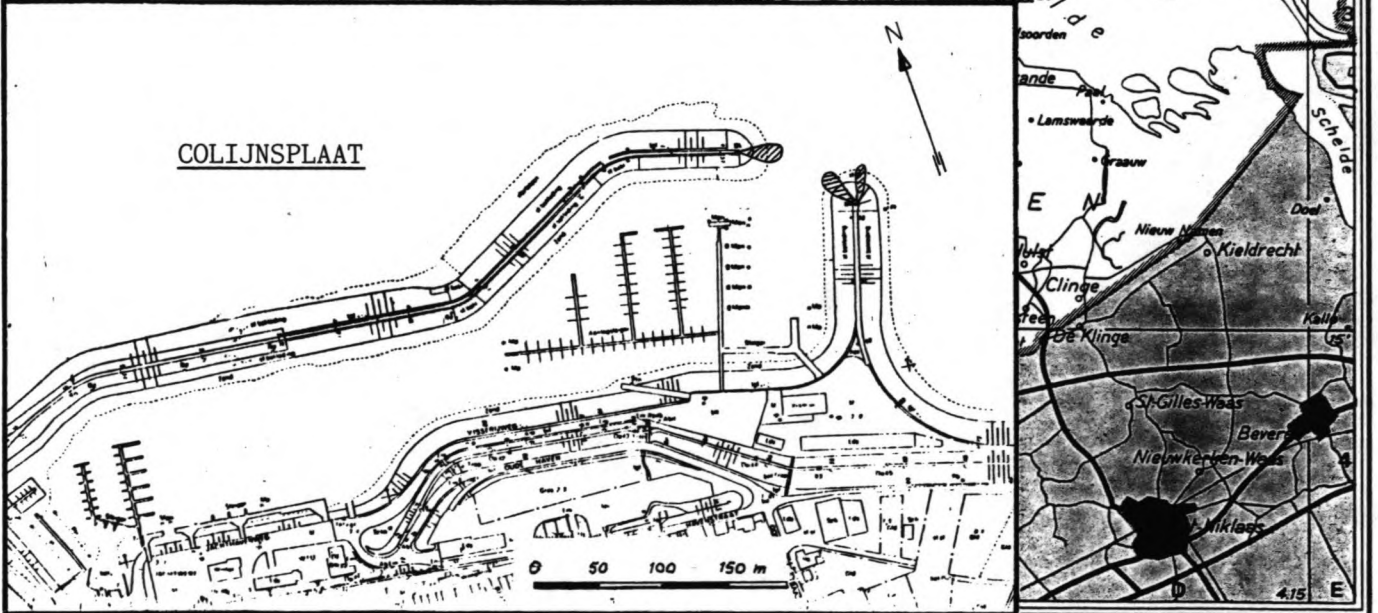
Onder begeleiding van: Prof.dr.ir. E.W.Bijker

Delft, april 1984.

ZEELAND



COLIJNSPLAAT



0 50 100 150 m

SCHAAL 1 : 350.000

KINGFABRIEKEN TONNEMA B.V. SNEEK

	INHOUDSOPGAVE	pagina
	VOORWOORD	
	SAMENVATTING	1
1	INLEIDING	
1.1	Geschiedenis van de haven	7
1.2	Probleemstelling	8
1.3	Het onderzoek	9
2	GEOTECHNISCH ONDERZOEK	
2.1	Algemeen	10
2.2	Sedimentconcentratiemetingen	15
2.3	Bodemmonsters	17
2.4	Resultaten	19
2.5	Conclusie	20
3	DE INVLOED VAN DICHTHEIDSSROMEN OP DE AANSLIBBING	
3.1	Inleiding	21
3.2	Spuigegevens	21
3.3	Dichtheidsstromen in de haven	22
3.4	Berekening	26
3.5	Conclusie	32
4	HET MODEL	
4.1	Inleiding	33
4.2	Het ontwerpen van het model	33
4.2.1	inleiding	33
4.2.2	reproductie van hydraulische verschijnselen	35
4.2.3	de schaal en de begrenzing van het model	39
4.2.4	de bodem van het model	40
4.2.5	conclusie	41

4.3	Het modelonderzoek	42
4.3.1	inleiding	42
4.3.2	de wijze van onderzoek en presentatie	42
4.3.3	beschrijving van het stroombeeld rond de haven	43
4.4	Golfklimaat en het onderzoek naar golfdoordringing	50
4.4.1	inleiding	50
4.4.2	algemeen	50
4.4.3	resultaten	52
5	CONCLUSIE	
5.1	Oorzaak van de aanslibbing	56
5.2	Oplossing	57
5.3	Golfdoordringing	59
6	AANBEVELINGEN	60
	LITERATUUR	62

BIJLAGEN

I	SLIBCONCENTRATIEMETINGEN
II	STROOMBEELDEN IN HET MODEL
III	STROOMMETINGEN IN HET MODEL
IV	GOLFDOORDRINGING

VOORWOORD

Niet lang na de oplevering van de haven van Colijnsplaat in Zeeland in 1981, bleken er problemen op te treden in de haven. Ten eerste de golfdoordringing. Deze is na de aanleg van twee blokkendammetjes gereduceerd. Ten tweede de onverwacht grote aanslibbing van de haven. Voor de aanslibbing was op korte termijn geen oplossing te vinden. Er werd daarom advies gevraagd aan Prof. Dr. Ir. E.W. Bijker, hoogleraar in de kustwaterbouwkunde aan de TH Delft.

Dit leidde tot een onderzoek in de vorm van afstudeerwerk van Piet Brandjes en Carol Granneman, onder begeleiding van Prof. Bijker. Het onderzoek richt zich vooral op de aanslibbing van de haven, waarbij gebruik is gemaakt van een hydraulisch schaalmodel, schaal 1:40.

Naast dit onderzoek, dat hoofdontwerp is van beide studenten, ontwerpt Piet Brandjes een baggersysteem voor snel aanslibbende kleine havens, begeleid door Prof. Ir. J. de Koning.

Carol Granneman geeft in zijn deelontwerp een vergelijking tussen een numeriek model en het bovengenoemde schaalmodel. Dit onder begeleiding van Prof. Dr. Ir. C.B. Vreugdenhil.

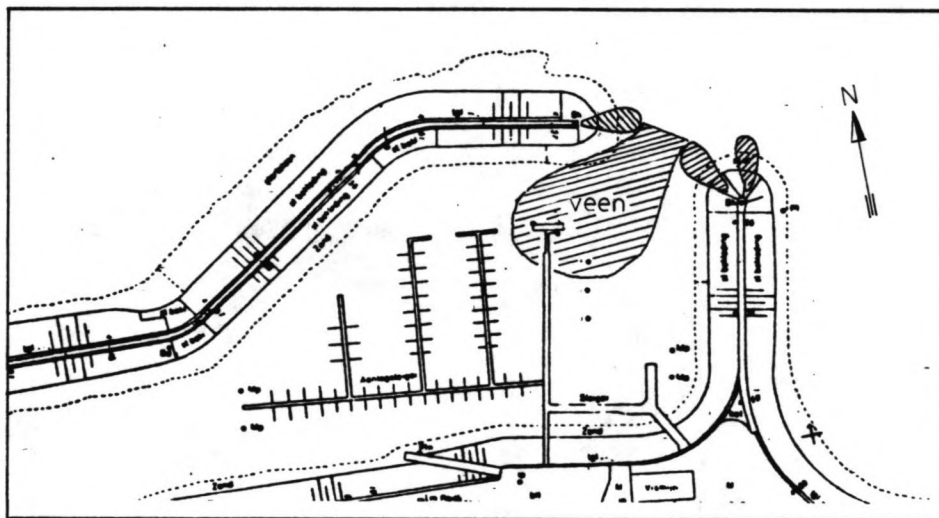
Delft,
april 1984

SAMENVATTING

Inleiding

Uit gegevens over het jaar 1982 blijkt, dat 60000 m³ materiaal gebaggerd is uit de haven van Colijnsplaat. In dat jaar is in zowel de voorhaven als de achterhaven gebaggerd. (zie figuur 1)

Uit het bodemonderzoek is gebleken, dat er naast zand en slib ook veen in de haven voorkomt. De globale plaats is eveneens aangegeven in figuur 1.



Figuur 1. Haven van Colijnsplaat met de plaats van het veen.

De concentratie veen in dit gebied loopt uiteen van 75% veen t.o.v. 25% zand en slib tot 20% veen t.o.v. 80% zand en slib. Bij verdere berekeningen is een gemiddelde **aangenomen** van 30 à 40% veen.

Door deze combinatie van zand, slib en veen wordt de soortelijke massa van het materiaal lager dan de soortelijke massa van alleen zand en slib. Als verder wordt uitgegaan van een havenoppervlak van 75000 m³ en een getijverschil van 3m, dan zou de concentratie vaste stof in het instromende water rond de 200 mg/l moeten zijn om de grote aanslibbing uit komvulling te verklaren.

De gemeten concentraties liggen achter 1.5 à 2 maal lager. De normale komvulling kan dus niet de oorzaak zijn van de grote aanslibbing.

Een andere oorzaak van de overmatige aanslibbing zou de extra hoeveelheid water kunnen zijn, die de haven intrekt als gevolg van de dichtheidsstroming. Deze ontstaat door het spuien van zoet water in de haven. Voor een schatting van de aanslibbing ten gevolge hiervan zijn de volgende twee conservatieve veronderstellingen gedaan:

1. de berekening is uitgevoerd voor één van de natste maanden van 1983: april.
2. er is een groter dichtheidsverschil verondersteld, dan in werkelijkheid op zal treden.

Omdat de oorzaak van de overmatige aanslibbing niet verklaard kan worden uit een normale komvulling of uit dichtheidsstromen, is de oorzaak gezocht in het stroombeeld in en om de haven.

Dit stroombeeld werd onderzocht in een hydraulisch model (schaal 1:40) dat gebouwd is in het laboratorium voor Vloeistofmechanica te Delft.

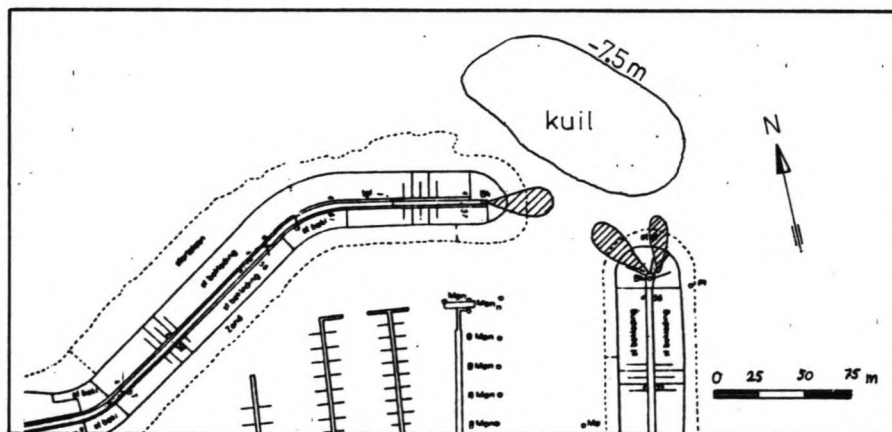
Vloedstroom

Uit dit onderzoek bleek, dat er bij vloed een grote en sterke neer vòòr de havenmond ontstaat als gevolg van een diepe kuil voor de haven.

Deze neer drukt de hoofdstroom naar buiten. De kromming van de stroomlijnen wordt daardoor groter, waardoor de onderstroom, die naar de binnenzijde van de bocht is gericht, wordt versterkt. Daarnaast wordt deze onderstroom versterkt door een extra vulstroom van de diepe kuil. Op deze manier wordt extra materiaal voor de havenmond en in de neer gebracht. Door een continue uitwisseling van het sedimentrijke water in de neer en het sedimentarme water in de haven, wordt extra sediment in de haven gebracht.

In eerste instantie is gezocht naar een verbetering van het stroombeeld door één of meer blokkendammetjes te verwijderen of te verplaatsen. (bijlage II, figuren II.6 t/m II.18; de figuren II.1 t/m II.5 zijn de ijkingen van het model.) Al deze veranderingen bleken echter weinig of geen effect te hebben.

Wél effectief is het volstorten van de kuil, waarvan de omvang is aangegeven in figuur 2. De neer is nu praktisch afwezig, de stroombanen liggen nu dicht bij de blokkendammetjes en ook de kromming van de stroombanen is kleiner. Ook de hoek, die de onderstroom maakt met de bovenstroom is nu kleiner dan in het prototype. (vergelijk bijlage III, figuur III.1 en figuur III.7)



Figuur 2. Plaatsaanduiding van de kuil.

Bovendien is het in- en uitvaren van de haven eenvoudiger, doordat de neer niet meer voor de havenmond draait.

Om het in- en uitvaren nog meer te vereenvoudigen is het mogelijk de twee dammetjes op de oostelijke havendam te verwijderen.

In de haven aan de binnenkant van de oostelijke havendam moet dan wel een ander blokkendammetje gebouwd worden om golfdoordringing tegen te gaan.

De besparing zal ongeveer $1/3$ van de huidige baggerkosten zijn.

Een andere maar tegelijk ook duurdere oplossing is een grote dam als verlengstuk van de westelijke havendam, die uitgebouwd zou moeten worden tot de oostelijke dam. Deze dam zal gebouwd moeten worden, nadat de kuil dichtgestort is. Het grote voordeel van deze oplossing is, dat er nu een veel grotere neer ontstaat achter de oostelijke havendam.

De haven wordt nu gevuld vanuit deze neer. De vulstroom zal minder sediment bevatten, omdat het sediment, dat in de neer terecht komt, afgezet wordt in het schaduwgebied ten oosten van de haven.

De besparing, die deze oplossing op zal leveren, zal ongeveer de helft bedragen van de huidige baggerkosten.

In bovenstaande alternatieven is uitgegaan van een kuilinhoud van 15000 m^3 . Deze inhoud is bepaald aan de hand van de meest recente diepteloding bij aanvang van het onderzoek. De huidige inhoud van de kuil zal dus nog exact bepaald moeten worden.

Ebstroom

De bij vloed gevonden verbeteringen zijn ook onderzocht bij eb om zodoende na te gaan of er bij eb geen ongunstig stroombeeld ontstaat.

In de situatie, zoals deze nu in het prototype aanwezig is, is er nauwelijks sprake van richtingsverschillen tussen onder- en bovenstroom. Er ontstaat een kleine en zwakke neer juist ten noorden van het westelijke blokkendammetje. Hoewel de stroomsnelheden bij ebstroom gemiddeld hoger liggen dan bij de vloedstroom, zijn de stroomsnelheden rond het centrum van de kuil bij de bodem bij de vloedstroom hoger dan bij de ebstroom. (vergelijk figuur III.1 en III.2 met figuur III.3)

Ook na het dichtstorten van de kuil treden er geen noemenswaardige richtingsverschillen op tussen boven- en onderstroom. De stroom trekt dicht langs de havenmond, waardoor de snelheden zo'n 20% hoger worden. Dit maakt in- en uitvaren bij eb wat lastiger.

In het geval dat de twee oostelijke blokkendammetjes vervangen zijn door een blokkendammetje aan de binnenzijde van de oostelijke havendam, is het stroombeeld in grote lijnen identiek met de hierboven beschreven situatie. Het voordeel is echter wel, dat de snelheid in de havenmond wat afneemt en dat er meer ruimte beschikbaar is om te manoeuvreren.

De situatie met de verlengde westelijke havendam zal vergrote stroomsnelheden ten gevolge hebben ten noorden van deze dam. Er moet rekening gehouden worden met stroomsnelheden van 1.30 m/sec.

Golfoordringing

Naast uitgebreide onderzoeken naar het stroombeeld bij zowel eb- als vloedstroom, is ook een onderzoek gedaan naar de golfdoordringing bij de verschillende oplossingen en de oorspronkelijke situatie zonder blokkendammetjes.

Er is uitgegaan van een golf van 1.4 m. Deze golfhoogte komt voor bij windkracht 9 uit noordelijke richting.

De oorspronkelijke situatie zonder blokkendammetjes geeft het slechtste beeld te zien, met uitschieters in de haven van 70% van de oorspronkelijke buiten aanwezige golf. Dat wil zeggen, dat er bij windkracht 9 met een golf buiten de haven van 1.4 m er in de haven golven voorkomen met een hoogte van 1 m. Golfhoogte van 0.6 m zijn meer regel dan uitzondering.

Bij de situatie met blokkendammetjes, dus het prototype, treedt al direkt een grote verbetering op. Nu zijn golven van 50% (0.7 m) als uitschieters gemeten. De gemiddelde golfhoogte in de haven is nu ongeveer 30% (0.42 m). De golfhoogte in de haven is erg afhankelijk van de plaats in de haven.

Tussen deze situatie en de situatie, waarbij de kuil dichtgestort is, treden geen noemenswaardige verschillen op. Ook de situatie, waarbij de oostelijke blokkendammetjes verwijderd zijn en aan de binnenzijde van de oostelijke havendam een blokkendammetje geplaatst is, geeft nauwelijks verschillen

De verlengde noordelijke havendam geeft een zeer grote verbetering. De maximale golfhoogte in de haven is nu 20% (0.28 m), terwijl de gemiddelde golfhoogte nauwelijks boven de 10% (0.14 m) uitkomt.

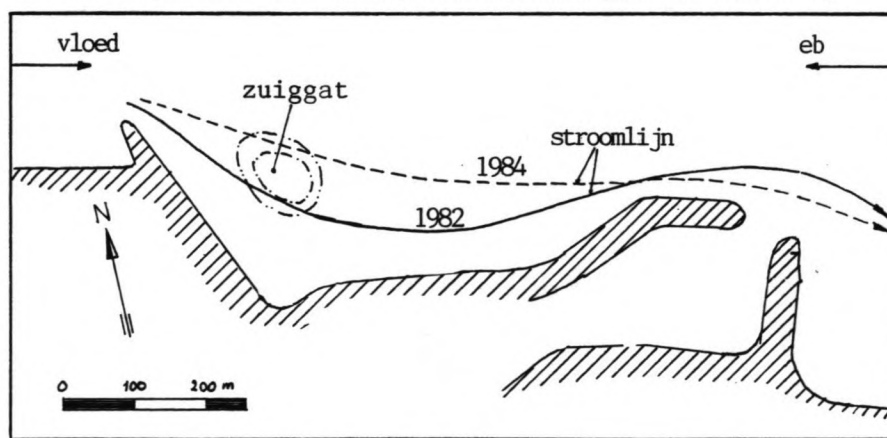
1 INLEIDING

1. 1 Geschiedenis van de haven

De haven van Colijnsplaat op Noord-Beveland is een combinatie van een vissershaven en een jachthaven.

In 1979 werd de bestaande haven uitgebreid als onderdeel van de dijkverhogingen die op Noord-Beveland werden uitgevoerd. Vanwege de toename van de vraag naar ligplaatsen in de jachthaven en de uitbreiding van de faciliteiten voor de vissers, was het noodzakelijk de haven te vergroten.

Door de bouw van de haven werd de bodemligging in de omgeving van de haven beïnvloed. Voor het opbouwen van de nieuwe havendammen werd zand gezogen uit het gebied ten westen van de haven. Dit had tot gevolg dat daar een verdieping optrad tot 13 m terwijl de diepte op deze plaats 5 à 6 m was. Dit zuiggat trok bij vloed veel water naar zich toe. Verder stroomafwaarts ontmoette dit water de plotselinge 'ondiepte' als gevolg van het opbouwen van de nieuwe havendammen. Hierdoor trad een sterke contractie, met sterke uitschuring en een algehele verdieping ten noorden van de haven op.



Figuur 1. 1 Bodemligging in de loop der jaren.

Als in 1980 de nieuwe dammen zijn opgespoten, wordt het zuigen gestopt.

Het zuig gat gaat zich vullen, waardoor de 7.5 m lijn naar het noorden verplaatst. Tegelijkertijd wordt het gehele gebied ten noorden van de haven weer ondieper, omdat er minder water voorbij de haven trekt. Vooral in de periode van 1980 en 1982 wordt er veel zand verplaatst naar het zuig gat en de verdieping voor de haven.

Het proces van verontdiepen gaat in 1983 nog steeds door, waardoor de invloed van de dammen op de hoofdstroom steeds minder wordt. Het gebied ten westen van de haven komt steeds meer naar voren en de hoofdstroom trekt steeds meer vanuit het noorden langs de haven. De diepe kuil voor de havenmond verplaatst daardoor meer naar het zuidoosten. De evenwichtsligging van de bodem lijkt inmiddels (maart 1984) redelijk bereikt.

1. 2 Probleemstelling

Niet lang na de oplevering van de haven in 1981 traden er problemen op. Bij een storm uit noordelijke richting bleek de golfdoordringing groot te zijn, waardoor jachten en uitrusting van de haven schade opliepen.

Op korte termijn zijn toen blokkendammetjes op de koppen van de havendammen geplaatst. Eén op de westelijke en één op de oostelijke dam.

Later is daar nog een blokkendammetje bij geplaatst.

Deze dammetjes bleken de golfdoordringing sterk te verminderen.

Niet lang daarna kwam een tweede probleem aan het licht, namelijk de grote aanslibbing die in 1982 2 á 3 maal zo groot was als uit een normale komvulling van de haven is te verwachten.

1. 3 Het onderzoek

Om een verklaring en zo mogelijk een oplossing voor dit aanslibbingsprobleem te vinden, werd hiernaar op verzoek van de gemeente Kortgene, een onderzoek verricht door studenten van de afdeling Civiele Techniek van de TH Delft als onderdeel van hun afstudeerwerk.

In het onderzoek wordt in eerste instantie gezocht naar een verklaring uit de komvulling en uit de dichtheidsstromingen, die als gevolg van het spuien van zoet water in de haven voorkomen. Dit wordt respectievelijk in hoofdstuk 2 en 3 beschreven.

Hieruit is echter geen verklaring voor de grote aanslibbing te vinden, zodat vervolgens een oorzaak is gezocht in het stroombeeld rond de haven.

Om deze mogelijkheid te kunnen onderzoeken is een hydraulisch schaalmodel (schaal 1:40) gebouwd.

Hierin is door middel van stroommetingen een goede indruk te krijgen van eventuele hydraulische verschijnselen die op de aanslibbing van invloed zijn.

Dit onderzoek wordt in hoofdstuk 4 beschreven, waarin ook aandacht wordt besteedt aan de golfdoordringing die in hetzelfde model is onderzocht.

Het onderzoek leidt tot conclusies en aanbevelingen die in hoofdstuk 5 en 6 worden beschreven.

2 GEOTECHNISCH ONDERZOEK

2.1 Algemeen

Gegevens over het baggeren vermelden een hoeveelheid baggerwerk over 1982 van 60000 m³.

Om de volume dichtheid van het gebaggerde materiaal te bepalen is er een drietal monsters in de haven en de havenmond genomen en nader onderzocht. (tabel 2.1)

Monster	Plaats	Datum	Volume dichtheid ρ_b (kg/m ³)	hoeveelheid vaste stof (kg/m ³)
1	haven nabij mond	30-5-1983	1245	450
2	havenmond	28-10-1983	1260	380
3	voorhaven	28-10-1983	1375	570

Tabel 2.1 Volume dichtheid van het gebaggerde materiaal.

De hoeveelheid vaste stof per m³ is voor het monster 1 in het laboratorium bepaald door droging van het gebaggerde monster. De hoeveelheid vaste stof van de monsters 2 en 3 zijn als volgt berekend, nadat in het laboratorium de volume dichtheid van het gebaggerde materiaal vastgesteld is.

In deze berekening is:

$$\rho_w = \text{dichtheid zout water (= 1027 kg/m}^3 \text{)}$$

$$\rho_s = \text{soortelijke dichtheid slib (= 2650 kg/m}^3 \text{)}$$

$$\rho_b = \text{volume dichtheid gebaggerde materiaal (kg/ m}^3 \text{)}$$

$$x = \text{hoeveelheid vaste stof in 1 m}^3 \text{ (kg/m}^3 \text{)}$$

Algemeen geldt:

volume van de vaste stof in 1 m³ gebaggerd materiaal:

$$\frac{x}{2650} \text{ m}^3$$

volume van het water in 1 m³ gebaggerd materiaal:

$$\left(1 - \frac{x}{2650}\right) \text{ m}^3$$

massa van de vaste stof:

$$\rho_s * \frac{x}{2650} = x \text{ kg}$$

massa van het water:

$$\rho_w * \left(1 - \frac{x}{2650}\right) \text{ kg}$$

totale massa van 1 m³ gebaggerd materiaal:

$$\rho_b * 1 \text{ m}^3 = x + \rho_w * \left(1 - \frac{x}{2650}\right) \text{ kg}$$

$$x = \frac{\rho_b - \rho_w}{1 - \frac{\rho_w}{2650}} = \frac{\rho_b - \rho_w}{\frac{2650 - \rho_w}{2650}} = \frac{\rho_b - \rho_w}{\Delta}$$

$$\text{waarin } \Delta = \frac{2650 - \rho_w}{2650} = \frac{2650 - 1027}{2650} = 0.612$$

voor monster 2 geldt: de hoeveelheid vaste stof is:

$$x = \frac{1260 - 1027}{0.612} = 380 \text{ kg/m}^3$$

voor monster 3 geldt: de hoeveelheid vaste stof is:

$$x = \frac{1375 - 1027}{0.612} = 570 \text{ kg/m}^3$$

De hoeveelheid vaste stof van monster 1 is relatief hoger dan de hoeveelheden vaste stof van de monsters 2 en 3, omdat in de berekening van de monsters 2 en 3 geen rekening is gehouden met de aanwezigheid van veen in de monsters.

Er wordt een gemiddelde hoeveelheid vaste stof van 450 kg/m^3 aangenomen. Dus als per jaar 60000 m^3 gebaggerd wordt dan zit daar $60000 * 0.450 = 27000$ ton vaste stof bij.

Als uitgegaan wordt van een gemiddeld getijverschil van 3 m en een havenoppervlak van 75000 m^3 dan gaat er per getij 225000 m^3 water de haven in en uit. Over een heel jaar gerekend geeft dit een totale hoeveelheid water, die de haven in en uit is gegaan van $1.575 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ (700 getijden).

Bij de berekeningen, zoals deze hier uitgevoerd zijn, wordt geen rekening gehouden met invloeden van dichtheidsstromen. Met deze totale hoeveelheid water moet bovengenoemde hoeveelheid vaste stof van 27000 ton naar binnen zijn gebracht, hetgeen overeenkomt met een concentratie per liter van:

$$\frac{27000000}{1.575 \cdot 10^8} = 171 \text{ mg/liter}$$

Er moet echter een kanttekening geplaatst worden bij de bepaling van de dichtheid van het gebaggerde materiaal en wel om twee redenen:

1. de monsters, die hier genomen zijn, zijn uit de bovenste laag van de bodem gehaald, dus de laag met de kleinste dichtheid. De grijper van het baggerschip neemt een hap uit dieper gelegen lagen. Dus een grotere dichtheid.
2. als eenmaal het materiaal aan boord van het baggerschip is, bezinkt het materiaal in de laadruimte en zal ook weer een grotere dichtheid krijgen dan gemeten is bij bovengenoemde monsters.

Om een idee te krijgen, wat bij grotere dichtheden de vereiste concentraties van het naar binnen trekkende water moeten zijn, worden de volgende mogelijkheden bekeken in tabel 2.2.

Stel hoeveelheid vaste stof		vereiste concentratie van het naar binnen trekkende water
per m ³	per jaar	
600 kg/m ³	36000 ton	229 mg/l
700 kg/m ³	42000 ton	267 mg/l
800 kg/m ³	48000 ton	305 mg/l
900 kg/m ³	54000 ton	343 mg/l
1000 kg/m ³	60000 ton	381 mg/l
1100 kg/m ³	66000 ton	419 mg/l
1200 kg/m ³	72000 ton	457 mg/l

Tabel 2.2 Vereiste concentratie bij verschillende dichtheden.

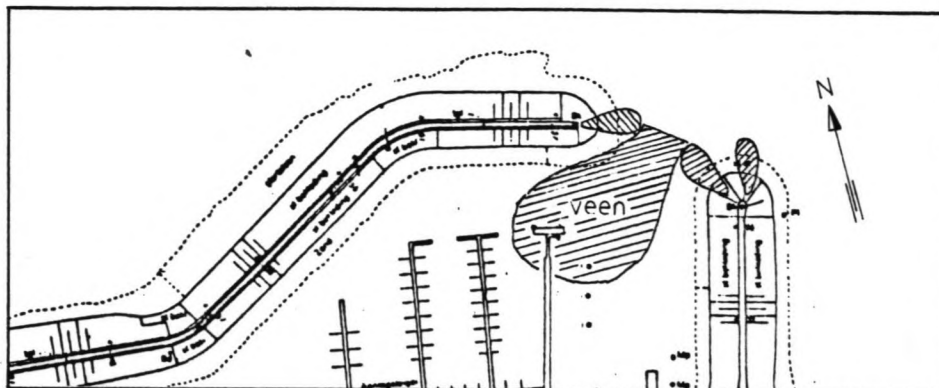
De meest waarschijnlijke hoeveelheid vaste stof, die zich per m³ in het laadruim bevindt, zal tussen de 500 en 800 kg/m³ liggen. Dit komt overeen met een vereiste concentratie vaste stof, die naar binnen gebracht wordt van 200 tot 300 mg/l.

Bij bovenstaande berekeningen moet een volgende correctie aangebracht worden. In het gebaggerde materiaal bevindt zich op sommige plaatsen én op sommige tijden veen.

In het laboratorium is de soortelijke massa bepaald van nat veen: 1200 kg/m³. Er is verder uitgegaan van een soortelijke massa van zand en slib van 2650 kg/m³.

Bij de bodemonsters op verschillende plaatsen in de haven zijn zeer verschillende combinaties van hoeveelheden veen en slib/zand aangetroffen. Van totaal geen veen achter in de haven tot 75% veen in de haven nabij de havenmond.

De globale plaats, waar het meeste veen is aangetroffen, is ingetekend in figuur 2.1.



Figuur 2.1 Plaats van het veen in de haven.

Ook nu zullen verschillende mogelijkheden onderzocht worden. Hierbij wordt uitgegaan van 0.25 m^3 vaste stof per m^3 gebaggerd materiaal. Een overzicht hiervan wordt gegeven in tabel 2.3

samenstelling	$\rho_{\text{gem.}}$	hoeveelheid vaste stof	vereiste conc. van het naar binnen trekkende water.
100% zand	2650 kg/m^3	662 kg/m^3	250 mg/l
80% zand - 20% veen	2360 kg/m^3	590 kg/m^3	225 mg/l
70% zand - 30% veen	2215 kg/m^3	554 kg/m^3	211 mg/l
50% zand - 50% veen	1925 kg/m^3	480 kg/m^3	183 mg/l
25% zand - 75% veen	1560 kg/m^3	390 kg/m^3	149 mg/l

Tabel 2.3 vereiste concentratie bij verschillende samenstellingen

Uit tabel 2.3 blijkt, dat zodra er veen meegebaggerd wordt, om een bepaalde afzetting te krijgen, de vereiste concentratie van het naar binnen trekkende water afneemt met 14 mg/l voor elke 10% veen, dat er meer in het gebaggerde materiaal aanwezig is. Aangenomen wordt, dat een redelijke waarde voor het percentage veen tussen de 30 en 40% ligt, hetgeen overeenkomt met een vereiste concentratie van het naar binnen trekkende water van 200 tot 210 mg/l .

2.2. Sedimentconcentratiemetingen (bijlage I. figuren I.1 t/m 1.7)

In de loop van 1983 zijn 3 sedimentconcentratiemetingen verricht:

op 1 juni : rustig weer, zuidelijke wind.

op 21 november : NW wind, windkracht 4 à 5.

op 1 december : 0 wind, windkracht 3.

Voor de plaatsen van de meetpunten op deze dagen, zie bijlage I, figuur 1.

1 juni : in de wervelstraat ten noorden van de westelijke havendam is gemeten tussen 4h en 2h 30 vóór HW en op 1h 50 vóór HW.

De gemiddelde sedimentconcentratie in de eerste meetperiode is gemiddeld ongeveer 40 mg/l; dit is de concentratie zand + slib.

Op 1h 50 vóór HW is de concentratie zand + slib 75 mg/l. Er valt hierbij op, dat de sedimentconcentratie groter dan 50µm bij de bodem oploopt tot 160 mg/l.

In de havenmond is gemeten tussen 3h 30 en 2h 30 vóór HW. De sedimentconcentratie loopt in deze tijd op met ongeveer 15 mg/l. De gemiddelde sedimentconcentratie is ongeveer 65 mg/l.

(bijlage I, figuren I.2 t/m I.6)

In tabel 2.4 worden de sedimentconcentraties gegeven op tijden, waarop tegelijkertijd gemeten werd in de wervelstraat en in de havenmond.

Tijd vóór HW	Sedimentconcentratie		
	wervelstraat	havenmond	neer
3h 20	32 mg/l	46 mg/l	
2h 40	43 mg/l	82 mg/l	
2h 20			68 mg/l

Tabel 2.4 Sedimentconcentraties

Het blijkt, dat de sedimentconcentratie in de havenmond telkens groter is dan in de wervelstraat. In de neer is gemeten op 2h 20 vóór HW en toen was daar de gemiddelde sedimentconcentratie 68 mg/l.

21 november Er ontstaat nu een geheel ander beeld. De invloed van de golven op de sedimentconcentraties wordt nu merkbaar. De metingen op deze dag zijn verricht tussen 2h en 1h vóór HW. Een globaal overzicht van de gemiddelde sedimentconcentraties is gegeven in tabel 2.5. Een meer uitgebreid overzicht is te vinden in bijlage I, figuur I.7.

Tijd vóór HW	Sedimentconcentratie		
	wervelstraat	havenmond	neer
2h		185 mg/l	
1h 45			245 mg/l
1h 30	270 mg/l		
1h	290 mg/l		

Tabel 2.5 Sedimentconcentraties

1 december De sedimentconcentraties liggen nu nog steeds hoger dan op 1 juni, maar liggen veel lager dan op 21 november. Er is nu gemeten van 1h 30 tot 0h 30 vóór HW.

Een globaal overzicht van de gemiddelde sedimentconcentraties is gegeven in tabel 2.6.

Een meer uitgebreid overzicht is te vinden in bijlage I, figuur I.7.

Tijd vóór HW	Sedimentconcentratie			
	wervelstraat	havenmond	neer	ver buiten haven
1h 30			120 mg/l	
1h 15		120 mg/l		
1h	60 mg/l			
0h 45	50 mg/l			
0h 30				70 mg/l

Tabel 2.6 Sedimentconcentraties

Uit bovenstaande gegevens blijkt, dat de sedimentconcentraties erg afhankelijk zijn van de weersomstandigheden en van de stroomsnelheid.

De maximale stroomsnelheid treedt op om ongeveer 1h tot 2h vóór HW. Ook bij de sedimentconcentraties blijken op deze momenten meestal de hoogste sedimentconcentraties op te treden.

Een moeilijkheid, die eventueel op zou kunnen treden bij het bepalen van de sedimentconcentraties, is het verschil in soortelijke massa tussen nat veen en gedroogd veen. Een sedimentconcentratiemeting met veel veen zal een relatief te lage waarde geven. Het bleek echter bij de sedimentconcentratiemetingen, dat er nauwelijks veen in de monsters voorkwam.

2.3 Bodemonsters

Evenals tussen de sedimentconcentratiemetingen zijn ook tussen de bodemonsters, die eind 1982 en in 1983 zijn genomen, grote verschillen.

De kuil vóór de havenmond is hier een goed voorbeeld van. Het gehele jaar door is de korrelgrootte van het zand in de kuil vrijwel constant, 160 tot 170 μm , maar de samenstelling van het monster is zeer verschillend, zoals uit tabel 2.7 valt op te maken.

Datum	Samenstelling	Getij
14-12-1982	50% zand - 50% veen	HW
14-12-1982	70% zand - 30% veen	LW
19- 1-1983	50% zand - 50% veen	LW
30- 5-1983	100% zand	1h vóór HW
28-10-1983	95% zand - 5% veen	1h vóór LW

Tabel 2.7 Samenstelling van de bodemonsters in de kuil.

Om te onderzoeken, hoe de toestand op de bodem is op de verschillende plaatsen in en om de haven op dezelfde dag, zijn de dagen 30 mei en 28 oktober in tabel 2.8 naar plaats en samenstelling van de monsters ingedeeld.

Datum	Samenstelling	Plaats
30- 5-1983	100% zand	kuil vóór de haven
	50% zand - 50% veen	haven nabij de mond
	100% zand/slib	voorhaven
28-10-1983	95% zand - 5% veen	kuil vóór de haven
	25% zand - 75% veen	havenmond
	90% zand/slib- 10% veen	voorhaven

Tabel 2.8 Samenstelling van de bodemonsters.

Het valt op, dat slechts in een klein gedeelte van de haven veen aanwezig is.

Dit gedeelte is: de havenmond, een deel van de vissersboxen en een klein deel van de eerste steiger van de jachthaven. Naast de grote variatie in het aandeel veen in de monsters, is er per plaats weinig variatie in de korrelgrootte, zoals uit tabel 2.9 blijkt.

Plaats	D ₅₀
kuil vóór de haven	160 µm
havenmond	130 µm
haven	kleiner dan 50 µm

Tabel 2.9 Korrelgrootte op verschillende plaatsen.

2.4 Resultaten

Het blijkt, dat het veen de storende faktor is in de juiste bepaling van de vereiste sedimentconcentraties. Het gehele jaar door zijn er vrij grote verschillen in de aanwezigheid van veen in de haven. Zoals in de eerste paragraaf van dit hoofdstuk is vermeld, wordt hier een percentage veen aangehouden van 30 tot 40%.

De berekende waarden van de vereiste sedimentconcentraties van het naar binnen trekkende water zijn 200 - 210 mg/l, gedurende de gehele vulperiode. Daar tegenover staan gemeten sedimentconcentraties van maximaal 290 mg/l, 1h vóór HW en op één dag met NW wind, windkracht 5. Op dezelfde dag, 2h vóór HW is er in de havenmond een sedimentconcentratie van 185 mg/l gemeten. Over een gehele vloedperiode gerekend zal de gemiddelde sedimentconcentratie nog lager liggen.

Er wordt een waarde aangehouden van 160 mg/l.

Op andere dagen met minder wind liggen de sedimentconcentraties nog lager, minder dan 100 mg/l gemiddeld over een vloedperiode.

2.5 Conclusie

Uit een komvulling of een komvulling samen met dichtheidsstromen (zie hoofdstuk 3) is de hoeveelheid baggerwerk niet te verklaren. De vereiste sedimentconcentratie van het naar binnen trekkende water blijkt 1.5 à 2 maal zo groot te zijn als de gemeten sedimentconcentraties buiten de haven, en groter dan de sedimentconcentratie in de havenmond.

Dit verschil kan worden veroorzaakt door de volgende twee factoren:

1. op andere dagen dan de meetdagen was de sedimentconcentratie hoger.
2. er treedt continue uitwisseling op tussen het sedimentrijke water uit de neer en het sedimentarme water uit de haven, waardoor veel meer sediment de haven binnenkomt dan door komvulling alleen.

3. DE INVLOED VAN DICHTHEIDSTROMEN OP DE AANSLIBBING

3. 1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt berekend welk deel van de aanslibbing wordt veroorzaakt door het gemaal 'De Valle' en de spuisluis. De berekening wordt gedaan voor de maand april 1983. Dit was één van de natste maanden van dat jaar, waarbij veel zoet water uit de polder in de haven werd gespuid.

In deze maand mag dan ook, ten gevolge van dichtheidsstromen, op meer aanslibbing gerekend worden dan in de andere maanden van dat jaar.

3. 2 Spuigegevens

Uit de maalstaten over de maand april 1983 kan een indruk worden verkregen van de hoeveelheid zoet water, die door het gemaal is uitgeslagen.

Het gemaal heeft twee pompen, die ieder afzonderlijk $110 \text{ m}^3/\text{min}$ kunnen verwerken. In de maand april 1983 is er 1 miljoen m^3 zoet water door deze pompen uitgeslagen, ervan uitgaande, dat de pompen op volle capaciteit draaien tijdens de bedrijfsuren. Hierbij werd totaal 111 uur tijdens eb en 48 uur tijdens vloed gemalen.

Uit de waterstanden in de polder en in de haven, die op de maalstaten worden vermeld, kan globaal berekend worden hoeveel water er door de spuisluis wordt afgevoerd.

Aangezien er in de spuisluis een stuw op NAP -0.80 m staat, is een eerste voorwaarde voor het lozen via de spuisluis, dat het polderwater hoger staat dan NAP -0.80 m .

Een tweede voorwaarde voor het lozen via de spuisluis is een waterstand in de haven, die lager moet zijn dan de waterstand

in de polder. Uit de maalstaten blijkt, dat er slechts enkele malen in april 1983 aan deze voorwaarden wordt voldaan.

Er wordt echter aangenomen, dat er bij elk getij 3 uur lang door de spuisluis wordt geloosd, met een debiet zoals hieronder wordt berekend.

Als wordt aangenomen, dat de stuw als een volkomen overlaat werkt, dan geldt:

$$Q = 2/3 * B * H * \sqrt{2/3 * g * H}$$

waarin: B = dagwijdte van de spuisluis = 2.42 m

H = gemiddelde waterhoogte boven de stuw = 0.2 m

Q = spuidebiet (m³/sec)

uit deze berekening volgt: Q = 0.37 m³/sec

In de maand april 1983 werd er 240000 m³ door de spuisluis en 1000000 m³ door het gemaal geloosd.

3. 3 Dichtheidsstroming in de haven

Doordat het zoete water over het zoute water de haven uitstroomt, ontstaat er een zoute onderstroom die de haven in- of uittrekt afhankelijk van de snelheid t.g.v. de komvulling van de haven en de dichtheidsstroming.

Om een indruk te krijgen van de hoeveelheid sediment, die t.g.v. dichtheidsstroming de haven binnenkomt, is er een klein computerprogramma geschreven, dat zeer globaal de hoeveelheden sediment berekent per getij.

Inhoud van het programma:

Er worden telkens twee opeenvolgende getijcycli beschouwd. In de eerste getijcyclus, die loopt van HW tot het volgende HW, wordt de haven als gesloten beschouwd en treedt volledige menging op tussen het geloosde zoete water en het in de haven aanwezige zoute water.

De op deze manier ontstane dichtheid van het water in de haven wordt als volgt berekend:

$$\rho_{\text{haven}} = \frac{\text{hoeveelheid geloosd water} * \rho_{\text{zoet}} + \text{haveninhoud} * \rho_{\text{zout}}}{\text{hoeveelheid geloosd water} + \text{haveninhoud}}$$

In de daarop volgende getijperiode, die eveneens loopt van HW tot het volgende HW, wordt de haven als geopend beschouwd en zal er een dichtheidsstroom ontstaan t.g.v. een dichtheidsverschil tussen het water in en buiten de haven.

De snelheid t.g.v. dit dichtheidsverschil wordt berekend volgens:

$$u_d = 0.35 * \sqrt{\delta * g * d}$$

waarin $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$

$d =$ diepte van de havenmond

$$\delta = \frac{\rho_{\text{zout}} - \rho_{\text{haven}}}{\rho_{\text{haven}}}$$

De haven wordt gevuld of geledigd door het getij. Het getij wordt hierbij onderverdeeld in een aantal tijdstappen, die van te voren gekozen moeten worden. (hier is een tijdstap van 0.1 uur genomen)

Omdat u_d afhankelijk is van de waterdiepte in de havenmond zal ook u_d variabel in de tijd zijn.

Per tijdstap berekent het programma de resulterende snelheid waarbij boven- en onderstroom gescheiden zijn.

Verder is aangenomen voor de berekening:

- als er geloosd wordt door het gemaal 'De Valle' dan wordt er een maximaal debiet geloosd van $1.85 \text{ m}^3/\text{sec}$ als één pomp in werking is, en $3.7 \text{ m}^3/\text{sec}$ als twee pompen in werking zijn.
- per getij wordt er door de spuisluis 4000 m^3 zoet water geloosd.
- deze hoeveelheid zoet water wordt in 6 uur geloosd tijdens de tweede getijcyclus.
- de instromende resulterende stroom voert sediment naar binnen, terwijl de uitstromende resulterende stroom vrij van sediment is.
- de havenoppervlakte is 75000 m^2
- de oppervlakte van de haveningang bij NAP is 84 m^2
- de havendiepte bij NAP is 4 m
- er is een getijverschil van 3 m
- één getijperiode duurt 12 uur

```

0 PRINT "*****"
10 PRINT
20 PRINT "BEREKENING HOEVEELHEID SEDIMENT T.G.V. DICHTHEIDSSSTROMING EN K
OMVULLING"
30 PRINT
40 PRINT "*****"
50 PRINT
60 PRINT
70 PRINT
80 PRINT
85 INPUT "MAAND" :";A$
90 INPUT "DATUM" :";DA
95 INPUT "EERSTE OF TWEDE GETIJ?" :";GE
100 INPUT "OPPERVLAKTE HAVEN" IN M2:";AH
110 INPUT "GEMIDDELDE DIEPTE HAVEN" IN M :";HH
120 INPUT "GEMIDDELDE DIEPTE HAVENMOND" IN M :";HM
130 INPUT "BREEDTE HAVENMOND" IN M :";BM
140 INPUT "HOOGWATER" IN M T.O.V. NAP :";HW
150 INPUT "LAAGWATER" IN M T.O.V. NAP :";LW
160 INPUT "TIJDSTAP" IN UREN:";DT
170 INPUT "SPUIDUUR" IN UREN:";TS
180 INPUT "SPUIDEBIET" IN M3/SEC:";QS
190 INPUT "RO ZOET WATER" IN KG/M3:";R1
200 INPUT "RO ZOUT WATER" IN KG/M3:";R2
210 INPUT "CONCENTRATIE VOOR DE HAVEN IN MG/L :";CM
211 IF QS = 0 THEN GOTO 220
215 QZ = TS * QS * 3600 + 4000
216 GOTO 290
220 QZ = 0
290 PRINT "HOEVEELHEID GELOOSD ZOET WATER :";QZ" M3"
330 RH = (QZ * R1 + AH * HH * R2) / (QZ + AH * HH);RH = INT (RH * 10 +
5) / 10
340 DE = (R2 - RH) / RH;DE = INT (DE * 100000 + .5) / 100000
350 PRINT "RO HAVEN NA LOZING VAN ZOET WATER :";RH" KG/M3"
360 PRINT "DELTA :";DE
370 PRINT
380 PRINT
390 PRINT "*** EEN POSITIEVE SNELHEID IS DE HAVEN IN ***"
400 PRINT
410 PRINT "*** EEN NEGATIEVE SNELHEID IS DE HAVEN UIT ***"
420 PRINT : PRINT
430 PRINT "T UD UV U BO. U OND. SEDIMENT TOTAAL SEDIMENT"
431 PRINT "(U) (M/S) (M/S) (M/S) (M/S) (KG) (KG)"
432 PRINT "-----"
433 PRINT
440 X = (HW - LW) / 2
450 N = 12 / DT
460 Y = 2 * 3.14 / N
470 FOR Z = 1 TO N
480 HO = HM + X * SIN (Z * Y + .5 * 3.14)
500 H1 = HM + X * SIN (Z * Y - .5 * Y + .5 * 3.14)
510 H2 = HM + X * SIN (Z * Y + .5 * Y + .5 * 3.14)
520 H3 = H2 - H1
530 DICHTHEIDSSNELHEID = .35 * SQR (DE * 9.81 * HO)
540 VULSNELHEID = (H3 * AH) / (DT * 3600 * HO * BM)
545 IF VULSNELHEID > 0 THEN GOTO 550
546 VULSNELHEID = VULSNELHEID - QZ / (6 * 3600 * HO * BM)
550 BS = - DICHTHEIDSSNELHEID + VULSNELHEID
560 OS = DICHTHEIDSSNELHEID + VULSNELHEID
561 DUMMY = 1
570 IF BS < 0 THEN GOSUB 605
580 S1 = (BS * .5 * HO * BM) * CM * .001 * DT * 3600 * DUMMY
585 DUMMY = 1
590 IF OS < 0 THEN GOSUB 605
600 S2 = (OS * .5 * HO * BM) * CM * .001 * DT * 3600 * DUMMY
601 GOTO 610
605 DUMMY = 0: RETURN
610 S = S1 + S2
620 T = T + S
621 DI = INT (DI * 1000 + .5) / 1000
622 VU = INT (VU * 1000 + .5) / 1000
623 BS = INT (BS * 1000 + .5) / 1000
624 OS = INT (OS * 1000 + .5) / 1000
625 S = INT (S)
626 T = INT (T)
627 DS = DT * Z
628 DX = INT (DS); IF DS = DX THEN GOTO 630
629 GOTO 640
630 PRINT OS TAB( 5);DI TAB( 12);VU TAB( 19);BS TAB( 26);OS TAB( 33);S TAB(
43);T
640 NEXT Z
650 END

```

3. 4 Berekening

Ter verduidelijking van het programma wordt één tijdstap volledig berekend. Hier is een tijdstap genomen van 1 uur terwijl in de uiteindelijke berekening een tijdstap van 0.1 uur gekozen is.

gegevens: maand : april
datum : 1
gem. bodemligging havenmond : NAP -3.5 m
gem. bodemligging haven : NAP -4.0 m
breedte havenmond : 24 m
HW : NAP +1.5 m
LW : NAP -1.5 m
tijdstap : 1 uur
spuiduur : 4.5 uur
spuidebiet : 1.85 m³/sec
 $\rho_{\text{zoet water}}$: 1000 kg/m³
 $\rho_{\text{zout water}}$: 1027 kg/m³
sedimentconcentratie vóór de haven : 100 mg/l

gevr: hoeveelheid sediment, die in 1 getij de haven in wordt gebracht.

oplossing: in de eerste getijcyclus wordt de haven afgesloten geacht van de Oosterschelde. De waterdiepte in de haven is 4m.

De hoeveelheid zoet water, die wordt geloosd,

$$\text{is: } 4.5 * 3600 * 1.85 + 4000 = 33970 \text{ m}^3$$

Aan het einde van deze periode is de dichtheid van het water in de haven:

$$\rho_{\text{haven}} = \frac{33970 * 1000 + 75000 * 4 * 1027}{33970 + 75000 * 4} = 1024.3 \text{ kg/m}^3$$

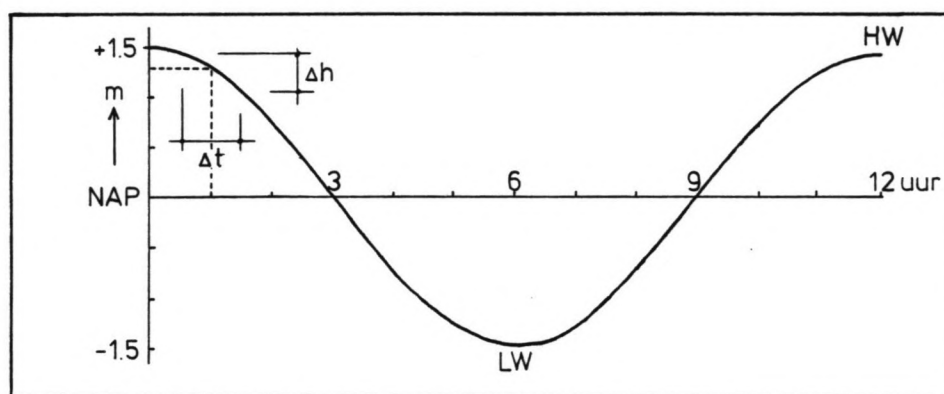
Voor de tweede getijcyclus geldt:

$$\delta = \frac{1027 - 1024.3}{1024.3} = 2.64 \cdot 10^{-3}$$

Op het eerste uur na HW geldt:

$$\text{diepte havenmond} = 4.8 \text{ m}$$

In figuur 3.1 wordt de getijkromme gegeven voor dit voorbeeld. In figuur 3.2 is de stroomsnelheid in de havenmond bij eb gegeven t.g.v. dichtheidsverschil, komvulling van de haven met het spuidebiet en de combinatie hiervan.



Figuur 3.1 Getijkromme.

De stroomsnelheden in de havenmond bij eb worden als volgt berekend:

De snelheid van de dichtheidsstroom is:

$$\begin{aligned} u_d &= \pm 0.35 \sqrt{2.64 \cdot 10^{-3} * 4.8 * 9.81} \\ &= \pm 0.123 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

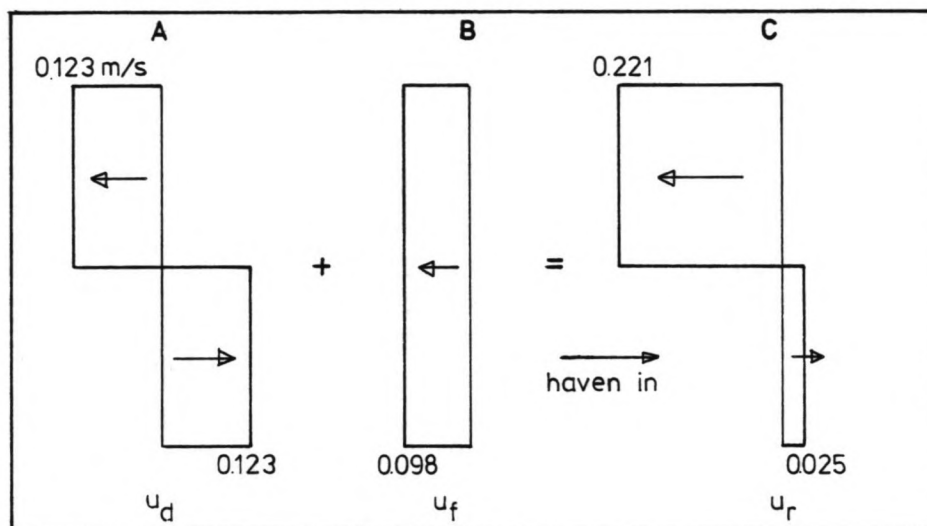
De ledigingsnelheid (inclusief spuidebiet) is:

$$\begin{aligned} u_f &= \frac{\Delta h * 75000}{3600 * \Delta t * 4.8 * 24} \\ &= - 0.098 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

De resulterende stroomsnelheid is:

$$\text{boven: } u_r = -0.123 - 0.098 = -0.221 \text{ m/sec}$$

$$\text{onder: } u_r = +0.123 - 0.098 = +0.025 \text{ m/sec}$$



Figuur 3.2 Stroomprofielen in de havenmond bij eb.

Uit figuur 3.2 is af te lezen, dat terwijl het eb is, er toch een onderstroom de haven in gericht is. Deze onderstroom zal voor extra aanslibbing zorgen.

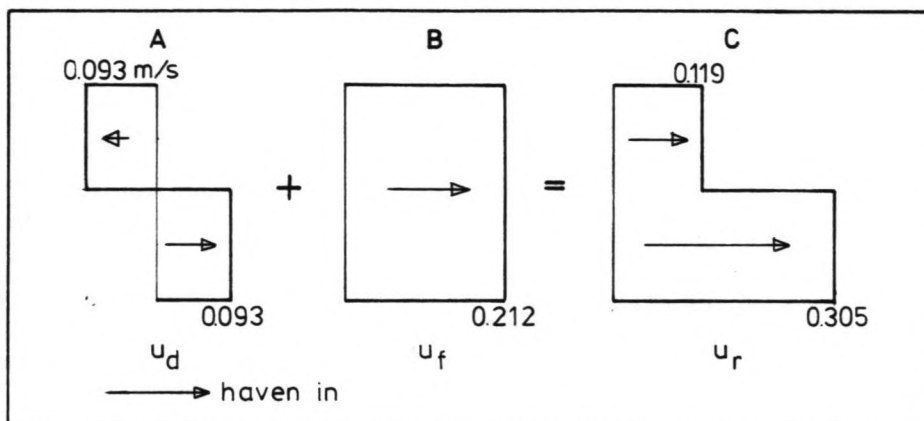
De hoeveelheid sediment, die door de onderstroom naar binnen gebracht wordt in tijdstap Δt , is:

$$0.025 * \frac{1}{2} * HO * \text{breedte havenmond} * \text{concentratie} * \Delta t =$$

$$0.025 * \frac{1}{2} * 4.8 * 24 * 0.1 * 3600 = 518 \text{ kg}$$

De hoeveelheid, die gedurende 12 uur, afhankelijk van het stroomsnelheidsprofiel, naar binnen worden gebracht, worden bij elkaar opgeteld. Op deze manier is per getij en bijbehorend spuidebiet en lozingstijd de aanslibbing te bepalen.

Om een indruk te krijgen, hoe groot de aanslibbing bij vloed is, zijn voor dezelfde situatie als bij eb, maar nu 7 uur later, de stroomsnelheidsprofielen t.g.v. dichtheidsverschillen, de komvulling van de haven en de combinatie van beide gegeven in figuur 3.3



Figuur 3.3 Stroomprofielen in de havenmond bij vloed.

Nu blijkt de onderstroom te worden versterkt. Dit is ongunstig om dat juist boven de bodem veel sediment aanwezig is. De hoeveelheid sediment, die door de bovenstroom naar binnen wordt gebracht, is, als een gelijk sedimentgehalte wordt aangenomen:

$$0.119 * \frac{1}{2} * H_0 * \text{breedte havenmond} * \text{concentratie} * \Delta t = \\ 0.119 * \frac{1}{2} * 2.8 * 24 * 0.1 * 3600 = 1439 \text{ kg}$$

De hoeveelheid sediment, die door de onderstroom naar binnen wordt gebracht, is:

$$0.305 * \frac{1}{2} * 2.8 * 24 * 0.1 * 3600 = 3689 \text{ kg}$$

Totaal wordt er dus in deze tijdstap $1439 + 3689 = 5128 \text{ kg}$ sediment naar binnen gebracht.

Op de volgende twee pagina's zijn de resultaten weergegeven van een computerberekening met een tijdstap van 0.1 uur. Hierbij zijn de getijden, waarbij zowel dichtheidsstromen als komvulling optreden, aangegeven met een *.

Datum	spuiduur (uur)	spuidebiet (m ³ /sec)	hoeveelheid sediment (ton)	
1 april	4.5	1.85	26.8	*
1 april	5	3.7	29.9	*
2 april	8.5	3.7	32.6	*
2 april	5.75	3.7	30.6	*
3 april	3	3.7	27.9	*
3 april	10.5	1.85	30.1	*
4 april	10	1.85	29.9	*
4 april	5.5	1.85	27.5	*
5 april	3.25	1.85	25.9	*
5 april	4.25	1.85	26.6	*
6 april	6.75	3.7	31.3	*
6 april	5.5	3.7	30.3	*
7 april	4.75	3.7	29.6	*
7 april	3.5	3.7	28.4	*
8 april	6.25	1.85	28.0	*
8 april	--	--	22.5	
9 april	--	--	22.5	
9 april	--	--	22.5	
10 april	--	--	22.5	
10 april	--	--	22.5	
11 april	--	--	22.5	
11 april	--	--	22.5	
12 april	3.5	1.85	26.2	*
12 april	1.75	1.85	24.7	*
13 april	--	--	22.5	
13 april	--	--	22.5	
14 april	--	--	22.5	
14 april	--	--	22.5	
15 april	--	--	22.5	
15 april	--	--	<u>22.5</u>	

778.8 ton

tabel 3.1 berekening van hoeveelheid sediment in de maand april 1983.

Datum	Spuiduur (uur)	Suidebiet (m ³ /sec)	hoeveelheid sediment (ton)	
16 april	--	--	22.5	
16 april	--	--	22.5	
17 april	--	--	22.5	
17 april	--	--	22.5	
18 april	--	--	22.5	
18 april	--	--	22.5	
19 april	--	--	22.5	
19 april	--	--	22.5	
20 april	--	--	22.5	
20 april	--	--	22.5	
21 april	--	--	22.5	
21 april	--	--	22.5	
22 april	--	--	22.5	
22 april	--	--	22.5	
23 april	--	--	22.5	
23 april	--	--	22.5	
24 april	--	--	22.5	
24 april	--	--	22.5	
25 april	--	--	22.5	
25 april	--	--	22.5	
26 april	--	--	22.5	
26 april	--	--	22.5	
27 april	7.5	3.7	31.9	*
27 april	--	--	22.5	
28 april	2.25	3.7	26.8	*
28 april	5.75	1.85	27.6	*
29 april	3.5	1.85	26.2	*
29 april	--	--	22.5	
30 april	--	--	22.5	
30 april	--	--	<u>22.5</u>	
			697.5 ton	

Tabel 3.1 berekening van hoeveelheid sediment in de maand april 1983.

3.5 Conclusie

De totale hoeveelheid sediment, die in de maand april in de haven terecht is gekomen, bedraagt, volgens onze berekeningen:

$$778.8 + 697 = 1476.3 \text{ ton}$$

Als er geen zoet water geloosd zou worden in de haven, dan zou deze hoeveelheid zijn:

$$30 * 2 * 22.5 = 1350 \text{ ton}$$

Dus ten gevolge van dichtheidsstromen is er in de maand april 1983 aan sediment in de haven gekomen:

$$1476.3 - 1350 = 126.3 \text{ ton}$$

Dit is 8,6% van de totale aanslibbing in deze natte maand.

Aangezien bovenstaande berekening is gebaseerd op de conservatieve aanname, dat de haven tijdens het lozen van zoet water gedurende één getij van de Oosterschelde afgesloten is, is deze schatting aan de hoge kant.

Als bovendien in aanmerking wordt genomen, dat april 1983 een natte maand was, waarbij meer sediment door dichtheidsstromen naar binnen werd gebracht dan in de meeste andere maanden, dan is de conclusie, dat er gemiddeld per jaar minder dan 10% van de aanslibbing door dichtheidsstromen wordt veroorzaakt.

4 HET MODEL

4.1 Inleiding

Uit het geotechnisch onderzoek (hoofdstuk 2) en het onderzoek naar dichtheidsstromen (hoofdstuk 3), kan de conclusie getrokken worden dat de grote aanslibbing die in de haven van Colijnsplaat optreedt, verklaard moet worden uit het stroombeeld rond de haven.

Om dit stroombeeld en daarnaast de golfdoordringing te kunnen bestuderen is een hydraulisch schaalmodel gebouwd (zie figuur 4.1). In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het model is ontworpen (paragraaf 4.2) en op welke wijze er mee is gewerkt (paragraaf 4.3). De resultaten worden in paragraaf 4.4 beschreven aan de hand van de stroombeelden en stroomsnelheid- en stroomrichtingmetingen zoals die zijn afgebeeld in bijlage II en III.

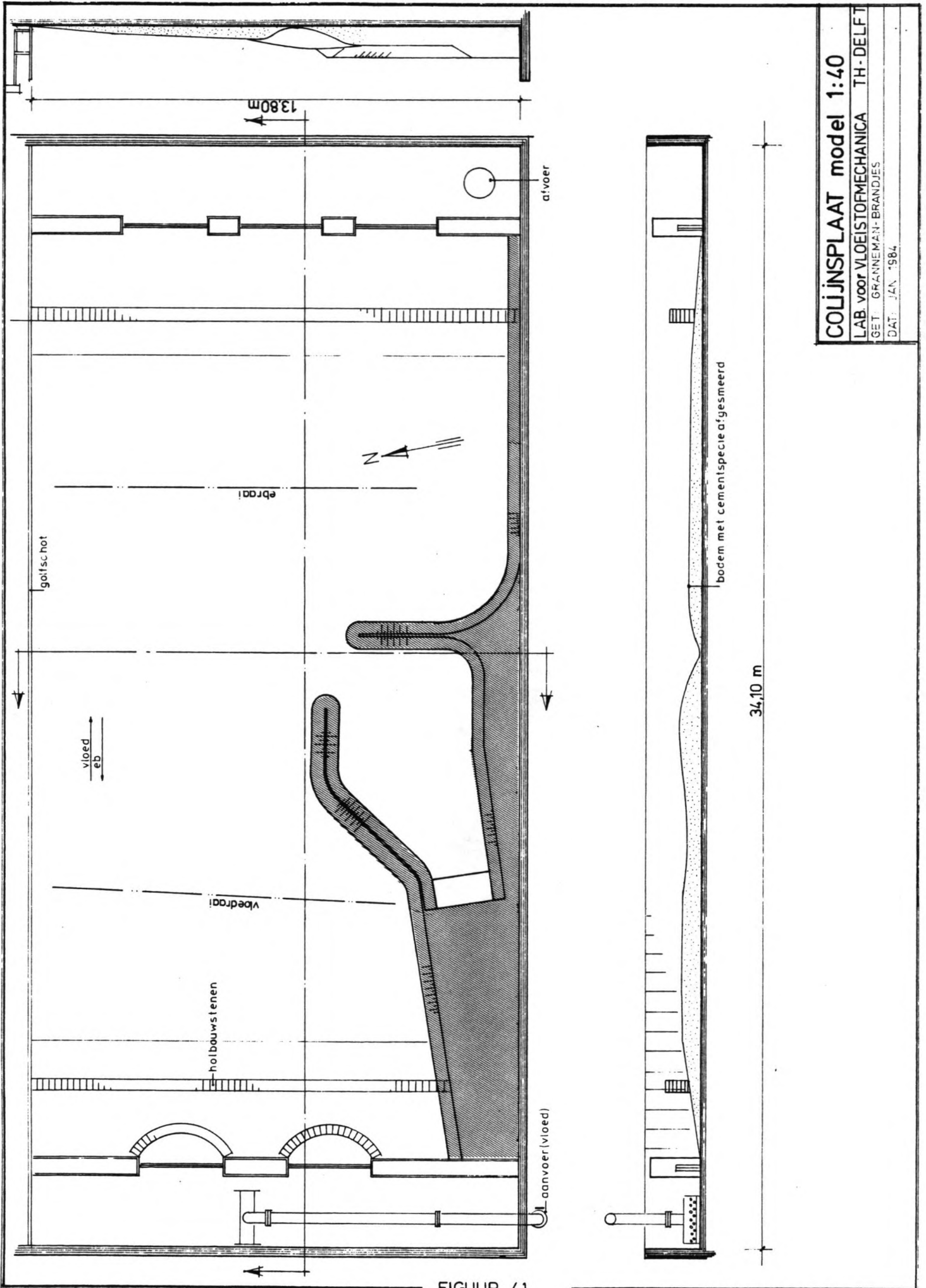
In paragraaf 4.5 worden de resultaten van het golfonderzoek besproken. De metingen hiervan worden in bijlage IV weergegeven.

4.2 Het ontwerpen van het model

4.2.1 Inleiding

In het laboratorium voor vloeistofmechanica van de afdeling Civiele Techniek van de TH Delft, was een golfbak van 13.80 x 34.10 m beschikbaar (zie figuur 4.1). Door een geschikte keuze van de schaal van het model en de afmetingen van het modelgebied, was het mogelijk hierin het model van de haven van Colijnsplaat te bouwen op schaal 1:40.

Naast de praktische beperkingen als beschikbare ruimte en pompcapaciteit, zijn er een aantal fysische voorwaarden



FIGUUR 4.1

COLIJNSPLAAT model 1:40
LAB. voor VLOEISTOFMECHANICA TH-DELFT
GET. GRANNEMAN-BRANDJES
DAT. JAN '84

waaraan moet worden voldaan om de hydraulische verschijnselen juist weer te kunnen geven.

4.2.2 Reproductie van hydraulische verschijnselen

Bij het ontwerpen van het model wordt van het volgende uitgegaan:

- De bodemligging moet in het model worden weergegeven om de invloed hiervan op het stroombeeld te kunnen onderzoeken.
- De bodem van het model moet beloopbaar zijn, zodat efficiënt in het model kan worden gewerkt en gemeten.
- Het model moet als permanentiemodel uitgevoerd worden, omdat alleen het stroombeeld op bepaalde tijdstippen in het getij wordt onderzocht, en een getij model veel duurder is.
- Het stroombeeld moet bij eb en vloed onderzocht kunnen worden.
- De golfdoordringing moet in hetzelfde model onderzocht kunnen worden.
- De minimaal meetbare stroomsnelheid in het model is 2 à 3 cm/s, vanwege het meetbereik van de instrumenten.

Vanwege de grote breedte- diepte verhouding wordt de stroming als twee-dimensionaal in een horizontaal vlak beschouwd. De stroming is stationair in het permanentiemodel, waarin gedurende een meting het debiet en de waterstand constant worden gehouden. Voor een twee-dimensionale stationaire stroming in het horizontale vlak geldt:

$$\frac{1}{2} \frac{\partial u_s^2}{\partial s} + g \frac{\partial h}{\partial s} + g \frac{u_s |u_s|}{C^2 h} = 0 \quad (1)$$

$$\text{en} \quad \frac{u_s^2}{r} + g \frac{\partial h}{\partial n} = 0 \quad (2)$$

hierin is :

u_s = stroomsnelheid langs een stroomlijn

h = waterdiepte

g = versnelling van de zwaartekracht

C = Chézywaarde

s = richting // stroomlijn

n = richting loodrecht op een stroomlijn

r = kromtestraal van de stroomlijn

Uit vergelijking (2) volgt als eis voor een goede weergave van de kromming van de stroomlijnen:

$$n_u^2 = n_h \quad (3)$$

waarbij n_h de schaalfactor is voor de diepte. De schaalfactor is het quotiënt van de prototype waarde en de modelwaarde.

Uit de eerste en de laatste term van vergelijking (1) volgt:

$$\frac{n_l}{n_h} = n_C^2 \quad (4)$$

Verder geldt de schaalwet:

$$n_l = n_u \cdot n_t \quad (5)$$

waarin n_t de schaalfactor voor de tijd is.

Voor het onderzoeken van golfdoordringing mag in bepaalde gevallen geen samengetrokken model worden gebruikt.

Golfdoordringing wordt namelijk bepaald door refractie, diffractie en reflectie.

Refractie is het verschijnsel waarbij de golfkammen bij het veranderen van de waterdiepte van richting gaan veranderen. Aangezien refractie alleen door diepteveranderingen wordt beïnvloed, kan dit goed in een samengetrokken model worden weergegeven.

Er moet dan gelden: $n_\lambda = n_h$

waarin: n_λ = de schaalfactor voor de golflengte.

aangezien $\lambda = c \cdot T$

waarin: c = voortplantingssnelheid van de golven

T = golfperiode

geldt dus ook: $n_\lambda = n_c \cdot n_T = n_u \cdot n_T = \sqrt{n_h} \cdot n_T$ (6)

samen met vergelijking (6) en (7) geeft dit $n_T = \sqrt{n_h}$ (7)

Diffractie is het verschijnsel waarbij een golftrain wordt onderbroken door een obstakel, waardoor de golfhoogte achter dit obstakel afneemt. Hierdoor worden de golfkammen sterk gebogen en zullen er grote verschillen in de golfhoogte optreden langs deze golfkammen. De golfhoogte op een bepaalde plaats wordt nu bepaald door de horizontale coördinaten uitgedrukt in golflengten. Om de juiste golfhoogte in model en prototype op corresponderende plaatsen te reproduceren, moet de golflengte op lengteschaal worden weergegeven. Voor gebieden met een variërende diepte en een golflengte die wordt beïnvloed door de bodem, zoals bij Colijnsplaat het geval is, moet dan een niet samengetrokken model gebruikt worden om de diffractie goed weer te kunnen geven.

De reflectie van golven op een wand wordt beïnvloed door de steilheid van die wand en deze wordt bepaald door de lengtehoogte verhouding.

De reflectie wordt dus alleen juist in het model weergegeven als de steilheid van de wanden gelijk is aan die in het prototype. Dit vereist een niet-samengetrokken model.

Voor het model moet dan voldaan worden aan

$$n_1 = n_h \quad (8)$$

Voor de juiste weergave van golven is het van belang dat de golflengte in het model niet te klein wordt, omdat dan de oppervlaktespanning een te grote invloed krijgt. Daarom moet er een grens gesteld worden aan de minimale golflengte, die hierna wordt bepaald.

De voortplantingssnelheid van oppervlaktegolven is in het algemeen:

$$c = \sqrt{\left(\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\sigma}{\rho\pi}\right) \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}} \quad (9)$$

waarin: c = voortplantingssnelheid
 λ = golflengte
 σ = oppervlaktespanning van water (0.074 N/m)
 ρ = soortelijke massa van water

$$\text{stel} \quad \frac{2\pi\sigma}{\rho\lambda} = \alpha \frac{g\lambda}{2\pi} \quad (10)$$

Dan wordt de oppervlaktespanning verwaarloosbaar verondersteld als $\alpha < 0.03$

Omzetten van vergelijking (10) geeft:

$$\alpha\lambda^2 = 3.10^{-4} \text{ m}^2 \quad (11)$$

$$\text{zodat} \quad \lambda > 0.10 \text{ m} \quad (12)$$

De golflengte moet groter zijn dan 0.10 m.

Omdat de stroom evenals in het prototype turbulent moet zijn, moet nog gelden dat $Re > 600$. Bij een diepte van 0.20 m wordt hieraan al voldaan als de stroomsnelheid groter is dan 3 cm/s.

Uit al het bovenstaande volgt dat moet worden voldaan aan:

$$n_1 = n_h$$

$$n_C = 1$$

$$u > 3 \text{ cm/s}$$

$$n_1 = n_u \cdot n_t$$

$$n_u^2 = n_h$$

$$\lambda_m > 0.10 \text{ m}$$

4.2.3 De schaalfactor en de begrenzing van het model

De minimale snelheid die in het prototype van belang is, is ongeveer 0.20 m/s. De snelheid die in het model minimaal gemeten kan worden vanwege het meetbereik van de molentjes, is 2 á 3 cm/s. De snelheidsschaalfactor moet dan kleiner zijn dan $20/3 \approx 7 = n_u$

Uit vergelijking (3) en (4) en $n_C = 1$ volgt dat de schaal-factoren voor de lengte en de diepte dan kleiner dan 49 moeten zijn.

De grootte van het modelgebied wordt bepaald door de volgende overwegingen (zie fig. 4.1):

- De westelijke dam moet in zijn geheel in het model worden opgenomen, omdat de vorm van deze dam van belang is voor het stroombeeld en de golfdoordringing.
- In de eb- en vloedraai, dit zijn de raaien waar in het prototype stroomsnelheids- en stroomrichtingsmetingen zijn gedaan, moet in de corresponderende raaien in het model ongestoord gemeten kunnen worden.
- De neer die tijdens vloed oostelijk van de haven kan ontstaan, moet in zijn geheel kunnen optreden.
- De contractie van de stroomlijnen als gevolg van het uitbouwen van de haven moet geheel gereproduceerd worden.

- Eén rand van het model wordt gevormd door de dijk ten oosten van de haven.
- Alleen het nieuwe gedeelte van de haven, de voorhaven, wordt in het model opgenomen.

De komberging die in de haven en in de neer ten oosten van de haven optreedt als gevolg van het getij, wordt gerealiseerd door in deze gebieden bij eb water toe te voegen en er bij vloed water aan te onttrekken.

Het blijkt dat bij toepassen van schaalfactor 40 aan alle voorwaarden kan worden voldaan.

4.2.4 De bodem van het model

Voor de ruwheid van de bodem van dit niet-samengetrokken model moet worden voldaan aan: $n_C^2 = 1$.

Voor de Oosterschelde geldt een C-waarde van $55 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{s}$, in het model moet C dus even groot zijn. Volgens White Colebrook geldt voor de hydraulisch ruwe situatie dat:

$$C = 18 \log \frac{12 h}{k}$$

waarin C = Chezy waarde

h = waterdiepte

k = equivalente zandruwheid van Nikuradse.

Bij een gemiddelde diepte van 0.20 m in het model hoort een k waarde van 2.6 mm. Een bodem afgesmeerd met cementspecie heeft een k waarde van 1 à 2 mm. Als een afgesmeerde bodem wordt toegepast, zal deze verruwd moeten worden door de bodem te bestrooien met grind met een D_{90} van 4 à 5 mm.

4.2.5 Conclusie

Er wordt aan alle uitgangspunten en schaalregels met betrekking tot stromen en golfdoordringing voldaan als een niet-samengetrokken permanentie-model wordt toegepast op schaal 1:40.

De met cementspecie afgesmeerde bodem wordt verruwd met grind met een D_{90} van 5 mm. De komberging in de haven, waarvan alleen het nieuwe gedeelte wordt nagebootst, wordt verzorgd door bij eb water aan de haven toe te voegen, en er bij vloed water aan te onttrekken. Hetzelfde wordt gedaan voor het gebied ten oosten van de haven, waar bij vloed een neer kan ontstaan.

4.3 Het modelonderzoek

4.3.1 Inleiding

In 4.3.2 wordt beschreven hoe het model onderzoek is uitgevoerd en hoe de resultaten worden gepresenteerd.

Hierbij wordt elke verandering aan haven, bodem of waterstand beschreven in een toestand. De nummers van deze toestanden staan ook vermeld op de figuren in bijlage II, III en IV.

4.3.2 De wijze van onderzoek en presentatie

Stroommetingen

Aan de hand van drijvermetingen en stroommetingen bij verschillende waterstanden in het prototype, is het model zowel bij eb als bij vloed geijkt.

De stroombeelden werden in het model vastgelegd, door een groot aantal drijvers gedurende een aantal seconden fotografisch te volgen. Door de negatieven van deze opnamen op papier te projecteren en met inkt over te tekenen, werden de figuren van bijlage II verkregen. Uit deze figuren is de stroomsnelheid en de richting aan het wateroppervlak op een bepaalde plaats en bij een bepaalde waterstand te bepalen. De richting van de bodemstroom werd onder andere bepaald door kaliumpermanganaatkristallen in het water te strooien.

De kleurstroken die daardoor op de bodem ontstonden werden fotografisch vastgelegd. Met deze opnamen kon de stroomrichting op de bodem worden bepaald. De onder- en bovenstroom zijn, voor zover mogelijk, bij eenzelfde toestand in dezelfde figuur weergegeven in bijlage II.

Naast deze fotografische waarnemingen, zijn er videoopnamen gemaakt van zowel de boven- als de onderstroom.

Dit is gedaan voor de volgende toestanden: alleen bij een waterstand van NAP + 0.90 m bij vloed en NAP - 0.15 m bij eb. Bij vloed: T1, T6, T9, T12, T19, T25, T29, T31 en T32. Bij eb: T4, T21, T27 en T34.

Op deze band, die te leen is bij de huishoudelijke dienst van de afdeling Civiele Techniek, wordt tevens een overzicht gegeven van het model en de gebruikte instrumenten.

Om de invloed van veranderingen aan haven en bodem kwantitatief te kunnen vergelijken, zijn er metingen gedaan met een stroomsnelheids- en stroomrichtingsmeter.

Hiermee is het mogelijk om op verschillende plaatsen de stroomsnelheid en de stroomrichting in de vertikaal te meten. In bijlage III zijn de zo gevonden snelheidsprofielen met bijbehorende boven- en onderstroomrichting getekend.

Golfonderzoek

De golfdoordringing is alleen onderzocht in de voorhaven, omdat de problemen zich alleen daar afspelen. Door twee verplaatsbare golfhoogtemeters zijn op vaste plaatsen, bij verschillende lay-outs van de haven, de golfhoogten gemeten. Het resultaat van deze metingen is verzameld in bijlage IV.

4.3.3 Beschrijving van de stroombeelden rond de haven

De schetsen van het stroombeeld zijn in bijlage II afgebeeld. De stroomrichtings- en stroomsnelheidsmetingen zijn geschetst in bijlage III. De toestandnummers corresponderen met de nummers op de bijlagen.

Toestand T1,T2,T3,T4 en T5 (fig. II.1 t/m II.5 en III.1 t/m III.4)

Deze situatie komt overeen met het prototype. Bij vloed kenmerkt het stroombeeld zich door een kromme baan rond de haven. Dit stroombeeld komt in grote lijnen overeen met dat van een rivierbocht, waarbij een spiraalstroom ontstaat.

De onderstroom hiervan stroomt in de richting van de havenmond, de bovenstroom is naar buiten gericht. Vooral in de kuil die voor de havenmond ligt, doet dit verschijnsel zich voor. De stroom die de kuil vanuit het noorden vult, versterkt de onderstroom die hier een hoek maakt met de bodemstroom van maximaal 90° .

Tegelijkertijd draait er voor de haven een neer. Deze neer strekt zich uit tot 45 meter buiten de huidige havenmond en wordt in oostelijke richting begrensd door het hart van de oostelijke dam en in westelijke richting door de overgang blokkendam/westdam. De omvang van de neer is ongeveer 45 bij 80m en is het sterkst bij 1 tot 2 uur vóór HW. Op de kop van de westelijke blokkendam splitst de neerstroom zich in een stroom naar binnen en naar buiten.

Ten noorden van de westdam ontstaat een wervelstraat daar waar de stroomlijnen bij de knik in de westdam loslaten.

Hoewel de snelheden bij eb wat hoger liggen dan bij vloed is het stroombeeld veel minder gecompliceerd. (zie fig. II.4 en II.5) De stroom trekt ver langs de havenmond. De boven- en onderstroom hebben vrijwel dezelfde richting. Ten noorden van het westelijke blokkendammetje draait een neer van weinig betekenis. De snelheid vlak voor de mond is 3 à 4 keer zo klein als de snelheid van de hoofdstroom. Deze vrij grote horizontale snelheidsgradiënt maakt het in- en uitvaren van de haven ook bij eb lastig.

Toestand T6,T7 en T8 (fig. II.6 t/m II.8)

Deze situatie is als de huidige met dit verschil, dat het kleinste dammetje op de oostdam is verwijderd. De invloed op het stroombeeld blijkt bij vloed nihil. Bij eb is deze situatie niet onderzocht.

Toestand T9,T10 en T11 (fig. II.9 t/m II.11 en fig. III.5)

Nu zijn de beide blokkendammetjes op de oostdam verwijderd. Er is geen essentieel verschil met de huidige situatie (T1 t/m T5). Voor de scheepvaart is deze situatie iets vriendelijker omdat de snelheden in de neer iets lager zijn en omdat de haveningang wat ruimer is.

Bij eb is deze situatie niet onderzocht.

Toestand T12,T13 en T14 (fig. II.12 t/m II.14)

Deze situatie is zoals de haven vanaf de oplevering heeft bestaan, totdat de drie blokkendammetjes zijn aangebracht om de golfdoordringing met succes te reduceren.

Het stroombeeld rond de havenmond kenmerkt zich bij vloed door lage snelheden. De vulsnelheid van de haven is laag als gevolg van de grote doorstroomopening, die echter met ongeveer 1/3 wordt verkleind door de neer die in de havenmond draait. Er is een duidelijke onderstroom die meer haveninwaarts gericht is dan de bovenstroom. Ondanks de lage snelheden is er niet iets wezenlijks aan het stroombeeld veranderd.

Deze situatie is niet bij eb onderzocht.

Toestand T15 en T16 (fig. III.5 en II.16)

Een dammetje loodrecht op de westdam zou voor een rustiger gebied vóór de havenmond moeten zorgen, doordat de stroomlijnen wat meer naar buiten worden gebracht. Het dammetje op de oostelijke dam lijkt dit echter teniet te doen, omdat deze door een snelheidsverhoging de stroomlijnen wat naar zich toe trekt.

Er ontstaat nu weer een vrij sterke neer die de haven aan de oostelijke kant vult en aan de westelijke kant leegt. De snelheden zijn hier vrij groot, vergelijkbaar met die in de huidige situatie.

Door een wervelstraat ten noorden van het dammetje loodrecht op de westdam zal materiaal opgewoeld worden. Het gat dat hierdoor ontstaat zal waarschijnlijk de neer en de onderstroom versterken.

Ook deze situatie is niet verder bij eb onderzocht.

Toestand T17 en T18 (fig II.17 en II.18 en fig III.6)

Dit is dezelfde situatie als T15 en T16 maar de dammetjes op de oostelijke dam zijn nu verwijderd. De neer wordt in zijn geheel iets groter dan in de huidige situatie het geval is.

Het richtingsverschil tussen boven- en onderstroom wordt in ongunstige zin beïnvloed. (zie fig III.6 punt B)

De nadelige invloed op de bodemligging zoals beschreven onder toestand T15 en T16 geldt ook hier.

Deze situatie is niet bij eb onderzocht.

Toestand T18 A (fig. II.18A)

In deze situatie is onderzocht wat de invloed is van twee dammetjes loodrecht op de westdam. Eén dammetje staat hierbij vlak bij de havenmond zoals in T15 en één dammetje staat vlak bij de knik in de westdam. De filosofie achter dit laatste dammetje was dat de bochtstroom, die de schroefstroom veroorzaakt, zou verminderen als de kromming vanaf het meest westelijke dammetje niet meer aanwezig was.

Dit was echter niet waar te nemen, daarom is dit niet verder onderzocht. In figuur II.18A wordt de situatie geschetst.

Toestand T19, T20, T21 en T22 (fig. II.19 t/m II.22 en fig. III.7 t/m III.9)

Hierbij is alleen de kuil vóór de haven dichtgestort. De hoofdstroom gaat nu bij vloed vlak langs de havenmond. In de westelijke helft van de mond en ten noorden van de westelijke blokkendam, draait een zwakke neer. De kromming van de stroomlijnen van de hoofdstroom is nu veel kleiner, de boven- en onderstroom maken daardoor een veel kleinere hoek met elkaar, maximaal 45° . (fig.III.19) De snelheden voor de havenmond (0,75 m/sec) zijn groter dan in het prototype (0.60 m/sec fig. II.1). De overgang van de snelheid in de hoofdstroom naar de kleinere snelheid vlak voor de mond gaat vrij geleidelijk. In fig. 19A wordt de omvang van de dichtgestorte kuil aangegeven. Ook bij eb trekt de stroom dicht langs de haven. Ten noorden van de twee dammetjes op de oostdam draait een kleine neer. De horizontale snelheidsgradiënt is hier voor de havenmond vrij groot wat de bevaarbaarheid verslechtert.

Toestand T23 en T24 (fig II.23 en T24)

Nu is de kuil dichtgestort en de blokkendam in het verlengde van de oostdam is verwijderd. Het al of niet weglaten van deze blokkendam heeft bij vloed nauwelijks invloed op het stroombeeld. Bij eb is deze situatie niet onderzocht.

Toestand T25, T26, T27 en T28 (fig. II.25 t/m II.28 en fig. III.10 t/m III.12)

De kuil is dichtgestort en de twee blokkendammetjes op de oostdam zijn verwijderd. In de haven is op de oostdam een nieuwe dam geplaatst.

Aan de westkant van de havenmond draait nu een zwakke neer. De hoofdstroom gaat minder dicht langs de oostdam dan bij toestand T19 en T20. Verder is het stroombeeld gelijk aan dat van toestand T19 en T20.

Voor de scheepvaart is deze situatie gunstig i.v.m. de ruime havenmond.

Toestand T29 en T30 (fig. II.29 en II.30 en fig. III.13)

Dit is de situatie waarbij de kuil is dichtgestort en waarbij alle blokkendammetjes zijn verwijderd.

Tussen de havenhoofden draait nu een grote, zij het zwakke neer. Direkt buiten de neer is de stroomsnelheid vrij groot. De onderstroom is vooral daar waar de kuil ontstaan is meer naar de haven gericht dan de bovenstroom. (zie fig. III.13) Deze situatie is niet bij eb onderzocht.

Toestand T31 (fig. II.31 en fig. III.14)

De twee blokkendammetjes op de oostdam zijn verwijderd en op de westdam is een dammetje loodrecht op deze dam uitgebouwd. Op de oostdam is nu in de haven een dammetje geplaatst. Dit blijkt een rustig stroombeeld te geven achter de loodrechte dam, dus voor de havenmond. De haven wordt aan de oostzijde gevuld en aan de westzijde stroomt water in- en uit. De periode van deze slingering is enkele minuten. Ten noorden van de extra dam ontstaat een sterke wervelstraat die zich ver over de dichtgestorte kuil uitstrekt. Bij eb is deze situatie niet onderzocht.

Toestand T32, T33, T34 en T35 (fig. II.32 t/m II.35 en fig. III.15 t/m III.17)

De kuil voor de havenmond is dichtgestort en de blokkendammetjes op de oostelijke dam zijn verwijderd. Op de westelijke dam is de blokkendam tot aan het hart van de oostdam uitgebouwd. De neer, die met of zonder blokkendammetjes altijd bij vloed aanwezig is in of rond de havenmond, is nu verplaatst naar het gebied ten oosten van de oostdam.

Een gevolg hiervan is, dat de neer veel meer ruimte krijgt en deze ruimte ook gebruikt, waarbij de grootte van de neer afhankelijk is van de lengte van de uitgebouwde westelijke havendam. Bij deze situatie strekt de neer zich in oostelijke richting uit tot 200 m vanaf de oostdam. De instroming in de haven gebeurt nu niet meer hoofdzakelijk door de onderstroom, maar ontstaat als een verlengstuk van de neer, waardoor het waarschijnlijk is dat dit water minder sediment zal bevatten. De instroming is rustiger dan in het huidige geval, omdat de breedte en de diepte van de instroomopening veel groter is. In de haveningang draait een zwakke neer die de instroomopening halveert.

Bij eb ontstaat er ten noorden van de blokkendam en de westelijke havendam een gebied waar de snelheid praktisch nul is. Dit gebied wordt met water aangevuld dat uit de haven door de poreuze dam heenstroomt. De uitstroomsnelheid in de havenmond is daardoor klein. Op de kop van de oostelijke dam draait een zwakke neer waardoor de uitstroming over $\frac{3}{4}$ van de haveningang wordt verdeeld.

Ten noorden van de blokkendam ontstaat boven de dichtgestorte kuil een wervelstraat langs de kop van de dam. De stroomsnelheid om de kop van de blokkendam neemt stroomafwaarts snel toe.

4.4. Golfklimaat en het onderzoek naar golfdoordringing

4.4.1 Inleiding

Door de ligging van Colijnsplaat aan de zuidzijde van de Oosterschelde zijn vooral bij NW, N en ONO wind problemen te verwachten met betrekking tot de golfdoordringing in de haven. In de oorspronkelijke situatie bleek in het prototype al vrij snel na de oplevering, dat de golven vrijwel ongestoord de haven in liepen. Er werd dan ook snel gezocht naar een beperking hiervan. Deze werd gevonden door op de koppen van de twee havendammen blokkendammetjes te plaatsen. Deze blokkendammetjes zijn opgebouwd uit betonnen blokken 1x1x1 m.

De kruin van deze dammetjes ligt op NAP + 3.80 m.

Het effect op de golfdoordringing blijkt zeer gunstig te zijn in vergelijking met de oorspronkelijke situatie.

De golfdoordringing is alleen onderzocht voor de belangrijkste situaties, die bij vloed doorgemeten zijn.

Aangezien het doel van dit onderzoek was een globale indruk te krijgen van de verandering van de golfhoogte bij verschillende haven lay-outs, moet er rekening gehouden worden met een fout in deze waarden van $\pm 10\%$.

4.4.2 Algemeen

Er wordt bij het onderzoek naar de golfdoordringing uitgegaan van de drie hierboven vermelde windrichtingen, te weten: NW, N en ONO. Bij de bepaling van de sterkte van de wind en de frequentie van overschrijding wordt gebruik gemaakt van de windroos van het Lichtschip Goeree zoals deze gemeten is van 1949 t/m 1955 (57513 uren). Hierbij wordt verondersteld, dat hetzelfde windpatroon voor de Oosterschelde geldt als voor het Lichtschip Goeree.

(Bij de bepaling van de golfperiode en de golfhoogte wordt gebruik gemaakt van de fig 4.3 en 4.4)

De uitgangspunten voor het verdere onderzoek zijn:

NW wind	strijklengte	: 7.5 km
	windsnelheid bij windkracht 10:	24 m/sec
	golfhoogte	: 1.5 m
	golfperiode	: 4 à 5 sec
N wind	strijklengte	: 8.0 km
	windsnelheid bij windkracht 9 :	21 m/sec
	golfhoogte	: 1.4 m
	golfperiode	: 4 sec
ONOWind	strijklengte	: 5.0 km
	windsnelheid bij windkracht 7 :	14 m/sec
	golfhoogte	: 0.7 m
	golfperiode	: 3 sec

In alle bovenstaande gevallen wordt er vanuit gegaan, dat de duur van de optredende wind voldoende is om een golf volledig te ontwikkelen. Dit is des te meer aannemelijk, omdat de tijdsduur, die hiervoor benodigd is, minder dan 1 uur is.

Van deze drie windrichtingen is de windrichting uit het noorden de meest ongunstige. De golfhoogte is vrijwel gelijk aan die uit het noord-westen, maar de richting is veel ongunstiger. Uit het ONO is de richting ongunstiger dan uit het noorden, maar daar tegenover staat, dat de golfhoogte uit het noorden 2x zo hoog is. De waterstand, waarbij wordt gemeten is in het model NAP + 5.5 cm hetgeen overeenkomt met NAP + 2.20 m in het prototype. Uitgaande van HW bij springvloed van NAP + 1.80 m en een windopzet van 0.40 m.

Het was aanvankelijk de bedoeling proeven te nemen met golf richtingen van NW, N en ONO. Het opwekken van schuin invallende golven bleek echter bij de gegeven periode van 0.47 sec en 0.63 sec en een modelgolfhoogte van 1.75 cm en 3.8 cm slechts

mogelijk tot een hoek van 20 à 30 graden, terwijl 55 graden nodig was. Er kunnen dus alleen golven opgewekt worden uit het noorden. Aangezien dit de meest ongunstige richting is, kan hiermee worden volstaan.

4.4.3 Resultaten

De verschillende situaties, waarmee proeven zijn gedaan, zijn:
(zie ook bijlage IV)

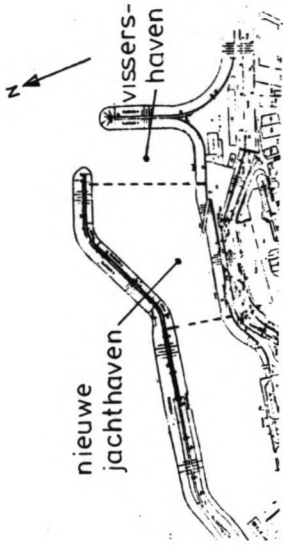
- G.1 oorspronkelijke situatie zonder blokkendammetjes (T12 t/m T14.)
- G.2 situatie met drie blokkendammetjes. (prototype)
(T1 t/m T5)
- G.3 situatie, waarbij de twee oostelijke dammetjes verwijderd zijn en vervangen zijn door één blokkendammetje aan de binnenzijde van de oostelijke havendam. (T9 t/m T11)
- G.4 als toestand G2, maar nu is de kuil vóór de havenmond dichtgestort. (T19 t/m T22)
- G.5 als toestand G3 maar nu is de kuil dichtgestort.
(T25 t/m T28)
- G.6 situatie met een grote blokkendam als verlenging van de westelijke havendam. De kuil is nu dichtgestort.
(T32 t/m T35)

Een overzicht van gemiddelde waarden in de verschillende delen van de voorhaven zijn in tabel 4.1 weergegeven.

Wanneer de huidige situatie (G.2) als referentie wordt aangehouden en als er van wordt uitgegaan dat deze situatie voldoet qua golfdoordringing, dan blijkt dat de haven zoals die is opgeleverd (situatie G.1), onvoldoende beschutting tegen de golven biedt, hetgeen in de praktijk ook is gebleken.

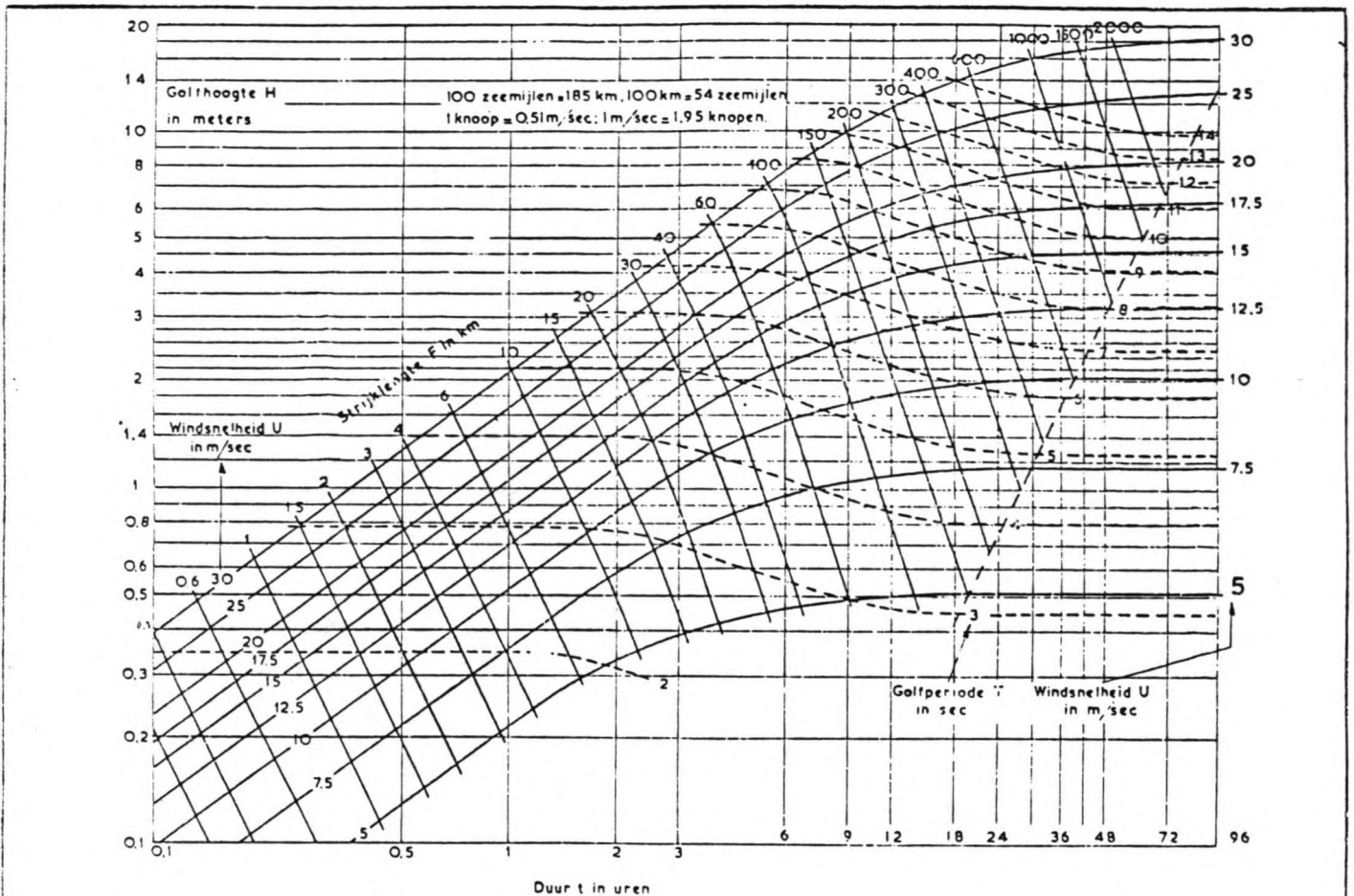
Het westelijke blokkendammetje blijkt onmisbaar. Het oostelijke blokkendammetje mag alleen verwijderd worden als daarvoor in de plaats een dammetje in de haven wordt gebouwd op het talud van de oostelijke dam (situatie G.3 en G.5)

In de situatie waarbij de westelijke blokkendam naar het noordoosten wordt uitgebouwd (situatie G.6) dringt zeer weinig golfslag door. In de vissershaven wordt de golfhoogte tot de helft gereduceerd. In de jachthaven is deze reductie t.o.v het prototype (G2), 25%.



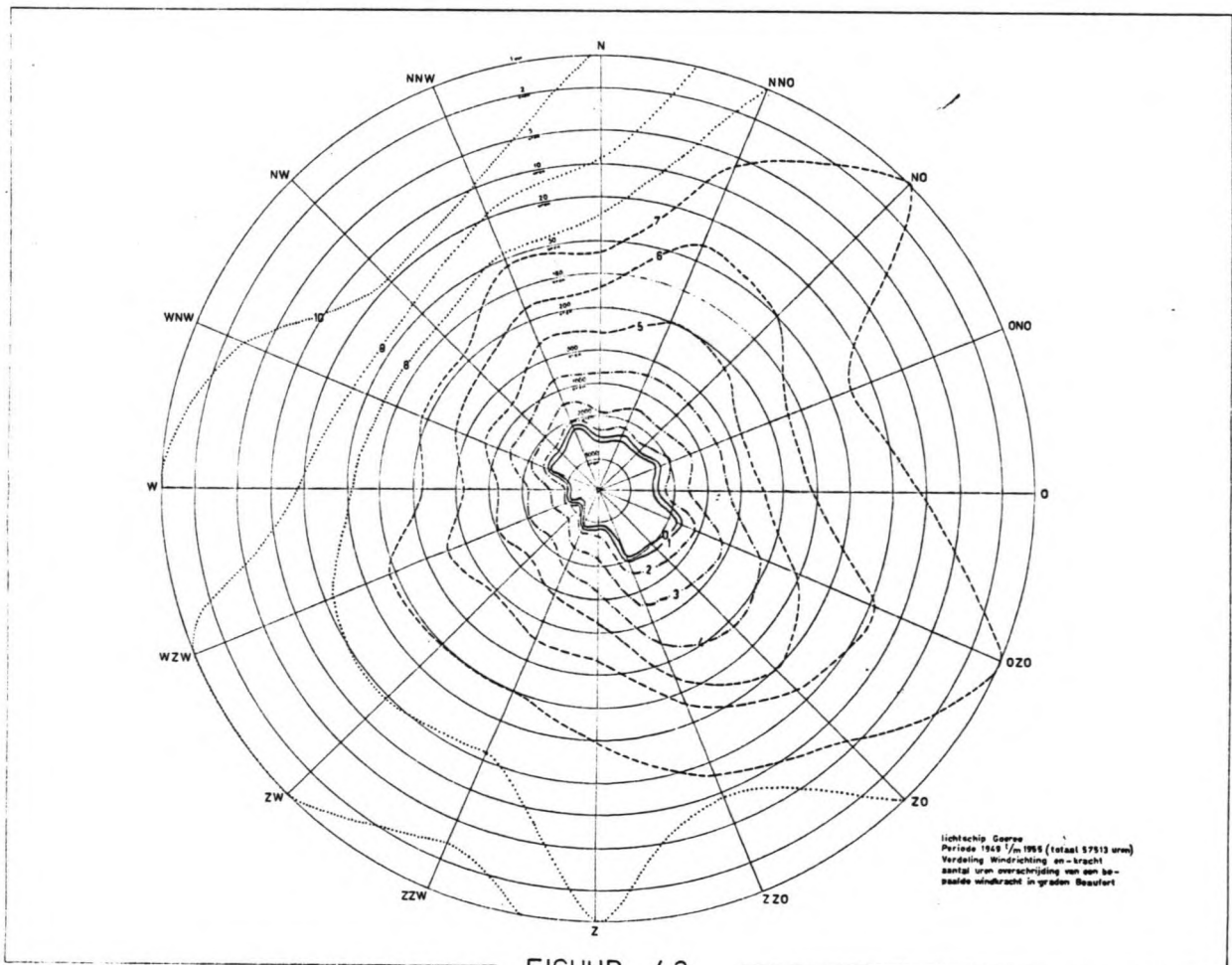
Tabel 4.1 GOLFDOORDRINGING

Situatie	Omschrijving	Golfhoogte in vissershaven		Golfhoogte in de nieuwe jachthaven	
		gemiddeld	maximaal	gemiddeld	maximaal
G.1		45%	71%	31%	49%
G.2: prototype		30%	50%	20%	30%
G.3		20%	50%	15%	30%
G.4 (kuil dicht)		30%	50%	15%	25%
G.5 (kuil dicht)		30%	50%	15%	35%
G.6 (kuil dicht)		15%	25%	15%	25%



Verband tussen windsnelheid, strijklengte, golfhoogte en golfperiode volgens het K.N.M.I.

FIGUUR 4.2



FIGUUR 4.3

5 CONCLUSIE

5.1 Oorzaak van de aanslibbing

De aanslibbing van de haven van Colijnsplaat, die het 2 à 3 voudige is van wat mag worden verwacht, wordt tijdens vloed veroorzaakt door het stroombeeld rond de haven.

De dichtheidsstroom die ontstaat door het spuien van zoet water in de haven, leidt tot een bijdrage aan de aanslibbing van hooguit 10%.

Het stroombeeld rond de haven wordt gekenmerkt door de volgende hydraulische verschijnselen:

1. Een sterke kromming van de stroomlijnen.
2. Het loslaten van de hoofdstroom bij de knik in de westdam.
3. Een neer.

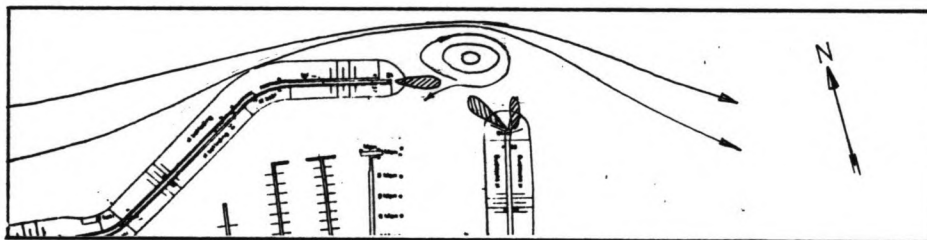


fig.5.1 Stroombeeld tijdens vloed.

ad 1. Door het uitbouwen van de nieuwe haven, is de hoofdstroom gedwongen om de haven heen te stromen. Dit veroorzaakt een kromming van de stroomlijnen, waardoor een spiraalstroom ontstaat zoals die ook in rivierbochten voorkomt. Hierdoor ontstaat een onderstroom die naar de binnenbocht c.q. de haveningang gericht is. Deze onderstroom wordt nog versterkt door een vulstroom van de diepe kuil die voor de havenmond ligt. Veel slib wordt hierdoor voor de haveningang gebracht.

ad 2. De hoofdstroom gaat bij de knik in de westdam loslaten (zie fig. 5.1). Dit gaat gepaard met wervelvorming en een toename van de turbulentie, waardoor de slibconcentratie hoger wordt.

ad. 3 Vóór de havenmond draait er bij vloed een neer. Deze drukt de hoofdstroom naar buiten, waardoor de kromming van de stroomlijnen toeneemt. De neer verzamelt het materiaal dat door de onderstroom en door de hoofdstroom wordt aangevoerd. Doordat er nu een continue uitwisseling plaatsvindt van slibrijk water uit de neer en slibarm water uit de haven, komt er extra slib in de haven.

Door de normale vulstroom wordt dit verder de haven in gebracht waar het bezinkt.

Bij eb gebeuren er wat de aanslibbing betreft niet direct nare dingen, hoewel het waarschijnlijk is dat materiaal, dat tijdens eb ten noorden van de westdam wordt afgezet, weer met de vloed in de haven wordt gebracht door het hierboven beschreven mechanisme.

5.2 Oplossing

De blokkendammetjes op de oostelijke en westelijke havendam blijken het stroombeeld slechts weinig te beïnvloeden. Als alle dammetjes verwijderd zijn, blijft er een grote neer voor de havenmond draaien. De snelheden hierin zijn weliswaar kleiner dan in het prototype, doch de extra naar binnen trekkende stroom over de bodem blijft bestaan. Alle andere combinaties van dammetjes leveren toch altijd een neer op en een stroombeeld, dat niet essentieel verschilt van dat van het prototype. Overigens is uit het golfonderzoek gebleken dat het dammetje op de westelijke havendam niet verwijderd mag worden in verband met de golfdoordringing.

Een echte verbetering van het stroombeeld ontstaat als de kuil wordt dichtgestort. De neer is dan praktisch geheel verdwenen, waardoor de hoofdstroom minder naar buiten wordt gedrukt. De kromming van de stroomlijnen is kleiner en de onderstroom is minder de haven in gericht. Het loslaten van de hoofdstroom, zoals hiervoor werd beschreven, blijft bestaan. Dit zal voor een verhoogde slibconcentratie nabij de havenmond zorgen, waardoor de aanslibbing hoger zal zijn dan in een ideale situatie het geval zou zijn. Deze verbetering leidt tot een reductie van de aanslibbing van 30 à 40 procent.

Een veel idealere situatie is die waarbij de kuil is dichtgestort en een grote dam op de westelijke havendam in noord-oostelijke richting wordt uitgebouwd. De kop van deze dam reikt tot aan het hart van de oostelijke havendam, zodat de haven in westelijke richting wordt binnengevaren. (toestand T32-T35) Nu ontstaat er een zeer grote langzaam draaiende neer ten oosten van de haven. De snelheden in deze neer zijn zo klein, dat al het materiaal dat door de vloedstroom wordt meegevoerd in het gebied ten oosten van de haven bezinkt. De haven wordt nu gevuld door het sedimentarme water uit dit gebied. Als de nieuwe dam poreus wordt uitgevoerd, zal de haven bovendien dóór deze dam heen gevuld worden met water met een hoge sedimentconcentratie. Het is dus beter deze dam ondoorlatend uit te voeren. Bij eb blijkt deze situatie zich goed te gedragen. Materiaal dat met vloed ten oosten van de haven is afgezet, zal voor een deel met eb verdwijnen. Door deze constructie zal de aanslibbing in de haven met ongeveer de helft verminderen.

5.3 Golfdoordringing

De situaties die een verbetering geven qua aanslibbing, voldoen ook met betrekking tot golfdoordringing.

Het westelijke blokkendammetje blijkt onmisbaar.

Het oostelijke blokkendammetje mag slechts verwijderd worden, als er aan de westkant van de oostdam, in de haven een dammetje wordt gebouwd. (toestand G.5)

De golfdoordringing is dan even groot als in het prototype.

In de situatie met een uitgebouwde westelijke havendam (toestand G.6) , wordt de golfdoordringing de helft van die van het prototype.

6. AANBEVELINGEN

De hierboven genoemde conclusies leiden tot de volgende aanbevelingen.

1. De kuil dichtstorten met erosiebestendig materiaal.
De besparing wordt hierbij op 1/3 van de huidige baggerkosten geschat.
2. Het verlengen van de westelijke havendam. De besparing wordt hierbij geschat op de helft van de huidige baggerkosten.

ad.1 Een mogelijk materiaal om de kuil dicht te storten zijn fosforslakken. Door de Prov.Waterstaat is een indicatie gegeven hoe groot de kosten van deze operatie zouden zijn; bij een kuilinhoud van 15000 m³ (1982) zouden de kosten f 900.000,-- bedragen.

Een andere manier is het dichtstorten van de kuil met zand en grind. Het bezwaar van het toepassen van deze materialen is, dat de tijdsduur, waarbinnen de kuil gevuld moet worden, kort moet zijn.

Als het zand gestort is moet zeer snel daarna het grind erover gestort worden, wil het zand niet met de eerste eb- of vloedstroom weer verdwijnen.

Ook van deze operatie is door de Prov.Waterstaat een ruwe schatting gemaakt van de kosten bij een kuilinhoud van 15000 m³ te weten: f 340.000,--.

Om het in- en uitvaren van de haven te vereenvoudigen is het mogelijk de twee dammetjes op de oostelijke havendam te verwijderen. Aan de binnenzijde van de oostelijke havendam moet dan wel een extra blokkendammetje gebouwd worden om golfdoordringing te beperken.

De extra kosten hiervoor zijn door de Prov.Waterstaat ruw geschat op: f 30.000,--.

ad.2 Ook bij het verlengen van de westelijke havendam, zal de kuil dichtgestort moeten worden. Op deze dichtgestorte kuil wordt een breukstenen dam opgebouwd. Voor deze dam is een hoeveelheid breuksteen nodig van 17500 ton. De kosten van deze operatie bedragen volgens een ruwe schatting van de Prov.Waterstaat ongeveer: f 2.000.000,--.

LITERATUUR.

- Bijker, E.W., Stapel, D.R.A., de Vries, M. (1957): Some scale effects in models with bed load transportation: Proc. of the 7th congr. of the IAHR, Lisbon, 1957, Vol I.
- Bijker, E.W. (1967): Some considerations about scales for coastal models with movable bed: Publ. no.50, Delft Hydraulics Laboratory, Delft.
- Dronkers, J. (1982): Predictive salinity modeling of the Oosterschelde with hydraulic and mathematical models: Delft Hydraulics Laboratory, WL 264 april 1982, Delft.
- Eysink, W.D. and Vermaas, H. (1983): Computational methods to estimate the sedimentation in dredged channels and harbour basins in estuarine environments: Delft Hydraulics Laboratory, WL 307, juni 1983, Delft.
- Hayes, F.Ch. (1978): Guidance for hydrographic and hydro-metric surveys: Delft Hydraulics Laboratory, WL 200, mei 1978, Delft.
- Yalin, M. (1971): Theory of hydraulic models: MacMillan, London.
- Symposium on modelling technics: Vol II, ASCE, San Francisco, California, 1975.
- Neren: voorbeelden, invloed van grootschalige geometrie: Notitie van Waterloopkundig Laboratorium, WL R 1150, maart 1983, Delft.

