

Zuidelijke voorhaven Naviduct Enkhuizen

Hydraulisch en nautisch onderzoek



Karen Verhoeven
Afstudeerverslag
Januari 2001



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Bouwdienst Rijkswaterstaat

Zuidelijke voorhaven Naviduct Enkhuizen

-

Hydraulisch en nautisch onderzoek

Karen Verhoeven
Afstudeerverslag

**Faculteit der Civiele Techniek
en Geowetenschappen
TU Delft**


TU Delft



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Bouwdienst Rijkswaterstaat



Alkyon
Hydraulic Consultancy & Research



ARCADIS

Voorwoord

Dit afstudeeronderzoek is het afsluitende onderdeel van de studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit te Delft. Het onderzoek betreffende het hydraulisch en nautisch onderzoek voor de zuidelijke voorhaven van het Naviduct bij Enkhuizen is uitgevoerd in opdracht van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat te Utrecht bij Arcadis Bouw/Infra te 's-Gravenhage. Tijdens de werkperiode bij Arcadis heeft een tijdelijke uitzending naar het bedrijf Alkyon te Marknesse plaatsgevonden voor de specifieke uitvoering van het nautische onderzoek van de binnenvaart en de uitvoering van het downtimeonderzoek.

Ik wil iedereen die een bijdrage heeft geleverd aan het voltooien van mijn afstudeerwerk hierbij bedanken voor de inzet en de geboden hulp. Met name wil ik mijn afstudeercommissie vermelden:

Professor:	H. Ligteringen
Sectie havens en scheepvaartwegen:	R. Groenveld
Sectie vloeistofmechanica:	L.H. Holthuijsen
Bouwdienst Rijkswaterstaat:	R. Roosjen
Arcadis Bouw/Infra:	R.J. de Jong

Januari 2001,
Karen Verhoeven

Samenvatting

Nabij Enkhuizen is, in de Houtribdijk richting Lelystad, de Krabbersgatsluis gesitueerd. De aanwezigheid van deze schutsluis levert onaanvaardbare problemen op wat betreft de wachttijden voor het scheepvaartverkeer van het IJsselmeer naar het Markermeer en het wegverkeer van Lelystad naar Enkhuizen en vice versa. De wachttijden voor het wegverkeer worden veroorzaakt doordat, voor het schutten van bijvoorbeeld zeilschepen, de ophaalbrug die over de schutsluis ligt geopend moet worden. Voor de scheepvaart ontstaan de wachttijden doordat de brug niet continu geopend kan zijn en in veel gevallen het scheepsaanbod zo groot is dat de schutsluis qua capaciteit dit aanbod niet kan verwerken.

Om deze wachttijdenproblematiek op te lossen is in 1995 in opdracht van Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied (RDIJ) een ontwerp gemaakt voor de aanpassing van dit verkeersknelpunt. De aanpassing houdt in dat een dubbele schutsluis wordt aangelegd, ten oosten van de huidige sluis, waar het wegverkeer onderdoor wordt geleid; het Naviduct. Doordat de schutcapaciteit bij Enkhuizen in de toekomst verdrievoudigd wordt en de brugopening over de Krabbersgatsluis niet meer noodzakelijk zal zijn, omdat schepen met een te grote doorvaarthoogte door de sluisen van het Naviduct zullen varen, zullen de wachttijden voor het wegverkeer verdwijnen. De wachttijden van het scheepvaartverkeer zullen drastisch dalen door de capaciteitsvergroting, deze daling is afhankelijk van het scheepsaanbod.

Voor de controle van het ontwerp van het Naviduct en bijbehorende voorhavens zijn aanvullende studies uitgevoerd naar de golfdoordringing in de zuidelijke voorhaven, deze zijn uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium (WL) in 1995 en 1996. Met behulp van golfberekeningen die gemaakt zijn met het diffractiemodel DIFFRAC is gecontroleerd of de golfhoogten nabij de sluisingang de, door het RDIJ gestelde kritieke grens voor de significante golfhoogte, 0,30 m niet overschrijden bij een windsnelheid van 16 m/s (Beaufort 7). Eveneens is voor deze voorhaven in 1995 onderzoek gedaan naar de manoeuvreermogelijkheden van de binnenvaartschepen met het navigatiemodel SHIPMA, dit onderzoek is uitgevoerd door het MSCN (Maritime Simulation Centre Netherlands). Uit deze onderzoeken is geconcludeerd dat het ontwerp van de zuidelijke voorhaven van het Naviduct voldoet wat betreft de golfdoordringing en de manoeuvreermogelijkheden; dit wil zeggen dat geen overschrijding van de gestelde golfhoogtegrens plaatsvindt en in- en uitvaart mogelijk is onder de gestelde maximale windsnelheden.

In september 1999 is met de werkzaamheden voor de uitvoering van het Naviduct begonnen. Echter na voltooiing van de zuidelijke leidam voor de afsluiting van de zuidelijke voorhaven ondervonden de baggerschepen en pontons, die werden ingezet bij de werkzaamheden in de zuidelijke voorhaven, hinder door de aanwezige golfslag. Deze hinder is geregistreerd rond maart 2000 bij een optredende wind vanuit de richting zuid tot zuidwest met een kracht van 6 à 7 Beaufort. De vraag is toen ontstaan of de golven wellicht toch de gestelde grens van 0,30 m qua hoogte zullen overschrijden en in dat geval hinder zullen veroorzaken voor de scheepvaart, die uiteindelijk gebruik zal gaan maken van de voorhaven van het Naviduct. Naar aanleiding van deze vraag is dit afstudeeronderzoek geïnitieerd. Het doel van dit project was om te onderzoeken of het wenselijk is om binnen de zuidelijke voorhaven de golfhoogten te verlagen door het aanleggen van een constructie.

Aangezien uit de golfberekeningen van het WL was geconcludeerd dat de golfhoogten de grens van 0,30 m niet zouden overschrijden, maar dit in strijd is



met de waarnemingen uit maart 2000, is de verwachting van de golfhoogten met aanvullende berekeningen opnieuw bepaald. Deze berekeningen zijn gemaakt met het numerieke model SWAN (Simulating Waves Near shore) waarin, in tegenstelling tot het model DIFFRAC, geen diffractie in de berekening wordt meegenomen, maar in toevoeging daarop wel onder andere refractie en lokale golfgroei door wind. Uit deze berekeningen is gebleken dat de golfhoogten de gestelde limiet van 0,30 m voor de significante golfhoogte weldegelijk overschrijden. Deze overschrijding treedt op bij golven uit de richtingen vanaf 200°N tot 270°N, de golven bereiken maximaal de hoogte van 0,50 m ter plaatse van de sluisingang. Een vergelijking is gemaakt tussen de twee golfmodellen en de invloed van de variatie van verschillende parameters, zoals de bodemschematisatie, reflectie en lokale golfgroei door wind, op de golfhoogte is bekeken.

Aan de hand van de met behulp van SWAN bepaalde golfhoogten zijn manoeuvreersimulaties voor een klasse V binnenvaartschip uitgevoerd met behulp van het navigatiemodel Ship-Navigator om de invloed van de golfhoogten op de manoeuvreermogelijkheden te bepalen. Er is gebleken dat de conclusies die getrokken zijn op basis van de simulaties met Ship-Navigator gelijk zijn aan de conclusies uit het onderzoek van het MSCN. Deze conclusies zijn dat invaart bij zuiden wind (180°N) mogelijk is zonder gebruik te maken van een boegschroef en in geval van westen wind (270°N) voor in- en uitvaart inzet van een boegschroef noodzakelijk is. Aanvullend op het onderzoek van het MSCN zijn grenzen vastgesteld voor de windsnelheden waarbij het getoetste binnenvaartschip de af te leggen vaarroute niet meer kan volbrengen zonder gebruik te maken van de geleidewerken of de sluiswand bij invaart van de sluis. Deze grenzen zijn bepaald met het oog op de uit te voeren downtimeanalyse. Om de hinder voor de recreatievaart te kunnen bepalen is het uitvoeren van manoeuvreersimulaties niet mogelijk, doordat de karakteristieken van deze schepen niet gemodelleerd zijn in de navigatiesoftware. Er is bij gebrek aan informatie van de werkelijke grenzen van toegestane golfhoogten voor de recreatievaart, vanuit gegaan dat de door het RDIJ gestelde limiet, van 0,30 m voor de significante golfhoogte, maximaal toelaatbaar is voor doorvaart van een recreatieschip door een haven. Aan de hand van deze golfhoogtegrens zijn voor de recreatievaart eveneens kritieke snelheden voor de wind uit bepaalde richtingen vastgesteld.

De uitgevoerde downtimeanalyse bestaat uit twee verschillende delen. In de downtimeanalyse deel 1 wordt de downtime voor de scheepvaart, beroeps- en recreatievaart, bepaald als gevolg van de heersende weersomstandigheden. Downtime wordt in dat geval veroorzaakt door het overschrijden van kritieke windsnelheden voor bepaalde windrichtingen, variërend van 180°N tot en met 270°N. Deze kritieke windsnelheden gelden voor de beroepsvaart met betrekking tot de manoeuvreermogelijkheden en voor de recreatievaart hebben zij betrekking op het overschrijden van de golfhoogtegrens van 0,30 m voor een voldoende groot oppervlak binnen de voorhaven. Aan de hand van de frequentieverdeling van de windsnelheden en de scheepvaartverdeling over de verschillende maanden van het jaar is de downtime bepaald. Deze uitsplitsing over de maanden is noodzakelijk aangezien de schepen een piek in voorkomingskans hebben in de lente- en zomermaanden terwijl de windsnelheden een grotere kans van voorkomen hebben in de herfst- en wintermaanden. Op basis van de maandverdelingen voor windsnelheden en scheepvaart ondervindt 0,19% van het gemiddelde jaartotaal van de binnenvaartschepen per jaar downtime. Deze waarde is opgesteld in relatie tot onmogelijke manoeuvreeromstandigheden voor de beschouwde vier windrichtingen. Voor de beroepsvaart is geconcludeerd dat geen aanvullende constructie benodigd is voor het reduceren van de golfhoogte binnen de zuidelijke voorhaven, omdat de downtime voldoende klein is. De bepaalde gesommeerde downtime per windrichting voor de overschrijding van de maximaal toelaatbare golfhoogte ligt op basis van de maandverdelingen voor de recreatievaart op een waarde van 5,13% per jaar. Deze waarde is beduidend

hoger dan de downtime die optreedt voor de beroepsvaart. Aangezien geen vastgestelde grenzen voor de maximaal toelaatbaar downtime zijn gegeven is geen antwoord te geven op de vraag of het wenselijk wordt geacht om een constructie aan te leggen die de golfhoogten binnen de zuidelijke voorhaven van het Naviduct moet verlagen. Door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat, de opdrachtgever van dit afstudeeronderzoek, zal moeten worden bepaald of de berekende downtime toelaatbaar wordt geacht voor de recreatievaart.

In downtimeanalyse deel 2 is voor een aantal scheepsgerelateerde faalmechanismen voor een aantal typen binnenvaartschepen onderzoek gedaan naar de downtime die optreedt op het vaartraject richting de voorhaven van het Naviduct en binnen deze voorhaven zelf. De berekening van downtime houdt in dat bepaald wordt hoe groot de faalkans van de schepen is, naar aanleiding van een aantal gestelde faalmechanismen en bijbehorende limiterende condities per schip, in een bepaalde tijdserie. De gestelde faalmechanismen zijn water over de den, water over de boeg en overschrijding van het buigend en wringend moment. De bepaalde tijdserie bevat een periode van vijf jaar waarin elke drie uur wind- en golfmetingen zijn uitgevoerd met betrekking tot de windsnelheid, golfhoogten en de richtingen van deze parameters. De berekende downtime treedt voornamelijk op buiten de voorhaven, de optredende downtime in de haven is verwaarloosbaar klein. Doordat schepen op basis van een groot aantal aanvullende mechanismen downtime kunnen ondervinden, zijn voor de bepaling van de golfhinder op de beroepsvaart deze berekende downtimewaardes niet bruikbaar.

Hoewel geen uitspraak gedaan kan worden met betrekking tot de noodzakelijkheid van een golfreducerende constructie zijn een aantal oplossingsprincipes aangegeven voor het geval dat de Bouwdienst zou besluiten de golfhinder te willen reduceren. Allereerst is de mogelijkheid van het aanleggen van een gefixeerde golfbreker beschouwd. Het aanleggen ervan buiten de voorhaven is niet gewenst, aangezien de gevolgen voor de scheepvaart negatief zijn en de aanpassing in de haven voor de verbetering van de scheepvaartmogelijkheden wordt aangelegd. Binnen de voorhaven zijn een aantal varianten van plaatsing van een golfbreker bekeken. Aan de hand van berekeningen van de golfhoogte met behulp van SWAN is de invloed van deze golfbrekers op de golfhoogte nabij de sluisingang bepaald en zijn nieuwe kritieke windsnelheden bepaald voor de bepaling van de downtime voor de recreatievaart. Van de vier beschouwde varianten is de variant met een ligging evenwijdig aan de opstelplaatsen langs de vaargeul (variant A) verreweg het meest effectief voor de reductie van de downtime. De aanleg van een golfbreker kan eveneens in drijvende vorm worden uitgevoerd. Door de aanleg van deze constructie zullen de golven richting de sluizen gedempt worden, waardoor langere, lagere golven resteren. Deze golven zullen minder hinder voor de recreatievaart veroorzaken en een daling van de downtime zal het gevolg zijn. De invloed van deze aanpassing op de golfhoogten en de downtime zal met behulp van modeltests moeten worden bepaald. Het ligt buiten de doelstelling om het aanbevolen onderzoek in dit afstudeerwerk te betrekken.

Een andere mogelijkheid, voor het verlagen van de golfhoogten, is het reduceren van de reflectiecoëfficiënt van de oeverbescherming van de polder. De invloed van deze maatregel op de golfhoogte is eveneens met SWAN bepaald. De invloed van reducering van de reflectie is kleiner dan de invloed van de plaatsing van een golfbreker. Deze is zelfs zo klein dat de kritieke windsnelheden geen stijging kunnen ondergaan en geen daling van de downtime door het nemen van deze maatregel optreedt. Een vierde oplossing is het aanbrengen van een ondiepte in de voorhaven, wat ook goedkoper uitvoerbaar is dan een golfbreker. De invloed van deze oplossingsmogelijkheid op de golfhoogte is niet bepaald, omdat het iteratieve proces voor de optimale bodemligging een erg tijdrovende zaak is door de benodigde aanpassingen die moeten worden gemaakt aan de bodemschematisatie voor berekeningen van de golfhoogten met behulp van SWAN.



Er is eveneens een aantal alternatieve oplossingen aangedragen, die niet bedoeld zijn om de golfhoogten binnen de voorhaven te reduceren, maar erop gericht zijn om de omstandigheden voor de scheepvaart te verbeteren. Deze alternatieve oplossingen zijn de aanpassing van de dukdalven die ten zuidoosten van de sluis zijn gepland, de aanpassing van de opstelplaatsen en het aanbrengen van extra aanlegplaatsen.

Welke van deze oplossingsprincipes of alternatieve oplossingen de voorkeur van uitvoering verdienen ligt wederom binnen de besluitvoering van de Bouwdienst, aangezien dit besluit afhankelijk is van de gewenste reducering van de downtime voor de recreatievaart.

Inhoud

Voorwoord	i
Samenvatting	ii
Begrippenlijst	ix
1 Inleiding	1
2 Het project	3
2.1 Geschiedenis IJsselmeergebied	3
2.2 Omgeving Enkhuizen	4
2.3 Projectaanloop	5
2.4 Stand van zaken	6
2.5 Probleembeschrijving	8
2.5.1 Aanleiding	8
2.5.2 Probleemstelling	9
2.5.3 Doelstelling	9
3 Hydraulisch onderzoek	10
3.1 Inleiding	10
3.2 Bijdragen golfhoogte	10
3.3 Samenvatting WL-onderzoek	11
3.3.1 Golfmodel DIFFRAC	11
3.3.2 Schematisatie	11
3.3.3 Resultaten	13
3.3.4 Onderzoek november 1996	14
3.3.5 Commentaar WL-onderzoeken	15
3.4 Golfcondities vervolgonderzoek (2000)	16
3.4.1 Golfmodel SWAN	16
3.4.2 Randvoorwaarden en uitgangspunten	16
3.4.3 Golfberekeningen	17
3.4.4 Resultaten	20
3.5 Vergelijkingen golfberekeningen	23
3.5.1 Inleiding	23
3.5.2 DIFFRAC vs. SWAN	23
3.5.3 Invloed bodemschematisatie	24
3.5.4 Invloed reflectie	25
3.5.5 Invloed lokale golfgroei	26
3.6 Evaluatie	26
3.6.1 Conclusies	26
3.6.2 Aanbevelingen	27
4 Nautisch onderzoek	28
4.1 Inleiding	28
4.2 Herkomst significante golfhoogte eis	28
4.3 Samenvatting MSCN-onderzoek	30
4.3.1 Manoeuvrereemodel SHIPMA	30
4.3.2 Randvoorwaarden en uitgangspunten	30
4.3.3 Resultaten	31
4.3.4 Evaluatie	32

4.4	Manoeuvresimulaties 2000	32
4.4.1	Ship-Navigator	32
4.4.2	Randvoorwaarden en uitgangspunten	33
4.4.3	Manoeuvresimulaties	36
4.4.4	Resultaten	38
4.5	Vergelijking manoeuvresimulaties MSCN vs. Ship-Navigator	43
4.5.1	Windomstandigheden	43
4.5.2	Schepen	44
4.5.3	Golven	44
4.6	Recreatievaart	45
4.6.1	Inleiding	45
4.6.2	Recreatieschepen	46
4.6.3	Bepaling kritieke windsnelheden	46
4.7	Evaluatie	48
4.7.1	Binnenvaart	48
4.7.2	Recreatievaart	49
5	Downtimeanalyse	51
5.1	Inleiding	51
5.2	Frequentieverdeling windsnelheden	51
5.3	Scheepvaartverdeling	52
5.4	Downtimeanalyse – deel 1	53
5.4.1	Inleiding	53
5.4.2	Binnenvaart	55
5.4.3	Recreatievaart	56
5.4.4	Downtimebeschouwing	57
5.5	Downtimeanalyse – deel 2	60
5.6	Evaluatie	60
5.6.1	Conclusies	60
5.6.2	Aanbevelingen	61
6	Oplossingsprincipes	62
6.1	Inleiding	62
6.2	Mogelijkheden golfreductie	62
6.2.1	Aanleggen golfbreker	62
6.2.2	Aanleggen drijvende golfbreker	64
6.2.3	Reductie reflectie van oeverbescherming	65
6.2.4	Aanbrengen ondiepte in voorhaven	66
6.3	Berekeningen invloed aanleggen golfbreker	68
6.3.1	Varianten golfbreker	68
6.3.2	Kritieke windsnelheden	68
6.3.3	Invloed op downtime	69
6.3.4	Beschouwing	70
6.4	Berekeningen invloed reducering reflectie	71
6.4.1	Variatie reflectiecoëfficiënten	71
6.4.2	Invloed op golfhoogte	72
6.4.3	Beschouwing	73
6.5	Alternatieve oplossingen	74
6.5.1	Aanpassing dukdalven	74
6.5.2	Aanpassing opstelplaatsen	75
6.5.3	Extra aanlegplaatsen	76
6.6	Evaluatie	77
6.6.1	Conclusies	77



6.6.2	Aanbevelingen	78
7	Evaluatie	79
7.1	Conclusies	79
7.2	Aanbevelingen	81

Informatiebronnen

Bijlagen

Bijlage 1	Internationale Beaufort-schaal te land
Bijlage 2	Contourplots DIFFRAC-berekeningen WL 1995
Bijlage 3	Contourplots DIFFRAC-berekeningen WL 1996
Bijlage 4	Overzichtstekening havenlay-out Naviduct
Bijlage 5	Plantekening voor uitdiepen zuidelijke voorhaven Naviduct
Bijlage 6	Figuur reflectiecoëfficiënt voor onregelmatige golven
Bijlage 7	Contourplots SWAN-berekeningen 2000
Bijlage 8	Tabel lokale ruwheidshoogte ivm relatieve windsnelheden
Bijlage 9	Scheepstellingen Krabbersgatsluis 1999 - binnenvaart
Bijlage 10	Scheepstellingen Krabbersgatsluis 1998 - containervaart
Bijlage 11	Vaarwegplots Ship-Navigator
Bijlage 12	Berekening maximale windsnelheden motorvrachtschip
Bijlage 13	Zoektocht limiterende condities recreatievaart
Bijlage 14	Contourplots SWAN-berekeningen voor kritische windsnelheden
Bijlage 15	Samenvatting downtimeanalyse – deel 2
Bijlage 15.1	Figuur vormen van schepen
Bijlage 15.2	Tabel schepen en hun limieten mbt de faalmechanismen
Bijlage 15.3	Figuren van jaarlijkse overschrijdingsfrequenties van windsnelheden
Bijlage 15.4	Uitvoertabellen downtimeberekening
Bijlage 15.5	Tabellen downtime voor acceptabele faalkans 1%, 3%, 5%
Bijlage 15.6	Grafieken en histogrammen downtimeberekening
Bijlage 15.7	Tabel downtime per type schip
Bijlage 16	Figuur jaargemiddelde potentiële windsnelheid
Bijlage 17	Frequentietabel van distributieve potentiële windsnelheden
Bijlage 18	Tabel windverdeling 1971-1999 Schiphol
Bijlage 19	Grafieken windverdeling Schiphol en Enkhuizen
Bijlage 20	Grafieken relatieve bijdrage van windrichtingen op de windsnelheid
Bijlage 21	Figuur klasseindeling scheepvaart
Bijlage 22	Scheepstelling Krabbersgatsluis 1999
Bijlage 23	Figuren verdeling scheepvaart Krabbersgatsluis 1971-1990
Bijlage 24	Scheepvaartverdeling 1990-1999
Bijlage 25	Berekening downtime binnenvaart
Bijlage 26	Berekening downtime recreatievaart
Bijlage 27	Samenvatting downtimeanalyse scheepvaart
Bijlage 28	Contourplots SWAN-berekeningen voor plaatsing golfbrekers
Bijlage 29	Berekening downtime recreatievaart inclusief golfbrekers
Bijlage 30	Contourplots SWAN-berekeningen met aangepaste reflectiecoëfficiënten
Bijlage 31	Tekening aanpassing dukdalven
Bijlage 32	Tekening opstelplaatsen



Begrippenlijst

Programma's vernoemd in het hydraulisch onderzoek

- DIFFRAC = tweedimensionaal model voor de golfdoordringing in havens inclusief diffractie en partiële reflectie
- HISWA (HIndcast of Shallow water WAVes) = tweedimensionaal spectraal golfmodel voor golfvoortplanting in ondiep water, inclusief refractie, shoaling, groei door windactie en dissipatie door bodemwrijving en breking
- SWAN (Simulating WAVes Near shore) = tweedimensionaal volledig spectraal model voor golfvoortplanting in ondiep water, inclusief refractie, shoaling, groei door windactie, niet lineaire golfinteracties en dissipatie door bodemwrijving en breking
- WAQUA (WATER QUALity program) = tweedimensionaal niet-lineair waterbewegingsmodel. Het wordt gebruikt om hydrodynamiek en waterkwaliteit te simuleren van gemengde estuaria, kustzeeën en rivieren
- WATRON = model voor de berekening van golfhoogten en periodes

Programma's vernoemd in het nautisch onderzoek

- SHIPMA = fast-time scheepsmanoeuvrereemodel, dit mathematische model berekend het ruimtebeslag en de koershoek van een vaartuig
- Ship-Navigator = scheepsmanoeuvresimulator, gebruikt voor het ontwerp en de optimalisatie van kanalen en havens

Programma's vernoemd in de downtimeanalyse – deel 2

- DIFFRAC-3D = driedimensionaal potentiaal theorie randelementen model voor de berekening van hydrodynamische eigenschappen van willekeurig gevormde drijvende lichamen en stelt golfkracht transformatie functies en bewegingsresponsie amplitude operatoren op
- DYNFORC = nabewerkingsprogramma op de resultaten van DIFFRAC-3D voor de bepaling van de responsie van een varend schip
- SEAWAY = striptheoriemodel voor de bepaling van golfkrachten en de respons van een schip op de volgende scheepsbewegingen: sway, heave, pitch, rol en yaw

Gebruikte afkortingen van bedrijven

- AVV = Adviesdienst Verkeer en Vervoer
- MSCN = Maritime Simulation Centre Netherlands
- PIANC = Permanent International Association of Navigation Congresses
- RDIJ = Rijkswaterstaat Dienst IJsselmeergebied
- RIKZ = Rijksinstituut voor Kust en Zee
- RIZA = Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling
- WL = Waterloopkundig Laboratorium

1 Inleiding

Sinds 1976 vormt de Houtribdijk de verbinding voor wegverkeer tussen Enkhuizen en Lelystad. Bij Enkhuizen is in deze dijk de Krabbersgatsluis gesitueerd, welke de scheepvaartverbinding tussen het Markermeer en het IJsselmeer vormt. In veel gevallen moet de brug over de Krabbersgatsluis geopend worden om de scheepvaart te kunnen schutten. Vooral in het voorjaar en de zomer, als het aanbod van recreatievaartuigen groot is, ontstaan lange wachttijden voor het wegverkeer en de scheepvaart. De Krabbersgatsluis is hierdoor een ernstig knelpunt geworden en in het rijksbeleid is gesteld dat de vertragingen op de weg en het water te lijf gegaan moeten worden met gerichte beheersmaatregelen en indien nodig capaciteitsuitbreiding.

In opdracht van Rijkswaterstaat directie IJsselmeergebied is in 1995 reeds een ontwerp gemaakt voor een nieuw sluisencomplex. Dit complex is ten oosten van de leidammen van de huidige Krabbersgatsluis gepland. De kruising tussen het weg- en waterverkeer wordt uitgevoerd als naviduct, dit betekent letterlijk vertaald uit het Latijn 'schepengeleider'. De constructie zal bestaan uit een dubbele sluis met een onderdoorgang voor het wegverkeer.

De werkzaamheden voor het project Naviduct Enkhuizen zijn in september 1999 van start gegaan. Bij de aanvang van het afstudeerwerk was het bouwproces zover gevorderd dat de leidammen van de voorhavens waren aangelegd en een groot deel van de geplande baggerwerkzaamheden was uitgevoerd.

In studies rondom het ontwerp van het Naviduct is nagegaan of de golfdoordringing in de zuidelijke voorhaven acceptabel is voor de scheepvaart. Aansluitend zijn manoeuvreersimulaties uitgevoerd in de zuidelijke voorhaven voor de maatgevende scheepvaart. De conclusie van deze studies was dat het huidige ontwerp ten aanzien van de golfdoordringing en manoeuvreermogelijkheden van de scheepvaart voldoet.

Op de bouwlocatie zijn echter, na voltooiing van de zuidelijke leidammen, verontrustende waarnemingen gedaan en heeft tegelijkertijd hinder voor de werkscheepvaart plaatsgevonden. Deze waarnemingen zijn gedaan bij een krachtige wind uit het zuid- tot zuidwesten en opgemerkt is dat de golfslag op de locatie van de nieuwe sluis een dusdanige hoogte bereikt, dat deze wellicht niet acceptabel is voor de scheepvaart. Deze golven zouden met name ter plaatse van het in- en uitvaren van de sluis problemen, met betrekking tot de manoeuvreermogelijkheden van de schepen, kunnen veroorzaken.

In dit rapport is een beschrijving gegeven van het onderzoek dat is uitgevoerd naar aanleiding van de vraag of een constructie moet worden aangelegd voor het reduceren van de golfhoogte binnen de zuidelijke voorhaven. Dit is gewenst indien de golven inderdaad de gestelde limiet (gesteld in het golfdoordringingsonderzoek) voor de maximaal toegestane significante golfhoogte overschrijden en dit betekent dat hinder voor de scheepvaart wordt veroorzaakt met betrekking tot de manoeuvreermogelijkheden in de zuidelijke voorhaven.

In hoofdstuk 2 is een uitgebreide beschrijving van het project 'Naviduct Enkhuizen' gegeven, aangevuld met de historie en huidige situatie van de omgeving. Tevens is in dit hoofdstuk de probleemomschrijving van deze studie uiteengezet.

Hoofdstuk 3 behandelt het hydraulisch onderzoek. Er wordt een samenvatting van het uitgevoerde onderzoek door het WL gegeven. Het vervolgonderzoek, dat is uitgevoerd naar aanleiding van de waarnemingen op de bouwlocatie, is volledig beschreven. Als afsluiting van dit hoofdstuk wordt een vergelijking gemaakt tussen beide onderzoeken.

Het nautisch onderzoek wordt beschreven in hoofdstuk 4. De opbouw van dit hoofdstuk is als volgt: een samenvatting van het oorspronkelijke manoeuvreeronderzoek, een volledige beschrijving van het vervolgonderzoek en



een vergelijking tussen deze twee onderzoeken. Afsluitend zijn de grenzen voor de toelaatbare windsnelheden voor de recreatievaart bepaald.

Aan de hand van de voorgaande hoofdstukken is met behulp van aanvullende statistische informatie een downtimeanalyse gemaakt, deze analyse is in hoofdstuk 5 beschreven. Voor de beroeps- en recreatievaart is de downtime bepaald die optreedt aan de hand van een beschouwing van de kritieke windsnelheden en de voorkomst van de scheepvaart. Eveneens is een downtimeanalyse gemaakt voor een aantal binnenvaartschepen op basis van scheepsgelateerde faalmechanismen.

Een aantal oplossingsprincipes voor de reducering van de golfhoogte binnen de zuidelijke voorhaven is weergegeven in hoofdstuk 6. Twee van deze mogelijkheden zijn uitgewerkt met behulp van SWAN-berekeningen en aan de hand daarvan is de invloed op de golfhoogte en de downtime bepaald. Er zijn eveneens een aantal alternatieve oplossingen gegeven die slechts de omstandigheden voor de scheepvaart verbeteren, in plaats van de golfhoogte te reduceren.

In hoofdstuk 7 is een evaluatie van het gehele afstudeeronderzoek weergegeven, bestaande uit de conclusies en aanbevelingen.

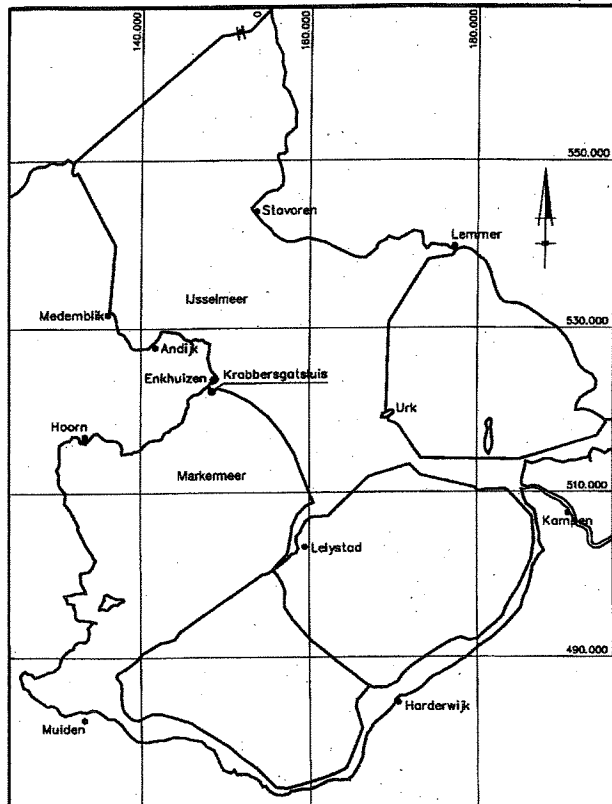


2 Het project

2.1 Geschiedenis IJsselmeergebied

Het Naviduct bij Enkhuizen is gesitueerd in het IJsselmeergebied, ten oosten van de Krabbersgatsluis (zie figuur 2.1). Dit IJsselmeergebied is aangelegd naar aanleiding van de wet tot afsluiting van de Zuiderzee uit 1918.

Al in de zestiende eeuw (1667) heeft Hendric Stevin een plan opgesteld voor het afsluiten van de Zuiderzee, om de invloed van de zee en de verzilting tegen te gaan. Technisch gezien was deze afsluiting met behulp van dammen toen nog volstrekt onhaalbaar. Vele ingenieurs na hem hebben zich bezig gehouden met het vraagstuk rond de inpolderingen en afsluiting van de Zuiderzee zodat er een zoetwater binnenmeer zou ontstaan. Concretere plannen dateren uit de tweede helft van de negentiende eeuw.



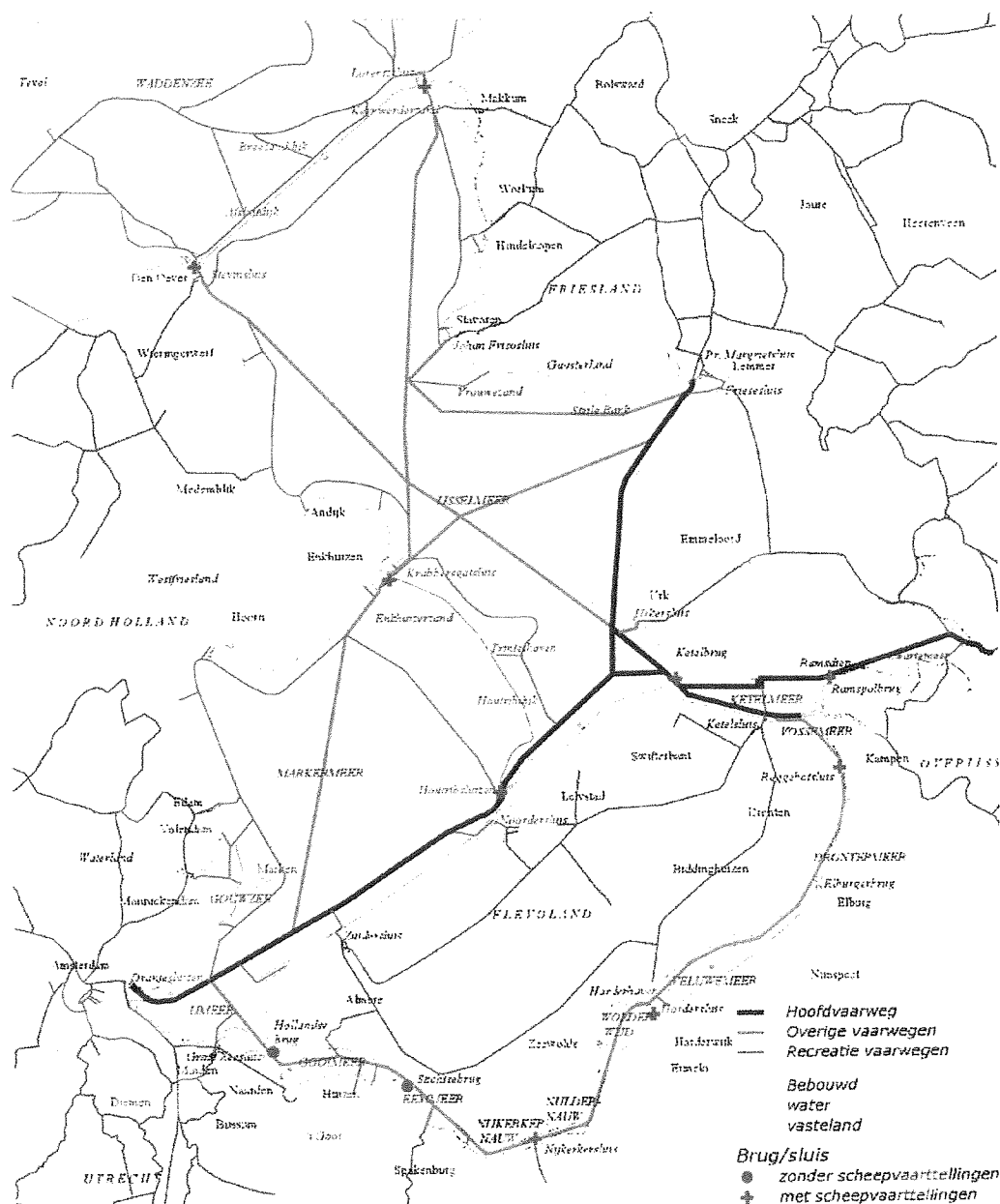
Figuur 2.1 Schematische weergave IJsselmeergebied

De in 1886 opgerichte Zuiderzeevereniging heeft toen een onderzoek uitgevoerd naar de haalbaarheid en wenselijkheid van de afsluiting. Naar aanleiding van een stormvloed in 1916 werd onder invloed van de minister van Waterstaat Cornelis Lely besloten tot afsluiting en gedeeltelijke doorlegging van de Zuiderzee. Een bijkomende reden van het aannemen van het wetsvoorstel was een grote behoefte aan meer landbouwgrond.

Volgens plan zijn achtereenvolgens aangelegd: de Afsluitdijk (1927-1933), de Wieringermeer (1927-1930), de Noordoostpolder (1927-1942), Oostelijk Flevoland (1959-1957) en Zuidelijk Flevoland (1959-1968). In de planning was ook de inpoldering van de Markerwaard opgenomen, hiervoor was de aanleg van de Houtribdijk (Markerwaarddijk) noodzakelijk. Deze dijk (sinds 1976 als verbindingsroute tussen Lelystad en Enkhuizen, de N302, in gebruik) heeft het mogelijk gemaakt de waterhuishouding van de Zuiderzee in tweeën te splitsen: het IJsselmeer en het wat brakkere Markermeer. Door het aanleggen van een sluisencomplex aan zowel de oost- als westkant van de Houtribdijk kan het scheepvaartverkeer zijn doorgang vinden. De inpoldering van de geplande Markerwaard is tot op heden niet uitgevoerd, binnen het programma van eisen voor het Naviduct is toch gesteld dat deze inpoldering fysiek mogelijk moet blijven.

2.2 Omgeving Enkhuizen

Het gebied rondom Enkhuizen wordt voor veel verschillende doeleinden gebruikt. Doordat Enkhuizen voornamelijk door water wordt omsloten zijn veel functies hiermee verbonden. Zo is het water van het IJssel- en Markermeer van groot belang voor de drinkwatervoorziening en vormen deze meren een grote watervoorraad voor de landbouw in de noordelijke provincies. Voor de beroepsvisserij dragen ze bij aan zestig procent van de Nederlandse binnenvisserij. De beroepsvaart (binnenvaartschepen, duwstollen, containerschepen e.d.) maakt veelvuldig gebruik van de hoofdvaarwegen die in het IJsselmeergebied de verbindingen tussen de verschillende sluisvormen (zie figuur 2.2).



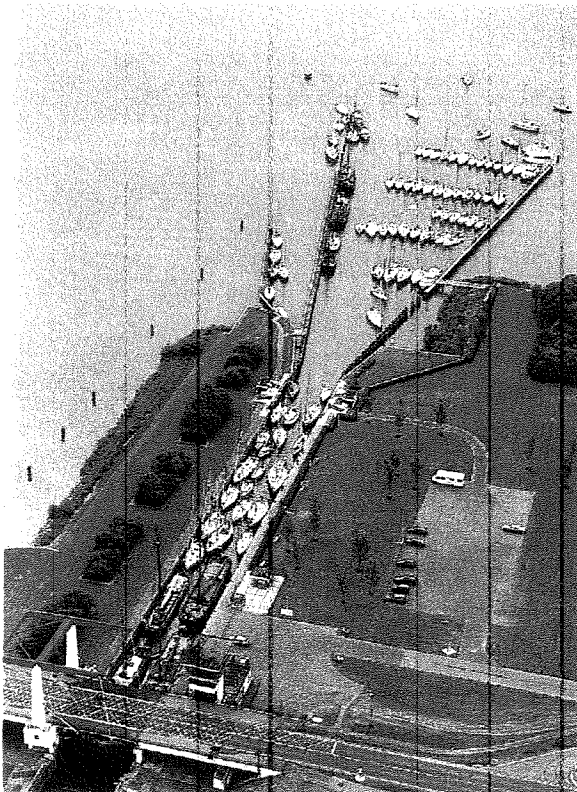
Figuur 2.2 Scheepvaartwegen IJsselmeergebied

Tevens heeft het water van de meren een grote aantrekkingskracht op watersporters, recreanten en overige toeristen. En het IJsselmeergebied is natuurlijk een belangrijk natuurgebied, waar vele soorten vissen en vogels hun leefomgeving hebben.

Afgezien van de voorgaande functies wordt het IJsselmeergebied ook gebruikt voor een aantal wateronafhankelijke doeleinden. Het Nederlandse leger heeft er een schietemplacement van waaruit schietproeven worden gehouden. Ook worden steeds meer oppervlaktedelfstoffen gewonnen, zoals verschillende soorten zand en in veel mindere mate diepliggende delfstoffen als aardgas. Het omringende land van Enkhuizen draagt bij aan de Nederlandse energievoorziening, in de vorm van twee energiecentrales en een aantal windparken voor de productie van windenergie met behulp van windturbines. De laatste functie is die van de Houtribdijk, deze is in de afgelopen jaren een steeds belangrijkere verkeersader geworden voor het wegverkeer van Noord-Holland naar Flevoland en andersom.

2.3 Projectaanloop

Zoals reeds in het voorgaande is aangegeven is er sprake van verschillende kruisende vervoersstromen rondom Enkhuizen. Het wegverkeer kruist de waterdoorgang voor de scheepvaart via een beweegbare brug over de Krabbersgatsluis (zie figuur 2.3). Indien de scheepvaart een te grote benodigde doorvaarthoogte heeft, moet bij het schutten van de schepen de brug tijdelijk geopend worden. De doorgang van het wegverkeer wordt hierdoor gedurende deze tijd gestremd.

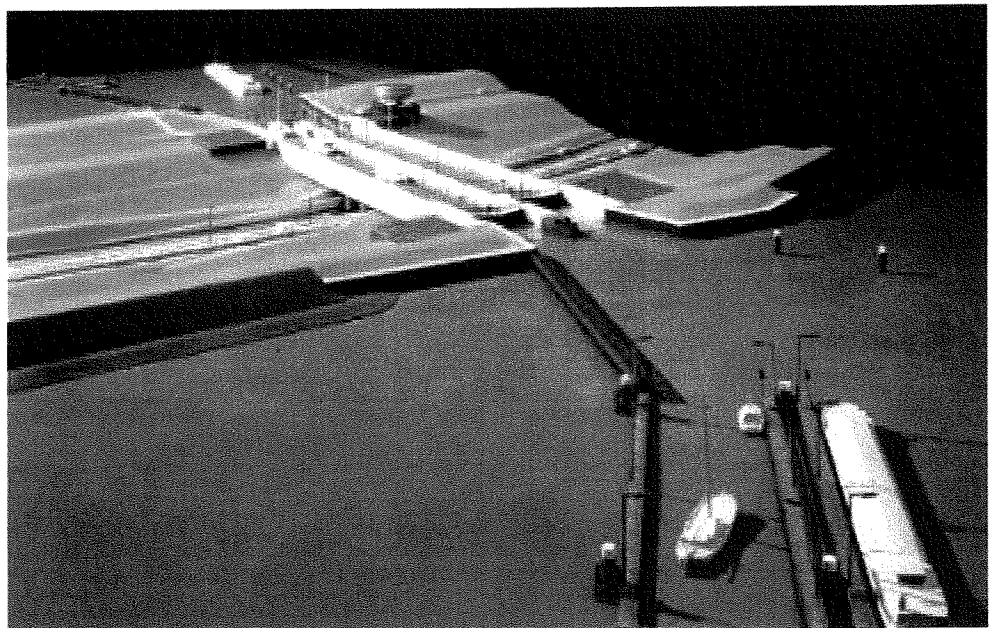


Figuur 2.3 Luchtopname Krabbersgatsluis te Enkhuizen

Aangezien de sluis zich de afgelopen decennia heeft ontwikkeld tot de drukste sluis in Nederland wat betreft de recreatievaart (in 1999 waren er in totaal 83400 scheepsbewegingen in de sluis, waarvan 74250 vanuit de recreatievaart) komt het vaak voor dat het wegverkeer 20 minuten moet wachten voor een openstaande brug en kunnen de wachttijden voor de scheepvaart oplopen tot ongeveer vier uur. De reden dat de Krabbersgatsluis bij Enkhuizen tegenwoordig als knelpunt wordt beschouwd is dan ook door de vertragingen die ontstaan voor het wegverkeer bij bediening van de brug en voor de scheepvaart door beperkte sluiscapaciteit en doorvaarthoogte.

Met het oog op het Structuurschema Verkeer en Vervoer (Vierde Nota Ruimtelijke Ordening) dienen de vertragingen op het water en de weg verholpen te worden met behulp van gerichte maatregelen en waar nodig uitbreidingen. In opdracht van Rijkswaterstaat directie IJsselmeergebied is een studie verricht naar de

mogelijke oplossingen voor dit verkeersknelpunt. Hierin geldt de randvoorwaarde dat de situatie voor het wegverkeer niet mag verslechteren en één van de hoofddoelstellingen is dat 'functies met een economische betekenis, waaronder met name toerisme en (beroeps)scheepvaart, verder ontwikkeld kunnen worden op voorwaarde dat de gestelde normen voor de waterkwaliteit gehandhaafd blijven'. In september 1994 is een projectnota gepubliceerd met een afweging van de effecten van verschillende oplossingen op beroepsvaart, recreatievaart, wegverkeer, regionale economie en werkgelegenheid, waterhuishouding en waterkering, natuur, milieu, geohydrologie, landschap en stedenbouw en uiteindelijk de kosten voor het knelpunt. De conclusie van deze studie is dat op de langere termijn de meest effectieve oplossing de aanleg van een dubbele sluis ten oosten van de bestaande leidammen met een onderdoorgang voor het wegverkeer is; het Naviduct. Deze constructie verzekert in de toekomstige situatie acceptabele wachttijden voor de scheepvaart tot ver in de 21^e eeuw en de wachttijden voor het wegverkeer worden tot een minimum beperkt. In figuur 2.4 is de situatie van de wegonderdoorgang en de scheepvaart bij het Naviduct getoond met behulp van een maquette, gezien vanuit de opstelplaatsen van de recreatie- en beroepsvaart in de zuidelijke voorhaven. Om een kostenreductie te kunnen bereiken is het schetsontwerp uit de projectnota nader geoptimaliseerd met betrekking tot de golfdoordringing (onderzoeken WL 1995 en 1996) en de nautische aspecten (onderzoek MSCN 1995).



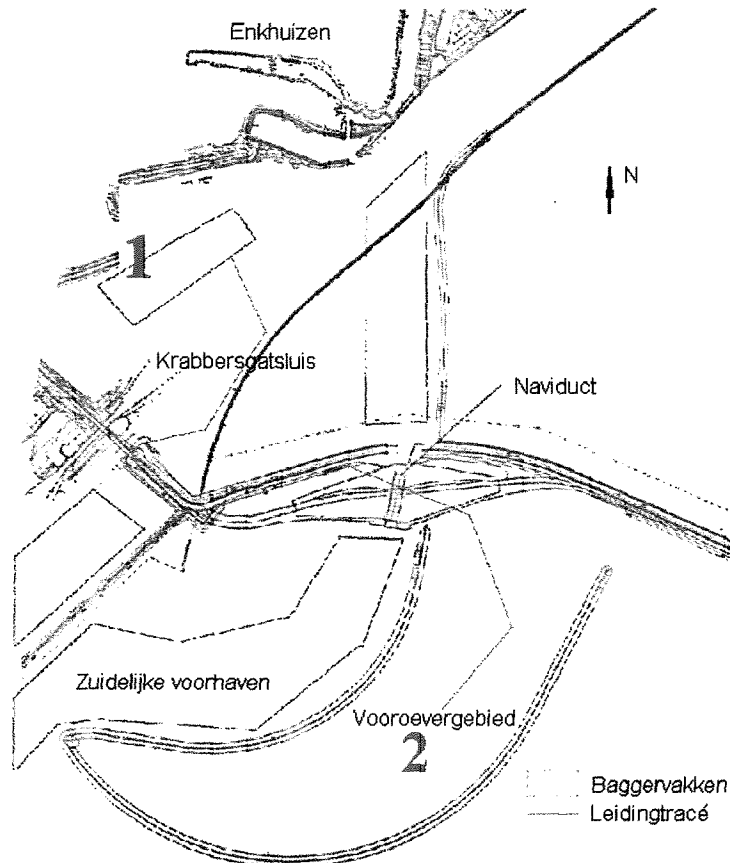
Figuur 2.4 Maquette situatie rondom het Naviduct

2.4 Stand van zaken

Na een lange tijd van onderhandelen is door de overheid in het voorjaar van 1999 definitief besloten tot aanleg van het Naviduct. Dit werk zal worden uitgevoerd door de aannemer Combinatie Naviduct Krabbersgat (CNK), voor een totale aannemingssom van 98 miljoen gulden (exclusief BTW). De projectorganisatie, die is opgericht naar aanleiding van het bestek BND 3650, wordt gevormd door de volgende bedrijven:

- VKB Hoorn B.V.
- Van Laere N.V.
- Boskalis B.V.

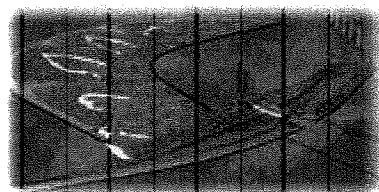
De projectorganisatie is verantwoordelijk voor het realiseren van het Naviduct Krabbersgat (conform het eerder genoemde bestek BND 3650). Globaal houdt dit in de aanleg van een kleine polder (ofwel tunnelbak), een sluis met twee kolken, een onderdoorgang, het verleggen van de N302, twee voorhavens en een vooroevergebied (zie figuur 2.5). In deze figuur is aangegeven hoe het leidingtracé zal lopen voor de baggerstort in het vooroevergebied (aangegeven met 2) vanaf de baggerlocatie bij de nieuwe haven van Enkhuizen, de Gependamhaven (aangegeven met 1).



Figuur 2.5 Overzicht nieuwe situatie Enkhuizen

In het gebied ten oosten van de leidammen van de bestaande sluis, waar de Tweede Krabbersgat sluis is gepland, ligt de Houtribdijk op het Enkhuizerzand. De waterdiepte van het Markermeer is hierdoor vrij gering, variërend van NAP -1,3 m langs de dijk tot NAP -2,5 m op grotere afstand van de dijk. Voor het realiseren van de voorhavens en de toegangseulen moeten de nodige baggerwerkzaamheden worden uitgevoerd in verband met de vereiste waterdiepte voor de scheepvaart. Er zal gebaggerd worden tot een diepte van NAP -3,8 m. Tevens moeten nieuwe leidammen worden aangelegd voor de bescherming van de nieuwe sluis. De leidam van de noordelijke voorhaven zal een kruin krijgen met een verlopende hoogte van NAP + 1,60 m, bij aansluiting met de huidige leidam, tot NAP + 2,50 m ter plaatse van de aansluiting op de Houtribdijk. De zuidelijke voorhaven wordt omsloten door een dubbele leidam. De dam aan de Markermeerszijde heeft een plaatselijke minimale hoogte van NAP + 1,55 m, de dam aan de havenszijde is minimaal NAP + 0,60 m hoog. De bestemming van het vooroevergebied is een zichzelf ontwikkelend natuurgebied. Aangezien het vooroevergebied deels uit land en deels uit water bestaat, zal de vooroever een schakel worden tussen open water en binnendijks land.

In september 1999 is van start gegaan met de werkzaamheden rondom de bouw van het Naviduct. In die tijd is aangevangen met het aanleggen van de leidammen voor de afscherming van de nieuw te realiseren voorhavens. Deze zijn reeds voltooid. De leidammen bestaan voor het grootste gedeelte uit zandworsten. Een zandworst is een zak opgevuld met zand. Deze zak wordt volgens een vrij nieuwe methode volgespoten met een zand-watermengsel en naarmate de zak voller raakt, verlaat het water via het fijnmazige geotextiel de zandworst. De zandworsten zijn met een doek afgewerkt en uiteindelijk met breuksteen overstort. In dezelfde tijdperiode van het aanleggen van de leidammen is gestart met het baggeren van de nieuwe haven bij Enkhuizen (de Gependamhaven) en de nieuwe vaargeulen in de voorhavens van het Naviduct. Met behulp van een leidingtracé wordt het baggerspecie, vanaf de geplande Gependamhaven, over een afstand van drie kilometer, getransporteerd naar het vooroevergebied van het Naviduct. Via een sproeiponton en een splijtbak wordt het baggerspecie vervolgens in het vooroevergebied gestort. Het vooroevergebied, dat wordt omsloten door de vinvormige zuidelijke leidam, wordt namelijk opgevuld met het baggermateriaal dat vrijkomt uit de eerder aangegeven baggerlocaties. Voor een toekomstvisie van het vooroevergebied is figuur 2.6 toegevoegd.



Figuur 2.6 Toekomstvisie vooroevergebied

De aanleg van de nieuwe haven bij Enkhuizen is juist tijdens de aanleg van het Naviduct gepland zodat er sprake is van een win-winsituatie. Het voordeel is namelijk dat het vrijgekomen baggermateriaal uit de geplande haven direct kan worden verwerkt in plaats van het afvoeren van dit materiaal, hetgeen kostenbesparend is. Volgens de planning van het bouwproces zijn de baggerwerkzaamheden afgerond op 1 januari 2001.

2.5 Probleembeschrijving

2.5.1 Aanleiding

In de huidige fase van het project is de leidam in de zuidelijke voorhaven aangelegd en zijn de baggerwerkzaamheden in de afrondende fase. Deze zuidelijke leidam zou in principe voor voldoende afscherming tegen teveel golfdoordringing in de voorhaven moeten zorgen. Door het WL (Waterloopkundig Laboratorium) zijn twee studies naar het golfklimaat in de zuidelijke voorhaven uitgevoerd, op basis van de havenlay-out ten tijde van die studies (Dekker, juni 1995 en Eysink, november 1996). Bij deze studies is een maximale significante golfhoogte van 0,30 m aangehouden ter plaatse van de slusingang, tevens is controle op basis van deze eis uitgevoerd in de gehele voorhaven. Bij een windsnelheid (op 10 m hoogte) van 16 m/s, dat wil zeggen windkracht 7 op de windschaal van Beaufort, is gecontroleerd of de opgewekte golven de maximale hoogte van 0,30 m niet overschrijden. De conclusie uit deze onderzoeken is dat het havenontwerp aan de eis kan voldoen, de significante golfhoogte overschrijdt het grenscriterium van $H_s=0,30$ m niet.

Rond maart 2000 is door baggerschepen en pontons tijdens werkzaamheden op het water van de zuidelijke voorhaven echter hinder ondervonden door de optredende golfslag tijdens wind met een richting vanuit zuid tot zuidwest en een kracht van 6 à 7 Beaufort. Hieruit is de vraag gerezen of deze hinder wellicht ook optreedt voor de reguliere scheepvaart die de sluisen van het Naviduct gaat gebruiken. Volgens de visuele waarnemingen (in de situatie waarin tijdens de werkzaamheden hinder is geconstateerd) zouden de golven de maximaal

toegestane waarde overschrijden, met name op het traject voor de in- en uitvaart van de sluis. Bij de Bouwdienst van Rijkswaterstaat is toen het verzoek ontstaan om een extra onderzoek in te stellen naar de golfdoordringing in de zuidelijke voorhaven en het effect van de eventueel hogere optredende golven op de vaarbewegingen van de scheepvaart.

2.5.2 Probleemstelling

In de zuidelijke voorhaven van de Tweede Krabbersgatsluis kunnen bij een bepaalde windrichting en windsnelheid golfhoogten optreden die waarschijnlijk hinder voor de scheepvaart veroorzaken bij in- en uitvaart van de sluis.

2.5.3 Doelstelling

Er zal worden onderzocht of het in de zuidelijke voorhaven van de Tweede Krabbersgatsluis wenselijk wordt geacht om een constructie voor het reduceren van de golfhoogte ter plaatse van de slusingang aan te leggen.

Dit doel kan worden opgesplitst in een hydraulische en nautische aanpak van het probleem. In het hydraulisch onderzoek zal aan de hand van nieuwe berekeningen getoetst worden of de golfhoogten de gestelde limiet van 0,30 m in de toekomst zullen overschrijden. Aansluitend zal in het nautisch onderzoek bekeken worden of de optredende golven onaanvaardbare hinder voor de maatgevende scheepvaart veroorzaken.

Het reduceren van de golfhoogte in de voorhaven is dan benodigd in het geval dat daadwerkelijk onacceptabele hinder voor de scheepvaart optreedt, dit zal zijn bij specifieke, nader vast te stellen, wind- en bijbehorende golfomstandigheden.

3 Hydraulisch onderzoek

3.1 Inleiding

Naar aanleiding van de optredende hinder voor het werkverkeer en de visueel waargenomen bijbehorende golfhoogten in maart 2000 is een aanvullend onderzoek uitgevoerd naar het golfbeeld in de zuidelijke voorhaven. Het doel van dit hydraulische onderzoek is het nagaan of de golfhoogten die worden opgewekt door de verschillende bijdragen (zie paragraaf 3.2) de gestelde limiet van 0,3 m binnen die voorhaven overschrijden. Op de herkomst van de gestelde eis voor de maximale significante golfhoogte zal in paragraaf 4.2 worden ingegaan, aangezien deze eis zijn herkomst binnen de scheepvaart vindt.

Uitgangspunt voor deze golfstudie is het reeds in 1995 uitgevoerde golfdoordringingsonderzoek door het Waterloopkundig Laboratorium (samengevat in paragraaf 3.3), dat is uitgevoerd met behulp van het mathematische model DIFFRAC. Het vervolgonderzoek is uitgevoerd met behulp van het golfmodel SWAN. Een beschrijving van dit model, de werkwijze met betrekking tot de berekening en de resultaten hiervan zijn vervolgens in dit hoofdstuk weergegeven. Afsluitend wordt een vergelijking gemaakt tussen de golfberekeningen uit het model van het WL (1995 en 1996) en de in deze studie verrichte berekeningen met behulp van SWAN.

3.2 Bijdragen golfhoogte

In de zuidelijke voorhaven van de Tweede Krabbersgatsluis spelen verschillende processen een rol die een bijdrage leveren aan de golfcondities ter plaatse van de sluis van het Naviduct. Onderscheid in bijdrage kan gemaakt worden tussen:

- Golfdoordringing door de havenmond
- Lokaal (binnen de haven) door wind opgewekte golven
- Golftransmissie over de havendammen

Golfdoordringing

De belangrijkste componenten die de golfdoordringing door de havenmond bepalen zijn diffractie, bodemrefractie en reflectie aan de oevers. Van deze drie processen speelt de refractie het meest mee in de bijdrage aan de golfhoogten op het Markermeer. De bijdragen van diffractie en reflectie zijn van ondergeschikt belang. De golfhoogte op het Markermeer tot en met de havenmond wordt vooral bepaald door de werking van de wind. In de omgeving van de nieuwe Krabbersgatsluis is de refractie bij golfperioden van 2 à 3 seconden nog gering. In geval van langere golfperioden ($T = 4$ à 5 seconden) wordt de bodemrefractie een steeds belangrijker proces, voornamelijk ter plaatse van de gebaggerde vaargeul. Diffractie en reflectie spelen binnen de haven een grotere rol in de bijdrage aan de golfhoogte.

Lokale golfgroei

De lokale golfgroei in relatie tot de bijdrage op de totale golfhoogte in de voorhaven is afhankelijk van de positie in de haven, de windrichting en de windsnelheid. Indien de windrichting overeenkomt met de directe instroomrichting van de haven zal deze bijdrage, van de lokale golfgroei aan de totale golfhoogte ter plaatse van de sluis, belangrijk zijn door de grootte van de strijklengte waarover de golven worden opgewekt.

Transmissie

Het optreden van transmissie over de havendammen (zuidelijke dubbele leidam) is afhankelijk van de optredende waterstand en golfhoogte en -periode en de permeabiliteit van de constructie. In geval van een laag meerpeil of een geringe golfhoogte zal transmissie door golfoverslag verwaarloosbaar zijn. Een hoog meerpeil in combinatie met een sterke zuidelijke wind zal een situatie veroorzaken waarin overslag over de havendammen mogelijk wel van belang is. De zuidelijke wind zal door opwaaiing namelijk de lokale waterstand extra verhogen en vrij hoge golven veroorzaken.

3.3 Samenvatting WL-onderzoek

Door het WL is in juni 1995 en november 1996 onderzoek gedaan naar de golfdoordringing in de zuidelijke voorhaven van het Naviduct met behulp van het model DIFFRAC. Het verschil tussen deze twee onderzoeken ligt in de lay-out van de haven: de locatie van de zuidelijk leidam is enigszins veranderd en de bodemschematisatie is aangepast, deze figuren zijn opgenomen in de betreffende beschrijvingen (figuur 3.1 respectievelijk 3.2). Qua uitkomst van de golfberekeningen verschillen de onderzoeken nauwelijks.

In de volgende subparagrafen (onderdeel van paragraaf 3.3) is een samenvatting van de onderzoeken van het WL gegeven. Indien onduidelijkheden optraden in de oorspronkelijke verslagen van de onderzoeken is hier in de tekst niets aan veranderd, zodat duidelijk de werkwijze van het WL in deze samenvatting is weergegeven. Enig commentaar op de onderzoeken is gegeven in paragraaf 3.3.5.

3.3.1 Golfmodel DIFFRAC

Het mathematische model DIFFRAC berekent de golfhoogte voor langkammige monochromatische golven in willekeurig gevormde havens, die uit verschillend bassins kunnen bestaan. Deze bassins hebben elk een eigen, constante waterdiepte. Er wordt alleen rekening gehouden met diffractie van de golven rondom constructies en aan de randen van het gemodelleerde gebied is het effect van (partiële) reflectie meegenomen in het model.

Het effect van lokale windgroei wordt niet in dit diffractiemodel meegenomen en deze bijdrage moet indien nodig apart worden verwerkt. Ook het effect van richtingsverspreiding in de voortplantingsrichting van de golf is niet opgenomen, dit effect kan worden afgeschat door in de nabewerking de resultaten voor verschillende richtingen te combineren.

3.3.2 Schematisatie

Bodemtopografie

De bodemligging van de zuidelijke voorhaven wordt bepaald door de optredende diepgang van de scheepvaart. De toegangsheuvel voor de beroepsvaart wordt gebaggerd tot een diepte van NAP – 5,0 m. Het gebied bestemd voor de pleziervaart, krijgt een diepte van NAP – 3,0 m. De resterende delen van de voorhaven behouden het bestaande bodemniveau van ongeveer NAP – 2,0 m. De bodemligging varieert dus aanzienlijk in de haven, een variatie die in DIFFRAC niet kan worden gemodelleerd. Er zal een maatgevende bodemdiepte moeten worden bepaald als uitgangspunt voor de DIFFRAC-berekeningen. In de belangrijkste delen van het geschematiseerde gebied, bij de kop van de zuidelijke leidam en het grootste gedeelte van de voorhaven, wordt de bodem gebaggerd tot een diepte van NAP – 5,0 m. Voor de DIFFRAC-berekeningen is de bodemligging aangehouden op deze waarde van NAP – 5,0 m.

Golfcondities en waterstanden

In samenspraak met het RDIJ (Rijkswaterstaat Dienst IJsselmeergebied) en het RIZA (Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling) zijn de golfrandvoorwaarden en de waterstand op het Markermeer vastgesteld, op basis van een memo van het RDIJ (1995). De opwaaiing is door het RIZA bepaald met behulp van WAQUA-berekeningen voor verschillende windrichtingen bij een meerpeil van NAP + 0,10 m en een maatgevende windsnelheid van 16 m/s. Deze windsnelheid komt overeen met windkracht 7 volgens de windschaal van Beaufort, deze windschaal is weergegeven in bijlage 1. De waterstand varieert per windrichting en ligt tussen NAP + 0,30 m en NAP + 0,40 m. Representatief voor de haven wordt genomen een waterstand van NAP + 0,35 m. Voor een locatie ten westen van de huidige westelijke havendam zijn golfhoogten afgeleid uit resultaten van HISWA-berekeningen. Met behulp van het model WATRON is voor een representatief punt voor de voorhaven een controleberekening voor de golfhoogten en periodes uitgevoerd. De verschillen in uitkomsten tussen deze twee berekeningen van de golfhoogten zijn binnen de nauwkeurigheid van de betreffende methoden.

Voor de locatie van de voorhaven zijn gezien de oriëntatie van de golfbrekers en de verwachte effecten golfdoordringingsberekeningen uitgevoerd voor de hoofdrichtingen van de golven 160°N, 180°N, 200°N en 220°N met een piekperiode van 4,8 seconden. Samengevat zijn de uitgangspunten van de DIFFRAC-berekeningen ter plaatse van de haveningang in tabel 3.1 weergegeven:

Tabel 3.1 Uitgangspunten DIFFRAC-berekeningen

θ_{wind} (°)	θ_{golf} (°)	Waterstand	H_s (m)	T_p (s)
150	160	NAP + 0,35 m	0,85	4,8
180	180	NAP + 0,35 m	0,87	4,8
210	200	NAP + 0,35 m	0,83	4,8
240	220	NAP + 0,35 m	0,70	4,8

Reflectiecoëfficiënten

Er zijn verschillende type oevers waartegen golven kunnen reflecteren (zie figuur 3.1 voor de havenlay-out), te weten:

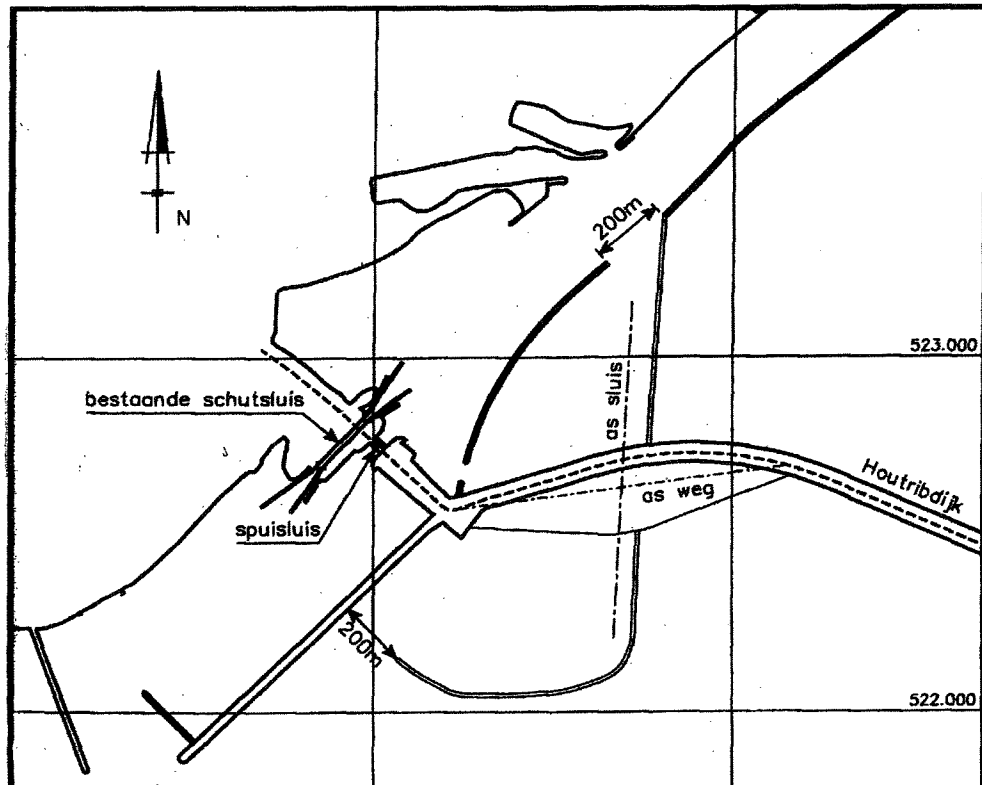
- de bestaande oostelijke havendam
- de oeverbescherming van de polder ten bate van het Naviduct
- de zuidelijke leidam van de nieuwe voorhaven, uitgesplitst in een haven- en een meerzijde

Reflectie van golven is afhankelijk van een aantal zaken zoals golfsteilheid, taludhelling, ruwheid en porositeit van het oppervlak. Voor de berekeningen met behulp van DIFFRAC is uitgegaan van relaties voor het voorspellen van reflectiecoëfficiënten gegeven door Seelig (1983) en Postma (1989). De bepaalde coëfficiënten voor een toplaag van stortsteen met een helling van 1:2 zijn weergegeven in tabel 3.2.

Tabel 3.2 Reflectiecoëfficiënten voor DIFFRAC-berekeningen

Locatie	Golfaanval	Reflectiecoëfficiënten
Meerzijde havendam	$H_s = 0,80$ m	30 %
Havenzijde havendam	$H_s = 0,30$ m	45 %
Oeverbescherming polder		45 %
Bestaande havendam	- directe golfaanval	30 %
	- in lij van nieuwe dam	45 %





Figuur 3.1 Havenlay-out WL-onderzoek 1995

Richtingsspreiding

Door middel van het combineren van de resultaten van zeven richtingen in een sector van 60° (stappen van 10°) om de hoofdrichting is het effect van richtingsspreiding op de golfhoogte meegenomen in de berekening. Hierbij is aangenomen dat de bijdragen van de afzonderlijke richtingen op de golfhoogte berekend worden via een verdeling van de golfenergie over de richtingen volgens $\cos^4(\theta - \theta_0)$. De waarde voor de richtingsspreiding is zo bepaald op $\sigma_d = 25^\circ$.

3.3.3 Resultaten

Golfpatronen

In bijlage 2.1 tot en met 2.4 zijn de resultaten van de berekeningen voor het gemodelleerde gebied weergegeven. In de figuren is weergegeven de golfhoogte als fractie van de inkomende golfhoogte (C_{dif}). Uit de bijlage blijkt dat voor de golfrichtingen $160^\circ N$ en $180^\circ N$ de golfhoogte in de voorhaven sterk bepaald wordt door reflectie tegen de bestaande oostelijke havendam. De relatief hoge golfhoogte in het zuidelijke deel van de voorhaven komt overeen met de verwachte golfhoogte volgens de reflectieregels (hoek van inval = hoek van terugkaatsing).

DiffRACTIE rond de kop van de zuidelijke leidam is voor golven uit de richtingen $200^\circ N$ en $220^\circ N$ het maatgevende proces voor de golfhoogte. Door reflectie tegen de oever van de polder geven de isolijnen van de golfhoogte westelijker in de haven een oost-west-beeld.

Numerieke waarden

Voor een drietal posities in de voorhaven is de golfdoordringing C_{dif} afgelezen en daarmee de significante golfhoogte bepaald. De uitvoerposities zijn:

- de sluisingang
- het remmingwerk voor de beroepsvaart
- in de vaarlijn voor de sluisingang, 100-200 m voor de sluis

De bepaalde significante golfhoogte is exclusief de bijdrage door lokale opwekking door wind. Globaal kan worden gesteld dat deze bijdrage ongeveer $H_{s,wind} = 0,25$ m is. De totale golfhoogte kan vervolgens berekend worden met behulp van de

$$\text{formule: } H_{s,tot} = \sqrt{H_{s,diff}^2 + H_{s,wind}^2}$$

In tabel 3.3 zijn voor de verschillende golfrichtingen en geselecteerde locaties de golfdoordringingsfactor, de bijbehorende significante golfhoogte en de totale significante golfhoogte weergegeven.

Tabel 3.3 Golfdoordringingscoëfficiënt en golfhoogten in de voorhaven

Inkomende golfcondities	Positie:	Sluisingang	Remmingwerk	Vaarlijn
160°N $H_s = 0,85$ m	C_{dif} (-)	0.05	0.20	0.10
	$H_{s,dif}$ (m)	0.04	0.17	0.09
	$H_{s,tot}$ (m)	0.253	0.302	0.266
180°N $H_s = 0,87$ m	C_{dif} (-)	0.12	0.18	0.12
	$H_{s,dif}$ (m)	0.10	0.16	0.10
	$H_{s,tot}$ (m)	0.269	0.297	0.269
200°N $H_s = 0,83$ m	C_{dif} (-)	0.15	0.08	0.10
	$H_{s,dif}$ (m)	0.12	0.07	0.08
	$H_{s,tot}$ (m)	0.277	0.260	0.262
220°N $H_s = 0,70$ m	C_{dif} (-)	0.20	0.05	0.15
	$H_{s,dif}$ (m)	0.14	0.04	0.11
	$H_{s,tot}$ (m)	0.287	0.253	0.273

Conclusies

Het voorlopige criterium, dat is de maximaal toelaatbare significante golfhoogte ter plaatse van de sluisingang, is vastgesteld op $H_s = 0,30$ m.

Zoals uit tabel 3.3 blijkt wordt op basis van berekeningen met diffractie en reflectie voldaan aan de gestelde eis. Indien de bijdrage van lokale golfgroei door wind ook wordt meegenomen valt de totale significante golfhoogte nog juist binnen de toegestane grens. Ter plaatse van het grootste gedeelte van de vaargeul blijft de golfhoogte binnen het gestelde criterium.

Ten aanzien van de lengte van de havendam geldt de aanbeveling dat deze eventueel in de besteksfase nader kan worden geoptimaliseerd.

3.3.4 Onderzoek november 1996

Sinds het golfdoordringingsonderzoek uit juni 1995 zijn enige aanpassingen gedaan aan het ontwerp van de zuidelijke voorhaven in verband met gestelde nautische eisen. De havenmond is enigszins verplaatst zodat een minder scherpe S-bocht voor de scheepvaart ontstaat. Tevens is een zandwininput gepland in het zuidelijke deel van de voorhaven tot een diepte van NAP – 7 m. De bodemschematisatie voor de DIFFRAC-berekeningen is weergegeven in figuur 3.2, hierin is de locatie van de zandwininput ook meegenomen.

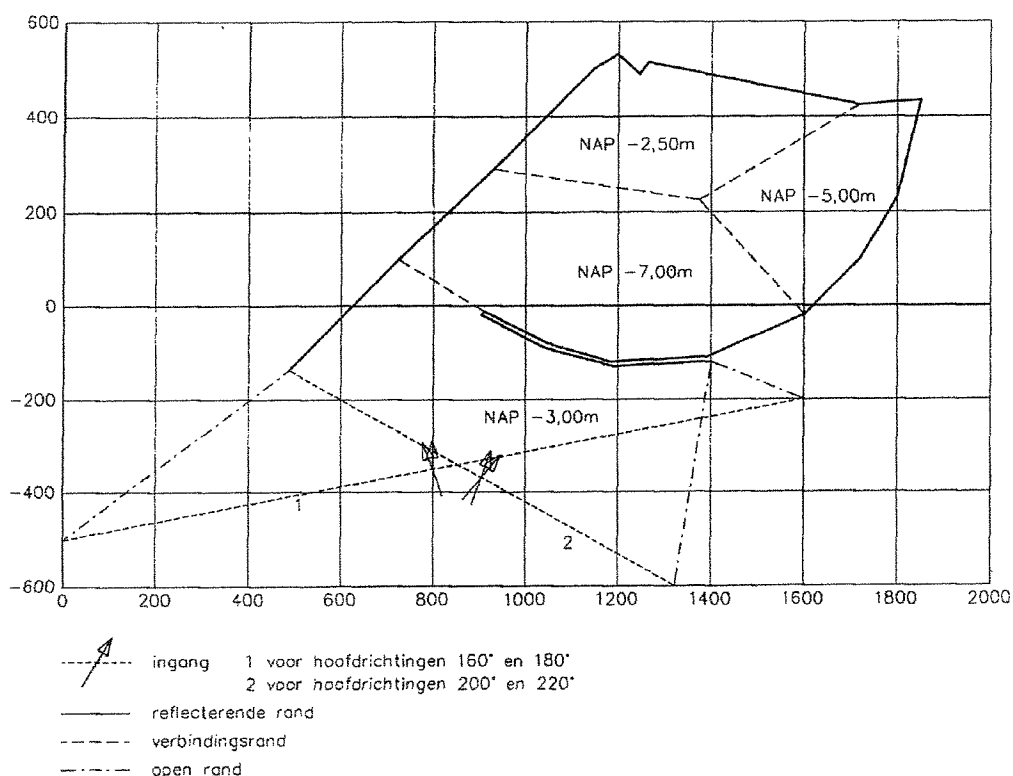
De berekeningen voor het bepalen van de golfdoordringing, voor het definitieve ontwerp van de zuidelijke voorhaven, zijn uitgevoerd met een inkomende golf met een hoogte van 1,0 m uit de hoofdrichtingen 160, 180, 200 en 220 graden ten opzichte van noord.

De resultaten van de berekeningen (zie bijlage 3.1 tot en met 3.4) zijn weergegeven middels isolijnenplots van de golfreductiecoëfficiënt. Deze plots vertonen grote overeenkomst met de plots van de vorige berekeningen. Ter plaatse van de geplande zandwininput zijn de golfhoogten een fractie hoger door de



grotere diepteligging. Bij de sluis zijn de golven echter iets lager dan berekend was voor de vorige havenlay-out.

De conclusie is dat het definitieve ontwerp ook voldoet aan het gestelde criterium, de significante golfhoogte is kleiner dan 0,30 m bij de sluisingang.



Figuur 3.2 Bodemschematisatie DIFFRAC-berekeningen

3.3.5 Commentaar WL-onderzoeken

- In paragraaf 3.3.1 is aangegeven dat geen richtingsspreiding is opgenomen in de voorplantingsrichting van de golf. In een nabewerking is dit effect echter geschat door de berekende waarden van de verschillende richtingen te vermenigvuldigen met een weegfactor, die volgt uit de energieverdeling in het richtingsspectrum, en bij elkaar op te tellen. Uit de beschrijving volgt eveneens dat in de berekening geen rekening is gehouden met de frequentieverdeling over het golfspectrum.
- In het kopje bodemschematisatie in paragraaf 3.3.2 staat vermeld dat in DIFFRAC geen variatie in de bodemligging kan worden gemodelleerd en dat daarom slechts één waarde voor de bodemligging is aangehouden in de golfdoordringingsberekening uit 1995. In de beschrijving van het onderzoek van het WL uit 1996 blijkt dat wel een variatie in de bodemligging is geschematiseerd (zie ook figuur 3.2). Het zou kunnen zijn dat ten tijde van het onderzoek uit 1995 deze mogelijkheid nog niet in DIFFRAC was opgenomen en bij een vernieuwde versie van het diffractiemodel extra is toegevoegd. Hier is geen duidelijk over te verkrijgen op basis van de verslagen van de WL-onderzoeken.

3.4 Golfcondities vervolgonderzoek (2000)

3.4.1 Golfmodel SWAN

In dit afstudeeronderzoek (ofwel het vervolgonderzoek) is gebruik gemaakt van het numerieke model SWAN (versie 40.01) voor de berekening van de golfvoortplanting van het Markermeer naar de sluis in de zuidelijke voorhaven van het Naviduct. Dit model bepaalt de ontwikkeling van de spectrale energie van golven op een derde generatie wijze. Voor het te modelleren gebied wordt het golfveld beschreven met behulp van een spectrum met discrete intervallen voor richting en frequentie. De effecten van de volgende verschijnselen kunnen worden gesimuleerd door SWAN:

- Golfgroei door de actie van wind
- Whitecapping (breken op steilheid)
- Refractie over een onregelmatige bodem
- Shoaling
- Niet-lineaire vier-golfinteracties (levert een verhoging van de piekperiode van de golven bij langdurige voortplanting)
- Niet-lineaire drie-golfinteracties (veroorzaken o.a. een verschuiving van energie van lage naar hoge frequentie bij golfvoortplanting over een ondiepe bodem)
- Dissipatie door bodemwrijving
- Dissipatie door breken in ondiep water
- Transmissie van golven ter plaatse van obstakels (in geval van obstakels die te slank zijn om mee te nemen in de bodemschematisatie)

Zoals uit de voorgaande opsomming blijkt neemt het SWAN-model meer verschijnselen mee in de berekening dan DIFFRAC doet. Echter de verschijnselen die in DIFFRAC een rol spelen (diffractie en reflectie) worden in SWAN juist niet meegenomen. Via vergelijking van de uitkomsten van beide berekeningen kan worden nagegaan welke processen de grootste bijdrage leveren aan de golfdoordringing en de ter plaatse van de sluis resulterende golfhoogte.

3.4.2 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Havenlay-out

Na het laatste golfonderzoek van het WL zijn nog aanpassingen gedaan aan het definitieve ontwerp van de zuidelijke voorhaven van het Naviduct. Zoals uit de uiteindelijke lay-out (zie bijlage 4) blijkt is de zuidelijke leidam uitgevoerd als een dubbele dam waarbinnen een vooroevergebied zal worden ontwikkeld. Tevens is de kop van de dam 100 m ten zuidwesten van de eerder vastgestelde locatie gesitueerd.

De baggerdiepte van de vaargeul is vastgesteld op een uiteindelijke bodemligging van NAP - 3,8 m. Er wordt vanuit gegaan dat er geen zandwinlocatie meer is gepland in de zuidelijke voorhaven. Volgens het WL-onderzoek van 1996 geldt dat het beperken van de baggerdiepte geen negatief effect heeft op de golfdoordringing in de voorhaven.

Golftransmissie

De golfhoogte kan mede worden bepaald door een bijdrage van golftransmissie over havendammen. In de SWAN-berekeningen zal geen rekening worden gehouden met deze mogelijkheid in golfbijdrage. Voordat golven via transmissie in de haven zijn aangekomen moet golfoverslag over de leidam aan de Markermeerzijde én aan de havenzijde hebben plaatsgevonden. De Markermeerzijde van deze leidam wordt uitgevoerd met een kruinhoogte

variërend van NAP + 1,55 m tot NAP + 1,75 m. De kruinhoogte van de havenzijde van de leidam varieert van NAP + 0,60 m tot NAP + 1,15 m. De leidammen zullen allen worden uitgevoerd met een talud van 1:3 en een kruinbreedte van 1,0 m. Bij een waterstand van NAP + 0,35 m en een verwachte golfhoogte van 1,0 m zou transmissie over de zuidelijke dam plaats kunnen vinden. Na berekening zal moeten worden nagegaan of de golven inderdaad niet de kritieke golfhoogte van 1,2 m respectievelijk 0,25 m overschrijden, zodat overslag toch mogelijk zou zijn. Overslag kan mede veroorzaakt worden door golfoploop tegen de dam, er zal tevens gecontroleerd worden of op basis hiervan geen overslag plaatsvindt. Van golftransmissie door de havendam zal geen sprake zijn aangezien de leidammen geen poreus karakter hebben door de aanwezigheid van de zandworsten in de kern van de dammen.

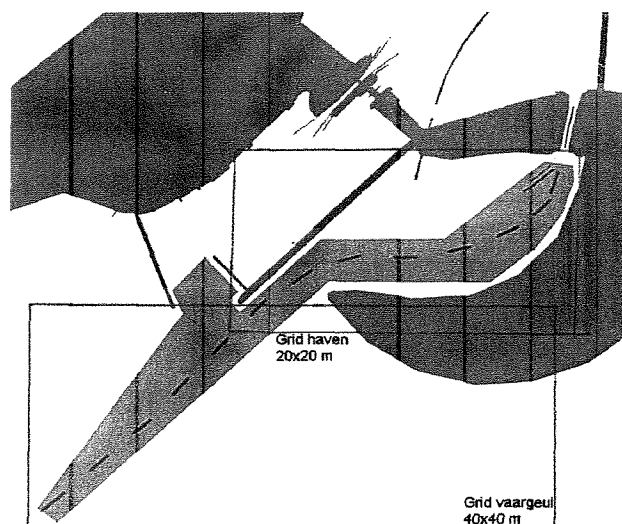
Omgevingsomstandigheden

De hydraulische randvoorwaarden, door het RDIJ en het RIZA vastgesteld voor het WL-onderzoek, zijn ook in deze studie aangehouden. De SWAN-berekeningen zijn uitgevoerd voor een meerpeil van NAP + 0,10 m, de bijbehorende waterstand bedraagt NAP + 0,35 m (uit WAQUA-berekeningen). De windsnelheid (op een hoogte van 10 m: U_{10}) waarbij is getoetst of de optredende significante golfhoogte de limiet van $H_s = 0,30$ m overschrijdt is 16 m/s (Beaufort 7). De windrichtingen waarvoor de toetsing is uitgevoerd zijn zodanig dat ter plaatse van de havenmond de golfrichtingen in de SWAN-berekeningen overeenkomen met de hoofdrichtingen van de golven zoals deze zijn toegepast in het golfonderzoek van het WL (1995 en 1996). Zo kan een goede vergelijking tussen de verschillende modelberekeningen gemaakt worden.

3.4.3 Golfberekeningen

Rekenroosters

Er is gebruik gemaakt van drie rekenroosters voor de modellering van de golfvoortplanting over het Markermeer tot in de haven. Allereerst is het Markermeer doorgerekend met een grid van 300 x 300 m. Vervolgens is nabij de haveningang een rekenrooster toegepast met een resolutie van 40 x 40 m, zodat de vaargeul in de berekening wordt meegenomen. Tenslotte is het golfbeeld van de zuidelijke voorhaven zelf bepaald met een resolutie van 20 x 20 m. De rekenroosters nabij de zuidelijke voorhaven zijn weergegeven in figuur 3.3.

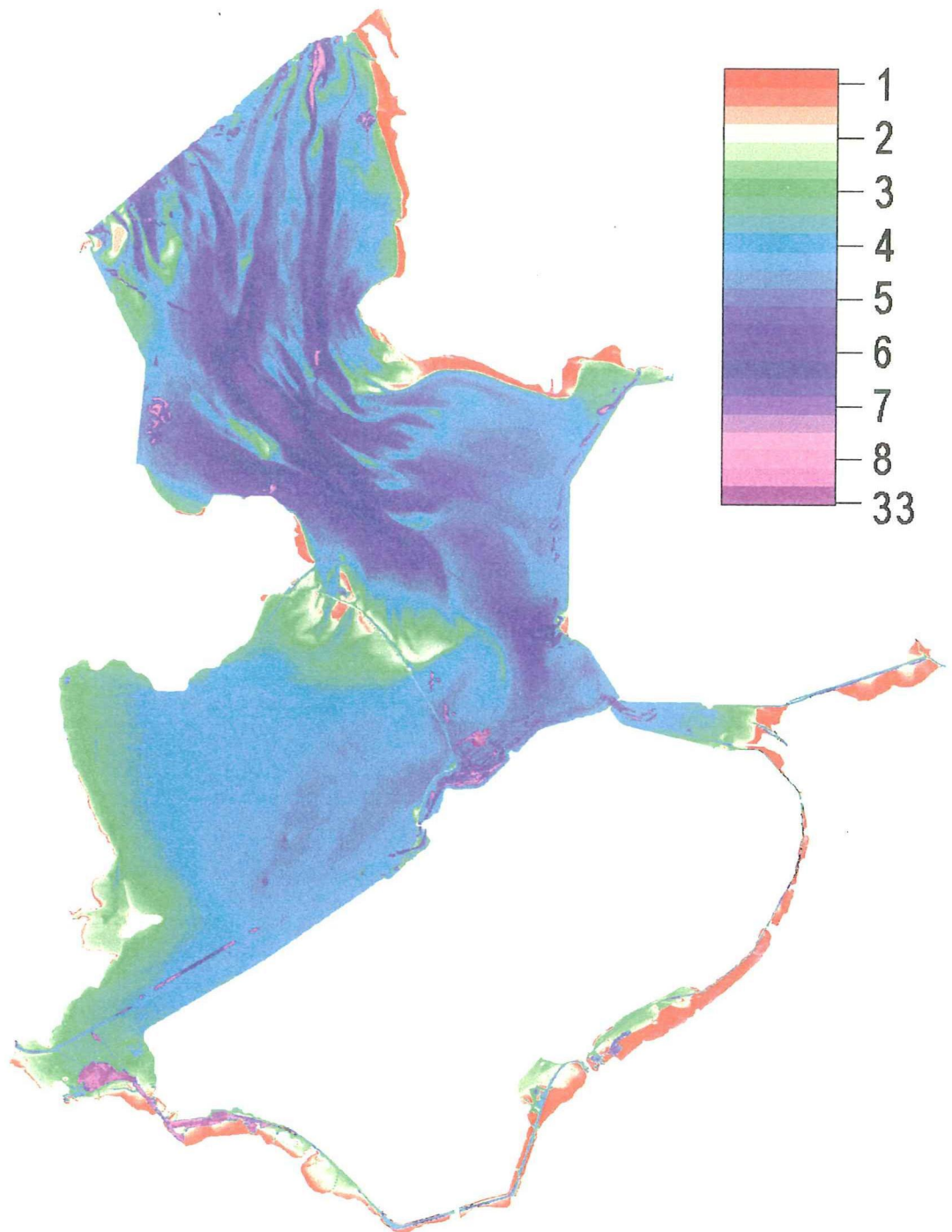


Figuur 3.3 Rekenroosters nabij zuidelijke voorhaven Naviduct

Bodemtopografie

De bodemligging van het Markermeer is volgens een bodemschematisatie van het RIZA uit 1999 (zie figuur 3.4) met een 40 x 40 m inputgrid. Ter plaatse van de aanvaarroute en de haven zijn aanpassingen gedaan aan deze bodemgegevens aangezien door baggerwerkzaamheden voor de scheepvaart de diepteliggingen worden gewijzigd. Er zal een vaargeul gebaggerd worden met een diepteligging

van NAP – 3,8 m en een breedte van minimaal 150 m, dit is ter plaatse van de havenmond, zie tekening KRB-TN-406 (toegevoegd als bijlage 5). De aanpassingen aan de bodemfile zijn doorgevoerd in een 40 x 40 m grid, net als in de schematisatie van het RIZA is toegepast.



Figuur 3.4 Bodemligging IJsselmeer, Markermeer en Randmeren Flevoland (de legenda toont dieptes in m tov NAP)

Instellingen SWAN

De berekeningen met behulp van SWAN zijn uitgevoerd met de volgende fysische en numerieke instellingen:

- De conventie voor wind- en golfrichting zijn Nautisch ingesteld in plaats van Carthesisch (er wordt aangegeven waar de wind of golven ten opzichte van het noorden vandaan komen).
- De fysica voor golfopwekking en dissipatie door whitecapping zijn volgens de derde generatie instellingen volgens Komen.
- Dissipatie door dieptegelimiteerd breken gebeurt volgens de Battjes-Janssen formulering.
- Bodemwrijving is gemodelleerd volgens de JONSWAP formulering.
- Processen voor niet-lineaire drie- en vier-golfinteracties zijn actief ingesteld.

Golfoordringing

Om het verschil in processen tussen de programma's DIFFRAC en SWAN te kunnen weergeven zijn berekeningen uitgevoerd waarbij in SWAN de bijdrage van wind in de haven is uitgeschakeld. In het berekeningsgebied van het Markermeer en de vaargeul is golfgroei door wind wel meegenomen.

Lokale golfgroei

Om de bijdrage van de door wind opgewekte golven in de haven te bepalen zijn voor de vastgestelde windrichtingen berekeningen uitgevoerd waarbij alleen het havengebied wordt gebruikt. Bij de havenmond is in dit geval geen inkomende golf gedefinieerd, dit wil zeggen: $H_{s,i} = 0$ m.

Reflectie

Met behulp van een nog experimentele versie van SWAN (de uiteindelijke versie is uitgekomen in oktober 2000) kan de reflectie van golven bij obstakels worden bepaald. Voor elk ingevoerd obstakel kan een bepaalde reflectiecoëfficiënt opgegeven worden, deze coëfficiënt wordt gedefinieerd via het kwadraat van de golfhoogte. Dit wil zeggen dat in deze nieuwe versie van SWAN de invoer van de reflectiecoëfficiënten de gekwadrateerde waarden moeten zijn ten opzichte van de reflectiecoëfficiënten die in DIFFRAC zijn ingevoerd.

Net als in het onderzoek van het WL treedt er reflectie van golven op tegen de bestaande havendam, de oeverbescherming van de polder en de vinvormige leidam die de zuidelijke voorhaven afschermt. Voor de reflectiecoëfficiënten van de bestaande havendam en de oeverbescherming van de polder is aangenomen dat deze ten opzichte van het WL-onderzoek niet zijn veranderd en worden dezelfde waarden toegepast.

De uitvoering van de nieuwe leidam is sinds het WL-onderzoek nog aangepast. Deze dam wordt voorzien van een toplaag van breuksteen, aangelegd met een bovenzijde van 1 m breed en een helling van 1:3, in plaats van de aanvankelijke waarden van 0,5 m breed en een helling van 1:2. Aan de meerzijde is de golfaanval gestandaardiseerd (toegestaan door een kleine variatie in de golfhoogten en de invloed ervan op de reflectiecoëfficiënten) op een hoogte van 0,80 m en een golflengte van 10 m, terwijl aan de havenzijde voor de golfhoogte en de golflengte waarden gebruikt zijn van 0,20 m respectievelijk 6,5 m (dit volgt uit uitvoer van eerdere berekeningen met behulp van SWAN zonder reflectie). Voor deze gegevens gelden reflectiecoëfficiënten van 15% aan de meerzijde en 35% aan de havenzijde van de dam, deze zijn bepaald met behulp van figuur 1 uit Seelig (1983, zie voor deze figuur bijlage 6). De geldende reflectiecoëfficiënten zijn weergegeven in tabel 3.4.



Tabel 3.4 Reflectiecoëfficiënten voor SWAN-berekeningen

Locatie	Golfaanval	Reflectiecoëfficiënten
Meerzijde havendam	$H_s = 0,80$ m	15 %
Havenzijde havendam	$H_s = 0,20$ m	35 %
Oeverbescherming polder		45 %
Bestaande havendam	- directe golfaanval	30 %
	- in lij van nieuwe dam	45 %

Voor de verschillende berekeningen (alle processen meegenomen, golfdoordringing en lokale golfgroei) wordt de invloed van reflectie op de golfhoogte bepaald.

3.4.4 Resultaten

De resultaten van de berekeningen met behulp van SWAN zijn via een nabewerking in het programma Matlab (versie 5.2) contourplots gemaakt van de bodemschematisaties (de WL-bodem en de bodem die door de huidige baggerwerkzaamheden ontstaat, verder de huidige bodem genoemd) en de golfhoogten binnen de zuidelijke voorhaven. In het voorblad van bijlage 7 is aangegeven welke condities zijn weergegeven in welke plots.

Er is voor de vier verschillende hoofdrichtingen van de golven een aantal verschillende berekeningen gemaakt. Deze zijn uitgesplitst in de twee verschillende bodems (huidige en WL-bodem), waarvoor elk berekeningen zijn gemaakt exclusief en vervolgens inclusief reflectie. Opgemerkt wordt dat voor de huidige bodem aanvankelijk berekeningen inclusief reflectie zijn gemaakt op basis van de reflectiecoëfficiënten zoals deze door het WL zijn bepaald. Aansluitend zijn berekeningen gemaakt met de coëfficiënten zoals deze in tabel 3.4 zijn aangegeven.

Aangezien de berekeningen met behulp van SWAN op basis van de huidige bodem en met de aangepaste reflectiecoëfficiënten het meest realistisch zijn met betrekking tot de toekomstige situatie zal voor de algemene berekeningen de resultaten besproken worden voor de verschillende hoofdrichtingen (zie figuren 1.11, 1.21, 1.31 en 1.41 van bijlage 7). De andere berekeningscondities zullen besproken worden bij de vergelijking van de golfberekeningen in de volgende paragraaf.

Uit figuur 1.0 (bijlage 7) blijkt in de rechterbovenhoek waar de sluisingang is gesitueerd, dat is namelijk het enige deel dat een waterdiepte van 4,15 m heeft (een vaargeul met een diepgang van 3,8 m opgeteld bij een waterstand van NAP + 0,35 m). Tevens is in deze figuur duidelijk zichtbaar waar de vaargeul loopt.

Golfhoogten

De berekeningen zijn uitgevoerd om te toetsen of de golfhoogten de grenswaarde van 0,30 m niet overschrijden in de vaargeul en met name ter plaatse van de sluisingang. In de vier aangegeven figuren blijkt dat de inkomende golven bij de havenmond variëren van 0,8 tot ongeveer 1,0 m, het maximum hiervan ligt bij inkomende golfrichtingen van rond de 200°N, bij een verdraaiing van deze golfrichting verder naar het westen daalt de inkomende golf weer. Dit is voorspelbaar aangezien de strijklengte op het Markermeer voor golfopwekking in die richting afneemt.

Volgens de voorspelling uit de eerste WL-studie (Golfdoordringing Tweede Krabbersgatsluis, 1995) vindt bij golven uit zuidelijke richting refractie plaats over de ondiepten van de haveningang in de richting van de geul. Hierdoor zal de doordringing van de golven in de haven toenemen. In geval van inkomende

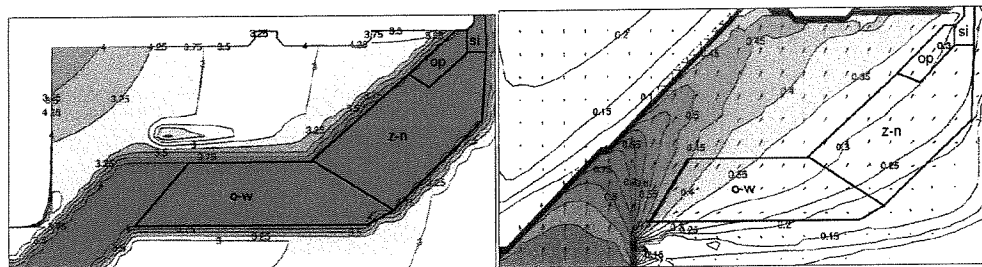


golven uit zuidwestelijke richting (parallel aan de vaargeul) zal minder golfenergie de voorhaven inkomen, omdat de golven door refractie uit de geul wegdraaien. Bij de windrichtingen 210°N en 240°N is de directe golfinstroom richting de sluisingang via de havenmond vrij groot. Omdat geen diffractie optreedt, vindt minimale afbuiging van de golfrichting plaats en kunnen de golven ver de haven doordringen.

In tabel 3.5 is voor een aantal locaties in de zuidelijke voorhaven voor de verschillende golfrichtingen aangegeven wat de optredende golfhoogte is. In figuur 3.5 is aangegeven welke gebieden onder de vier geselecteerde locaties vallen, in de toekomstige bodemschematisatie (links) en in één van de contourplots van de significante golfhoogten (rechts; situatie: golfrichting 180°N, figuur 1.21 uit bijlage 7). De aangegeven afkortingen voor de locaties in de figuur betekenen het

volgende:

- o-w: oost-west vaart
- z-n: zuid-noord vaart
- op: opstelplaatsen
- si: sluisingang



Figuur 3.5 Definitie locaties voor af te lezen golfhoogten

Er blijkt uit de tabel dat de maximaal toegestane golfhoogte van 0,30 m bij de sluisingang overschreden wordt in geval van golven uit de richtingen 200°N en 220°N. Op de overige geselecteerde locaties is af te lezen dat, naarmate de wind richting west draait, de golven de golfhoogtelimiet over een groter deel van de voorhaven overschrijden, doordat de golfdoordringing groter is.

Tabel 3.5 Optreden golfhoogten voor verschillende golfrichtingen en locaties

Golfrichting	Sluisingang	Opstelplaatsen	Zuid-noordvaart	Oost-westvaart
160°N	0.15 – 0.20 m	0.20 – 0.25 m	0.10 – 0.25 m	0.15 – 0.35 m
180°N	0.25 – 0.30 m	0.30 – 0.35 m	0.15 – 0.35 m	0.15 – 0.45 m
200°N	0.40 – 0.45 m	0.40 – 0.50 m	0.30 – 0.45 m	0.25 – 0.55 m
220°N	0.45 – 0.50 m	0.50 – 0.55 m	0.35 – 0.50 m	0.30 – 0.60 m

Voor de golfrichting 160°N overschrijdt vanaf het passeren van de bocht om de zuidelijke leidam heen (waar van west naar oost wordt gevaren bij invaart) de golfhoogte de grenswaarde van 0,30 m al niet meer. Bij het golfbeeld wat wordt opgewekt voor golven uit de hoofdrichting 180°N loopt de grenswaarde van de significante golfhoogte door de vaargeul heen. In het westelijke deel van de vaargeul in het gebied zuid-noordvaart en oost-westvaart overschrijdt de golfhoogte de 0,30 m. Bij een hoofdrichting van de golven uit 200°N en 220°N wordt de grens van de golfhoogte permanent overschreden.

Golftransmissie

Zoals in paragraaf 3.4.2 is aangegeven moet worden gecontroleerd of golftransmissie over de havendammen plaats zal vinden. Uit de contourplots blijkt dat de golven binnen de zuidelijke leidam onder de getoetste windcondities maximaal worden ontwikkeld tot een hoogte van 0,20 m. Dit geeft zelfs als

rekening wordt gehouden met een golfploop geen overslag aangezien een reductiefactor kan worden toegepast door het karakter van de leidam (reductiefactor $\gamma_r = 0,55 - 0,60$ voor 1 laag stortsteen). Tevens geldt dat de golfrichting dusdanig is ten opzichte van de ligging van de dam dat nog een (slechts kleine) reductie kan worden toegepast.

Opmerkingen

1) Uit de resultaten van de berekeningen van golfhoogten voor de uitvoering van het nautisch onderzoek, dit wil zeggen voor windrichtingen vanuit zuid (180°N) tot west (270°N), is gebleken dat voor de windrichtingen vanuit 240°N en 270°N ter plaatse van de sluisingang eveneens een overschrijding van de golfhoogte-eis optreedt. In hoofdstuk 6 zijn SWAN-berekeningen gemaakt voor deze richtingen om de invloed van de reflectiecoëfficiënt te onderzoeken, de resultaten van deze berekeningen worden hier gebruikt. Voor de twee windrichtingen (240°N en 270°N) gelden ter plaatse van de sluisingang golfhoogten van $0,45 - 0,50$ m. In de gehele zuidelijke voorhaven zijn de golfhoogten bij deze windrichtingen groter dan $0,30$ m.

In dit hydraulisch onderzoek is niet specifiek naar de golfdoordringing voor deze twee windrichtingen gekeken aangezien het doel was om in vergelijking met het uitgevoerde onderzoek door het WL te bekijken of de eis met betrekking tot de significante golfhoogte daadwerkelijk niet wordt overschreden in de toekomst. Bij de uitwerking van het nautisch onderzoek zijn de windrichtingen 240°N en 270°N wel in de beschouwing meegenomen.

2) Begin december 2000 is een bezoek aan het bouwterrein van het Naviduct gebracht. De wind waaide die dag vanuit het zuidwesten met een kracht van 6 à 7 Beaufort (dit komt overeen met een snelheid van 11 à 17 m/s). Ter plaatse van de toekomstige sluisingang zijn de golfhoogten onder die windomstandigheden geschat op $0,40$ à $0,50$ m. In figuur 3.6 is een foto van de golfwaarnemingen weergegeven. Deze foto is genomen vanaf de locatie van de toekomstige sluisingang richting de vinvormige leidam van de zuidelijke voorhaven.



Figuur 3.6 Golfwaarnemingen bij wind: zuidwest, kracht 6 à 7 Bft

3.5 Vergelijkingen golfberekeningen

3.5.1 Inleiding

De vergelijking tussen de berekeningen op basis van de verschillende golfmodellen zal worden gemaakt vanuit de berekeningen gemaakt door het WL in 1996 en een set geselecteerde berekeningen met behulp van SWAN, die het meeste gelijkenis vertonen met de WL-berekeningen. Dit zijn de berekeningen van SWAN op basis van de WL-bodem, inclusief reflectie, waarbij puur op golfdoordringing is berekend. Het verschil met DIFFRAC is dan alleen nog een deel van de fysica die aan de modellen ten grondslag ligt. In DIFFRAC wordt namelijk de invloed van diffractie op de golfdoordringing meegenomen terwijl dit bij SWAN niet het geval is, en andersom wordt in SWAN onder andere de invloed van dissipatie, shoaling en whitecapping op de golfhoogte berekend. De beoogde set SWAN-berekeningen zal de centrale berekening zijn voor deze paragraaf, vanuit deze berekeningen zal de invloed van bepaalde aspecten in de berekening worden beschouwd door het toevoegen aan of verwijderen uit de berekeningsstrategie. Deze aspecten zijn de invloed van een andere bodemschematisatie, de bijdrage van reflectie en de bijdrage van lokale golfgroei door wind.

Bij de vergelijking van de contourplots van de SWAN-berekeningen met die van DIFFRAC moet men alert zijn, aangezien de contourplots van de DIFFRAC-berekeningen zijn weergegeven als *fractie* van de inkomende golfhoogte. In geval van de berekeningen van het WL uit 1995 varieerde deze inkomende golfhoogte per golfhoofdrichting (van een maximum van 0,87 m voor golven uit 180°N tot een minimum van 0,70 m voor golven uit 220°N) en voor de berekeningen uit 1996 gold een inkomende golfhoogte van 1,0 m. Doordat DIFFRAC een lineair model is mogen in dit geval de berekende fracties van de inkomende golfhoogten eveneens gelden als golfreductiecoëfficiënten. Het is dus het eenvoudigst om een vergelijking te maken met de uitkomsten van de berekeningen uit 1996. De lay-out van de haven, in de berekeningen door het WL uit 1996, is meer overeenkomstig met de uiteindelijke havenlay-out dan de bodemschematisatie voor de berekeningen uit 1995, daarom zijn de berekening met de WL-bodem ook gemaakt op basis van de bodem toegepast voor de berekeningen uit 1996 en zullen vergelijkingen ten opzichte hiervan worden beargumenteerd. In figuur 2.0 van bijlage 7 is de schematisatie van de WL-bodem voor de berekeningen met SWAN weergegeven.

3.5.2 DIFFRAC vs. SWAN

Het golfpatroon dat ontstaat na berekening met behulp van SWAN voor de WL-bodem (figuren 2.12, 2.22, 2.32 en 2.42 uit bijlage 7) is lichtelijk afwijkend van het beeld dat ontstaat met behulp van DIFFRAC (zie bijlage 3.1 tot en met 3.4). Algemeen kan worden opgemerkt dat de contourplots vanuit SWAN vloeiender verlopen dan de contourplots vanuit DIFFRAC, dit kan veroorzaakt worden door het toegepaste grid in de berekeningen.

Door de optredende refractie (eerst de vaargeul in en later weer van de vaargeul afbuigend) vertonen de contouren van de SWAN-plots, ten noorden van de zuidelijke leidam, een min of meer parallelle ligging aan de bestaande havendam. Door de diffractie in DIFFRAC wordt dit parallelle beeld niet veroorzaakt, maar vindt er een sterkere buiging om de zuidelijke leidam plaats wat meer oost-west gerichte contouren veroorzaakt. Bij de windrichtingen meer richting westenwind begint de diffractie om de zuidelijke havendam sterker mee te spelen en krijgen de contouren hierdoor wel een meer vergelijkbaar patroon als bij SWAN. Juist bij inkomende golfrichtingen van 160°N en 180°N zijn de golfhoogten op basis van berekeningen met diffractie en reflectie (DIFFRAC) direct boven de zuidelijke



leidam hoger dan bij de SWAN-berekeningen. De golfhoogten direct ten zuiden van de oeversbeschermt van de polder zijn door de refractie hoger dan bij de DIFFRAC-berekeningen.

Door de aanwezigheid van reflectie in beide modellen ontstaan de pieken richting het oosten in de golfcontouren. Opvallend is dat de piek richting het oosten wel qua patroon overeenkomstig is maar qua grootte van de golven niet (DIFFRAC vs. SWAN). Doordat de plots in bijlage 3 in principe golfreductiecoëfficiënten weergegeven (door de inkomende golfhoogte van 1 m en het lineaire karakter van DIFFRAC) kan voor de variabele inkomende golfhoogten van de SWAN-berekeningen bekeken worden hoe groot de optredende golfhoogte op golfdoordringing zou worden in geval van de DIFFRAC-berekeningen. Voor het punt $x = 148.250$ en $y = 522.200$ (af te lezen in de SWAN-plots), gesitueerd in het midden van de zuidelijke voorhaven, zijn de golfhoogten voor beide modellen afgelezen c.q. bepaald. In tabel 3.6 zijn deze golfhoogten weergegeven. C in de tabel staat voor de golfreductiecoëfficiënt, die uit de DIFFRAC-plots kan worden afgelezen.

Tabel 3.6 Berekende golfhoogten midden zuidelijke voorhaven

Inkomende golfrichting	C (-)	DIFFRAC		SWAN
		$H_{i,SWAN}$ (m)	$H_{s,DIFFRAC}$	$H_{s,SWAN}$
160°N	0,15	0,80	0,12	0,14
180°N	0,20	0,90	0,18	0,22
200°N	0,20	0,95	0,19	0,30
220°N	0,30	0,90	0,27	0,35

Er blijkt uit de laatste twee kolommen van de voorgaande tabel dat de golfdoordringing met behulp van SWAN hogere waarden voor de golven levert dan DIFFRAC op basis van dezelfde WL-bodem. In het model SWAN wordt geen rekening gehouden met diffractie, een effect dat optreedt om de uiteinden van de golfbrekers van de voorhaven. In onregelmatige kortkammige golfvelden, zoals deze optreden binnen de voorhaven, blijkt dat het effect van diffractie maar klein is, behalve in regionen binnen een afstand van twee golflengtes van het uiteinde van de golfbreker. Een aspect dat wel in SWAN wordt meegenomen is het optreden van diffusie van de golven, hetgeen een benadering op de bijdrage van diffractie is. De diepteverschillen, die aanwezig zijn door het aanleggen van de vaargeul, veroorzaken de optredende refractie binnen de voorhaven. Doordat de golven op basis van de SWAN-berekeningen hoger zijn dan bij de DIFFRAC-berekeningen volgt dat refractie een niet te verwaarlozen bijdrage aan de golfhoogte binnen deze voorhaven veroorzaakt.

3.5.3 Invloed bodemschematisatie

De berekeningen met SWAN met als basis de WL-bodem (figuren 2.12, 2.22, 2.32 en 2.42 in bijlage 7) vertonen ten opzichte van degene met de huidige bodem als basis (eveneens SWAN-berekeningen, zie figuren 4.12, 4.22, 4.32 en 4.42 in bijlage 7) grotere golfhoogten nabij de bestaande havendam.

Er blijkt uit deze figuren dat de golfdoordringing voor golven uit de richtingen 160°N en 180°N, werkend boven de WL-bodem, aanvankelijk groter is ten opzichte van de SWAN-berekeningen met de huidige bodem. Echter waar de bodem overgaat tot een diepte van NAP – 7 m daalt de golfdoordringing plotseling sterk. Dit is een typisch refractieverschijnsel. In geval van golfval uit de richtingen 200°N en 220°N blijkt dat dit effect niet optreedt aangezien de golven dan min of meer haaks op de diepteovergang invallen en dus weinig of geen refractie-invloed aanwezig is. Vervolgens is de doordringing bij deze golfrichtingen na de bodemdiepte-overgang nog steeds sterker dan bij de berekeningen met SWAN voor de huidige bodem. De golfvoortplanting kan zich beter handhaven op



dieper water, doordat minder energieverlies in verband met bodemwrijving optreedt. Het WL-bodem-golfpatroon is meer overeenkomstig met de WL-berekeningen (zie bijlage 3.1 tot en met 3.4), wat ook logisch is omdat dezelfde bodem hieraan ten grondslag ligt en er blijkt dus dat deze wel degelijk van invloed is op de golfhoogten die worden opgewekt.

De invloed van de bodemschematisatie in de vergelijking van de SWAN-berekening op basis van de huidige bodem met de DIFFRAC-berekeningen is eveneens bekeken puur op golfdoordringing in de voorhaven, dus zonder de invloed van wind op de golfhoogte. Direct langs de bestaande havendam kunnen de golven in de DIFFRAC-berekeningen hun grote hoogte langer handhaven dan in de SWAN-berekeningen (in figuren 4.12, 4.22, 4.32 en 4.42 in bijlage 7). De golfhoogten vallen voor de beschouwde golfrichtingen in de voorhaven bij berekening met SWAN (ten oosten van de lijn $x = 148.000$ m) juist hoger uit dan de uitkomsten van de DIFFRAC-plots. Het blijkt dat de processen refractie en diffractie in combinatie met reflectie bij deze golfrichtingen in geval van golfdoordringing dus een andere bijdrage aan de golfhoogte geven.

3.5.4 Invloed reflectie

Uit het optredende golfpatroon (in figuren 2.12, 2.22, 2.32 en 2.42 in bijlage 7) blijkt direct dat de SWAN-berekeningen inclusief reflectie tot gevolg hebben dat de golven verder doordringen en zo grotere hoogtes binnen de haven behouden (ten opzichte van de SWAN-plots 3.12, 3.22, 3.32 en 3.42 in bijlage 7). Zo loopt in geval van golven uit 160°N de 0,05 m contourlijn (en in navolging daarvan de 0,10 en 0,15 m lijn) een stuk verder de haven in richting de zuidelijke leidam. De reflectie treedt in dat geval voornamelijk op tegen de bestaande leidam, die de bestaande zuidelijke voorhaven beschermt. Reflectie tegen de oeverbescherming van de polder heeft een zichtbare beginnende invloed bij golven uit de richting 180°N en levert een belangrijk aandeel aan de totale golfhoogte in geval van golfrichtingen uit 200°N en 220°N . Bij deze laatste twee golfrichtingen neemt de invloed van reflectie tegen de bestaande leidam af.

Door het toevoegen van reflectie in de berekeningen (stap van 3.12-serie-berekeningen naar de 2.12-serie) treedt een logische stijging in de overeenkomst met de golfpatronen uit de DIFFRAC-berekeningen (vergelijking met bijlage 3) op. Ter hoogte van een Y-coördinaat van ongeveer 522.200 ontstaat nu ook een piek in de golfhoogten richting het oosten. De golfdoordringing inclusief reflectie-effecten voor de SWAN-berekeningen met de huidige bodem (4.12-serie) is ten noorden van de vinvormige leidam groter dan de doordringing bij de WL-berekeningen (bijlage 3).

Vanuit de SWAN-berekening met reflectie en op basis van de WL-bodem (2.12-serie) kan gesteld worden dat de sterke overgang in de WL-bodem van de diepte van NAP - 7 m naar NAP - 2,5 m en NAP - 5 m de piek in de golfdoordringing veroorzaakt. Deze hele grote dieptevariaties treden in de huidige bodem namelijk niet op (zie voor de berekeningen van SWAN inclusief reflectie op basis van de huidige bodem figuren 4.12, 4.22, 4.32 en 4.42 in bijlage 7) en de ontwikkeling van de piek in de contourlijnen blijft ook achterwege.

Huidige bodem met aangepaste reflectiecoëfficiënten

Door het gebruik van lagere reflectiecoëfficiënten voor de meerzijde en de havenzijde van de zuidelijk leidam (door het aanleggen van de leidam met een flauwer talud) wordt de golfdoordringing binnen de haven een fractie lager. De contourlijnen trekken zich ietwat terug uit de voorhaven, maar de verschillen zijn niet heel duidelijk zichtbaar. Zoals uit de vergelijking tussen de figuren 4.11, 4.21, 4.31, 4.41 en 1.11, 1.21, 1.31, 1.41 blijkt verandert er niet wezenlijk iets aan de uitkomsten van de golfhoogten binnen de vaargeul voor de scheepvaart.



3.5.5 Invloed lokale golfgroei

De invloed van golfgroei door wind is met behulp van de SWAN-berekeningen zonder golfinvoer aan de havenmond bepaald. Bij de DIFFRAC-berekeningen is rekening gehouden met een windaandeel op de golfhoogte van 0,25 m. Zoals uit de contourplots, in figuren 2.13, 2.23, 2.33 en 2.43 in bijlage 7, blijkt is, in geval van wind uit de richtingen 130°N en 160°N, deze waarde een overschatting voor de vaarroute van de schepen. Maar met name voor de sluisopvaart is dit, in geval van wind uit de richtingen 185°N en 210°N, een onderschatting ten opzichte van de berekeningen met behulp van SWAN.

Met behulp van de in paragraaf 3.3.3 genoemde formule ($H_{s,tot} = \sqrt{H_{s,diff}^2 + H_{s,wind}^2}$)

blijkt dat de golfgegevens uit de golfdoordringingsberekeningen en de windberekeningen leiden tot het totaalbeeld uit de algemene berekening, weergegeven in de figuren 2.11, 2.21, 2.31 en 2.41 in bijlage 7.

De golfpatronen opgewekt door slechts werking van wind verschillen nauwelijks bij berekening met verschillende bodems. Duidelijke verschillen tussen de figuren 2.13, 2.23, 2.33, 2.43 en de 4.13-serie in bijlage 7 zijn aanwijsbaar door de andere ligging van de zuidelijke leidam, die dus een ander patroon veroorzaakt bij een Y-coördinaat kleiner dan 522.000. Tevens is bij wind vanuit de richting 210°N het gedeelte van de haven waar de golfhoogte de 0,35 m overschrijdt, groter bij de WL-bodem dan wanneer sprake is van de huidige bodem. Dit zou kunnen komen omdat de strijklengte van de wind over een geheel diepere vaargeul heen werkt en zo dus hogere golven veroorzaakt.

In geval van de algemene berekening met behulp van SWAN inclusief reflectie op basis van de WL-bodem (zie figuren 2.11, 2.21, 2.31 en 2.41 in bijlage 7) treedt geen daling van de golfhoogte op na de optredende piek, zoals bij de golfhoogteplots van het WL wel het geval is. Dit verschil is verklaarbaar aangezien deze daling richting de sluisingang wel optreedt bij de berekening van SWAN puur op golfdoordringing (figuren 2.12, 2.22, 2.32 en 2.42 in bijlage 7). Dit effect wordt weer tenietgedaan door de bijdrage van golfgroei door de wind (een aspect dat in de algemene berekening wel is meegenomen).

3.6 Evaluatie

3.6.1 Conclusies

Afhankelijk van de geldende golf- en windrichting wordt de eis ten aanzien van de significante golfhoogte ter plaatse van de sluisingang overschreden. In geval van golfrichtingen, ter plaatse van de havenmond, van 160°N en 180°N wordt de limiet van 0,30 m niet overschreden, echter in geval van golven uit de richtingen 200°N en 220°N vindt een overschrijding van de maximale golfhoogte plaats van gemiddeld 50% ($H_s = 0,40 - 0,50$ m).

De verschillen die optreden tussen de berekeningen, voor de golfhoogten in de zuidelijke voorhaven van het Naviduct, die door het WL zijn uitgevoerd met behulp van DIFFRAC en de berekeningen die in dit afstudeeronderzoek zijn uitgevoerd met behulp van SWAN zijn verklaarbaar uit een aantal aspecten. Sowieso zijn in de berekeningsprogramma's DIFFRAC en SWAN verschillende aspecten voor de bepaling van de golfhoogte gemodelleerd, waardoor andere waarden voor de golfhoogten worden gevonden. DIFFRAC berekent de golfhoogten op basis van diffractie en reflectie en SWAN doet dit voor refractie, lokale golfgroei door wind, dissipatie etc. Sinds oktober 2000 kan eveneens reflectie worden meegenomen. Zoals in de bespreking van de vergelijking van de berekeningen al naar voren is gekomen (in paragraaf 3.5) zijn de verschillen eveneens verklaarbaar door het



gebruik van een andere bodemschematisatie en het optreden van hogere golven door de opwekking door de wind binnen de voorhaven. Wat betreft de bodemschematisatie kan gesteld worden dat de SWAN-berekeningen met de huidige bodem beter zijn aangezien deze geschematiseerde situatie de eindsituatie van de zuidelijke voorhaven weergeeft. Voor de invloed van lokale golfgroei door wind wordt opgemerkt dat de berekende bijdrage door SWAN, verlopend over de voorhaven, een meer realistische weergave is van de werkelijkheid dan de aanname van het WL dat de globale bijdrage aan de golfhoogte 0,25 m hoog is.

3.6.2 Aanbevelingen

Om het belang van de verschillende processen in de bepaling van de golfhoogten te kunnen kwantificeren zullen berekeningen moeten worden gemaakt met behulp van SWAN waarin de omstandigheden zoveel mogelijk gelijk aan die van DIFFRAC gemaakt zijn. Dit geldt met betrekking tot de bodemschematisatie, inkomende golfperiode en golfhoogte en bepaalde processen, die als optie in SWAN zijn ingebouwd. Indien al de extra processen, die in SWAN mee te nemen zijn, worden uitgezet kan de pure vergelijking tussen de diffractie- en refractie-invloed worden gemaakt. Vervolgens dienen deze extra processen, zoals golf-golfinteractietermen (triads en quadruplets) en de dissipatietermen van de golfenergie (bodemwrijving, dieptegeïnduceerd breken en whitecapping), één voor één te worden toegevoegd voor de uitvoering van de golfberekeningen. In de vergelijking van deze berekeningen is de invloed van de afzonderlijke processen aan de golfhoogte te bepalen.

4 Nautisch onderzoek

4.1 Inleiding

Aansluitend op het hydraulisch onderzoek is een onderzoek uitgevoerd betreffende de nautische aspecten van de haven. Middels manoeuvreersimulaties is voor de beroepsvaart de haalbaarheid van de zuidelijke voorhaven van het Naviduct geëvalueerd. Specifiek is gekeken naar de invloed van de golven, zoals deze bepaald zijn in het voorgaande golfonderzoek, op deze haalbaarheid met betrekking tot de hinder op de scheepvaart. Van belang hierbij is de in- én uitvaart van de scheepvaart van de zuidelijke voorhaven. Als referentie voor het nautisch onderzoek geldt het reeds in april 1995 uitgevoerde onderzoek door het Maritime Simulation Centre Netherlands (MSCN). In tegenstelling tot het onderzoek van het MSCN, dat is uitgevoerd met de modellen AVV en SHIPMA, is in dit afstudeeronderzoek gebruik gemaakt van het navigatiemodel Ship-Navigator. Zoals in de inleiding van hoofdstuk 3 al is aangegeven zal in paragraaf 4.2 op de herkomst van de eis ten aanzien van de significante golfhoogte worden ingegaan. In dit hoofdstuk zal vervolgens een samenvatting van het onderzoek door het MSCN worden gegeven. Aansluitend wordt het nautisch onderzoek voor de binnenvaart beschreven, hierin komen aan bod een beschrijving van het model Ship-Navigator, de werkwijze met betrekking tot de manoeuvreersimulaties en worden de resultaten van deze simulaties weergegeven. Dit hoofdstuk zal worden afgesloten met een bepaling van de invloed van golven op de recreatievaart, door het vaststellen van de kritieke windsnelheden voor deze vaartuigen.

4.2 Herkomst significante golfhoogte eis

In de rapporten van de golfdoordringingsonderzoeken die zijn uitgevoerd door het WL in 1995 en 1996, wordt aangegeven dat het gestelde criterium voor de maximale golfhoogte bij de sluisingang $H_s = 0,30$ m is. Een achtergrond door wie deze eis gesteld wordt of een reden waarom deze eis gehaald moet worden, wordt echter niet gegeven. Aannemelijk is dat deze eis gesteld is met betrekking tot de scheepvaart. Afhankelijk van de toekomstige aanwezige scheepvaart bestaan specifieke normen voor het ontwerpen van een haven. Er zijn drie bronnen gevonden waarin enige informatie betreffende de toegestane golfhoogte van 0,3 m voor te verwachten scheepvaart wordt aangehaald. Van belang zijnde informatie uit deze bronnen is onderstaand weergegeven.

Jachthavens

(uit Ports en Terminals, H. Ligteringen)

Met betrekking tot de havenstructuur moeten de golfbrekers zodanig worden ontworpen dat golfoverslag zo veel mogelijk vermeden wordt. Dit is gewenst in verband met pleziervaartuigen die binnen de haven verankerd kunnen liggen en alleen bestand zijn tegen erg kleine golven. Significante golfhoogten van ten hoogste 0,30 m worden toegestaan, in verband met het comfort op het schip, en een maximum van 0,60 m voor het veilig afmeren van de schepen.

Visserijhavens

(uit Ports en Terminals, H. Ligteringen)

Of de optredende golven ter plaatse van de ligplaatsen acceptabel zijn is afhankelijk van de hoogte en periode van de golven en of de vaartuigen loodrecht of parallel aan de doordringende golven liggen afgemeerd. In geval van perioden kleiner dan ongeveer 6 sec. kunnen kleine kustvaartuigen, die loodrecht op de

naderende golfkammen liggen afgemeerd, gelost worden tot een significante golfhoogte van 0,30 m. Bij een afmeerwijze parallel aan de inkomende golfkammen kan gelost worden tot $H_s = 0,15$ m. Voor grotere vaartuigen liggen deze grenzen voor het laden en lossen op 0,50 m en 0,25 m voor de loodrechte respectievelijk parallelle afmeerwijze ten opzichte van de golfkammen. Indien de golfperiodes groter zijn dan 6 sec. zijn significante golfhoogten van slechts 0,30 en 0,15 m toegestaan voor de aangegeven naderingsrichtingen van de golven.

Afgemeerde schepen in havens

(uit Criteria for movements of moored ships in harbours, PIANC)

Om de downtime binnen havens te minimaliseren zijn voor havenontwerpers en havenwerkzaamheden richtlijnen opgesteld. Deze zijn bedoeld om de scheepsbewegingen binnen de toegestane waarden ten aanzien van veilige werk- en afmeercondities te houden.

Kleine vaartuigen en plezierboten zijn hiervoor gedefinieerd als boten met een maximale lengte van 20 m. Afgemeerde boten zijn vooral gevoelig voor korte golven die dwars of loodrecht op het vaartuig invallen. Hun ligplaatsen vereisen een beschutte locatie om schade aan het schip en kade te voorkomen en om het comfort van de passagiers aan boord te vergroten. Bij het ontwerpen van havens voor plezierboten en kleine vaartuigen moet rekening worden gehouden met het effect van lokaal opgewekte windgolven met korte strijklengten.

In termen van golfhoogte en periode zijn criteria voor acceptabele scheepsbewegingen gedefinieerd, deze parameters weerspiegelen namelijk in voldoende mate de comfortabiliteitscriteria van de schepen. In tabel 4.1 zijn de aanbevolen golfcriteria weergegeven, hierbij is de acceptabele frequentie van optreden eens tot een paar maal per jaar.

Tabel 4.1 Aanbevolen golfcriteria voor het ontwerp van een haven

Scheepslengte (m)	Invallende golven			
	Dwars/loodrecht op schip		Op voorstevan	
	Periode (s)	Hoogte (m)	Periode (s)	Hoogte (m)
4 – 10	< 2.0	0.20	< 2.5	0.20
	2.0 – 4.0	0.10	2.5 – 4.0	0.15
	> 4.0	0.15	> 4.0	0.20
10 – 16	< 3.0	0.25	< 3.5	0.30
	3.0 – 5.0	0.15	3.5 – 5.5	0.20
	> 5.0	0.20	> 5.5	0.30
20	< 4.0	0.30	< 4.5	0.30
	4.0 – 6.0	0.15	4.5 – 7.0	0.25
	> 6.0	0.25	> 7.0	0.30

Zoals uit het voorgaande blijkt geldt de door het RDIJ gestelde eis ten aanzien van de significante golfhoogte voor het comfort, het afmeren en lossen van kleine vaartuigen en plezierboten als maximum voor schepen tot een lengte van 20 m. Voor de meeste categorieën in de tabel liggen de aanbevolen criteria voor de golfhoogte op lagere waarden. In de zuidelijke voorhaven van het Naviduct zal de situatie voor het lossen van schepen zich niet voordoen, aangezien de voorhaven zich alleen leent voor doorvaart van schepen en de aanwezige aanlegmogelijkheden voor de scheepvaart slechts bedoeld zijn als opstel/wachtplaatsen voor de sluisdoorvaart.

Voor het nautische onderzoek van de binnenvaart hoeft geen rekening te worden gehouden met deze eis, pas bij de uitvoering van het nautisch onderzoek van de recreatievaart zal de eis weer worden geverifieerd.



4.3 Samenvatting MSCN-onderzoek

Door het MSCN zijn in 1995 reeds verkennende manoeuvreersimulaties uitgevoerd als onderdeel van de totale evaluatie van het Naviduct bij het Krabbersgat (De Jong, april 1995). Bij deze simulaties is de in- en uitvaart van de zuidelijke voorhaven bekeken met behulp van een AVV model en het model SHIPMA, voor twee verschillende soorten schepen. Met behulp van een autopilot zijn de toetsingen van de voorhaven uitgevoerd.

Evenals bij de samenvatting van de WL-onderzoeken is in deze samenvatting van het MSCN-onderzoek slechts de gevolgde werkwijze en getrokken conclusies en aanbevelingen van het MSCN weergegeven. Er is geen eigen inbreng of commentaar in deze tekst verwerkt.

4.3.1 Manoeuvreermodel SHIPMA

Het fast-time scheepsmanoeuvreermodel SHIPMA is ontwikkeld door het Waterloopkundig Laboratorium om het manoeuvreergedrag van een schip te kunnen simuleren. Het mathematische model berekent het ruimtebeslag en de koershoek van een vaartuig. Het model houdt rekening met de invloeden van wind, golven, stroming, ondiep water en zuiging door obstakels. Roer, schroef en sleepbootcontrole worden uitgevoerd door een koershoudende autopilot die op afwijkingen van de gewenste koers en veranderingen in stromingen anticipeert.

4.3.2 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Havenlay-out

De schematisatie van de havenlay-out, die is toegepast voor de simulaties, is gelijk aan de lay-out gebruikt bij het golfdoordringingsonderzoek van juni 1995 door het WL (zie figuur 3.1).

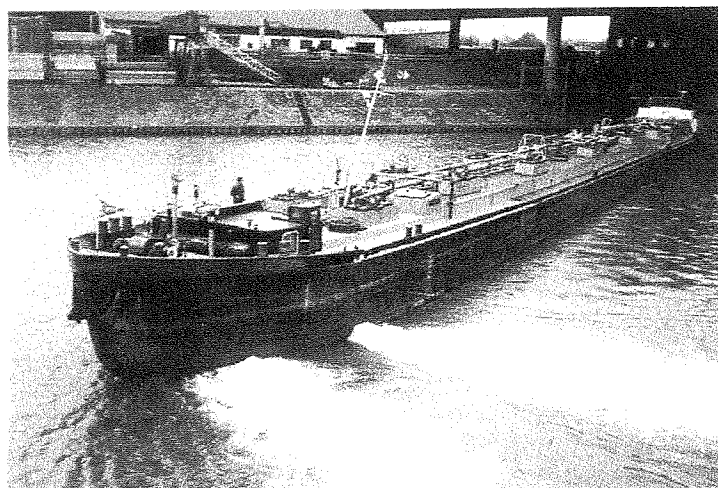
Omgevingscondities

Het beoordelen van de manoeuvreermogelijkheden is uitgevoerd bij wind uit het zuiden (180°N) en westen (270°N). De grootte van de maatgevende windsnelheden (U_{10}) is zuid 12,6 m/s en west 13,8 m/s en geldt op een hoogte van 10 m. Indien rekening wordt gehouden met de ruwheid van het bovenwinds gelegen oppervlak en de geldende windcoëfficiënten zijn de windsnelheden op een hoogte van 4 m (U_4): zuid 10 m/s en west 11 m/s. Bij deze omrekening is gebruik gemaakt van een relatieve windsnelheid (U_z/U_{10}) van 0,80 behorende bij een ruwheidshoogte z_0 van 0,10 m (zie voor deze gegevens bijlage 8).

Bij het uitvoeren van de simulaties is de invloed van golven bij de haventoeegang niet meegenomen. Tevens is er vanuit gegaan dat stroming van betekenis niet aanwezig is.

Schepen

Als maatgevende scheepvaart voor de simulaties worden het lege klasse Va schip en het containerschip beschouwd. In principe zijn deze schepen beide getoetst met het AVV model. Alleen voor het klasse Va schip is de invloed van een boegschroef onderzocht met behulp van het model SHIPMA. Uitgangspunt hierbij is dat de schepen zijn uitgerust met een 240 pk boegschroef. In figuur 4.1 is een binnenvaartschip getoond dat gebruik maakt van een boegschroef (uit het Duitse blad Binnenschiffahrt, mei 2000).



Bugstrahlruder erleichtern das Manövrieren Foto: Verhaar
 Figuur 4.1 Toepassing boegschroef bij binnenvaartschip

Voor de containerschepen is de stapelhoogte van de containers aangenomen op 4. Deze hoge stapeling levert een groot windoppervlak, hierdoor is de windgevoeligheid van het containerschip waarschijnlijk aanzienlijk.

4.3.3 Resultaten

Voor de uitgevoerde simulaties is in plots het verloop van de snelheid, de roerhoek en het ruimtebeslag weergegeven. Naar aanleiding van de inzet van manoeuvreermiddelen, het roer en toerentallen, kan een simulatie beoordeeld worden.

Haventoegang

In geval van een in- en uitvaarsnelheid van net onder 10 km/uur blijkt dat de breedte van de haventoegang voldoende groot is. Voor beide schepen is het ruimtegebruik dwars op de vaarroute kleiner dan 50 m onder de gevaren condities. Het noodzakelijke roergebruik is gering.

Sluisopvaart

Algemeen kan gesteld worden dat de scenario's betreffende zuiden wind goed uitvoerbaar zijn zonder boegschroef. In geval van westen wind treden problemen op bij de uitvoerbaarheid door de sterke windhinder ter plaatse van het deel van de vaarroute juist voor de sluiscolk.

In tabel 4.2 is weergegeven of in/uitvaart mogelijk is onder de geldende omstandigheden (windsnelheden in deze tabel gelden op een hoogte van 4 m).

Tabel 4.2 Manoeuvrermogelijkheden klasse Va en containerschip

Schip	Model	Specificatie	Zuid 10 m/s (U ₄)	West 11 m/s (U ₄)
Klasse Va	AVV invaart		Mogelijk	Niet mogelijk
	SHIPMA invaart	Zonder b.s. ³⁾	-	Niet mogelijk
		Met b.s.	-	Mogelijk
Container	AVV invaart ¹⁾	Zonder b.s.	Mogelijk	Niet mogelijk
		Met b.s.	Mogelijk	Mogelijk
	AVV uitvaart ²⁾	Zonder b.s.	Mogelijk	Niet mogelijk
		Met b.s.	Mogelijk	Mogelijk

¹⁾ zonder boegschroef is invaart van het containerschip wel mogelijk, maar het schip heeft dan een erg groot ruimtebeslag. Door inzet van een boegschroef is geen extra ruimtebeslag benodigd en kan een lagere vaarsnelheid gebruikt worden, wat de veiligheid van de manoeuvre bevordert.

-
- ²⁾ voor het eerste gedeelte van de sluisuitvaart is een boegschroef noodzakelijk om de uitvaarmanoeuvre goed uitvoerbaar te maken.
- ³⁾ b.s. wil zeggen: boegschroef

4.3.4 Evaluatie

Op basis van de voorgaande resultaten zijn door het MSCN de volgende conclusies en aanbevelingen gedaan:

Conclusies

1. De huidige haventoeegang van 200 meter is voldoende breed en laat ontmoetingen toe.
2. De in- en uitvaart met het lege klasse Va schip voorzien van een normale boegschroef is in deze omgevingscondities in deze lay-out goed uitvoerbaar.
3. De uitvaart met het containerschip voorzien van een boegschroef is goed uitvoerbaar.
4. De invaart met het containerschip voorzien van een boegschroef is voldoende veilig uitvoerbaar onder de bij de aanbevelingen te noemen aanpassingen (1 en eventueel 2).

Aanbevelingen

1. Voor een veilige opvaart naar de sluiskolk is een verplaatsing van de oostelijke begrenzing van de voorhaven in oostelijke richting met ongeveer 50 meter wenselijk. (in verband met invaart van de sluis door het containerschip)
2. Praktisch gezien zou een verdraaiing (met de klok mee) van het Naviduct de oriëntatie van de aanloop naar de sluis ten opzichte van de (overheersende) windrichtingen sterk verbeteren. Voor de overige dwarsopstaande windrichtingen neemt dan de afscherming door de dijk toe.
3. Verlenging van het oostelijke remmingwerk is wenselijk voor het gebruik door (kleinere) schepen welke geen boegschroefverplichting hebben.
4. De windgevoeligheid van het huidige containerschip, zoals bepaald door de hoogte van de stapeling van de containers, moet opnieuw bezien worden tegen de achtergrond van de transportroute waar deze sluis deel van uitmaakt.

4.4 Manoeuvresimulaties 2000

4.4.1 Ship-Navigator

Voor het uitvoeren van manoeuvresimulaties is in dit afstudeeronderzoek gebruik gemaakt van het model Ship-Navigator. Dit is een scheepsmanoeuvresimulator welke gebruikt wordt voor het ontwerp en de optimalisatie van kanalen en havens. Er kan gekozen worden voor real-time simuleren of voor het navigeren sneller dan real-time. Tevens dient de keuze gemaakt te worden of met behulp van een autopilot of handmatig gevaren wordt.

In het programma Ship-Navigator zijn de volgende aspecten gemodelleerd:

- Scheepsmanoeuveercharacteristieken afhankelijk van scheepsvorm, roeraandrijving, e.d.
- Omgevingsaspecten zoals waterdiepte, wind, golven en stroming (locatie- en tijdsafhankelijk)
- Assistentie van sleepboten gebaseerd op realistische sleepbootvermogens
- Aan- en afmeren, inclusief fenderkrachtreacties

Speciale kenmerken, ontwikkeld voor het ontwerpen van terminals onder moeilijke omgevingscondities, die gemodelleerd zijn in het programma zijn onder andere:

- Effectieve karakteristiek van roer en schroef met gedetailleerde modellering voor de interactie tussen roer, schroef en de scheepsvorm
- Het gebruik van dubbele roer/schroefschepen met individuele of gecombineerde aansturing van roeren en schroeven
- Gedetailleerde sleepboot modellering met een trek- en duwmogelijkheid, treklijnlengthe, -positie en -hoek

4.4.2 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Havenlay-out

Op basis van de lay-out zoals de zuidelijke voorhaven van het Naviduct nu wordt aangelegd (zie bijlage 4) zijn de simulaties met behulp van Ship-Navigator uitgevoerd. De toegepaste schematisatie van de bodemligging is gelijk aan de schematisatie die is opgesteld voor het golfonderzoek: de huidige bodem (zie bijlage 7 figuur 1.0).

Omgevingscondities

Er is uitgegaan van de gestelde randvoorwaarden van het RDIJ die golden voor het hydraulisch onderzoek, dat wil zeggen een windsnelheid (U_{10}) van 16 m/s en een waterstand van NAP + 0,35 m. De mogelijkheden ten aanzien van manoeuvreren van de scheepvaart onder deze condities zijn geanalyseerd voor vier windrichtingen, verlopend van zuid naar west (180°N, 210°N, 240°N en 270°N).

Golfvelden zijn voor deze windrichtingen al opgesteld in het kader van het golfonderzoek met behulp van SWAN. (Deze golfvelden zijn op basis van SWAN-berekeningen zonder reflectie aangezien de versie met reflectie nog niet beschikbaar was ten tijde van het uitvoeren van de manoeuvreersimulaties.)

In tegenstelling tot de in het vooronderzoek uitgevoerde simulaties is in dit onderzoek de invloed van golven op de scheepvaart meegenomen. Door de golven ontstaat een heen en weer gaande beweging tegen/op het schip. Deze beweging heeft een resulterende kracht in de richting waarin de golven werken, deze kracht werkt ook op het schip en veroorzaakt daardoor een beweging van het schip welke een combinatie van roll, heave en sway is. In geval van kleinere schepen is de invloed van deze kracht op de scheepsbeweging groter dan op de beweging van grotere schepen. Er zal blijken hoeveel invloed (afhankelijk van de significante golfhoogte, piekperiode, invalshoek en de vaarrichting en -snelheid van het schip) de golven hebben op de manoeuvres van het maatgevende schip.

Er wordt vanuit gegaan dat geen stroming van betekenis aanwezig is. Aangezien er geen getij speelt in het Markermeer zal alleen stroming worden opgewekt door de windactie in samenwerking met het wateroppervlak. In SWAN is het effect van stroming voor zijn rekening genomen door de werkende lokale windsnelheid en windrichting in de berekening te verdisconteren. In het model (Ship-Navigator) zijn geen stromingsvelden ingevoerd voor de uitvoering van de simulaties.

Indien wordt uitgegaan van de windsnelheden behorende bij de overschrijdingsfrequentie van 2% per jaar (zoals het MSCN heeft gedaan) volgen andere windcondities voor de uit te voeren simulaties. Aangezien de binnenvaart van november tot en met maart maatgevend (zie downtimeanalyse, hoofdstuk 5) is en de windsnelheden dan een stuk hoger liggen dan de rest van het jaar, is ook nog een uitsplitsing gemaakt voor die vijf maanden van het jaar. Dit zou resulteren in de volgende simulaties, zie tabel 4.3.

Tabel 4.3 Maatgevende windsnelheden t.b.v. Ship-Navigator simulaties (overschrijdingsperiode (2%))

	Windsnelheid voor de simulatie (U_{10} in m/s)			
	Windrichting (graden tov N)			
	170-190	200-220	230-250	260-280
hele jaar	8	10,5	13	10,5
januari	9.5	12	15	13
februari	8	10.5	14	12
maart	8	10.5	15	12
november	9.5	12	13	12
december	9.5	12	14	13

Met het oog op de uit te voeren downtimeanalyse is met behulp van de simulaties gezocht naar grenzen per windrichting tot waar de scheepvaart voldoende veilig en goed door de haven kan manoeuvreren.

Schepen

Als maatgevend schip voor de simulaties is aangehouden het lege klasse V schip volgens de CEMT klasse-indeling, dit is afwijkend ten opzichte van het MSCN-rapport maar verklaarbaar aan de hand van de schepstellingen. Uit de schepstellingen van de Krabbersgatsluis uit 1999 (bijlage 9) blijkt namelijk dat 6% van de vrachtvoerende binnenvaart een klasse V schip was. Slechts 0,5% van die vaart was een klasse Va schip en 0,7% bevindt zich in de regio tussen deze klassen in. Op basis van deze gegevens wordt het klasse V schip representatief bevonden voor de simulaties van de scheepvaart in de zuidelijke voorhaven van het Naviduct. Algemeen geldt voor schepen uit deze klasse dat het laadvermogen tussen 1800 en 3199 ton ligt. Het standaardchip is een Groot-Rijnschip met een laadvermogen van 2250 ton, een lengte van 95 m, een breedte van 11,4 m en een diepgang van 3,0 m.

De afmetingen van het motorvrachtschip (CEMT klasse V), waarmee is gesimuleerd, zijn:

- Lengte: 93,48 m
- Breedte: 11,53 m
- Ongeladen diepgang: 1,28 m
windoppervlakte: 528 m²
- Geladen diepgang: 3,42 m
windoppervlakte: 283 m²

Met het containerschip zal in tegenstelling tot het vooronderzoek niet worden gesimuleerd. Wat betreft de containervaart kan worden opgemerkt (zie bijlage 10) dat de afgelopen jaren een verschuiving van het vervoer van containers, van het IJsselmeer naar het Markermeer (en andersom), van de Krabbersgatsluis naar de Houtribsluizen heeft plaatsgevonden. Zo geschiedde de doorvoer van containers door de Houtribdijk in 1993 nog voor 58% door de Krabbersgatsluis, in 1998 was dit nog slechts 3%. Een mogelijke oorzaak van deze verschuiving is de drukte in het recreatieseeizoen ter plaatse van de Krabbersgatsluis. Bij bestemmingen ten noorden of noordwesten van de Houtribdijk is in principe de vaarweg via Enkhuizen korter en betekent varen via de sluizen bij Lelystad een verlenging van de vaartijd met ongeveer een half uur. Dit verlies in tijd is terug te winnen doordat bij Lelystad sneller kan worden geschut. Ten opzichte van de 81800 scheepspassages bij de Krabbersgatsluis in 1998 was het totaal aantal scheepspassages bij de Houtribsluizen iets meer dan 22000 lager en voor dit kleinere aantal schepen zijn bij Lelystad twee schutsluizen beschikbaar. Ten opzichte van de overige bijdragen aan de beroepsvaart zijn de aantallen zo sterk afgenomen dat het belang van de containervaart door de Krabbersgatsluis



eveneens sterk dalend is. Hoe de containervaart zich na het voltooiën van het Naviduct over de sluizen, de twee Houtribsluizen en de Krabbersgatsluis en de twee sluizen van het Naviduct, gaat verdelen is moeilijk te zeggen. Deze verdeling zal waarschijnlijk voornamelijk worden bepaald door de wachttijden die, na het in gebruik nemen van het Naviduct, zullen resulteren voor de binnenvaartschepen.

De hoofdreden voor het niet simuleren met een containerschip is gelegen in een praktisch probleem met betrekking tot dit type schip. Het kleinste gemodelleerde containerschip levert qua afmetingen problemen in de sluis, de lengte van het gemodelleerde schip overschrijdt namelijk de sluiskolk lengte.

Scheepsafwikkeling

Bij de simulaties is er vanuit gegaan dat de schepen stuurboord-stuurboord geschut worden. Dit wil zeggen dat bij invaart, vanuit de noordelijke of zuidelijke voorhaven, de sluis aan stuurboordzijde van het schip wordt ingevaren. Met betrekking tot de opstelplaatsen in de zuidelijke voorhaven is de vaarlijn van de scheepvaart zo het gunstigst tegen aanvaring onder de te toetsen windomstandigheden.

In werkelijkheid is de wijze van schutten afhankelijk van het scheepsaanbod, qua hoeveelheden en soort schepen, en de windrichting en -sterkte. In geval van mist wordt per definitie stuurboord-stuurboord geschut in verband met de veiligheid. Indien in de zuidelijke voorhaven een schip gebruik heeft gemaakt van de opstelplaatsen en van daaruit de oostelijke sluis invaart ligt de westelijke sluis wat in- en uitvaart betreft dood. In dat geval is het raadzaam om de westelijke sluis voor invaart te gebruiken en hier de verdere scheepsafwikkeling op af te stemmen.

In december 2000 wordt door het sluispersoneel van de huidige Krabbersgatsluis met behulp van een simulator een planning gemaakt voor de toekomstige scheepsafwikkeling van het Naviduct.

(deze informatie volgt uit een gesprek met de sluismeester van de Krabbersgatsluis Hans van Heemert; 5 augustus 2000)

Invoerfiles Ship-Navigator

Voordat met het simulatieprogramma kan worden gewerkt dienen eerst een aantal files gekoppeld te worden aan de algemene invoerfile waarop Ship-Navigator draait. Deze files bevatten informatie over de volgende aspecten:

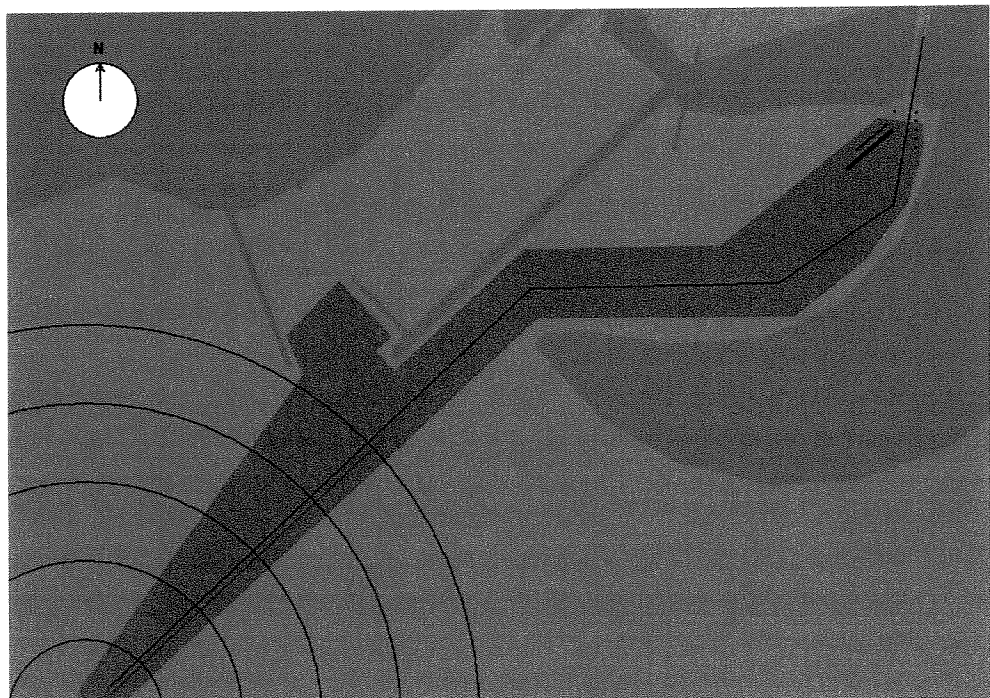
- Bodemligging (zelfde 40x40 m grid als gebruikt is bij de SWAN-berekeningen)
- Polygonenligging (bovenaanzicht van de havenlay-out)
- Stromingsbeeld in de haven
- Windveld in de haven
- Golfveld in de haven
- Deininggolven in de haven
- Scheepsdefinities (mbt afmetingen, roerligging, schroefligging, romp, scheepsvorm)
- Scheepsresponsies (mbt reacties op golven en wind)
- Fenders (mbt ligging en reactiekrachten)



4.4.3 Manoeuvresimulaties

De simulaties met Ship-Navigator zijn allen op handmatige wijze uitgevoerd, aangezien het eveneens varen met de autopilot een erg tijdrovende zaak is wat betreft de specifieke invoer van het gebruik van roer, schroef en boegschroef over het vaartraject. Bij deze handmatige wijze van simuleren is het aan te raden met twee computerschermen te werken. In figuur 4.2 is een bovenaanzicht van de zuidelijke voorhaven van het Naviduct weergegeven, dit is tevens het beeld dat op het rechter computerscherm verschijnt tijdens een manoeuvresimulatie. In deze figuur is het volgende aangegeven:

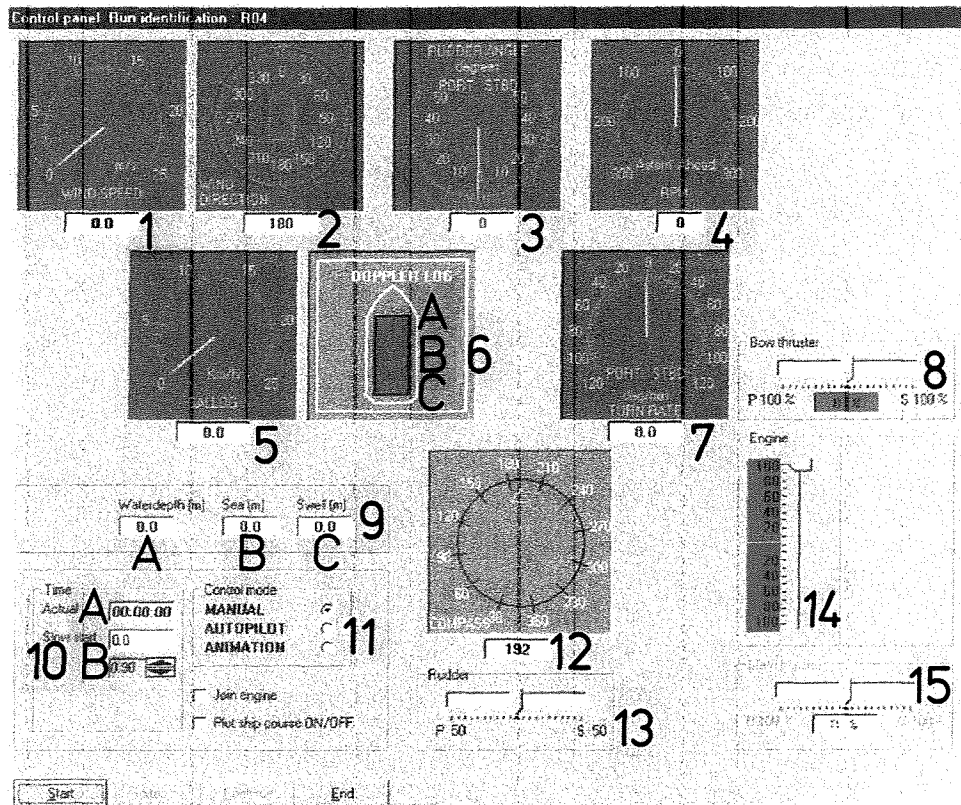
- Groen: land of dammen (niet doorvaarbare ruimte)
- Lichtblauw: water
- Grijsblauw: gebaggerde vaargeul
- Zwart: opstelplaatsen en fenders
- Zwarte gehoekte lijn: schematisatie te volgen vaarlijn voor invaart
- Paarse lijn: vaarrichting van het schip
- Cirkels: om de 200 m vanaf het stuurpunt van het schip
- Rode vlak: het schip



Figuur 4.2 Boven-aanzicht zuidelijke voorhaven voor Ship-Navigator

Vanaf de beginlocatie wordt op dit scherm na elke tijdsstap (zie referentienummer 10a in tabel 4.4) de nieuwe positie van het schip getoond. Desgewenst kan worden ingezoomd tijdens het simuleren.

Op het linkerscherm is het bedieningspaneel van de schipper getoond, zoals weergegeven is in figuur 4.3. Tijdens het varen van een simulatie (als geen gebruik wordt gemaakt van de autopilot) moet met het roer, de schroef en eventueel de achtersteven- en/of boegschroef worden gevarieerd om het goede traject te kunnen blijven volgen. Met behulp van alle informatie op het bedieningspaneel kan de reactie van het schip worden afgelezen. Op basis van deze informatie moet door de schipper worden geanticipeerd op de heersende situatie. In tabel 4.4 is aangegeven wat de betekenis is van de weergegeven verschillende onderdelen van het bedieningspaneel.



Figuur 4.3 Bedieningspaneel Ship-Navigator

Tabel 4.4 Onderdelen bedieningspaneel Ship-Navigator

Referentienummer	Functie van het onderdeel
1	Windsnelheid in m/s tov de scheepssnelheid
2	Windrichting tov N (in samenhang met scheepssnelheid)
3	Roerhoek in graden naar bakboord of stuurboord
4	Rotaties per minuut van de schroef voor/achteruit
5	Scheepssnelheid in km/uur
6a	Bovenste getal: driftsnelheid van de voorsteven in km/uur
6b	Middelste getal: scheepssnelheid in km/uur
6c	Onderste getal: driftsnelheid van de achtersteven in km/uur
7	Rotatiegraad van het schip tov vaarrichting in graden/minuut
8	Boegschroef: te variëren van 100% bakboord naar 100% stuurboord
9a	Waterdiepte in m
9b	Golfhoogte in m
9c	Deiningsgolven in m
10a	Reële tijdsweergave in de simulatie
10b	Relatie realtime/simualtietijd (↑ = langzamer, ↓ = sneller)
11	Keuzemogelijkheid handmatig/autopilot/animatie varen
12	Kompas
13	Roer: te variëren van 50% bakboord naar 50% stuurboord
14	Schroef: te variëren van 100% vooruit naar 100% achteruit
15	Achterstevenschroef: te variëren van 100% bakboord naar 100% stuurboord

Om vertrouwd te raken met de reactie van het schip op de manoeuvreermiddelen is allereerst de vaarroute afgelegd zonder dat er nog golven en wind in de haven aanwezig zijn. Per windrichting is vervolgens de windsnelheid in stappen opgevoerd tot een maximum van 16 m/s, zodat de scheepsrespons op deze specifieke windsnelheid ingeschat kon worden. Vervolgens zijn per windrichting en windsnelheid nog extra toegevoegd de golfvelden (berekent met behulp van SWAN) om de gezamenlijke invloed van golven en wind op de manoeuvreermogelijkheden van het maatgevende schip te kunnen beschouwen. Afsluitend is in de gevallen dat sluisinvaart niet te realiseren is, het effect van een boegschroef van 240 pk op de manoeuvres van het schip bekeken.

Door de gefaseerde opbouw van invloedhebbende aspecten op het manoeuvreren is ervaring opgedaan in het varen met een binnenvaartschip in Ship-Navigator, wat het realistische karakter van de simulaties ten goede komt. Deze aanpak is gevolgd voor de in- en uitvaart van de zuidelijke voorhaven.

De simulaties zijn uitgevoerd met een beginsnelheid buiten de voorhaven van ongeveer 11 km/uur. In principe wordt de snelheid geminderd bij het varen in de voorhaven in verband met de veiligheid ten opzichte van tegemoet komende scheepvaart. Bij het inzetten van de bocht de voorhaven in kan extra schroef worden ingezet om de bestuurbaarheid van het schip tijdens de manoeuvre te vergroten. Deze extra schroefinzet geldt ook voor de invaart van de bocht richting de sluis en zelfs in sterkere mate omdat de scheepssnelheid sowieso al lager is en de precisie van het manoeuvreren bij de sluis erg belangrijk is. Toch moet deze extra schroefinzet na de bocht weer worden tenietgedaan. Ter plaatse van de sluis ligt voor invaart de maximale snelheid rond 2 km/uur, in verband met optredende krachten en momenten bij contact van het schip met de sluiswanden.

4.4.4 Resultaten

De resultaten van de simulaties zijn weergegeven in vaarwegplots vanuit vogelperspectief en plots van voor de uitgevoerde studie relevante parameters zoals snelheid, rotatiegraad, motorvermogens, sleepboot gebruik e.d., deze zijn te bezien in bijlage 11.1 tot en met 11.4.

Per windrichting is in een tabel aangegeven of onder de gesimuleerde omstandigheden de benodigde scheepsmanoeuvres mogelijk worden geacht. Indien een simulatie is opgenomen in de vaarwegplots van de bijlage is dit aangegeven middels een verwijzing; bijvoorbeeld B 11.1a, waarin B voor bijlage staat. Tevens is indien de benodigde manoeuvres niet mogelijk worden geacht in onderschriften bij de tabellen aangegeven op basis van welk criterium problemen optreden.

De windsnelheden in Ship-Navigator werken direct op het schip, echter bij aanvang van het onderzoek is er vanuit gegaan, dat gewerkt werd met windsnelheden op een hoogte van 10 m boven het wateroppervlak (oftewel U_{10}). De werkelijke hoogte waarop de wind heeft gewerkt is afhankelijk van de windhoogte van het schip boven de waterspiegel. Het motorvrachtschip heeft in ongeladen toestand een windoppervlakte van 528 m². Bij een lengte van het schip van 93,48 m houdt dit in dat de wind werkt over een hoogte van 5,65 m. Indien wordt aangenomen dat de resultante van de windkracht werkt op ongeveer tweederde van de hoogte, heeft de wind zijn werking gehad op 4 m boven het wateroppervlak.

In de tabellen zijn de windsnelheden waarbij is gesimuleerd, U_4 , weergegeven en eveneens is aangegeven wat de grootte is van deze windsnelheid op een hoogte van 10 m, U_{10} . De windsnelheden op een hoogte van 10 m boven het wateroppervlak zijn met behulp van windcoëfficiënten bepaald. Voor de windrichtingen 180°N en 210°N wordt aangenomen dat de ruwheidshoogte z_0



0,0002 is, voor wateroppervlak. Bij de richtingen 240°N en 270°N wordt de waarde z_0 op 0,1000 aangenomen, voor ruwweg open landoppervlak. Met behulp van tabel 1 in bijlage 8 kan worden afgelezen wat de waarde voor de relatieve windsnelheid (U_z/U_{10}) in de oppervlaktelaag op een hoogte van 4 m is. Voor het wateroppervlak is deze waarde 0,918 (via interpolatie tussen $z_0 = 0,0001$ en $z_0 = 0,0010$) en voor ruwweg open landoppervlak 0,80.

Uit de berekeningen volgen de windsnelheden (U_{10}) waarbij is getoetst. Deze zijn opgehoogd tot de waarden zoals vermeld in de tabellen 4.5 tot en met 4.8 in tegenstelling tot de waarden in tabel 4.3.

Wind vanuit 180°N

Zoals uit tabel 4.5 en bijlage 11.1a blijkt is sluisinvaart zonder boegschroef bij zuiden wind tot een snelheid (U_4) van 16 m/s mogelijk. Als van golfinvloed wordt afgezien zijn ook alle windsnelheden (U_4) tot 16 m/s acceptabel voor uitvaart van de sluis. Inclusief de werking van golven is bij 16 m/s zuiden wind (U_4) een boegschroef noodzakelijk om het schip, dat met een erg lage snelheid uit de sluis komt, op koers te houden (zie bijlage 11.1c). Zonder boegschroef drijft het schip namelijk direct af tegen de opstelplaatsen aan (zie bijlage 11.1b). Het roer wat tegen dit afdrijven wordt gegeven en de snelheid waarmee de sluis uit wordt gevaren moeten beperkt worden aangezien het schip rekening moet houden met de krachten en momenten die het op de sluiswand uitoefent. Door de hoekverandering zal contact ontstaan met de sluiswand, dit is toegestaan maar de krachten en momenten moeten binnen de materiaalgrenzen blijven.

Zoals uit de vaarwegplots blijkt drift het schip sterk op het gedeelte van de vaarroute waar het loodrecht op de wind ligt (oost-west-ligging). In het geval dat tegemoet komende vaart gewenst is, is vanaf zuiden wind (U_4) 12 m/s het gebruik van de boegschroef noodzakelijk in verband met het benodigde ruimtebeslag van de schepen. Bij een zuiden wind met een snelheid (U_4) van 16 m/s is het ruimtebeslag zelfs met gebruik van een boegschroef zodanig dat tegemoet komende scheepvaart niet is toegestaan.

Tabel 4.5 Manoeuvrere mogelijkheden bij wind vanuit 180°N

Windsnelheid	Vaarrichting	Zonder boegschroef		Met boegschroef
		Exclusief	Inclusief	Inclusief
Golfinvloed				
$U_4 = 5$ m/s	Invaart	mogelijk	- ¹⁾	-
($U_{10} = 5,5$ m/s)	Uitvaart	mogelijk	-	-
$U_4 = 9,5$ m/s	Invaart	-	mogelijk	-
($U_{10} = 10,3$ m/s)	Uitvaart	-	mogelijk	-
$U_4 = 10$ m/s	Invaart	mogelijk	-	-
($U_{10} = 10,9$ m/s)	Uitvaart	mogelijk	-	-
$U_4 = 12$ m/s	Invaart	-	mogelijk	-
($U_{10} = 13,1$ m/s)	Uitvaart	-	mogelijk	-
$U_4 = 13$ m/s	Invaart	mogelijk	-	-
($U_{10} = 14,2$ m/s)	Uitvaart	mogelijk	-	-
$U_4 = 16$ m/s	Invaart	mogelijk	mogelijk (B 11.1a)	-
($U_{10} = 17,4$ m/s)	Uitvaart	mogelijk	niet mogelijk ²⁾ (B 11.1b)	mogelijk (B 11.1c)

¹⁾ - wil zeggen: niet gesimuleerd

²⁾ niet mogelijk: door driften van het schip tegen opstelplaatsen aan

Wind vanuit 210°N

Bij een windsnelheid (U_4) van 16 m/s uit de richting 210°N is de invloed van de golfslag merkbaar op het schip aangezien de invaart zonder boegschroef in dat geval niet meer mogelijk is (zie tabel 4.6 en bijlage 11.2a). Door slechts gebruik te kunnen maken van het roer en de schroef is het schip niet voldoende manoeuvreerbaar ten opzichte van de wind en drijft het schip met de boeg tegen

de sluiswand aan. Als de boegschroef wordt ingezet is ook deze manoeuvre mogelijk, zie hiervoor bijlage 11.2b. Er moet wel worden opgepast dat de achtersteven van het schip niet dwars op de wind komt. Als het schip namelijk eenmaal begint met driften, versterkt dit proces zich en is met behulp van de schroef en het roer niet of nauwelijks meer omkeerbaar.

De uitvaart van de sluis is nu wel uitvoerbaar bij een windsnelheid (U_4) van 16 m/s. Dit komt doordat op de boeg van het schip de wind vanaf de andere zijde werkt. Voor de scheepsbeweging betekent dit, dat na uitvaren uit de sluis het schip juist van de opstelplaats af beweegt. De uitvaart zonder gebruik te maken van een boegschroef is weergegeven in bijlage 11.2c en in geval dat de boegschroef wordt ingezet in bijlage 11.2d.

De mogelijkheden van scheepvaart in beide vaarrichtingen worden beperkt vanaf een optredende windsnelheid (U_4) van 12 m/s. Deze restrictie wordt alleen opgelegd ter plaatse van de sluisopvaart. In dit traject is het benodigde ruimtebeslag (zelfs indien gebruik wordt gemaakt van een boegschroef) niet verantwoord wat betreft de veiligheid voor elkaar passerende scheepvaart.

Tabel 4.6 Manoeuvrere mogelijkheden bij wind vanuit 210°N

Windsnelheid Golfinvloed	Vaarrichting	Zonder boegschroef		Met boegschroef
		Exclusief	Inclusief	Inclusief
$U_4 = 5$ m/s	Invaart	mogelijk	-	-
($U_{10} = 5,5$ m/s)	Uitvaart	-	-	-
$U_4 = 10$ m/s	Invaart	mogelijk	-	-
($U_{10} = 10,9$ m/s)	Uitvaart	-	-	-
$U_4 = 10,5$ m/s	Invaart	-	mogelijk	-
($U_{10} = 11,4$ m/s)	Uitvaart	-	-	-
$U_4 = 12$ m/s	Invaart	mogelijk	mogelijk	-
($U_{10} = 13,1$ m/s)	Uitvaart	-	mogelijk	-
$U_4 = 16$ m/s	Invaart	mogelijk	niet mogelijk ¹⁾ (B 11.2a)	mogelijk (B 11.2b)
($U_{10} = 17,4$ m/s)	Uitvaart	-	mogelijk (B 11.2c)	mogelijk (B 11.2d) ²⁾

¹⁾ niet mogelijk: door het driften van het schip tegen de sluiswand aan

²⁾ gesimuleerd om de invloed van de boegschroef op het benodigd ruimtebeslag te bepalen

Wind vanuit 240°N

Al vanaf windsnelheden (U_4) uit de richting 240°N die de 10 m/s overschrijden is in- en uitvaart niet meer mogelijk zonder gebruik te maken van een boegschroef (zie tabel 4.7 en bijlage 11.3a & b) doordat het schip door de werkende wind een grote optredende driftsnelheid heeft. Zelfs indien het schip mooi is opgelijnd voor de sluis én gebruik wordt gemaakt van de boegschroef, verliest het schip bij een windsnelheid van 16 m/s zo sterk dat altijd gebruik moet worden gemaakt van de geleidende werking van de sluiswand (en eventueel de dukdalven) om de sluis in te varen. Dit fenomeen is getoond in bijlage 11.3c. De situatie van noodzakelijk gebruik van de sluiswand voor invaart is in dit stadium van het project niet toegestaan. In de praktijk zal in sommige situaties weldegelijk gebruik worden gemaakt van dukdalven en sluiswand om invaart mogelijk te maken, maar bij de beoordeling op haalbaarheid van het ontwerp van het Naviduct en zijn voorhaven mag hier niet vanuit worden gegaan. Opgemerkt wordt dat de snelheid bij de sluisinvaart goed in de hand moet worden gehouden in verband met krachten op de sluiswand. Uitvaart van de sluis bij een windsnelheid van 16 m/s (U_4) indien gebruik wordt gemaakt van een boegschroef is nog juist mogelijk. De boegschroef moet in dat geval maximaal worden ingezet om het schip binnen de vaargeul te kunnen houden, dit blijkt ook uit bijlage 11.3d.



Scheepspassages kunnen vanaf een windsnelheid van 8 m/s na de bocht richting sluisopvaart niet meer worden getolereerd. Het ruimtebeslag is dusdanig groot dat schepen elkaar zullen hinderen onder deze omstandigheden. De inzet van het roer en de boegschroef is al aanzienlijk, dus extra inzet van deze middelen zal het ruimtebeslag niet verminderen.

Tabel 4.7 Manoeuvrereermogelijkheden bij wind vanuit 240°N

Windsnelheid	Vaarrichting	Zonder boegschroef		Met boegschroef
		Exclusief	Inclusief	Inclusief
Golfinvloed				
$U_4 = 5$ m/s ($U_{10} = 6,3$ m/s)	Invaart	mogelijk	-	-
	Uitvaart	-	-	-
$U_4 = 8$ m/s ($U_{10} = 10$ m/s)	Invaart	mogelijk	mogelijk	-
	Uitvaart	-	-	-
$U_4 = 10$ m/s ($U_{10} = 12,5$ m/s)	Invaart	mogelijk ¹⁾	mogelijk	-
	Uitvaart	-	mogelijk	-
$U_4 = 13$ m/s ($U_{10} = 16,3$ m/s)	Invaart	-	niet mogelijk ²⁾ (B 11.3a)	mogelijk
	Uitvaart	-	niet mogelijk ³⁾ (B 11.3b)	mogelijk
$U_4 = 16$ m/s ($U_{10} = 20$ m/s)	Invaart	-	-	niet mogelijk ²⁾ (B 11.3c)
	Uitvaart	-	-	mogelijk (B 11.3d)

¹⁾ er zijn geen simulaties uitgevoerd voor hogere windsnelheden, aangezien de conclusie is getrokken dat 10 m/s de grens van acceptabel varen voor het schip vormt

²⁾ niet mogelijk: door noodzakelijk gebruik van de sluiswand bij invaart

³⁾ niet mogelijk: doordat het schip aan lagerwal raakt (buiten de vaargeul)

Wind vanuit 270°N

Voor het gedrag van de schepen ten aanzien van de sluisinvaart is westen wind de meest negatieve omstandigheid. Het schip dat richting de sluis vaart ligt zo ten opzichte van de wind, dat het moet oppassen dat het niet aan lagerwal raakt.

Reeds vanaf een windsnelheid (U_4) van 8 m/s is invaart van de sluis niet meer mogelijk zonder een boegschroef in te zetten, zo is dit ook in tabel 4.8

weergegeven. In bijlage 11.4a is dit getoond voor een windsnelheid (U_4) van 10 m/s uit het westen. Het verlijeren van het schip speelt nu nog sterker een rol dan het bij een windrichting van 240°N al deed. Invaart in de kolk moet dus met de nodige voorzichtigheid uitgevoerd worden.

Zoals uit bijlage 11.4b blijkt is bij een windsnelheid (U_4) van 13 m/s en in geval van het toepassen van de boegschroef invaart nog mogelijk. Bij een windsnelheid van 16 m/s (U_4) is invaart niet meer mogelijk bevonden indien gebruik wordt gemaakt van een boegschroef (zie bijlage 11.4c), rekening houdend met een maximale invaarsnelheid en driftsnelheid van het schip ten opzichte van de sluis. Er zal eventueel bekeken moeten worden of een boegschroef met een groter vermogen uitkomst biedt met betrekking tot de manoeuvrereermogelijkheden van dit specifieke motorvrachtschip. Bij een maximale uitslag van het roer en de volledige inzet van het boegschroefvermogen is uitvaart bij een windsnelheid (U_4) van 16 m/s nog juist mogelijk, dit is in bijlage 11.4d getoond.

Doordat schepen bij in- en uitvaart zo sterk verlijeren is vanaf de bocht voor de sluisopvaart passerende scheepvaart niet meer toegestaan. Onder alle uitgevoerde simulaties was het ruimtebeslag in beide richtingen van zo'n grootte dat passeren op de bedoelde locatie niet mogelijk is.

Tabel 4.8 Manoeuvrereermogelijkheden bij wind vanuit 270°N

Windsnelheid	Vaarrichting	Zonder boegschroef		Met boegschroef
		Exclusief	Inclusief	Inclusief
Golfinvloed				
$U_4 = 5 \text{ m/s}$ ($U_{10} = 6,3 \text{ m/s}$)	Invaart	mogelijk	-	-
	Uitvaart	mogelijk	-	-
$U_4 = 8 \text{ m/s}$ ($U_{10} = 10 \text{ m/s}$)	Invaart	mogelijk	niet mogelijk ²⁾	mogelijk
	Uitvaart	mogelijk	mogelijk	-
$U_4 = 10 \text{ m/s}$ ($U_{10} = 12,5 \text{ m/s}$)	Invaart	niet mogelijk (B 11.4a)	-	-
	Uitvaart	mogelijk ¹⁾	-	-
$U_4 = 10,5 \text{ m/s}$ ($U_{10} = 13,1 \text{ m/s}$)	Invaart	-	-	mogelijk
	Uitvaart	-	-	mogelijk
$U_4 = 13 \text{ m/s}$ ($U_{10} = 16,3 \text{ m/s}$)	Invaart	-	-	mogelijk (B 11.4b)
	Uitvaart	-	-	mogelijk
$U_4 = 16 \text{ m/s}$ ($U_{10} = 20 \text{ m/s}$)	Invaart	-	-	niet mogelijk ³⁾ (B 11.4c)
	Uitvaart	-	-	mogelijk (B 11.4d)

¹⁾ er zijn geen simulaties uitgevoerd voor hogere windsnelheden, aangezien de conclusie is getrokken dat 10 m/s de grens van acceptabel varen voor het schip vormt

²⁾ niet mogelijk: door noodzakelijk gebruik van de sluiswand bij invaart

³⁾ niet mogelijk: door noodzakelijk gebruik van dukdalven en de sluiswand bij invaart

Opmerkingen

- ¹⁾ Indien gebruik moet worden gemaakt van de dukdalven, zoals in geval van sluisinvaart bij westen wind (270°N), kunnen problemen ontstaan. Aangezien deze constructie, met een beoogde geleidende werking, slechts bestaat uit losstaande dukdalven is het mogelijk dat schepen in zwaar weer met de boeg tussen deze afzonderlijke delen terecht komen. De krachten die dan worden uitgeoefend op deze constructie zijn waarschijnlijk hoger dan waarop zij berekend zijn en deze situatie is dan ook niet gewenst. Wanneer invaart in alle gevallen mogelijk moet zijn, ook als dat wil zeggen dat gebruik moet worden gemaakt van de dukdalven en sluiswand voor invaart, zullen de geplande dukdalven moeten worden omgebouwd tot een geleidewerk zodat het hiervoor beschreven probleem niet kan optreden.
- ²⁾ Algemeen kan worden opgemerkt dat voor een goede beoordeling van de haalbaarheid van de verschillende vaaromstandigheden een voldoende groot aantal runs moet worden uitgevoerd (bijvoorbeeld 10 à 20). Voor deze uitgevoerde runs kan dan een kansverdeling worden opgesteld, bijvoorbeeld een normale verdeling. Aan de hand daarvan kan worden vastgesteld wat de kans op falen is. Falen wil in dit geval zeggen dat geen in- of uitvaart bij de sluis mogelijk is. De bedoelde runs moeten bij voorkeur worden uitgevoerd door ervaren binnenvaarders of loodsen. Indien meerdere personen worden ingezet wordt de menselijke factor verkleind en is pas echt te concluderen of navigeren binnen de voorhaven goed mogelijk is. In het kader van dit afstudeeronderzoek is deze werkwijze te omslachtig en prijzig.
- ³⁾ Een aspect waar in Ship-Navigator, met betrekking tot de windkracht, geen rekening mee wordt gehouden, is het effect van windstoten. In de praktijk treden deze weldegelijk op, hetgeen de vaarmogelijkheden kan bemoeilijken door het onvoorspelbare karakter ervan. De windwerking in het model is constant in de tijd en levert zo continu dezelfde opgegeven snelheid op het schip.



4.5 Vergelijking manoeuvreersimulaties MSCN vs. Ship-Navigator

Een strikte vergelijking tussen de verschillende manoeuvreersimulaties is niet te maken, aangezien de omstandigheden waarmee gesimuleerd is niet exact identiek zijn. Ten eerste zijn de simulaties uitgevoerd voor andere schepen. Tevens is natuurlijk met een ander simulatiemodel gewerkt, waarin in het ene geval met een autopilot is gevaren en in het andere met een handmatige vaarwijze. Wat betreft de wind zijn de simulaties met de verschillende modellen beide getoetst voor windsnelheden op een hoogte van 4 m, in geval van de simulaties met Ship-Navigator voor een breder scala aan windsnelheden en windrichtingen dan in geval van de simulaties met behulp van SHIPMA. Aanvullend is met behulp van Ship-Navigator een indicatie te geven wat de invloed van golven is op de manoeuvreermogelijkheden in de zuidelijke voorhaven van het Naviduct.

4.5.1 Windomstandigheden

In het onderzoek van het MSCN is de haalbaarheid van de zuidelijke voorhaven van het Naviduct getoetst bij zuiden (uit 180°N) en westen (uit 270°N) wind. Hierbij zijn de windsnelheden verdisconteerd voor een hoogte van 4 m in de oppervlaktelaag en de ruwheid van het bovenwinds gelegen oppervlak. In het vervolgonderzoek is voor vier windrichtingen, variërend van zuid naar west, en een groter bereik aan windsnelheden getoetst eveneens op een hoogte van 4 m boven het wateroppervlak. De werkingshoogtes van de windkracht komen met elkaar overeen, dus zijn de resultaten wat betreft de windomstandigheden vergelijkbaar.

In tabel 4.9 zijn de twee onderzoeken met elkaar vergeleken, het verschil is dat bij Ship-Navigator is gevaren met een klasse V schip en bij AVV/SHIPMA met een klasse Va schip. De weergegeven resultaten van Ship-Navigator, zijn gemaakt op basis van simulaties inclusief de werking van golven op het schip. Uit deze tabel blijkt dat de uitkomsten niet van elkaar verschillen, ondanks het feit dat onder afwijkende omstandigheden is gesimuleerd.

Tabel 4.9 Vergelijking simulaties AVV/SHIPMA met Ship-Navigator

Windrichting en -snelheid (U_4 in m/s)	Vaarrichting	Specificatie	AVV/SHIPMA (klasse Va)	Ship-Navigator (klasse V)
Zuid (180°N) 10 m/s	invaart	zonder b.s.	mogelijk	mogelijk
	invaart	met b.s.	-	-
West (270°N) 11 m/s	invaart	zonder b.s.	niet mogelijk	niet mogelijk
	invaart	met b.s.	mogelijk	mogelijk
	uitvaart	zonder b.s.	niet mogelijk	niet mogelijk
	uitvaart	met b.s.	mogelijk	mogelijk

In navolging van het hydraulisch onderzoek, waarvoor de randvoorwaarde van $U_{10} = 16$ m/s ten aanzien van de windsnelheid is gesteld, moet voor de continuïteit van het totale onderzoek het nautische deel onder dezelfde randvoorwaarde worden uitgevoerd. In het onderzoek van het MSCN is deze randvoorwaarde niet gehandhaafd. De toetsing van de haalbaarheid van scheepsmanoeuvres is uitgevoerd voor de windsnelheden uit tabel 4.9, deze zijn op een hoogte van 10 m gelijk aan 12,6 m/s (zuid) en 13,8 m/s (west). In geval van inzet van een boegschroef met een vermogen van 240 pk is in- en uitvaart mogelijk.

In het onderzoek dat is uitgevoerd met Ship-Navigator is gebleken dat onder de windomstandigheden gesteld door het RDIJ, $U_{10} = 16$ m/s, in geval van gebruik van een boegschroef altijd veilig de sluis in en uit worden gevaren. De uiterst



getoetste windsnelheid (U_4) van 16 m/s staat gelijk aan $U_{10} = 17,43$ m/s, voor de windrichtingen 180°N en 210°N, en $U_{10} = 20,00$ m/s, voor de windrichtingen 240°N en 270°N. De benodigde scheepsmanoeuvres zijn bij invaart van de sluis bij deze windsnelheid van 20 m/s niet meer mogelijk zonder gebruik te maken van de dukdalven en sluiswand. De toetsing van deze situatie is onder zwaardere windomstandigheden dan benodigd volgens de opgelegde randvoorwaarde en zo niet bepalend voor conclusies ten aanzien van de manoeuvreerbaarheid ter plaatse van de sluisingang.

Opmerking: Bij het opstellen van de randvoorwaarden en uitgangspunten is een extra uitsplitsing gemaakt van windsnelheden (U_{10}) behorende bij een overschrijdingsperiode van 2% per jaar/maand (zie tabel 4.3) waarvoor manoeuvreersimulaties zijn uitgevoerd. Deze simulaties zijn uitgevoerd met het oog op de uitvoerbaarheid van de downtimeanalyse. Omdat deze windsnelheden allen lager zijn dan 16 m/s, geldt vanzelfsprekend ook voor deze situaties dat de manoeuvreerbaarheid van het getoetste schip met boegschroef gewaarborgd is.

4.5.2 Schepen

Het motorvrachtschip (leeg klasse V) dat voor de simulaties met behulp van Ship-Navigator is gebruikt, is kleiner dan de door het MSCN beschouwde klasse Va en containerschip. In principe is varen met een kleiner schip makkelijker aangezien deze schepen wendbaarder zijn en een kleinere traagheid ten opzichte van het water hebben. Deze kleinere schepen kunnen goed blijven manoeuvreren tot maximale windsnelheden (U_4) van 13,7 m/s. Deze maximale snelheid geldt voor wind uit het westen en is afgeleid met behulp van een eenvoudige krachtenbeschouwing voor de vier windrichtingen. Deze simplificatie van het krachten spel op het schip is in overleg met de heren I. Onassis en H.J. van Wijhe van Alkyon Hydraulic Consultancy & Research opgesteld. De uitwerking van deze berekening is weergegeven in bijlage 12.

Op basis van de 2% overschrijdingsperiode moeten de schepen over het gehele jaar gezien kunnen navigeren bij een windsnelheid (U_{10}) van minimaal 8 m/s en maximaal 13 m/s, deze snelheden variëren per windrichting. Met behulp van de windcoëfficiënten (in paragraaf 4.4.4 afgeleid: 0,918 en 0,80) zijn deze snelheden op een hoogte van $z = 4$ m slechts minimaal 7,34 m/s en maximaal 10,40 m/s. Er is dus nogal wat extra speling tot de uiterste toegestane windomstandigheden. Deze uiterste windomstandigheden zijn zelfs bij een windsnelheid (U_{10}) van 16 m/s nog niet bereikt. Gesteld kan worden dat voor een grotere scheepvaartklasse het manoeuvreren moeilijker zal verlopen, maar dat de speling die optreedt ten opzichte van grenssituaties waarschijnlijk groot genoeg zal zijn, zodat nog geen problemen zullen optreden.

Algemeen kan worden aangenomen dat vrijwel alle binnenvaartschepen (maar niet 100%) zijn uitgerust met een boegschroef. Voor de vaarmogelijkheden van het geteste motorvrachtschip is het sterk aan te bevelen om hiermee uitgerust te zijn aangezien inzet vooral bij westenwindscenario's in veel gevallen vereist is. In geval dat het schip niet voorzien is van een boegschroef zijn er dus beperkende windomstandigheden voor een veilige doorvaart van het schip door de zuidelijke voorhaven.

4.5.3 Golven

De golven die lokaal worden opgewekt in de haven door de wind en die binnendringen vanaf het Markermeer spelen een rol bij het manoeuvreren door de haven. Hoe groter de schepen worden, hoe minder last ze zullen hebben van de golven. Kleine schepen zullen vooral last hebben van korte golven, terwijl problemen bij grote schepen voornamelijk zullen optreden bij langere golven.

Uit de tabellen naar aanleiding van de uitgevoerde simulaties (zie paragraaf 4.4.4) blijkt dat per windrichting de windsnelheid wijzigt waarbij golven invloed op de scheepvaart krijgen. Dit heeft te maken met de golfdoordringing in de voorhaven, die toeneemt met windrichtingen draaiend naar het westen, en de strijklengte van de wind, zodat hogere golven worden opgewekt.

De golfhoogten, die gebruikt zijn als input van de manoeuvreersimulaties, zijn bepaald op basis van een windsnelheid op een hoogte van 10 m boven het oppervlak. De simulaties zijn uitgevoerd met een werking van de windsnelheden op het schip op 4 m hoogte, maar met golfhoogten die gelden voor windsnelheden op 10 m hoogte. Het combineren van deze twee verschillende windsnelheidshoogten in de simulaties heeft tot gevolg dat de toegepaste golfhoogten een onderschatting van de beoogde situatie zijn. Deze onderschatting van de golfhoogten wordt versterkt doordat nog geen reflectie in de berekening van de golfhoogten is meegenomen. Indien de golfhoogten zouden zijn bepaald voor een windsnelheid op een hoogte van 10 m, overeenkomstig met de windsnelheid op een hoogte van 4 m, ontstaat de juiste combinatie van de windsnelheidshoogten.

De golven, op basis van U_{10} zoals gebruikt in de simulaties, hebben maar een geringe invloed op het getoetste schip. Algemeen gesteld betekent het toevoegen van golfslag aan de simulaties dat de boegschroef bij windsnelheden ingezet moet worden die 2 à 3 m/s lager zijn dan het geval is zonder golfinvloeden. Indien de golven worden berekend naar aanleiding van bijvoorbeeld $U_{10} = 17,43$ m/s respectievelijk 20 m/s voor de verschillende windrichtingen (behorende bij $U_4 = 16$ m/s) zal de golfinvloed waarschijnlijk groter worden en de boegschroef bij lagere snelheden al moeten worden ingezet.

4.6 Recreatievaart

4.6.1 Inleiding

De uitvoering van het nautisch onderzoek met betrekking tot de recreatievaart is niet analoog aan het onderzoek van de binnenvaart uit te voeren.

Recreatievaartuigen zijn namelijk (nog) niet gemodelleerd in Ship-Navigator of SHIPMA, zodat de uitvoering van manoeuvreersimulaties niet mogelijk is. In het kader van dit afstudeeronderzoek is het te bewerkelijk gevonden om deze modellering voor rekening te nemen.

Voor de recreatievaart is hierdoor een andere werkwijze gevolgd. In bijlage 13 is het resultaat van de zoektocht naar limiterende condities voor de recreatievaart weergegeven. Uit de bijlage blijkt dat de gezochte limieten niet gevonden zijn, aangezien er een diepgaande problematiek rondom de toegestane limieten voor de scheepvaart ligt en deze limieten niet eenvoudig vast te stellen zijn.

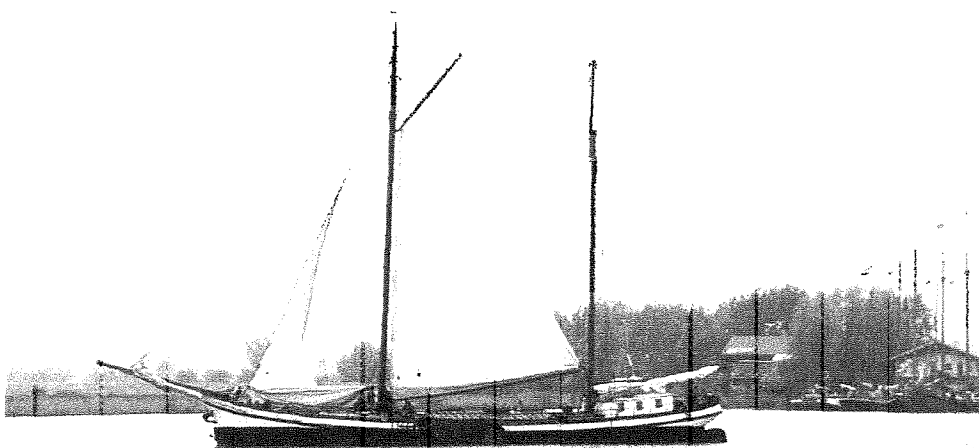
Algemeen kan gesteld worden dat het probleem voor de recreatievaart voornamelijk wordt veroorzaakt doordat de kritieke golfhoogten op zullen treden voor windrichtingen waarbij de vaartuigen aan lagerwal kunnen geraken. Dit feit bemoeilijkt de situatie voor de recreatievaart ernstig. Anderzijds geldt dat de vaarmogelijkheden eveneens afhankelijk zijn van de drukte rondom de sluis. Bij een windkracht van 6 à 7 Beaufort zal het vaarwater rustiger zijn, er is dan meer plaats in de sluis en de toleranties zijn groter.

Er wordt bij gebrek aan informatie terug gegrepen naar de randvoorwaarde opgelegd door het RDIJ betreffende de maximaal toegestane significante golfhoogte. Middels de aangegeven grens van 0,30 m voor deze golfhoogte zijn voor de recreatievaart de limiterende condities voor de windsnelheden met betrekking tot de vier beschouwde windrichtingen vastgesteld.

4.6.2 Recreatieschepen

De recreatievaart wordt volgens de scheepvaartellingen uitgesplitst in zeiljachten, motorjachten en chartervaart (dit zijn voornamelijk Bruine Vlootschepen). De zeilen en motorjachten kunnen worden gestandaardiseerd tot schepen met ongeveer een lengte van 10 m en een diepgang van 1,5 m. De chartervaart bestaat voornamelijk uit schepen met een lengte van rond de 25 m, een breedte van 5,2 m en een diepgang van 1,3 m. Deze numerieke gegevens komen uit onderzoeken, met betrekking tot de scheepvaartgrootte, uit de afgelopen jaren en er blijkt dat de uitkomsten telkens een stijging ondervinden ten opzichte van het voorgaande onderzoek (bron: AVV).

Een voorbeeld van een schip uit de Bruine Vloot varende in de zuidelijke voorhaven van de Krabbersgatsluis is weergegeven in figuur 4.4. Uit de catalogus van De Zeilvaart, het verhuurbedrijf van traditionele zeilschepen in Enkhuizen, blijkt dat de gemiddelde lengte van hun schepen 28,5 m is. De variatie in scheepslengte van de zeventig schepen is erg groot, het kleinste schip meet 15 m en het grootste 50 m in lengte. Het is aannemelijk dat de limiet voor de toegestane golfhoogte eveneens varieert met de lengte, zoals ook al is gebleken uit tabel 4.1 in paragraaf 4.2. Toch zal geen uitsplitsing worden gemaakt per type schip binnen de recreatievaartuigen omdat wederom geen gegevens beschikbaar zijn, dit keer over de limiterende golf- en/of windcondities die gelden voor de schepen met variërende scheepslengtes. Er zal voor de gehele recreatievaart uit worden gegaan van de limiet voor de golfhoogte van 0,30 m.



Figuur 4.4 Schip uit de Bruine Vloot varende richting het Markermeer

4.6.3 Bepaling kritieke windsnelheden

Om de grenzen voor de windsnelheden, met betrekking tot de overschrijding van de grens van de significante golfhoogte, te bepalen zijn per windrichting voor een aantal verschillende windsnelheden nieuwe SWAN-berekeningen gemaakt. Deze berekeningen zijn opnieuw uitgevoerd aangezien de golfhoogten voor verscheidene windsnelheden, gemaakt voor het nautisch onderzoek met behulp van Ship-Navigator, bepaald waren zonder reflectie in de berekening mee te nemen en gebleken is (zie hoofdstuk 3) dat reflectie een belangrijke bijdrage aan de golfhoogte levert.

Op basis van de contourlijnenplots en de aangegeven ligging van de vaargeul kan worden bekeken in welk deel van de voorhaven de 0,30 m golfhoogtegrens wordt overschreden. De grenzen van de windsnelheden worden bepaald aan de hand van het criterium of de golfhoogte de waarde van 0,30 m bij de sluisingang overschrijdt, in samenhang met het percentage overschrijding van de grens over de vaargeul in de voorhaven. De windrichtingen, die worden beschouwd, zijn dezelfde als in het nautisch onderzoek voor de binnenvaart, aangezien deze maatgevend zijn voor de golfdoordringing en daarmee de golfhoogten binnen de zuidelijke voorhaven. In bijlage 14 zijn contourplots weergegeven van de windsnelheden die als grens voor het overschrijden van een golfhoogte van 0,30 m zijn gesteld.

Resultaten

Voor wind uit de richting 180°N wordt als kritieke windsnelheid 13 m/s aangehouden. In dit geval wordt de 0,30 m grens binnen de vaargeul voor ongeveer 50% overschreden. Deze overschrijding vindt juist plaats bij de sluisingang en op de locatie van de opstelplaatsen van de beroepsvaart en de recreatievaart. Op deze plaatsen is het voorkomen van hoge golven het meest kritiek in verband met het invaren van de sluis, het afmeren of verankerd liggen van de recreatievaartuigen.

Voor wind uit de richtingen 210°N en 240°N ligt de grens voor de kritieke windsnelheden precies tussen twee gehele getallen in, namelijk voor wind uit 210°N ligt deze snelheid tussen 10 en 11 m/s en voor 240°N tussen 9 en 10 m/s in. In beide gevallen wordt een golfhoogte van 0,30 m alleen in een gebied rondom de opstelplaatsen en de sluisingang en dicht bij de haveningang (een deel van de oost-west vaart van de vaargeul) overschreden voor de windsnelheden 10 m/s respectievelijk 9 m/s, hetgeen nog geen één derde van de vaargeul qua oppervlak beslaat. In geval van de windsnelheden 11 m/s respectievelijk 10 m/s voor de twee windrichtingen beslaat het deel van de vaargeul waar de 0,30 m golfhoogte wordt overschreden ongeveer 70%. Alleen in de zuid-oostbocht van de vaargeul blijven de golfhoogten onder de limietwaarde.

Zoals uit de bijlage (no. 14) blijkt, vindt bij een windsnelheid van 9 m/s uit westelijke richting (270°N) nog helemaal geen overschrijding van de 0,30 m grens plaats. Voor de windsnelheid 10 m/s bestrijkt het oppervlak van overschrijding ongeveer 50% van de vaargeul, ter plaatse en ten zuiden van de opstelplaatsen en nabij de havenmonding. Dit betekent dat de kritieke windsnelheid voor het comfort van de recreatievaart 10 m/s is voor westen wind.

Samenvattend zijn de grenzen van de windsnelheden, behorende bij een overschrijdingsgrens van de golfhoogte van 0,30 m binnen de vaargeul, voor de recreatievaart vastgesteld op de waarden zoals vermeld in tabel 4.10.

Tabel 4.10 Kritieke windsnelheden recreatievaart

Windrichting	Windsnelheid
180°N	13 m/s
210°N	10 à 11 m/s
240°N	9 à 10 m/s
270°N	10 m/s



4.7 Evaluatie

4.7.1 Binnenvaart

Conclusies

Voor windrichtingen variërend van zuid naar west, $U_{10} = 16$ m/s, treden voor een motorvrachtschip (klasse V) dat is uitgerust met een boegschroef (240 pk) geen problemen op wat betreft de doorvaart en sluisin- en uitvaart in de zuidelijke voorhaven. De noodzaak van inzet van de boegschroef bij een bepaalde windsnelheid varieert per windrichting.

De invloed van golven op de manoeuvreermogelijkheden is gering, de inzet van de boegschroef is in het algemeen bij lagere windsnelheden noodzakelijk dan in geval van simulaties zonder de invloed van golfslag op het schip. Ook in geval van manoeuvreersimulaties inclusief golfinvloeden zijn tot een windsnelheid van 16 m/s, op een hoogte van 10 m, alle manoeuvres goed uitvoerbaar. Deze conclusie is getrokken op basis van simulaties die zijn uitgevoerd voor windsnelheden op een hoogte van 4 m (U_4), terwijl de golfhoogten zijn bepaald aan de hand van windsnelheden op 10 m hoogte (U_{10}). Deze werkwijze resulteert in het gebruik van te lage golfhoogten in de manoeuvreersimulaties. Dit kan leiden tot een te positieve schatting van de maximaal toelaatbare windsnelheden van de binnenvaartschepen.

Passerende of tegemoetkomende vaart is in veel gevallen niet mogelijk door het noodzakelijke ruimtebeslag van de binnenvaartschepen. Voor zuiden wind zijn restricties van kracht voor de vaargeul waar in oost-westrichting wordt gevaren. Voor de overige windrichtingen zijn scheepspassages niet toegestaan vanaf de bocht richting sluisopvaart. De limieten van de windsnelheden die gelden zijn als volgt:

180°N	$U_{10} = 12$ m/s (met boegschroef)
	$U_{10} = 16$ m/s (zonder boegschroef)
210°N	$U_{10} = 12$ m/s (onafhankelijk van boegschroefinzet)
240°N	$U_{10} = 8$ m/s (onafhankelijk van boegschroefinzet)
270°N	$U_{10} = 8$ m/s (onafhankelijk van boegschroefinzet)

Aanbevelingen

Om de juiste invloed van de golfslag op het geteste motorvrachtschip te bepalen dienen golfberekeningen te worden gemaakt met de juiste windsnelheden op een hoogte van 10 m in relatie tot de windsnelheden op een hoogte van 4 m die zijn toegepast bij de manoeuvreersimulaties. Aansluitend moeten nieuwe manoeuvreersimulaties gemaakt worden voor de opgestelde golfvelden. Dit is nodig om te bekijken of er aanpassingen ten aanzien van eerder getrokken conclusies wat betreft de manoeuvreerbaarheid in de voorhaven moeten worden gemaakt.

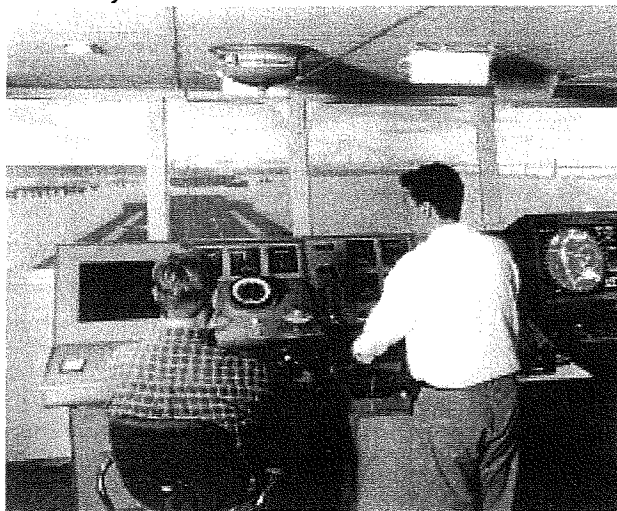
Onder de omstandigheden wind uit de richtingen 240°N en 270°N met een snelheid (U_4) van 16 m/s dient te worden gesimuleerd met sterkere boegschroeven om te bezien of sluisinvaart dan wel mogelijk is zonder gebruik te maken van de sluiswand en dukdalven. Volgens berekeningen (zie bijlage 12) zou dit mogelijk moeten zijn met behulp van een boegschroef met een vermogen van 280 pk voor wind uit 240°N en 330 pk voor wind uit 270°N.

Voor de omstandigheden waarbij op basis van de uitgevoerde simulaties met behulp van Ship-Navigator conclusies zijn getrokken dat sluisinvaart

1. nog net mogelijk is
2. net niet meer mogelijk is
3. onmogelijk is

kunnen door ervaren binnenvaartschippers of loodsen eveneens simulaties worden uitgevoerd. Naar aanleiding van de uitkomsten van deze simulaties kunnen met meer zekerheid conclusies voor de manoeuvreerbaarheid van het motorvrachtschip getrokken worden.

Eventueel kunnen voor simulaties die zelfs na beoordeling van ervaren schippers als kritiek betiteld worden nog extra simulaties worden uitgevoerd met een brugmodel. Dit is een real-time simulatiemodel, zoals bijvoorbeeld in gebruik is bij het MSCN, waarin op ware grootte in de haven wordt gemanoeuvreed. Met behulp van projectiemiddelen wordt het uitzicht vanaf de brug van een schip gerealiseerd, in figuur 4.5 is vanaf de stuurplaats van de schipper het beeld tijdens een simulatie weergegeven. Doordat dit model een realistischer beeld geeft van de werkelijkheid is eveneens de reactie van de schippers meer overeenkomstig de uiteindelijke



echte situatie. De conclusies die naar aanleiding van simulaties met het brugmodel gemaakt worden zijn nog betrouwbaarder dan de conclusies getrokken uit simulaties met Ship-Navigator, uitgevoerd door ervaren schippers. Het uitvoeren van simulaties met het brugmodel heeft als nadeel de hoge kosten die hieraan verbonden zijn.

Figuur 4.5 Beeld tijdens simulatie met een brugmodel

Voor de containervaart moet het verloop van de verdeling over de verschillende sluizen, die het Markermeer en het IJsselmeer met elkaar verbinden, in de toekomst in de gaten gehouden worden. Mede op basis van de huidige verdeling van de containervaart over deze sluizen is in dit onderzoek de haalbaarheid van het Naviduct niet voor dit type scheepvaart uitgevoerd. In de toekomst kan het noodzakelijk zijn om bij het Naviduct toch rekening te houden met deze vaart door de grote frequentie van voorkomst.

4.7.2 Recreatievaart

Conclusies

Op basis van de gehanteerde grens van de significante golfhoogte van 0,30 m voor de recreatievaart gelden de volgende kritieke windsnelheden voor de aangegeven windrichtingen:

180°N $U_{10} = 13$ m/s

210°N $U_{10} = 10$ à 11 m/s

240°N $U_{10} = 9$ à 10 m/s

270°N $U_{10} = 10$ m/s

Overschrijding van deze windsnelheden is kritiek in verband met het comfort en/of de mogelijkheid van sluisinvaart, afmeren aan de opstelplaatsen of ankeren binnen de zuidelijke voorhaven.

Aanbevelingen

Het is wenselijk om nader onderzoek te verrichten naar de toelaatbare grenzen van de significante golfhoogte voor de recreatievaart. Er is nu slechts gesteld dat de aangegeven grens door het RDIJ weergeeft wat maximaal acceptabel is voor de recreatievaart, een goed gefundeerde reden is hiervoor echter niet aanwezig.

In de beschouwing van de recreatievaart kan een opdeling gemaakt worden in zeiljachten, motorjachten en chartervaart. Door de verschillen in afmetingen van deze schepen zullen de kritieke omstandigheden, voor maximaal toegestane windsnelheid en golfhoogte, eveneens niet overeen komen. In geval van grotere schepen, zoals schepen van de Bruine Vloot die voorkomen tot een lengte van ongeveer 60 m, is het heel waarschijnlijk dat hogere golven kunnen worden getolereerd. Hoe groot deze verhoging van de toelaatbare golfhoogte mag zijn is onbekend.

5 Downtimeanalyse

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal worden nagegaan wat de uitkomsten, in de voorgaande hoofdstukken bevonden, nu daadwerkelijk voor de scheepvaart betekenen en of dus inderdaad, zoals in de doelstelling aangegeven is, een oplossingsconstructie voor de scheepvaart zal moeten worden gerealiseerd. Dit houdt in dat voor de berekende golfhoogten binnen de haven, in combinatie met de vaarmogelijkheden bij deze golfhoogten voor de scheepvaart, zal worden bekeken wat de verwachting is van optreden van de uiterst toegestane situaties. De overschrijding van deze uiterst toegestane situaties levert de downtime voor de scheepvaart binnen de zuidelijke voorhaven. De verwachting van de downtime hangt samen met de frequentieverdeling van de windsnelheden op het Markermeer en specifiek rondom Enkhuizen en de bestaande scheepvaartverdeling nabij de Krabbersgatsluis, deze zullen beiden worden toegelicht in de eerstvolgende paragrafen. De zojuist beschreven beschouwing zal worden gecombineerd met de in hoofdstuk 4 bepaalde maximale windsnelheden voor de scheepvaart en zal resulteren in een aanbeveling voor het wel of niet gewenst zijn van een oplossingsconstructie voor de scheepvaart.

In paragraaf 5.5 wordt een korte samenvatting gegeven van de downtimeberekening die is uitgevoerd op basis van een aantal geselecteerde scheepsgerelateerde faalmechanismen, deze berekening is weergegeven in bijlage 15.

5.2 Frequentieverdeling windsnelheden

Het Nederlandse windklimaat is in 1983 opgesteld door Wieringa en Rijksoort aan de hand van metingen van windsnelheden uit de jaren '60 en '70. Naar aanleiding van de behoefte aan een vernieuwde versie van het windklimaat, waarin tevens het overgangsgebied bij de kustzones wordt meegenomen, hebben het RIKZ (Rijksinstituut voor Kust en Zee) en het RIZA een project opgestart, HYDRA genaamd, om zo'n versie te verkrijgen. Er is gebruik gemaakt van metingen ter plaatse van 20 meetstations voor de periode van 1971 tot en met 1999.

Het meest representatieve van deze twintig meetstations voor de locatie van het Naviduct bij Enkhuizen is meetstation 240: Schiphol. Volgens bijlage 16 zijn de locaties Schiphol en Enkhuizen opgedeeld in dezelfde groep van jaargemiddelde potentiële windsnelheid, namelijk 5,5 - 6,2 m/s. Naar aanleiding van het project is de frequentietabel van potentiële windsnelheid op distributieve, cumulatieve en procentuele wijze opgesteld over het hele jaar en per maand van het jaar uitgesplitst. De distributieve potentiële windsnelheid over de windrichtingen in een jaar bij Schiphol is weergegeven in bijlage 17. Aangezien het windklimaat nabij Schiphol bepaald wordt door een landelijke omgeving is dit niet geheel representatief voor Enkhuizen, dat voornamelijk door water wordt omgeven. De windverdeling van Schiphol zal dus moeten worden aangepast voor de omstandigheden rondom Enkhuizen. Dit kan met behulp van tabel 2 uit bijlage 8. Hierin zijn de verhoudingen van karakteristieke windsnelheden weergegeven bij verschillende lokale ruwheden. In geval van water geldt een lokale ruwheid, z_0 , van 0,0002 m met een bijbehorende verhouding U_p/U_{10} van 0,89. Dit ten opzichte van het open oppervlak rondom Schiphol waar de lokale ruwheid 0,03 en de aangegeven verhouding 1,00 bedraagt. Dit houdt nabij Enkhuizen in dat, op basis van de windgegevens van Schiphol, de potentiële windsnelheden op een hoogte van 10 m een grotere voorkomensfrequentie krijgen.

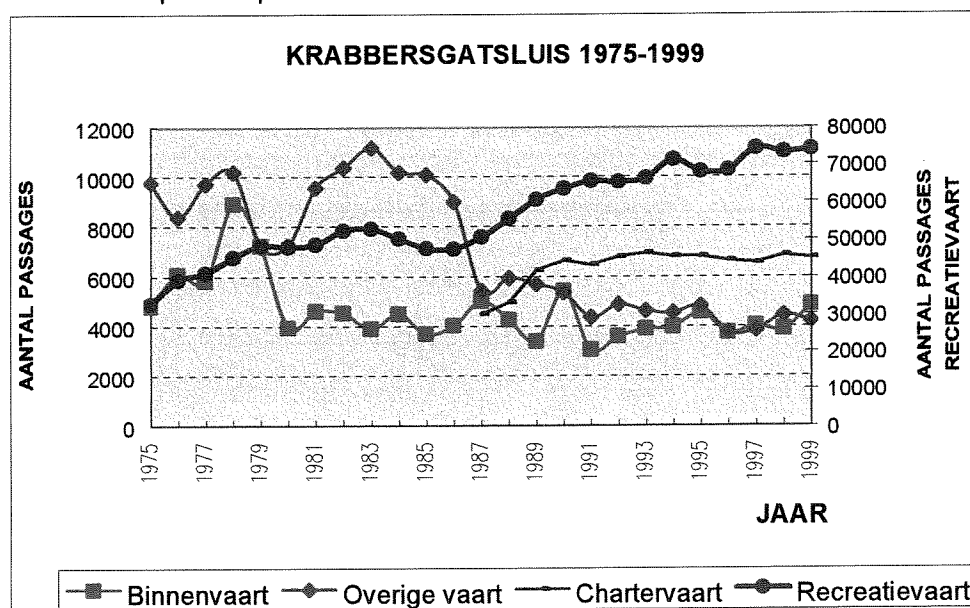


Er is in het vervolg met een aangepaste klasse-indeling gewerkt voor de windsnelheden bij Enkhuizen, zoals is weergegeven in bijlage 18. In deze bijlage is, uit gegevens van de windverdeling van Schiphol, een distributieve bijdrage in overschrijding van een bepaalde windsnelheid over een jaar en per maand van het jaar weergegeven. Geselecteerd is de categorie 16 m/s (15,73-16,74 m/s) waarmee de golfberekeningen zijn uitgevoerd, deze windsnelheid heeft een lokale overschrijdingsfrequentie van 1,02% per jaar. Vanaf november tot en met maart heeft de windsnelheid 16 m/s een grotere overschrijdingsfrequentie dan 1% per jaar. In bijlage 19 zijn enkele grafieken weergegeven om het verschil Enkhuizen-Schiphol en de windverdeling over het jaar nader te belichten.

Aanvullend is per windsnelheidsklasse (van 8 m/s tot en met 18 à 19 m/s) een overschrijdingsverdeling samengesteld waarin wordt aangegeven hoe groot de overschrijdingsfrequentie van de windsnelheid uit de desbetreffende klasse is per jaar of maand van het jaar voor alle mogelijke windrichtingen. In grafieken (bijlage 20) zijn de relatieve bijdragen per windrichting aan de totale overschrijding per jaar weergegeven. Uit deze bijlagen volgt dat zuiden tot westen wind relatief het meeste voorkomt, hetgeen een bekend aspect van het Nederlandse windklimaat is.

5.3 Scheepvaartverdeling

Vanaf 1971 worden per jaar de scheepvaarttellingen ter plaatse van bijna alle sluizen en bruggen in het IJsselmeer, Markermeer en de Randmeren gebundeld in een jaaroverzicht. Deze scheepvaarttellingen worden uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied en worden middels het IVS90 of SITOS-systeem geregistreerd. In bijlage 21 is de klasse-indeling van de scheepvaart, gebruikt bij deze tellingen, weergegeven en in de daaropvolgende bijlage (no. 22) is het eindresultaat van de scheepvaarttelling bij de Krabbersgatssluis voor 1999 getoond. Voor de periode 1975-1999 levert dit de in figuur 5.1 getoonde verdeling van de scheepvaart op.



Figuur 5.1 Aantal passages Krabbersgatssluis 1975-1999

In deze figuur zijn het aantal passages van de binnenvaart, de overige vaart (niet ladingvoerend), de chartervaart en de recreatievaart in de periode 1975-1999 weergegeven. Aan de hand van de tabellen van de scheepvaarttellingen zijn door Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied grafieken voor de verdeling van de



beroepsvaart en de recreatie opgesteld per decennium, deze zijn getoond in bijlage 23. Alleen voor de eerste tien jaar dat de sluis in gebruik is genomen is geen procentuele scheepsverdeling opgesteld, aangezien deze informatie niet bruikbaar is voor de statistische gegevens rondom de Krabbersgatsluis. Dit komt doordat de scheepvaart door deze sluis in die eerste jaren nog op gang moest komen en dus nog geen sprake was van een min of meer vast doorvaartpatroon.

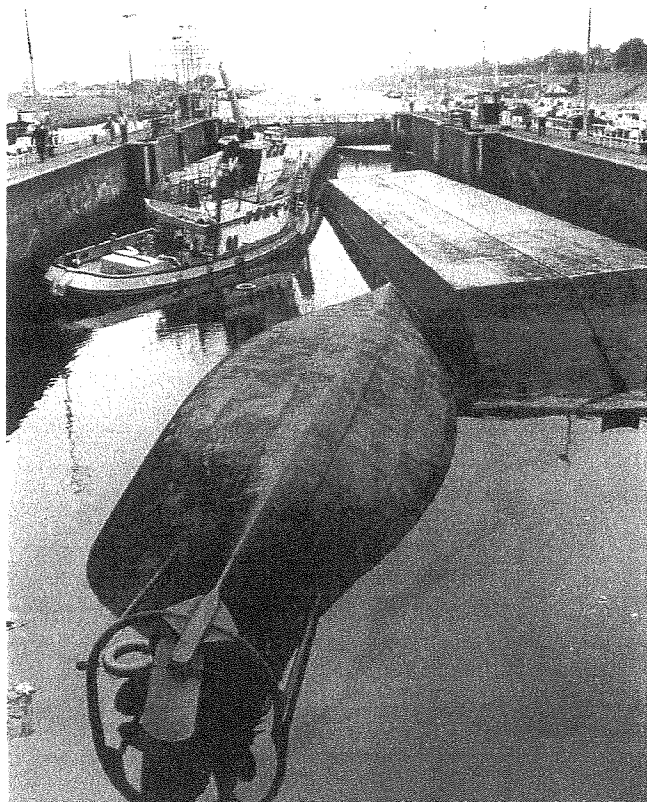
Uit de grafieken van bijlage 23 blijkt dat de beroepsvaart in de periode na opening van de sluis relatief niet drastisch variabel is, terwijl de recreatievaart vanaf 1972 een explosieve groei heeft doorgemaakt en nog steeds een stijgende lijn vertoont (zie ook figuur 5.1). In de grafieken met betrekking tot de procentuele scheepsverdeling is af te lezen dat in de jaren '80 de beroepsvaart (bestaande uit binnenvaart en de overige vaart) maatgevend is in de maanden november tot en met maart. Terwijl in de jaren '90 blijkt dat in maart en november het aandeel van de recreatie- en de beroepsvaart ongeveer gelijk is, en dus de beroepsvaart slechts van december tot en met februari overheerst.

5.4 Downtimeanalyse – deel 1

5.4.1 Inleiding

Alvorens te kunnen aanvangen met de beschrijving van de downtimeanalyse zal de, voor dit onderzoek toegepaste, betekenis van het begrip downtime worden toegelicht.

Downtime van schepen kan onder andere optreden als gevolg van de heersende weersomstandigheden, door scheepsgerelateerde faalmechanismen en door menselijk falen. Op de downtime die wordt veroorzaakt naar aanleiding van gestelde scheepsgerelateerde faalmechanismen wordt in paragraaf 5.5 ingegaan. Het menselijk falen kan optreden ter plaatse van de sluis, in de voorhaven zelf en op de gehele te volgen vaarweg van het schip over het IJsselmeer of het Markermeer.



Figuur 5.2 Omgeslagen duwbakken in de Zuiderluis

Gedacht moet worden aan falen door aanvaringen tussen schepen of tegen de sluiswand, naast de vaargeul geraken, bij de havenmond stranden e.d. In figuur 5.2 is het falen, omslaan in dit geval, van een drietal schepen getoond in de Zuiderluis te IJmuiden ten gevolge van een botsing. Om de optredende kansen van de gebeurtenissen te kunnen bepalen zou historische en statistische

informatie beschikbaar moeten zijn met betrekking tot bijvoorbeeld het aantal scheepspassages en daarin het aantal aanvaringen. Deze informatie is niet voor handen en de betrekking van al deze aspecten op de downtime is in dit onderzoek dan ook niet meegenomen.

In dit afstudeeronderzoek zal de downtime worden bepaald aan de hand van de heersende weersomstandigheden. In dit geval wordt de downtime in de zuidelijke voorhaven van het Naviduct veroorzaakt door het overschrijden van bepaalde windsnelheden in verband met de opgewekte golfhoogten voor de recreatievaart en de manoeuvreermogelijkheden voor de binnenvaart. Voor de vaststelling van de downtime wordt de kans bepaald op overschrijding van de maximale windsnelheden voor vier windrichtingen in samenhang met het seizoensafhankelijk voorkomen van de twee soorten scheepvaart. In de hierop volgende berekeningsstrategie zal de werkwijze ten aanzien van de bepaling van de downtime nader worden toegelicht.

Berekeningsstrategie

Om een indicatie te kunnen geven van de kans dat de scheepvaart geen doorvaart kan hebben door de heersende weersomstandigheden wordt gebruik gemaakt van de frequentieverdeling van de windsnelheden en de scheepvaartverdeling over een jaar. Van belang hierbij is de kans dat de grenssnelheid, bepaald voor een specifieke windrichting, overschreden wordt bij die specifieke windrichting. Deze overschrijdingskans is bekend over het gehele jaar, maar er kan eveneens een uitsplitsing van deze kans gemaakt worden per maand. Het nut van deze specificatie ligt in het feit dat de frequentieverdeling van de windsnelheden niet uniform over het jaar verdeeld is, hogere windsnelheden komen vaker voor in de herfst- en wintermaanden (dit blijkt ook uit bijlage 18). Voor de schepen is de uitsplitsing van de aantallen die verdeelt over het jaar (in dit geval per maand) voorkomen tevens van belang. Uit bijlage 22 blijkt namelijk dat ook deze verdeling niet uniform is over het jaar, recreatieschepen bijvoorbeeld passeren in grotere aantallen in de maanden mei tot en met augustus.

De windverdeling is, zoals reeds in paragraaf 5.2 is vermeld, opgesteld naar aanleiding van metingen in de periode 1971 tot en met 1999. Voor de scheepvaart is het niet verstandig om de verdeling vanaf het in gebruik nemen van de sluis (in 1970) aan te houden, aangezien de verdeling in de jaren zeventig en tachtig niet representatief is voor de huidige verdeling van de scheepspassages. Er is voor het opstellen van de scheepvaartverdeling daarom gebruik gemaakt van de scheepvaarttellingen van 1990 tot en met 1999. In deze scheepvaarttellingen zijn reeds jaar- en maandtotalen voor de verschillende soorten gegeven. Voor de aangegeven periode van tien jaar is het gemiddeld aantal scheepspassages per jaar en per maand bepaald (zie voor resultaten bijlage 24), hetgeen representatief wordt geacht voor de huidige situatie van scheepspassages nabij Enkhuizen. In de jaren negentig blijkt namelijk voor de recreatievaart dat de stijgende lijn van de verdeling aan het stagneren is.

Door vermenigvuldiging van de windkansen per maand met de gemiddelde aantallen van de scheepspassages per maand kan bepaald worden hoeveel schepen in een jaar hinder zullen ondervinden door de heersende wind- en golfomstandigheden. Deze aantallen kunnen uiteraard in percentages van het gemiddeld jaartotaal worden omgezet zodat een beter beeld van de bruikbaarheid van de zuidelijke voorhaven kan worden gegeven.

5.4.2 Binnenvaart

Voor de binnenvaartschepen zijn reeds in hoofdstuk vier de maximale omstandigheden ten aanzien van de manoeuvreermogelijkheden binnen de zuidelijke voorhaven vastgesteld. Aan de hand van de berekening in bijlage 12 zijn de maximaal toegestane windsnelheden bepaald waarbij sluisin- en -uitvaart, van het getoetste motorvrachtschip met een boegschroef van 240 pk, nog mogelijk is.

De bepaalde windsnelheden voor wind uit de richtingen 180°N en 210°N zijn niet volledig betrouwbaar door het verwaarlozen van het moment door de windkracht op het schip. De snelheden die zijn afgeleid in bijlage 12 (40,2 m/s en 25,6 m/s) komen overeen met een windkracht 12 respectievelijk 10 op de schaal van Beaufort (zie bijlage 1). Wanneer deze windkrachten optreden is er sprake van zware storm tot een orkaan en zal er geen scheepvaart meer plaatsvinden. Puur vanuit het oogpunt van de windverdeling, weergegeven in bijlage 18, blijkt dat rondom Enkhuizen windsnelheden groter dan 27 m/s geen kans van voorkomen meer hebben. Voor wind uit de richting 210°N is de kans op overschrijding van een windsnelheid van ongeveer 25 m/s over het jaar verwaarloosbaar klein. Uitgesplitst per maand heeft deze windsnelheid een erg kleine kans van voorkomen, alleen in januari, februari en november wordt een bijdrage geleverd. Deze kansbijdrage wordt gedeeld door wind uit de richtingen 240°N en 270°N, dus is de kans nul dat wind vanuit 210°N waait met een snelheid van 25 m/s of meer. Ongeacht de voorkomst van binnenvaartschepen bij de aangegeven windsnelheden blijkt dat deze windsnelheden uit de kritieke richtingen niet voorkomen.

Voor de windrichtingen 240°N en 270°N gelden een stuk lagere grenssnelheden, hierdoor zullen problemen ontstaan voor de binnenvaartschepen. In bijlage 25.1 is voor wind uit de richting 240°N met een grenssnelheid van 18,53 m/s (categorie 18-19 m/s in de windverdeling) het aantal binnenvaartschepen bepaald waarvoor downtime optreedt. Naar aanleiding van de wind- en scheepsverdeling over de maanden van het jaar volgt dat voor tien binnenvaartschepen downtime optreedt. Dit wil zeggend dat geen sluisinvaart kan plaatsvinden. Middels dezelfde werkwijze is voor de kans op een overschrijding van de snelheid 17,08 m/s bij zuiden wind (richting 270°N) het aantal binnenvaartschepen bepaald waarvoor sluisinvaart problemen oplevert. De uitkomsten van deze berekening zijn weergegeven in bijlage 25.2. Door de heersende wind- en golfomstandigheden kunnen er per jaar gemiddeld zes schepen, op basis van de wind- en scheepsverdeling per maand, downtime ondervinden.

Tabel 5.1 Downtime binnenvaartschepen

Windrichting	Downtime in	
	aantallen	percentages
180°N	-	-
210°N	-	-
240°N	10	0,12 %
270°N	6	0,07 %
Totaal	16	0,19 %

Uit tabel 5.1 blijkt dat in geval van overschrijding van de maximale windsnelheden slechts 0,19% van het gemiddelde jaartotaal van de binnenvaartschepen (= 8597 schepen) downtime ondervindt. Terugkijkend naar de berekeningen houdt dit in dat voor 16 schepen in een heel jaar downtime optreedt.

5.4.3 Recreatievaart

Ook voor de recreatievaartuigen zijn in hoofdstuk vier reeds maximaal toegestane windsnelheden vastgesteld. Deze zijn bepaald op basis van het criterium ten aanzien van het overschrijden van de 0,30 m significante golfhoogte binnen de zuidelijke voorhaven. Bij overschrijding van deze golfhoogte treedt voor de recreatievaart downtime op ten aanzien van het vaarcomfort, het afmeren of verankerd liggen.

Uit bijlage 24 blijkt dat de verdeling van de recreatievaart over het jaar sterk gepiekt verloopt. In de wintermaanden wordt nauwelijks voor recreatiedoeleinden gevaren. Daarentegen wordt de Krabbersgatsluis in de lente- en zomermaanden veelvuldig gebruikt, met als topmaanden voor de scheepspassages juli en augustus. Het specificeren van de wind- en scheepsverdeling per maand voor de recreatievaart heeft een positief effect op de downtime door de kleinere kans op overschrijding van de kritieke windsnelheden in de piekmaanden van de recreatievaart.

Voor de afgeleide grenssnelheden behorende bij de vier beschouwde windrichtingen (180°N, 210°N, 240°N en 270°N) zijn, zoals uit bijlage 26.1 tot en met 26.4 en tabel 5.2 blijkt, de uitkomsten voor de aantallen recreatievaartuigen die hinder ondervinden erg variabel. Deze aantallen variëren op basis van de maandverdelingen tussen 48 en 2338 schepen, hetgeen aanzienlijk verschilt. Deze grote verschillen zijn logisch aangezien een windsnelheid van 13 m/s uit het zuiden slechts voor 0,2% per jaar wordt overschreden en een windsnelheid van 9 à 10 m/s uit de richting 240°N wel voor 4,64%.

Tabel 5.2 Downtime recreatievaartuigen

Windrichting	Downtime in	
	aantallen	percentages
180°N	48	0,07 %
210°N	517	0,75 %
240°N	2338	3,38 %
270°N	642	0,93 %
Totaal	3545	5,13 %

Voor de windrichtingen 210°N en 270°N gelden de grenssnelheden 10 m/s respectievelijk 10 à 11 m/s. Voor de berekening vallen deze beide in de categorie 10,11-11,12 m/s, aangezien de windverdeling stapsgewijze overschrijdingskansen weergeeft. Ook al is de kans op voorkomen van wind uit de richting 210°N groter dan uit de richting 270°N, namelijk 13,17% ten opzichte van 10,18% per jaar, de kans op gekoppelde voorkomst (windsnelheid samen met windrichting) is nagenoeg hetzelfde voor de twee windrichtingen, 1,83% versus 1,85%. Door een verschillende verdeling van de overschrijdingskansen over de maanden verschilt het aantal vaartuigen dat downtime ondervindt op basis van de maandverdelingen echter weer sterker.

Het percentage recreatievaartuigen, van het gemiddelde jaartotaal over de afgelopen tien jaar van 69076 vaartuigen, waarvoor downtime optreedt op basis van de maandverdelingen bedraagt 5,13% per jaar. Doordat de windsnelheden waarbij downtime optreedt lager zijn dan voor de binnenvaart, is de kans op overschrijding ervan groter. Tevens omdat de recreatievaart een veel groter aandeel heeft in het totale aantal scheepspassages bij de Krabbersgatsluis zullen meer schepen hinder ondervinden en is dus het percentage gehinderde schepen veel groter dan in geval van de binnenvaart sprake van was.

5.4.4 Downtimebeschouwing

In bijlage 27 is een samenvatting gegeven van de belangrijkste gegevens voor de downtimeanalyse en de uitkomsten hiervan. Tevens is het aantal schepen dat hinder ondervindt per maand weergegeven, deze aantallen zijn verkregen door de afzonderlijke aantallen van de vier beschouwde windrichtingen te sommeren. Opvallend is dat de binnenvaart vooral gehinderd wordt in de maanden oktober tot en met maart, terwijl voor de recreatievaart de grootste aantallen schepen die downtime ondervinden in de periode van april tot en met oktober liggen.

Binnenvaart

Met betrekking tot de uitvoerbaarheid van de benodigde scheepsmanoeuvres voor invaart van de sluis van het Naviduct is naar aanleiding van maximaal toegestane windsnelheden de downtime voor de het getoetste binnenvaartschip bepaald. In aantallen gehinderde schepen houdt dit in dat 16 schepen per jaar downtime kunnen ondervinden. In percentages betekent dit een downtime van 0,19% van het gemiddeld aantal passerende binnenvaartschepen per jaar.

Deze downtime voor de binnenvaart is erg laag en is acceptabel bevonden. In de context van het gehele afstudeeronderzoek is deze conclusie eveneens te trekken, aangezien het uitgangspunt voor het hydraulisch en nautisch onderzoek is geweest de haalbaarheid van de voorhaven te toetsen voor een maximale windsnelheid van 16 m/s. De kritieke windsnelheden overschrijden dus bij voorbaat al deze uitgangswaarde van de windsnelheid, de optredende downtime valt buiten de grens van benodigde haalbaarheid.

Recreatievaart

De vraag of het aantal recreatievaartuigen dat downtime ondervindt toelaatbaar is, dit aantal is bepaald op 3545 schepen per jaar, is moeilijk te beantwoorden. Er is namelijk geen limiet gesteld waarbinnen de downtime zou moeten vallen. In het algemeen wordt deze limiet uitgedrukt in een percentage downtime dat optreedt per jaar. De vraag is nu of de voor deze voorhaven bepaalde downtime van 5,13% recreatievaartuigen per jaar acceptabel is.

De optredende downtime kan drieledig worden beschouwd. Ten eerste zullen door het vergroten van de schutcapaciteit bij Enkhuizen de wachttijden aanzienlijk dalen voor de recreatievaart (vanzelfsprekend ook voor de beroepsvaart). Er kan namelijk continu geschut worden doordat geen brugopening voor doorvaart van de recreatieschepen meer noodzakelijk is. In samenspel met de reducering van de wachttijden is het de vraag of dan het optreden van downtime voor de recreatievaartuigen in (slechts) 5,13% van de gevallen ontoelaatbaar is. Doordat de twee grootheden, wachttijden en downtime, van een andere orde van grootte zijn, is deze vergelijking lastig te maken. De orde van grootte van de wachttijden ligt in uren of delen van uren en deze orde ligt voor de downtime in dagen waarin geen scheepvaart kan plaatsvinden door optredende windcondities.

Ten tweede kan worden opgemerkt dat in de periode dat er nu vanuit wordt gegaan dat een bijdrage wordt geleverd aan de downtime voor de recreatievaart, deze downtime niet direct inhoudt dat deze vaartuigen falen. Door overschrijding van de kritieke windomstandigheden wordt namelijk de significante golfhoogte overschreden waarbij vaartuigen minder comfort, of meer hinder bij het afmeren en verankerd liggen ondervinden. Bij voldoende overschrijding van de kritieke omstandigheden en een bijbehorende aanzienlijke golfhoogte zal wel degelijk falen van de schepen kunnen optreden. De grens van ontoelaatbaarheid van de omstandigheden is moeilijk scherp te definiëren en daarom is nu de grens van 0,30 m voor de significante golfhoogte aangehouden, de grens waarmee het RDIJ het onderzoek voor golfdoordringing is gestart. Er zal moeten worden bedacht of de reductie in comfort e.d. al voldoende reden is om van downtime ten aanzien van de recreatievaart te mogen spreken of dat dit pas zou mogen zijn wanneer werkelijk falen optreedt.

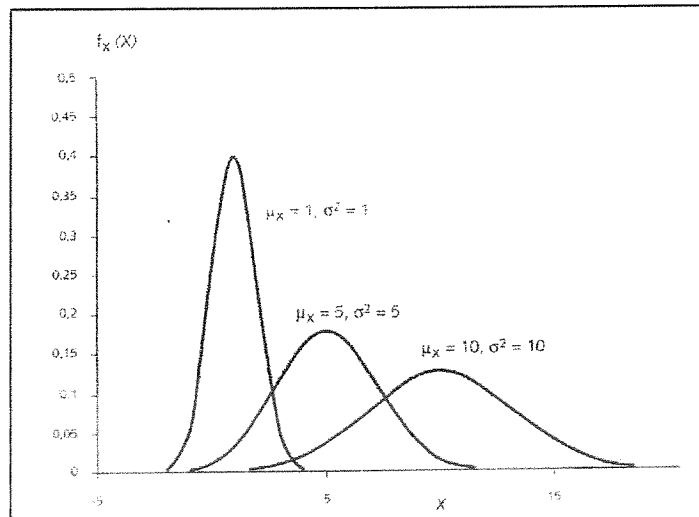
Ten slotte moet men zich afvragen of in een nieuw te bouwen haven direct al een dusdanige (al dan niet groot) kans op downtime mag worden toegestaan. Naar aanleiding van een gestelde grens voor de toelaatbare downtime is deze vraag eenvoudig te beantwoorden.

Op basis van de zojuist besproken aspecten zou een afweging over de gewenstheid van een oplossing voor de golfhoogte binnen de zuidelijke voorhaven gemaakt moeten kunnen worden. Door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat zal moeten worden bepaald of de berekende downtime toelaatbaar wordt geacht voor de recreatievaart.

In het volgende hoofdstuk zullen een aantal oplossingsprincipes voor het reduceren van de golfhoogte binnen de zuidelijke voorhaven van het Naviduct worden besproken. In een aantal gevallen zullen eveneens hun specifieke effecten op deze golfhoogte worden bepaald.

Opmerkingen

- ¹⁾ De kansen die in de analyse zijn opgesteld voor de mogelijke downtime van de scheepvaart (zie de totaaltellingen in de tabellen 5.1 en 5.2) zijn maximaal, zoals het woord 'mogelijk' al aangeeft. Bij de bepaling van deze kansen is een sommatie gemaakt van de afzonderlijke kansen per windrichting, dus er ontstaan nieuwe kansen waarbij de kansen op overschrijding van de kritieke windsnelheid uit alle vier de windrichtingen worden meegenomen. In principe zijn alle bijdragen aan die nieuwe kansen afzonderlijk voorkomend met een bepaalde kans, maar het zou kunnen zijn dat er onderling nog een negatieve danwel positieve correlatie bestaat met betrekking tot de voorkomst van overschrijding van de windsnelheden. Bijvoorbeeld: zoals in januari voor de recreatievaart geldt dat 3,57% van de tijd wind uit westen richting met een snelheid van 10 m/s wordt overschreden en 0,44% van de tijd zuiden wind met een snelheid van 13 m/s. Indien deze westen wind inderdaad 3,57% van de tijd de snelheid van 10 m/s heeft overschreden kan het zijn dat hierdoor de kans op de overschrijding van de kritieke snelheid voor wind uit het zuiden kleiner is dan uit de totale kansverdeling is gebleken. Dit zou betekenen dat een negatieve correlatie optreedt tussen het voorkomen van verschillende windrichtingen per maand. Positieve correlatie kan ook optreden, het kan zijn dat door maximale voorkomst van de overschrijding van de kritieke snelheid van wind uit de richting 240°N de kans op overschrijding van deze snelheid voor wind vanuit 210°N toeneemt. Deze positieve correlatie zou dan negatief uitpakken op het aantal schepen dat downtime ondervindt in een jaar.
- ²⁾ De kansen opgesteld in de downtimeanalyse zijn eveneens maximaal aangezien de recreatievaart bestaat uit zeiljachten, motorjachten en schepen van de chartervaart. Zoals in hoofdstuk vier al is aangegeven kan het zijn dat voor de verschillende typen, oftewel de verschillende afmetingen, schepen ook andere grenzen ten aanzien van de maximaal toegestane golfhoogte gelden. In geval van grotere schepen (bijvoorbeeld bij de chartervaart) kunnen hogere golven worden toegestaan, waardoor eveneens hogere kritieke windsnelheden zullen gelden en het aandeel van het aantal downtime-schepen op de jaartotalen zal afnemen.
- ³⁾ In de voorgaande paragrafen is, in de bepaling van de aantallen schepen waarvoor downtime optreedt, uitgegaan van een uniforme verdeling van de wind en de scheepvaart over een maand. De windverdeling is als willekeurig over de maand te beschouwen, aangezien van tevoren (bijvoorbeeld een jaar vooruit) absoluut geen indicatie kan worden gegeven over de te verwachten windsnelheid en windrichting. Waarschijnlijk geldt voor de recreatievaart dat meer schepen zullen uitvaren bij een windkracht die ideaal is voor zeilverkeer. Er kan worden aangenomen dat uitvaart normaal verdeeld is rondom bijvoorbeeld windkracht 4 of 5. In figuur 5.3 is een voorbeeld van een drietal normale verdelingen weergegeven met verschillende μ_x (gemiddelde) en σ_x (standaardafwijking).



Figuur 5.3 Normale verdeling met verschillende μ_X en σ_X

Aan de hand van deze normale verdeling kan een samenhang optreden in het te verwachten aantal gehinderde schepen en de optredende windsnelheden. Eveneens zal de verdeling van de scheepvaart niet uniform over de week verdeeld zijn. Recreatievaart zal zich concentreren rondom weekenden (en vrije dagen/feestdagen), terwijl de beroepsvaart in hoofdzaak door de weeks zal worden uitgevoerd. Voor deze verdelingen kan eveneens een normale verdeling rondom het weekend c.q. het weekmidden worden aangenomen. Voor het opstellen van de aangegeven normale verdelingen is het noodzakelijk veel aanvullende informatie te verzamelen omtrent de uitvaart van scheepvaart bij bepaalde windsnelheden en de verspreiding over de dagen van de week. Op dit punt is in dit afstudeeronderzoek niet nader ingegaan.

- 4) De opgestelde kansen voor de downtime die geleverd wordt aan de scheepvaart zijn op basis van de scheepsgegevens voor passage van de Krabbersgatsluis in de periode 1990-1999. Hoe deze verdeling in de toekomst zal zijn is natuurlijk onbekend, maar er is wel een verwachting aan te geven. Voor de recreatievaart door de Krabbersgatsluis is de afgelopen jaren sprake van een stagnerende stijging. Of dit een tendens is voor de toekomst is onduidelijk, aangezien door de verwachting van een sterke reductie van de wachttijden doorvaart bij Enkhuizen weer aantrekkelijker zou kunnen worden en juist extra recreatievaart wordt aangetrokken. Hetzelfde geldt eigenlijk voor de beroepsvaart, door de verwachte reductie van de wachttijden zou de beroepsvaart weer meer gebruik kunnen gaan maken van de sluisen bij Enkhuizen, in plaats van uit te wijken naar de Houtribsluisen bij Lelystad.
- 5) In geval van wind- en golfomstandigheden waarbij vaart door de zuidelijke voorhaven van het Naviaduct lastig of niet mogelijk meer zal zijn, zal de scheepvaart voornamelijk weer door de Krabbersgatsluis geschut willen worden. Aangezien de golven in deze voorhaven aanzienlijk lager zijn doordat nauwelijks doordringing mogelijk is zullen scheepsmanoeuvres beter uitvoerbaar zijn. Dit geldt voornamelijk voor de recreatievaart, aangezien de golven die optreden binnen de voorhavens van Enkhuizen qua hoogte nauwelijks invloed op de binnenvaartschepen hebben. De wachttijden voor de scheepvaart en het wegverkeer zullen weer stijgen doordat de recreatievaart in die gevallen weer geschut wordt door de Krabbersgatsluis en zo de noodzakelijke brugopeningen weer met zich meebrengen.

5.5 Downtimeanalyse – deel 2

Zoals in de vorige paragraaf reeds is aangegeven zal aanvullend worden ingegaan op de downtime die wordt veroorzaakt door het bezwijken van de binnenvaartschepen. In bijlage 15 is de volledige beschrijving van dit onderzoek weergegeven, in deze paragraaf zal slechts een korte bespreking volgen van de gevolgde werkwijze en de belangrijkste bevindingen.

Het falen van binnenvaartschepen kan optreden naar aanleiding van een aantal geselecteerde faalmechanismen. Deze faalmechanismen zijn water over de boeg, water over de den en het overschrijden van de maximaal toelaatbare buigende en wringende momenten. De berekening van de downtime houdt in dat bepaald wordt hoe groot de faalkans van de schepen is, naar aanleiding van de gestelde faalmechanismen en bijbehorende limiterende condities per schip, in een bepaalde tijdserie. In deze tijdserie zijn opgenomen de normaal optredende omstandigheden van windsnelheden en bijbehorende golfcondities voor een periode van vijf jaar. Aansluitend wordt geanalyseerd of de optredende faalkans bijdraagt aan de downtime, deze bijdrage is afhankelijk van de acceptabele faalkans die aan het begin van de berekening moet worden opgegeven.

De resultaten van de berekening van de downtime voor een aantal geselecteerde binnenvaartschepen op basis van de vier faalmechanismen op het vaartraject nabij de zuidelijke voorhaven van het Naviduct zijn uitvoerig besproken in bijlage 15. Een van de belangrijkste conclusies is dat de downtime naar aanleiding van de gestelde faalmechanismen voornamelijk optreedt buiten de voorhaven. Slechts voor een aantal binnenvaartschepen, de kleinere in de selectie, treedt op het traject binnen de voorhaven dat het dichtst bij de havenmond ligt een erg klein aandeel aan de downtime op. Er is gebleken dat de vaargang op het Markermeer maatgevend is voor de downtime op basis van de vier beschouwde faalmechanismen van een schip. Aan de hand van dit gegeven en het feit dat de downtime bestaat uit meerdere, niet beschouwde, componenten zijn de berekende downtimewaarden voor de bepaling van de golfhinder op de beroepsvaart binnen de zuidelijke voorhaven van het Naviduct niet bruikbaar.

5.6 Evaluatie

5.6.1 Conclusies

De optredende downtime voor de binnenvaart ten aanzien van de overschrijding van de kritieke windomstandigheden is op basis van de maandverdelingen van de scheepsverdeling en de overschrijdingskansen van de windsnelheden en windrichtingen slechts 0,19%. Deze percentages zijn erg laag, zij zijn acceptabel bevonden voor de doorgang van de beroepsvaart door de zuidelijke voorhaven van het Naviduct.

De downtime die is bepaald ten aanzien van hinder door optredende golfhoogten voor de recreatievaart is op basis van de verdeling van de scheeps- en windgegevens per maand 5,13%. Of dit percentage toelaatbaar wordt geacht zal moeten worden bepaald bij de Bouwdienst van Rijkswaterstaat, aangezien geen informatie beschikbaar is over het maximaal toegestane percentage downtime voor de recreatieschepen.

De vraag of een constructie voor het reduceren van de golfhoogten gewenst is, is moeilijk te beantwoorden. Aan de hand van het bepaalde percentage recreatievaartuigen waarvoor downtime optreedt is geen beslissing te nemen, aangezien geen limiet is gesteld waarbinnen deze downtime zou moeten vallen.

Op basis van de gereduceerde wachttijden, het faalcriterium van de recreatieschepen en een maximale grens voor de downtime van een nieuwe haven zou een besluit genomen moeten kunnen worden omtrent de noodzaak van reductie van de golfhoogten.

De bepaalde waarden zijn slechts een indicatie voor de downtime die optreedt voor de beroeps- en recreatievaart, aangezien een aantal aspecten in de downtimeanalyse niet beschouwd of verwaarloosd zijn. (Zie hiervoor de opmerkingen in paragraaf 5.4.4)

5.6.2 Aanbevelingen

Indien men exact wil weten hoe groot de optredende downtime voor de scheepvaart is, zal meer informatie verkregen moeten worden over:

- de correlatie tussen het optreden van de verschillende windrichtingen en bijbehorende overschrijding van de kritieke snelheden
- de kritieke windsnelheden op basis van toegestane golfhoogten voor de verschillende typen schepen waaruit de recreatievaart bestaat
- de verdeling van de scheepvaart over de dagen van de week en de frequentie van voorkomen door uitvaart bij bepaalde windsnelheden

Om een beter inzicht in de optredende downtime te kunnen krijgen is het aan te bevelen om bij de huidige Krabbersgatsluis (en na voltooiing ook bij de sluizen van het Naviduct) te starten met het registreren van de windsnelheid, windrichting en het aantal en type passerende schepen per dag. Er worden reeds scheepstellingen uitgevoerd, maar hierin is niet aangegeven voor welke periode deze gelden. Indien deze uitsplitsing per dag wordt geregistreerd, kan een koppeling worden gemaakt met de windgegevens en hiervoor een verdelingsfunctie worden opgesteld. Wanneer het falen van de sluis (onmogelijke in- of uitvaart) eveneens wordt geregistreerd kunnen de reeds gemaakte berekeningen worden geverifieerd.

Aan de hand van de aanvullende informatie kan de downtime realistischer worden bepaald, aangezien wordt meegenomen wanneer schepen juist wel/niet uitvaren door (een voorspelling van) goed/slecht weer. Na verloop van tijd kan dan een besluit worden genomen omtrent de wenselijkheid van golfreducerende maatregelen.

Door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat zal moeten worden bepaald of de berekende downtime toelaatbaar wordt geacht voor de recreatievaart. De toelaatbaarheid kan geverifieerd worden door de berekende downtime te vergelijken met de geaccepteerde downtime geldend voor de bestaande Krabbersgatsluis en bijvoorbeeld andere sluizen ten behoeve van de recreatievaart. In geval van ontoelaatbaarheid zullen aansluitend maatregelen moeten worden getroffen om de golfhoogten te reduceren.

In de toekomst is het raadzaam om de verdeling van de scheepvaart te blijven beschouwen per jaar en per maand om te kunnen onderzoeken of de downtimewaarden voor de scheepvaart een stijgende lijn ondergaan. Indien wordt besloten geen maatregelen te nemen om de heersende golfhoogten in te perken zou dit besluit op basis van toekomstige scheepsverdelingen wellicht alsnog moeten worden aangepast.

6 Oplossingsprincipes

6.1 Inleiding

In hoofdstuk vijf is de downtime die optreedt voor de recreatievaart reeds bepaald. Deze downtime treedt op doordat de kritieke windsnelheden bij bijbehorende windrichtingen worden overschreden, hetgeen niet toelaatbaar is in verband met de maximaal toelaatbare golfhoogte voor de recreatievaart. Naar aanleiding van de bepaalde downtime zal gezocht worden naar mogelijke oplossingen voor de reductie van de golfhoogte binnen de zuidelijke voorhaven van het Naviduct. Voor twee van deze mogelijke oplossingen zijn met behulp van SWAN berekeningen gemaakt, om de invloed van de maatregel op de golfhoogten te kunnen bepalen. Aansluitend is hierdoor de invloed van de maatregel op de downtime voor de recreatievaart te bepalen. Het hoofdstuk zal worden afgesloten met alternatieve oplossingen voor aanpassingen in de voorhaven, deze zijn er niet op gericht om de golfhoogte te reduceren, maar om de omstandigheden voor de scheepvaart te verbeteren.

6.2 Mogelijkheden golfreductie

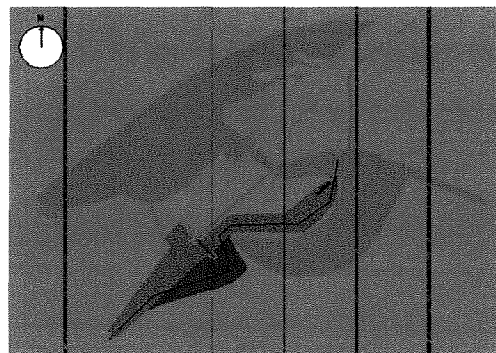
In deze paragraaf zullen mogelijkheden geopperd worden die kunnen bijdragen aan de reductie van de golfhoogte binnen de zuidelijke voorhaven. Een korte beschrijving van de maatregel zal gegeven worden, alsmede de eventuele problemen die kunnen optreden na realisatie.

6.2.1 Aanleggen golfbreker

Om de golfhoogten binnen de zuidelijke voorhaven te kunnen verlagen is een voor de hand liggende oplossing het plaatsen van een gefixeerde golfbreker. Met behulp van een golfbreker die gesitueerd is buiten de voorhaven kan de golfdoordringing in de voorhaven worden gereduceerd. Indien de golfbreker geplaatst wordt binnen de voorhaven kan juist beoogd worden om alleen de golfhoogte ter plaatse van de sluisingang te reduceren.

Golfbreker buiten voorhaven

Twee mogelijkheden voor de plaatsing van een golfbreker buiten de voorhaven zijn weergegeven in de figuren 6.1 en 6.2, aangegeven in roze respectievelijk geel. De eerste oplossing is analoog aan de extra golfbreker die is geplaatst in de zuidelijke voorhaven bij de Krabbersgatsluis, toen bleek dat de golfdoordringing in die haven ook te groot was. De tweede optie is om de zuidelijke leidam van de bestaande voorhaven ten zuiden van de Krabbersgatsluis te verlengen. Beide opties reduceren perfect de golfdoordringing vanuit de richtingen vanaf 210°N . In hydraulisch opzicht zijn dit dus beide goede oplossingen.



Figuur 6.1 Golfbreker buiten voorhaven
optie 1

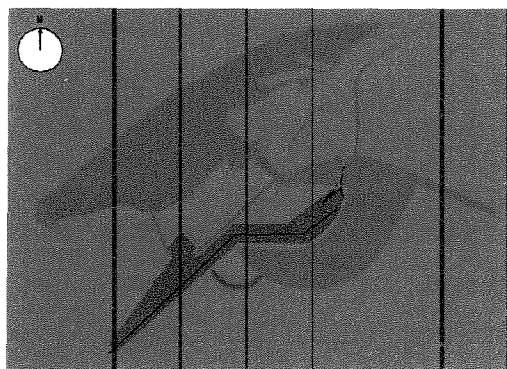


Figuur 6.2 Golfbreker buiten voorhaven
optie 2

Deze twee opties worden echter beide niet als een positieve ontwikkeling voor de scheepvaart ervaren. Aangezien er ingrepen in de vorm van het plaatsen van golfbrekers binnen de vaargeul gedaan worden, heeft dit drastische gevolgen voor de nautische aspecten van de scheepvaart. Vooral voor grote binnenvaartschepen zullen de scheepsmanoeuvres problematisch zijn. De schipper zal vanuit de ene bocht direct de volgende moeten inzetten en continu sterk gebruik moeten maken van roer en schroef.

Voor de tweede optie geldt dat een druk splitsingspunt van de scheepvaart ontstaat ten noorden van de nieuwe golfbreker, hetgeen niet bevorderlijk is voor de scheepvaart. Door het slalomachtig karakter van de beide routes zullen tevens gevaarlijke situaties kunnen ontstaan in geval van tegemoetkomende vaart, aangezien de aanvaarkansen vergroot worden door de benodigde lastige scheepsmanoeuvres. Door de aanleg van een golfbreker volgen extra werkzaamheden door de noodzaak van het uitbreiden van de vaargeul, in de figuren aangegeven in de vorm van het paarse en lila vlak.

De conclusie is dat, doordat het Naviduct en zijn voorhavens worden aangelegd voor de bevordering van de doorvaart van de scheepvaart, het onwenselijk is maatregelen te treffen die positief zijn voor de stremming van de voortgang van de golven, maar die negatief zijn voor de scheepvaart zelf.



Figuur 6.3 Golfbreker buiten voorhaven
optie 3

Een mogelijkheid van golfreductie met behulp van een golfbreker die buiten de vaargeul en buiten de voorhaven is gepland is getoond in figuur 6.3 middels de aangegeven rode lijn. De golfreductie is gebaseerd op het feit dat een extra diffractie punt wordt gegenereerd buiten de voorhaven. De hoogte van de golven, die in dit geval nog in de haven zullen doordringen, is gedaald. De invloed op de daling van de golfhoogte kan door middel van aanvullende golfberekeningen worden bepaald.

Het is echter niet raadzaam deze berekeningen met behulp van SWAN uit te voeren aangezien in dit model geen diffractie wordt meegenomen en dit proces juist van groot belang is bij deze ingreep. Aanbevolen wordt om deze berekeningen met bijvoorbeeld PHAROS uit te voeren. Dit mathematische golfmodel houdt rekening met de gecombineerde diffractie en refractie van golven en eveneens kan het effect van reflectie en transmissie meegenomen worden. Aangezien in dit afstudeeronderzoek tot dusver slechts ervaring is opgedaan met het golfmodel SWAN wordt geen verdere verkenning naar de invloed van deze ingreep gedaan.

Golfbreker binnen voorhaven

Om de golfhoogten binnen de voorhaven te beïnvloeden is een oplossingsmogelijkheid het plaatsen een golfbreker binnen de voorhaven. Deze golfbreker zal waarschijnlijk vooral invloed hebben op de golfhoogte nabij en richting de slusingang (bezien bij vaart vanuit het zuiden) en de opstelplaatsen. Binnen de voorhaven is het zaak om buiten de vaargeul te blijven met de constructie, aangezien de oppervlakte van de voorhaven wat betreft het

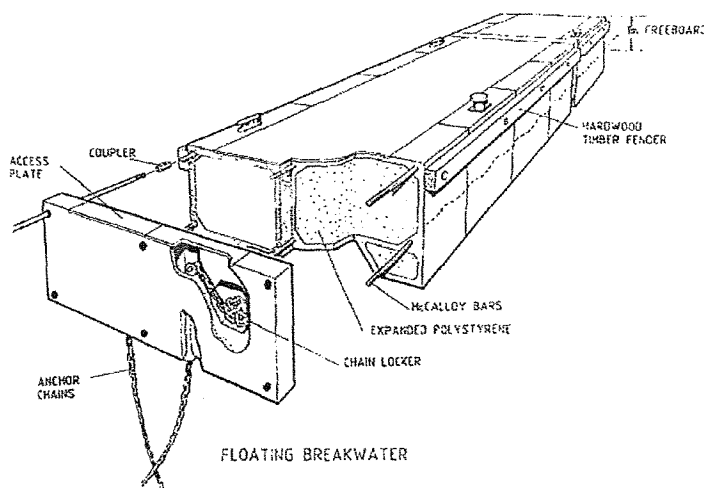
ruimtebeslag van de scheepvaart al in een eerder stadium van het ontwerp is geminimaliseerd. De plaatsing van een constructie binnen de voorhaven brengt automatisch een extra obstakel met zich mee, waar tegenaan gevaren kan worden in geval van bijvoorbeeld optredende calamiteiten. Voor de meeste typen binnenvaartschepen betekent het buiten de vaargeul geraken al dat aan de grond wordt gelopen, dus wat dat betreft betekent een extra constructie geen grote toename van het gevaar. De recreatievaartuigen echter hebben een behoorlijk beperktere diepgang, dus in het ondiepe stuk van de voorhaven kunnen zij gewoon doorvaart hebben en betekent een extra constructie dus weldegelijk een gevaarlijk obstakel. Door de schaalverkleining van deze schepen ten opzichte van de binnenvaartschepen zijn zij een stuk beter te manoeuvreren en hebben zij een kleinere traagheid, zo zal in geval van calamiteiten het obstakel eenvoudiger ontweken kunnen worden.

In paragraaf 6.3 zal op de mogelijkheid van golfreductie door plaatsing van een golfbreker binnen de zuidelijke voorhaven dieper worden ingegaan. Er zullen vier verschillende varianten worden beschouwd wat betreft de golfdoordringing, voor elke variant wordt bekeken hoe groot de invloed op de downtime van de recreatievaart is.

6.2.2 Aanleggen drijvende golfbreker

Voor een lokale verlaging, rondom de sluisingang, van de golfhoogten bij kritieke windrichtingen kan een drijvende golfbreker worden aangelegd. Dit is een goed alternatief op de gefixeerde golfbreker in gebieden waar de lokale windgolven een periode hebben die in het algemeen kleiner is dan 4 seconden. Uit de golfberekeningen met behulp van SWAN is gebleken dat de golfperiode nabij de sluis gemiddeld circa 3 sec. is. Het aanleggen van een drijvende golfbreker heeft tot gevolg dat de opgewekte korte golven gedempt zullen worden. Afhankelijk van de uitvoering van de golfbreker veroorzaakt deze namelijk de dissipatie of reflectie van een deel van de golfenergie.

Er zijn een aantal mogelijkheden voor de aanleg van de drijvende golfbreker, deze diversiteit in mogelijkheden ligt in de uitvoering en de locatiekeuze ervan. Voor de uitvoering van de drijvende golfbreker wordt verwezen naar het artikel 'Experience with floating breakwaters, a literature review', waar op een aantal verschillende concepten en toegepaste materialen wordt ingegaan. In figuur 6.4 is een voorbeeld gegeven van een drijvende golfbreker zoals deze in 1993 in de Town Quay Marina in Southampton (Groot Brittanië) is aangelegd. Deze drijvende golfbreker bestaat uit holle betonnen pontons gevuld met polystyreen, waarlangs afmeerfaciliteiten zijn aangebracht.



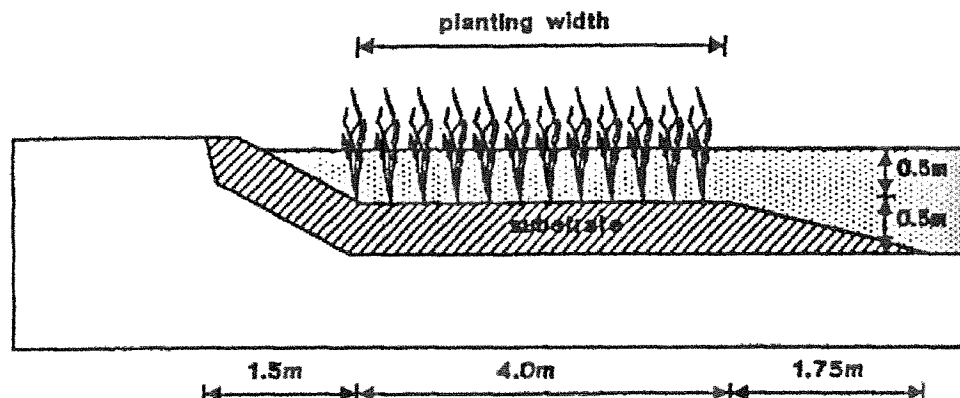
Figuur 6.4 Drijvende golfbreker Town Quay Marina

Rekening houdend met de afmeerfaciliteiten zouden de opstelplaatsen bestemd voor de recreatievaart of de beroepsvaart kunnen worden aangepast tot een drijvende golfbreker. Om een groter golfdempend effect te veroorzaken is het raadzaam een verlenging van de constructie te realiseren. Echter voor de doorgaande scheepvaart kan deze verlenging hinderend zijn, doordat door de aanwezigheid van de constructie de vaargeul als het ware wordt verkleind. Een andere mogelijkheid is om de drijvende golfbreker parallel aan de opstelplaatsen juist naast de vaargeul aan te leggen. Nautisch gezien is dit voor de scheepvaart positiever, aangezien geen ingreep in de vaargeul wordt gedaan en de afmeercondities bij de opstelplaatsen verbeteren door de aanwezigheid van langere, lagere golven. Wanneer eveneens afmeerfaciliteiten worden aangebracht, levert dit een groot aantal extra aanlegplaatsen op voor recreatievaartuigen met een voldoende kleine diepgang, een aspect waarop in paragraaf 6.5.3 nader zal worden ingegaan.

Met behulp van modeltests zal de invloed van een drijvende golfbreker op de golfhoogte, oftewel op de aanwezigheid van de hinderlijke korte golven, onderzocht moeten worden. In deze modeltests zal specifiek gekeken worden naar de locatiekeuze van de drijvende golfbreker. Indien de invloed op de golfhoogten dusdanig is dat nadere uitwerking rendabel is, zal aanvullend een ontwerp moeten worden gemaakt waarin de specifieke uitvoering en het materiaalgebruik is uitgewerkt.

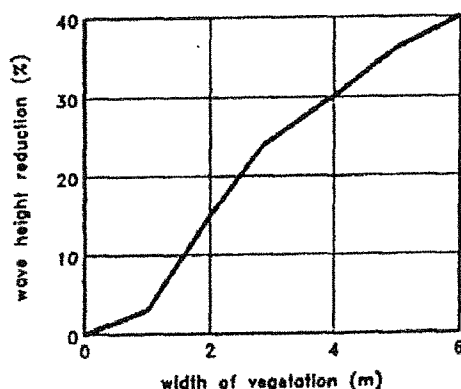
6.2.3 Reductie reflectie van oeverbescherming

Zonder een ingreep in de havenlay-out te doen, een positief aspect voor de scheepvaart, kan de golfhoogte ook gereduceerd worden. Dit kan middels het aanpassen van de reflectiecoëfficiënt van de oeverbescherming van de polder, voor de omlegging van de N302. (Met deze oeverbescherming wordt bedoeld het dijktaalud van de polder. Aangezien in het golfonderzoek van het WL dit dijktaalud is betiteld als oeverbescherming is deze term in de rest van het rapport eveneens zo gebruikt.) Door een reducering van de reflectie tegen de oeverbescherming van de polder zal de golfhoogte nabij en richting de sluisingang en de opstelplaatsen waarschijnlijk lager uitvallen. De reducering van de reflectiecoëfficiënt kan bereikt worden door middel van een aantal verschillende aanpassingen aan het ontwerp van de oeverbescherming van de polder. Een mogelijkheid is het verflauwen van het talud, waardoor minder golfenergie wordt gereflecteerd en de golfhoogte afneemt. Hetzelfde geldt voor het ruwer maken van het talud, hierdoor daalt eveneens de hoeveelheid teruggekaatste energie van de golven. Een andere optie is om aan het ontwerp van de oeverbescherming iets toe te voegen in de vorm van een natuurlijke aanpassing. Dit kan zijn het plaatsen van bijvoorbeeld een rietkraag, waardoor de golven worden gebroken en de reflectie zal afnemen.



Figuur 6.5 Doorsnede gebied voor golfdempingstesten

Door het WL is onderzoek gedaan naar het effect van een rietkraag op de demping van de golven. Het blijkt dat de reductie van de golfhoogte afhankelijk is van de breedte waarover het riet geplant wordt. In figuur 6.5 is een doorsnede gegeven van een testgebied en in figuur 6.6 zijn de resultaten van de golfdemping door een rietkraag met variabele breedte weergegeven.



Figuur 6.6 Resultaten golfdemping door plaatsing riet

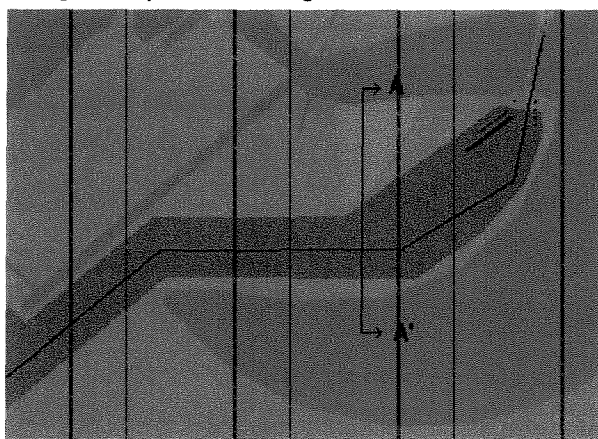
Het toevoegen van een rietkraag aan de waterrand past erg goed in het natuurlijke karakter van de omgeving, het zou een plaats kunnen zijn waar vogels of andere dieren graag vertoeven. Tevens sluit het aan bij de toekomstige functie van de afsluitende leidam van de zuidelijke voorhaven van het Naviduct als natuurgebied. De uitvoering van de oeverbescherming met een gedeeltelijke berm onder water, zal eveneens een positieve werking hebben op de reductie van de golfreflectie en zal ook geen visuele verandering veroorzaken binnen de

voorhaven. Deze berm kan langs de gehele lengte van de oeverbescherming worden geplant of er kan gekozen worden voor de plaatsing van een gedeeltelijke berm. Dit zal kostenbesparend zijn, maar er zal moeten worden gekeken tot op welke hoogte dit toelaatbaar is voor de reducering van de golfhoogte.

De gevolgen van de reductie van de reflectiecoëfficiënt van de oeverbescherming van de polder op de golfhoogte zullen in paragraaf 6.4 naar aanleiding van een aantal golfberekeningen verder worden besproken. Bij deze berekeningen is uitgegaan van een aantal verschillende reflectiewaarden tegen de polder.

6.2.4 Aanbrengen ondiepte in voorhaven

Het aanbrengen van een ondiepte in de zuidelijke voorhaven kan een verlaging van de golfhoogte tot gevolg hebben. De ondiepte kan worden uitgevoerd met een hoogte die onder of net op waterniveau zal komen te liggen. Door de gereduceerde waterdiepte zal de golfhoogte dalen door een vergroting van de energiedissipatie van de golven.



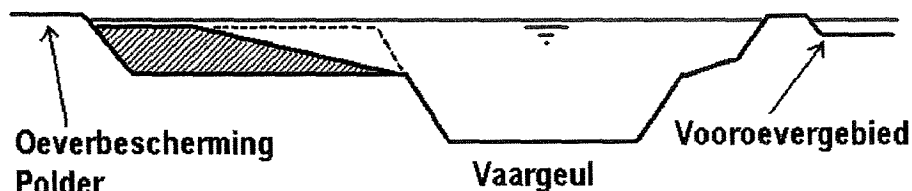
Figuur 6.7 Voorbeeld van een ondieptegebied

Een mogelijkheid voor de uitvoering van een ondiepte binnen de voorhaven is door een grote hoeveelheid zand te storten op een geselecteerde locatie. In figuur 6.7 is een voorbeeld van een ondieptegebied weergegeven, aangegeven als het oranje vlak. Door de kleinere waterdiepte zal een verlies in golfhoogte optreden.

Een ander gevolg van de aanpassing is dat het refractiepatroon binnen de haven zal veranderen. De aangelegde ondiepte veroorzaakt dat juist meer golfenergie richting de sluisingang, en zo de vaargeul in, wordt geleid. Afhankelijk van de gesommeerde invloed van de energiedissipatie door de gereduceerde waterdiepte

en de verandering van het refractiepatroon zal de aanpassing een positief effect hebben op de reductie van de golfhoogte. Een bijkomend probleem is dat het aangebrachte zand zich door de golfactie en eventuele lichte stroming kan verplaatsen vanaf zijn oorspronkelijke locatie. Er zou om het zand te fixeren een geotextiel of een soortgelijk materiaal over het zand heen kunnen worden geplaatst. Voor de binnenvaartschepen heeft de aanleg van een ondiepte weer de betekenis van een obstructie naast de vaarroute en afhankelijk van de hoogte onder water geldt dit ook voor de recreatievaartuigen. Sowieso houdt de aanleg van een ondiepte voor de recreatieschepen een extra afscherming van een stuk vaarwater in. Er zal niet per definitie buiten de vaargeul gevaren worden, maar de aangegeven locatie in figuur 6.7 had goed gebruikt kunnen worden om te ankeren in geval van lange wachttijden.

Een oplossing die tussen de aanleg van een berm en het maken van een ondiepte in ligt, is het uitvoeren van een berm langs een gedeelte van de oeverbescherming van de polder die in hoogte afloopt richting de vaargeul. Met deze oplossing wordt gebruik gemaakt van de reflectiereductie tegen de oeverbescherming en wordt het refractie-effect, van de golven richting de vaargeul, beperkt door de geleidelijke overgang van de bodemligging. Een doorsnede over de voorhaven (zie A-A' in figuur 6.7) is weergegeven in figuur 6.8. Het gearceerde gedeelte is de bedoelde berm met afvlakking richting de vaargeul. Het gestippelde gedeelte is het deel wat zou worden toegevoegd om de doorsnede voor de ondiepte, aangegeven in figuur 6.7, te realiseren.



Figuur 6.8 Dwarsdoorsnede (A-A') over de voorhaven

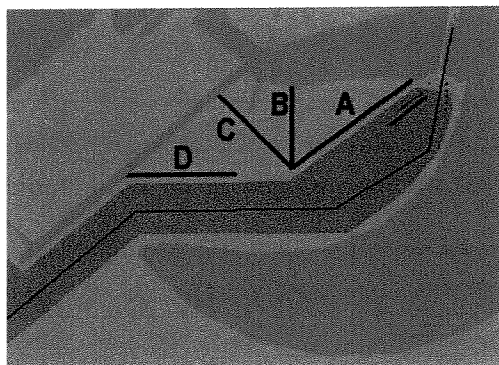
Een indicatie van de invloed van de aangedragen oplossingen op de golfhoogte nabij de sluis zou met behulp van berekeningen in SWAN kunnen worden onderzocht. Door de bodemschematisatie aan te passen aan de ligging van een berm of een ondiepte zouden nieuwe golfberekeningen kunnen worden gemaakt. Voor de optimalisatie ten aanzien van de golfreductie zal in geval van aanleg van de berm gevarieerd moeten worden in de lengte en de specifieke locatie ervan langs de oeverbescherming. Overige invloedhebbende parameters zijn de breedte van de berm, de helling waarmee hij wordt uitgevoerd en de hoogteligging ten opzichte van het waterniveau.

Wanneer men de golfreductie wil bereiken met behulp van de aanleg van een ondiepte is het belangrijk om de optimale combinatie van de diepteligging onder het waterniveau en de resulterende golfreductie te vinden. Deze optimale combinatie is tevens afhankelijk van de locatie en de oppervlakte waarover de ondiepte wordt aangelegd. De bepaling van de optimale combinatie is een iteratief proces. Doordat het aanpassen van de schematisatie van de bodem een erg tijdrovende zaak is, is dit iteratieve proces voor de bepaling van de invloed van een berm of een ondiepte op de golfhoogte niet uitgevoerd.

6.3 Berekeningen invloed aanleggen golfbreker

6.3.1 Varianten golfbreker

Zoals reeds is aangegeven in paragraaf 6.2.1 zal de invloed van plaatsing van een golfbreker op de golfhoogte worden onderzocht. Deze golfbreker zal een ligging buiten de vaargeul moeten hebben om de scheepvaart niet extra te hinderen. Er zijn vier varianten voor de plaatsing van de golfbreker opgesteld, deze zijn weergegeven in figuur 6.9 met de letters A, B, C en D. Dit zijn slechts principevarianten aangezien geen optimalisatie in lengte, hoogteligging, helling en afwerking is uitgevoerd.



Figuur 6.9 Varianten van golfbrekerlocaties

Op basis van een helling van 1:3 en een voor elke variant variërende maatgevende golfhoogte en golflengte zijn de reflectiecoëfficiënten vastgesteld aan de hand van de figuur in bijlage 6 (Seelig, 1983). De resultaten van de berekening van de reflectiecoëfficiënten voor de verschillende varianten van de golfbrekers zijn in tabel 6.1 gegeven.

Tabel 6.1 Reflectiecoëfficiënten golfbrekers

Golfbreker	Reflectiecoëfficiënten
Variant A	20 %
Variant B	25 %
Variant C	25 %
Variant D	20 %

Met behulp van SWAN zijn voor verschillende windrichtingen, de bekende 180°N, 210°N, 240°N en 270°N, en verschillende windsnelheden na toevoeging van de golfbrekers berekeningen voor de golfdoordringing gemaakt. Aan de hand van de uitkomsten kunnen per windrichting en per variant nieuwe grenzen voor de kritieke windsnelheid worden bepaald. Deze kritieke windsnelheden gelden weer met betrekking tot het overschrijden van de golfhoogte van 0,30 m ter plaatse van de sluisingang en de opstelplaatsen.

6.3.2 Kritieke windsnelheden

In bijlage 28.1 tot en met 28.4 zijn de contourplots van de golfhoogten binnen de voorhaven weergegeven voor de verschillende varianten voor de golfbrekers. Per golfbreker zijn per windrichting de twee plots behorende bij de overgang voor de kritieke windsnelheden ten aanzien van overschrijding van de golfhoogte van 0,30 m afgebeeld.

In tabel 6.2 zijn de nieuwe kritieke snelheden, uitgesplitst in de verschillende windrichtingen en varianten van de golfbrekers, voor de bepaling van de downtime voor de recreatievaart weergegeven. Ten opzichte van de kritieke snelheden geldend voor het oorspronkelijke ontwerp (de uitgangssituatie) stijgen deze in meer of mindere mate door een toevoeging van een golfbreker binnen de voorhaven.

Tabel 6.2 Kritieke windsnelheden per windrichting voor de golfbrekervarianten

Windrichting	Uitgangssituatie	Golfbreker A	Golfbreker B	Golfbreker C	Golfbreker D
180°N	13 m/s	15 à 16 m/s	15 m/s	15 m/s	14 m/s
210°N	10 à 11 m/s	13 m/s	12 m/s	12 m/s	11 m/s
240°N	9 à 10 m/s	11 m/s	11 m/s	11 m/s	10 m/s
270°N	10 m/s	12 m/s	11 à 12 m/s	11 à 12 m/s	10 à 11 m/s

De mate van stijging van de grenssnelheden is afhankelijk van de situering van de golfbreker. Er blijkt dat, wat betreft de kritieke windsnelheden, in geval van plaatsing van golfbreker A de meeste verandering optreedt. De grootste stijging van de kritieke windsnelheden houdt in de grootste daling van de downtime. In de volgende paragraaf zal de downtime voor de recreatievaart in de aangepaste situaties worden bepaald.

Opmerking: het model SWAN geeft slechts een indicatie van de gevolgen voor de golfhoogten binnen de haven door het aanbrengen van een extra obstakel. In de handleiding van SWAN is aangegeven dat het gebruik van het model gelimiteerd is doordat diffractie niet gemodelleerd is en dat het dus niet mag worden toegepast in gebieden waar de variatie in golfhoogte groot is op een horizontale schaal van enkele golflengtes. Hierdoor zal het golfveld dat berekend wordt door SWAN in het algemeen niet nauwkeurig zijn in de directe omgeving van obstakels en vooral niet in havens.

6.3.3 Invloed op downtime

Volgens dezelfde berekeningsstrategie als aangegeven is in paragraaf 5.4.1 is de downtime, optredend door overschrijding van de maximale significante golfhoogte, op de recreatievaart bepaald. In bijlage 29.1 tot en met 29.4 zijn voor elke golfbreker de aantallen gehinderde schepen per windrichting en uitgesplitst per maand weergegeven. In bijlage 29.5 is een samenvatting gegeven van de percentages en aantallen schepen die downtime ondervinden op basis van de maandverdelingen voor de verschillende varianten.

Golfbreker A

Er blijkt uit de samenvattingsbijlage, zoals de verwachting naar aanleiding van de vastgestelde kritieke snelheden ook al was, dat de daling van de downtime het sterkst is indien golfbreker A wordt aangelegd. De downtime die resulteert voor de recreatievaart bedraagt 1,8%, wat ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp (downtime = 5,1%) een reducering tot ongeveer één derde inhoudt. Dit is een aanzienlijke verbetering.

Golfbreker B en C

Uit dezelfde bijlage blijkt eveneens dat de golfbrekers B en C qua downtime voor de scheepvaart niet verschillen. Dit is logisch aangezien naar aanleiding van de contourplots van de golfhoogten dezelfde kritieke windsnelheden zijn opgesteld. De downtime die in deze gevallen optreedt bedraagt 2,8%, dit is ongeveer een halvering ten opzichte van de oorspronkelijke situatie. Wat betreft de optredende downtime voor de recreatievaart is er geen voorkeur aanwezig tussen de aanleg van golfbreker B of C.

Golfbreker D

De aanleg van golfbreker D is relatief het meest negatief van alle varianten van de golfbrekers. Met de resulterende downtime van 3,5% bewerkstelligt de golfbreker slechts een reductie van één derde van de downtime van het oorspronkelijke ontwerp. Deze uitkomst was te verwachten omdat de kritieke windsnelheden met betrekking tot de optredende hinder voor de recreatie ook maar weinig zijn

veranderd. Door de ligging parallel aan de vaargeul in het deel van oost-westvaart leidt deze golfbreker de golven eigenlijk meer richting de sluisingang dan de andere golfbrekers dat doen.

6.3.4 Beschouwing

In de afweging van de varianten voor de aanleg van een golfbreker binnen de voorhaven spelen meerdere aspecten een rol, deze afweging wordt niet slechts gemaakt op basis van de grootste reductie van de downtime voor de recreatievaart. Aspecten die eveneens een rol spelen zijn onder andere de kosten van de variant, het toegevoegde gevaar voor de scheepvaart en de uitvoering van de variant door lokale omstandigheden.

In verband met de kosten kan algemeen gesteld worden dat de kortste golfbreker waarschijnlijk de goedkoopste variant is. Doordat de constructielengte van golfbreker B en D een stuk kleiner is die van A en C, zullen de kosten voor het aanleggen ook lager zijn door minder materiaalgebruik, maar ook doordat de bouwtijd waarschijnlijk korter zal kunnen zijn.

Nautisch gezien is de aanleg van golfbreker C het minst negatief. Bij aanleg van al deze constructies ontstaat namelijk een extra object voor aanvaarmogelijkheden, hetgeen niet als positief voor de havenlay-out is te betitelen. In geval van aanleg van golfbreker D is het een reëel gevaar dat bij een sterke zuiden tot zuidwesten wind de schepen bij invaart van de voorhaven als het ware tegen de golfbreker aan worden geblazen. Dit geldt met name voor grote binnenvaart- en charterschepen. Ditzelfde aspect geldt voor de aanleg van golfbreker A, en in mindere mate voor golfbreker B, maar dan voor zuidoosten tot oosten wind en voornamelijk bij uitvaart van de sluis. In dit geval kan meteen opgemerkt worden dat zuidoosten en oosten wind een relatief kleine kans van voorkomen hebben. Dit betekent dat deze kritieke situatie relatief weinig zal optreden in vergelijking met de kritieke situatie nabij variant D voor zuiden tot zuidwesten wind. De ligging van het lichaam van golfbreker C is van alle golfbrekers het verst van de vaargeul verwijderd, wat de aanvaarkans verkleint. Doordat op het vaartraject loodrecht op of onder een hoek met deze golfbreker wordt gevaren is het object continu in beeld en zal er goed op worden geanticipeerd.

De uitvoering van de verschillende varianten zal door lokaal afwijkende omstandigheden eveneens kunnen verschillen. De lokaal van invloed zijn de omstandigheden zijn bijvoorbeeld de inkomende golfhoogte en golfperiode en de bodemligging. Bijvoorbeeld op de locatie van variant D ligt een ondiepte wat de uitvoeringsmogelijkheden zou kunnen beïnvloeden. Deze invloed zal positief zijn als deze ondiepte eenvoudig in het ontwerp van de golfbreker kan worden verwerkt. Wanneer dit materiaal niet geschikt is als basis van de golfbreker en eerst verwijderd moet worden zal de invloed op de uitvoeringsmogelijkheden negatief zijn. Een ander afwijkend punt voor variant D is dat de golfaanval ten opzichte van de andere varianten veel groter is, zodat de beschermingsconstructie van het talud met behulp van zwaarder materiaal (bijvoorbeeld stortstenen met een grotere diameter) moet worden uitgevoerd. Dit heeft vanzelfsprekend betrekking op het kostenplaatje van de beschouwde variant.

Zoals uit de voorgaande bespreking blijkt is de beslissing welke variant voor de aanleg van een golfbreker binnen de voorhaven het meest positief is niet direct te maken. Aangezien in dit onderzoek alleen de invloed van de verschillende varianten op de downtime is bepaald, kan geen keuze gemaakt worden voor een bepaalde variant. Er kan wel worden gesteld dat de reductie van de downtime een erg belangrijke rol speelt in het besluit omdat dit aspect voornamelijk zijn terugslag heeft op de scheepvaart en aanpassingen in de voorhaven ten bate van deze

scheepvaart worden uitgevoerd. Op basis van de resulterende downtime is de aanleg van golfbreker A het meest positief voor de recreatievaart.

6.4 Berekeningen invloed reducering reflectie

6.4.1 Variatie reflectiecoëfficiënten

Zoals reeds eerder is aangegeven kan de golfhoogte binnen de zuidelijke voorhaven gereduceerd worden door een aanpassing te doen aan de reflectiecoëfficiënt van de oeverbescherming van de polder. In figuur 6.10 is een luchtfoto weergegeven van de stand van zaken rondom het project Naviduct begin december 2000. De afwerking van de oeverbescherming van de polder is aan de linkerkant van de polder (op deze foto) te zien. Eveneens is duidelijk zichtbaar de toekomstige diepteligging in de polder en de locatie van het sluishoofd ter plaatse van de damwanden.



Figuur 6.10 Luchtfoto polder tbv Naviduct – begin december 2000

In paragraaf 6.2.3 is een aantal mogelijkheden aangegeven om de reductie van de reflectiecoëfficiënt van de polderbescherming mogelijk te maken. In deze paragraaf worden slechts een aantal reflectiecoëfficiënten aangenomen waarvoor met behulp van SWAN golfberekeningen worden gemaakt om de invloed van de reflectiereductie op de golfhoogte te kunnen bepalen. Er zal niet dieper in worden gegaan op de wijze van het bereiken van de gereduceerde reflectie van de constructie.

De reflectiecoëfficiënt van de oeverbescherming van de polder, waar in de golfberekeningen van het WL en de berekeningen voor dit afstudeeronderzoek vanuit is gegaan, bedraagt 45%. De invloed op de golfhoogte van deze coëfficiënt is bepaald voor reflecties van 35%, 25% en 15%, bij een windsnelheid (U_{10}) van 16 m/s uit de richtingen 160°N, 180°N, 210°N, 240°N en 270°N. Deze windsnelheid is geselecteerd omdat de golfhoogten, en daarmee samenhangende de gereflecteerde golf, binnen de voorhaven het grootst zijn en de invloed op de reflectie zo het duidelijkst weergegeven kan worden in contourplots.

6.4.2 Invloed op golfhoogte

In bijlage 30 zijn de contourplots weergegeven van de berekeningen voor de golfhoogte bij verschillende reflectiecoëfficiënten van de oeverbescherming van de polder bij verschillende windrichtingen. Er zal per windrichting besproken worden wat de invloed op de golfhoogte is naar aanleiding van de contourplots uit de bijlagen.

Windrichting 160°N

In geval van het oorspronkelijke ontwerp van de haven, de situatie met een reflectiecoëfficiënt van 45%, vindt in een gedeelte van de vaargeul een overschrijding van de grens van de significante golfhoogte van 0,30 m plaats. Bij een geleidelijke reducering van de reflectie, van 35% via 25% naar 15%, blijkt uit de contourplots in bijlage 30 (figuur 1.1 tot en met 1.4) dat de grens van een overschrijding van 0,30 m golfhoogte zich langzaam terugtrekt. Voor een reflectiecoëfficiënt van 15% ligt deze grens direct langs de vaargeul, zodat vrijwel geen hinder meer voor de recreatievaart optreedt.

Windrichting 180°N

Voor alle beschouwde reflectiecoëfficiënten geldt dat de overschrijdingslijn van een golfhoogte van 0,40 m in bijlage 30, figuur 2.1 tot en met 2.4, gedeeltelijk in de vaargeul is gesitueerd. Aan de hand van de variatie in deze lijn zal nu een vergelijking worden gemaakt. De overschrijding van 0,30 m golfhoogte vindt namelijk in alle gevallen bijna over de volledige vaargeul plaats. Wanneer de grenslijn van 0,40 m behorend bij een reflectiecoëfficiënt van 45% met die van 15% wordt vergeleken is de variatie slechts klein te noemen. Ten zuidwesten van de sluis trekt de grens zich ongeveer 50 m terug. Verder ligt de grens al buiten de vaargeul, behalve in het oost-westvaart deel maar daar ontkom je niet aan, dus is een verdere vergelijking niet nodig.

Windrichting 210°N

Zoals blijkt uit de figuren 3.1 tot en met 3.4 in bijlage 30 ligt de 0,30 m golfhoogtegrens in alle gevallen buiten de vaargeul, overal in de voorhaven wordt deze waarde dus overschreden. Vanaf deze grens richting de sluis stijgt de invloed van de reflectiereductie. Indien weer de vergelijking tussen de contourplots van de berekeningen met een reflectiecoëfficiënt van 45% en 15% wordt gemaakt, blijkt dat de 0,30 m golfhoogte vanaf ongeveer dezelfde grens wordt overschreden. De grens van 0,40 m ligt in geval van 45% reflectie ongeveer 25 m noordelijker dan bij 15% reflectie en in geval van de 0,45 m overschrijdingsgrens is dit zelfs 50 m noordelijker. Voor de golfhoogten van 0,50 m geldt dat bij een reflectiecoëfficiënt van 45% ten zuidwesten van de sluis de grens zich ongeveer 100 m in de vaargeul uitstrekt en bij een reflectie van 15% wordt deze grens niet meer overschreden, slechts buiten de vaargeul treedt overschrijding op.

Windrichting 240°N

Het variatiebeeld wat door wind uit de richting 240°N ontstaat, (te zien in bijlage 30, figuur 4.1 tot en met 4.4) is heel anders dan is gezien bij de richtingen die tot nu toe zijn beschouwd. De 0,45 m grens ondergaat een behoorlijke verandering bij het verloop van een reflectiecoëfficiënt van 45% naar 15%. Bij een reflectie van 45% wordt in ongeveer de helft van de vaargeul deze grens overschreden, terwijl bij 15% nog slechts een top ten zuiden van de sluis en nabij de sluisingang en de opstelplaatsen een strook overschrijding plaatsvindt. Golven van 0,50 m hoogte worden bij deze windrichting in zijn geheel niet overschreden binnen de vaargeul. De contouren behorende bij een golfhoogte van 0,30 m en 0,40 m variëren nauwelijks onder een aanpassing van de reflectiecoëfficiënt.

Windrichting 270°N

Voor westen wind ligt het patroon van de variatie van de golfhoogte alleen in verschillen in de optredende 0,50 m grens, blijkt uit figuur 5.1 tot en met 5.4 in bijlage 30. Bij een reflectie van de oeverbescherming van 45% ligt ten zuiden van de sluis een gebied waar de golven een hoogte van 0,50 m overschrijden. Als de reflectiecoëfficiënt wordt verlaagd naar 35% blijft van dit overschrijdingsgebied nog maar ongeveer één vierde over binnen de vaargeul. Bij een verdere verlaging van de reflectie naar 25% wordt de golfhoogte van 0,50 m geheel niet meer in de vaargeul overschreden, de lagere golfhoogtecontouren blijven ongewijzigd ten opzichte van die bij een hogere reflectie tegen de oeverbescherming van de polder. Een voortgaande verlaging van de reflectie tot 15% heeft bij westen wind geen extra invloed op de golfhoogten binnen de voorhaven.

6.4.3 Beschouwing

Uit de voorgaande paragraaf blijkt dat de invloed van variatie van de reflectiecoëfficiënt op de berekende golfhoogten binnen de zuidelijke voorhaven voor de windrichtingen 160°N, 180°N en 210°N gering is. Zelfs bij een verlaging van deze coëfficiënt tot 15%, wat één derde van de oorspronkelijke waarde is, treden geen grote veranderingen op. Doordat de golfreductie maximaal is bij een windsnelheid van 16 m/s, ten opzichte van de lagere geldende kritieke windsnelheden met betrekking tot scheepshinder, zullen de grenssnelheden ten aanzien van hinder voor de recreatievaart geen aanpassing ondergaan door de aanpassing van de reflectiecoëfficiënt. Reductie van de reflectiecoëfficiënt van de oeverbescherming van de polder behoeft zo voor deze windrichtingen geen aanbeveling. De inspanning (tijd en geld) die het kost om de aanpassing aan het ontwerp te maken, lonen waarschijnlijk niet de moeite voor zo'n klein resultaat.

Vooraf bij wind uit de richting 240°N treden bij verschillende reflectiecoëfficiënten duidelijke variaties in de golfhoogtecontouren op. Het is raadzaam om voor de kritieke snelheden die zijn gevonden met betrekking tot de hinder van de recreatievaart naar aanleiding van de maximaal toegestane golfhoogte, de invloed van de variatie van de reflectiecoëfficiënt te bekijken. De verwachting is dat de kritieke snelheid door een gewijzigde reflectiecoëfficiënt kan stijgen en de hinder voor de scheepvaart zal dalen.

In geval van westen wind (270°N) treedt de grootste verandering in de golfhoogte op bij een reductie van de reflectiecoëfficiënt van 45% naar 35%, een verdere reductie ervan levert weinig extra daling van de golfhoogte op. Ten aanzien van de kritieke windsnelheden voor de bepaling van de downtime van de recreatievaart zou een daling van de grenssnelheid voor deze richting kunnen optreden bij de reductie van de reflectie van 45% naar 35%.

Er zijn aanvullende SWAN-berekeningen gemaakt voor de bepaling van de invloed van een reductie van de reflectie op de golfhoogte. Uit deze berekeningen blijkt dat de kritieke snelheden niet mogen stijgen ten aanzien van de overschrijding van de golfhoogtegrens. De invloed van de reductie van de reflectie op de verlaging van de golfhoogte is bij deze windsnelheden zo minimaal, dat de grenzen voor de snelheden hetzelfde moeten blijven.

Opmerking: de bepaling van de reflectiecoëfficiënt voor constructies gebeurt altijd via methodes waarin veel onzekerheden met betrekking tot bijvoorbeeld toegepaste coëfficiënten of aangenomen relaties bestaan. De bepaling van een optimale reflectiecoëfficiënt voor de polderbescherming is daarom slechts een indicatie voor de gewenste verwachte reflectie. Uiteindelijk is het ook maar de vraag of de constructies daadwerkelijk worden uitgevoerd met de beoogde reflectiecoëfficiënt. Aangezien onnauwkeurigheden of afwijkingen in de uitvoering kunnen optreden die leiden tot een (on)gewenste verandering aan de reflectie die de constructie zou moeten veroorzaken.



6.5 Alternatieve oplossingen

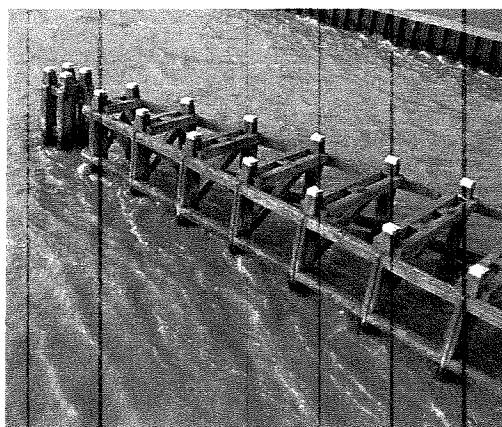
Zoals al is aangegeven in de inleiding van dit hoofdstuk kunnen alternatieve oplossingen voor aanpassingen in de voorhaven worden aangedragen. Deze oplossingen zijn er niet op gericht om de golfhoogte te reduceren, maar om de omstandigheden voor de scheepvaart te verbeteren. Het uitvoeren van de alternatieve oplossingen voor de scheepvaart kan gewenst zijn indien de eerder geopperde oplossingen te kostbaar of ingrijpend voor de haven worden bevonden.

De problemen die optreden voor de scheepvaart ontstaan door de aanwezigheid van een hoge golfslag in samenspel met de heersende windsnelheid op het schip. Het schip kan hierdoor minder controle over de uit te voeren manoeuvres binnen de voorhaven krijgen, dan het zou hebben onder minder heftige wind- en golfomstandigheden. De problemen liggen met name in het strijken van de zeilen, het aan- of afmeren bij de opstelplaatsen en de in- of uitvaart van de sluis onder golfslag en wind.

6.5.1 Aanpassing dukdalven

Al eerder is aangegeven dat de geplande dukdalven ten zuidoosten van de sluis enige aanpassing behoeven. Voor een goede geleidewerking richting de sluis zullen dwarsverbindingen moeten worden aangebracht, zodat ook echt van een geleidewerk kan worden gesproken. Dit is noodzakelijk in het geval dat schepen (binnenvaart- én recreatieschepen) moeilijkheden hebben met koers houden door een krachtige zuidwesten of westen wind. Voor de binnenvaartschepen is een verlenging van het geleidewerk eveneens aan te bevelen, zoals het MSCN in haar onderzoek reeds heeft aangegeven. Aangezien de eveneens voorgestelde verplaatsing van de leidam van het vooroevergebied richting het oosten niet is uitgevoerd, is deze aanbeveling nog sterker van kracht. De verlenging is namelijk benodigd voor het blokkeren van schepen die nu een sterke koersafwijking hebben, door windvlagen of inschattingsfouten, en geen extra manoeuvreermarge hebben richting de leidam. Schepen met een sterk uitwaaiend achterschip (door het inzetten van het roer en schroef voor het gewenste op koers raken richting de sluis) die met de voorzijde van het schip een van de laatste dukdalven raken, kunnen roteren om de laatste dukdalf en stranden in de leidam van het vooroevergebied, doordat zij niet meer op koers richting de sluis kunnen komen.

In bijlage 31 is in een bestaande tekening een indicatie van de uitbreiding van de dukdalven tot een geleidewerk aangegeven. In figuur 6.11 is getoond in welke vorm een dergelijk geleidewerk kan worden aangelegd. Het geleidewerk op de foto is in gebruik bij de spuisluis van het Krabbersgat. Door de verwachte scheepskrachten op de constructie bij het Naviduct dient deze waarschijnlijk zwaarder te worden uitgevoerd dan in het getoonde voorbeeld.



Figuur 6.11 Voorbeeld geleidewerk

6.5.2 Aanpassing opstelplaatsen

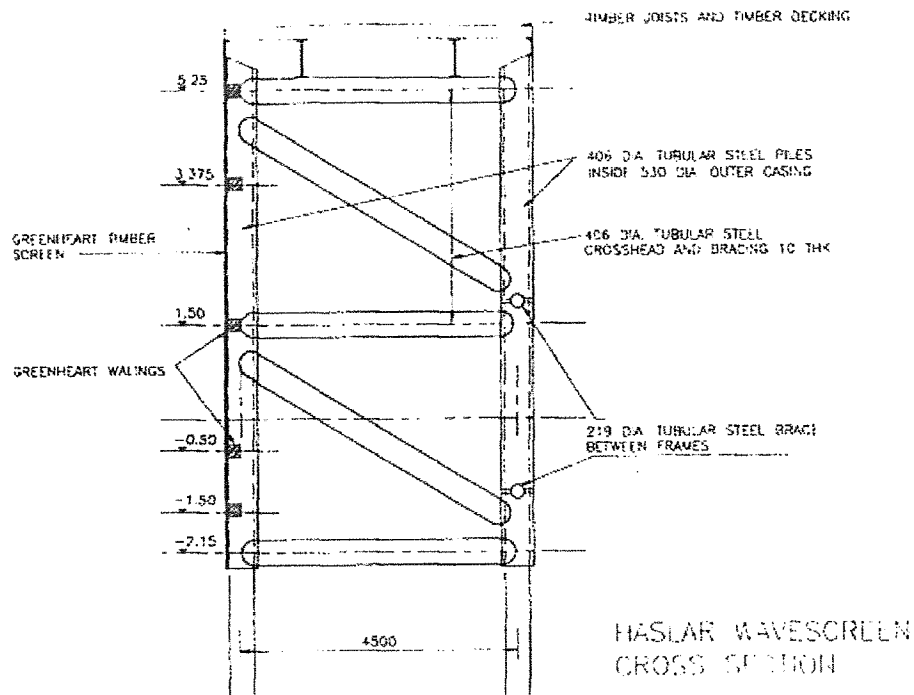
Door de grote variatie in aanleggende schepen, zowel voor de beroepsvaart als de recreatievaart, kan de geplande uitvoering van de opstelplaatsen problemen veroorzaken. Deze verschillende schepen hebben tegen de remmingwerken verschillende contactpunten door hun relatieve hoogteligging ten opzichte van de waterlijn. In bijlage 32.1 is een algemene overzichtstekening (bovenaanzicht) van de opstelplaatsen voor de beroepsvaart en de recreatievaart weergegeven. In het tweede deel van deze bijlage 32.2 zijn de algemene doorsneden van de schorten voor de opstelplaatsen afgebeeld. De afstand vanaf het waterniveau tot de onderzijde van de schorten is in geval van de opstelplaatsen voor de beroepsvaart 0,50 m en voor de recreatievaart 0,35 m. De afstand vanaf het waterniveau tot aan de bovenzijde van de schorten is 2,0 m respectievelijk 0,80 m.

De golfhoogten, bepaald in de golfberekeningen met behulp van SWAN, zijn hoger uitgevallen dan uit de berekeningen van het WL was gebleken. Ter plaatse van de opstelplaatsen kunnen de golven een hoogte bereiken van 0,55 m, dit is bij een windsnelheid (U_{10}) van 16 m/s vanuit westelijke richting (270°N).

In verband met deze golfhoogten zijn de afstanden van het waterniveau tot aan de onderzijde van de schorten aan de lage kant. Enerzijds omdat het contactpunt van het schip tegen de schorten zo laag kan komen te liggen dat bij pieken in golfhoogten (de bepaalde golfhoogten zijn *significante* golfhoogten) het schip onder het schort kan schuiven wat schade kan veroorzaken aan het schip, maar ook aan het geleidewerk. Anderzijds kan de krachtsoverdracht van het schort aan de buisligger in gevaar komen, omdat met een dergelijk laag aangrijpingspunt van de kracht geen rekening is gehouden. Een eenvoudige oplossing voor de problemen met de opstelplaatsen is het verder laten doorlopen van de schorten onder het waterniveau met bijvoorbeeld één extra schort.

Een andere mogelijkheid van aanpassing van de opstelplaatsen om de moeilijkheden bij het aan- en afmeren te verkleinen is het aanbrengen van winddichte geleidewerken. Dit is te realiseren via plaatsing van windafsluitende schotten aan de westzijde van de opstelplaatsen van de recreatievaart. Deze zullen het gemak van de vaart bevorderen aangezien de combinatie wind met golven, die voornamelijk funest is voor de recreatievaart, wordt beperkt tot de werking van slechts golven op het schip. Indien men de windafscherming laat doorlopen tot de sluiskolk zullen eveneens de in- en uitvaartmogelijkheden van de sluis worden verbeterd.

Wanneer aan de opstelplaatsen een golfscherm wordt aangebracht, dat onder alle golfomstandigheden tot in het water reikt, zal dit scherm in geval van zuidwesten en westen wind de golfhoogte ten oosten van de opstelplaatsen sterk reduceren. Dit komt door de optredende reflectie tegen de westzijde van de constructie. Een negatief aspect van deze oplossing is dat in geval van oosten en zuidoosten wind door de volledige terugkaatsing tegen het scherm de golfhoogten juist stijgen. In figuur 6.12 is de doorsnede van een voorbeeld van een golfscherm weergegeven zoals deze in 1994 in Haslar Marina aan de westzijde van Portsmouth Harbour (Groot Brittanië) is aangelegd. Indien het aanbrengen van een golfscherm gewenst is kunnen de twee ontwerpen, voor de constructie van het golfscherm en die van de opstelplaatsen (zoals deze getoond is in bijlage 32.2), gecombineerd worden tot een nieuw ontwerp waarin beide functies zijn verwerkt.



Figuur 6.12 Doorsnede golfscherm Haslar Marina

6.5.3 Extra aanlegplaatsen

Voor de recreatievaart die de zuidelijke voorhaven komt binnengezeild kunnen de optredende golfhoogten problemen veroorzaken voor het strijken van de zeilen binnen de kom. Het is verplicht bij doorvaart door een schutsluis om met gestreken zeilen binnen te varen, ongeacht de weersomstandigheden.

Om de mogelijkheden voor de zeiljachten te vergroten zouden extra aanlegplaatsen kunnen worden gerealiseerd waaraan zou kunnen worden aangelegd in geval van optredende moeilijkheden met het strijken van de zeilen door de wind- en golfomstandigheden. Binnen de zuidelijke voorhaven is het lastig om hiervoor een geschikte locatie te vinden, aangezien het de voorkeur heeft dat de golfhoogten ter plaatse gering zijn. Om deze reden is de drijvende golfbreker, waarover in paragraaf 6.2.2 is uitgewijd, niet geschikt voor extra aanlegplaatsen met de beoogde functie. Deze aanlegplaatsen moeten namelijk uitkomst bieden in moeilijke situaties. Deze moeilijkheden worden waarschijnlijk versterkt ter plaatse van de drijvende golfbreker door de heersende golfhoogten.

Het meest ideaal voor de zeiljachten zou zijn om een soort vluchtaanlegplaatsen te maken juist ten noorden van de zuidelijke leidam, maar net ten zuiden van de vaargeul. Deze mogelijkheid is getoond in figuur 6.13 waar vier extra aanlegsteigers voor de recreatievaart zijn getekend (in zwart).

Op de beoogde locatie zijn de golfhoogten relatief laag onder alle windomstandigheden en de aanlegrichting ten opzichte van de kritieke windrichtingen is ook gunstig aangezien de scheepvaart niet aan lagerwal kan geraken. Deze vluchtaanlegplaatsen zijn te vergelijken met een parkeerhaven of vluchtstrook aan de kant van een autosnelweg. Voor de doorgaande scheepvaart zijn deze afgemeerde schepen niet direct hinderend, maar de aanlegplaatsen zijn niet voor dagelijks gebruik bedoeld.



Figuur 6.13 Extra aanlegplaatsen in de zuidelijke voorhaven

6.6 Evaluatie

6.6.1 Conclusies

Voor het reduceren van de golfhoogte binnen de zuidelijke voorhaven van het Naviduct zijn een aantal oplossingsprincipes aangedragen, deze bestaan uit het plaatsen van een gefixeerde of een drijvende golfbreker, het aanpassen van de reflectiecoëfficiënt van de oeverbescherming van de polder en het aanbrengen van een ondiepte in de voorhaven. Twee mogelijkheden, de aanleg van een drijvende golfbreker en het aanbrengen van een ondiepte, zijn niet verder uitgewerkt via berekeningen van de golfhoogten met behulp van SWAN om zo de invloed op de golfreductie te bepalen.

Het plaatsen van een golfbreker buiten de voorhaven voor de reductie van de golfhoogte is in hydraulisch opzicht een goede oplossing maar nautisch gezien is deze oplossing niet acceptabel.

Indien binnen de voorhaven een golfbreker zou worden geplaatst, is dit minder positief voor de reductie van de golfhoogte maar juist gunstiger voor de scheepvaart, zolang het lichaam van de golfbreker buiten de vaargeul blijft.

Van de vier bekeken varianten voor de plaatsing van de golfbreker is variant A wat betreft de reductie van de downtime, die optreedt door overschrijding van de significante golfhoogte, het beste. De downtime reduceert van 5,1% voor het oorspronkelijke ontwerp tot een waarde van 1,8% na toevoeging van golfbreker A.

De invloed van de aanpassing van de reflectiecoëfficiënt op de golfhoogte binnen de vaargeul is bij bepaalde windrichtingen, namelijk 160°N, 180°N en 210°N, verwaarloosbaar klein. De invloed op de golfhoogte naar aanleiding van de aanpassing van de reflectiecoëfficiënt bij wind uit de richtingen 240°N en 270°N is een stuk groter voor windsnelheden van 16 m/s. Uit nader onderzoek is gebleken dat de kritieke windsnelheden niet veranderen en de reductie van de reflectiecoëfficiënt geen invloed heeft op de downtime van de recreatievaart.

Als alternatief op de oplossingsprincipes voor het verlagen van de golfhoogten binnen de voorhaven zijn een aantal mogelijkheden bestudeerd voor de verbetering van de omstandigheden voor de scheepvaart binnen de zuidelijke voorhaven. Deze aanpassingen liggen ten eerste in het ombouwen van de dukdalven ten zuidoosten van de sluis tot een geleidewerk, eveneens met een grotere lengte dan in het oorspronkelijke ontwerp, om de scheepvaart een betere geleidewerking ervan te kunnen bieden. Ten tweede ligt deze in het aanpassen van de opstelplaatsen voor veiligere aanlegmogelijkheden onder de bepaalde

golfomstandigheden. Ten derde kunnen extra aanlegplaatsen voor de zeiljachten worden geplaatst om het strijken van de zeilen te verrichten.

De algemene conclusie van dit hoofdstuk is dat in het geval dat de Bouwdienst van Rijkswaterstaat besluit dat maatregelen getroffen moeten worden om de golfhoogte binnen de voorhaven te reduceren, de beslissing eveneens bij hen ligt welke maatregel getroffen zal worden. Er is voor twee opties, het aanleggen van een golfbreker binnen de voorhaven en het reduceren van de reflectiecoëfficiënt van de oeverbescherming van de polder, slechts een indicatie gegeven van de effecten die deze ingrepen op de golfhoogten zullen hebben.

6.6.2 Aanbevelingen

Indien door de Bouwdienst het besluit wordt genomen om maatregelen te treffen voor de zuidelijke voorhaven van het Naviduct zal voor de gekozen oplossing extra onderzoek moeten worden uitgevoerd.

Golfbreker

In geval van de aanleg van een extra golfbreker binnen de voorhaven zal een optimalisatie naar de specifieke positionering wat betreft richting en lengte moeten worden gemaakt. Er moet sowieso een constructief ontwerp worden gemaakt, waarin ten bate van de uitvoering een volledige uitwerking is gemaakt.

Het verdient eveneens aanbeveling om met behulp van een ander model de invloed van het plaatsen van een golfbreker op de golfhoogten binnen de voorhaven te bepalen. Dit model zou geschikt moeten zijn voor berekeningen binnen havens en bepalingen van golfvelden rondom obstakels, onder andere door het rekening houden met het optreden van diffractie rondom obstakels.

Drijvende golfbreker

Met behulp van modeltests zal de invloed van een drijvende golfbreker op de golfhoogte onderzocht moeten worden. Er dient bestudeert te worden in welke mate de, voor de recreatievaart hinderlijke, korte golven worden gedempt. In het kader van dit afstudeeronderzoek is het belangrijk dat de invloed van de aanpassing op de downtime van de recreatievaart wordt bepaald. In de modeltests zal specifiek gekeken worden naar de locatiekeuze van de drijvende golfbreker. Aanvullend zal een ontwerp moeten worden gemaakt waarin de specifieke uitvoering en het materiaalgebruik is uitgewerkt.

Ondiepte aanleggen

Met behulp van een model voor de bepaling van de golfhoogte (bijvoorbeeld SWAN) moet de invloed die de ondiepte op de golfhoogte heeft worden bepaald. Deze invloed zal afhankelijk zijn van de locatie, de hoogteligging onder het waterniveau en andere parameters die de specifiekere uitwerking van de ondiepte bepaald. Aan de hand van de berekeningen kan een optimale combinatie van de invloedhebbende parameters worden gemaakt om tot een ontwerp voor de ondiepte te komen.

Indien een ondiepte in de voorhaven moet worden aangebracht geldt dat er in detail moet worden bepaald hoe de uitvoering van deze ondiepte wordt gepland. Aanvullend moet onderzocht worden hoe groot het transport van het materiaal, waaruit de ondiepte wordt opgebouwd, is, zodat hier rekening mee kan worden gehouden in het ontwerp.

7 Evaluatie

7.1 Conclusies

Hydraulisch

Het RDIJ heeft de eis gesteld dat een maximale significante golfhoogte van 0,30 m ter plaatse van de sluisingang kan worden toegestaan bij een windsnelheid (U_{10}) van 16 m/s. Afhankelijk van de geldende golf- en windrichting wordt deze eis ten aanzien van de significante golfhoogte ter plaatse van de sluisingang overschreden. In geval van de getoetste golfrichtingen, ter plaatse van de havenmond, van 160°N en 180°N wordt de limiet van 0,30 m niet overschreden, echter in geval van golven uit de richtingen 200°N tot en met 270°N vindt een overschrijding van de significante golfhoogte plaats van gemiddeld 50% ($H_s = 0,40 - 0,50$ m).

De verschillen die optreden tussen de berekeningen, van golfhoogten in de zuidelijke voorhaven van het Naviduct, die door het WL zijn uitgevoerd met behulp van DIFFRAC en de berekeningen die in dit afstudeeronderzoek zijn uitgevoerd met behulp van SWAN zijn verklaarbaar uit een aantal aspecten. Sowieso zijn in de berekeningsprogramma's DIFFRAC en SWAN verschillende invloeden voor de bepaling van de golfhoogte gemodelleerd, waardoor andere waarden voor de golfhoogten kunnen worden gevonden. DIFFRAC berekent de golfhoogten op basis van diffractie en reflectie en SWAN doet dit voor refractie, lokale golfgroei door wind, dissipatie etc. en sinds oktober 2000 eveneens reflectie.

De verschillen zijn eveneens verklaarbaar door het gebruik van een andere bodemschematisatie.

Nautisch

Uit manoeuvreersimulaties, die zijn uitgevoerd met behulp van Ship-Navigator voor een klasse V schip, volgt dat voor windrichtingen variërend van zuid naar west (180°N - 270°N), $U_{10} = 16$ m/s, geen problemen optreden wat betreft de doorvaart en sluisin- en uitvaart in de zuidelijke voorhaven. Dit geldt voor een motorvrachtschip (klasse V) dat is uitgerust met een boegschroef van 240 pk. De noodzaak van inzet van de boegschroef bij een bepaalde windsnelheid varieert per windrichting.

De invloed van golven op de manoeuvreermogelijkheden is gering, de inzet van de boegschroef is in het algemeen bij lagere windsnelheden noodzakelijk dan in geval van simulaties zonder de invloed van golfslag op het schip.

Op basis van de gehanteerde grens van de significante golfhoogte van 0,30 m voor de recreatievaart gelden de volgende kritieke windsnelheden voor de aangegeven windrichtingen:

180°N	$U_{10} = 13$ m/s
210°N	$U_{10} = 10$ à 11 m/s
240°N	$U_{10} = 9$ à 10 m/s
270°N	$U_{10} = 10$ m/s

Overschrijding van deze windsnelheden is kritiek in verband met het comfort en/of de mogelijkheid van sluisin- en -uitvaart, afmeren aan de opstelplaatsen of ankeren binnen de zuidelijke voorhaven.

Downtimeanalyse

De optredende downtime voor de binnenvaart ten aanzien van de overschrijding van de kritieke windomstandigheden is op basis van de maandverdelingen van de schepen en de overschrijdingskansen van de windsnelheden en windrichtingen slechts 0,19%. Dit percentage is erg laag en is acceptabel bevonden voor de doorgang van de beroepsvaart door de zuidelijke voorhaven van het Naviduct.

Door optredende golfhoogten ondervindt 5,13% van de recreatievaart per jaar downtime op basis van de verdeling van de scheeps- en windgegevens per maand. Of dit percentage toelaatbaar wordt geacht zal moeten worden bepaald door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat, aangezien geen informatie beschikbaar is over de maximaal toegestane downtime voor de recreatieschepen.

De bepaalde waarden zijn slechts een indicatie van de downtime die optreedt voor de beroeps- en recreatievaart, aangezien een aantal aspecten in de downtimeanalyse niet beschouwd, verwaarloosd of vereenvoudigd zijn. Genoemd kunnen worden onder andere het niet beschouwen van menselijk falen, het vereenvoudigen van de frequentieverdeling van de wind en de uniforme verdeling van de recreatievaartuigen.

Oplossingsprincipes

Voor het reduceren van de golfhoogte binnen de zuidelijke voorhaven van het Naviduct zijn een aantal oplossingsprincipes onderzocht, deze zijn het plaatsen van een gefixeerde of een drijvende golfbreker, het aanpassen van de reflectiecoëfficiënt van de oeverbescherming van de polder en het aanbrengen van een ondiepte in de voorhaven.

De invloed van de aanleg van een gefixeerde golfbreker op de reducering van de golfhoogte is afhankelijk van de positionering binnen de haven. De reductie van de golfhoogte is berekend met behulp van SWAN en heeft als direct gevolg dat de kritieke windsnelheden, ten aanzien van de bepaling van de downtime voor de recreatievaart, stijgen. De maximale reductie van de downtime ligt in orde grootte 30% van de downtime zonder aanleg van een golfbreker binnen de zuidelijke voorhaven van het Naviduct. Het aanpassen van de reflectiecoëfficiënt van de oeverbescherming van de polder heeft volgens gemaakte SWAN-berekeningen geen invloed op de downtime van de recreatievaart. Doordat de golfhoogten slechts kleine dalingen ondergaan blijven kritieke windsnelheden gelijk en zo ook de downtime. De invloed op de golfhoogte door de aanleg van een ondiepte en een drijvende golfbreker is niet nader onderzocht.

De algemene conclusie is dat in het geval dat de Bouwdienst van Rijkswaterstaat besluit dat maatregelen getroffen moeten worden, om de golfhoogte binnen de voorhaven te reduceren zodat de mogelijkheden voor de recreatievaart vergroot worden, de beslissing eveneens bij hen ligt welke maatregel getroffen zal worden. Op basis van dit onderzoek kan worden gesteld dat de aanleg van een gefixeerde golfbreker (variant A) het meest effectief is voor de reductie van de golfhoogte.

7.2 Aanbevelingen

Hydraulisch

Om het belang van de verschillende processen in de bepaling van de golfhoogten te kunnen kwantificeren zullen berekeningen moeten worden gemaakt met behulp van SWAN waarin de omstandigheden zoveel mogelijk gelijk zijn aan de WL-berekeningen met behulp van DIFFRAC. Indien al de extra processen, die in SWAN mee te nemen zijn, worden uitgezet kan de exacte vergelijking tussen de diffractie- en refractie-invloed worden gemaakt. Vervolgens dienen de extra processen één voor één te worden toegevoegd voor de uitvoering van de golfberekeningen.

In de vergelijking van deze berekeningen is de invloed van de afzonderlijke processen aan de golfhoogte te bepalen.

Nautisch

Voor de omstandigheden waarbij op basis van de uitgevoerde simulaties met behulp van Ship-Navigator conclusies zijn getrokken dat sluisinvaart nog mogelijk is, waarbij dit net niet meer mogelijk is en waarbij dit onmogelijk is, zullen door ervaren binnenvaartschippers of loodsen eveneens simulaties uitgevoerd moeten worden. Naar aanleiding van de uitkomsten van deze simulaties kunnen met meer zekerheid conclusies voor de manoeuvreerbaarheid van het motorvrachtschip getrokken worden.

Het is wenselijk om nader onderzoek te verrichten naar de toelaatbare grenzen van de significante golfhoogte voor de recreatievaart. In dit onderzoek is slechts gesteld dat de aangegeven grens door het RDIJ weergeeft wat maximaal acceptabel is voor de recreatievaart, een goed gefundeerde reden is hiervoor echter niet aanwezig.

In de beschouwing van de recreatievaart kan een opdeling gemaakt worden in zeiljachten, motorjachten en chartervaart. Door de verschillen in afmetingen van deze schepen zullen de kritieke omstandigheden, voor maximaal toegestane windsnelheid en golfhoogte, eveneens verschillen. In geval van grotere schepen, zoals schepen van de Bruine Vloot, is het heel waarschijnlijk dat hogere golven kunnen worden getolereerd. Hoe groot deze verhoging van de toelaatbare golfhoogte mag zijn is onbekend.

Downtimeanalyse

Indien men exact wil weten hoe groot de optredende downtime voor de scheepvaart is, zal meer informatie verkregen moeten worden over:

- de correlatie tussen het optreden van de verschillende windrichtingen en bijbehorende overschrijding van de kritieke snelheden
- de kritieke windsnelheden op basis van toegestane golfhoogten voor de verschillende typen schepen waaruit de recreatievaart bestaat
- de verdeling van de scheepvaart over de dagen van de week en de frequentie van voorkomen door uitvaart bij bepaalde windsnelheden

Voor een juiste bepaling van de downtime van een schip zou voor de *gehele* af te leggen vaarroute *alle* aspecten die een kans op falen ten gevolge hebben moeten worden bekeken. Op deze wijze kan worden onderzocht in hoeverre de aanleg van het Naviduct bijdraagt aan de downtime ten opzichte van de downtime van de gehele vaarroute.

Door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat zal moeten worden bepaald of de berekende downtime toelaatbaar wordt geacht voor de recreatievaart. De toelaatbaarheid kan geverifieerd worden door de berekende downtime te

vergelijken met de geaccepteerde downtime geldend voor de bestaande Krabbersgatsluis en bijvoorbeeld andere sluizen ten behoeve van de recreatievaart. In geval van ontoelaatbaarheid zullen aansluitend maatregelen moeten worden getroffen om de golfhoogten te reduceren.

In de toekomst is het raadzaam om de verdeling van de scheepvaart (qua aantal en type) en de wind (qua richting en snelheid) per maand te blijven beschouwen om te kunnen onderzoeken of de downtime voor de scheepvaart een stijgende lijn ondergaat. Indien wordt besloten geen maatregelen te nemen om de heersende golfhoogten in te perken zou dit besluit op basis van toekomstige scheepsverdelingen wellicht alsnog moeten worden aangepast.

Oplossingsprincipes

Indien door de Bouwdienst het besluit wordt genomen om maatregelen te treffen voor de zuidelijke voorhaven van het Naviduct zal voor de gekozen oplossing extra onderzoek moeten worden uitgevoerd. Dit onderzoek richt zich op de nadere uitwerking van het ontwerp voor een optimalisatie van de reducering van de golfhoogte binnen de zuidelijke voorhaven.

Informatiebronnen

Literatuur

- Beyer, D., maart 1995. Begeleiding ontwerp voorhavens Krabbersgatsluis; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, RIZA, Lelystad
- Bouwdienst Rijkswaterstaat, maart 1997, eerste druk. Kansen in de civiele techniek, deel 1: probabilistisch ontwerpen in theorie; Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR), Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Diest Weg- en Waterbouwkunde, Bouwdienst, Gouda.
- Boxsem, W., Wees, J. van, 1999. Scheepvaart IJsselmeergebied, jaaroverzicht 1998; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied, Lelystad
- d'Angremond, K., Bezuijen, K.G. e.a., augustus 1996. Waterbouwkunde; Faculteit der Civiele Techniek, TU Delft, Delft
- Dekker, J., juni 1995. Golfdoordringing Tweede Krabbersgatsluis, verslag numeriek modelonderzoek; Waterloopkundig Laboratorium, Marknesse/Delft
- Eysink, E.D., november 1996. Zuidelijke voorhaven nieuwe Krabbersgatsluis, hydraulische en sedimentatiestudies; Waterloopkundig Laboratorium, Marknesse/Delft
- Grinyer, A.W., mei 1995. Fixed and floating breakwaters for small craft harbours: experience at Town Quay Southampton, Haslar Marina, Portsmouth and Parkstone Yacht Haven, Poole; Marina III, Third international conference on the planning, design and operation of marinas
- Jong, J.H. de, april 1995. Manoeuvresimulaties zuidelijke voorhaven Krabbersgatsluis; MSCN bv, Wageningen
- Ligteringen, H., november 1999. Ports and terminals; Faculty of Civil Engineering and Geosciences, TU Delft, Delft
- PIANC Working Group no. 24, 1995. Criteria for movements of moored ships in harbours, a practical guide, supplement to bulletin N° 88 1995; PIANC, Brussel
- Schiereck, G.J., januari 2000. Introduction on bed, bank and shore protection; Faculty of Civil Engineering and Geosciences, TU Delft, Delft
- Seelig, W.N., 1983. Wave reflection from coastal structures. Proc. Conf. Coastal Structures '83, p.p. 961-973; ASCE, Arlington
- Veldman, H., Hurdle, D.P., Onassis, I., mei 2000. Onderzoek golfhinder binnenvaart, samenwerkingsverband Maasvlakte 2, technisch rapport; Alkyon, Marknesse
- Werner, G., 1988. Experiences with floating breakwaters, a literature review; PIANC, Bulletin 1988 – N° 63, p 23-29
- Waal, H. de, mei 2000. Windonderzoek – overzicht, projectfase 2: variatie in tijd en ruimte; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, RIZA, Lelystad
- Wieringa, J., Rijkoort, P.J., 1983. Windklimaat van Nederland; KNMI, De Bilt

Internetpagina's

- <http://SWAN.ct.tudelft.nl/>
- <http://www.alkyon.nl>
- [http://www.archief.nl/RAD/thema/strijd tegen het water](http://www.archief.nl/RAD/thema/strijd_tegen_het_water)
- <http://www.knmi.nl/samenw/hydra/>
- <http://www.naviduct.nl>
- <http://www.riza.nl>
- <http://www.waterland.net/rdij>

Toegepaste computerprogramma's

- Ship-Navigator versie 4.2; I. Onassis e.a. 2000, Alkyon Hydraulic Consultancy & Research
- SWAN versie 40.01; Booij e.a. 1999, TU Delft
- SWAN versie 40.10 (inclusief reflectie); Booij e.a. 2000, TU Delft
- MATLAB versie 5.2.0; The MathWorks, Inc. 1998

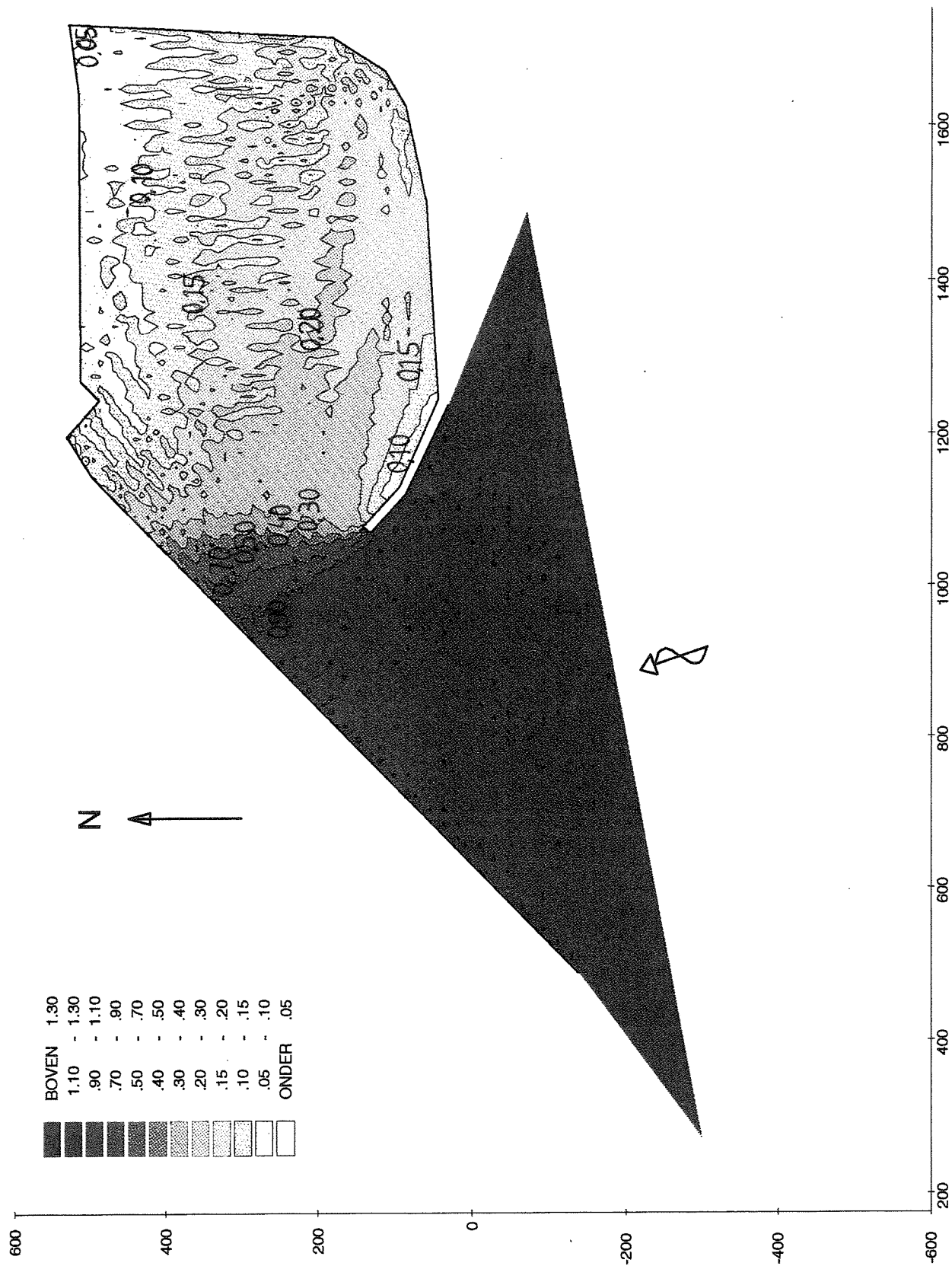
Bijlagen

Bijlage 1

INTERNATIONALE BEAUFORT-SCHAAL TE LAND

Klassennummer en benaming	Omschrijving zichtbare uitwerking te land (verkort)	Windsnelheid (m/s)
0 Stil	Rook stijgt bijna recht omhoog	0-0,2
1 Zwakke wind	Windrichting herkenbaar aan rookpluimen	0,3-1,5
2 Zwakke wind	Wind merkbaar in het gezicht, bladeren ritselen	1,6-3,3
3 Matige wind	Bladeren en takken bewegen, lichte vlag wappert	3,4-5,4
4 Matige wind	Stof en papier dwarrelen op (boven open terrein?)	5,5-7,9
5 Vrij krachtige wind	Bebladerde takken zwaaien	8,0-10,7
6 Krachtige wind	Wind fluit in draden papaplu's moeilijk hanteerbaar	10,8-13,8
7 Harde wind	Gehele bomen bewegen, wind is hinderlijk om tegen in te lopen	13,9-17,1
8 Stormachtig	Takjes breken af, lopen is lastig ook bij wind opzij	17,2-20,7
9 Storm	Schoorsteenkappen en dakpannen worden afgerukt, lichte schade in bossen	20,8-24,4
10 Zware storm	Flinke schade aan gebouwen, bomen worden ontworteld	24,5-28,4
11 Zeer zware storm	Zware schade in steden en bossen	28,5-32,6
12 Orkaan	(komt te land vrijwel nooit voor)	$\geq 32,7$

N.B.: De opgegeven schaal-windsnelheden zijn *gemiddeld* over minstens 10 minuten. Windvlagen kunnen veel hogere snelheden bereiken, maar het is formeel onjuist om deze uit te drukken in de Beaufort-schaal. De veel gehoorde uitspraken van het type „windkracht 7, vlagen tot windkracht 9” zijn strijdig met de gebruikswaarde van de Beaufort-schaalconventie. Bovendien hebben zulke uitspraken weinig praktisch nut, omdat vlagerigheid afhankelijk is van de plaatselijke terreintoestand.



Golfdoordringing met richtingsspreiding

Hoofdrichting 160 gr. N., T = 4.8 s.

KRB1R1

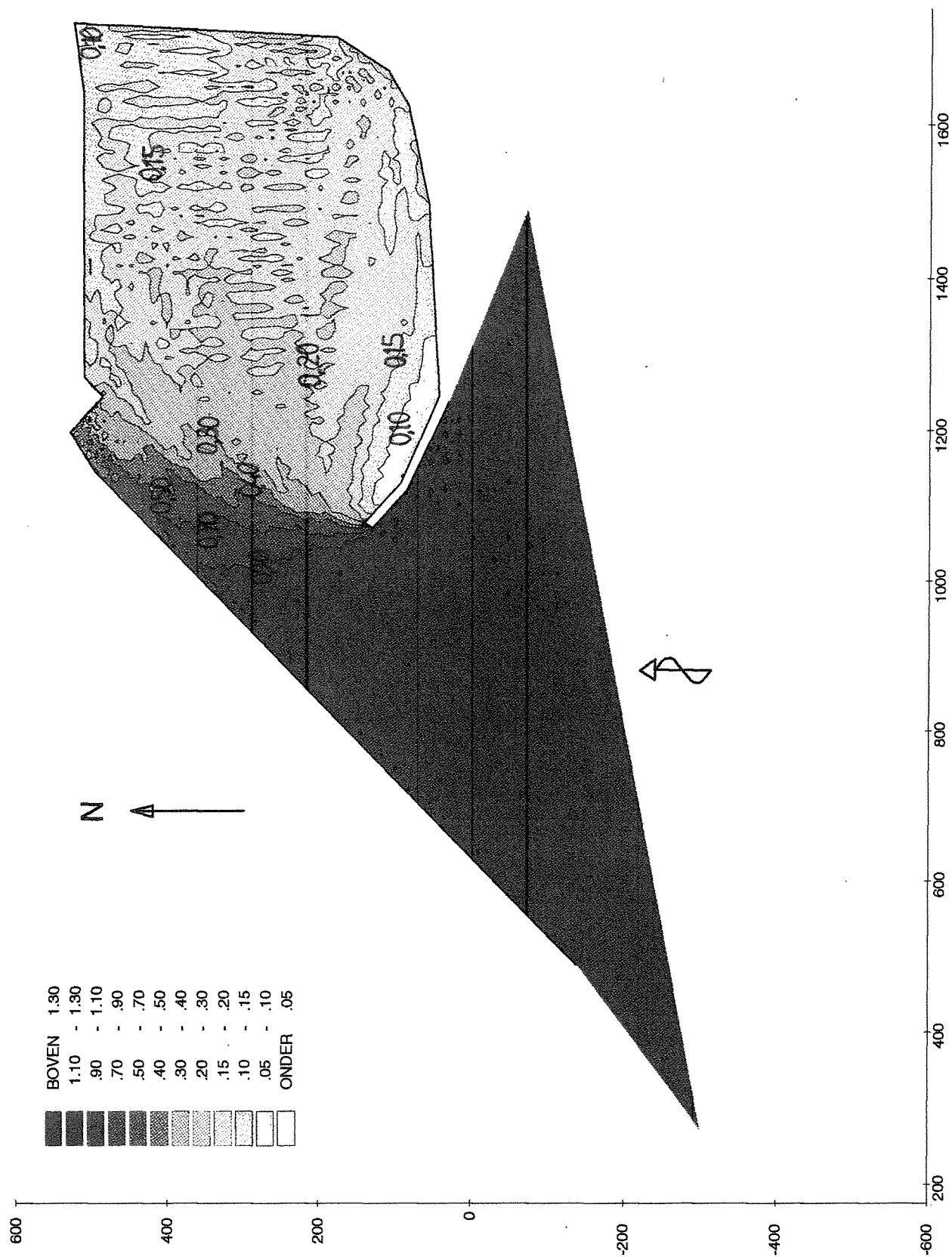
Schaal 1 : 7500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 2280

Fig. 4.1

BIJLAGE 2.1



Golfoordring met richtingspreiding

Hoofdricting 180 gr. N., T = 4.8 s.

KRB1R2

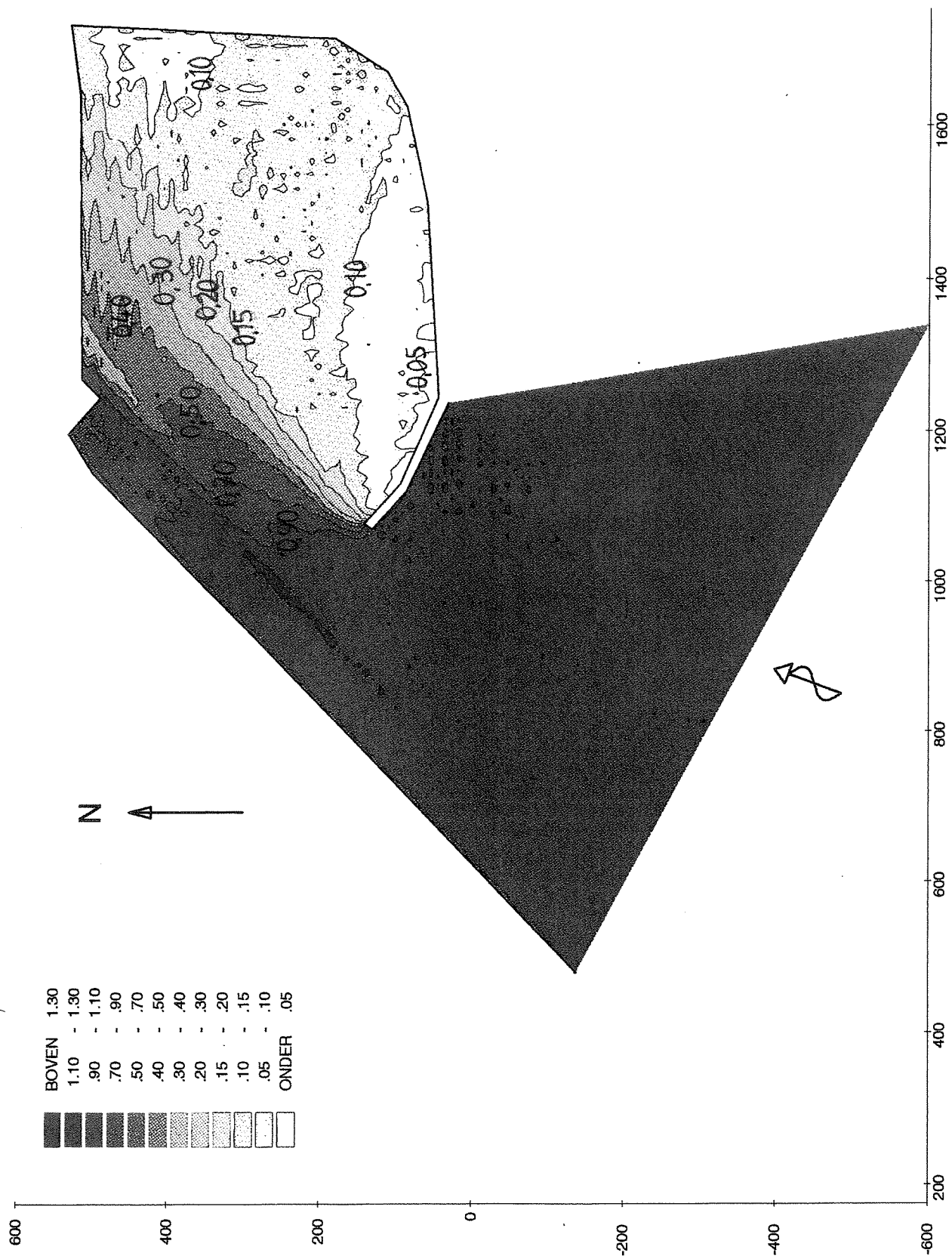
Schaal 1 : 7500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 2280

Fig. 4.2

BIJLAGE 2.2



Golfdoordringing met richtingsspreiding

Hoofdrichting 200 gr. N., T = 4.8 s.

KRB2R1

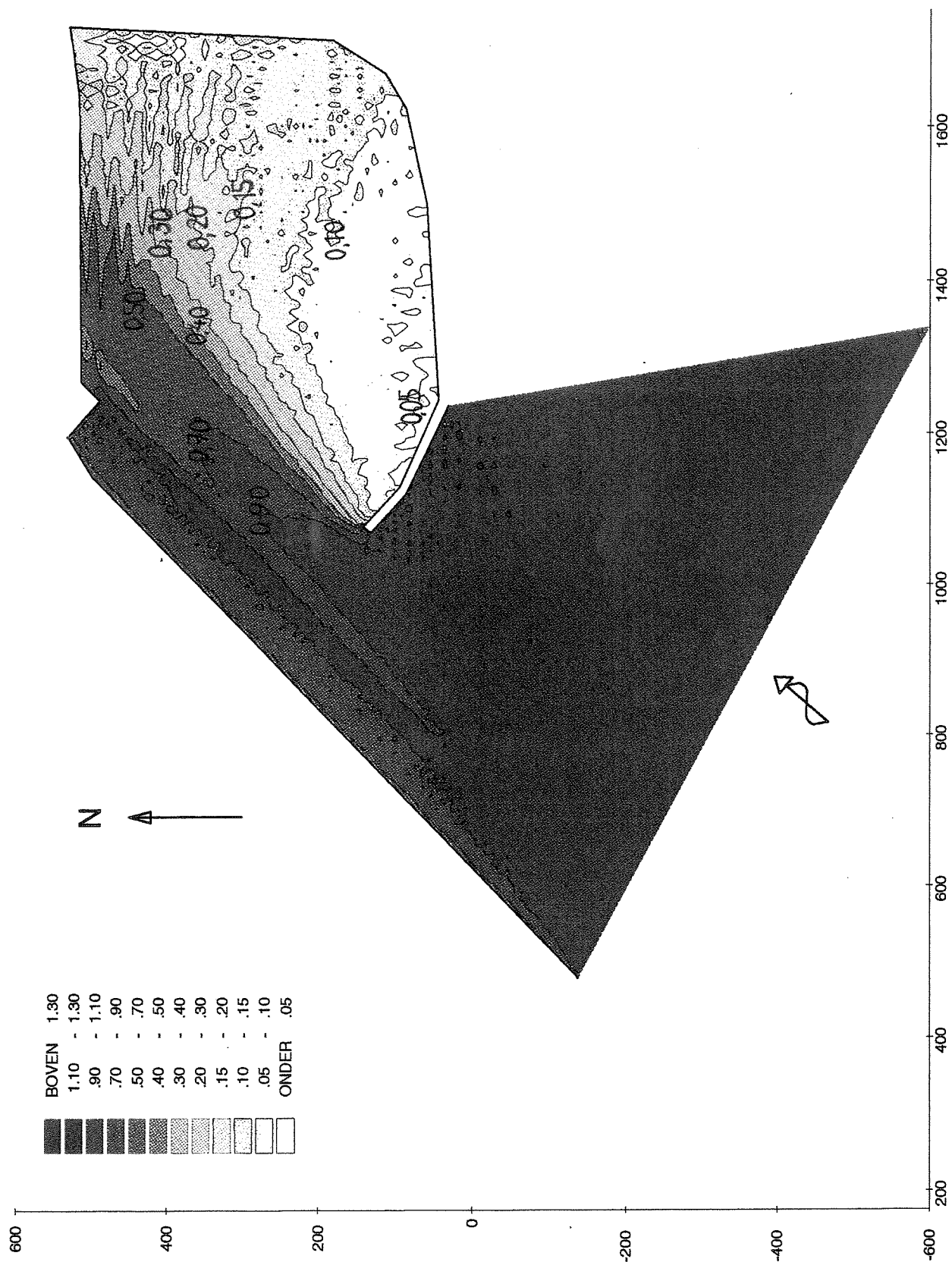
Schaal 1 : 7500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 2280

Fig. 4.3

BIJLAGE 2.3



Golfoordringing met richtingsspreiding

Hoofdrichting 220 gr. N., T = 4.8 s.

KRB2R2

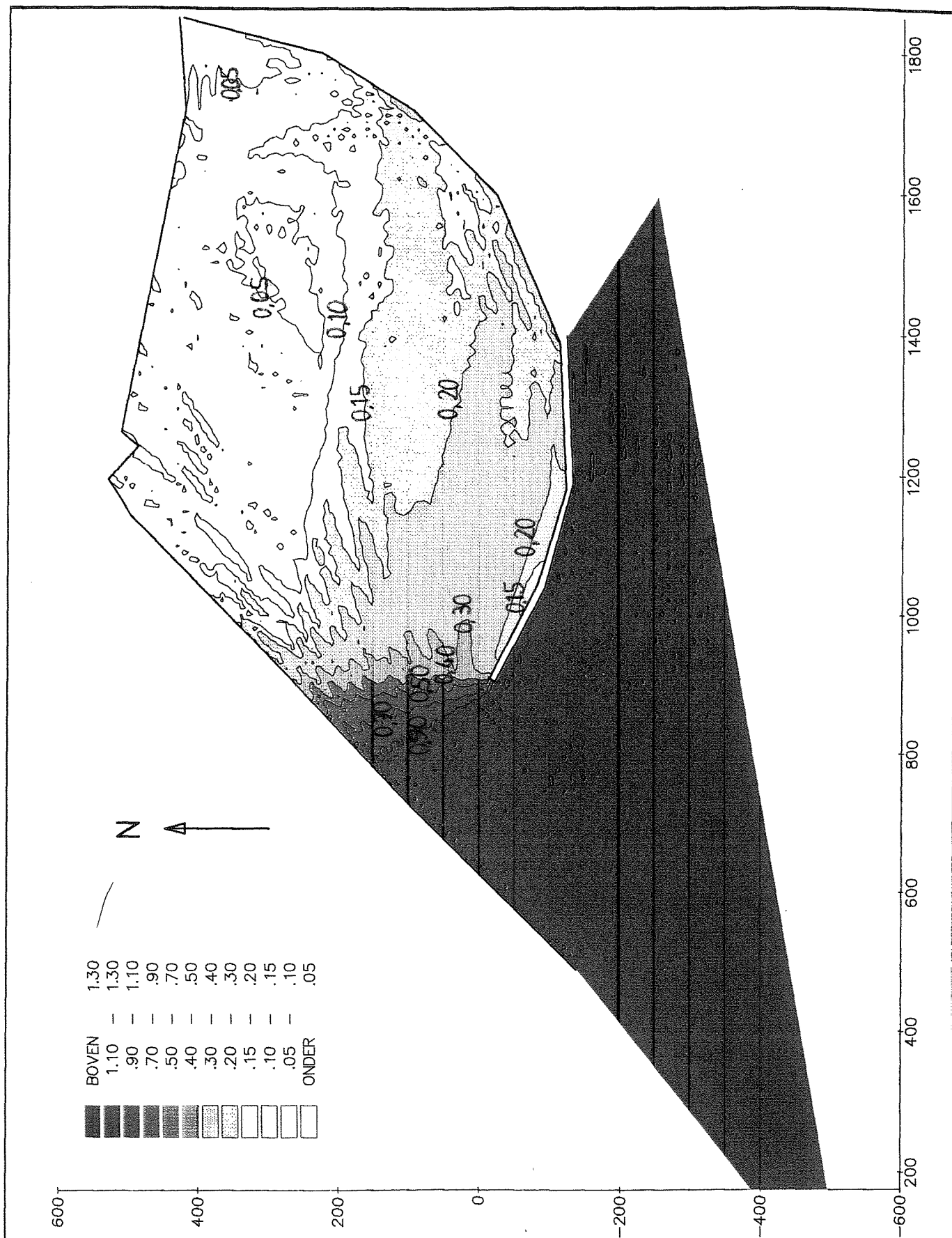
Schaal 1 : 7500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 2280

Fig. 4.4

BIJLAGE 2.4



Golfoordringing met richtingsverspreiding

Hoofdriching 160 gr. N., T = 4.8 s.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

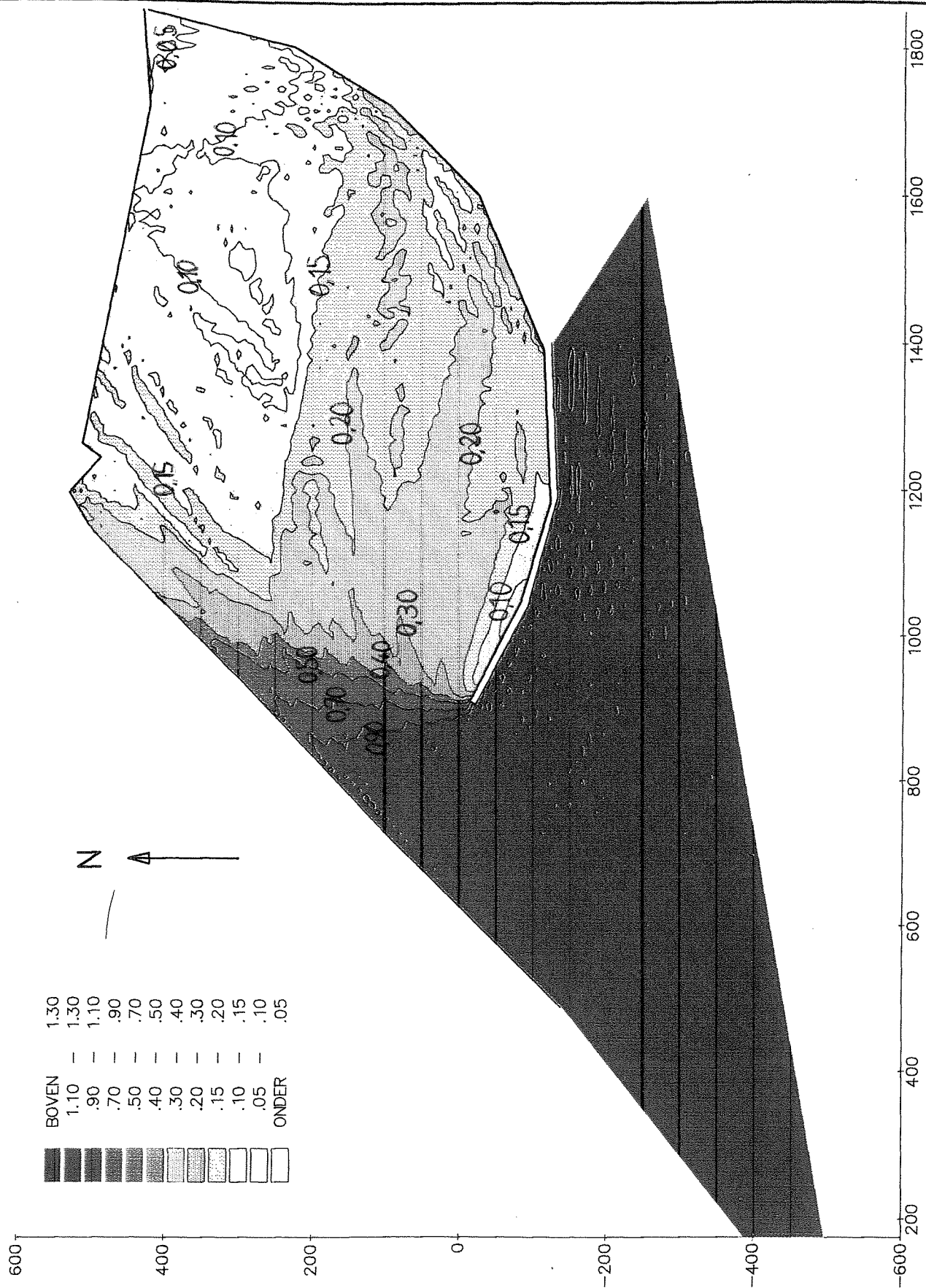
KRB3R1

Schaal 1 : 7500

H 2280

Fig. 2.10

BIJLAGE 3.1



Golfdoordringing met richtingsspread

Hoofdrichting 180 gr. N., T = 4.8 s.

KRB3R2

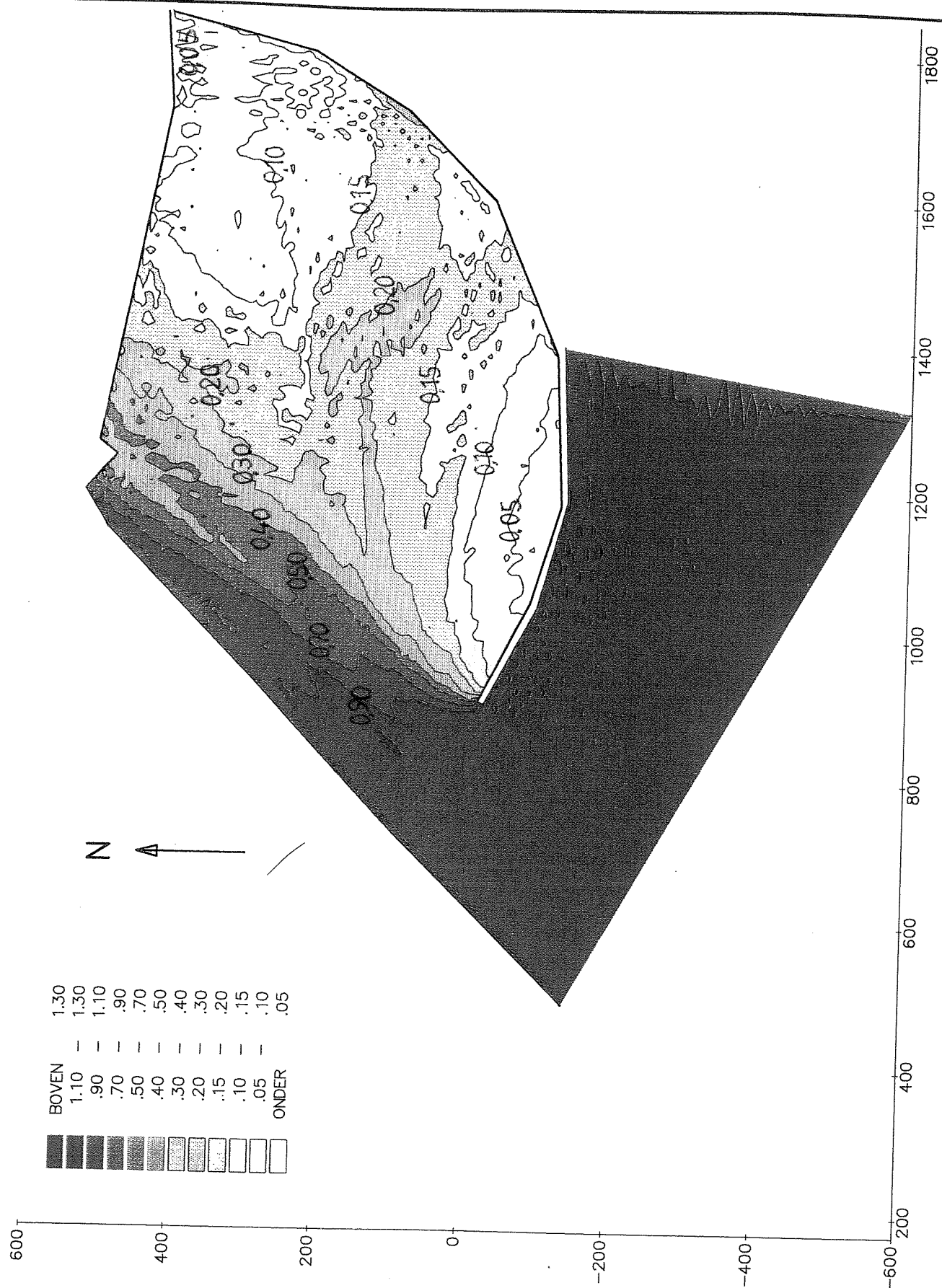
Schaal 1 : 7500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 2280

Fig. 2.11

BIJLAGE 3.2



Golfoordring met richtingsspreiding

Hoofdrichting 200 gr. N., $T = 4.8$ s.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

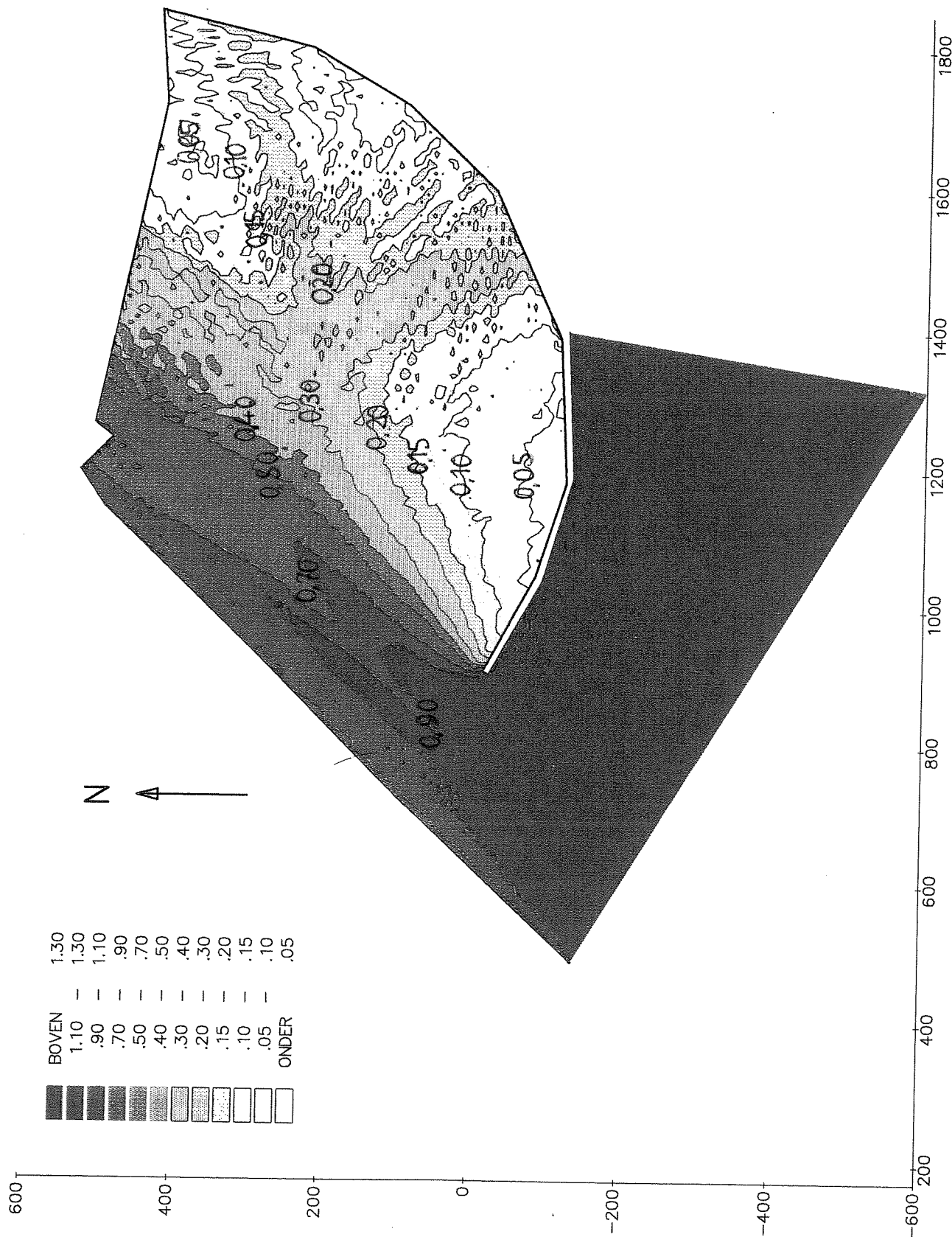
KRB4R1

Schaal 1 : 7500

H 2280

Fig. 2.12

BIJLAGE 3.3



Golfdoordringing met richtings spreiding

Hoofdrichting 220 gr. N., T = 4.8 s.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

KRB4R2

Schaal 1 : 7500

H 2280

Fig. 2.13

BIJLAGE 3.4

SITUATIE
SCHAAL 1 : 10.000



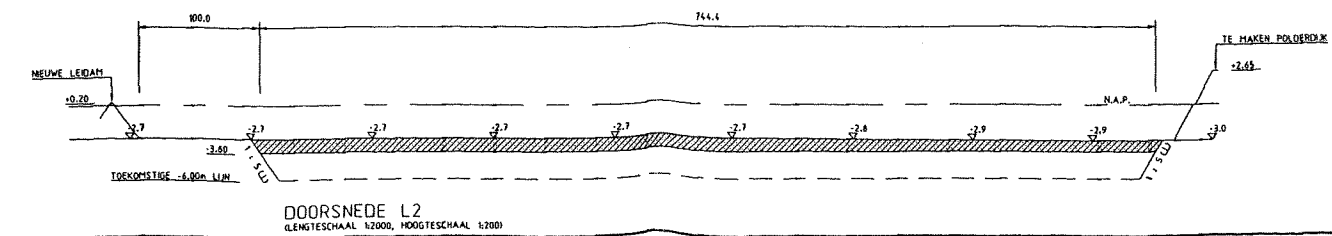
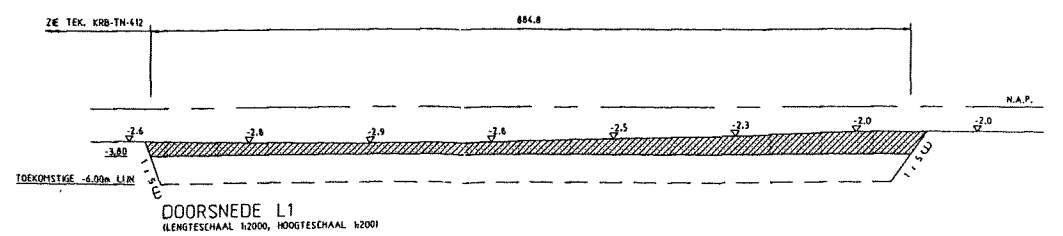
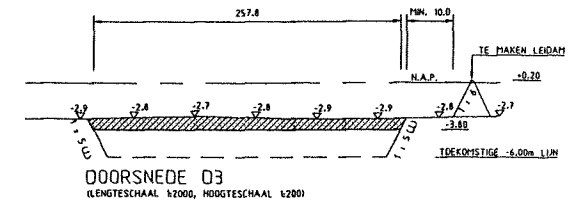
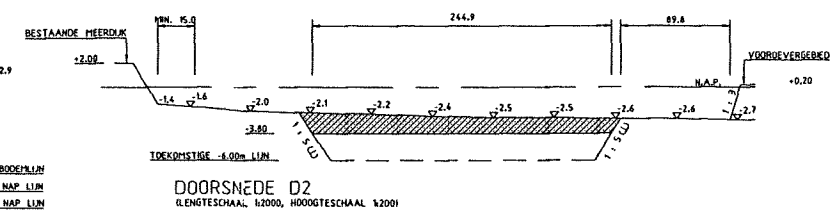
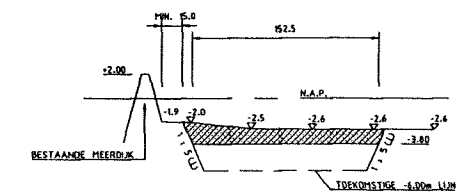
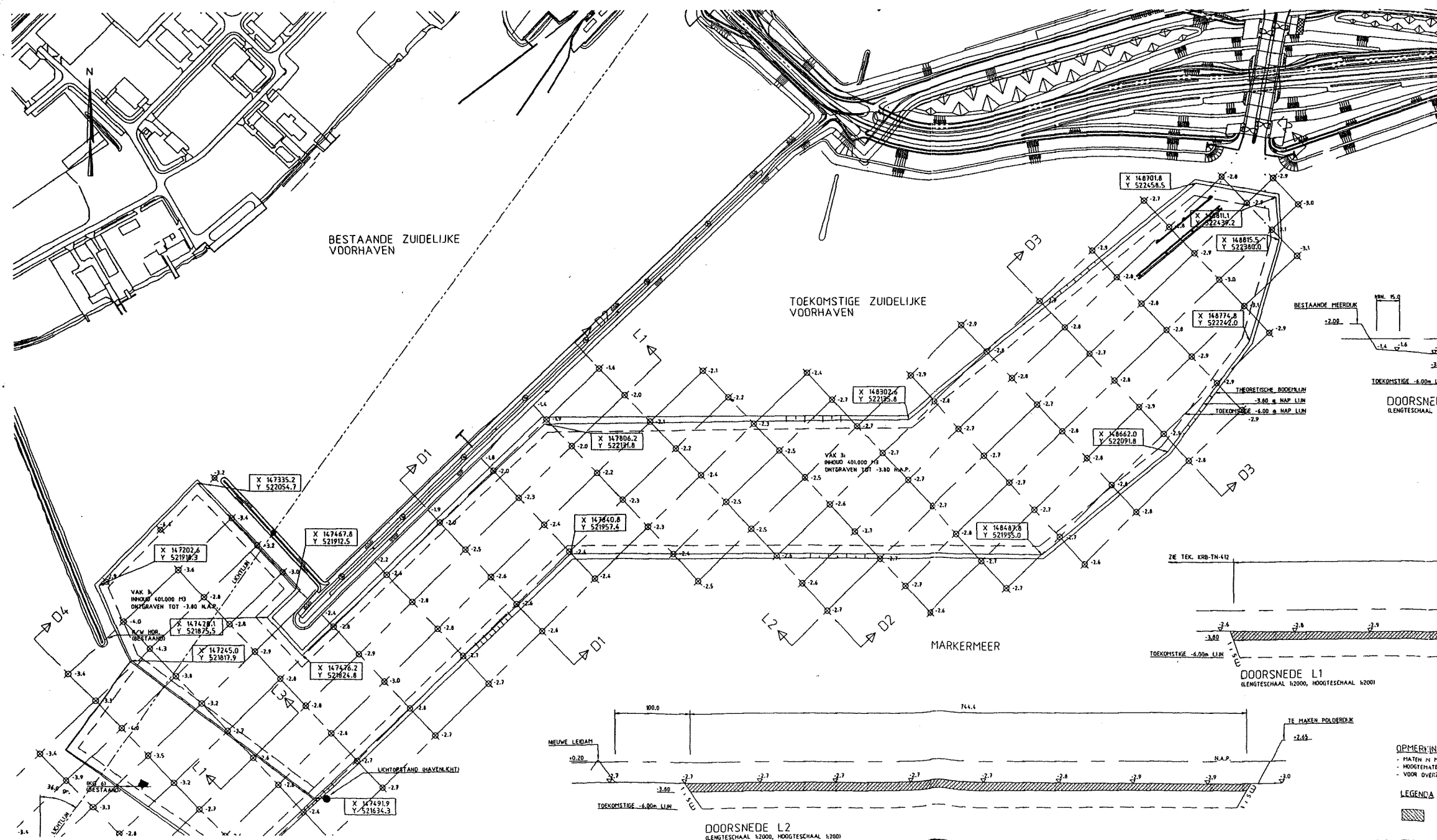
ENKHUIZEN

KRABBERSGATSLUIS

SPUISLUIS

MEERDIJK MET WINDMOLENS (E.N.W.)

TE MAKEN WERK



Projectie van Verkeers en Waterstaat		Bouwdienst Rijkswaterstaat	
Directie-Generaal Rijkswaterstaat		Afdeling Rijkswaterstaat	
NAALDWIJD KRABBERSGAT		ZUIDELIJKE VOORHAVEN, UITDEPEN	
SITUATIE MET LANGS- EN DWARSDOORSNEDEN		1:2000	
datum	naam	paraaf	schied
20-03-1999	K. HEST		
afgekeurd	in overal	in	in
A	B	C	D
gepland			
A2x2.5		KRB-TN-406	

Bijlage 6

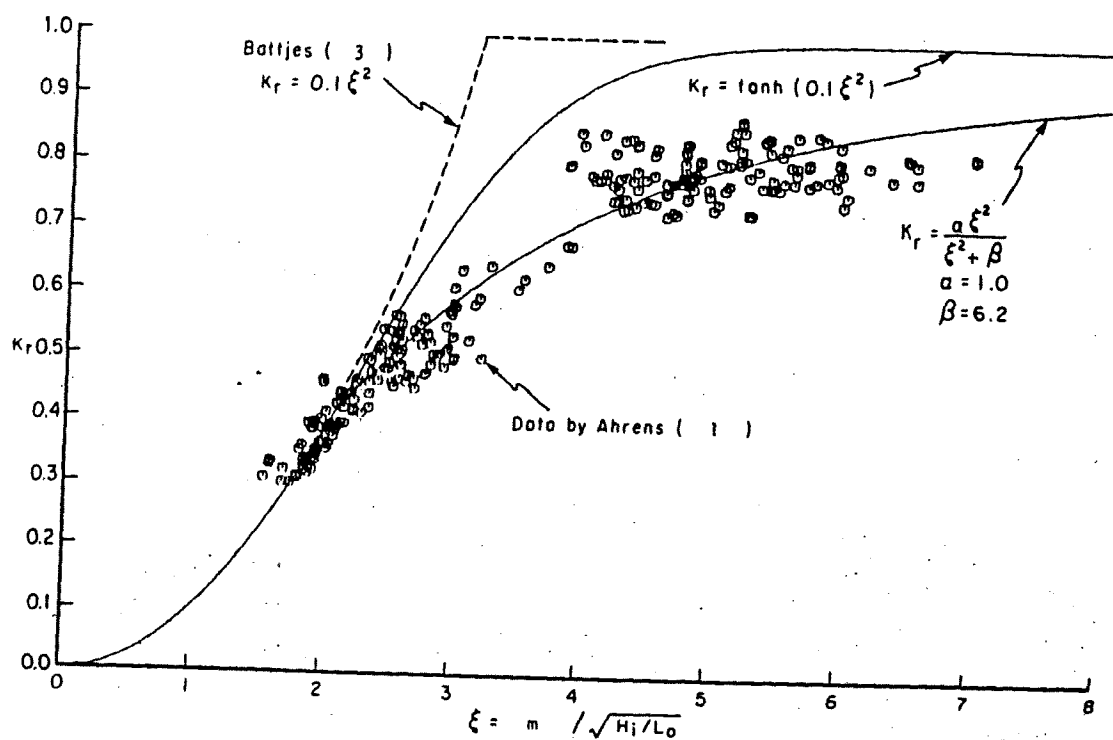


Figure 1. Irregular wave reflection for a 1 on 2.5 smooth slope

Bijlage 7

In onderstaande tabel is aangegeven welke condities voor de SWAN-berekeningen in de figuren zijn afgebeeld. Voor de algemene en de lokale golfgroei berekening geldt dat deze allen zijn uitgevoerd bij een windsnelheid van 16 m/s.

Tabel 7.1 SWAN-condities en bijhorende figuurnummers

Bodem	Golfrichting (tov °N)	Algemeen	Golfdoordringing	Lokale golfgroei
Huidige bodem	-	1.0		
(met reflectie) ¹⁾	160	1.11		
	180	1.21		
	200	1.31		
	220	1.41		
WL-bodem	-	2.0		
(met reflectie) ²⁾	160	2.11	2.12	2.13
	180	2.21	2.22	2.23
	200	2.31	2.32	2.33
	220	2.41	2.42	2.43
WL-bodem	160		3.12	
	180		3.22	
	200		3.32	
	220		3.42	
Huidige bodem	160	4.11	4.12	4.13
(met reflectie) ²⁾	180	4.21	4.22	4.23
	200	4.31	4.32	4.33
	220	4.41	4.42	4.43

¹⁾ reflectiecoëfficiënten volgens aangepaste uitgangspunten

²⁾ reflectiecoëfficiënten volgens WL-uitgangspunten

Bijlage 8

Uit: Waal, H. de, mei 2000. Windonderzoek – overzicht, projectfase 2: variatie in tijd en ruimte, p. 19; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, RIZA, Lelystad

z_0 (m)	0.0001	0.0010	0.0100	0.1000	1.000
z (m)					
60.0	1.16	1.19	1.26	1.39	1.78
50.0	1.14	1.17	1.23	1.35	1.70
40.0	1.12	1.15	1.20	1.30	1.60
30.0	1.10	1.12	1.16	1.24	1.48
20.0	1.06	1.08	1.10	1.15	1.30
15.0	1.04	1.04	1.06	1.09	1.18
12.0	1.02	1.02	1.03	1.04	1.08
10.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
8.0	0.98	0.98	0.97	0.95	0.90
6.0	0.96	0.94	0.93	0.89	0.78
4.0	0.92	0.90	0.87	0.80	0.60
2.0	0.86	0.83	0.77	0.65	0.30
1.0	0.80	0.75	0.67	0.50	0.00

Tabel 1 Relatieve windsnelheid U_z/U_{10} (-) in de oppervlaktelaag

Type	z_0 (m)	U_{10}/U_* (-)	U_p/U_{10} (-)	U_m/U_{10} (-)
	0.0001	12.5	0.88	1.16
Water	0.0002	11.7	0.89	1.17
	0.0010	10.0	0.91	1.19
Glad	0.0050	8.3	0.94	1.24
	0.0100	7.5	0.96	1.26
Open	0.0300	6.3	1.00	1.31
Ruwweg open	0.1000	5.0	1.06	1.39
Ruw	0.2500	4.0	1.14	1.49
Zeer ruw	0.5000	3.3	1.22	1.60
gesloten	1.0000	2.5	1.36	1.78

Tabel 2 Verhoudingen van karakteristieke windsnelheden bij verschillende lokale ruwheden

U_z = een gemeten windsnelheid op een hoogte z (in m/s)
 U_{10} = windsnelheid op een meethoogte van $z = 10$ m (in m/s)
 U_* = turbulente wrijvingsgssnelheid (in m/s)
 U_p = potentiële windsnelheid (een fictieve wind, in m/s)
 U_m = mesowindsnelheid (een werkelijke wind, in m/s)

Scheepstellingen Krabbersgatsluis 1999 (bron AVV)

Binnenvaart - vrachtvervoerend code 1 t/m 39

totaal aantal vrachtvoerende binnenvaartschepen in 1999: 4871

Lengte van het schip	80-89 m	90-99 m	100-109 m	110 m
Bijbehorende CEMT-klasse	IV	V		Va
Aantal schepen	613	293	33	25
Percentage van totaal (4871)	12,6%	6,0%	0,7%	0,5%

Zeevaart - vrachtvervoerend code 50 t/m 54

totaal aantal vrachtvoerende zeevaartschepen in 1999: 251

	scheepscode	Lengte van het schip				
		70 m	73 m	79 m	< 89 m	105 m
Aantal schepen	50				245	2
	51			1		
	52	2				
	53		1			
	54					geen
Percentage van totaal (251)		0,8%	0,4%	0,4%	97,6%	0,8%

(vrachtschip voor stukgoed)
 (containerschip, ro-ro vrachtschip, lash-schip)
 (bulkcarrier)
 (tanker voor alle en andere vloeibare lading)
 (tanker voor samengeperste gassen)

Scheepstellingen Krabbersgatsluis 1998 (bron Jaaroverzicht 1998 RDIJ)

Deel van tabel 13: Containervaart aantallen TEU's in het IJsselmeergebied

KRABBERSGATSLUIS	JAAR					
	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Antwerpen-Bremen		174	185	313	282	
Antwerpen-Harlingen			1745		268	141
Rotterdam-Bremen	44	163	177	135	102	102
Rotterdam-Harlingen	7442	12017	16410	8483	3506	1641
Totaal Krabbersgatsluis	7486	12354	18517	8931	4158	1884
(totaal IJsselmeergebied)	12845	35262	36121	40526	46254	58531)
% van totaal	58,28	35,03	51,26	22,04	8,99	3,22 *

**containervaart door krabbersgatsluis
dus sterk aan het dalen!!**

*meer dan 95% van het containervervoer
door de Houtribsluizen (bij Lelystad)

Deel van bijlage 4: containervaart IJsselmeergebied 1998

Krabbergatsluis > Lorentzsluizen
> Oranjesluizen

Omschrijving	Schepen en containers					Schepen en containers			
	sch	20 ft	40 ft	teu		sch	20 ft	40 ft	teu
noordgaand:					zuidgaand:				
Rotterdam-Harlingen	32	671	185	1041	Harlingen-Rotterdam	28	356	122	600
Rotterdam-Bremen	1	6	26	58	Bremen-Rotterdam	1	44	0	44
Antwerpen-Bremen	0	0	0	0	Bremen-Antwerpen	0	0	0	0
Antwerpen-Harlingen	0	0	0	0	Harlingen-Antwerpen	4	141	0	141
Totaal noordgaand	33	677	211	1099	totaal zuidgaand	33	541	122	785
Totaal zuidgaand	33	541	122	785					
Totaal 1998	66	1218	333	1884					

Houtribsluizen

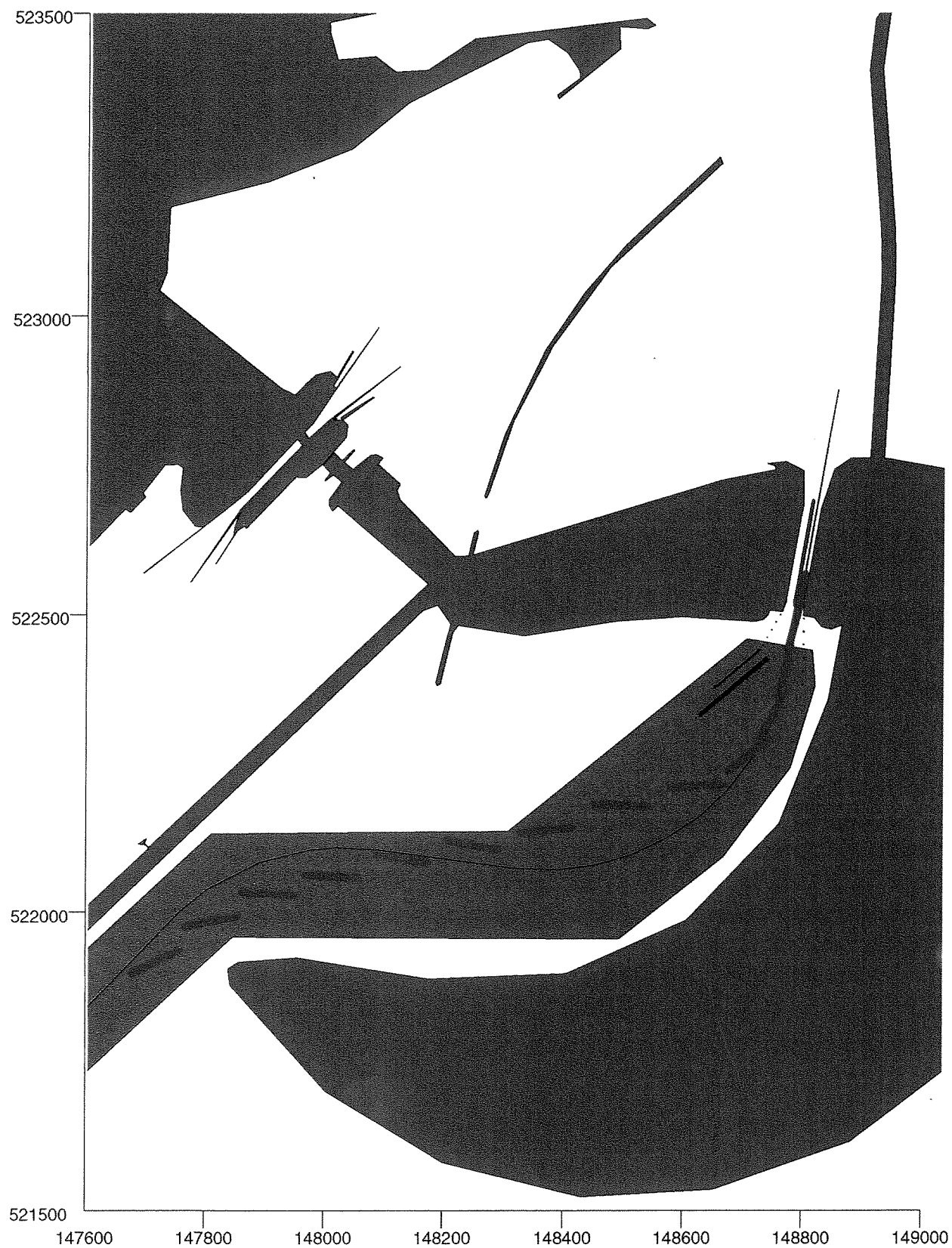
Totaal 1998	878	23921	16363	56647
--------------------	------------	--------------	--------------	--------------

Bijlage 11

In de onderstaande tabel zijn de condities van de in deze bijlage opgenomen Ship-Navigator simulaties weergegeven.

Tabel 11.1 Ship-Navigator condities en bijbehorende bijlagennummers

Vaarrichting	Golfinvloed	Windsnelheid & windrichting	Gebruik boegschroef	Bijlagennummer
Invaart	Inclusief	16 m/s, 180°N	Afwezig	11.1a
Uitvaart	Inclusief	16 m/s, 180°N	Afwezig	11.1b
Uitvaart	Inclusief	16 m/s, 180°N	Aanwezig	11.1c
Invaart	Inclusief	16 m/s, 210°N	Afwezig	11.2a
Invaart	Inclusief	16 m/s, 210°N	Aanwezig	11.2b
Uitvaart	Inclusief	16 m/s, 210°N	Afwezig	11.2c
Uitvaart	Inclusief	16 m/s, 210°N	Aanwezig	11.2d
Invaart	Inclusief	13 m/s, 240°N	Afwezig	11.3a
Uitvaart	Inclusief	13 m/s, 240°N	Afwezig	11.3b
Invaart	Inclusief	16 m/s, 240°N	Aanwezig	11.3c
Uitvaart	Inclusief	16 m/s, 240°N	Aanwezig	11.3d
Invaart	Exclusief	10 m/s, 270°N	Afwezig	11.4a
Invaart	Inclusief	13 m/s, 270°N	Aanwezig	11.4b
Invaart	Inclusief	16 m/s, 270°N	Aanwezig	11.4c
Uitvaart	Inclusief	16 m/s, 270°N	Aanwezig	11.4d



Invaart; inclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R01

runh1

Windsnelheid (U4): 16 m/s

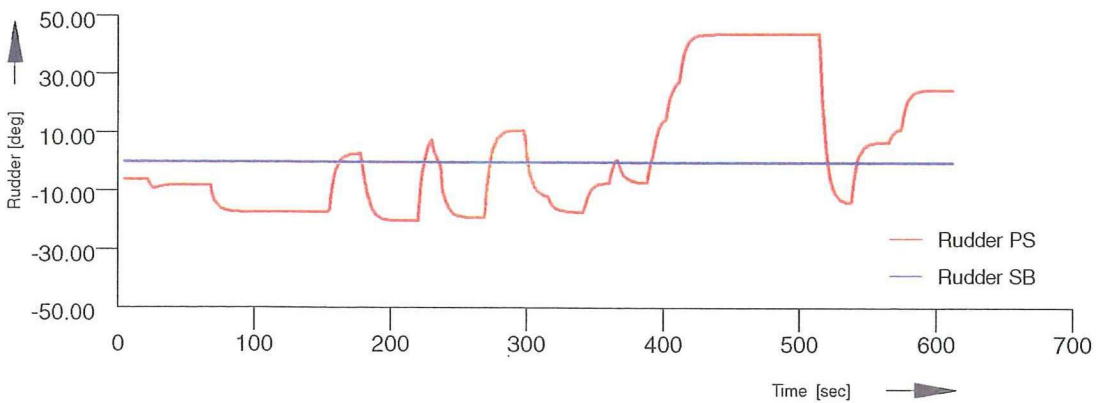
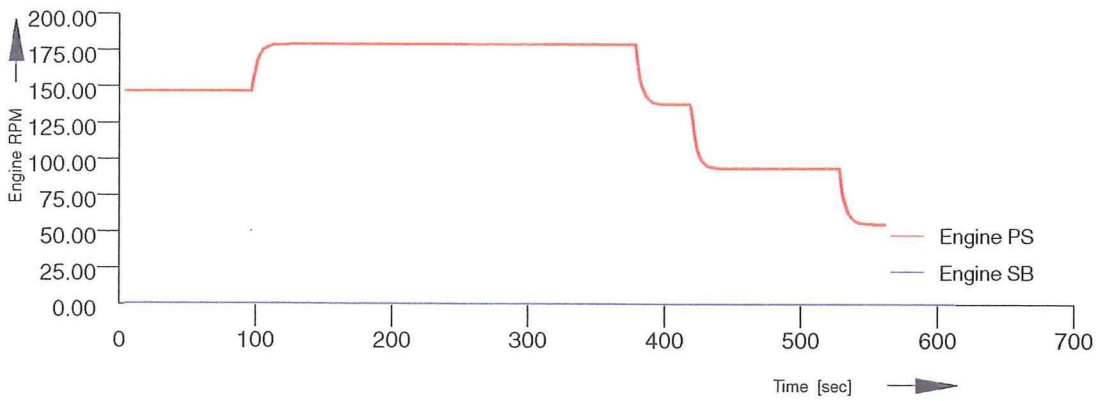
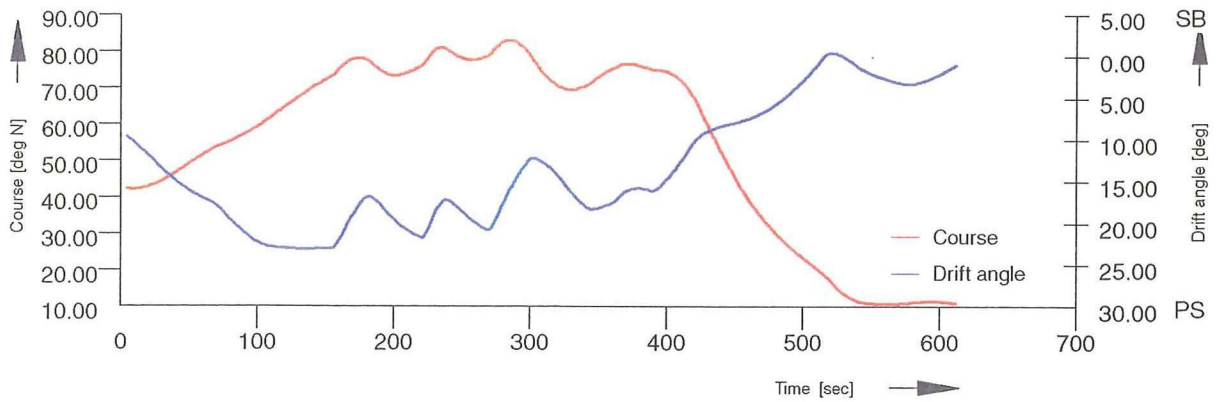
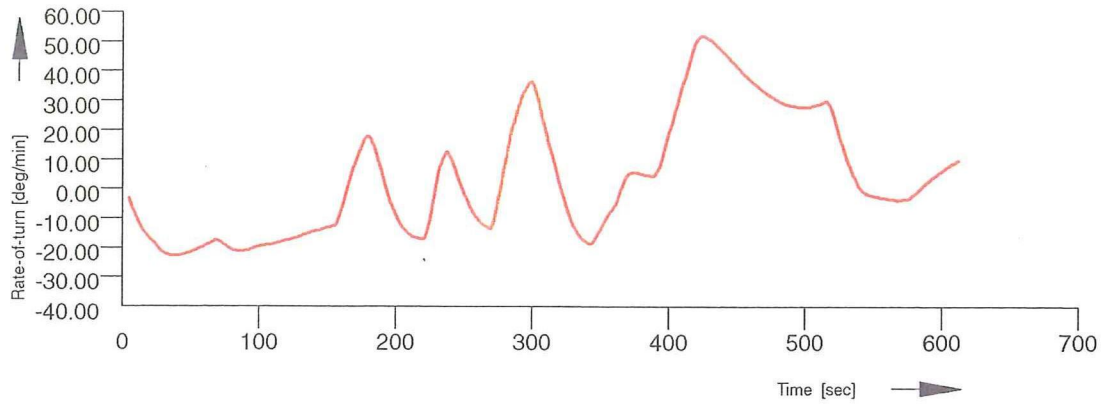
Windrichting: 180 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Alkyon

Bijlage 11.1a



Invaart; inclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 45 sec

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

R01

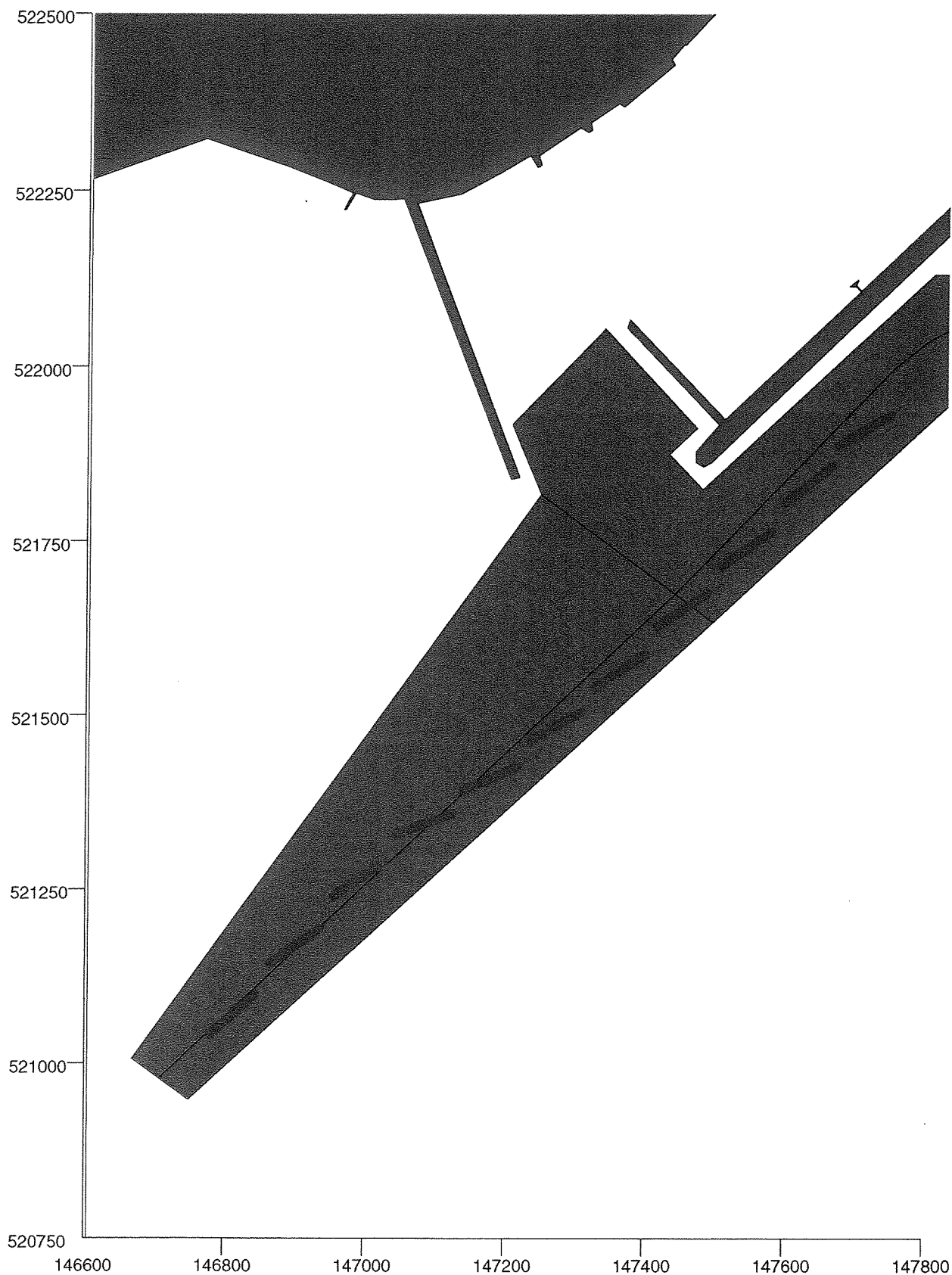
runh1

Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 180 gr. N



Bijlage 11.1a



Invaart; inclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R01

runv1

Windsnelheid (U4): 16 m/s

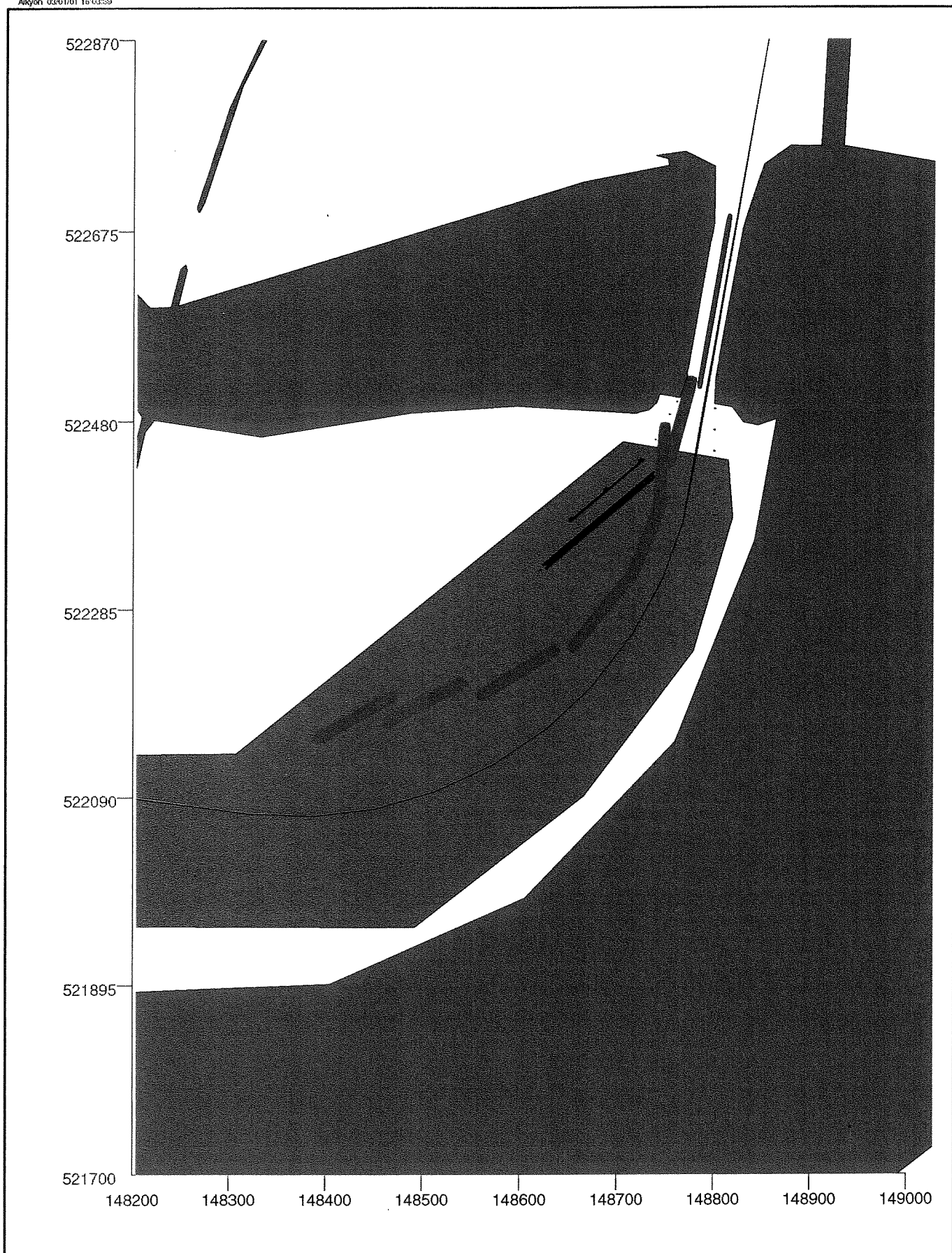
Windrichting: 180 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Alkyon

Bijlage 11.1a



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 30 sec

R05

runh1

Windsnelheid (U4): 16 m/s

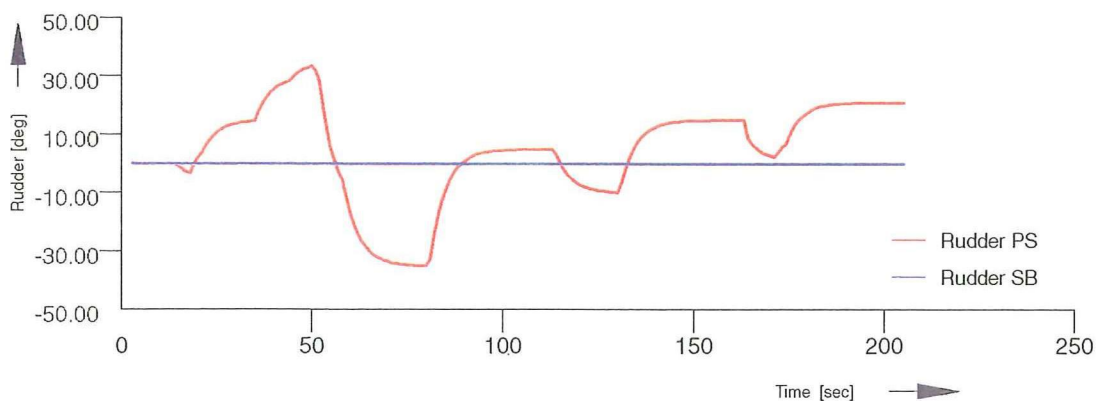
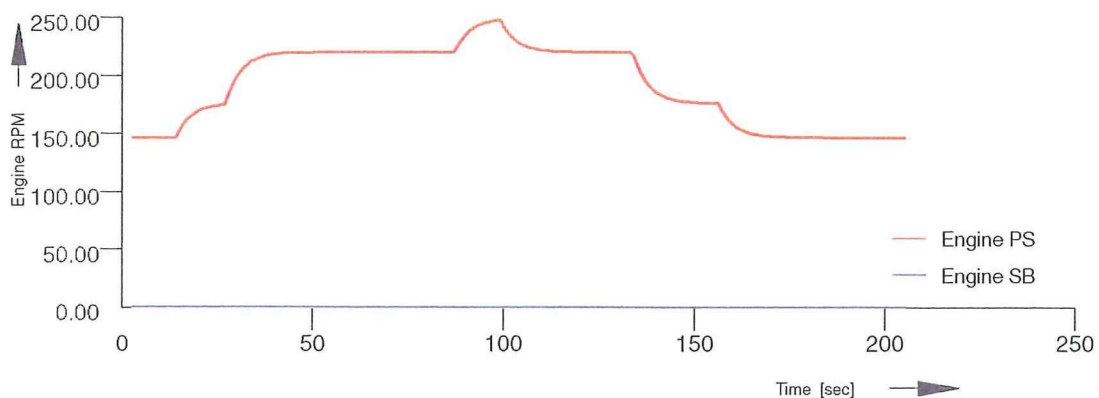
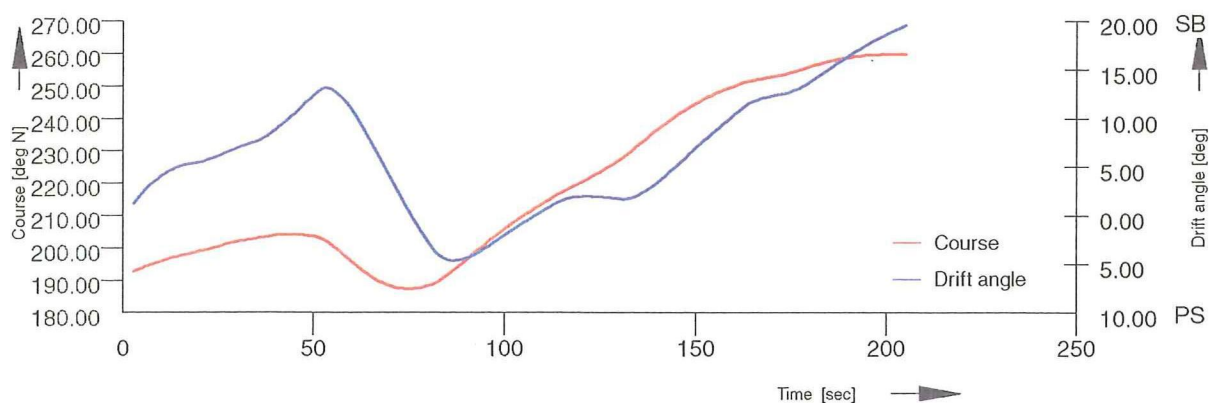
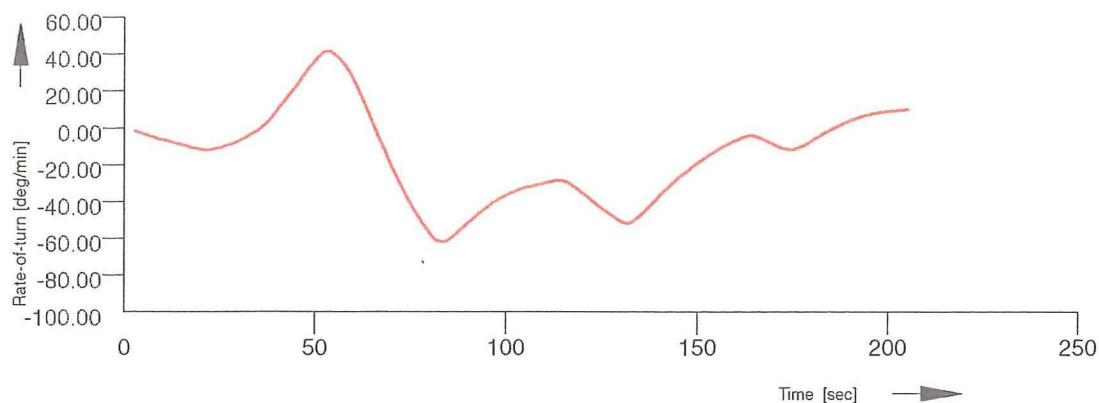
Windrichting: 180 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Alkyon

Bijlage 11.1b



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 30 sec

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

R05

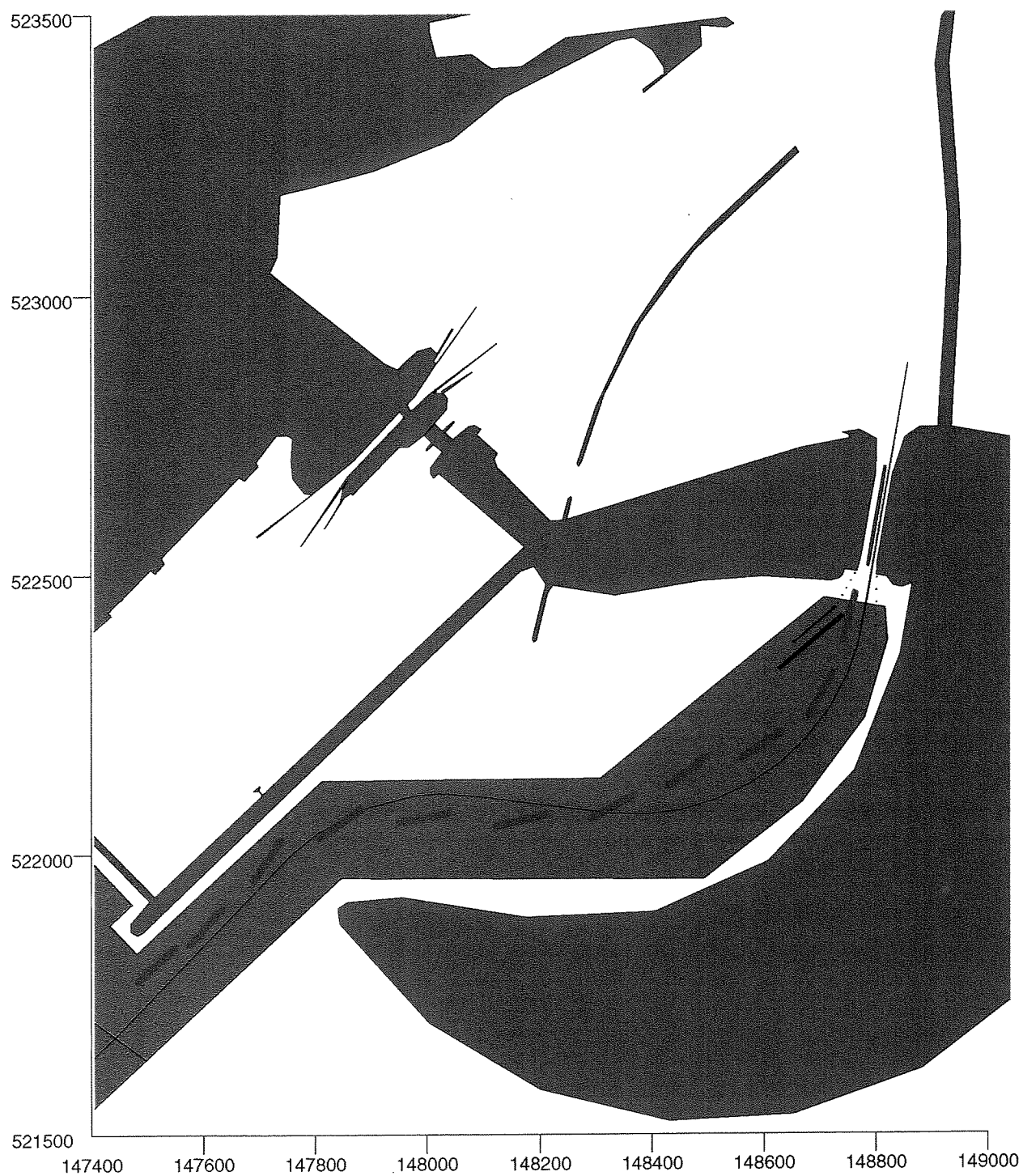
runh1

Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 180 gr. N



Bijlage 11.1b



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

R04

runh1

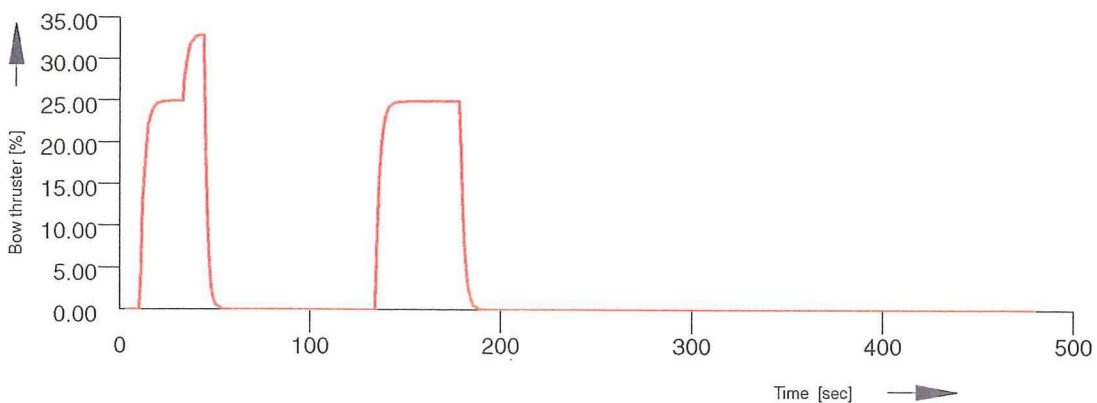
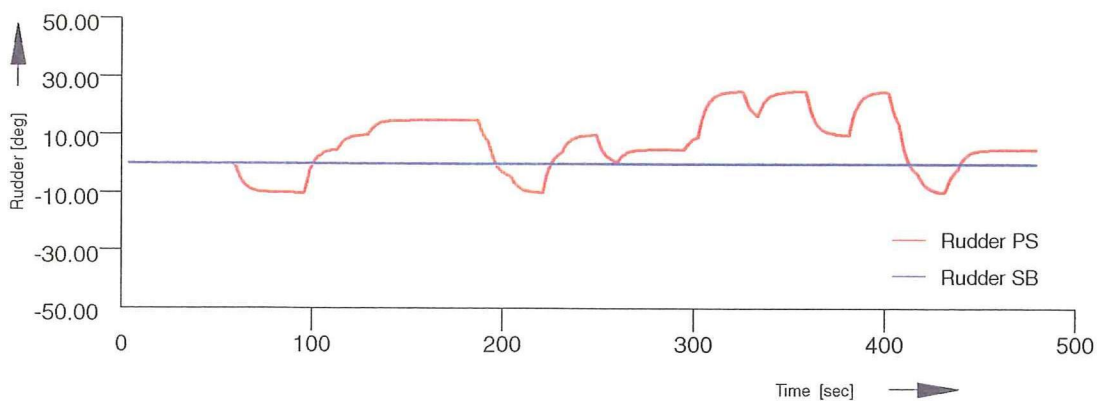
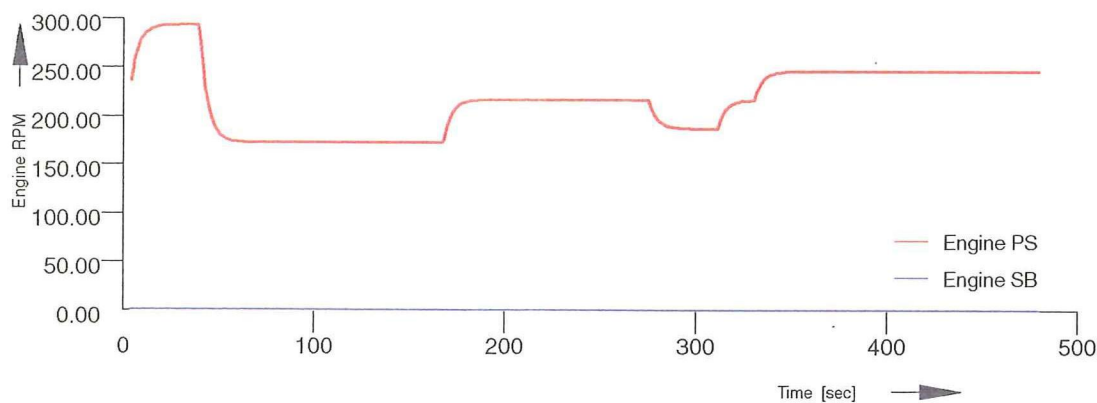
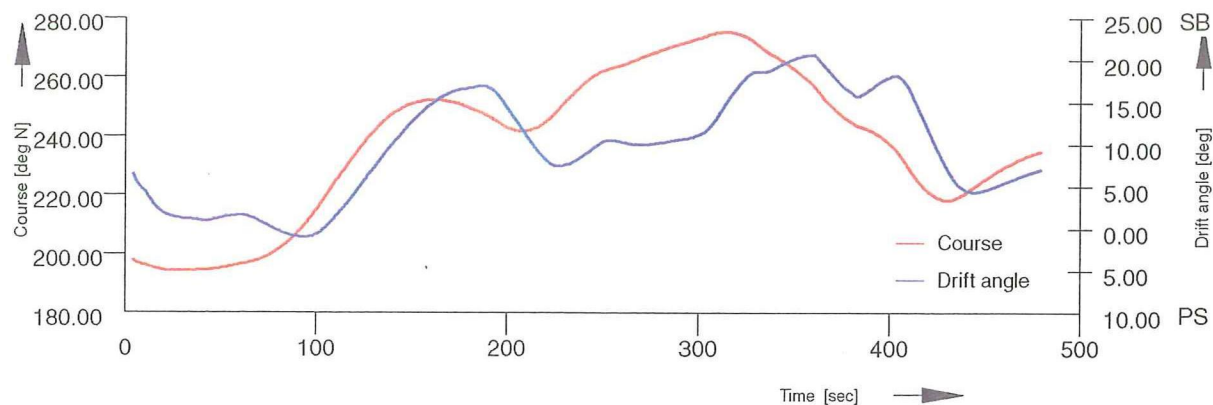
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 180gr. N



Alkyon

Bijlage 11.1c



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R04

runh1

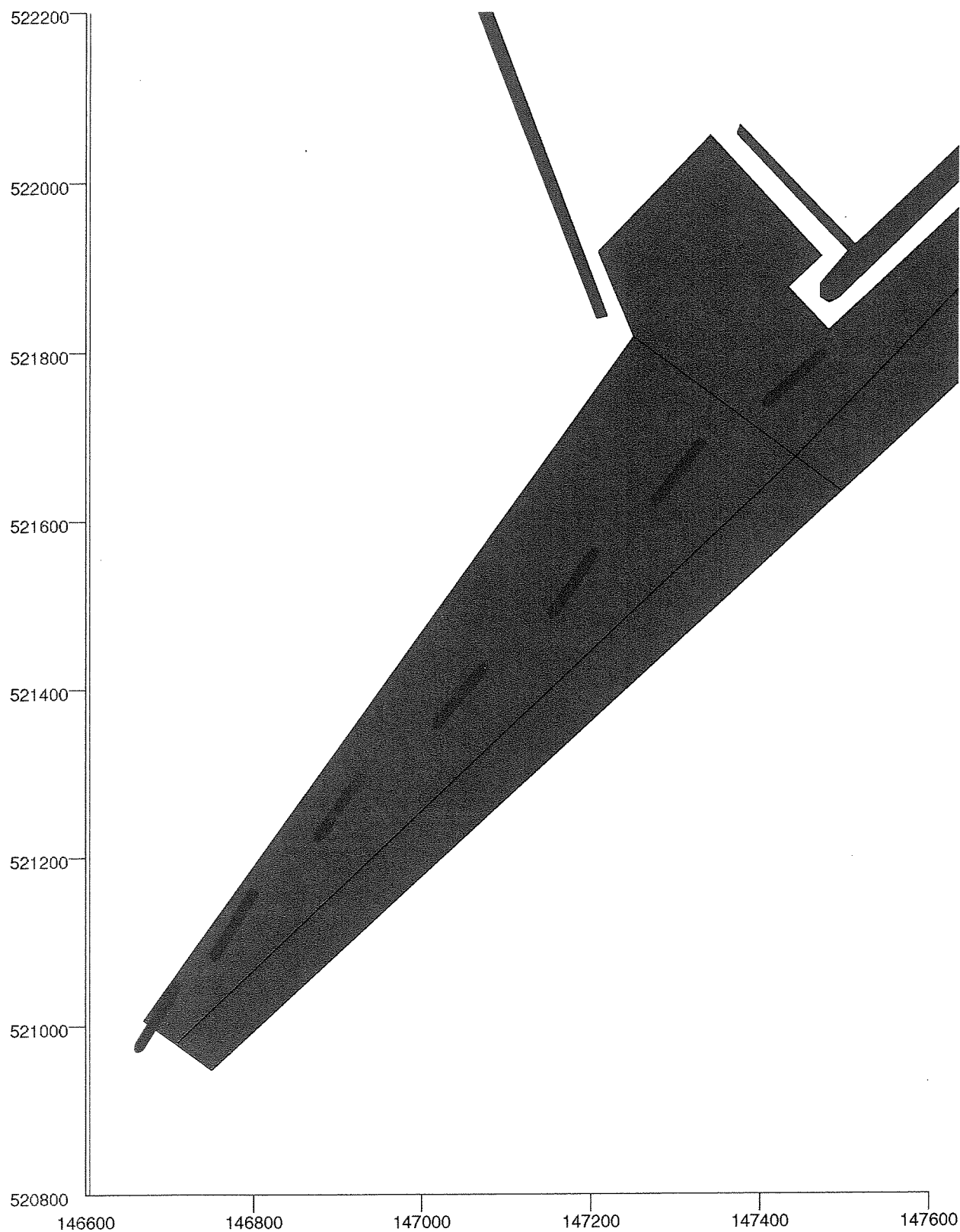
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 180 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

Alkyon

Bijlage 11.1c



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R02

runv1

Windsnelheid (U4): 16 m/s

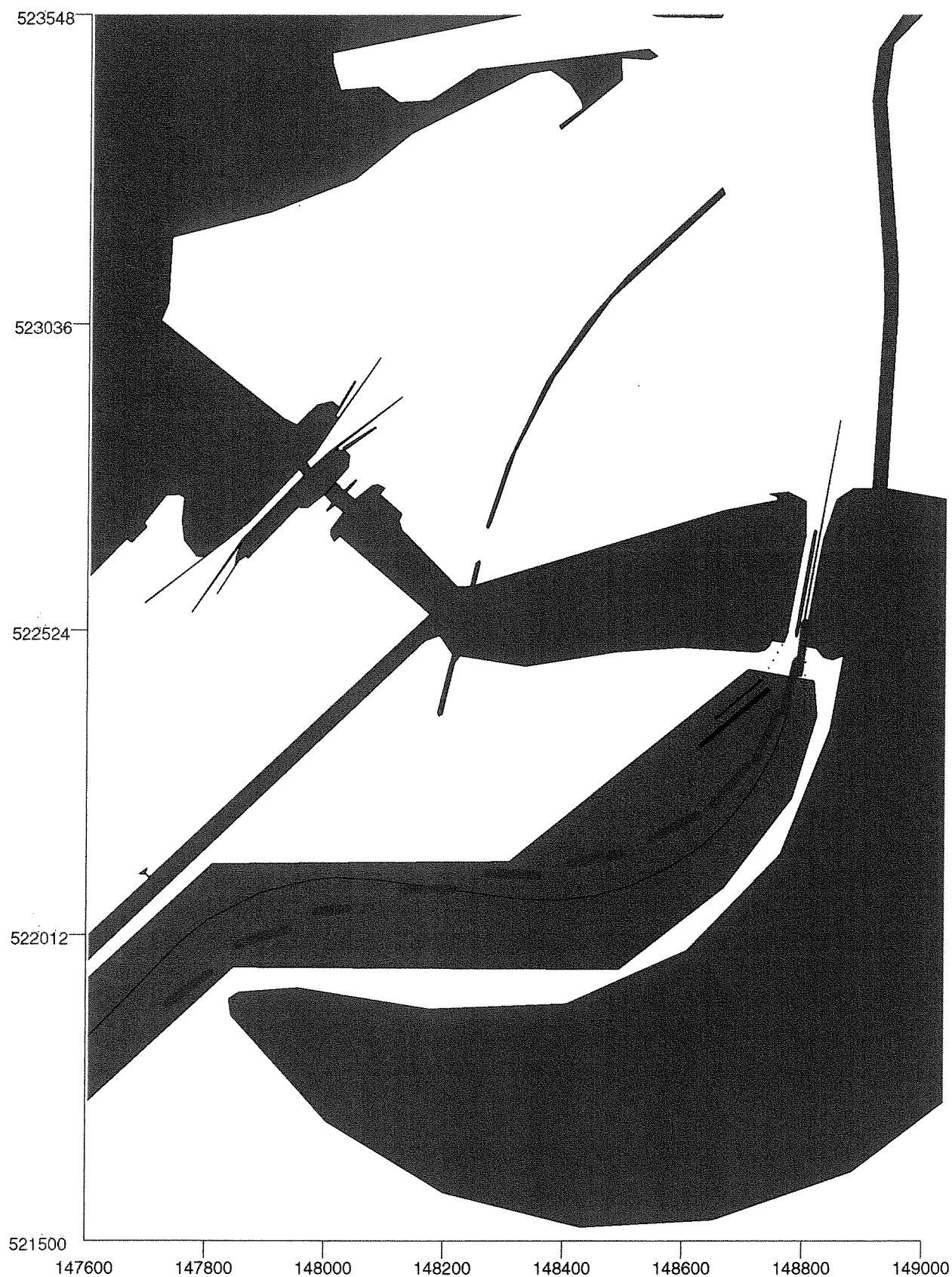
Windrichting: 180 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Alkyon

Bijlage 11.1c



Invaart; inclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R06

runh2

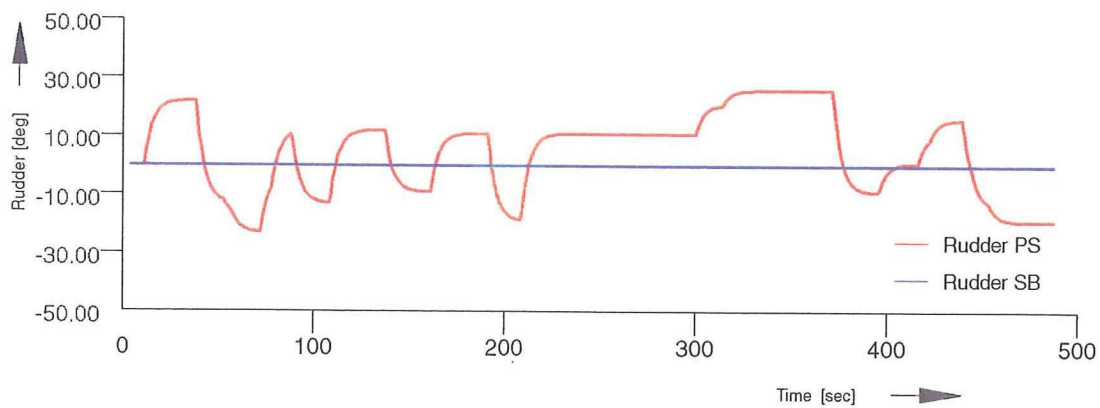
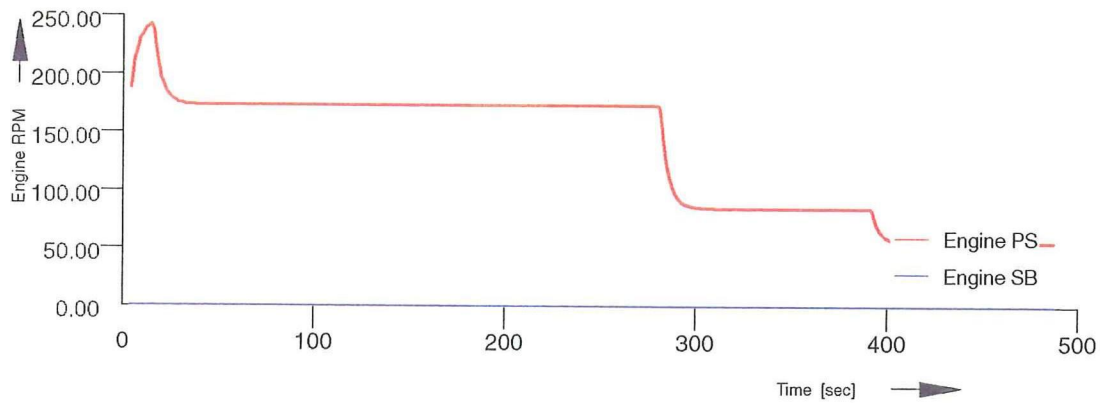
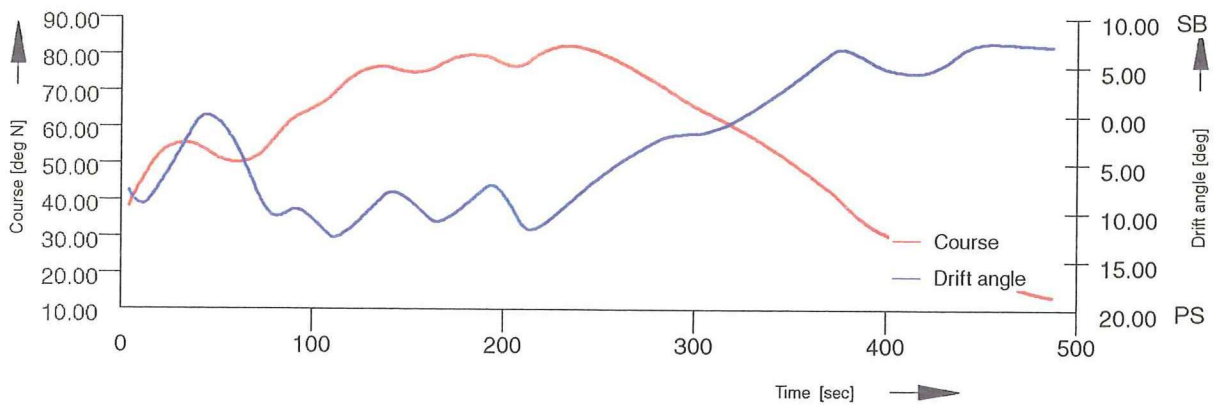
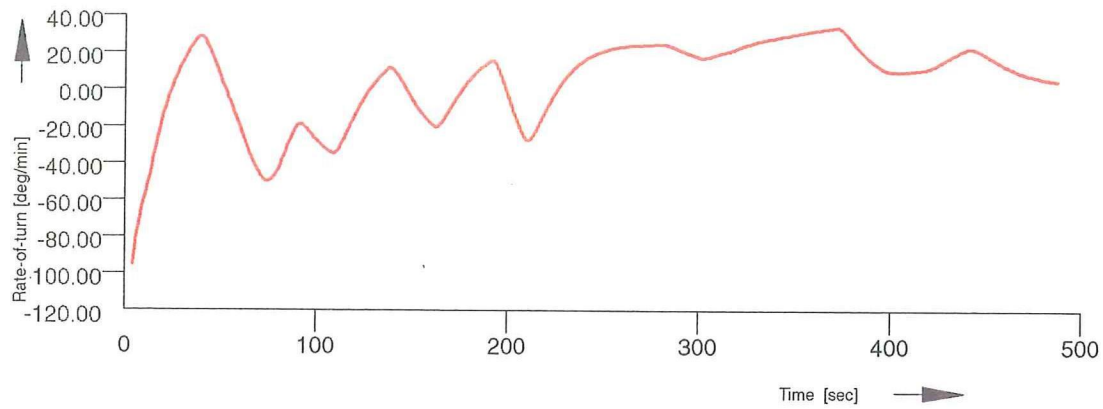
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 210 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

 Alkyon

Bijlage 11.2a



Invaart; inclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R06

runh2

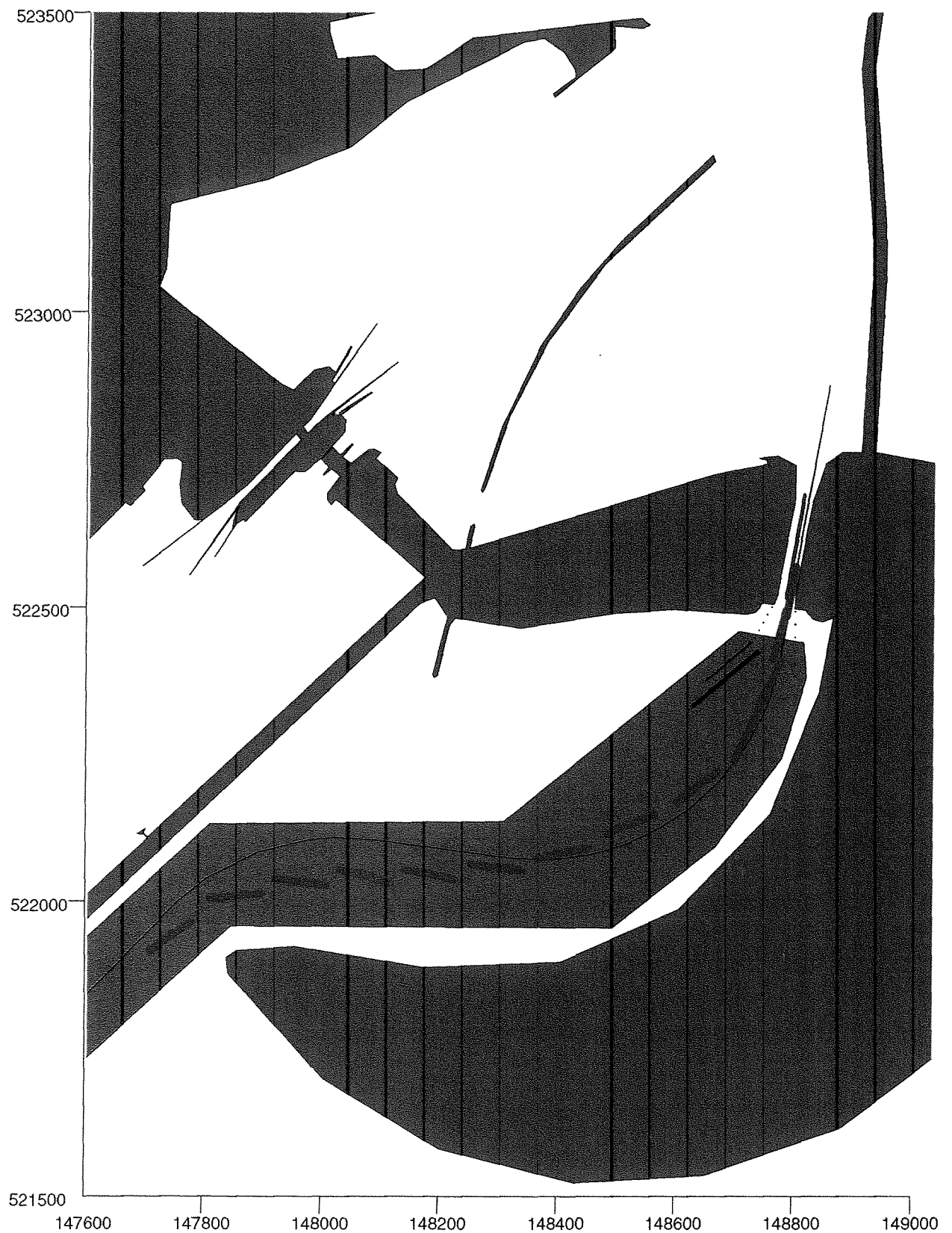
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 210 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Bijlage 11.2a



Invaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R01

runh2

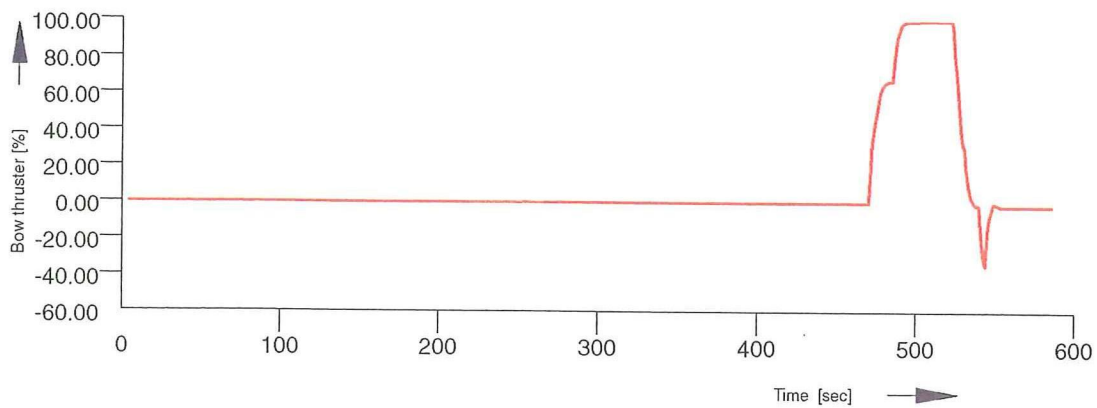
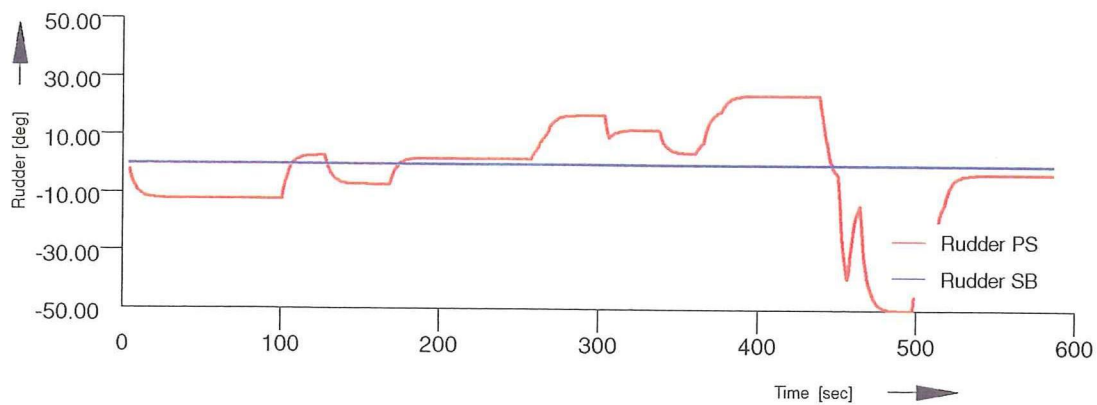
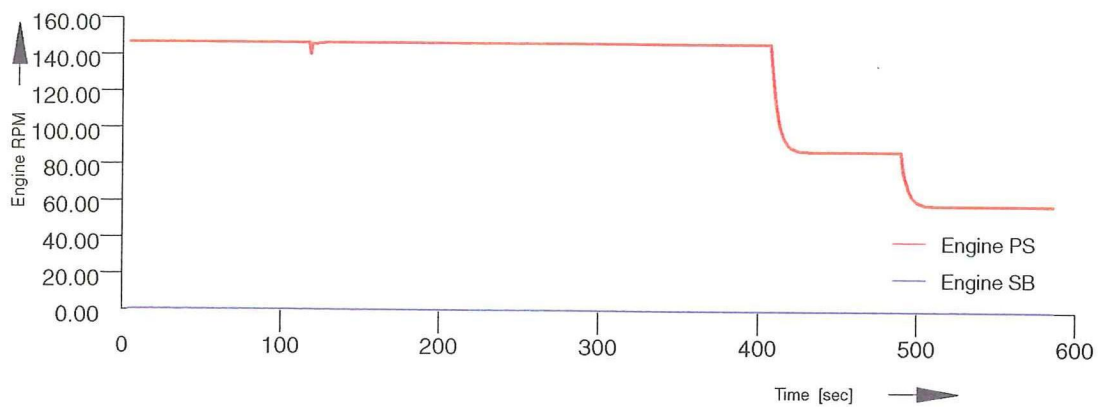
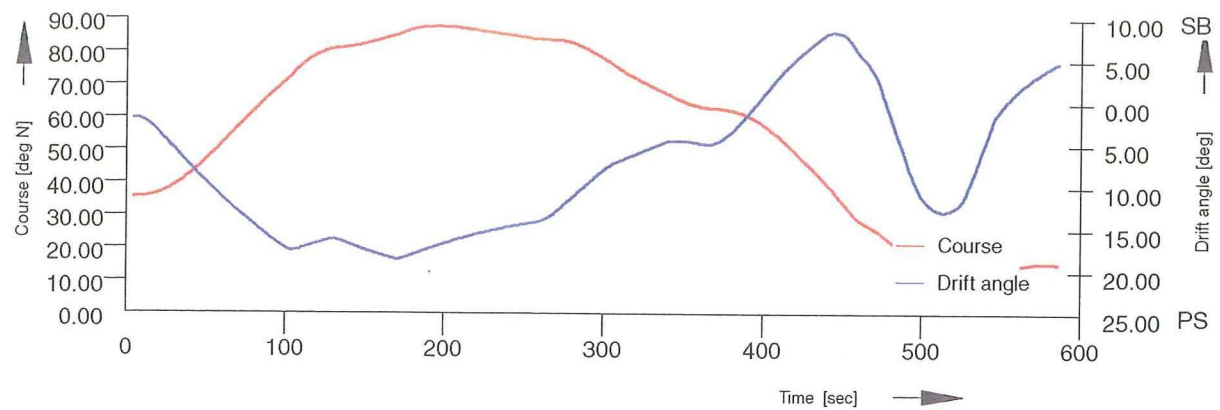
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 210 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Bijlage 11.2b



Invaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

R01

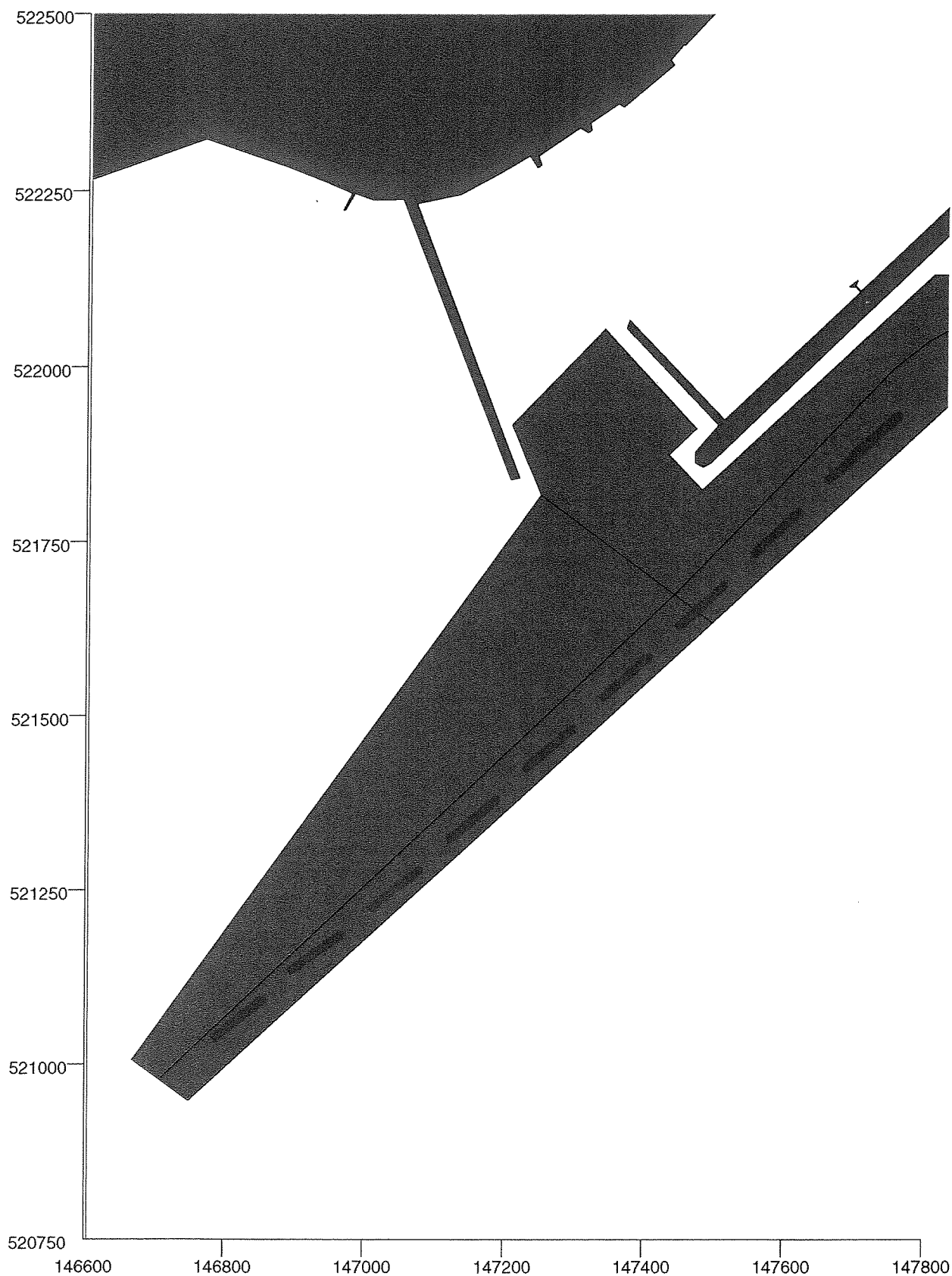
runh2

Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 210 gr. N



Bijlage 11.2b



Invaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R01

runv2

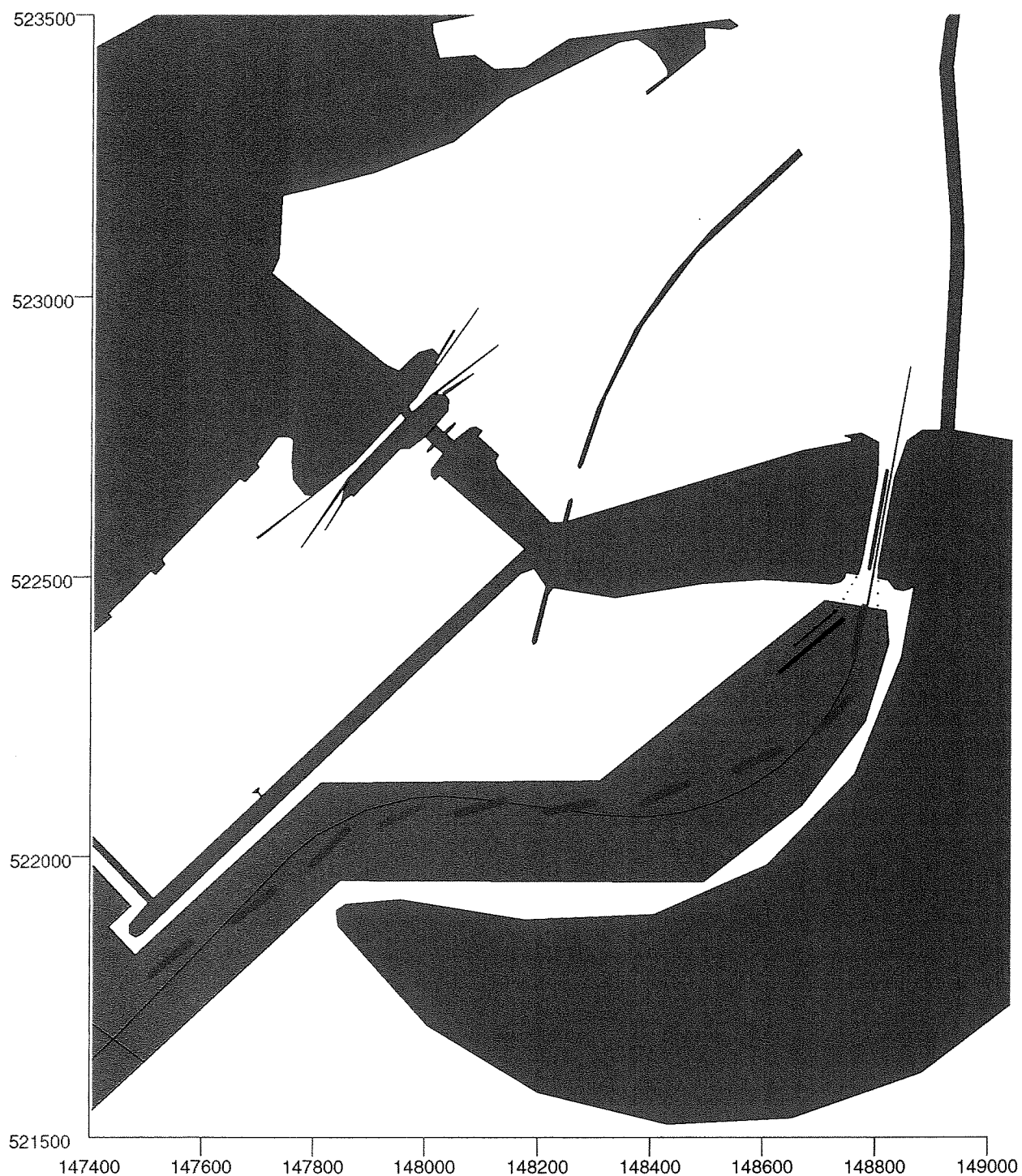
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 210 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

 Alkyon

Bijlage 11.2b



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R02

runh2

Windsnelheid (U4): 16 m/s

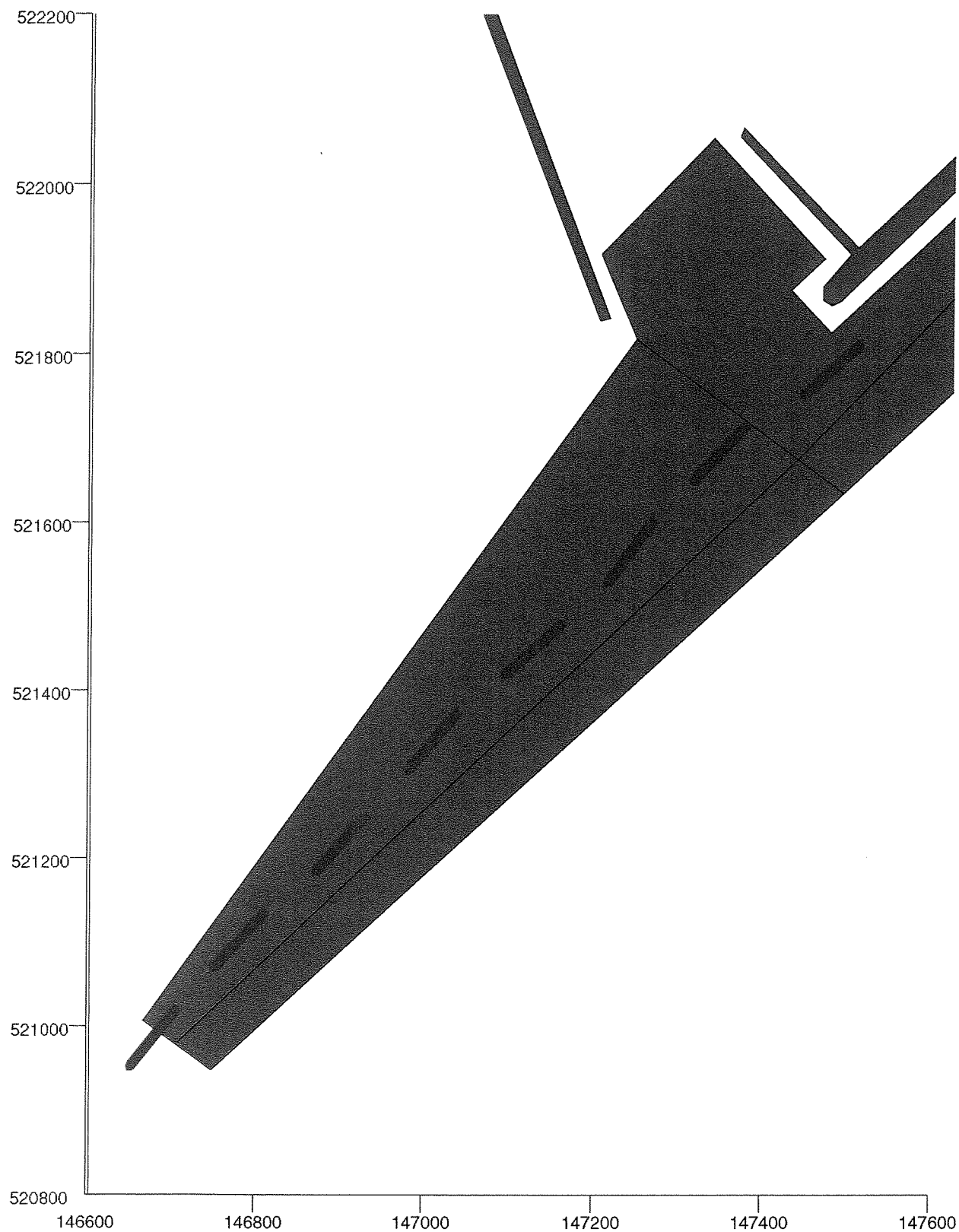
Windrichting: 210gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Alkyon

Bijlage 11.2c



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 45 sec


R02

runv2

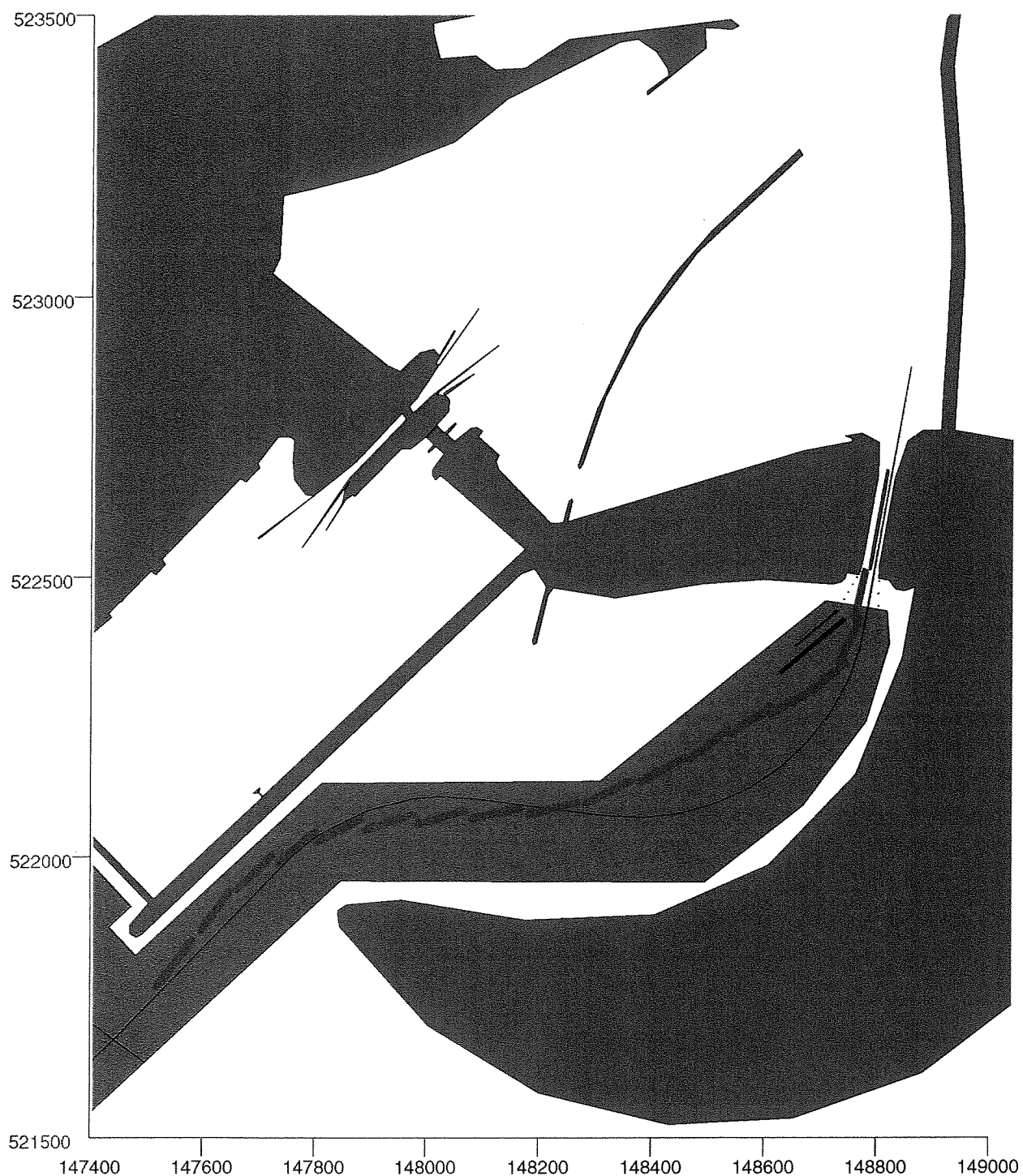
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 210 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

 **Alkyon**

Bijlage 11.2c



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 25 sec

R04

runh2

Windsnelheid (U4): 16 m/s

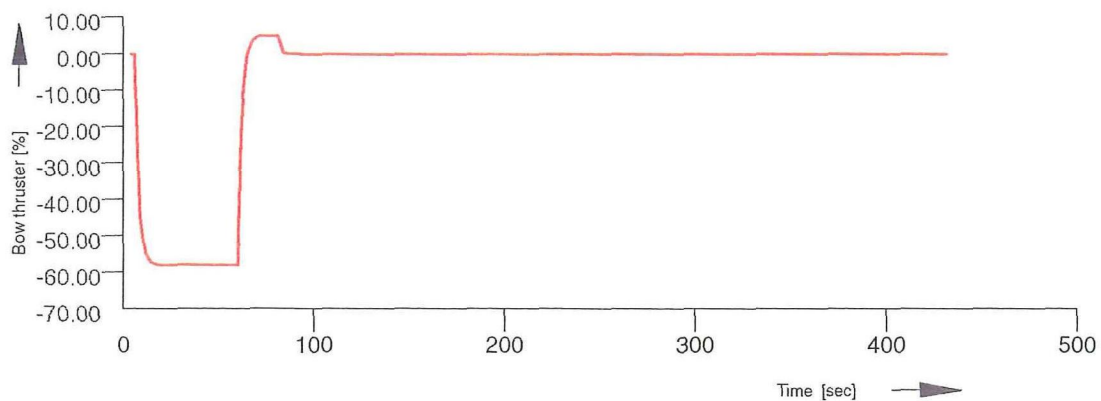
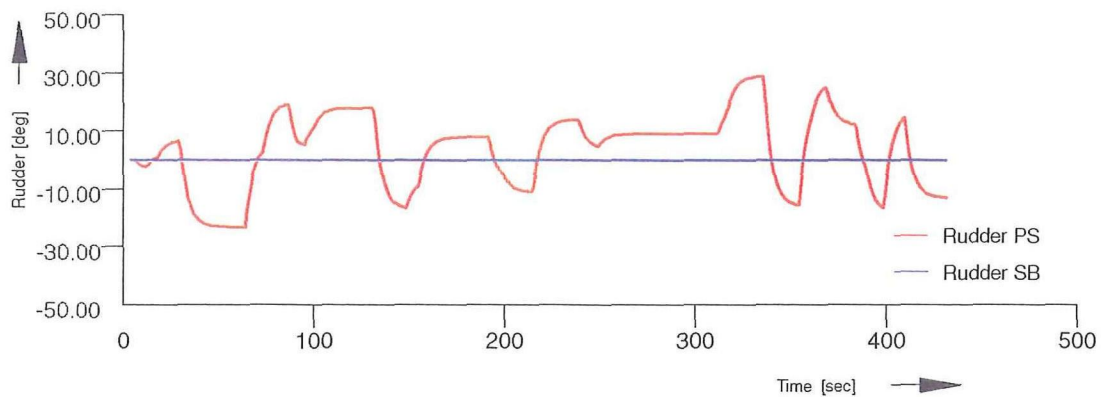
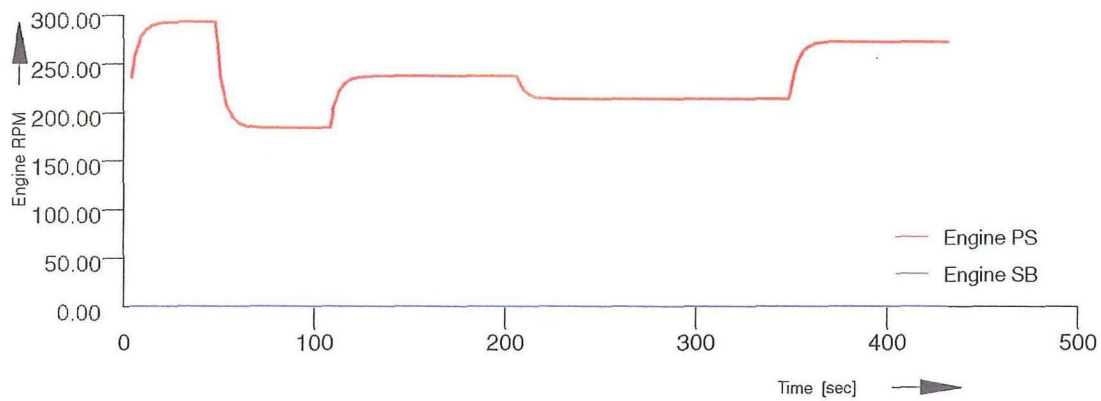
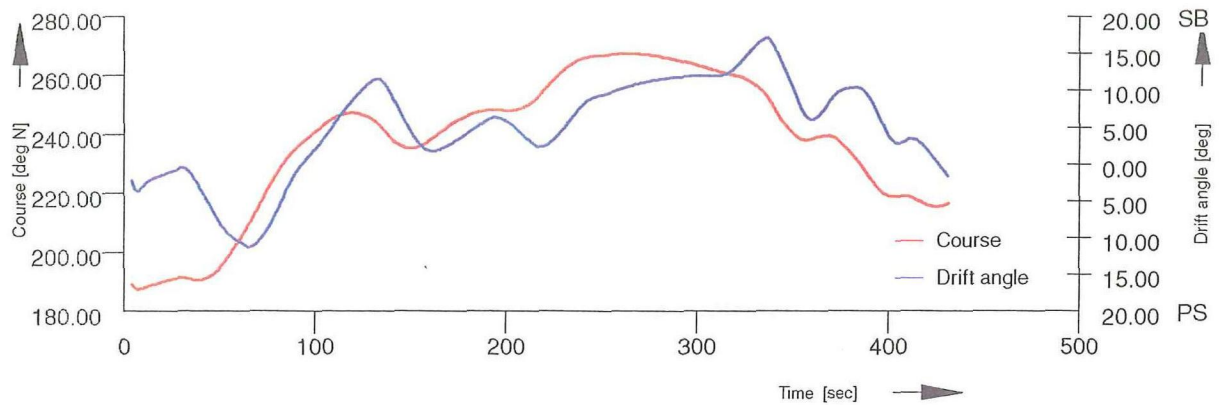
Windrichting: 210 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Alkyon

Bijlage 11.2d



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R04

runh2

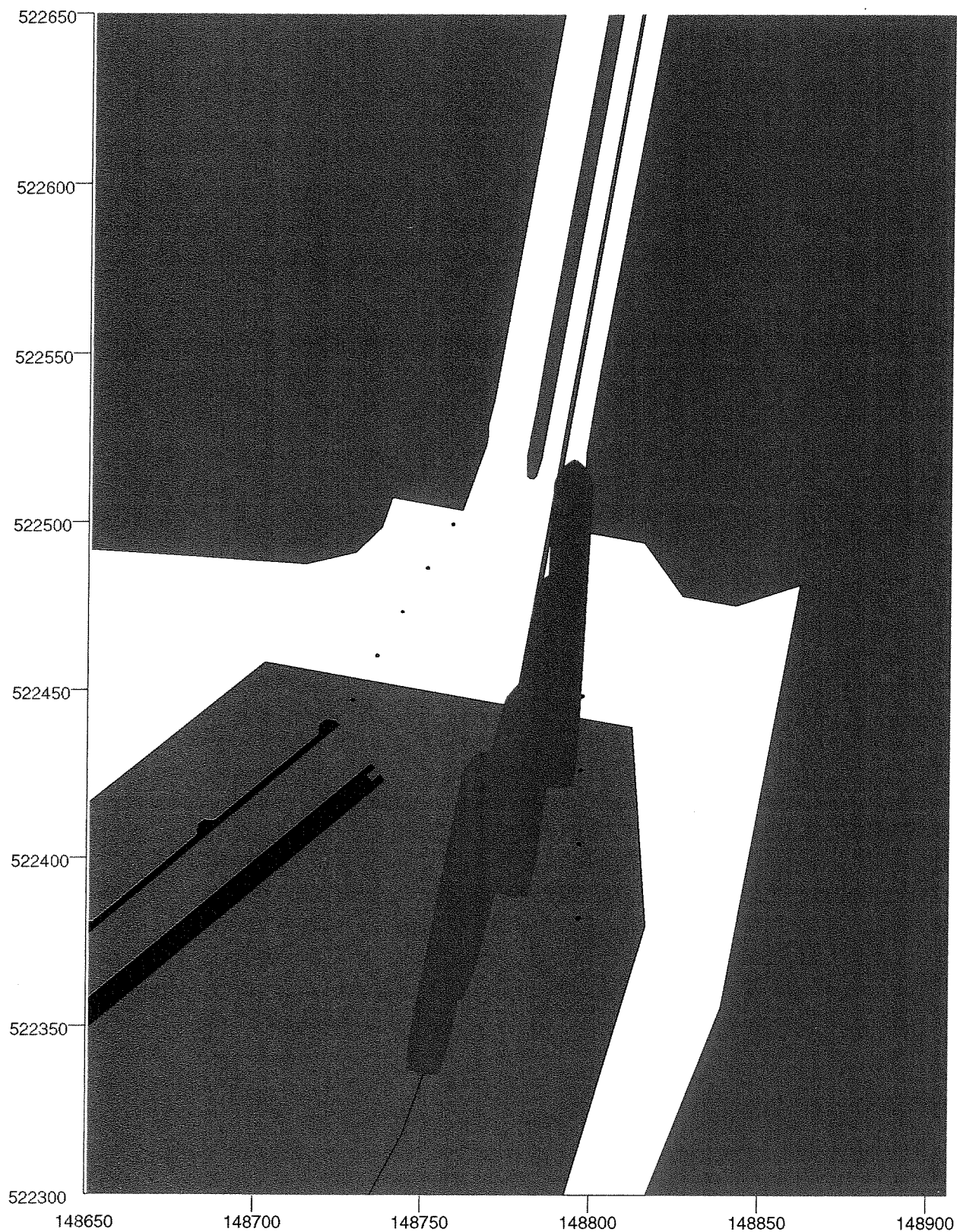
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 210 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Bijlage 11.2d



Invaart; inclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 15 sec

R03

runh10

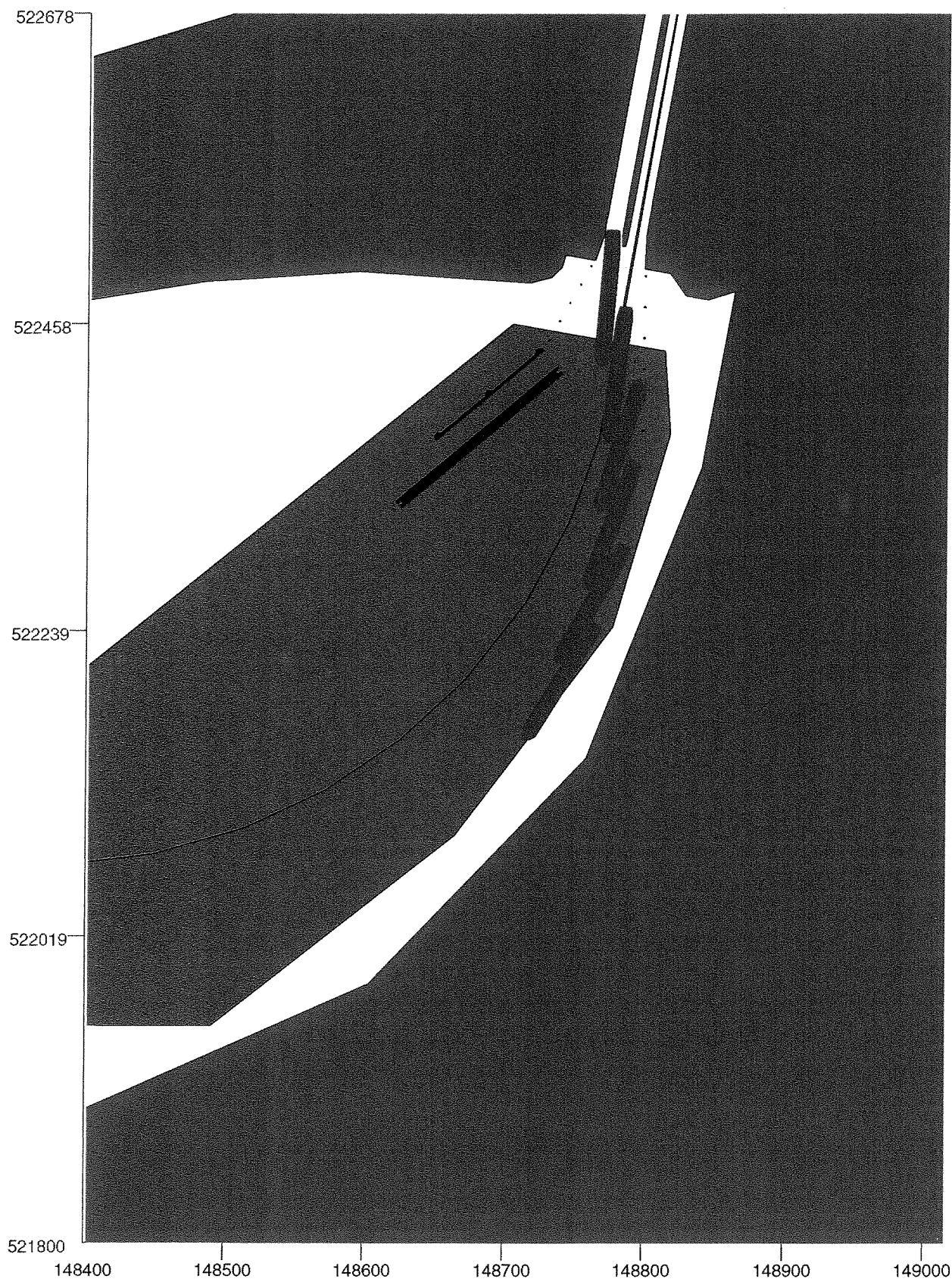
Windsnelheid (U4): 13 m/s

Windrichting: 240 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Bijlage 11.3a



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 20 sec

R07

runh10

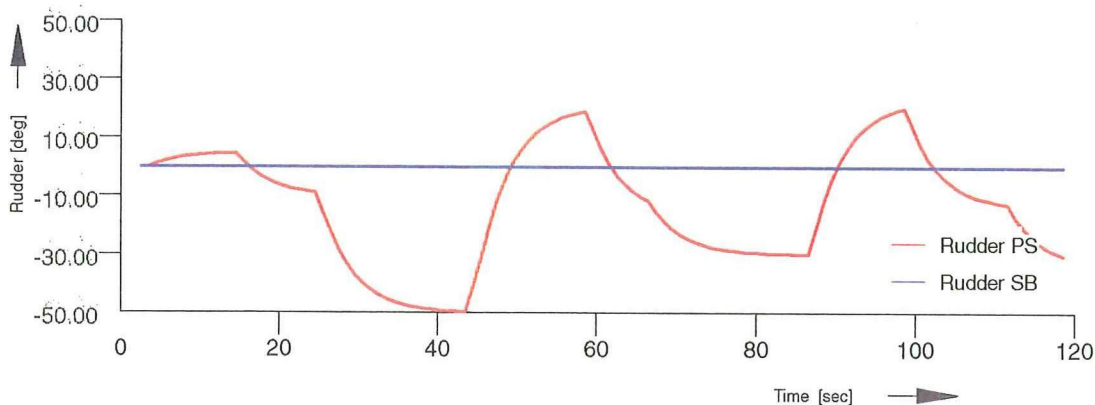
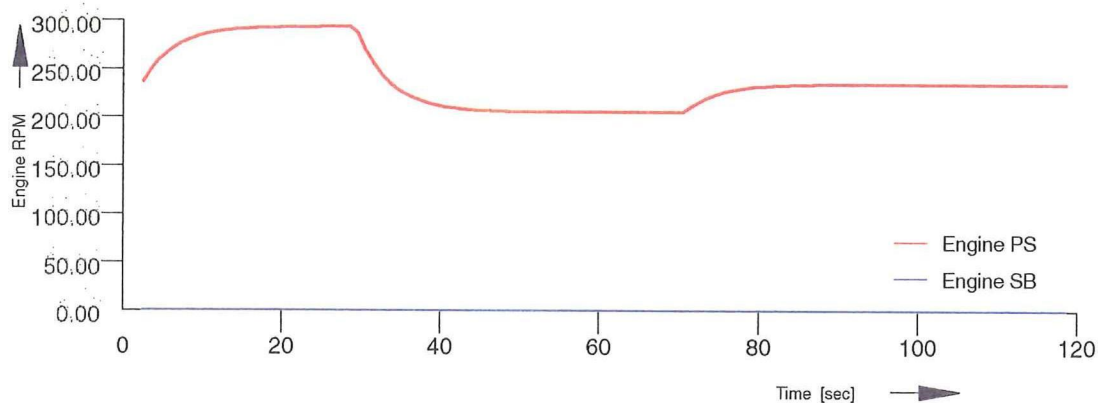
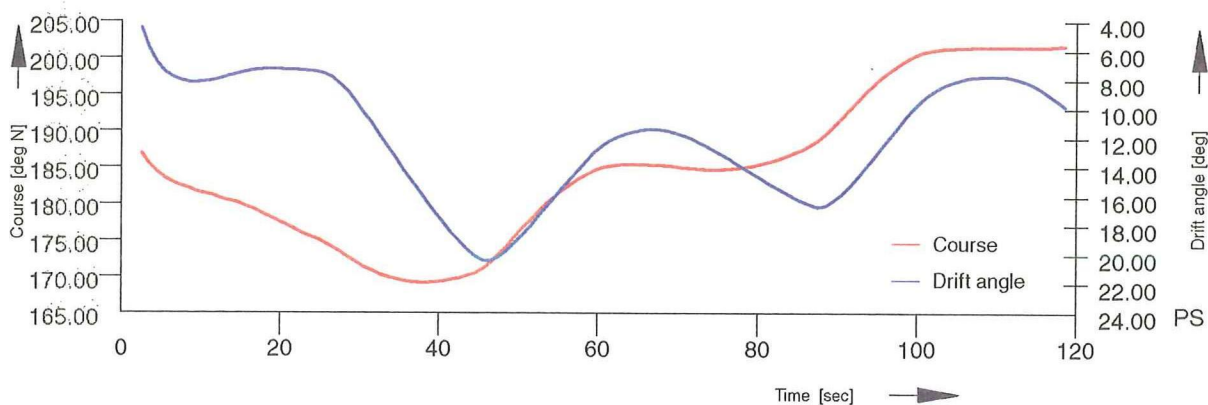
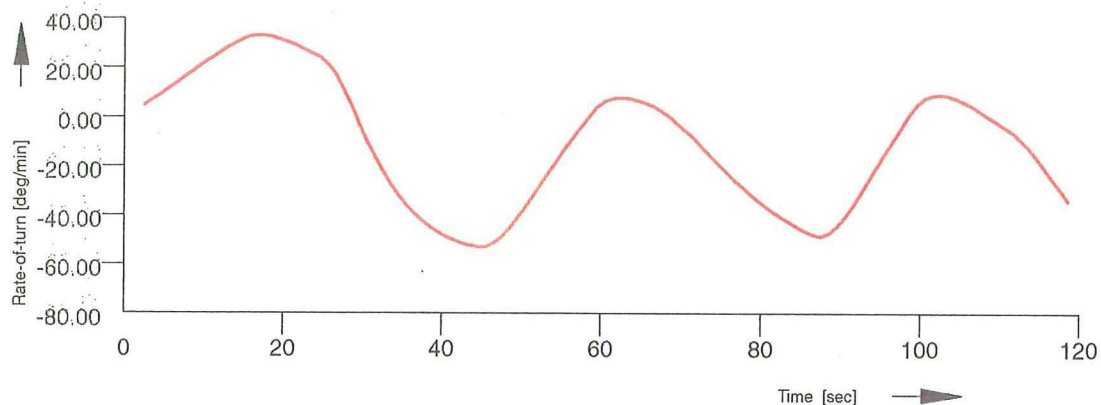
Windsnelheid (U4): 13 m/s

Windrichting: 240 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

 **Alkyon**

Bijlage 11.3b



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 20 sec

R07

runh10

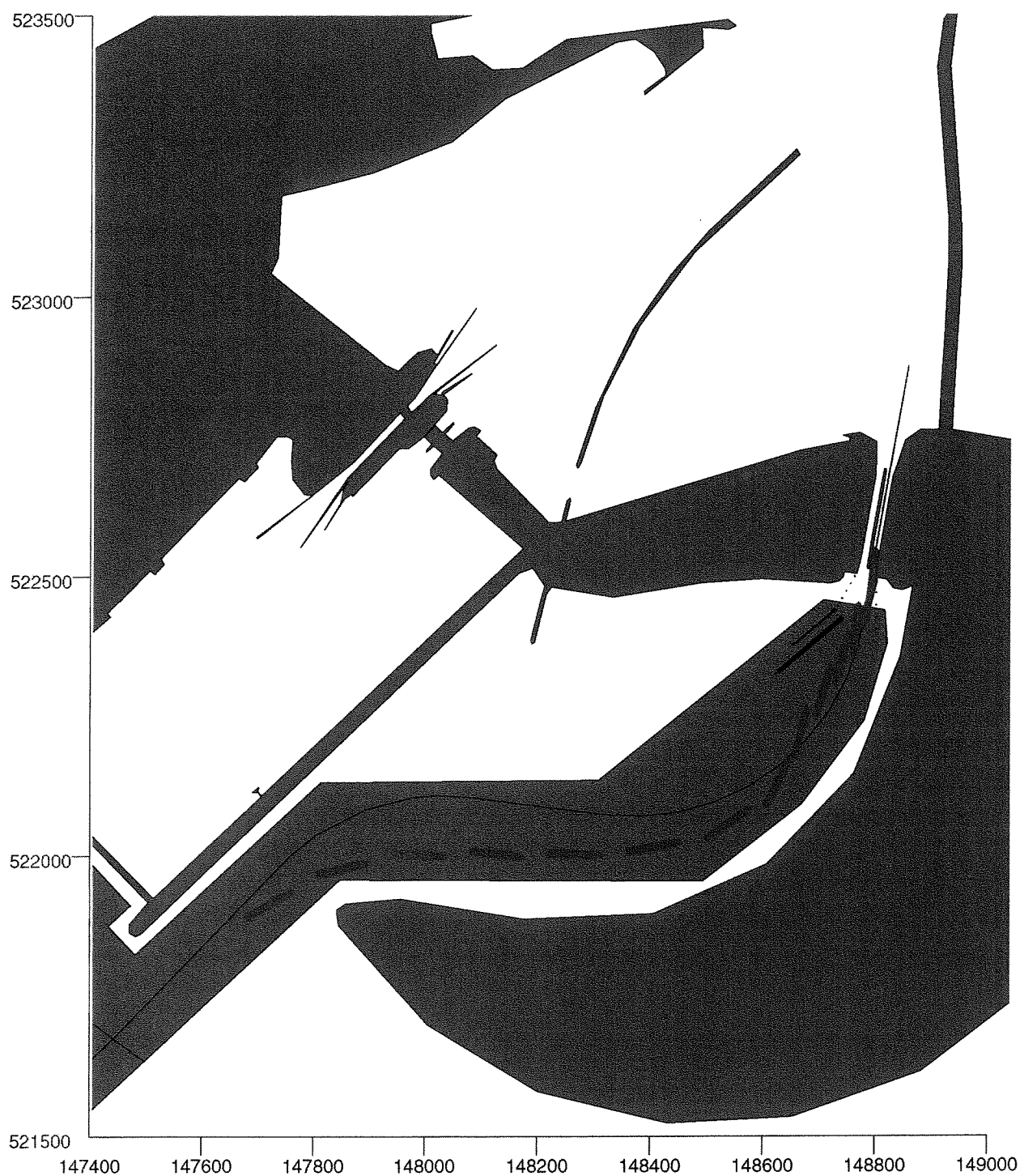
Windsnelheid (U4): 13 m/s

Windrichting: 240 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

Alkyon

Bijlage 11.3b



Invaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R01

runh3

Windsnelheid (U4): 16 m/s

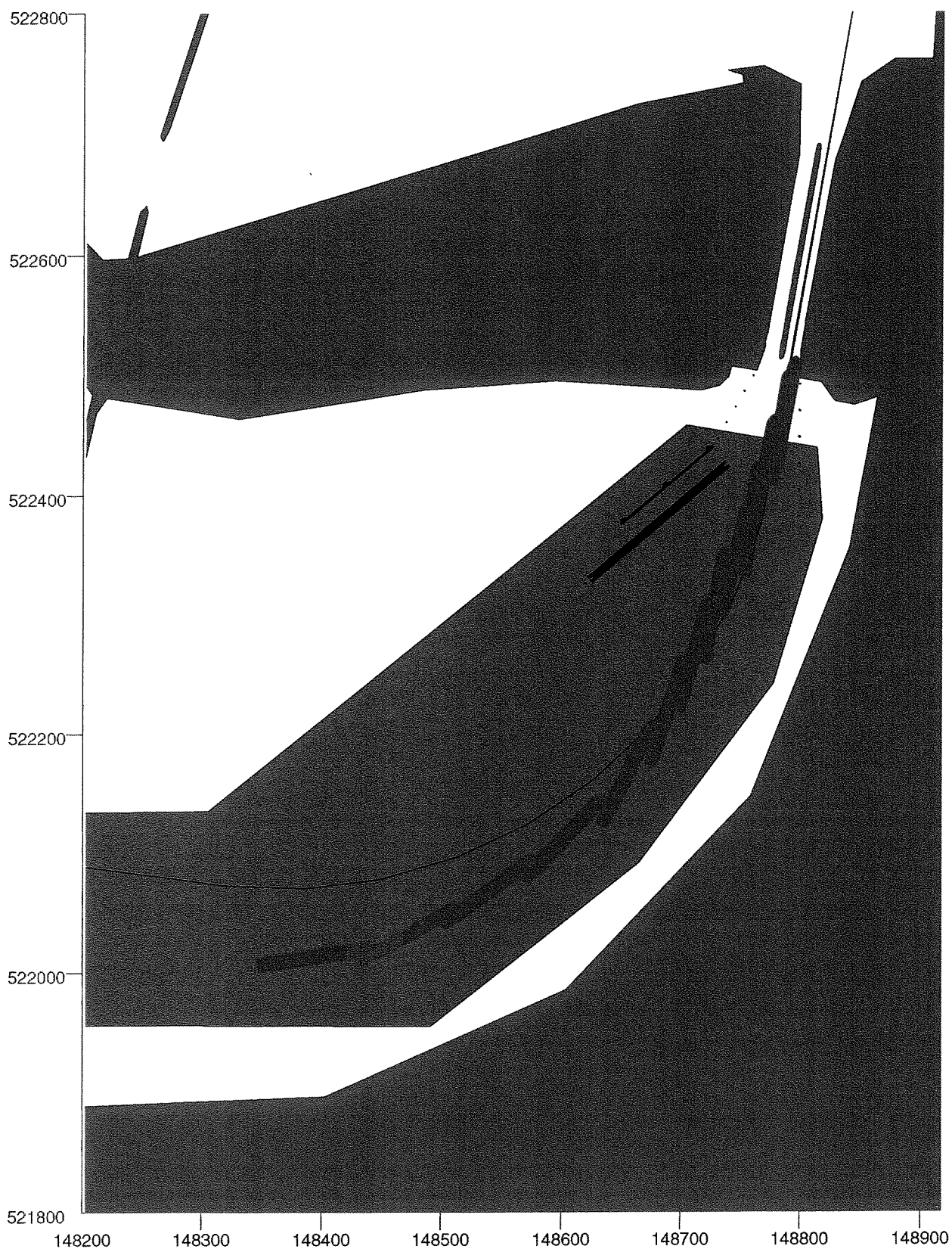
Windrichting: 240 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Alkyon

Bijlage 11.3c



Invaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 30 sec

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

R02

runh3

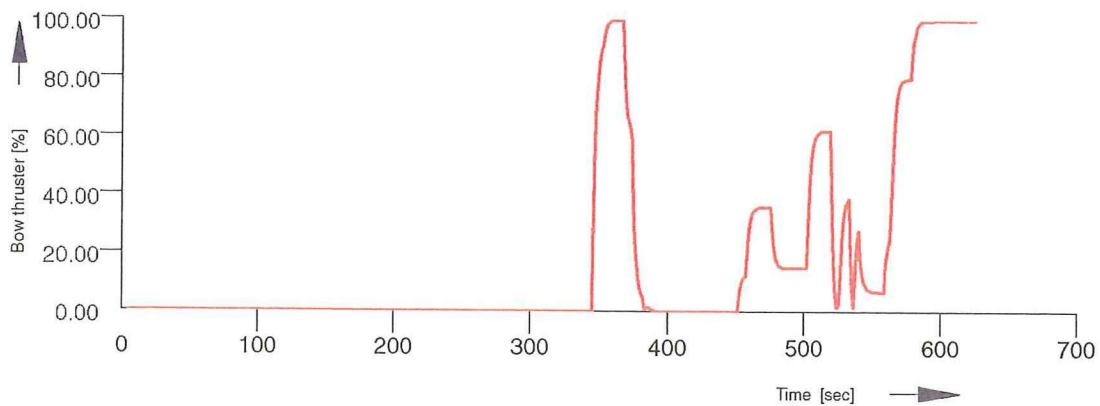
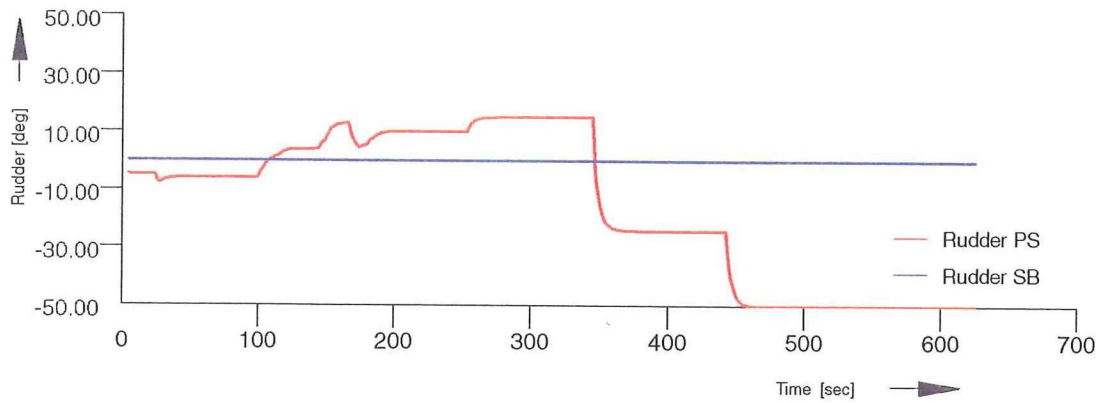
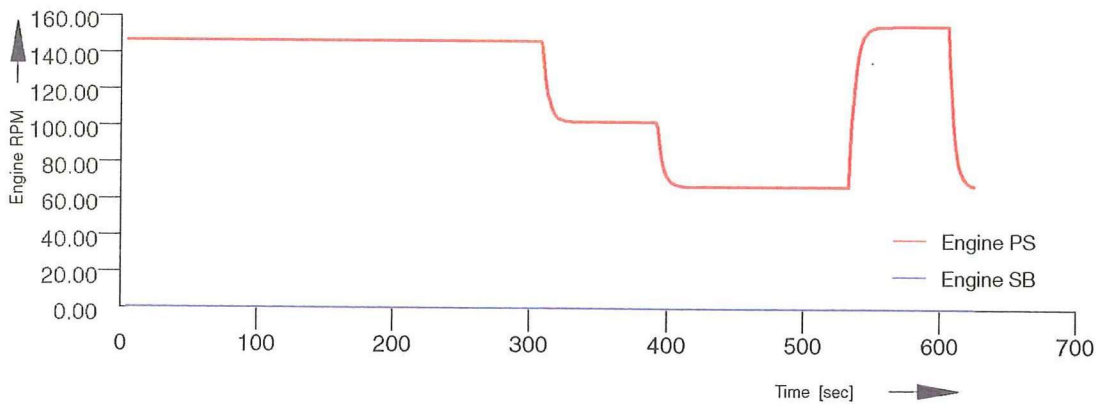
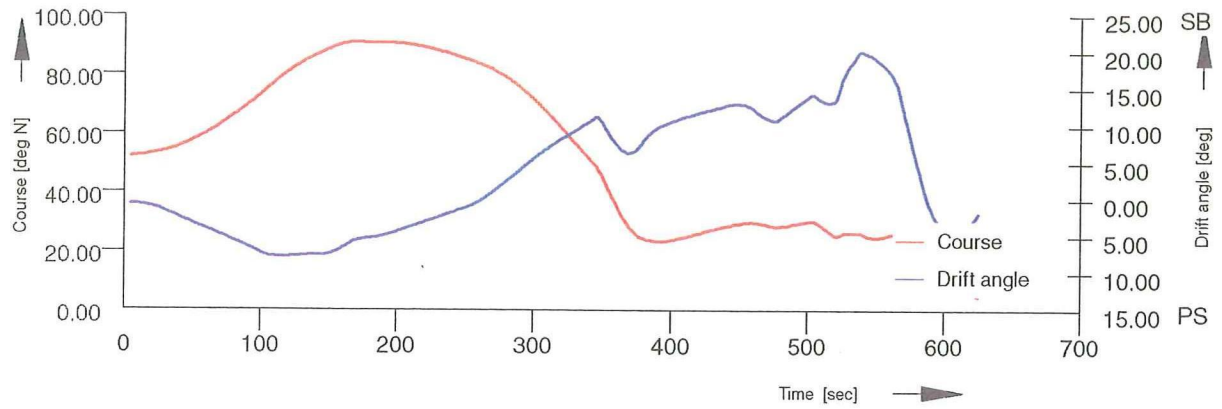
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 240 gr. N



Alkyon

Bijlage 11.3c



Invaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R01

runh3

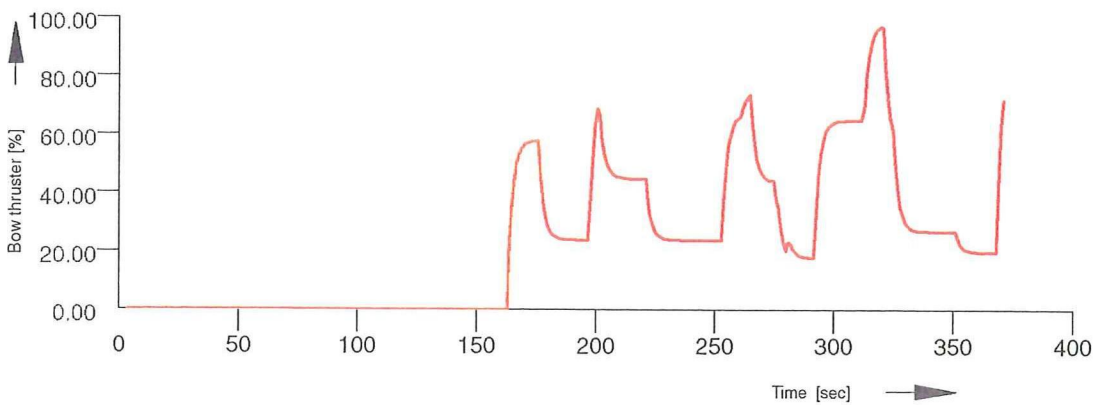
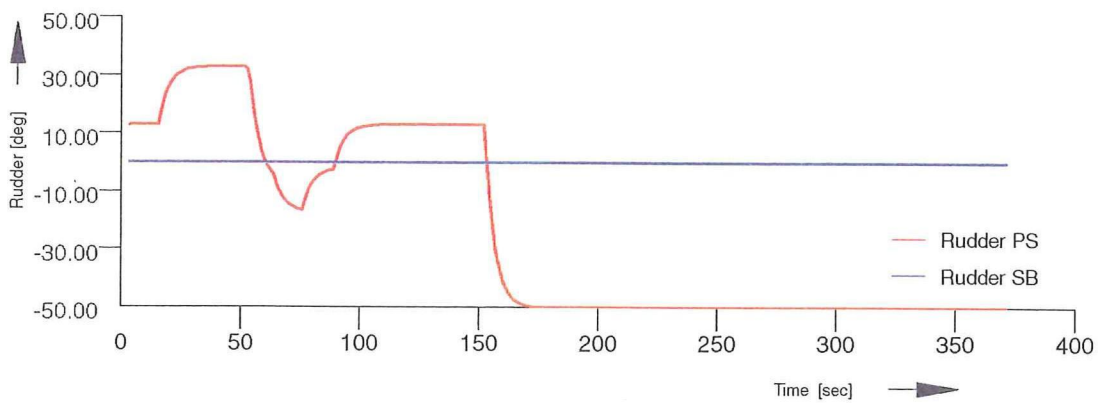
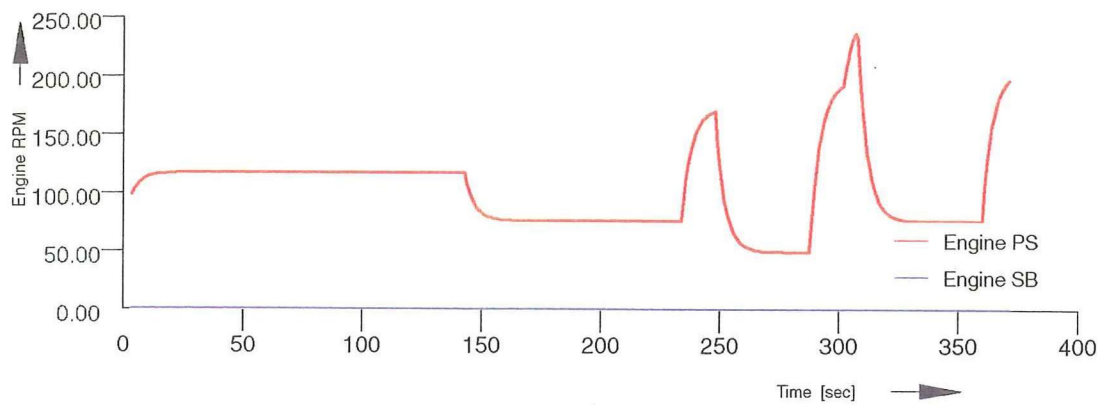
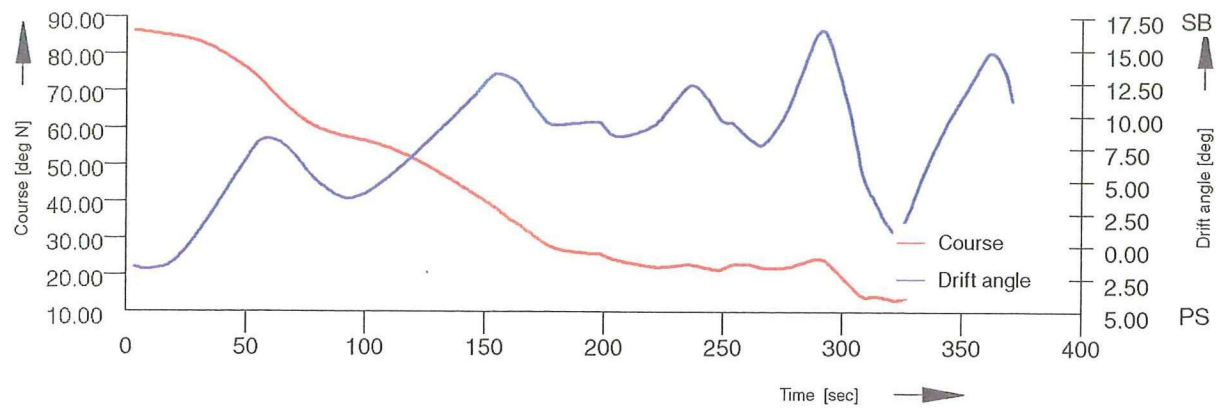
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 240 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

Alkyon

Bijlage 11.3c



Invaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R02

runh3

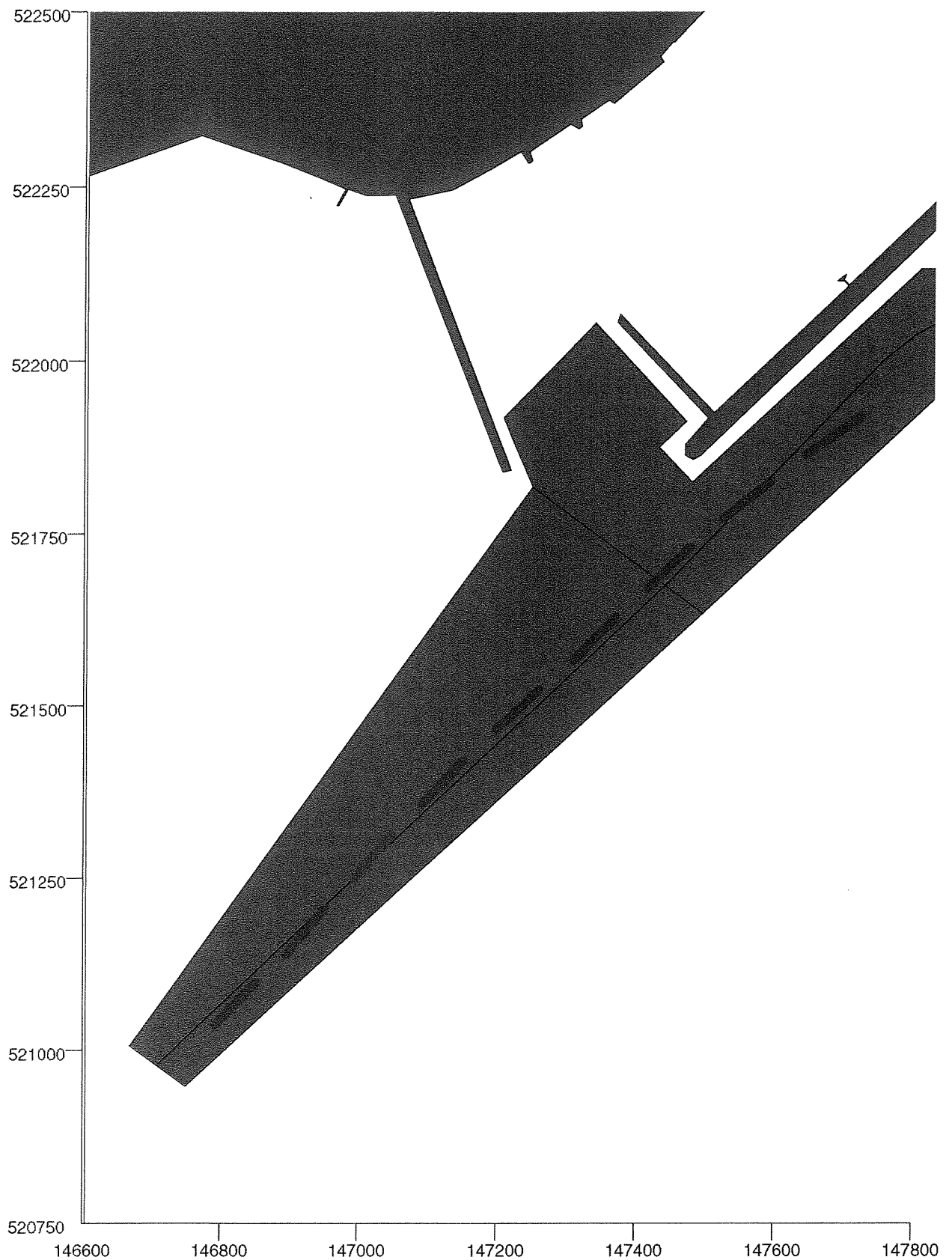
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 240 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven




Bijlage 11.3c



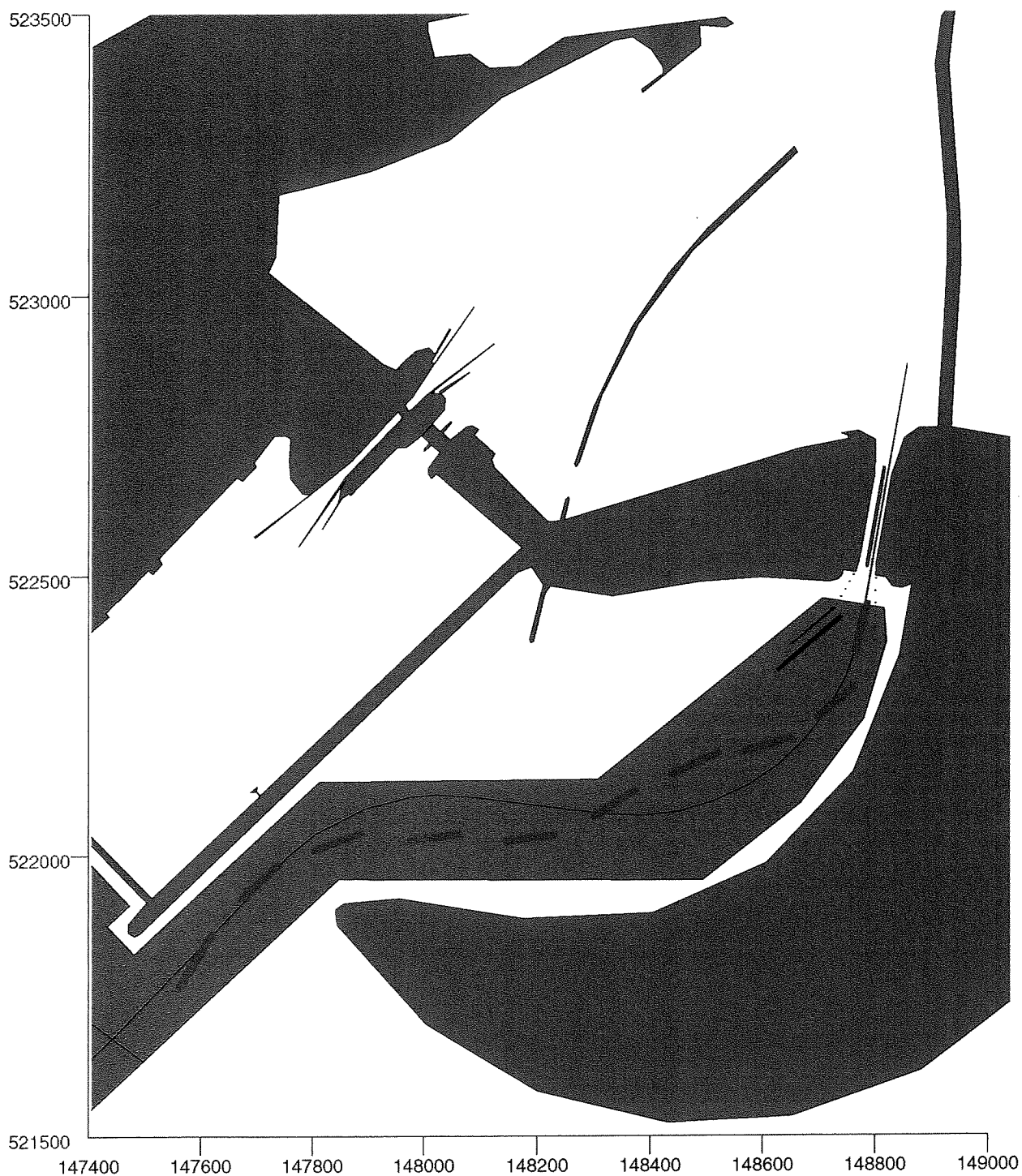
Invaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R01	runv3
Windsnelheid (U4): 16 m/s	
Windrichting: 240 gr. N	
 Alkyon	Bijlage 11.3c

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R03

runh3

Windsnelheid (U4): 16 m/s

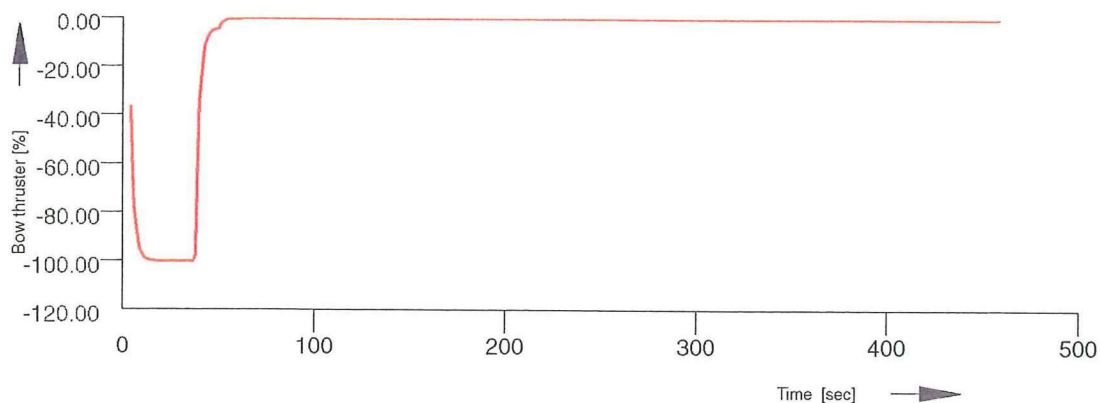
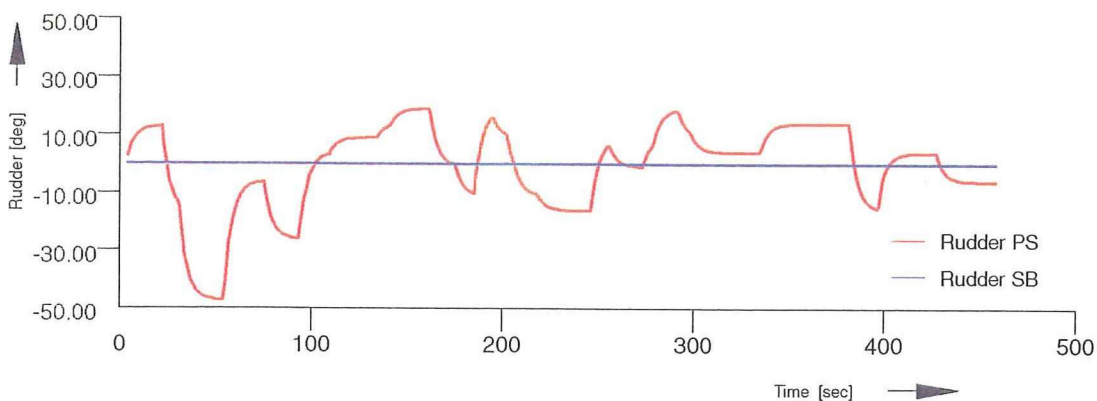
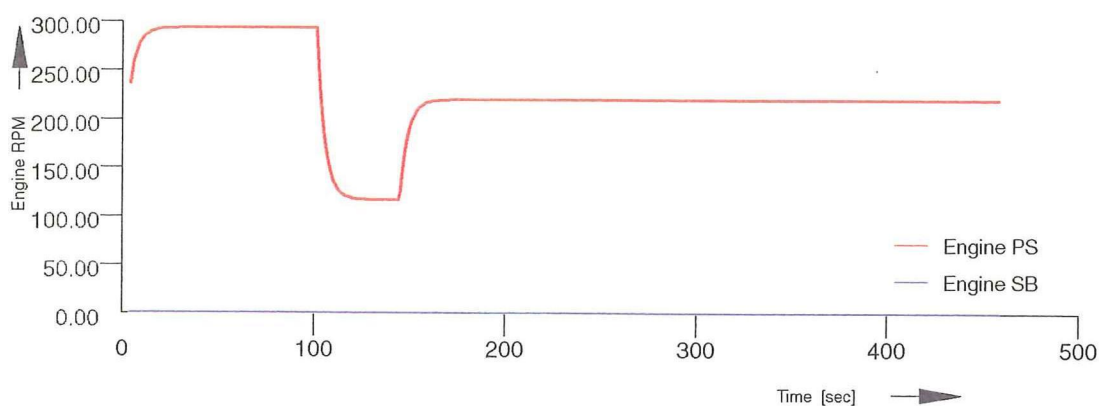
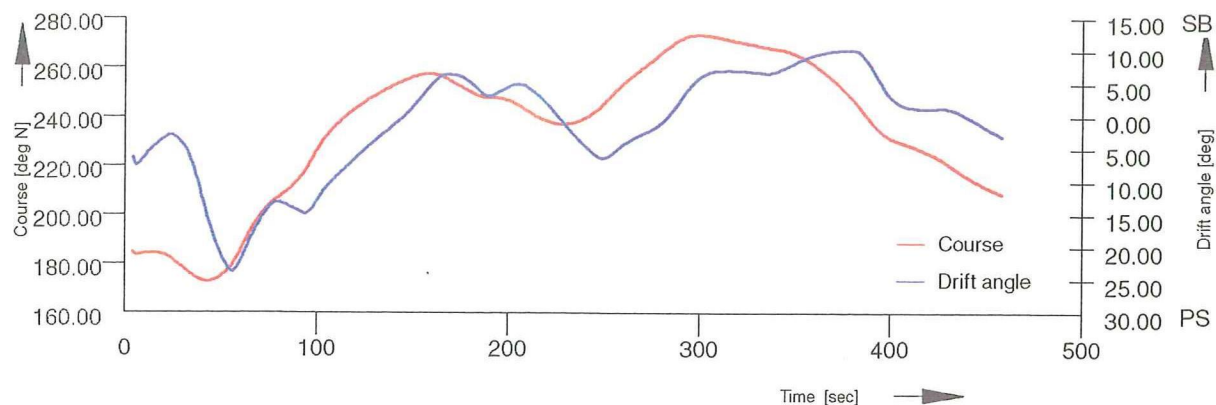
Windrichting: 240 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Alkyon

Bijlage 11.3d



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R03

runh3

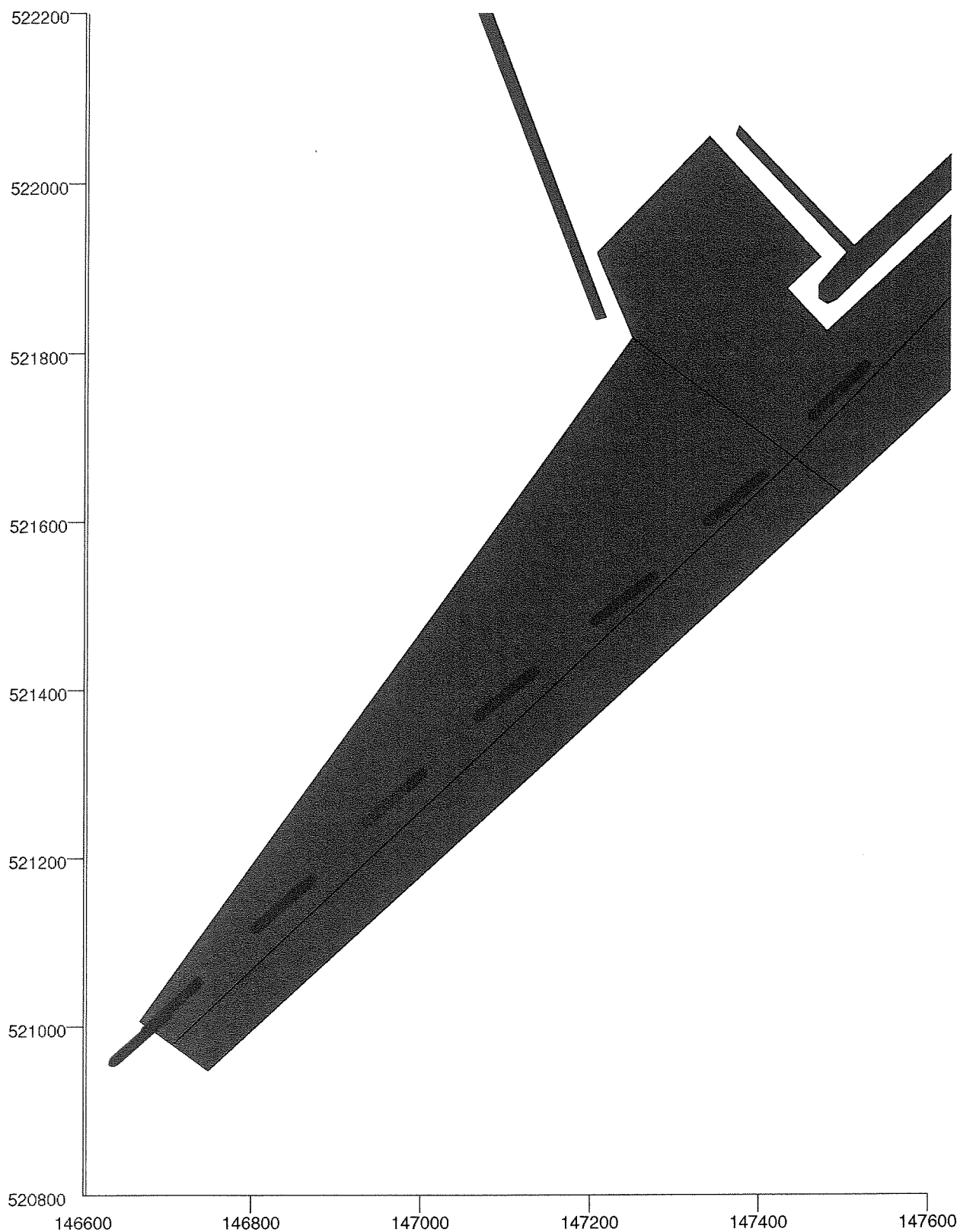
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 240 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

Alkyon

Bijlage 11.3d



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R02

runv3

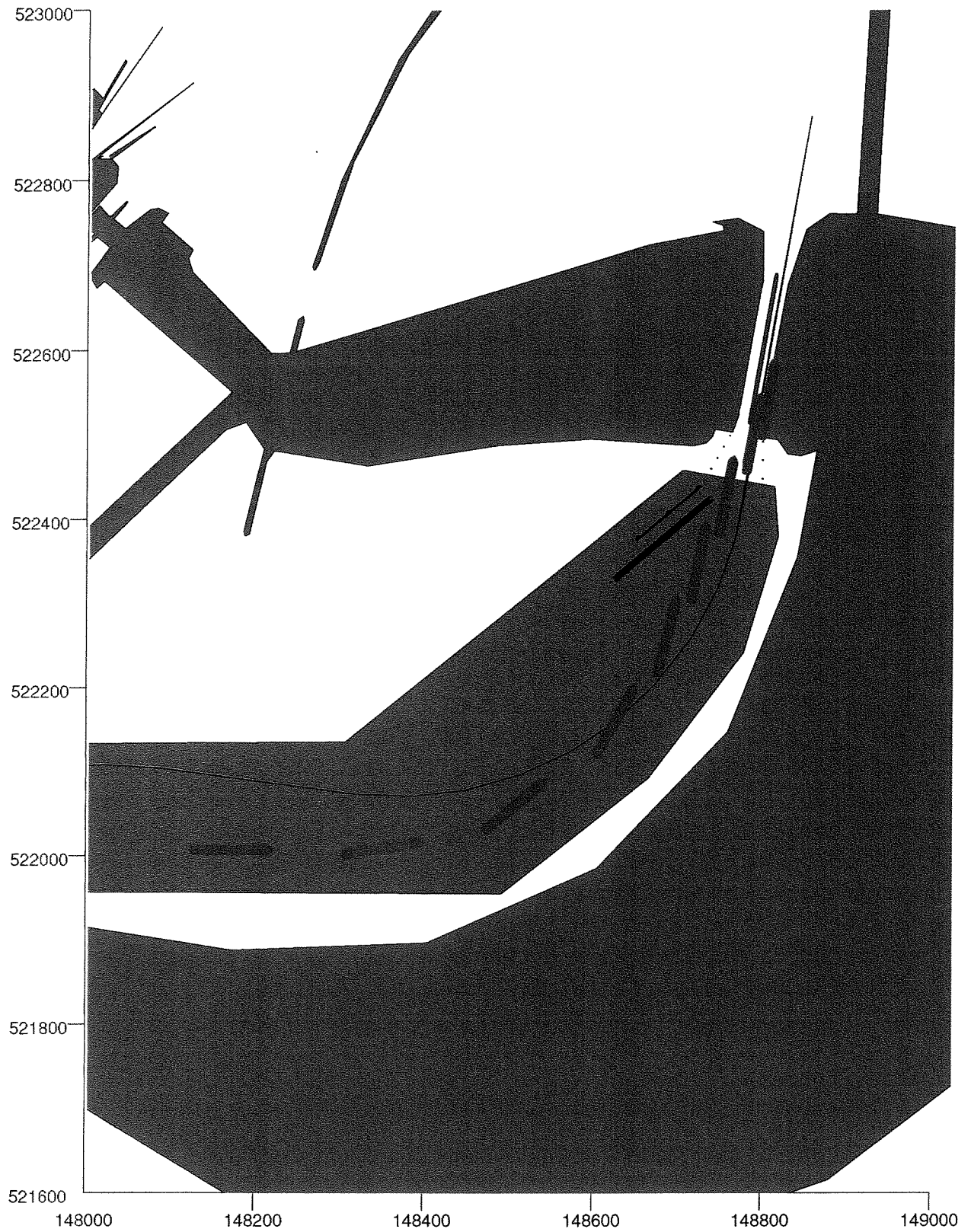
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 240 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

 **Alkyon**

Bijlage 11.3d



Invaart; exclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R05

oefrunk4_10

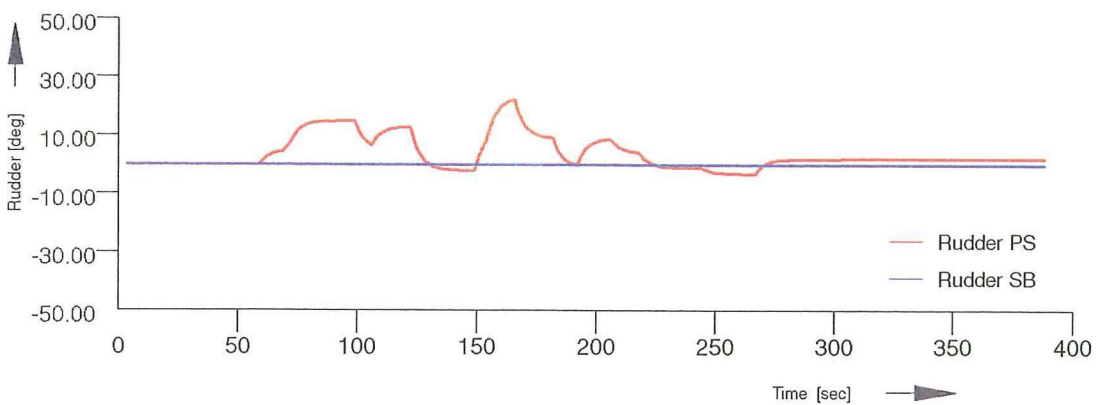
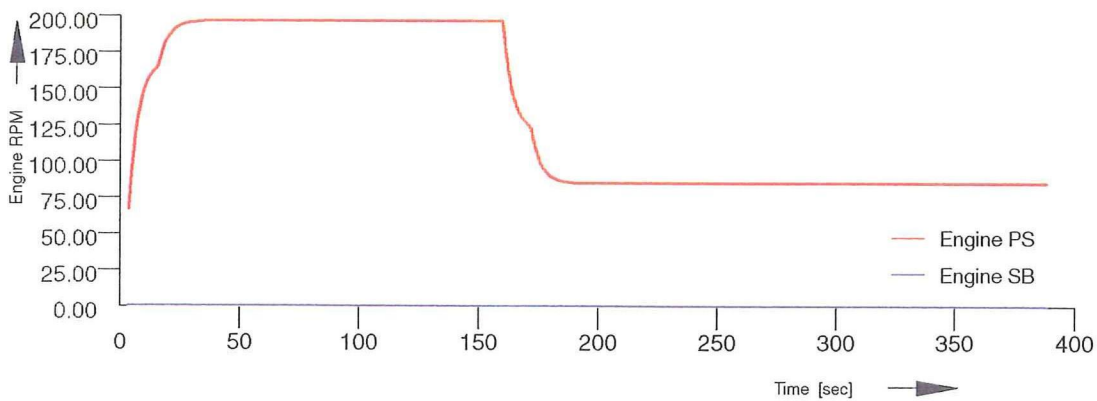
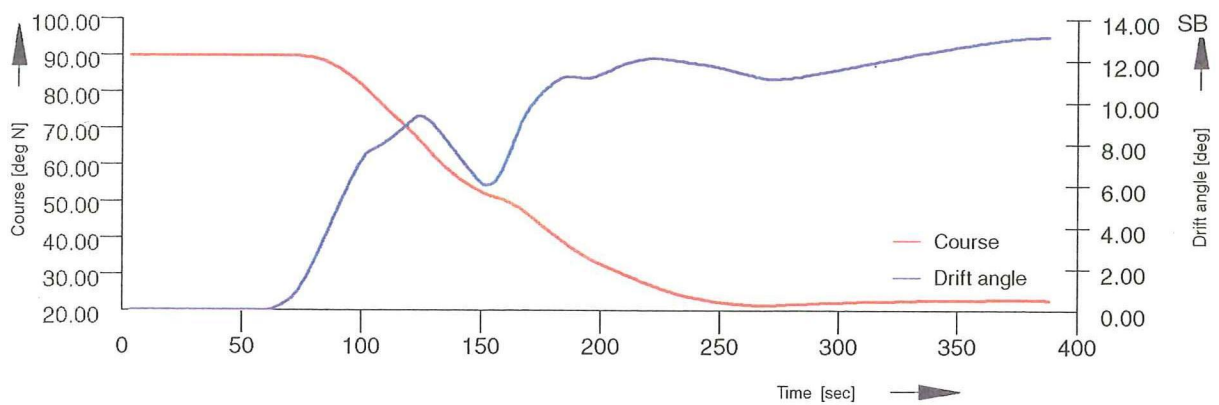
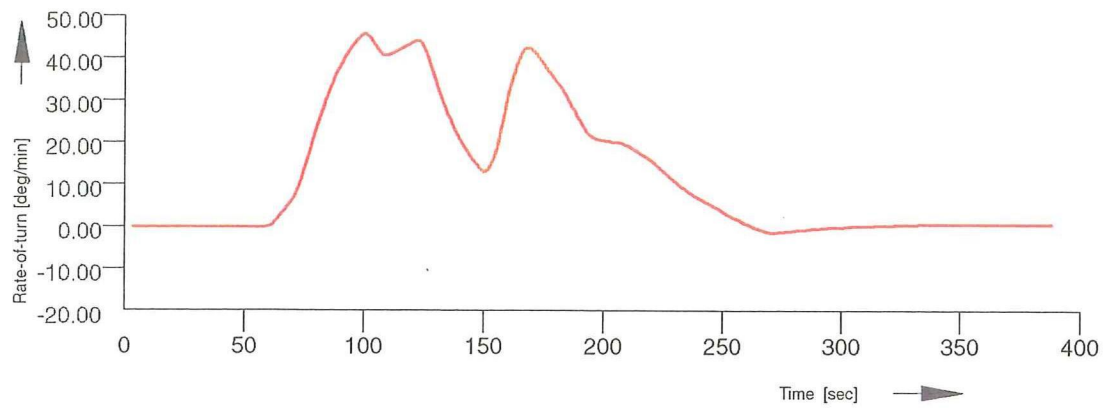
Windsnelheid (U4): 10 m/s

Windrichting: 270 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

 **Alkyon**

Bijlage 11.4a



Invaart; exclusief golfinvloed

Zonder boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R05

oefrunk4_10

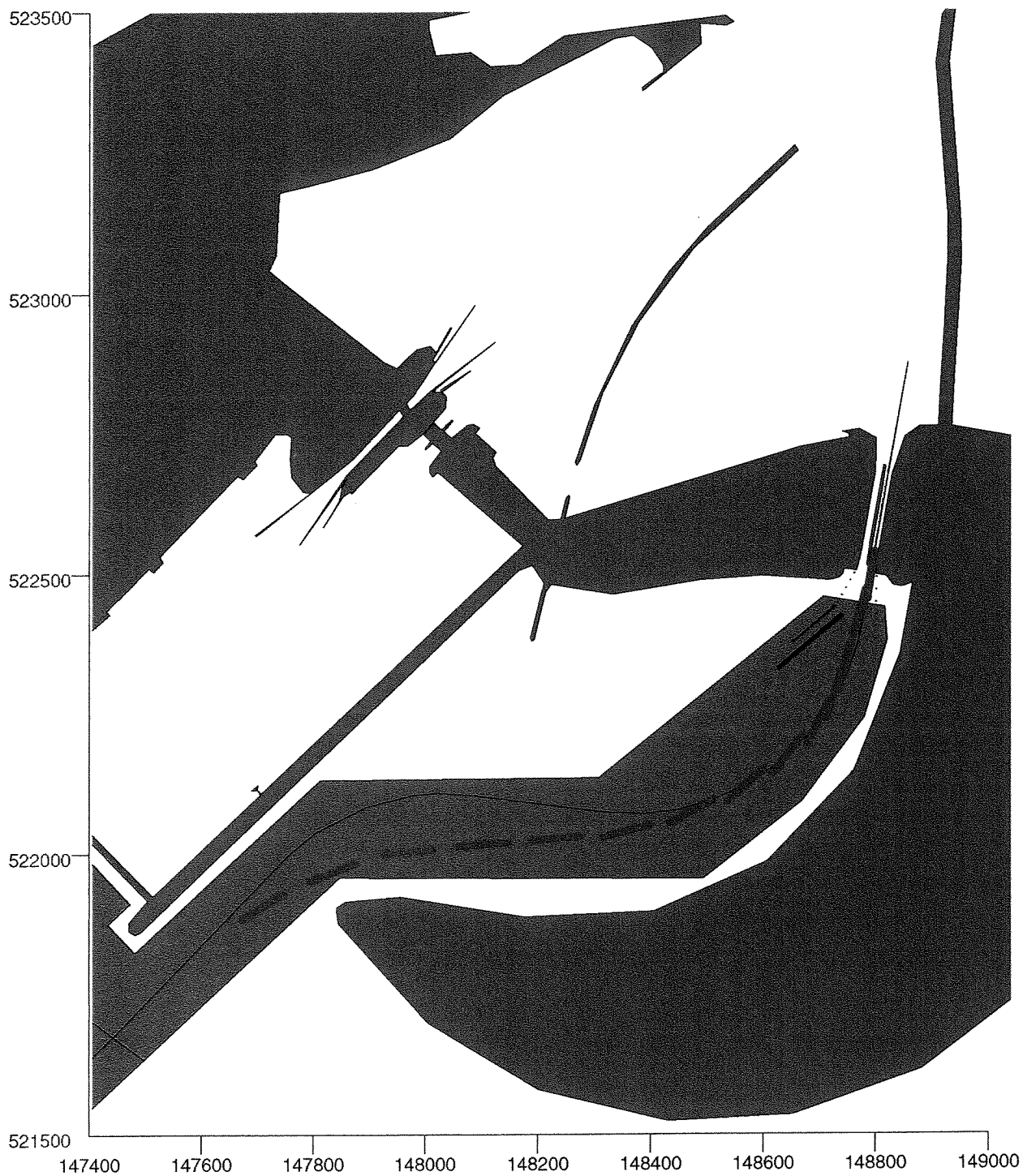
Windsnelheid (U4): 10 m/s

Windrichting: 270 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Bijlage 11.4a



Invaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R01

runh15

Windsnelheid (U4): 13 m/s

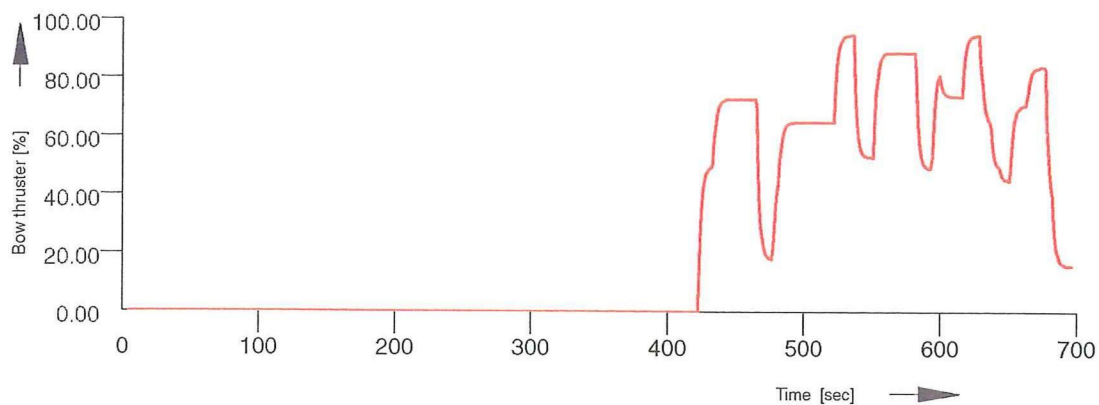
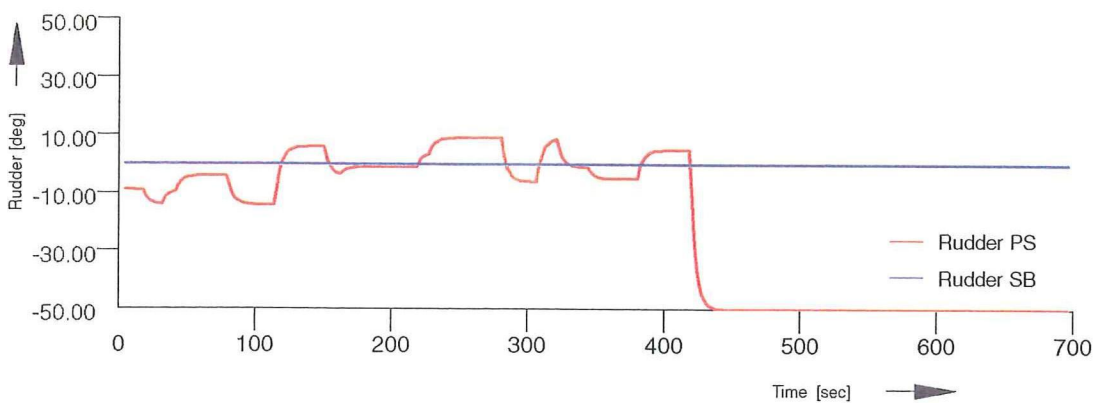
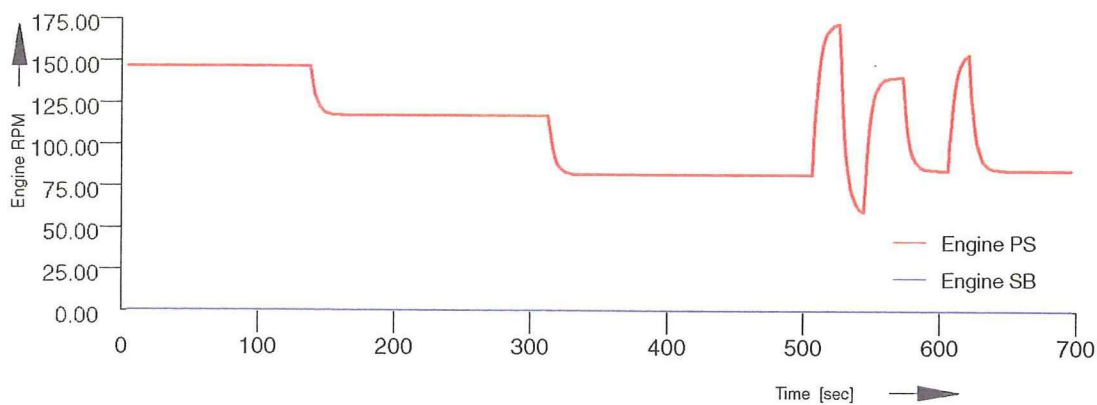
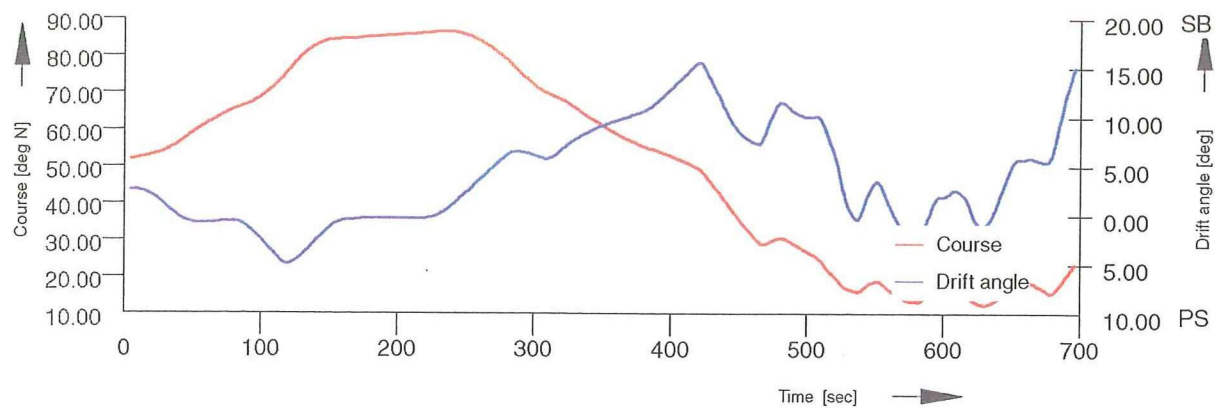
Windrichting: 270 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Alkyon

Bijlage 11.4b



Invaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R01

runh15

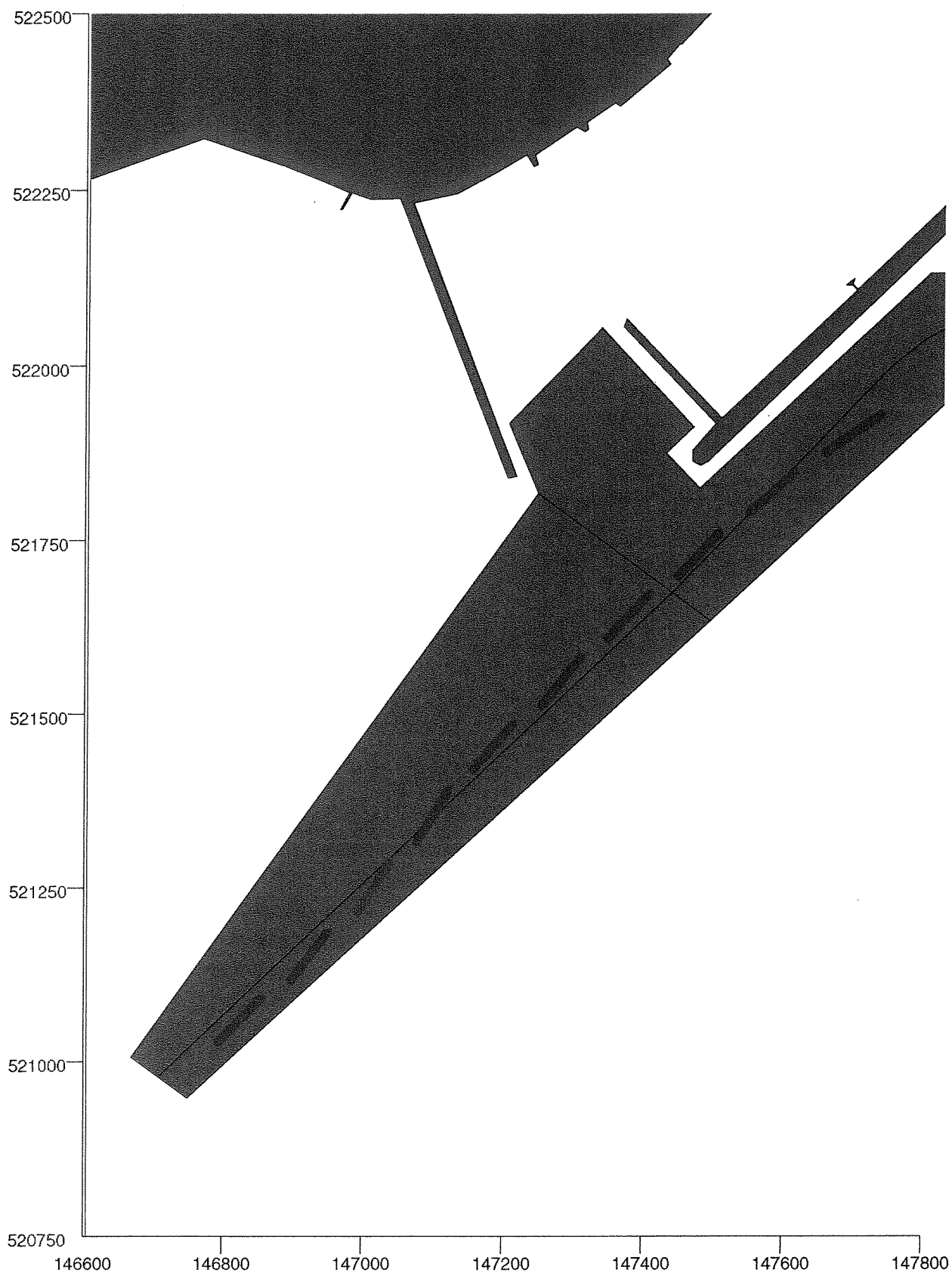
Windsnelheid (U4): 13 m/s

Windrichting: 270 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

Alkyon

Bijlage 11.4b



Invaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R01

runv15

Windsnelheid (U4): 13 m/s

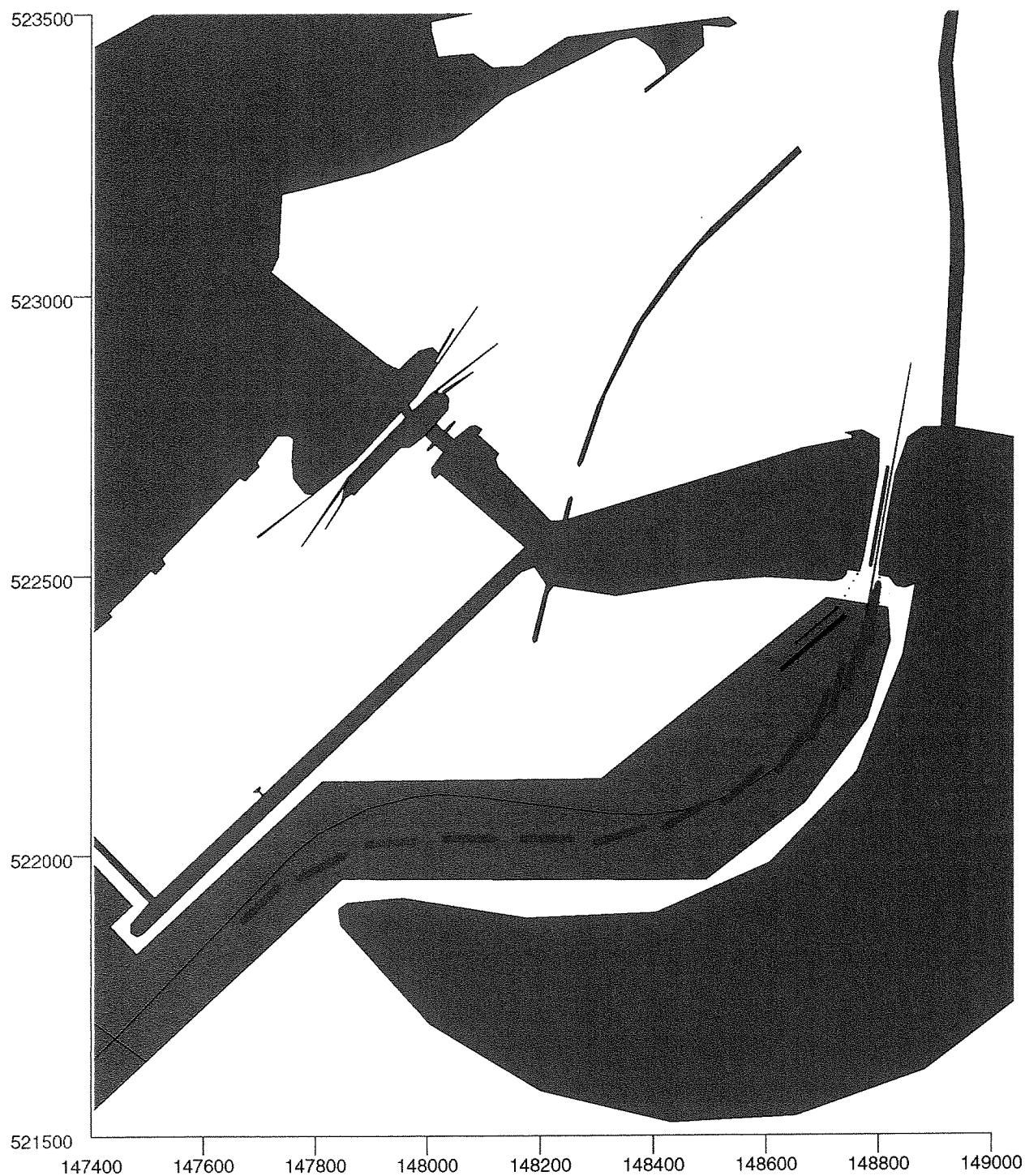
Windrichting: 270 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Alkyon

Bijlage 11.4b



Invaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R01

runh4

Windsnelheid (U4): 16 m/s

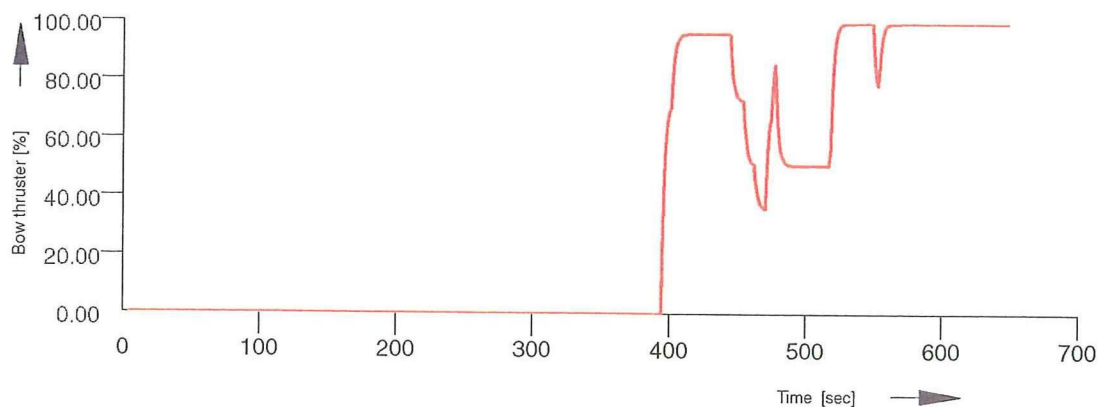
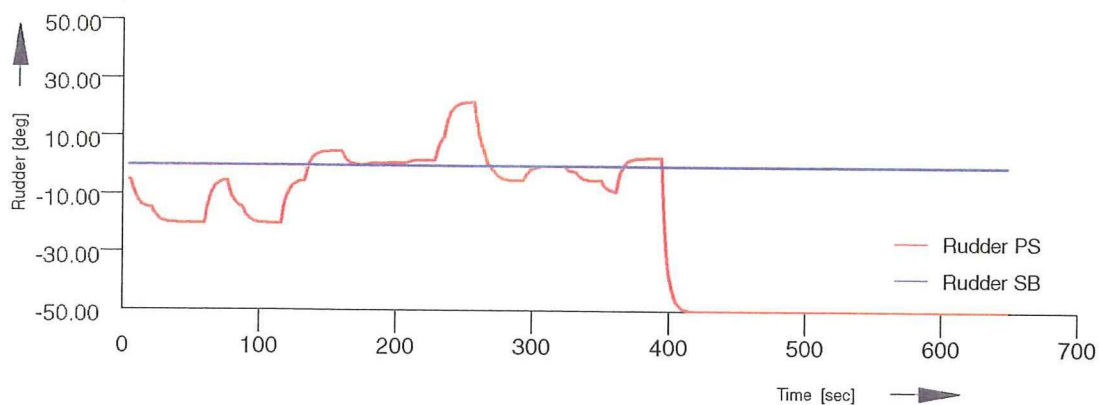
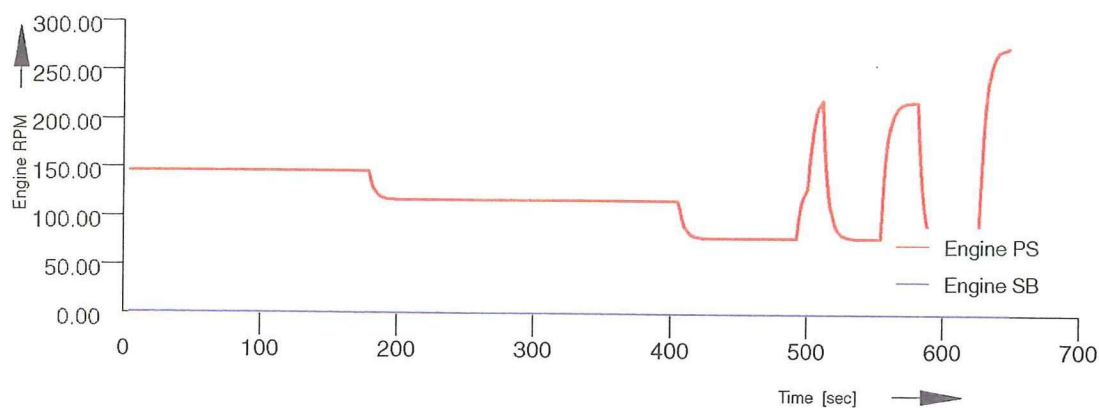
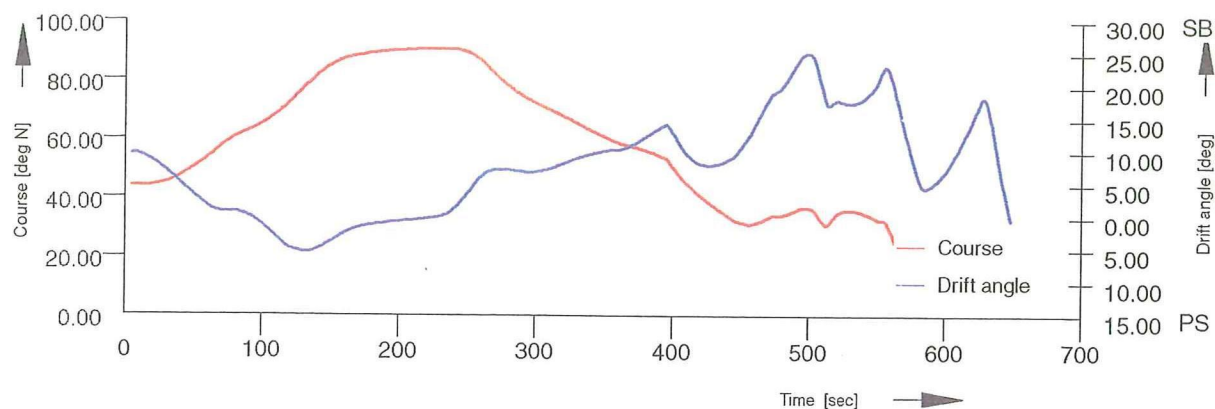
Windrichting: 270 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Alkyon

Bijlage 11.4c



Invaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R01

runh4

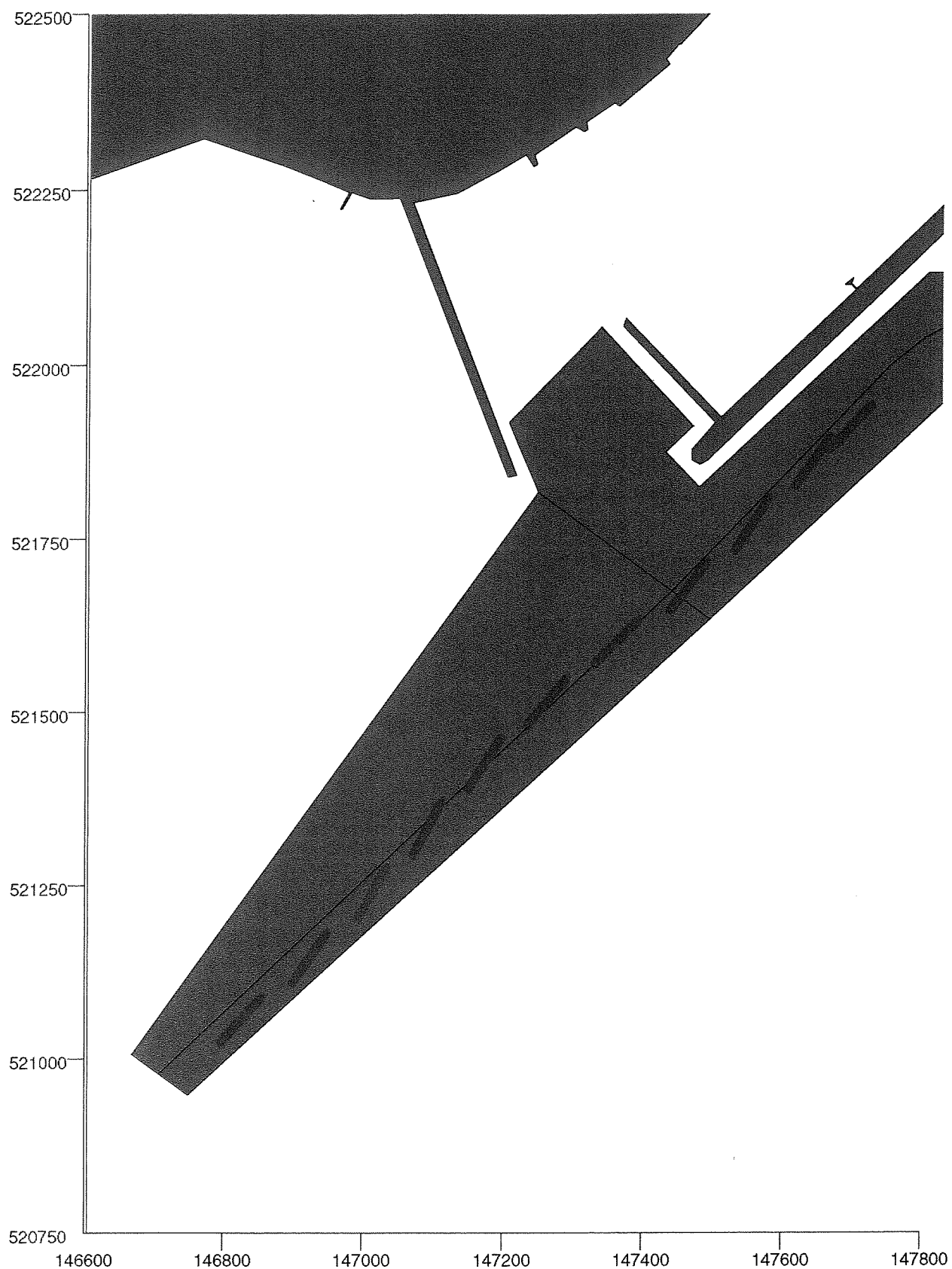
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

Alkyon

Bijlage 11.4c



Invaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

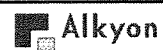
R01

runv4

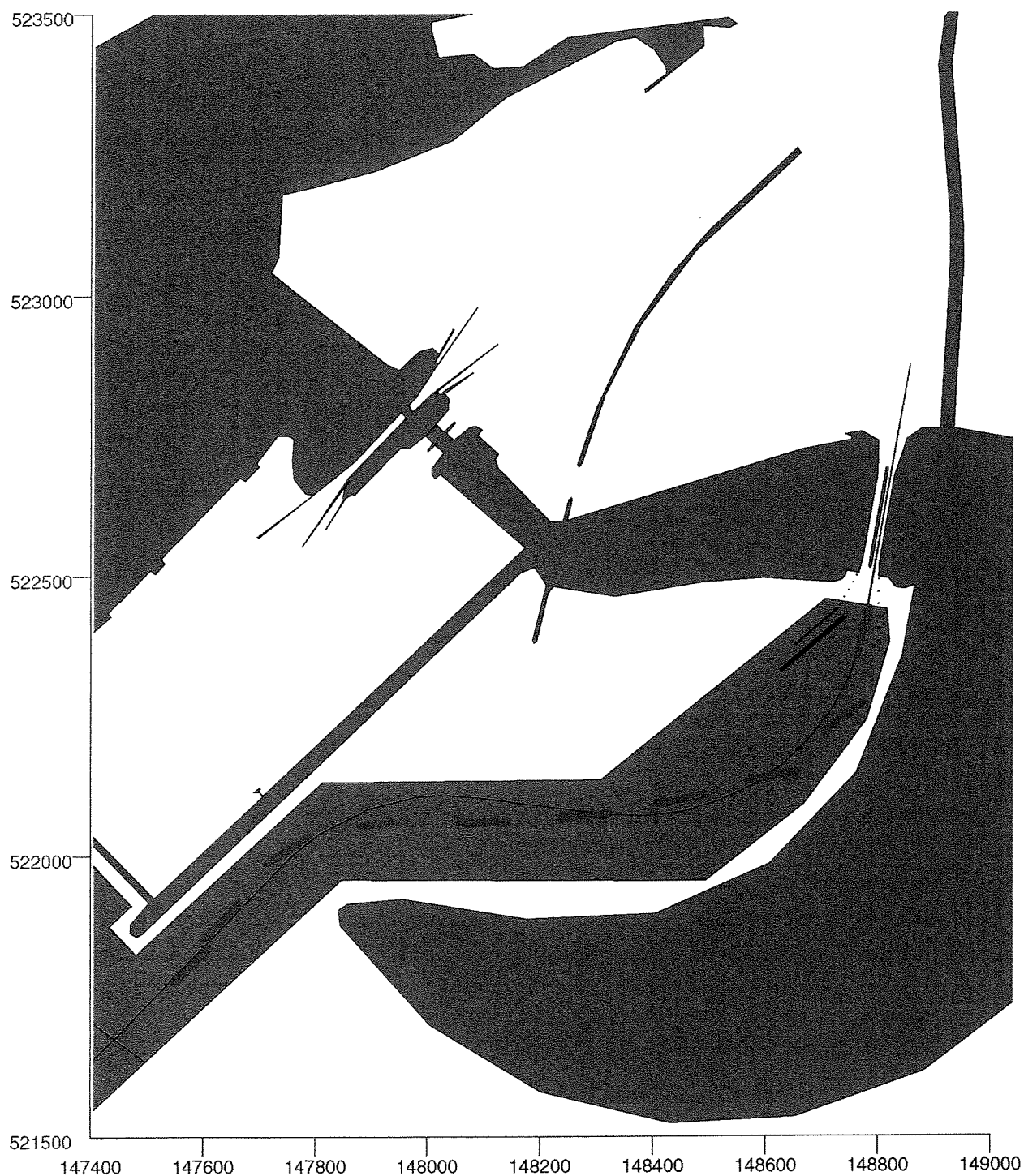
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 270 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Bijlage 11.4c



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R02

runh4

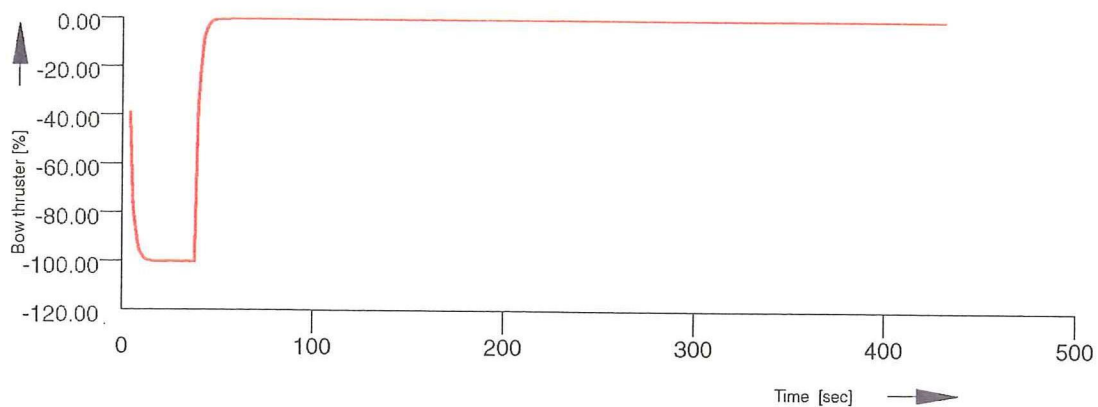
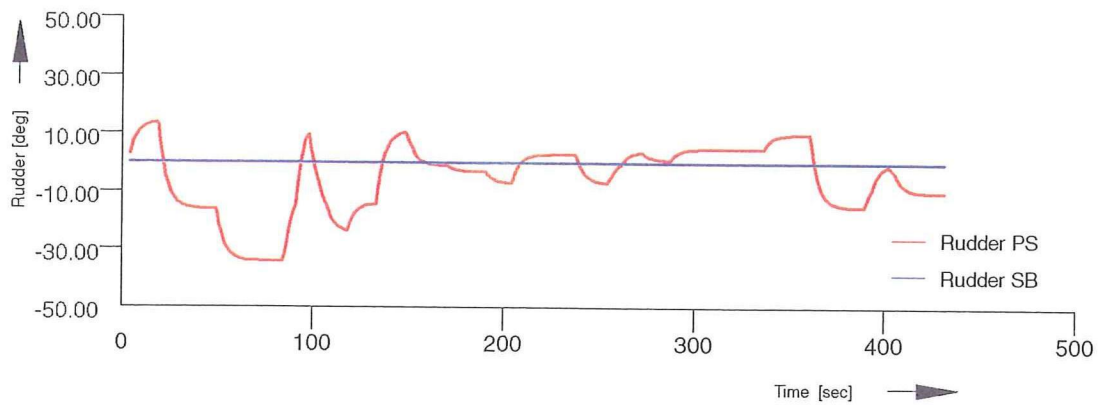
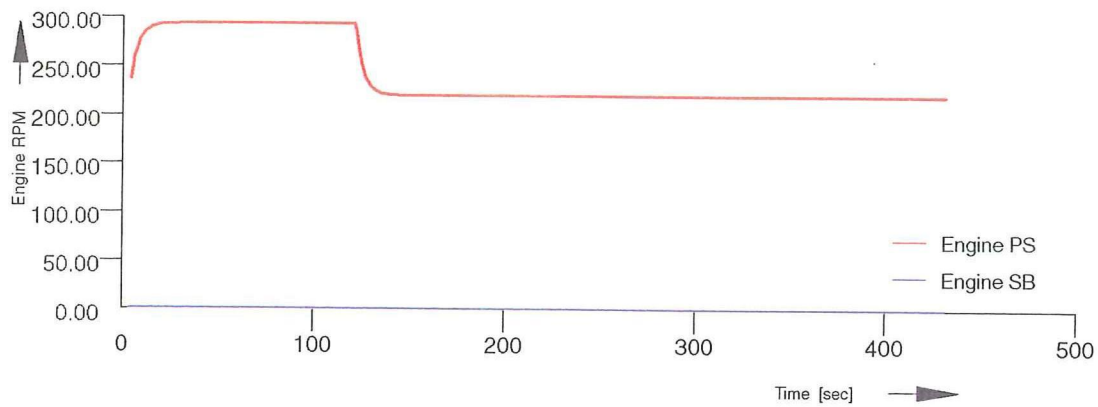
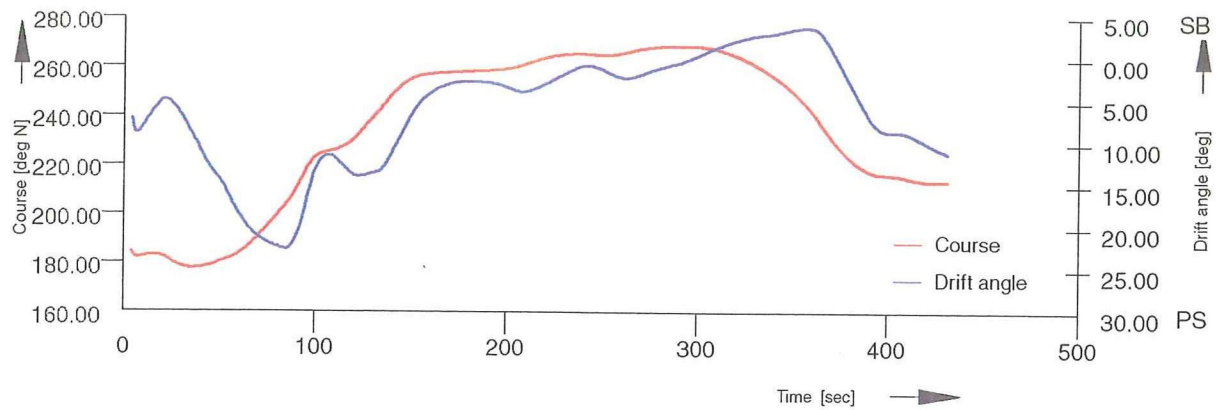
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 270 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

 **Alkyon**

Bijlage 11.4d



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R02

runh4

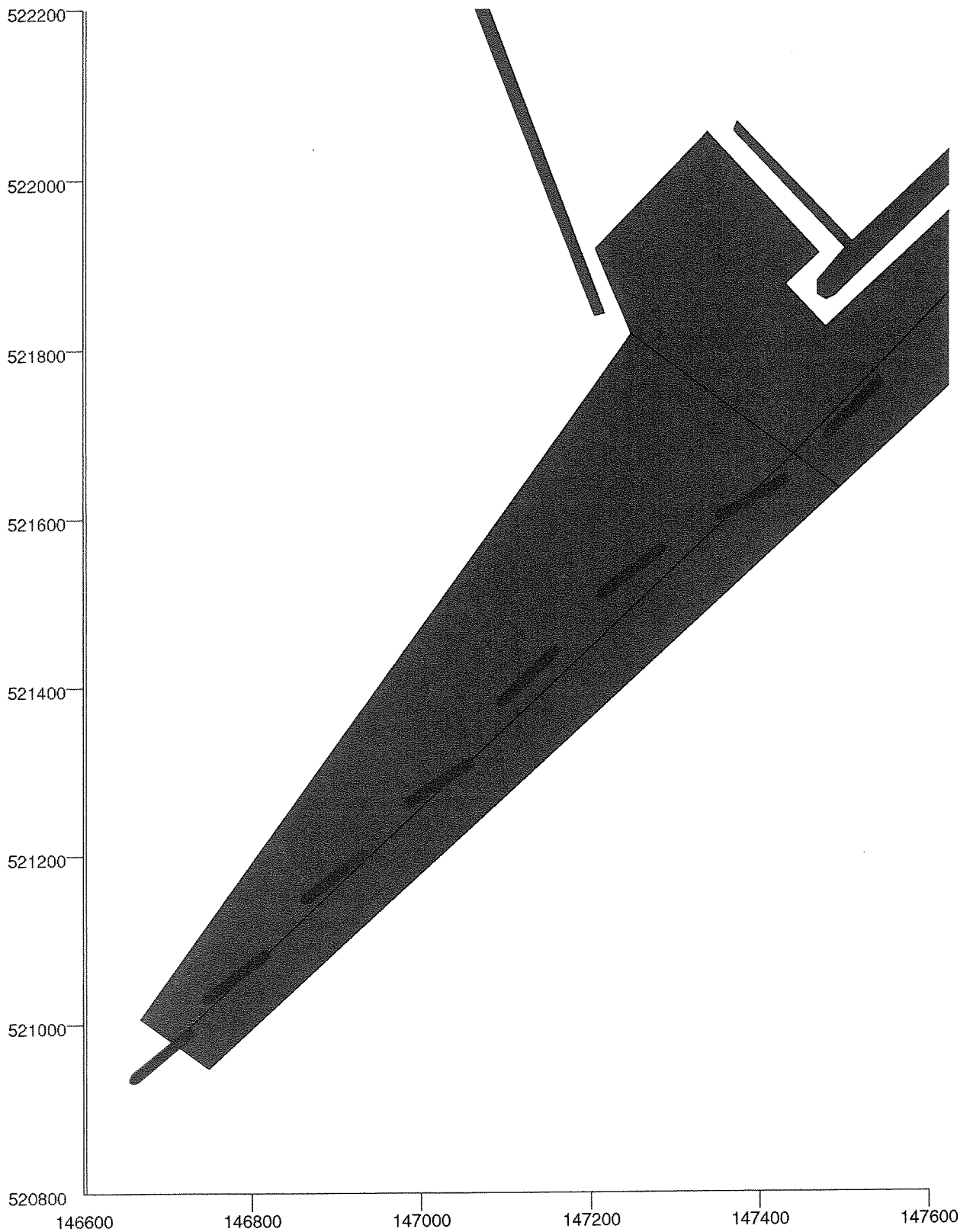
Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 270 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven

Alkyon

Bijlage 11.4d



Uitvaart; inclusief golfinvloed

Met boegschroef

Plotinterval: 45 sec

R04

runv4

Windsnelheid (U4): 16 m/s

Windrichting: 270 gr. N

Naviduct Enkhuizen - Zuidelijke voorhaven



Bijlage 11.4d

Bijlage 12

In de simulaties is gebruik gemaakt van een boegschroef met een vermogen van 240 pk. Een dergelijke boegschroef kan een kracht leveren van 2,4 ton, wat gelijk is aan 24.000 N. De hoofdschroef van het motorvrachtschip is sterker dan de boegschroef, maar voor het stabiel manoeuvreren nabij de sluisingang kan er vanuit worden gegaan dat niet meer vermogen ingezet hoeft te worden dan de boegschroef maximaal kan leveren. De tegenwerkende kracht van het schip tegen de wind komt zo uit op twee schroeven van 2,4 ton (= 48.000 N).

De windkracht wordt bepaald middels de formule: $F_w = C \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A$

- De coëfficiënt C is een verrekeningsparameter die de invloed van de hoek die het schip maakt met de wind op de dwarskracht die ontstaat door de windwerking. Deze volgen uit één van de invoerfiles van Ship-Navigator.
- De parameter ρ staat voor de dichtheid van de lucht. $\rho = 1,28 \text{ kg/m}^3$
- De snelheid v is de windsnelheid die op het schip werkt.
- A is het windoppervlak van het schip in langsrichting. $A = 528 \text{ m}^2$

In geval van wind uit de richtingen 240°N en 270°N bij een snelheid van 16 m/s is de conclusie getrokken dat invaart niet mogelijk is zonder dat de geleidende werking van de sluiswand (en dukdalven) gebruikt wordt. Dit komt doordat de maximaal tegenwerkende kracht van het schip kleiner is dan de windkracht die op het schip werkt. Zoals uit tabel 12.1 blijkt is dit inderdaad het geval ($F_w > 48.000 \text{ N}$). Om het schip wel voldoende kracht te kunnen laten opwekken is voor de twee gevallen berekend hoe groot het benodigde vermogen van de boegschroef is.

Tabel 12.1 Krachten en maximale windsnelheden op het motorvrachtschip

windrichting	coëfficiënt C (-)	windsnelheid (U_4 in m/s)	F_w (N)	benodigde boegschroef (pk)
270 gr. N	0,76	16	65746	329
240 gr. N	0,647	16	55970	280
windrichting	coëfficiënt C (-)	max. windsnelheid (U_4 in m/s)	max. windsnelheid (U_{10} in m/s)	
270 gr. N	0,76	13,67	17,08	
240 gr. N	0,647	14,82	18,53	
210 gr. N	0,217	25,58	27,86	
180 gr. N	0,088	40,18	43,77	

In het tweede deel van de tabel is, eveneens met bovenstaande formule en het gegeven dat het schip een kracht van 48 kN kan leveren, berekend wat de maximaal toegestane windsnelheid is op een hoogte van 4 m boven wateroppervlak. Voor windrichtingen 240°N en 270°N komen de uitkomsten goed overeen met de bevindingen op basis van de simulaties met behulp van Ship-Navigator. Voor wind uit de richtingen 180°N en 210°N zijn de maximaal toegestane windsnelheden erg hoog, namelijk behorend bij een windkracht van Beaufort 10 en >12. Deze twee berekende waarden zijn waarschijnlijk minder betrouwbaar dan de eerste twee aangezien in de berekening de invloed van het moment opgewekt door windkrachten niet is meegenomen. In geval van wind uit 240°N en 270°N is deze invloed ook verwaarloosbaar, zoals blijkt uit de coëfficiënten van de momenten ten opzichte van die van de dwarskrachten (C_v / C_m), weergegeven in tabel 12.2. De relatieve bijdrage van de momenten in geval van wind uit de richtingen 180°N en 210°N is niet verwaarloosbaar. Deze bijdrage zou dus eigenlijk in de bepaling van de maximale windsnelheid moeten

worden meegenomen, maar omdat is gebleken dat invaart goed mogelijk is onder te toetsen omstandigheden is hier niet verder naar gekeken.

Tabel 12.2 Coëfficiënten voor bepaling dwarskrachten en momenten

windrichting	dwarskracht coëfficiënt C_v (-)	moment coëfficiënt C_m (-)	C_v / C_m (-)
270 gr. N	0,76	0,0124	61,29
240 gr. N	0,647	0,0226	28,63
210 gr. N	0,217	0,0513	4,23
180 gr. N	0,088	0,0195	4,51

Bijlage 13

Informatiebronnen

Telefonische gesprekken

- KNWV (Koninklijke Nederlandse Watersport Vereniging)
Wet Pleziervaartuigen:
Pleziervaartuig = een schip dat is bestemd voor de sportbeoefening of vrijetijdsbesteding, met een romplengte van minimaal 2,5 en maximaal 24 meter.
Pleziervaartuigen voldoen aan de in bijlage 1 van de richtlijn opgenomen essentiële veiligheidseisen met betrekking tot ontwerp en bouw.
- Waterkampioen
Kajuitjachten: 9 à 10 m tegenwoordig
Windkracht 5: wordt al zwaarder voor de schepen
“ 6: zeilschepen verdwijnen van het water
“ 7: zeer kleine hoeveelheden aanwezig
Bij windkracht 7 treden golven op van 0,4 à 0,5 m, het varen in deze korte golven is wel mogelijk. De combinatie van wind en golven is wat het lastig maakt voor het koers houden, de wind wordt maatgevend. Deze kleine schepen hebben bij zijwind met kracht 3 al beginnende moeilijkheden bij sluisinvaart.
- Watersportvereniging Almere in Enkhuizen
Grote zeilschepen: vanaf windkracht 7 niet meer weggaan, wel thuiskomen. De combinatie van golven en wind levert problemen. (bij zeesluizen ontstaan problemen doordat men in stromend water bij afmeren eerst de achterzijde van het schip vastmaakt)
Bruine Vloot: de massa van deze schepen is zo groot dat ze wel doorvaren en weinig hinder van de golven ondervinden. Algemene regel: chartervaart niet meer bij windkracht 7, dit is verzekeringstechnisch.

Het gunstigst is het om aan de zijde waar de wind vandaan komt af te meren. Maar mensen hebben toch de neiging om zich af te laten drijven waardoor het schip in een ongunstigere positie ten opzichte van de wind komt.
- Havens in Enkhuizen
 1. Buyshaven
Beginnende problemen bij west/zuidwesten wind kracht 4 à 5.
 2. Jachthaven Enkhuizen
Problemen beginnen voor zeilschepen bij windkracht 3 à 4 en voor de bruine vloot bij windkracht 6.
 3. Klerk Yacht Service BV – reparatiebedrijf
De laatste tien jaar gebeuren minder ongelukken o.a. doordat de schepen beter zijn, de uitrusting beter is en de mensen verantwoordelijker zijn.
- Scheepsarchitecten in Enkhuizen
 1. Kapteijn & Stromenger
Lichte schepen hebben snel last van golven. Schepen zwaarder dan 100 ton kunnen golven wel makkelijk verwerken. Bij een gewicht van 3 à 5 ton zijn golven van 1 m echt lastig, een boeggolf heeft een sterke verandering van de koers tot gevolg.

Door passerende binnenvaartschepen kunnen golven ontstaan van 30 cm hoog, deze geven problemen bij het stilliggen/afgemeerd zijn van de kleine zeilschepen. Afmeren achter een groot schip is niet slim omdat bij het wegvaren van het grote schip door de schroef golven van 1 m ontstaan.

Gevaarlijke situaties ontstaan vaak door mensen die maar een paar weken per jaar varen, zij zijn bang bij het invaren van sluizen en doen dan stomme dingen.

2. Olivier F. van Meer Design
Er zijn geen problemen met golven voor zeilschepen.
 3. Simonis Voogd Design
Er wordt ontworpen op andere voorwaarden dan op toegestane golfhoogte of windkrachten. Voor meer informatie zie het NKIP.
- De Zeilvaart Enkhuizen (voor het huren van traditionele zeilschepen)
'Veilig': in principe wordt niet gevaren boven windkracht 7, want het moet veilig en plezierig blijven. De schepen kunnen het hebben: sterkte van romp en tuig, stabiliteit en veiligheidsvoorzieningen voldoen aan beroepsvereisten. Zij worden, namens de Scheepvaart-Inspectie, streng gekeurd door Register Holland, het classificatiebureau voor de zeilvaart. Eens per jaar (voor zeeschepen) of eens per twee jaar (voor schepen binnen Nederland) worden de schepen opnieuw gekeurd.
 - Verzekeringen
 1. Univé
Dekking: de verzekering dekt, tot ten hoogste het in de polis verzekerd bedrag per gebeurtenis, de schade aan of het verlies van de inboedel, ontstaan door:
storm, onweer, schipbreuk, zinken, stranden, aanvaren, geweld, overstroming of enig ander gedekt evenement overkomen aan het vaartuig.
Storm = een wind met een snelheid van tenminste veertien meter per seconde.
 2. OHRA
Er zijn weinig restricties tot waar scheepvaartongevallen zijn gedekt. Er geldt wel een maximaal aantal mijlen uit de kust tot waar gevaren mag worden met bepaalde schepen. Algemeen geldt dat schade gedekt is onder stormcondities, waarbij voor een storm geldt: vanaf windsnelheden behorende bij een windkracht 7.
 3. de Europese
Of geleden schade gedekt is, is afhankelijk van het bevaren water, de westerbreedte en noorderlengte, het soort schip e.d. De criteria worden per schadegeval bekeken.
 4. Unigarant
Stormverzekering: storm, waaronder te verstaan een windsterkte van minimaal 7 Bft., ook als deze wordt verwacht door het KNMI.
 - HISWA
In de huidige situatie bij de Krabbersgatsluis is nauwelijks golfdoordringing, dus het strijken van de zeilen is binnen de kom goed uitvoerbaar. In de zuidelijke voorhaven van het Naviduct is dit door de golfslag niet goed mogelijk in geval van jachten met een lengte rond 15 m en zelfs voor charterschepen is dit strijken lastig, het liefst wordt gestreken in een gebied met vlak water. Representatief voor het windklimaat bij Enkhuizen is zuidwesten wind. Bij de Krabbersgatsluis is het nu het geval dat bij invaart vanaf het zuiden en wind op

bakboord aan lagerwal moet worden afgemeerd, hetgeen funest is voor de scheepvaart. In de zuidelijke voorhaven bij het Naviduct zal voor de wind afgemeerd moeten worden of het schip moet gaande gehouden worden. Als in de nieuwe situatie (bij het Naviduct) de omstandigheden zo zijn dat onveiligheid ontstaat nabij de sluis, zal men toch weer door de Krabbersgatsluis willen varen.

- NKIP (Nederlands Keuringsinstituut voor Pleziervaartuigen)
Richtlijn Europese Gemeenschap – Essentiële veiligheidseisen met betrekking tot het ontwerp en de bouw van pleziervaartuigen
1. categorieën vaartuigontwerpen

Ontwerpcategorie	Windkracht (Beaufort)	Karakteristieke golfhoogte ($H_{1/3}$; meter)
a. Oceaan	> 8	> 4
b. Zee	≤ 8	≤ 4
c. Kust	≤ 6	≤ 2
d. Beschut	≤ 4	≤ 0.5

- a. Oceaan: ontworpen voor lange reizen, van voornamelijk zelfstandig opererende vaartuigen, waarbij de windkracht meer dan 8 (schaal van Beaufort) kan bedragen en de karakteristieke golfhoogte meer dan 4 m.
- b. Zee: ontworpen voor zeereizen bij een mogelijke windkracht tot en met 8 en een mogelijke karakteristieke golfhoogte tot en met 4 m.
- c. Kust: ontworpen voor de vaart in kustwateren, grote baaien, riviermondingen, meren en rivieren bij een mogelijke windkracht tot en met 6 en een mogelijke karakteristieke golfhoogte tot en met 2 m.
- d. Beschut: ontworpen voor de vaart op kleine meren, rivieren en kanalen bij een mogelijke windkracht tot en met 4 en een mogelijke karakteristieke golfhoogte tot en met 0,5 m

De vaartuigen van elke categorie moeten zodanig zijn ontworpen en gebouwd dat zij met betrekking tot de stabiliteit en vrijboord, het drijfvermogen en reserve-drijfvermogen, de openingen in romp, dek en bovenbouw, het vollopen, de door de fabrikant aanbevolen maximale belasting, het ankeren, afmeren en slepen, en de aan deze parameters verbonden eisen kunnen doorstaan en goed bestuurbaar zijn.

- Almanak – watertoerisme
IJsselmeer/Markermeer: veel optredend zijn korte, hoge golven dit is een beruchte golfslag. Het weer kan snel veranderen en hogewal kan lagerwal worden. Schip en bemanning kunnen dan in grote moeilijkheden komen. Een windbui die over het water nadert neemt de daarbij optredende golven met zich mee.

De golfhoogtes in de zuidelijke voorhaven van het Naviduct worden maximaal 1 m hoog bij de ingang van de havenmond, verder de haven in treedt slechts daling van deze golfhoogtes op. Als wordt uitgegaan van het risico op kapseizen bij een

golfhoogte van 30% van de scheepslengte wil dit zeggen dat schepen met een lengte van 3,3 m gevaar hebben op kapseizen. Als de golven 60% van de scheepslengte hoog zijn, dan betekent dit dat alle schepen van 1,6 m lengte zullen kapseizen onder die heersende golven. Schepen met dusdanige kleine lengtes zullen niet (1,6 m) of relatief weinig (3,3 m) voorkomen en waarschijnlijk zullen zij niet uitvaren bij een windsnelheid behorend bij golven van 1 m (beaufort 7), aangezien zij zich bewust zouden moeten zijn van het kapseisgevaar.

Stabiliteit van Schepen.

(Metzlar, K., 1996 2^e druk. Stabiliteit van schepen; Smit & Wytzes, Urk – Terschelling)

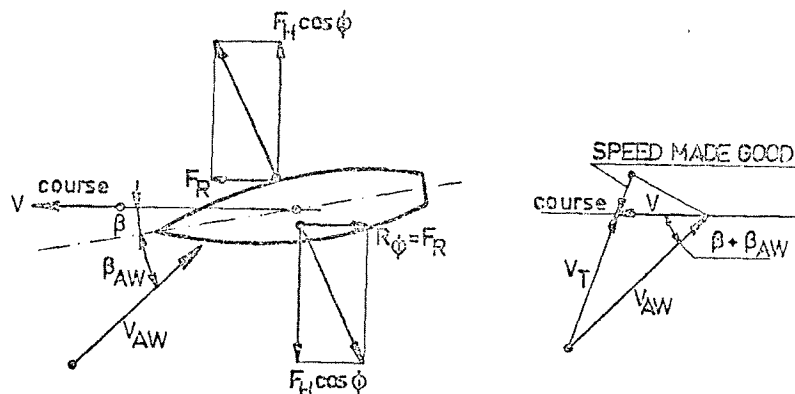
Door de beweging van golven op zee heeft een schip drie verschillen doorsneden op de waterlijn: op vlak water, op een golftop en in een golfdal. Een schip ondervindt een stabiliteitverlies op een golftop, last voor het schip wordt vooral veroorzaakt indien het schip met de wind en de zee meeloopt. De tijdsduur waarin het schip zich op een golftop bevindt is dan relatief groot, in het bijzonder wanneer de scheepssnelheid en golfsnelheid even groot zijn. Het stabiliteitverlies werkt dan langdurig op het schip hetgeen tot een gevaarlijke situatie kan leiden, zelfs tot omslag van een schip. Wanneer deze situatie optreedt moet een koersverandering of een vaartvermindering plaatsvinden om de gevaarlijke toestand te ontlopen. Indien tegen de wind en de zeegang in wordt gevaren heeft het schip weinig last, omdat de tijdsduur waarin het schip zich op een golftop bevindt relatief klein is. De besproken situatie geldt dus met name voor schepen waarbij de golflengte ongeveer gelijk is aan de lengte van het schip. In de zuidelijke voorhaven van het Naviduct varieert de golflengte van ongeveer 6 tot 10 m, dit is de lengte van een middelgroot zeiljacht. De stabiliteitsproblemen met betrekking tot de golftoppen zullen dus voor deze schepen optreden.

Weerstand, stabiliteit en snelheid van zeiljachten

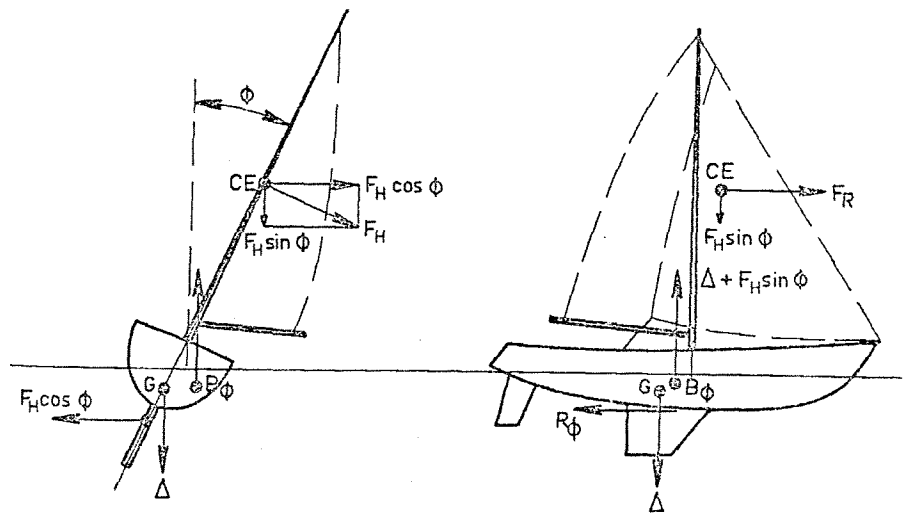
(Gerritsma, J., oktober 1983. Weerstand, stabiliteit en snelheid van zeiljachten; TH Delft, Afdeling der Maritieme Techniek, Laboratorium voor Scheepshydraulica)

De snelheid van een zeiljacht hangt naast de eigenschappen van dat jacht af van de windsterkte en de windrichting.

Jachten die op zee varen ondervinden uiteraard invloed van de zeegolven. In het bijzonder kan de weerstand bij resonantie van de stampbeweging zeer veel groter worden, hetgeen zich uit in drastische snelheidsvermindering. Het dynamisch gedrag in onregelmatige zeegang hangt mede af van het langsscheepse massa-traagheidsmoment van een jacht: een concentratie van massa in het midden van het jacht blijkt voordelig in verband met de extra weerstand die in zeegang ondervonden wordt. Er is uit de vergelijking van drie schepen gebleken dat het lichtste jacht de grootste speed made good heeft.



Figuur 13.1 Bovenaanzicht krachten en speed made good van een schip



Figuur 13.2 Zijaanzicht krachten op een zeilschip

In verband met de vaak aanzienlijke asymmetrische zeilkrachten (getoond in figuren 13.1 en 13.2) en de hydrodynamische reacties daarop is de koersstabiliteit van een zeiljacht van groot belang. Dat betreft niet alleen het stuurmoment dat door roergeven uitgeoefend kan worden, maar ook het dynamische evenwicht van het systeem: jacht + zeilen.

De dwarsstabiliteit speelt een grote rol bij het zeilen, door de dwarsscheepse zeilkracht ontstaat een helling en de hydrodynamische dwarskracht veroorzaakt een geïnduceerde weerstand, waarvan de grootte mede bepalend is voor de snelheid van het jacht. Tenslotte is de dwarsscheepse stabiliteit bij grote hoeken van belang voor de veiligheid, deze stabiliteit wordt beïnvloed door de voorwaartse snelheid, omdat de relatief grotere oppervlakteverstoring de drukverdeling over het onderwater gedeelte beïnvloed.

Resistance, propulsion and steering of ships – behaviour of ships in waves

(Vossers, G., 1962. Resistance, propulsion and steering of ships – behaviour of ships in waves; Technische Universiteit Eindhoven, Sectie vloeistofmechanica, Technische Uitgeverij H. Stam, Haarlem)

Toegevoegd aan de beweging van schepen in golven is het snelheidsverlies of de weerstandsstijging van schepen in golven interessant. Voor een schip dat invloed ondervindt van wind en golven zal de weerstand en de kracht groter zijn bij een bepaalde snelheid dan voor een schip in stil water. De snelheid zal hierdoor kleiner zijn voor een schip onder invloed van wind en golven dan bij stil water, dit betekent dus dat een snelheidsverlies optreedt in golven. Dit snelheidsverlies kan veroorzaakt worden door verschillende redenen:

- Windweerstand
- Toename van weerstand veroorzaakt door de bewegingen van het schip vooral door pitch, heave en in mindere mate door roll van het schip
- Toename van weerstand door de reflectie van de golven tegen het schip
- Toename van weerstand doordat het schip door het water passeert bij een gemiddelde drifthoek, dit kan ook zijn dat de weerstand stijgt door het drijven van het schip door een slechte stuurcontrole
- De opwekking van een gemiddelde oppervlaktestroming in het water door wind en golven
- Opzettelijke reducering van de schroefkracht voor het tegengaan van: het scheppen van teveel water, slammen van het schip, lokale excessieve versnellingen e.d.

Verscheidene aspecten van het gedrag van een schip in golven

De natuurlijke periode is een belangrijk criterium voor het scheepsgedrag, omdat aan de hand hiervan kan worden verzekerd of de externe condities (golven, scheepssnelheid) dusdanig zijn dat de mogelijkheid van resonantie optreedt. Als het mogelijk is, worden pogingen gedaan om een schip zo te ontwerpen dat de kans op resonantie wordt geëlimineerd door het kiezen van een erg korte of een erg lange natuurlijke periode (sub- of superkritisch gedrag). Voor normale boegvormen blijkt het erg lastig te zijn om de kritische zone te vermijden, een beschouwing van de natuurlijke periode voldoet niet in dat geval; de bewegingsamplitude moet eveneens in detail worden beschouwd.

Observations on waves and ship's behaviour made on board of dutch ships

(Sluijs, M.F. van, Stijnman, J.J., december 1971. Observations on waves and ship's behaviour made on board of dutch ships, Nederlands Scheepsstudiecentrum TNO, Delft)

Door het Nederlands Scheepsstudiecentrum TNO is een onderzoek gedaan naar de vraag wanneer schepen die in slecht weer voeren de kracht van de schroef reduceerden of de koers veranderden, of beide, waarom deze maatregel werd getroffen. Er kon een keuze gemaakt worden uit de volgende opties:

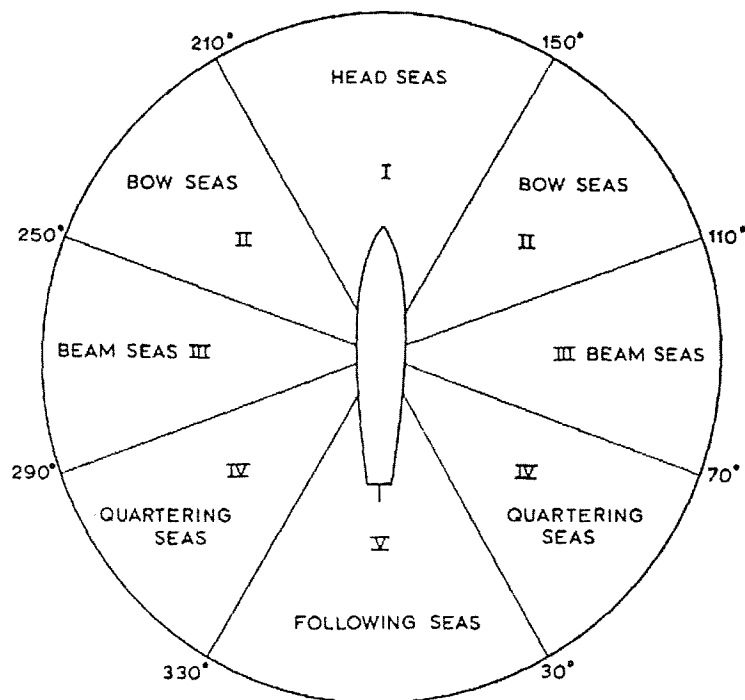
- stevig optreden van roll van het schip
- stevig optreden van pitch van het schip
- gecombineerd roll- en pitchgedrag van het schip
- stevige beweging, geen verdere beschrijving
- screw racing
- het scheppen van water
- het scheppen van water met het risico van schade aan lading op het dek
- slammen van het schip

Voor het wijzigen van de snelheid of koers kon gekozen worden uit twee aanvullende redenen:

- wind en zeecondities, exclusief de vorige 8 motieven
- ontwijken van gebieden waar wind en zeecondities slechte verwachtingen hadden

De resultaten van het onderzoek wijzen uit dat in het algemeen snelheid gereduceerd wordt in geval dat golven op de boeg inkomen. De koers wordt gewijzigd in geval dat golven dwars van achteren of loodrecht op het schip invallen. De reden voor het wijzigen van de koers of de snelheid is vooral door toedoen van pitching en slamming van het schip, vooral als met ballast wordt gevaren. Eveneens geldt voor geladen schepen dat slecht weer sneller wordt ontweken dan wanneer schepen ongeladen zijn. In geval van een grote diepgang van het schip is het scheppen van water, al of niet gecombineerd met het risico voor beschadiging van de lading, de belangrijkste reden van snelheidsreductie. Een zekere hoeveelheid water aan dek moet worden toegestaan om de snelheidsreductie en de koersverandering binnen redelijke grenzen te houden.

Uit de resultatentabel van het onderzoek van het Victory type schip (lengte 133,05 m, breedte 18,90 m, maximale diepgang 8,69 m) blijkt dat voor golven tot een hoogte van 0,25 m geen aanpassingen aan de snelheid of vaarrichting worden gedaan. Voor de categorie golven met een hoogte van 0,25 – 1,25 m is de kans van deze aanpassingen afhankelijk van de invallende hoek van de golven. In figuur 13.3 is de definitie van de golfrichtingsintervallen weergegeven.



Figuur 13.3 Definitie van golfrichtingsintervallen

Het percentage van de aanpassing van de snelheid of koers op het aantal waarnemingen is als volgt:

Head seas:	1,7%
Bow seas:	0,45%
Beam seas:	-
Quarterming seas:	0,78%
Following seas:	0,45%

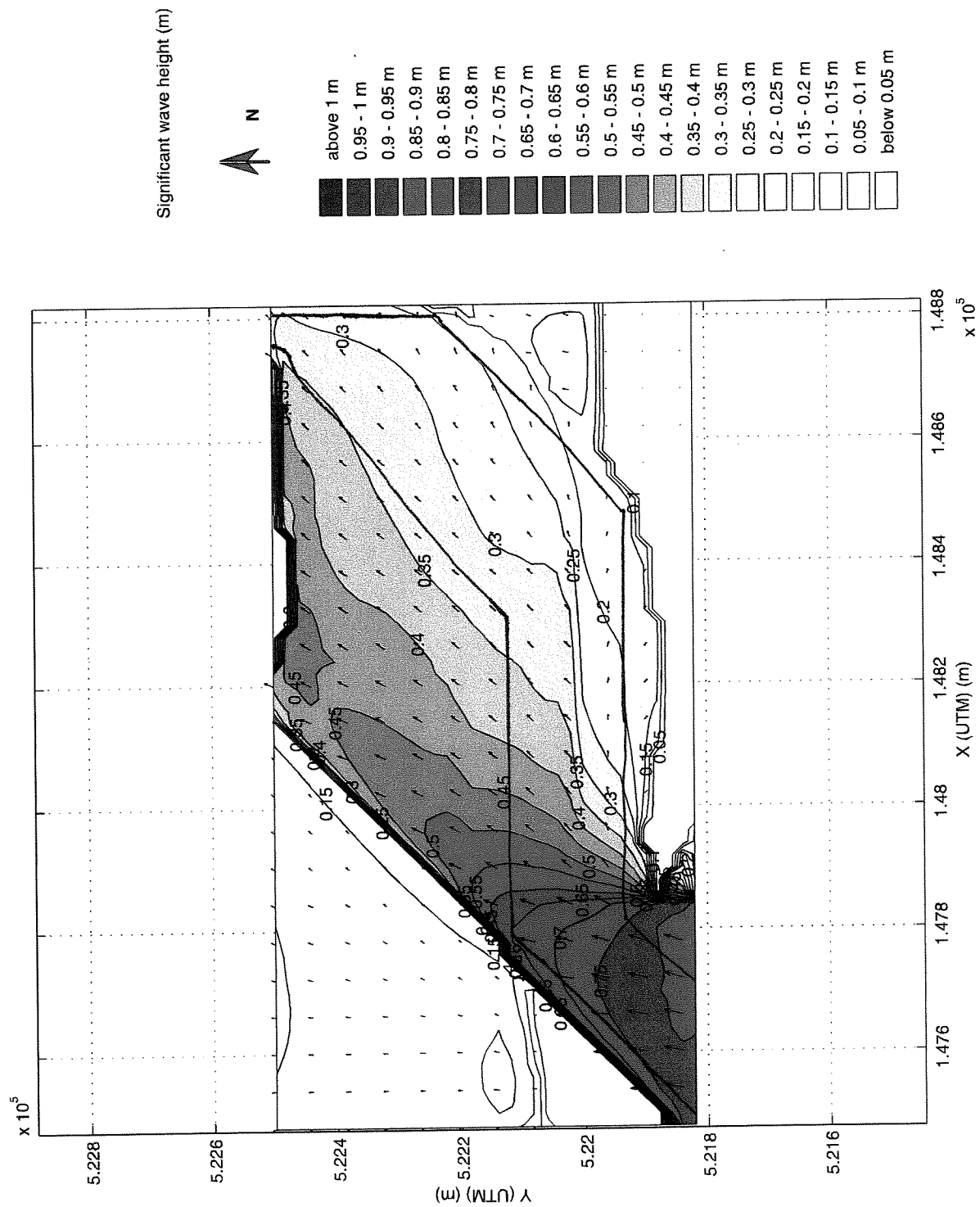
Er kan verwacht worden dat in de voorhaven bij Enkhuizen doordat de schepen kleiner zijn dan het beschouwde schip in dit onderzoek en geen zeeomstandigheden gelden, deze percentages voor koers- of snelheidsverandering nog lager zullen uitvallen.

Bijlage 14

In onderstaande tabel is aangegeven welke condities voor de SWAN-berekeningen in de figuren van de kritieke windsnelheden zijn afgebeeld.

Tabel 14.1 SWAN-condities en bijbehorende figuurnummers

Windrichting	Windsnelheid	Figuurnummer
180°N	13 m/s	1.1
	14 m/s	1.2
210°N	10 m/s	2.1
	11 m/s	2.2
240°N	9 m/s	3.1
	10 m/s	3.2
270°N	9 m/s	4.1
	10 m/s	4.2



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 180 deg. N

Wind speed: 13 m/s

Naviduct Enkhuizen

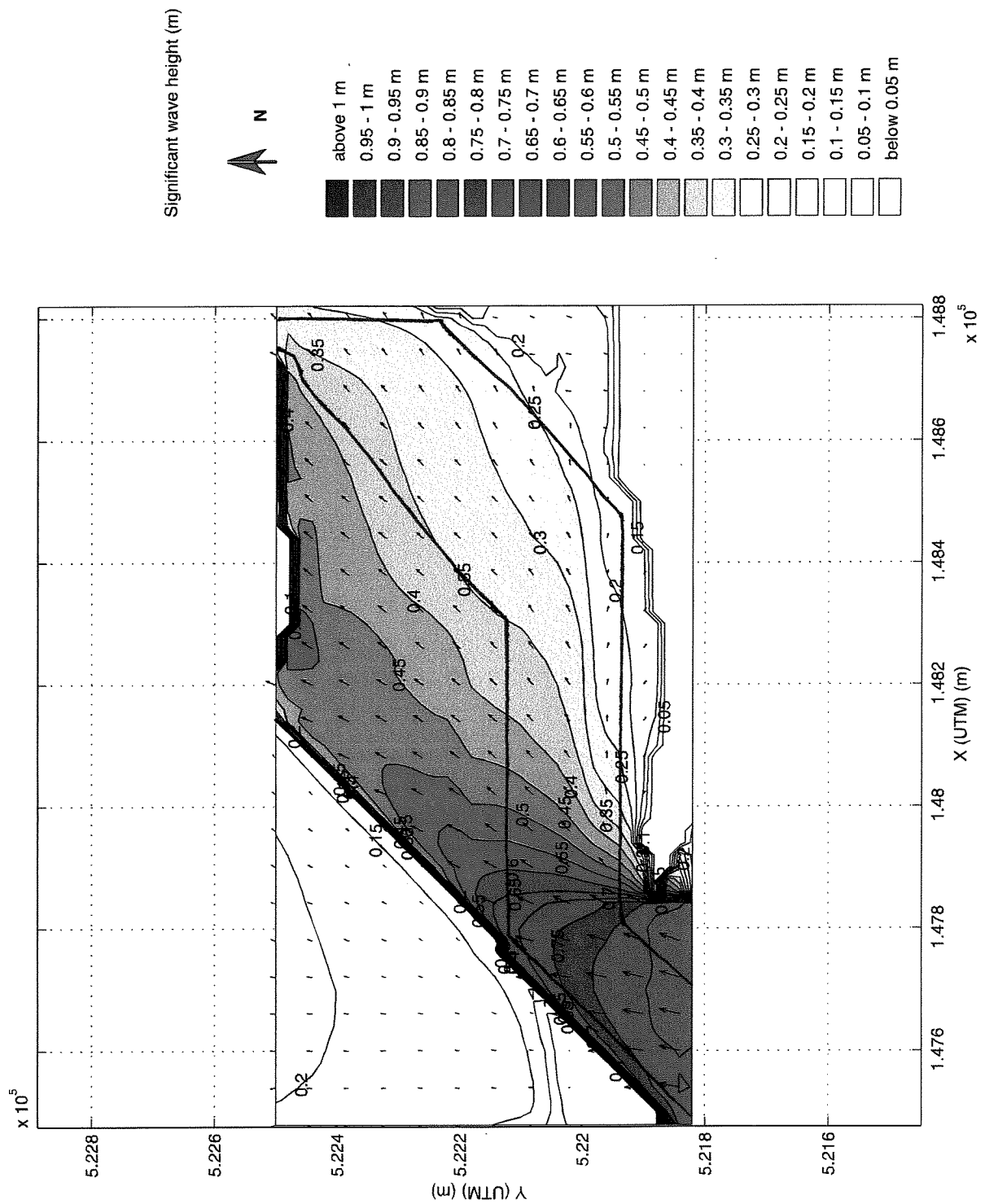
reflection

SWAN40.10

R22

Alkyon

Fig. 1.1



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 180 deg. N

Windspeed: 14 m/s

Naviduct Enkhuizen

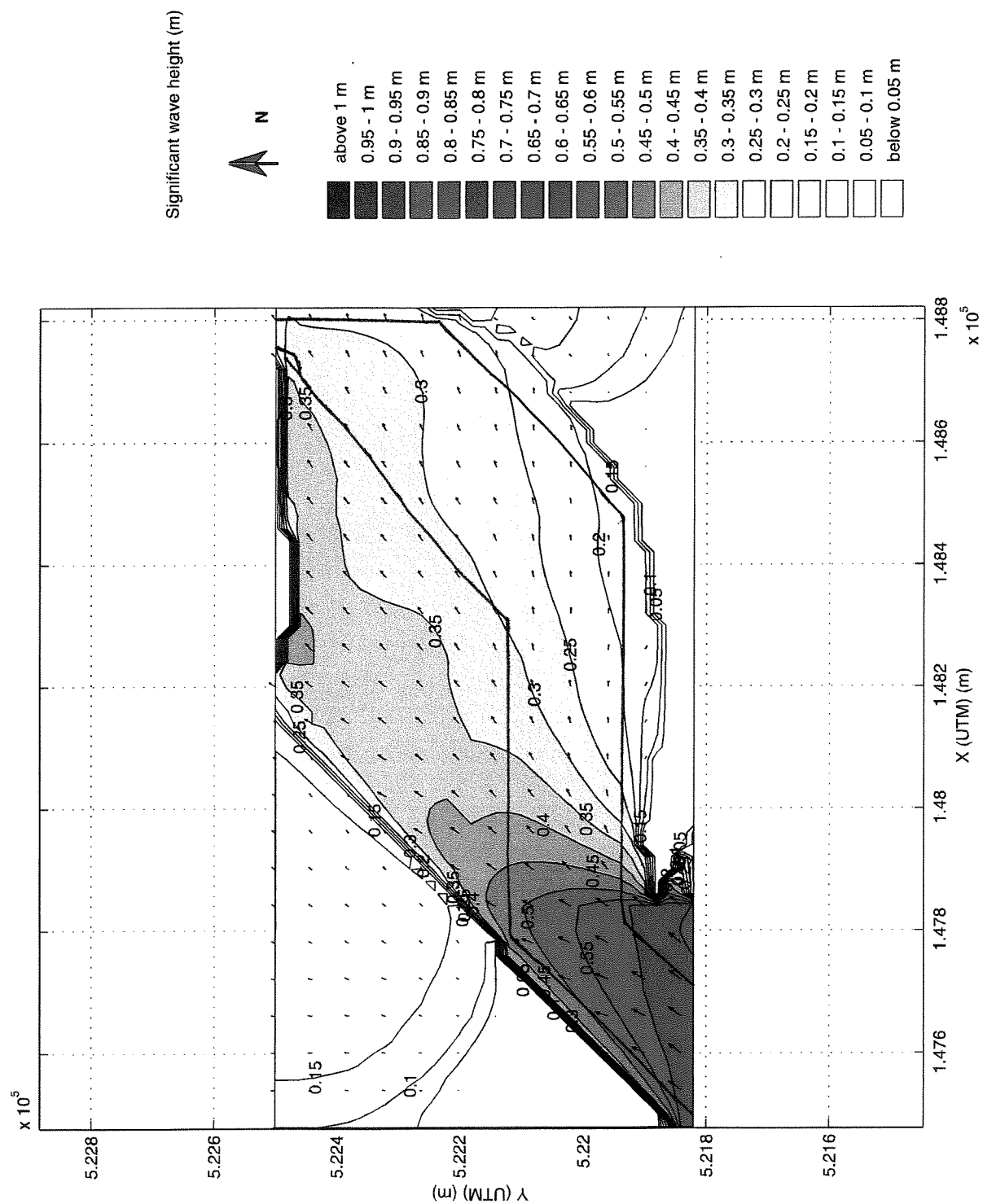
reflection

SWAN40.10

R26

Alkyon

Fig. 1.2



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 210 deg. N

Windspeed: 10 m/s

Naviduct Enkhuizen

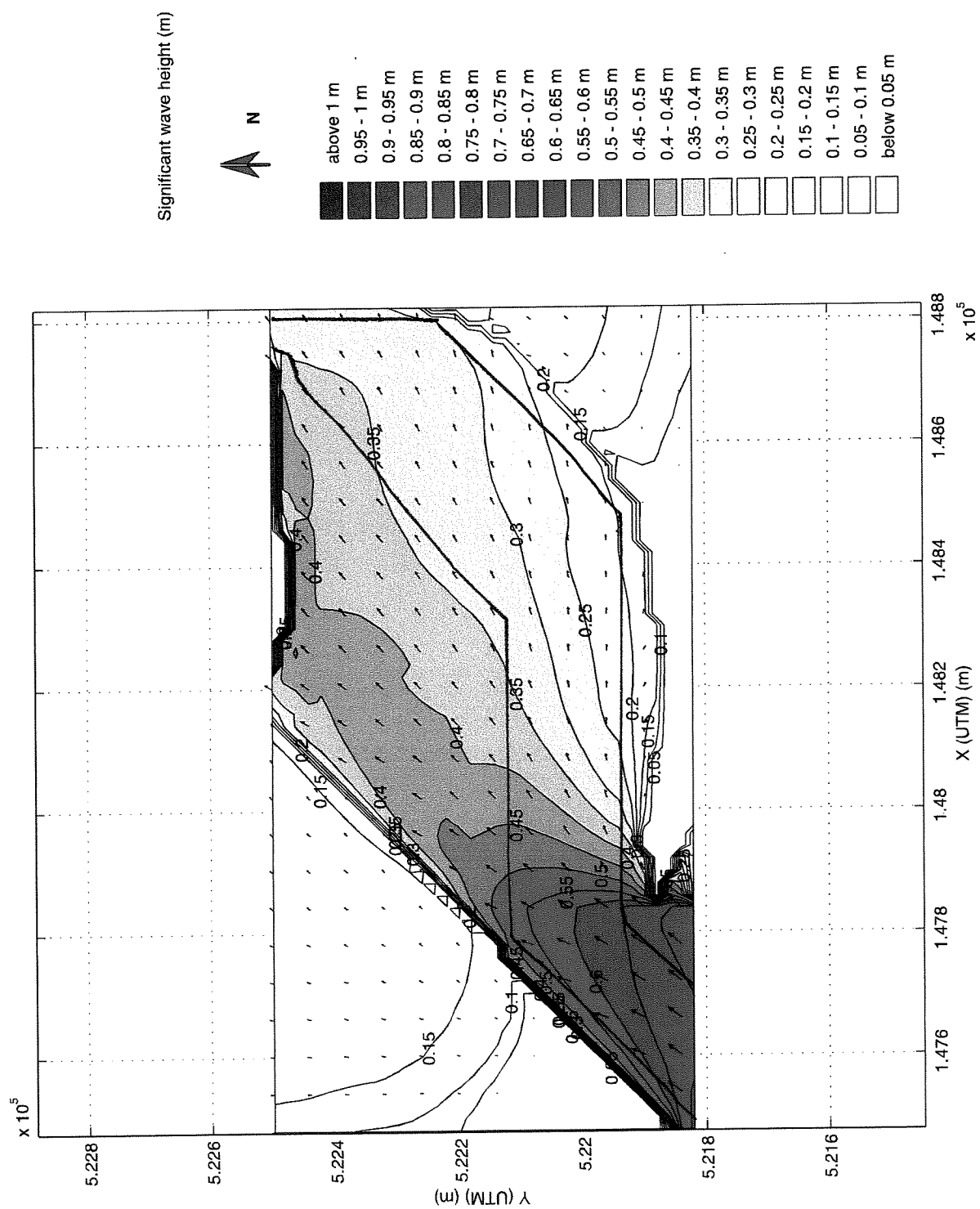
reflection

SWAN40.10

R95

Alkyon

Fig. 2.1



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 210 deg. N

Wind speed: 11 m/s

Naviduct Enkhuizen

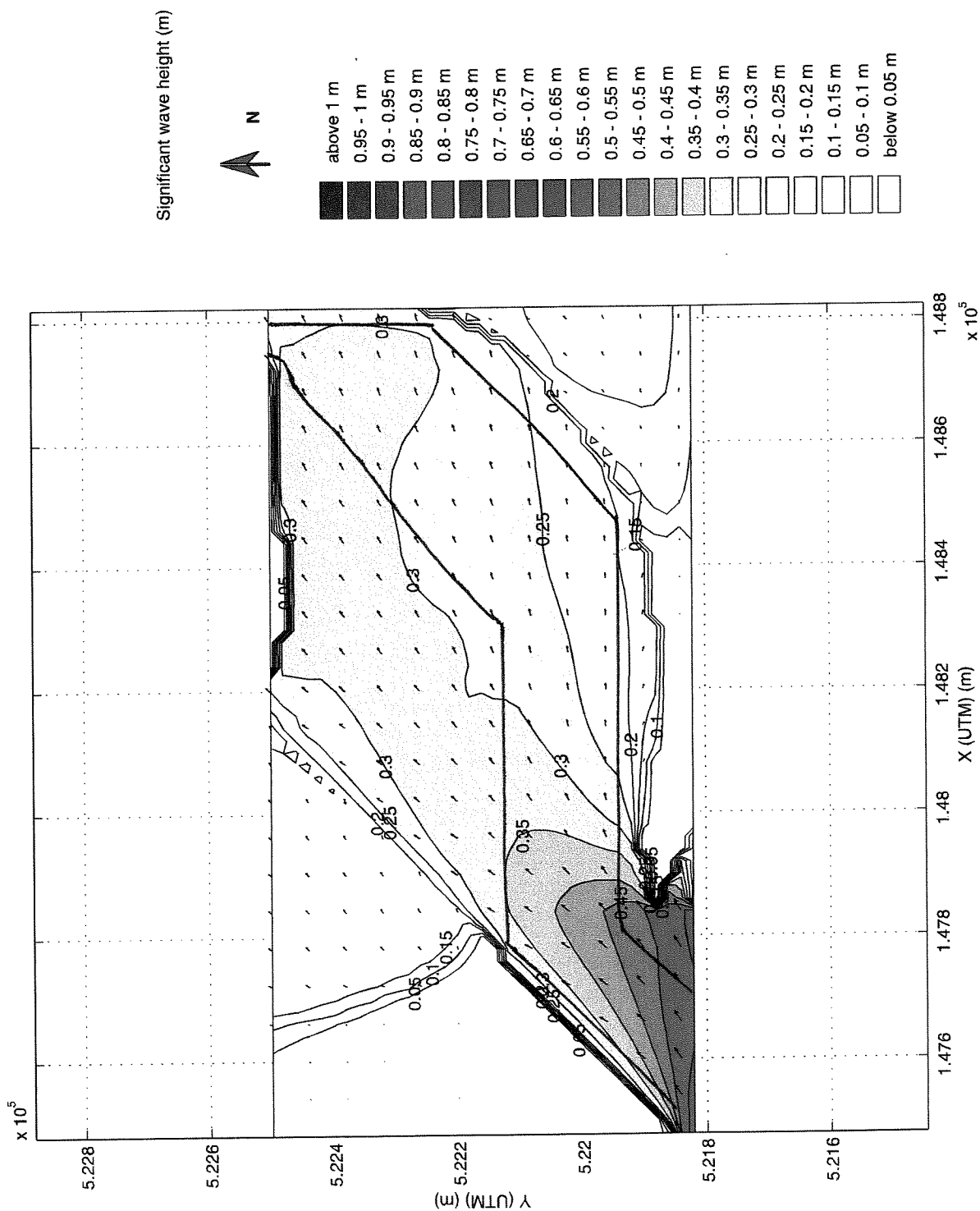
reflection

SWAN40.10

R96

Alkyon

Fig. 2.2



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 240 deg. N

Windspeed: 9 m/s

Naviduct Enkhuizen

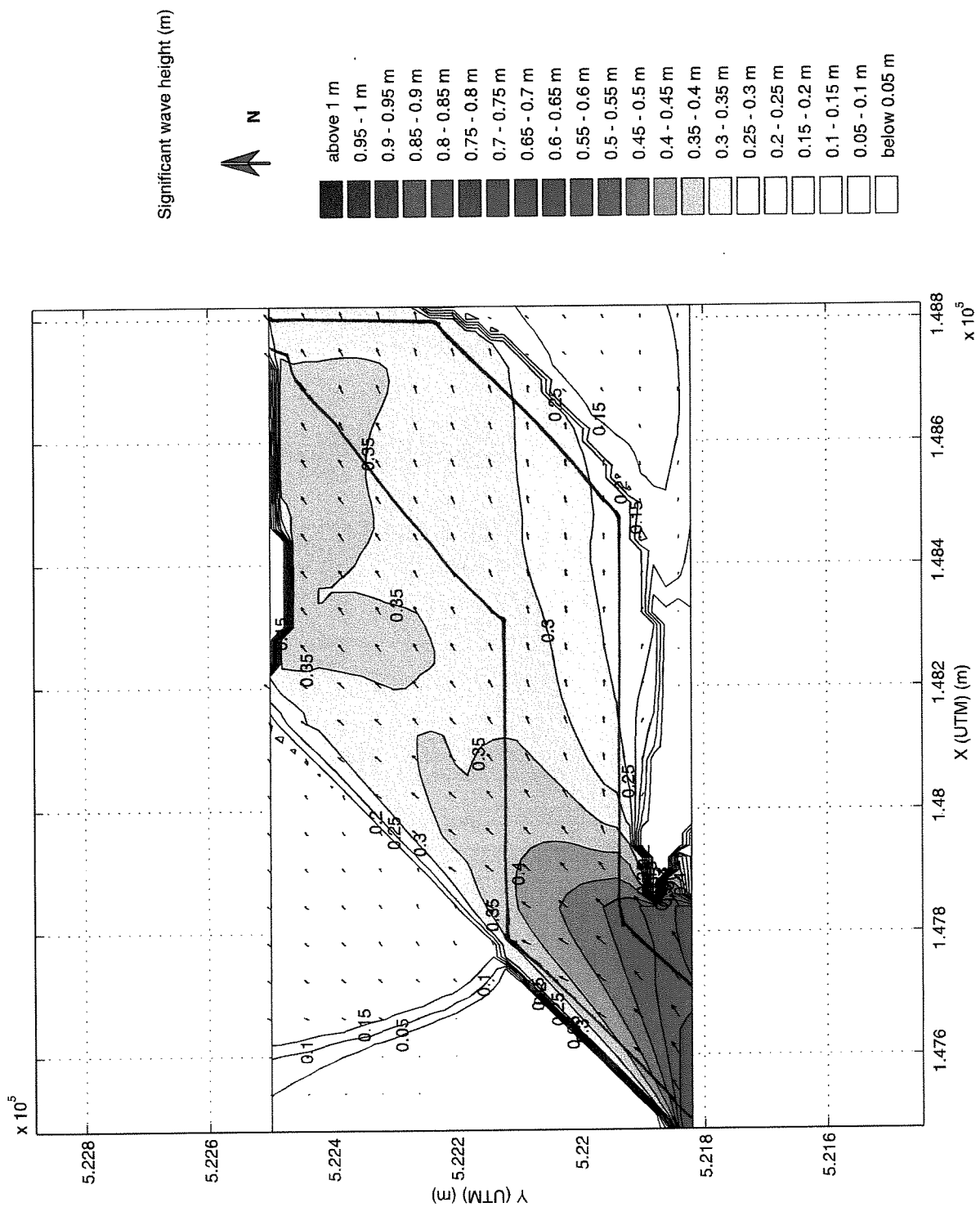
reflection

SWAN40.10

R97

Alkyon

Fig. 3.1



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 240 deg. N

Windspeed: 10 m/s

Naviduct Enkhuizen

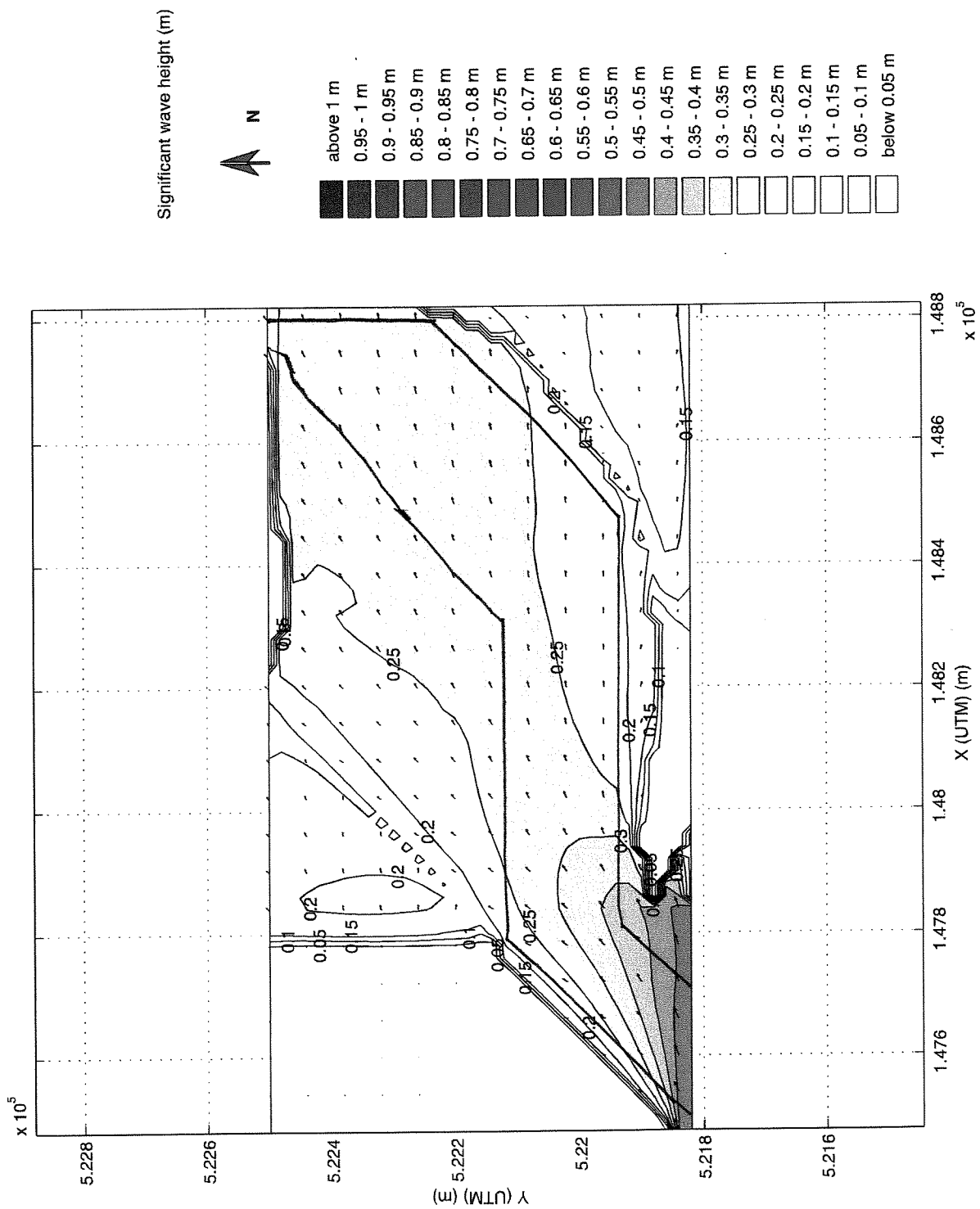
reflection

SWAN40.10

R98

Alkyon

Fig. 3.2



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 270 deg. N

Windspeed: 9 m/s

Naviduct Enkhuizen

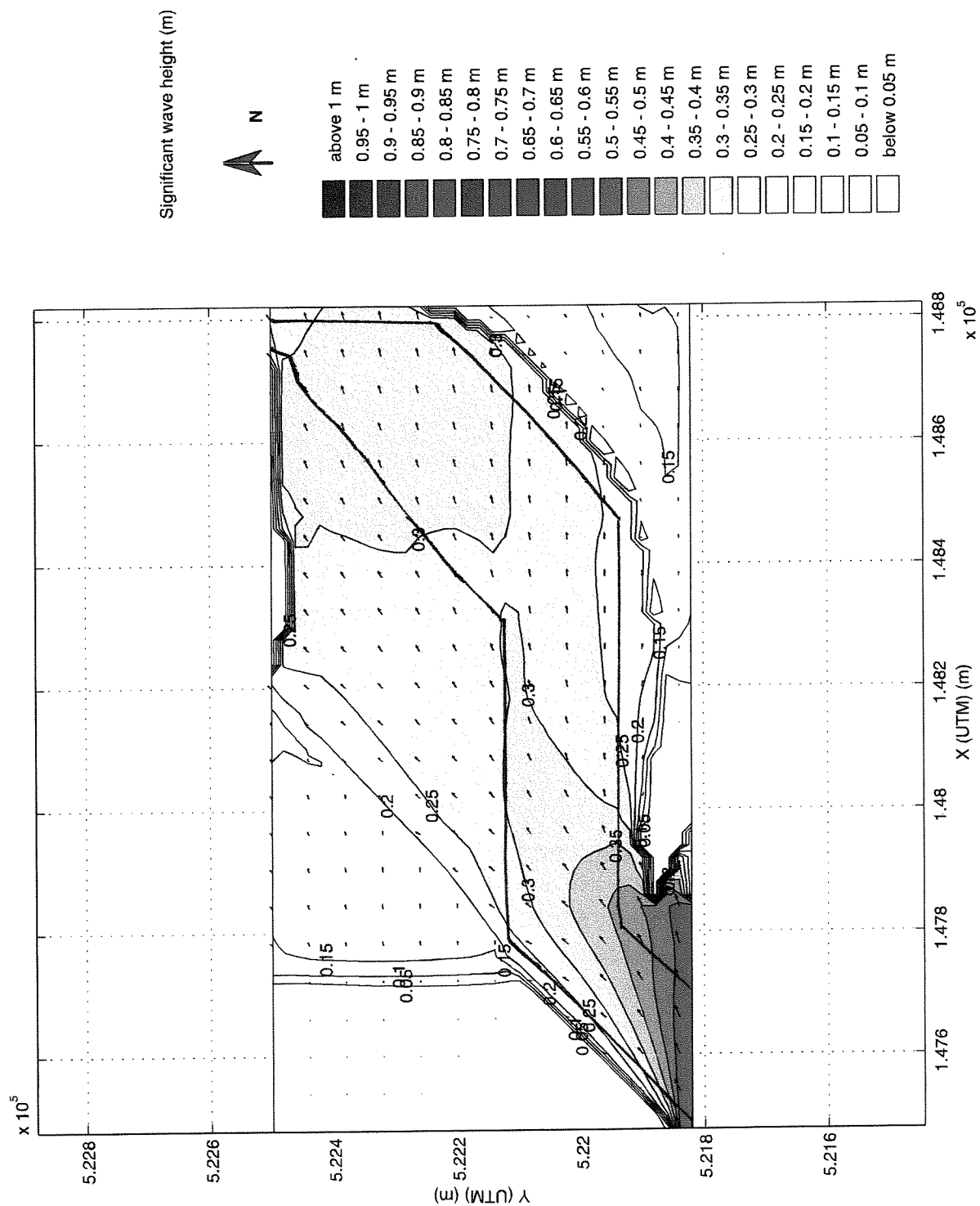
reflection

SWAN40.10

R99

Alkyon

Fig. 4.1



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 270 deg. N

Wind speed: 10 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

SWAN40.10

R90

Alkyon

Fig. 4.2

Bijlage 15

15.1 Inleiding

In deze bijlage zal de downtime berekend worden voor een aantal binnenvaartschepen onder een aantal verschillende condities om te onderzoeken wat de kans is dat schepen bezwijken binnen de zuidelijke voorhaven onder de normaal optredende omstandigheden van windsnelheden en bijbehorende golfcondities. De berekening van de downtime houdt dus in dat bepaald wordt hoe groot de faalkans van de schepen is, naar aanleiding van een aantal gestelde faalmechanismen en bijbehorende limiterende condities per schip, in een bepaalde tijdserie. Aansluitend wordt geanalyseerd of de optredende faalkans bijdraagt aan de downtime. In een studie naar de golfhinder voor de binnenvaart bij de Maasvlakte 2 zijn door medewerkers van Alkyon limiterende condities voor de faalmechanismen opgesteld, waarbij de schepen nog juist niet falen. Aan de hand van dit onderzoek is voor de situatie rondom de zuidelijke voorhaven van het Naviduct te Enkhuizen bepaald wat de lokale omgevingsomstandigheden (wind, golfcondities e.d.) voor invloed hebben op vaarmogelijkheden van de binnenvaartschepen.

In de beschouwing, in paragraaf 15.5, wordt nader ingegaan op de betekenis van de berekende downtime in de voorhaven met betrekking tot overige faalmechanismen van de scheepvaart.

15.2 Faalmechanismen

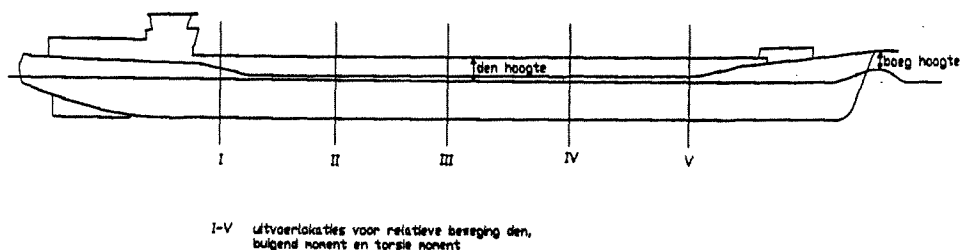
Voordat de kans op falen kan worden berekend moeten eerst de verschillende faalmechanismen worden gedefinieerd. Voor de berekening van de downtime van verschillende schepen zijn de volgende faalmechanismen beschouwd:

Water over de boeg

Op basis van de hoogte van de boeg ten opzichte van het stilwateroppervlak en de hoogte van de boeggolf is te bepalen wat de uiterste grensconditie is voor falen. De betreffende hoogtes kunnen verschillen binnen een scheepsklasse, dit is afhankelijk van de leeftijd van een schip.

Water over de den

Voor de definitie van water over de den zijn vijf locaties langs de scheepshuid geselecteerd, waarvoor de relatieve scheepsbeweging ten opzichte van het golfoppervlak is berekend (zie figuur 15.1).



Figuur 15.1 Locaties van uitvoerpunten voor dencriteria

De locatie met de grootste beweging is maatgevend voor de vervolgberekening. Op basis van de hoogte van de den ten opzichte van het stilwateroppervlak en de spiegeldaling wordt dus de limiterende conditie bepaald voor falen. Eveneens variëren de hoogtes, net als bij de boeg, binnen een klasse door de leeftijdsverschillen tussen de schepen.

Aangezien de den van een schip inspringt ten opzichte van de zij is een exacte berekening van water over de den niet mogelijk. De beweging van golven op het dek, na eventuele opstuwing over de den, zou numeriek bepaald moeten worden. In het kader van dit onderzoek is deze werkwijze te complex geacht. Daarom wordt het faalmechanisme 'water over de den' bepaald door het overschrijden van de denhoogte op de plaats van één van de vijf locaties langs de zij van het schip.

Momenten

Om het buigend en wringend moment op het schip te kunnen bepalen wordt het schip opgedeeld in segmenten. Binnen het frequentiedomein worden de verbindingskrachten tussen de verschillende segmenten bepaald. Tevens moeten de gewichtsverdeling en de maximaal toelaatbare buigende en wringende momenten in de verschillende doorsneden langs de lengte van het schip bekend zijn. Deze maximum momenten zijn afhankelijk van de constructie en de toelaatbare materiaalspanningen.

Uiteindelijk volgen via integratie de buigende en wringende momentenlijnen.

Buigend moment

Het toelaatbare moment is te bepalen middels de buigspanningen ten gevolge van langsscheepse buiging (σ_s). Deze toelaatbare spanning is volgens Lloyd's Register of Shipping 137 N/mm².

De resulterende buigspanningen in het vlak en luikhoofd zijn te berekenen via deling van het buigende moment ter plaatse van de doorsnede door het betreffende weerstandsmoment. Deze weerstandsmomenten zijn bepaald rekening houdend met de in langsrichting doorlopende constructiedelen.

Vooruitlopend op de volgende statistiek voor de downtimeberekening zijn de buigende momenten onderverdeeld in een statisch en een dynamisch gedeelte.

Wringend moment

De maximale schuifspanning is, evenals bij het buigend moment, te berekenen via deling van het torsiemoment ter plaatse van de berekende doorsnede door het betreffende weerstandsmoment. Aansluitend moeten de meest kritische weerstandsmomenten in de beschouwing worden meegenomen.

Met behulp van de torsiestijfheid kan de maximale schuifspanning halverwege de constructiedelen worden berekend, waarbij wordt aangenomen dat er geen variatie in de hoekverdraaiing per lengte-eenheid van alle constructiedelen optreedt. Op basis van de berekende torsiestijfheden van alle dunwandige constructiedelen, zowel plaat- als kokerconstructies, kan de totale torsiestijfheid van elke doorsnede worden berekend.

Een voorbeeld van het falen van een binnenvaartschip op een rivier is weergegeven in figuur 15.2. Dit falen is opgetreden naar aanleiding van het uitvallen van de motor waardoor het schip stuurloos is geworden en aan de wal is gelopen.



Figuur 15.2 Gehavend binnenvaartschip na problemen met de motor

15.3 Vooronderzoek

In het kader van het samenwerkingsverband Maasvlakte 2 is door Alkyon Hydraulic Consultancy & Research begin 2000 een onderzoek verricht naar de golfhinder voor binnenvaart voor vier varianten van de uitbreiding van de Maasvlakte. In deze studie zijn voor een aantal eenvoudige en samengestelde schepen de limiterende condities van de faalmechanismen, welke zijn aangegeven in paragraaf 15.2, bepaald.

Enkelvoudige schepen

Via de nabewerkingsprogramma's DIFFRAC-3D, DYNFORC en SEAWAY zijn response amplitude operators (ROA's) opgesteld die gerelateerd zijn aan de maatgevende golfspectra.

Het DIFFRAC-3D model bepaalt de hydrodynamische krachten ten gevolge van golven op en oscillatie van het schip op een niet-varend schip in zes verschillende situaties. Tevens worden voor elke situatie toegevoegde massa- en dempingscoëfficiënten vastgesteld in een aangegeven frequentiedomein. De invoer voor dit model bestaat uit de vorm van de romp van een aantal geselecteerde schepen. Deze schepen zijn de volgende: Spits, Kempenaar, Dortmund, Duwbak, Europaschip, Rijnschip en Jowi (zie bijlage 15.1).

Als nabewerking op de resultaten van DIFFRAC-3D wordt de responsie van een varend schip door het programma DYNFORC berekend. De respons vanuit de verschillende componenten van de golfkracht, massa van het schip, toegevoegde massa en demping worden bepaald voor elke frequentie en voor elke situatie. De vereiste invoer van DYNFORC bestaat uit de voorwaartse snelheid van het schip, de hydrodynamische coëfficiënten (bepaald met behulp van DIFFRAC-3D) en informatie over de viskeuze demping voor de slingerbewegingen.

Het striptheoriemodel SEAWAY bepaalt golfkrachten en de respons van een schip voor de volgende scheepsbewegingen: sway, heave, pitch, roll en yaw. Uit de respons van het schip zijn de versnellingen van elke sectie van het schip in verticale, sway- en rollrichting bekend. In combinatie met de informatie over de massaverdeling van elke sectie van het schip kunnen door middel van integratie over de lengterichting op een uitstekende wijze de buigende en torsiemomenten van het schip berekend worden. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in bijlage 15.2.

De invoer van SEAWAY bestaat enerzijds uit scheepsvormdoorsneden van segmenten in de lengterichting van het schip en anderzijds uit de massaverdeling

van elk van deze segmenten. Deze laatste informatie bestaat uit het gewicht per eenheidslengte, de hoogte van het zwaartepunt boven de kiel en de massatraagheid van het segment per eenheidslengte ten opzichte van de x-as door het zwaartepunt.

Samengestelde schepen

Van een beschrijving van de methodiek voor samengestelde schepen wordt afgezien, dit omdat in de havens rond het Naviduct geen sprake zal zijn van deze schepen. Brede tweebaks-duwcombinaties en lange koppelverbanden, die in het Maasvlakterapport zijn beschouwd, kunnen namelijk geen doorgang vinden in de sluizen van het Naviduct of de bestaande Krabbersgatsluis.

15.4 Berekening van downtime

15.4.1 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Windtijdserie

De downtime van de verschillende schepen wordt in het algemeen bepaald aan de hand van een tijdserie voor wind- en golfmetingen. In het Maasvlakterapport is gebruik gemaakt van golfmetingen bij het Europlatform en wind- en waterstandsmetingen bij Hoek van Holland. Deze metingen zijn voor een periode van maart 1986 tot en met december 1991 elke 3 uur genoteerd.

Er is aangenomen dat de windtijdserie bij Hoek van Holland representatief is voor de locatie van de zuidelijke voorhaven nabij Enkhuizen. Dit is verantwoord aangezien de locaties Hoek van Holland en Enkhuizen (volgens figuur 4.8 uit Windklimaat van Nederland, Wieringa en Rijkoort 1983, zie ook bijlage 16) in hetzelfde gebied liggen qua jaargemiddelde van potentiële windsnelheid. Ook wat betreft de jaarpercentages van onder- of overschrijding van gegeven windsnelheden is de variatie tussen de twee locaties slechts klein (uit bijlage D van Windklimaat van Nederland, zie in dit rapport bijlage 15.3).

Schepen

De binnenvaartschepen met hun vaarcondities, waarvoor de downtimeberekening is uitgevoerd, zijn weergegeven in tabel 15.1.

Tabel 15.1 Scheepstypen en condities voor downtimeberekening

CEMT klasse	Scheepstype	Vaarconditie
I	Spits	vol
II	Kempenaar	vol en leeg
III	Dortmunder	vol
IV	Europaschip	vol en leeg
Va	Rijnschip	vol en met containers

Voor alle schepen is de downtime berekend in geval van de heen- en terugreis. De heenreis wordt gezien als het invaren van de zuidelijke voorhaven van het Naviduct en de terugreis vanzelfsprekend als het uitvaren van diezelfde haven. Voor deze schepen zijn de in het vooronderzoek opgestelde response amplitude operators toegepast bij de bepaling van de scheepsresponsie gedurende de tijdserie waaraan het schip wordt getoetst.

Faalkans

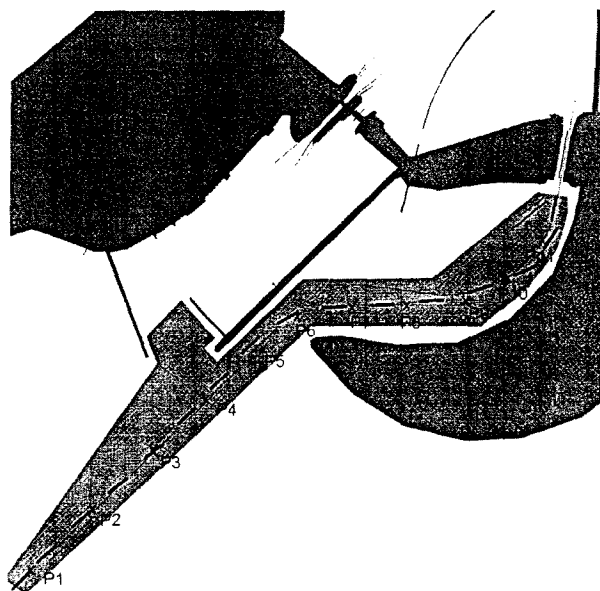
De uiteindelijke downtimeberekening houdt in dat voor elk tijdstip in de tijdserie op elk uitvoerpunt bekeken wordt hoe groot de kans is dat de limieten van één van de opgegeven faalmechanismen worden overschreden. Dit overschrijden van een limiet wordt falen genoemd, falen behoeft echter geen noodsituatie te zijn. Het kan

namelijk het geval zijn dat de kans dat één enkele golf de denhoogte overschrijdt 1% bedraagt. Er wordt vervolgens bekeken of deze berekende faalkans groter is dan de aanvaardbaar gestelde kans op falen. Als de faalkans groter is dan toegestaan, dan draagt dit tijdstip bij aan de downtime. Onderschrijdt de faalkans de limietwaarde, dan is er geen sprake van een bijdrage.

In de studie van de Maasvlakte 2 is een acceptabele faalkans (p_{\min}) van 1 % aangehouden. Er is in dat rapport uitgewijd over de keuze van de acceptabele faalkans. Aangegeven wordt dat in offshore ontwerpen vaak gewerkt wordt met een faalkans van 1 % en voor vrijboord dimensioneringen de lange en korte termijn kansen afhankelijk zijn van de lengte van het schip. Voor schepen kleiner of rond de honderd meter varieert de toegepaste faalkans van 3 - 5 %. In deze studie is onderzocht wat de invloed van de acceptabele faalkans is op de totale downtime van de verschillende schepen op het vaartraject. Berekeningen van de downtime zijn uitgevoerd voor een acceptabele faalkans van 1, 3 en 5%.

15.4.2 Golfcondities

In geval van het downtime-onderzoek bij het Naviduct te Enkhuizen kan geen gebruik worden gemaakt van de tijdserie van golfmetingen bij Hoek van Holland aangezien deze afhankelijk zijn van de striklengte en diepteligging van de bodem over de verschillende richtingen. Op basis van de tijdserie voor windmetingen is een aantal tijdseries voor de golfcondities gemaakt nabij Enkhuizen. Hiervoor is op de vaarroute, die gevolgd is tijdens de simulaties met behulp van Ship-Navigator, een aantal uitvoerpunten gedefinieerd. Het traject vanaf het begin van de verdiepte vaargeul tot aan de sluisingang is ongeveer 2,5 km. De afstand tussen de gedefinieerde uitvoerpunten op de route is circa 250 m, dit levert een totaal van 11 uitvoerpunten op (zie P1 tot en met P11 in figuur 15.3).



Figuur 15.3 Uitvoerpunten voor downtimeberekening

Voor elk van deze uitvoerpunten is in alle richtingen, met een stapgrootte van $22,5^\circ$, de striklengte en de waterdiepte bepaald. Aansluitend is voor een breed scala aan windsnelheden en het volledige spectrum aan windrichtingen de golfhoogte, golfperiode en golfrichting bepaald op basis van de groeicurven volgens Wilson 65 (in plaats van Hurdle & Stive). Dit is noodzakelijk aangezien de golfberekeningen met behulp van SWAN slechts zijn uitgevoerd voor windrichtingen van 130°N tot en met 270°N , hetgeen niet een volledig spectrum dekt en het vrij

bewerkelijk is om dit spectrum wel te verkrijgen. Er is nu een transformatiematrix opgesteld voor elk uitvoerpunt zodat de tijdserie voor windsnelheden en -richtingen kan worden vertaald in tijdseries voor golfhoogten, -periodes en -richtingen.

15.4.3 Scheepsresponsies

Aan de hand van de opgestelde tijdseries van de golfcondities kan voor elk punt langs het vaartraject met behulp van de overdrachtsfuncties, bepaald in het vooronderzoek, de scheepsresponsie bepaald worden.

Er wordt vanuit gegaan dat de opgestelde scheepsresponsies lineair verlopen. Met behulp van de responspectra kunnen de spectrale momenten, M_0 en M_2 , bepaald worden. Deze spectrale momenten kunnen als volgt worden uitgedrukt:

$$M_{0,2} = \frac{A_s^2}{T_{M02}^2}$$

hierin staat A_s voor de significante beweging en T_{M02} voor de bijbehorende periode. Voor elk van de faalmechanismen van het schip zijn de waarden voor A_s en T_{M02} bepaald.

Op elk tijdstip in de tijdserie wordt voor elk geselecteerd punt langs het traject de plaatselijk geldende golfcondities opgeroepen. Door middel van lineaire interpolatie van de beschikbare gegevens is vervolgens de respons en de responsperiode bepaald.

15.4.4 Piekverdeling

Elk faalmechanisme van het schip heeft een relatie met een bepaalde responsie van het schip op de golfcondities, bijvoorbeeld de hoogte van het wateroppervlak ten opzichte van de den. De responsies van het schip variëren in de tijd en in geval van onregelmatige intervallen bestaan deze uit series van pieken. De individuele pieken hebben een hoogte die afhankelijk is van de variatie in de invallende golven en het dynamische gedrag van het schip. Over het te varen traject is een serie van responsiepieken vast te stellen.

Er zal een kans moeten worden bepaald dat de hoogst optredende piek langs het vaartraject de limiterende waarde overschrijdt. Deze kans is gerelateerd aan de scheepsbewegingen, het gedrag hiervan kan worden beschouwd als een Gaussisch proces. De verdeling van de pieken van een Gaussisch proces kan worden afgeleid van de energie van dit proces, ofwel het nulde moment van het spectrum M_0 . Cartwright heeft aangetoond (in 1958) dat de pieken Rayleigh verdeeld zijn in geval van hogere pieken met een lage waarschijnlijkheid. Tevens heeft hij bepaald dat de frequentie van deze pieken berekend kan worden aan de hand van M_0 en M_2 . In een Rayleigh verdeling gelden de volgende formules voor de kans op een individuele piek hoger dan $\eta \cdot \sqrt{M_0}$ en de frequentie van de pieken:

$$p(\eta_1 > \eta) = e^{-0,5\eta^2}$$

$$T_{M02} = \sqrt{(M_0 / M_2)}$$

15.4.5 Faalkans

Om de totale faalkans te kunnen bepalen, zal eerst per tijdstip de faalkans, p_{ij} voor elke situatie, i , en op elke locatie langs het traject, j , moeten worden bepaald. Voorafgaand wordt voor dit tijdstip, zoals in het voorgaande is beschreven, de golfconditie opgeroepen en de bijbehorende responsie berekend.

De faalkans voor een piek, voor de faalmechanismen water over de boeg of den of het overschrijden van het buigende moment of torsiemoment, is gelijk aan:

$$p_{ij} = p(x > x_i) = e^{-0,5x_i^2 / M_{0ij}}$$

Over een deel van het traject is het aantal pieken, N_{ij} , van een situatie:

$$N_{ij} = T / T_{M02ij}$$

waarin T de vaartijd over het deeltraject is. Er geldt verder, volgens een standaard waarschijnlijkheidstheorie, dat de faalkans over het deeltraject, j , voor deze situatie te bepalen is met behulp van:

$$P_{TH} = 1.0 - (1.0 - P_{ij})^{N_{ij}}$$

De totale faalkans, over alle trajecten en alle situaties, is nu te bepalen via:

$$P_{\text{totaal}} = 1.0 - \prod_i \prod_j (1.0 - P_{ij})^{N_{ij}}$$

15.4.6 Uitvoer

Volgend op de voorgaande berekening heeft een nabewerkingsprogramma de faalkansberekening uitgevoerd, deze geeft als uitvoer per schip (keuze uit de eerder aangegeven vijf schepen) met bijbehorende belading (vol/leeg/containers) en gekozen route (heen/terug) een aantal tabellen. In bijlage 15.4 is een voorbeeld gegeven van de uitvoertabellen, deze zijn geldig voor de Spits in volle conditie op de heenreis.

In de eerste tabel is de downtime weergegeven over de gehele getoetste periode (de tijdserie), deze downtime is tevens uitgesplitst per faalmechanisme. De totale downtime is niet altijd gelijk aan de som of het product van de kansen per faalmechanisme. Dit is te verklaren uit het feit dat tussen de verschillende faalmechanismen overlappingsen wat betreft de kansen binnen de tijdserie liggen. Het kan namelijk het geval zijn dat op een bepaald tijdstip water over de boeg én over de den slaat, deze twee verschillende kansen op falen veroorzaken niet beide een bijdrage aan de downtime, slechts eenmaal wordt dit geval meegeteld. De downtime is eveneens uitgesplitst per deel van het vaartraject, net als in het geval van de downtime per faalmechanisme is de totale downtime niet gelijk aan de som of het product van de kansen om dezelfde reden als eerder genoemd is.

In de tweede tabel is de faalkans per jaar (p_{faal}) weergegeven, gedurende de tijd dat er geen downtime optreedt bij een opgegeven acceptabele kans van falen (p_{min}). Dit zijn de kansen die niet hebben bijgedragen aan de bepaling van de downtime. Er is bijvoorbeeld in ingesloten de kans dat er toch incidenteel water over de boeg gaat of een maximum moment wordt overschreden. Zoals uit de tabel blijkt overschrijden deze faalkansen de 100% in meerdere gevallen. Dit is niet realistisch en pas vanaf een acceptabele faalkans van 1 à 2% en lager zijn deze waarden dus een weergave van de werkelijkheid. Het voorkomen van deze extreem hoge kansen bij hogere acceptabele faalkansen is te verklaren doordat wanneer bij telling in de tijdserie is vastgesteld dat de kans dat toch falen optreedt buiten de downtime gelijk is aan 100%, de telling toch wordt voortgezet en zo boven het maximum van 100% uit kan komen.

In de derde en laatste tabel wordt de faalkans per conditie aangegeven, dit houdt in de kans op falen per 3 uur in de gehele tijdserie. Deze kansen zijn zoals te zien is erg klein in vergelijking met de eerder genoemde kansen. Ze zullen dan ook niet verder in beschouwing genomen worden.

Grafische weergave

Naar aanleiding van de tabellen voor de verschillende schepen met bijbehorende condities zijn grafieken weer te geven waarin de acceptabele faalkans (p_{\min}) wordt uitgezet tegen de downtime en vervolgens waarin de downtime wordt uitgezet tegen de faalkans per jaar (p_{faal}).

Voor een geselecteerde acceptabele faalkans zijn ook histogrammen samen te stellen waarin per sub-traject wordt aangegeven hoe groot de gemiddelde faalkans is in geval van downtime. Deze faalkansen zijn gebaseerd op de totale downtimekans (volgens tabel 1), dit wil zeggen een grotere downtime, hetgeen verklaart dat de faalkansen in het histogram lager zijn dan in tabel 2.

Bij de geselecteerde acceptabele faalkans is berekend wat de bijdrage is van de verschillende faalmechanismen in geval van downtime. Hierin zijn de overlappings van verschillende faalmechanismen verdisconteerd.

15.4.7 Resultaten

In bijlage 15.5 is een drietal samenvattende tabellen (voor een acceptabele faalkans van 1, 3 en 5%) weergegeven waarin per schip, met variërende condities, de downtime per faalmechanisme en de totale downtime is getoond. Tevens is het maximale aandeel van een faalmechanisme op de totale downtime berekend per scheepsconditie. De histogrammen en bijdragen van de faalmechanismen aan de downtime zijn bepaald voor een acceptabele faalkans $p_{\min} = 1\%$. Deze grafieken en histogrammen zijn in bijlage 15.6 gebundeld.

Naar aanleiding van de gegevens uit bijlage 15.5 en 15.6 zijn een aantal opvallende zaken te belichten wat betreft de uitkomsten van de downtime. Er zal puntsgewijs op de verschillende aspecten worden ingegaan.

Verschillen over uitvoerpunten

Zoals uit de histogrammen in bijlage 15.6 blijkt treedt de downtime voornamelijk op ter plaatse van het traject tussen de uitvoerpunten 1-6. Dit is verklaarbaar doordat dit deel van het vaartraject nog buiten de zuidelijke voorhaven ligt en de golfhoogten hier aanzienlijk hoger zijn dan op het deel van het vaartraject dat binnen de afschermdam ligt.

Verschillen heen-terugreis

Het verschil in optredende downtime tussen de heen- en terugreis van een binnenvaartschip blijkt uit de tabellen in bijlage 15.5. De downtime voor schepen die de haven uitvaren is groter dan bij invaart van de haven. Hieruit is af te leiden dat de meeste binnenvaartschepen meer hinder ondervinden van golven die het schip vanaf de boeg moet opvangen dan van golven die invallen vanaf de achtersteven van het schip. Dit geldt voor alle getoetste schepen met uitzondering van het lege Europaschip waarbij de situatie precies andersom is: bij de terugreis ontstaat minder downtime dan tijdens de heenreis. Hieruit blijkt dat door het grote windoppervlak van het schip in lege toestand de windinvloed van groter belang is dan de invloed van de golfslag op het schip.

Verschillen vol-leeg

Er zijn slechts twee soorten schepen op volle en lege condities getest, namelijk de Kempenaar en het Europaschip. Uit vergelijking van de downtime tussen deze twee condities volgt dat in geval van volle schepen meer downtime optreedt, de mate van verschil is afhankelijk van het scheepstype.

Algemeen kan gesteld worden dat voor schepen in de volle toestand meer downtime ontstaat met betrekking tot de getoetste faalmechanismen. Dit komt natuurlijk doordat deze schepen door de belading een diepere ligging hebben en zo gevoeliger zijn voor bijvoorbeeld het overslaan van water over de den.

Bijdrage per faalmechanisme

De meest voorkomende oorzaak van downtime voor de enkelvoudige schepen is het optreden van falen door water over de den. De schipper zal in de praktijk als maatregel tegen het gevaar van wateroverslag over de den, indien mogelijk, het ruim met luiken afsluiten en eventueel afdekken met behulp van dekkleden. Ook het optreden van water over de boeg heeft een behoorlijk frequente bijdrage aan het falen van de schepen. Naarmate de schepen groter worden daalt de relatieve bijdrage van falen door water dat overslaat over de boeg. Slechts in geval van de Dortmund en het lege Europaschip is het dominante mechanisme waarop de schepen falen het buigend moment (ofwel moment Y in de tabellen). Aangezien voor het volle Groot Rijnschip de limiet van de denhoogte op dezelfde waarde ligt als van de Dortmund en het volle Europaschip zou verwacht kunnen worden dat voor het Rijnschip het buigend moment ook het kritieke faalmechanisme zou zijn. Toch is dit niet het geval en treedt falen op als gevolg van water over de den en in veel mindere mate ten gevolge van water over de boeg. Dit is te verklaren doordat de limiet van het buigend moment voor het Groot Rijnschip zeer groot is en dus niet wordt overschreden.

Specifieke aspecten per schip

- Spits:** dit is een relatief klein schip met een grote downtime in geval van volle belading, erg gevoelig voor golfhinder zoals blijkt uit de verschillen in downtime voor de heen- en terugreis. Eveneens blijkt uit de uitvoertabellen dat op de terugreis op traject 7 enige bijdrage aan downtime optreedt, namelijk 0,034% voor een acceptabele faalkans van 3% en 5% en 0,059% voor een acceptabel faalkans van 1%.
- Kempenaar:** ook een erg golfgevoelig schip, met een groot verschil in downtime ten aanzien van de heen- en terugreis over het vaartraject. Opvallend is dat in de lege toestand totaal geen downtime optreedt op basis van de gestelde faalmechanismen. Over de gehele tijdserie worden de berekende limieten dus niet overschreden.
- Dortmunder:** een schip van middelmatige grootte in deze selectie, de golfgevoeligheid neemt af ten opzichte van de twee voorgaande schepen; dit wil zeggen: het verschil in downtime tussen de heen- en terugreis daalt. Wat betreft falen is het buigend moment belangrijker dan water over de den, hetgeen weer belangrijker is dan water over de boeg.
- Europaschip:** een relatief groot schip (ten opzichte van de voorgaande schepen) waarvoor de downtime aanzienlijk lager ligt. Er treden opmerkelijke verschillen op in bijdragen van de faalmechanismen voor een leeg en vol schip. Voor een vol beladen schip geldt dat de downtime kan optreden door drie verschillende faalmechanismen, terwijl in geval van een leeg schip de downtime voor 100% bestaat uit falen ten aanzien van het buigend moment. Zoals al eerder is aangegeven is voor het lege schip de windhinder van groter belang dan de golfinvloed.
- Groot Rijnschip:** ook bij dit grote schip is de downtime slechts laag. De limieten voor water over de boeg en over de den liggen in geval van containervaart hoger dan voor een normaal vol geladen schip. Een logisch gevolg hiervan is dat er een lagere downtime in geval van containervaart wordt gevonden.

Invloed acceptabele faalkans

Er zijn drie verschillende acceptabele faalkansen bekeken voor de geselecteerde schepen en bijbehorende condities, namelijk een variatie in faalkans die geaccepteerd wordt van 1,3 en 5%. In bijlage 15.7 is de downtime weergegeven voor de verschillende acceptabele faalkansen, alsmede het aantal dagen downtime dat deze percentages opleveren. Hierbij is uitgegaan van 365 werkdagen per jaar.

De downtime daalt in geval van stijgende toegestane faalkans. Dit verband is eenvoudig te verklaren. Als de toegestane kans dat schepen mogen falen stijgt, dus een versoepeling van de gestelde eis, zal de kans op downtime dalen. Dit komt doordat een deel van de downtime bij een kleinere geaccepteerde faalkans nu als toegestaan wordt beschouwd en dus niet meer bijdraagt aan de downtime. Dit effect (dalen van de downtime bij grotere geaccepteerde faalkans) is relatief groter naarmate de downtime van een schip lager is. Dus bij grote geldende downtime blijft bij een versoepeling van de geaccepteerde faalkans de downtime nog steeds erg groot. Bijvoorbeeld een geladen Spits bij uitvaart uit de haven heeft een downtime van 20,6% bij een p_{\min} van 1%, in geval van een p_{\min} van 3% is deze downtime nog 18,33% en bij $p_{\min} = 5\%$ geldt dat de downtime gelijk is aan 17,4%. Terwijl bij een geladen Groot Rijnschip bij binnenvaart van de haven een downtime heeft van 3,71% ($p_{\min} = 1\%$), of van 2,37% ($p_{\min} = 3\%$) respectievelijk 1,85% ($p_{\min} = 5\%$), hetgeen procentueel grotere veranderingen voor de downtime inhoudt. Een verandering van p_{\min} (een vervijfvoudiging van de oorspronkelijke waarde van 1%) heeft voor de Spits een afname van slechts 15% tot gevolg, terwijl voor het Groot Rijnschip de downtime met wel 50% daalt.

Het beoordelen van de binnenvaartschepen op basis van een acceptabele faalkans van 1% is wellicht aan de zware kant. In het algemeen wordt deze grens aangehouden bij offshore en zeeschipoperaties, waarbij expliciet is gedimensioneerd op zware condities voor het ontwerp en de toepassing van installaties. Zoals in de randvoorwaarden en uitgangspunten reeds is aangegeven varieert de toegepaste faalkans van 3 - 5 % voor schepen met een lengte kleiner of rond de 10 meter. Dit is dus positief voor de optredende downtime van de getoetste schepen.

Recreatievaart

Zoals is aangegeven bij de Spits (lengte 38,50 m, breedte 5,02 m) treedt binnen de voorhaven enige downtime op ten gevolge van water over de boeg en de den. Verwacht mag worden bij een verdere verkleining van de schepen, waar sprake van is in geval van de recreatievaart, dat de downtime binnen de voorhaven zal stijgen door het optreden van deze faalmechanismen. Voor de recreatievaart ligt het probleem in de scheepslengte ten opzichte van de golflengte binnen de haven. Indien water wordt gemaakt, door overslag over de boeg of over de den, is het noodzakelijk dit water geloosd te hebben voordat de volgende golf overslaat. De optredende downtime voor de recreatievaart zal niet verder onderzocht worden.

15.5 Beschouwing

Aangezien geen informatie beschikbaar is over de uitgangspunten ten aanzien van de downtime in de ontwerpfase van het Naviduct of de Krabbersgatsluis is de beschouwing van de betekenis van de berekende downtime moeilijk te maken. Er kan gesteld worden dat de berekende downtime toelaatbaar is, onder de aanname dat de optredende downtime in de huidige situatie bij de Krabbersgatsluis acceptabel is. Deze conclusie kan getrokken worden doordat de berekende downtime voor het Naviduct hoofdzakelijk optreedt buiten de zuidelijke voorhaven en de situaties buiten de voorhavens van de Krabbersgatsluis en het Naviduct niet verschillen. De vaargang op het Markermeer is kritischer dan de omstandigheden rondom c.q. binnen de haven door de veelvuldig optredende korte golfslag op het Markermeer. Er treedt dus wel een lokale verandering op voor de scheepvaart in de af te leggen vaarroute nabij Enkhuizen, maar er is weinig of geen invloed hiervan op de downtime van de schepen onder de getoetste mogelijke faalmechanismen.

In de berekening van de downtime, in de voorgaande paragrafen, zijn slechts de faalmechanismen van het schip zelf meegenomen. Bijkomend voor de downtime van een schip zijn, zoals reeds in paragraaf 5.4.1 van het rapport is weergegeven, de faalmechanismen met betrekking tot de weersomstandigheden en menselijk falen ter plaatse van de sluis, in de voorhaven zelf en de gehele te volgen vaarweg van het schip over het IJsselmeer of het Markermeer. De betrekking van al deze aspecten op de downtime is in dit onderzoek dan ook niet meegenomen. Voor een juiste bepaling van de downtime van een schip zou voor de *gehele* af te leggen vaarroute *alle* aspecten die een kans op falen ten gevolge hebben moeten worden bekeken.

15.6 Evaluatie

15.6.1 Conclusies

Het optreden van downtime door de vier beschouwde faalmechanismen binnen de zuidelijke voorhaven van het Naviduct is minimaal. Downtime treedt vooral op buiten de voorhaven waar de golven hoger zijn, hetgeen meer kritiek is en de bijdragen van de faalmechanismen op de downtime van de schepen vergroot.

De vaargang op het Markermeer is maatgevend voor de downtime op basis van de vier beschouwde faalmechanismen van een schip. Aan de hand van dit gegeven en het feit dat de downtime bestaat uit meerdere, niet beschouwde, componenten zijn de berekende downtimewaarden voor de bepaling van de golfhinder op de beroepsvaart binnen de zuidelijke voorhaven van het Naviduct niet bruikbaar.

15.6.2 Aanbevelingen

Voor een juiste bepaling van de downtime van een schip zou voor de *gehele* af te leggen vaarroute *alle* aspecten die een kans op falen ten gevolge hebben moeten worden bekeken.

Bijlage 15.1

	Spits Loa: 38.50m. Boa: 5.02m. Lading: 288t.
	Kempenaar Loa: 50.00m. Boa: 8.60m. Lading: 462t.
	Dortmunder Loa: 67.00m. Boa: 8.20m. Lading: 1025t.
	Europaschip Loa: 85.00m. Boa: 9.50m. Lading: 1600t.
	Rijnschip Loa: 110.00m. Boa: 11.40m. Lading: 2955t.
	Duwbak Loa: 76.50m. Boa: 11.40m. Lading: 2760t.
	Jowi Loa: 134.16m. Boa: 16.90m. Lading: 4233t.

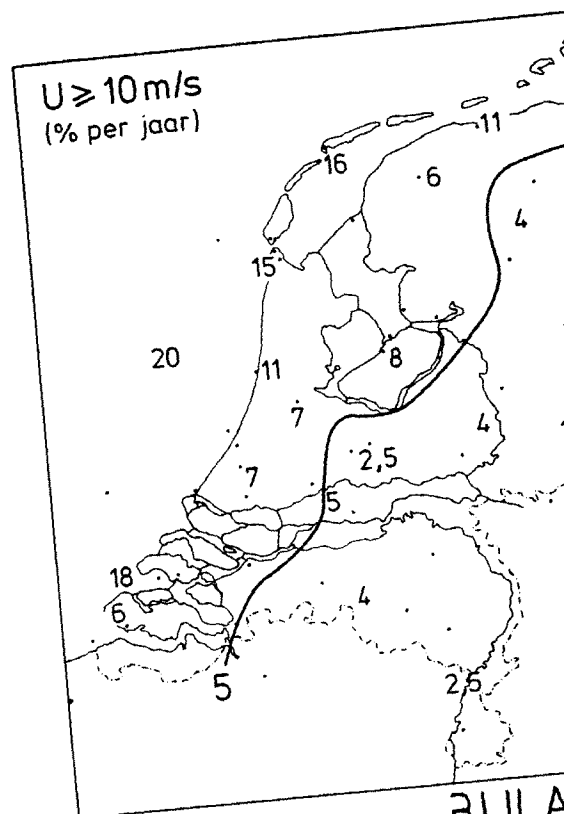
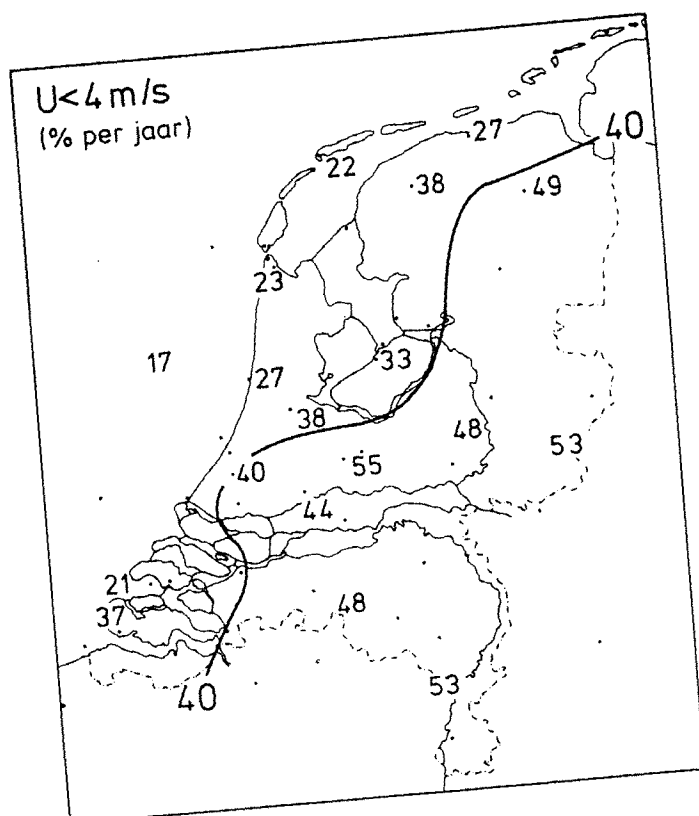
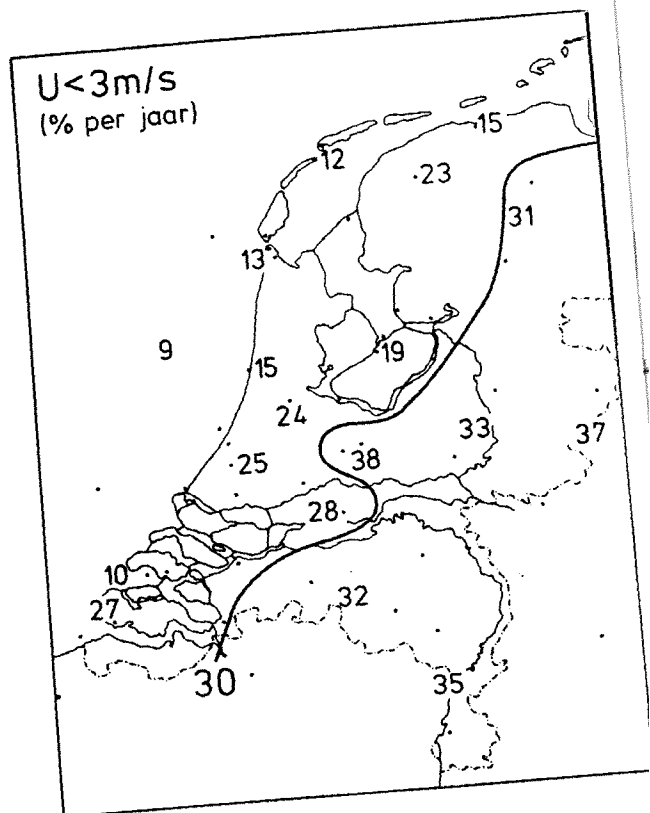
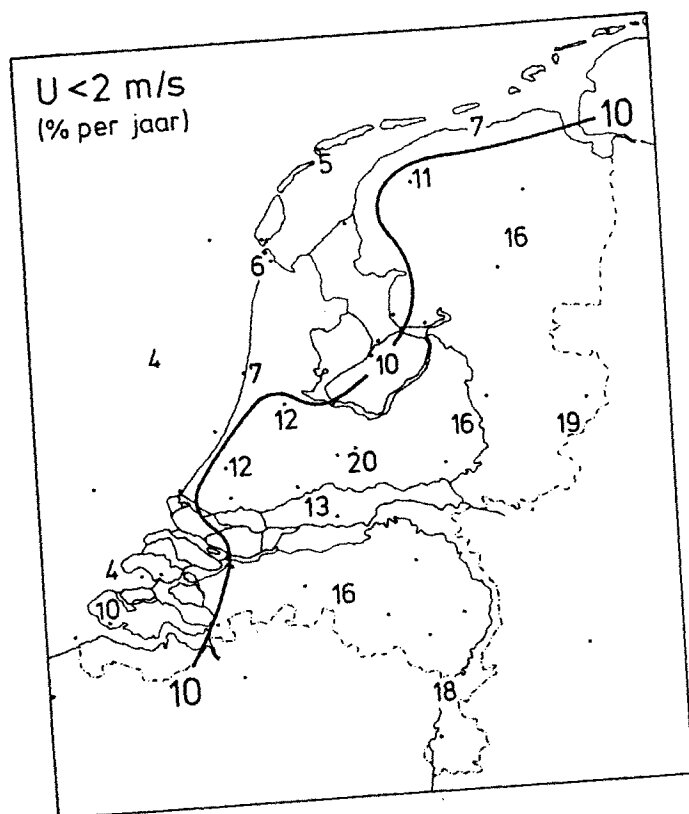
Vormen van schepen - bovenaanzicht, profiel en kenmerken

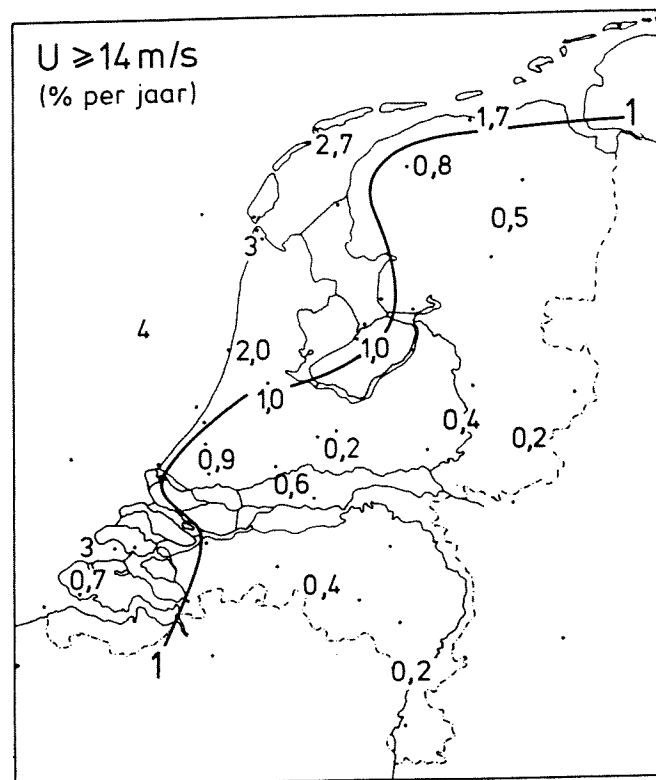
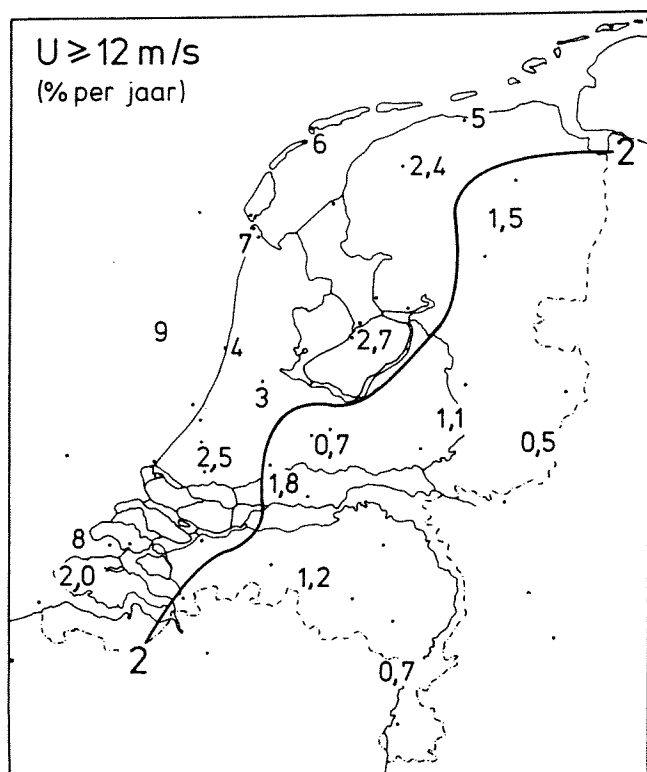
Kenmerken van de bestudeerde binnenvaartschepen en de limiterende waarden voor de faalmechanismen

(sommige maten wijken af van standaard afmetingen vawege beschikbaarheid gegevens)

schip belading		Spits vol	Kempenaar vol	Kempenaar leeg	Dortmunder vol	Duwbak vol	Europaschip vol	Europaschip leeg	Rijnschip vol	Rijnschip containers	Jowi containers	Jowi leeg
Loa	(m)	38,50	50,00	=	68,50	76,50	85,00	=	110,00	=	134,16	=
Boa	(m)	5,02	6,54	=	8,20	11,40	9,50	=	11,44	=	16,90	=
Tzout	(m)	2,30	2,30	0,65	2,70	3,84	3,08	0,90	3,37	2,80	3,13	1,30
lim.buig.mom.	(kNm)	5206	7672	7672	13974	52060	32332	32332	55074	55074	139877	139877
lim. torsie mom.	(kNm)	981	1080	1080	5400	21248	7885	7885	13695	13695	20418	20418
stat. deel buig. mom.	(kNm)	656	2825	3854	10690	19670	5926	22230	18710	8472	53950	113600
lim. dyn. buig. mom.	(kNm)	4550	4847	3818	3284	32390	26406	10102	36364	46602	85927	26277
lim. denhoogte	(m)	0,90	1,00	2,35	1,35	1,20	1,35	3,20	1,35	1,65	2,50	4,10
lim. boeghoogte	(m)	0,90	1,30	3,35	1,40	1,15	1,50	4,20	1,55	1,85	3,10	5,30

Bijlage 15.2





S1HV

Downtime

p_min	Moment X [%]	Moment Y [%]	Boeg [%]	Den [%]	Totaal	Traject										
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,00000	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,90000	0,000%	0,000%	0,253%	0,489%	0,826%	0,008%	0,008%	0,008%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,80000	0,000%	0,000%	0,455%	0,894%	1,560%	0,025%	0,025%	0,017%	0,017%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,70000	0,000%	0,000%	0,624%	1,147%	1,855%	0,169%	0,059%	0,051%	0,051%	0,017%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,60000	0,000%	0,000%	0,700%	1,408%	2,201%	0,236%	0,236%	0,169%	0,143%	0,034%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,50000	0,000%	0,000%	0,860%	1,670%	2,589%	0,422%	0,405%	0,346%	0,236%	0,143%	0,042%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,40000	0,000%	0,000%	1,037%	1,737%	2,715%	0,641%	0,540%	0,565%	0,649%	0,481%	0,245%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,30000	0,000%	0,000%	1,181%	2,631%	3,365%	1,299%	1,383%	1,155%	1,037%	0,902%	0,548%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,20000	0,000%	0,000%	1,425%	3,870%	4,773%	1,990%	1,737%	1,762%	1,695%	1,434%	1,467%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,10000	0,000%	0,000%	1,796%	4,866%	5,490%	2,859%	2,656%	2,597%	2,504%	2,471%	2,960%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,09000	0,000%	0,000%	1,821%	4,992%	5,591%	3,027%	2,791%	2,850%	2,504%	2,614%	3,019%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,08000	0,000%	0,000%	1,821%	5,582%	6,122%	3,027%	3,078%	2,850%	2,875%	2,622%	3,424%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,07000	0,000%	0,000%	1,982%	5,751%	6,535%	3,086%	3,230%	3,154%	2,884%	2,622%	3,618%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,06000	0,000%	0,000%	2,100%	6,147%	6,813%	3,677%	3,668%	3,230%	3,179%	3,103%	3,845%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,05000	0,000%	0,000%	2,133%	6,425%	7,277%	4,132%	4,081%	3,887%	3,466%	3,297%	4,123%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,04000	0,000%	0,000%	2,622%	6,560%	7,614%	4,427%	4,326%	4,301%	4,081%	3,424%	4,562%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,03000	0,000%	0,000%	2,622%	7,690%	8,399%	4,781%	4,773%	4,739%	4,486%	3,811%	5,076%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,008%
0,02000	0,000%	0,000%	2,808%	8,407%	8,888%	5,287%	5,211%	5,026%	4,992%	4,891%	6,510%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,008%
0,01000	0,000%	0,000%	3,078%	9,672%	10,684%	5,793%	5,591%	5,852%	5,928%	5,650%	7,598%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,008%
0,00900	0,000%	0,000%	3,407%	10,102%	11,114%	6,468%	6,080%	6,038%	5,953%	5,650%	7,783%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,008%
0,00800	0,000%	0,000%	3,634%	10,102%	11,114%	6,468%	6,097%	6,274%	5,953%	5,894%	7,800%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,008%
0,00700	0,000%	0,000%	3,946%	10,456%	11,139%	6,628%	6,721%	6,425%	6,105%	5,894%	7,800%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,017%
0,00600	0,000%	0,000%	3,946%	11,308%	11,991%	7,235%	7,201%	6,864%	6,603%	5,894%	8,399%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,017%
0,00500	0,000%	0,000%	3,997%	11,822%	12,531%	7,243%	7,201%	7,184%	6,974%	6,265%	9,107%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,017%
0,00400	0,000%	0,000%	4,494%	12,101%	12,598%	7,252%	7,218%	7,227%	7,201%	6,594%	9,200%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,017%
0,00300	0,000%	0,000%	4,528%	12,547%	13,045%	7,429%	7,648%	7,648%	7,530%	7,269%	9,748%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,025%
0,00200	0,000%	0,000%	4,537%	13,332%	13,989%	8,736%	8,534%	7,952%	8,365%	8,297%	10,018%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,042%
0,00100	0,000%	0,000%	4,747%	14,816%	15,364%	9,638%	10,043%	10,018%	9,798%	9,233%	11,291%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,067%
0,00090	0,000%	0,000%	5,026%	14,816%	15,364%	10,229%	10,102%	10,203%	9,883%	9,233%	11,291%	0,008%	0,000%	0,000%	0,000%	0,067%
0,00080	0,000%	0,000%	5,026%	14,900%	15,448%	10,608%	10,169%	10,203%	9,883%	9,233%	11,451%	0,008%	0,000%	0,000%	0,000%	0,067%
0,00070	0,000%	0,000%	5,026%	14,900%	15,516%	10,895%	10,169%	10,203%	9,891%	9,284%	11,451%	0,008%	0,000%	0,000%	0,000%	0,067%
0,00060	0,000%	0,000%	5,355%	16,157%	16,528%	10,903%	10,819%	10,203%	10,026%	9,739%	12,885%	0,008%	0,000%	0,000%	0,000%	0,067%
0,00050	0,000%	0,000%	5,355%	16,738%	17,480%	10,979%	11,080%	10,490%	10,026%	9,739%	12,885%	0,008%	0,000%	0,000%	0,000%	0,101%
0,00040	0,000%	0,000%	6,071%	17,093%	17,531%	11,198%	11,080%	10,878%	10,448%	10,068%	13,424%	0,008%	0,000%	0,008%	0,000%	0,101%
0,00030	0,000%	0,000%	6,434%	17,185%	17,649%	11,578%	11,755%	11,569%	10,777%	10,068%	13,728%	0,008%	0,000%	0,008%	0,000%	0,110%
0,00020	0,000%	0,000%	6,603%	17,776%	18,147%	12,438%	12,244%	12,092%	11,873%	10,987%	14,504%	0,008%	0,000%	0,008%	0,000%	0,135%
0,00010	0,000%	0,000%	7,184%	19,361%	19,361%	13,289%	13,694%	13,576%	13,770%	13,062%	15,246%	0,008%	0,000%	0,008%	0,008%	0,135%
0,00009	0,000%	0,000%	7,184%	19,420%	19,420%	13,542%	13,694%	14,428%	14,225%	13,062%	15,617%	0,008%	0,000%	0,008%	0,008%	0,169%
0,00008	0,000%	0,000%	7,193%	19,420%	19,420%	13,542%	14,166%	14,428%	14,251%	13,062%	15,777%	0,008%	0,000%	0,008%	0,008%	0,194%
0,00007	0,000%	0,000%	7,193%	19,470%	19,614%	14,470%	14,234%	14,428%	14,251%	13,070%	15,845%	0,008%	0,000%	0,008%	0,008%	0,211%
0,00006	0,000%	0,000%	7,193%	20,019%	20,162%	14,588%	14,234%	14,537%	14,268%	13,450%	15,845%	0,008%	0,000%	0,008%	0,008%	0,211%
0,00005	0,000%	0,000%	7,193%	20,153%	20,887%	14,647%	14,301%	14,571%	14,268%	13,450%	15,845%	0,008%	0,000%	0,008%	0,008%	0,228%
0,00004	0,000%	0,000%	7,227%	20,575%	21,368%	14,765%	14,715%	14,571%	14,268%	13,905%	15,845%	0,008%	0,000%	0,008%	0,008%	0,245%
0,00003	0,000%	0,000%	7,454%	21,368%	21,368%	15,726%	14,883%	14,580%	14,344%	13,905%	16,249%	0,017%	0,000%	0,008%	0,008%	0,245%
0,00002	0,000%	0,000%	7,454%	22,430%	22,886%	16,123%	15,769%	14,993%	14,656%	14,656%	17,868%	0,017%	0,000%	0,008%	0,008%	0,253%
0,00001	0,000%	0,000%	8,770%	23,071%	23,071%	16,587%	16,426%	15,811%	15,592%	15,651%	18,214%	0,017%	0,000%	0,008%	0,008%	0,464%

Bijlage 15.4

S1HV

p_faal per jaar

per jaar					Traject											
p_min	Moment X [%]	Moment Y [%]	Boeg [%]	Den [%]		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,00000	0.000%	0.000%	2848,520%	6802,763%	8963,478%	3000,877%	2900,524%	2804,130%	2650,153%	2287,772%	2380,802%	0,025%	0,000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,90000	0.000%	0.000%	2167,466%	5406,765%	6641,903%	2978,189%	2878,102%	2781,895%	2650,153%	2287,772%	2380,802%	0,025%	0,000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,80000	0.000%	0.000%	1660,062%	4397,416%	4808,221%	2936,167%	2836,628%	2760,575%	2607,748%	2287,772%	2380,802%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,70000	0.000%	0.000%	1284,923%	3845,725%	4173,804%	2631,899%	2762,705%	2685,940%	2537,032%	2250,800%	2380,802%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,60000	0.000%	0.000%	1137,106%	3351,655%	3522,893%	2505,184%	2418,430%	2451,561%	2360,508%	2220,203%	2380,802%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,50000	0.000%	0.000%	877,577%	2925,631%	2880,567%	2218,899%	2165,234%	2174,285%	2210,078%	2049,425%	2315,660%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,40000	0.000%	0.000%	658,306%	2837,829%	2702,410%	1948,483%	1991,880%	1888,837%	1682,662%	1619,579%	2058,134%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,30000	0.000%	0.000%	529,155%	1938,408%	2008,957%	1275,512%	1145,650%	1288,134%	1293,270%	1183,648%	1763,996%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,20000	0.000%	0.000%	362,739%	1044,791%	953,677%	781,534%	886,656%	824,308%	794,284%	796,283%	1131,057%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,10000	0.000%	0.000%	197,897%	632,199%	649,085%	436,805%	466,295%	454,067%	434,333%	366,619%	549,244%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,09000	0.000%	0.000%	190,614%	598,164%	622,260%	389,335%	427,865%	384,520%	434,333%	326,977%	532,656%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,08000	0.000%	0.000%	190,614%	449,647%	488,555%	389,335%	355,290%	384,520%	340,451%	324,940%	431,178%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,07000	0.000%	0.000%	153,801%	413,627%	398,460%	375,832%	322,799%	316,027%	338,678%	324,940%	387,245%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,06000	0.000%	0.000%	133,076%	340,795%	347,760%	258,081%	243,980%	302,100%	284,889%	231,080%	345,927%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,05000	0.000%	0.000%	127,870%	297,236%	271,448%	185,144%	181,838%	201,337%	236,248%	200,017%	304,142%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,04000	0.000%	0.000%	59,068%	277,959%	230,335%	149,051%	149,712%	145,663%	158,235%	185,075%	240,877%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	1,529%
0,03000	0.000%	0.000%	59,068%	169,090%	156,018%	112,670%	104,958%	100,354%	114,075%	146,108%	190,657%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	0,610%
0,02000	0.000%	0.000%	46,014%	120,534%	125,472%	74,781%	74,901%	83,073%	76,483%	72,057%	91,822%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	0,610%
0,01000	0.000%	0.000%	33,674%	70,584%	59,200%	54,860%	57,191%	46,899%	40,090%	36,934%	47,376%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	0,610%
0,00900	0.000%	0.000%	24,749%	59,158%	47,774%	36,770%	43,293%	41,489%	39,392%	36,934%	42,087%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	0,610%
0,00800	0.000%	0.000%	19,253%	59,158%	47,774%	36,770%	42,877%	35,854%	39,392%	30,993%	41,679%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	0,610%
0,00700	0.000%	0.000%	12,177%	50,935%	47,221%	33,189%	29,028%	32,739%	36,000%	30,993%	41,679%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	0,421%
0,00600	0.000%	0.000%	12,177%	34,897%	31,182%	21,689%	19,913%	24,407%	26,496%	30,993%	30,748%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	0,421%
0,00500	0.000%	0.000%	11,359%	26,032%	21,963%	21,547%	19,913%	19,366%	20,922%	25,123%	19,046%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	0,421%
0,00400	0.000%	0.000%	4,448%	22,543%	21,088%	21,439%	19,703%	18,843%	17,849%	20,984%	17,792%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	0,421%
0,00300	0.000%	0.000%	4,114%	18,110%	16,651%	19,769%	15,778%	14,852%	14,232%	14,472%	12,607%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	0,324%
0,00200	0.000%	0.000%	4,053%	12,509%	10,791%	9,271%	9,792%	12,688%	8,815%	6,783%	10,671%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	0,220%
0,00100	0.000%	0.000%	3,194%	5,483%	5,259%	5,671%	3,887%	3,473%	3,191%	3,198%	5,399%	0,025%	0.000%	0,010%	0,005%	0,116%
0,00090	0.000%	0.000%	2,459%	5,483%	5,259%	3,972%	3,726%	2,959%	2,969%	3,198%	5,399%	0,001%	0.000%	0,010%	0,005%	0,116%
0,00080	0.000%	0.000%	2,459%	5,265%	5,041%	3,023%	3,557%	2,959%	2,969%	3,198%	5,005%	0,001%	0.000%	0,010%	0,005%	0,116%
0,00070	0.000%	0.000%	2,459%	5,265%	4,887%	2,430%	3,557%	2,959%	2,951%	3,085%	5,005%	0,001%	0.000%	0,010%	0,005%	0,116%
0,00060	0.000%	0.000%	1,848%	2,961%	3,062%	2,413%	2,355%	2,959%	2,701%	3,085%	2,346%	0,001%	0.000%	0,010%	0,005%	0,116%
0,00050	0.000%	0.000%	1,848%	2,088%	1,562%	2,296%	1,929%	2,505%	2,701%	2,359%	2,346%	0,001%	0.000%	0,010%	0,005%	0,066%
0,00040	0.000%	0.000%	0,908%	1,638%	1,494%	2,031%	1,929%	2,009%	2,178%	1,919%	1,564%	0,001%	0.000%	0,000%	0,005%	0,066%
0,00030	0.000%	0.000%	0,514%	1,552%	1,383%	1,599%	1,273%	1,345%	1,807%	1,919%	1,264%	0,001%	0.000%	0,000%	0,005%	0,057%
0,00020	0.000%	0.000%	0,384%	1,095%	1,000%	0,903%	0,913%	1,007%	1,084%	1,192%	0,721%	0,001%	0.000%	0,000%	0,005%	0,035%
0,00010	0.000%	0.000%	0,126%	0,436%	0,515%	0,522%	0,358%	0,403%	0,276%	0,275%	0,366%	0,001%	0.000%	0,000%	0,001%	0,035%
0,00009	0.000%	0.000%	0,126%	0,420%	0,499%	0,450%	0,358%	0,164%	0,151%	0,275%	0,261%	0,001%	0.000%	0,000%	0,001%	0,026%
0,00008	0.000%	0.000%	0,124%	0,420%	0,499%	0,450%	0,243%	0,164%	0,144%	0,275%	0,222%	0,001%	0.000%	0,000%	0,001%	0,020%
0,00007	0.000%	0.000%	0,124%	0,409%	0,456%	0,250%	0,229%	0,164%	0,144%	0,273%	0,208%	0,001%	0.000%	0,000%	0,001%	0,016%
0,00006	0.000%	0.000%	0,124%	0,306%	0,345%	0,228%	0,229%	0,143%	0,141%	0,202%	0,208%	0,001%	0.000%	0,000%	0,001%	0,016%
0,00005	0.000%	0.000%	0,124%	0,285%	0,230%	0,218%	0,218%	0,138%	0,141%	0,202%	0,208%	0,001%	0.000%	0,000%	0,001%	0,013%
0,00004	0.000%	0.000%	0,119%	0,230%	0,166%	0,203%	0,162%	0,138%	0,141%	0,146%	0,208%	0,001%	0.000%	0,000%	0,001%	0,011%
0,00003	0.000%	0.000%	0,094%	0,144%	0,166%	0,105%	0,144%	0,137%	0,133%	0,146%	0,162%	0,000%	0.000%	0,000%	0,001%	0,011%
0,00002	0.000%	0.000%	0,094%	0,064%	0,048%	0,079%	0,080%	0,110%	0,094%	0,084%	0,049%	0,000%	0.000%	0,000%	0,001%	0,010%
0,00001	0.000%	0.000%	0,030%	0,039%	0,040%	0,055%	0,053%	0,068%	0,068%	0,050%	0,034%	0,000%	0.000%	0,000%	0,001%	0,003%

Bijlage 15.4

S1HV

p_faal per conditie

per conditie					Traject											
p_min	Moment X [%]	Moment Y [%]	Boeg [%]	Den [%]		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,00000	0,000%	0,000%	0,976%	2,330%	3,070%	1,028%	0,993%	0,960%	0,908%	0,783%	0,815%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,90000	0,000%	0,000%	0,742%	1,852%	2,275%	1,020%	0,986%	0,953%	0,908%	0,783%	0,815%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,80000	0,000%	0,000%	0,569%	1,506%	1,647%	1,006%	0,971%	0,945%	0,893%	0,783%	0,815%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,70000	0,000%	0,000%	0,440%	1,317%	1,429%	0,901%	0,946%	0,920%	0,869%	0,771%	0,815%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,60000	0,000%	0,000%	0,389%	1,148%	1,206%	0,858%	0,828%	0,840%	0,808%	0,760%	0,815%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,50000	0,000%	0,000%	0,301%	1,002%	0,986%	0,760%	0,742%	0,745%	0,757%	0,702%	0,793%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,40000	0,000%	0,000%	0,225%	0,972%	0,925%	0,667%	0,682%	0,647%	0,576%	0,555%	0,705%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,30000	0,000%	0,000%	0,181%	0,664%	0,688%	0,437%	0,392%	0,441%	0,443%	0,405%	0,604%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,20000	0,000%	0,000%	0,124%	0,358%	0,327%	0,268%	0,304%	0,282%	0,272%	0,273%	0,387%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,10000	0,000%	0,000%	0,068%	0,217%	0,222%	0,150%	0,160%	0,156%	0,149%	0,126%	0,188%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,09000	0,000%	0,000%	0,065%	0,205%	0,213%	0,133%	0,147%	0,132%	0,149%	0,112%	0,182%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,08000	0,000%	0,000%	0,065%	0,154%	0,167%	0,133%	0,122%	0,132%	0,117%	0,111%	0,148%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,07000	0,000%	0,000%	0,053%	0,142%	0,136%	0,129%	0,111%	0,108%	0,116%	0,111%	0,133%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,06000	0,000%	0,000%	0,046%	0,117%	0,119%	0,088%	0,084%	0,103%	0,098%	0,079%	0,118%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,05000	0,000%	0,000%	0,044%	0,102%	0,093%	0,063%	0,062%	0,069%	0,081%	0,068%	0,104%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,04000	0,000%	0,000%	0,020%	0,095%	0,079%	0,051%	0,051%	0,050%	0,054%	0,063%	0,082%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%
0,03000	0,000%	0,000%	0,020%	0,058%	0,053%	0,039%	0,036%	0,034%	0,039%	0,050%	0,065%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,02000	0,000%	0,000%	0,016%	0,041%	0,043%	0,026%	0,026%	0,028%	0,026%	0,025%	0,031%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,01000	0,000%	0,000%	0,012%	0,024%	0,020%	0,019%	0,020%	0,016%	0,014%	0,013%	0,016%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00900	0,000%	0,000%	0,008%	0,020%	0,016%	0,013%	0,015%	0,014%	0,013%	0,013%	0,014%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00800	0,000%	0,000%	0,007%	0,020%	0,016%	0,013%	0,015%	0,012%	0,013%	0,011%	0,014%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00700	0,000%	0,000%	0,004%	0,017%	0,016%	0,011%	0,010%	0,011%	0,012%	0,011%	0,014%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00600	0,000%	0,000%	0,004%	0,012%	0,011%	0,007%	0,007%	0,008%	0,009%	0,011%	0,011%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00500	0,000%	0,000%	0,004%	0,009%	0,008%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,009%	0,007%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00400	0,000%	0,000%	0,002%	0,008%	0,007%	0,007%	0,007%	0,006%	0,006%	0,007%	0,006%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00300	0,000%	0,000%	0,001%	0,006%	0,006%	0,007%	0,005%	0,005%	0,005%	0,005%	0,004%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00200	0,000%	0,000%	0,001%	0,004%	0,004%	0,003%	0,003%	0,004%	0,003%	0,002%	0,004%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00100	0,000%	0,000%	0,001%	0,002%	0,002%	0,002%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,002%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00090	0,000%	0,000%	0,001%	0,002%	0,002%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,002%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00080	0,000%	0,000%	0,001%	0,002%	0,002%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,002%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00070	0,000%	0,000%	0,001%	0,002%	0,002%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,002%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00060	0,000%	0,000%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00050	0,000%	0,000%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00040	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00030	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%	0,000%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00020	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00010	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00009	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00008	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00007	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00006	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00005	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00004	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00003	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00002	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
0,00001	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%

Bijlage 15.4

Acceptabele faalkans = 1%

Downtime voor elk scheepstype over het gedefinieerde vaartraject

Schip	Belading	Route	Moment X (%)	Moment Y (%)	Boeg (%)	Den (%)	Downtime
Spits	vol	heen	0,00%	0,00%	3,08%	9,67%	10,684%
Spits	vol	terug	0,00%	0,00%	11,96%	20,60%	20,600%
Kempenaar	vol	heen	0,00%	0,00%	1,18%	6,70%	6,822%
Kempenaar	vol	terug	0,00%	0,00%	3,00%	15,15%	15,153%
Kempenaar	leeg	heen	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,000%
Kempenaar	leeg	terug	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,000%
Dortmunder	vol	heen	0,00%	8,45%	0,78%	1,43%	8,593%
Dortmunder	vol	terug	0,00%	9,77%	2,45%	5,50%	10,279%
Europaschip	vol	heen	0,00%	2,15%	0,64%	2,02%	2,631%
Europaschip	vol	terug	0,00%	1,43%	2,18%	4,62%	4,621%
Europaschip	leeg	heen	0,00%	1,79%	0,00%	0,00%	1,788%
Europaschip	leeg	terug	0,00%	1,56%	0,00%	0,00%	1,560%
Groot Rijnschip	vol	heen	0,00%	0,00%	0,00%	3,71%	3,710%
Groot Rijnschip	vol	terug	0,00%	0,00%	0,82%	5,72%	5,717%
Groot Rijnschip	containers	heen	0,00%	0,00%	0,00%	1,28%	1,282%
Groot Rijnschip	containers	terug	0,00%	0,00%	0,03%	2,87%	2,867%

Aandeel faalmechanisme in geval van downtime

Schip	Belading	Route	Moment X	Moment Y	Boeg	Den
Spits	vol	heen	0%	0%	24%	76%
Spits	vol	terug	0%	0%	37%	63%
Kempenaar	vol	heen	0%	0%	15%	85%
Kempenaar	vol	terug	0%	0%	17%	83%
Kempenaar	leeg	heen	0%	0%	0%	0%
Kempenaar	leeg	terug	0%	0%	0%	0%
Dortmunder	vol	heen	0%	79%	7%	13%
Dortmunder	vol	terug	0%	55%	14%	31%
Europaschip	vol	heen	0%	45%	13%	42%
Europaschip	vol	terug	0%	17%	27%	56%
Europaschip	leeg	heen	0%	100%	0%	0%
Europaschip	leeg	terug	0%	100%	0%	0%
Groot Rijnschip	vol	heen	0%	0%	0%	100%
Groot Rijnschip	vol	terug	0%	0%	13%	87%
Groot Rijnschip	containers	heen	0%	0%	0%	100%
Groot Rijnschip	containers	terug	0%	0%	1%	99%

Acceptabele faalkans = 3%

Downtime voor elk scheepstype over het gedefinieerde vaartraject

Schip	Belading	Route	Moment X (%)	Moment Y (%)	Boeg (%)	Den (%)	Downtime
Spits	vol	heen	0,00%	0,00%	2,62%	7,69%	8,40%
Spits	vol	terug	0,00%	0,00%	10,38%	18,33%	18,33%
Kempenaar	vol	heen	0,00%	0,00%	0,95%	4,31%	4,49%
Kempenaar	vol	terug	0,00%	0,00%	2,62%	13,13%	13,13%
Kempenaar	leeg	heen	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Kempenaar	leeg	terug	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Dortmunder	vol	heen	0,00%	7,00%	0,57%	0,94%	7,10%
Dortmunder	vol	terug	0,00%	9,15%	1,81%	3,91%	9,34%
Europaschip	vol	heen	0,00%	1,81%	0,35%	1,50%	2,02%
Europaschip	vol	terug	0,00%	1,04%	1,80%	3,26%	3,59%
Europaschip	leeg	heen	0,00%	1,43%	0,00%	0,00%	1,43%
Europaschip	leeg	terug	0,00%	1,25%	0,00%	0,00%	1,25%
Groot Rijnschip	vol	heen	0,00%	0,00%	0,00%	2,37%	2,37%
Groot Rijnschip	vol	terug	0,00%	0,00%	0,62%	4,85%	4,85%
Groot Rijnschip	containers	heen	0,00%	0,00%	0,00%	0,89%	0,89%
Groot Rijnschip	containers	terug	0,00%	0,00%	0,00%	2,29%	2,29%

Aandeel faalmechanisme in geval van downtime

Schip	Belading	Route	Moment X	Moment Y	Boeg	Den
Spits	vol	heen	0%	0%	25%	75%
Spits	vol	terug	0%	0%	36%	64%
Kempenaar	vol	heen	0%	0%	18%	82%
Kempenaar	vol	terug	0%	0%	17%	83%
Kempenaar	leeg	heen	0%	0%	0%	0%
Kempenaar	leeg	terug	0%	0%	0%	0%
Dortmunder	vol	heen	0%	82%	7%	11%
Dortmunder	vol	terug	0%	62%	12%	26%
Europaschip	vol	heen	0%	49%	10%	41%
Europaschip	vol	terug	0%	17%	30%	53%
Europaschip	leeg	heen	0%	100%	0%	0%
Europaschip	leeg	terug	0%	100%	0%	0%
Groot Rijnschip	vol	heen	0%	0%	0%	100%
Groot Rijnschip	vol	terug	0%	0%	11%	89%
Groot Rijnschip	containers	heen	0%	0%	0%	100%
Groot Rijnschip	containers	terug	0%	0%	0%	100%

Acceptabele faalkans = 5%

Downtime voor elk scheepstype over het gedefinieerde vaartraject

Schip	Belading	Route	Moment X (%)	Moment Y (%)	Boeg (%)	Den (%)	Downtime
Spits	vol	heen	0,000%	0,000%	2,133%	6,425%	7,277%
Spits	vol	terug	0,000%	0,000%	10,237%	17,396%	17,396%
Kempenaar	vol	heen	0,000%	0,000%	0,767%	3,626%	3,744%
Kempenaar	vol	terug	0,000%	0,000%	2,403%	12,657%	12,657%
Kempenaar	leeg	heen	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
Kempenaar	leeg	terug	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
Dortmunder	vol	heen	0,000%	6,990%	0,481%	0,658%	7,041%
Dortmunder	vol	terug	0,000%	7,201%	1,703%	3,727%	7,370%
Europaschip	vol	heen	0,000%	1,796%	0,354%	1,181%	1,973%
Europaschip	vol	terug	0,000%	0,978%	1,686%	3,145%	3,145%
Europaschip	leeg	heen	0,000%	1,181%	0,000%	0,000%	1,181%
Europaschip	leeg	terug	0,000%	1,037%	0,000%	0,000%	1,037%
Groot Rijnschip	vol	heen	0,000%	0,000%	0,000%	1,847%	1,847%
Groot Rijnschip	vol	terug	0,000%	0,000%	0,422%	3,887%	3,887%
Groot Rijnschip	containers	heen	0,000%	0,000%	0,000%	0,708%	0,708%
Groot Rijnschip	containers	terug	0,000%	0,000%	0,000%	1,973%	1,973%

Aandeel faalmechanisme in geval van downtime

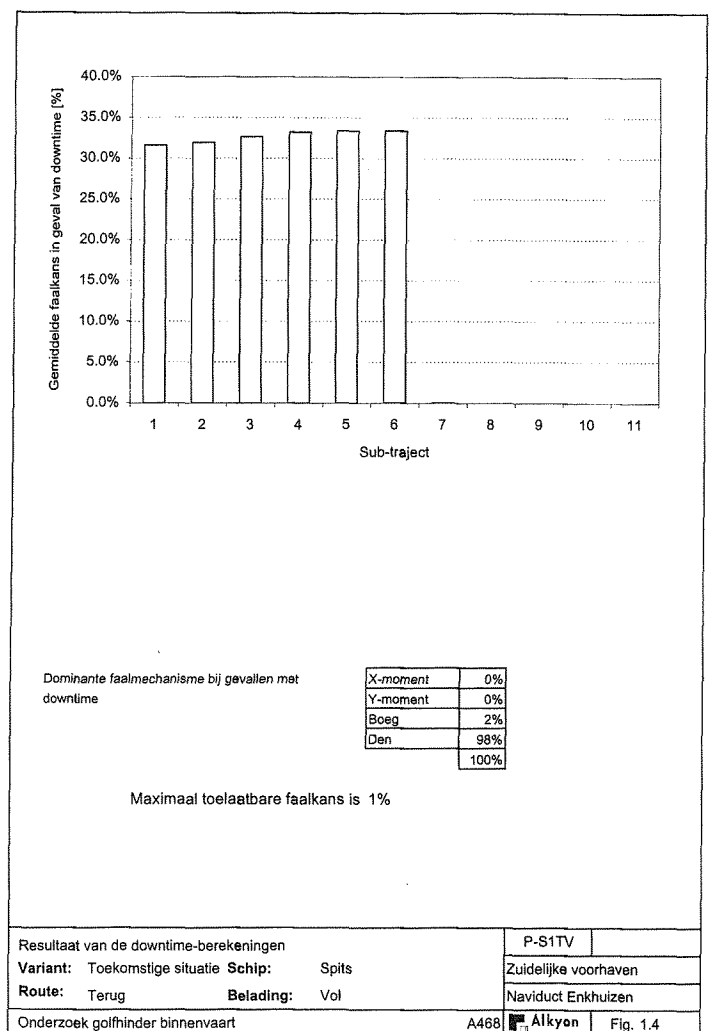
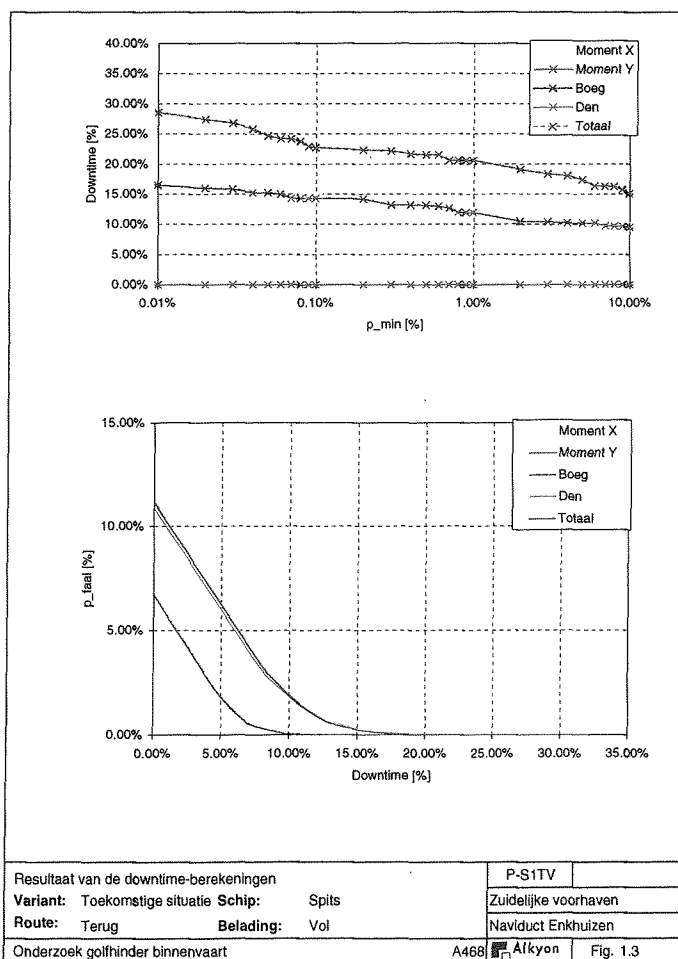
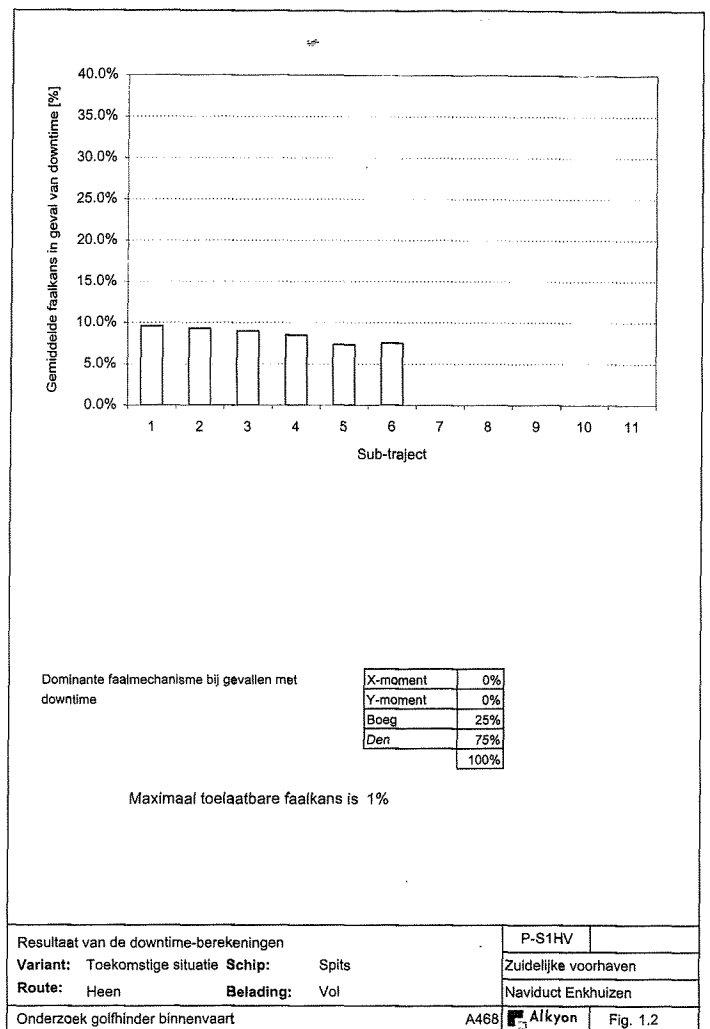
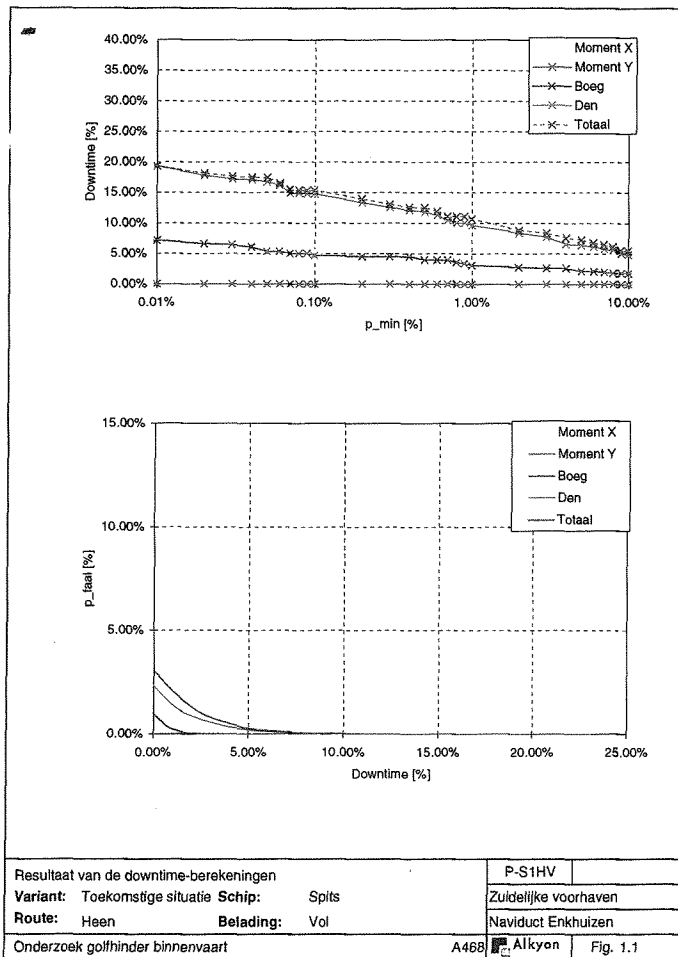
Schip	Belading	Route	Moment X	Moment Y	Boeg	Den
Spits	vol	heen	0%	0%	25%	75%
Spits	vol	terug	0%	0%	37%	63%
Kempenaar	vol	heen	0%	0%	17%	83%
Kempenaar	vol	terug	0%	0%	16%	84%
Kempenaar	leeg	heen	0%	0%	0%	0%
Kempenaar	leeg	terug	0%	0%	0%	0%
Dortmunder	vol	heen	0%	86%	6%	8%
Dortmunder	vol	terug	0%	57%	13%	30%
Europaschip	vol	heen	0%	54%	11%	35%
Europaschip	vol	terug	0%	17%	29%	54%
Europaschip	leeg	heen	0%	100%	0%	0%
Europaschip	leeg	terug	0%	100%	0%	0%
Groot Rijnschip	vol	heen	0%	0%	0%	100%
Groot Rijnschip	vol	terug	0%	0%	10%	90%
Groot Rijnschip	containers	heen	0%	0%	0%	100%
Groot Rijnschip	containers	terug	0%	0%	0%	100%

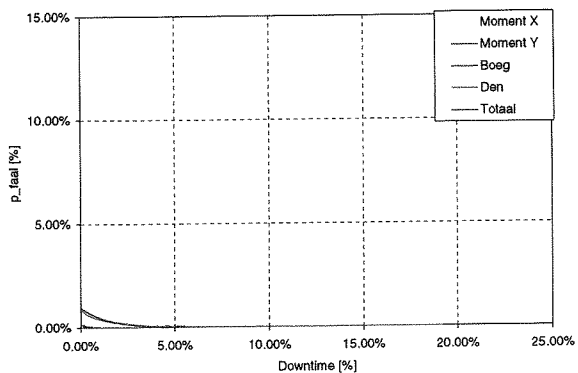
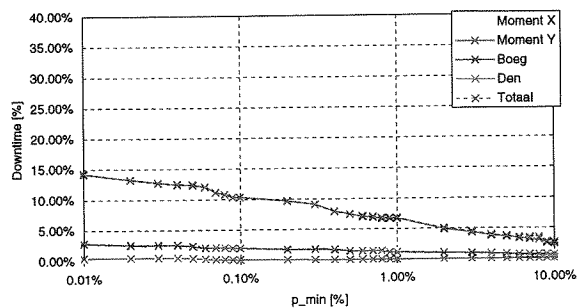
Bijlage 15.6

In onderstaande tabel is aangegeven welke scheepscondities in de figuren zijn afgebeeld.

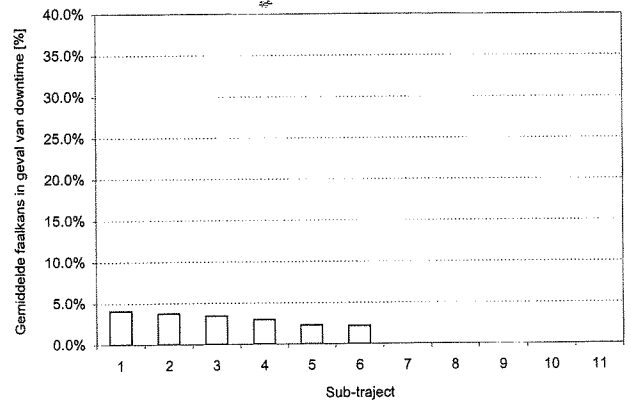
Tabel 15.6.1 Scheepscondities en bijbehorende figuurnummers

Scheepstype	Route	Belading	Grafiek (fig.nr.)	Histogram (fig.nr.)
Spits	Heen	Vol	1.1	1.2
Spits	Terug	Vol	1.3	1.4
Kempenaar	Heen	Vol	2.1	2.2
Kempenaar	Terug	Vol	2.3	2.4
Kempenaar	Heen	Leeg	2.5	2.6
Kempenaar	Terug	Leeg	2.7	2.8
Dortmunder	Heen	Vol	3.1	3.2
Dortmunder	Terug	Vol	3.3	3.4
Europaschip	Heen	Vol	4.1	4.2
Europaschip	Terug	Vol	4.3	4.4
Europaschip	Heen	Leeg	4.5	4.6
Europaschip	Terug	Leeg	4.7	4.8
Groot Rijnschip	Heen	Vol	5.1	5.2
Groot Rijnschip	Terug	Vol	5.3	5.4
Groot Rijnschip	Heen	Containers	5.5	5.6
Groot Rijnschip	Terug	Containers	5.7	5.8





Resultaat van de downtime-berekeningen			P-S2HV	
Variant:	Toekomstige situatie	Schip:	Kempenaar	Zuidelijke voorhaven
Route:	Heen	Belading:	Vol	Naviduct Enkhuizen
Onderzoek golfhinder binnenvaart	A468	Alkyon	Fig. 2.1	

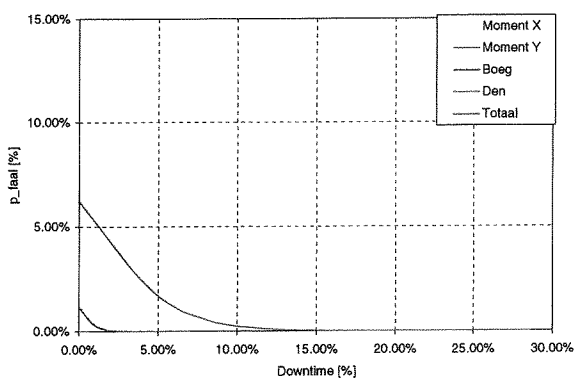
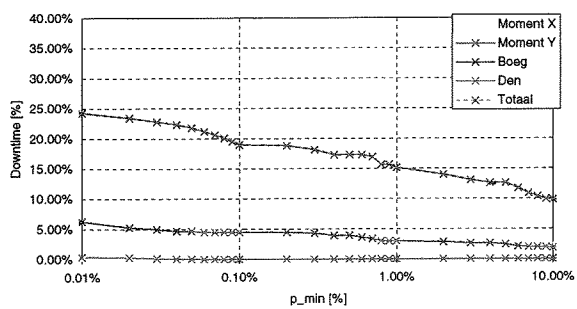


Dominantie faalmechanisme
in geval van downtime

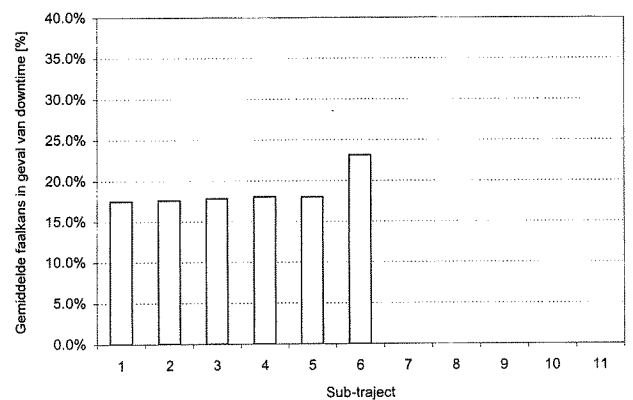
X-moment	0%
Y-moment	0%
Boeg	10%
Den	90%
	100%

Maximaal toelaatbare faalkans is 1%

Resultaat van de downtime-berekeningen			P-S2HV	
Variant:	Toekomstige situatie	Schip:	Kempenaar	Zuidelijke voorhaven
Route:	Heen	Belading:	Vol	Naviduct Enkhuizen
Onderzoek golfhinder binnenvaart	A468	Alkyon	Fig. 2.2	



Resultaat van de downtime-berekeningen			P-S2TV	
Variant:	Toekomstige situatie	Schip:	Kempenaar	Zuidelijke voorhaven
Route:	Terug	Belading:	Vol	Naviduct Enkhuizen
Onderzoek golfhinder binnenvaart	A468	Alkyon	Fig. 2.3	

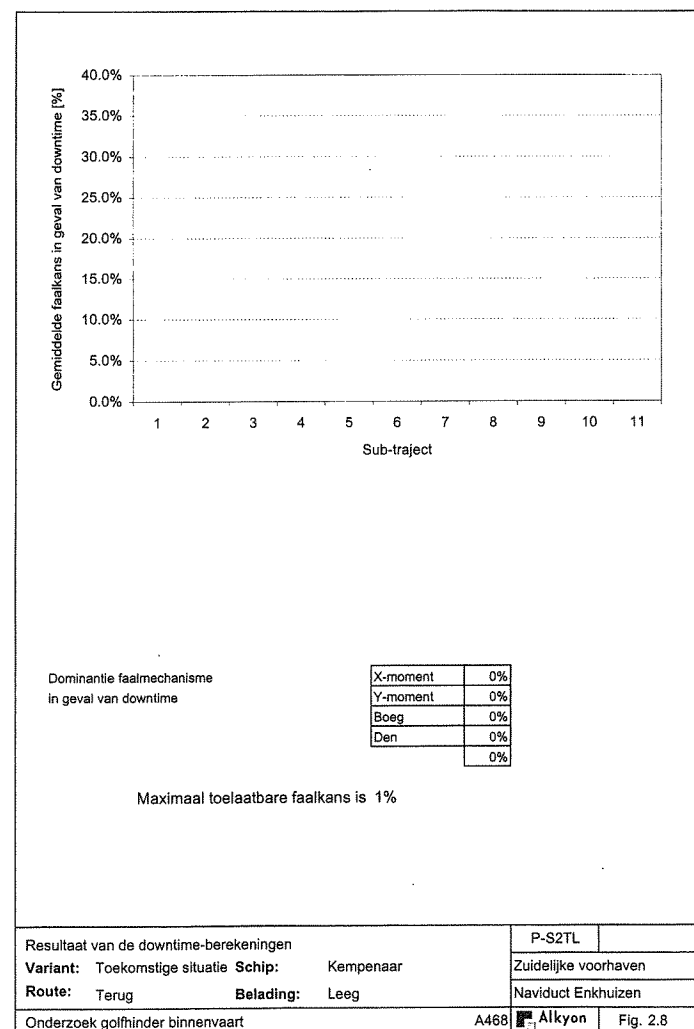
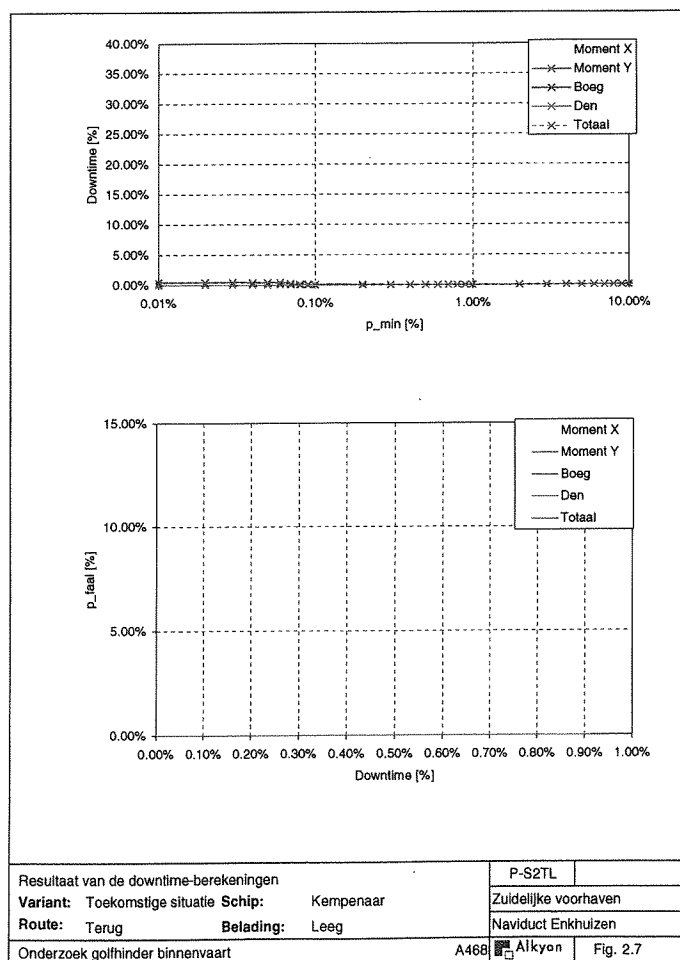
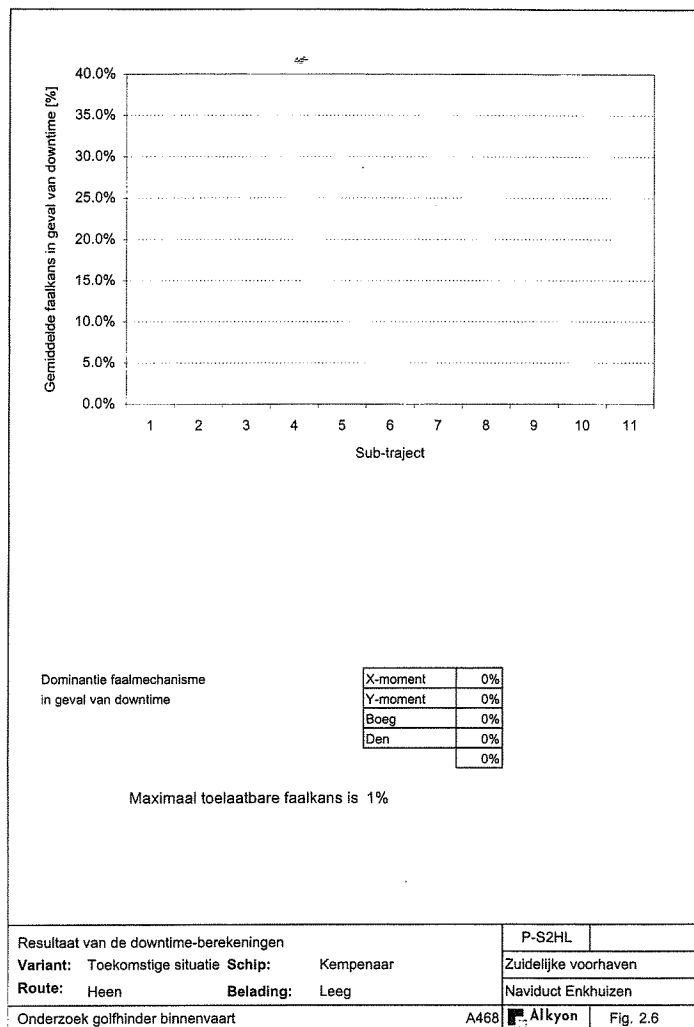
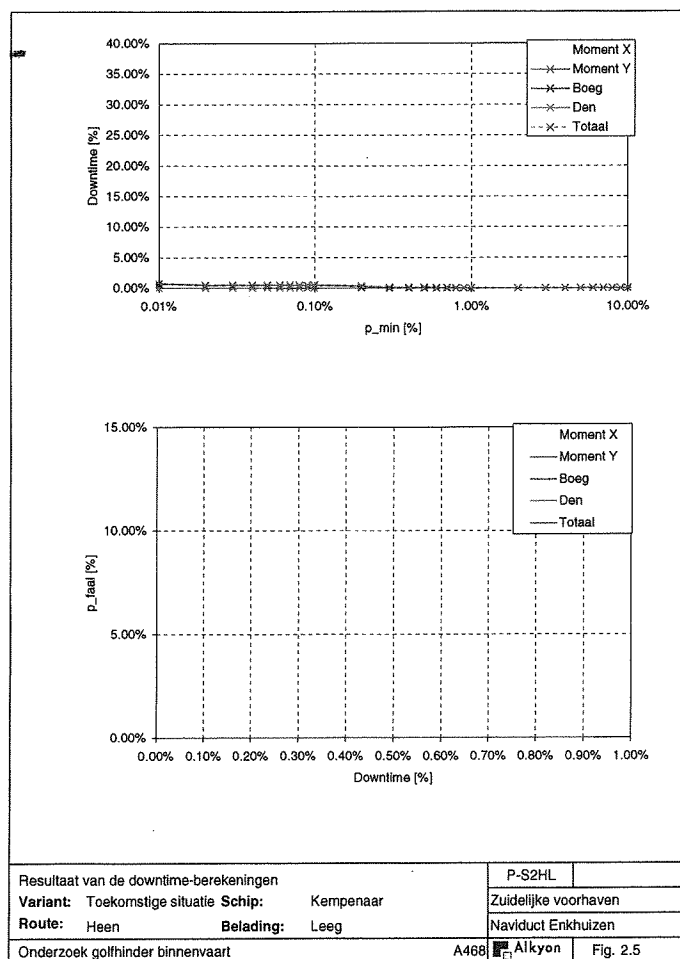


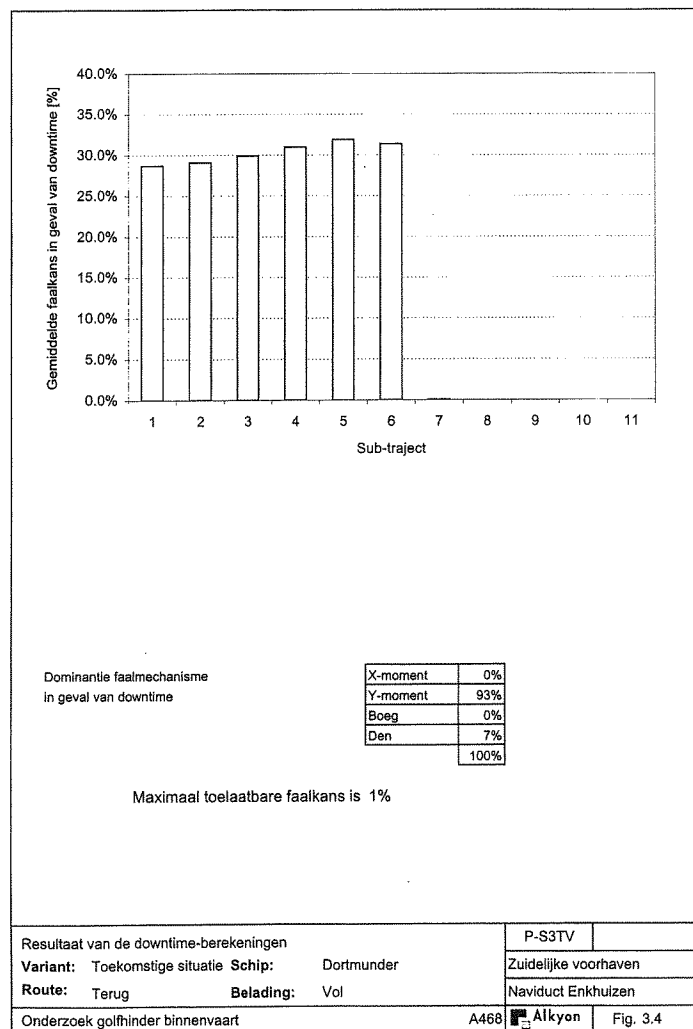
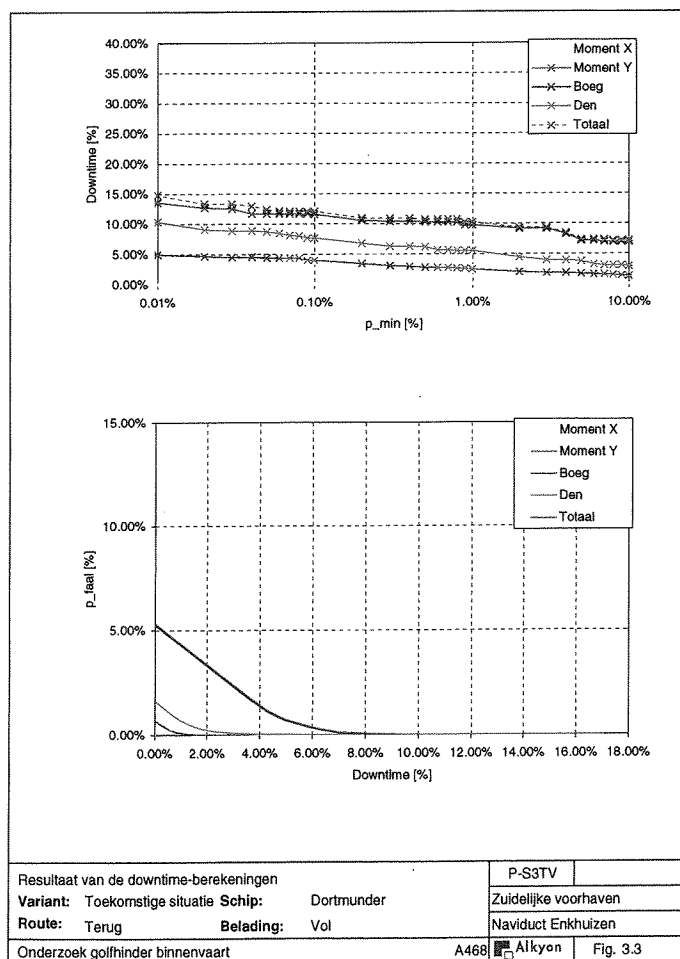
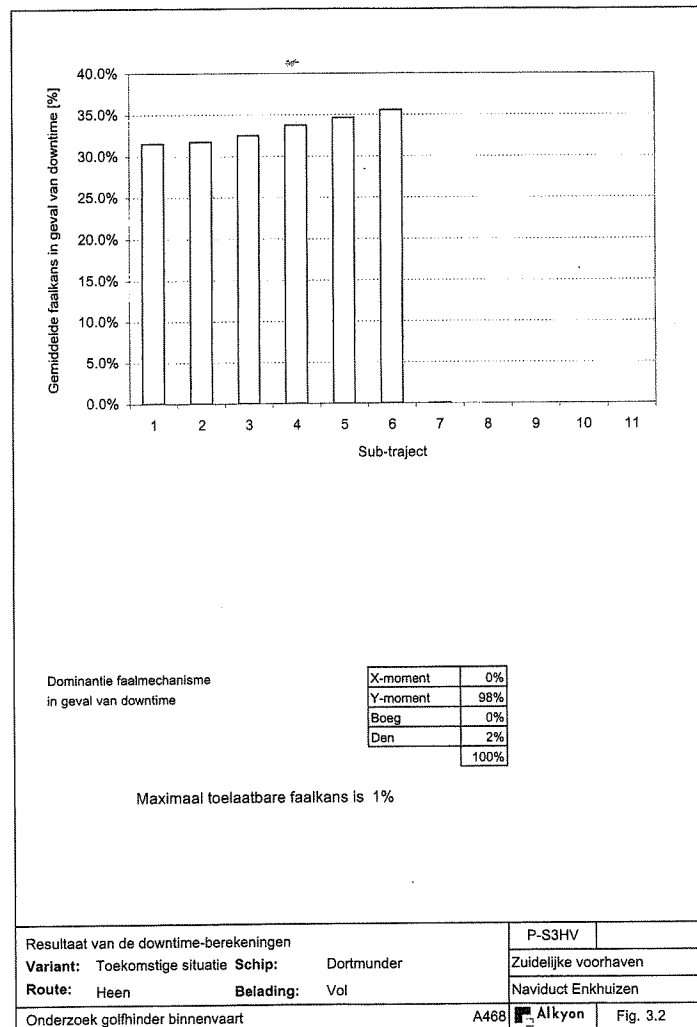
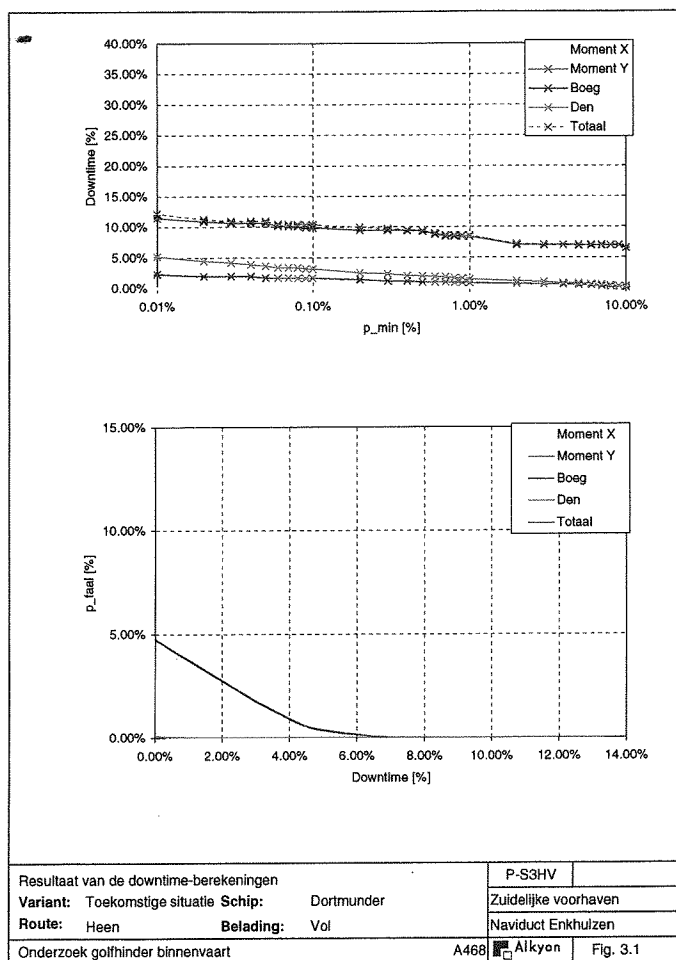
Dominantie faalmechanisme
in geval van downtime

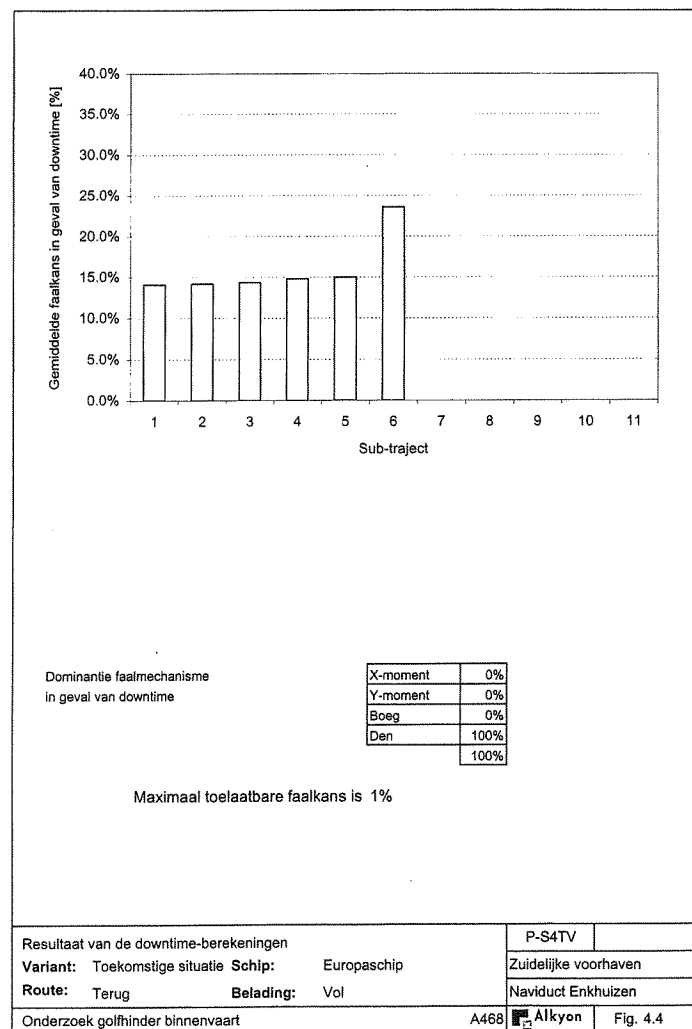
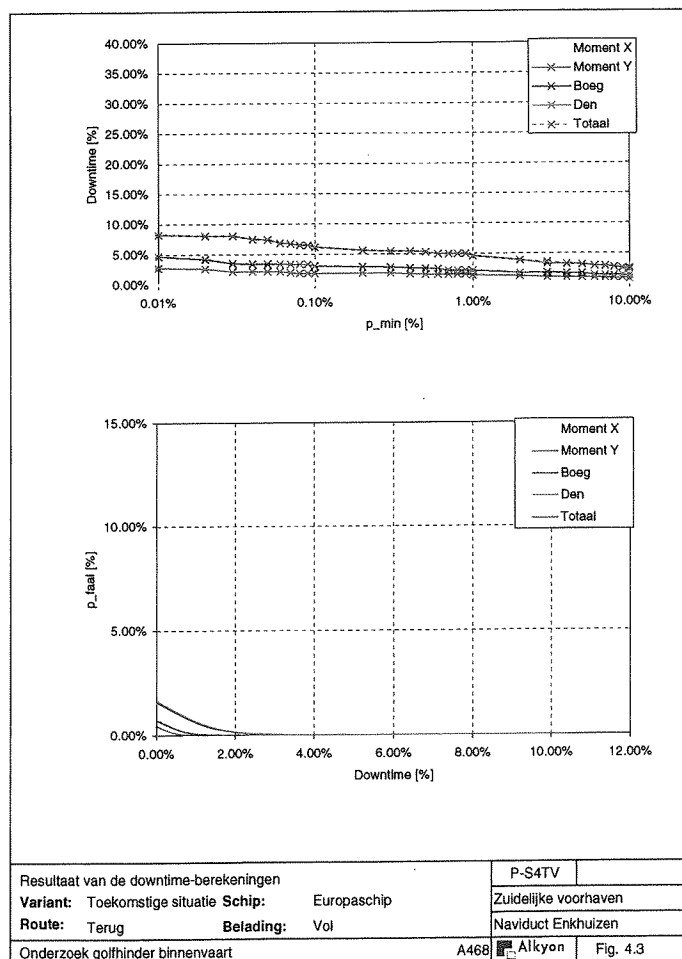
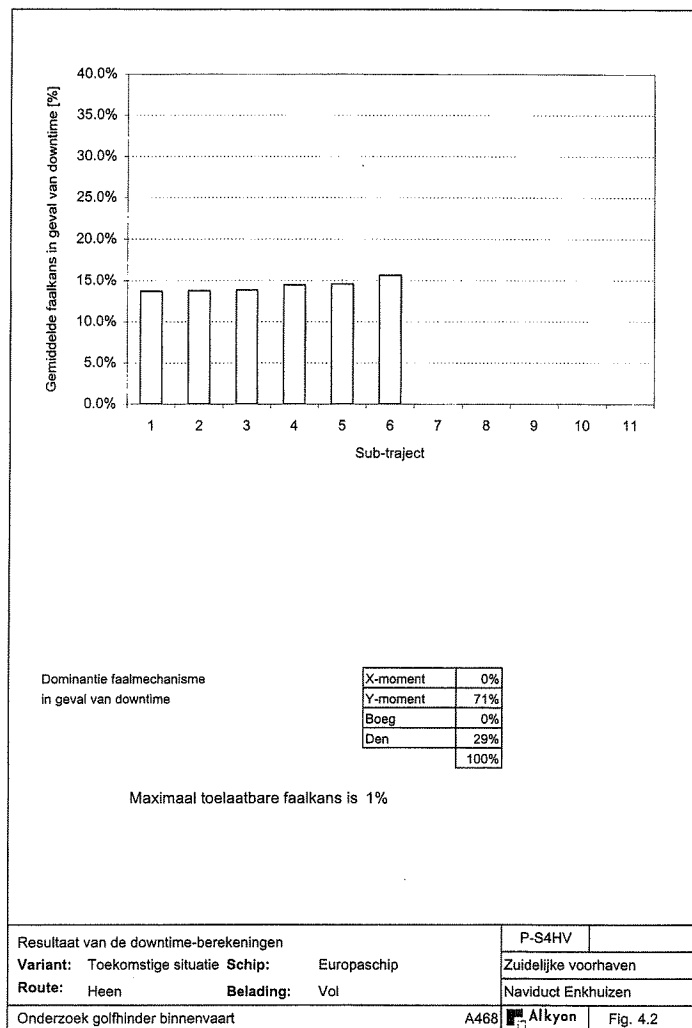
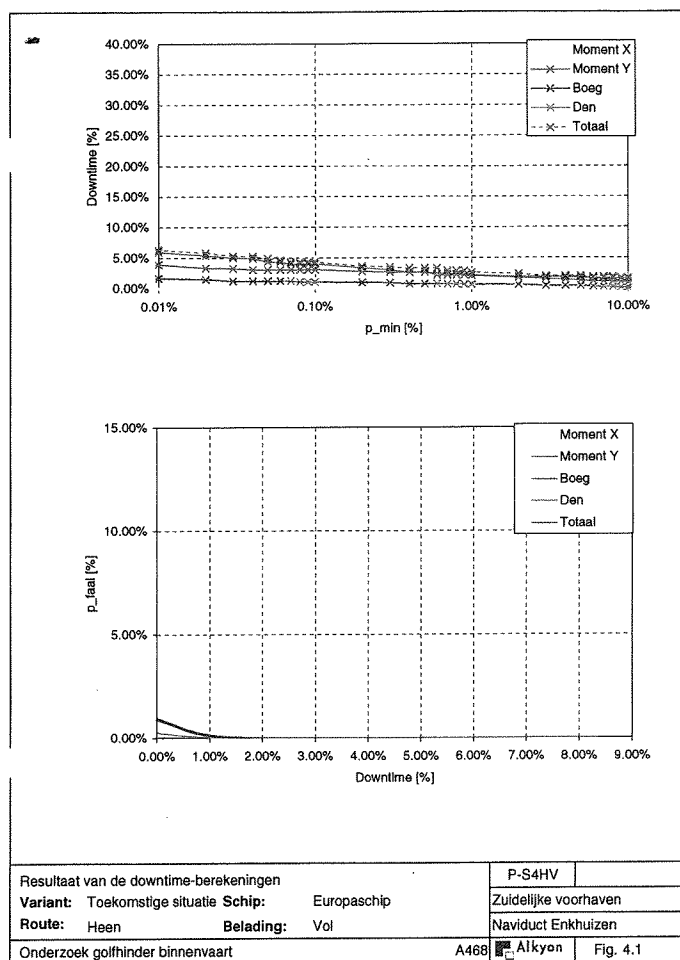
X-moment	0%
Y-moment	0%
Boeg	0%
Den	100%
	100%

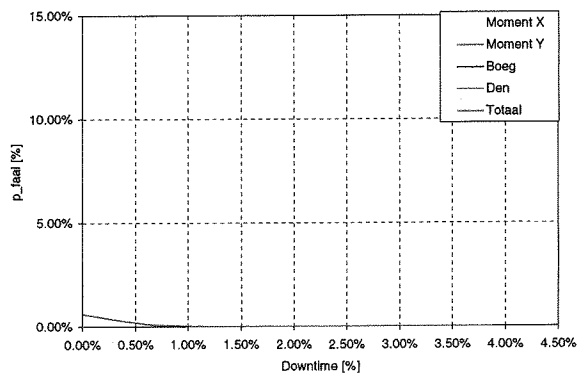
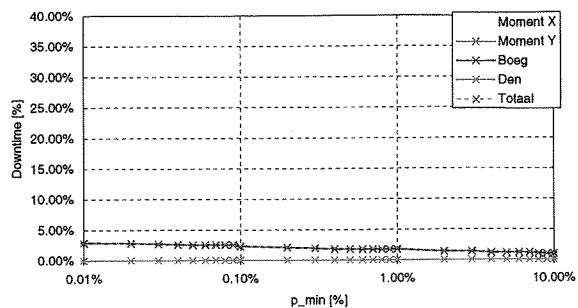
Maximaal toelaatbare faalkans is 1%

Resultaat van de downtime-berekeningen			P-S2TV	
Variant:	Toekomstige situatie	Schip:	Kempenaar	Zuidelijke voorhaven
Route:	Terug	Belading:	Vol	Naviduct Enkhuizen
Onderzoek golfhinder binnenvaart	A468	Alkyon	Fig. 2.4	

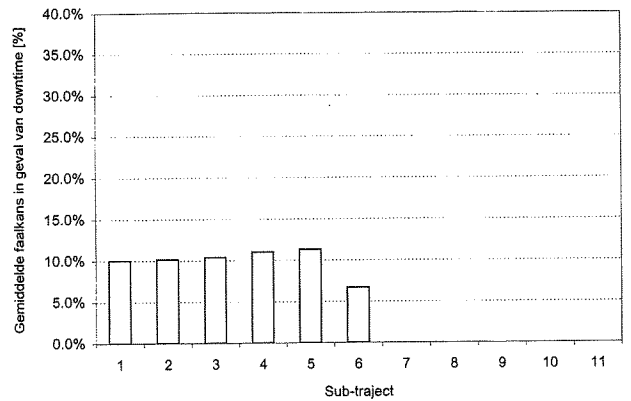








Resultaat van de downtime-berekeningen			P-S4HL
Variant:	Toekomstige situatie	Schip: Europaschip	Zuidelijke voorhaven
Route:	Heen	Belading: Leeg	Naviduct Enkhuizen
Onderzoek golfhinder binnenvaart	A468	Alkyon	Fig. 4.5

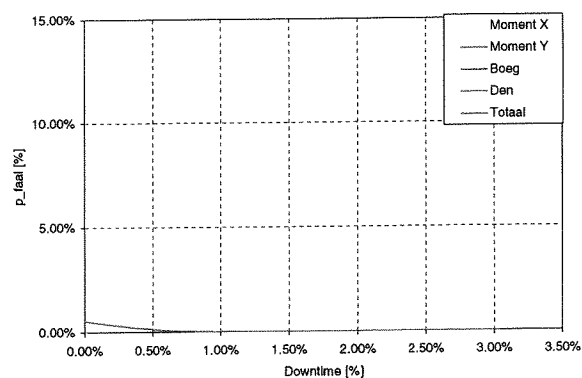
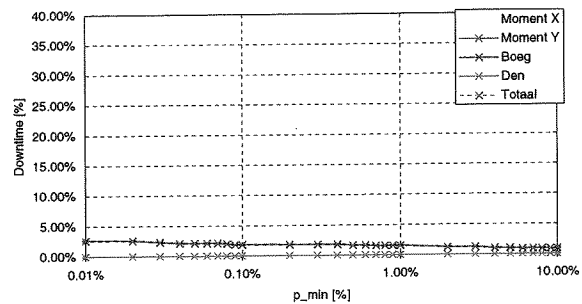


Dominantie faalmechanisme
in geval van downtime

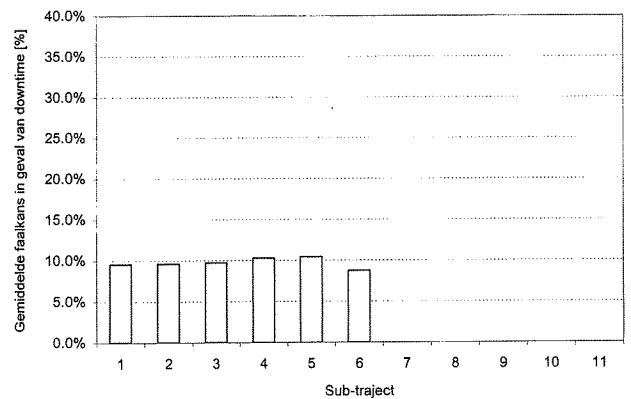
X-moment	0%
Y-moment	100%
Boeg	0%
Den	0%
	100%

Maximaal toelaatbare faalkans is 1%

Resultaat van de downtime-berekeningen			P-S4HL
Variant:	Toekomstige situatie	Schip: Europaschip	Zuidelijke voorhaven
Route:	Heen	Belading: Leeg	Naviduct Enkhuizen
Onderzoek golfhinder binnenvaart	A468	Alkyon	Fig. 4.6



Resultaat van de downtime-berekeningen			P-S4TL
Variant:	Toekomstige situatie	Schip: Europaschip	Zuidelijke voorhaven
Route:	Terug	Belading: Leeg	Naviduct Enkhuizen
Onderzoek golfhinder binnenvaart	A468	Alkyon	Fig. 4.7

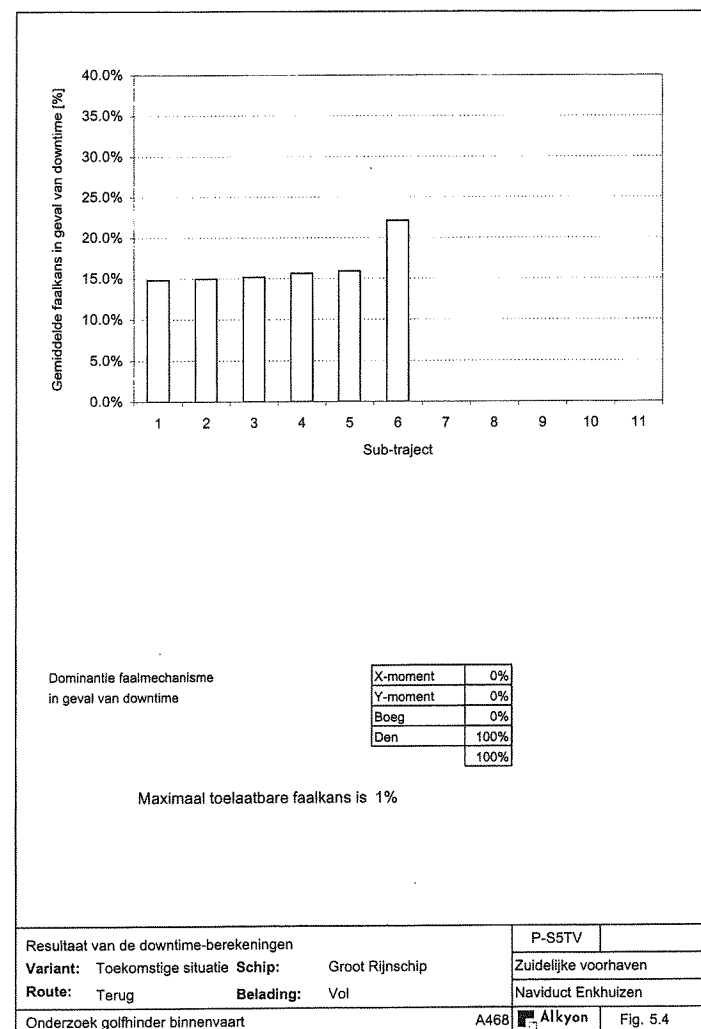
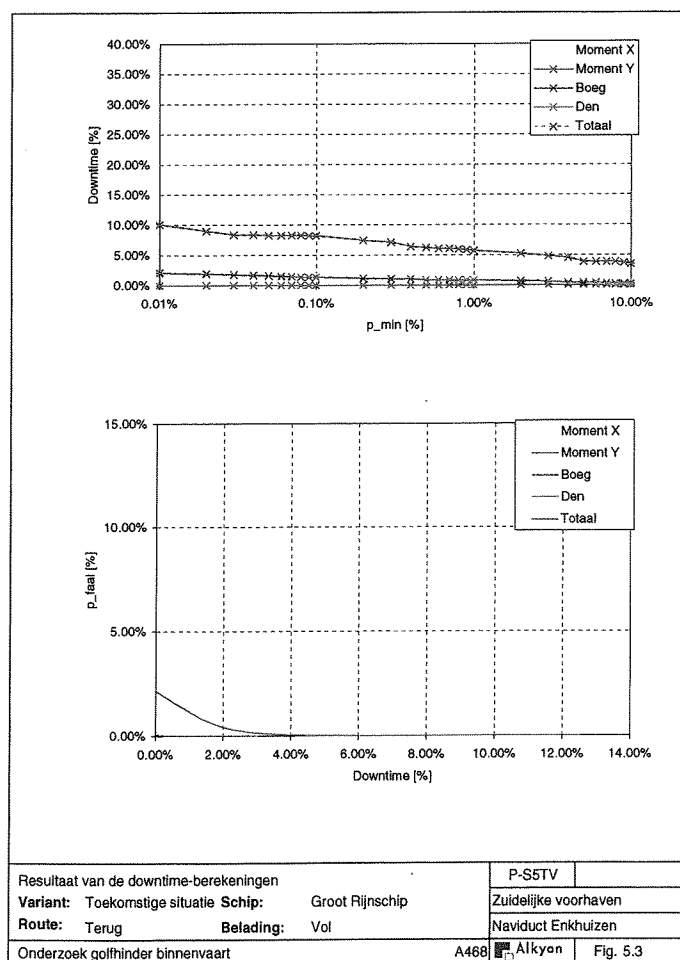
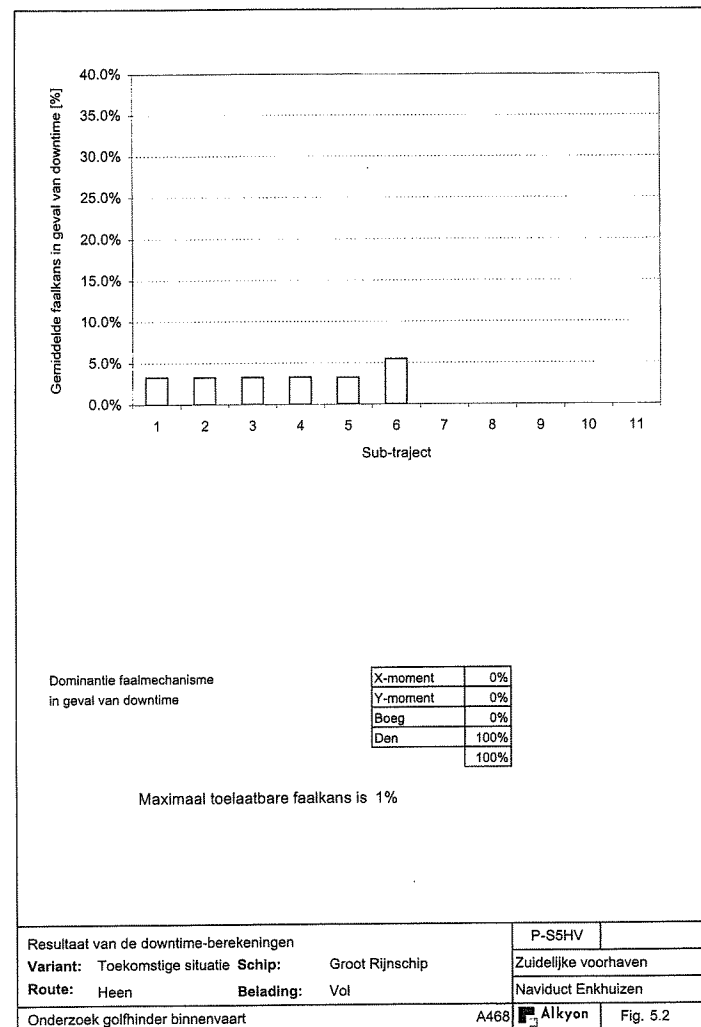
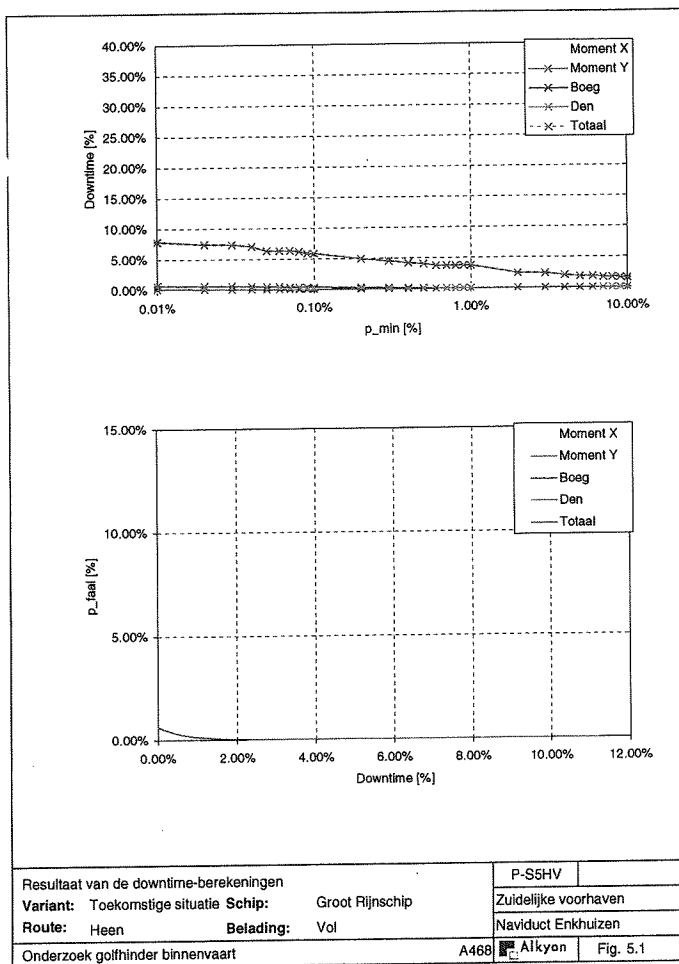


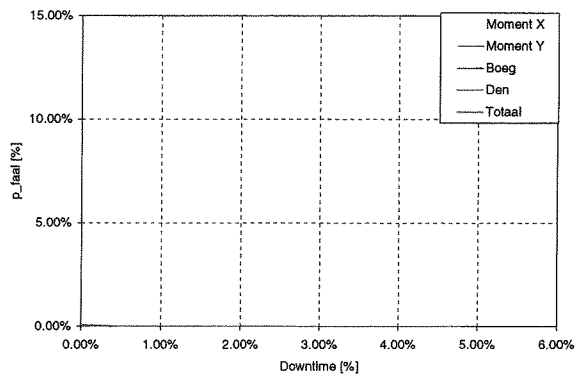
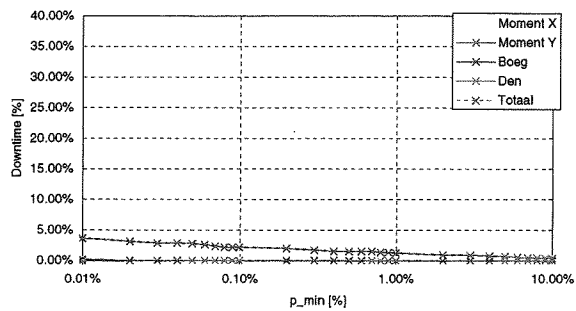
Dominantie faalmechanisme
in geval van downtime

X-moment	0%
Y-moment	100%
Boeg	0%
Den	0%
	100%

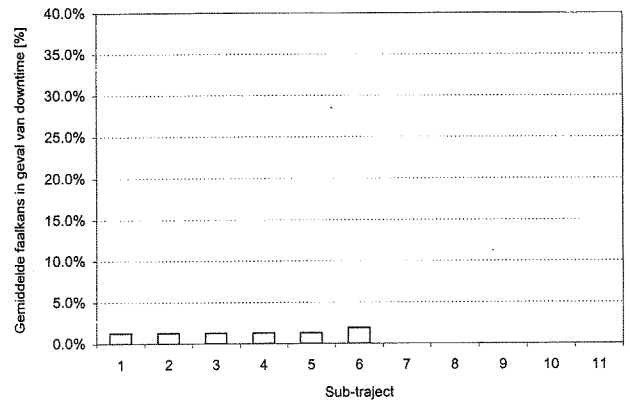
Maximaal toelaatbare faalkans is 1%

Resultaat van de downtime-berekeningen			P-S4TL
Variant:	Toekomstige situatie	Schip: Europaschip	Zuidelijke voorhaven
Route:	Terug	Belading: Leeg	Naviduct Enkhuizen
Onderzoek golfhinder binnenvaart	A468	Alkyon	Fig. 4.8





Resultaat van de downtime-berekeningen			P-S5HC
Variant:	Toekomstige situatie	Schip:	Groot Rijnschip
Route:	Heen	Belading:	Containers
Onderzoek golfhinder binnenvaart			Naviduct Enkhuizen
A468			Alkyon
			Fig. 5.5

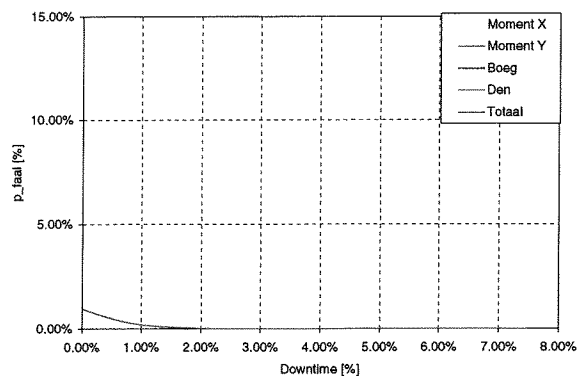
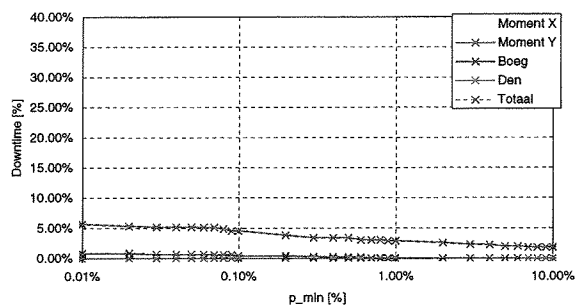


Dominantie faalmechanisme
in geval van downtime

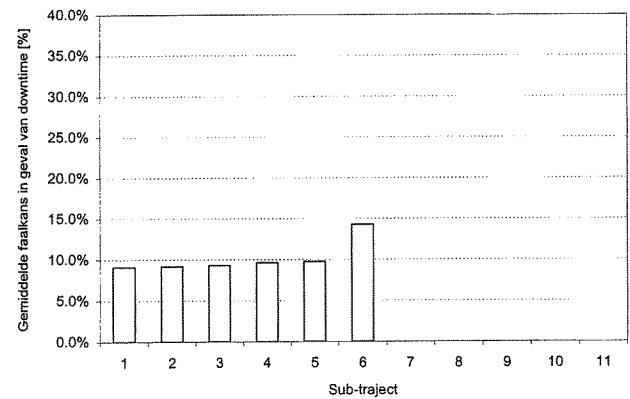
X-moment	0%
Y-moment	0%
Boeg	0%
Den	100%
	100%

Maximaal toelaatbare faalkans is 1%

Resultaat van de downtime-berekeningen			P-S5HC
Variant:	Toekomstige situatie	Schip:	Groot Rijnschip
Route:	Heen	Belading:	Containers
Onderzoek golfhinder binnenvaart			Naviduct Enkhuizen
A468			Alkyon
			Fig. 5.6



Resultaat van de downtime-berekeningen			P-S5TC
Variant:	Toekomstige situatie	Schip:	Groot Rijnschip
Route:	Terug	Belading:	Containers
Onderzoek golfhinder binnenvaart			Naviduct Enkhuizen
A468			Alkyon
			Fig. 5.7



Dominantie faalmechanisme
in geval van downtime

X-moment	0%
Y-moment	0%
Boeg	0%
Den	100%
	100%

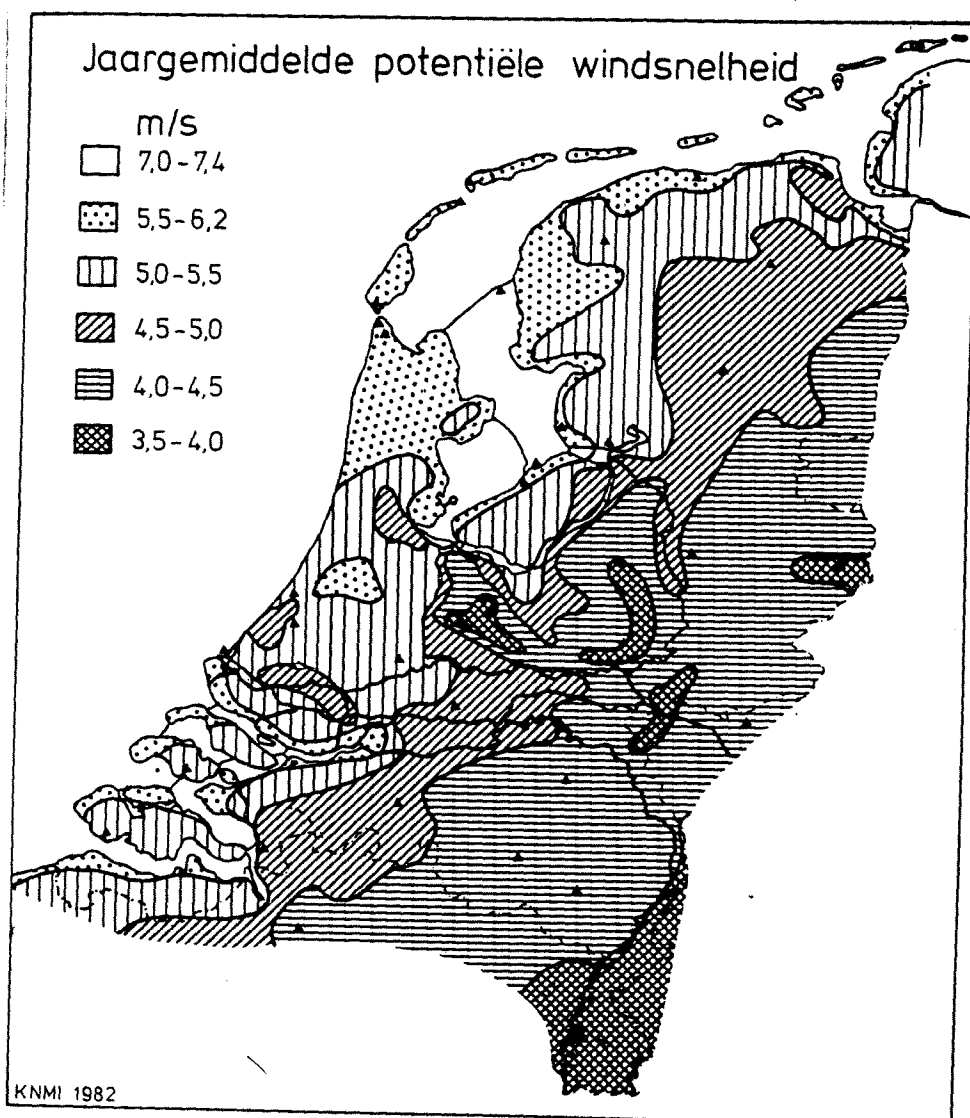
Maximaal toelaatbare faalkans is 1%

Resultaat van de downtime-berekeningen			P-S5TC
Variant:	Toekomstige situatie	Schip:	Groot Rijnschip
Route:	Terug	Belading:	Containers
Onderzoek golfhinder binnenvaart			Naviduct Enkhuizen
A468			Alkyon
			Fig. 5.8

Downtime voor elk scheepstype over het gedefinieerde vaartraject

Schip	Belading	Route	Acceptabele faalkans = 1%		Acceptabele faalkans = 3%		Acceptabele faalkans = 5%	
			aantal Downtime	dagen downtime	aantal Downtime	dagen downtime	aantal Downtime	dagen downtime
Spits	vol	heen	10,684%	39	8,40%	31	7,277%	27
Spits	vol	terug	20,600%	75	18,33%	67	17,396%	63
Kempenaar	vol	heen	6,822%	25	4,49%	16	3,744%	14
Kempenaar	vol	terug	15,153%	55	13,13%	48	12,657%	46
Kempenaar	leeg	heen	0,000%	0	0,00%	0	0,000%	0
Kempenaar	leeg	terug	0,000%	0	0,00%	0	0,000%	0
Dortmunder	vol	heen	8,593%	31	7,10%	26	7,041%	26
Dortmunder	vol	terug	10,279%	38	9,34%	34	7,370%	27
Europaschip	vol	heen	2,631%	10	2,02%	7	1,973%	7
Europaschip	vol	terug	4,621%	17	3,59%	13	3,145%	11
Europaschip	leeg	heen	1,788%	7	1,43%	5	1,181%	4
Europaschip	leeg	terug	1,560%	6	1,25%	5	1,037%	4
Groot Rijnschip	vol	heen	3,710%	14	2,37%	9	1,847%	7
Groot Rijnschip	vol	terug	5,717%	21	4,85%	18	3,887%	14
Groot Rijnschip	containers	heen	1,282%	5	0,89%	3	0,708%	3
Groot Rijnschip	containers	terug	2,867%	10	2,29%	8	1,973%	7

Bijlage 16



Figuur 4.8 Jaargemiddelde potentiële windsnelheid U_p in Nederland. Let op de windsprong aan de kustlijn waardoor de windsnelheidsklasse 6,2 – 7,0 m/s ontbreekt.

FREQUENCY TABLE OF POTENTIAL WIND SPEED - DISTRIBUTIVE

240 Schiphol

Year

1971-1999

		Wind direction (*10 degrees)														
		Var. Calm	35-01	02-04	05-07	08-10	11-13	14-16	17-19	20-22	23-25	26-28	29-31	32-34	Cum.	
Windspeed (m/s)			Distributive in percentage													
0.0 - 0.9	0.74	0.05	0.05	0.04	0.04	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05	1.36		
1.0 - 1.9	1.91	0.59	0.40	0.36	0.39	0.53	0.45	0.50	0.59	0.52	0.44	0.38	0.52	7.58		
2.0 - 2.9	0.64	1.42	0.87	0.72	0.93	1.04	0.99	1.25	1.52	1.06	0.98	0.78	1.05	13.26		
3.0 - 3.9	0.05	1.38	1.11	1.02	1.28	1.27	1.27	1.72	2.10	1.20	1.27	1.06	1.11	15.83		
4.0 - 4.9	0.01	0.98	1.08	1.16	1.20	1.07	1.12	1.71	1.98	1.32	1.35	1.02	0.98	14.96		
5.0 - 5.9	0.00	0.60	0.89	1.03	0.84	0.70	0.86	1.30	1.53	1.09	1.22	0.63	0.63	11.33		
6.0 - 6.9	0.00	0.57	0.68	0.94	0.67	0.48	0.66	1.09	1.42	1.28	1.23	0.86	0.77	10.66		
7.0 - 7.9	-	0.37	0.43	0.72	0.49	0.24	0.40	0.74	1.25	1.22	1.01	0.71	0.61	8.19		
8.0 - 8.9	-	0.21	0.29	0.46	0.24	0.10	0.23	0.43	0.90	1.21	0.79	0.51	0.40	5.77		
9.0 - 9.9	-	0.10	0.17	0.26	0.12	0.04	0.12	0.25	0.68	0.78	0.48	0.30	0.23	3.53		
10.0 - 10.9	-	0.05	0.11	0.18	0.07	0.01	0.05	0.19	0.46	0.79	0.44	0.24	0.16	2.74		
11.0 - 11.9	-	0.04	0.04	0.12	0.03	0.00	0.02	0.11	0.30	0.61	0.33	0.15	0.07	1.83		
12.0 - 12.9	-	0.03	0.02	0.05	0.01	0.00	0.01	0.06	0.18	0.45	0.24	0.13	0.06	1.23		
13.0 - 13.9	-	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.10	0.28	0.15	0.07	0.03	0.70		
14.0 - 14.9	-	0.01	0.01	0.01	-	-	0.00	0.01	0.05	0.23	0.11	0.04	0.02	0.47		
15.0 - 15.9	-	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.00	0.03	0.13	0.04	0.02	0.01	0.25		
16.0 - 16.9	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00	0.01	0.08	0.02	0.01	0.01	0.13		
17.0 - 17.9	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00	0.01	0.04	0.02	0.01	0.00	0.08		
18.0 - 18.9	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.05		
19.0 - 19.9	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02		
20.0 - 20.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-	0.01		
21.0 - 21.9	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01		
22.0 - 22.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-	0.00		
23.0 - 23.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
24.0 - 24.9	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	0.00		
25.0 - 25.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	0.00		
26.0 - 26.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	0.00		
27.0 - 27.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
28.0 and higher	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	0.00		
Cumulative	3.35	6.42	6.16	7.07	6.33	5.54	6.24	9.45	13.17	12.39	10.18	6.96	6.73	100.00		

Windverdeling 1971 - 1999 Schiphol

frequenties van potentiële windsnelheid

Overschrijding van een bepaalde windsnelheid (m/s):

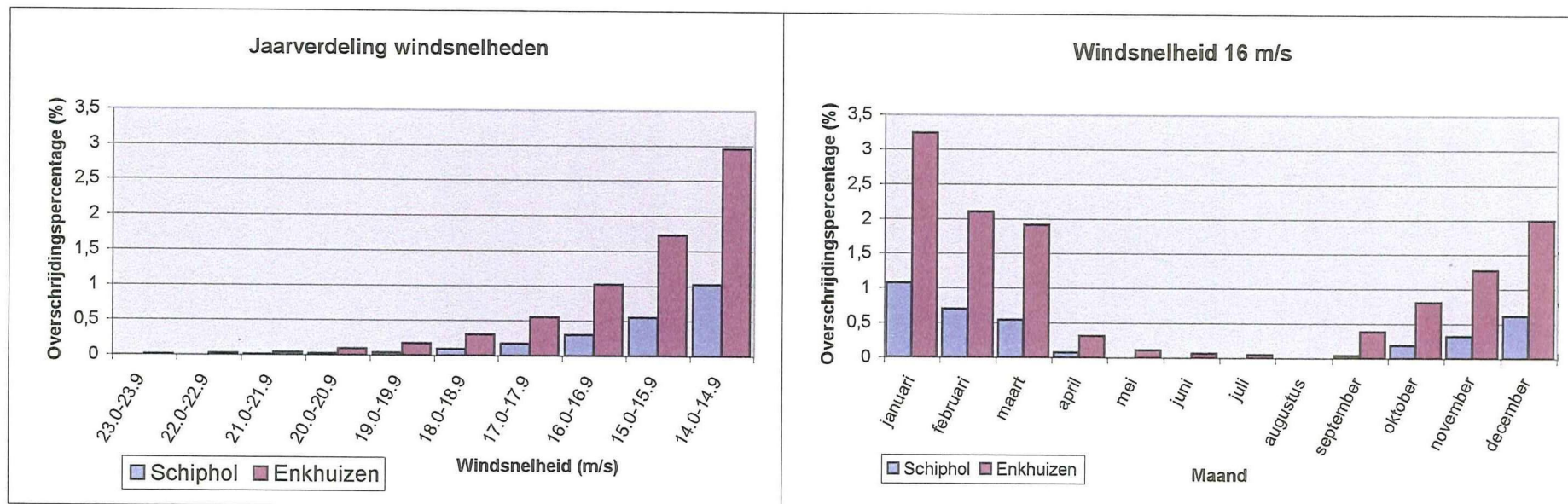
(Distributief in percentages)

windsnelheden (m/s)

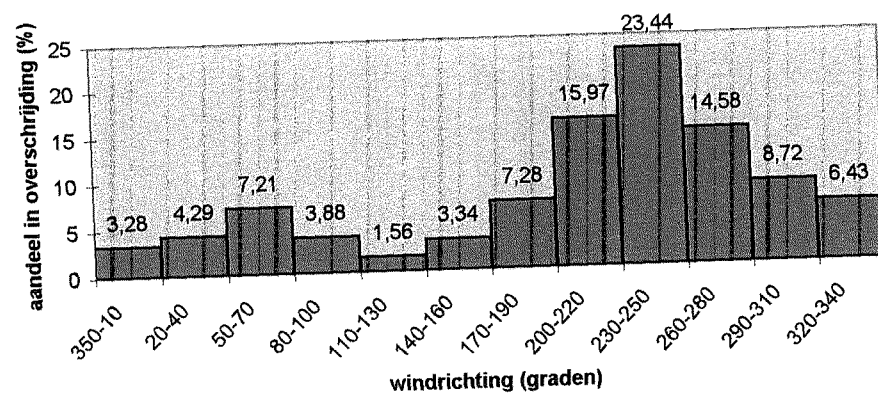
Schiphol	Enkhuizen	jaar	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
> 28	> 31,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27.0-27.9	30,34-31,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26.0-26.9	29,21-30,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25.0-25.9	28,09-29,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24.0-24.9	26,97-27,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23.0-23.9	25,84-26,85	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-
22.0-22.9	24,72-25,73	-	0,05	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-
21.0-21.9	23,60-24,61	0,01	0,07	0,02	-	0,01	-	-	-	-	-	-	0,02	0,01
20.0-20.9	22,47-23,48	0,02	0,11	0,05	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02
19.0-19.9	21,35-22,36	0,04	0,18	0,11	0,02	0,02	-	-	-	-	-	0,02	0,05	0,06
18.0-18.9	20,22-21,24	0,09	0,35	0,22	0,12	0,03	-	-	-	-	0,01	0,05	0,1	0,15
17.0-17.9	19,10-20,11	0,17	0,62	0,4	0,27	0,05	-	-	-	-	0,02	0,07	0,19	0,34
16.0-16.9	17,98-18,99	0,3	1,07	0,7	0,54	0,07	-	-	-	-	0,04	0,19	0,32	0,61
15.0-15.9	16,85-17,87	0,55	1,9	1,26	0,94	0,14	0,02	0,01	0,02	-	0,14	0,39	0,56	1,14
14.0-14.9	15,73-16,74	1,02	3,23	2,10	1,91	0,31	0,11	0,06	0,05	-	0,38	0,81	1,27	1,99
13.0-13.9	14,61-15,62	1,72	4,9	3,53	3,22	0,81	0,24	0,11	0,1	0,04	0,61	1,55	2,31	3,25
12.0-12.9	13,48-14,49	2,95	7,38	5,36	5,49	2,06	0,6	0,26	0,25	0,24	1,26	2,94	4,15	5,49
11.0-11.9	12,36-13,37	4,78	10,38	8,11	8,53	4,02	1,56	0,79	0,63	0,89	2,43	4,68	6,55	8,5
10.0-10.9	11,24-12,25	7,52	15,62	11,44	12,4	6,88	3,77	2,13	1,65	2,11	4,68	7,07	10,21	12,52
9.0-9.9	10,11-11,12	11,06	20,7	15,43	16,62	10,82	7,26	4,27	3,57	3,91	7,68	10,43	14,67	17,53
8.0-8.9	8,99-10,0	16,83	28,34	21,7	23,16	17,97	13,16	8,66	7,97	7,55	12,08	15,75	21,19	24,66

In vet is weergegeven de categorie 16 m/s (15,73-16,74 m/s) waarmee de golfberekeningen zijn uitgevoerd, deze windsnelheid heeft dus een lokale overschrijdingsfrequentie van 1,02 % per jaar. Tevens is in het vet getoond bij welke windsnelheid per maand van het jaar de 1% overschrijdingsgrens wordt gepasseerd.

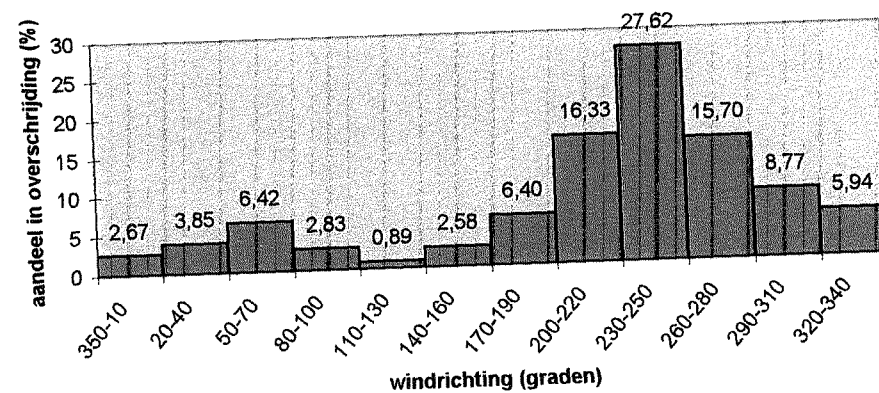
Bijlage 18



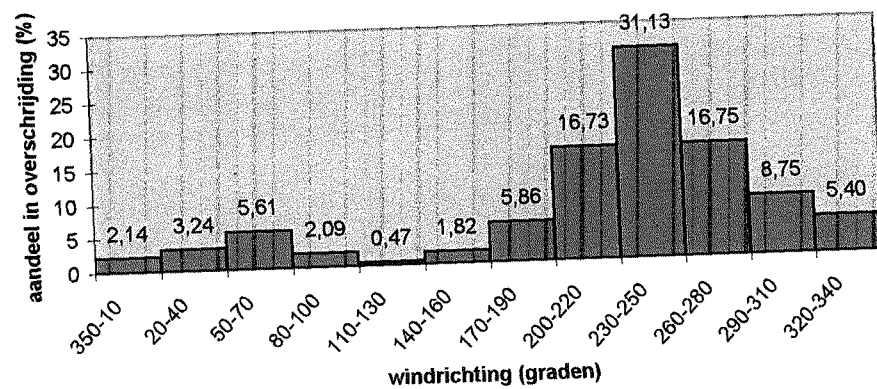
8 m/s (25,01% per jaar)



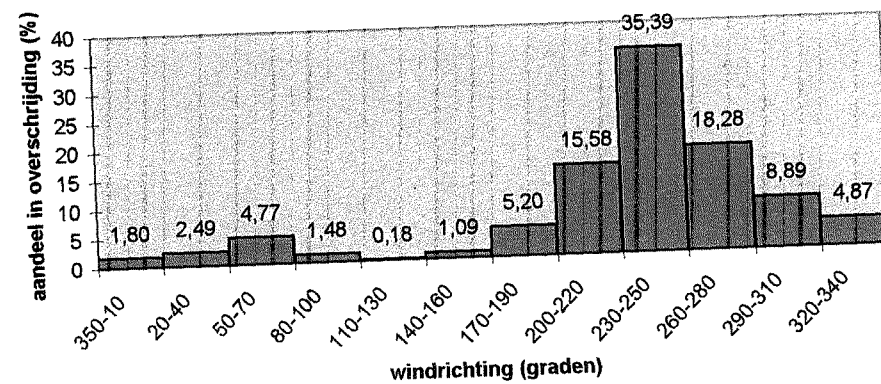
9-10 m/s (16,81% per jaar)



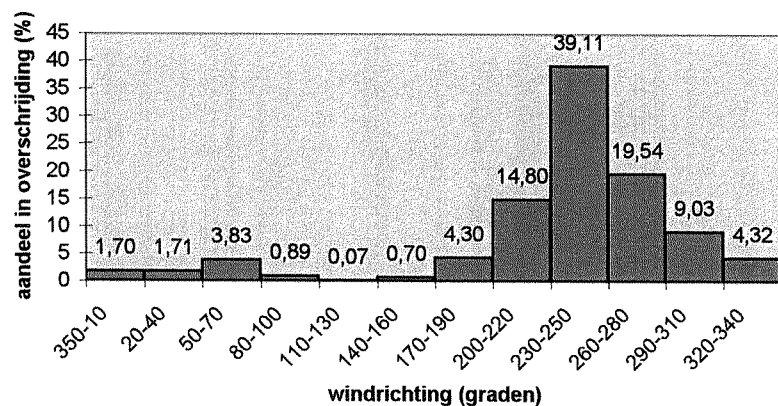
10-11 m/s (11,03% per jaar)



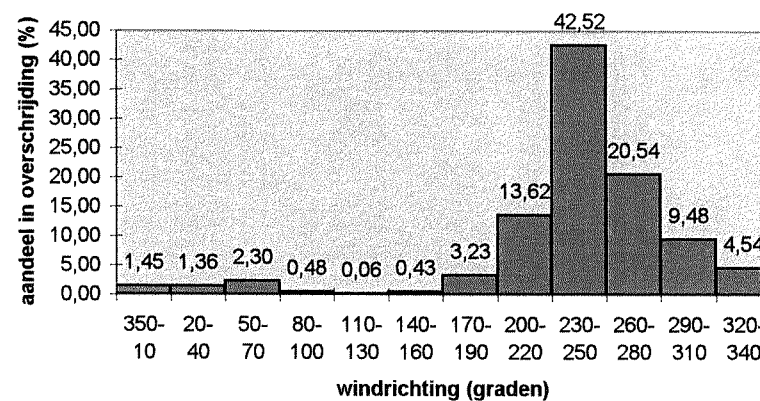
12 m/s (7,52% per jaar)



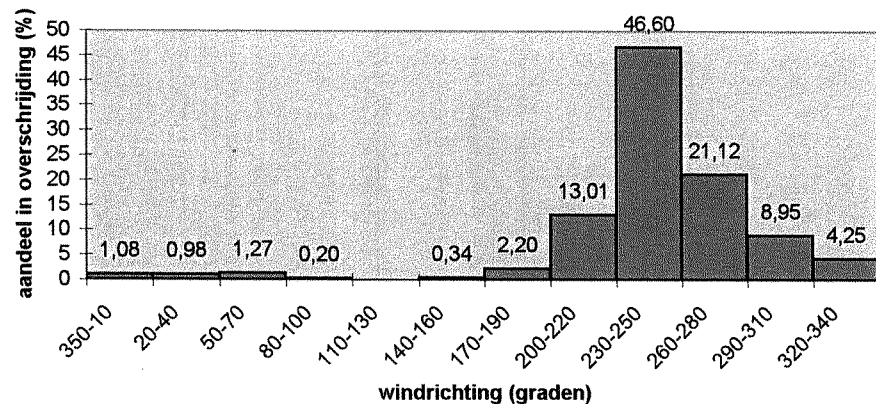
13 m/s (4,78% per jaar)



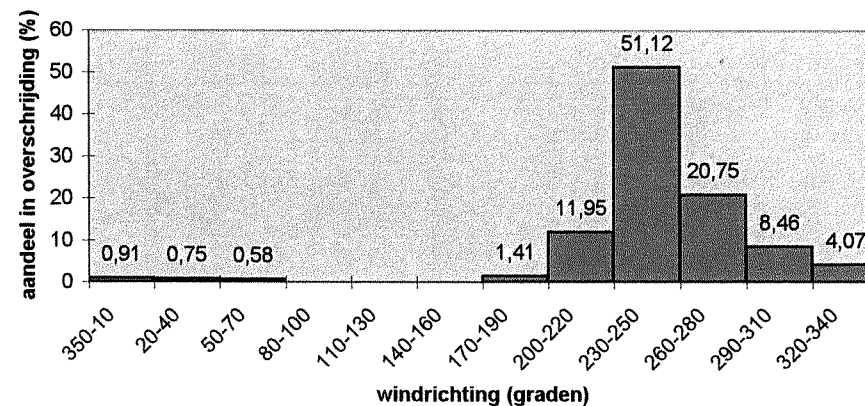
14 m/s (2,95% per jaar)

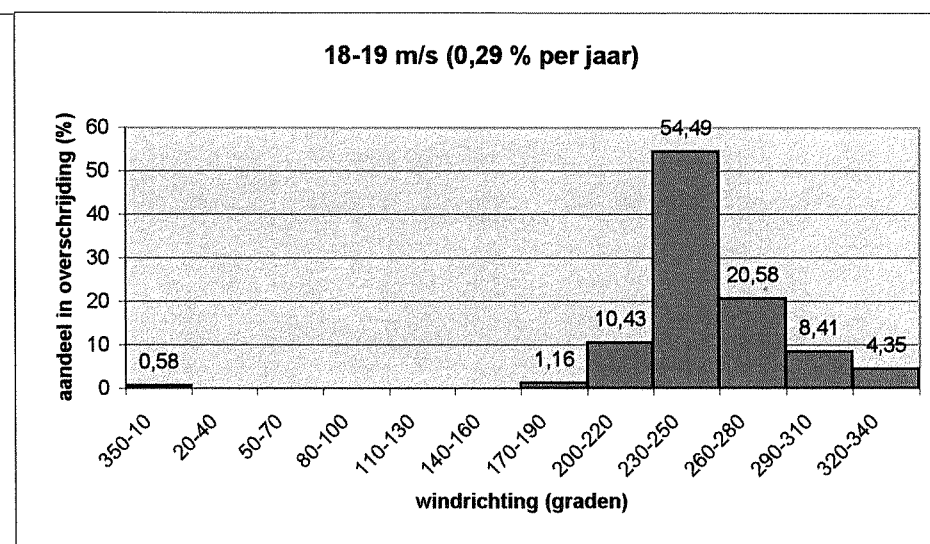
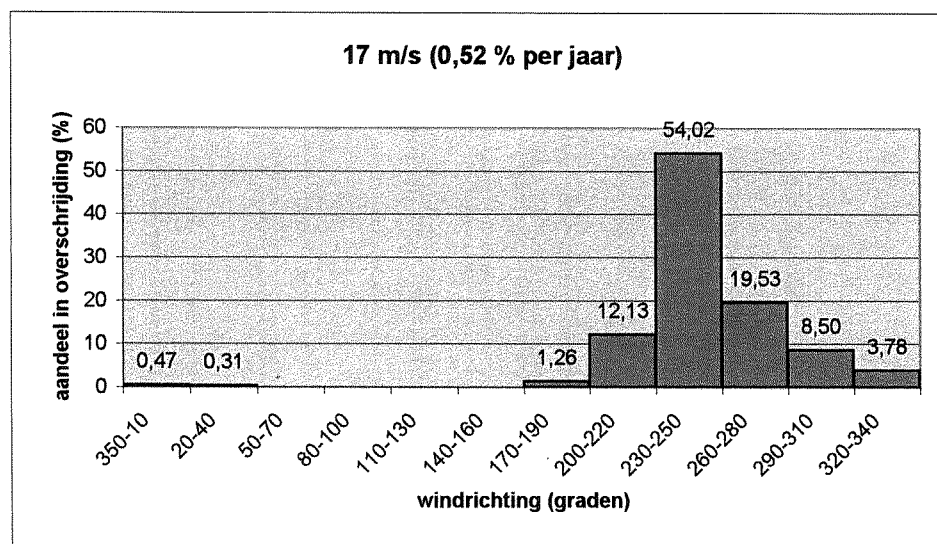


15 m/s (1,72% per jaar)



16 m/s (1,02% per jaar)





BINNENVAART

VRACHTVERVOEREND

① scheepstype niet te bepalen (b.v. bij mist)

① motorvrachtschip

③ containerschip

② motortankchip

④ gas-tankchip

⑤ slepend motorvrachtschip

⑪ sleep-vrachtschip

⑥ slepend motortankchip

⑫ sleep-tankchip

⑦ motorvrachtschip met één of meer vrachtautogaten langslij

⑧ combinatie als ⑦, waarbij tenminste één van de schepen een tankchip is.

⑨ motorvrachtschip één of meer vrachtautogaten dwars

⑩ combinatie als ⑨, waarbij tenminste één van de schepen een tankchip is.

⑪ sleep-vrachtschip

⑫ sleep-tankchip

⑬ gekoppelde sleepvrachtschepen

⑭ combinatie als ⑩, waarbij tenminste één van de schepen een tankchip is.

⑮ vrachtduwbak

⑯ tankduwbak

⑰ vrachtduwbak geladen met containers

⑱ gas-tankduwbak

DUWENHEDEN

Uitsluitend vrachtduwbakken

⑲ duwboot met één vrachtduwbak

⑳ duwboot met twee vrachtduwbakken

㉑ duwboot met drie

㉒ duwboot met vier

㉓ duwboot met vijf

㉔ duwboot met zes

㉕ duwboot met zeven

㉖ duwboot met acht

㉗ duwboot meer dan acht vrachtduwbakken

Per scheepstype worden de tonnages van de bakken bij elkaar opgeteld.

Met minimaal 1 (gas-)tankduwbak

㉘ duwboot met één tankduwbak c.q. gas-tankduwbak

㉙ duwboot met twee duwbakken w.v. tenminste één (gas) tankduwbak

㉚ duwboot met drie

㉛ duwboot met vier

㉜ duwboot met vijf

㉝ duwboot met zes

㉞ duwboot met zeven

㉟ duwboot met acht

㊱ duwboot met meer dan acht bakken w.v. tenminste één (gas) tankduwbak

Per scheepstype worden de tonnages van de bakken bij elkaar opgeteld.

NIET UITSLUITEND VRACHTVERVOEREND

④0 sleepboot losverend

④1 sleepboot behorend bij één of meer sleepschepen. De sleepboot kan ook langzij zijn vastgeankt.

④2 sleepboot meesterend bij schip, gekoppelde schepen (c.q. bakke) of ander drijvend object.

④3 duwboot losverend

④4 passagierschip, veerboot, rondvaartboot, rode kruischip e.d.

④5 dienstvaartuig
Politie, Rijkswaterstaat (politie-, meet-, directievaartuig e.d.), Haven dienst. Ook particulier directievaartuig.

④6 werkvaartuig: bok
zuiger
baggermolen
kabellegger
bergingsvaartuig
betonningvaartuig

④7 gsmiept object, anders dan de code ① t/m ⑱ (b.v. pijpleiding, brugdeel e.d.).

④8 visservaartuig

④9 overige binnenvaartuigen en drijvende objecten, nog niet genoemd, incl. bunkerboten en parolwinkers.

RECREATIEVAART

⑤0 motorjacht, ook snelverend

⑤1 speedboot

⑤2 zeiljacht varend op (hulp) motor

⑤3 zeilend jacht

⑤4 vaartuig voor sportvissers

⑤5 zeil- c.q. motorschepen met een lengte van meer dan 20 m, in gebruik als recreatievaartuig o.a. bruine vloot, charter schepen, omgebouwde beroepsvaartuigen, e.d.

⑤6 overige recreatievaartuigen: roefboot, kano, rubberboot, zeilplank, e.d.

ZEEVAART

VRACHTVERVOEREND

⑤0 vrachtschip voor stukgoed

⑤1 containerschip, ro-ro vrachtschip, last-schip

⑤2 bulkcarrier

⑤3 tanker voor olie en andere vloeibare lading

⑤4 tanker voor samengeperste gassen

⑤5 zeesleepboot, bevoorradingsschip: losverend

⑤6 zeesleepboot, bevoorradingsschip: slepend

⑤7 vissersvaartuig (geen blankvissers, geen mosselvisser)

⑤8 veerboot, ro-ro schip (niet uitsluitend vracht vervoerend)

⑤9 passagierschip

⑥0 zeegeand dienstvaartuig, patrouilleboot, loodsdiens, politie- en meervartuig, andere tenders, e.d.

⑥1 zeegeand werkvaartuig:
bok
zuiger
kabellegger
bergingsvaartuig
betonningvaartuig etc.

⑥2 gsmiept zeegeand object: boor- kraanellaad, dood schip, e.d.

⑥3 marinevaartuig (ook Koninklijke landmacht).

⑥4 overige zeegeande vaartuigen en drijvende objecten: weerschep, opleidingsvaartuig, e.d.



Uitgever: RWS Dlt. Zeeland, februari 1997

KRABBERSGATSLUIS 1999

KRAADERSCHIPS 1999

	Opgaande vaart NOORD / IJsselmeer		Afgaande vaart ZUID/ Markermeer						maand totalen	maand percentages	
	binnenvaart	overige vaart	binnenvaart	overige vaart	recreatievaart NOORD en ZUID						
DVK-code	01 t/m 39	40 t/m 69	01 t/m 39	40 t/m 69	82+83	80	85	81/84-89			
MAAND	aantal x 1000 ton	aantal x 1000 ton	aantal x 1000 ton	aantal x 1000 ton	zeilj	motorj	charter	rest			
jan	146	154,5	51	165	62	18	24	2	106	0,14	
feb	124	127,5	57	139	47	24	21	2	94	0,13	
mrt	144	167,5	221	175	477	109	148	18	752	1,01	
apr	139	147,6	136	170	2285	318	360	43	3006	4,05	
mei	159	173,8	138	203	9070	962	1016	111	11159	15,03	
jun	202	219,8	175	243	6962	732	1018	167	8879	11,96	
jul	152	167,7	235	227	12980	1615	1030	211	15836	21,33	
aug	120	116,2	211	164	14670	1860	1159	209	17898	24,11	
sep	192	197,3	231	238	7814	731	905	83	9533	12,84	
okt	252	251,3	260	258	5048	284	611	7	5950	8,01	
nov	270	262,6	192	287	536	76	212	11	835	1,12	
dec	331	327,8	128	371	113	22	58	0	193	0,26	
									74241	100	
totaal N	2231	2313,7	2035	2640	2662,3	2190	0,0	60064	6751	6562	864
totaal Z	2640	2662,3	2190								
JAAR 1999	4871	4976,0	4225			80,90	9,09	8,84	1,16	% van totaal: 74241	
										100,0	

binnenvaart is ladingvoerend (01 t/m 39 en 50 t/m 54); overige vaart is niet-ladingvoerend (40 t/m 49 en 60 t/m 69)

waarvan:

visserij 2062 containervaat (TEU)

chartervaart 6562

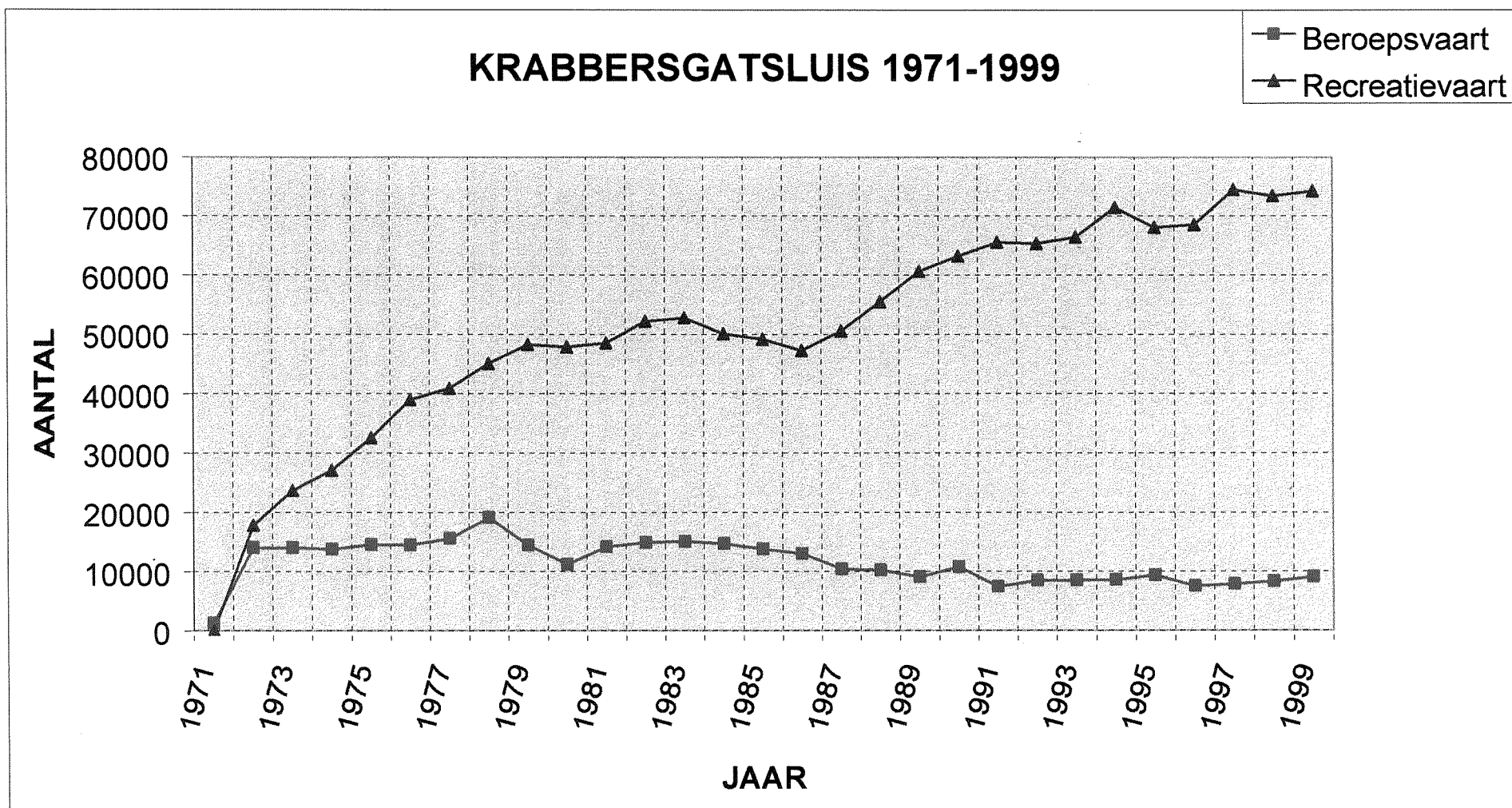
maand													tonnage	
	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jaar x 1000 ton	gem/schip ton
binnenvaart	311	263	319	309	362	445	379	284	430	510	557	702	4871	4976
overige vaart	110	120	451	254	266	403	456	432	484	537	438	274	4225	0
beroepsvaart	421	383	770	563	628	848	835	716	914	1047	995	976	9096	1022
recreatievaart	106	94	752	3006	11159	8879	15836	17898	9533	5950	835	193	74241	0
recreatieseizoen					11159	20038	35874	53772	63305				63305	
jaartotaal	527	477	1522	3569	11787	9727	16671	18614	10447	6997	1830	1169	83337	4976
gem/dag	17	17	49	119	380	324	538	600	348	226	61	38	228	

Informatiebron: Scheepvaarttellingen IJsselmeergebied

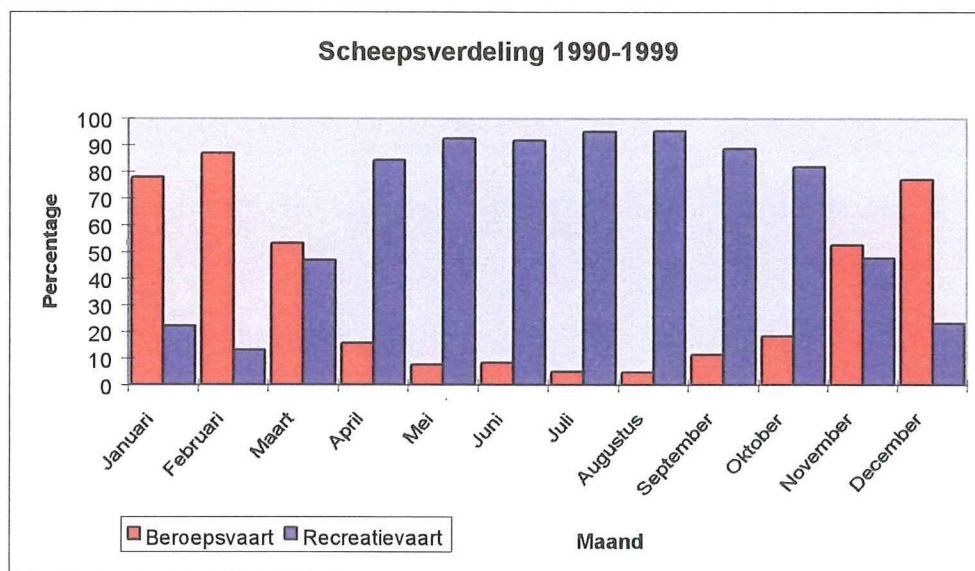
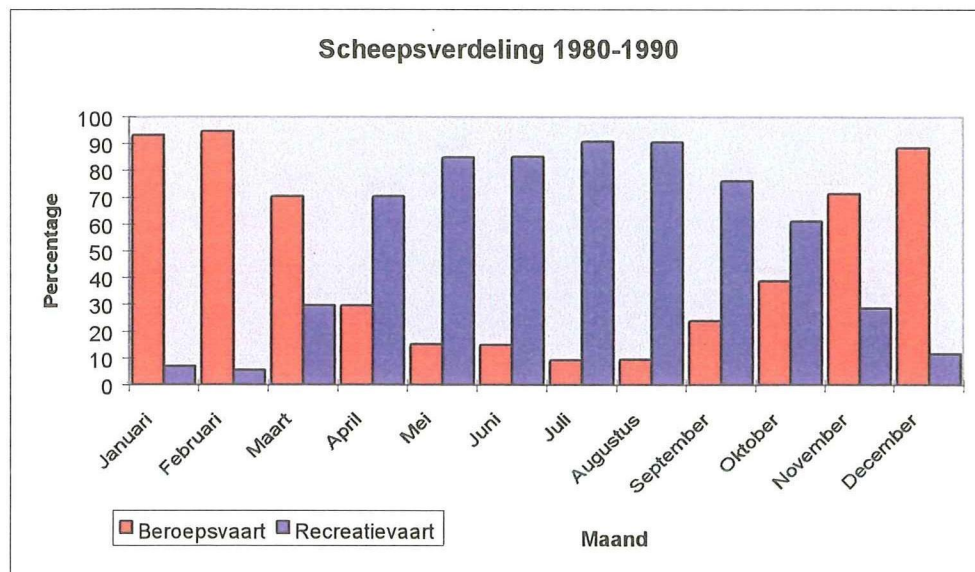
Invoering landelijke dataformulieren en SITOS op 1 januari 1987

Wijziging in categorie-indeling

Invoering IVS90 op 17 jan 1994



Bijlage 23



Scheepvaartverdeling 1990-1999

Binnenvaart

GEMIDDELDDES 1990-1999

	aantallen	percentages
jaar	8597,4	100,00
jan	342	3,89
feb	328,9	3,71
mrt	706,4	8,15
apr	670,9	7,78
mei	781,8	9,09
jun	799,4	9,24
jul	823,4	9,60
aug	814,2	9,50
sep	987,3	11,55
okt	1031,1	12,11
nov	800,3	9,39
dec	511,7	5,98

Recreatievaart

GEMIDDELDDES 1990-1999

	aantallen	percentages
jaar	69076,3	100,00
jan	108,5	0,16
feb	59,2	0,09
mrt	668,2	0,96
apr	3683,7	5,33
mei	9858,8	14,23
jun	8852,3	12,84
jul	15775,3	22,85
aug	16739,6	24,27
sep	7734,9	11,21
okt	4702,9	6,80
nov	737,8	1,06
dec	155,1	0,22

BINNENVAART

overschrijding van U₁₀ : 18-19 m/s

beaufort 8 (midden)

kans op overschrijding van 18-19 m/s 0,3 % per jaar
 kans op 240 gr. N. 12,39 % per jaar

kans op 18-19 m/s & 240 gr. N. 0,16 % per jaar

WIND

overschrijdingskans (%)

januari	0,58
februari	0,31
maart	0,39
april	0,04
mei	0,00
juni	0,00
juli	0,00
augustus	
september	0,02
oktober	0,10
november	0,12
december	0,32

SCHEPEN

gemiddeldes 1990-1999

	aantallen
jan	342
feb	328,9
mrt	706,4
apr	670,9
mei	781,8
jun	799,4
jul	823,4
aug	814,2
sep	987,3
okt	1031,1
nov	800,3
dec	511,7

aantal schepen dat downtime ondervindt

(in een jaar op basis van wind- en scheepsverdeling per maand)

jan	2,0
feb	1,0
mrt	2,8
apr	0,3
mei	0,0
jun	0,0
jul	0,0
aug	0,0
sep	0,2
okt	1,0
nov	1,0
dec	1,6
	9,9

BINNENVAART

overschrijding van U₁₀ : 17 m/s

beaufort 7 (bovenkant)

kans op overschrijding van 17 m/s 0,55 % per jaar
 kans op 270 gr. N. 10,18 % per jaar

kans op 17 m/s & 270 gr. N. 0,10 % per jaar

WIND

overschrijdingskans (%)

januari	0,32
februari	0,28
maart	0,11
april	0,00
mei	
juni	
juli	
augustus	
september	0,01
oktober	0,08
november	0,16
december	0,28

SCHEPEN

gemiddeldes 1990-1999

	aantallen
jan	342
feb	328,9
mrt	706,4
apr	670,9
mei	781,8
jun	799,4
jul	823,4
aug	814,2
sep	987,3
okt	1031,1
nov	800,3
dec	511,7

aantal schepen dat downtime ondervindt

(in een jaar op basis van wind- en scheepsverdeling per maand)

jan	1,1
feb	0,9
mrt	0,8
apr	0,0
mei	0,0
jun	0,0
jul	0,0
aug	0,0
sep	0,1
okt	0,8
nov	1,3
dec	1,4
	6,4

RECREATIEVAART

overschrijding van U₁₀ : 13 m/s

beaufort 6 (bovenkant)

kans op overschrijding van 13 m/s 4,78 % per jaar
 kans op 180 gr. N. 9,45 % per jaar

kans op 13 m/s & 180 gr. N. 0,2 % per jaar

WIND

overschrijdingskans (%)

januari	0,44
februari	0,37
maart	0,22
april	0,29
mei	0,05
juni	0,01
juli	0,01
augustus	0,03
september	0,12
oktober	0,23
november	0,2
december	0,49

SCHEPEN

gemiddeldes 1990-1999

	aantallen
jan	108,5
feb	59,2
mrt	668,2
apr	3683,7
mei	9858,8
jun	8852,3
jul	15775,3
aug	16739,6
sep	7734,9
okt	4702,9
nov	737,8
dec	155,1

aantal schepen dat downtime ondervindt

(in een jaar op basis van wind- en scheepsverdeling per maand)

jan	0,5
feb	0,2
mrt	1,5
apr	10,7
mei	4,9
jun	0,9
jul	1,6
aug	5,0
sep	9,3
okt	10,8
nov	1,5
dec	0,8
	47,6

Bijlage 26.1

RECREATIEVAART

overschrijding van U₁₀ : 10-11 m/s

beaufort 5 (bovenkant)

kans op overschrijding van 10-11 m/s 11,06 % per jaar
 kans op 210 gr. N. 13,17 % per jaar

kans op 10-11 m/s & 210 gr. N. 1,83 % per jaar

WIND

overschrijdingskans (%)	
januari	3,69
februari	2,47
maart	2,27
april	1,02
mei	0,44
juni	0,36
juli	0,19
augustus	0,59
september	1,42
oktober	2,41
november	3,47
december	3,84

SCHEPEN

gemiddeldes 1990-1999

	aantallen
jan	108,5
feb	59,2
mrt	668,2
apr	3683,7
mei	9858,8
jun	8852,3
jul	15775,3
aug	16739,6
sep	7734,9
okt	4702,9
nov	737,8
dec	155,1

aantal schepen dat downtime ondervindt

(in een jaar op basis van wind- en scheepsverdeling per maand)

jan	4,0
feb	1,5
mrt	15,2
apr	37,6
mei	43,4
jun	31,9
jul	30,0
aug	98,8
sep	109,8
okt	113,3
nov	25,6
dec	6,0
	516,9

RECREATIEVAART

overschrijding van U₁₀ : 9-10 m/s

beaufort 5 (midden)

kans op overschrijding van 9-10 m/s 16,83 % per jaar
 kans op 240 gr. N. 12,39 % per jaar

kans op 9-10 m/s & 240 gr. N. 4,64 % per jaar

WIND

overschrijdingskans (%)	
januari	7,32
februari	5,75
maart	7,49
april	3,7
mei	3,77
juni	3,26
juli	3,26
augustus	2,75
september	3,79
oktober	3,6
november	4,5
december	6,55

SCHEPEN

gemiddeldes 1990-1999

	aantallen
jan	108,5
feb	59,2
mrt	668,2
apr	3683,7
mei	9858,8
jun	8852,3
jul	15775,3
aug	16739,6
sep	7734,9
okt	4702,9
nov	737,8
dec	155,1

aantal schepen dat downtime ondervindt

(in een jaar op basis van wind- en scheepsverdeling per maand)

jan	7,9
feb	3,4
mrt	50,0
apr	136,3
mei	371,7
jun	288,6
jul	514,3
aug	460,3
sep	293,2
okt	169,3
nov	33,2
dec	10,2
	2338,4

RECREATIEVAART

overschrijding van U₁₀ : 10-11 m/s

kans op overschrijding van 10-11 m/s 11,06 % per jaar
 kans op 270 gr. N. 10,18 % per jaar

kans op 10-11 m/s & 270 gr. N. 1,85 % per jaar

WIND

overschrijdingskans (%)

januari	3,57
februari	2,37
maart	2,88
april	0,87
mei	0,47
juni	0,51
juli	0,74
augustus	0,71
september	1,59
oktober	2,31
november	2,97
december	3,21

SCHEPEN

gemiddeldes 1990-1999

	aantallen
jan	108,5
feb	59,2
mrt	668,2
apr	3683,7
mei	9858,8
jun	8852,3
jul	15775,3
aug	16739,6
sep	7734,9
okt	4702,9
nov	737,8
dec	155,1

aantal schepen dat downtime ondervindt

(in een jaar op basis van wind- en scheepsverdeling per maand)

jan	3,9
feb	1,4
mrt	19,2
apr	32,0
mei	46,3
jun	45,1
jul	116,7
aug	118,9
sep	123,0
okt	108,6
nov	21,9
dec	5,0
	642,2

Downtime voor de binnenvaart- en recreatieschepen

Kritieke snelheden per windrichting voor binnenvaartschepen:

180 gr. N.	ca 30-40 m/s
210 gr. N.	ca 25 m/s
240 gr. N.	18, 53 m/s
270 gr. N.	17,08 m/s

Gemiddeld totaal aantal binnenvaartschepen per jaar (1990-1999): 8597,4

AANTAL SCHEPEN		alle richtingen	
op basis van:	maandverdelingen	aantal schepen per maand	
180 gr. N.	-	jan	3,1
210 gr. N.	-	feb	1,9
240 gr. N.	9,9	mrt	3,5
270 gr. N.	6,4	apr	0,3
totaal	16,3	mei	0,0
		jun	0,0
		jul	0,0
		aug	0,0
		sep	0,3
		okt	1,9
		nov	2,2
		dec	3,1
		totaal	16,3

Kritieke snelheden per windrichting voor recreatieschepen:

180 gr. N.	13 m/s
210 gr. N.	10-11 m/s
240 gr. N.	9-10 m/s
270 gr. N.	10-11 m/s

Gemiddeld totaal aantal recreatieschepen per jaar (1990-1999): 69076,3

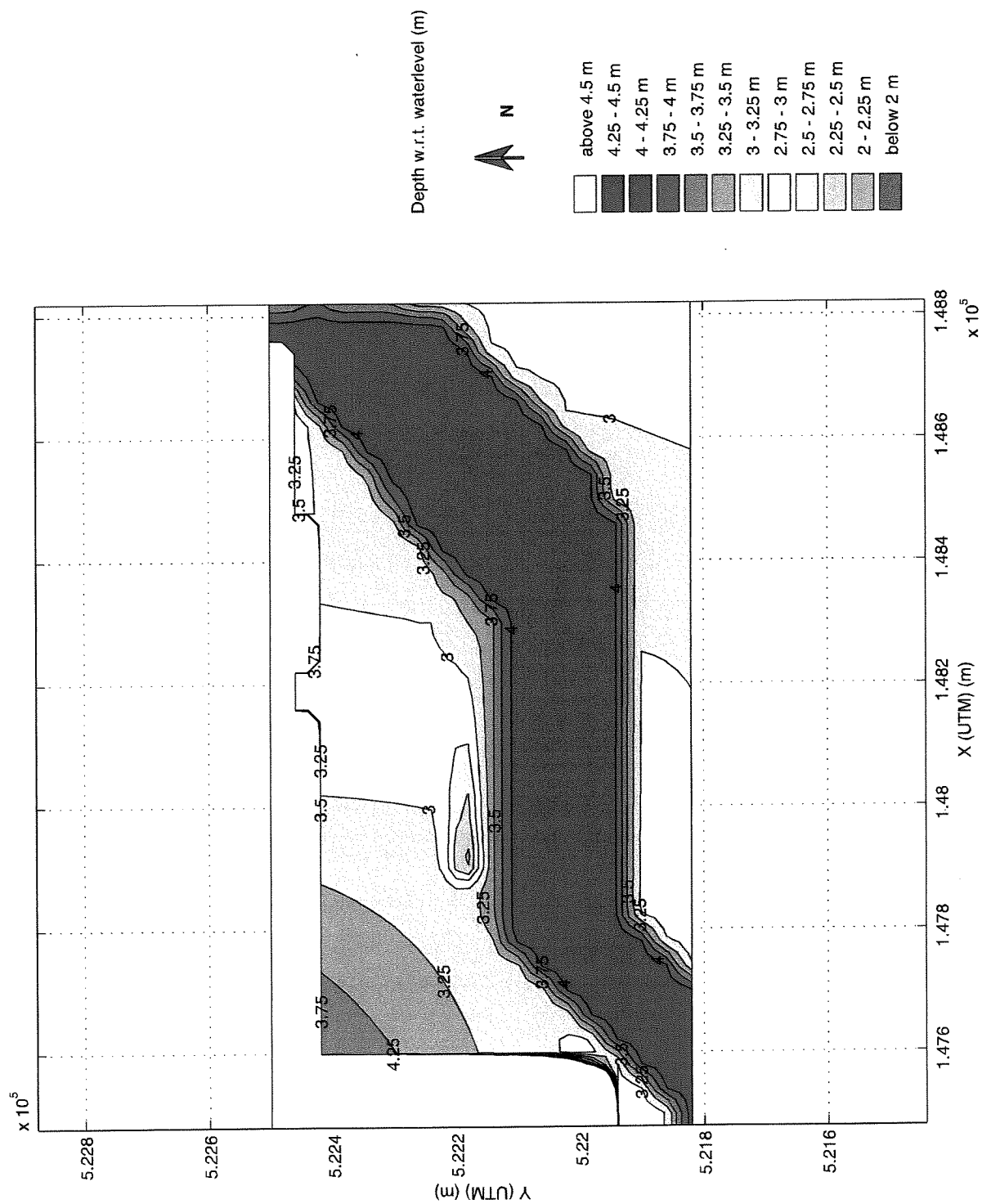
AANTAL SCHEPEN		alle richtingen	
op basis van:	maandverdelingen	aantal schepen per maand	
180 gr. N.	47,6	jan	16,3
210 gr. N.	516,9	feb	6,5
240 gr. N.	2338,4	mrt	85,9
270 gr. N.	642,2	apr	216,6
totaal	3545,1	mei	466,3
		jun	366,5
		jul	662,6
		aug	683,0
		sep	535,3
		okt	402,1
		nov	82,2
		dec	21,9
		totaal	3545,1

Bijlage 28

In de onderstaande tabel is voor de verschillende golfbrekervarianten aangegeven welke figuurnummers horen bij de situatie rondom de nieuwe kritieke windsnelheden en bijbehorende windrichtingen.

Tabel 28.1 SWAN-condities en bijbehorende figuurnummers

Windrichting	180°N		210°N		240°N		270°N	
	U_{kritiek}	Fig.nr.	U_{kritiek}	Fig.nr.	U_{kritiek}	Fig.nr.	U_{kritiek}	Fig.nr.
Golfbreker A	15 m/s	1.1	12 m/s	1.3	10 m/s	1.5	11 m/s	1.7
	16 m/s	1.2	13 m/s	1.4	11 m/s	1.6	12 m/s	1.8
Golfbreker B	14 m/s	2.1	11 m/s	2.3	10 m/s	2.5	11 m/s	2.7
	15 m/s	2.2	12 m/s	2.4	11 m/s	2.6	12 m/s	2.8
Golfbreker C	14 m/s	3.1	11 m/s	3.3	10 m/s	3.5	11 m/s	3.7
	15 m/s	3.2	12 m/s	3.4	11 m/s	3.6	12 m/s	3.8
Golfbreker D	13 m/s	4.1	10 m/s	4.3	9 m/s	4.5	10 m/s	4.7
	14 m/s	4.2	11 m/s	4.4	10 m/s	4.6	11 m/s	4.8



Isolines of depth contours (m)
Waterlevel: NAP + 0,35 m

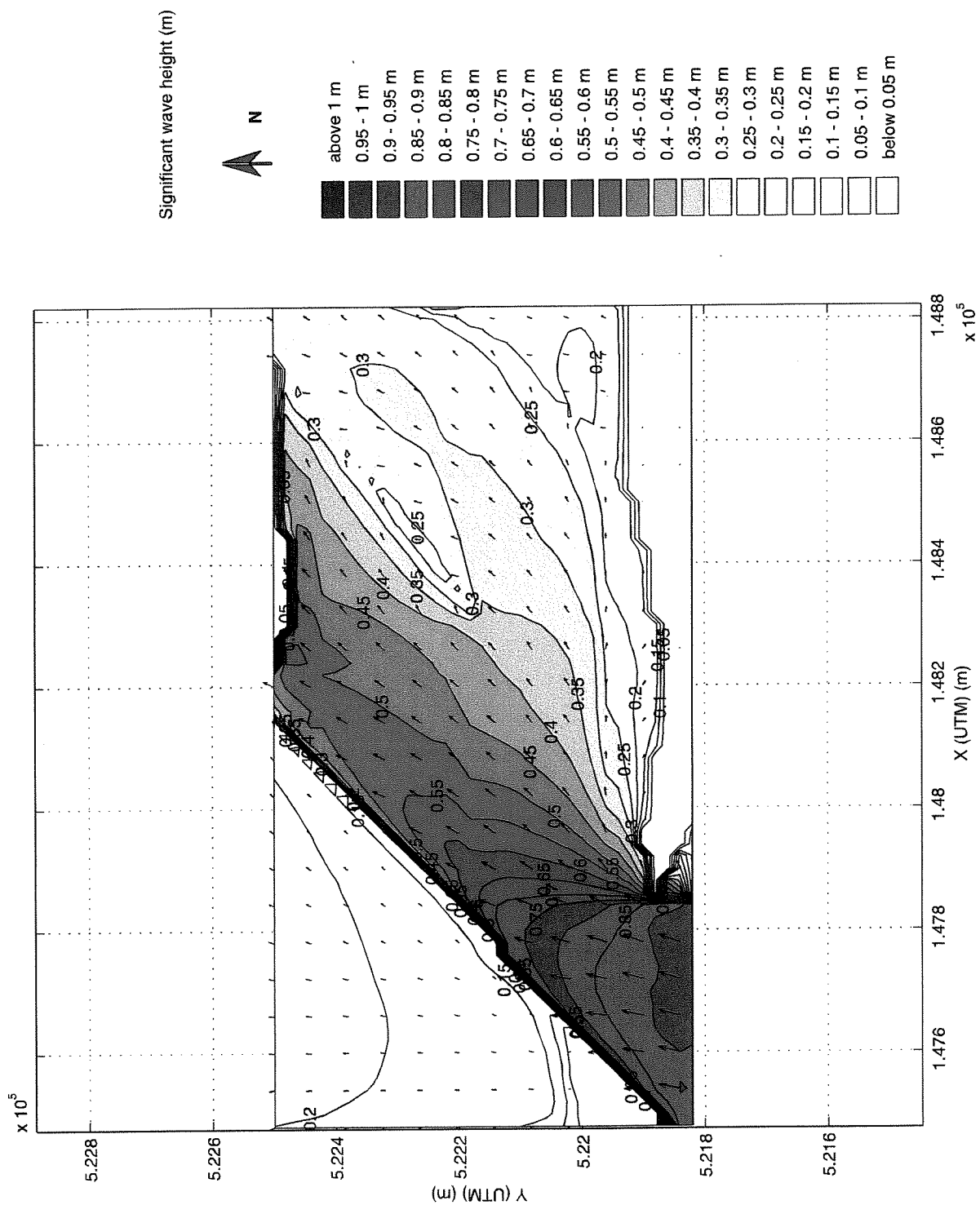
SWAN40.10

A53

Naviduct Enkhuizen

Alkyon

Fig. 1.0



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 180 deg. N

Windspeed: 15 m/s

Naviduct Enkhuizen

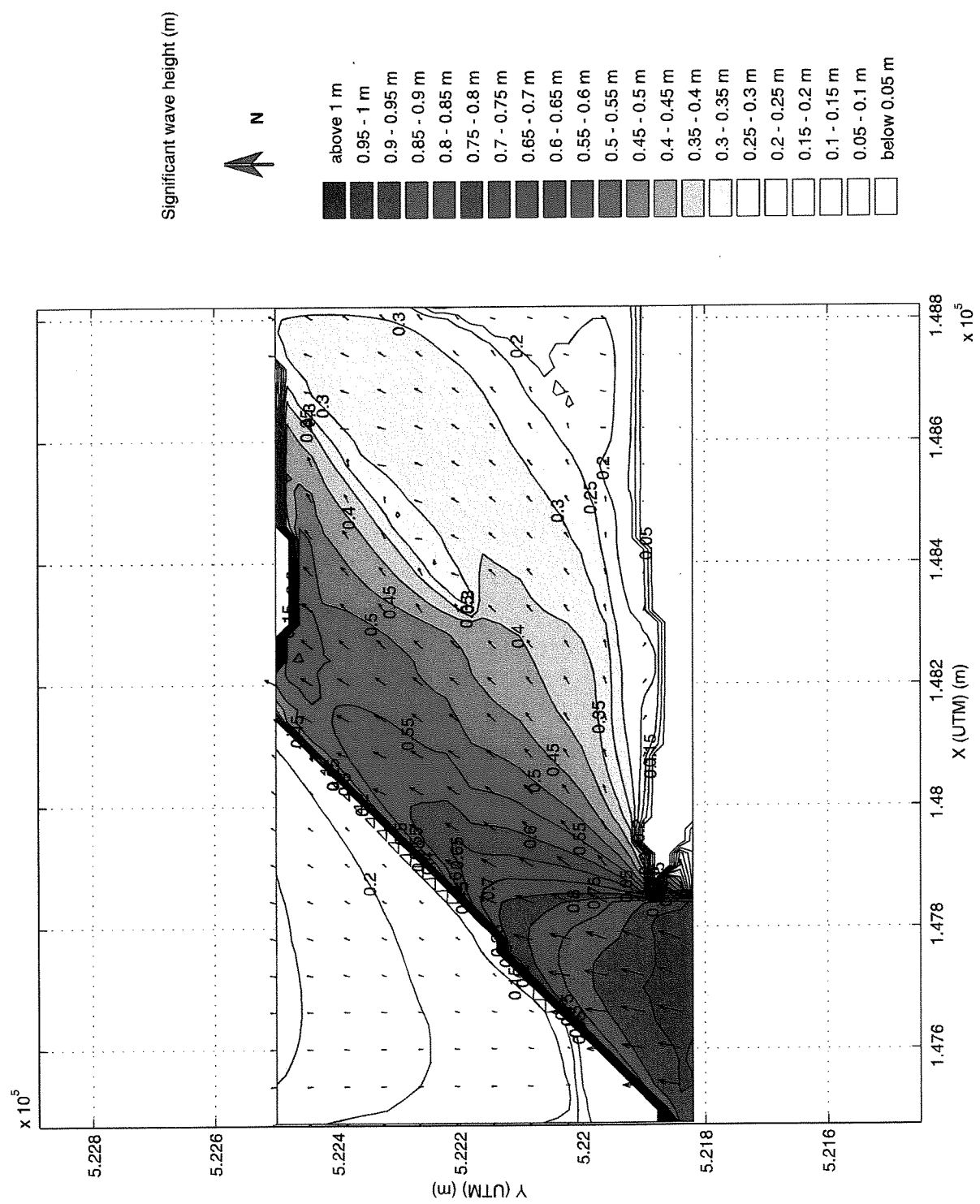
reflection SWAN40.10

breakwater A


Ga3

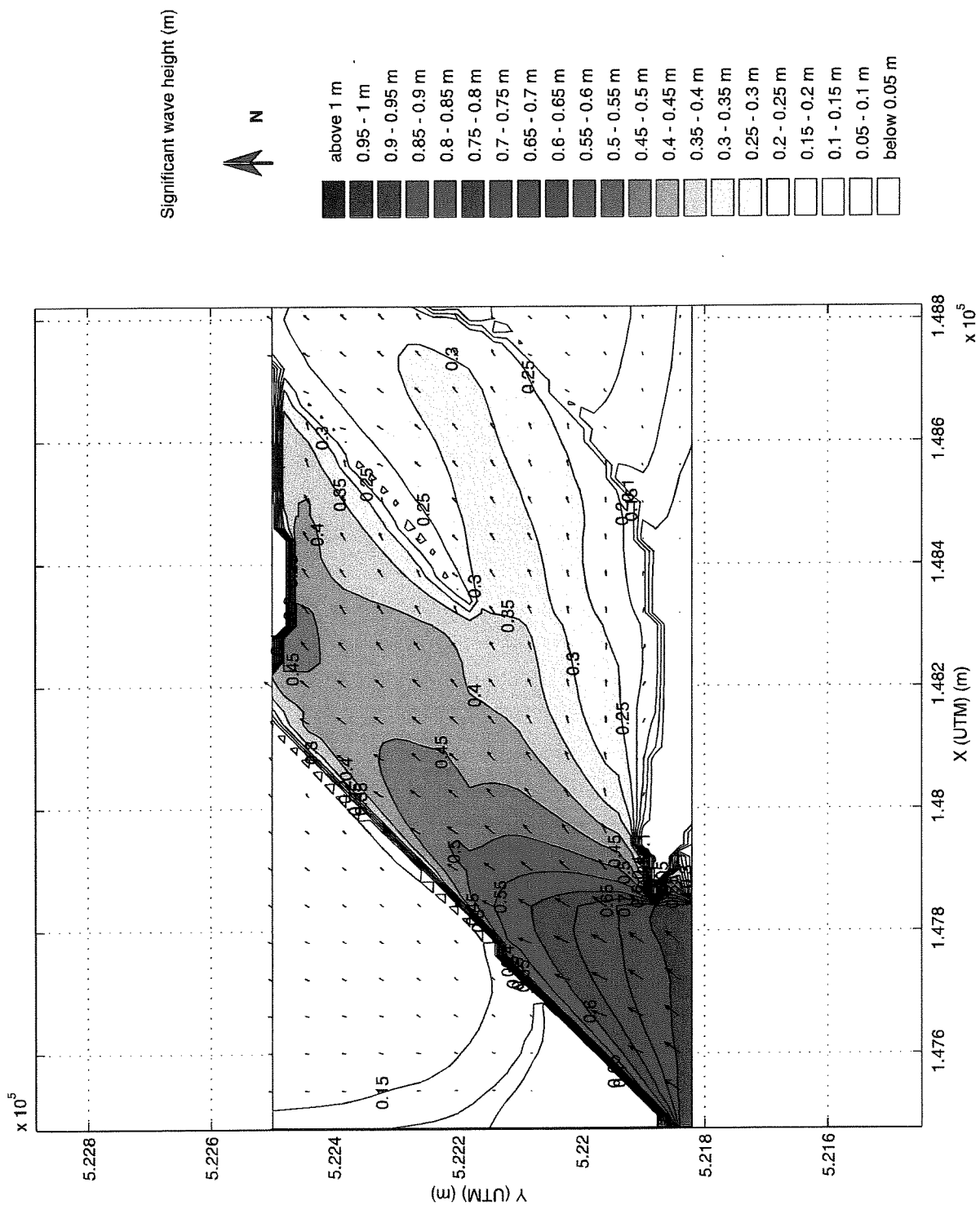
Alkyon

Fig. 1.1



Isolines of significant wave height (m)
 Wind direction: 180 deg. N
 Windspeed: 16 m/s

reflection	SWAN40.10
breakwater A	
Ga4	
 Alkyon	Fig. 1.2



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 210 deg. N

Windspeed: 12 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

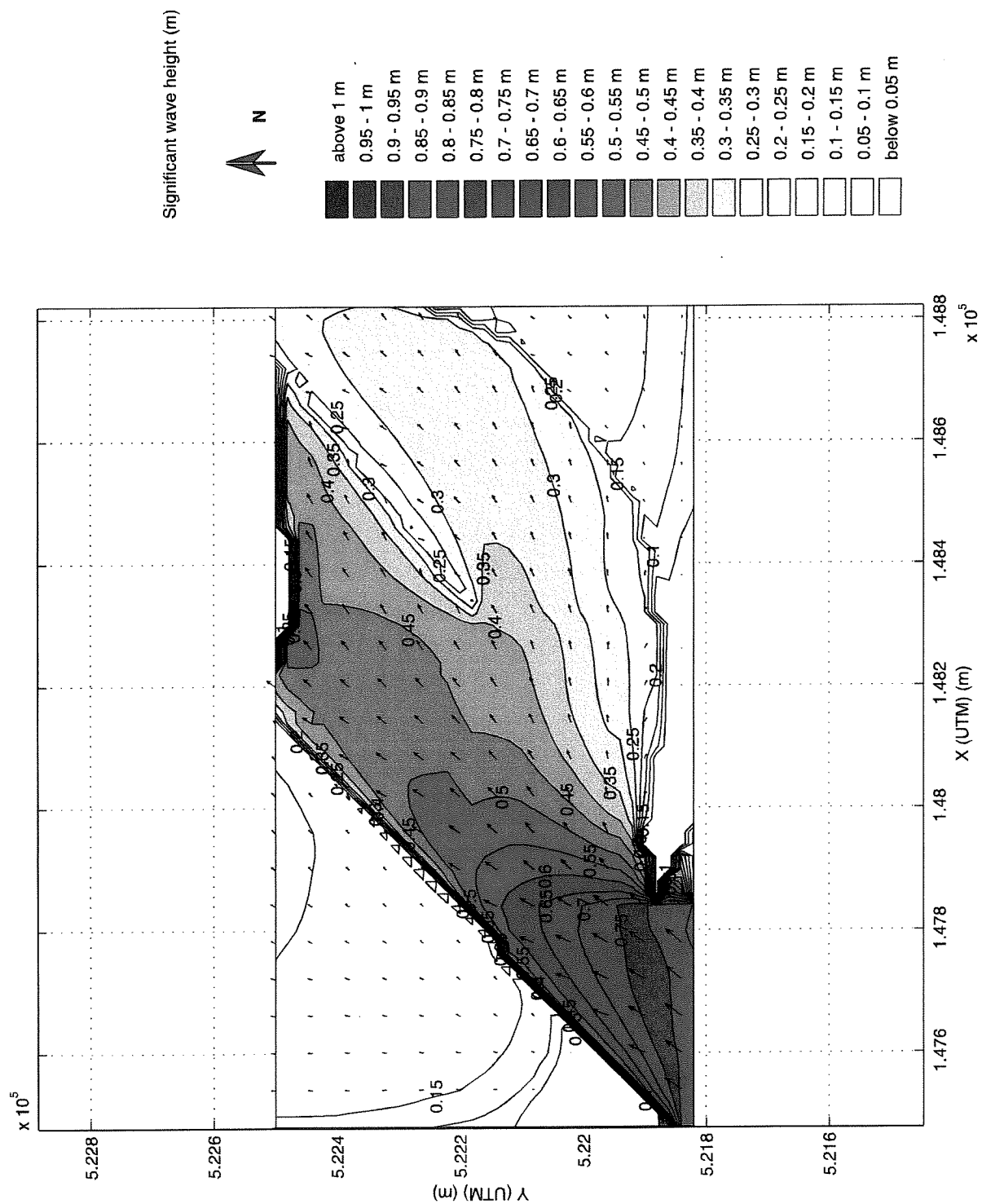
SWAN40.10

breakwater A

Ga6

Alkyon

Fig. 1.3



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 210 deg. N

Windspeed: 13 m/s

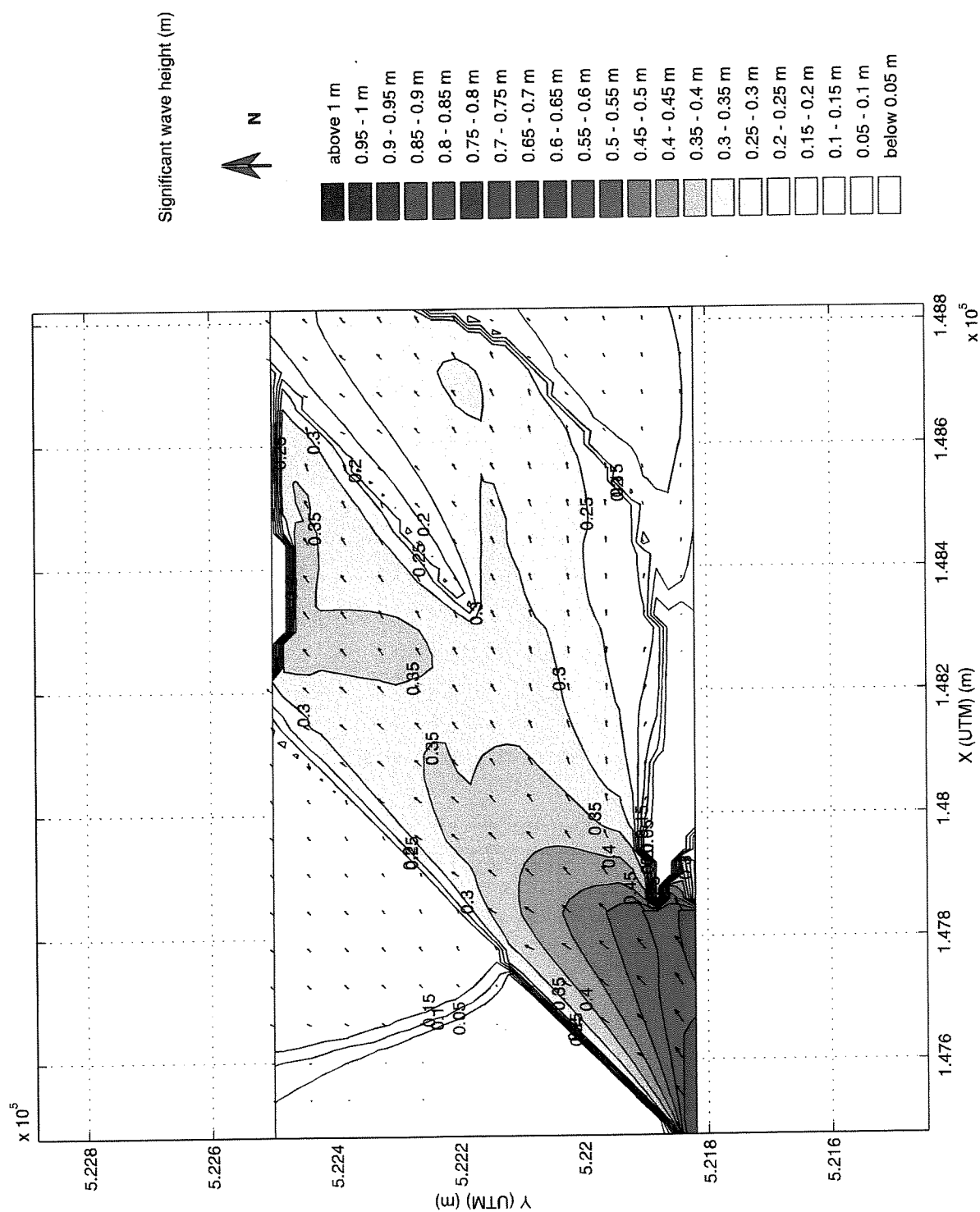
Naviduct Enkhuizen

reflection SWAN40.10

breakwater A

Ga23

Alkyon Fig. 1.4



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 240 deg. N

Windspeed: 10 m/s

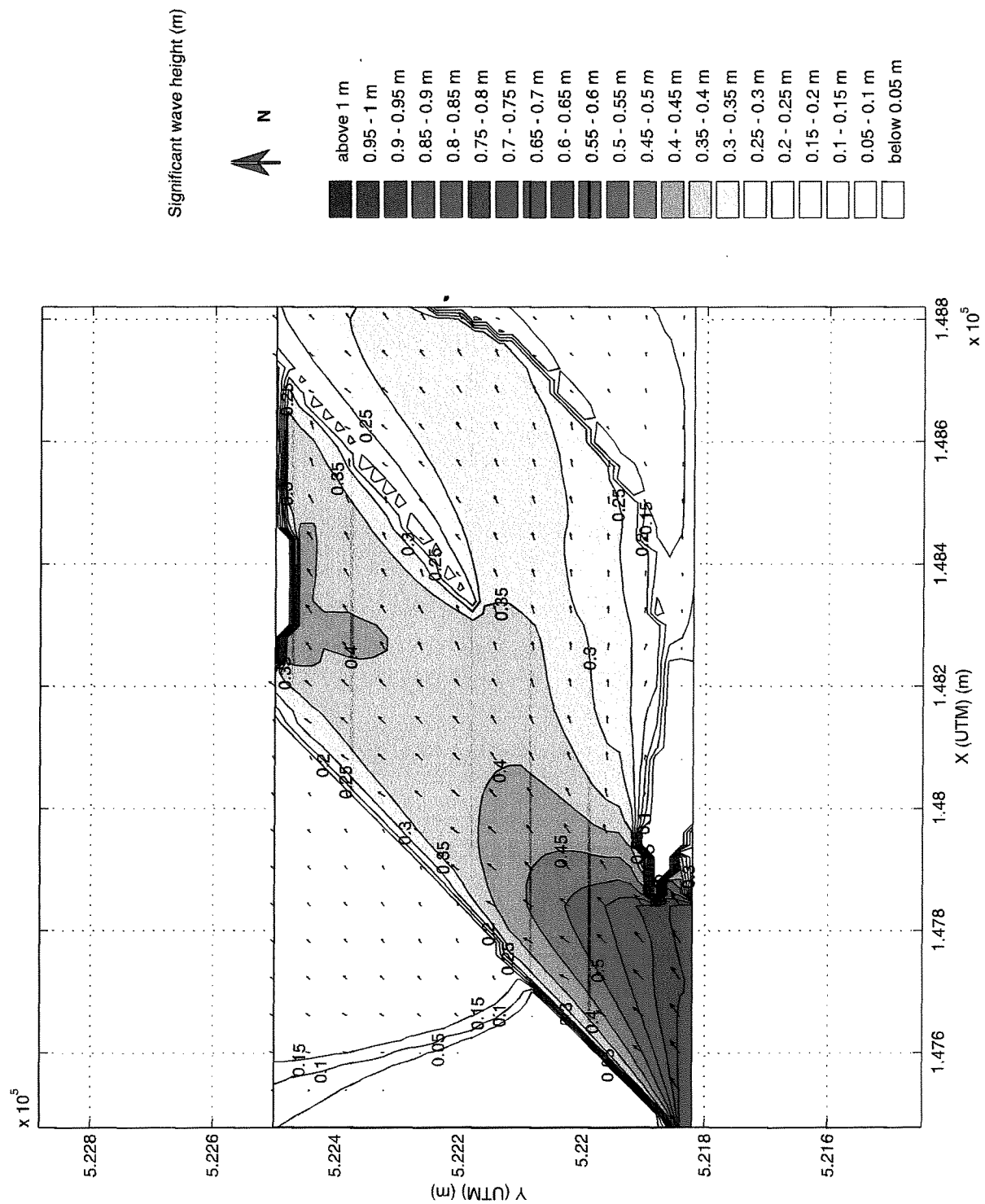
Naviduct Enkhuizen

reflection SWAN40.10

breakwater A

Ga18

Alkyon Fig. 1.5



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 240 deg. N

Wind speed: 11 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

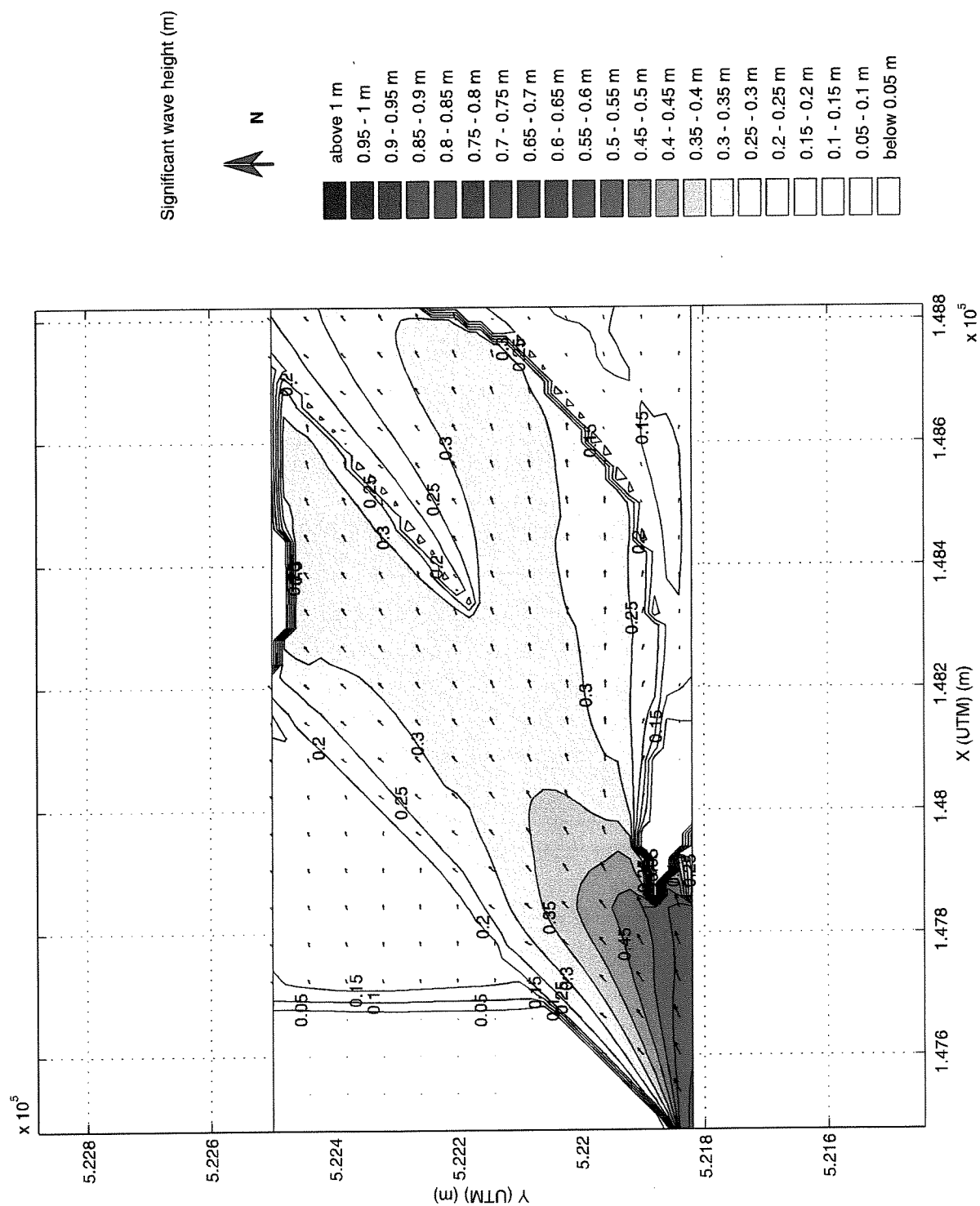
breakwater A

Ga9

Alkyon

SWAN40.10

Fig. 1.6



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 270 deg. N

Wind speed: 11 m/s

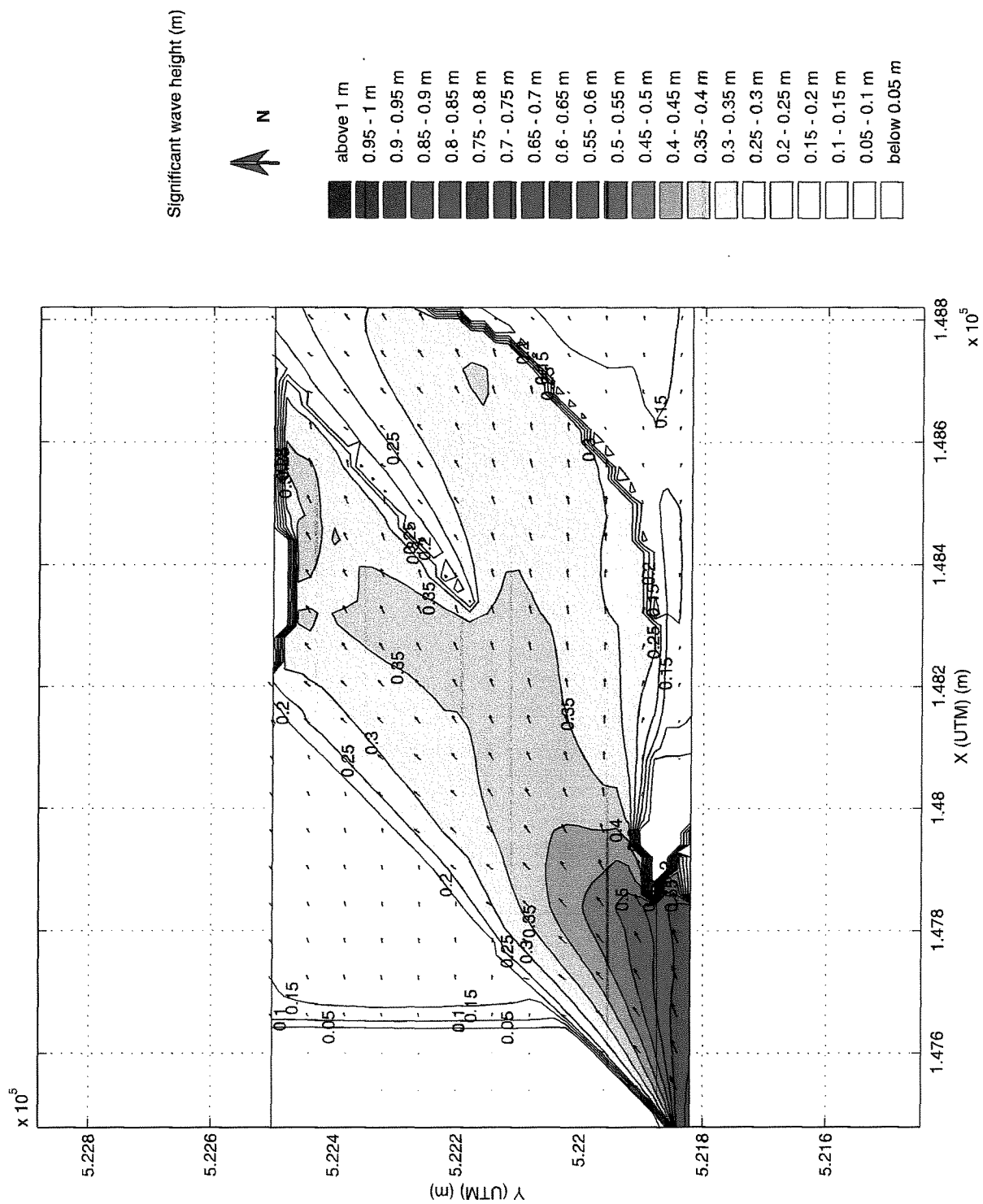
Naviduct Enkhuizen

reflection SWAN40.10

breakwater A

Ga19

Alkyon Fig. 1.7



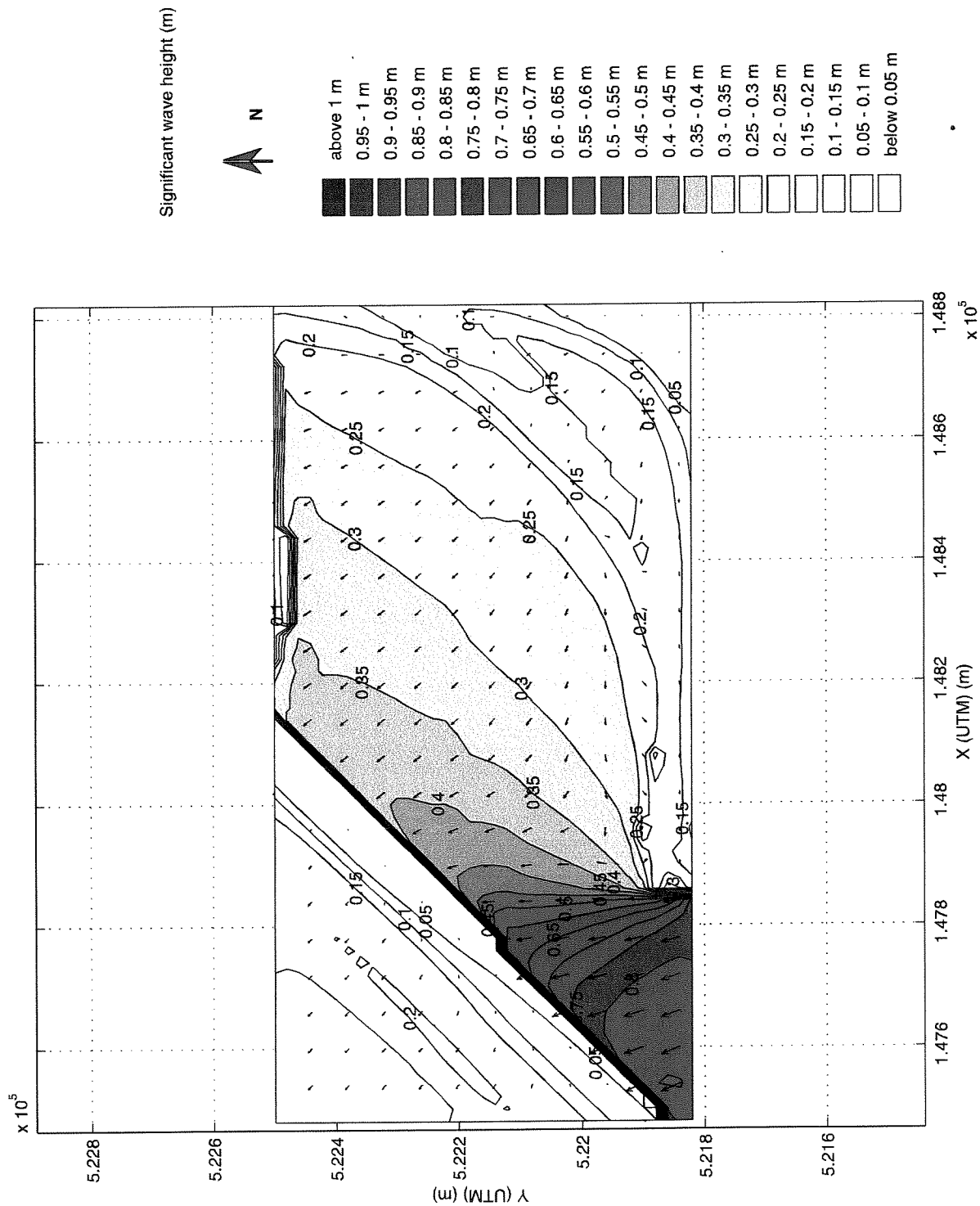
Isolines of significant wave height (m)
 Winddirection: 270 deg. N
 Windspeed: 12 m/s

reflection	SWAN40.10
breakwater A	
Ga15	

Naviduct Enkhuizen

 Alkyon

Fig. 1.8



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 160 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

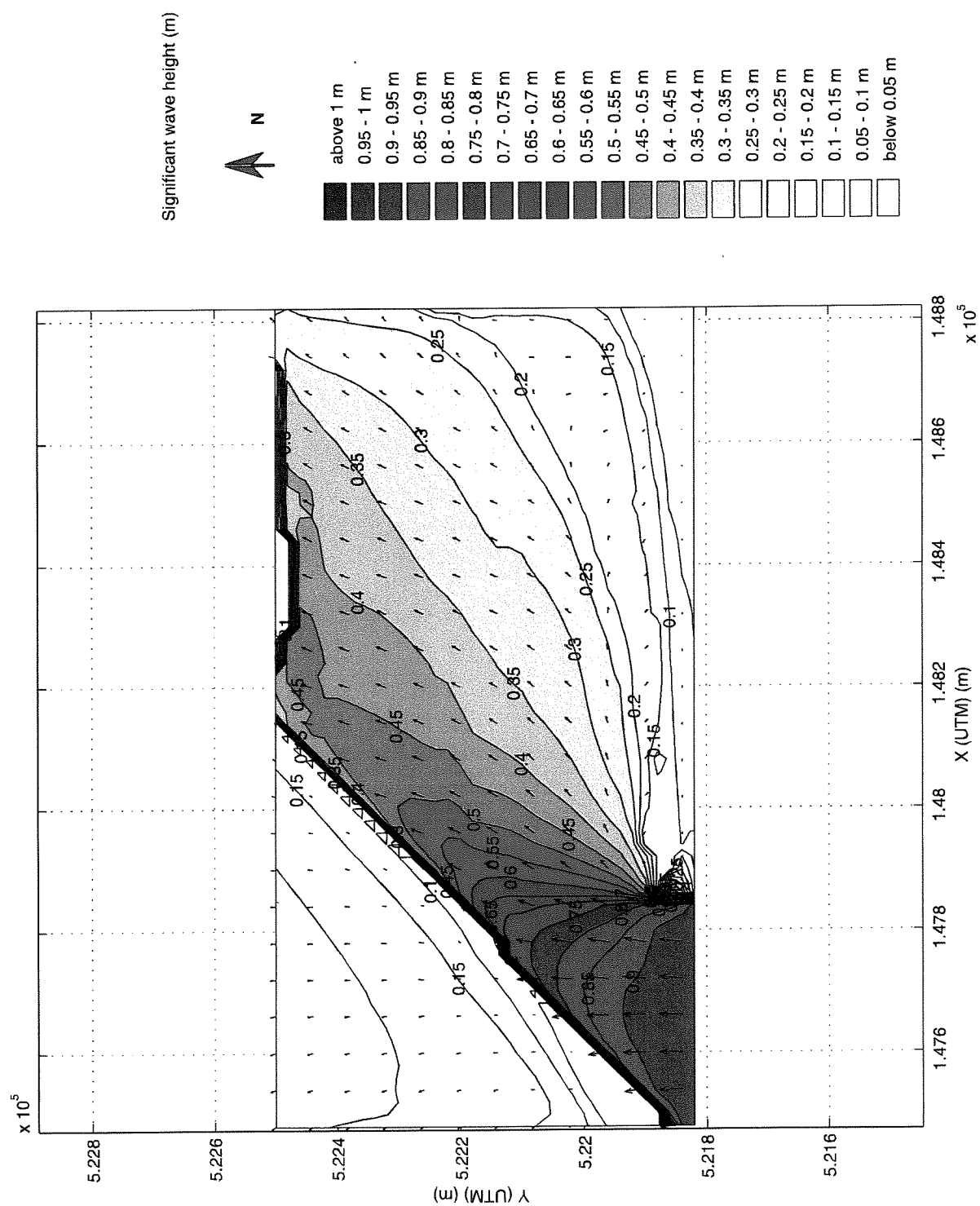
reflection

SWAN40.10

R56

 Alkyon

Fig. 1.11



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 180 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

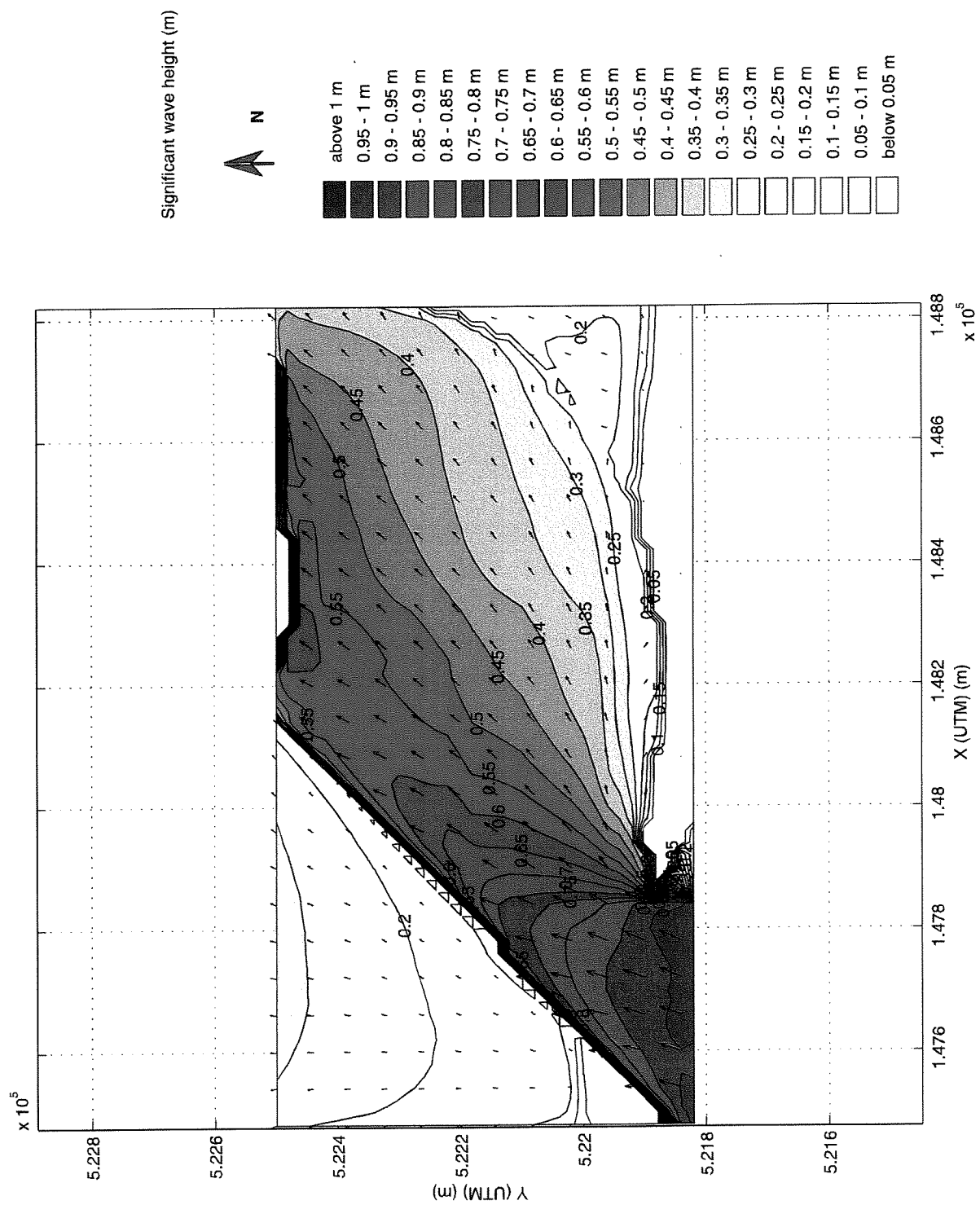
reflection

SWAN40.10

R66

Alkyon

Fig. 1.21



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 200 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

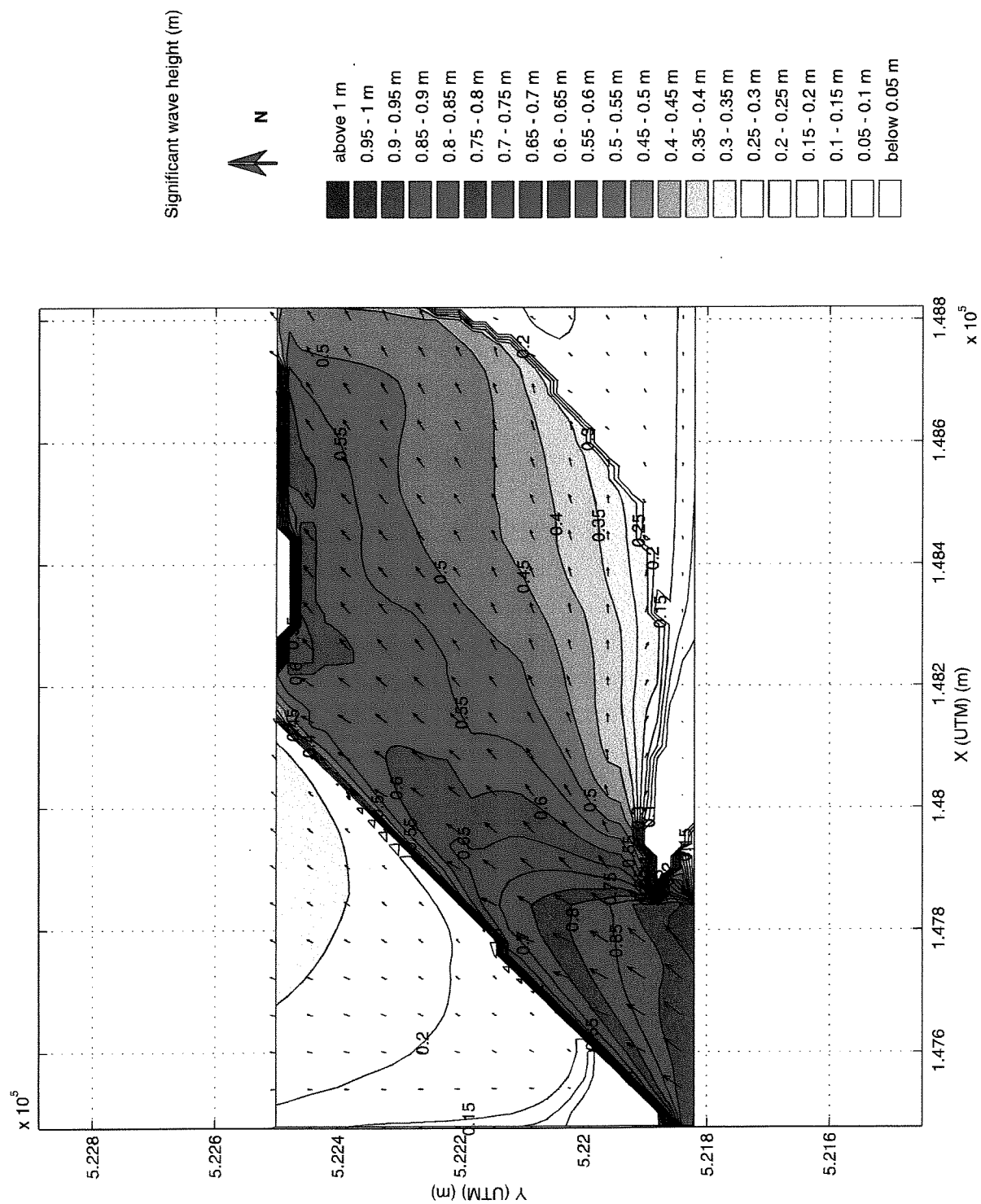
reflection

SWAN40.10

R76

 Alkyon

Fig. 1.31



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 220 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

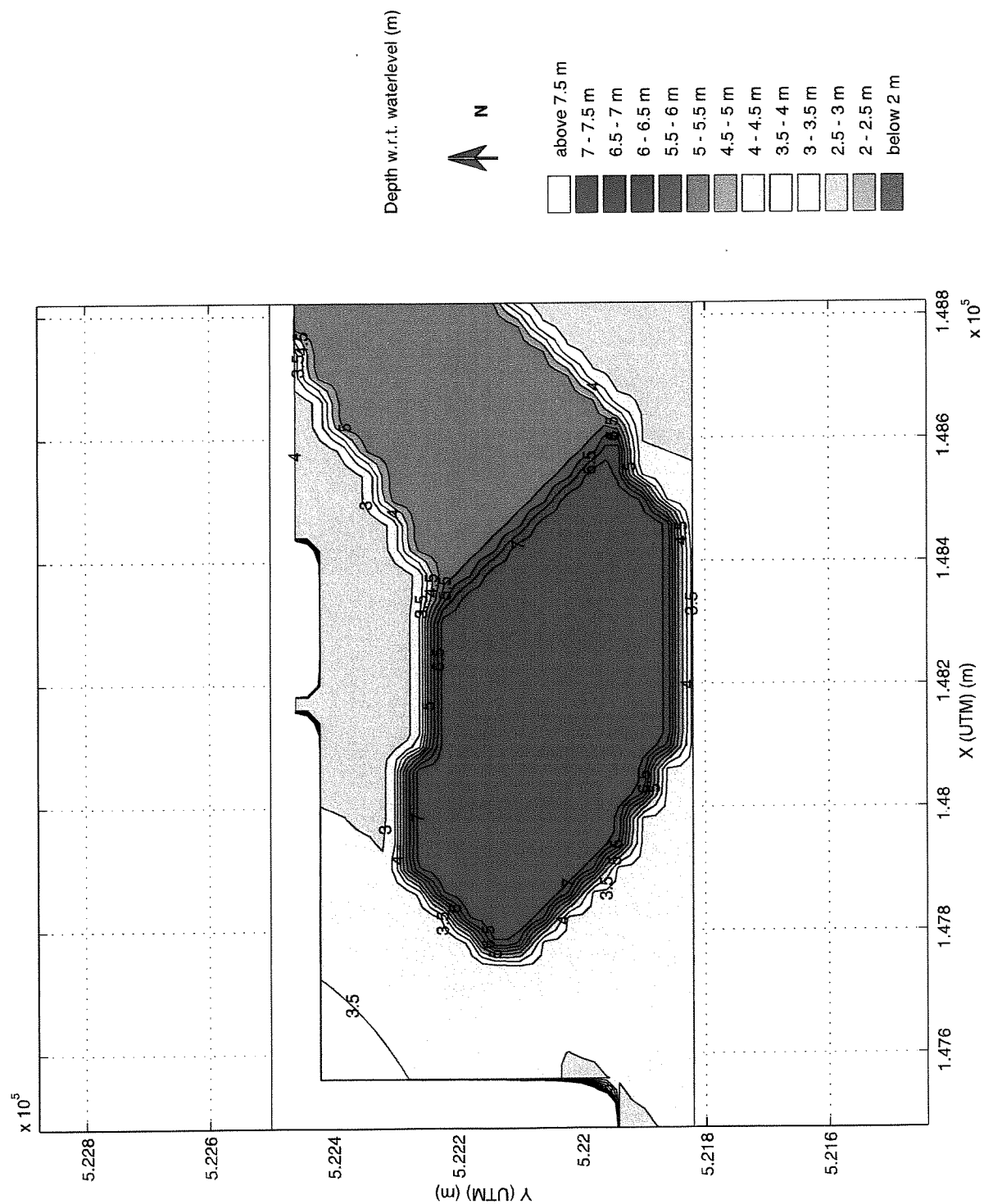
reflection

SWAN40.10

R86

 Alkyon

Fig. 1.41



Isolines of depth contours (m)
Waterlevel: NAP + 0,35 m

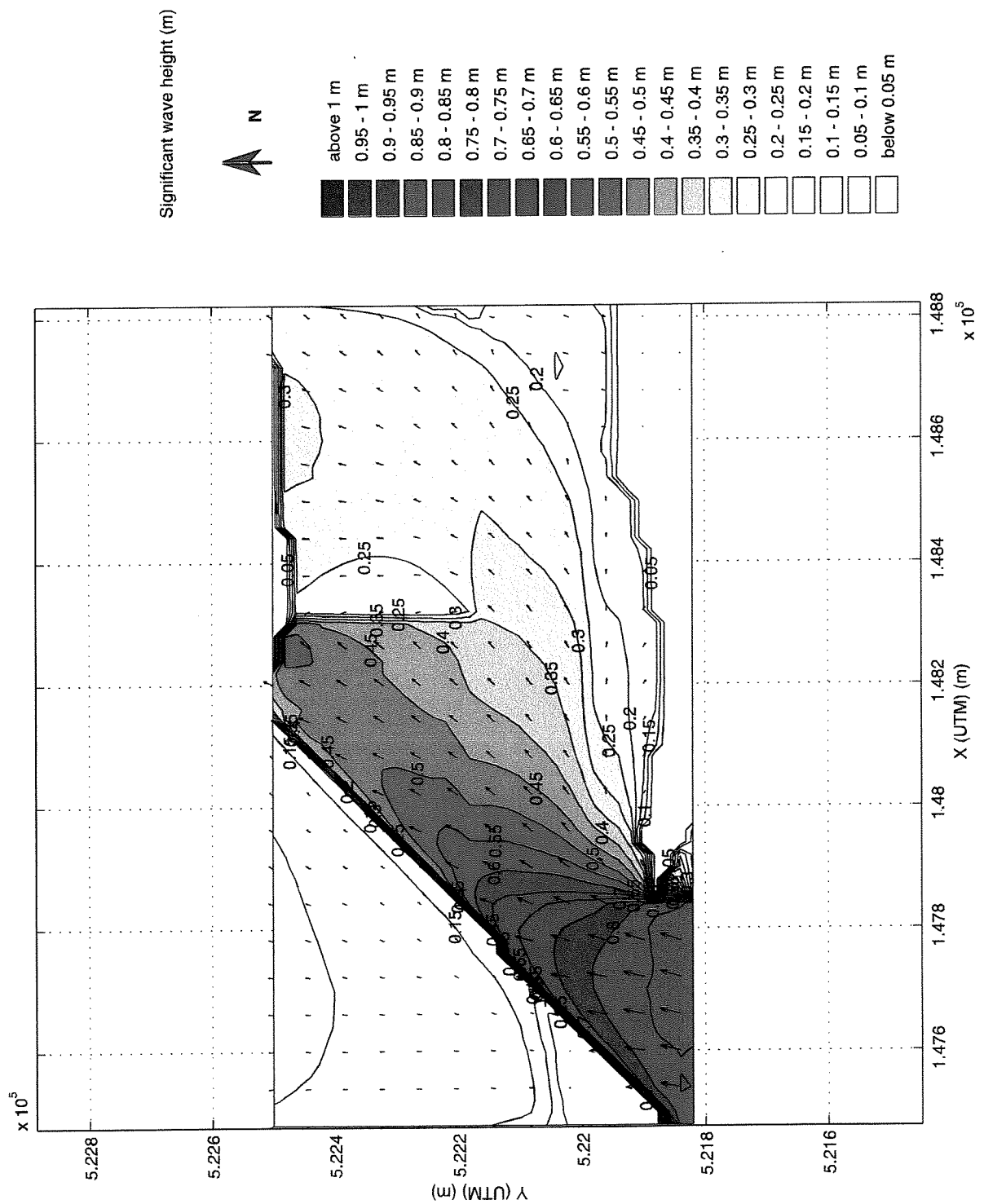
SWAN40.10

W53

Naviduct Enkhuizen

 Alkyon

Fig. 2.0



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 180 deg. N

Windspeed: 14 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

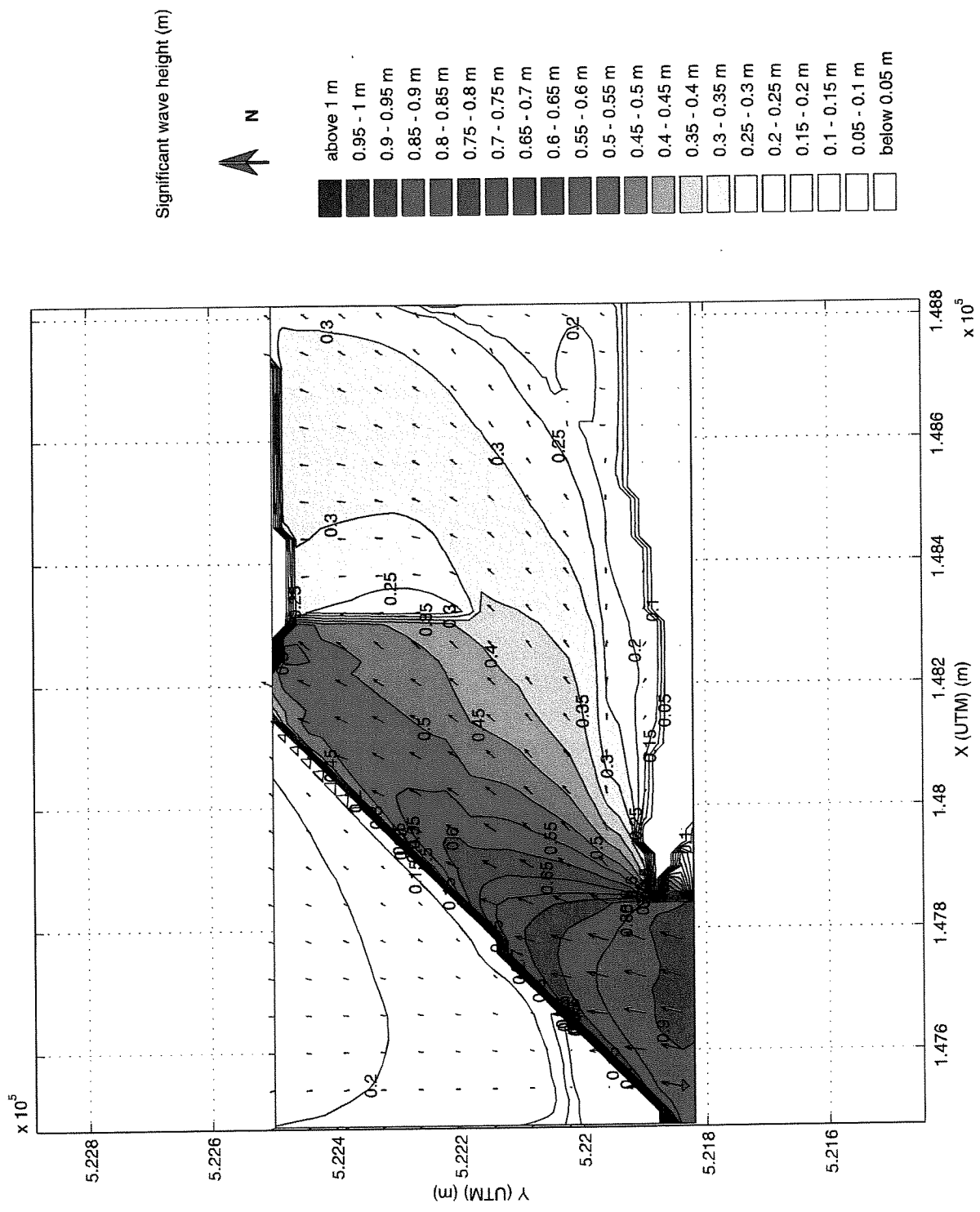
SWAN40.10

breakwater B


Gb2

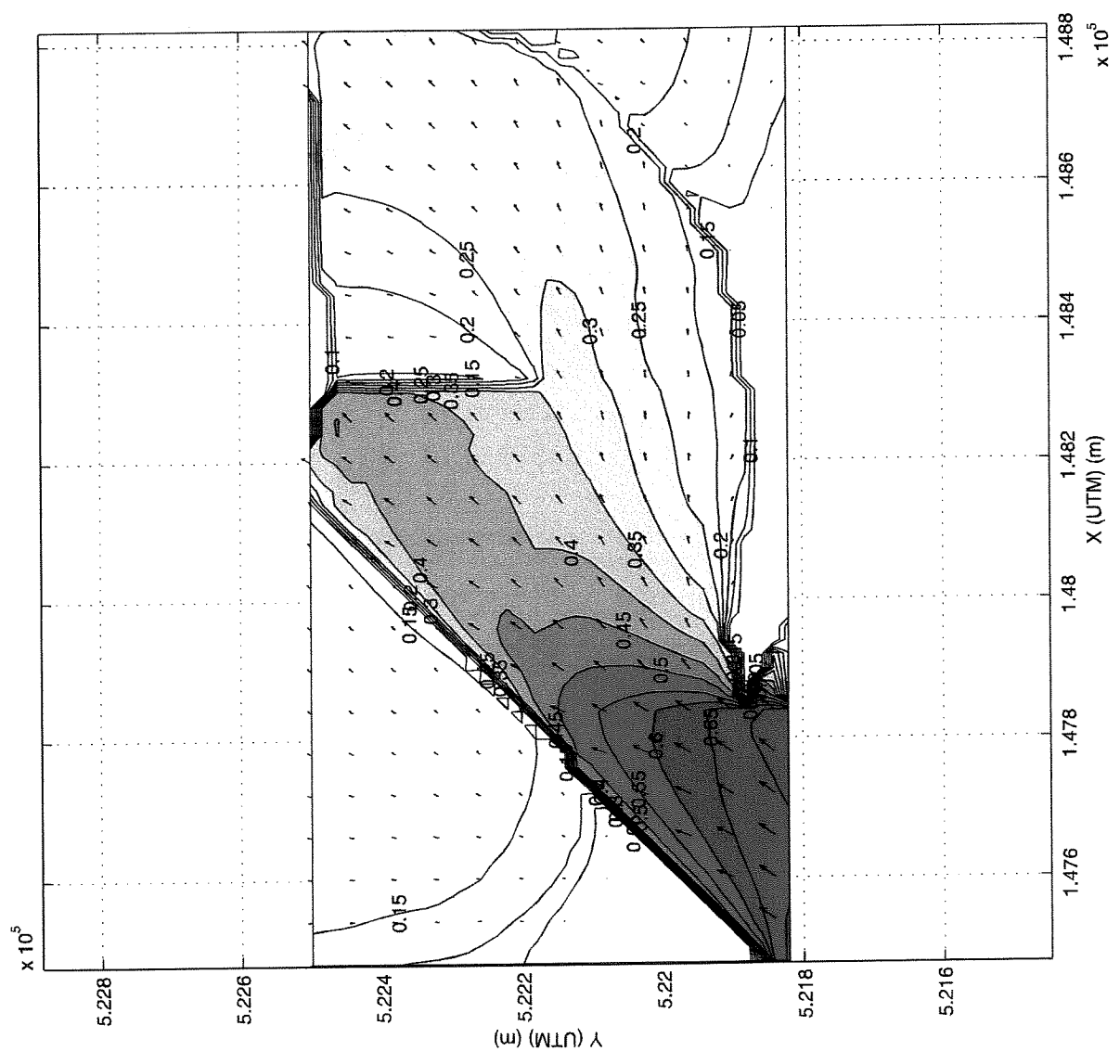
Alkyon

Fig. 2.1




Isolines of significant wave height (m)
 Winddirection: 180 deg. N
 Windspeed: 15 m/s

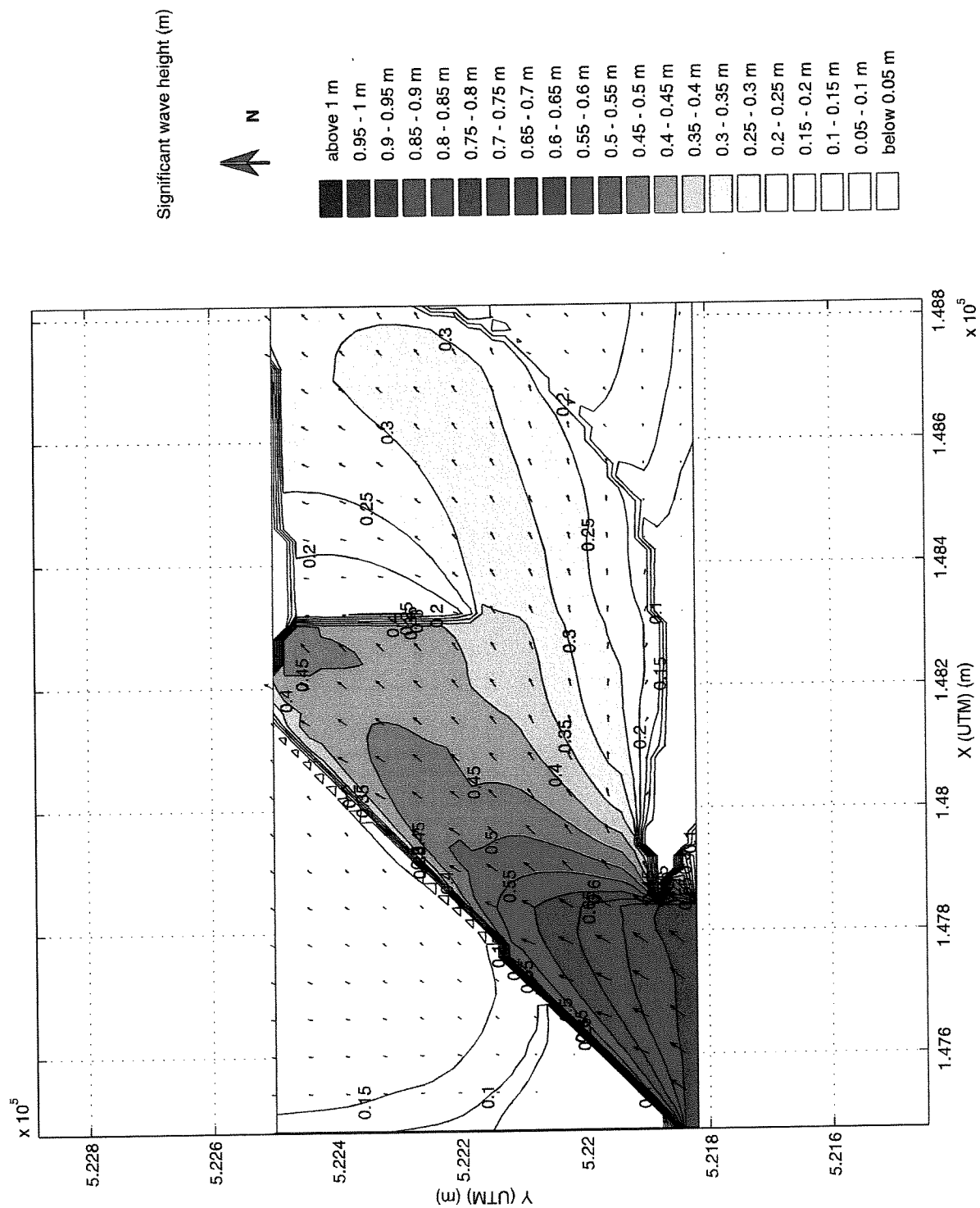
reflection	SWAN40.10
breakwater B	
Gb3	
 Alkyon	Fig. 2.2



Isolines of significant wave height (m)
 Winddirection: 210 deg. N
 Windspeed: 11 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection	SWAN40.10
breakwater B	
Gb5	
 Alkyon	Fig. 2.3



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 210 deg. N

Windspeed: 12 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

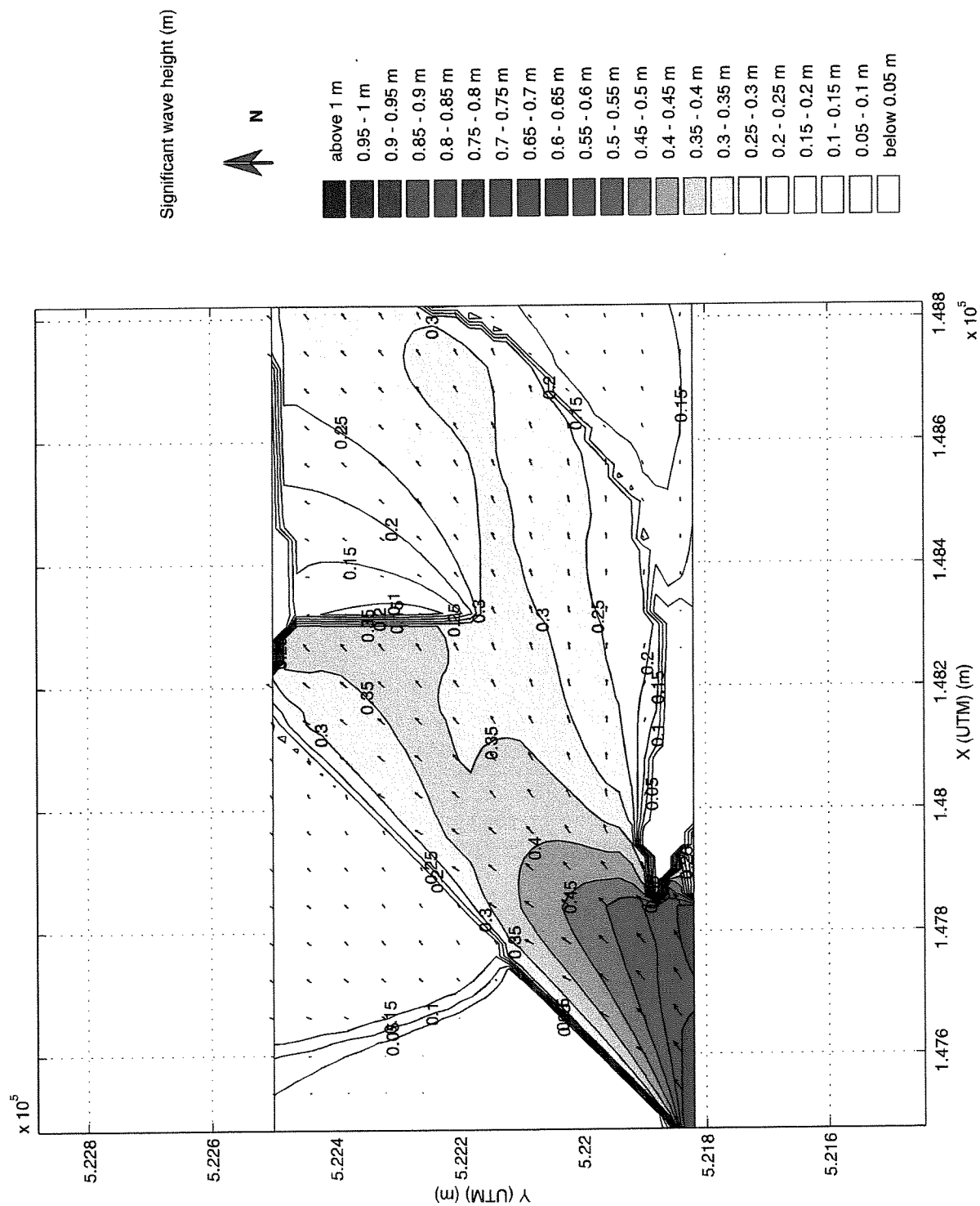
SWAN40.10

breakwater B

Gb6

Alkyon

Fig. 2.4



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 240 deg. N

Wind speed: 10 m/s

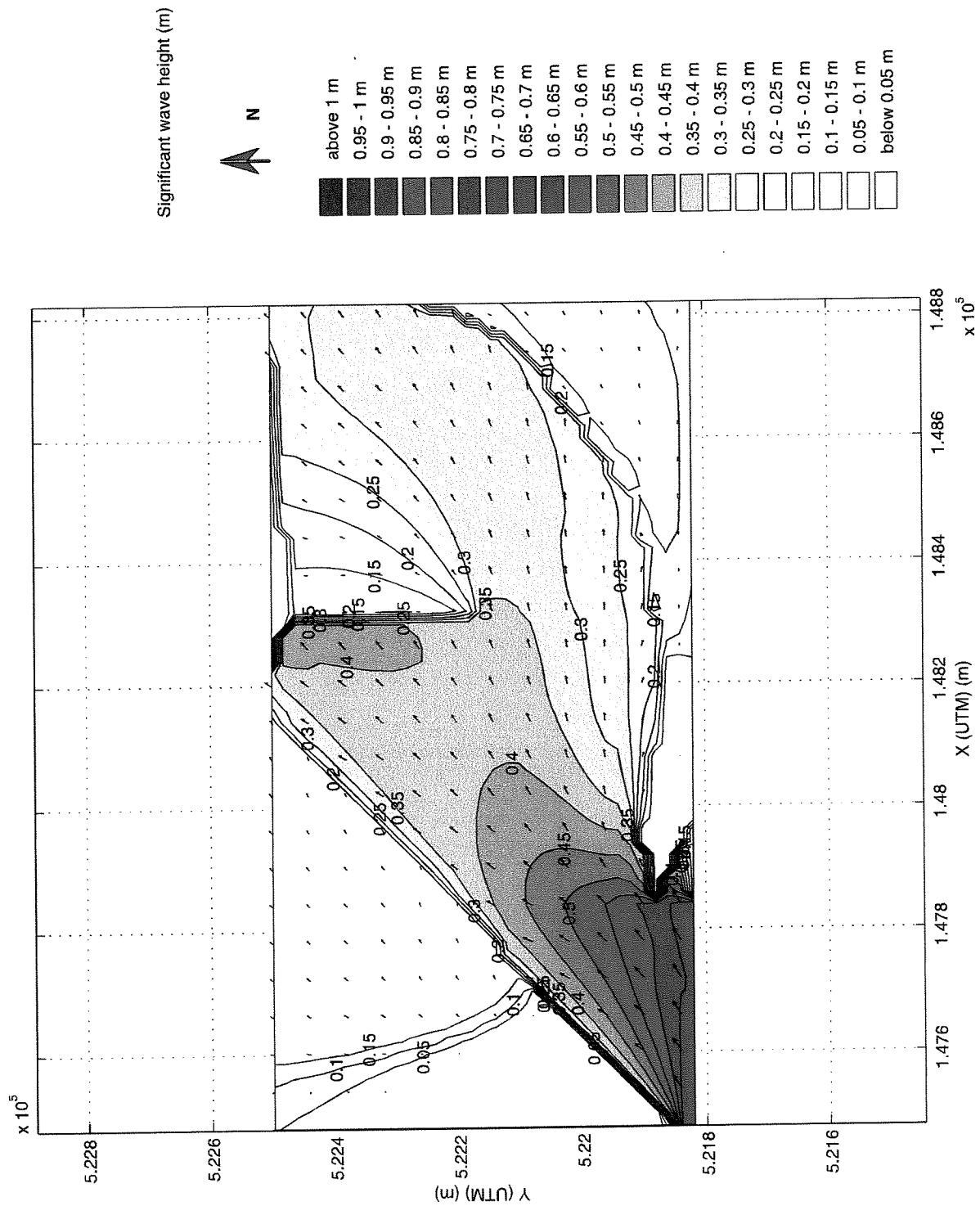
Naviduct Enkhuizen

reflection SWAN40.10

breakwater B

Gb18


Alkyon Fig. 2.5

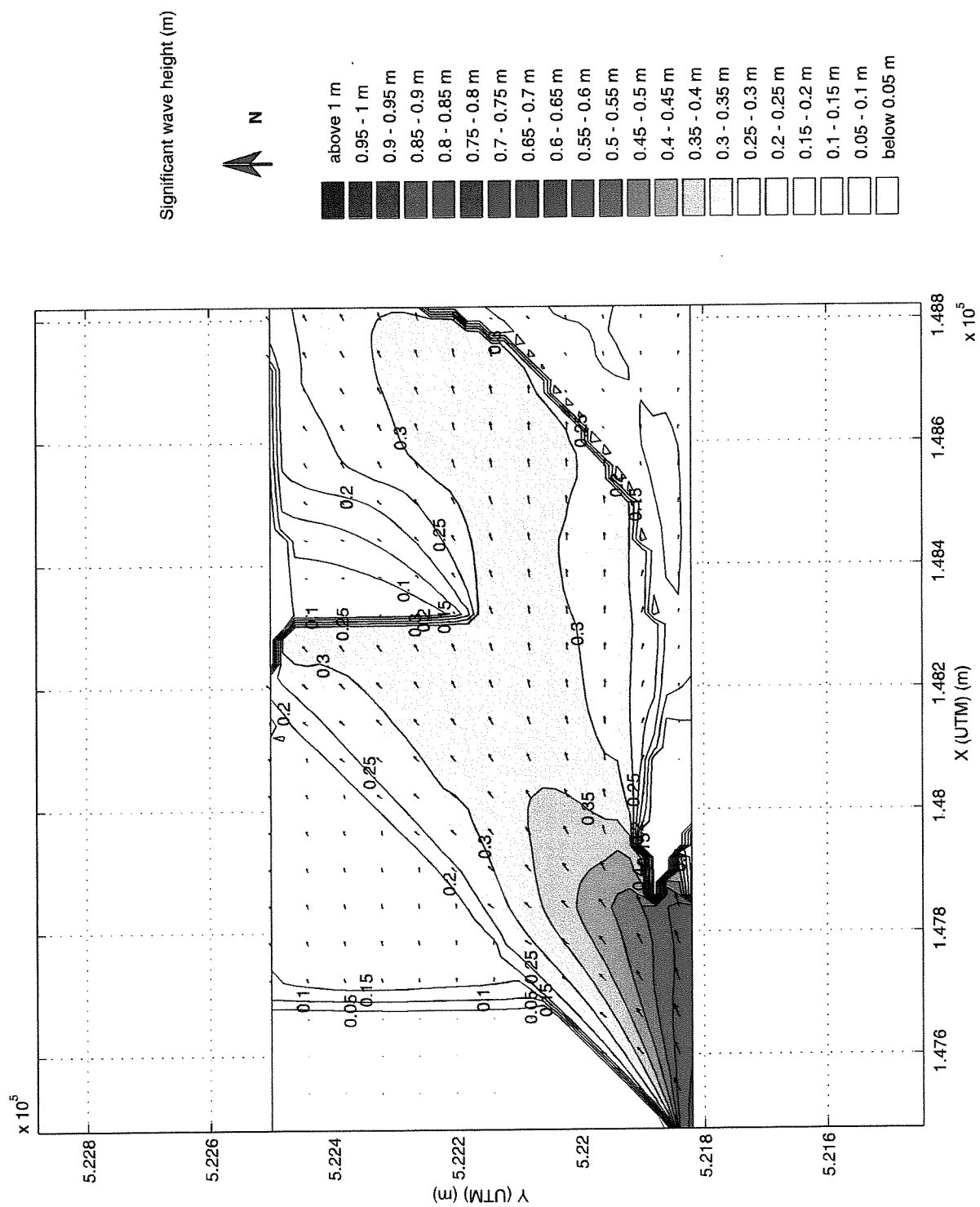


Isolines of significant wave height (m)
Winddirection: 240 deg. N
Windspeed: 11 m/s

reflection	SWAN40.10
breakwater B	
Gb9	

Naviduct Enkhuizen

 Alkyon Fig. 2.6



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 270 deg. N

Wind speed: 11 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

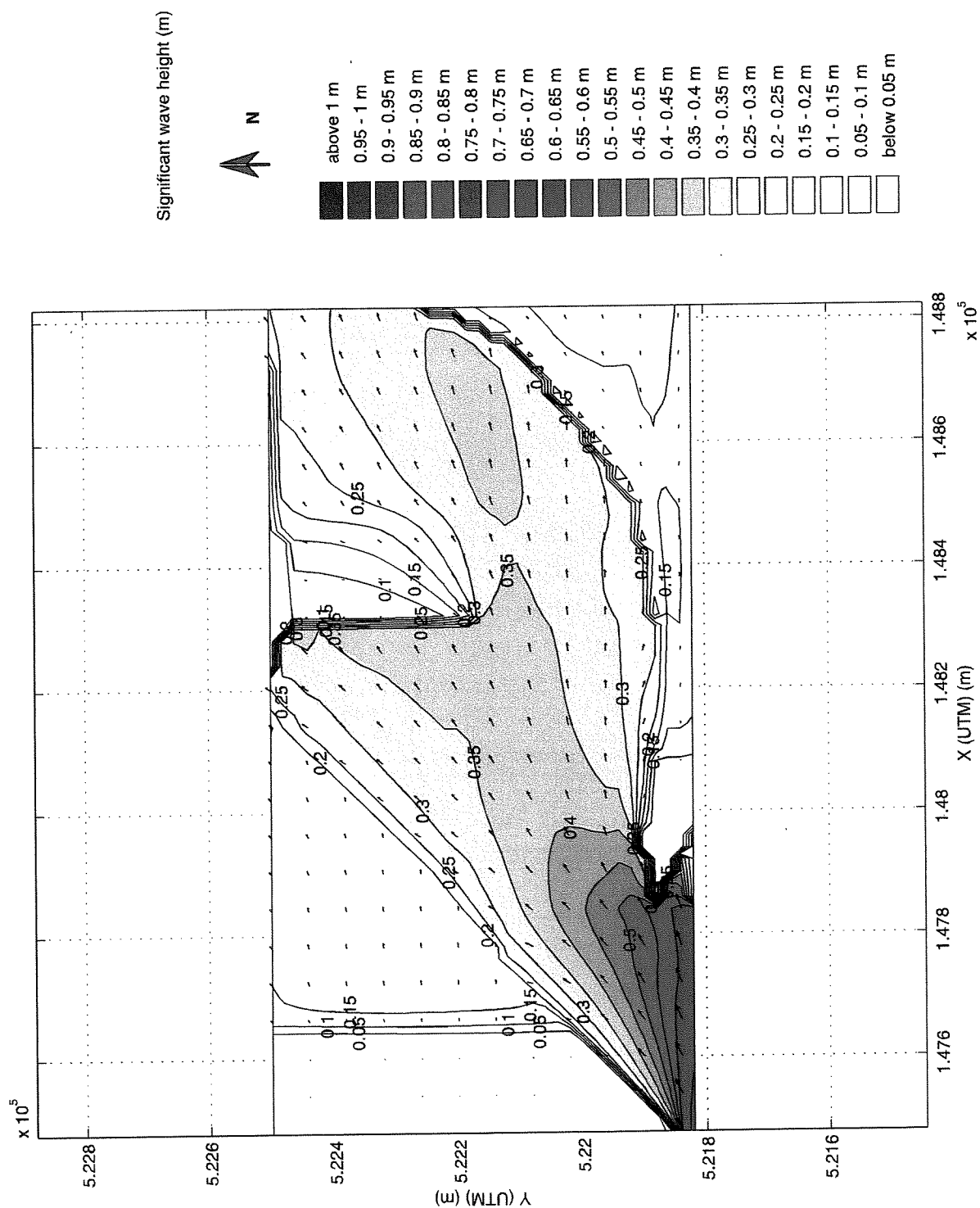
SWAN40.10

breakwater B


Gb19

Alkyon

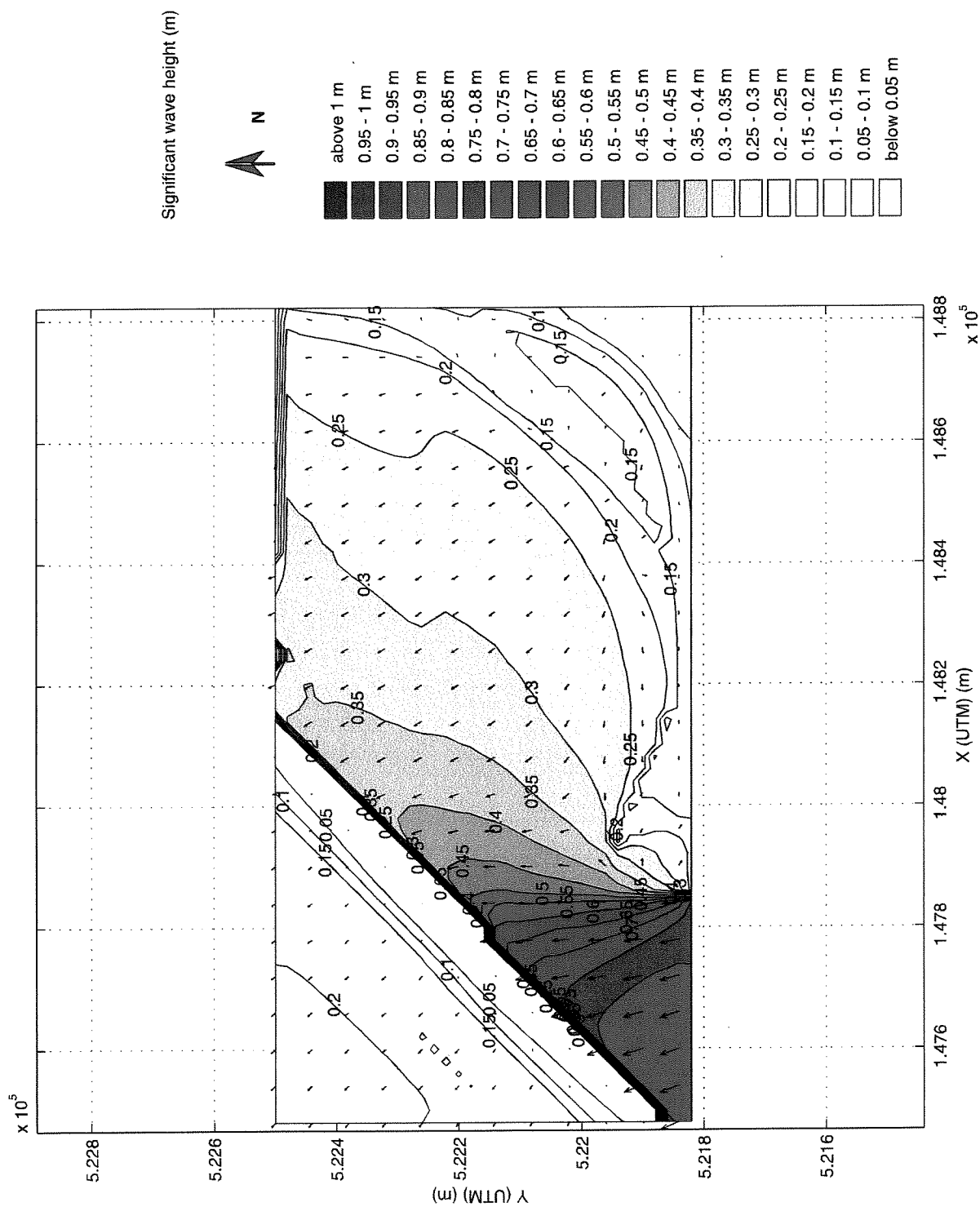
Fig. 2.7



Isolines of significant wave height (m)
Winddirection: 270 deg. N
Windspeed: 12 m/s

reflection	SWAN40.10
breakwater B	
Gb15	
 Alkyon	Fig. 2.8

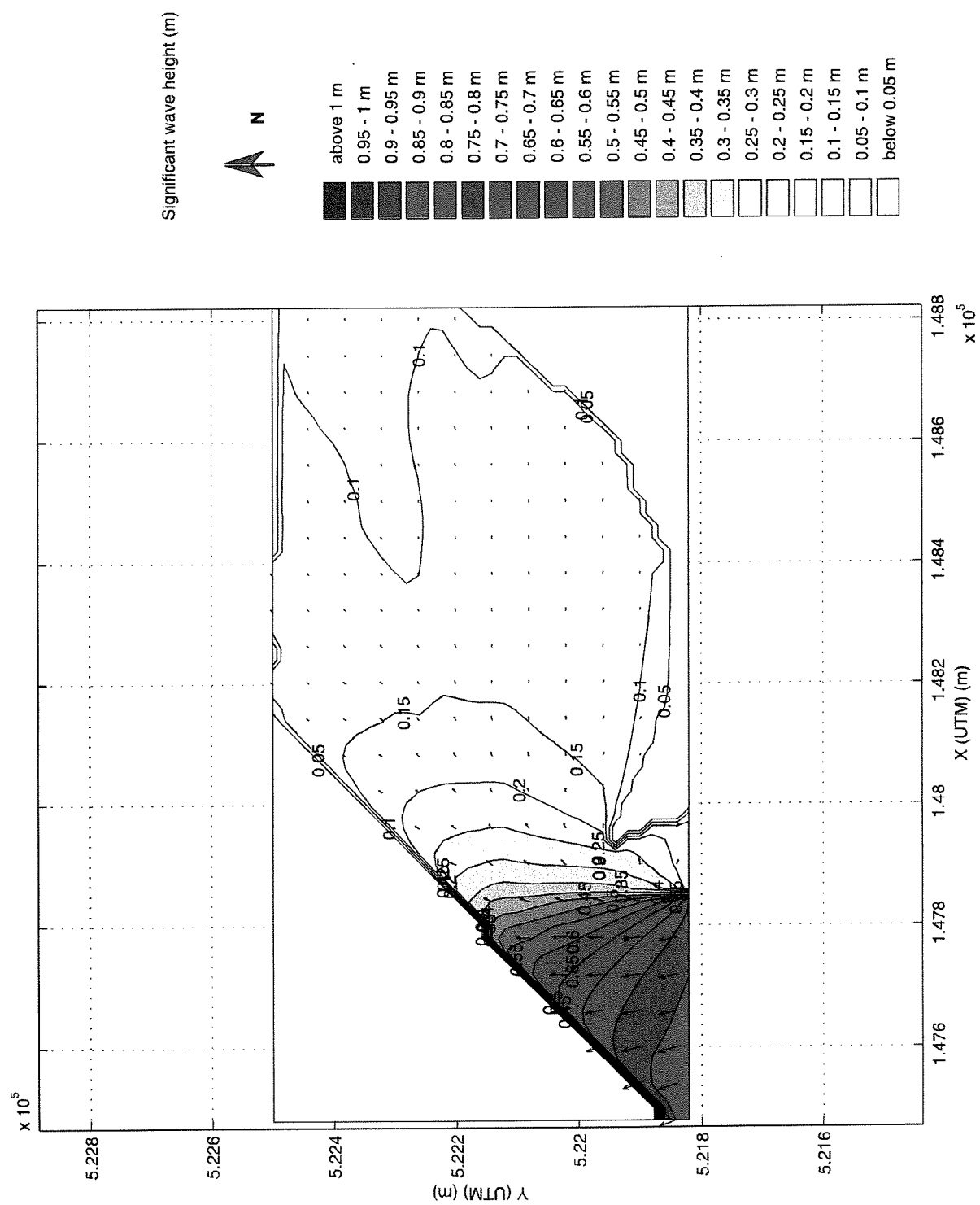
Naviduct Enkhuizen



Isolines of significant wave height (m)
 Wavedirection: 160 deg. N
 Windspeed: 16 m/s

reflection	SWAN40.10
wl-bottom	
W56	

Naviduct Enkhuizen



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 160 deg. N

Windspeed: 0 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

SWAN40.10

wl-bottom

W57


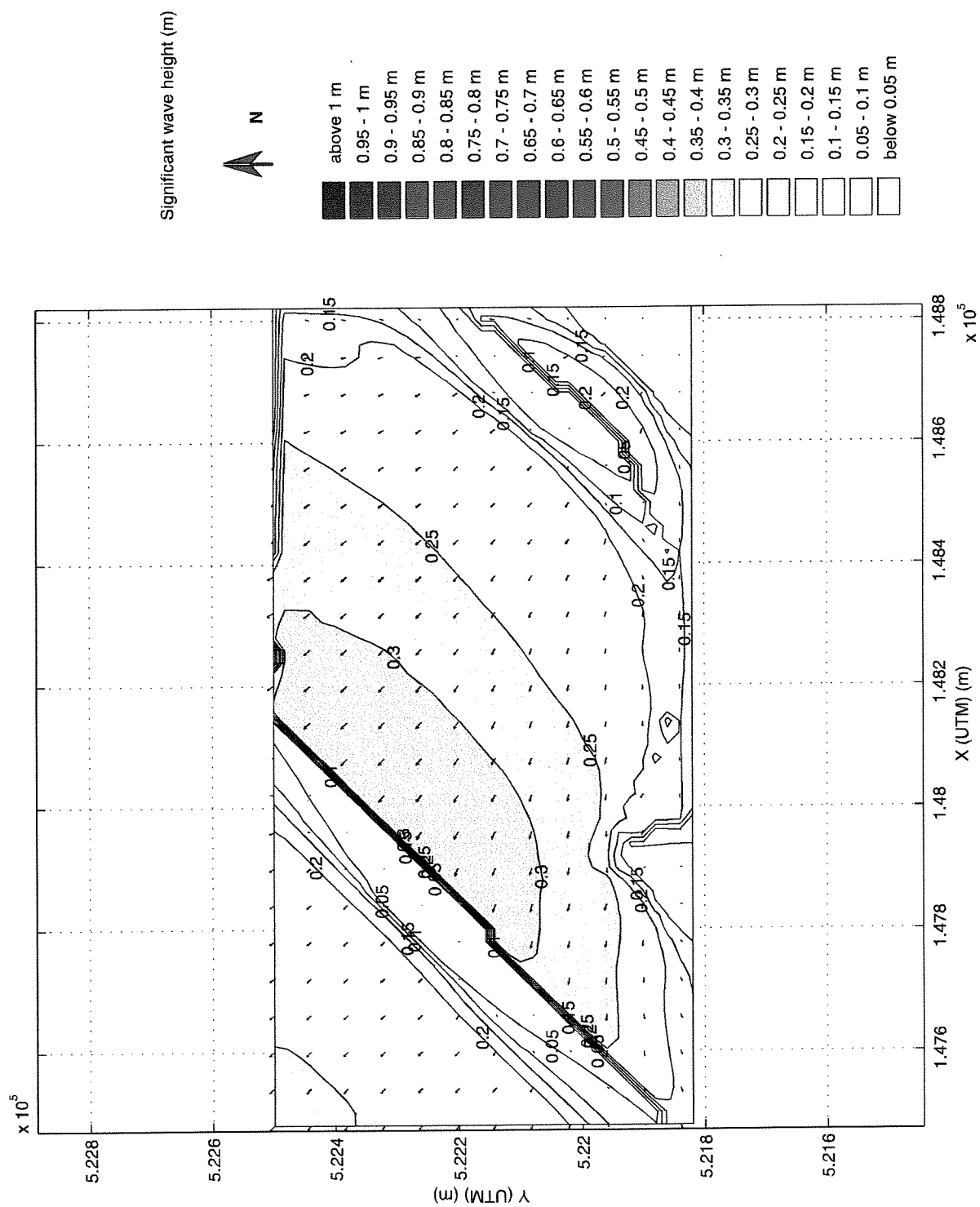
 Alkyon

Fig. 2.12



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 135 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

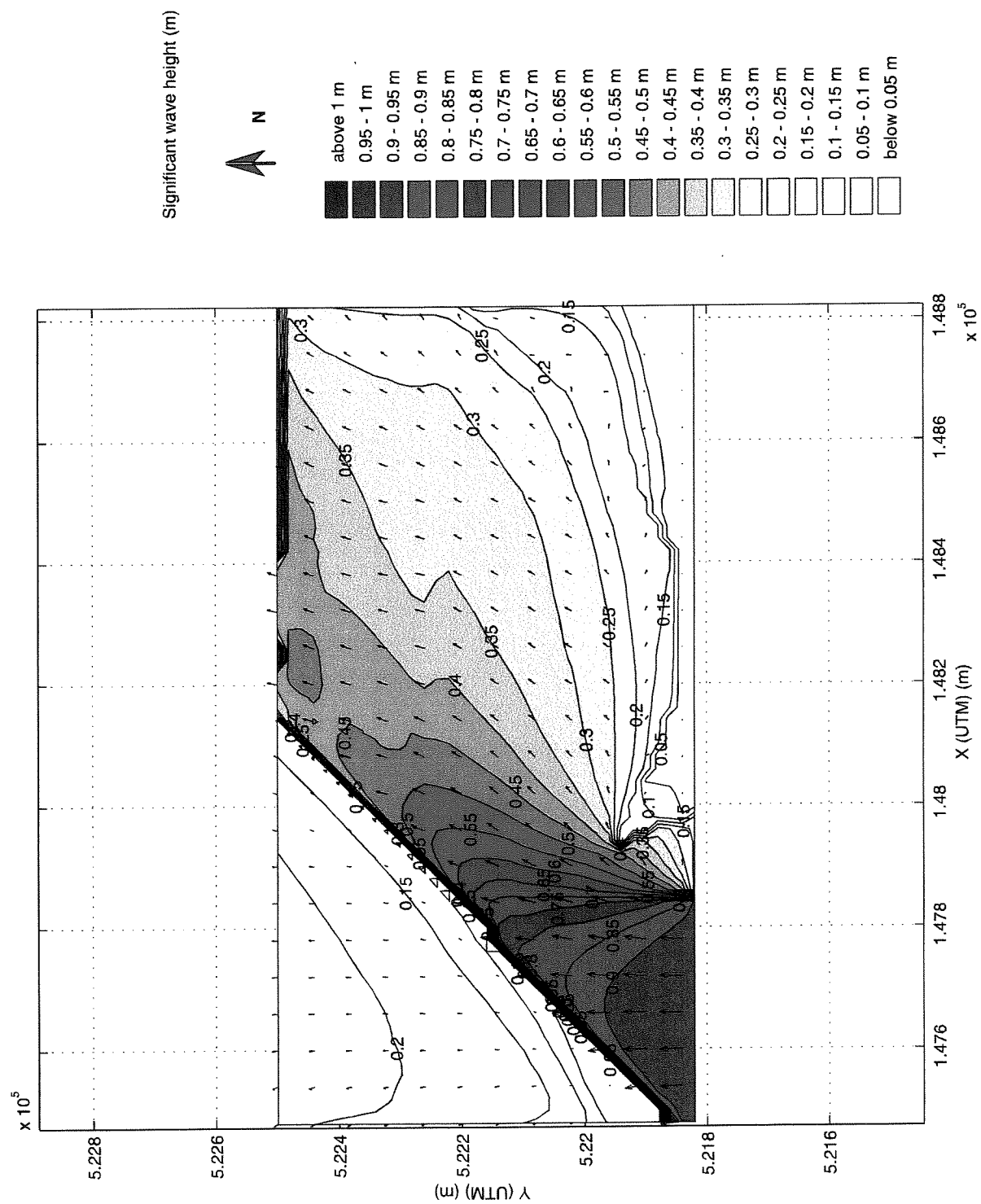
SWAN40.10

wl-bottom

W58

 Alkyon

Fig. 2.13



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 180 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

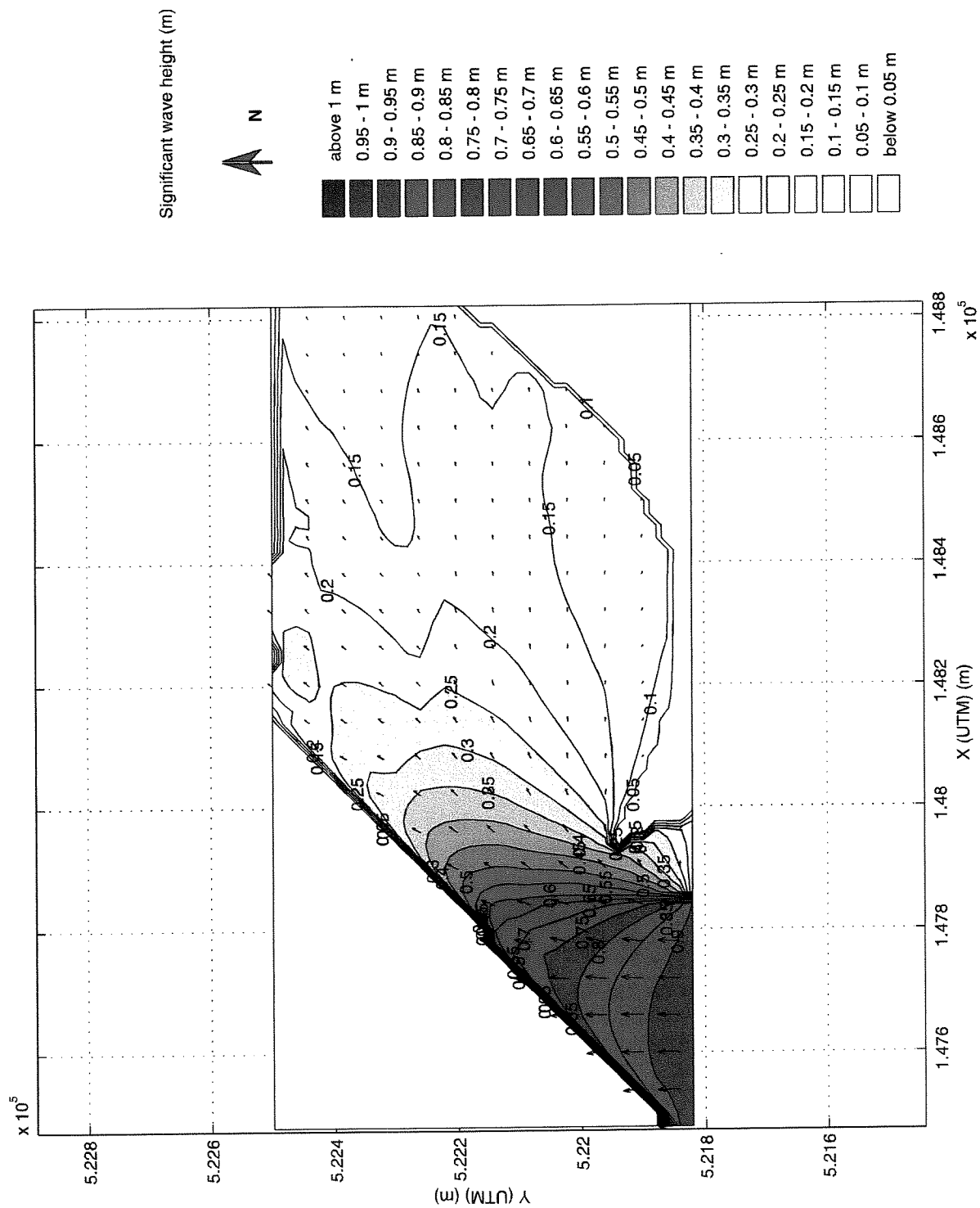
SWAN40.10

wl-bottom

W66

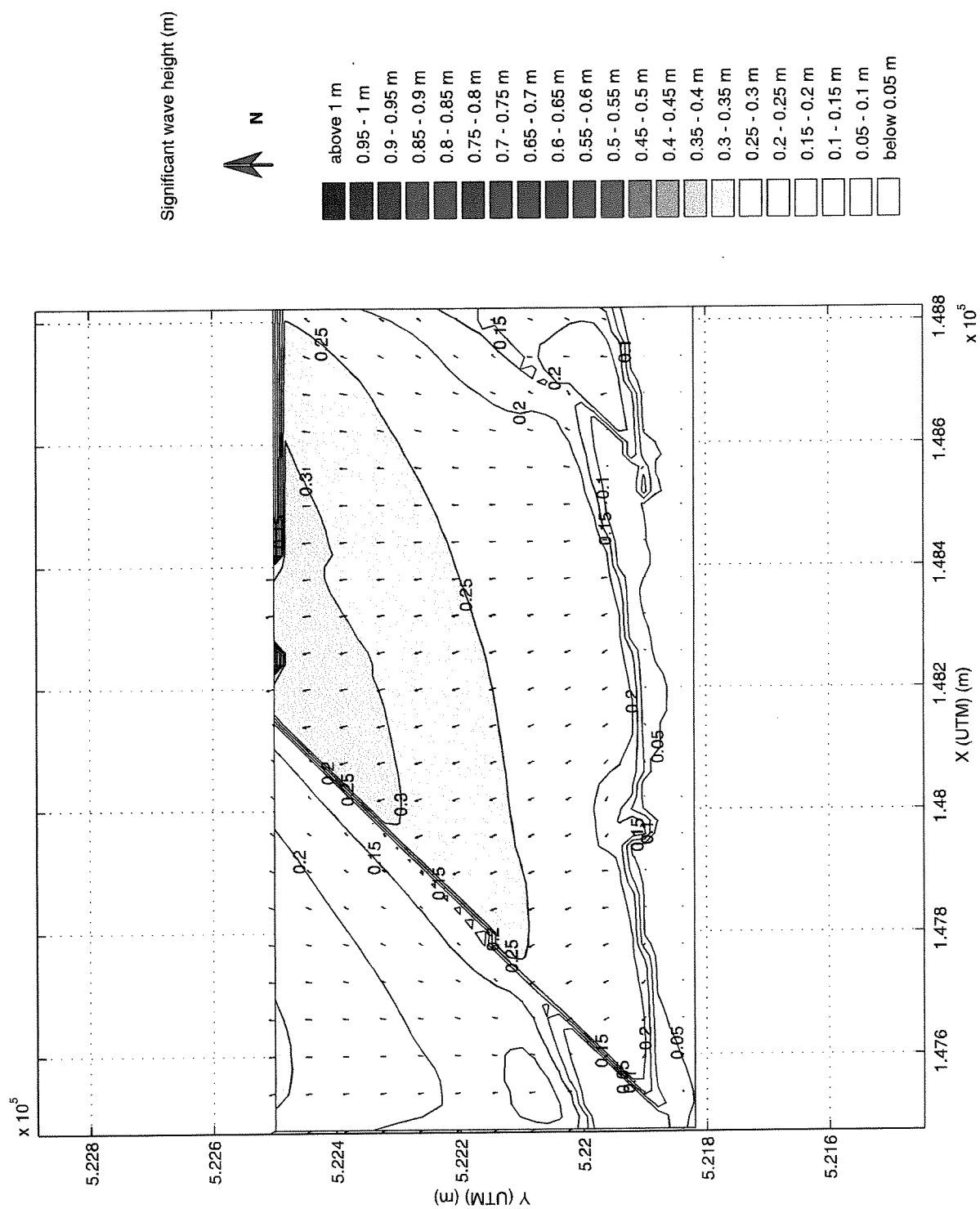
 Alkyon

Fig. 2.21



Isolines of significant wave height (m)
Wavedirection: 180 deg. N
Windspeed: 0 m/s

reflection	SWAN40.10
wl-bottom	
W67	



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 165 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

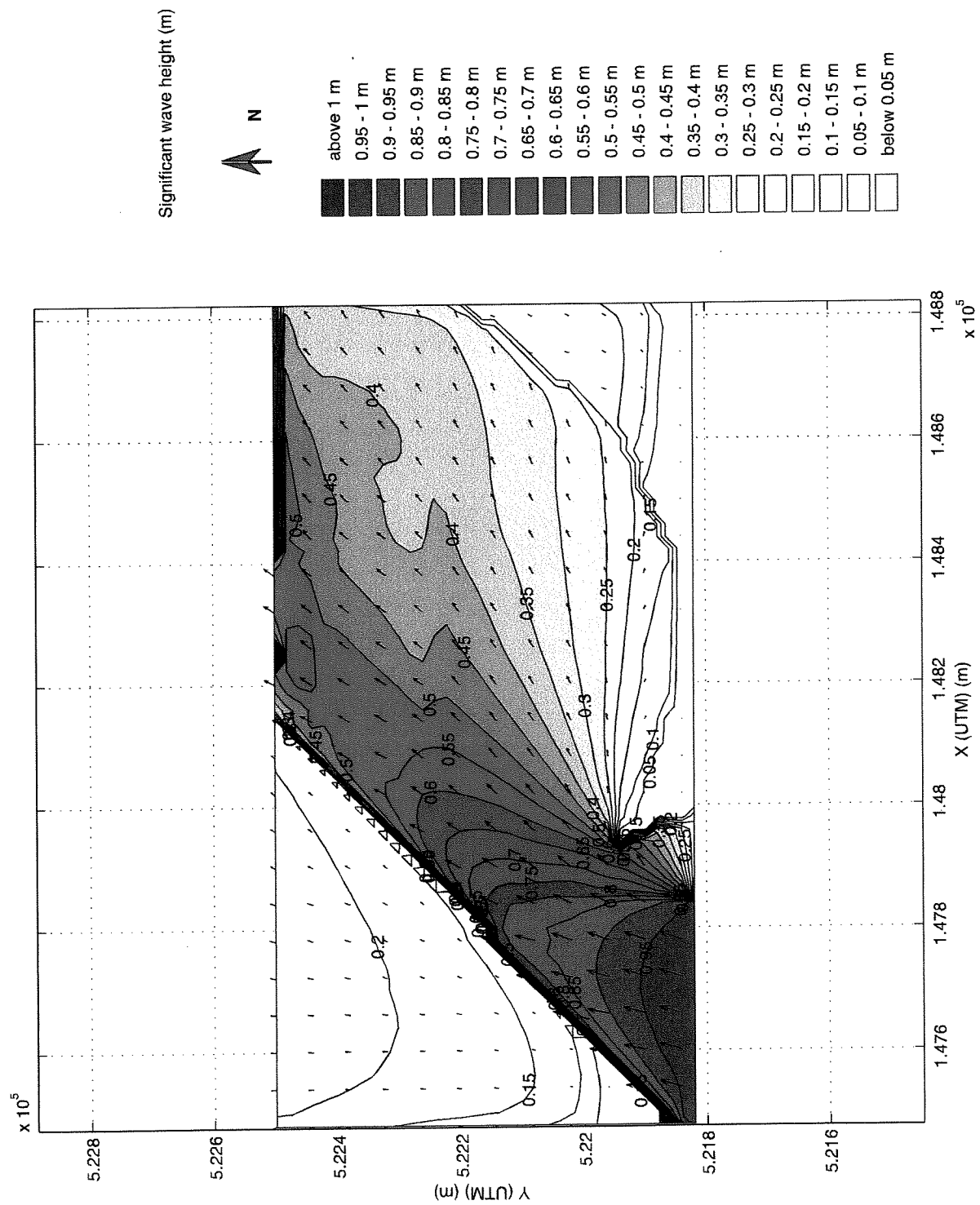
SWAN40.10

wl-bottom

W68

Alkyon

Fig. 2.23



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 200 deg. N

Windspeed: 16 m/s

reflection

SWAN40.10

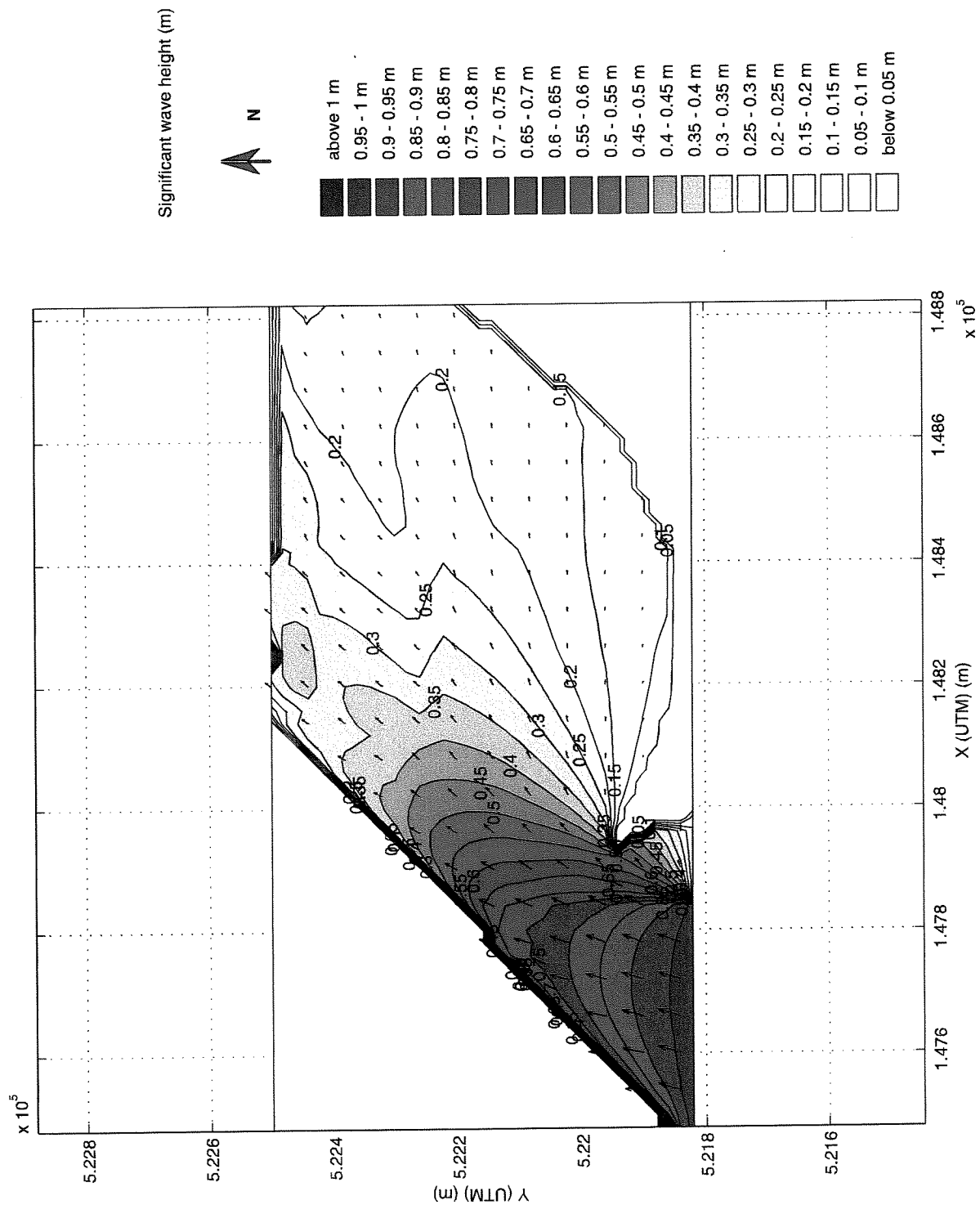
wl-bottom

W76

Naviduct Enkhuizen

Alkyon

Fig. 2.31



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 200 deg. N

Windspeed: 0 m/s

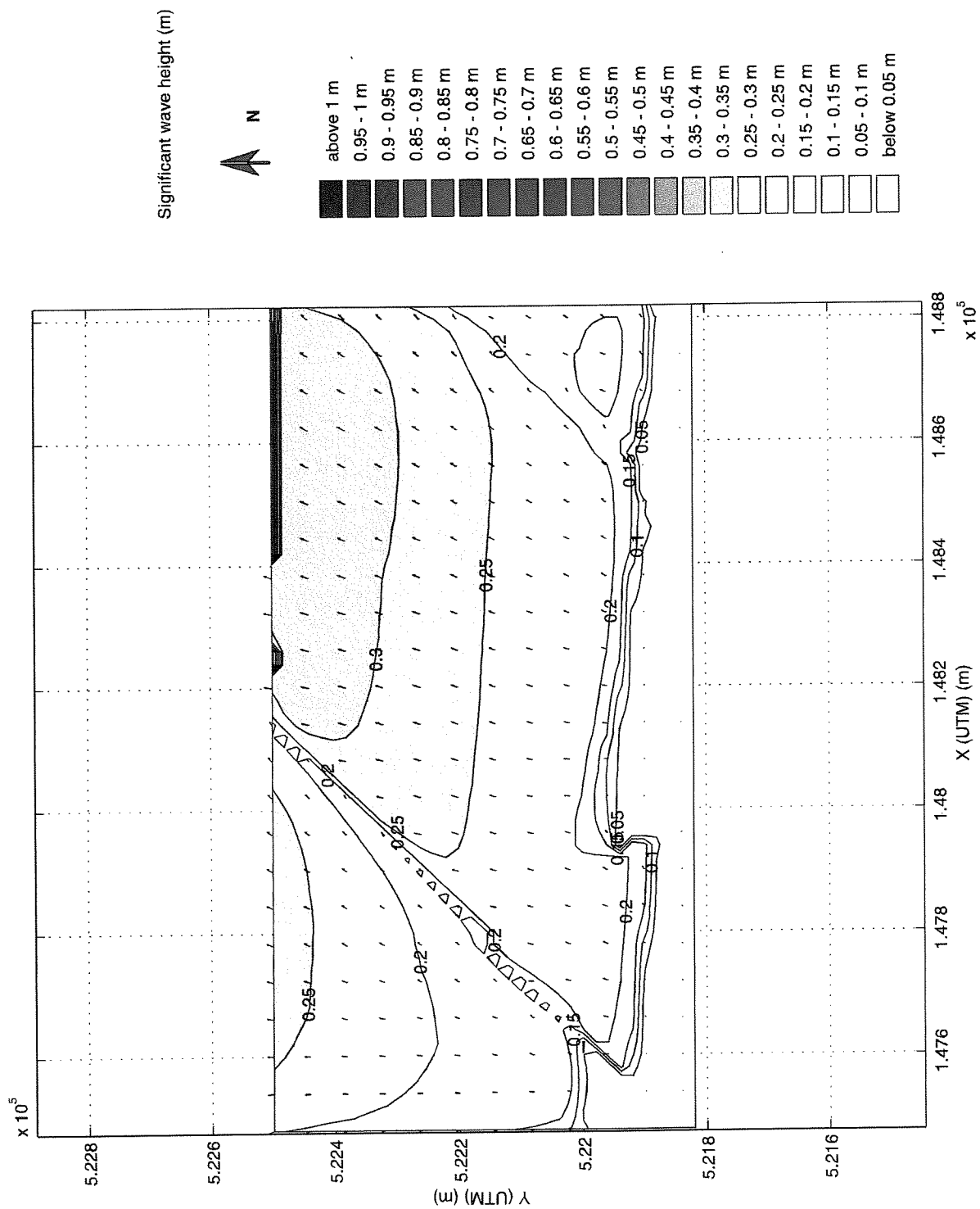
Naviduct Enkhuizen

reflection SWAN40.10

wl-bottom

W77

 Alkyon Fig. 2.32



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 190 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

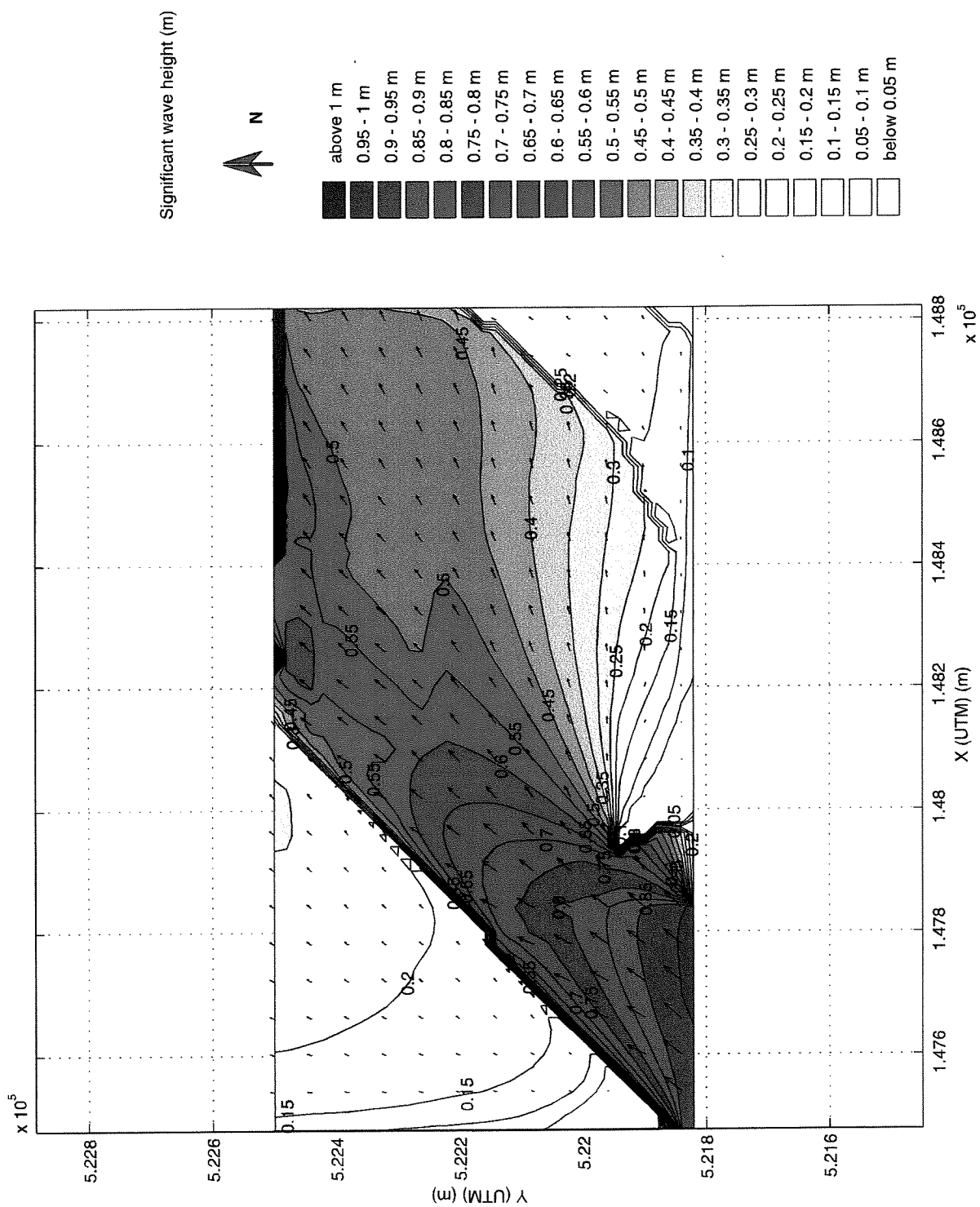
reflection SWAN40.10

wl-bottom

W78

Alkyon

Fig. 2.33



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 220 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

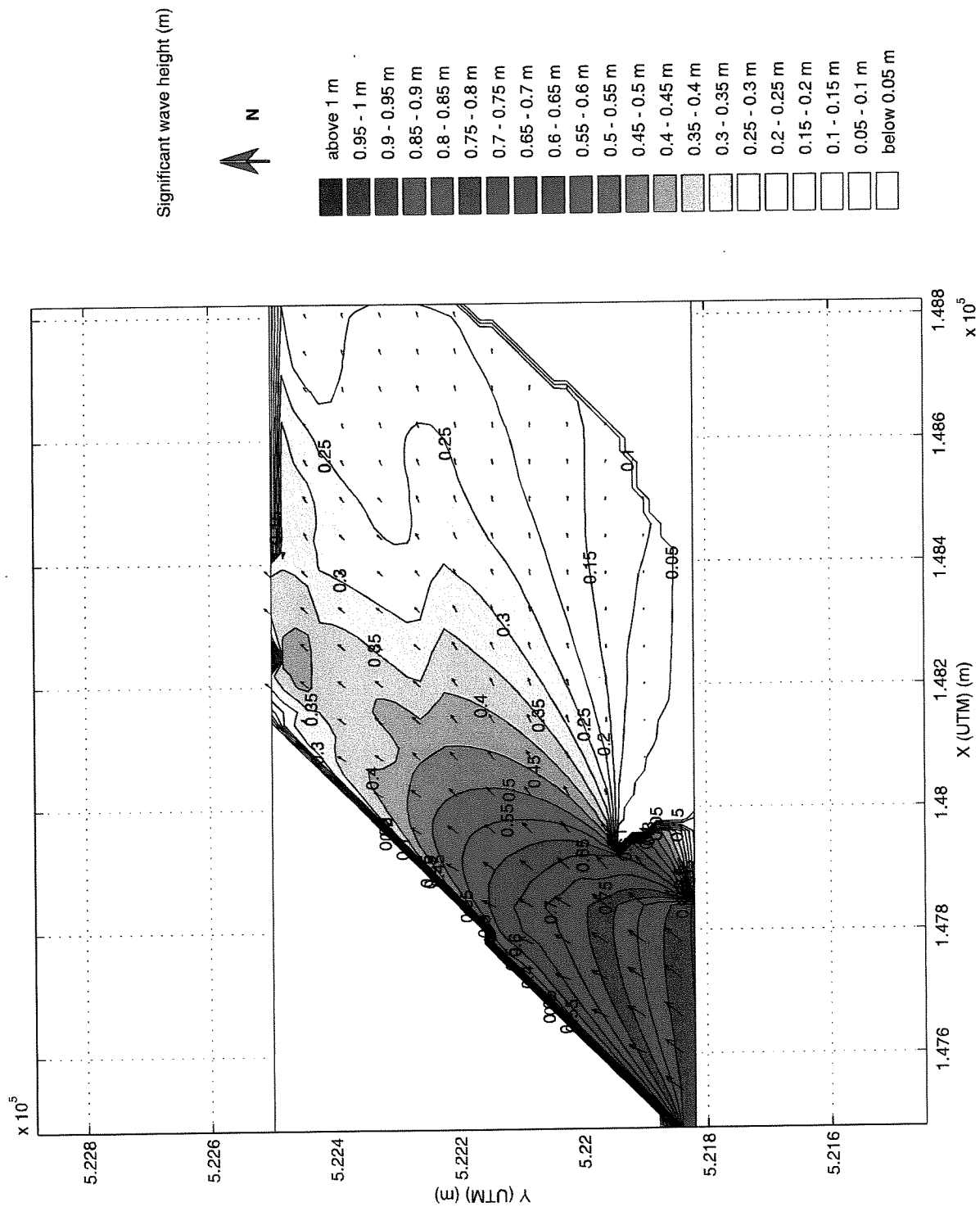
SWAN40.10

wl-bottom

W86

 Alkyon

Fig. 2.41



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 220 deg. N


Windspeed: 0 m/s

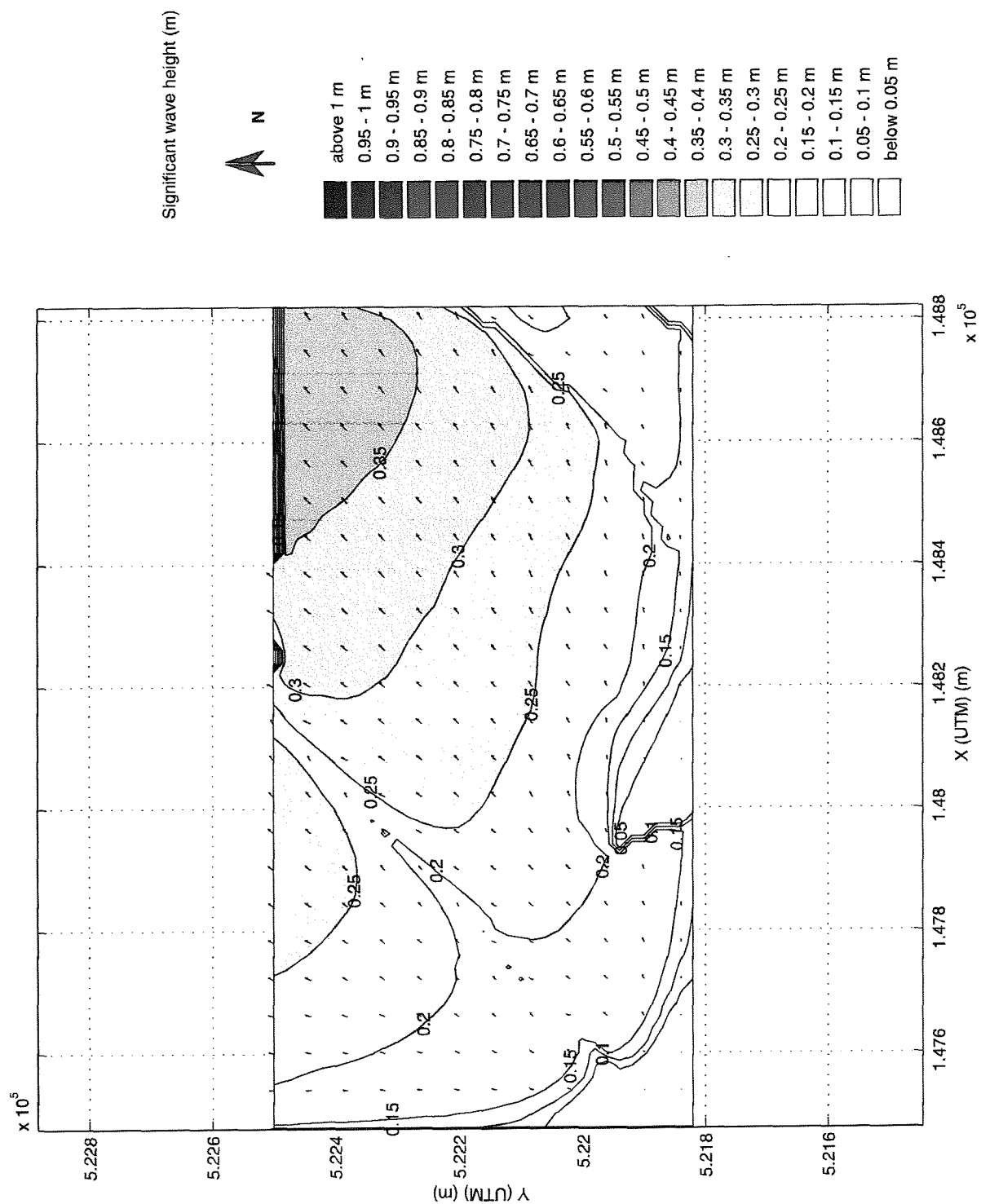
Naviduct Enkhuizen

reflection	SWAN40.10
------------	-----------

wl-bottom	
-----------	--

W87	
-----	--

 Alkyon	Fig. 2.42
--	-----------



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 220 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

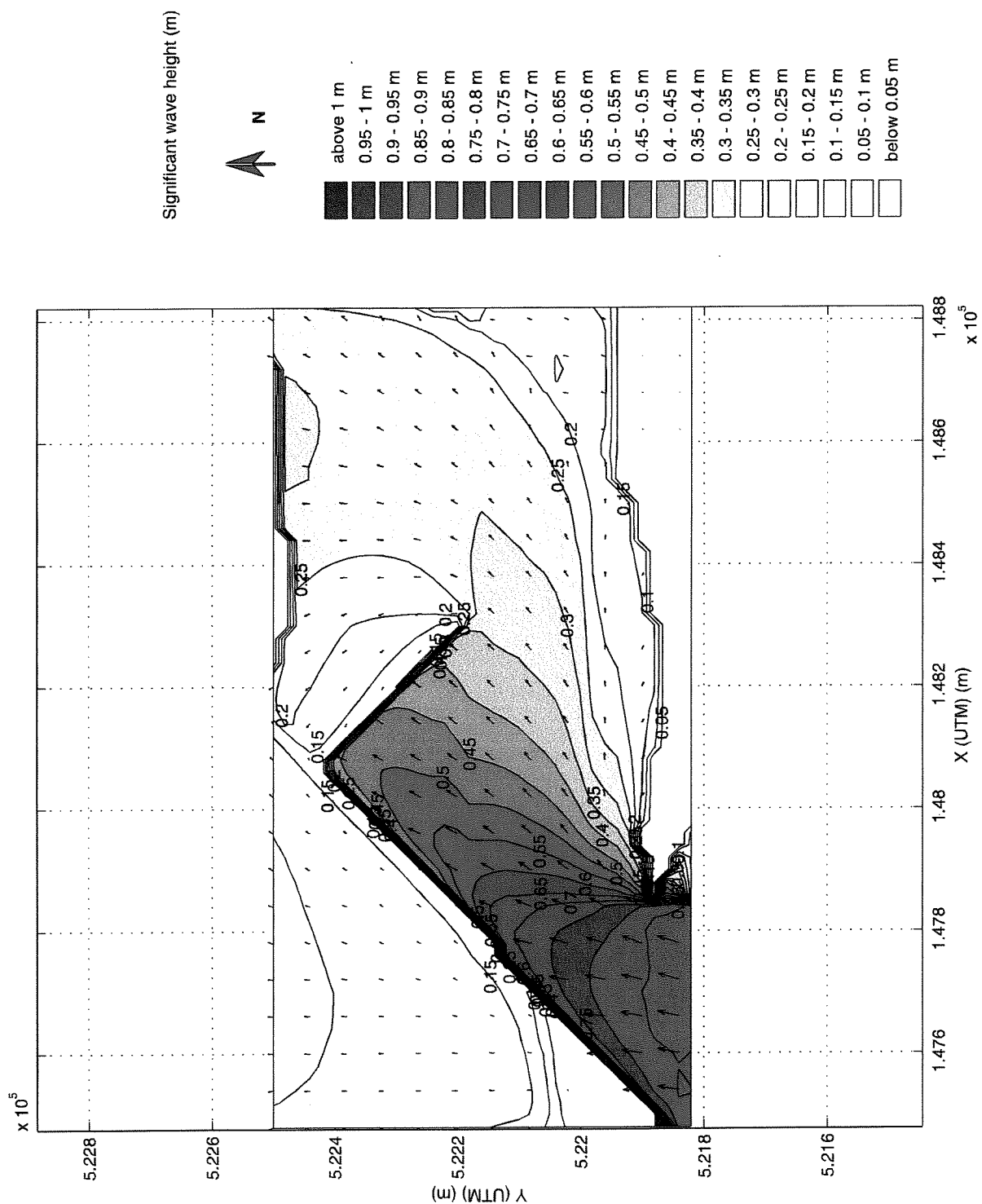
SWAN40.10

wl-bottom

W88

Alkyon

Fig. 2.43



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 180 deg. N

Windspeed: 14 m/s

Naviduct Enkhuizen

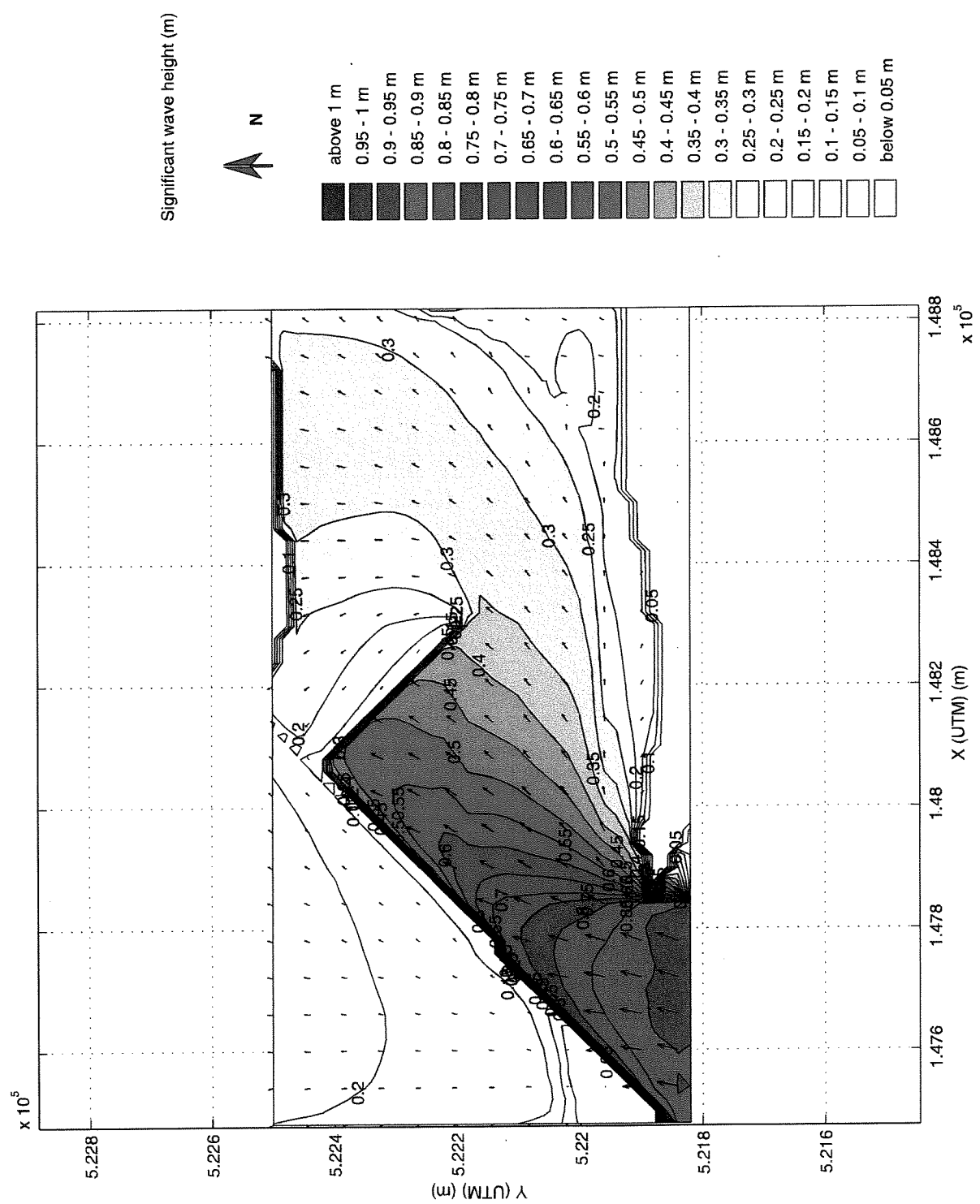
reflection SWAN40.10

breakwater C

Gc2


Alkyon

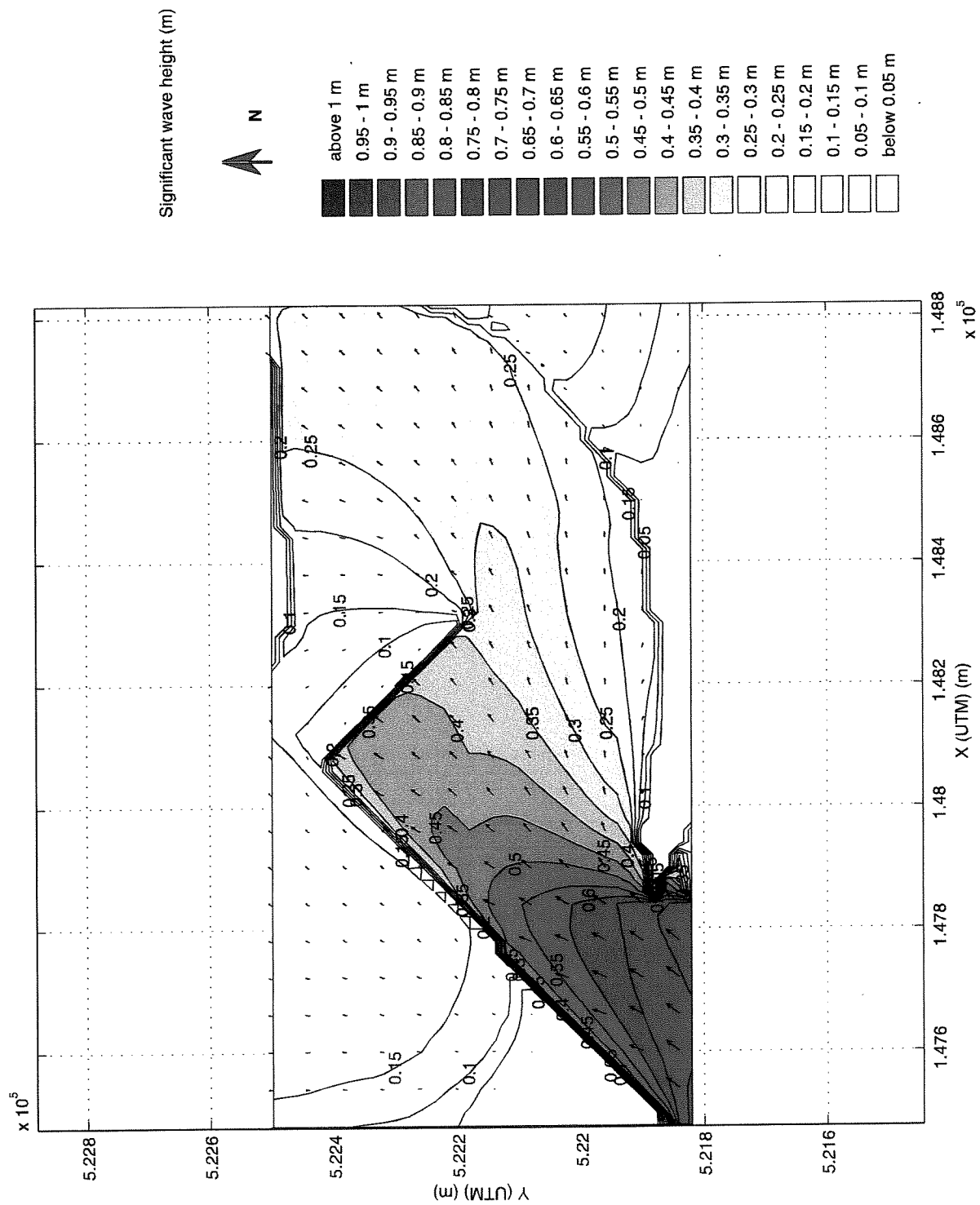
Fig. 3.1



Isolines of significant wave height (m)
 Wind direction: 180 deg. N
 Wind speed: 15 m/s


Naviduct Enkhuizen

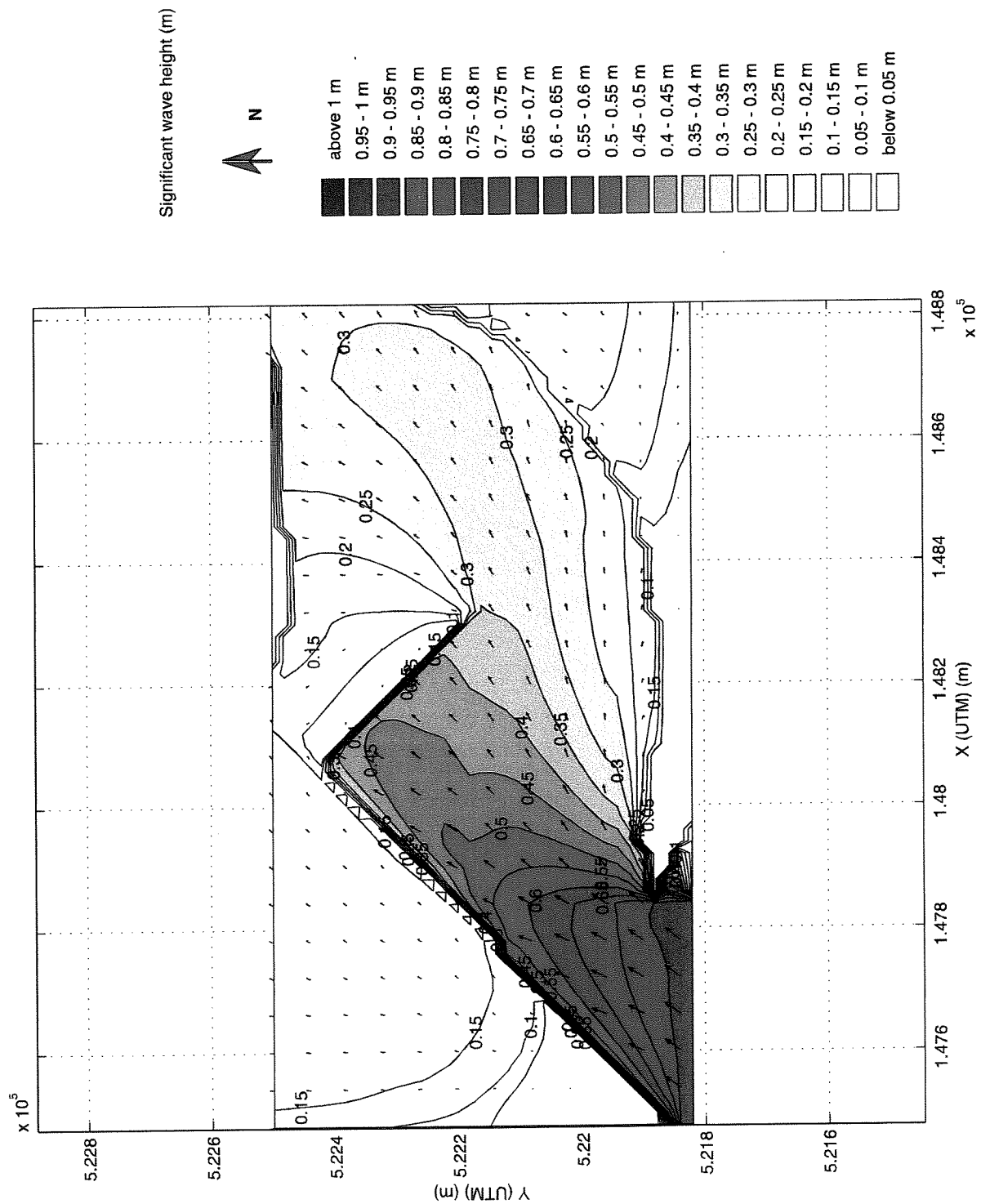
reflection	SWAN40.10
breakwater C	
Gc3	
 Alkyon	Fig. 3.2



Isolines of significant wave height (m)
 Winddirection: 210 deg. N
 Windspeed: 11 m/s

Naviduct Enkhuizen

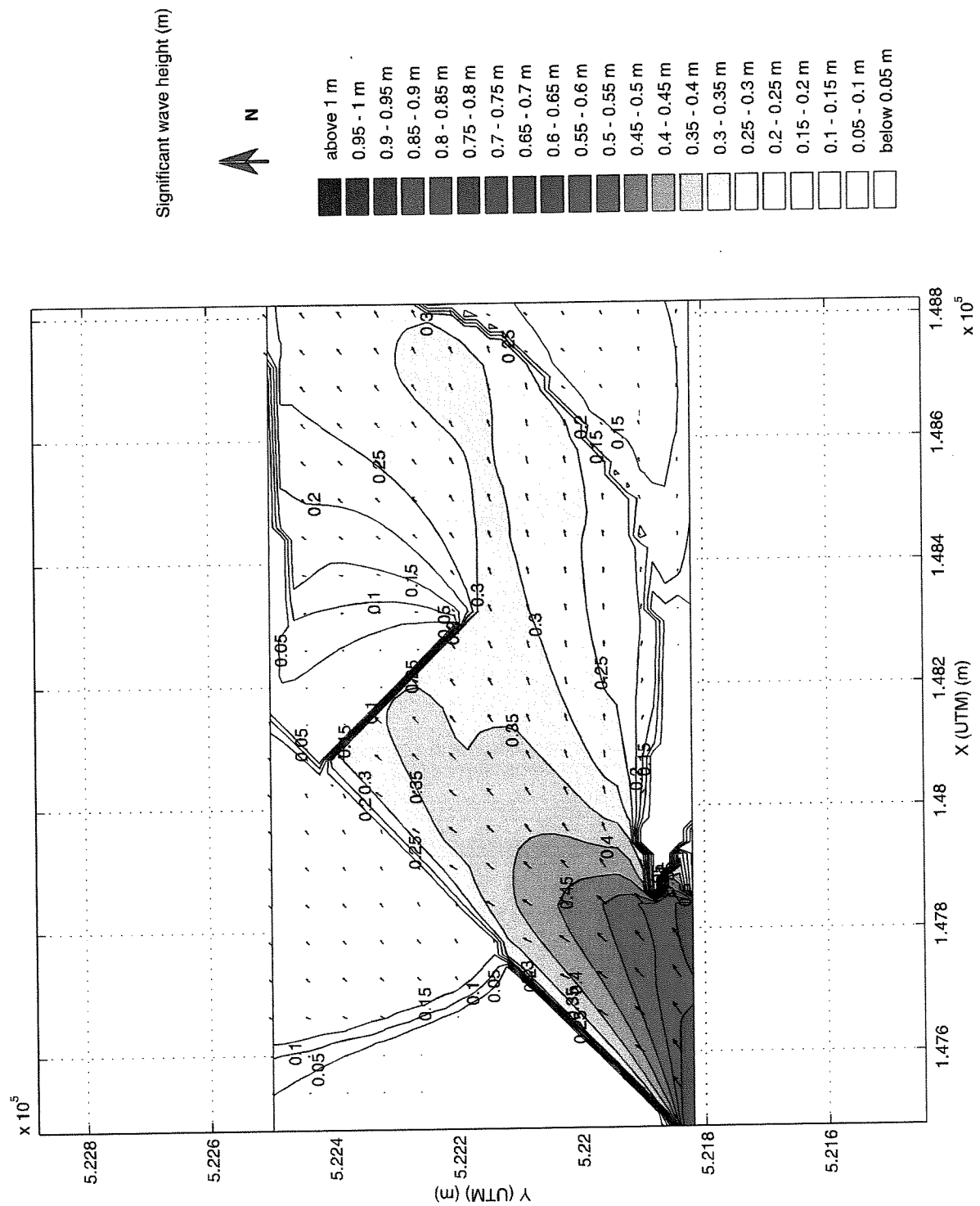
reflection	SWAN40.10
breakwater C	
Gc5	
 Alkyon	Fig. 3.3




Isolines of significant wave height (m)
Winddirection: 210 deg. N
Windspeed: 12 m/s

reflection	SWAN40.10
breakwater C	
Gc6	
Alkyon	Fig. 3.4

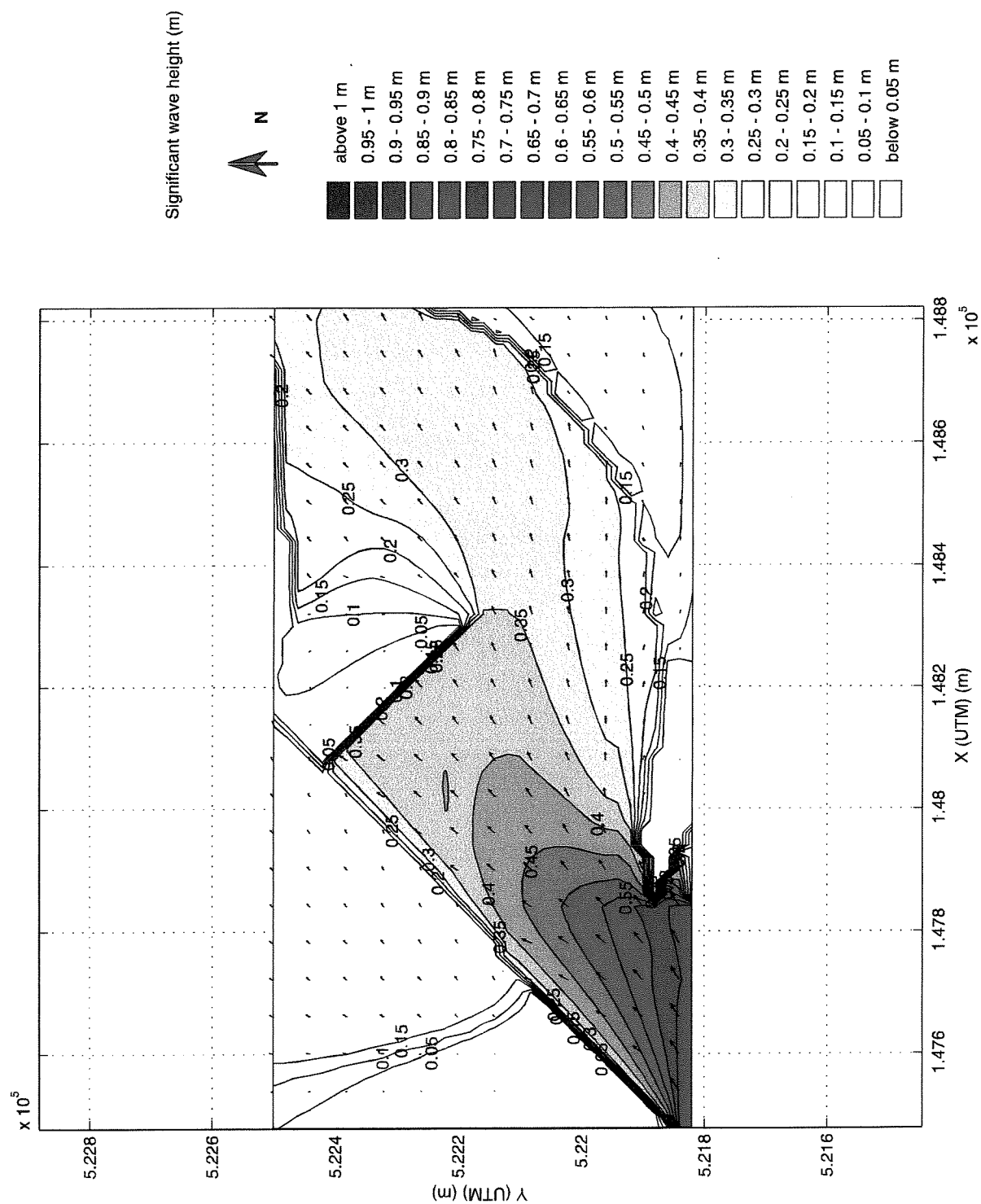
Naviduct Enkhuizen



Isolines of significant wave height (m)
Winddirection: 240 deg. N
Windspeed: 10 m/s

reflection	SWAN40.10
breakwater C	
Gc18	
 Alkyon	Fig. 3.5

Naviduct Enkhuizen



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 240 deg. N

Wind speed: 11 m/s

Naviduct Enkhuizen

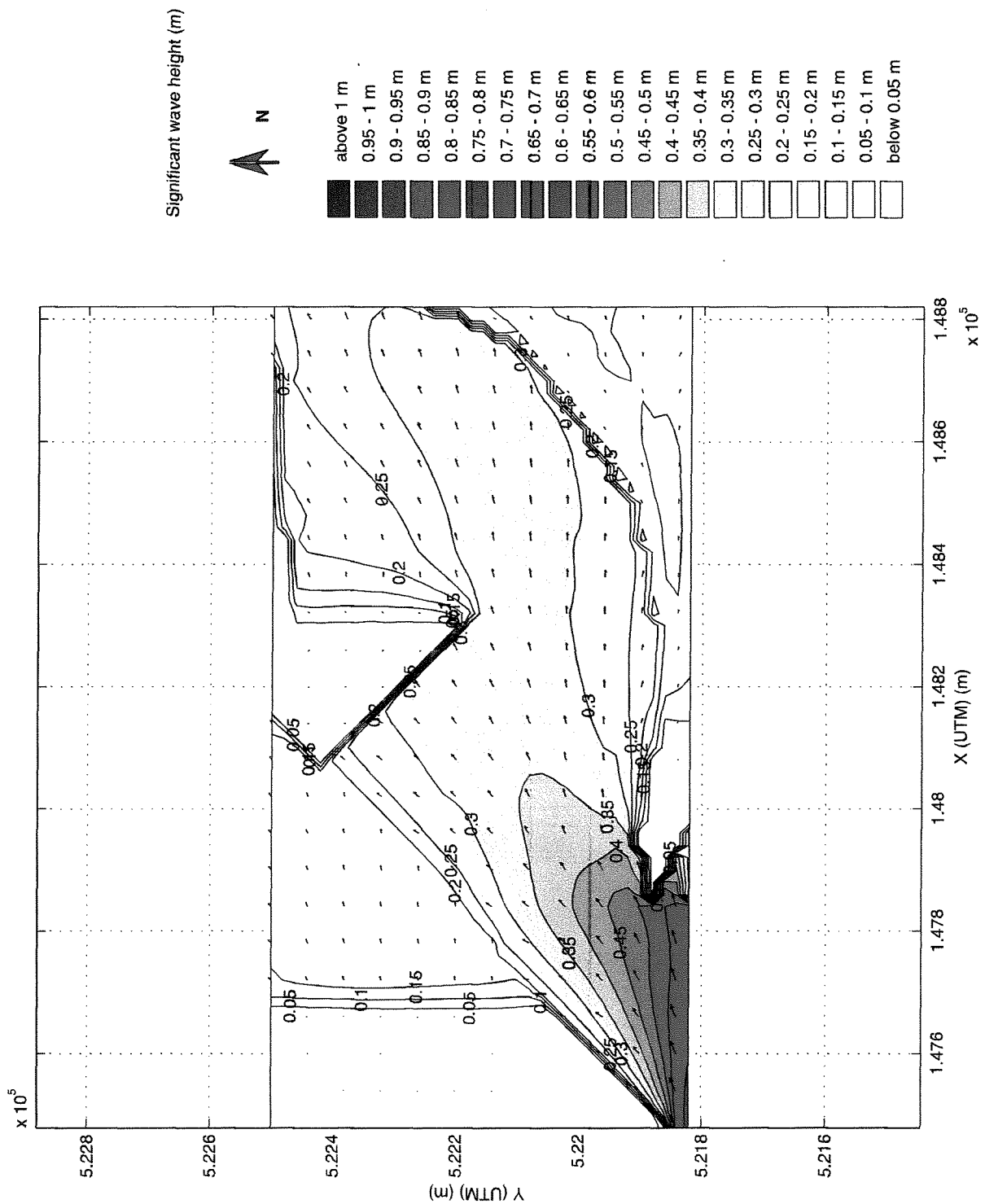
reflection SWAN40.10

breakwater C

Gc9

 Alkyon

Fig. 3.6



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 270 deg. N

Windspeed: 11 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

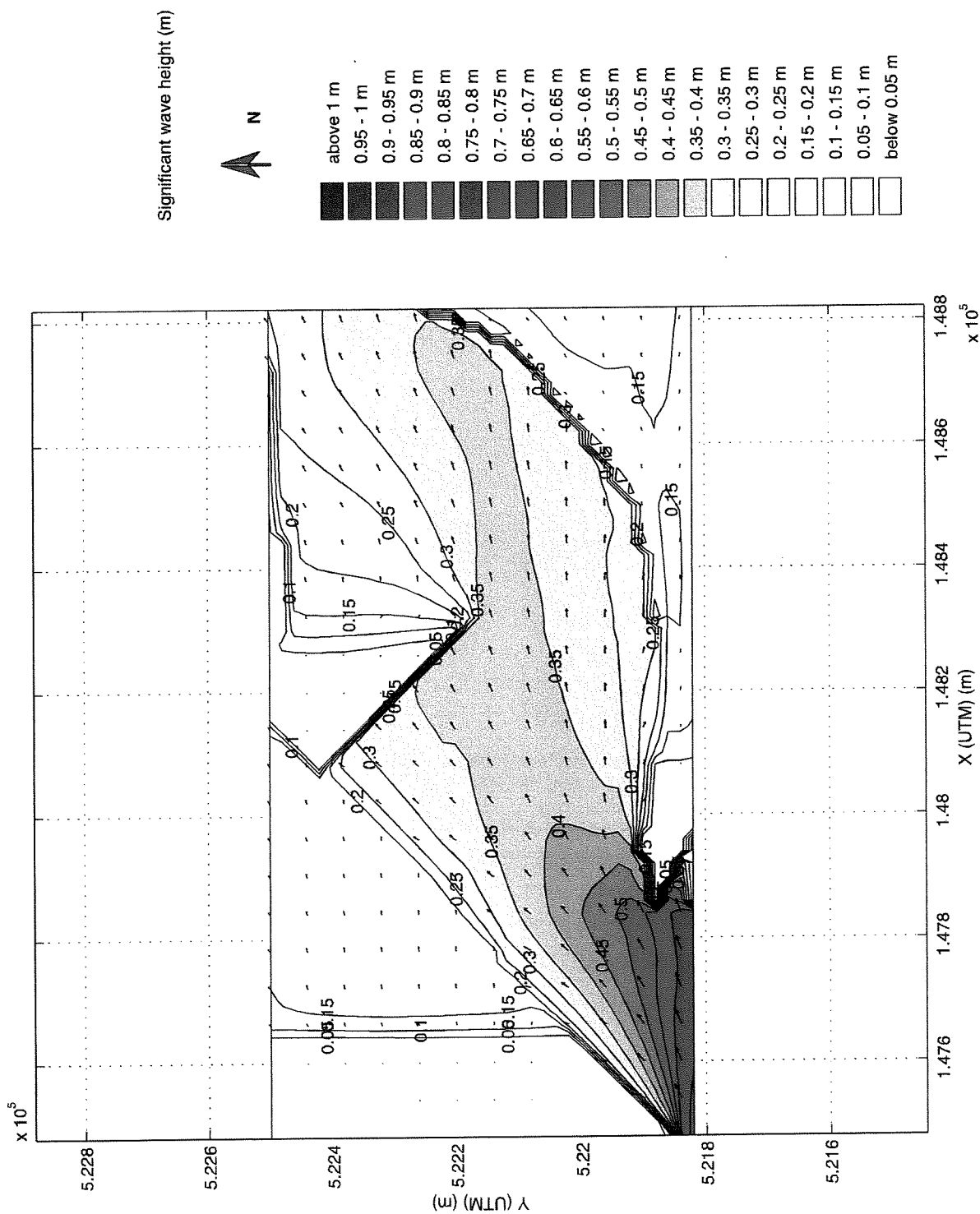
breakwater C

Gc19

Alkyon


SWAN40.10

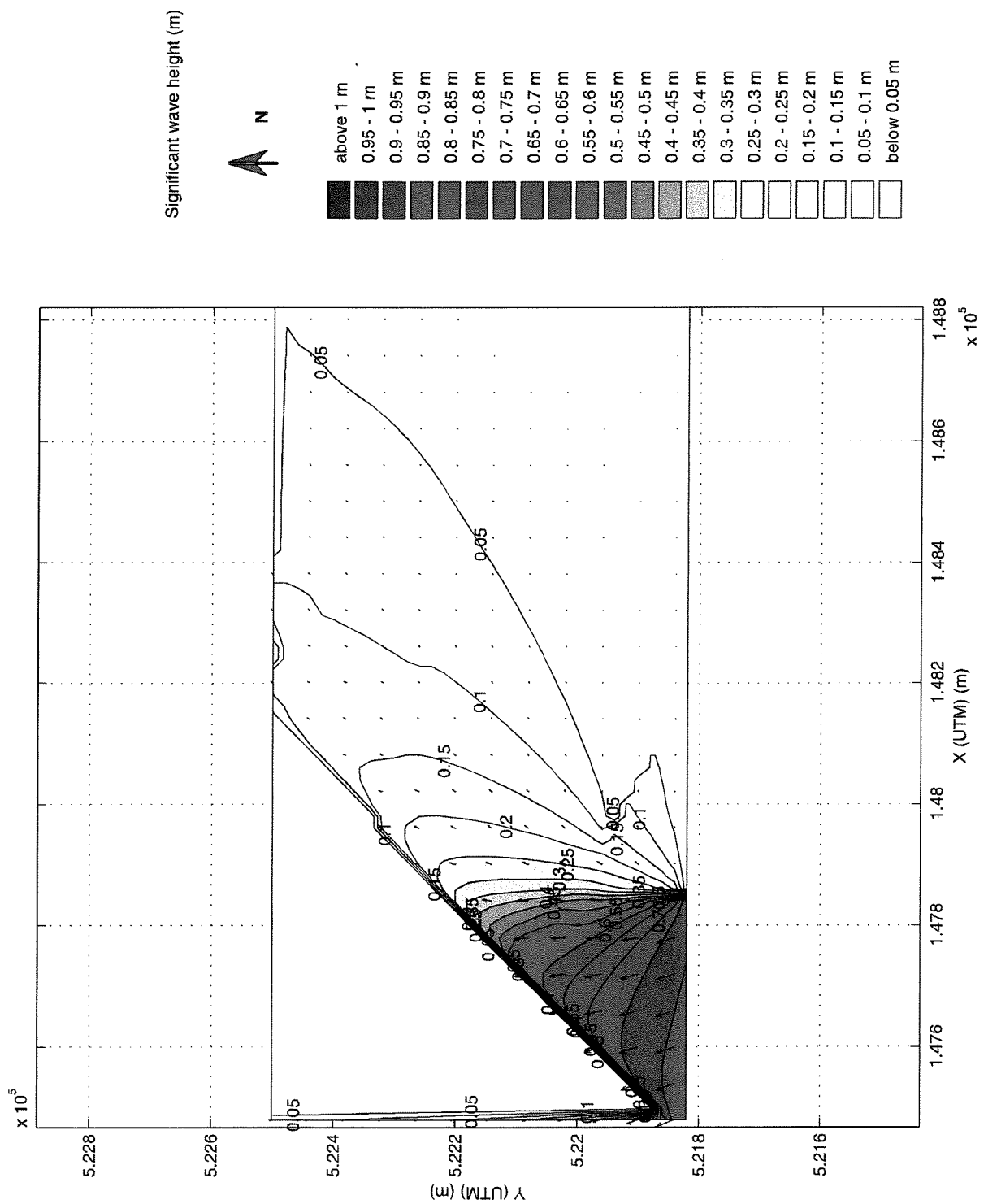
Fig. 3.7



Isolines of significant wave height (m)
 Winddirection: 270 deg. N
 Windspeed: 12 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection	SWAN40.10
breakwater C	
Gc15	
 Alkyon	Fig. 3.8



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 160 deg. N

Windspeed: 0 m/s

wl-bottom

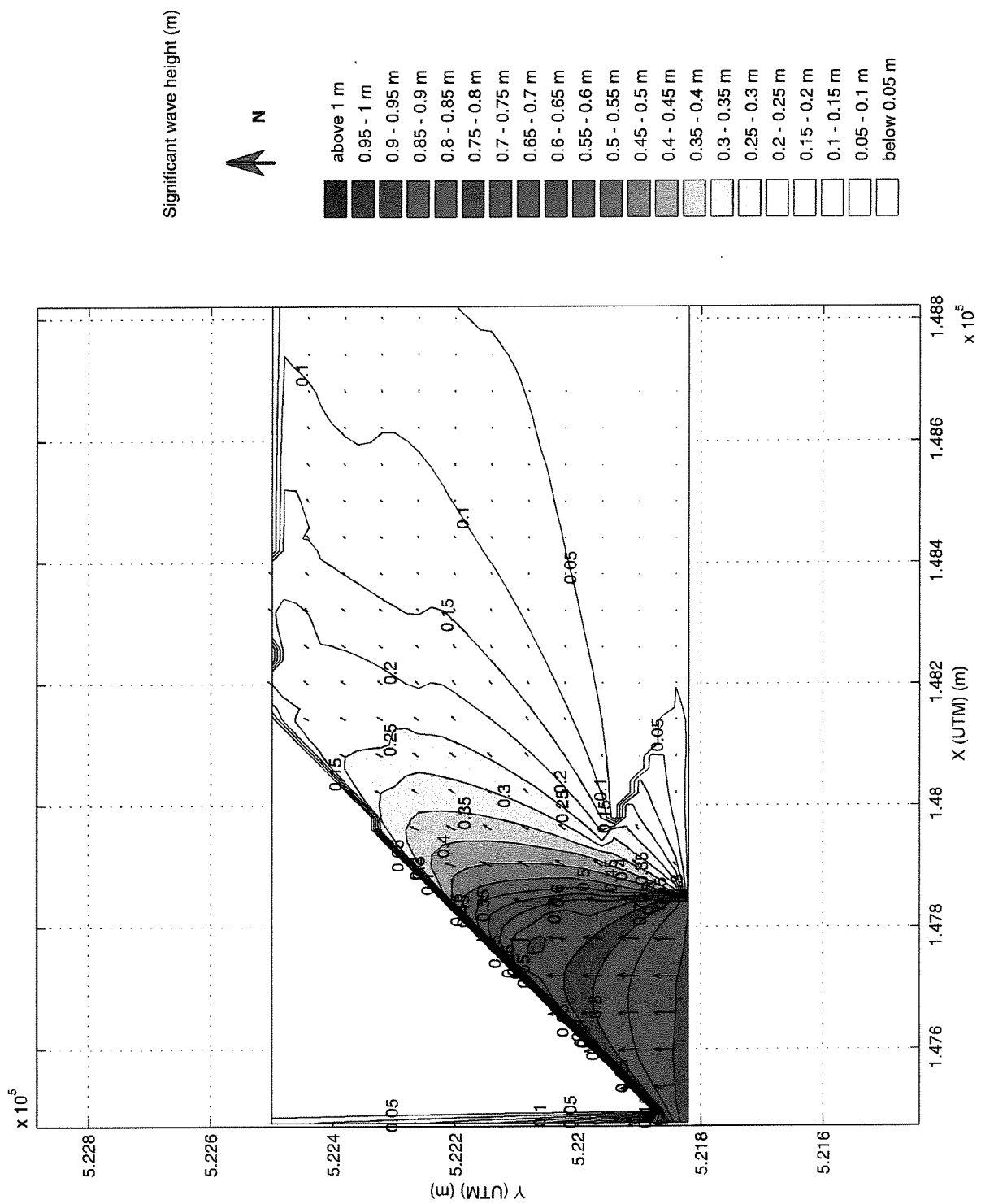
SWAN40.01

W54

Naviduct Enkhuizen

Alkyon

Fig. 3.12



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 180 deg. N

Windspeed: 0 m/s

Naviduct Enkhuizen

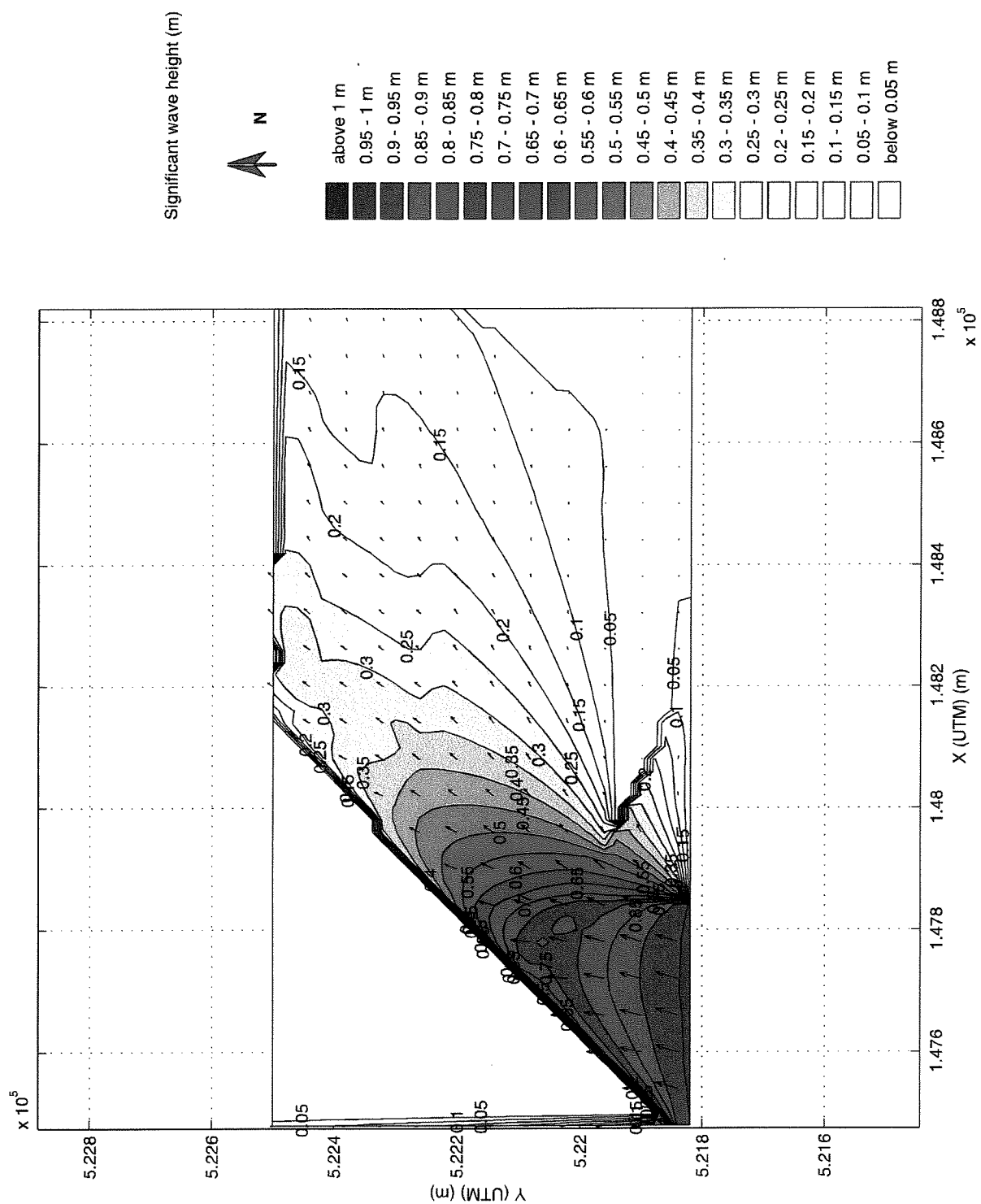
wl-bottom

SWAN40.01

W64

Alkyon

Fig. 3.22



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 200 deg. N

Windspeed: 0 m/s

wl-bottom

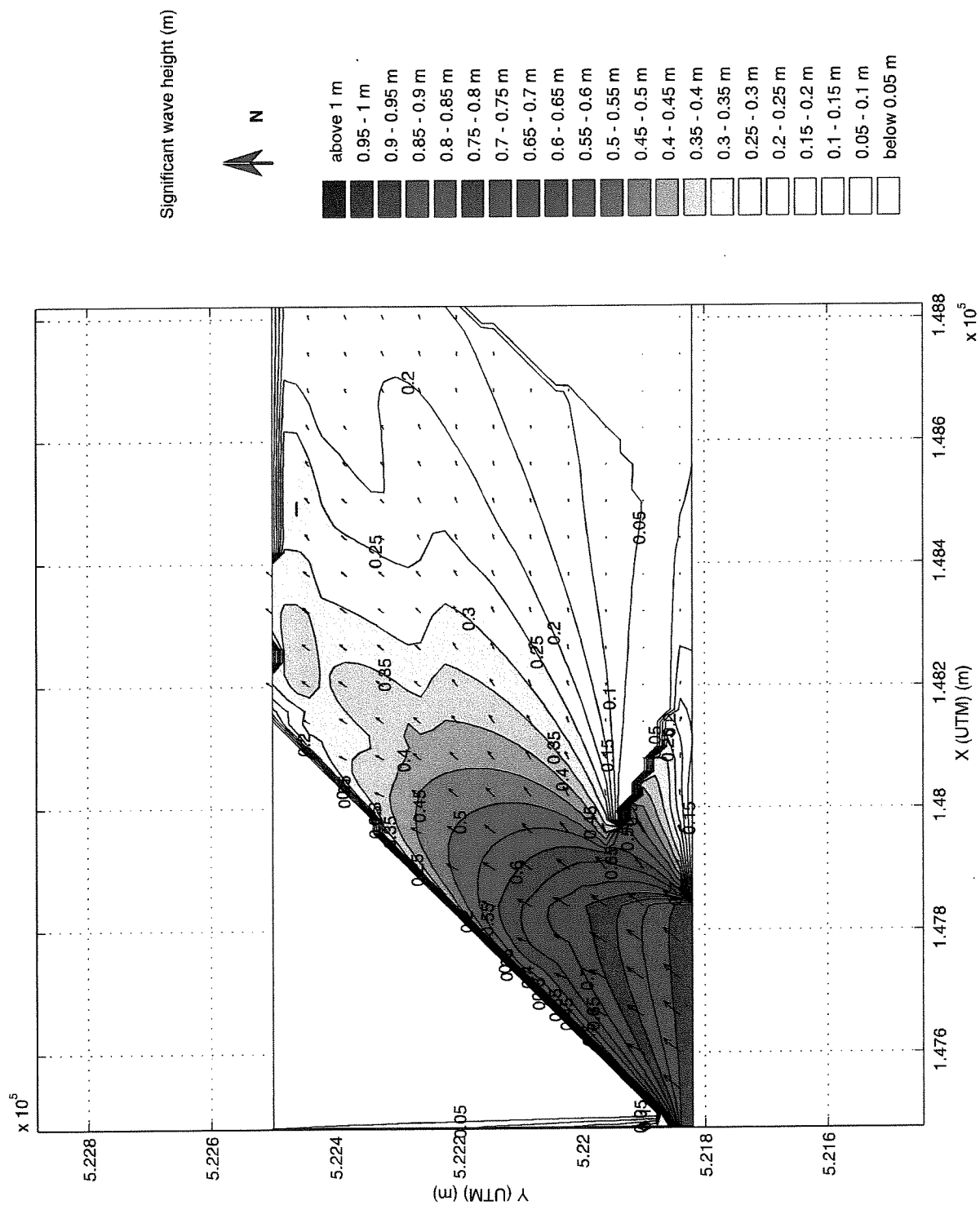
SWAN40.01

W74

Naviduct Enkhuizen

 Alkyon

Fig. 3.32




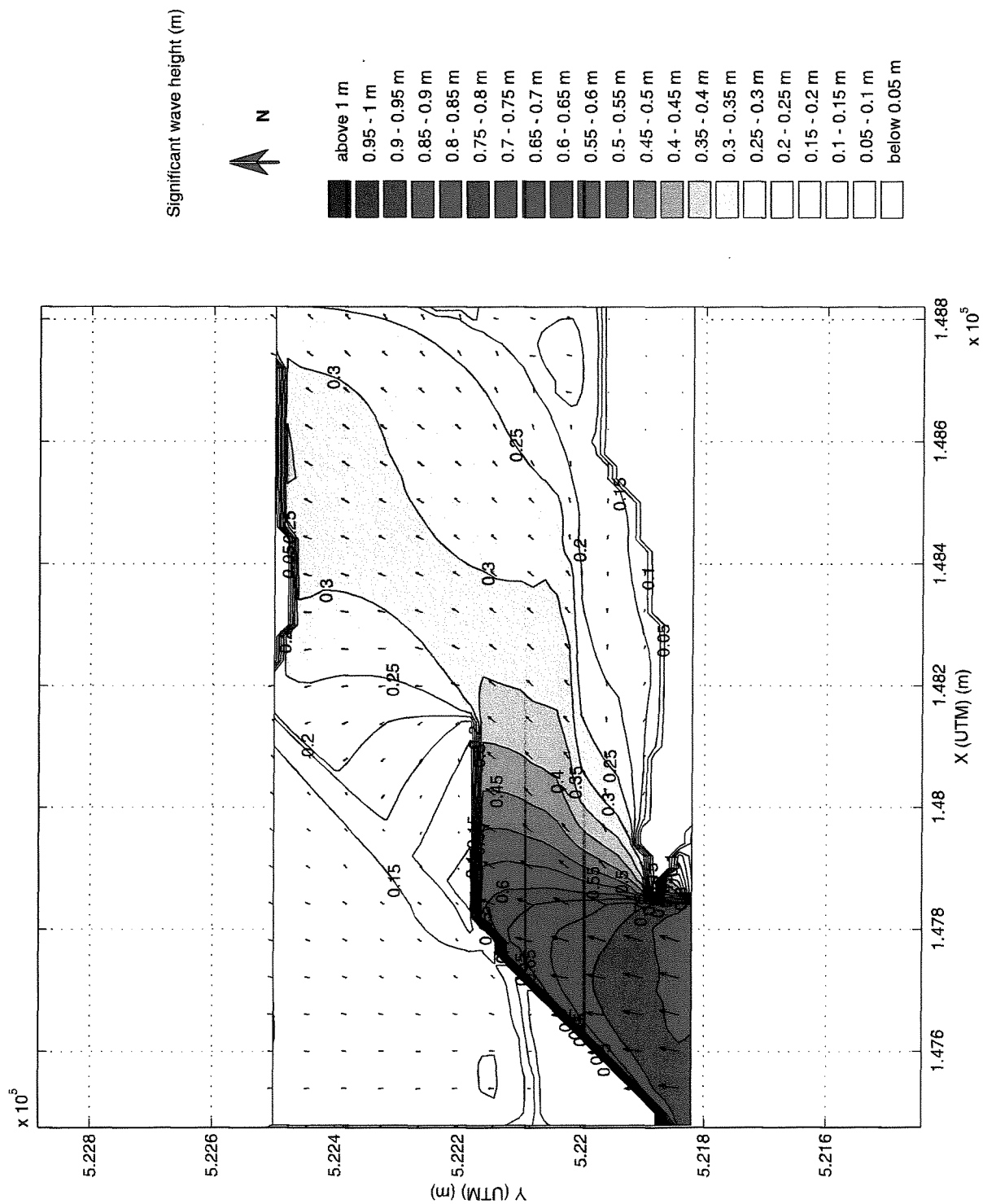
Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 220 deg. N

Windspeed: 0 m/s

Naviduct Enkhuizen

wl-bottom	SWAN40.01
W84	
 Alkyon	Fig. 3.42



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 180 deg. N

Wind speed: 13 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

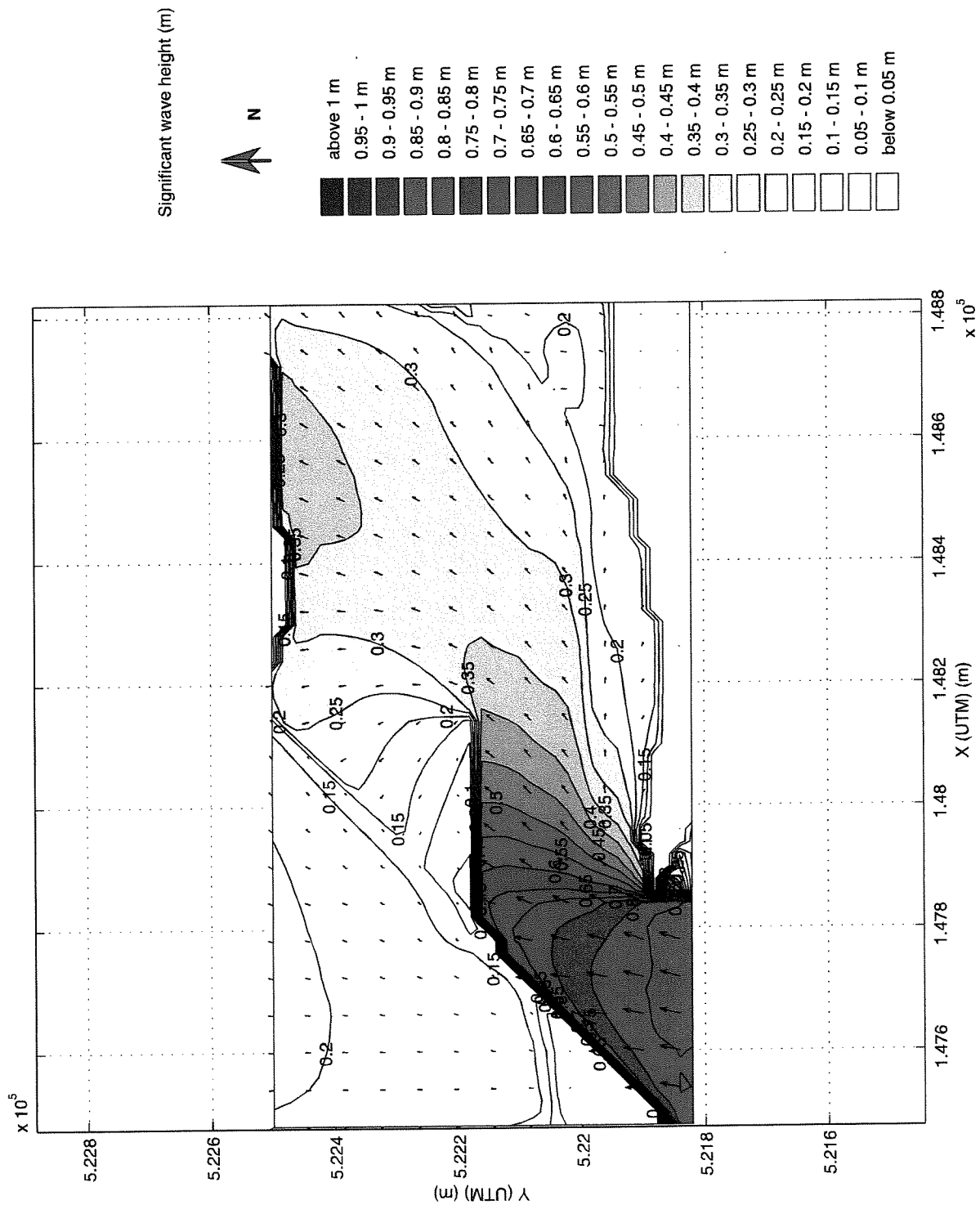
SWAN40.10

breakwater D

Gd1

 Alkyon

Fig. 4.1




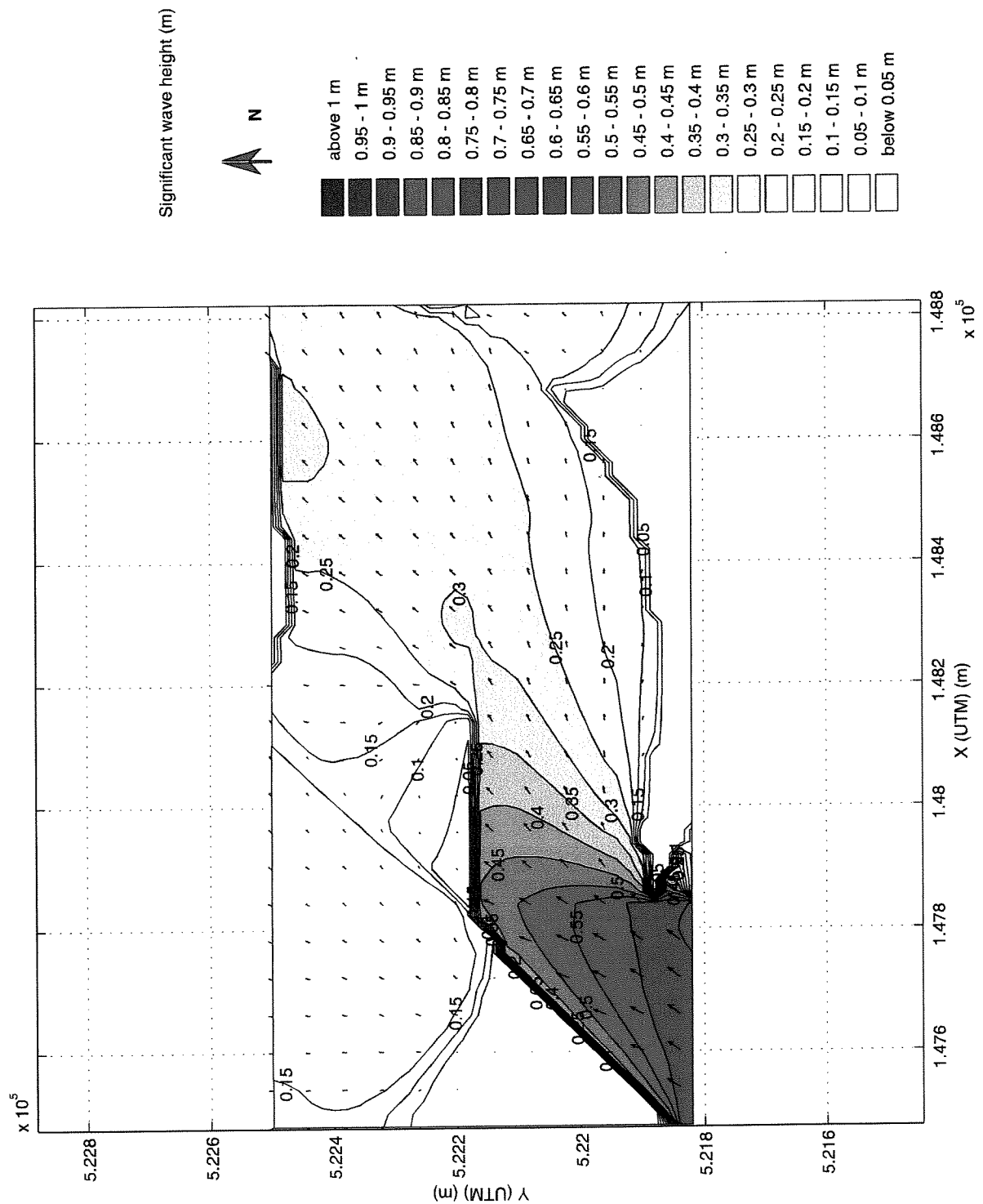
Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 180 deg. N

Windspeed: 14 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection	SWAN40.10
breakwater D	
Gd2	
 Alkyon	Fig. 4.2




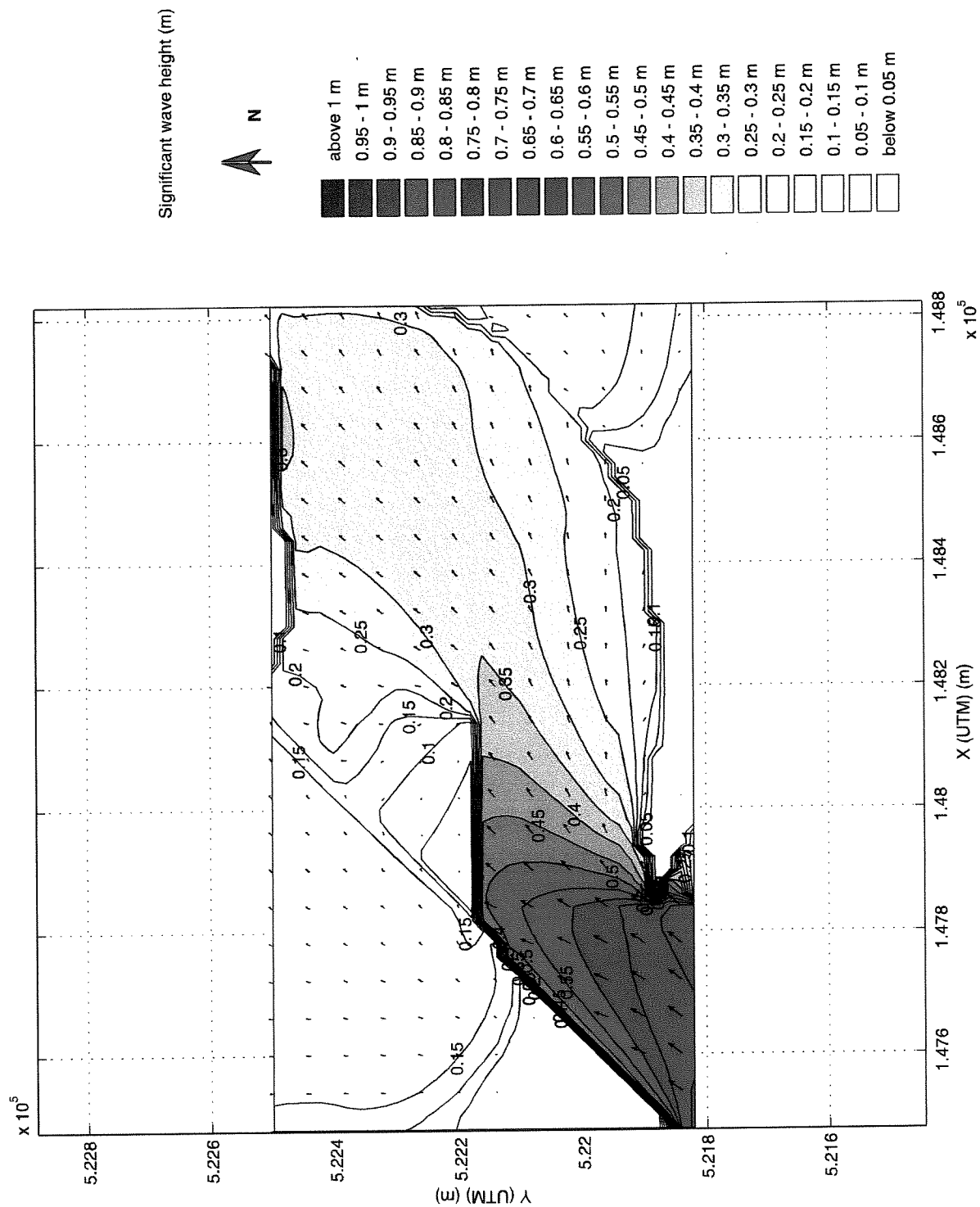
Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 210 deg. N

Windspeed: 10 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection	SWAN40.10
breakwater D	
Gd21	
 Alkyon	Fig. 4.3



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 210 deg. N

Windspeed: 11 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

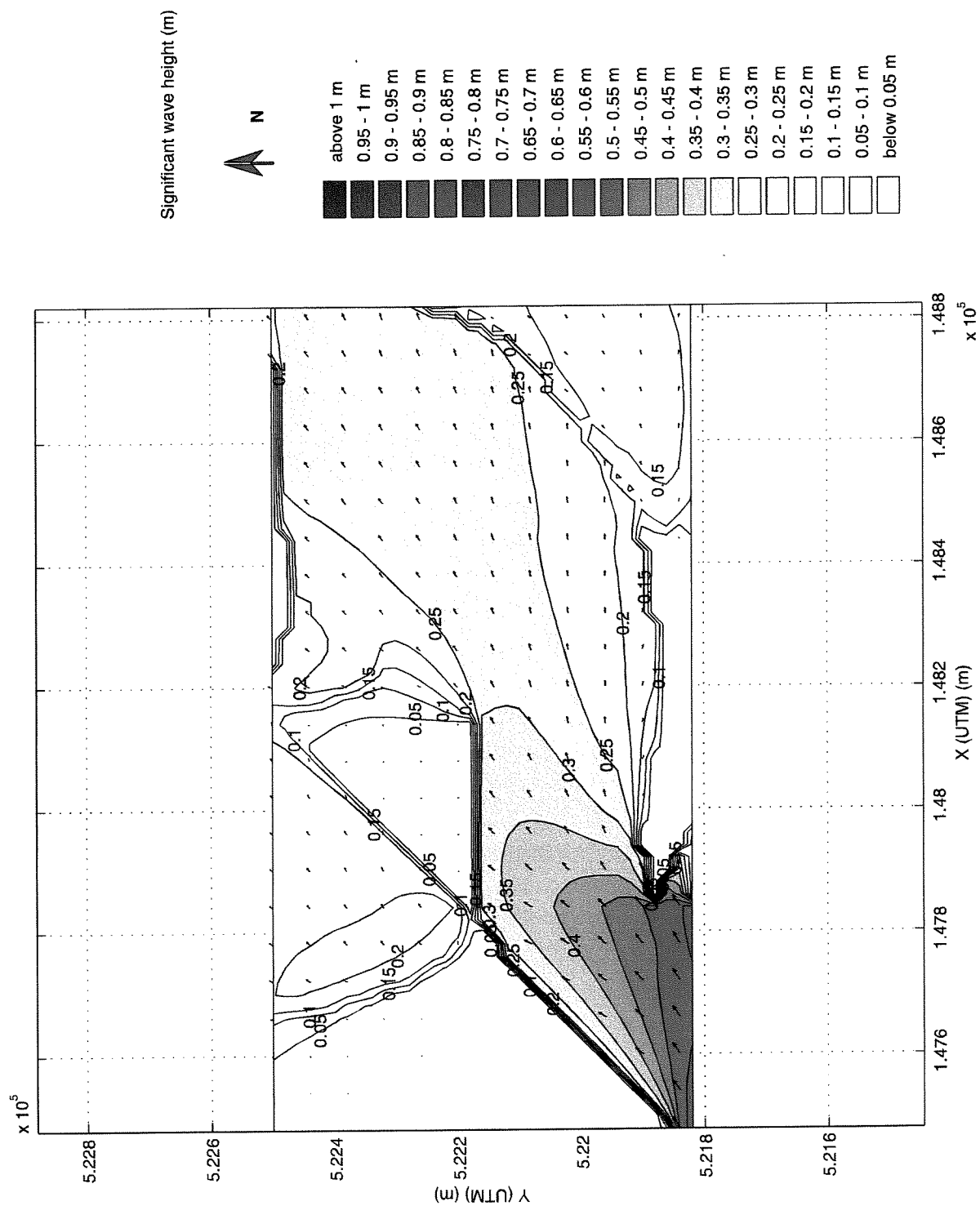
SWAN40.10

breakwater D

Gd5

Alkyon

Fig. 4.4



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 240 deg. N

Windspeed: 9 m/s

Naviduct Enkhuizen

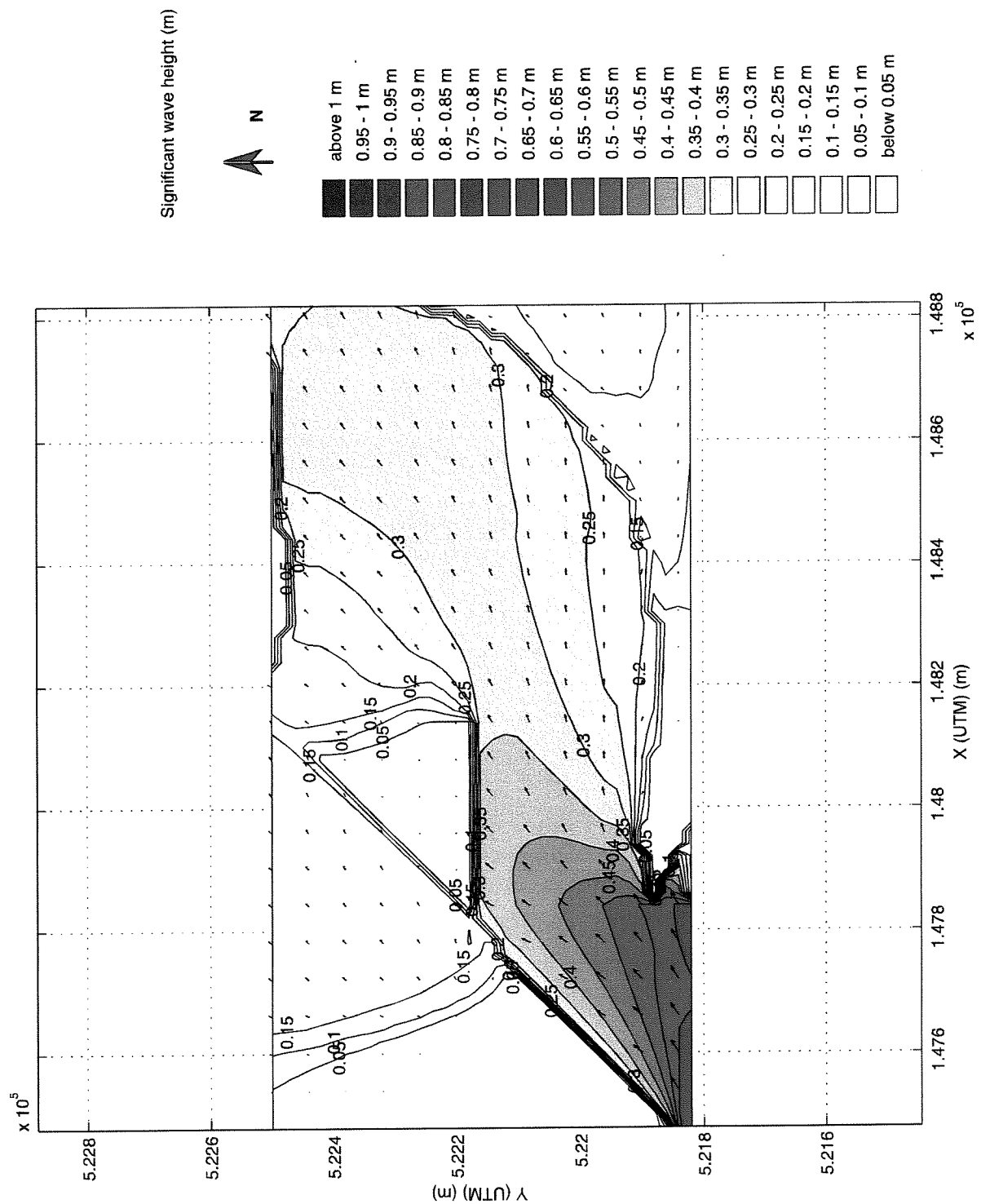
reflection SWAN40.10

breakwater D

Gd8

Alkyon

Fig. 4.5



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 240 deg. N

Windspeed: 10 m/s

Naviduct Enkhuizen

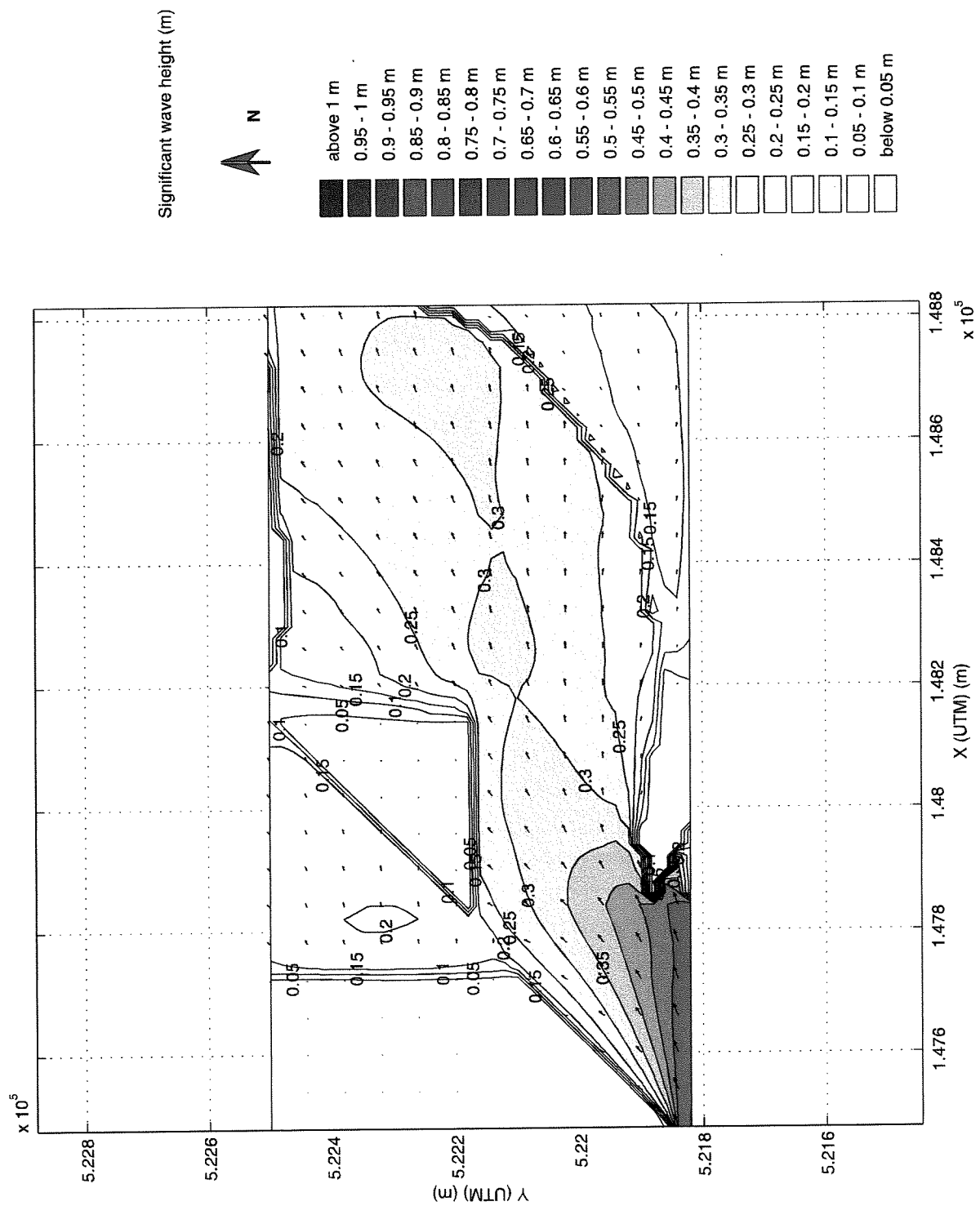
reflection SWAN40.10

breakwater D

Gd18

Alkyon

Fig. 4.6




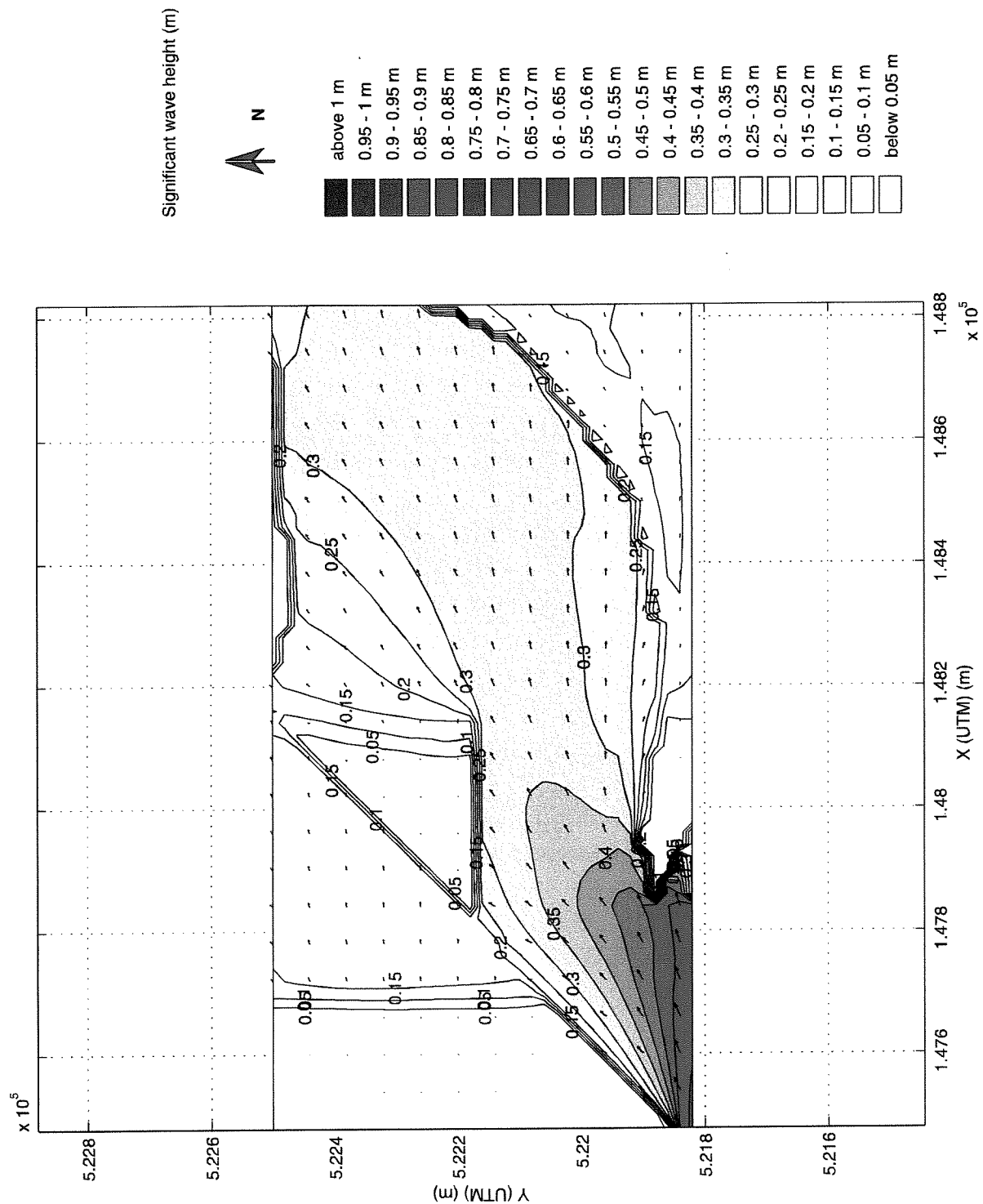
Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 270 deg. N

Windspeed: 10 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection	SWAN40.10
breakwater D	
Gd14	
 Alkyon	Fig. 4.7




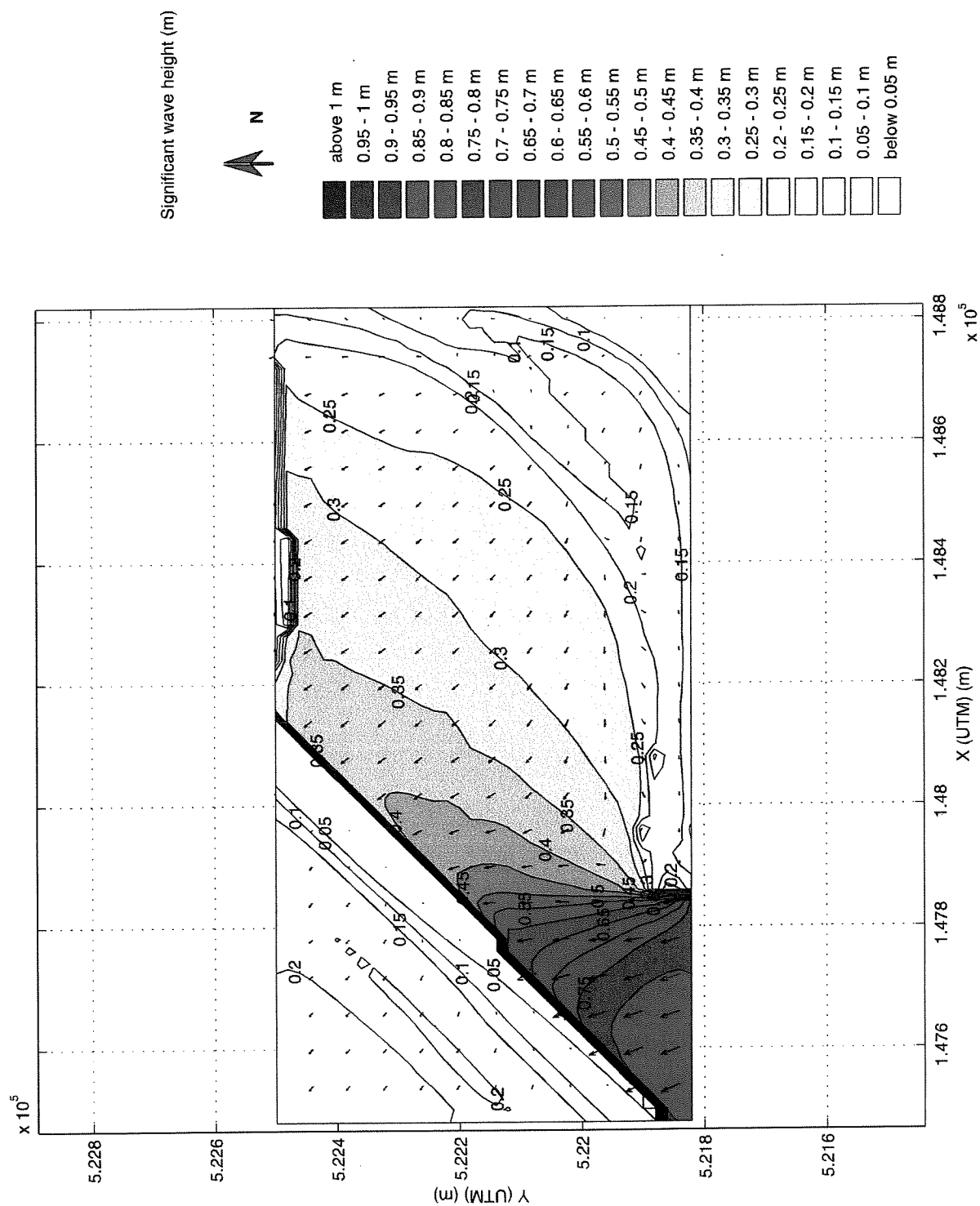
Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 270 deg. N

Windspeed: 11 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection	SWAN40.10
breakwater D	
Gd19	
 Alkyon	Fig. 4.8



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 160 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

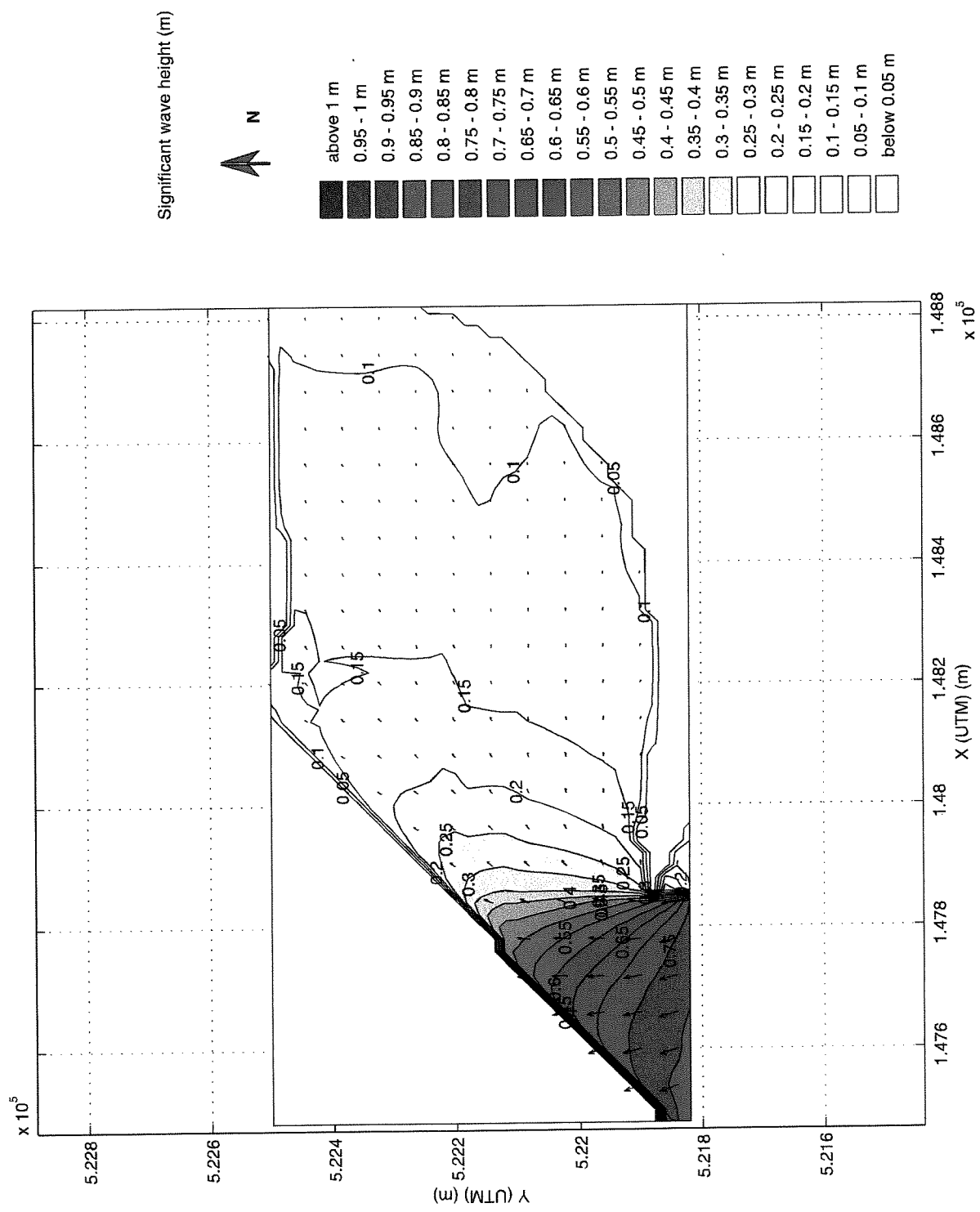
reflection

SWAN40.10

R53


Alkyon

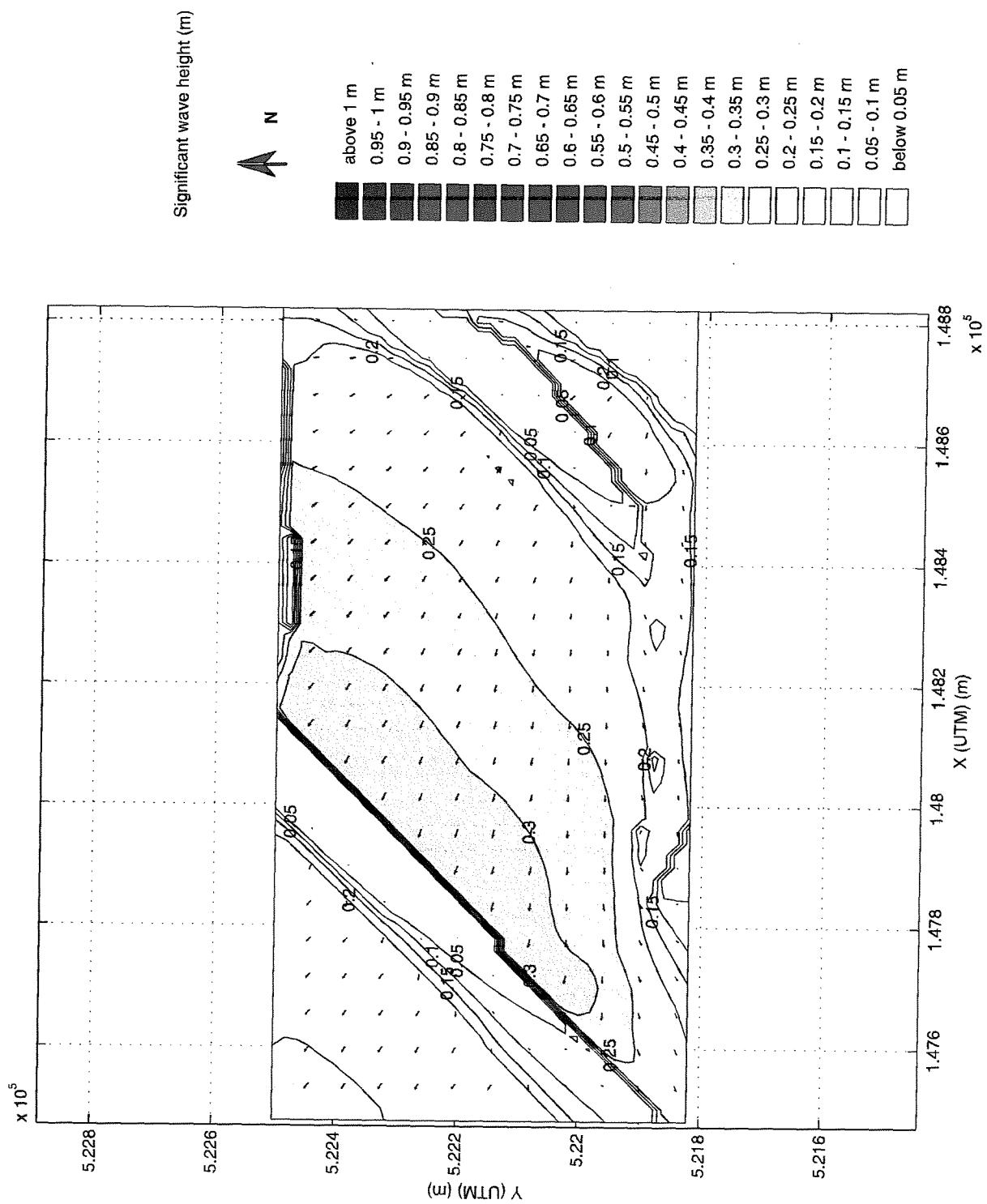
Fig. 4.11



Isolines of significant wave height (m)
 Wavedirection: 160 deg. N
 Windspeed: 0 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection	SWAN40.10
R54	
 Alkyon	Fig. 4.12



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 130 deg. N

Windspeed: 16 m/s

reflection

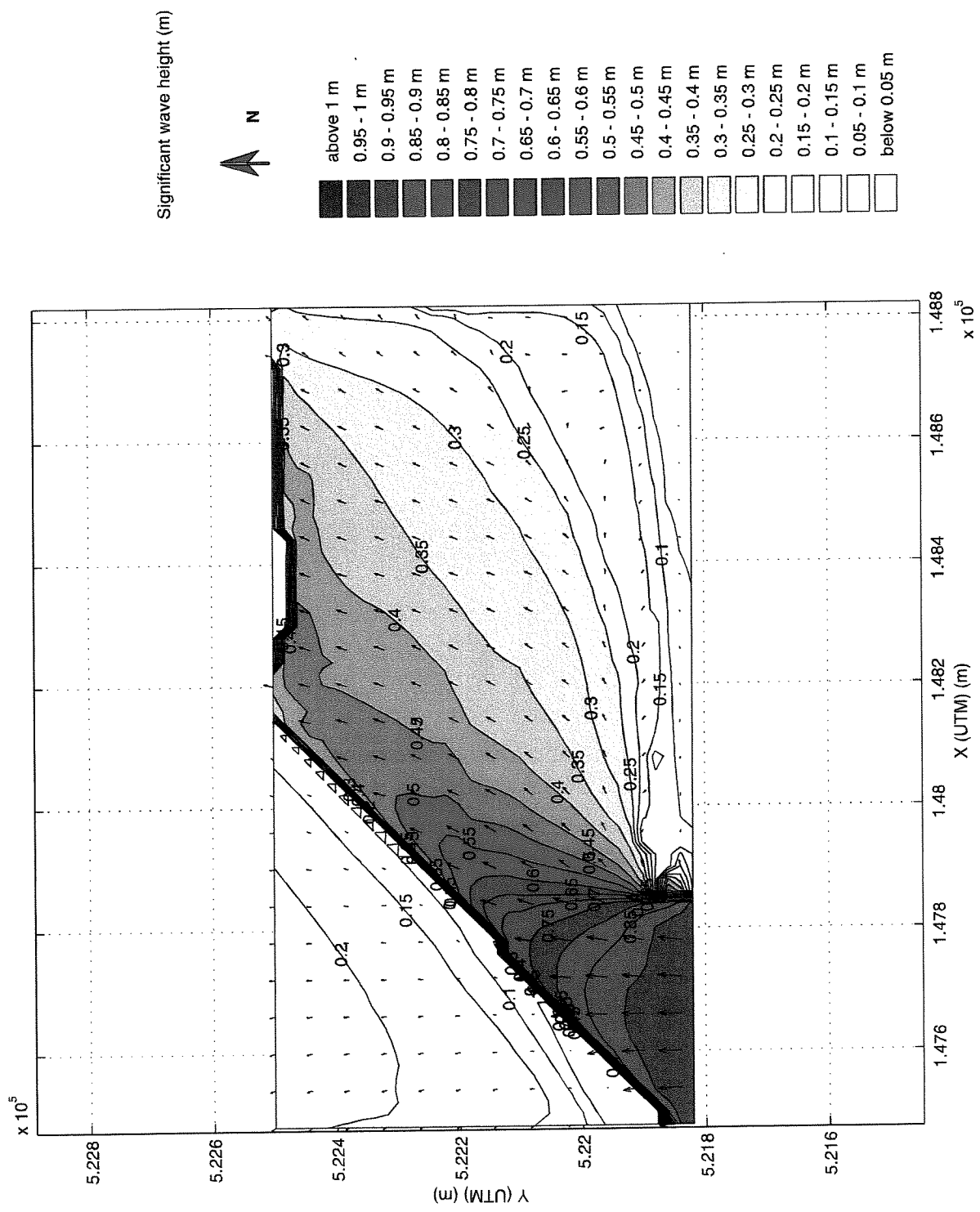
SWAN40.10

R55

Naviduct Enkhuizen


Alkyon

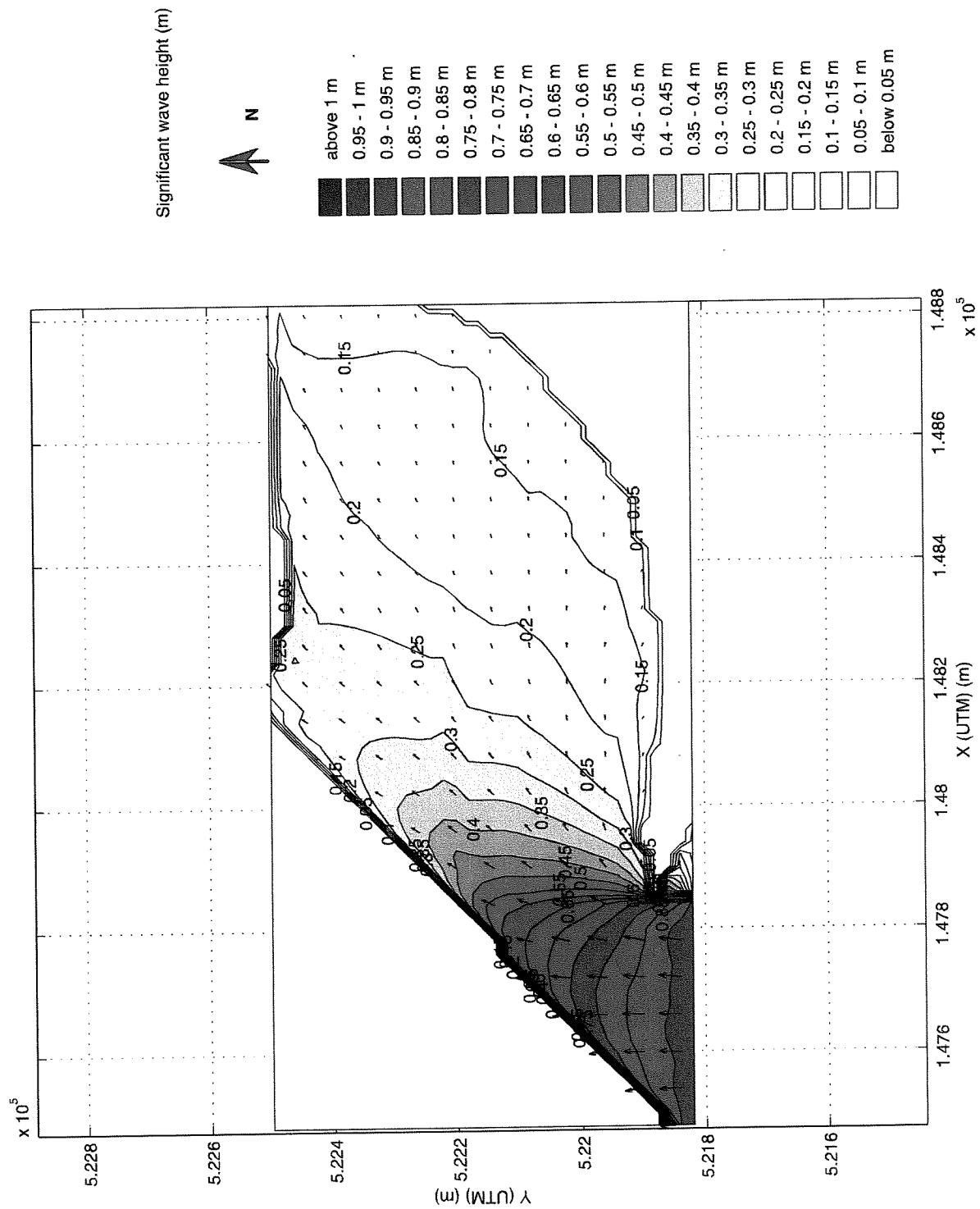
Fig. 4.13



Isolines of significant wave height (m)
 Wavedirection: 180 deg. N
 Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection	SWAN40.10
R63	
 Alkyon	Fig. 4.21



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 180 deg. N

Windspeed: 0 m/s

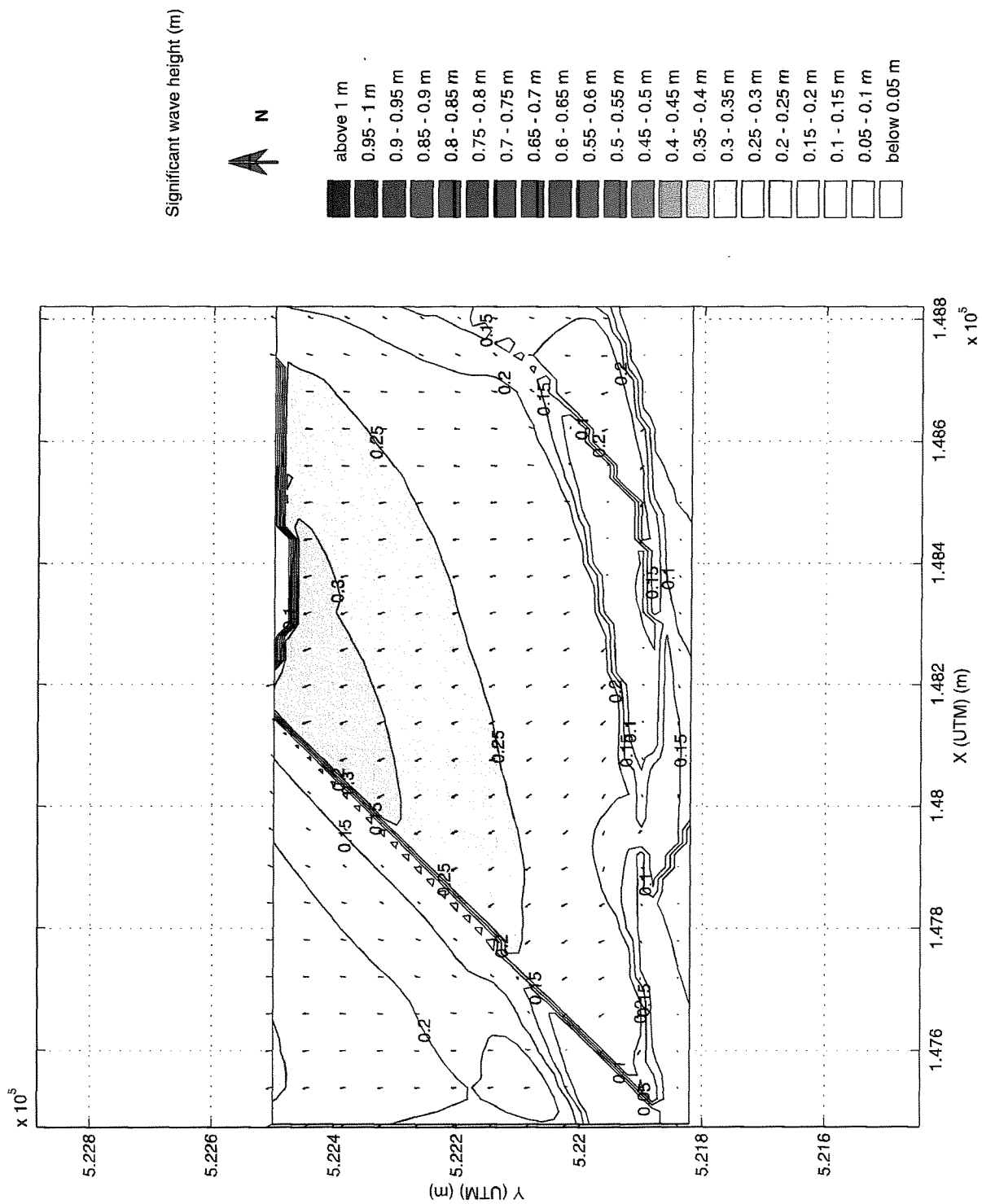
Naviduct Enkhuizen

reflection	SWAN40.10
------------	-----------

R64

 Alkyon
--

Fig. 4.22



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 160 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

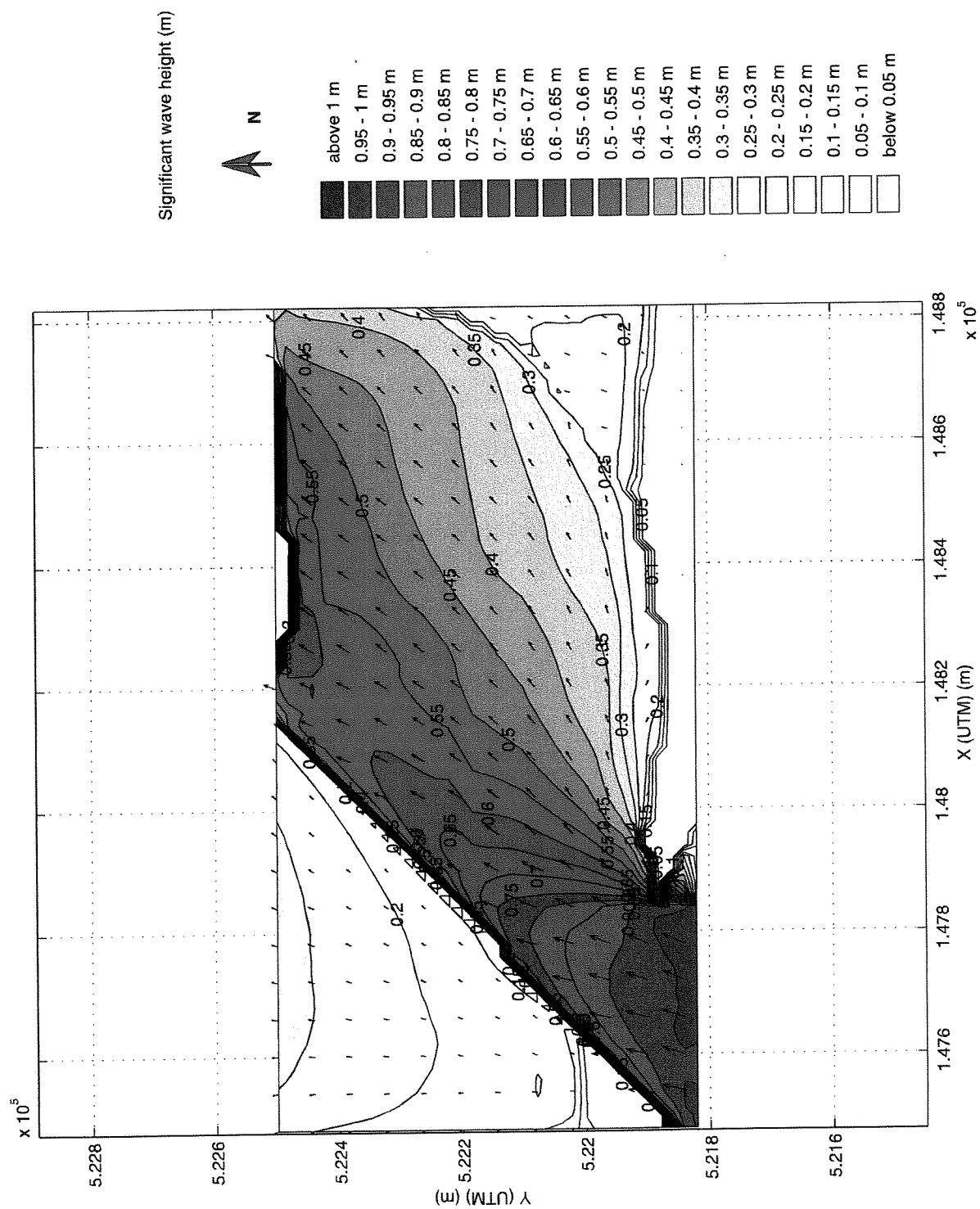
reflection

SWAN40.10

R65

 Alkyon

Fig. 4.23



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 200 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

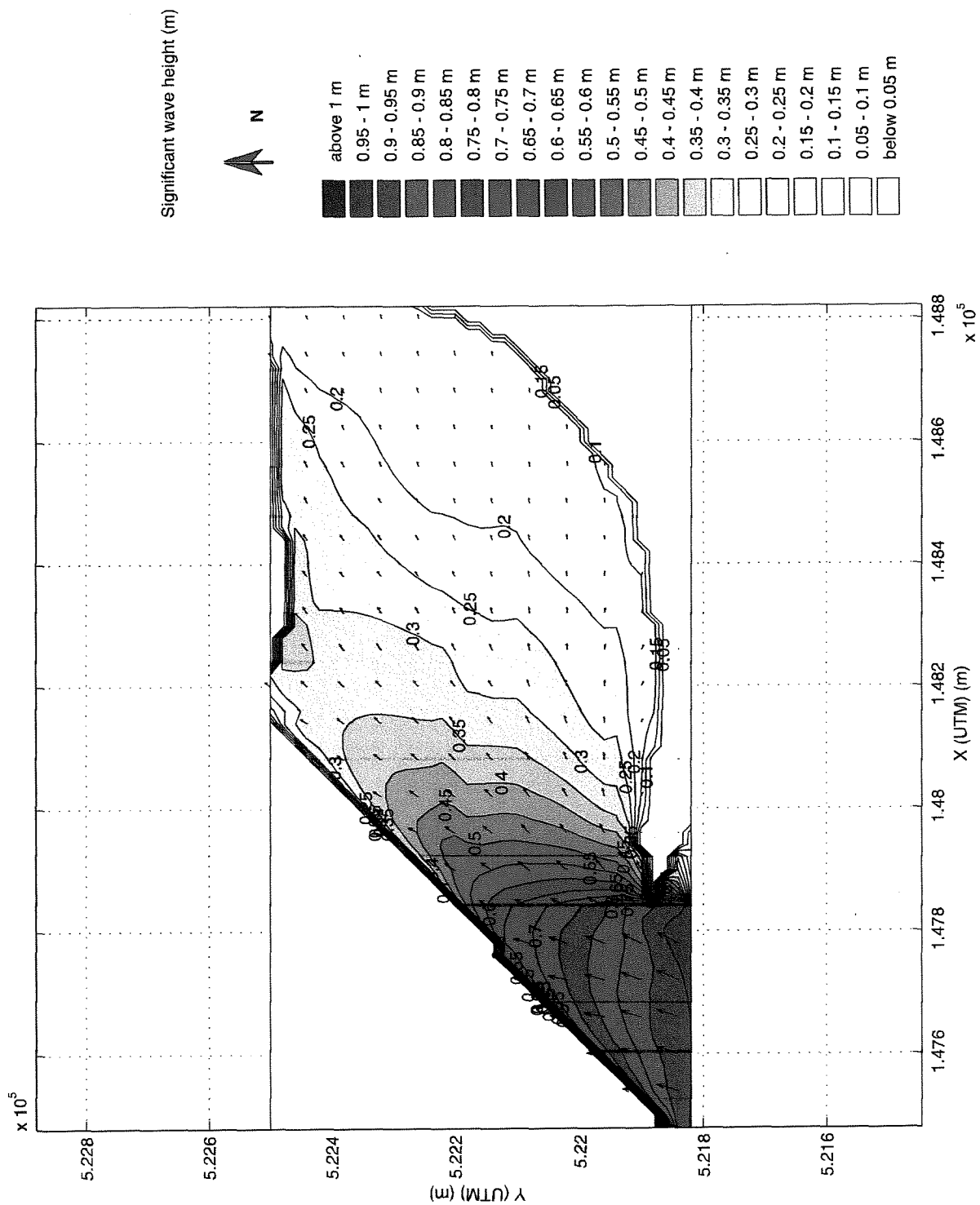
reflection

SWAN40.10

R73

Alkyon

Fig. 4.31



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 200 deg. N

Windspeed: 0 m/s

Naviduct Enkhuizen

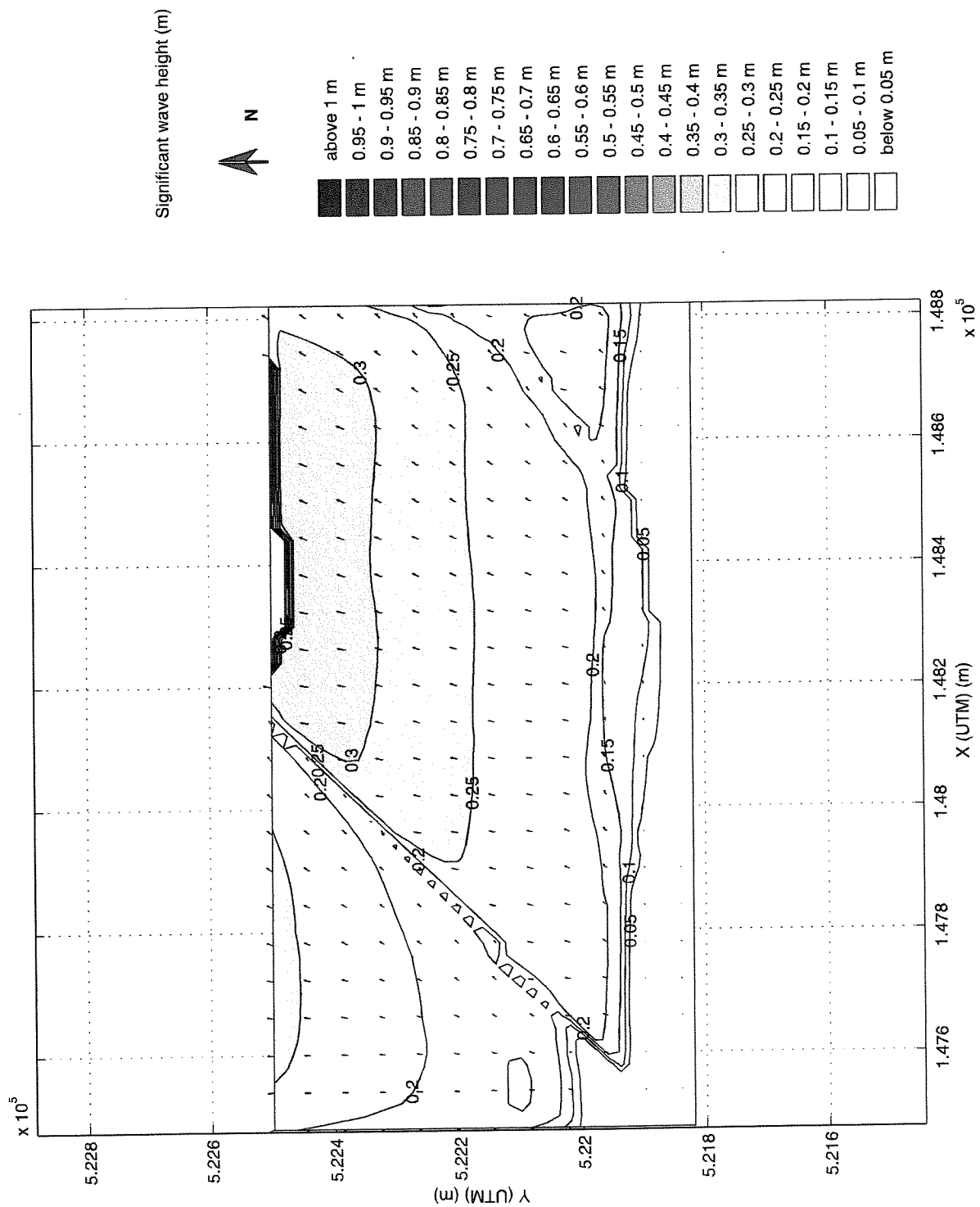
reflection

SWAN40.10

R74

Alkyon

Fig. 4.32



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 185 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

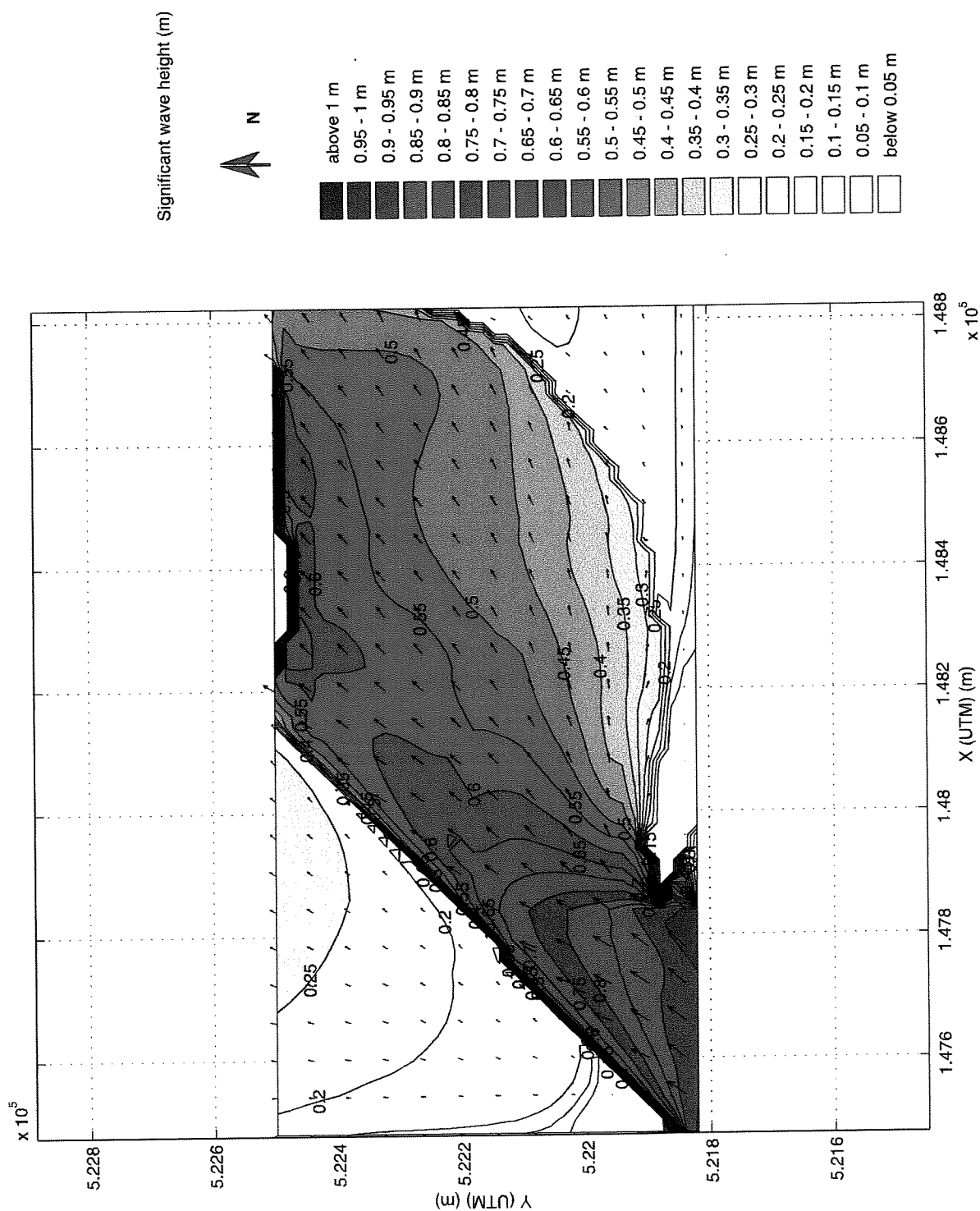
reflection

SWAN40.10

R75

Alkyon

Fig. 4.33



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 220 deg. N

Windspeed: 16 m/s

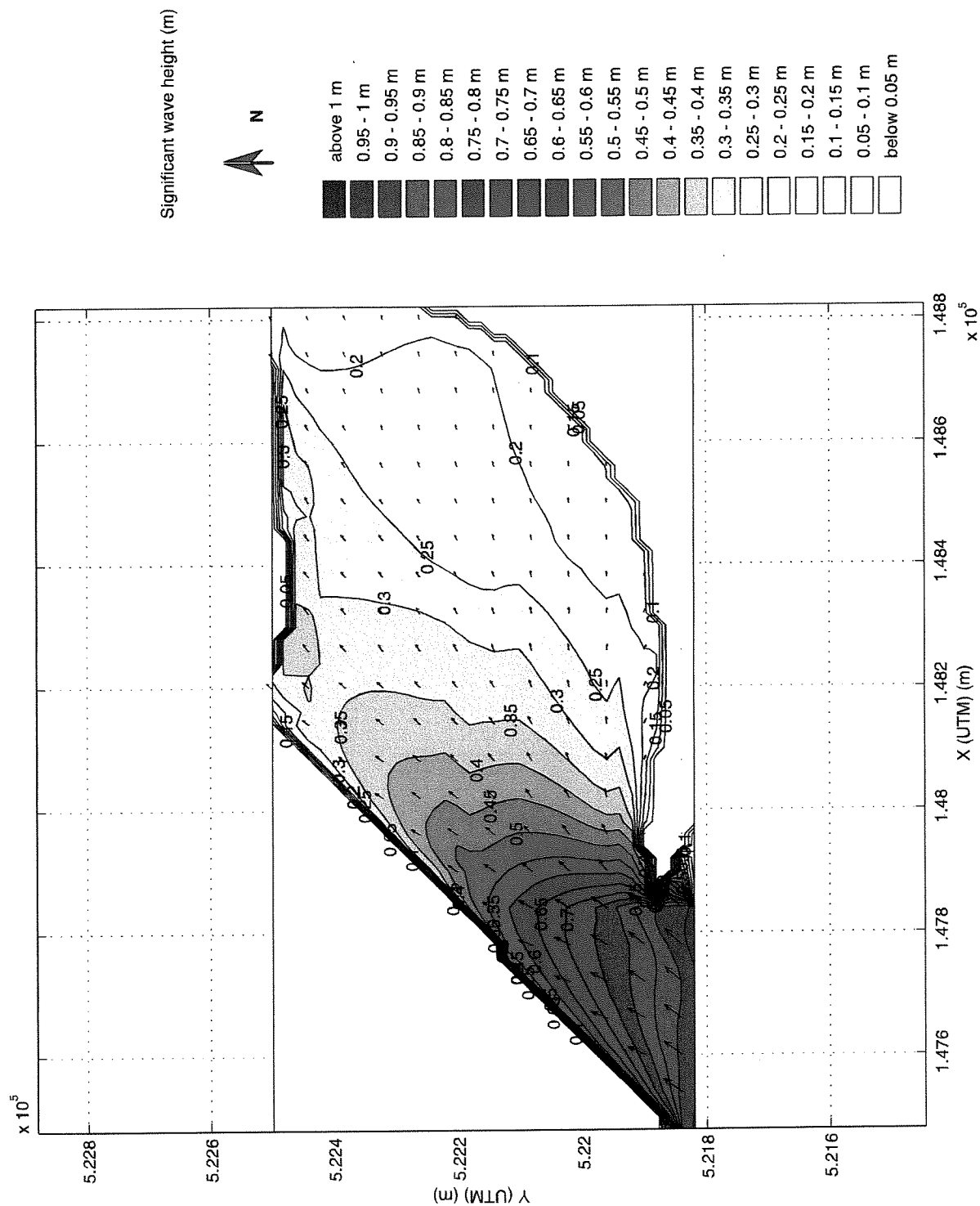
Naviduct Enkhuizen

reflection SWAN40.10

R83

Alkyon

Fig. 4.41



Isolines of significant wave height (m)

Wavedirection: 220 deg. N

Windspeed: 0 m/s

Naviduct Enkhuizen

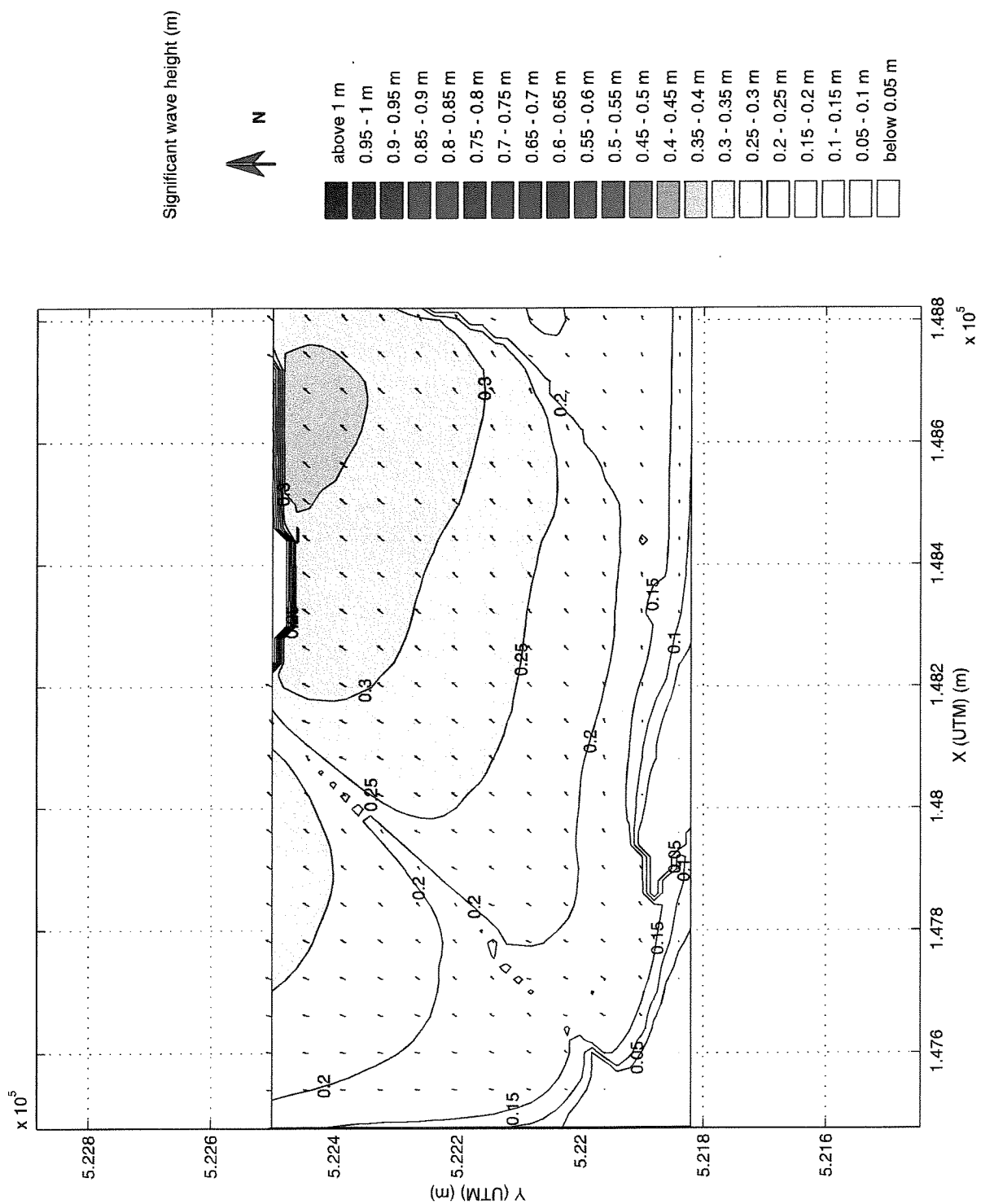
reflection

SWAN40.10

R84

 Alkyon

Fig. 4.42



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 210 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

SWAN40.10

R85

Alkyon

Fig. 4.43

Golfbreker A

Kritieke snelheden per windrichting voor recreatieschepen:

180 gr. N.	15-16 m/s	14,61-15,62
210 gr. N.	13 m/s	12,36-13,37
240 gr. N.	11 m/s	11,24-12,25
270 gr. N.	12 m/s	12,36-13,37
gebruikte windcategorie voor bepaling aantallen/percentages		

Kans op	% per jaar
15-16 m/s & 180 gr. N.	0,03
13 m/s & 210 gr. N.	0,69
11 m/s & 240 gr. N.	2,65
12 m/s & 270 gr. N.	0,93

Aantallen schepen die downtime ondervinden per windrichting
in een jaar op basis van wind- en scheepsverdeling per maand

	180 gr. N	210 gr. N	240 gr. N	270 gr. N
januari	0,1	1,9	5,6	2,3
februari	0,1	0,7	2,3	0,8
maart	0,1	6,9	35,3	10,0
april	1,5	10,3	81,0	9,6
mei	1,0	4,9	161,7	7,9
juni	0,0	1,8	101,8	6,2
juli	0,0	4,7	135,7	14,2
augustus	0,0	18,4	144,0	13,4
september	0,8	32,5	129,2	34,0
oktober	2,4	51,3	95,5	62,5
november	0,1	8,3	21,5	13,1
december	0,2	2,1	6,6	3,1
jaar	6,2	143,9	920,0	177,2

Gemiddeld totaal aantal recreatieschepen per jaar (1990-1999): 69076,3

aantal schepen dat downtime ondervindt per jaar

op basis van:	maandverdelingen
180 gr. N.	6,2
210 gr. N.	143,9
240 gr. N.	920
270 gr. N.	177,2
totaal	1247,3

percentage schepen dat downtime ondervindt per jaar

op basis van:	maandverdelingen
180 gr. N.	0,009
210 gr. N.	0,208
240 gr. N.	1,332
270 gr. N.	0,257
totaal	1,806

Golfbreker B

Kritieke snelheden per windrichting voor recreatieschepen:

180 gr. N.	15 m/s	14,61-15,62
210 gr. N.	12 m/s	12,36-13,37
240 gr. N.	11 m/s	10,11-11,12
270 gr. N.	11-12 m/s	11,24-12,25
gebruikte windcategorie voor bepaling aantallen/percentages		

Kans op	% per jaar
15 m/s & 180 gr. N.	0,03
12 m/s & 210 gr. N.	0,69
11 m/s & 240 gr. N.	3,43
11-12 m/s & 270 gr. N.	1,37

Aantallen schepen die downtime ondervinden per windrichting
in een jaar op basis van wind- en scheepsverdeling per maand

	180 gr. N	210 gr. N	240 gr. N	270 gr. N
januari	0,1	1,9	6,5	3,2
februari	0,1	0,7	2,8	1,1
maart	0,1	6,9	40,7	15,2
april	1,5	10,3	100,9	19,9
mei	1,0	4,9	247,5	20,7
juni	0,0	1,8	165,5	16,8
juli	0,0	4,7	269,8	45,7
augustus	0,0	18,4	257,8	55,2
september	0,8	32,5	211,2	73,5
oktober	2,4	51,3	130,7	81,4
november	0,1	8,3	25,6	18,1
december	0,2	2,1	8,0	4,1
jaar	6,2	143,9	1466,9	355,0

Gemiddeld totaal aantal recreatieschepen per jaar (1990-1999): 69076,3

aantal schepen dat downtime ondervindt per jaar
op basis van: maandverdelingen

180 gr. N.	6,2
210 gr. N.	143,9
240 gr. N.	1466,9
270 gr. N.	335
totaal	1952

percentage schepen dat downtime ondervindt per jaar
op basis van: maandverdelingen

180 gr. N.	0,009
210 gr. N.	0,208
240 gr. N.	2,124
270 gr. N.	0,485
totaal	2,826

Golfbreker C

Kritieke snelheden per windrichting voor recreatieschepen:

180 gr. N.	15 m/s	14,61-15,62
210 gr. N.	12 m/s	12,36-13,37
240 gr. N.	11 m/s	10,11-11,12
270 gr. N.	11-12 m/s	11,24-12,25
gebruikte windcategorie voor bepaling aantallen/percentages		

Kans op	% per jaar
15 m/s & 180 gr. N.	0,03
12 m/s & 210 gr. N.	0,69
11 m/s & 240 gr. N.	3,43
11-12 m/s & 270 gr. N.	1,37

Aantallen schepen die downtime ondervinden per windrichting
in een jaar op basis van wind- en scheepsverdeling per maand

jaar	180 gr. N	210 gr. N	240 gr. N	270 gr. N
januari	0,1	1,9	6,5	3,2
februari	0,1	0,7	2,8	1,1
maart	0,1	6,9	40,7	15,2
april	1,5	10,3	100,9	19,9
mei	1,0	4,9	247,5	20,7
juni	0,0	1,8	165,5	16,8
juli	0,0	4,7	269,8	45,7
augustus	0,0	18,4	257,8	55,2
september	0,8	32,5	211,2	73,5
oktober	2,4	51,3	130,7	81,4
november	0,1	8,3	25,6	18,1
december	0,2	2,1	8,0	4,1
jaar	6,2	143,9	1466,9	355,0

Gemiddeld totaal aantal recreatieschepen per jaar (1990-1999): 69076,3

aantal schepen dat downtime ondervindt per jaar
op basis van: maandverdelingen

180 gr. N.	6,2
210 gr. N.	143,9
240 gr. N.	1466,9
270 gr. N.	335
totaal	1952

percentage schepen dat downtime ondervindt per jaar
op basis van: maandverdelingen

180 gr. N.	0,009
210 gr. N.	0,208
240 gr. N.	2,124
270 gr. N.	0,485
totaal	2,826

Golfbreker D

Kritieke snelheden per windrichting voor recreatieschepen:

180 gr. N.	14 m/s	13,48-14,49
210 gr. N.	11 m/s	11,24-12,25
240 gr. N.	10 m/s	10,11-11,12
270 gr. N.	10-11 m/s	10,11-11,12
gebruikte windcategorie voor bepaling aantallen/percentages		

Kans op	% per jaar
14 m/s & 180 gr. N.	0,09
11 m/s & 210 gr. N.	1,15
10 m/s & 240 gr. N.	3,43
10-11 m/s & 270 gr. N.	1,85

Aantallen schepen die downtime ondervinden per windrichting in een jaar op basis van wind- en scheepsverdeling per maand

jaar	180 gr. N	210 gr. N	240 gr. N	270 gr. N
januari	0,2	2,8	6,5	3,9
februari	0,1	1,0	2,8	1,4
maart	0,6	10,4	40,7	19,2
april	5,5	20,6	100,9	32,0
mei	1,0	17,7	247,5	46,3
juni	0,0	14,2	165,5	45,1
juli	0,0	12,6	269,8	116,7
augustus	1,7	55,2	257,8	118,9
september	2,3	65,7	211,2	123,0
oktober	4,7	77,1	130,7	108,6
november	0,7	15,0	25,6	21,9
december	0,4	3,8	8,0	5,0
jaar	17,2	296,1	1466,9	642,2

Gemiddeld totaal aantal recreatieschepen per jaar (1990-1999): 69076,3

aantal schepen dat downtime ondervindt per jaar

op basis van:	maandverdelingen
180 gr. N.	17,2
210 gr. N.	296,1
240 gr. N.	1466,9
270 gr. N.	642,2
totaal	2422,4

percentage schepen dat downtime ondervindt per jaar

op basis van:	maandverdelingen
180 gr. N.	0,025
210 gr. N.	0,429
240 gr. N.	2,124
270 gr. N.	0,930
totaal	3,507

Samenvatting downtime recreatievaart

Percentages op basis van:	Oorspronkelijk ontwerp maandverdelingen	Golfbreker A maandverdelingen	Golfbreker B maandverdelingen	Golfbreker C maandverdelingen	Golfbreker D maandverdelingen
180 gr. N.	0,069	0,009	0,009	0,009	0,025
210 gr. N.	0,748	0,208	0,208	0,208	0,429
240 gr. N.	3,385	1,332	2,124	2,124	2,124
270 gr. N.	0,930	0,257	0,485	0,485	0,930
Totaal	5,132	1,806	2,826	2,826	3,507

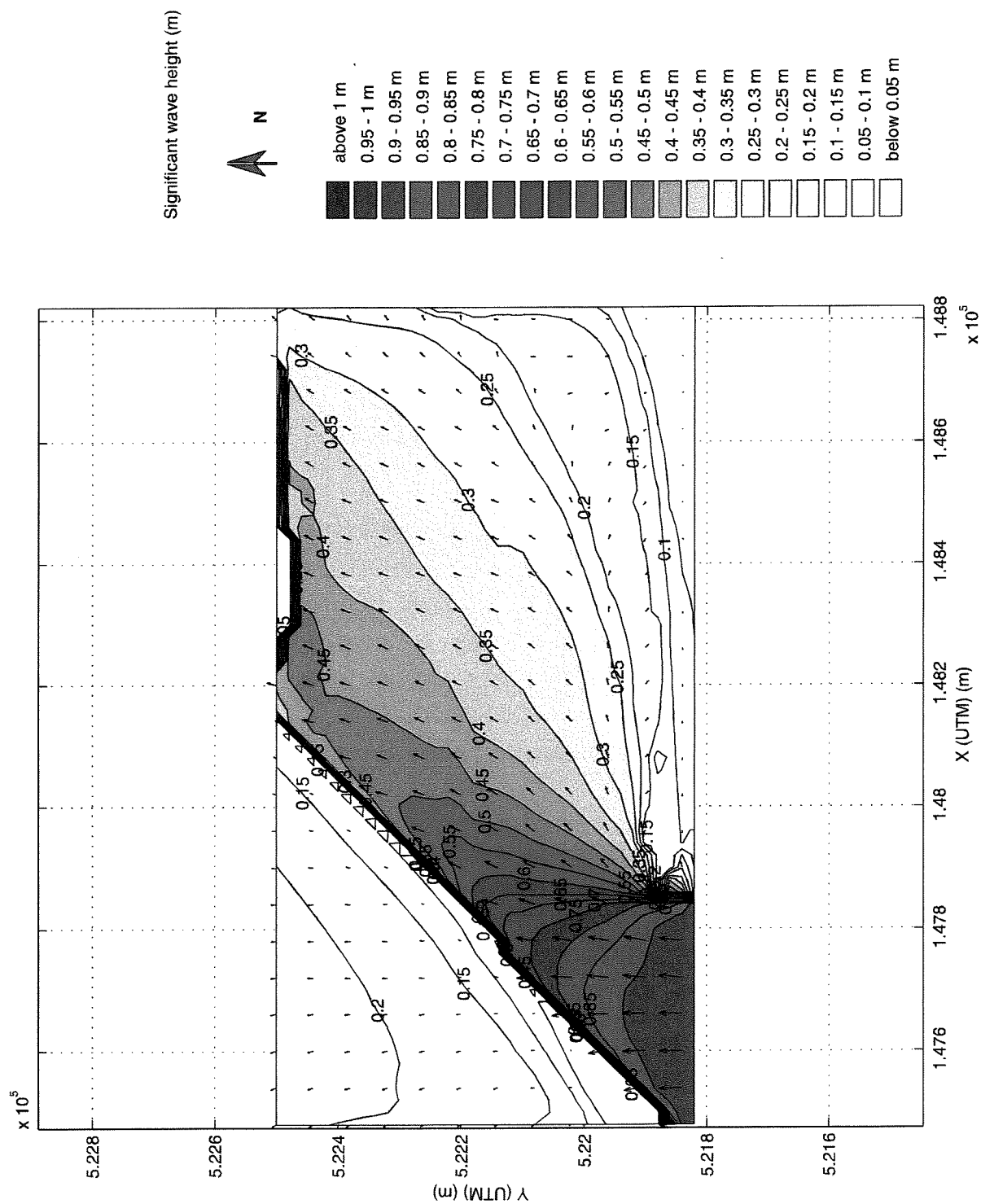
Aantallen op basis van:	Oorspronkelijk ontwerp maandverdelingen	Golfbreker A maandverdelingen	Golfbreker B maandverdelingen	Golfbreker C maandverdelingen	Golfbreker D maandverdelingen
180 gr. N.	47,6	6,2	6,2	6,2	17,2
210 gr. N.	516,9	143,9	143,9	143,9	296,1
240 gr. N.	2338,4	920	1466,9	1466,9	1466,9
270 gr. N.	642,2	177,2	335	335	642,2
totaal	3545,1	1247,3	1952	1952	2422,4

Bijlage 30

In onderstaande tabel is voor de verschillende reflectiecoëfficiënten in de SWAN-berekeningen aangegeven welke figuurnummers bij de verschillende windrichtingen horen. Voor de berekeningen geldt dat deze allen zijn uitgevoerd bij een windsnelheid van 16 m/s.

Tabel 30.1 SWAN-condities en bijbehorende figuurnummers

Windrichting	Reflectiecoëfficiënt (-)			
	0.45	0.35	0.25	0.15
160°N	1.1	1.2	1.3	1.4
180°N	2.1	2.2	2.3	2.4
210°N	3.1	3.2	3.3	3.4
240°N	4.1	4.2	4.3	4.4
270°N	5.1	5.2	5.3	5.4



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 160 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

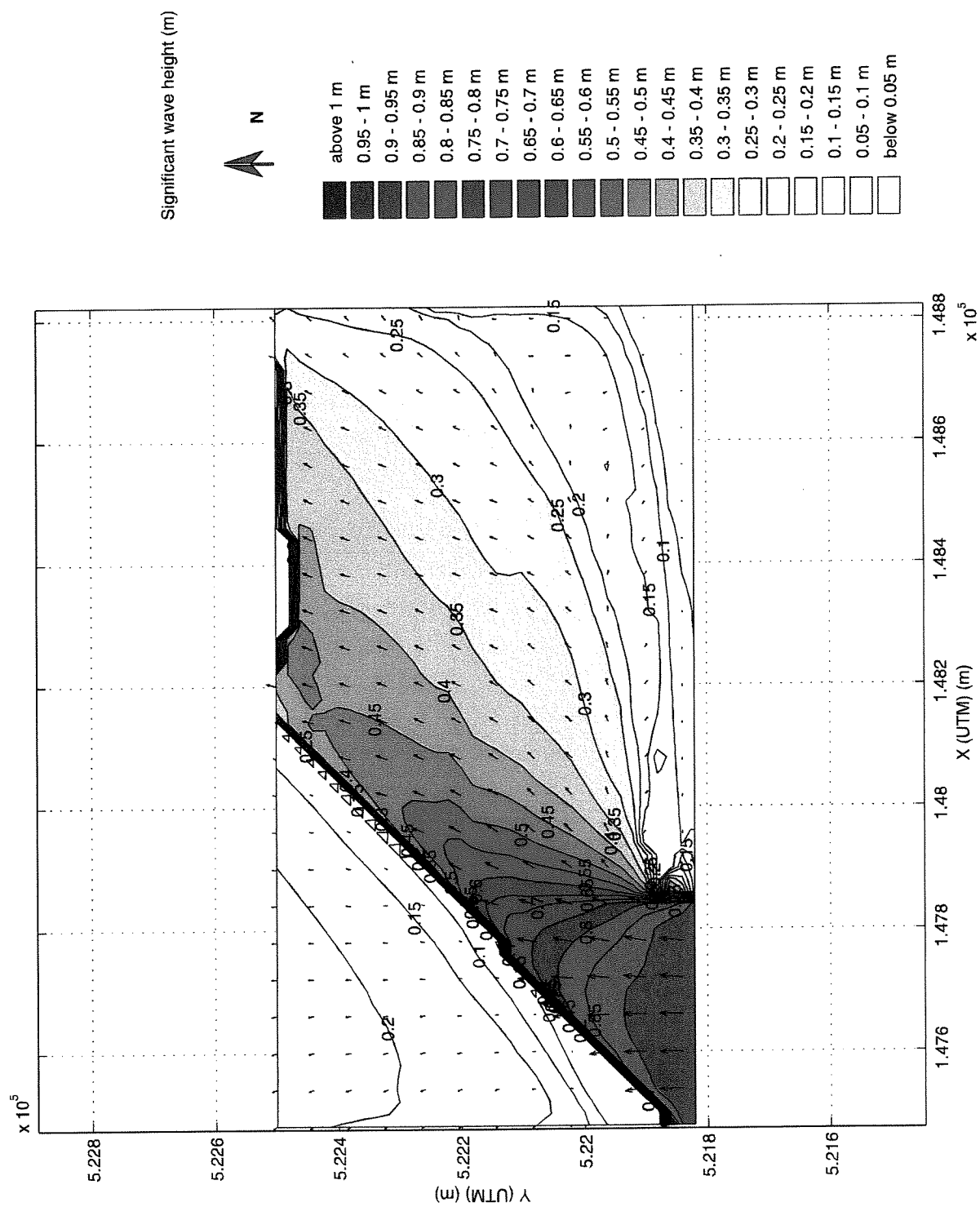
reflection	SWAN40.10
------------	-----------

coefficient	0.45
-------------	------

R66	
-----	--

 Alkyon	
--	--

Fig. 1.1



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 160 deg. N

Wind speed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

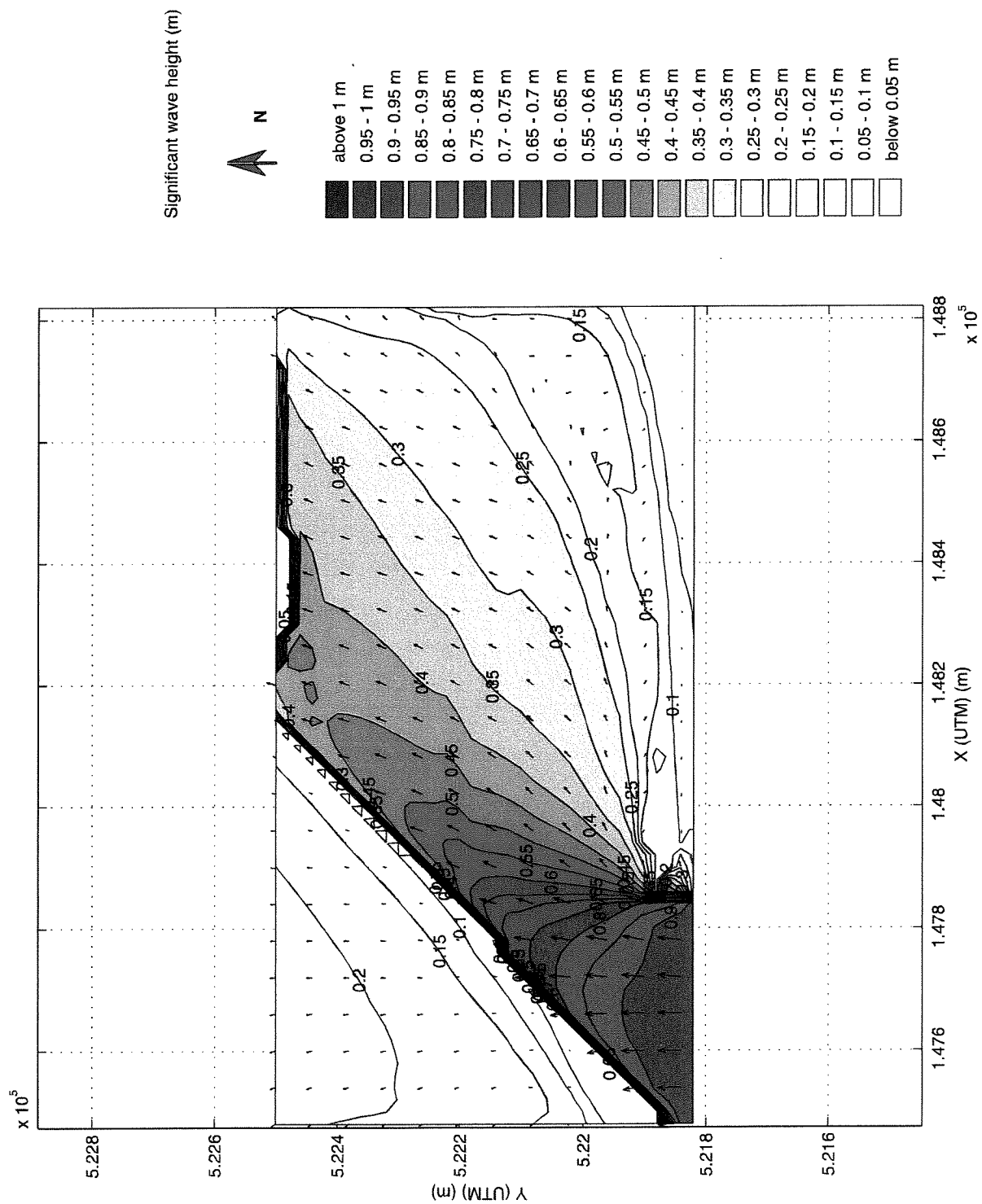
reflection SWAN40.10

coefficient 0.35

R67

Alkyon

Fig. 1.2



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 160 deg. N

Windspeed: 16 m/s

reflection SWAN40.10

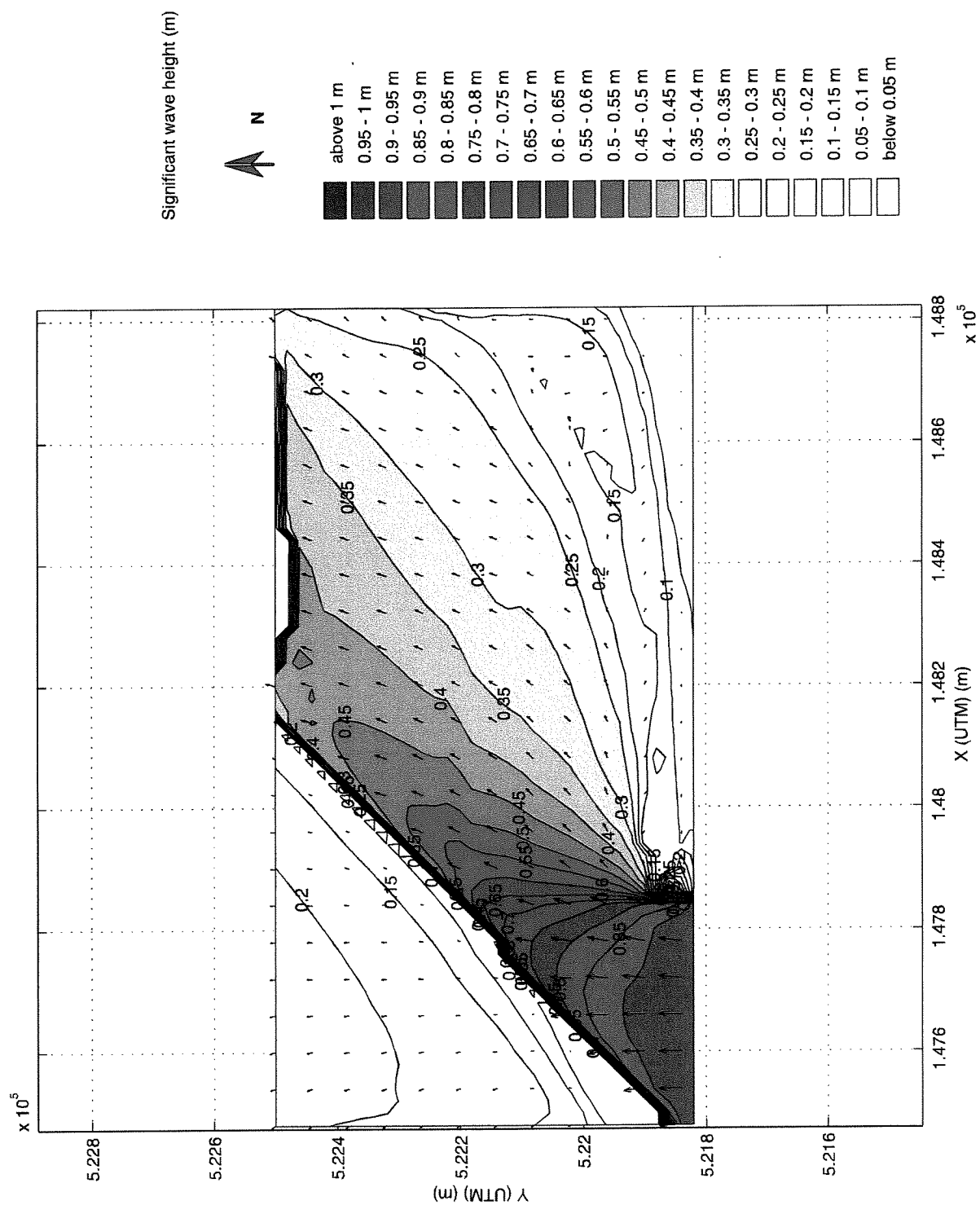
coefficient 0.25

R68

Naviduct Enkhuizen

Alkyon

Fig. 1.3



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 160 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

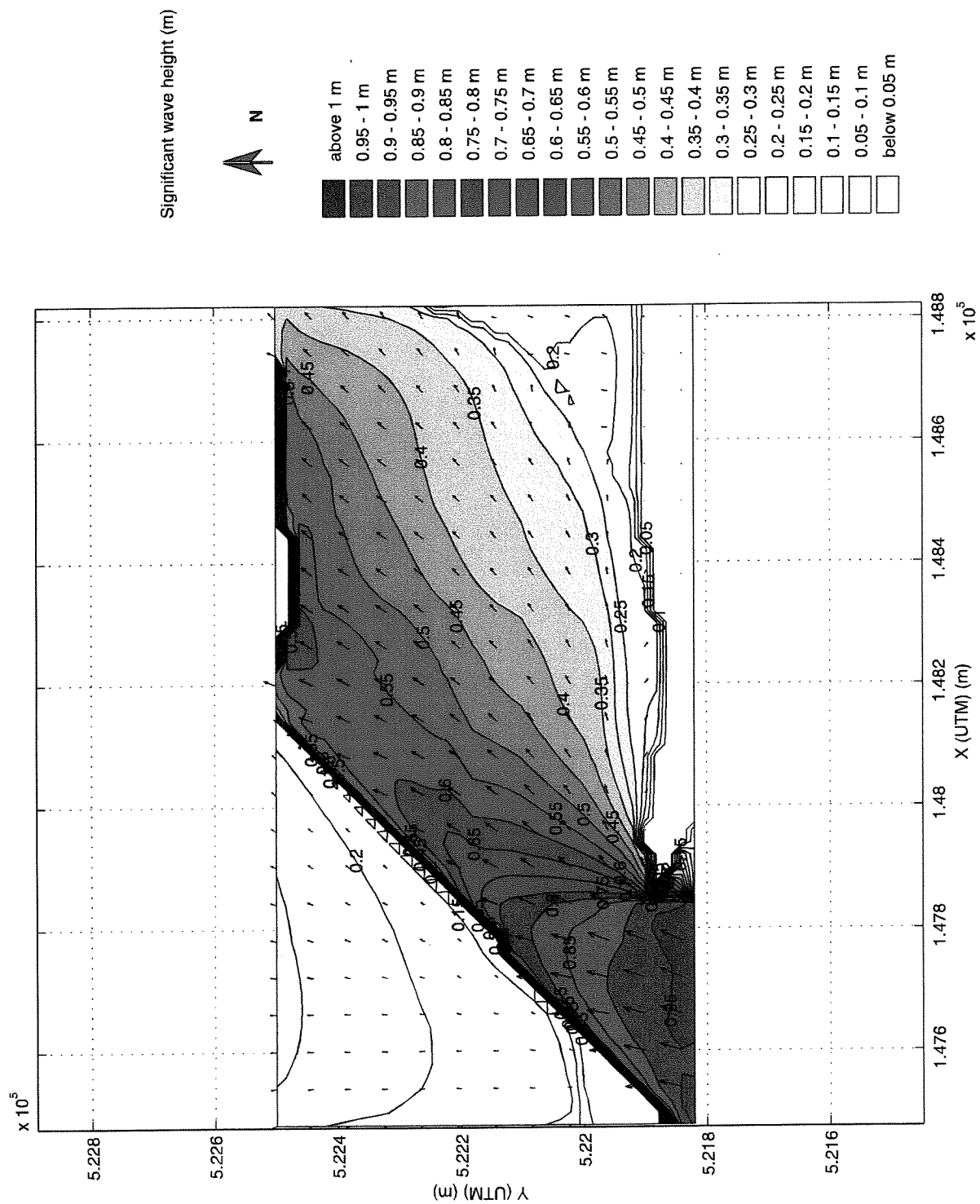
reflection	SWAN40.10
------------	-----------

coefficient	0.15
-------------	------

R69

 Alkyon

Fig. 1.4



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 180 deg. N

Windspeed: 16 m/s

reflection SWAN40.10

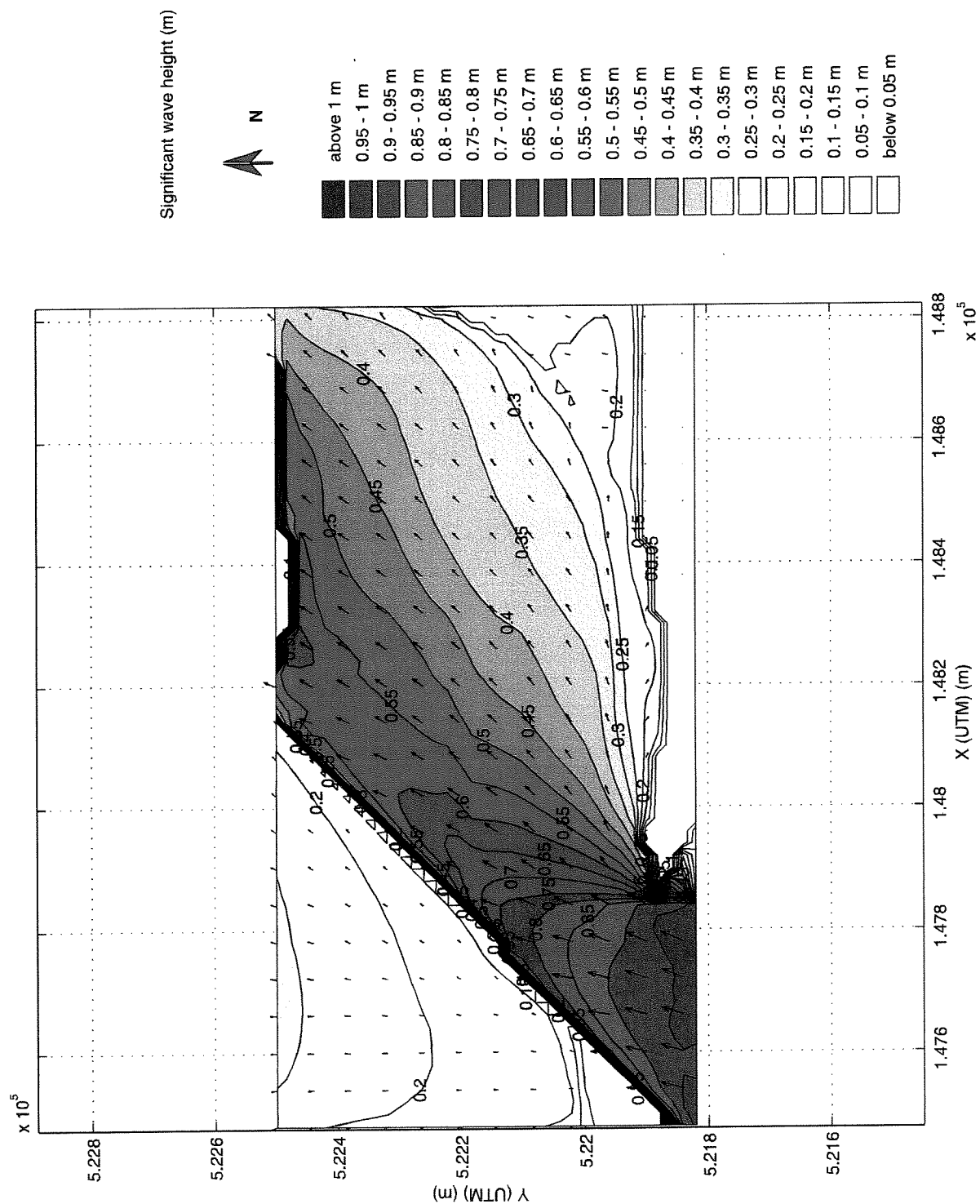
coefficient 0.45

R762

Naviduct Enkhuizen

Alkyon

Fig. 2.1



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 180 deg. N

Wind speed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

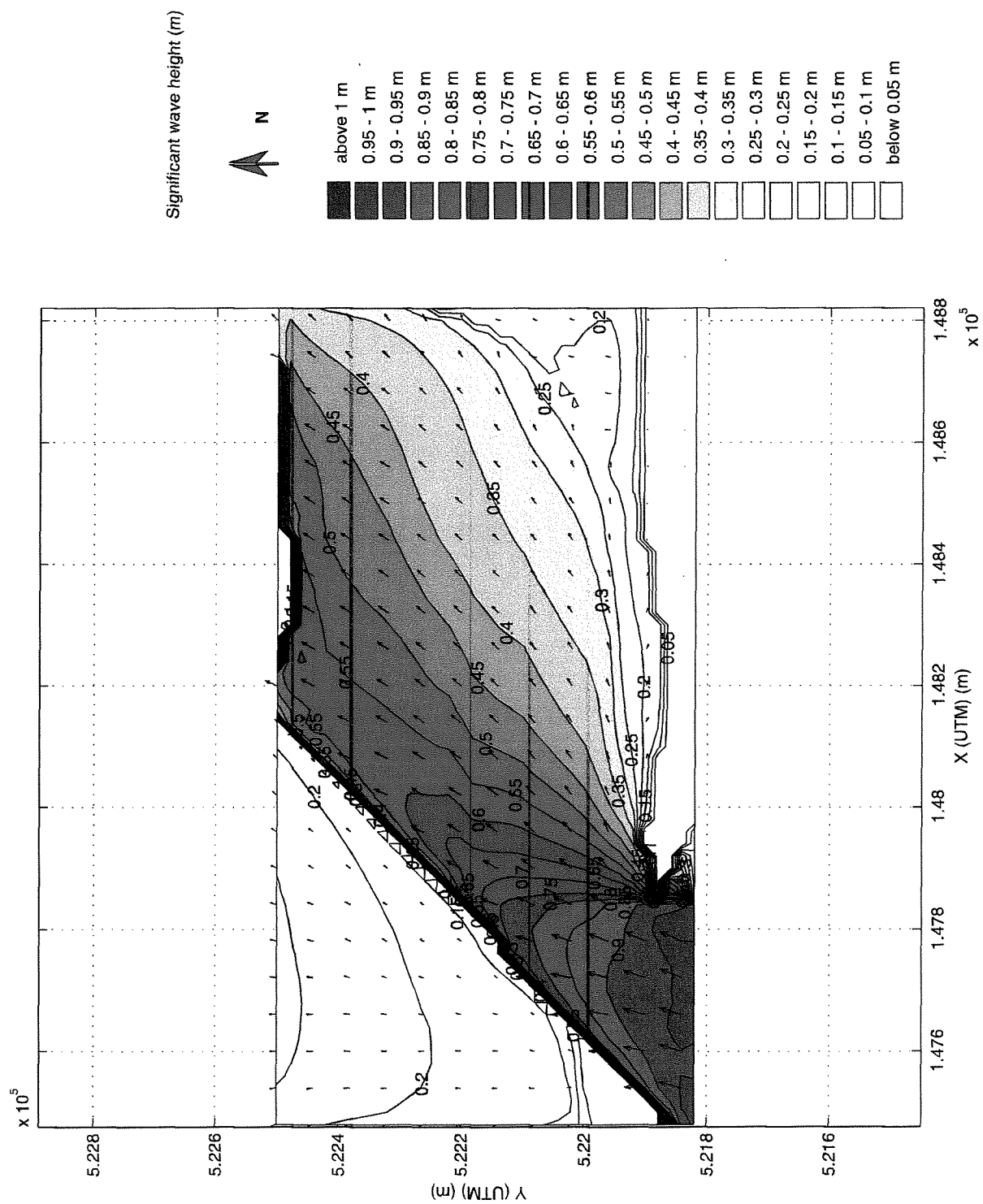
reflection	SWAN40.10
------------	-----------

coefficient	0.35
-------------	------

R77

 Alkyon

Fig. 2.2



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 180 deg. N

Wind speed: 16 m/s

reflection

SWAN40.10

coefficient

0.25

R78

Naviduct Enkhuizen


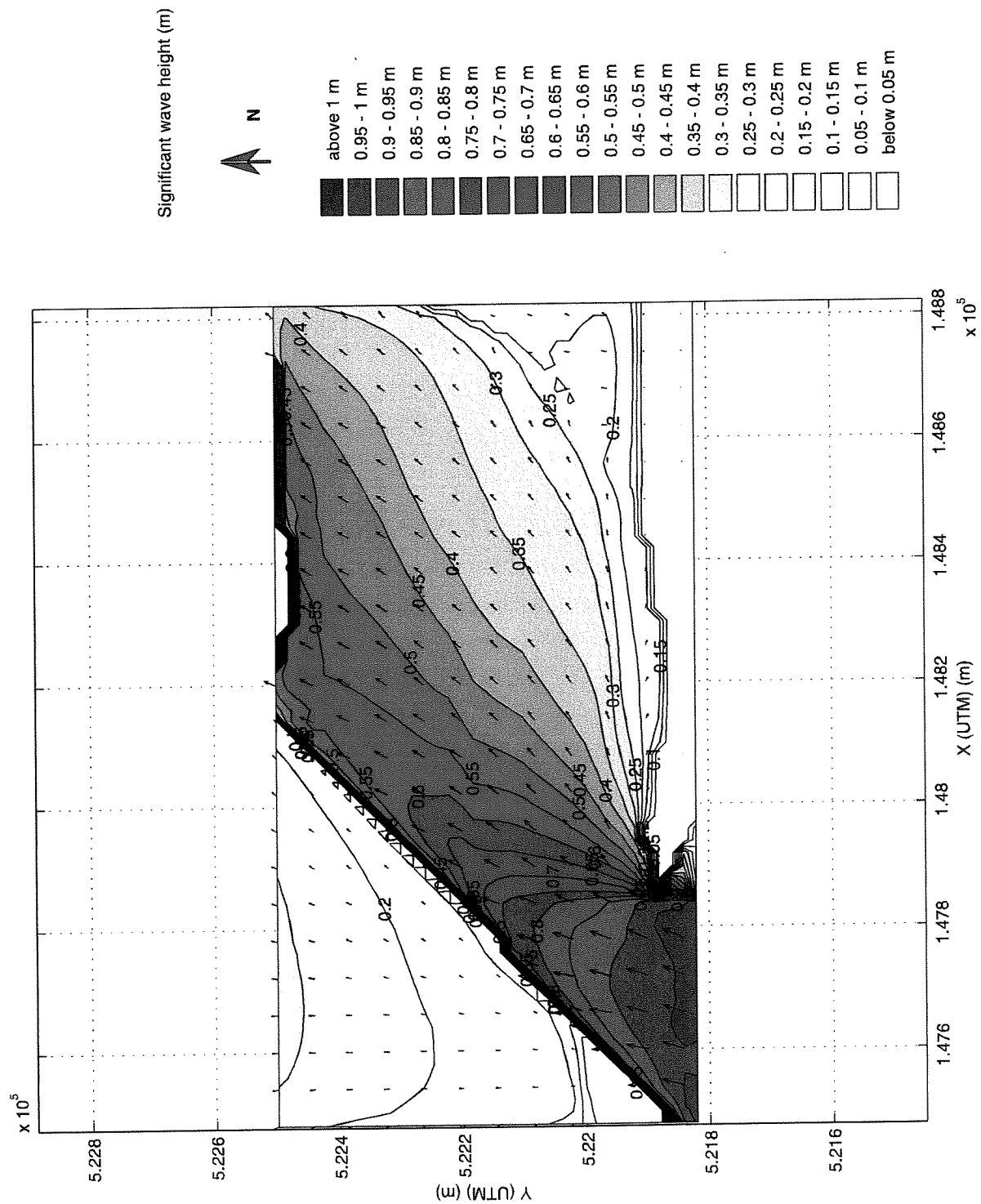
 Alkyon

Fig. 2.3



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 180 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

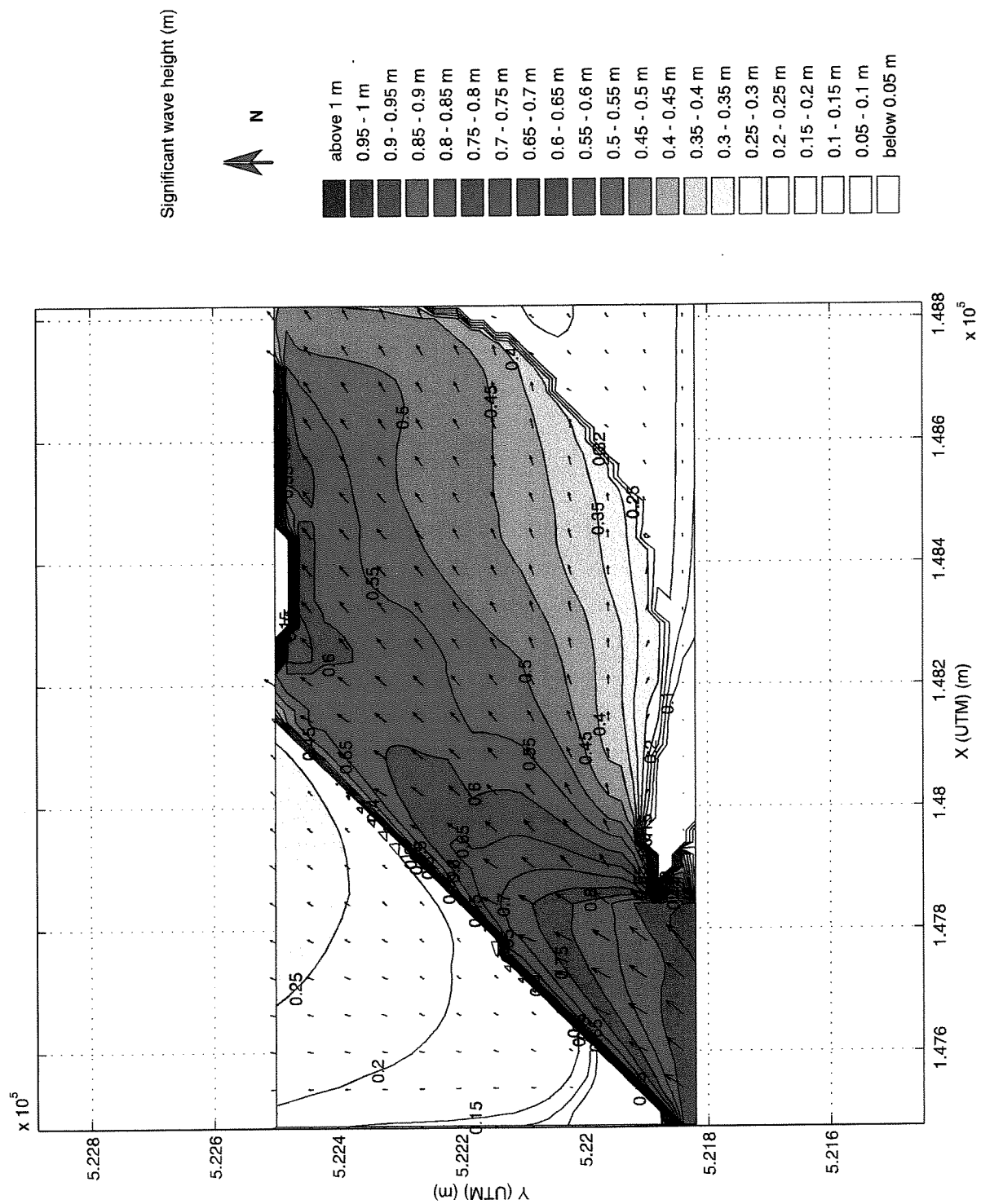
reflection SWAN40.10

coefficient 0.15

R79

Alkyon

Fig. 2.4



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 210 deg. N


Windspeed: 16 m/s

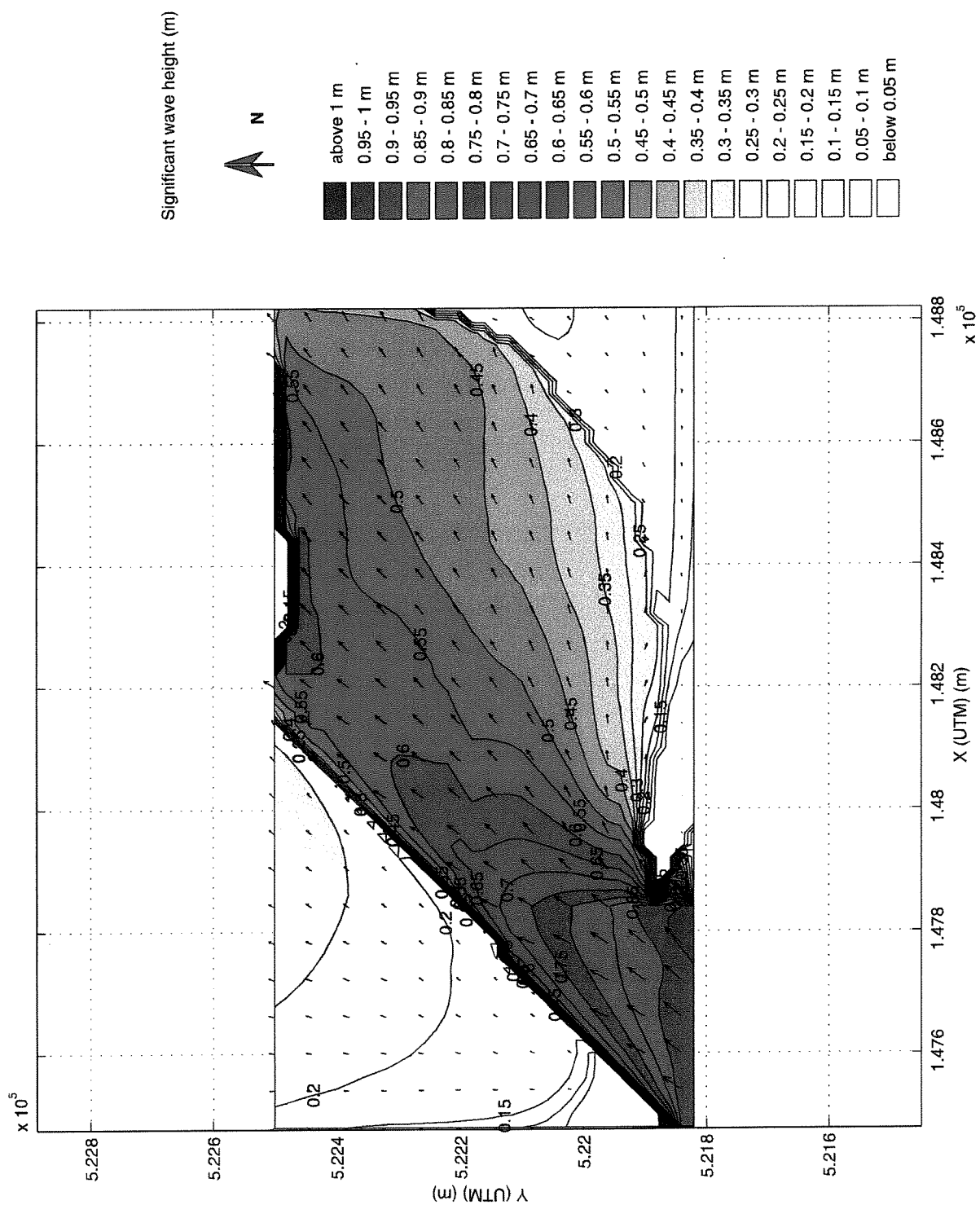
Naviduct Enkhuizen

reflection	SWAN40.10
------------	-----------

coefficient	0.45
-------------	------

R86	
-----	--

 Alkyon	Fig. 3.1
--	----------



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 210 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

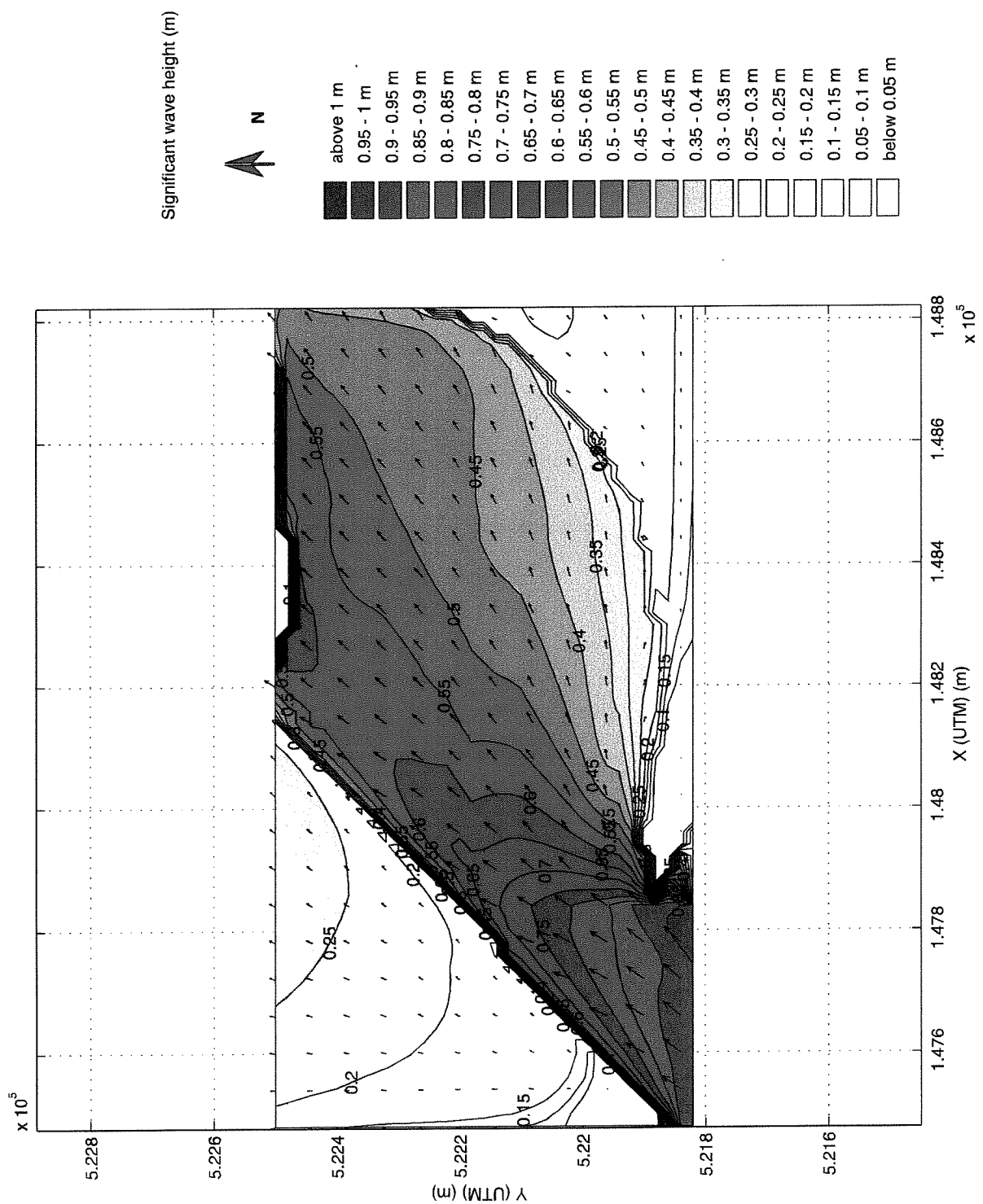
reflection	SWAN40.10
------------	-----------

coefficient	0.35
-------------	------

R87

 Alkyon

Fig. 3.2




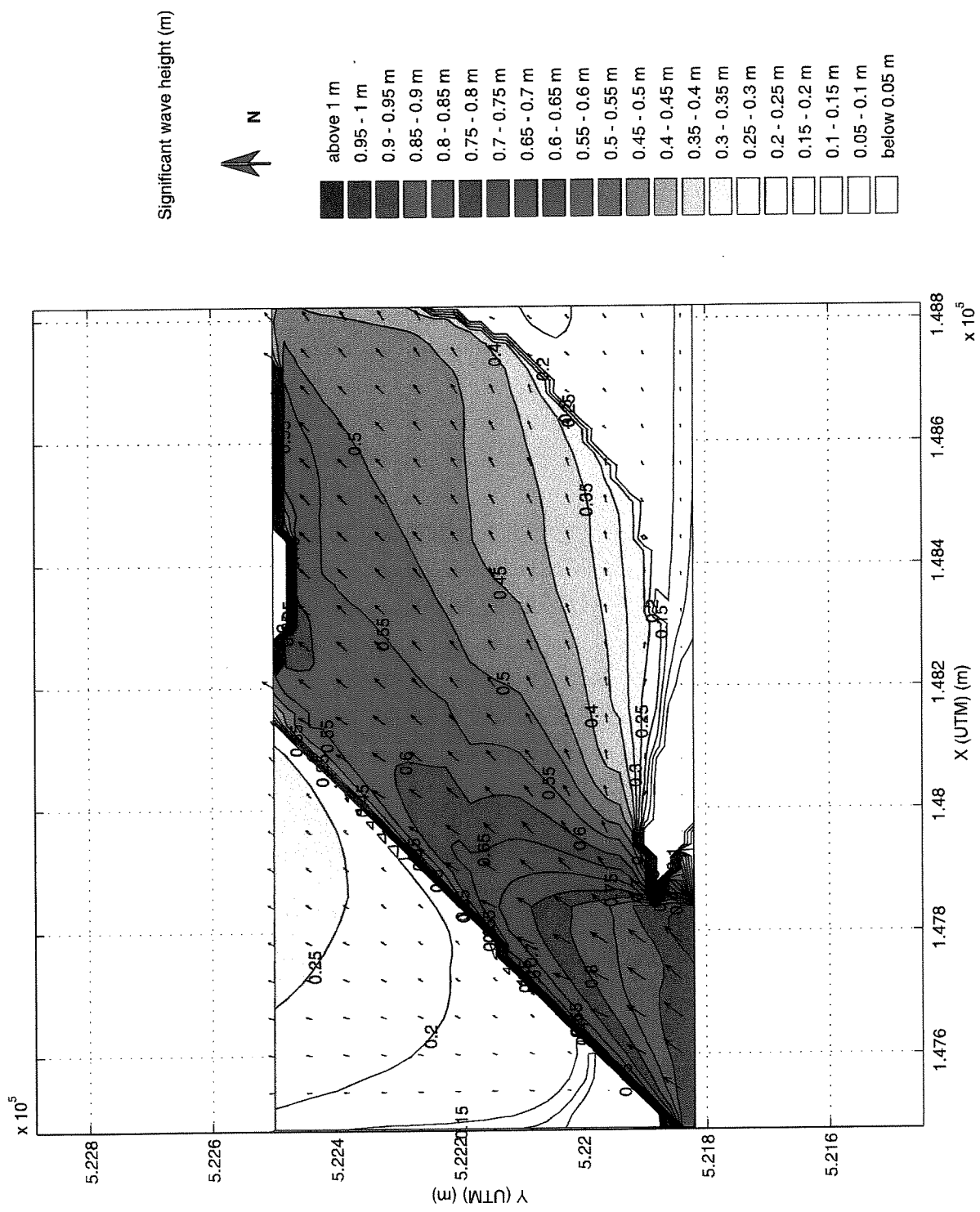
Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 210 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection	SWAN40.10
coefficient	0.25
R88	
 Alkyon	Fig. 3.3



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 210 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

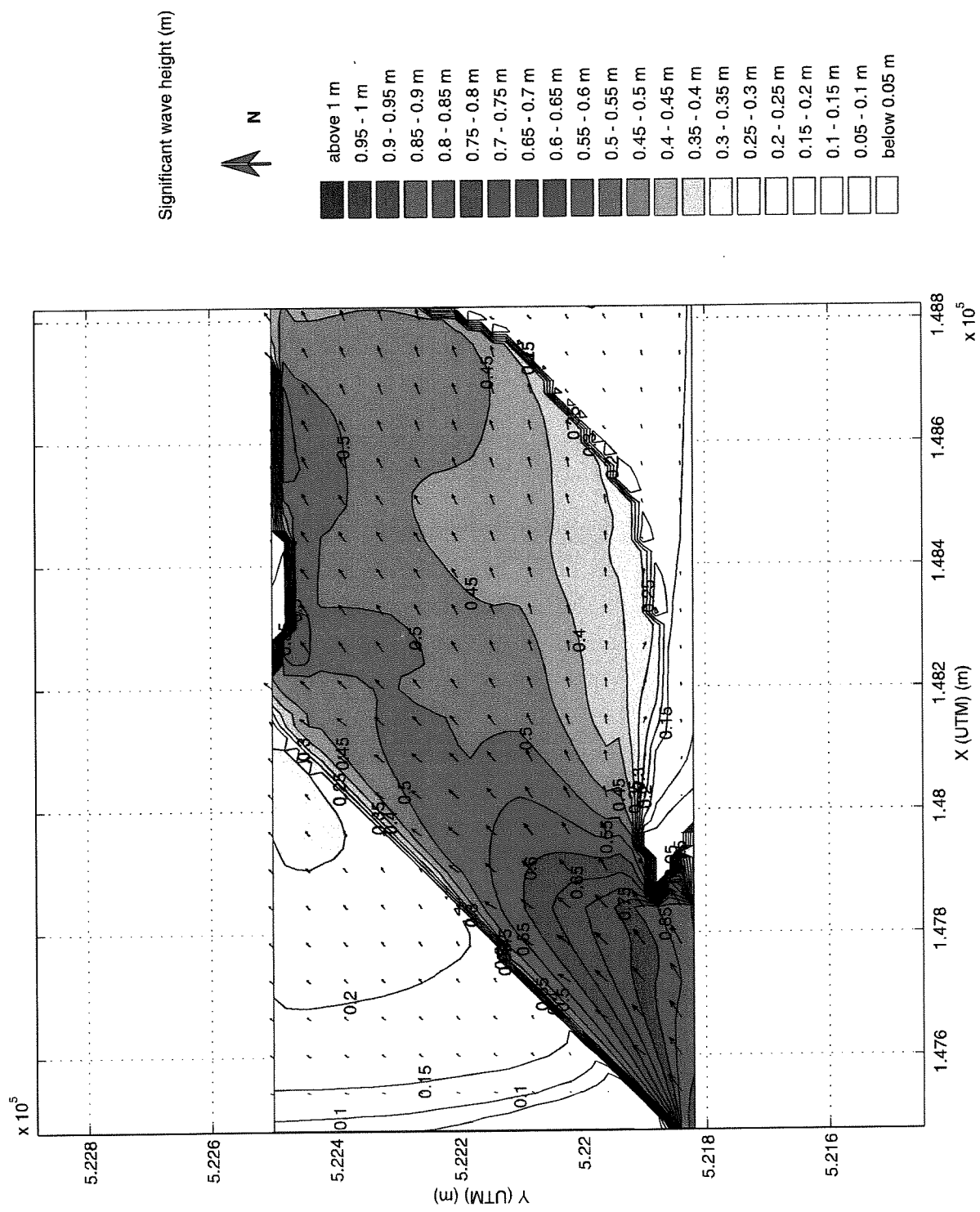
reflection SWAN40.10

coefficient 0.15

R89

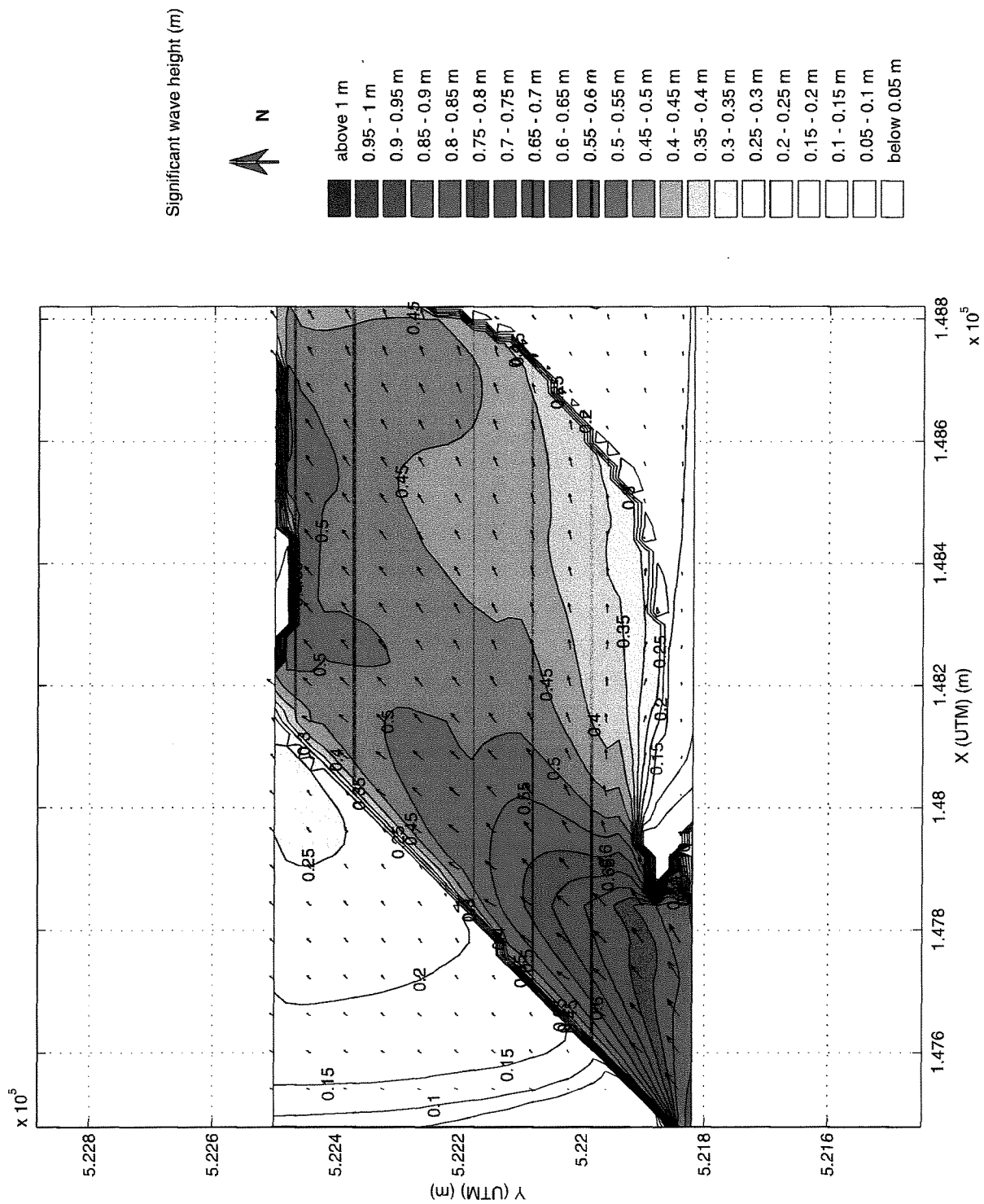
 Alkyon

Fig. 3.4



Isolines of significant wave height (m)
 Wind direction: 240 deg. N
 Wind speed: 16 m/s

reflection	SWAN40.10
coefficient	0.45
R96	



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 240 deg. N

Windspeed: 16 m/s

reflection SWAN40.10

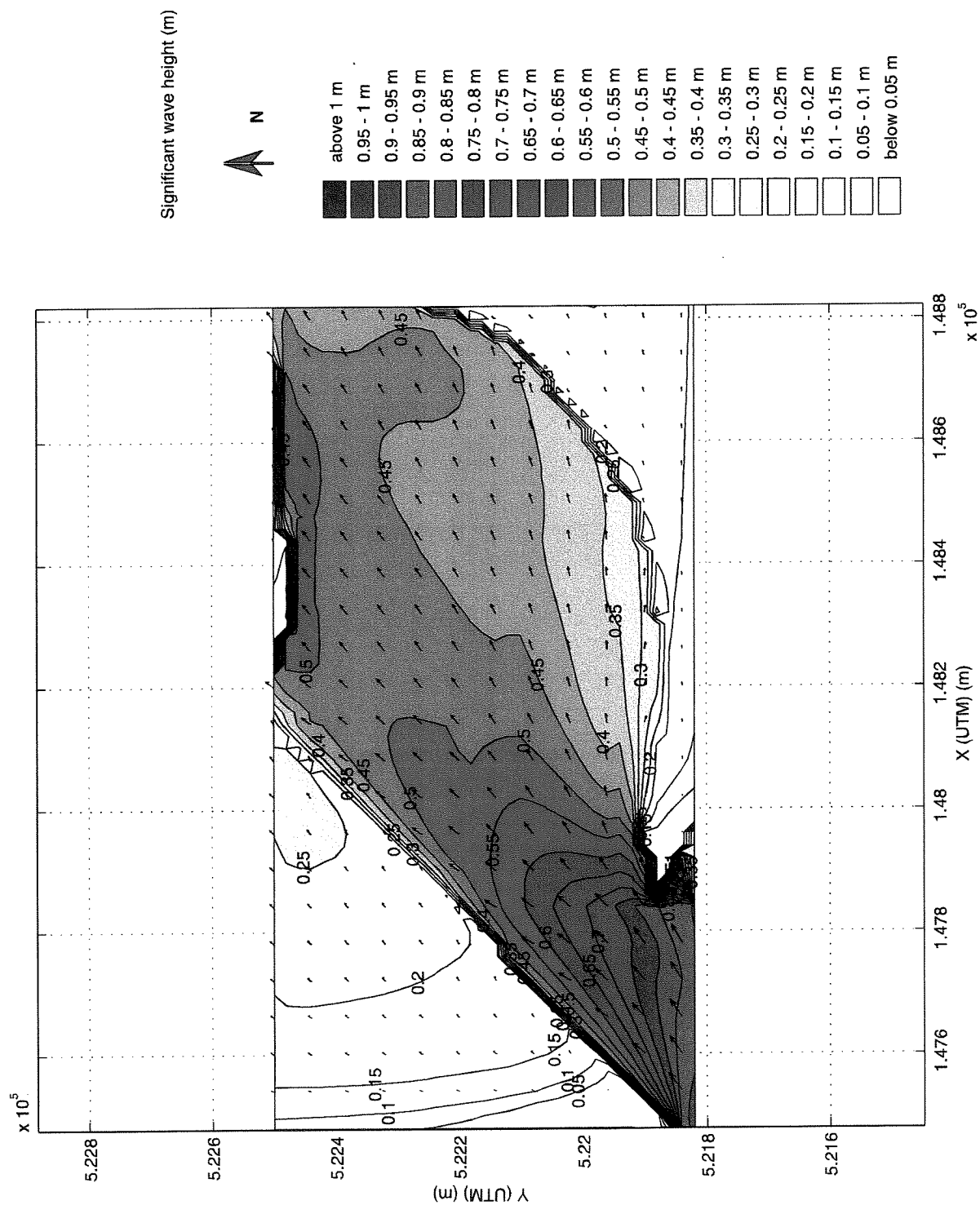
coefficient 0.35

R97

Naviduct Enkhuizen

Alkyon

Fig. 4.2



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 240 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

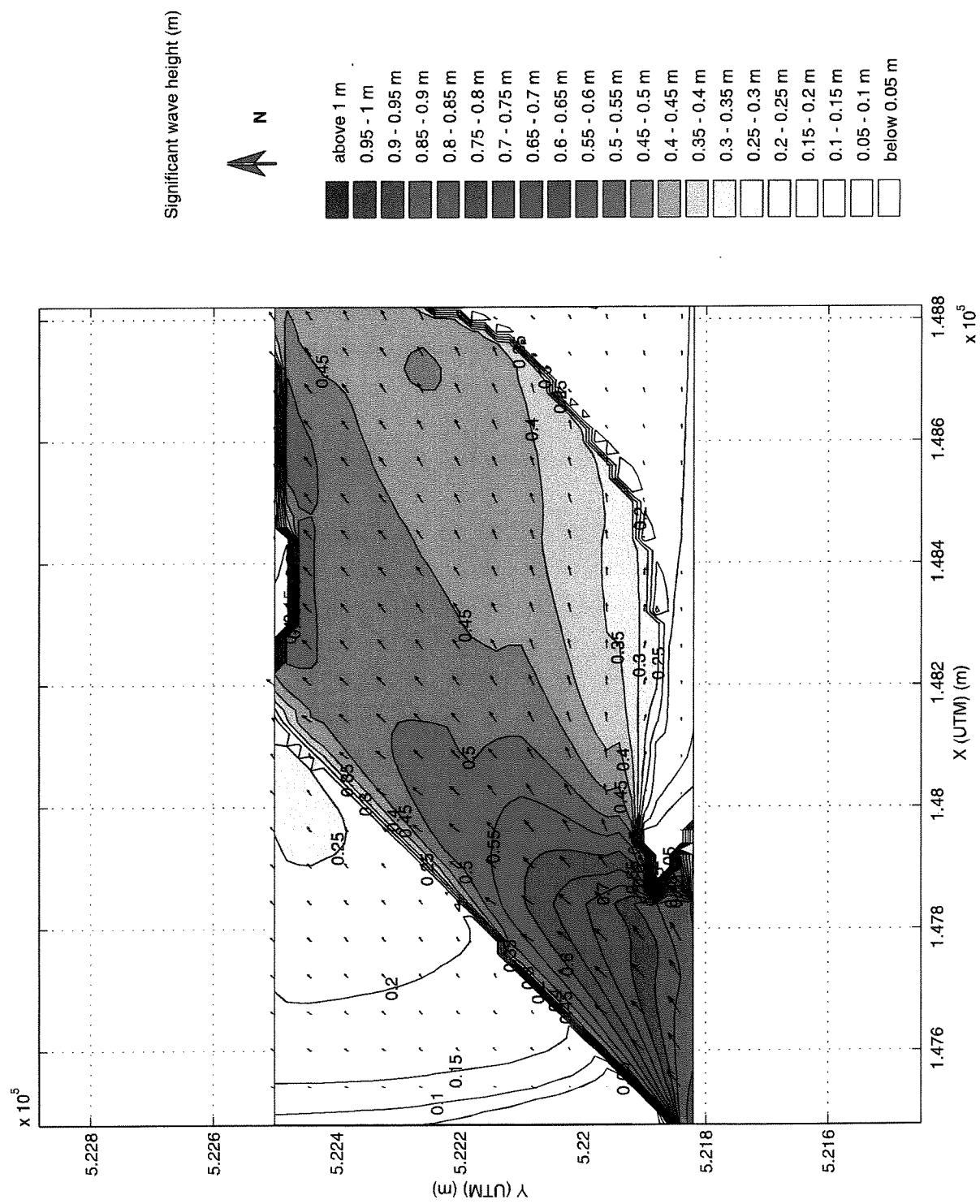
reflection SWAN40.10

coefficient 0.25

R98

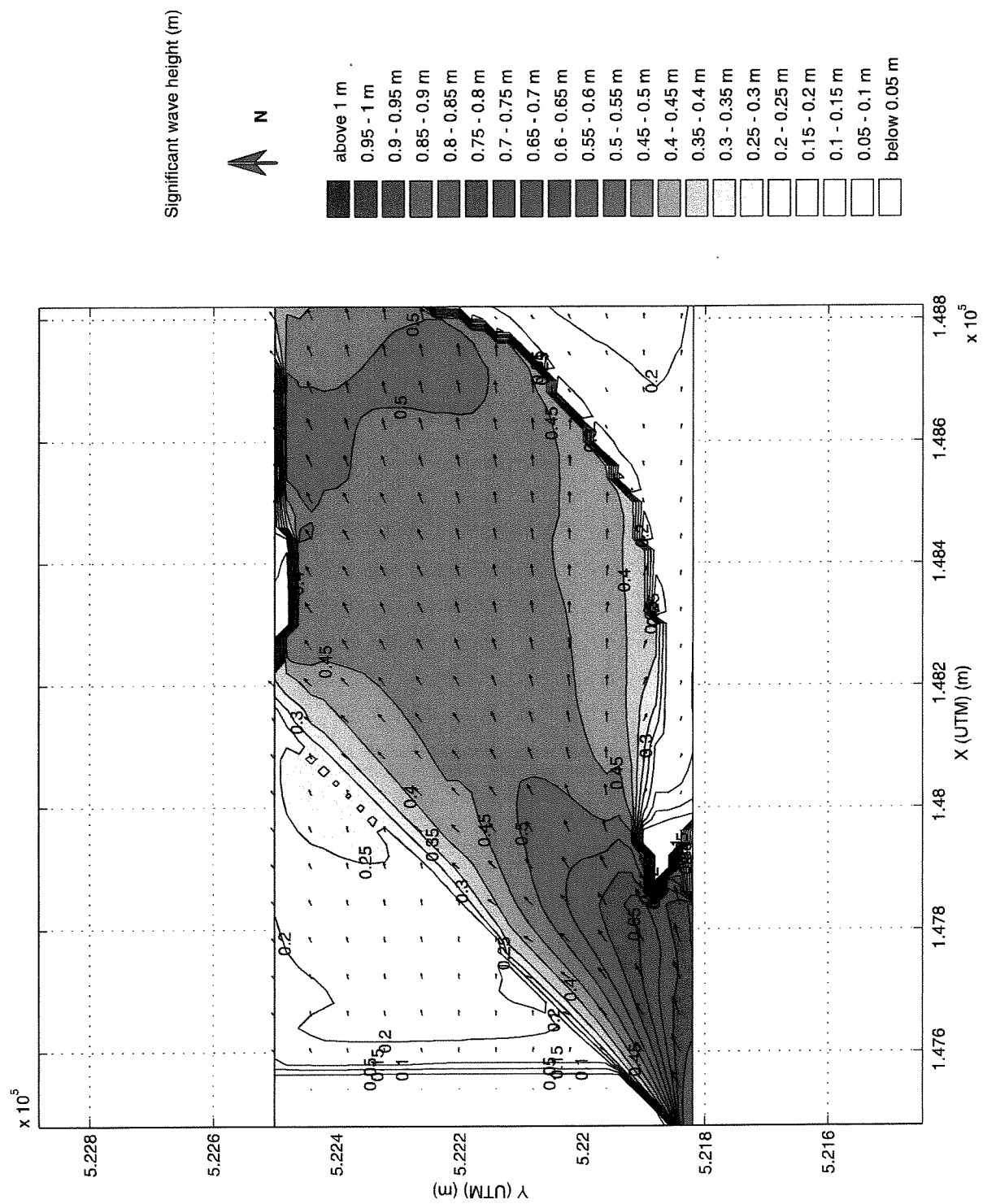
Alkyon

Fig. 4.3



Isolines of significant wave height (m)
 Winddirection: 240 deg. N
 Windspeed: 16 m/s

reflection	SWAN40.10
coefficient	0.15
R99	
Alkyon	Fig. 4.4



Isolines of significant wave height (m)

Wind direction: 270 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection

SWAN40.10

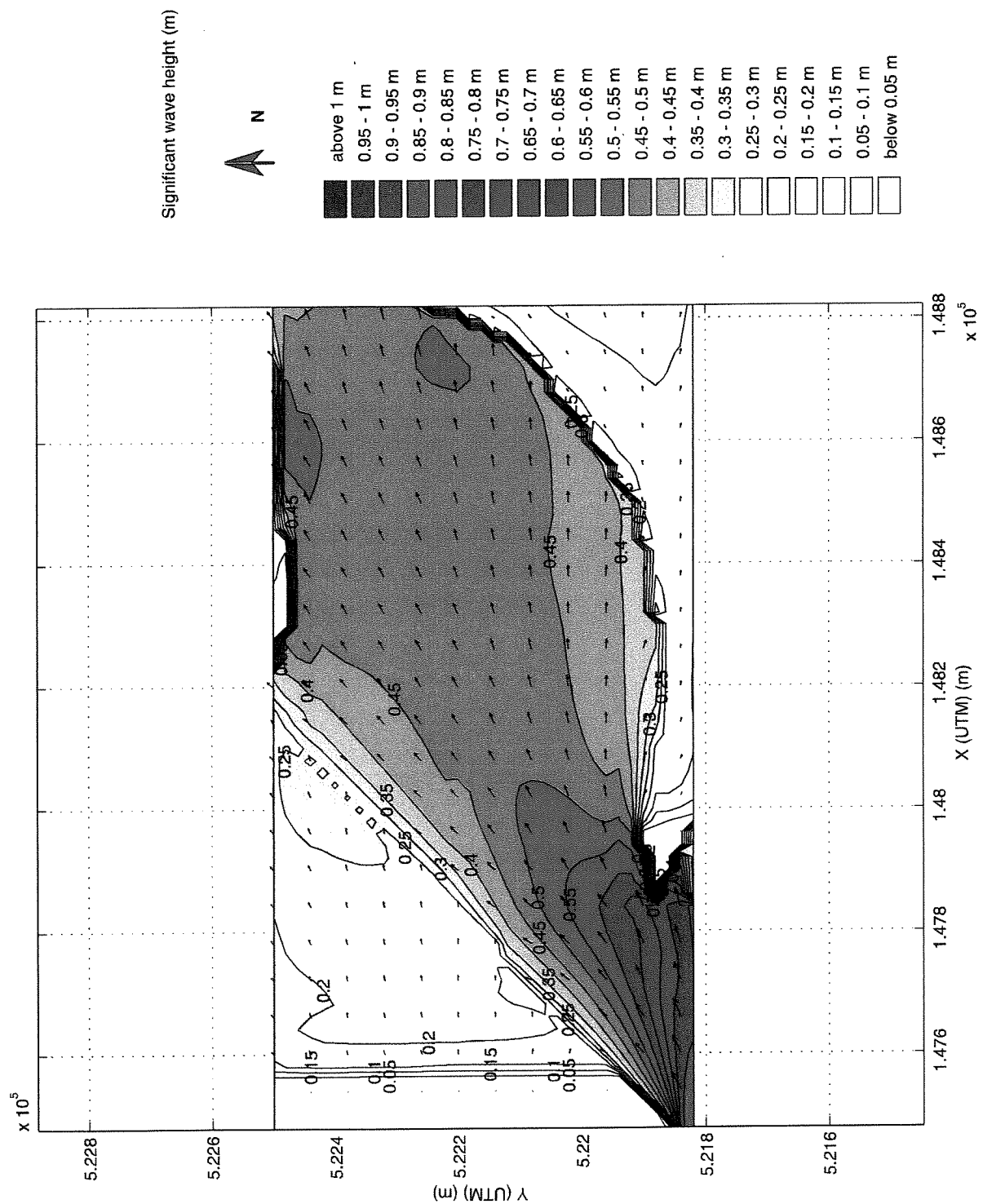
coefficient

0.45

R06

 Alkyon

Fig. 5.1




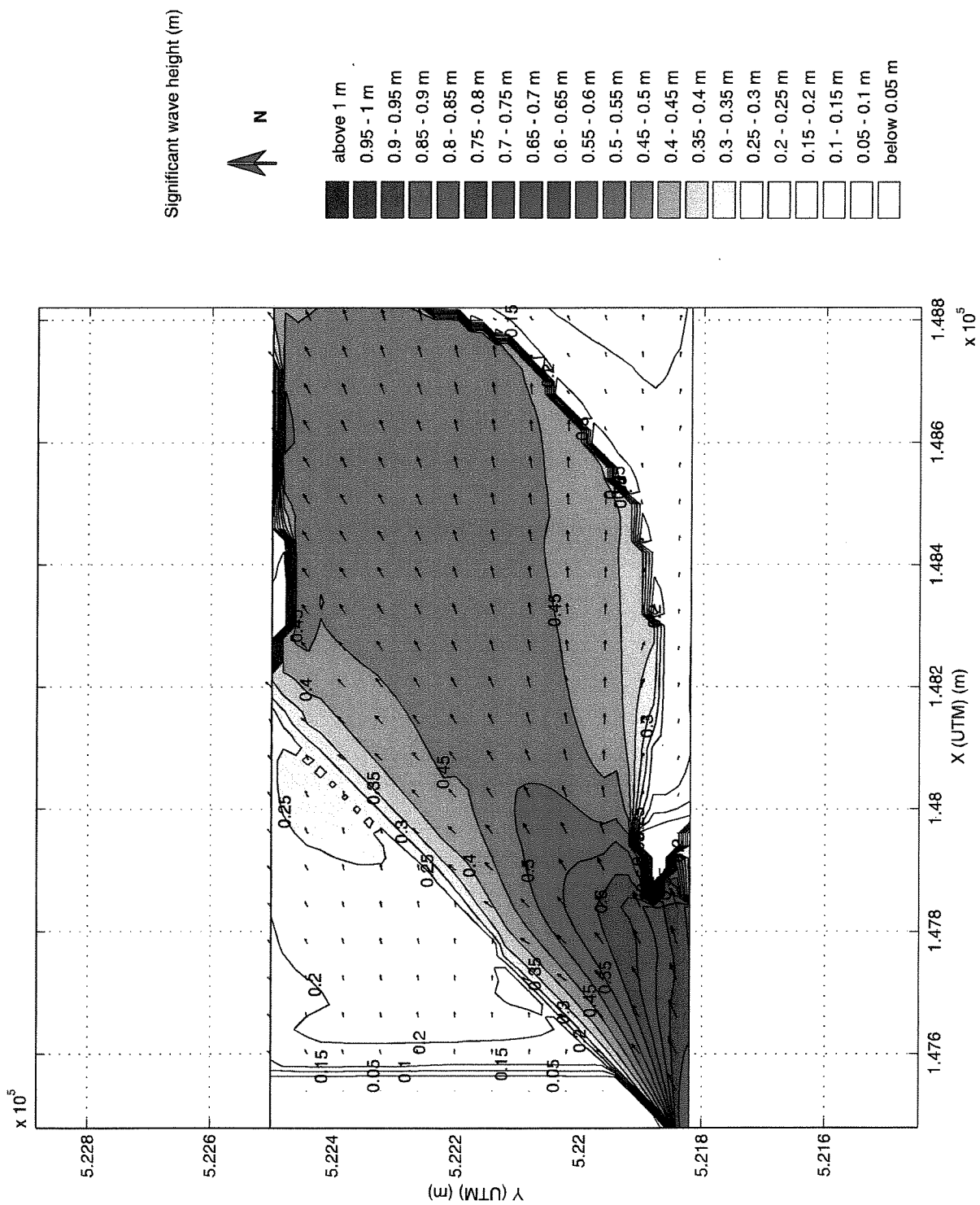
Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 270 deg. N

Windspeed: 16 m/s

Naviduct Enkhuizen

reflection	SWAN40.10
coefficient	0.35
R07	
 Alkyon	Fig. 5.2



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 270 deg. N

Windspeed: 16 m/s

reflection SWAN40.10

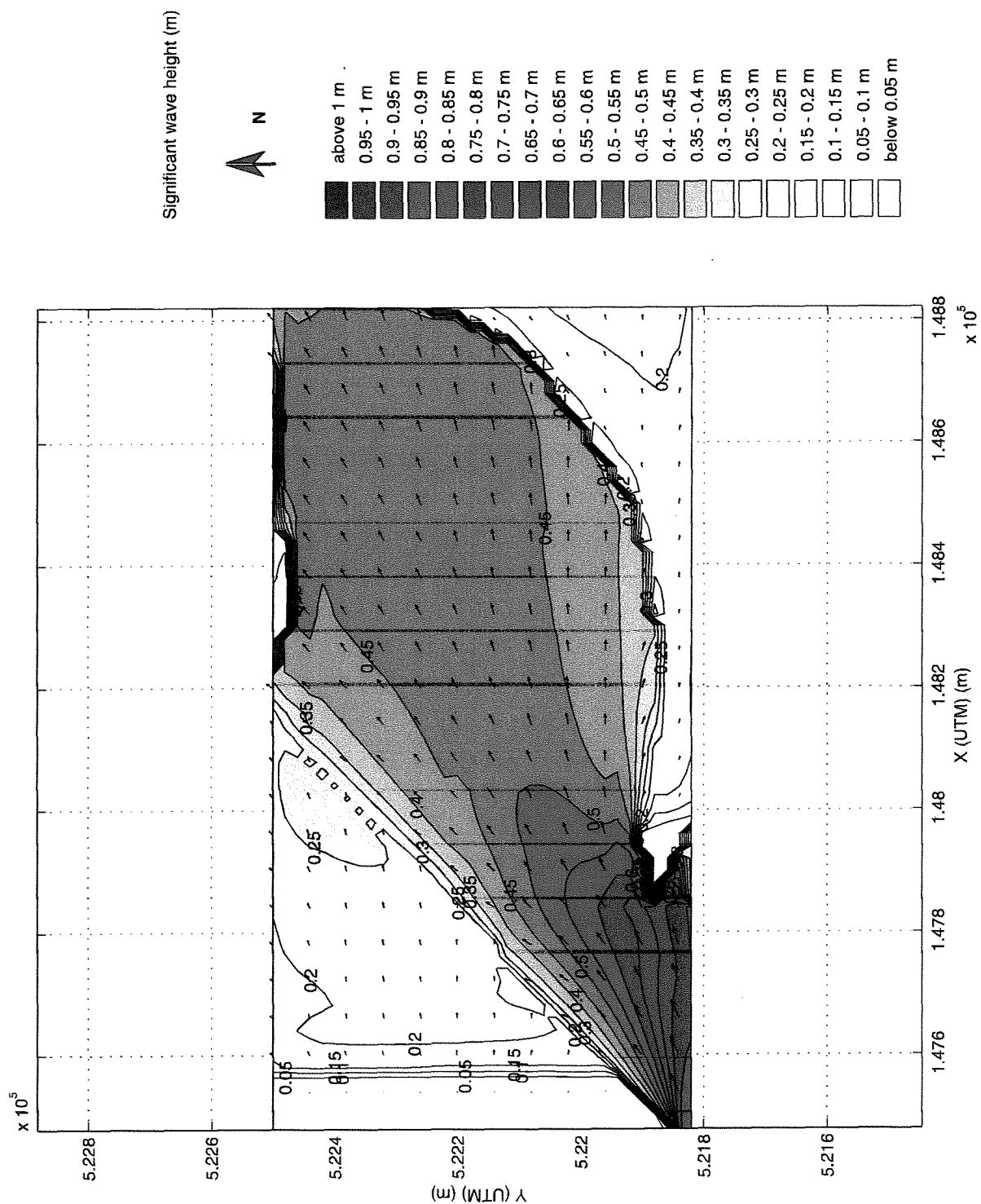
coefficient 0.25

R08

Naviduct Enkhuizen

Alkyon

Fig. 5.3



Isolines of significant wave height (m)

Winddirection: 270 deg. N

Windspeed: 16 m/s

reflection SWAN40.10

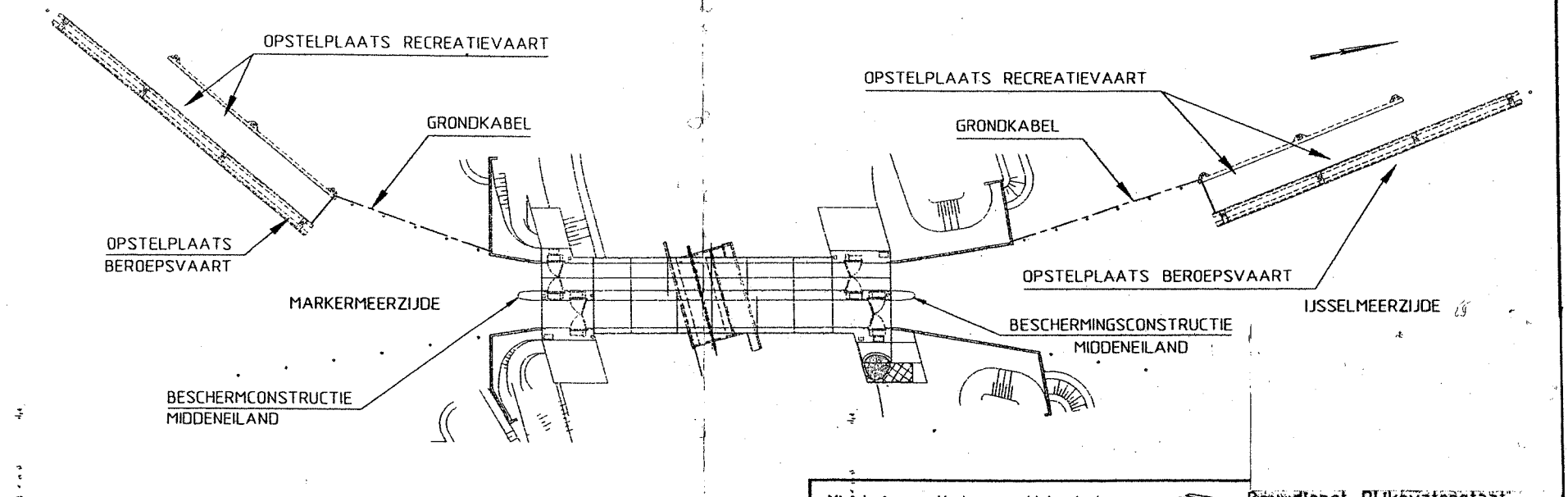
coefficient 0.15

R09

Naviduct Enkhuizen

Alkyon

Fig. 5.4






- MATEN IN MM
- HOOGTEMATEN IN METERS TOV N.A.P.
- ALLE LASSEN MINIMAAL $a=5$ MM
- BIJ LASSEN OP AFRONDINGSSTRAAL KOKERPROFIELEN, VERBINDING VOL LASSEN (ZIE TEK. KRB-TC-422)
- KWAL. STAAL PROFIELEN S355J2G3, TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN
- CONSERVERING VOLGENS BESTEK
- ALLE BOUTEN MINIMAAL KWAL. 8.8



NAVIDUCT KRABBERSGAT
DRIJVENDE REMMINGWERKEN
COMBINATIE BEROEPSVAART / RECREATIEVAART
SCHORTEN EN DETAILS

top. code	20A-100
project	2558
bestek	BDN-3100

	datum		naam		paraaf		ZIE TEKENING	
getekend	09-03-1998		TH. BERENDS				schaaal	
akkoord			A. DRIESSE				In - bladen, blad nr. -	
gewijzigd	A	B	C	D	E	F	formaat :	tekening nummer :
							A1	KRB-TC-423

31 U L A G E 32.1

