

**LOKALE OPWAAIING IN DE HAVENS
VAN VLISSINGEN OOST**

NOVEMBER 1991

Rapport

Frederic R. Harris B.V.

Engineers, Planners, Economists & Consultants

The Hague, Netherlands



DT : 2013

INHOUD

<u>SECTIE</u>	<u>TITEL</u>	<u>PAGINA</u>
1	INLEIDING	1
2	ACHTERGROND	2
3	SCHEMATISATIE	3
4	RAND- EN BEGINVOORWAARDEN	4
5	GEVOELIGHEIDSANALYSE	6
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	12
	LITERATUURLIJST	14
	FIGUREN	
	APPENDIX	

SECTIE 1

INLEIDING

De havens in Vlissingen Oost worden omringd door een waterkering die ook onder ontwerpomstandigheden, zoals door de Deltacommissie gedefinieerd [Lit. 1], moet blijven functioneren. Als onderdeel van de uitvoering van de laatste fase van de Deltawet dienen de belastingen en sterkte van genoemde waterkering te worden geevalueerd. Binnen dit kader hebben het Waterschap Noord- en Zuid Beveland en het Waterschap Walcheren middels een opdrachtbrief (2925/91-2926/91) aan Frederic R. Harris B.V. opdracht verleend om de lokale opwaaiing in de haven nader te onderzoeken. Voor de technische begeleiding van de opdracht was ing. P. Roelse van de Dienst Getijdewateren van de Rijkswaterstaat beschikbaar.

SECTIE 2

ACHTERGROND

Het (buitendijkse) havengebied van Vlissingen Oost bestaat uit een gebied met een hoogteligging van ongeveer +5.00 m NAP dat doorsneden wordt door een aantal havenbekkens (Fig. 1). Naast de opstallen voor de gebruikelijke industriële activiteiten op de terreinen, zijn grote delen van het terrein op dit moment ongebruikt en onbebouwd. Gezien het ontwerppeil, dat voor Borsele bepaald is op +5.55 m NAP, zullen de terreinen bij ontwerpomstandigheden onder water komen te staan. Op de ondergelopen terreinen zal de waterdiepte daarbij in de orde van 1 m zijn en in de havenbekkens in de orde van 20 tot 25 m. De lokale opwaaiing die binnen het havengebied plaats vindt, wordt in sterke mate beïnvloed door deze waterdiepten. De Leidraad voor het Ontwerpen van Rivierdijken (Benedenrivieren), geeft aan dat de opwaaiing omgekeerd evenredig is met de waterdiepte op het voorland. Gezien de grote verschillen in waterdiepte op de ondergelopen terreinen en de havenbekkens valt te verwachten dat grote verschillen in opwaaiing in het havengebied zullen optreden. Door deze verschillen zal afstroming van het opgewaaide water optreden waardoor deze opwaaiing zal verminderen.

Naast de invloed van de waterdiepte op de opwaaiing in het havengebied, zal ook de bebouwing van de terreinen zijn invloed hebben op de opwaaiing binnen het havengebied. Deze invloed is tweeledig. Ten eerste valt te verwachten dat hoge bebouwing als windscherm zal functioneren voor het van de wind af gelegen terrein. Ten tweede zal de toestroming van water over gebieden met veel bebouwing sterk belemmerd worden door deze bebouwing. Om de invloed van de waterstand en de (afwezigheid van) bebouwing op de opwaaiing binnen het havengebied te onderzoeken, is van dit gebied een 1-dimensionaal stromingsmodel ontwikkeld met het programma pakket DUFLOW [Lit. 2]. Het (gevoeligheids)onderzoek is gericht op:

- de invloed van de (gemiddelde) waterstand
- de invloed van de windsnelheid en -richting
- de invloed van afscherming
- de invloed van (zijdelingse) afstroming

De resultaten van het onderzoek zijn in het onderliggende rapport weergegeven.

SECTIE 3

SCHEMATISATIE

Bij de schematisatie van het gebied naar een 1-dimensionaal model speelt de orientatie van de (stroom) vakken een belangrijke rol. De opwaaiing over een vak is namelijk maximaal indien de wind in de lengterichting van het vak waait. Verder wordt de invloed van de wind alleen in rekening gebracht over de stroomvoerende breedte van een vak en niet over de bergende breedte (Figuur 2). Dientengevolge is de schematisatie van het gebied als volgt opgebouwd:

De havenbekkens van de Sloehaven, de Quarleshaven, de Bijleveldhaven, het Eurogasbekken, de van Cittershaven, de Kraayerthaven en de Kaloothaven zijn geschematiseerd in 12 vakken (Figuur 3, vak 1-12). De haventerreinen ten noordwesten van de Quarleshaven zijn geschematiseerd in een 4-tal vakken (Figuur 3, vak 13-16) die afstromen naar de Quarleshaven. Om zijdelingse uitwisseling van water mogelijk te maken (toestroming t.g.v. afwaaiing) zijn deze vakken onderling verbonden door overlatten. Op dezelfde manier zijn ook de overige haventerreinen geschematiseerd. Belangrijke punten in deze schematisatie zijn:

- de verbinding tussen de Kraayerthaven en het haventerrein ten zuidwesten van Eurogas waardoor afstroming kan plaatsvinden (vak 20).
- de afwezigheid van een verbinding tussen knoop 11 en 21 waardoor geen afstroming kan plaatsvinden naar de Van Cittershaven. Dit kan wel door vak 27 tussen knoop 11 en 20 (Heerema terrein).
- Vak 18 en vak 22 zijn stroomvakken door twee gebieden met veel bebouwing (Hoechst en Pechiney fabrieken).

Voor de schematisatie is aangenomen dat de hoogte van de haven- terreinen op +5.00 m NAP ligt. De diepte van de havenbekkens is geschematiseerd volgens de notitie "ZEEWERING ROND INDUSTRIEGEBIED VLISSINGEN-OOST" [Lit. 3].

Voor de berekening van de wrijvingsterm in de stromingsvergelijking is uitgegaan van de formule van Chezy. Gegeven de grote diepte in de havenbekkens, is de Chezy coëfficiënt voor deze vakken bepaald op $70 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$. Voor de ondergelopen terreinen geldt dat de waterdiepte klein is maar ook dat de bodemruwheid groot is. Op basis van deze gegevens is de Chezy coëfficiënt van alle ondergelopen terreinen vastgesteld op $30 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$. Voor vak 13 is deze vastgesteld op $50 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ i.v.m. de grotere diepte. Het terrein ligt hier beduidend lager dan +5.00 m NAP.

SECTIE 4

RAND- EN BEGINVOORWAARDEN

Algemeen

Het model kent twee randvoorwaarden. De eerste betreft de randvoorwaarde in de havenmond (knoop 1). Bij de berekeningen wordt uitgegaan van een stationaire situatie. De waterstand in knoop 1 is dus constant in de tijd. De aanpassing van de waterstanden in het bekken t.g.v. de wind dienen hierbij significant korter te duren dan de (verwachte) verandering in de buitenwaterstand. Als tweede randvoorwaarde is in knoop 21 aangenomen dat geen in- of uitstroming optreedt (rand van het haventerrein).

Als beginvoorwaarde is aangenomen dat de binnenwaterstand gelijk is aan de buitenwaterstand in knoop 1 en dat alle debieten nul zijn.

Gemiddelde Waterstanden

Als uitgangspunt voor de berekeningen is een ontwerp waterstand van +5.50 m NAP gehanteerd, hetgeen iets lager is dan de ontwerp waterstand voor Borsele (+5.55 m NAP) maar hoger dan voor Vlissingen (+5.40 m NAP). Om de invloed van de zeespiegelrijzing in rekening te brengen is ook een waterstand van +5.70 m NAP bestudeerd.

Seiches

De invloed van seiches is op twee manieren bestudeerd. Allereerst is aangenomen dat seiches een verhoging van de gemiddelde waterstand geven van 0.20 tot 0.30 m [Lit. 4] die de opwaaiing beïnvloedt. Onder deze voorwaarde is de randvoorwaarde in knoop 1 en de beginvoorwaarde een waterstand van +6.00 m NAP (inclusief zeespiegelrijzing).

Een betere benadering lijkt dat seiches niet van invloed zijn op de gemiddelde waterstand (en dus de opwaaiing) omdat een seiche een relatief kort durende golfbeweging is. De seiche wordt achteraf gesuperponeerd op de gemiddelde waterstand inclusief opwaaiing, waarbij deze laatste dus is berekend zonder de invloed van de seiche op de waterstand.

Wind

Als windsnelheden zijn gehanteerd 30 m/s (6 uren gemiddelde windsnelheid) en 40 m/s (1 uren gemiddelde windsnelheid). Als windrichting zijn gehanteerd: 300°, 315° en 330° t.o.v. N. Om schommelingen in de waterstanden t.g.v. het plotseling opleggen van een grote windsnelheid te beperken

is er voor gekozen de windsnelheid niet als blok functie in te voeren maar als functie van de tijd (Figuur 4).

SECTIE 5

GEVOELIGHEIDSANALYSE

Om het aantal uit te voeren berekeningen te beperken is een logische volgorde van wijzigingen in het model en de randvoorwaarden toegepast. De wijzigingen t.o.v. de eerste berekening zijn aangegeven in de volgende tabel.

TABEL 1

RANDVOORWAARDEN EN MODELCONDITIES

	Berekening								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h (m NAP)	6.0		5.7	5.5	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
Vwind (m/s)	40.0	30.0							
α wind (° N)	315.0				300.0	330.0			
μ wind (-)	3.6						vak 1.8 14 1.8 15 0.0 18 0.0 20		
μ overlaat (-)	1.0							0.5	vak 27 verwijderd

Deze Tabel geeft alleen een overzicht van de gewijzigde parameters t.o.v. de eerste berekening. In appendix A zijn alle invoergegevens van deze eerste berekening weergegeven. Als uitvoer van het model zullen hoofdzakelijk waterstanden worden gepresenteerd.

5.1 Berekening 1

De resulterende waterstanden van de berekening zijn weergegeven in Tabel 2. De af- en opwaaiing t.o.v. de gemiddelde (begin)waterstand zijn weergegeven in Tabel 3. Uit deze tabellen blijkt dat de waterstanden in de havenbekkens slechts minimaal beïnvloed worden (knoop 1-13). De maximale opwaaiing bedraagt 7 cm in knoop 11 aan het eind van de Van Cittershaven. Ten gevolge van afwaaiing treedt in knoop 14 t/m 17 een verlaging van de waterstand op welke maximaal 36 cm bedraagt. In knoop 18 en 20 t/m 22 wordt een verhoging van de waterstand van 31 tot 56 cm berekend. Opvallend is dat in knoop 19 een verlaging van de waterstand wordt berekend t.o.v. de waterstanden op de havenbekkens. Nadere bestudering laat zien dat dit een

TABEL 2: BEREKENDE MAXIMALE WATERSTANDEN DUFLOW MODEL VLISSINGEN (M NAP)

BEREKENING:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
KNOOP									
1	6.00	6.00	5.70	5.50	5.70	5.70	6.00	5.70	6.00
2	5.99	5.99	5.69	5.49	5.79	5.68	5.98	5.70	5.99
3	6.00	6.00	5.70	5.50	5.80	5.69	5.99	5.70	6.00
4	6.00	6.00	5.70	5.50	5.80	5.69	5.99	5.70	6.00
5	6.01	6.00	5.71	5.51	5.81	5.69	5.99	5.71	6.01
6	6.01	6.00	5.71	5.51	5.81	5.69	5.99	5.71	6.01
7	5.98	5.99	5.68	5.48	5.78	5.66	5.96	5.68	5.98
8	6.02	6.01	5.72	5.52	5.82	5.70	6.00	5.72	6.02
9	6.04	6.02	5.74	5.54	5.84	5.72	6.02	5.74	6.04
10	6.05	6.03	5.75	5.55	5.85	5.73	6.03	5.75	6.05
11	6.07	6.04	5.77	5.57	5.87	5.75	6.05	5.77	6.07
12	6.05	6.03	5.75	5.55	5.85	5.73	6.03	5.75	6.05
13	6.04	6.02	5.74	5.54	5.84	5.71	6.01	5.74	6.04
14	5.80	5.89	5.48	5.27	5.57	5.49	5.79	5.48	5.78
15	5.64	5.83	5.34	5.25	5.55	5.34	5.64	5.23	5.33
16	5.64	5.83	5.31	5.30	5.60	5.30	5.60	5.22	5.31
17	5.69	5.85	5.37	5.34	5.64	5.34	5.64	5.31	5.61
18	6.34	6.20	6.12	6.01	6.31	6.14	6.44	6.12	6.43
19	5.96	5.98	5.62	5.43	5.73	5.70	6.00	5.62	5.92
20	6.38	6.23	6.17	6.05	6.35	6.13	6.43	6.17	6.47
21	6.59	6.36	6.41	6.32	6.62	6.37	6.67	6.41	6.71
22	6.31	6.18	6.09	5.98	6.28	6.07	6.37	6.10	6.40

TABEL 3: BEREKENDE AF- EN OPWAAIING (IN M) T.O.V.

BEREKENING	1	2	3	4	5	6	7	8	9
KNOOP									
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
3	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00
4	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00
5	0.01	0.00	0.01	0.01	0.03	-0.01	0.01	0.01	0.01
6	0.01	0.00	0.01	0.01	0.04	-0.01	0.01	0.01	0.01
7	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	0.01	-0.04	-0.02	-0.02	-0.02
8	0.02	0.01	0.02	0.02	0.05	-0.00	0.02	0.02	0.02
9	0.04	0.02	0.04	0.04	0.05	0.02	0.04	0.04	0.04
10	0.05	0.03	0.05	0.05	0.06	0.03	0.05	0.05	0.05
11	0.07	0.04	0.07	0.07	0.09	0.05	0.07	0.07	0.07
12	0.05	0.03	0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05
13	0.04	0.02	0.04	0.04	0.05	0.01	0.04	0.04	0.04
14	-0.20	-0.11	-0.22	-0.23	-0.21	-0.21	-0.22	-0.22	-0.22
15	-0.36	-0.17	-0.36	-0.25	-0.45	-0.36	-0.30	-0.47	-0.37
16	-0.36	-0.17	-0.39	-0.39	-0.44	-0.41	-0.48	-0.39	-0.48
17	-0.31	-0.15	-0.33	-0.16	-0.35	-0.36	-0.27	-0.39	-0.33
18	0.34	0.20	0.42	0.51	0.38	0.44	0.44	0.43	0.43
19	-0.04	-0.02	-0.08	-0.07	-0.11	-0.00	-0.08	-0.08	-0.08
20	0.38	0.23	0.47	0.55	0.48	0.43	0.47	0.47	0.53
21	0.59	0.36	0.71	0.82	0.71	0.67	0.71	0.71	0.76
22	0.31	0.18	0.39	0.48	0.40	0.37	0.40	0.39	0.40

gevolg is van de afwaaiing over vak 26. Voor de gegeven windrichting en orientatie van vak 26 blijkt de windcomponent van knoop 19 naar knoop 9 te werken, hetgeen tot afwaaiing in knoop 19 leidt. Zie ook de resultaten van berekening 5 en 6.

Figuur 5 laat het verloop van de waterstand in de knopen 3, 15, 18 en 21 zien als functie van de tijd. Uit deze figuur kan geconcludeerd worden dat de waterstand zich snel aanpast aan de heersende windcondities. Nadat de windsnelheid zijn maximum heeft bereikt, duurt het slechts kort totdat de waterstanden in het model stabiel zijn. Uit dit resultaat kan geconcludeerd worden dat, gezien de snelle aanpassing van de waterstanden, voor lokale opwaaiing de 1 uurs gemiddelde windsnelheid maatgevend is.

Figuur 6 geeft een indruk van het patroon van afstroming en toestroming t.g.v. de verschillen in opwaaiing binnen het haventerrein. In vak 1 en 21 treedt geen stroming op, omdat bij het stationair worden van de berekening op basis van continuïteit geen stroming meer kan optreden. Uit de figuur blijkt verder dat, door afwaaiing van het water uit knopen 14 t/m 17, toestroming van water optreedt uit de Sloehaven (i.c. vak 13) en de Bijleveldhaven (vak 6). Door de opwaaiing in knoop 18 vindt afstroming plaats naar knoop 13 resp. knoop 22. Opvallend is dat het debiet door vak 22 hoofdzakelijk wordt afgevoerd door vak 12 (Kaloorthaven), en door vak 27 (Heerema terrein) en niet door vak 26. Dit valt te verklaren door de grote ruwheid van de ondergelopen terreinen (lage Chezy coefficient) en de optredende vervallen. De Chezy coefficienten in vak 26 en 27 zijn wel gelijk, maar door de grotere opwaaiing in knoop 20 is het verval over vak 27 groter en daarmee ook het debiet.

5.2 Berekening 2

Om de gevoeligheid van het model voor de windsnelheid te bepalen is in deze berekening de 6 uurs gemiddelde windsnelheid van 30 m/s gebruikt.

De resultaten zijn wederom weergegeven in Tabel 2 en Tabel 3. Uit deze tabellen blijkt dat de waterstanden in de havenbekkens nauwelijks veranderen t.o.v. de resultaten van berekening 1. Voor de ondergelopen terreinen zijn deze verschillen beduidend groter. Ten gevolge van de lagere windsnelheid zijn zowel de afwaaiing als de opwaaiing minder. De maximale afwaaiing bedraagt 17 cm en de maximale opwaaiing 36 cm.

Op basis van het feit dat de stationaire (stromings) toestand snel na het bereiken van de maximale windsnelheid wordt bereikt, is er voor gekozen om alle navolgende berekeningen uit te voeren met een windsnelheid van 40 m/s.

5.3 Berekening 3

In deze berekening is de (afwezigheid) van de invloed van seiches op de gemiddelde waterstand onderzocht. Zoals blijkt uit Tabel 1, is de gemiddelde waterstand 30 cm lager dan in berekening 1.

Wederom zijn de resultaten weergegeven in Tabel 2 en 3. In Tabel 3 zijn de verhoging en verlaging t.o.v. de begin- en randvoorwaarde aangegeven. Uit deze tabel blijkt dat t.g.v. de lagere gemiddelde waterstand de opwaaiing t.o.v. deze gemiddelde waterstand inderdaad groter is dan voor berekening 1. Indien bij deze resultaten een seiche hoogte van 30 cm wordt opgeteld (Tabel 2), zijn de maximale waterstanden in die knopen waar significante opwaaiing optreedt, hoger dan die van berekening 1. Het interpreteren van seiches als golfbeweging levert dus hogere maximale waterstanden op dan wanneer voor de berekening van de opwaaiing de seiche (golf)hoogte bij de gemiddelde waterstand wordt opgeteld.

5.4 Berekening 4

Gezien de resultaten van berekening 3 valt te verwachten dat de opwaaiing nog hoger wordt indien de zeespiegelrijzing niet in rekening wordt gebracht. In dit geval is de gemiddelde waterstand dus +5.50 m NAP.

De resultaten in Tabel 3 geven inderdaad aan dat de maximale opwaaiing nog hoger is dan in berekening 1 en 3. Indien bij deze maximale waterstanden wederom een seiche hoogte van 30 cm wordt opgeteld (Tabel 2), blijkt dat de maximale waterstanden lager of gelijk zijn dan die uit berekening 1 en lager dan die uit berekening 3. Er wordt op gewezen dat de zeespiegelrijzing niet bij de resultaten opgeteld mag worden, omdat de zeespiegelrijzing een verhoging van de gemiddelde waterstand geeft en daarmee de opwaaiing beïnvloedt.

Op basis van de resultaten van berekening 1 t/m 4 kan geconcludeerd worden dat de hoogste waterstanden worden bereikt bij een windsnelheid van 40 m/s, een gemiddelde waterstand van +5.70 m NAP (ontwerp waterstand + zeespiegelrijzing), de opwaaiing bij deze gemiddelde waterstand en het superponeren van de seiche golfhoogte op deze gemiddelde waterstand en opwaaiing. In de volgende berekeningen is van deze combinatie van wind- en waterstand voorwaarden uitgegaan. Alle resultaten zullen daarbij vergeleken worden met de resultaten van berekening 3.

5.5 Berekening 5 en 6

Zoals aangegeven in Hoofdstuk 2 is de opwaaiing afhankelijk van de windrichting t.o.v. de richting van de (stroom)vakken. Om de invloed van de windrichting te bestuderen is in berekening 5 en 6 de windrichting gewijzigd (zie Tabel 1).

Uit Tabel 2 en 3 blijkt dat de verschillen in waterstand t.o.v. berekening 3 klein zijn (na optelling van de seiche hoogte van 30 cm). Bij een meer westelijke wind dan NW (Berekening 5) blijken de waterstanden in knoop 20 t/m 22 nauwelijks te veranderen en in knoop 18 neemt de waterstand iets af. Bij een meer noordelijke wind dan NW blijken de waterstanden in knoop 20 t/m 22 af te nemen en neemt de waterstand in knoop 18 iets toe. Over het algemeen zijn de verschillen echter gering.

Uit de resultaten van berekening 3, 5 en 6 blijkt duidelijk de invloed van de windrichting op de waterstand in knoop 19. In berekening 6 staat de wind loodrecht op vak 26 en wordt nauwelijks afwaaiing in knoop 19 berekend. In berekening 3 is er een geringe hoek tussen de windrichting en de richting van vak 26 hetgeen leidt tot een geringe afwaaiing in knoop 19. In berekening 5 is deze hoek nog iets groter, hetgeen leidt tot een nog grotere afwaaiing in knoop 19.

5.6 Berekening 7

Eén van de aspecten die voor de opwaaiing in de haven van bijzonder belang is, is het (afschermend) effect van de bebouwing. Om dit te bestuderen zijn in deze berekening van een aantal vakken de windconversie factoren gewijzigd.

Vak	Windconversie factor (*10 ⁻⁶)
14	1.8
15	1.8
18	0.0 (geen wind!)
22	0.0 (geen wind!)

Uit de resultaten in Tabel 2 en 3 blijkt dat t.g.v. de verminderde windinvloed in vak 14 en 15 de afwaaiing in knoop 15 t/m 17 verminderd. De afwezigheid van wind in vak 18 en 22 beïnvloedt nauwelijks de opwaaiing. Alleen de opwaaiing in knoop 18 is iets hoger dan t.o.v. berekening 3.

5.7 Berekening 8

Een belangrijk aspect voor de op- en afwaaiing vormt de zijdelingse toe- en afstroming tussen de diverse vakken. In het gebied waar afwaaiing optreedt zijn voor de zijdelingse toestroming met name de geschematiseerde overlagen van

belang. Om de invloed van een gedeeltelijke blokkering van deze zijdelingse toestroming op de op- en afwaaiing te bestuderen, zijn alle afvoercoëfficiënten van deze overlaten gewijzigd.

Uit Tabel 2 en 3 blijkt dat door de verminderde zijdelingse toestroming de afwaaiing in knoop 15 t/m 17 groter wordt. Deze verminderde toestroming blijkt echter niet van invloed op de opwaaiing. Dit is toe te schrijven aan de invloed van de havenbekkens van de Sloehaven en Quarleshaven. Door de lagere stromingsweerstand in deze diepe havenbekkens, worden optredende waterstandsverschillen direct genivelleerd.

5.8 Berekening 9

In deze berekening is bestudeerd wat de invloed is van het ontbreken van enige zijdelings afstroming tussen knoop 11 en 20 (Heerema terrein).

Uit Tabel 2 en 3 blijkt dat door het ontbreken van zijdelingse afvoer de waterstand in knoop 20 en 21 t.o.v. de resultaten uit berekening 3 toeneemt (6 en 5 cm respectievelijk). T.o.v. de absolute grootte van de opwaaiing is dit een geringe toename. De zijdelingse afstroming door vak 27 is in berekening 3 al dusdanig klein, dat totale blokkering van deze afstroming een geringe extra waterstandsverhoging tot gevolg heeft.

5.9 Samenvatting van de resultaten

Uit de resultaten van berekening 1 t/m 4 blijkt dat, uitgaande van stationaire randvoorwaarden, de uiteindelijke waterstanden worden bereikt kort na het maximaal worden van de windsnelheid. Gezien de korte aanpassingstijd, kan geconcludeerd worden dat de 1 uursgemiddelde windsnelheid (40 m/s) voor de waterstanden binnen het havengebied maatgevend is.

De hoogste waterstanden worden bereikt indien seiches worden opgevat als golfbeweging die niet bijdragen tot een verhoging van de gemiddelde waterstand. Door deze "lagere" waterstand is de opwaaiing hoger. Superpositie van de seiche golfhoogte op de aldus verkregen waterstanden leidt tot de gevonden maxima.

Indien de zeespiegelrijzing niet in rekening wordt gebracht voor de gemiddelde waterstand, neemt de opwaaiing op zich nog meer toe. De toename van deze opwaaiing blijkt echter niet groter te zijn dan de zeespiegelrijzing zelf. De waterstanden zijn dus niet hoger dan voor het voorgaande geval.

Een kleine wijziging in windrichting t.o.v. de richting NW resulteert in kleine verschillen in waterstanden. Meer noordelijke wind resulteert in een geringe verlaging van de waterstand en een meer westelijke wind beïnvloedt de waterstanden nauwelijks.

Het verminderen van de invloed van de wind in een aantal vakken waar bebouwing staat, heeft nauwelijks invloed op de knopen waar maximale opwaaiing optreedt. De waterstand in deze knopen wordt niet beïnvloedt door wind, indien tussen deze knopen en het vak waar op- of afwaaiing plaatsvindt zich een (diep) havenbekken bevindt. M.a.w. de maximale opwaaiing wordt bepaald door het lokale voorland en de (af)stroming over dit voorland. Onder het lokale voorland wordt het gebied verstaan van het punt van interesse tot de rand van het havenbekken waar dit voorland aan grenst.

Vermindering van de zijdelingse toestroming door de overlaten in het gebied waar afwaaiing optreedt, beïnvloedt alleen de afwaaiing in dit gebied. De opwaaiing wordt niet beïnvloed. Ook dit resultaat laat zien dat de op- en afwaaiing in een punt wordt bepaald door de op- of afwaaiing op het lokale voorland.

De invloed van zijdelingse afstroming over het Heerema terrein blijkt (bij de gekozen schematisatie en bodemruwheid van de ondergelopen terreinen) van enige invloed op de maximale opwaaiing. Bij het ontbreken van zijdelingse afstroming over dit terrein, neemt de maximale opwaaiing in knoop 21 met 5 cm toe.

SECTIE 6

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Bij de bepaling van de opwaaiing onder stormvloed omstandigheden, in de havens van Vlissingen Oost spelen een aantal factoren een rol. Deze factoren zijn te scheiden in randvoorwaarden (wind, waterstanden) en modellering (ruwheden, afvoercoëfficiënten, schematisatie).

Op basis van de resultaten van het model kunnen de randvoorwaarden voor het bepalen van de maximale opwaaiing in de haven éénduidig worden vastgesteld. De lokale opwaaiing in de haven reageert dusdanig snel op de windsnelheid dat toepassing van de 1-uurs gemiddelde windsnelheid (40 m/s) maatgevend is voor de opwaaiing. De maatgevende windrichting is in de lengterichting van het havenbekken (NW-wind) en de opwaaiing is weinig gevoelig voor variatie in deze windrichting. De hoogste waterstand wordt verkregen door de opwaaiing te berekenen voor deze windsnelheid en -richting bij een gemiddelde waterstand van +5.70 m NAP (ontwerp-waterstand + verwachte zeespiegelrijzing) en de seiche (0.30 m) op de gevonden waterstanden te superponeren.

De modellering zelf is ook van invloed op de resultaten m.b.t. de opwaaiing in de havens. Allereerst hebben de havenbekkens een reducerende invloed op de opwaaiing in het havengebied. Indien de strijklengte vóór een dijkvak wordt doorkruist door een havenbekken, is niet de totale strijklengte maatgevend, maar de strijklengte tot het havenbekken. Ondergelopen gebieden aan de overzijde van het havenbekken zijn in dit geval niet van invloed op de opwaaiing voor het bovengenoemde dijkvak. Concreet betekent dit dat de opwaaiing voor de dijk bij de kerncentrale (model knoop 21) wordt bepaald door de strijklengte tot de Kaloothaven. Voor de opwaaiing bij de dijk langs de Frankrijkweg (model knoop 18) door de strijklengte tot de Quarleshaven.

De zijdelingse afstroming t.g.v. verschillen in opwaaiing in de havenbekkens en op de ondergelopen terreinen is eveneens van invloed op de berekende maximale opwaaiing. Indien géén afstroming plaatsvindt over het Heerema terrein (vak 27) wordt de maximale waterstand in knoop 21 (inclusief seiche) +6.76 m NAP. De opwaaiing is dan 0.76 m t.o.v. de gemiddelde waterstand (= +5.70 m NAP). Indien aangenomen wordt dat de afstroming over het terrein beschreven kan worden door een stroomvak met een Chezy coëfficiënt van $30 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ en een stroomvoerende breedte van 300 m, dan wordt de maximale waterstand +6.71 m NAP (inclusief seiche). De model parameters van vak 27 leiden dus tot een geringe zijdelingse afvoer, zodat afwezigheid van deze afvoer een geringe extra waterstandsverhoging tot gevolg heeft.

Ter vergelijking is voor de condities van de berekeningen de opwaaiing in knoop 21 ook bepaald m.b.v. de Leidraad voor het Ontwerpen van Rivierdijken (Benedenrivieren). Voor een strijklengte van 1373 m (vak 21 en 24), een windsnelheid van 40 m/s in de lengterichting van het vak en een waterdiepte op het voorland van 0.70 m wordt een opwaaiing berekend van 1.10 m. Inclusief seiches zou de maximale waterstand in dit geval +7.10 m NAP bedragen. Dit is 0.34 m meer dan berekend met het DUFLOW model zonder zijdelingse afstroming (berekening 9) en 0.39 m meer voor het DUFLOW model met beperkte zijdelingse afstroming (berekening 3).

Voor de verdere bestudering van de Delta-veiligheid van de diverse dijkvakken rond de havens van Vlissingen-Oost dient een keuze te worden gemaakt voor de ontwerpwaterstanden. Op grond van de uitgevoerde analyse weergelegd in dit rapport, wordt geadviseerd om voor deze waterstanden het maximum van de resultaten van berekening 3, 5 en 6 te nemen. Deze keuze berust op de overweging dat, ondanks aanwezige bebouwing, enige mate van zijdelingse afstroming altijd kan optreden. De resultaten van berekening 9 zijn daardoor relatief conservatief. Verder wordt de opwaaiing voor een dijkvak beïnvloed door de windrichting en de gekozen schematisatie van de stroomvakken in het model, zoals blijkt uit berekeningen 3, 5 en 6. Bovengenoemde keuze leidt tot de volgende waterstanden op locaties waar opwaaiing plaats vindt. Voor het dijkvak langs de Frankrijweg een waterstand van +6.40/+6.44 m NAP (resp. knoop 22 en knoop 18) en voor het dijkvak langs de Europaweg +6.71 m NAP (knoop 21).

De laatste stichting is nu al in de hand en de waterstand op het veld is nu al in de hand is ongeveer 0.39 m. Dit is met behulp van een klein kanaal deze hoge waterstand nu niet gehanteerd wordt

*6.0
0.39

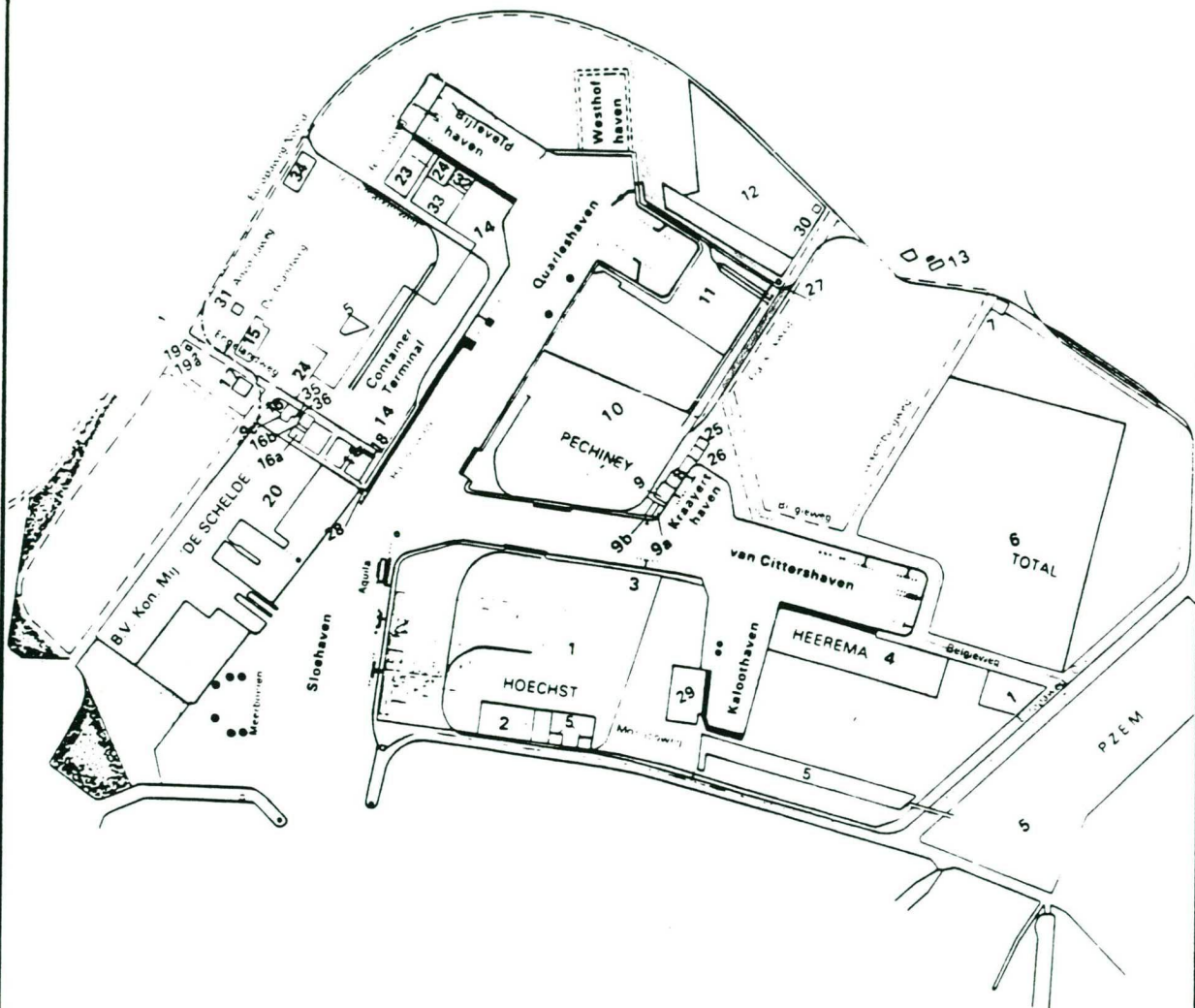
6.39*

*6.0
0.71

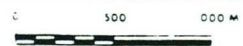
6.71*

LITERATUUR

1. Rapport Deltacommissie, deel 6, Staatsuitgeverij, 1961.
2. DUFLOW, A micro-computer package for the simulation of one-dimensional flow in channel systems, IHE Delft, DGW, TU Delft, updated version february 1991.
3. ZEEWERING ROND INDUSTRIE GEBIED VLISSINGEN-OOST, Provinciale Waterstaat Zeeland, Onderafdeling zeekeringen en waterschappen, 9 april 1990.
4. Seiches in de buitenhaven van Vlissingen en de havens in Vlissingen-Oost, Frederic R. Harris B.V., Augustus 1989.

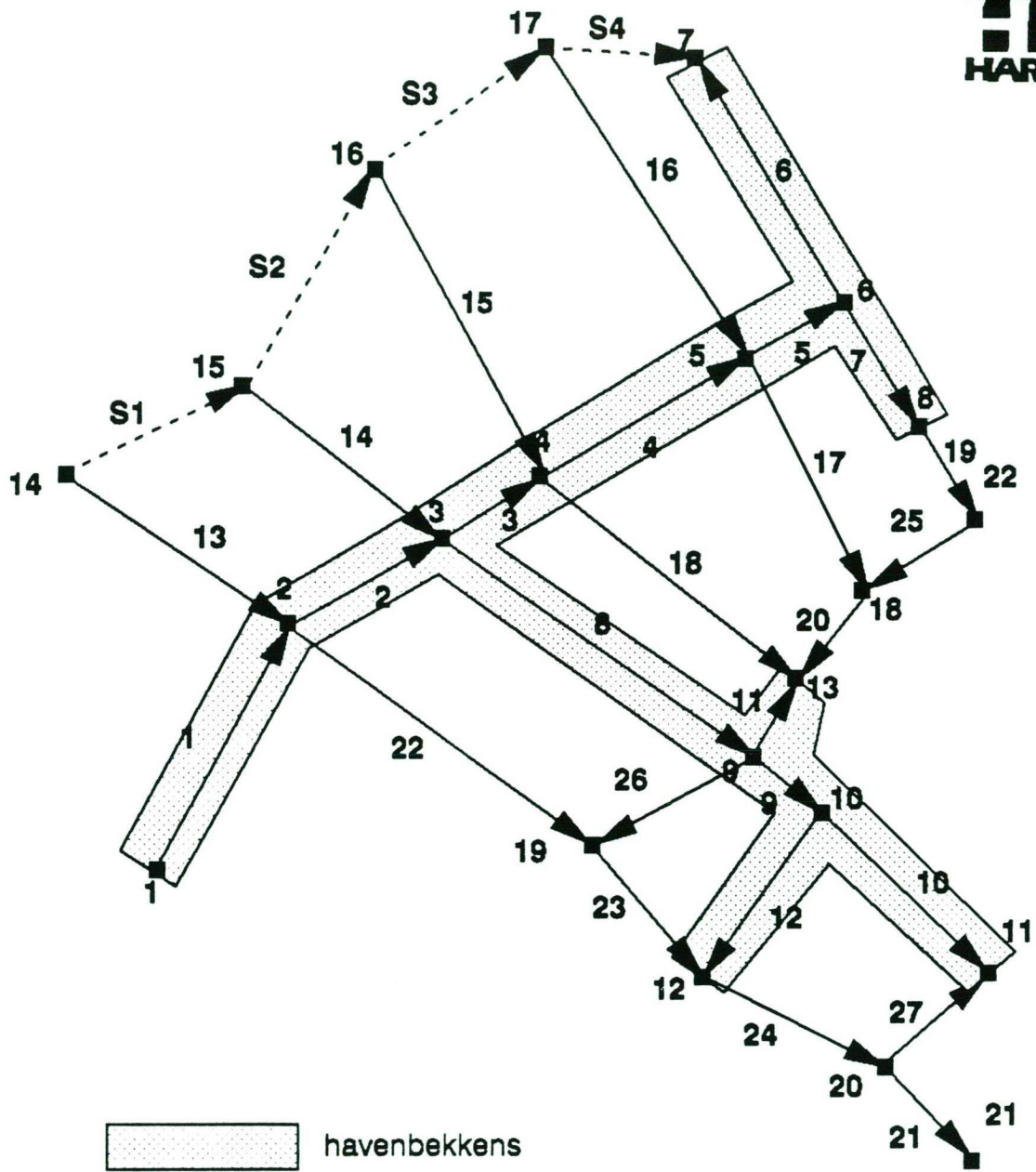





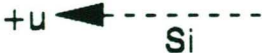
HAVENS VLISSINGEN OOST



FREDERIC R. HARRIS

FIGURE 1

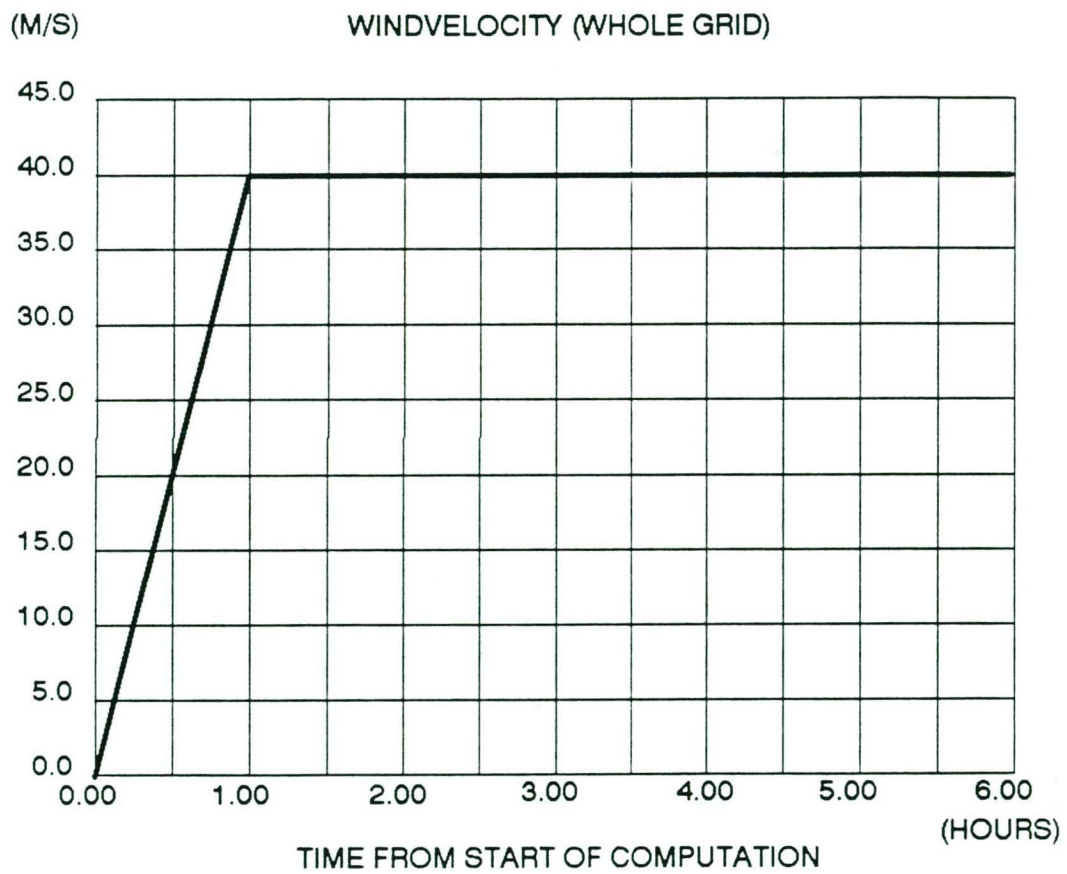


-  havenbekkens
-  knoop nummer i (waterstand)
-  stroomvak i (debiet, snelheid)
-  overlaat i (debiet, snelheid)

**HAVENS VLISSINGEN OOST,
NETWORK SCHEMA**

FREDERIC R. HARRIS

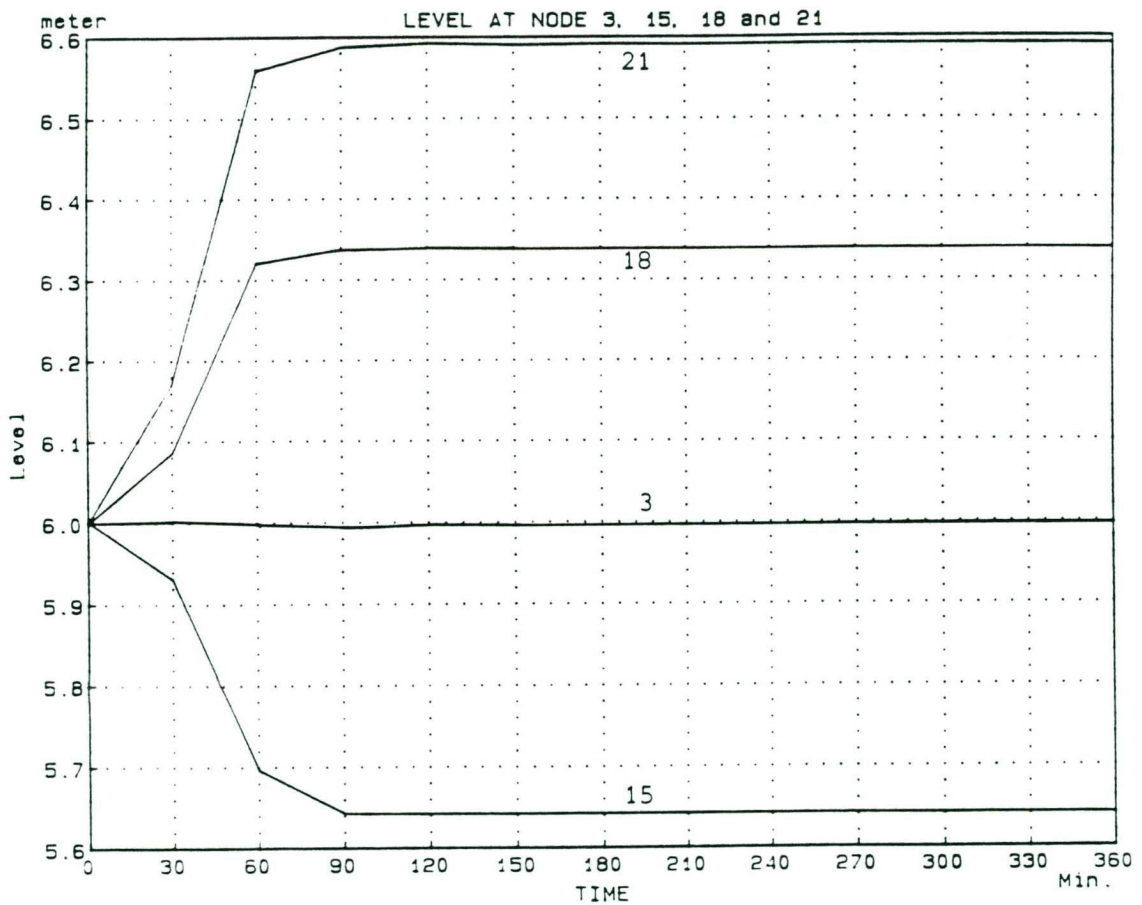
FIGURE 3



WINDSNELHEID ALS FUNCTIE VAN DE TIJD

FREDERIC R. HARRIS

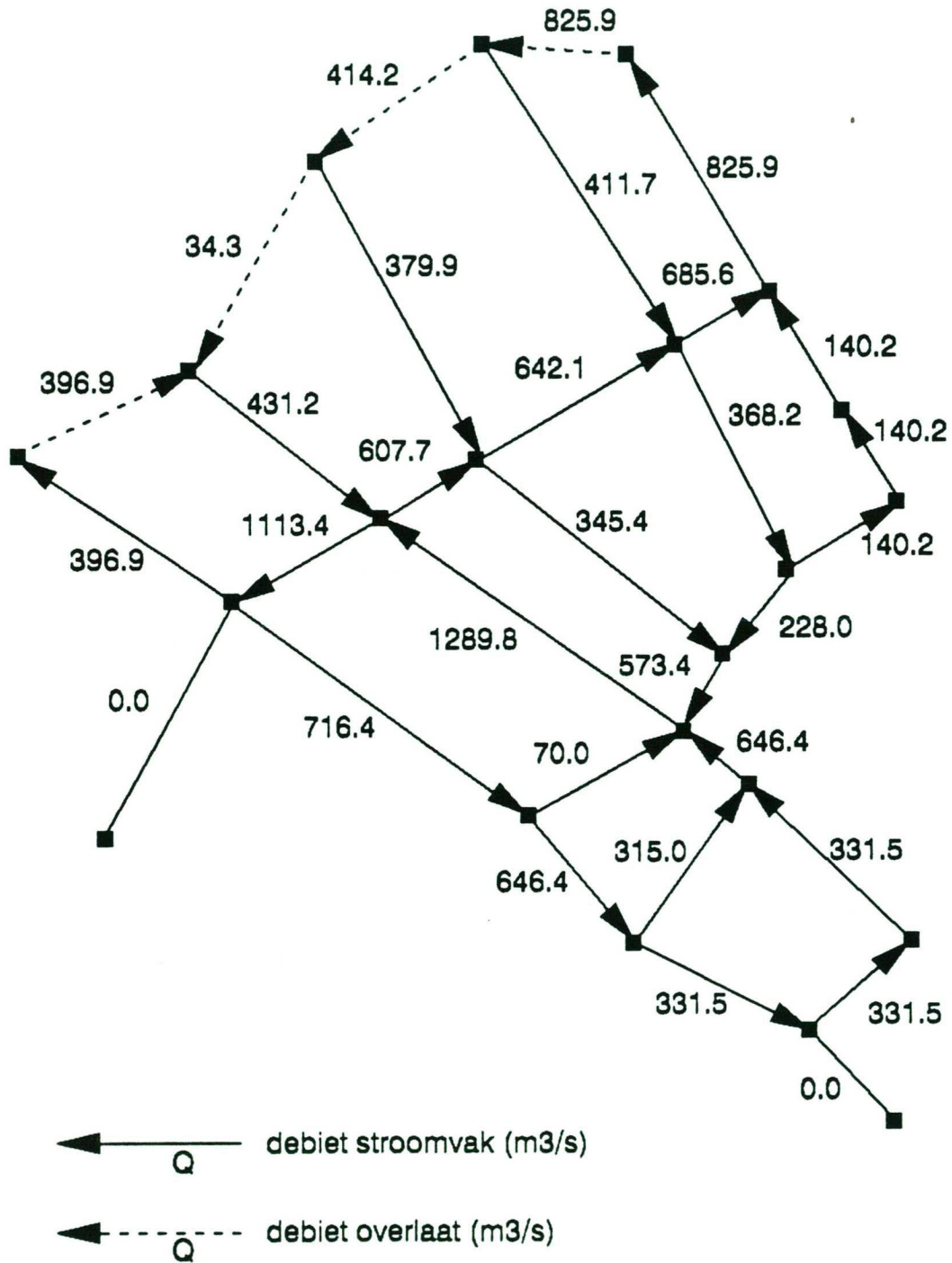
FIGUUR 4



RESULTERENDE WATERSTANDEN
BEREKENING 1

FREDERIC R. HARRIS

FIGUUR 5



**HAVENS VLISSINGEN OOST
DEBIETVERDELING BEREKENING 1**

FREDERIC R. HARRIS

FIGUUR 6

APPENDIX A
INVOERGEGEVENS NETWERK

* file :C:\DUFLOW\7168\VLISSING.NET

* NETWORK DATA

Program DUFLOW, version 1.10

*

SECTIE	knoop		lengte	bodem		chezy		
	begin	eind		begin	eind	begin	eind	
SECT 1	1	1	2	1160	-16.00	-16.00	70.0	70.0
W		207.5	3.6					
H	0.0000	5.0000	25.000					
BS1	300.00	500.00	500.00					
BS2	300.00	600.00	600.00					
BB	300.00	600.00	600.00					
SECT 2	2	2	3	693	-16.00	-16.00	70.0	70.0
W		240.8	3.6					
H	0.0000	5.0000	25.000					
BS1	300.00	600.00	600.00					
BS2	300.00	425.00	425.00					
BB	300.00	500.00	500.00					
SECT 3	3	3	4	476	-16.00	-16.00	70.0	70.0
W		239.9	3.6					
H	0.0000	5.0000	25.000					
BS	300.00	400.00	400.00					
BB	300.00	400.00	400.00					
SECT 4	4	4	5	953	-16.00	-16.00	70.0	70.0
W		239.8	3.6					
H	0.0000	5.0000	25.000					
BS	300.00	400.00	400.00					
BB	300.00	400.00	400.00					
SECT 5	5	5	6	476	-16.00	-16.00	70.0	70.0
W		239.9	3.6					
H	0.0000	5.0000	25.000					
BS1	300.00	400.00	400.00					
BS2	450.00	600.00	600.00					
BB	300.00	500.00	500.00					
SECT 6	6	6	7	1196	-17.00	-17.00	70.0	70.0
W		148.0	3.6					
H	0.0000	5.0000	25.000					
BS1	200.00	200.00	200.00					
BS2	300.00	300.00	200.00					
BB	250.00	250.00	250.00					
SECT 7	7	7	6	555	-17.00	-17.00	70.0	70.0
W		329.5	3.6					
H	0.0000	5.0000	25.000					
BS	200.00	350.00	350.00					
BB	250.00	280.00	280.00					

<-- wind: hoek + conversiefactor
<-- niveau t.o.v. de bodem
<-- stroomvoerende breedte op hoogte H (begin)
<-- stroomvoerende breedte op hoogte H (eind)
<-- bergende breedte

VERVOLG SECTIES

SECT	8	8	3	9	1568	-17.00	-17.00	70.0	70.0
W		305.1	3.6						
H	0.0000	5.0000	25.000						
BS	100.00	250.00	250.00						
BB	100.00	250.00	250.00						
SECT	9	9	9	10	370	-14.00	-14.00	70.0	70.0
W		310.3	3.6						
H	0.0000	5.0000	25.000						
BS1	100.00	250.00	250.00						
BS2	200.00	400.00	400.00						
BB	150.00	325.00	325.00						
SECT	10	10	10	11	946	-20.00	-20.00	70.0	70.0
W		314.4	3.6						
H	0.0000	5.0000	25.000						
BS	200.00	400.00	400.00						
BB	200.00	400.00	400.00						
SECT	11	11	9	13	401	-14.00	-14.00	70.0	70.0
W		219.3	3.6						
H	0.0000	5.0000	25.000						
BS1	200.00	400.00	400.00						
BS2	100.00	300.00	300.00						
BB	150.00	350.00	350.00						
SECT	12	12	10	12	845	-20.00	-20.00	70.0	70.0
W		36.9	3.6						
H	0.0000	10.000	25.000						
BS1	200.00	350.00	350.00						
BS2	100.00	200.00	200.00						
BB	150.00	275.00	275.00						
SECT	13	13	14	2	1106	2.50	2.50	50.0	50.0
W		304.0	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS	1000.0	1000.0							
BB	1000.0	1000.0							
SECT	14	14	15	3	1025	5.00	5.00	30.0	30.0
W		307.1	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS	1000.0	1000.0							
BB	1000.0	1000.0							
SECT	15	15	16	4	1457	5.00	5.00	30.0	30.0
W		331.6	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS	800.00	800.00							
BB	800.00	800.00							

VERVOLG SECTIES

SECT	16	16	17	5	1543	5.00	5.00	30.0	30.0
W		328.2	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS	800.00	800.00							
BB	800.00	800.00							
SECT	17	17	5	18	1066	5.00	5.00	30.0	30.0
W		334.0	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS	750.00	750.00							
BB	750.00	750.00							
SECT	18	18	4	13	1398	5.00	5.00	30.0	30.0
W		306.5	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS1	700.00	700.00							
BS2	300.00	300.00							
BB	500.00	500.00							
SECT	19	19	8	22	493	5.00	5.00	30.0	30.0
W		329.1	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS	400.00	400.00							
BB	400.00	400.00							
SECT	20	20	18	13	390	5.00	5.00	30.0	30.0
W		25.5	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS	200.00	200.00							
BB	200.00	200.00							
SECT	21	21	20	21	529	5.00	5.00	30.0	30.0
W		318.3	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS	1000.0	1000.0							
BB	1000.0	1000.0							
SECT	22	22	2	19	1535	5.00	5.00	30.0	30.0
W		308.0	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS	1000.0	1000.0							
BB	1000.0	1000.0							
SECT	23	23	19	12	700	5.00	5.00	30.0	30.0
W		319.8	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS	1000.0	1000.0							
BB	1000.0	1000.0							
SECT	24	24	12	20	844	5.00	5.00	30.0	30.0
W		295.7	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS	1000.0	1000.0							
BB	1000.0	1000.0							

VERVOLG SECTIES

SECT	25	25	22	18	563	5.00	5.00	30.0	30.0
W		58.3	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS	250.00	250.00							
BB	0.0000	0.0000							
SECT	26	26	9	19	776	5.00	5.00	30.0	30.0
W		60.7	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS	300.00	300.00							
BB	0.0000	0.0000							
SECT	27	27	20	11	569	5.00	5.00	30.0	30.0
W		228.1	3.6						
H	0.0000	10.000							
BS	350.00	350.00							
BB	0.0000	0.0000							

Structure (overlaat)	type no.	knoop		drempel hoogte	breedte
		begin	eind		

STRUC 1 301 14 15 0 5.00 350.00 999.00

afvoercoefficienten

MU 0.500 0.500 1E-8 1E-8 0.0

STRUC 2 302 15 16 0 5.00 200.00 999.00

MU 0.500 0.500 1E-8 1E-8 0.0

STRUC 3 303 16 17 0 5.00 650.00 999.00

MU 0.500 0.500 1E-8 1E-8 0.0

STRUC 4 304 17 7 0 5.00 500.00 999.00

MU 0.500 0.500 1E-8 1E-8 0.0

TOEGEVOEGD COMMENTAAR
