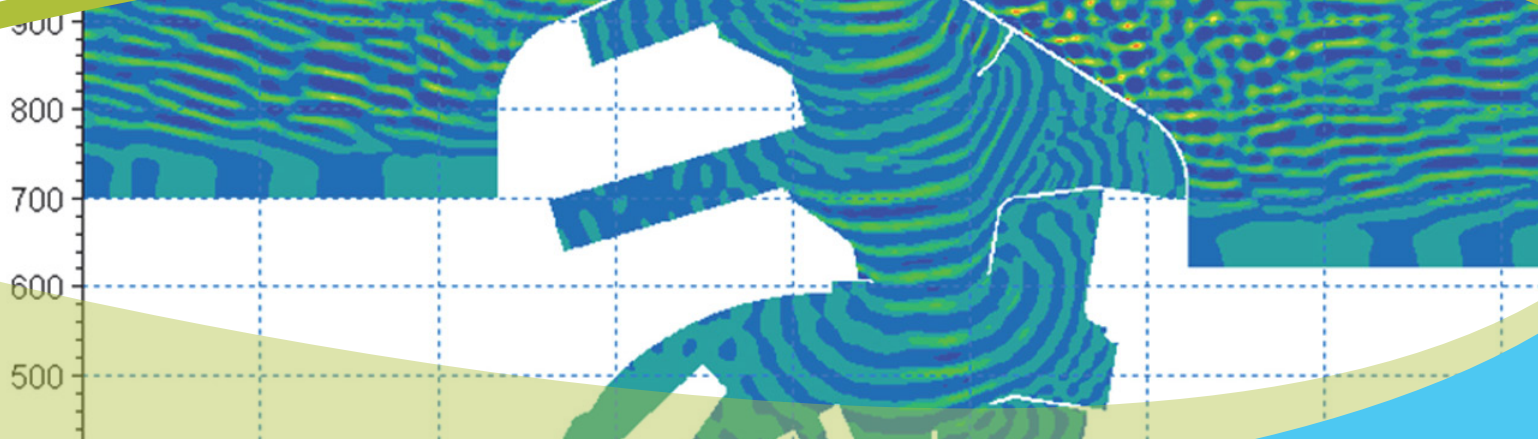




departement  
Mobiliteit en  
Openbare Werken

# Numerieke modellering van het extreem golfklimaat in de Belgische havens

DEEL 2: HAVEN VAN ZEEBRUGGE



769\_03

WL Rapporten



# **Numerieke modellering van het extreem golfklimaat in de Belgische havens**

Deel 2: Haven van Zeebrugge

Gruwez, V.; Bolle, A.; Suzuki, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F.

Augustus 2012

WL2012R769\_03\_2rev2\_0

Deze publicatie wordt geciteerd als volgt:

Gruwez, V.; Bolle, A.; Suzuki, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2012). Numerieke modellering van het extreem golfklimaat in de Belgische havens: Deel 2: Haven van Zeebrugge. Versie 2\_0. WL Rapporten, 769\_03. Waterbouwkundig Laboratorium & IMDC: Antwerpen, België

I/RA/11273/12.016/VGR. IMDC, Antwerpen, België



#### **Waterbouwkundig Laboratorium**

Berchemlei 115  
B-2140 Antwerpen  
Tel. +32 (0)3 224 60 35  
Fax +32 (0)3 224 60 36  
E-mail: [waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)  
[www.watlab.be](http://www.watlab.be)



#### **International Marine and Dredging Consultants**





Coveliersstraat 15  
B-2600 Antwerpen  
Tel. +32 (0)3 270 92 95  
Tel. +32 (0)3 235 67 11  
[info@imdc.be](mailto:info@imdc.be)  
[www.imdc.be](http://www.imdc.be)

Nothing from this publication may be duplicated and/or published by means of print, photocopy, microfilm or otherwise, without the written consent of the publisher.

## Document identification

Titel:	Numerieke modellering van het extreem golfklimaat in de Belgische havens: Deel 2: Haven van Zeebrugge		
Klant:	Afdeling Kust	Ref.:	WL2012R769_03_2rev2_0
Trefwoorden (3-5):	Numerieke golfmodellering, Extreem golfklimaat, Haven van Zeebrugge		
Tekst (p.):	105	Tabellen (p.):	/
Appendices (p.):	44	Figuren (p.):	/
Confidentieel:	<input type="checkbox"/> Ja	Uitzonderingen:	<input type="checkbox"/> Klant
	<input checked="" type="checkbox"/> Nee		<input type="checkbox"/> Intern
			<input type="checkbox"/> Vlaamse overheid
	Vrijgegeven vanaf		<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar

## Approval

Auteur Vincent Gruwez (IMDC) 	Revisoren Annelies Bolle (IMDC) Tomohiro Suzuki 	Projectleider Toon Verwaest 	Afdelingshoofd Frank Mostaert 
--	--	--	---

## Revisions

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur
0_6	16/02/2012	Concept versie	Gruwez, V.
1_0	21/02/2012	Revisie	Bolle, A.; Verwaest, T.
1_2	15/03/2012	Revisie klant	Trouw, K.; Vermander, J.
2_0	14/08/2012	Definitieve versie	Gruwez, V.

## Samenvatting

Het ontwerp van structuren in een haven en overstromingsrisicoanalyses hebben hydrodynamische randvoorwaarden nodig langs alle structuren. Deze randvoorwaarden zijn gewenst tijdens een storm met terugkeerperiode 1000j en tijdens de superstormen die werden gedefinieerd voor de risicoanalyse. Het extreem golfklimaat wordt daarbij ontkoppeld naar golfindringing en lokale windgolven. Naar analogie met de studie voor Oostende zijn MILDwave (een lineair MSE-model) en Mike 21 BW (een niet-linear Boussinesq model) gebruikt om de golfindringing te simuleren. Om de lokale golfgeneratie door de extreme wind te modelleren werd het spectraal model SWAN ook opnieuw toegepast.

Beide golfindringingsmodellen blijken goede overeenkomsten te vertonen wat betreft de golfindringingscoëfficiënt  $K_d$ . Daarbij wordt een ééncellige sponslaag gebruikt om de partiële reflectie te modelleren. Het Mike 21 BW model heeft een beperkt aantal numerieke maatregelen nodig om numerieke stabiliteit te verzekeren i.t.t. het MILDwave model. De gevoeligheidsanalyses tonen aan dat kleine variatie van de haveningangbreedte weinig invloed heeft op het golfklimaat, dat golfrichting NNW aan de ingang van de haven en  $-17^\circ\text{N}$  offshore van de vaargeul voor de meeste golfindringing in de oude haven zorgt, dat het effect van directionele spreiding niet te verwaarlozen is en dat de invloed van de vaargeul en golfbreking belangrijk is voor het golfklimaat in de haven.

Voor de bepaling van de lokale windgolven wordt SWAN ingezet. Alle extreme windsnelheden en -richtingen voor de 1000-jarige storm en de superstormen worden gemodelleerd. Een superpositie van de resultaten van de golfindringingsmodellen en het SWAN model wordt uitgevoerd. Op die manier wordt het totale extreme golfklimaat in de haven bekomen.

## Inhoudstafel

<b>Inhoudstafel</b> .....	<b>I</b>
<b>Lijst van tabellen</b> .....	<b>III</b>
<b>Lijst van figuren</b> .....	<b>V</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>1</b>
1.1 De opdracht.....	1
1.2 Doel.....	1
1.3 Overzicht.....	2
1.4 Structuur van het rapport .....	2
<b>2 Numerieke golfmodellen</b> .....	<b>3</b>
<b>3 Golfindringing: faseoplossende golfmodellering</b> .....	<b>4</b>
3.1 Opbouw van modellen .....	4
3.1.1 Inleiding.....	4
3.1.2 Bathymetrie en haven geometrie .....	4
3.1.3 Hydrodynamische randvoorwaarden.....	12
3.1.4 Rekenrooster, tijdstap en simulatieduur .....	13
3.1.5 Golfgeneratie en -absorptie.....	15
3.1.6 Fysische processen .....	19
3.1.7 Numerieke stabiliteit.....	19
3.1.8 Partiële reflectie .....	22
3.2 Gevoeligheidsanalyses en invloeden.....	25
3.2.1 Inleiding.....	25
3.2.2 Tijdsextrapolatie factor .....	25
3.2.3 Breedte haveningang .....	28
3.2.4 Golfrichting aan de ingang van de haven.....	33
3.2.5 Kort- en langkruinig .....	37
3.2.6 Invloed van de vaargeul Pas van het Zand .....	42
3.2.7 Golfbreking.....	52
3.2.8 Golfrichting offshore van de vaargeul.....	54
3.2.9 Conclusies en eerste keuzes voor het finaal model .....	57
3.3 Resultaten en vergelijkende analyses .....	58
3.3.1 Inleiding.....	58

3.3.2	Vergelijking Mike21BW en MILDwave .....	58
3.3.3	Validatie met fysisch model.....	65
3.3.4	Validatie met natuurmeting .....	76
3.3.5	Keuze van finaal model.....	84
3.3.6	Golfperiode .....	84
3.3.7	Golfrichting.....	85
3.3.8	Golfindringing en inkomend golfhoogte aan de Vandammesluis .....	88
<b>4</b>	<b>Lokale windgolven: fasegemiddelde golfmodellering.....</b>	<b>90</b>
4.1	Inleiding.....	90
4.2	Bathymetrie en rekendomein .....	90
4.2.1	Bathymetrie .....	90
4.2.2	Rekendomein .....	90
4.3	Randvoorwaarden.....	91
4.3.1	Hydrodynamische randvoorwaarden.....	91
4.3.2	Structuren .....	92
4.4	Numerieke instellingen.....	92
4.5	Resultaten.....	92
4.6	Conclusies .....	95
<b>5</b>	<b>Superpositie golfindringing en lokale windgolven .....</b>	<b>96</b>
5.1	Methode.....	96
5.2	Resultaten per zone.....	97
<b>6</b>	<b>Conclusies .....</b>	<b>101</b>
<b>7</b>	<b>Data bronnen .....</b>	<b>103</b>
<b>8</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>104</b>
	<b>Bijlage 1: NOTA HYDRODYNAMISCHE RANDVOORWAARDEN .....</b>	<b>B1</b>
	<b>Bijlage 3: INVOER SWAN MODEL .....</b>	<b>B42</b>

## Lijst van tabellen

Tabel 2-1: Overzicht van de gekozen golfmodellen en hun karakteristieken (Gruwez et al., 2011). .....	3
Tabel 3-1: De hydrodynamische randvoorwaarden van de superstormen .....	12
Tabel 3-2: Grenzen voor de roostercelafmetingen ( $L_g$ bepaald voor $d_{\min} = 6.1\text{m}$ ). .....	14
Tabel 3-3: Bovengrenzen voor de tijdstap $\Delta t$ in Mike 21 BW op basis van voorwaarden gegeven door DHI (2009).....	14
Tabel 3-4: Bovengrenzen voor de tijdstap $\Delta t$ in MILDwave op basis van het Courant criterium.....	15
Tabel 3-5: $\mu_{MW}$ -waarden overeenkomstig met de $\mu_{BW}$ -waarden voor Zeebrugge op basis van Oostende (Gruwez et al., 2011).....	24
Tabel 3-6: Hydrodynamische randvoorwaarden en golfindringingsmodel waarvoor de gevoeligheidsanalyse "Tijdsextrapolatie factor" werd uitgevoerd.....	26
Tabel 3-7: Hydrodynamische randvoorwaarden en golfindringingsmodel waarvoor de gevoeligheidsanalyse "Breedte haveningang" werd uitgevoerd.....	28
Tabel 3-8: hydrodynamische randvoorwaarden voor de verschillende golfrichtingen .....	33
Tabel 3-9: Hydrodynamische randvoorwaarden en golfindringingsmodel waarvoor de gevoeligheidsanalyse "Kort- en langkruinig" werd uitgevoerd.....	37
Tabel 3-10: hydrodynamische randvoorwaarden voor het onderzoek van de invloed van de vaargeul ..	42
Tabel 3-11: vergelijking van de golfindringingscoëfficiënt $K_{d,AB}$ gemiddeld over dwarsdoorsnede AB (haveningang) .....	42
Tabel 3-12: Hydrodynamische randvoorwaarden en golfindringingsmodel waarvoor de gevoeligheidsanalyse "Golfbreking" werd uitgevoerd .....	52
Tabel 3-13: hydrodynamische randvoorwaarden voor de verschillende golfrichtingen .....	54
Tabel 3-14: hydrodynamische randvoorwaarden voor de verschillende golfrichtingen .....	54
Tabel 3-15: hydrodynamische randvoorwaarden in het fysisch model (Wens en Verbist (1985b)) en toegepast numeriek model voor de validatie.....	68
Tabel 3-16: Overzicht van gemiddelde $K_{dr}$ -waarden per zone en golfrichting. Het fysisch model (Wens en Verbist, 1985b) en Mike 21BW vergeleken.....	74
Tabel 3-17: Hydrodynamische randvoorwaarden en golfindringingsmodel waarvoor de validatie met de natuurmeting wordt uitgevoerd.....	76
Tabel 3-18: Hydrodynamische randvoorwaarden en golfindringingsmodel waarvoor de 1D-spectra in de haven werden opgesteld .....	84
Tabel 4-1: Randvoorwaarden van de SWAN simulaties met enkel wind (RP = 1000 jaar).....	91
Tabel 4-2: randvoorwaarden van de SWAN simulaties met enkel wind voor waterstanden en windsnelheden volgens Verwaest et al. (2008).....	91
Tabel 4-3: Minimale en maximale significante golfhoogte $H_s$ door wind per zone en voor de meest nadelige windrichting (met randvoorwaarden voor RP = 1000 jaar). .....	94
Tabel 4-4: minimale en maximale significante golfhoogte $H_s$ door wind per zone en voor de meest nadelige windrichting (deel 1 waterstanden en windsnelheden volgens Verwaest et al. (2008)). .....	95
Tabel 4-5: Minimale en maximale significante golfhoogte $H_s$ door wind per zone en voor de meest nadelige windrichting (deel 2 waterstanden en windsnelheden volgens Verwaest et al. (2008)). .....	95

Tabel 5-1: Overzicht van de minimale en maximale significante golfhoogten langs de gedefinieerde zones in de haven. Mike 21 BW model inclusief vaargeul en met kortkruinige golven ( $\sigma = 20^\circ$ ). Superpositie van Mike 21 BW met SWAN. Voor SWL = +7.10m TAW..... 98

Tabel 5-2: Overzicht van de minimale en maximale significante golfhoogten langs de gedefinieerde zones in de haven. Mike 21 BW model inclusief vaargeul en met kortkruinige golven ( $\sigma = 20^\circ$ ). Superpositie van Mike 21 BW met SWAN. Voor SWL = +7.90m TAW..... 99

Tabel 0-1: Reflectiecoëfficiënten van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +7.90m TAW samen met de corresponderen absorptiecoëfficiënten  $\mu_{BW}$  toegepast in het Mike 21 BW model. B19

Tabel 0-2: Reflectiecoëfficiënten van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +7.10m TAW (aangenomen voor +7.10m TAW en +7.40m TAW) samen met de corresponderen absorptiecoëfficiënten  $\mu_{BW}$  toegepast in het Mike 21 BW model..... B20

Tabel 0-3: Reflectiecoëfficiënten van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +6.90m TAW samen met de corresponderen absorptiecoëfficiënten  $\mu_{BW}$  toegepast in het Mike 21 BW model. B21

Tabel 0-4: Reflectiecoëfficiënten van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +2.00m TAW samen met de corresponderen absorptiecoëfficiënten  $\mu_{BW}$  toegepast in het Mike 21 BW model. B22

Tabel 0-5: Reflectie- en transmissiecoëfficiënten  $C_r$  en  $C_t$  van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +6.40m TAW toegepast in het SWAN model. .... B23

Tabel 0-6: Reflectie- en transmissiecoëfficiënten  $C_r$  en  $C_t$  van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +6.90m TAW toegepast in het SWAN model. .... B24

Tabel 0-7: Reflectie- en transmissiecoëfficiënten  $C_r$  en  $C_t$  van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +7.40m TAW toegepast in het SWAN model. .... B25

Tabel 0-8: Reflectie- en transmissiecoëfficiënten  $C_r$  en  $C_t$  van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +7.90m TAW toegepast in het SWAN model. .... B26



## Lijst van figuren

Figuur 1-1: Tracé van de overstromingsmaatregelen in de haven van Zeebrugge. Van west naar oost: de Visartsluis, rondom het Prins Albert I dok en ten westen van de Vandammesluis (Afdeling Kust, 2011).....	1
Figuur 3-1: Morfologische evenwichtshelling van een vaargeul (Comm. Verwaest, 09/12/2011).....	4
Figuur 3-2: Bathymetrie langs een dwarsdoorsnede van de vaargeul Pas van het Zand in het midden van de afstand tussen de aansluiting met vaargeul Scheur en de haveningang. Evolutie tussen 1987 – 2003. Geeft een idee over de morfologische evenwichtshellingen (Comm. Verwaest, 09/12/2011). .....	5
Figuur 3-3: Bathymetrie van het buitengaats gebied van de haven van Zeebrugge. Overgangshelling van 1/10 tussen vaargeul en omliggende bathymetrie.....	5
Figuur 3-4: Bathymetrie van het buitengaats gebied van de haven van Zeebrugge. Overgangshelling van 1/100 tussen vaargeul (-16m TAW) tot -13m TAW en daarna 1/200 naar omliggende bathymetrie...6	
Figuur 3-5: Overzicht van de volledige bathymetrie buitengaats en binnengaats van de haven van Zeebrugge voor de numerieke golfvindingmodellen. Aanduiding van langdoorsnede LDS <sub>B+H</sub> en dwarsdoorsneden AB, CD en EF. ....	8
Figuur 3-6: Bathymetrie van Zeebrugge beperkt tot de haven zelf exclusief het buitengaats gebied (en dus zonder vaargeul). Aanduiding van langdoorsnede LDS <sub>H</sub> en dwarsdoorsneden AB, CD en EF. ....	9
Figuur 3-7: Bathymetrie binnengaats van de nieuwe haven met aanduiding van de uitvoerpunten. ....	10
Figuur 3-8: Bathymetrie binnengaats van de oude haven (incl. SHIP) met aanduiding van de uitvoerpunten. ....	11
Figuur 3-9: Positie golfgeneratielij en sponslagen in het Mike 21 BW model (havenmodel). ....	16
Figuur 3-10: Positie golfgeneratielij en sponslagen in het Mike 21 BW model (buitengaats & havenmodel). ....	17
Figuur 3-11: Positie golfgeneratielij en sponslagen in het MILDwave model (havenmodel).....	18
Figuur 3-12: Positie golfgeneratielij en sponslagen in het MILDwave model (buitengaats & havenmodel). ....	18
Figuur 3-13: Invloed van de tijd-extrapolatiefactor (= 0.8) op de significante golfhoogte. Langdoorsnede van de golfagitatatiecoëfficiënt $K_d (=H_s/H_{s,inc})$ . Golfgeneratielij op $x = 0$ . Verwachte waarde = 1.0 over volledige lengte waar zich geen sponslagen bevinden. Sponslagen over 100 cellen aan het rechter uiteinde absorbeert alle inkomende golfenergie. ....	20
Figuur 3-14: Indicatie van sponslaaggebied (groen gebied aangeduid met een cirkel) op de locatie van het sterneneiland.....	21
Figuur 3-15: De reflectiecoëfficiënt $C_r$ in functie van de absorptiecoëfficiënt $\mu (=1/\mu_{BW})$ van een eencellige sponslaag voor waterdieptes 22.53m, 14.73m en 7.91m. ....	23
Figuur 3-16: Vergelijking evolutie van $K_d$ -waarde volgens langdoorsnede LDS <sub>H</sub> en dwarsdoorsneden AB (ingang van de haven, $x_{LDS} = 0m$ ), CD (ingang oude haven, $x_{LDS} = 2000m$ ) en EF (ingang dok Vandammesluis, $x_{LDS} = 2800m$ ) voor verschillende tijdsextrapolatie factoren. ....	26
Figuur 3-17: $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Vergelijking tussen het model met tijdsextrapolatie factor 0.80 en 0.85. ....	27
Figuur 3-18: Schematische voorstelling van keuze einde van havendamkop in de numerieke modellen waarbij de hellingen van de havendammen niet opgenomen zijn in de bathymetrie. boven: de mogelijkheden, onder: de uiteindelijke keuze in de finale modellen .....	28

Figuur 3-19: $K_d$ -contourplot met focus op de nieuwe haven. Resultaat van Mike 21 BW. Vergelijking van diffractiepatroon tussen mogelijkheid 1 (links) en mogelijkheid 3 (model met kleinere haveningangsbreedte: rechts).	29
Figuur 3-20: $K_d$ -contourplot met focus op de oude haven en SHIP. Resultaat van Mike 21 BW. Vergelijking van diffractiepatroon dieper in de haven tussen mogelijkheid 1 (links) en mogelijkheid 3 (model met kleinere haveningangsbreedte: rechts).	30
Figuur 3-21: $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Vergelijking tussen het model met de gekozen haveningang (mogelijkheid 1) en met versmalde haveningang (einde havendamkoppen volgens mogelijkheid 3).	31
Figuur 3-22: Evolutie van $K_d$ -waarde volgens langsdoorsnede $LDS_H$ en dwarsdoorsneden AB (ingang van de haven, $x_{LDS} = 0m$ ), CD (ingang oude haven, $x_{LDS} = 2000m$ ) en EF (ingang dok Vandammesluis, $x_{LDS} = 2800m$ ).	32
Figuur 3-23: $K_d$ -contourplots van de volledige haven met aanduiding van de doorsneden $LDS_H$ , AB, CD en EF. Resultaat van Mike 21 BW. Vergelijking van golfindringing voor verschillende golfrichtingen.	34
Figuur 3-24: $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Vergelijking tussen de verschillende golfrichtingen.	35
Figuur 3-25: Evolutie van $K_d$ -waarde volgens langsdoorsnede $LDS_H$ en dwarsdoorsneden AB (ingang van de haven, $x_{LDS} = 0m$ ), CD (ingang oude haven, $x_{LDS} = 2000m$ ) en EF (ingang dok Vandammesluis, $x_{LDS} = 2800m$ ). Vergelijking tussen de verschillende golfrichtingen.	36
Figuur 3-26: $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Vergelijking tussen lang- en kortkruinige golven.	38
Figuur 3-27: Evolutie van $K_d$ -waarde volgens langsdoorsnede $LDS_H$ en dwarsdoorsneden AB (ingang van de haven, $x_{LDS} = 0m$ ), CD (ingang oude haven, $x_{LDS} = 2000m$ ) en EF (ingang dok Vandammesluis, $x_{LDS} = 2800m$ ). Vergelijking tussen lang- en kortkruinige golven.	39
Figuur 3-28: $K_d$ -contourplot met focus op de nieuwe voorhaven. Resultaat van Mike 21 BW. Links: langkruinige golven, rechts: kortkruinige golven.	40
Figuur 3-29: $K_d$ -contourplot met focus op de oude haven. Resultaat van Mike 21 BW. Links: langkruinige golven, rechts: kortkruinige golven.	41
Figuur 3-30: $K_d$ -waarden ( <b>genormaliseerd met <math>K_{d,AB}</math></b> ) voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Vergelijking tussen met en zonder vaargeul voor lang- en kortkruinige golven. Golfrichting NNW.	44
Figuur 3-31: Evolutie van $K_d$ -waarde ( <b>genormaliseerd met <math>K_{d,AB}</math></b> ) volgens langsdoorsnede $LDS_{B+H}$ (start vaargeul $x_{LDS} = 0m$ ) en dwarsdoorsneden AB (ingang van de haven, $x_{LDS} = 5500m$ ), CD (ingang oude haven, $x_{LDS} = 7500m$ ) en EF (ingang dok Vandammesluis, $x_{LDS} = 8300m$ ). Vergelijking tussen met en zonder vaargeul voor lang- en kortkruinige golven. Golfrichting NNW.	45
Figuur 3-32: Kleurenplot van verheffingen 12.5min ver in de simulatie. SWL = +7.30m TAW, NNW, langkruinige golven, model inclusief vaargeul.	46
Figuur 3-33: Kleurenplot van verheffingen 12.5min ver in de simulatie. SWL = +7.30m TAW, NNW, kortkruinige golven ( $\sigma = 20^\circ$ ), model inclusief vaargeul.	47
Figuur 3-34: $K_d$ -contourplot (niet genormaliseerd met $K_{d,AB}$ ) rondom vaargeul (Mike 21 BW). Langkruinige golven. Golfrichting NNW. Opgelet: in de vaargeul wordt maximaal $K_d = 1.80$ bereikt (dus buiten bereik van de toegepaste schaal).	48
Figuur 3-35: $K_d$ -contourplot (niet genormaliseerd met $K_{d,AB}$ ) rondom vaargeul (Mike 21 BW). Kortkruinige golven. Golfrichting NNW.	48
Figuur 3-36: $K_d$ -contourplot (niet genormaliseerd met $K_{d,AB}$ ) met focus op de nieuwe voorhaven. Resultaat van Mike 21 BW. Links: haven model, rechts: haven + vaargeul. Golfrichting NNW.	49

Figuur 3-37: $K_d$ -contourplot (niet genormaliseerd met $K_{d,AB}$ ) met focus op de oude haven. Resultaat van Mike 21 BW. Links: haven model, rechts: haven + vaargeul. Golfrichting NNW.....	50
Figuur 3-38: $K_d$ -contourplot (niet genormaliseerd met $K_{d,AB}$ ) van het volledig model inclusief vaargeul (MILDwave). Langkruinige golven. Golfrichting NW. ....	51
Figuur 3-39: Verschilkaarten van $H_s$ [m] tussen model zonder en met golfbreking (MILDwave resultaten). ....	53
Figuur 3-40: $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). MILDwave, incl. vaargeul, langkruinige golven. Vergelijking tussen de golfrichtingen offshore van de vaargeul: NNW, $-17^\circ N$ , $-12^\circ N$ , $-6^\circ N$ en N.....	55
Figuur 3-41: $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Mike 21 BW, incl. vaargeul, kortkruinige golven ( $\sigma = 20^\circ$ ). Vergelijking tussen de golfrichtingen offshore van de vaargeul: NNW, $-17^\circ N$ en $-6^\circ N$ . ....	56
Figuur 3-42: Contourplot van de golfindringingscoëfficiënt $K_d$ van het Mike 21 BW (links) en het MILDwave resultaat (rechts). Golfcondities voor waterstand +7.40m TAW en richting NNW. Model zonder vaargeul. ....	58
Figuur 3-43: Contourplot van de golfindringingscoëfficiënt $K_d$ van het Mike 21 BW (boven) en het MILDwave resultaat (onder). Golfcondities voor waterstand +7.40m TAW en richting NNW. Model inclusief vaargeul. ....	59
Figuur 3-44: $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Vergelijking tussen beide golfindringingsmodellen voor het havenmodel (zonder vaargeul).....	61
Figuur 3-45: Evolutie van $K_d$ -waarde volgens langdoorsnede $LDS_{B+H}$ (start vaargeul $x_{LDS} = 0m$ ) en dwarsdoorsneden AB (ingang van de haven, $x_{LDS} = 5500m$ ), CD (ingang oude haven, $x_{LDS} = 7500m$ ) en EF (ingang dok Vandammesluis, $x_{LDS} = 8300m$ ). Vergelijking tussen beide golfindringingsmodellen voor het havenmodel (zonder vaargeul). ....	62
Figuur 3-46: $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Vergelijking tussen beide golfindringingsmodellen voor model inclusief vaargeul.....	63
Figuur 3-47: Evolutie van $K_d$ -waarde volgens langdoorsnede $LDS_{B+H}$ (start vaargeul $x_{LDS} = 0m$ ) en dwarsdoorsneden AB (ingang van de haven, $x_{LDS} = 5500m$ ), CD (ingang oude haven, $x_{LDS} = 7500m$ ) en EF (ingang dok Vandammesluis, $x_{LDS} = 8300m$ ). Vergelijking tussen beide golfindringingsmodellen voor model inclusief vaargeul.....	64
Figuur 3-48: Havenconfiguratie van het fysisch model van Graré en Roovers (1978). Oude Leopold II-dam aangeduid met stippellijn maar nog gemodelleerd in fysisch model. ....	65
Figuur 3-49: $K_d$ -contourplot en meetwaarden (in %) van een resultaat van het fysisch model voor golfrichting NNW en monochromatische golven. ....	66
Figuur 3-50: Configuratie en bathymetrie van het fysisch model van Wens en Verbist (1985a) met indicatie van de locaties van de golfhoogtemeters (modelschaal 1/70). ....	69
Figuur 3-51: Configuratie en bathymetrie (vaargeul niet volledig weergegeven) van het fysisch model van Wens en Verbist (1985b) met indicatie van de locaties van de golfhoogtemeters (modelschaal 1/150). ....	70
Figuur 3-52: $K_{dr}$ -contourplot numeriek (boven) en fysisch model (onder). $H = 3.00m$ , $T = 9.0s$ , WNW...	71
Figuur 3-53: $K_{dr}$ -contourplot numeriek (boven) en fysisch model (onder). $H = 3.00m$ , $T = 9.0s$ , NW. ....	71
Figuur 3-54: $K_{dr}$ -contourplot numeriek (boven) en fysisch model (onder). $H = 3.00m$ , $T = 9.0s$ , NNW....	72
Figuur 3-55: $K_{dr}$ -contourplot numeriek (boven) en fysisch model (onder). $H = 3.00m$ , $T = 9.0s$ , N.....	72
Figuur 3-56: $K_{dr}$ -contourplot numeriek (boven) en fysisch model (onder). $H = 3.00m$ , $T = 9.0s$ , NNO. ....	73
Figuur 3-57: $K_{dr}$ -contourplot numeriek (boven) en fysisch model (onder). $H = 3.00m$ , $T = 9.0s$ , NO.....	73

Figuur 3-58: Visualisatie van Tabel 3-16 (deel 1). .....	74
Figuur 3-59: Visualisatie van Tabel 3-16 (deel 2). .....	75
Figuur 3-60: Gemeten golfrichting te Bol van Heist (boven) en gemeten windrichting te Zeebrugge meetboei (onder), Afdeling Kust (2010). Aanduiding van de beschouwde stormperiode (groene stippellijn). .....	78
Figuur 3-61: $K_d$ -waarden voor de meetlocaties in de haven (meting op 25/09/2010 om 22u). Vergelijking tussen in situ meting en numeriek model Mike21BW.....	79
Figuur 3-62: Foto van Brittaniadok met aanduiding van aanmeerplaats en aangemeerd schip die voor schaduwzone zorgt voor meetlocatie ZBG_C. (© Google Earth, 2012).....	79
Figuur 3-63: Contourplot van de golfindringingscoëfficiënt $K_d$ van het Mike 21 BW met langkruinige golven (links) en kortkruinige golven ( $\sigma = 20^\circ$ ) (rechts). Golfcondities van natuurmeting. Model zonder vaargeul. ....	80
Figuur 3-64: Contourplot van de golfindringingscoëfficiënt $K_d$ van het Mike 21 BW met kortkruinige golven met directionele spreiding van $20^\circ$ . Golfcondities van natuurmeting. Model inclusief vaargeul. ...	80
Figuur 3-65: Zoom van Figuur 3-64 naar ZOK (linksboven), ZBG_A (rechtsboven), ZBG_B (linksonder), ZBG_C (rechtsonder). Het beschouwde meetpunt is omcirkeld. ....	81
Figuur 3-66: Spectra op alle meetlocaties binnen en buiten de haven, resultaat Mike 21 BW. ....	82
Figuur 3-67: Vergelijking van spectra Mike 21BW en natuurmeting + aanduiding van de piekperiode buiten de haven (verticale stippellijn). ....	82
Figuur 3-68: Spectra in de meetpunten ZBG_A, ZBG_B en ZBG_C. Boven: meting, onder: Mike 21 BW (incl. vaargeul en directionele spreiding, $\sigma = 20^\circ$ ). ....	83
Figuur 3-69: 1D-spectra van referentiepunt en meetlocaties, met aanduiding van piekperiode $T_p = 12.0s$ . Resultaat van Mike 21 BW. Boven: model inclusief vaargeul, SWL=+7.30m TAW, NNW, langkruinig. Onder: model zonder vaargeul, SWL=+7.90m TAW, NNW, langkruinig.....	85
Figuur 3-70: Directioneel spectrum opgesteld met DIWASP (2011) op basis van Mike 21 BW resultaat in punt Ref_r7 voor SWL=+7.90m TAW, golfrichting NNW, model zonder vaargeul.....	86
Figuur 3-71: Voorbeelden van verheffingsplot (ter hoogte van het dok naar de Vandammesluis) waarin de golfkruin van de eerste golf duidelijk zichtbaar is (Mike 21 BW resultaat). Met aanduiding van de loodrechte op de golfkruin (rode rechte) die de golfrichting aanduidt. ....	87
Figuur 3-72: Sponslaagmap voor SWL = +7.10m TAW, focus op het dok naar de Vandammesluis. Links: werkelijke toestand, rechts: kaaimuur verwijderd en als absorberende sponslagen toegevoegd.....	88
Figuur 3-73: $K_d$ -contourplot bij de Vandammesluis (RP=1000j). Links: met kaaimuur, rechts: zonder....	89
Figuur 3-74: $K_d$ -contourplot bij de Vandammesluis (+7.90m TAW). Links: met kaaimuur, rechts: zonder. ....	89
Figuur 4-1: Waterdiepte in het SWAN model voor waterstand +7.40m TAW. ....	90
Figuur 4-2: Aanduiding van zones waarvoor de golfcondities ten gevolge van lokaal wind gegenereerde golven bepaald worden uit de SWAN simulatie resultaten. ....	93
Figuur 4-3: Contourplot van de significante golfhoogte $H_s$ [m] die ontstaat door lokale golfopwekking in de haven van Zeebrugge tijdens een superstorm met SWL = +7.90m TAW en windrichting NNW. Zwarte pijlen duiden de gemiddelde golfrichting aan. ....	93
Figuur 4-4: Idem als Figuur 4-3, maar vergroot naar de interessegebieden.....	94
Figuur 5-1: Opdeling van de kaaimuren voorzien van stormmuren in zones. ....	96

# 1 Inleiding

## 1.1 De opdracht

Op 10 juli 2009 werd bijakte 1 van het bestek 16EB/04/18 "Golfmodellering Vlaamse en Nederlandse kust" vastgelegd. Deze bijakte omvat de studie van het extreem golfklimaat in de Belgische havens en wordt uitgevoerd door IMDC (International Marine & Dredging Consultants nv) in opdracht van en in samenwerking met het Waterbouwkundig Laboratorium.

## 1.2 Doel

Tijdens een superstorm bepalen de golven in een haven in belangrijke mate de belasting en golfoverslag op de zeeweringstructuren. Het doel van deze studie is om met behulp van numerieke golfmodellering het golfklimaat in de Belgische havens tijdens zo'n superstorm te bepalen. In het onderhavige rapport wordt de haven van Zeebrugge beschouwd. Het doel van dit rapport kan ten slotte worden samengevat als:

- Een gedetailleerde beschrijving van het opstellen van de golfindringingsmodellen, het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses, een onderlinge vergelijking van de modellen en een validatie met natuurmetingen;
- Bespreking van het golfmodel voor de lokale generatie van golven door wind en de combinatie met de resultaten van de golfindringingsmodellen voor het bekomen van het totale golfklimaat in de haven;
- Bepaling van de hydrodynamische randvoorwaarden voor het ontwerp van de overstromingsmaatregelen (stormmuren,...) in de haven van Zeebrugge (cf. Figuur 1-1).

De methodologie die werd uitgewerkt door Gruwez et al. (2011) voor het opstellen van de golfmodellen en het bepalen van de golfrandvoorwaarden voor de haven van Oostende wordt opnieuw toegepast. Hierbij wordt rekening gehouden met mogelijk noodzakelijke aanpassingen specifiek voor de haven van Zeebrugge.



Figuur 1-1: Tracé van de overstromingsmaatregelen in de haven van Zeebrugge. Van west naar oost: de Visartsuis, rondom het Prins Albert I dok en ten westen van de Vandammesluis (Afdeling Kust, 2011).

### 1.3 Overzicht

- Deelopdracht 1: Inventarisatie Voorbereiding tijdreeksen met randvoorwaarden (Deelrapport 1 : I/RA/11273/05.106/CMA)
- Deelopdracht 2: Voortzetting validatie numeriek model (Deelrapport 2: I/RA/11273/06.057/SDO)
- Deelopdracht 3: Opstellen van de post processing tools (I/RA/11273/09.051/SDO)
- Deelopdracht 4: Technisch wetenschappelijke bijstand
  - Traject golfklimaat (Deelrapport 4: I/RA/11273/08.064/SDO)
  - Traject Onderzoek (Deelrapport 4: I/RA/11273/09.007/SDO)
  - Eindrapport (Deelrapport 4: I/RA/11273/09.030/SDO)
- Deelopdracht 5: Rapportage jaargemiddelde golfklimaat (Deelrapport 5: I/RA/11273/09.091/SDO)
- Bijakte: Numerieke modellering van het extreem golfklimaat in de Belgische havens
  - Haven van Oostende (WL ref.: WL2011R769\_03rev2\_0, IMDC ref. : I/RA/11273/11.113/VGR)
  - Haven van Zeebrugge (het voorliggend rapport)

### 1.4 Structuur van het rapport

Hoofdstuk 2 bevat een kort overzicht van de golfmodellen die worden toegepast.

Het opstellen van de golfindringingsmodellen wordt beschreven in Hoofdstuk 3. Dit hoofdstuk bevat tevens enkele gevoeligheidsanalyses, invloedstudies, onderlinge vergelijking van de golfmodellen en een validatie met een fysisch model en in situ metingen.

In Hoofdstuk 4 wordt de golfmodellering besproken voor het bekomen van de lokaal door wind gegenereerde golven. Deze resultaten worden dan gecombineerd met de golfindringingsresultaten tot het totaal extreem golfklimaat in de haven en de resultaten langsheen de gedefinieerde kaaimuurzones in Hoofdstuk 5.

De algemene conclusies zijn ondergebracht in Hoofdstuk 6.

## 2 Numerieke golfmodellen

Voor modellering van golfindringing wordt opnieuw zowel MILDwave (Troch, 1998) als Mike 21 BW (DHI, 2009) toegepast. Voor modellering van lokale golfgeneratie door extreme wind wordt het golfmodel SWAN (TUDelft, 2010) toegepast.

Een kort overzicht van de gekozen golfmodellen samen met hun karakteristieken en fysische golfprocessen wordt gegeven in Tabel 2-1.

Voor een uitgebreide bespreking van deze modellen wordt verwezen naar Gruwez et al. (2011).

Tabel 2-1: Overzicht van de gekozen golfmodellen en hun karakteristieken (Gruwez et al., 2011).

	MILDwave	Mike 21 BW	SWAN
<b>Type</b>	Lineair	Niet-lineair	Spectraal
<b>Vergelijkingen</b>	Mild-slope vergelijkingen Radder and Dingemans (1985)	Boussinesq vergelijkingen Madsen et al. (1991, 1992)	Action balance vergelijking Booij et al. (1999)
<b>Domein</b>	Tijd	Tijd	Frequentie
<b>Fysische processen</b>			
<b>Refractie &amp; shoaling</b>	X	X	X
<b>DiffRACTIE</b>	X	X	X (behalve samen met reflectie)
<b>(partiële) Reflectie</b>	X Brorsen (1998, 2000)	X Brorsen (1998, 2000)	X (geen staande golven)
<b>Kortkruinige golven</b>	- <sup>1</sup>	X	X
<b>Golfbreking</b>	X	X	X
<b>Niet-lineaire golf-golf interacties</b>	-	X	X (geen sub harmonics)
<b>Golfgeneratie door wind</b>	- <sup>2</sup>	-	X

<sup>1</sup> Niet beschikbaar in de toegepaste versie van MILDwave (v3.02), echter wel in ontwikkeling (Comm. Troch, 2011).

<sup>2</sup> Een onderzoeksversie van de windgroeimodule van MILDwave is in gebruik bij AWW-UGent voor stapsgewijze validatie, deze zit evenwel niet in de huidige toegepaste licentieversie van de code (Comm. Troch, 07/03/2012).

### 3 Golfindringing: faseoplossende golfmodellering

#### 3.1 Opbouw van modellen

##### 3.1.1 Inleiding

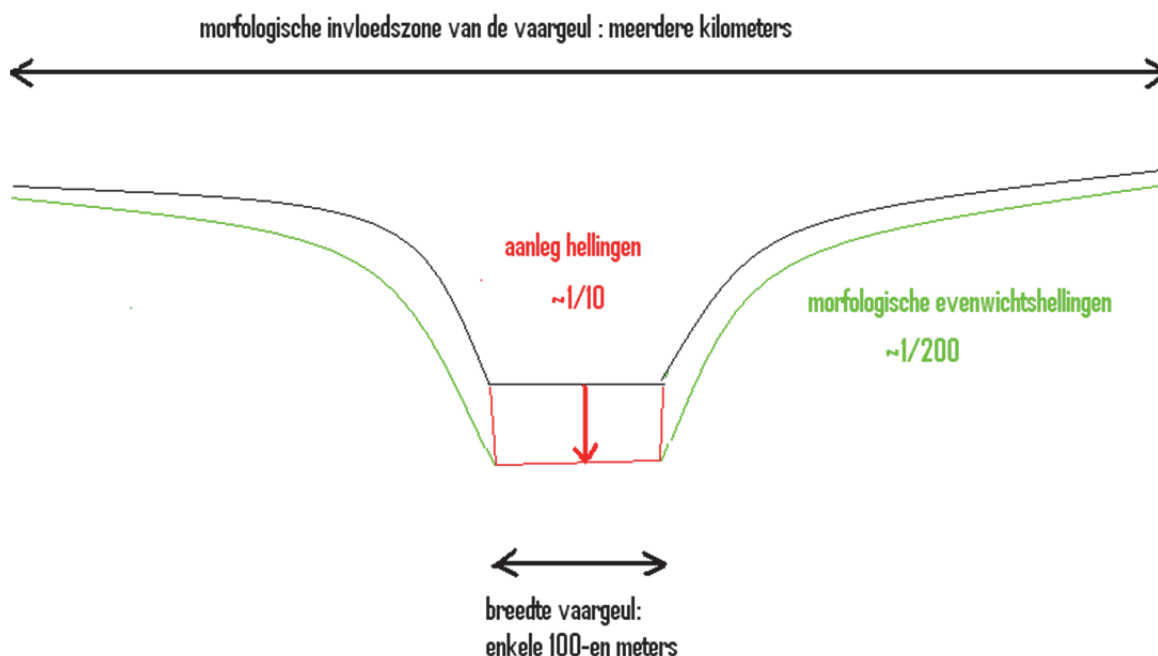
Voor de opbouw van de golfindringingsmodellen wordt dezelfde methode toegepast als beschreven door Gruwez et al. (2011) voor de haven van Oostende.

##### 3.1.2 Bathymetrie en haven geometrie

Er werd reeds een bathymetrie opgesteld voor de haven van Zeebrugge die voor zowel het numeriek (Dujardin et al., 2011) als het fysisch stromingsmodel (Waterbouwkundig Laboratorium, 2011) dienstig is. De bathymetrie bestaat uit een buitengaats en een binnengaats gebied.

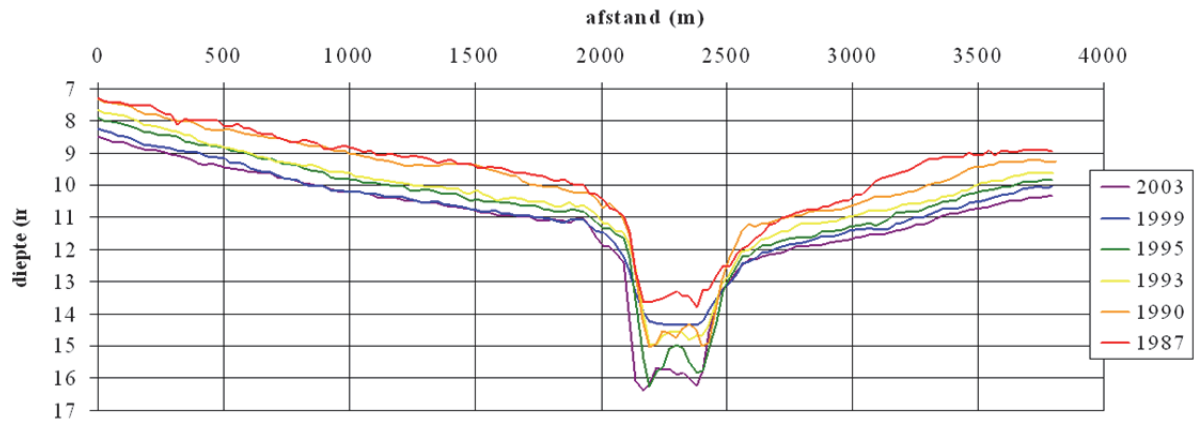
De bathymetrie die werd opgesteld voor het numeriek stromingsmodel (Dujardin et al., 2011), wordt gebruikt als basis voor de interpolatie van het buitengaats gebied van de bathymetrie. Er worden twee versies van de bathymetrie aangemaakt:

1. Een ongewijzigde versie waarin de vaargeul Pas van het Zand werd ingevoerd door Dujardin et al. (2011) met een streefdiepte van -16.03m TAW zoals voorgeschreven door Afdeling Maritieme Toegang (2011b) en met overgangshellingen van 1/10 naar de omliggende opgemeten bathymetrie (cf. Figuur 3-3);
2. Een aangepaste versie waarin de zijhellingen van de vaargeul werden aangepast naar een helling die beter overeenkomt met het morfologisch evenwicht zoals weergegeven in Figuur 3-1 en Figuur 3-2. Deze helling werd vereenvoudigd naar een helling van 1/100 tussen bodempeil van het navigatiekanaal (= -16.03m TAW) en het peil dat 3.00m hoger ligt (= -13.00m TAW). Vanaf dit peil is dan een zwakkere helling van 1/200 aangenomen tot aan de omliggende opgemeten bathymetrie. Deze bathymetrie wordt getoond in Figuur 3-4.



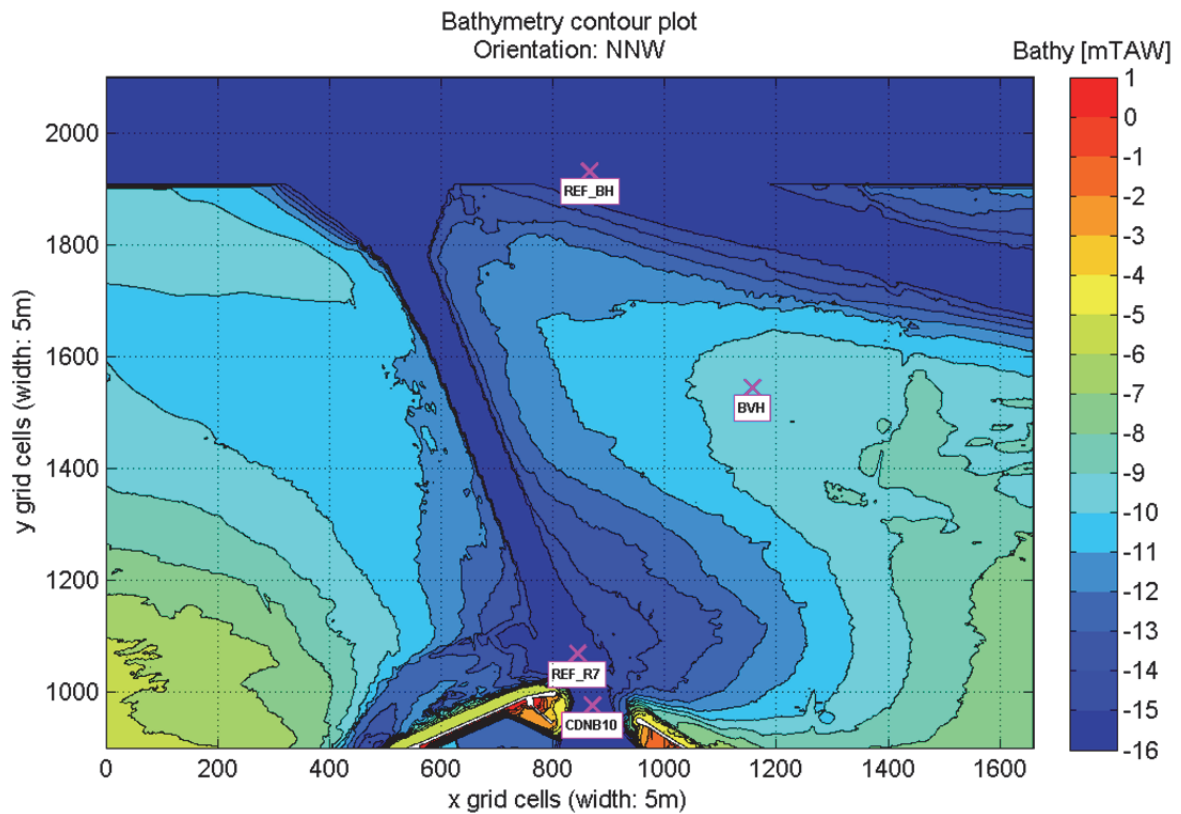
Figuur 3-1: Morfologische evenwichtshelling van een vaargeul (Comm. Verwaest, 09/12/2011).



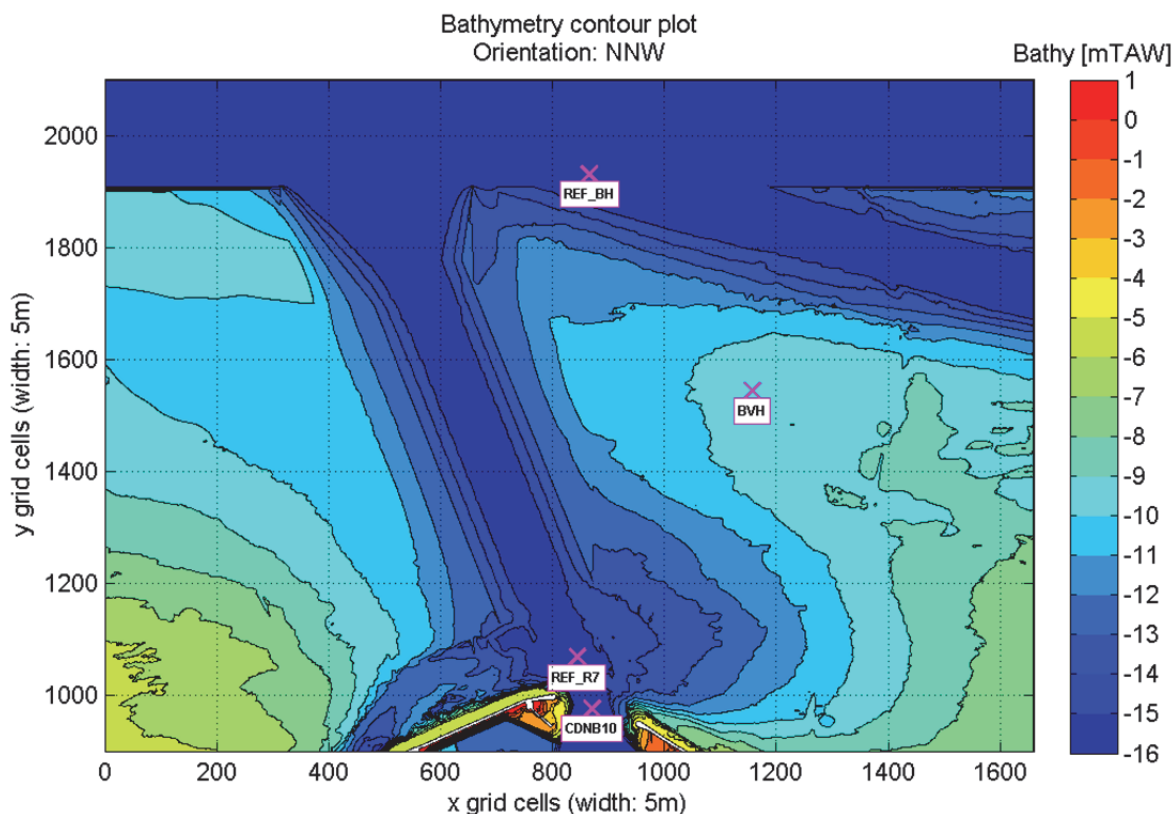


Figuur 3-2: Bathymetrie langs een dwarsdoorsnede van de vaargeul Pas van het Zand in het midden van de afstand tussen de aansluiting met vaargeul Scheur en de haveningang. Evolutie tussen 1987 – 2003. Geeft een idee over de morfologische evenwichtshellingen (Comm. Verwaest, 09/12/2011).

Toch wordt enkel de bathymetrie van de vaargeul volgens het morfologisch evenwicht (cf. Figuur 3-4) toegepast in de modellen.



Figuur 3-3: Bathymetrie van het buitengaats gebied van de haven van Zeebrugge. Overgangshelling van 1/10 tussen vaargeul en omliggende bathymetrie.



Figuur 3-4: Bathymetrie van het buitengaats gebied van de haven van Zeebrugge. Overgangshelling van 1/100 tussen vaargeul (-16m TAW) tot -13m TAW en daarna 1/200 naar omliggende bathymetrie.

Voor het binnengaats gebied van de bathymetrie wordt voortgebouwd op het werk dat werd gedaan door het Waterbouwkundig Laboratorium (2011) voor het opstellen van de bathymetrie voor het fysisch stromingsmodel. De bathymetrie werd aangepast zodat:

- Overall aan de streefdieptes voorgeschreven door Afdeling Maritieme Toegang (2011a) en Afdeling Kust (2011a) wordt voldaan. De laagst mogelijke bodempeilen binnen de haven laten immers de meeste golfindringing toe;
- Overgangshellingen niet steiler zijn dan 1/3. Deze beperking wordt opgelegd door zowel DHI (2009) voor Mike 21 BW als door Troch (1998) voor MILDwave;
- De bathymetrie steeds de teenconstructies van de stortsteengolfbrekers bevat. Het peil van de teenconstructies werd bepaald op basis van de plannen van de golfbrekers (Afdeling Maritieme Toegang, 2011c);
- De bathymetrie ook de geplande uitbreiding naar het nieuwe SHIP dok bevat. Het bodempeil van dit dok bedraagt -12.50m TAW (Tritel, 2011).

In tegenstelling tot de teenconstructies zijn de hellingen zelf van de stortsteengolfbrekers (en de glooiingen) niet opgenomen in de bathymetrie, maar gemodelleerd als verticale wanden met partiële reflectie a.d.h.v. een sponslaag (cf. §3.1.8) omdat:

- Ze te steil zijn<sup>3</sup> (hellingen van 1/1.5 en 1/2),
- Golfploop in de numerieke modellen ingeschakeld zou moeten worden en dit voor numerieke instabiliteiten zou zorgen.

<sup>3</sup> MILDwave zou dergelijk steile hellingen wel kunnen opnemen zonder numerieke instabiliteit, maar de numerieke resultaten zouden onbetrouwbaar zijn in deze gebieden (Mild-slope vergelijkingen zijn toepasbaar tot 1/3).

Dit heeft echter een effect op de breedte van de doorgang tussen de havendammen (bv. haveningang, ingang LNG dok,...). De numerieke havendammen reiken net tot aan de stilwaterlijn op de havendam voor waterstand +7.90m TAW. Dit is de meest conservatieve aanname, want dit zorgt voor de grootste haveningangsbreedte. De invloed van de breedte van de haveningang wordt onderzocht in §3.2.3.

Het Sterneneiland (het gebied ingeklemd tussen de oostelijke havendam en de stortsteengolfbreker van de LNG terminal) is geen interessegebied en heeft geen invloed op de golfindringing verder in de haven. Door de zwakke hellingen van het eiland dissipeert immers de meeste golfenergie door golfbreking zodat weinig reflectie terug naar de haven optreedt. Omdat golfbreking in dat gebied de berekeningen onnodig zouden vertragen, wordt het sterneneiland afgeknot tot op hoogtepeil +1.00m TAW en wordt een sponslaag ingevoerd in dit gebied (cf. §3.1.7).

Er wordt geen rekening gehouden met erosie en/of sedimentatie die opgelopen wordt tijdens de storm.

De afbakening van het rekendomein zorgt ervoor dat het interessegebied omvat is volgens de havengeometrie en buiten de haven met voldoende ruimte voor ontwikkeling van de golven. Er wordt ook gezorgd dat de schaduwzone die ontstaat bij wijzigen van de golfrichting en/of directionele spreiding de haveningang niet bereikt zodat steeds de totale opgelegde golfenergie de haveningang bereikt. Daarbij wordt het rekendomein zo klein mogelijk gehouden om de rekentijd zoveel mogelijk te beperken. Er worden twee versies van het rekendomein opgemaakt:

1. Een rekendomein inclusief de bathymetrie buitengaats die de volledige vaargeul Pas van het Zand bevat (cf. Figuur 3-5);
2. Een rekendomein met bovengrens zo dicht als praktisch mogelijk tegen de haveningang om de rekentijd te beperken (cf. Figuur 3-6). De bathymetrie buitengaats bevat wel nog de teen van de havendammen.

Tussen de golfgeneratielijn en start van de bathymetrie of de haven dient een aanloopafstand van minimaal 2 golflengten aanwezig te zijn. Zeewaarts van de golfgeneratielijn volstaat 1 à 2 golflengten (DHI, 2009) of 2.5 golflengten (Troch, 1998) voor de sponslagen die de uitgaande golfenergie absorberen.

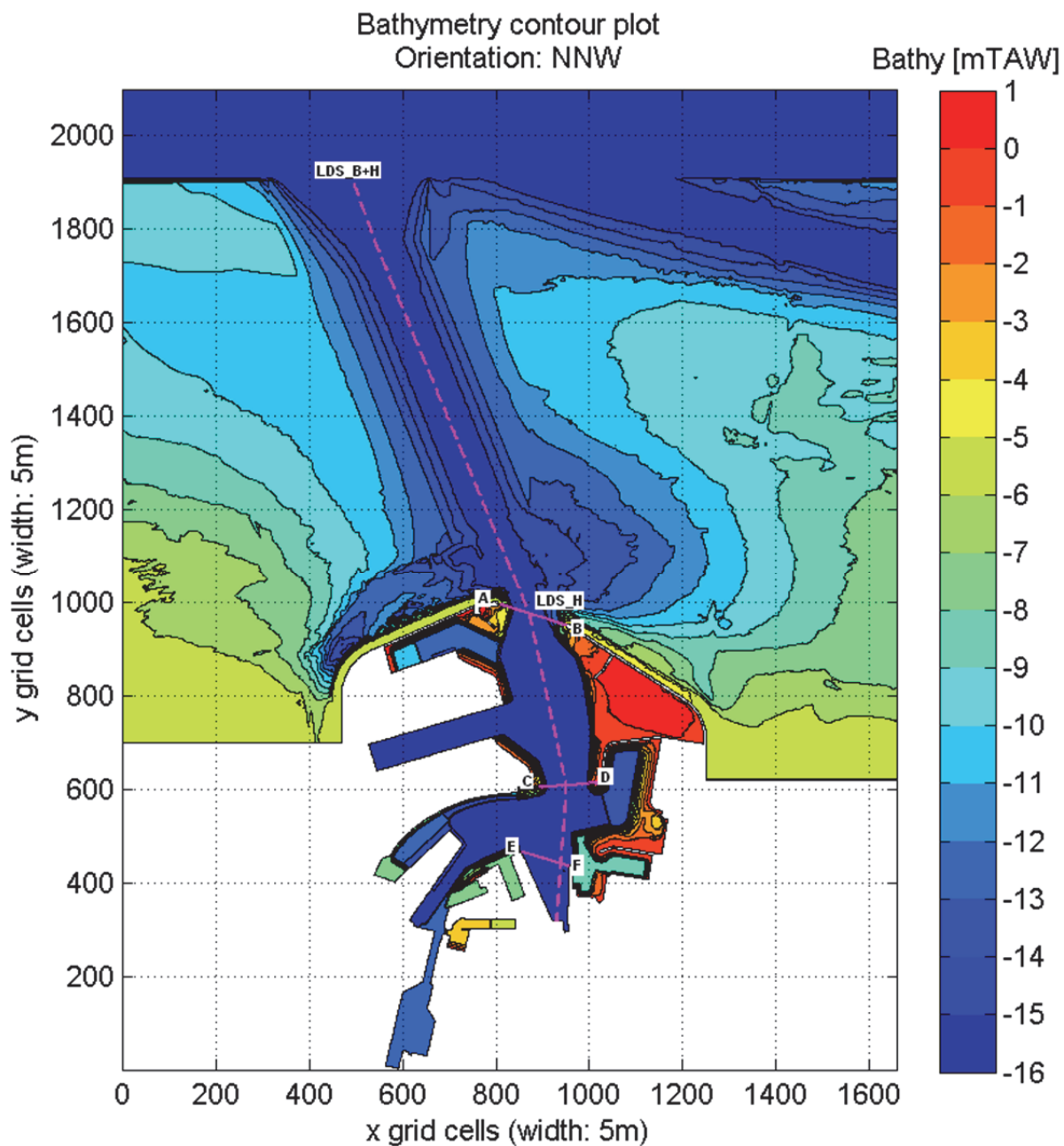
De landgrens in de binnenhaven volgt de verticale kaaimuren in de haven, alsook de kaaivlakken op palen om partiële reflectie en interactie tussen de kaaivlakgrenzen en golven voor de hoge stormwaterstanden toe te laten. Kaaivlakken op palen zijn te vinden in het Prins Albert I dok (het uitstekende gedeelte aan de westelijke kant van de zuidelijke kaai).

In geval van glooiingen volgt de landsgrens de +8.00m TAW lijn op deze glooiingen.

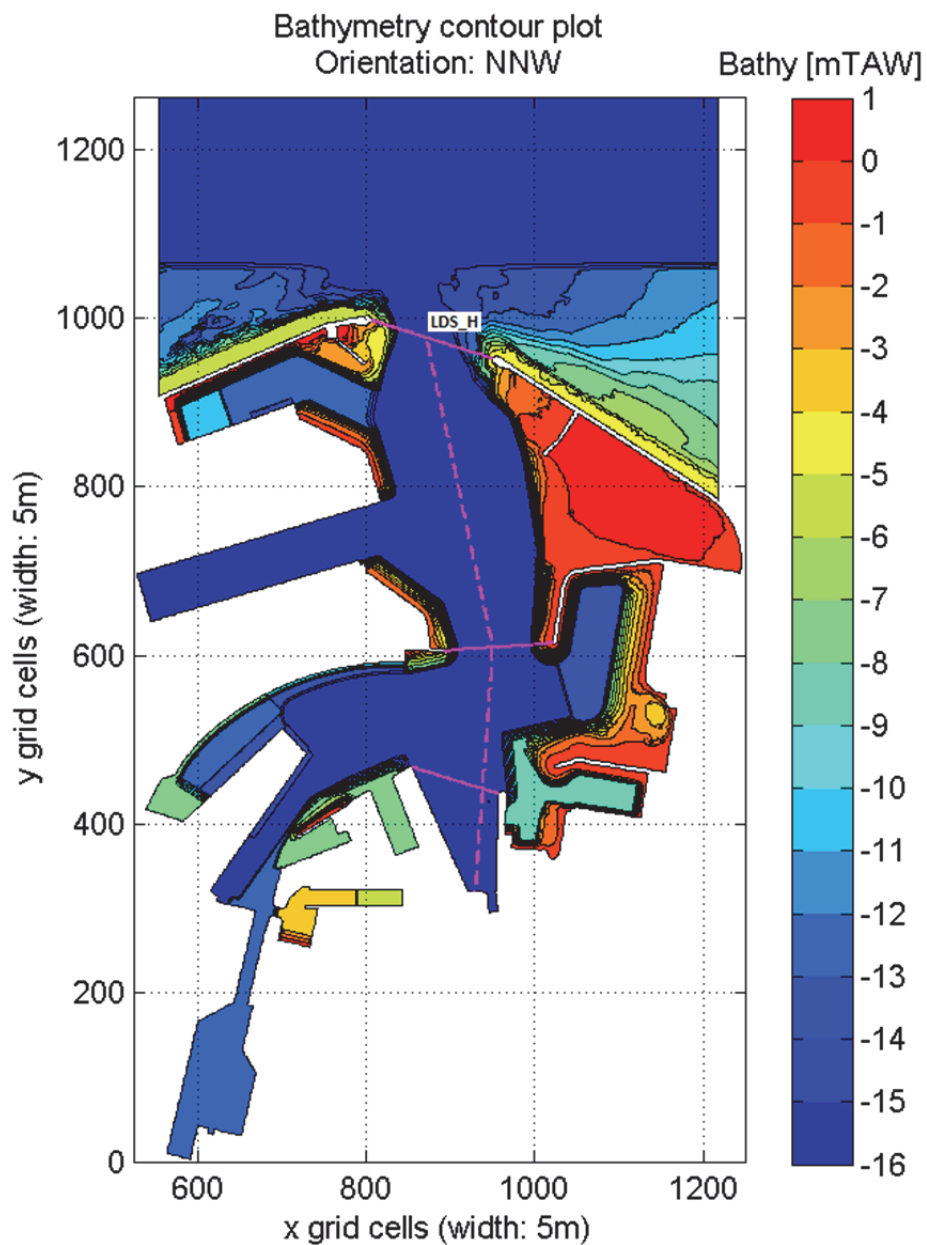
De pontons en steigers in de haven (bv. resp. einde Wielingendok en LNG dok) worden verondersteld niet aanwezig of verloren te zijn tijdens de storm en worden bijgevolg niet in rekening gebracht.

Alle peilen zijn gegeven in [m TAW]. Het gebied buiten de haven is voldoende groot gekozen zodat de belangrijkste golfrichtingen gemodelleerd kunnen worden zonder dat het rekendomein geheroriënteerd moet worden volgens de golfrichting. Het rekendomein is steeds gericht volgens NNW (aan de bovenzijde).

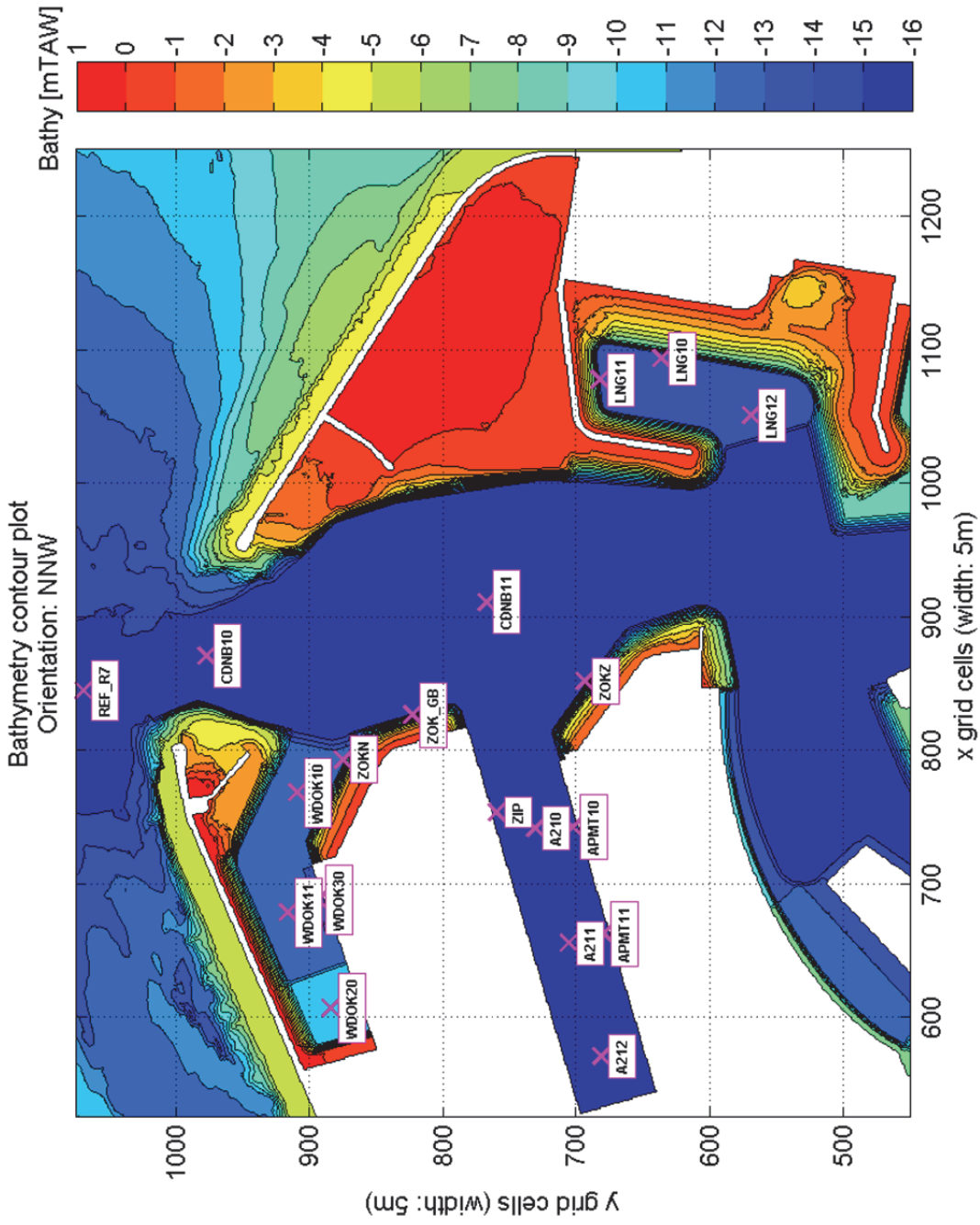
Tenslotte zijn in Figuur 3-7 en Figuur 3-8 de locaties van uitvoerpunten in respectievelijk de zogenaamde nieuwe en oude haven. Langsdoorsnede LDS (B+H en H) en dwarsdoorsneden AB, CD en EF zijn aangeduid in Figuur 3-5 en Figuur 3-6. In deze uitvoerpunten en doorsneden zullen de resultaten van de gevoeligheidsanalyses (§3.2) en golfindringingsmodellen onderling (§3.3) met elkaar vergeleken worden.



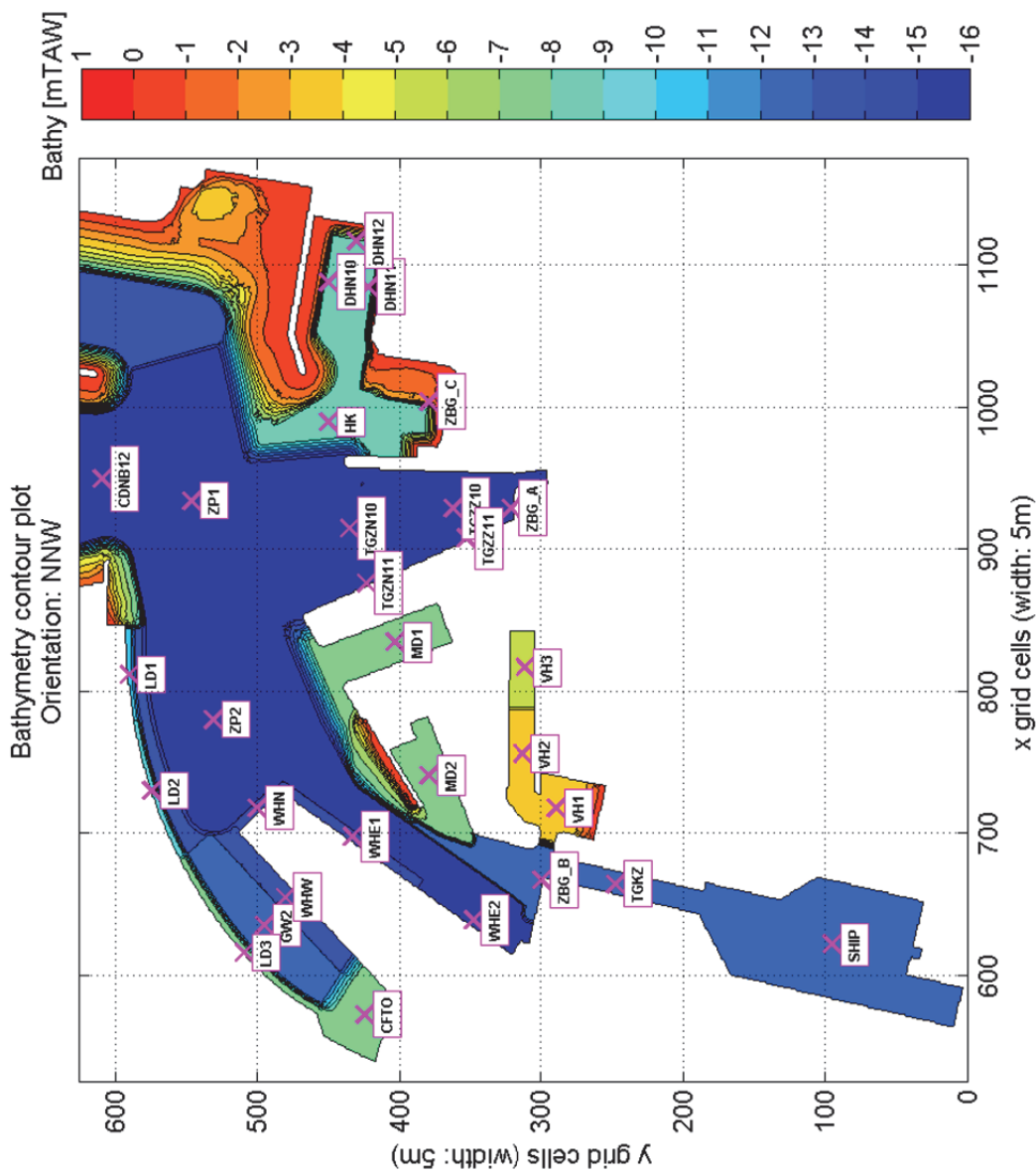
Figuur 3-5: Overzicht van de volledige bathymetrie buitengaats en binnengaats van de haven van Zeebrugge voor de numerieke golfindringingsmodellen. Aanduiding van langsdorsnede LDS<sub>B+H</sub> en dwarsdoorsneden AB, CD en EF.



Figuur 3-6: Bathymetrie van Zeebrugge beperkt tot de haven zelf exclusief het buitengaats gebied (en dus zonder vaargeul). Aanduiding van langsdoorsnede  $LDS_H$  en dwarsdoorsneden AB, CD en EF.



Figuur 3-7: Bathymetrie binnengaats van de nieuwe haven met aanduiding van de uitvoerpunten.



Figuur 3-8: Bathymetrie binnengaats van de oude haven (incl. SHIP) met aanduiding van de uitvoerpunten.

### 3.1.3 Hydrodynamische randvoorwaarden

De hydrodynamische randvoorwaarden zijn gegeven in Tabel 3-1. Ze worden bepaald in Bijlage 1.

De condities horende bij waterstand +7.10m TAW zijn de golfcondities met terugkeerperiode van 1000 jaar. De andere waterstanden tussen +6.40m TAW en +7.90m TAW zijn de condities van de superstormen<sup>4</sup> zoals gedefinieerd voor de risicoberekeningen van Verwaest et al. (2008).

Daarnaast zijn ook nog de hydrodynamische randvoorwaarden gegeven waarvoor het numeriek model gevalideerd wordt met de overeenkomstige natuurmeting. Het stelt een conditie voor die werd opgemeten door de directionele golfmeetboei te Bol van Heist op het tijdstip van één van de hoogste gemeten golfhoogten in de haven van Zeebrugge tijdens de meetcampagne van 2010-2011 (IMDC, 2011a).

In §3.2 wordt een vergelijking gemaakt van de golfindringing voor verschillende golfrichtingen en wordt de invloed van de kortkruinige golven onderzocht.

Tabel 3-1: De hydrodynamische randvoorwaarden van de superstormen

SWL [m TAW]	$d_{max}$ [m]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]
<b>+6.40</b>	22.43	5.5	12.0
<b>+6.90</b>	22.93	5.7	12.0
<b>+7.10</b>	23.13	5.7	12.0
<b>+7.40</b>	23.43	5.9	12.0
<b>+7.90</b>	23.93	6.2	12.0

Voor elke golfconditie wordt een JONSWAP spectrum opgesteld. Deze dient als basis voor de opbouw van een tijdreeks die wordt opgelegd aan de golfgeneratielijn.

In Mike 21 BW moet een cutoff-frequentie gekozen worden om de numerieke stabiliteit te kunnen verzekeren (DHI, 2009). De verhouding van de maximale waterdiepte in het rekendomein en de diepwater golflengte van de kortste golf mag niet groter zijn dan 0.5 (bij gebruik van de Boussinesq vergelijkingen inclusief correctietermen voor dieper water). De minimale bovengrens van deze cutoff-frequentie wordt bepaald door de condities met de grootste waterdiepte, nl. voor SWL = +7.90m TAW. Voor een golf met periode 5.6s geldt bovenstaande voorwaarde:

$$\frac{d_{max}}{L_0} = \frac{23.93}{48.72} = 0.49 \leq 0.50$$

Voor de laagste waterstand +2.00m TAW heeft de kortste golf volgens deze voorwaarde een periode van 4.9s zodat een hogere cutoff-frequentie toegelaten zou zijn. Uit praktische overwegingen wordt het verschil met alle andere waterstanden in Tabel 3-1 verwaarloosd en wordt voor alle golfcondities dezelfde cutoff-frequentie ( $f_{cutoff} = 1/5.6s = 0.178Hz$ ) toegepast.

Het afsnijden van het spectrum zorgt echter voor een afname aan golfenergie en dus ook een daling van de significante golfhoogte. Mike 21 BW laat daarom toe om het spectrum te herscalen zodat het afgesneden spectrum dezelfde energie-inhoud heeft als het origineel spectrum. Echter, er is gekozen om dit niet te doen omdat:

<sup>4</sup> Deze waterstanden gelden eigenlijk vooral voor golfrichtingen NW en NNW (Verwaest et al., 2008). Voor andere golfrichtingen is een andere waterstand mogelijk meer gepast als waterstand voor superstormen uit die richting.



- Zo de specifieke vorm van het JONSWAP spectrum behouden wordt;
- Het verlies aan energie toch beperkt is;
- De resultaten toch aan de hand van de golfindringingscoëfficiënt  $K_d$  (cf. §3.2.1) afgelezen worden.

Het JONSWAP spectrum wordt in de code van MILDwave ook afgesneden volgens de grenzen (Caspeele, 2006):

$$0.75f_p \leq f \leq 2f_p$$

Het spectrum wordt afgesneden omwille van de fundamentele veronderstelling dat een spectrum van windgolven een "narrowbanded" spectrum dient te zijn (Comm. Troch, 07/03/2012). Een herschaling van het spectrum, zoals Mike 21 BW, is in MILDwave sowieso niet mogelijk.

In geval van kortkruinige golven in het Mike 21 BW model is de directionele spreiding  $\sigma$  berekend uit de directionele distributiefunctie (DHI, 2009):

$$D_n(\theta) = \cos^n(\theta - \theta_{main})$$

Met  $n$  de directionele spreidingsindex;  
 $\theta$  de golfrichting;  
 $\theta_{main}$  de hoofdgolfrichting.

De directionele spreidingsindex  $n$  is gekozen op 8, wat ongeveer overeenkomt met een directionele spreiding  $\sigma$  van  $20^\circ$  (volgens  $\sigma = \sqrt{\frac{2}{s+1}}$  met  $s = 2n + 1$ ).

De invloed van kortkruinige golven wordt besproken in §3.2. Op basis van die resultaten wordt beslist of directionele spreiding in de einderesultaten wordt meegenomen.

### 3.1.4 Rekenrooster, tijdstap en simulatieduur

#### Rekenrooster

Om een modellering te kunnen uitvoeren, dient een discretisatie naar een eindig aantal rekenpunten binnen het rekendomein uitgevoerd te worden. De discretisatie resulteert in een regelmatig rechthoekig rekenrooster. De roostercelafmetingen in Mike 21 BW worden gekozen zodat (DHI, 2009):

- De kortste golflengte in het rekendomein ( $T_{min} = 5.6s$  en  $d_{min} \approx 6.1m \Rightarrow L_{min} = 37.6m$ ) een resolutie heeft van 7 à 10 gridpunten:

$$\frac{L_{min}}{7 \text{ à } 10} \approx 5.4m \text{ à } 3.8m$$

- De meest energetische golven (dus met piekperiode  $T_p$ ) een resolutie hebben van 20 à 40 gridpunten per golflengte in de brekingszone (indien golfbreking ingeschakeld):

$$\frac{L_p}{20 \text{ à } 40} \approx 4.5m \text{ à } 2.3m$$

- De complexiteiten van de bathymetrie en havengeometrie voldoende te onderscheiden zijn.

Uit deze voorwaarden volgt een praktische keuze van de roostercelafmetingen:

$$\Delta x = \Delta y = 5.0m$$

Deze roostercelafmeting werd zo dicht mogelijk bij de hoogste waarden uit bovenstaande voorwaarden gekozen omdat het rekendomein een groot gebied omvat en de rekentijd zoveel als mogelijk beperkt moet worden.

Voor de roostercelafmetingen in MILDwave geldt (Caspeele, 2006):

- Volgende ervaringsregel:

$$\frac{L_g}{20} \leq \Delta x = \Delta y \leq \frac{L_g}{10}$$

- met  $L_g$  de golflengte van de kortste golf in het meest ondiepe punt ( $d_{\min} \approx 6.1\text{m}$ ).
- Voor een goede ruimtelijke discretisatie van hellingen (Jensen, 2004):

$$\Delta x = \Delta y = \frac{L_g}{30} \text{ à } \frac{L_g}{50}$$

In Tabel 3-2 zijn deze regels berekend voor de kortste en langste golven en de golven met piekperiode. De resultaten van de kortste golven (voor  $f_{\max}$ ) zijn bepalend.

Tabel 3-2: Grenzen voor de roostercelafmetingen ( $L_g$  bepaald voor  $d_{\min} = 6.1\text{m}$ ).

Frequentie	f [Hz]	T [s]	Lg [m]	Lg/10 [m]	Lg/20 [m]	Lg/30 [m]	Lg/50 [m]
$f_{\min}$	0.0625	16.0	122.0	12.2	6.1	4.1	2.4
$f_p$	0.0833	12.0	90.0	9.0	4.5	3.0	1.8
$f_{\max}$	0.1667	6.0	41.0	4.1	2.1	1.4	0.8

De preprocessor van MILDwave stelt een ondergrens voor van 2.81m en een bovengrens van 5.62m.

Opdat alle invoer voor het rekenrooster (bathymetrie en sponslagen) overdraagbaar zou zijn van Mike 21 BW naar MILDwave, wordt dezelfde roostercelgrootte  $\Delta x = \Delta y = 5.0\text{m}$  aangenomen voor het MILDwave model. Deze aanname voldoet wel aan de grenzen van de preprocessor van MILDwave, maar niet aan de voorwaarde van Jensen (2004). Die voorwaarde heeft vooral effect op reflectie van zwakkere hellingen en heeft niet zozeer betrekking op numerieke stabiliteit.

### Tijdstap

In Mike 21 BW moet de tijdstap voldoen aan volgende voorwaarden (DHI, 2009):

- De kleinste golfperiode (=5.6s) moet 25-35 tijdstappen bevatten.
- De tijdstap moet voldoen aan het Courant-criterium:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{C}$$

- Indien golfbreking wordt ingeschakeld, is de tijdstap typisch 0.05s-0.10s volgens een ervaringsregel van DHI (2009).

De bovengrenzen voor de tijdstap zijn samengevat in Tabel 3-3.

Tabel 3-3: Bovengrenzen voor de tijdstap  $\Delta t$  in Mike 21 BW op basis van voorwaarden gegeven door DHI (2009)

Frequentie	f [Hz]	T [s]	L0 [m]	Ld <sub>max</sub> [m]	C [m/s]	$\Delta t_{\max}$ [s]	T/25 [s]	T/35 [s]
$f_p$	0.0833	12.0	225.0	163.2	13.6	0.37	0.48	0.34
$f_{\max}$	0.1786	5.6	49.0	48.7	8.7	0.57	0.22	0.16

Op basis hiervan zou een tijdstap van 0.15s volstaan. Uit de numerieke stabiliteit is echter gebleken dat een lagere tijdstap nodig is. De tijdstap die toegepast is voor alle Mike 21 BW simulaties is dan gekozen op  $\Delta t = 0.125\text{s}$ .

Voor MILDwave moet ook het Courant criterium gelden. De bovengrenzen zijn samengevat in Tabel 3-4.

Tabel 3-4: Bovengrenzen voor de tijdstap  $\Delta t$  in MILDwave op basis van het Courant criterium

Frequentie	f [Hz]	T [s]	L0 [m]	Ld <sub>max</sub> [m]	C [m/s]	$\Delta t_{\max}$ [s]
f <sub>min</sub>	0.0625	16.0	400.0	229.6	14.4	0.35
f <sub>p</sub>	0.0833	12.0	225.0	163.2	13.6	0.37
f <sub>max</sub>	0.1667	6.0	56.1	55.7	9.3	0.54

De preprocessor van MILDwave stelt een bovengrens voor van 0.20s. Toch wordt voor alle MILDwave simulaties ook  $\Delta t = 0.125s$  gekozen.

Ten slotte wordt nog opgemerkt dat de absorptiecoëfficiënten van de sponslagen niet tijdstapafhankelijk zijn (mond. comm. Troch, 2011). Dit betekent dat voor een andere tijdstap een andere absorptiecoëfficiënt geldt om dezelfde absorptie in het model te bekomen. Dit is vooral van belang voor het modelleren van de partiële reflectie (cf. §3.1.8). Het is daarom belangrijk om voor alle simulaties dezelfde tijdstap te gebruiken zodat de absorptiecoëfficiënten ongewijzigd gelaten kunnen worden.

### Simulatieduur

Voor de berekening van statistische parameters (zoals de significante golfhoogte  $H_{m0}$ ) moet de simulatie in elk punt van het rekendomein minstens 15à20min duren. Daarom is een opstarttijd nodig om de kortste golf ( $T = 5.6s$ ,  $L = 48.7m \Rightarrow C = L/T = 8.7m/s$ ) voldoende tijd te geven het verste punt in het rekendomein te bereiken (DHI, 2009). De afstand van de golfgeneratielijn tot aan het verst gelegen punt in de haven (In het SHIP dok) is ongeveer 9500m en 5500m voor respectievelijk het rekendomein met en zonder buitengaats gebied. De opstarttijd moet dan ten minste bedragen:

$$\frac{9500}{8.7} = 1090s \approx 19min$$

$$\frac{5500}{8.7} = 630s \approx 10.5min$$

Een totale simulatieduur van 40min en 30min wordt gekozen voor respectievelijk het rekendomein met en zonder buitengaats gebied (Mike 21 BW simulaties).

In MILDwave wordt echter aangeraden dat de traagste golf ( $T = 6.0s$ ,  $L = 55.7m \Rightarrow C = L/T = 9.3m/s$ ) heen én terug moet gepropageerd zijn over het volledige rekendomein. Voor MILDwave bedraagt de opstarttijd dus:

$$2 * \frac{5500}{9.3} = 1180s \approx 20mi$$

$$2 * \frac{9500}{9.3} = 2040s \approx 34min$$

De totale simulatieduur wordt in MILDwave op 40min gekozen voor zowel het rekendomein met als zonder buitengaats gebied.

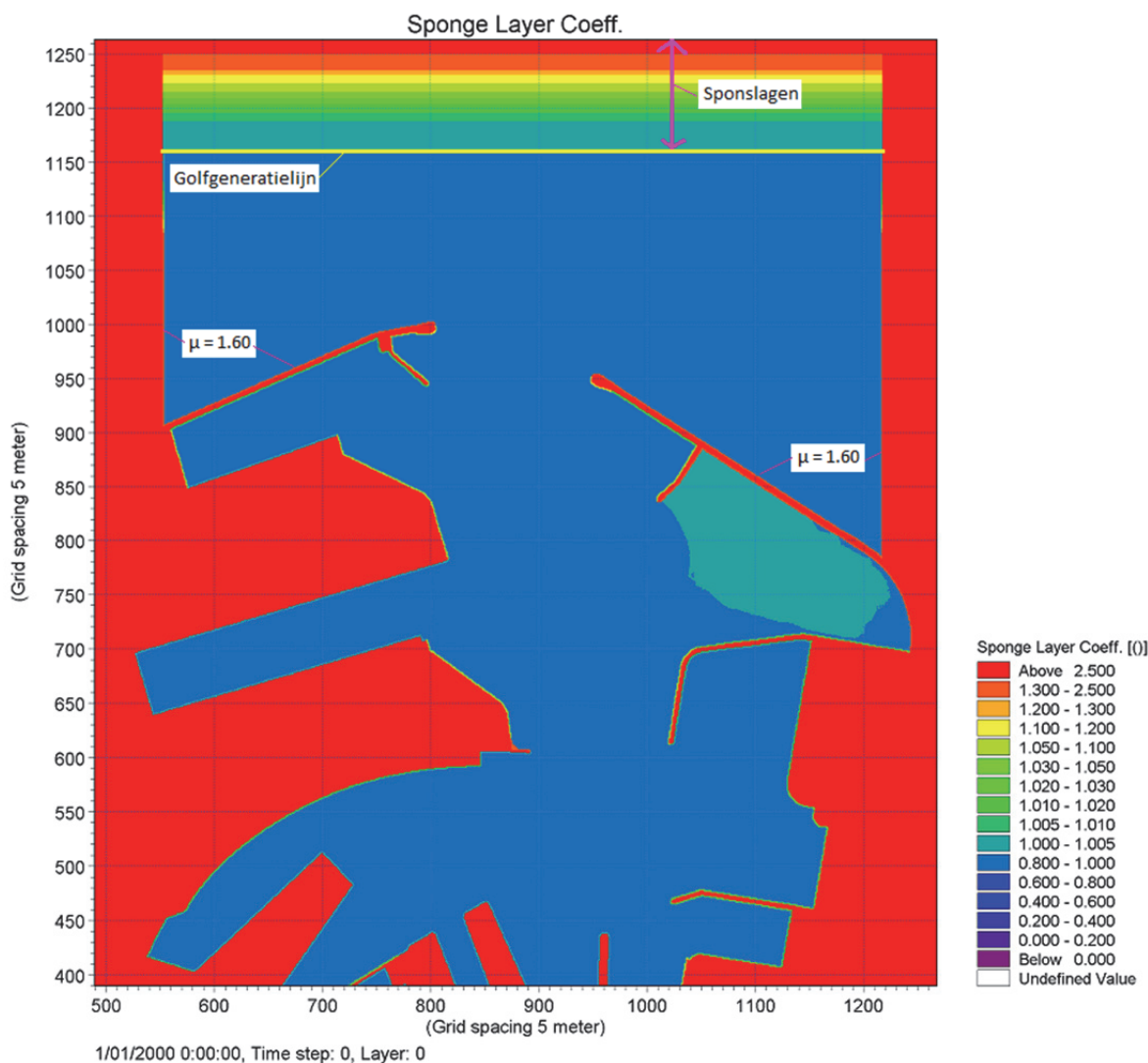
### 3.1.5 Golfgeneratie en -absorptie

Golven worden in het rekendomein gegenereerd door een interne golfgeneratielijn. Er wordt een tijdreeks van verheffingen opgebouwd op basis van het JONSWAP spectrum uit §3.1.3. Die tijdreeks wordt opgelegd langs deze lijn. Golven propageren naar beide kanten van deze lijn met een golfrichting loodrecht of schuin op deze lijn. De golfgeneratielijn is geplaatst op een afstand van minstens twee golflengten weg van de haven om het golfveld zich voldoende te laten ontwikkelen (DHI, 2009). Er is ook voldoende ruimte gelaten om een geleidelijke overgang naar de bathymetrie te verzekeren.

In het model zonder buitengaats gebied werd de bathymetrie buitengaats voor een deel toch opgenomen om interactie van de golven met de teen van de havendammen toe te laten (cf. §3.1.2). Tussen de golfgeneratielijn en de bovenrand van het rekendomein zijn sponslagen aangebracht om de uitgaande golfenergie te absorberen:

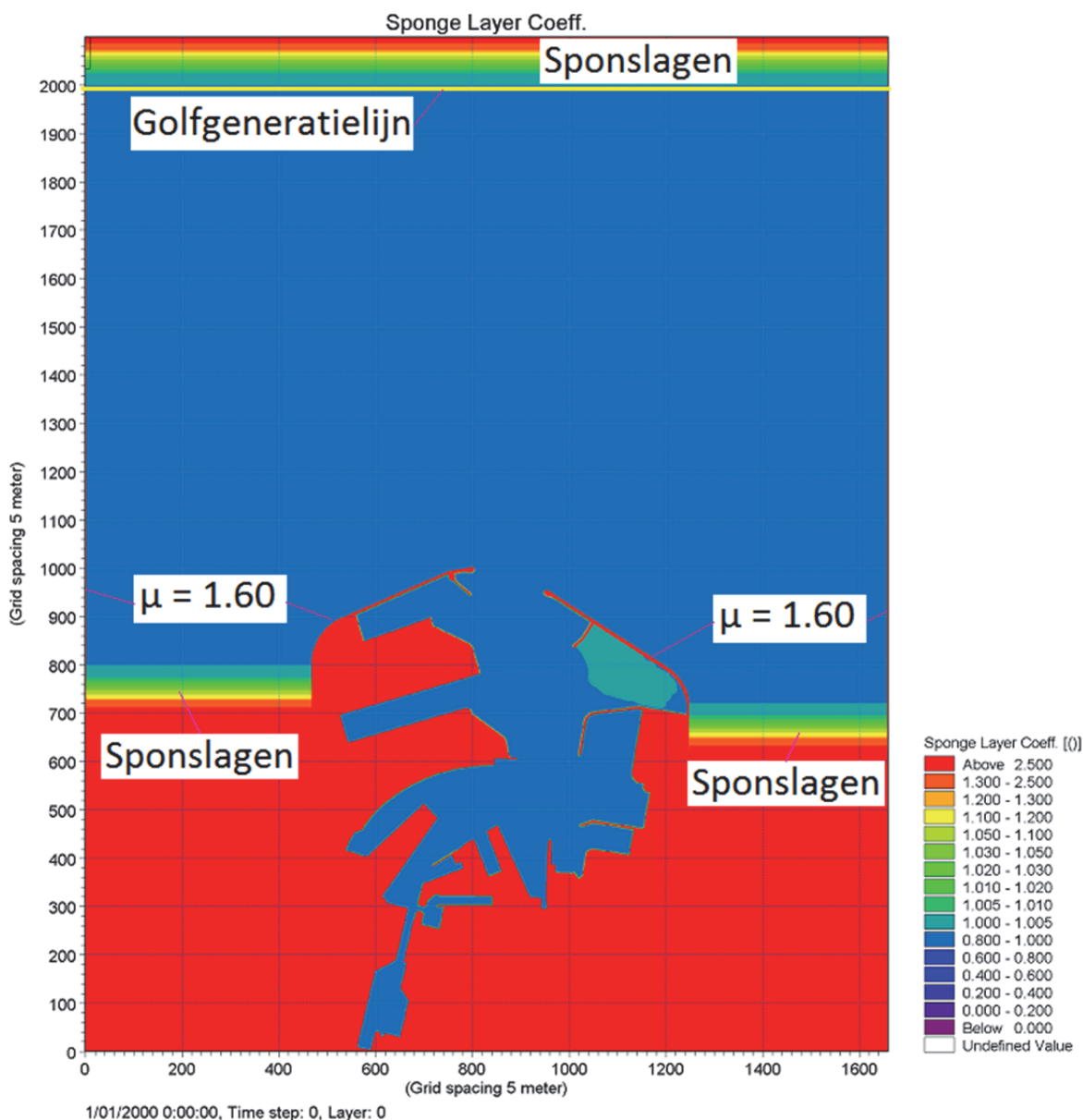
- rechtstreeks afkomstig van de golfgeneratielij;
- afkomstig van reflecties tegen de randen van het model en structuren in de haven.

Het valt op dat geen sponslagen aan de zijkanten zijn aangebracht zoals dit aan de bovenrand werd gedaan (cf. Figuur 3-9). Dit werd gedaan om het rekendomein zoveel als mogelijk te beperken (en dus de rekentijd). Golven die reflecteren tegen de havendammen kunnen dan op hun beurt reflecteren tegen de zijkanten. De reflectiehoeken zijn echter zo gericht dat deze gereflecteerde golfenergie steeds in de bovenste sponslagen terecht komt en dus aldaar geabsorbeerd wordt. Om de golfenergie gereflecteerd tegen de zijkanten toch tot een minimum te houden in het buitengaats gebied is een eencellige sponslaag aangebracht met een absorptiecoëfficiënt ( $\mu_{MIKE} = 1.60$ ) overeenstemmend met een zo laag mogelijke reflectiecoëfficiënt ( $Cr \approx 0.10$ ).



Figuur 3-9: Positie golfgeneratielij en sponslagen in het Mike 21 BW model (havenmodel).

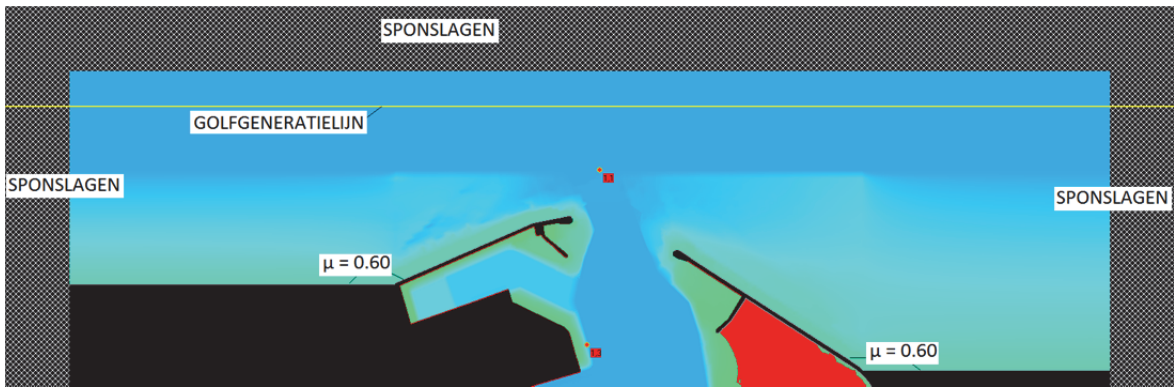
Voor het model inclusief het buitengaats gebied werd dezelfde methode gevolgd (cf. Figuur 3-10). Daarbij werden ook nog sponslagen ten westen en oosten van de haven geplaatst om de inkomende golfenergie aldaar te absorberen.



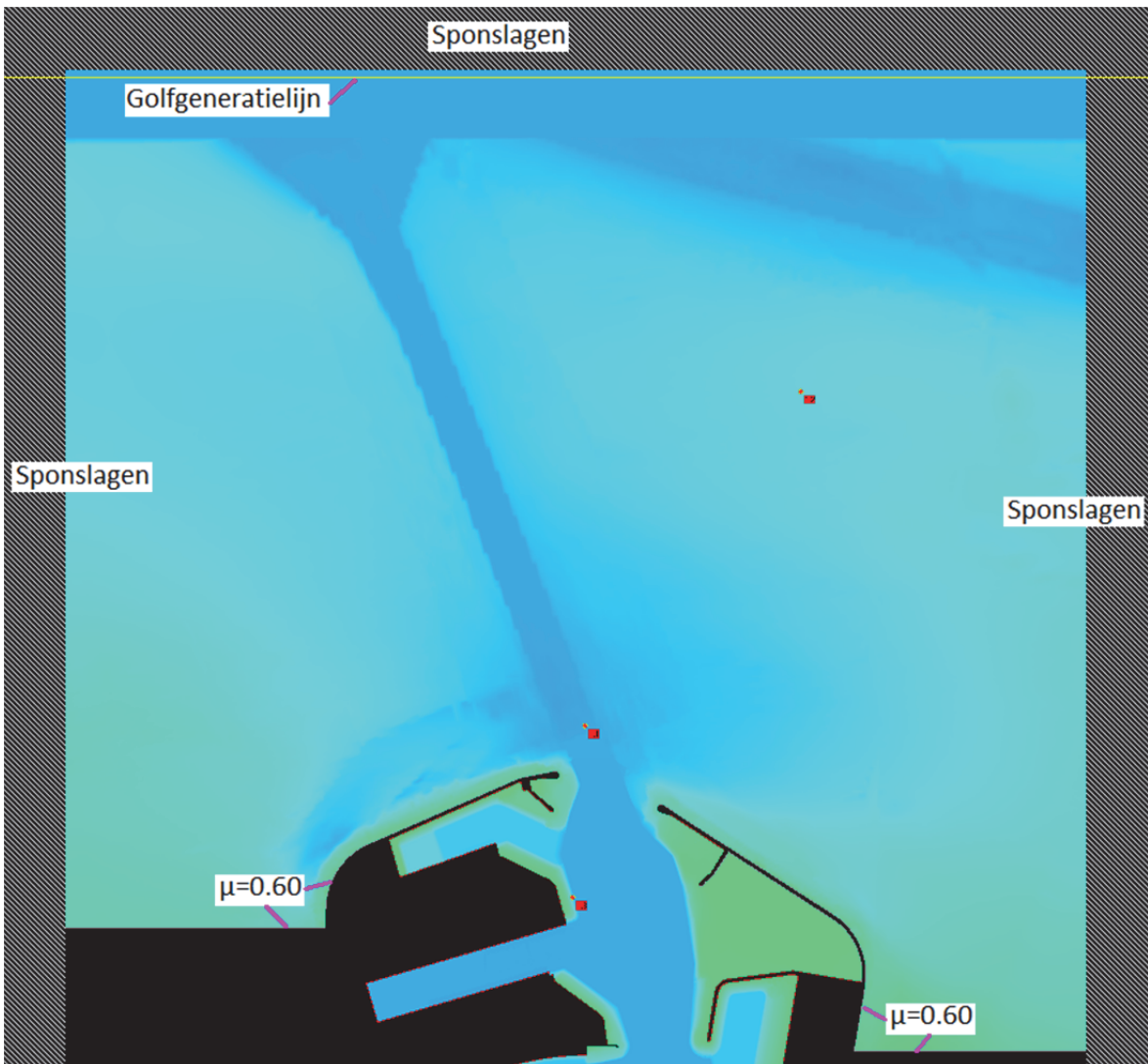
Figuur 3-10: Positie golfgeneratielijn en sponslagen in het Mike 21 BW model (buitengaats & havenmodel).

In het MILDwave model is de locatie van de golfgeneratielijn behouden (cf. Figuur 3-11 en Figuur 3-12). In de huidige versie van MILDwave<sup>5</sup> is echter verplicht dat de golfgeneratielijn zich over de volledige breedte van het rekendomein uit kan strekken. Dit verklaart het groter rekengebied buiten de haven voor het havenmodel zonder buitengaats gebied (cf. Figuur 3-11) over de volledige breedte van het rekendomein. Om de reflecties toch enigszins te beperken is aan de gebieden waar loodrechte golfinval optreedt één sponslaag (=1 gridcel breed) opgelegd die zorgt voor een zo laag mogelijke reflectiecoëfficiënt (absorptiecoëfficiënt  $\mu_{MW} = 0.60$ ).

<sup>5</sup> Zou echter relatief eenvoudig aan te passen zijn in de code van MILDwave (mond. comm. Troch, 2011)



Figuur 3-11: Positie golfgeneratielijn en sponslagen in het MILDwave model (havenmodel).



Figuur 3-12: Positie golfgeneratielijn en sponslagen in het MILDwave model (buitengaats & havenmodel).

### 3.1.6 Fysische processen

#### Golfbreking

Golfbreking treedt op wanneer de significante golfhoogte de helft van de lokale waterdiepte overschrijdt ( $H_s \geq 0.5 * h$ ). Deze situatie kan optreden in de ondiepere gedeelten van de haven (e.g. de teenconstructies van de havendammen), maar ook in de minder ondiepe gebieden wanneer de significante golfhoogte toeneemt (e.g. door refractie en diffractie in de vaargeul, cf. §3.2.6).

Golfbreking wordt daarom ingeschakeld in beide modellen. Daarbij worden de standaardinstellingen behouden. In §3.2.7 wordt onderzocht in welke gebieden golfbreking optreedt en een belangrijke invloed heeft op het golfklimaat.

#### Golfoploop

Mike 21 BW is in staat golfoploop te modelleren. Om de numerieke stabiliteit te verzekeren zijn echter te veel maatregelen nodig die een nadelige impact hebben op het praktisch gebruik van het model. Daarom wordt golfoploop niet gemodelleerd.

MILDwave kan sowieso geen golfoploop modelleren.

#### Golfransmissie

De kruin van de havendammen bevindt zich ongeveer op peil +10.10m TAW (AMT, 2011c). Zelfs voor de hogere waterstanden in Tabel 3-1 zal de golfransmissie dus beperkt zijn. De golfransmissie zelf en het effect ervan op de resultaten in de interessegebieden wordt daarom verwaarloosd en niet gemodelleerd.

Het kruinpeil van de zijarmen van de havendammen bevindt zich echter maar op +7.90m TAW (AMT, 2011c). Dit heeft vooral effect op het Wielingendok en het sterneneiland. Beide behoren echter niet tot het interessegebied zodat golfransmissie ook hier niet wordt gemodelleerd.

Dieper in de haven kan golfransmissie optreden bij de stortsteengolfbreker van de LNG-terminal (kruinpeil = +8.10m TAW, AMT, 2011c). Dit heeft echter weinig effect op het interessegebied zodat dit opnieuw niet wordt gemodelleerd.

Het kruinpeil van het uiteinde van de oude Leopold II dam (= +13.00m TAW, AMT, 2011c) en van de dam van het Britanniadok (= +10.90m TAW) zijn beide voldoende hoog om golfransmissie voldoende te beperken zodat ook hier het niet noodzakelijk is golfransmissie te modelleren.

#### Bodemwrijving

Bodemwrijving kan enkel door Mike 21 BW gemodelleerd worden en niet door de huidige versie van MILDwave<sup>6</sup>. Dit fysisch proces speelt vooral een belangrijke rol bij het modelleren van lange golven ( $T = 30s-300s$  en meer) omdat zij een grote invloed ondervinden van de bodem. Dissipatie door bodemwrijving is beperkt voor korte golven ( $T < 20s$ ) over de relatief korte afstand van een haven. Bodemwrijving wordt daarom niet ingeschakeld.

### 3.1.7 Numerieke stabiliteit

#### Inleiding

De ervaringen met Mike 21 BW leren dat het een golfmodel is met een zeer gevoelige numerieke stabiliteit. De numerieke instabiliteit uit zich als een zogenaamde "blow-up" ofwel negatieve waterdiepte ten gevolge van een abnormale en ongecontroleerde toename van een lokale verheffing. In het voorgaande (cf. §3.1.6) zijn reeds een aantal fysische processen uitgeschakeld om numerieke stabiliteit te kunnen verzekeren en een golfmodel te bekomen dat praktisch bruikbaar is (handelbare rekentijd, geschikt voor verschillende hydrodynamische randvoorwaarden,...). In dit hoofdstuk wordt besproken welke bijkomende maatregelen nodig zijn om numerieke stabiliteit te bekomen in het Mike 21 BW model.

Voor het MILDwave golfmodel is geen enkele bijkomende maatregel nodig om numerieke stabiliteit te

<sup>6</sup> Is relatief eenvoudig te implementeren in de code van MILDwave (mond. comm. Troch, 2010).

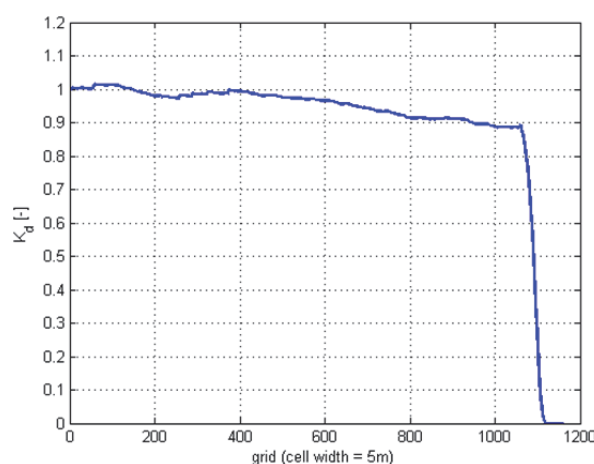
verzekeren.

### Tijdsextrapolatie factor

Voor waarde 1.0 heeft deze factor geen effect. Bij gebruik van golfbreking is een factor 0.8-0.9 aangeraden voor het volledig rekengebied (DHI, 2009). Voor een factor 0.8 wordt in deze studie een stabiel model bekomen. Gebruik van deze factor heeft als gevolg dat er een weinig numerieke dissipatie van de significante golfhoogte optreedt (DHI, 2009). Hoe groter het rekendomein ten opzichte van de golflengte hoe langer een golf doorheen het rekendomein propageert en hoe meer numerieke dissipatie optreedt.

Om te controleren dat de numerieke dissipatie in het Zeebrugge golfmodel binnen de perken blijft, wordt een 2DH golfmodel opgesteld met constante waterdiepte, geen structuren, dezelfde maximale propagatieafstand en dezelfde numerieke parameters als het volledig havenmodel. Figuur 3-13 toont een langsdoorsnede van de golfindringingscoëfficiënt  $K_d$  over de volledige lengte van het 2DH-model.

Uit Figuur 3-13 blijkt dat de tijd-extrapolatie factor van 0.8 inderdaad een weinig dissiperend effect heeft op de significante golfhoogte.



Figuur 3-13: Invloed van de tijd-extrapolatiefactor (= 0.8) op de significante golfhoogte. Langsdoorsnede van de golfagitatatiecoëfficiënt  $K_d$  ( $=H_s/H_{s,inc}$ ). Golfgeneratielijn op  $x = 0$ . Verwachte waarde = 1.0 over volledige lengte waar zich geen sponslagen bevinden. Sponslagen over 100 cellen aan het rechter uiteinde absorbeert alle inkomende golfenergie.

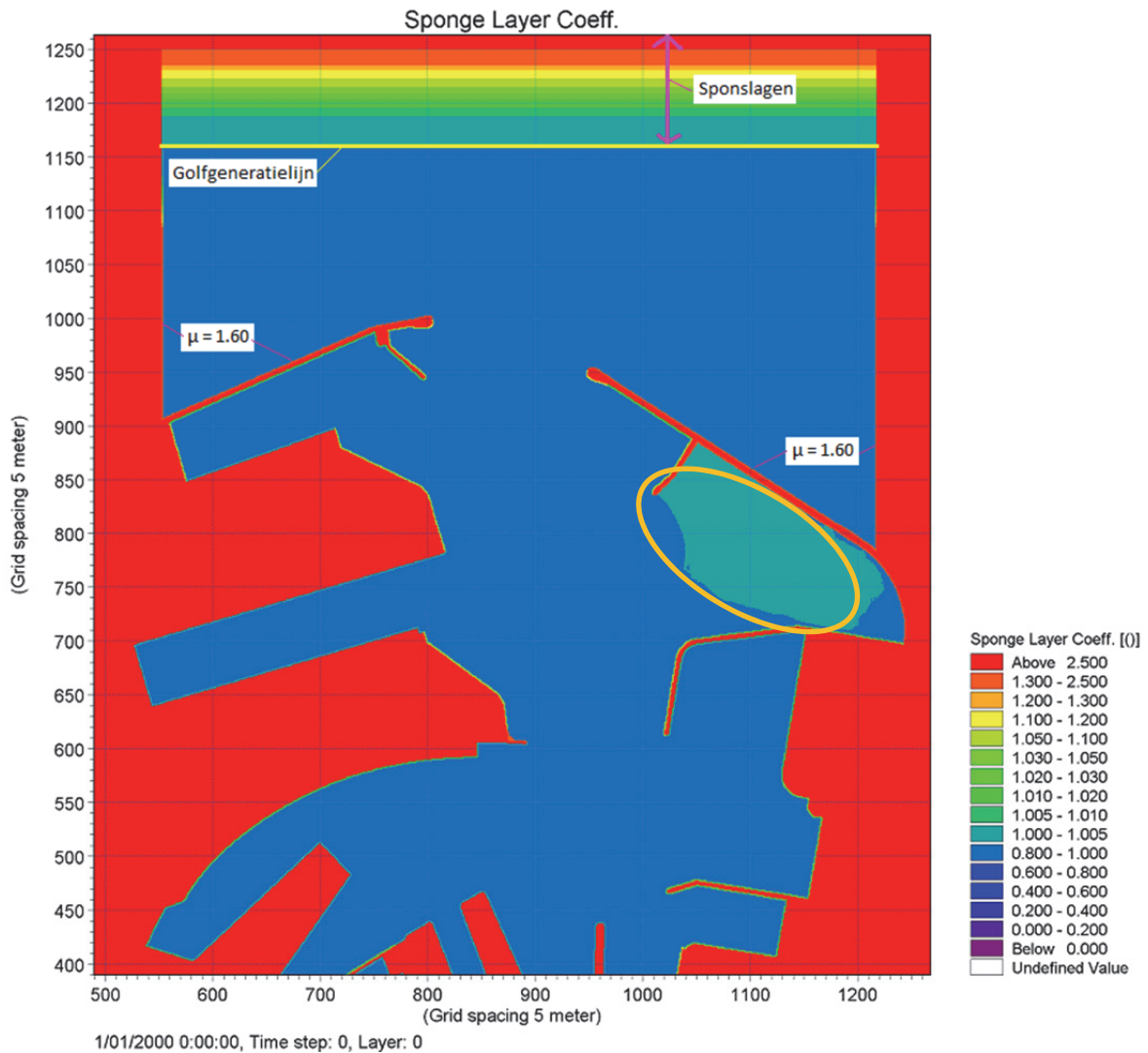
Om de invloed hiervan in het uiteindelijk model in te schatten wordt het verschil met een andere tijdsextrapolatiefactor in §3.2.2 onderzocht.

### Sponslagen

Voor het Mike 21 BW golfmodel van Zeebrugge waren sponslagen niet zozeer nodig voor de stabiliteit, maar eerder om de golfenergie rondom het sterneneiland te dissiperen (cf. Figuur 3-14). De zeer ondiepe gebieden waar normaal golfbreking zou optreden, werden hier namelijk afgeknot tot op +1.00m TAW (cf. §3.1.2).

Deze opstelling vermijdt de mogelijke instabiliteiten die met de anders zeer ondiepe gebieden van het sterneneiland gepaard zouden gaan.





Figuur 3-14: Indicatie van sponslaaggebied (groen gebied aangeduid met een cirkel) op de locatie van het sterneneiland.

De reflectiecoëfficiënt langs de buitengaatsse zijde van de havendammen werd zo laag mogelijk gehouden ( $Cr \approx 0.10 \rightarrow \mu_{BW} = 1.60$ ). Dit om blow-ups ten gevolge van de zeer grote golfhoogte die ontstaat door de al grote inkomende golfhoogte en hogere reflectiecoëfficiënt. Dit is toegelaten omdat deze golfreflectie geen invloed heeft op het interessegebied.

### 3.1.8 Partiële reflectie

Volgende constructies en situaties komen voor in de haven van Oostende die partiële reflectie veroorzaken:

- Hogere waterstanden: de waterstand benadert of overstijgt de kruin van de kaaimuur, de glooiing,...
- Gladde glooiingen, glooiingen bekleed met stortsteen of stortsteengolfbrekers die golfenergie dissiperen door golfbreking en wrijving.

Partiële reflectie wordt gemodelleerd zoals beschreven door Gruwez et al. (2011) in beide golfindringingsmodellen.

#### Mike 21 BW

Volgende stappen worden gevolgd ter bepaling van de absorptiecoëfficiënten langs elke structuur:

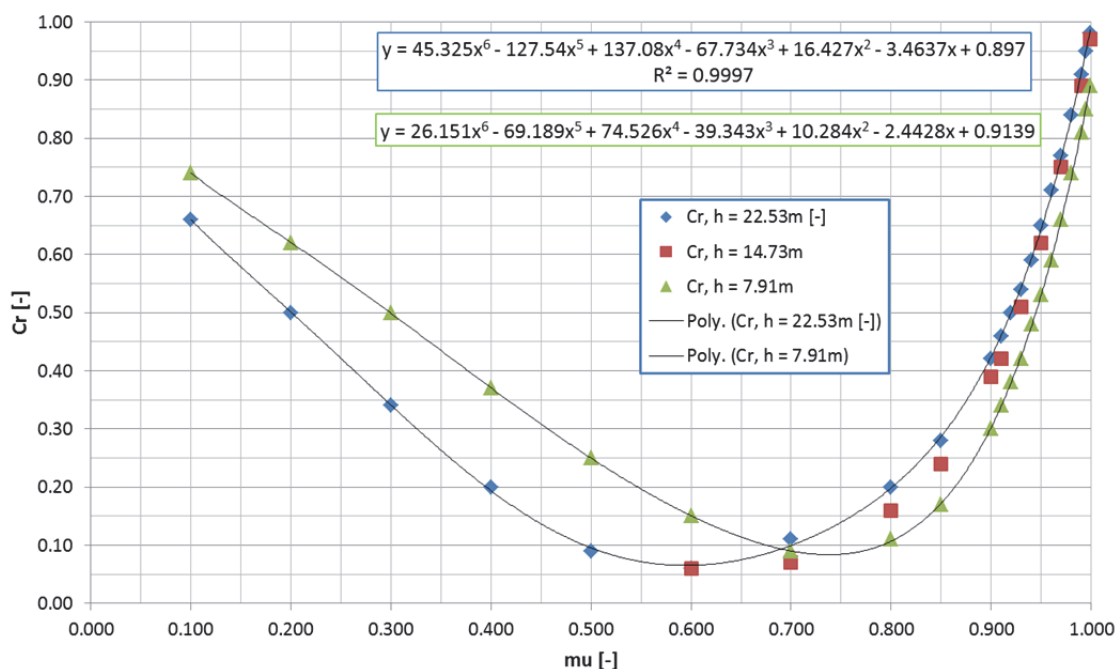
1. Voor elke structuur in de haven wordt het type (kaaimuur, glooiing,...) en bekleding (glad, stortsteen,...) bepaald samen met het kruinpeil en of er al dan niet een stormmuur aanwezig zal zijn;
2. De reflectiecoëfficiënt van elke structuur wordt bepaald:
  - a. Kaaimuren: wanneer het SWL lager is dan het kruinpeil en (zo goed als) geen golfoverslag kan optreden wordt volledige reflectie ondersteld. Wanneer de kaaimuur overstroomt en/of golfoverslag kan optreden wordt de reflectiecoëfficiënt bepaald aan de hand van de resultaten van de kalibratie met het fysisch model voor Oostende (Gruwez et al., 2011) op basis van de vrijboord. Dus bv. voor Oostende werd een  $C_r$  gevonden van 0.925 voor een vrijboord van 0.00m (kruinpeil kaaimuur=+7.00m TAW, SWL=+7.00m TAW). Deze  $C_r$  wordt dan aangenomen in Zeebrugge voor alle kaaimuren met vrijboord van 0.00m (bv. kruinpeil=+7.90m TAW, SWL=+7.90m TAW).
  - b. Glooiingen: omdat in Zeebrugge veel meer glooiingen met stortsteenbekleding en stortsteengolfbrekers aanwezig zijn dan in Oostende, is een formule gezocht die een nauwkeurigere  $C_r$  levert dan het brede interval dat gegeven wordt door Thompson et al. (1996). Dergelijke formule werd bepaald door Zanuttigh en van der Meer (2006)<sup>7</sup>:

$$C_r = \tanh(a * \xi_{m-1,0}^b)$$

Waarin de coëfficiënten a en b gekalibreerd werden per type bekleding. De golfcondities die nodig zijn om de brekingsparameter  $\xi$  te kunnen berekenen worden benaderend bepaald uit de resultaten van een versie van het 2DH golfmodel met een constante waarde voor de eencellige sponslaag.

3. De absorptiecoëfficiënt  $\mu$  corresponderend met elke  $C_r$  wordt bepaald door een 1DH-model op te stellen met een waterdiepte die heerst aan de teen van de betreffende structuur en een reflectieanalyse (met WaveLab, 2011) uit te voeren voor verschillende  $\mu$ -waarden. Het resultaat is een verband tussen  $\mu$  en  $C_r$  gegeven in Figuur 3-15.

<sup>7</sup> Deze formule werd geüpdatet en de nauwkeurigheid verbeterd door Victor (2012) (Comm. Troch, 07/03/2012).



Figuur 3-15: De reflectiecoëfficiënt  $C_r$  in functie van de absorptiecoëfficiënt  $\mu (=1/\mu_{BW})$  van een eencellige sponslaag voor waterdieptes 22.53m, 14.73m en 7.91m.

Het verband blijft zo goed als hetzelfde voor alle waterdieptes tussen 14.73m en 22.53m voor  $C_r=0.50$  tot 1.00. De  $C_r$ - $\mu$  relatie voor waterdiepte 22.53m wordt dan ook gebruikt voor deze dieptes. Voor kleinere waterdieptes wijzigt deze relatie voldoende om een nieuwe relatie toe te passen. De meeste kleinere waterdieptes die voorkomen in het Zeebrugge model liggen voldoende in de buurt van 7.91m om de  $C_r$ - $\mu$  relatie voor deze waterdiepte toe te passen.

Omdat de te modelleren extreme waterpeilen zich dichtbij het kruinniveau van alle structuren in de haven ( $\sim +7.90$ m TAW) bevinden, heeft een wijzigende waterstand een belangrijke invloed op de partiële reflectie van de structuren. Een overstroomde kaaimuur heeft immers een lagere reflectiecoëfficiënt dan een niet-overstroomde kaaimuur, want bij een overstroomde kaaimuur wordt meer transmissie toegelaten. Daarom is voor elke waterstand uit Tabel 3-1 een afzonderlijke set  $\mu$ -waarden noodzakelijk.

Een overzicht van alle structuren in de haven van Zeebrugge met bepaling van de reflectie- en absorptiecoëfficiënten voor elke waterstand, wordt gegeven in Bijlage 2.

Opmerking: voor het volledige Prins Albert I dok (voormalig Visserijdok) (y-coord = 310, cf. Figuur 3-8) is telkens maar één absorptiecoëfficiënt opgegeven. De golfenergie dat dit dok bereikt door golfindringing wordt ingeschat heel beperkt te zijn zodat een gedetailleerde bepaling van de  $\mu$ -waarden in dit dok weinig zin heeft.

### MILDwave

De absorptiecoëfficiënt heeft een ander gedrag in MILDwave dan in Mike 21 BW zodat de waarden bekomen met Mike 21 BW niet overdraagbaar zijn naar MILDwave. De  $C_r$ -waarden worden daarom omgezet naar  $\mu$ -waarden geschikt voor het MILDwave model. Deze omzetting wordt gebaseerd op de relatie tussen  $\mu_{BW}$  en  $\mu_{MW}$  die gehaald kan worden uit de  $\mu$ -waarden voor de haven van Oostende (Gruwez et al., 2011). Op die manier worden de MILDwave  $\mu$ -waarden benaderend bepaald.

Tabel 3-5:  $\mu_{MW}$ -waarden overeenkomstig met de  $\mu_{BW}$ -waarden voor Zeebrugge op basis van Oostende (Gruwez et al., 2011).

$1/\mu_{BW}$	$\mu_{BW}$	$\mu_{MW}$
[-]	[-]	[-]
0.850	1.17647	0.869
0.880	1.13636	0.889
0.885	1.12994	0.889
0.910	1.09890	0.905
0.925	1.08108	0.920
0.930	1.07527	0.920
0.940	1.06383	0.925
0.950	1.05263	0.930
0.960	1.04167	0.935
0.970	1.03093	0.940
0.975	1.02564	0.950
0.985	1.01523	0.960
0.990	1.01010	0.970
0.995	1.00503	0.975
0.997	1.00301	0.980
0.999	1.00150	0.985

## 3.2 Gevoeligheidsanalyses en invloeden

### 3.2.1 Inleiding

De gevoeligheidsanalyses zijn bedoeld als test of bepaalde aannames geen onderschatting (of te grote overschatting) van de golfindringing in de binnenhaven kunnen veroorzaken in de finale modellen. De analyse dient ook om een keuze te maken over bepaalde fysische processen op basis van hun invloed op de resultaten. Volgende invloeden worden onderzocht:

- De invloed van de tijdsextrapolatie factor (cf. §3.1.7) wordt geanalyseerd;
- De breedte van de haveningang wordt gevarieerd;
- De invloed van de golfrichting aan de haveningang op de golfindringing;
- De invloed van de directionele spreiding op het golfklimaat in de haven;
- De invloed van de vaargeul Pas van het Zand op het golfklimaat;
- De invloed van golfbreking op het golfklimaat;
- De invloed van de golfrichting offshore van de vaargeul.

Het onderzoek van de resultaten in dit hoofdstuk en het volgende (cf. §3.3) gebeurt aan de hand van de golfindringingscoëfficiënt  $K_d$ :

$$K_d = \frac{H_{m0,loc}}{H_{m0,ggl}}$$

met  $H_{m0,loc}$  de significante golfhoogte op de beschouwde locatie [m]  
 $H_{m0,ggl}$  de significante golfhoogte opgelegd aan de golfgeneratielijn [m]

De invloed van een bepaalde wijziging in het golfmodel zal steeds onderzocht worden aan de hand van:

- de  $K_d$ -waarden in de uitvoerpunten aangeduid in Figuur 3-7 en Figuur 3-8 van §3.1.2, dit geeft een idee van de gevoeligheid op de  $K_d$ -waarden langs de belangrijkste kaaimuurzones en dokken in de haven, waarvoor onder andere de uiteindelijke resultaten zullen worden bepaald;
- de langsdoorsnede LDS (cf. Figuur 3-5 voor  $LDS_{B+H}$  en Figuur 3-6 voor  $LDS_H$ ), dit geeft een idee van de gevoeligheid op de  $K_d$ -waarden langs een langsdoorsnede die loopt volgens de meest energetische weg en waar dus dikwijls de grootste invloeden te onderscheiden zijn;
- de dwarsdoorsneden AB, CD en EF (cf. Figuur 3-5), dit geeft een idee van de gevoeligheid op de  $K_d$ -waarden langs dwarsdoorsnede ter hoogte van respectievelijk de haveningang, de ingang naar de oude haven en het begin van het dok naar de Vandammesluis. Het geeft met andere woorden een idee van de invloed op de hoeveelheid golfenergie die door de betreffende doorgang gaat.

Indien dit niet volstaat, zullen bijkomende resultaten (bvb. contourplots,...) geraadpleegd worden om tot een juiste conclusie te kunnen komen.

Opmerking: de  $K_d$ -waarden die hier in dit hoofdstuk gerapporteerd worden, mogen enkel op relatieve wijze met elkaar vergeleken worden. De absolute waarde heeft nog geen betekenis, want de absorptiecoëfficiënten van de eencellige sponslaag voor het modelleren van partiële reflectie hebben in deze modellen nog een constante waarde van  $\mu_{BW}=1.60$  ( $\mu_{MW}=0.60$ ) en niet de juiste waarden uit §3.1.8.

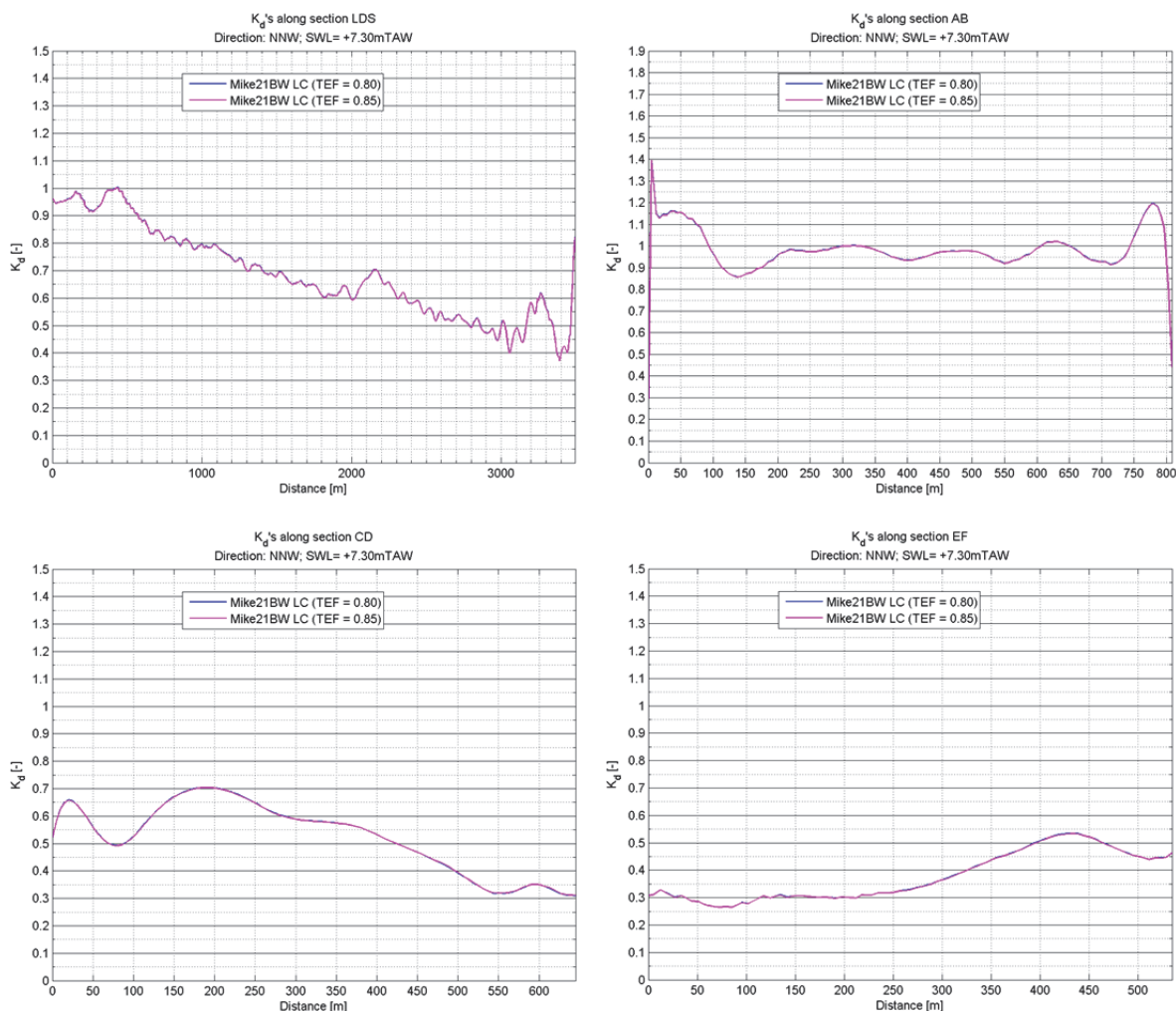
### 3.2.2 Tijdsextrapolatie factor

Uit §3.1.7 bleek dat de tijdsextrapolatie factor een enig dissipatie in het  $K_d$ -verloop over een eenvoudig 2DH model zonder structuren teweeg brengt. Dit hoofdstuk onderzoekt of de invloed van deze factor ook in het uiteindelijk model een dergelijk dissiperende invloed heeft. Het onderzoek wordt uitgevoerd met Mike 21 BW, omdat enkel in dit programma dergelijke factor toegepast dient te worden. Hoe hoger deze factor hoe minder dissipatie in het model optreedt (DHI, 2009). Het resultaat van de modellen met factor van 0.80 en 0.85 worden vergeleken.

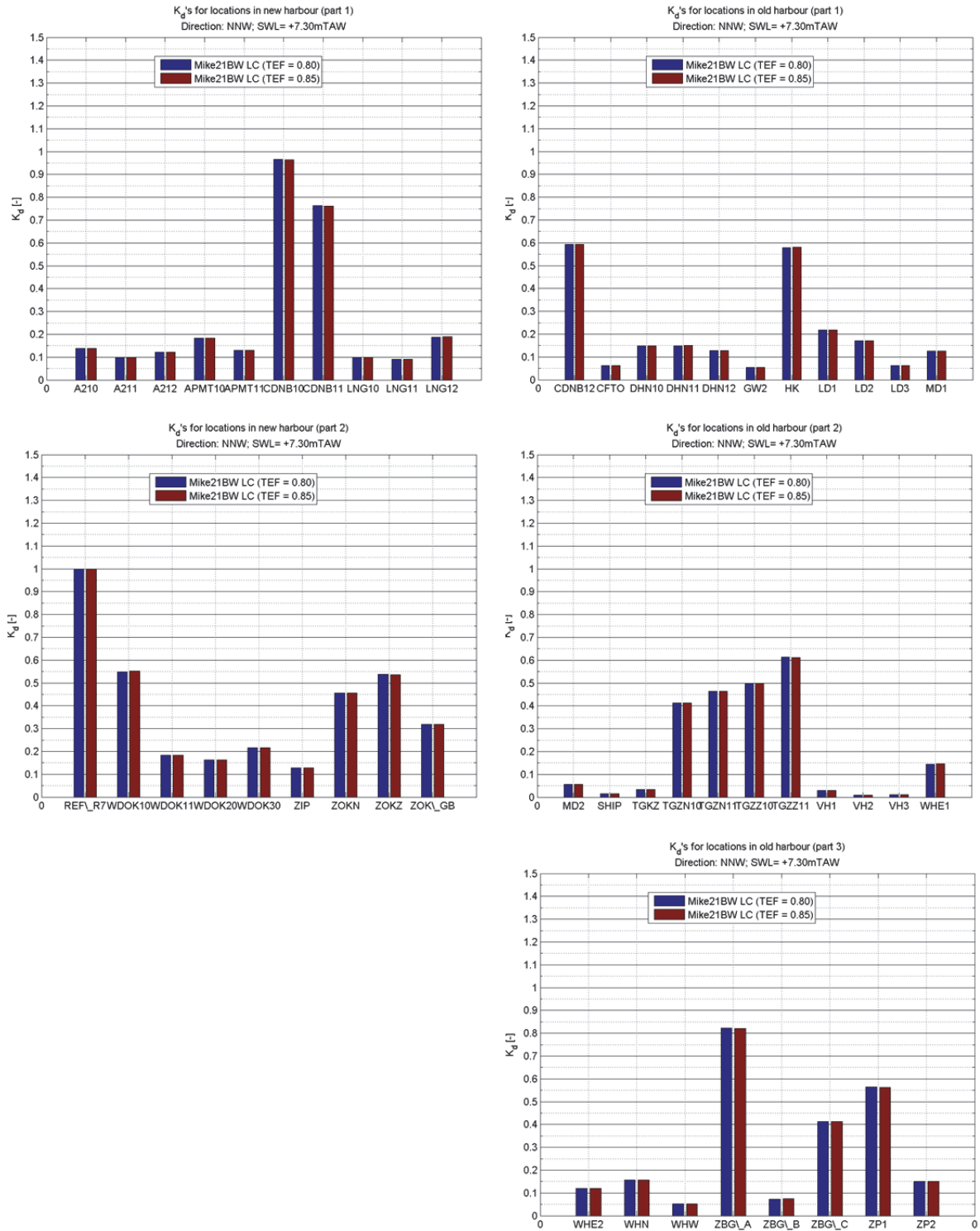
Tabel 3-6: Hydrodynamische randvoorwaarden en golfindringingsmodel waarvoor de gevoeligheidsanalyse "Tijdsextrapolatie factor" werd uitgevoerd

SWL [m TAW]	$d_{max}$ [m]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	Richting [-]	MILDwave	Mike 21 BW
+7.30	23.33	5.7	12.0	NNW	-	X (TEF = 0.80)
+7.30	23.33	5.7	12.0	NNW	-	X (TEF = 0.85)

Uit Figuur 3-18 en Figuur 3-19 blijkt dat verhoging van deze factor geen merkbaar verschil teweeg brengt in de resultaten van het 2DH model met structuren en bathymetrie van het uiteindelijk model van de haven.



Figuur 3-16: Vergelijking evolutie van  $K_d$ -waarde volgens langdoorsnede LDS<sub>H</sub> en dwarsdoorsneden AB (ingang van de haven,  $x_{LDS} = 0m$ ), CD (ingang oude haven,  $x_{LDS} = 2000m$ ) en EF (ingang dok Vandammesluis,  $x_{LDS} = 2800m$ ) voor verschillende tijdsextrapolatie factoren.

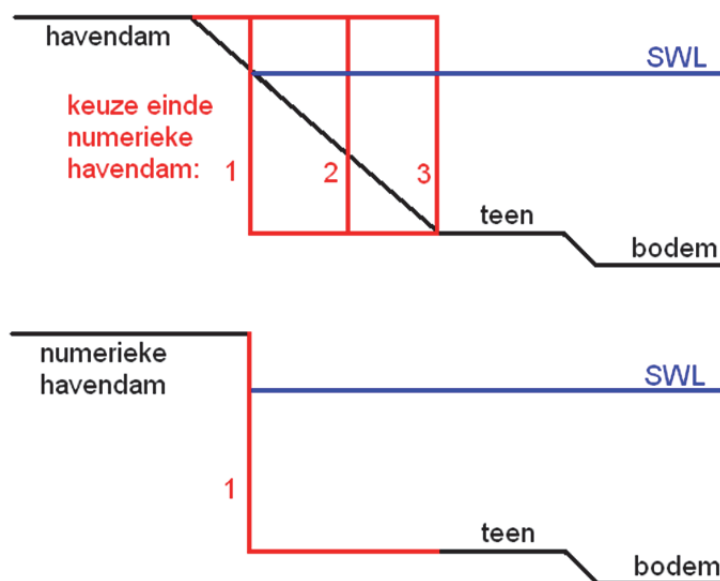


Figuur 3-17: K<sub>d</sub>-waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Vergelijking tussen het model met tijdsextrapolatie factor 0.80 en 0.85.

### 3.2.3 Breedte haveningang

De hellingen van de havendammen werden niet opgenomen in de bathymetrie (cf. §3.1.2). Daarom is een keuze nodig uit 3 verschillende mogelijke eindpunten van de numerieke havendam die een landgrens voorstelt en dus in principe een verticale wand (cf. Figuur 3-18). Deze keuze heeft ook invloed op de breedte van de haveningang en dus op de golfindringing in de haven. Door het weglaten van de helling is refractie op deze hellingen niet gemodelleerd. De partiële reflectie op de golfbrekerhellingen wordt gemodelleerd door een eencellige sponslaag (cf. §3.1.8). De numerieke havendam kan stoppen:

1. Aan het snijpunt tussen helling golfbreker en het stil water peil;
2. Ergens tussenin;
3. Aan het snijpunt tussen helling golfbreker en teenconstructie van de havendam (teen werd wel opgenomen in de bathymetrie, cf. §3.1.2).



Figuur 3-18: Schematische voorstelling van keuze einde van havendamkop in de numerieke modellen waarbij de hellingen van de havendammen niet opgenomen zijn in de bathymetrie. boven: de mogelijkheden, onder: de uiteindelijke keuze in de finale modellen

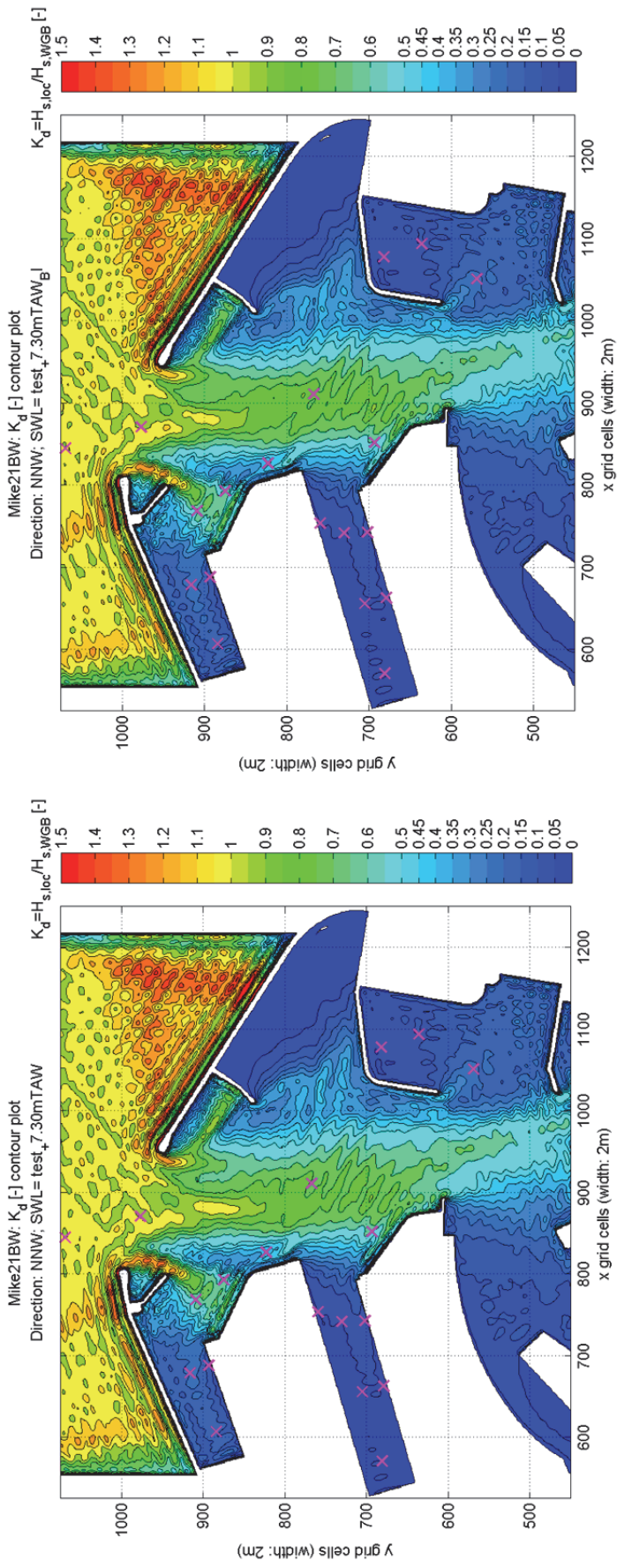
In dit hoofdstuk wordt onderzocht hoe groot het effect is van een smallere haveningang (720m breed i.p.v. 760m breed) op de golfindringing in de haven. M.a.w. de golfindringing bij mogelijkheid 1 wordt vergeleken met die van mogelijkheid 3 uit Figuur 3-18.

Het onderzoek wordt uitgevoerd voor de hydrodynamische randvoorwaarden horende bij +7.30m TAW, maar met de haveningangsbreedte voor SWL +7.90m TAW (maximale mogelijke haveningangsbreedte). Het golfmodel Mike 21 BW wordt gebruikt (cf. Tabel 3-7).

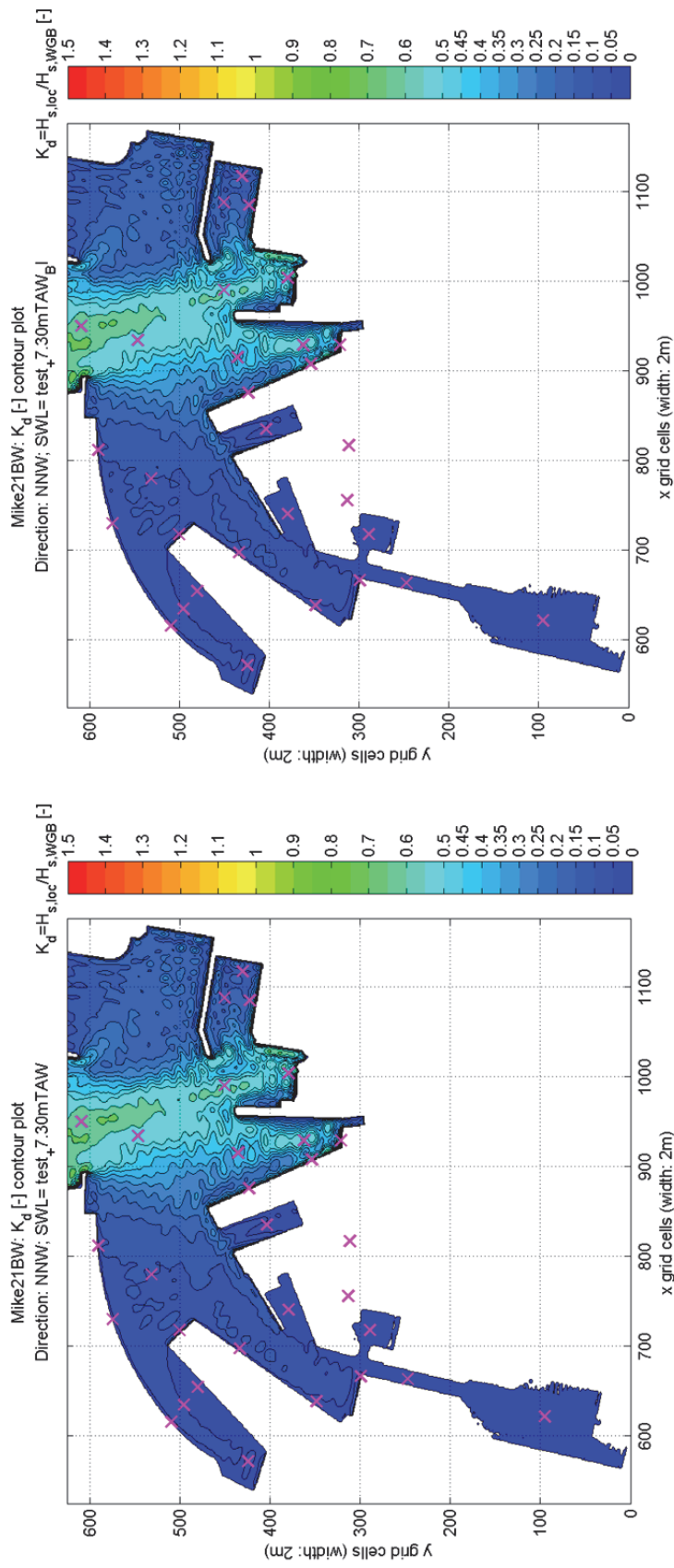
Tabel 3-7: Hydrodynamische randvoorwaarden en golfindringingsmodel waarvoor de gevoeligheidsanalyse "Breedte haveningang" werd uitgevoerd

SWL [m TAW]	$d_{max}$ [m]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	Richting [-]	MILDwave	Mike 21 BW
+7.30	23.33	5.7	12.0	NNW	-	X

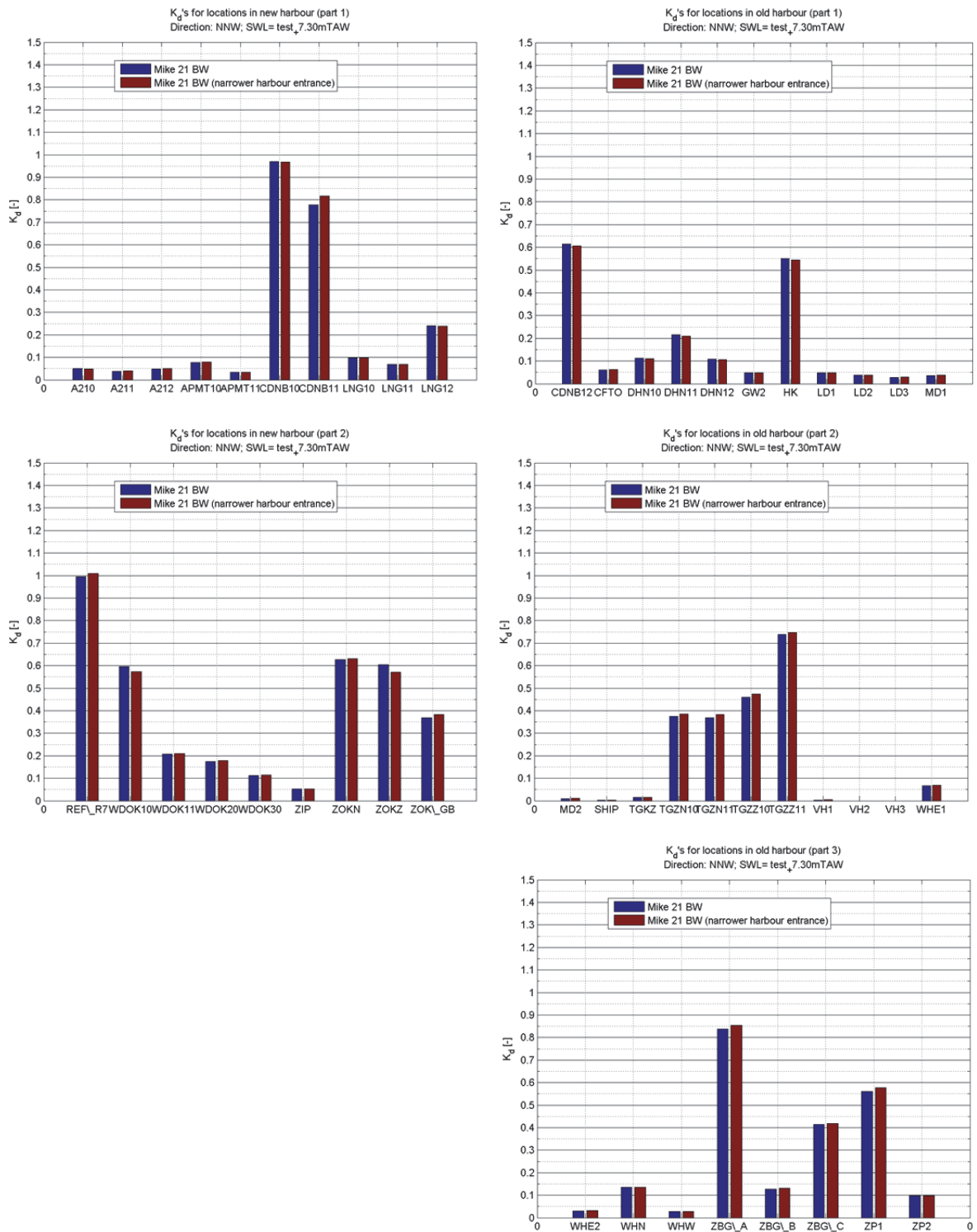




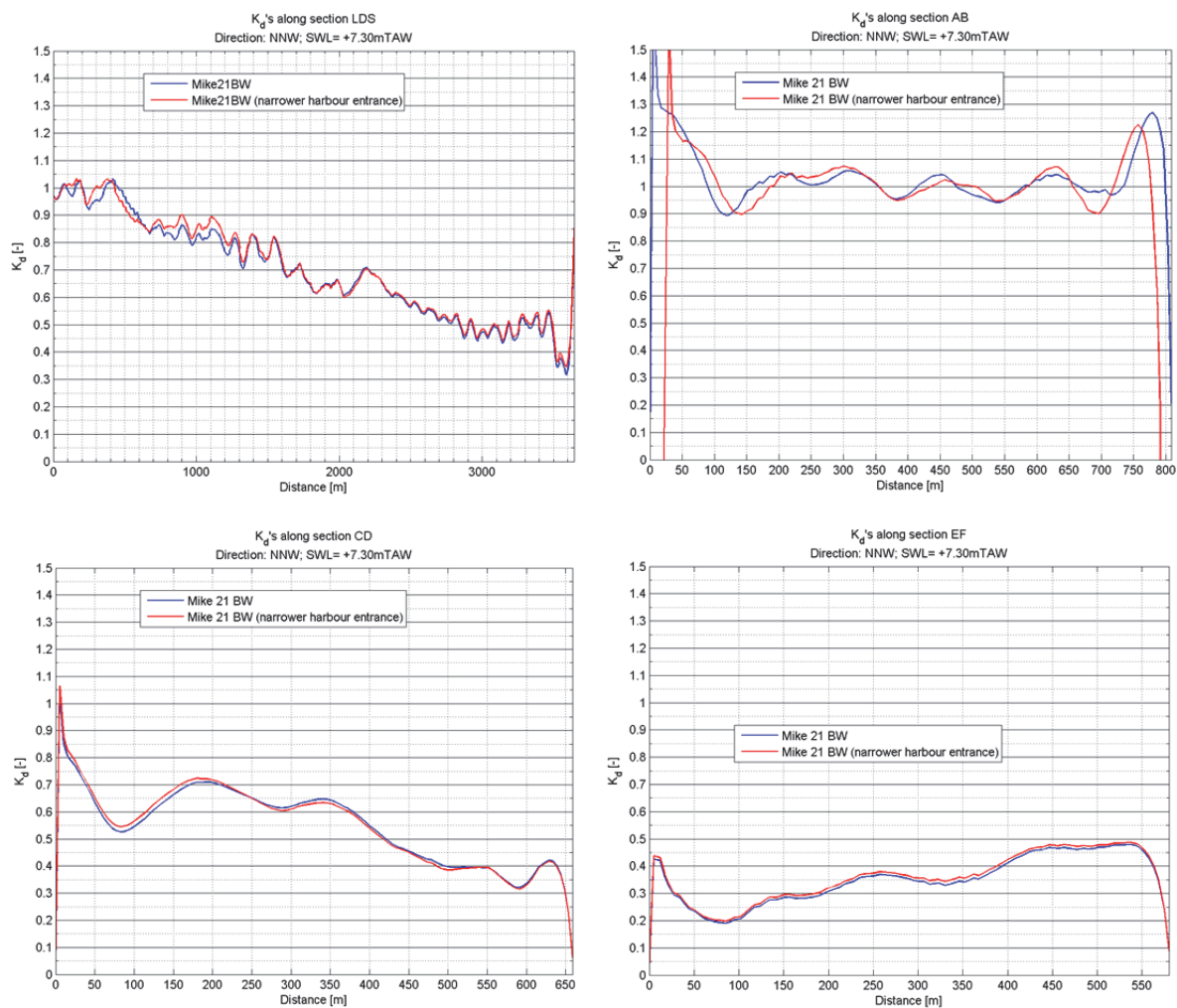
Figuur 3-19:  $K_d$ -contourplot met focus op de nieuwe haven. Resultaat van Mike 21 BW. Vergelijking van diffractiepatroon tussen mogelijkheid 1 (links) en mogelijkheid 3 (model met kleinere haveningangsbreedte: rechts).



Figuur 3-20:  $K_d$ -contourplot met focus op de oude haven en SHIP. Resultaat van Mike 21 BW. Vergelijking van diffractiepatroon dieper in de haven tussen mogelijkheid 1 (links) en mogelijkheid 3 (model met kleinere haveningangsbreedte: rechts).



Figuur 3-21:  $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Vergelijking tussen het model met de gekozen haveningang (mogelijkheid 1) en met versmalde haveningang (einde havendamkopen volgens mogelijkheid 3).



Figuur 3-22: Evolutie van  $K_d$ -waarde volgens langdoorsnede LDS<sub>H</sub> en dwarsdoorsnedes<sup>8</sup> AB (ingang van de haven,  $x_{LDS} = 0m$ ), CD (ingang oude haven,  $x_{LDS} = 2000m$ ) en EF (ingang dok Vandammesluis,  $x_{LDS} = 2800m$ )

Uit Figuur 3-19, Figuur 3-20, Figuur 3-21 en Figuur 3-22 blijkt dat het verschil verwaarloosbaar klein is overal in de haven behalve in het gebied in de nieuwe haven voorbij de haveningang. De versmalde haveningang blijkt dus vooral een effect te hebben op het diffractiepatroon. Echter in dit gebied blijft het verschil nog steeds relatief beperkt (max.  $\sim 0.05$ ).

De haveningangbreedte zal zich voor elke waterstand steeds tussen de twee gemodelleerde extremen bevinden. Omdat uit het vorige blijkt dat het verschil in resultaat in het interessegebied miniem is, wordt één enkele haveningang breedte aangenomen voor alle te modelleren waterstanden. Mogelijkheid 1 in Figuur 3-18 wordt gekozen en de breedte van de haveningang voor waterstand +7.90m TAW (=760m) wordt aangenomen.

<sup>8</sup> Door discretisatie zijn de doorsnedes geen perfecte rechte lijn zodat de totale afstand van de doorsnede in de grafieken kan afwijken van de werkelijke afstand.

### 3.2.4 Golfrichting aan de ingang van de haven

In dit hoofdstuk wordt onderzocht wat de invloed is van de golfrichting aan de ingang van de haven op het golfklimaat in de haven. Er wordt bovendien ook gezocht naar de golfrichting aan de ingang van de haven die voor de meeste golfindringing zorgt in de delen van de haven waarvoor de hydrodynamische randvoorwaarden moeten worden bepaald voor het ontwerp van de overstromingsmaatregelen.

Dit onderzoek wordt uitgevoerd met het Boussinesq model Mike 21 BW.

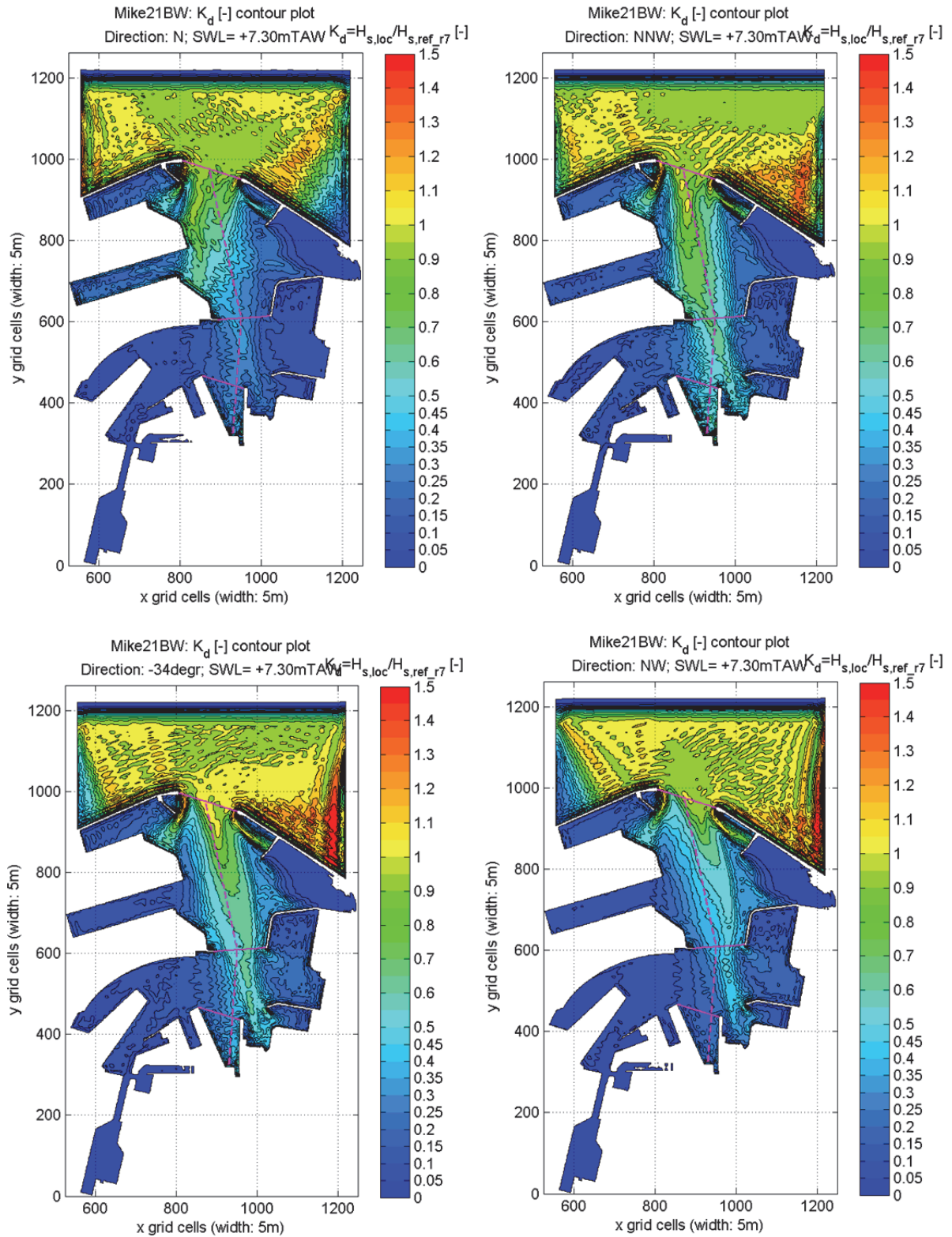
Tabel 3-8: hydrodynamische randvoorwaarden voor de verschillende golfrichtingen

SWL [m TAW]	$d_{max}$ [m]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	Richting [-]			
				N	NNW	-34°N	NW
+7.30	23.33	5.7	12.0	N	NNW	-34°N	NW

In Figuur 3-23 worden de  $K_d$ -contourplots getoond, in Figuur 3-24 de vergelijking op locaties en Figuur 3-25 de doorsneden. Per richting kan het volgende worden waargenomen:

- Richting N is meest nadelig voor de zuidelijke Zandopvangkade (ZOK\_Z) en het volledig Albert II-dok (ZIP, A210, A211, A212, APMT10, APMT11). Het Wielingendok (WDOK10,...) wordt voor deze richting beschermd door de golfbreker die aftakt van de westelijke havendam zodat richting N niet nadeliger is dan bv. NNW.
- Golfrichting NNW aan de haveningang veroorzaakt de grootste golfindringing in het westelijk gedeelte van de oude haven (e.g. ZP1 en ZP2) en in het dok naar de Vandammesluis (e.g. ZBG\_A in Figuur 3-24) (cf. ook de langsdoorsnede LDS en dwarsdoorsnede EF in Figuur 3-25).
- Richting -34°N daarentegen zorgt voor de grootste golfindringing in het oostelijk deel van de haven: het LNG-dok (e.g. LNG12) en Brittaniedok (e.g. HK, behalve ZBG\_C). Dit is ook duidelijk in doorsnede CD (cf. Figuur 3-25) waar de golfenergie het hoogst is aan de oostelijke zijde i.t.t. de westelijke zijde voor richting NNW.
- Richting NW is nog meer gericht naar het oostelijk gebied van de haven zodat veel golfenergie dissipeert op de LNG golfbreker en het sterneneiland (cf. Figuur 3-23). Voor veel westelijke locaties in de haven is dit dan ook de minst nadelige richting.

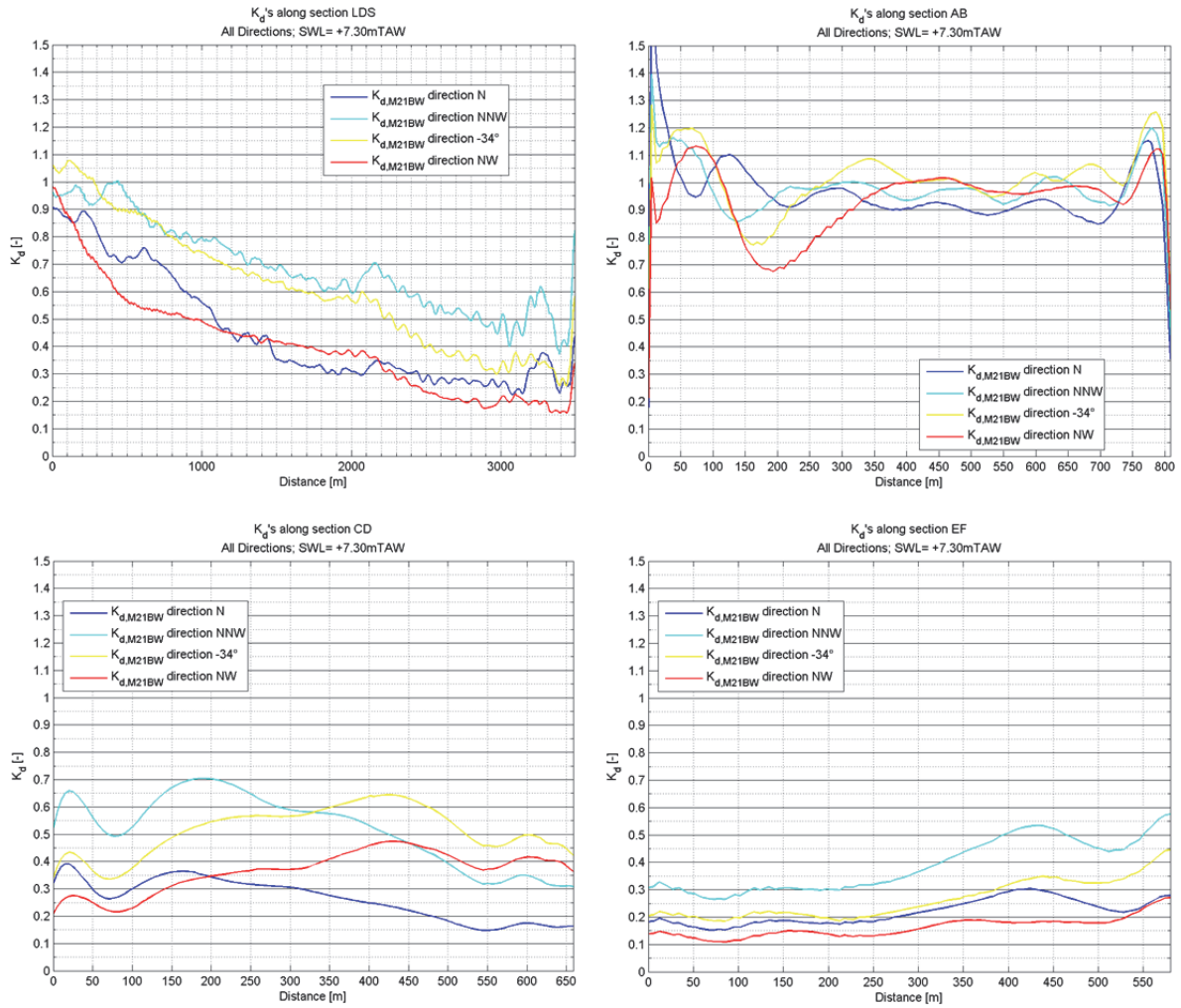
Golfrichting NNW aan de ingang van de haven zorgt dus voor de meeste golfindringing in het interessegebied, met name het dok naar de Vandammesluis (e.g. ZBG\_A), het Prins Albert I-dok (cf. VH1, VH2 en VH3) en het toekomstig SHIP-dok (cf. SHIP).



Figuur 3-23:  $K_d$ -contourplots van de volledige haven met aanduiding van de doorsneden LDS<sub>H</sub>, AB, CD en EF. Resultaat van Mike 21 BW. Vergelijking van golfindringing voor verschillende golfrichtingen.



Figuur 3-24:  $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Vergelijking tussen de verschillende golfrichtingen.



Figuur 3-25: Evolutie van  $K_d$ -waarde volgens langdoorsnede LDS<sub>H</sub> en dwarsdoorsneden AB (ingang van de haven,  $x_{LDS} = 0\text{m}$ ), CD (ingang oude haven,  $x_{LDS} = 2000\text{m}$ ) en EF (ingang dok Vandammesluis,  $x_{LDS} = 2800\text{m}$ ). Vergelijking tussen de verschillende golfrichtingen.



### 3.2.5 Kort- en langkruinig

Dit hoofdstuk onderzoekt de invloed van kortkruinige golven op het golfklimaat in de haven.

Daarbij is het spectrum directioneel gemaakt met een directionele distributie volgens een  $\cos^8$  functie met een directionele spreiding van ongeveer  $20^\circ$  (cf. §3.1.3). Deze directionele spreiding werd bekomen volgens de methode van Goda (2010) voor de hydrodynamische randvoorwaarden uit Tabel 3-9. Dit onderzoek was enkel mogelijk met Mike 21 BW omdat de huidige versie van MILDwave geen kortkruinige golfgeneratie ondersteunt<sup>9</sup>.

Tabel 3-9: Hydrodynamische randvoorwaarden en golfindringingsmodel waarvoor de gevoeligheidsanalyse “Kort- en langkruinig” werd uitgevoerd

SWL [m TAW]	$d_{max}$ [m]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	Richting [-]	MILDwave	Mike 21 BW
7.30	23.33	5.7	12.0	NNW	-	X

De directionele spreiding zorgt ervoor dat de golfenergie meer verspreid wordt over de haven vanaf de haveningang. Dit verklaart waarom de  $K_d$ -waarde in schaduwzones hoger is en in zones langs de hoofdgolfrichting lager is. Dit is duidelijk te zien in de regio net voorbij de haveningang (cf. Figuur 3-28) en kan de meeste verschillen in de resultaten verklaren:

- De langsdoorsnede in de voorhaven loopt ongeveer volgens de hoofdgolfrichting wat de grotere waarde voor langkruinige golven daar verklaart (cf. Figuur 3-27);
- Ook in het dok naar de Vandammesluis worden hogere waarden bekomen met langkruinige golven om dezelfde reden (cf. Figuur 3-26, TGZZ en ZGB\_A);

De grootte van het verschil in het dok naar de Vandammesluis is van die aard dat de invloed van directionele spreiding niet te verwaarlozen is (max  $K_d$  verschil  $\sim 0.10$ , cf. Figuur 3-26 en Figuur 3-27).

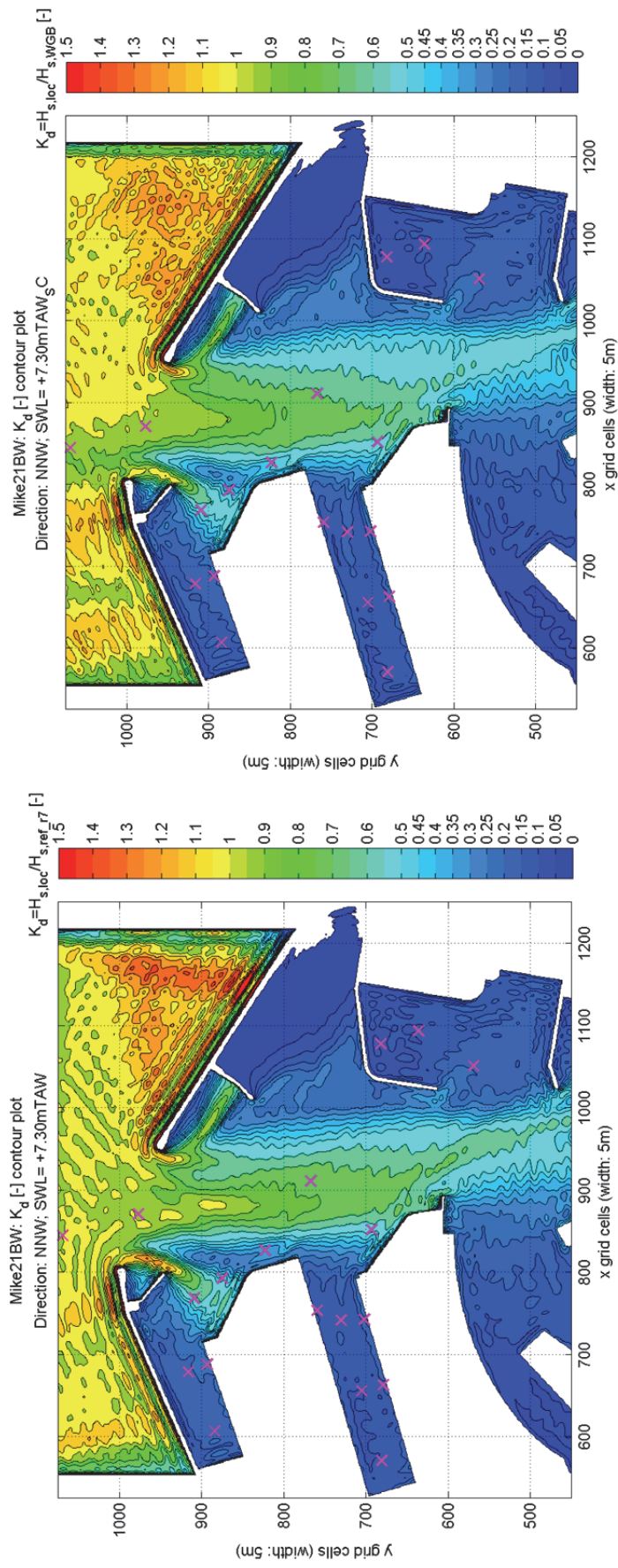
<sup>9</sup> Er bestaat wel een onderzoekersversie van MILDwave die deze functie heeft (mond. comm. Troch, 2010) (Caspeele, 2006).



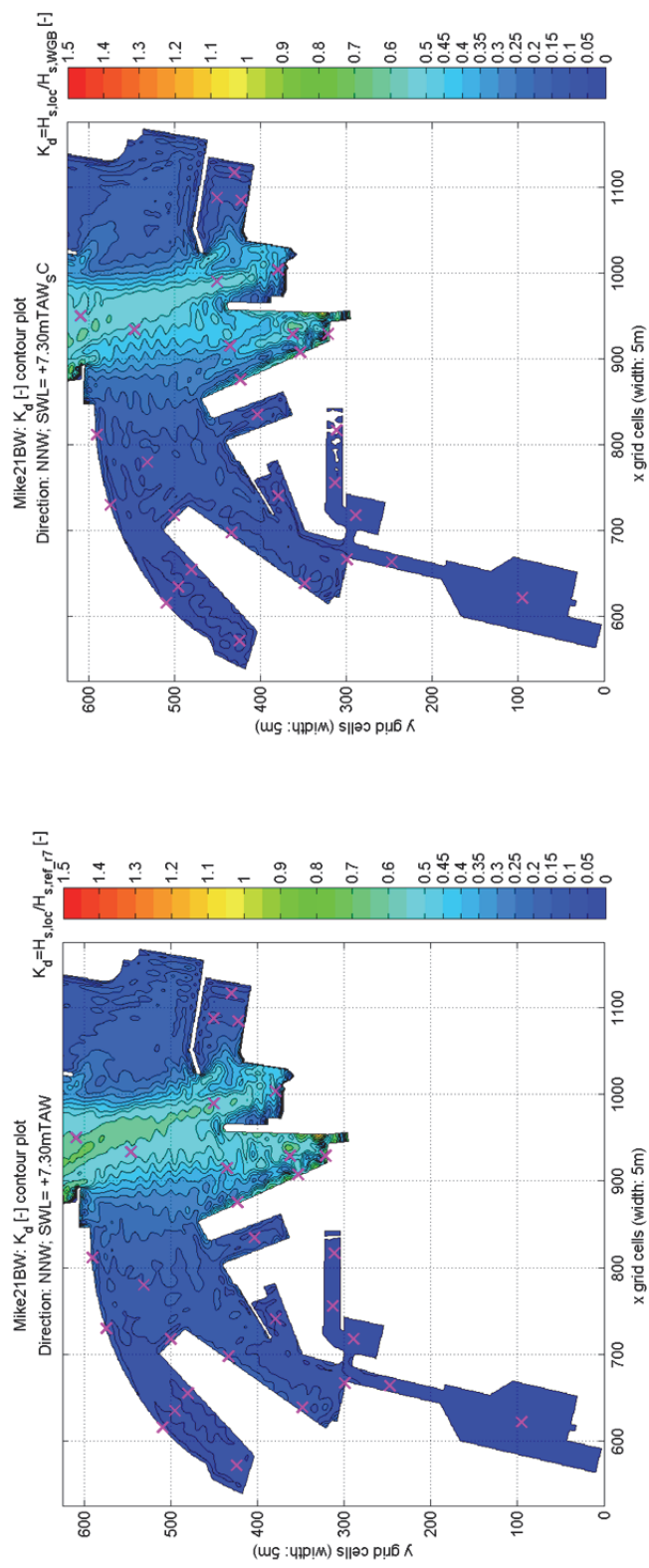
Figuur 3-26:  $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Vergelijking tussen lang- en kortkruinige golven.



Figuur 3-27: Evolutie van  $K_d$ -waarde volgens langdoorsnede LDS<sub>H</sub> en dwarsdoorsneden AB (ingang van de haven,  $x_{LDS} = 0$ m), CD (ingang oude haven,  $x_{LDS} = 2000$ m) en EF (ingang dok Vandammesluis,  $x_{LDS} = 2800$ m). Vergelijking tussen lang- en kortkruisige golven.



Figuur 3-28: K<sub>d</sub>-contourplot met focus op de nieuwe voorhaven. Resultaat van Mike 21 BW. Links: langkruinige golven, rechts: kortkruinige golven.



Figuur 3-29:  $K_q$ -contourplot met focus op de oude haven. Resultaat van Mike 21 BW. Links: langkruinige golven, rechts: kortkruinige golven.

### 3.2.6 Invloed van de vaargeul Pas van het Zand

Uit nader onderzoek in de literatuur blijkt dat dit fenomeen reeds werd onderzocht door o.a. Zwamborn en Grieve (1974), Li et al. (2000), Beltrami et al. (2003) en Misra et al. (2008). Vooral door Zwamborn en Grieve (1974) wordt een duidelijke uitleg gegeven van de fysische oorzaken:

- Door de grotere waterdiepte in de vaargeul dan ernaast, is de celeriteit hoger in de vaargeul. Dit veroorzaakt een groot faseverschil zodat er diffractie op de zijkanten van de vaargeul optreedt;
- Golven die over de vaargeulhellingen propageren, worden weg van de vaargeul gerefracteerd.

De conclusies m.b.t. de invloed op het golfklimaat uit deze artikels zijn dat:

- Voor een golfrichting evenwijdig met de vaargeul de golfhoogte afneemt in de vaargeul en toeneemt aan de randen van de vaargeul;
- Voor golfrichtingen die een 'kritische' hoek tussen 20°-30° maken met de richting van de vaargeul treedt een golfconcentratie op met als gevolg een toename van de golfhoogte meer naar het midden van de vaargeul toe;
- De amplificatie door de golfconcentratie meest uitgesproken is voor langkruinige golven. Dit is een gevolg van het feit dat alle golfenergie in één richting propageert en de gevoeligheid van de amplificatie in relatie tot het richtingsverschil tussen golfrichting en vaargeul. De directionele spreiding bij kortkruinige golven heeft een vervlakkend effect op deze golfconcentratie;
- De vaargeul moet een aantal golf lengtes lang zijn opdat het effect op de golven zich volledig kan ontwikkelen;
- De helling van de zijhellingen van de vaargeul heeft invloed op de refractie en dus ook op het effect op het golfklimaat;
- De golfrichting in de vaargeul wijzigt volgens de refractie op de zijhellingen.

De vaargeul Pas van het Zand die toegang biedt tot de haven van Zeebrugge is gericht volgens NW. Om het effect van de vaargeul op het golfklimaat in Zeebrugge te onderzoeken worden de resultaten van het model zonder vaargeul (cf. Figuur 3-6) en inclusief vaargeul (cf. Figuur 3-5) vergeleken met elkaar voor een golfrichting volgens een kritische hoek (NNW). In principe heeft golfrichting WNW ook een kritische hoek met de vaargeul, maar het model is onvoldoende groot om deze golfrichting te kunnen modelleren. Omdat het effect van de vaargeul minder uitgesproken is in de vaargeul voor kortkruinige golven wordt de vergelijking ook gedaan voor richting NNW met kortkruinige golven. Voor dit onderzoek wordt Mike 21 BW gebruikt met de condities uit Tabel 3-10.

De bathymetrie van de vaargeul bij morfologisch evenwicht wordt gebruikt in het model (cf. Figuur 3-4).

Tabel 3-10: hydrodynamische randvoorwaarden voor het onderzoek van de invloed van de vaargeul

SWL [m TAW]	$d_{max}$ [m]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	Richting [-]	
+7.30	23.33	5.7	12.0	NNW	NW

Om het model inclusief vaargeul met het model zonder vaargeul te kunnen vergelijken op vlak van golfklimaat in de haven is een aanpassing nodig van de  $K_d$ -waarden. De  $K_d$ -waarden van het model zonder vaargeul houden immers geen rekening met de invloed van de vaargeul op het golfklimaat tot aan de ingang van de haven en dus op de totale golfenergie die de haven binnentreedt. Het gemiddelde van de golfindringingscoëfficiënt over de breedte van de haveningang (dwarsdoorsnede AB)  $K_{d,AB}$  is een maat voor de totale golfenergie die de haven binnentreedt. In Tabel 3-11 is  $K_{d,AB}$  berekend voor elk model.

Tabel 3-11: vergelijking van de golfindringingscoëfficiënt  $K_{d,AB}$  gemiddeld over dwarsdoorsnede AB (haveningang)

Model	Mike21BW LC (harbour)	Mike21BW LC (NavChan+harbour)	Mike21BW SC (harbour)	Mike21BW SC (NavChan+harbour)
$K_{d,AB}$ [-]	0.989	0.941	0.974	0.833

Zoals verwacht blijft bijna 100% van de opgelegde golfenergie over aan de ingang van de haven voor het model zonder vaargeul (0.989 voor langkruinige golven en 0.974 voor kortkruinige golven). Voor het model inclusief vaargeul is dit ongeveer 94% en 83% respectievelijk.

Om de  $K_d$ -waarden in de haven gelijk te schakelen en dus de  $K_d$ -waarden in de haven vergelijkbaar te maken tussen de modellen met en zonder vaargeul, worden ze genormaliseerd met  $K_{d,AB}$ . Het resultaat is dat nieuwe  $K_d$ -waarden in de haven worden bekomen waarbij  $H_{s,AB}$  de nieuwe referentie is.  $H_{s,AB}$  is dan de significante golfhoogte gemiddeld over de breedte van de haveningang en is dus een maat voor de golfenergie die de haven binnentreedt. Op deze manier kan het effect van de vaargeul op het golfklimaat in de haven onderzocht worden.

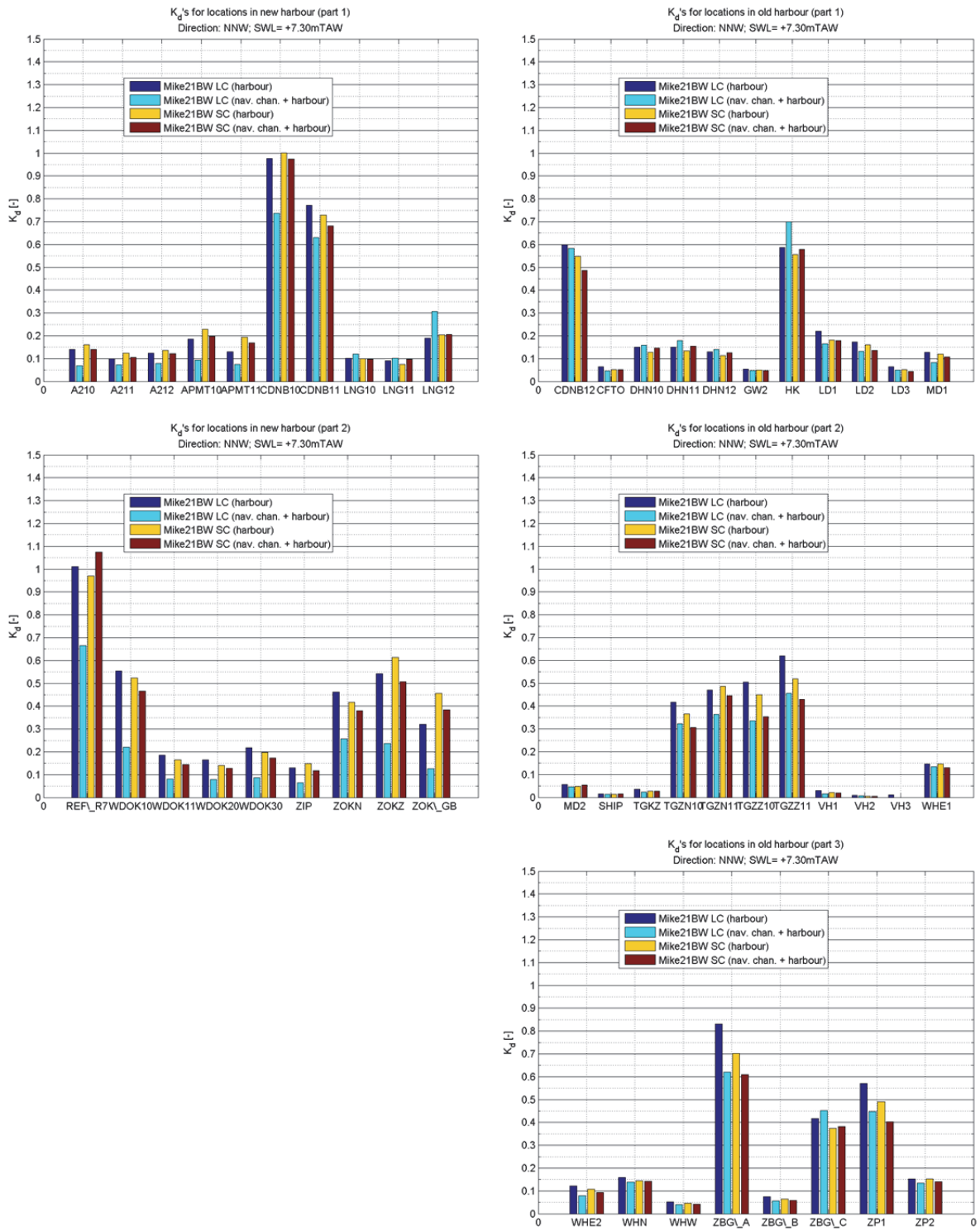
De invloeden van de vaargeul op het golfklimaat in de haven zijn:

- Voor langkruinige golven: de  $K_d$ -waarden van de westelijke gedeelten van de haven dalen – in de meeste gevallen – significant (cf. Wielingendok en Albert II-dok uitvoerpunten in Figuur 3-30). Dit is omdat in de vaargeul de golfenergie zich aan de oostkant heeft geconcentreerd door refractie (cf. Figuur 3-34 en dwarsdoorsnede AB in Figuur 3-31). Het gevolg is dan ook dat de  $K_d$ -waarden aan de oostkant van de haven daarentegen stijgen (cf. LNG12, HK en ZBG\_C). Een andere reden is dat de golven – ook door refractie – meer de richting van de vaargeul aannemen (cf. Figuur 3-32) zodat de golfrichting aan de haveningang eerder NW is dan NNW (cf. §3.2.4 voor effect golfrichting). Het effect van de vaargeul op het interessegebied (ZBG\_A) is een grote daling van  $K_d$  ( $K_d$ -verschil  $\sim 0.20$ ).
- In geval van kortkruinige golven geldt ongeveer dezelfde invloed van de vaargeul, maar op minder uitgesproken wijze (cf. Figuur 3-33 en Figuur 3-35). De golfenergie is immers over meerdere richtingen verspreid zodat niet alle energie geconcentreerd is volgens de kritische hoek met de vaargeul. De daling van de  $K_d$ -waarden in het dok naar de Vandammesluis is toch nog vrij groot ( $K_d$ -verschil bij ZBG\_A  $\sim 0.10$ ).

Voor het effect van de vaargeul op het golfklimaat buiten de haven blijkt uit Tabel 3-11 dat voor golfrichting NNW in geval van kortkruinige golven ( $K_{d,AB} = 0.83$ ) meer golfenergie wordt weggeleid van de haveningang dan in geval van langkruinige golven ( $K_{d,AB} = 0.94$ ). De concentratie van golfenergie is daarentegen veel meer uitgesproken in geval van langkruinige golven (cf. Figuur 3-35).

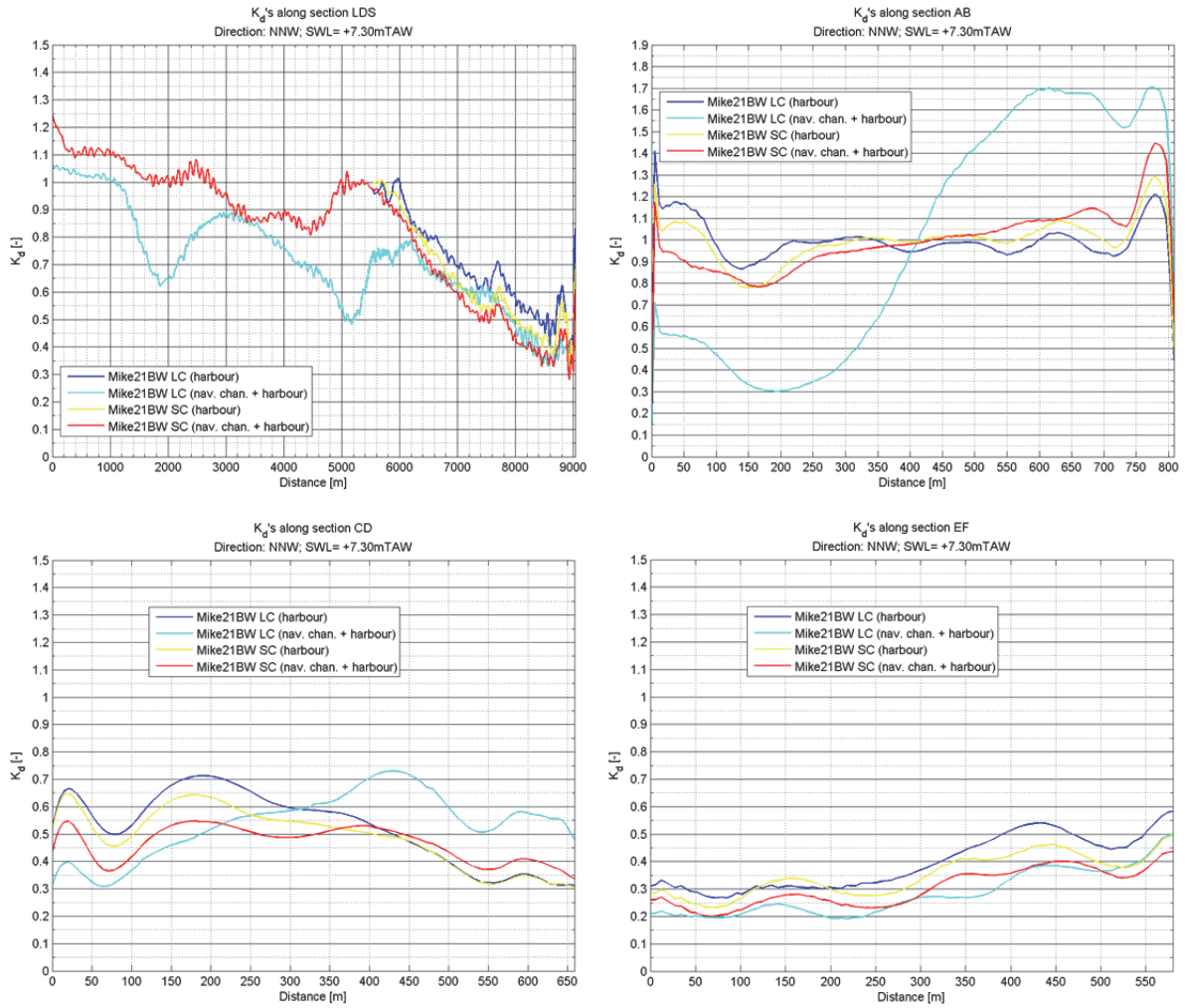
Daarnaast wordt ook kort gekeken naar een golfrichting evenwijdig aan de vaargeul (NW). Hiervoor wordt het model van MILDwave met vaargeul toegepast (opgelet: het gaat hier over de vaargeul zonder morfologisch evenwicht uit Figuur 3-3). In geval van langkruinige golven is de invloed alvast zeer groot (cf. Figuur 3-38). De golven refracteren weg van de ingang van de haven op de zijhellingen van de vaargeul, zodat de  $K_d$ -waarden overal in de haven gevoelig dalen. Deze richting werd niet met kortkruinige golven gemodelleerd, maar het effect van de vaargeul zal waarschijnlijk in dezelfde zin zijn, maar minder nadrukkelijk dankzij de directionele spreiding. Richting NW was al één van de minst nadelige golfrichtingen aan de haveningang (cf. §3.2.4) en wordt met invloed van de vaargeul nog minder nadelig zodat deze golfrichting zeker geen bepalende is voor het golfklimaat in de haven.

De invloed van de vaargeul is dus niet verwaarloosbaar en moet in acht genomen worden bij de interpretatie van de resultaten.

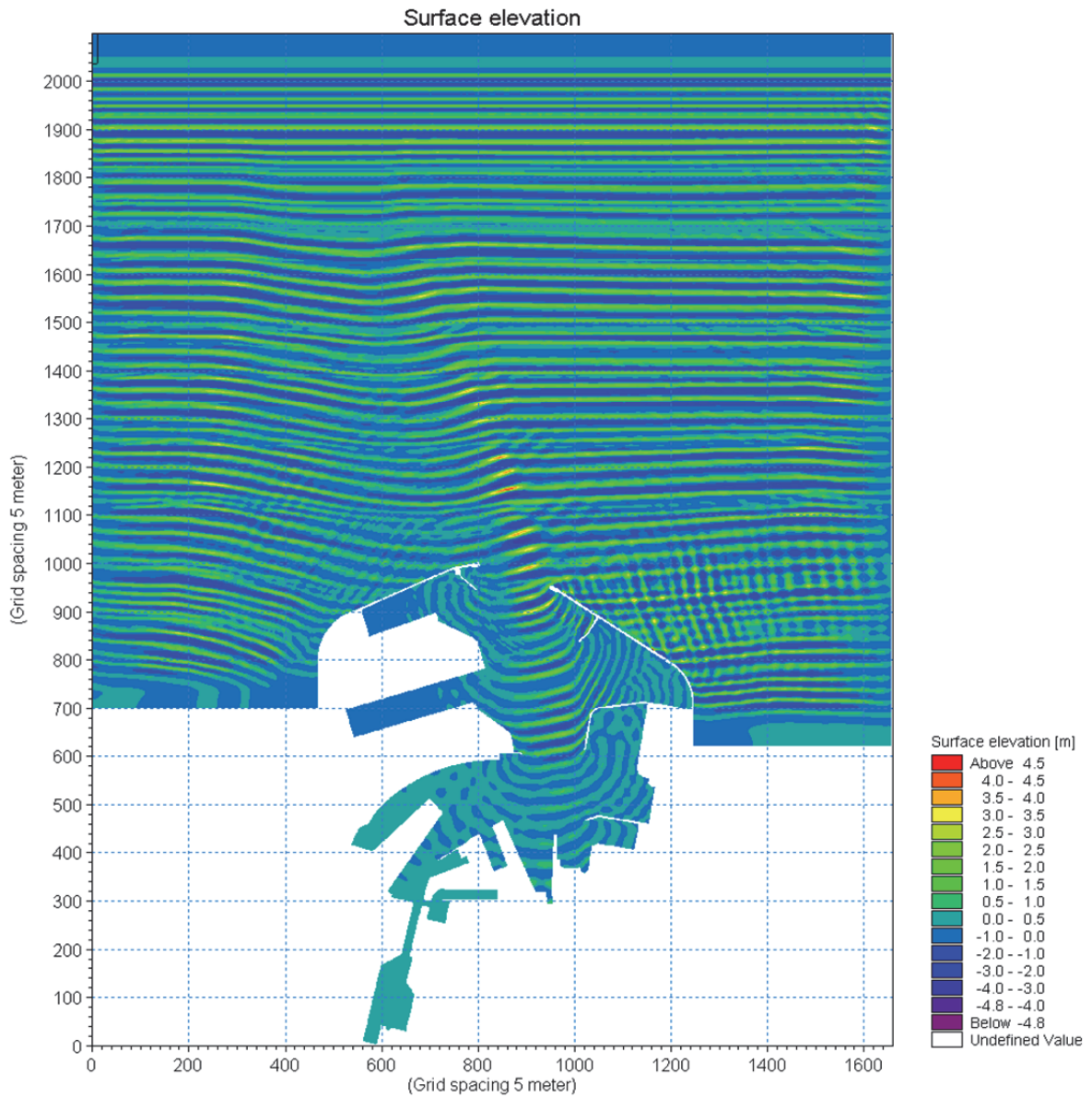


Figuur 3-30:  $K_d$ -waarden (genormaliseerd met  $K_{d,AB}$ ) voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Vergelijking tussen met en zonder vaargeul voor lang- en kortkruigige golven. Golfrichting NNW.

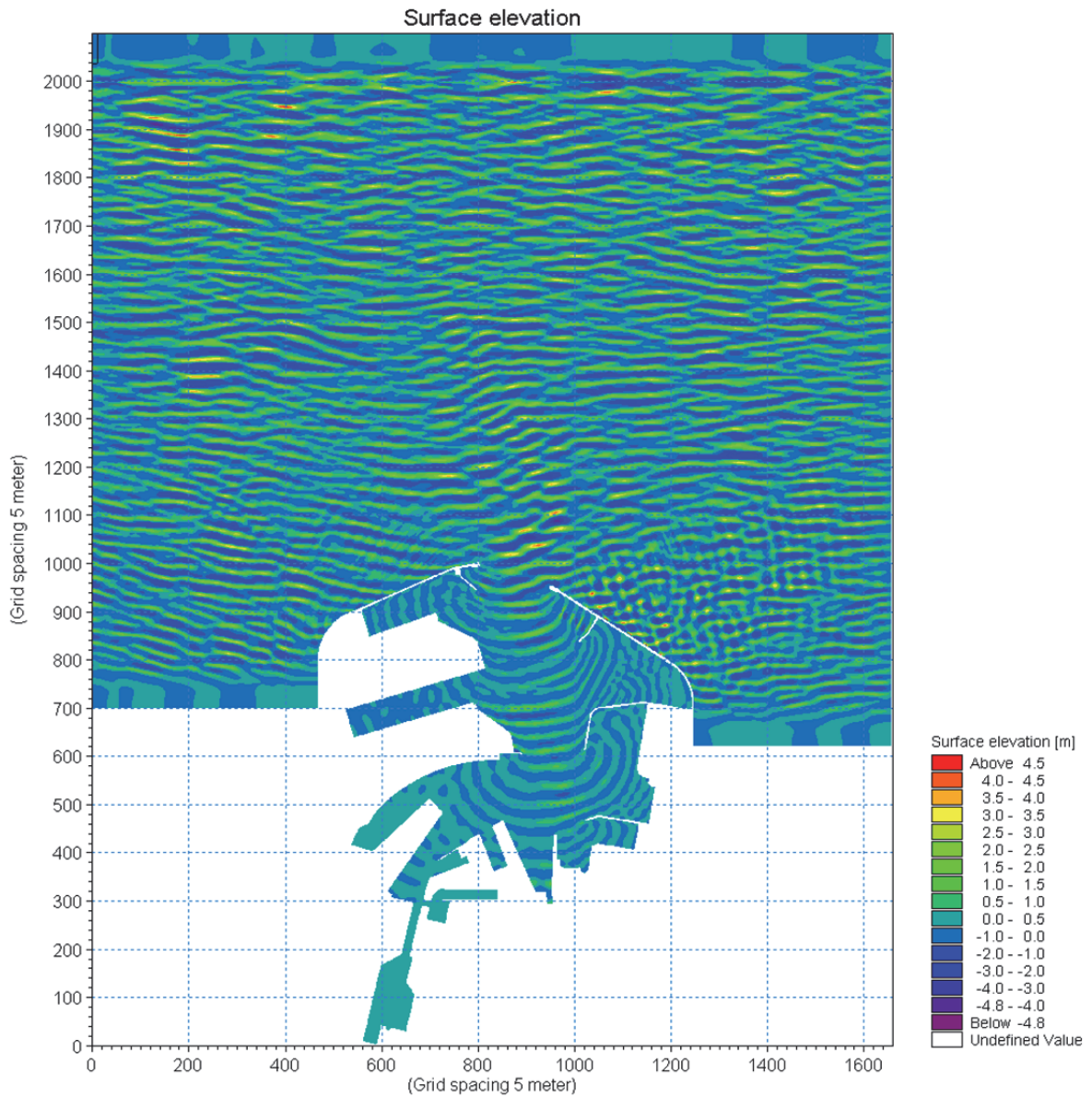




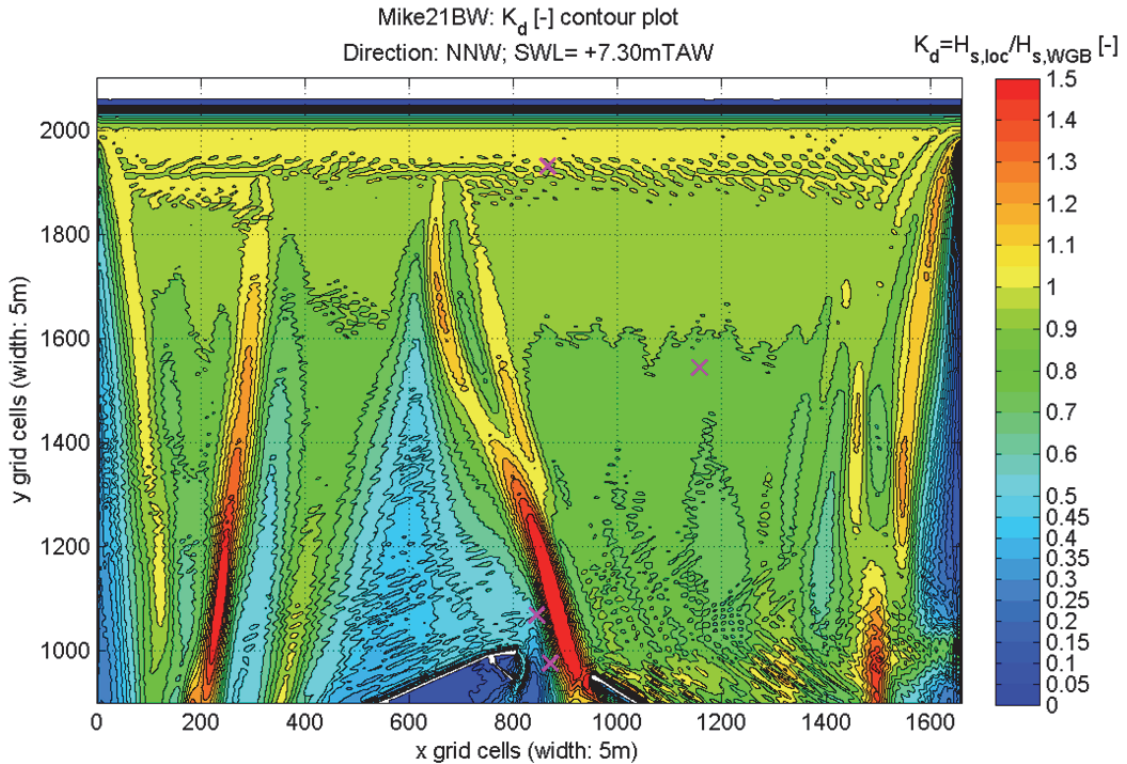
Figuur 3-31: Evolutie van  $K_d$ -waarde (**genormaliseerd met  $K_{d,AB}$** ) volgens langdoorsnede  $LDS_{B+H}$  (start vaargeul  $x_{LDS} = 0m$ ) en dwarsdoorsneden AB (ingang van de haven,  $x_{LDS} = 550m$ ), CD (ingang oude haven,  $x_{LDS} = 750m$ ) en EF (ingang dok Vandammesluis,  $x_{LDS} = 830m$ ). Vergelijking tussen met en zonder vaargeul voor lang- en kortkruisige golven. Golfrichting NNW.



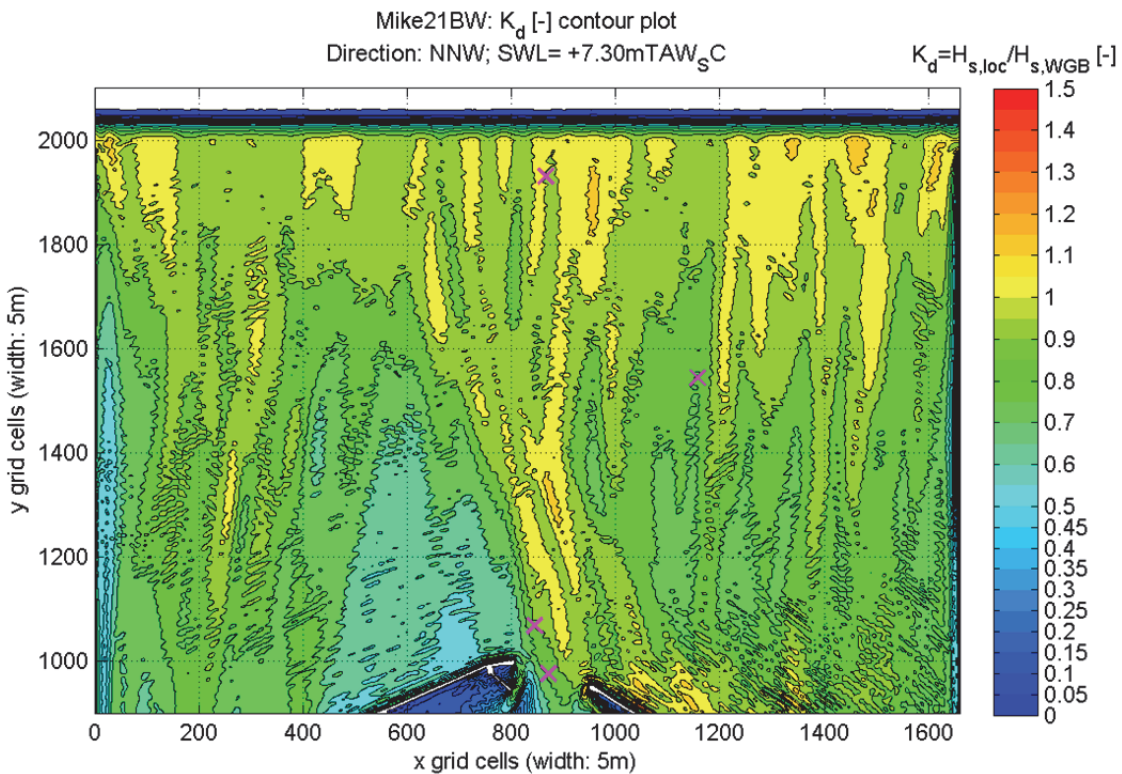
Figuur 3-32: Kleurenplot van verheffingen 12.5min ver in de simulatie. SWL = +7.30m TAW, NNW, langkruinige golven, model inclusief vaargeul.



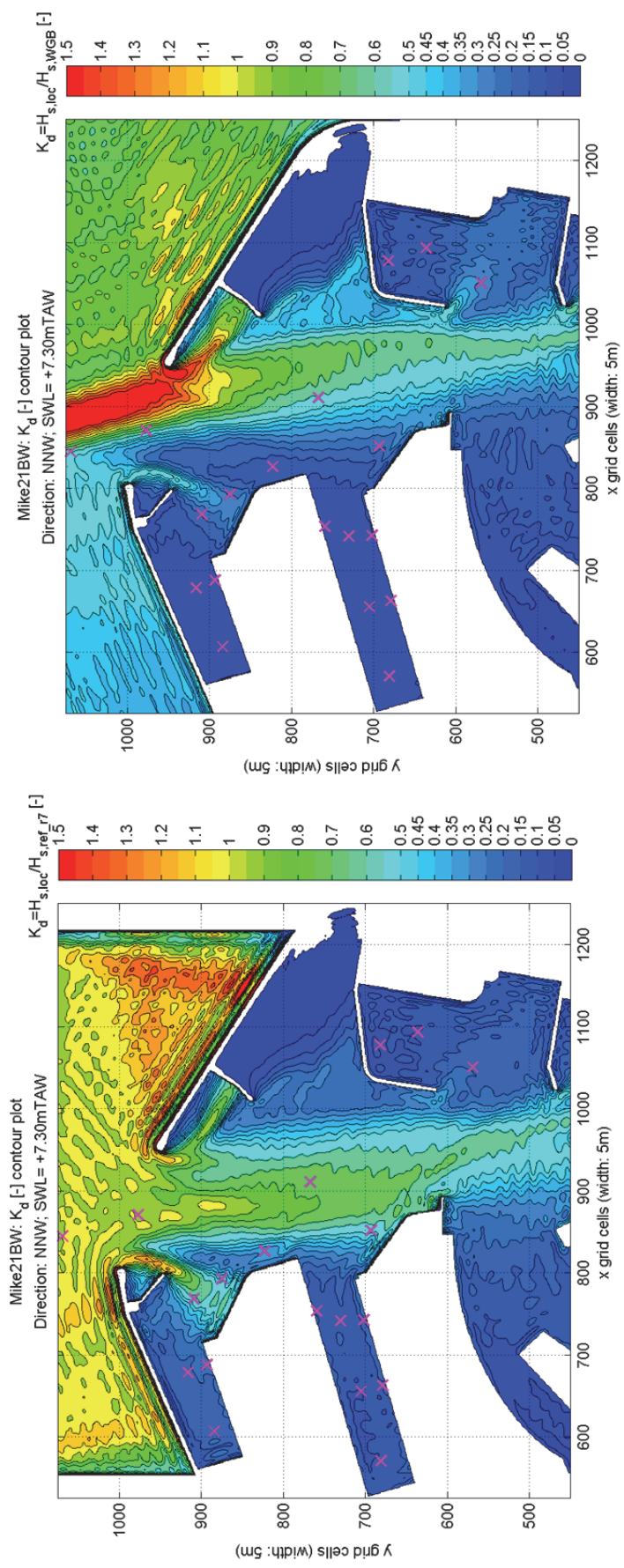
Figuur 3-33: Kleurenplot van verheffingen 12.5min ver in de simulatie. SWL = +7.30m TAW, NNW, kortkruinige golven ( $\sigma = 20^\circ$ ), model inclusief vaargeul.



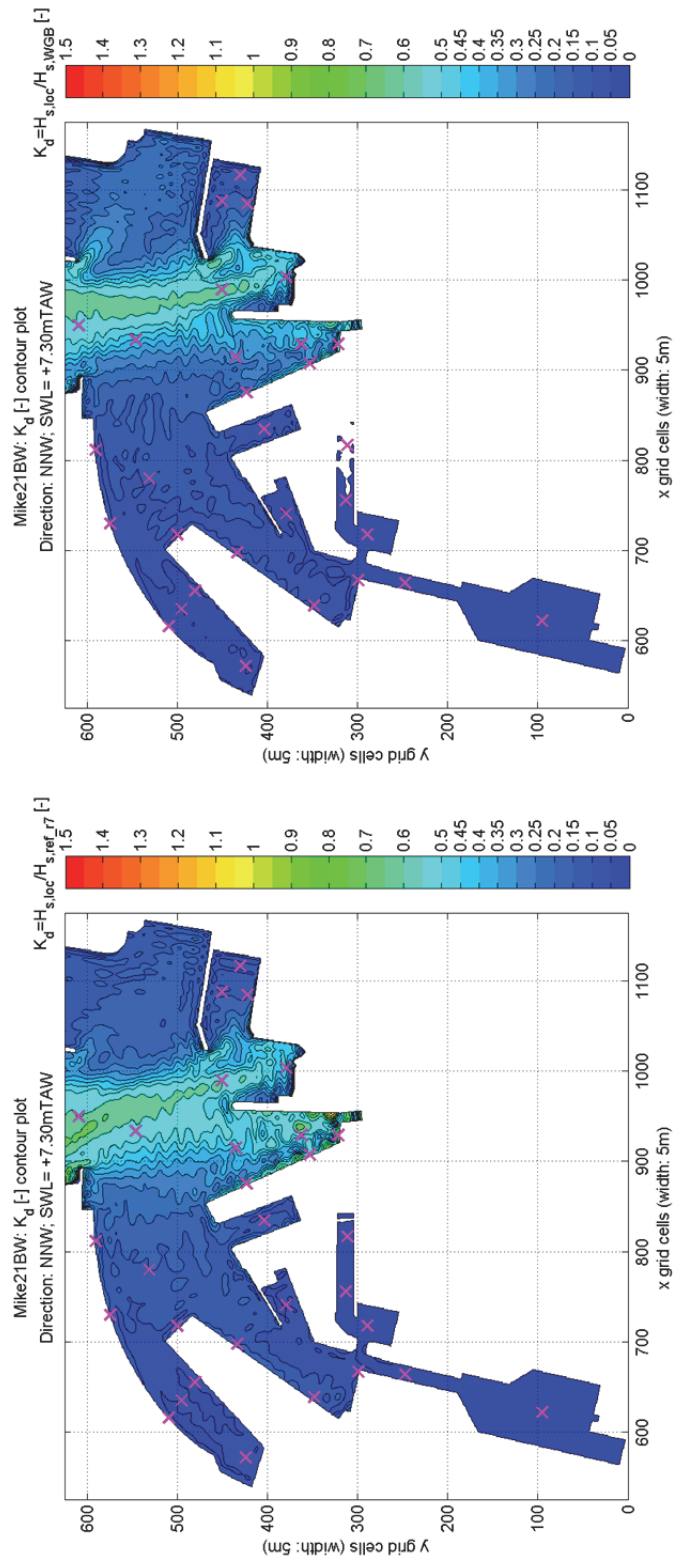
Figuur 3-34:  $K_d$ -contourplot (niet genormaliseerd met  $K_{d,AB}$ ) rondom vaargeul (Mike 21 BW). Langkruinige golven. Golfrichting NNW. Opgelet: in de vaargeul wordt maximaal  $K_d = 1.80$  bereikt (dus buiten bereik van de toegepaste schaal).



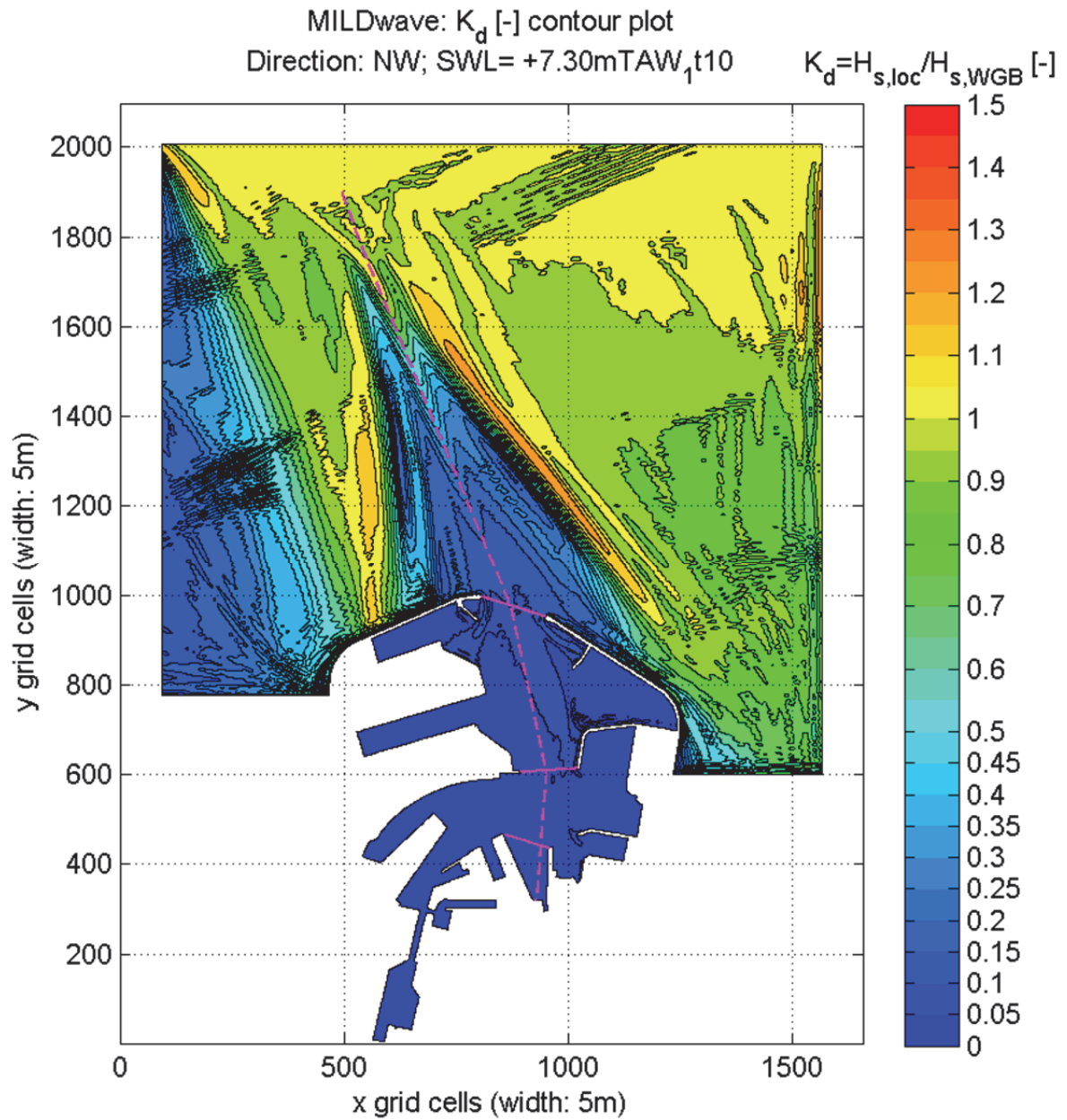
Figuur 3-35:  $K_d$ -contourplot (niet genormaliseerd met  $K_{d,AB}$ ) rondom vaargeul (Mike 21 BW). Kortkruinige golven. Golfrichting NNW.



Figuur 3-36:  $K_d$ -contourplot (niet genormaliseerd met  $K_{d,AB}$ ) met focus op de nieuwe voorhaven. Resultaat van Mike 21 BW. Links: haven model, rechts: haven + vaargeul. Golfrichting NNW.



Figuur 3-37:  $K_d$ -contourplot (niet genormaliseerd met  $K_{d,AB}$ ) met focus op de oude haven. Resultaat van Mike 21 BW. Links: haven model, rechts: haven + vaargeul. Golfrichting NNW.



Figuur 3-38:  $K_d$ -contourplot (niet genormaliseerd met  $K_{d,AB}$ ) van het volledig model inclusief vaargeul (MILDwave). Langkruinige golven. Golfrichting NW.

### 3.2.7 Golfbreking

Het belang van het fysisch proces golfbreking op het golfklimaat in de haven wordt in deze paragraaf onderzocht.

Dit onderzoek wordt uitgevoerd met het model MILDwave. Enerzijds omdat het lineair model een snel resultaat geeft en geschikt is voor een relatieve vergelijking, anderzijds omdat MILDwave sowieso een resultaat geeft, zelfs al loopt de golfhoogte hoog op door het uitschakelen van de golfbrekingsmodule.

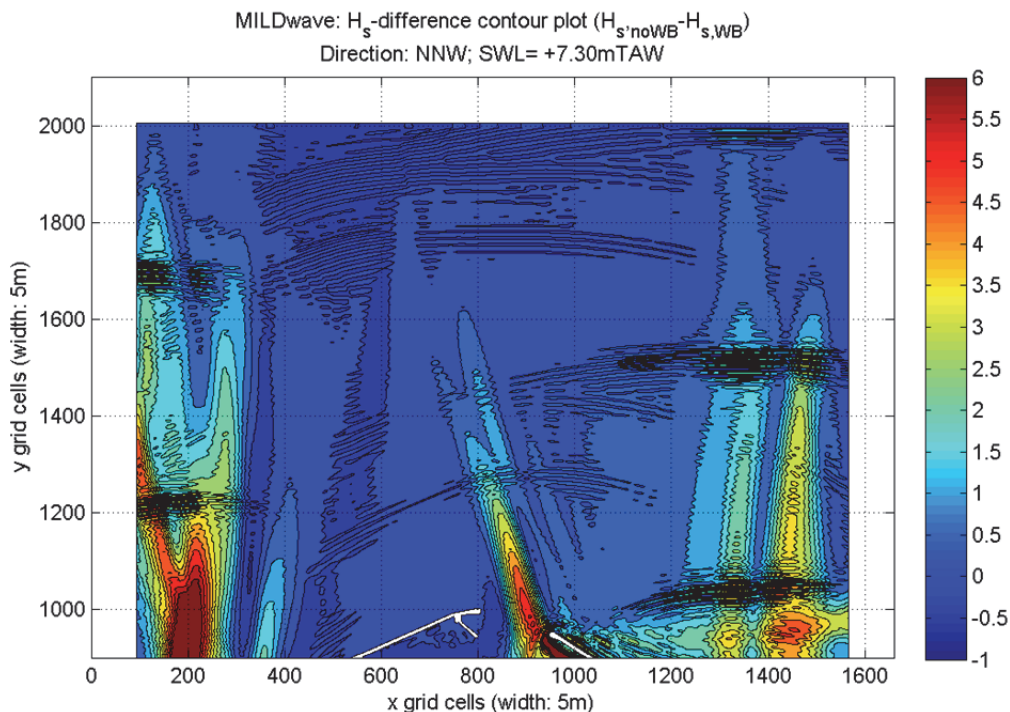
Tabel 3-12: Hydrodynamische randvoorwaarden en golfindringingsmodel waarvoor de gevoeligheidsanalyse "Golfbreking" werd uitgevoerd

SWL [m TAW]	$d_{max}$ [m]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	Richting [-]	Golfbreking [-]	MILDwave
+7.30	23.33	5.7	12.0	NNW	Ja	X (incl. vaargeul)
+7.30	23.33	5.7	12.0	NNW	Nee	X (incl. vaargeul)

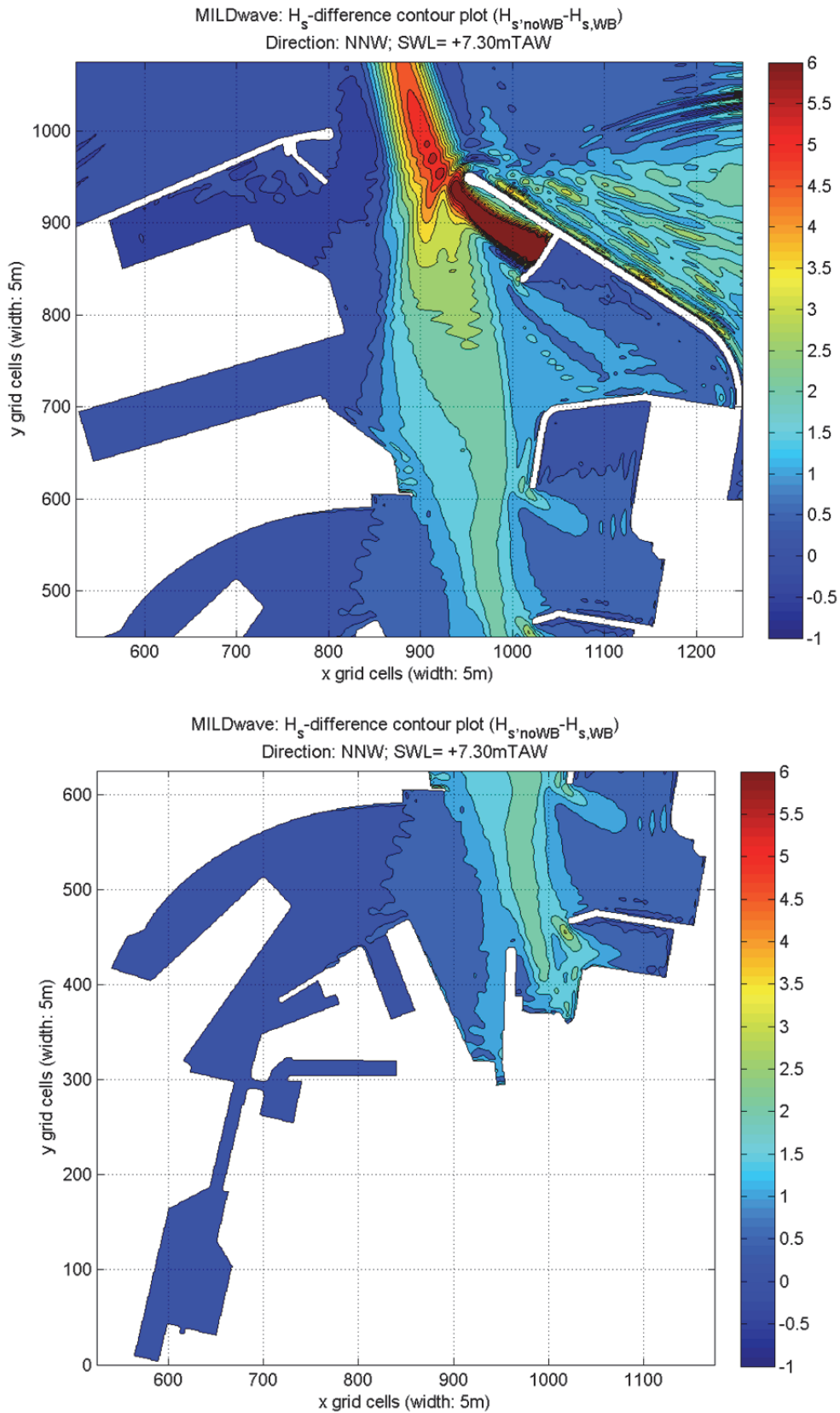
In Figuur 3-39 wordt een verschilkaart getoond tussen de significante golfhoogte van het model zonder golfbreking en met golfbreking. Positieve waarden betekenen dan dat in deze gebieden energiedissipatie ten gevolge van golfbreking optreedt. Het is duidelijk dat golfbreking een belangrijke rol speelt in de vaargeul zodat het effect van golfbreking tot diep in de haven merkbaar is, ook bv. in het interessegebied aan de Vandammesluis waar het verschil in golfhoogte ongeveer 1.70m bedraagt.

De golfbreking is hier zo belangrijk door het groot effect dat de vaargeul heeft op het golfklimaat in geval van langkruinige golven (cf. §3.2.6). De golfconcentratie door het effect van de vaargeul neemt af in geval van kortkruinige golven zodat ingeschat wordt dat in geval van kortkruinige golven de golfbreking minder intensief zal zijn.

Het belang van de golfbrekingsmodule in de golfindringingsmodellen is hiermee aangetoond.







Figuur 3-39: Verschilkaarten van  $H_s$  [m] tussen model zonder en met golfbreking (MILDwave resultaten).

### 3.2.8 Golfrichting offshore van de vaargeul

Uit de invloed van de vaargeul (cf. §3.2.6) bleek o.a. dat de vaargeul een wijziging van de golfrichting teweeg brengt aan de ingang van de haven t.o.v. de opgelegde golfrichting offshore van de vaargeul. Uit de invloed van de golfrichting aan de ingang van de haven (cf. §3.2.4) volgde dat NNW voor de grootste golfindringing zorgt (in de interessegebieden).

Golfrichting NNW offshore van de vaargeul wordt een golfrichting die tussen NNW en NW ligt aan de ingang van de haven ten gevolge van het effect van de vaargeul. Dit betekent dat offshore van de vaargeul de golfrichting meer naar het noorden bijgesteld moet worden om de meest nadelige golfrichting NNW aan de ingang van de haven te verkrijgen. Om deze richting snel te kunnen bepalen wordt dit onderzoek uitgevoerd met het model MILDwave, welke wel beperkt is tot langkruinige golven (cf. §2).

Tabel 3-13: hydrodynamische randvoorwaarden voor de verschillende golfrichtingen

SWL [m TAW]	$d_{max}$ [m]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	Richting [-]					MILDwave
				NNW	-17°N	-12°N	-6°N	N	
+7.30	23.33	5.7	12.0	NNW	-17°N	-12°N	-6°N	N	X (incl. vaargeul)

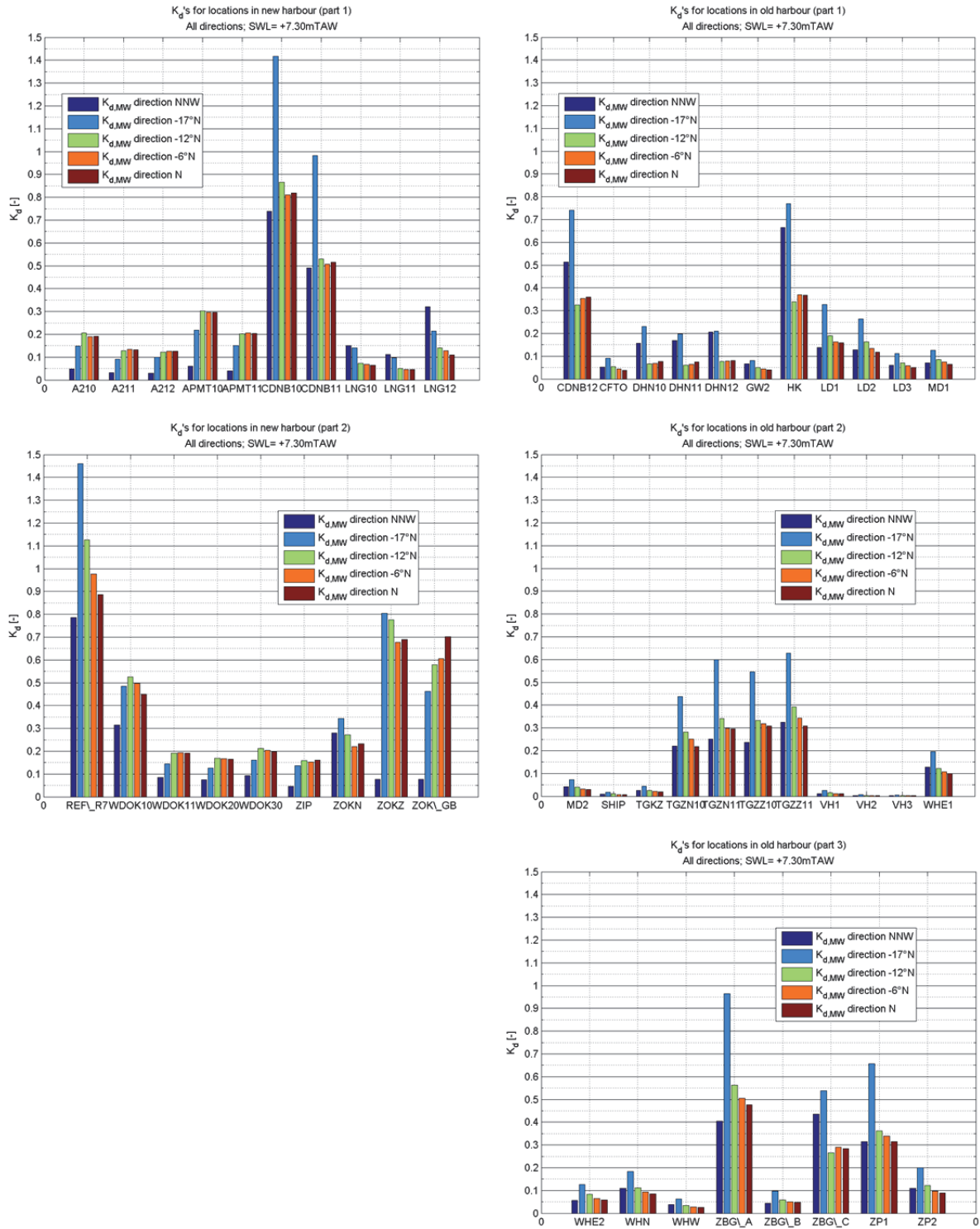
Voor golfrichtingen offshore van de vaargeul tussen NNW en N blijkt de golfindringing naar de Vandammesluis inderdaad groter te zijn dan richting NNW (cf. Figuur 3-40). De meest nadelige richting is -17°N. De  $K_d$ -waarde in het meetpunt aan de Vandammesluis (ZBG\_A) is meer dan 2 maal groter dan NNW. Deze hoge waarde is ten gevolge van de langkruinige golven waarbij alle golfenergie in één richting is geconcentreerd zodat het effect van de vaargeul maximaal is (cf. §3.2.6).

Om de invloed van kortkruinige golven op dit resultaat te onderzoeken zijn richtingen NNW, -17°N en -6°N gesimuleerd met Mike 21 BW (cf. Tabel 3-14).

Tabel 3-14: hydrodynamische randvoorwaarden voor de verschillende golfrichtingen

SWL [m TAW]	$d_{max}$ [m]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	Richting [-]			Mike 21BW
				NNW	-17°N	-6°N	
+7.10	23.13	5.7	12.0	NNW	-17°N	-6°N	X (incl. vaargeul)

Figuur 3-41 toont aan dat het zeer grote verschil tussen NNW en -17°N nagenoeg volledig verdwijnt als gevolg van de uitgevlakte invloed van de vaargeul in geval van kortkruinige golven. Toch blijft het zo dat golfrichting -17°N offshore van de vaargeul de meest nadelige golfindringing veroorzaakt richting de Vandammesluis.



Figuur 3-40:  $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). MILDwave, incl. vaargeul, langkruinige golven. Vergelijking tussen de golfrichtingen offshore van de vaargeul: NNW, -17°N, -12°N, -6°N en N.



Figuur 3-41:  $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Mike 21 BW, incl. vaargeul, kortkruinige golven ( $\sigma = 20^\circ$ ). Vergelijking tussen de golfrichtingen offshore van de vaargeul: NNW, -17°N en -6°N.

### 3.2.9 Conclusies en eerste keuzes voor het finaal model

Volgende gevoeligheidsanalyses werden uitgevoerd in dit hoofdstuk:

1. Wijziging van de tijdsextrapolatie factor;
2. Variatie van de breedte van de haveningang;
3. Variatie van de golfrichting aan de ingang van de haven;
4. Effect van kortkruinige golven;
5. Invloed van de vaargeul op het golfklimaat in de haven;
6. Invloed van golfbreking op het golfklimaat in de haven;
7. Variatie van de golfrichting offshore van de vaargeul.

Verhoging van de tijdsextrapolatie factor zou minder dissipatie in het model introduceren, maar bracht echter geen merkbaar verschil teweeg. Hieruit wordt besloten dat invoeren van een tijdsextrapolatie factor geen belangrijke invloed heeft op het resultaat in de haven.

Het tweede onderzoek wees uit dat de haveningangsbreedte weinig invloed heeft op de resultaten in het interessegebied. De breedte van de haveningang wordt daarom gehouden op de maximaal mogelijke, namelijk daar waar het stilwaterpeil +7.90m TAW de hellingen van de havendammen snijden, stoppen de numerieke havendammen.

Uit vergelijking van golfrichtingen N, NNW, -34°N en NW blijkt dat golfrichting NNW de meest nadelige is voor het interessegebied (Vandammesluis, Prins Albert I-dok en het toekomstig SHIP-dok). Voor modellering van de verschillende superstormen wordt dan verder ook deze golfrichting gehanteerd.

Het verschil tussen het resultaat van langkruinige en kortkruinige golven is te groot om de invloed van directionele spreiding te kunnen verwaarlozen (max. verschil in  $K_d \sim 0.10$ ). Door de directionele spreiding is de golfenergie die de haven binnendringt minder geconcentreerd langs één richting. Dit heeft als gevolg dat de oude haven en vooral het dok naar de Vandammesluis minder golfenergie ontvangt voor kortkruinige golven. Kortkruinige golven zouden beter de realiteit benaderen (mond. comm. Trouw, 2012) zodat het resultaat van de langkruinige golven te conservatief zou kunnen zijn.

De invloeden van de vaargeul zijn:

- Voor richting NW: een afname van de golfhoogte in de vaargeul zelf door refractie. Omdat hierdoor golfenergie uit de vaargeul verdwijnt, is de golfindringing in de haven ook lager;
- Voor richting NNW: een concentratie van golfenergie treedt op langs de oostelijke helft van de vaargeul. Uitgemiddeld over de breedte van de ingang van de haven echter treedt ongeveer evenveel golfenergie de haven binnen als in het geval zonder vaargeul (voor langkruinige golven, in geval van kortkruinige golven komt minder golfenergie toe). De vaargeul zorgt er ook voor dat de golfrichting aan de ingang van de haven zich meer richt volgens de richting van de vaargeul (NW). Dit samen met de oostelijke golfconcentratie is waarom het model met vaargeul ondanks de golfconcentratie toch een lagere golfhoogte geeft in het dok naar de Vandammesluis.
- Door de invloed van de vaargeul op de golfrichting aan de ingang van de haven, is het mogelijk dat een meer noordelijke richting een kleinere daling (of zelfs stijging) van de  $K_d$ -waarde voortbrengt. Golfrichting WNW zou daarentegen een golfconcentratie in de westelijke helft van de vaargeul kunnen veroorzaken die ook nadelig kan zijn voor het dok naar de Vandammesluis. Deze richting werd echter niet onderzocht.

In geval van kortkruinige golven geldt ongeveer dezelfde invloed van de vaargeul, maar op minder uitgesproken wijze (cf. invloed kortkruinigheid). Rekening houden met de invloed van de vaargeul zou het meest realistisch zijn. Geen rekening houden met aanwezigheid van de vaargeul geeft eerder conservatieve resultaten voor de golfindringing in het interessegebied. De validatie met een natuurmeting in §3.3.4 van het golfmodel met en zonder directionele spreiding en met en zonder vaargeul kan enig idee geven over welk model kan gebruikt worden voor de uiteindelijke resultaten.

De invloed van de golfbreking op het golfklimaat in de haven is zeer groot, zeker in geval van langkruinige golven. Dit is vooral ten gevolge van de invloed van de vaargeul, waar door refractie convergentie van golfenergie optreedt.

Omdat de vaargeul ook een invloed heeft op de golfrichting aan de ingang van de haven werden golfrichtingen (offshore van de vaargeul) NNW, -17°N, -12°N, -6°N en N met elkaar vergeleken. Het bleek dat de golfrichting -17°N offshore van de vaargeul voor de meest nadelige golfindringing zorgt tot aan de Vandammesluis. Het verschil is echter minder groot met kortkruinige golven.

### 3.3 Resultaten en vergelijkende analyses

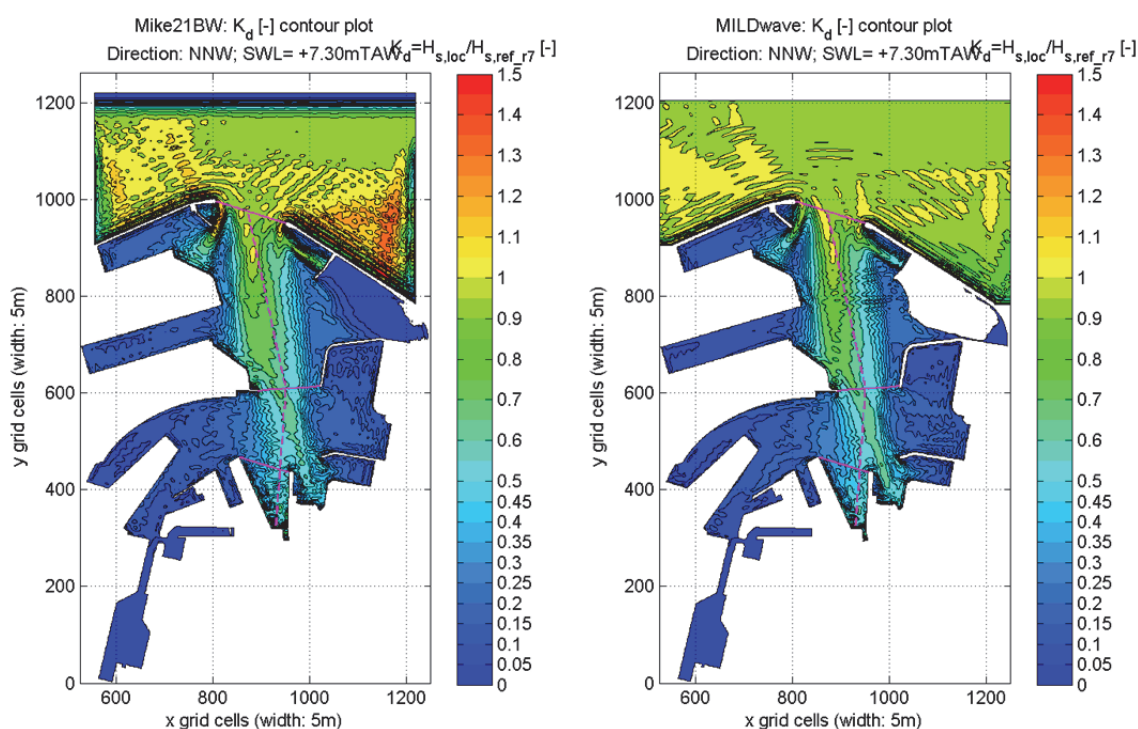
#### 3.3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de finale golfindringingsmodellen van Mike 21 BW en MILDwave onderling vergeleken. Daarnaast wordt ook een validatie met een natuurmeting uitgevoerd.

#### 3.3.2 Vergelijking Mike21BW en MILDwave

##### Contourplots $K_d$ -waarden

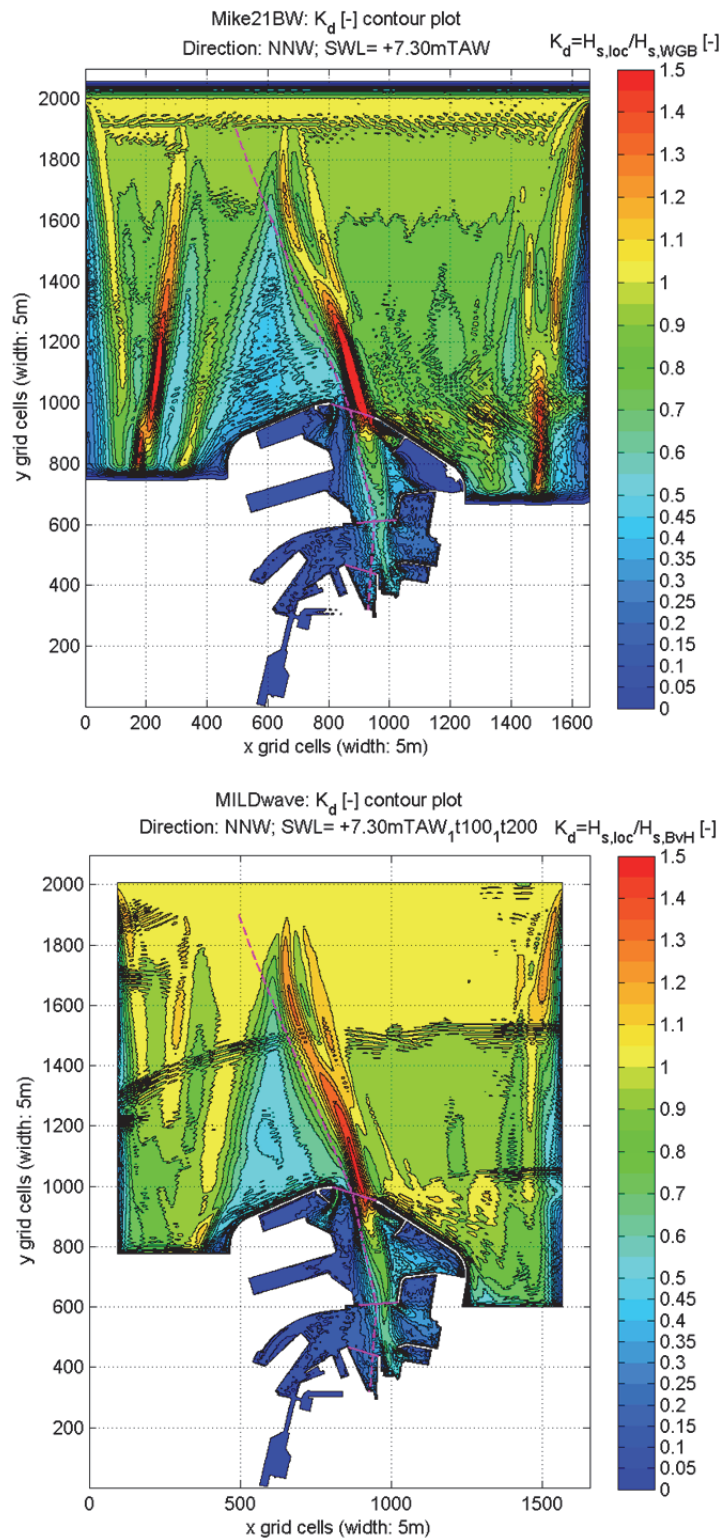
Een contourplot van de golfindringingscoëfficiënt  $K_d$  is in staat de golfindringing in een haven mooi weer te geven. Voor elke simulatie werd dergelijke figuur gemaakt. Ze zijn allemaal digitaal beschikbaar op de bijgevoegde CD-rom. Figuur 3-42 toont een voorbeeld van dergelijke contourplot van beide numerieke golfmodellen. Er is een contour getekend tussen 1.5 en 0.5 met een stap van 0.1 en tussen 0.5 en 0.0 met een stap van 0.05.



Figuur 3-42: Contourplot van de golfindringingscoëfficiënt  $K_d$  van het Mike 21 BW (links) en het MILDwave resultaat (rechts). Golfcondities voor waterstand +7.40m TAW en richting NNW. Model zonder vaargeul.

Door diffractie, refractie en golfbreking neemt de significante golfhoogte af naarmate golven dieper in de haven propageren. Op sommige locaties neemt de  $K_d$ -waarde dan weer toe. Meestal is in dergelijke gebieden duidelijk een oscillatie in het  $K_d$ -verloop te onderscheiden. Die is te verklaren door het effect van reflectie en de toename door de oscillaties is te verklaren door staande golfvorming nabij reflecterende structuren zoals besproken door Klopman en van der Meer (1999) (Gruwez et al., 2011).

Bij vergelijken van beide modelresultaten in Figuur 3-42 valt meteen op dat beide modellen een heel gelijkaardig resultaat opleveren. Dit geeft alvast enig vertrouwen in het resultaat van de numerieke modellen. Dit vertrouwen kan verder ondersteund worden door validatie met een natuurmeting in §0.



Figuur 3-43: Contourplot van de golfindringingscoëfficiënt  $K_d$  van het Mike 21 BW (boven) en het MILDwave resultaat (onder). Golfcondities voor waterstand +7.40m TAW en richting NNW. Model inclusief vaargeul.

In Figuur 3-43 worden  $K_d$ -contourplots weergegeven van het model inclusief vaargeul voor beide numerieke modellen. De vaargeul heeft duidelijk een grotere invloed in geval van het niet-lineair Mike 21 BW model (max  $K_d$ -waarde in vaargeul  $\sim 1.80$ ) dan voor het lineair model MILDwave max  $K_d$ -waarde in vaargeul  $\sim 1.50$ ). Hier wordt in volgende paragraaf verder op ingegaan.

#### **$K_d$ -waarden op locaties en langs doorsneden LDS, AB, CD en EF**

De gedetailleerde onderlinge vergelijking van beide golfindringingsmodellen wordt uitgevoerd op de locaties in de haven gedefinieerd in Figuur 3-7 en Figuur 3-8. De numerieke resultaten werden afgelezen op deze exacte locaties, zonder uit te middelen met omliggende roostercellen. Dit geeft een beeld van in welke mate de numerieke modellen elkaar benaderen met de absorptiecoëfficiënten bepaald in §3.1.8. De vergelijking wordt enkel uitgevoerd voor de 1000-jarige stormcondities (+7.10m TAW), golfrichting NNW en langkruinige golven voor zowel het model met als zonder vaargeul. Naast het vergelijken van meetpunten is het ook interessant om enkele langs- en dwarsdoorsneden te vergelijken. Deze zijn gedefinieerd in Figuur 3-5 en Figuur 3-6.

Figuur 3-44 en Figuur 3-45 geven de vergelijking op de locaties en doorsneden voor het model zonder vaargeul, terwijl Figuur 3-46 en Figuur 3-47 dit doen voor het model inclusief vaargeul.

Voor het model zonder vaargeul tonen beide modellen over het algemeen zeer goede overeenkomsten. Uitzonderingen zijn de uitvoerpunten in het Wielingendok (cf. ZOKN en WDOK) en het Britanniadok (cf. HK, ZBG\_C,...). Een ruwe schatting van de absorptiecoëfficiënt  $\mu_{MW}$  van MILDwave in deze gebieden zijn waarschijnlijk de oorzaak hiervan (cf. §3.1.8). Een gedetailleerdere bepaling van  $\mu_{MW}$  zou een beter resultaat moeten geven. Het belangrijkste is echter dat de overeenkomsten in de gebieden waar  $\mu_{MW}$  werd bepaald volgens het verband tussen  $\mu_{BW}$  en  $\mu_{MW}$  voor Oostende, zeer goed zijn. De interessezones Vandammesluis, Prins Albert I-dok en het toekomstig SHIP-dok behoren tot de gebieden waar wel goede overeenkomst wordt gevonden.

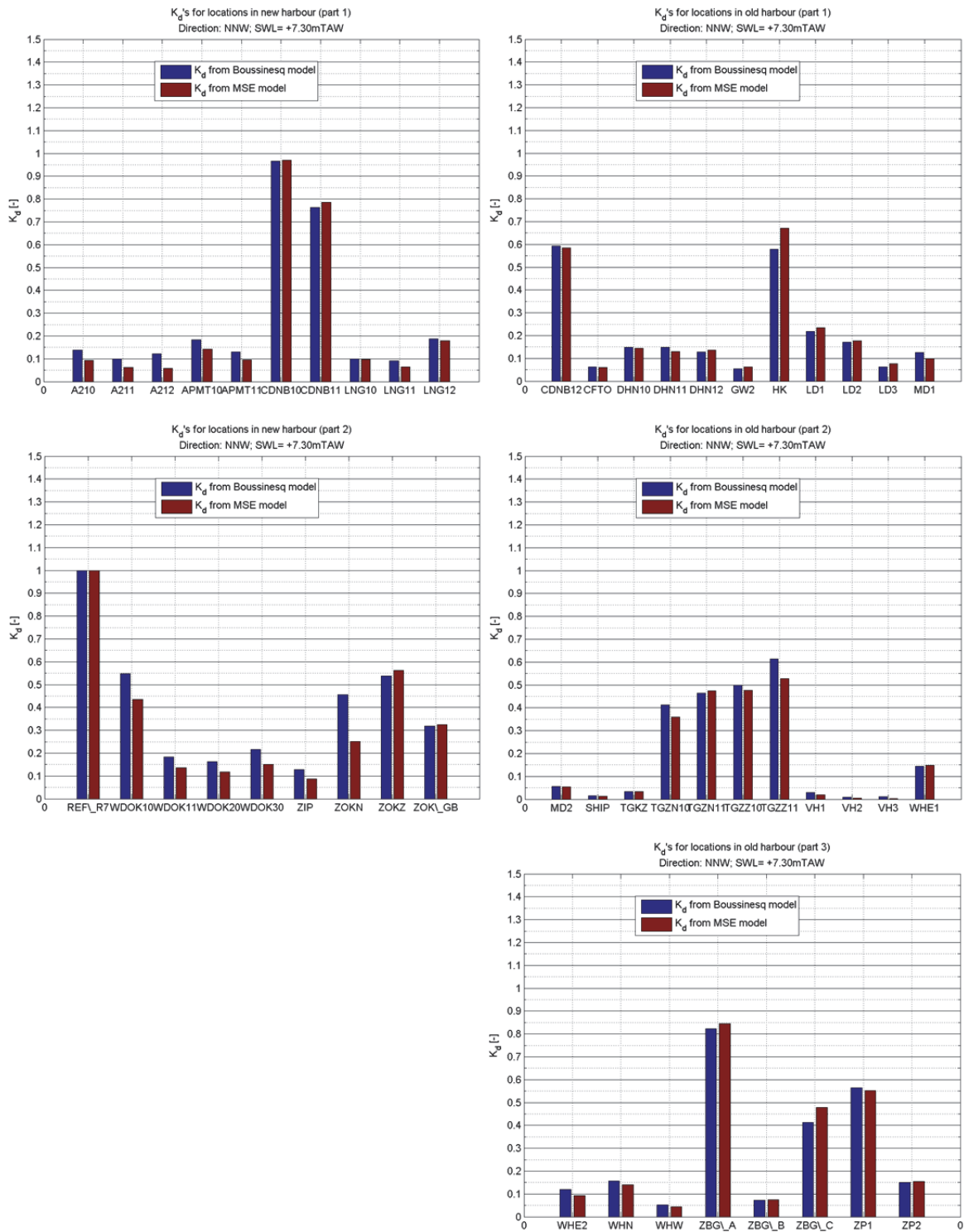
Voor het model inclusief vaargeul is de concentratie van golfenergie aan de oostkant van de vaargeul meer uitgesproken voor Mike 21 BW in vergelijking met MILDwave (cf. Figuur 3-43 en dwarsdoorsnede AB in Figuur 3-47). De grotere  $K_d$ -waarden aan de oostkant van doorsnede CD en in doorsnede EF voor MILDwave suggereren daarentegen een grotere invloed van de vaargeul in MILDwave op de golfrichting. De vaargeul heeft dus een verschillend effect op het golfklimaat in beide modellen, waarbij het verschil meest te merken is in het dok naar de Vandammesluis (cf. ZBG\_A,  $K_d$ -verschil van  $\sim 0.20$ ).

De verschillen tussen de numerieke modellen zijn mogelijk te wijten aan:

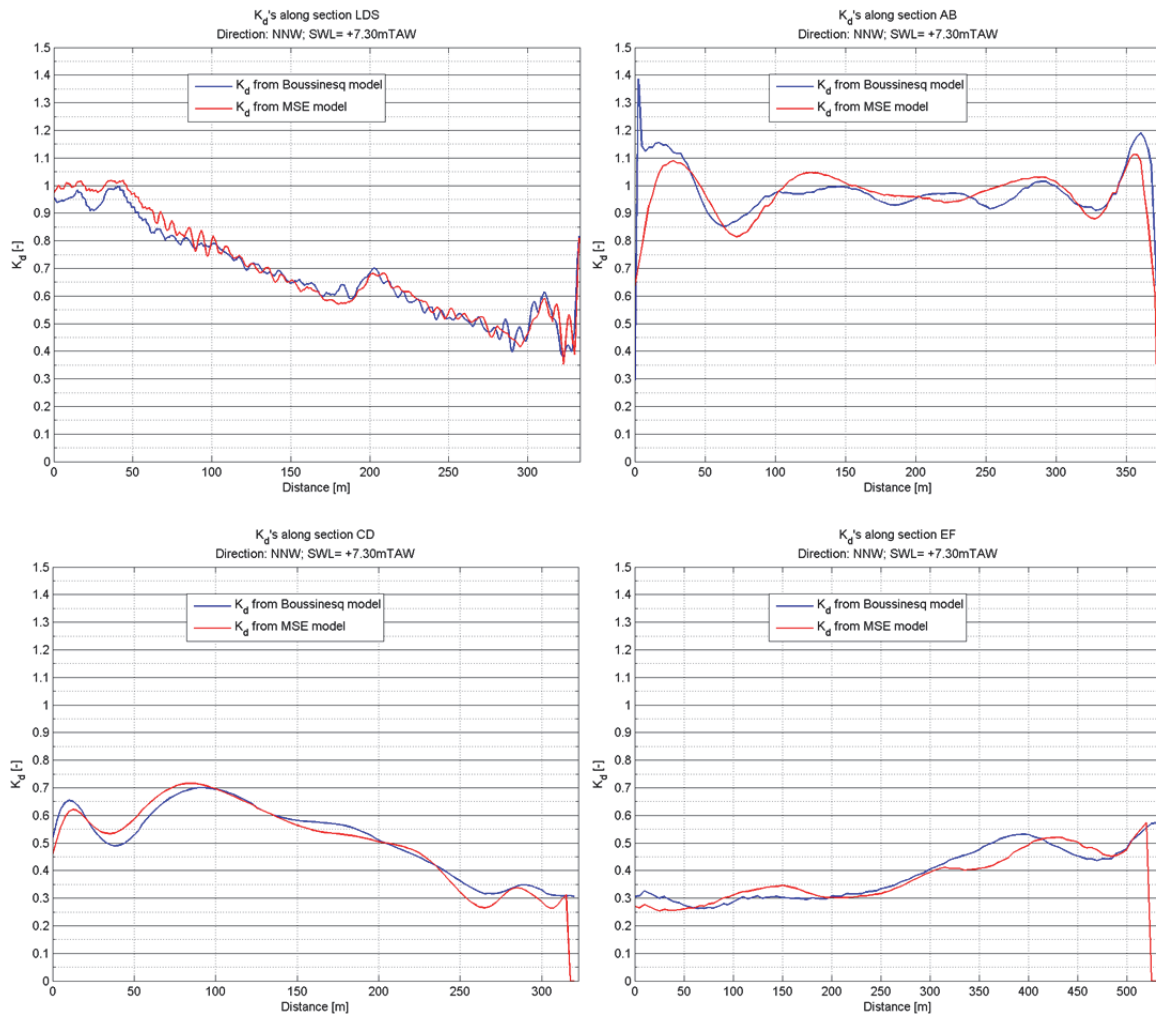
- Niet-lineaire effecten;
- Een verschillend gedrag van de brekingsmodule;
- Verschillend gedrag van de absorptiecoëfficiënten. Uit §3.1.8 bleek al dat een verschillende absorptiecoëfficiënt bepaald diende te worden om dezelfde reflectiecoëfficiënt te verkrijgen. Omdat de bepaling van de reflectiecoëfficiënt via een 1DH-model niet perfect representatief is voor het 2DH-model, kan hier ook een klein verschil tussen beide modellen zijn ontstaan.

Vooraf de golfbrekingsmodule en niet-lineariteit kunnen een hoofdoorzaak zijn voor het verschil in gedrag m.b.t. de vaargeul.





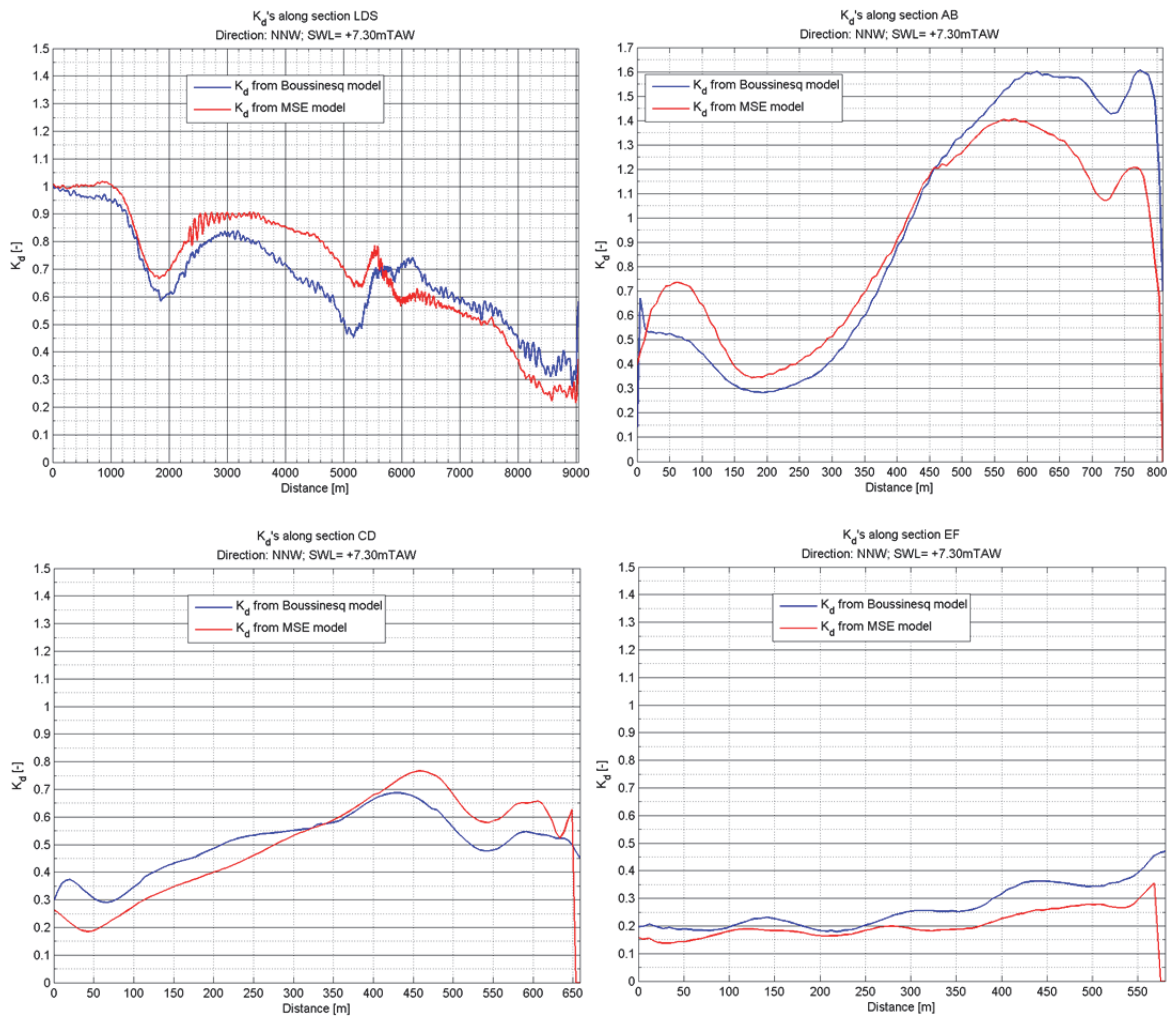
Figuur 3-44:  $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Vergelijking tussen beide golfindringingsmodellen voor het havenmodel (zonder vaargeul).



Figuur 3-45: Evolutie van  $K_d$ -waarde volgens langsdoorsnede  $LDS_{B+H}$  (start vaargeul  $x_{LDS} = 0m$ ) en dwarsdoorsneden AB (ingang van de haven,  $x_{LDS} = 5500m$ ), CD (ingang oude haven,  $x_{LDS} = 7500m$ ) en EF (ingang dok Vandammesluis,  $x_{LDS} = 8300m$ ). Vergelijking tussen beide golfindringingsmodellen voor het havenmodel (zonder vaargeul).



Figuur 3-46:  $K_d$ -waarden voor de locaties in de nieuwe voorhaven (links) en oude haven (rechts). Vergelijking tussen beide golfindringingsmodellen voor model inclusief vaargeul.



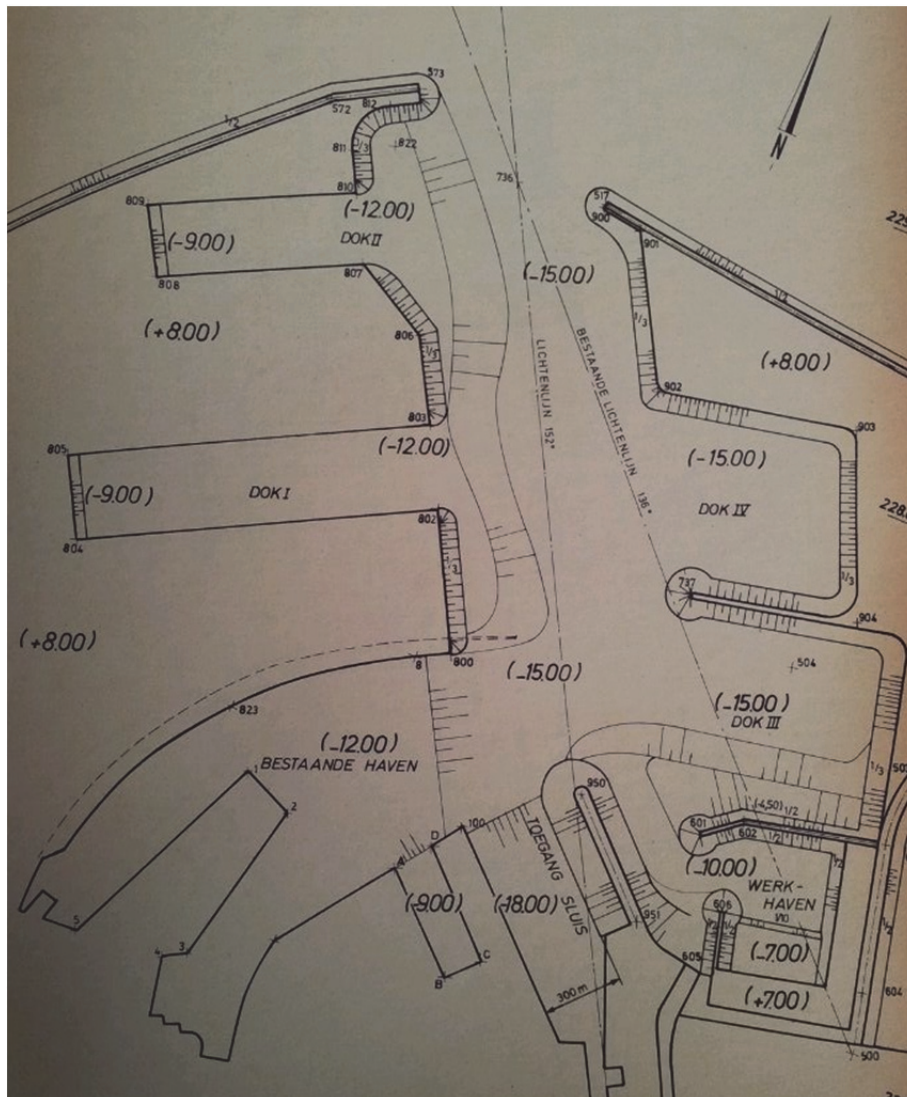
Figuur 3-47: Evolutie van  $K_d$ -waarde volgens langsdoorsnede  $LDS_{B+H}$  (start vaargeul  $x_{LDS} = 0m$ ) en dwarsdoorsneden AB (ingang van de haven,  $x_{LDS} = 5500m$ ), CD (ingang oude haven,  $x_{LDS} = 7500m$ ) en EF (ingang dok Vandammesluis,  $x_{LDS} = 8300m$ ). Vergelijking tussen beide golfindringingsmodellen voor model inclusief vaargeul.

### 3.3.3 Validatie met fysisch model

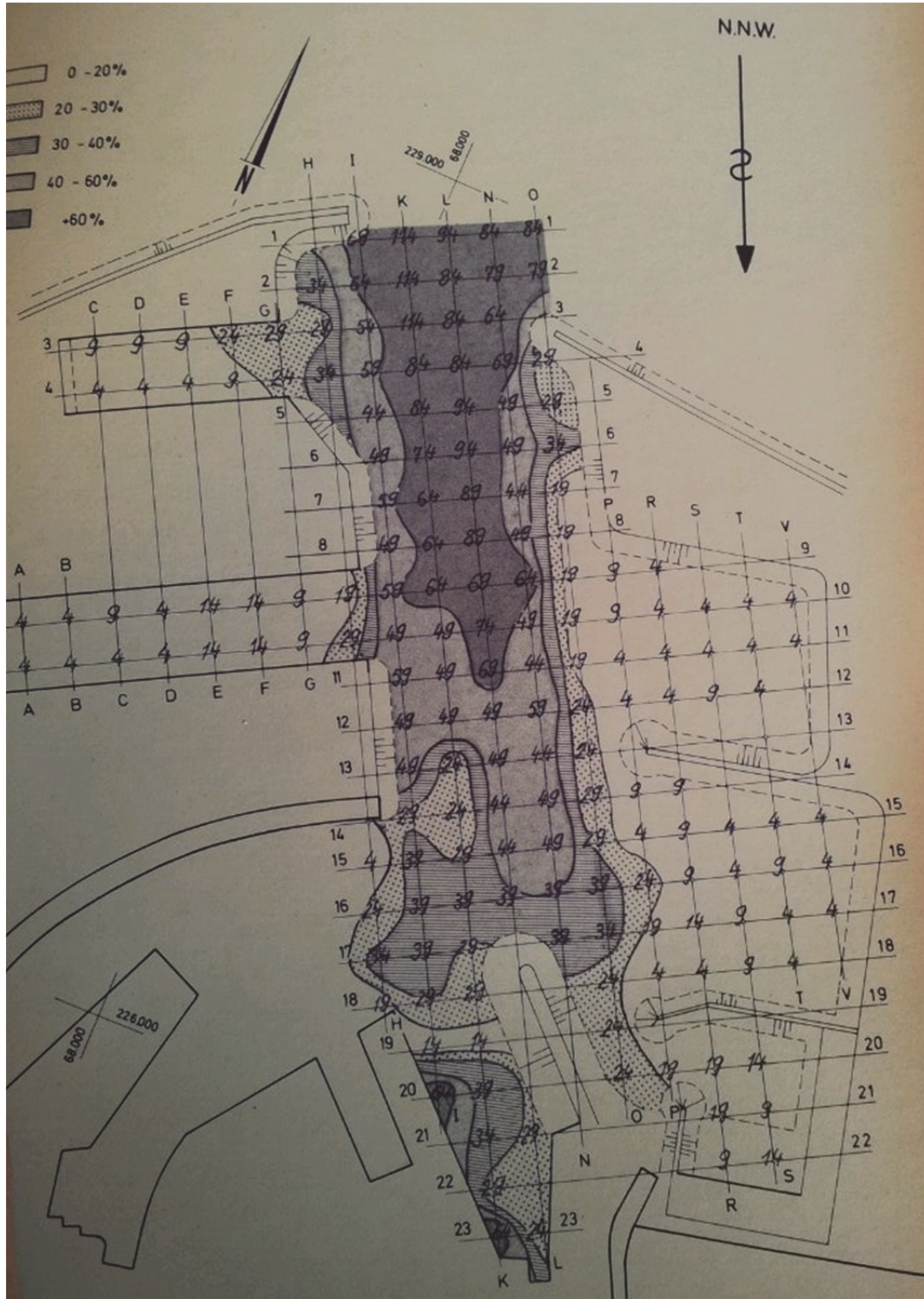
Graré en Roovers (1978) voerde golfmodelleringen uit met een fysisch model van de haven van Zeebrugge met verscheidene configuraties van de nieuwe voorhaven. Kwantitatieve vergelijking/validatie met dit fysisch model is echter nagenoeg onmogelijk omdat:

- De gemodelleerde configuraties (haveninrichtingen) te verschillend zijn;
- Enkel monochromatische golven zijn gemodelleerd in het fysisch model.

Tijdens het voortgangsoverleg op 25/01/2012 (Afdeling Kust, 2012) werd gevraagd of het mogelijk is om een kwalitatieve vergelijking met het fysisch model uit te voeren van het reflectie/diffractiepatroon in het dok naar de Vandammesluis (cf. Figuur 3-49). De oostkant van dat dok werd echter in het fysisch model gemodelleerd als een stortsteengolfbreker (of mogelijk toch kaaimuur) met oriëntatie NW terwijl dit in werkelijkheid een kaaimuur is die eerder een NNW oriëntatie heeft. De NW oriëntatie zorgde in het fysisch model voor een schaduwzone in het dok voor golfrichting NNW (cf. Figuur 3-49). Daarnaast werd in deze configuratie van het fysisch model het verlengde van de Leopold II dam niet in rekening gebracht (cf. stippellijn in Figuur 3-48) zodat het diffractiepatroon om dit punt naar het dok ook niet overeenkomt met de huidige toestand.



Figuur 3-48: Havenconfiguratie van het fysisch model van Graré en Roovers (1978). Oude Leopold II-dam aangeduid met stippellijn maar nog gemodelleerd in fysisch model.



Figuur 3-49: K<sub>d</sub>-contourplot en meetwaarden (in %) van een resultaat van het fysisch model voor golfrichting NNW en monochromatische golven.

Tijdens de stuurgroepvergadering op 28/02/2012 (IMDC, 2012) bleek echter dat er nog andere fysische modellen werden gebouwd sinds dat van Graré en Roovers (1978), namelijk door Wens en Verbist (1985a; 1985b; 1986):

1. Het eerste fysisch model van Wens en Verbist (1985a) was beperkt tot een gedeelte van de ingang van de haven en het volledige Wielingendok. Het werd opgebouwd met een onvertrokken schaal van 1/70 (cf. Figuur 3-50). Dit model had als doel om de golfindringing en de troskrachten in het Wielingendok te bepalen en het effect van de uitbouw "Kop West" te onderzoeken. De proeven waren in dat opzicht dan ook maar beperkt tot golfrichting NO met regelmatige golven. De vaargeul werd ook maar zeer beperkt opgenomen in de bathymetrie. De bathymetrie had een constant peil van -15.10m TAW in de vaargeul en de haven.
2. Het tweede model van Wens en Verbist (1985b) omvatte een groter gebied van de voorhaven en ook een groter gedeelte van de vaargeul "Pas van het Zand" (een lengte van ongeveer 1300m<sub>natuur</sub> en zijhellingen van 1/50, cf. Figuur 3-51). Dit fysisch model werd gebouwd met een onvertrokken schaal van 1/150. Alle golfrichtingen tussen WNW en ONO (over N) waren mogelijk. Enkel regelmatige golven werden gemodelleerd.
3. In het onderzoek van Wens en Verbist (1986) werden enkele nieuwe proeven uitgevoerd in beide voorgenoemde modellen. Onder meer met onregelmatige golfgeneratie in het 1/70 model voor golfrichting NO maar met de configuratie zonder uitbouw "Kop West" aan de westelijke havendam.

Door hun vrij nauwkeurige weergave van de werkelijke configuratie (qua positie en vorm van de havendammen en kaaimuren) van de voorhaven lijken deze fysische modellen beter geschikt om een validatie van het numeriek model uit te voeren. Het numeriek en fysisch model verschillen echter wel op volgende vlakken:

- De absorptiecoëfficiënten die werden bepaald in §3.1.8, werden opgesteld voor onregelmatige golven en de extreme golfcondities. Ze zijn niet aangepast voor de regelmatige golven en golfcondities die hier worden opgelegd. Daarom wordt de partiële reflectie in het numeriek model hier niet goed gemodelleerd terwijl in het fysisch model uiteraard wel.
- De vaargeul werd in het numeriek model volledig opgenomen (totale lengte is ongeveer 4500m) terwijl in het fysisch model maar een deel werd opgenomen (ongeveer 1300m). In het numeriek model is ook de omliggende bathymetrie volgens de werkelijkheid. Daarnaast verschilt de helling van de zijhellingen van de vaargeul tussen numeriek (1/100) en fysisch model (1/50).
- De golfbreker aan de Zandopvangkade Noord is in de werkelijkheid (en dus ook in het numeriek model) breder dan in het fysisch model (~65m verschil).
- De bathymetrie in de haven is ook verschillend. In het fysisch model is het bodempeil overall -15.10m TAW in de haven terwijl dit in het numeriek model enkel zo is in de binnenrede (-15.73m TAW). Het Wielingendok in het numeriek model heeft een bodempeil van -12.73m TAW en -10.23m TAW aan het einde van het dok (cf. Figuur 3-5). De bathymetrie buiten de baggergebieden (e.g. vlak aan de havendammen en golfbrekers) is in het numeriek model volgens de werkelijkheid, terwijl dit in het fysisch model werd geïdealiseerd. Dit is vooral belangrijk aan de havendamkoppen waar in het fysisch model een zwakke helling tussen binnenrede en havendam is aangenomen terwijl die een steilere helling is in het numeriek model. Dit heeft een belangrijk effect op de refractie die daar optreedt.

Het model op schaal 1/70 wordt niet verder beschouwd omdat het beperkt is tot één golfrichting NO en het effect van de vaargeul niet werd beschouwd. Ook de onregelmatige golfproeven in dit model zijn onbruikbaar omdat deze zonder de uitbouw "Kop West" van de westelijke havendam werden uitgevoerd.

Omdat het fysisch model op schaal 1/150 (Wens en Verbist, 1985b) het enige model is van de twee dat relevante golfrichtingen heeft gemodelleerd (e.g. NW, NNW en N) en de vaargeul "Pas van het Zand" beter is opgenomen, wordt dit model gebruikt om de validatie van het numeriek model mee uit te voeren. In Tabel 3-15 staan de hydrodynamische randvoorwaarden die in dit model werden gemodelleerd. Dezelfde randvoorwaarden worden opgelegd aan de randen van het Mike 21 BW model.

Tabel 3-15: hydrodynamische randvoorwaarden in het fysisch model (Wens en Verbist (1985b)) en toegepast numeriek model voor de validatie

SWL [m TAW]	d <sub>max</sub> [m]	H [m]	T [s]	Richting [-]						Mike 21BW
				WNW	NW	NNW	N	NNO	NO	
+4.60	20.63	3.0	9.0	WNW	NW	NNW	N	NNO	NO	X (incl. vaargeul; regelmatige en langkruinige golven)

In het fysisch model werden golfhoogtemeters geplaatst op een rooster van 150m x 150m (natuur) met hier en daar een tussenpunt op 75m (cf. Figuur 3-51). In Figuur 3-52 t.e.m. Figuur 3-57 worden de resultaten in de punten op het 150m x 150m rooster vergeleken samen met de K<sub>dr</sub>-contourplot (benaderend opgesteld in geval van het fysisch model). De golfindringingscoëfficiënt K<sub>dr</sub> heeft in dit geval de volgende definitie:

$$K_{dr} = \frac{H_{loc}}{H_{gem\_ingang}}$$

met  $H_{loc}$  de monochromatische golfhoogte [m] op de beschouwde locatie  
 $H_{gem\_ingang}$  de gemiddelde monochromatische golfhoogte [m] in de haveningang (gemiddelde in de punten van Zone I, cf. Figuur 3-51)

Naast een visuele vergelijking wordt ook de gemiddelde golfindringingscoëfficiënt bepaald voor een aantal zones zoals zijn gedefinieerd in Figuur 3-51. In beide modellen werd het gemiddelde bepaald over de golfhoogtemeterlocaties die in de betreffende zone liggen. Een overzicht wordt gegeven in Tabel 3-16 en is gevisualiseerd in Figuur 3-58 en Figuur 3-59.

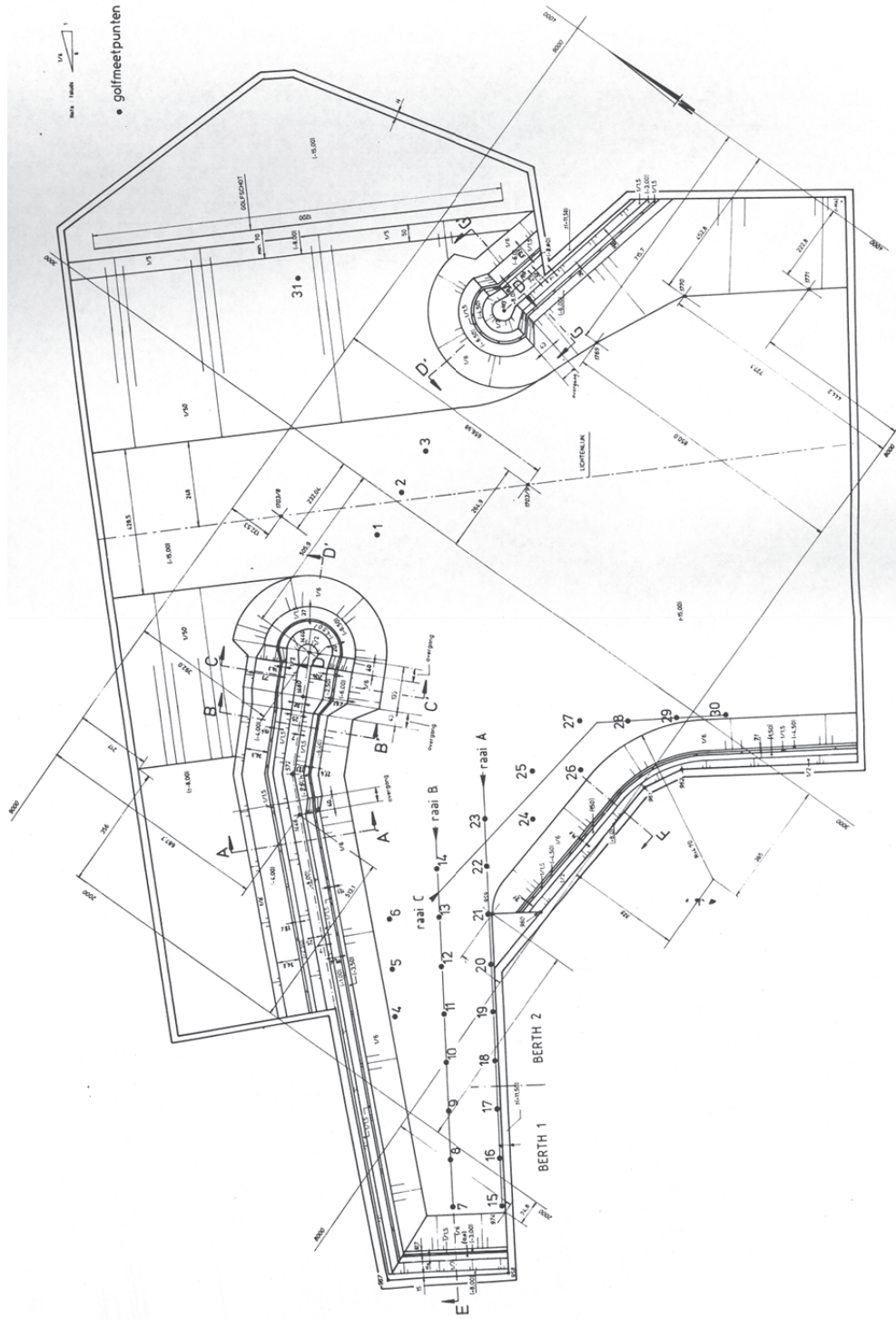
Op basis van deze figuren kunnen volgende waarnemingen gemaakt worden:

- Per zone heeft de K<sub>dr</sub>-waarde een vergelijkbare evolutie (relatief gezien) over de verschillende golfrichtingen, behalve in zone VII en XI. Dit is vooral zo in het Wielingendok (zone II, III, en IV), wat een gunstige validatie van de diffractie in het numeriek model (NM) kan betekenen. In zone VII (Kop West) speelt golfconcentratie door refractie een veel belangrijkere rol in het NM dan in het fysisch model (FM), vooral als gevolg van de bathymetrische verschillen.
- Volgens de vergelijking in zone XI toont het FM dat golfrichting NW de meest nadelige is voor golfindringing dieper in de haven, terwijl dit voor het NM eerder NNW of N (of tussenin) is (overeenkomstig met het besluit van §3.2.8). Dit is opnieuw te verklaren door de bathymetrische verschillen en vooral de verschillen van de vaargeul (lengte en hellingen) die een zeer belangrijke invloed heeft op de golfindringing en dan vooral in geval van langkruinige golven (cf. §3.2.6).
- Het NM geeft meestal hogere K<sub>dr</sub>-waarden dan het FM in de westelijke zones (II, III, IV, V en VII) en voor de westelijke golfrichtingen t.e.m. N. Dit is waarschijnlijk ten gevolge van de refractie langs Kop West (zone VII) die meer optreedt in het NM en verschillen in partiële reflectie.

Het soms zeer grote verschil tussen NM en FM kan hoofdzakelijk verklaard worden door de voorgenoemde verschillen tussen beide modellen (bathymetrie, vaargeul, partiële reflectie,...). Daarnaast is het ook zo dat de K<sub>dr</sub>-waarden rond de meetlocaties soms een grote gradiënt kent (cf. de K<sub>dr</sub>-contourplots van Mike 21BW in Figuur 3-52 – Figuur 3-57) door het complexe reflectieveld in de haven en het aantal punten in sommige zones te weinig is om dit effect uit te vlakken.

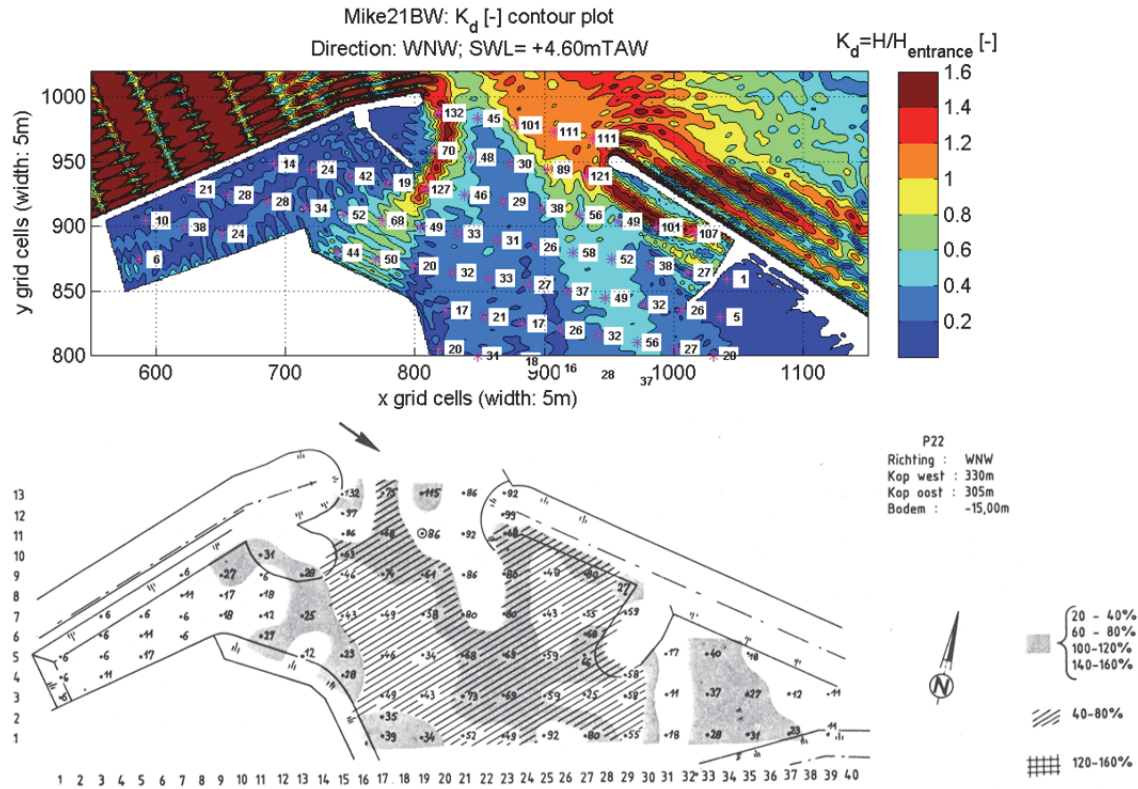
Door het feit dat enkel langkruinige en regelmatige golven zijn gemodelleerd, wordt elk effect van de verschillen in bathymetrie tussen NM en FM uitvergroot omdat alle golfenergie in één richting en één frequentie is geconcentreerd.



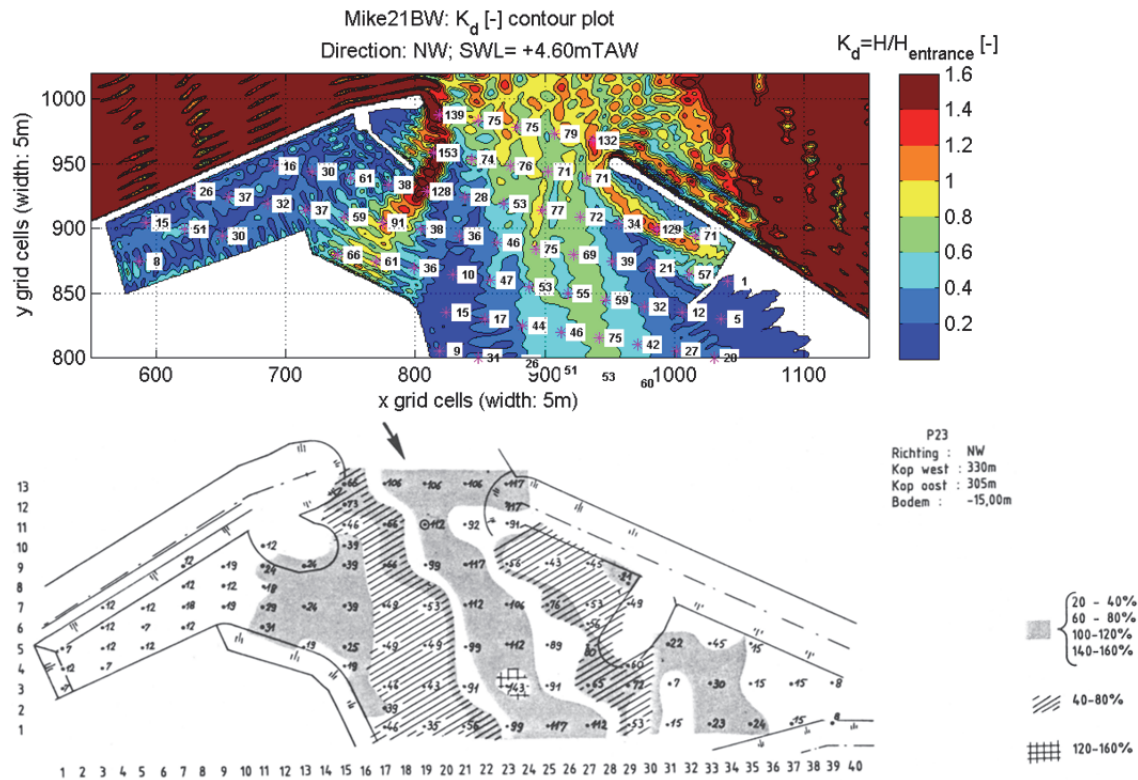


Figuur 3-50: Configuratie en bathymetrie van het fysisch model van Wens en Verbist (1985a) met indicatie van de locaties van de golfhogtemeters (modelschaal 1/70).

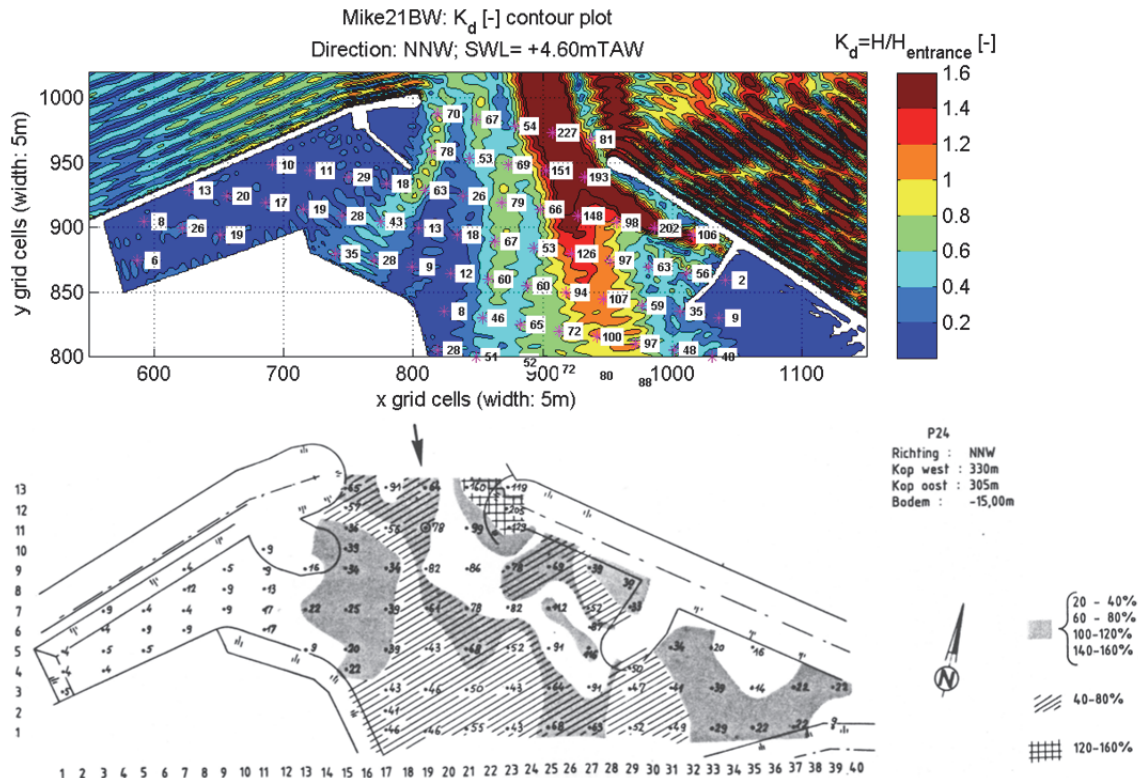




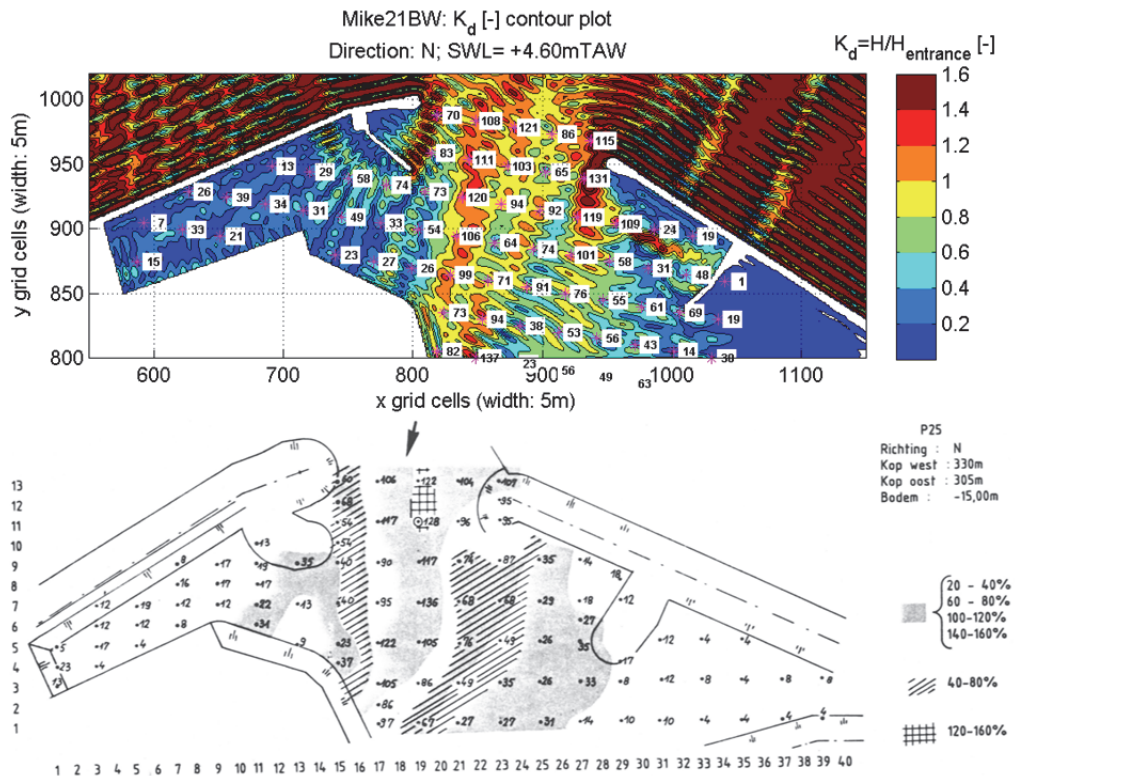
Figuur 3-52:  $K_d$ -contourplot numeriek (boven) en fysisch model (onder).  $H = 3.00m$ ,  $T = 9.0s$ , WNW.



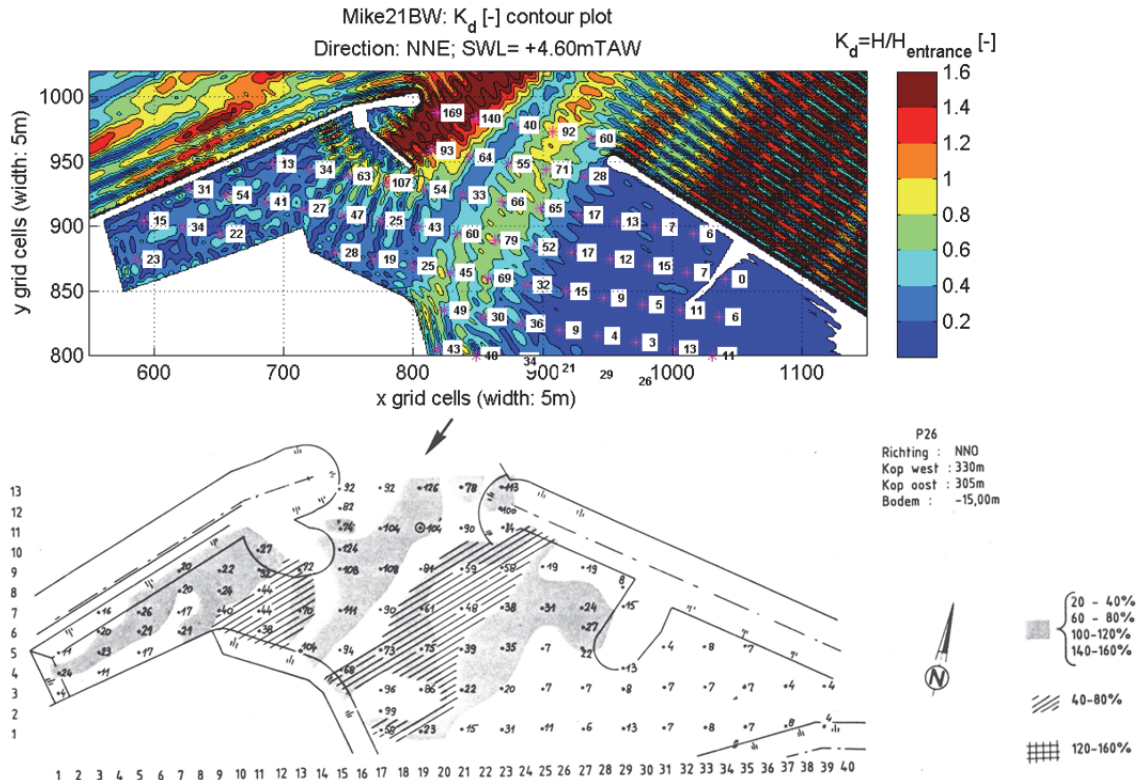
Figuur 3-53:  $K_d$ -contourplot numeriek (boven) en fysisch model (onder).  $H = 3.00m$ ,  $T = 9.0s$ , NW.



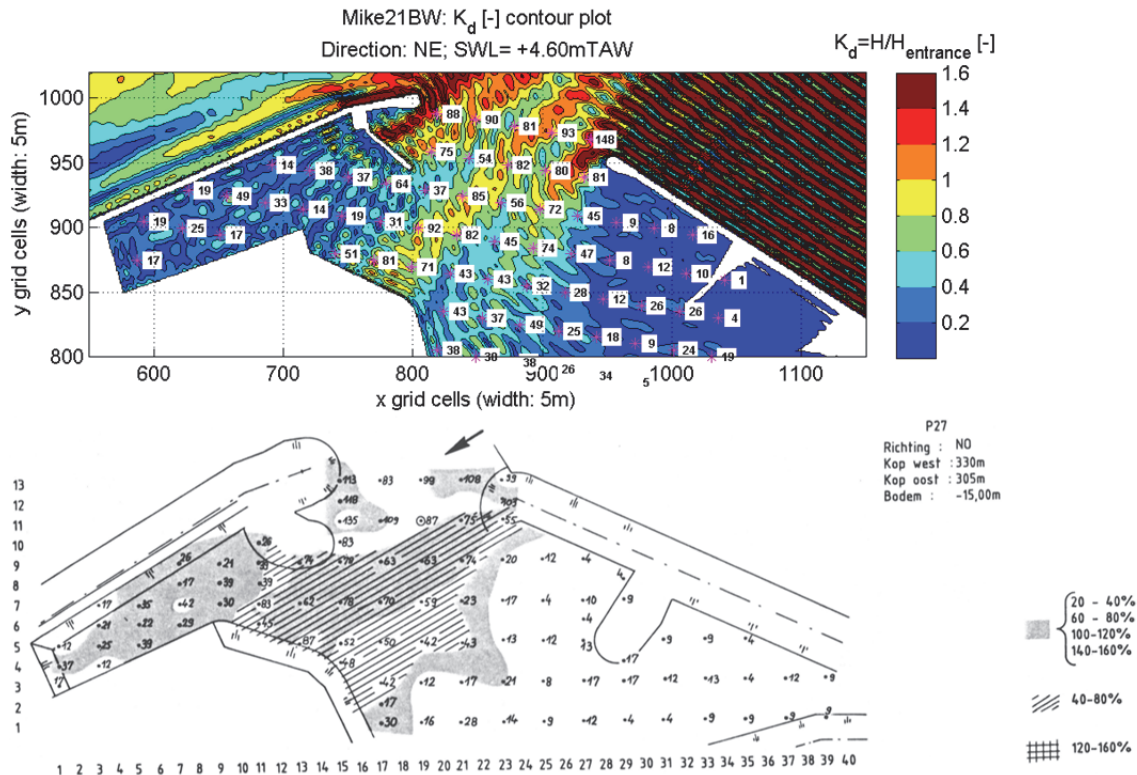
Figuur 3-54:  $K_d$ -contourplot numeriek (boven) en fysisch model (onder).  $H = 3.00m$ ,  $T = 9.0s$ , NNW.



Figuur 3-55:  $K_d$ -contourplot numeriek (boven) en fysisch model (onder).  $H = 3.00m$ ,  $T = 9.0s$ , N.



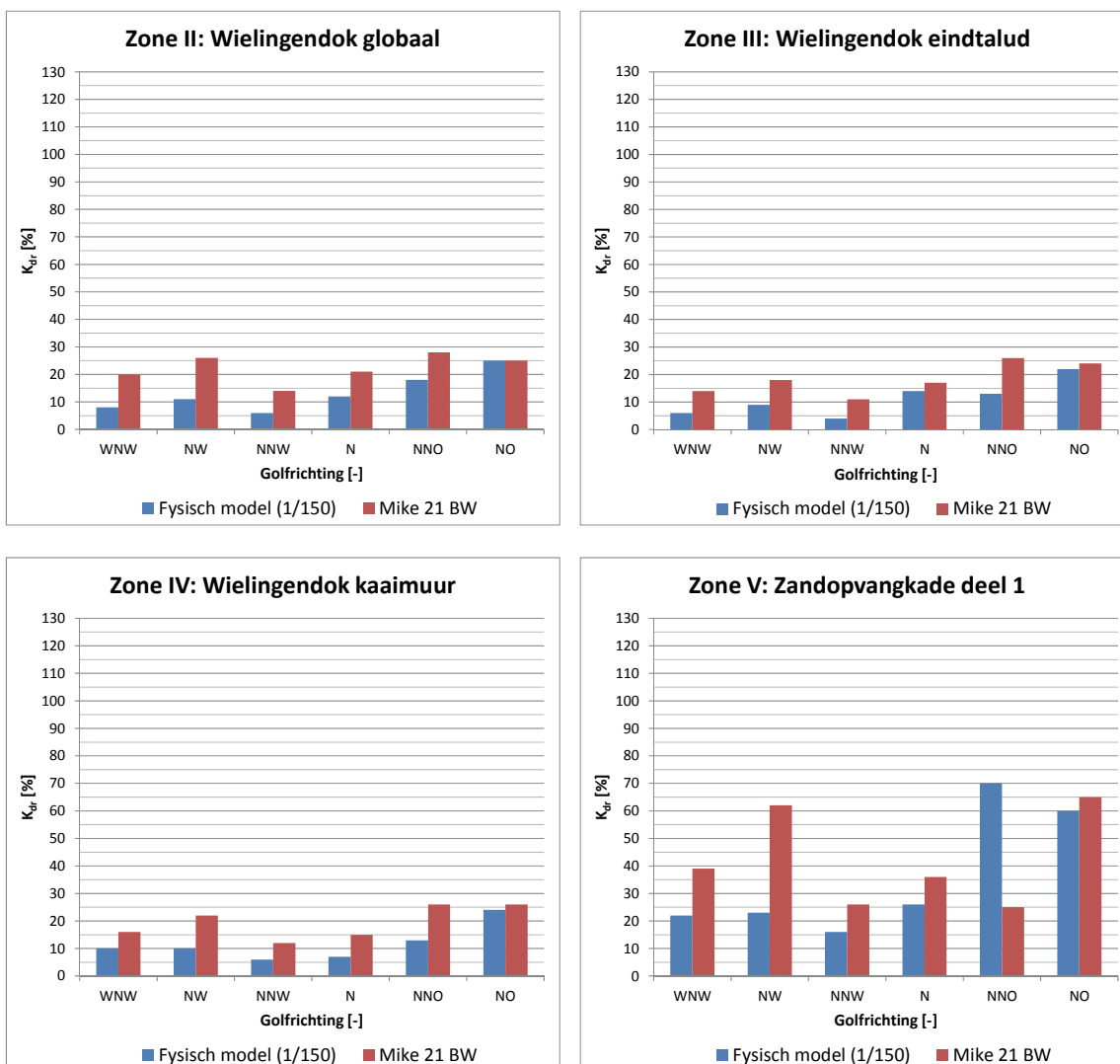
Figuur 3-56:  $K_{dr}$ -contourplot numeriek (boven) en fysisch model (onder).  $H = 3.00m$ ,  $T = 9.0s$ , NNO.



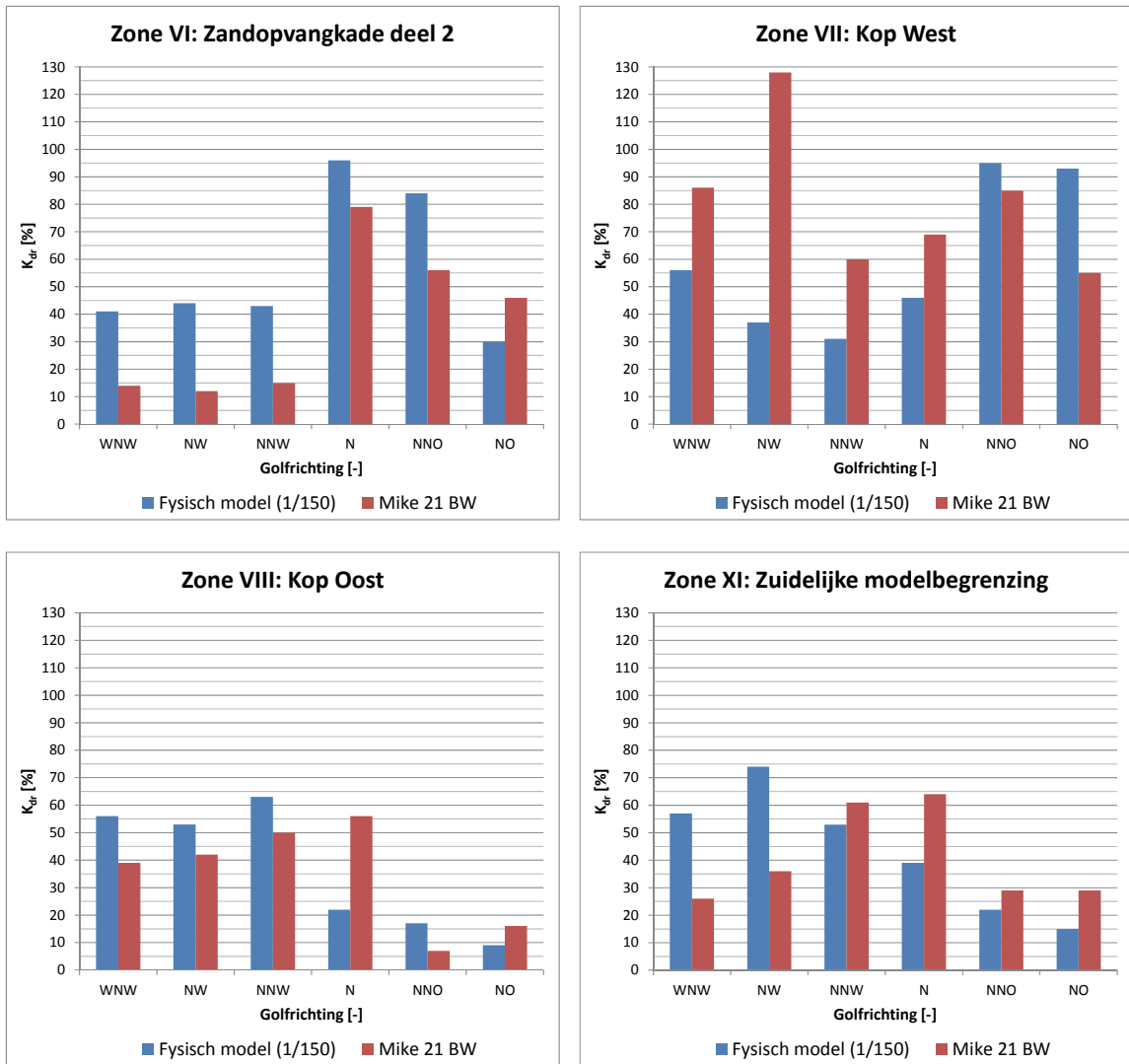
Figuur 3-57:  $K_{dr}$ -contourplot numeriek (boven) en fysisch model (onder).  $H = 3.00m$ ,  $T = 9.0s$ , NO.

Tabel 3-16: Overzicht van gemiddelde  $K_{dr}$ -waarden per zone en golfrichting. Het fysisch model (Wens en Verbist, 1985b) en Mike 21BW vergeleken.

Golfrichting/ Zone	WNW		NW		NNW		N		NNO		NO	
	FM	NM	FM	NM	FM	NM	FM	NM	FM	NM	FM	NM
I	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
II	8	20	11	26	6	14	12	21	18	28	25	25
III	6	14	9	18	4	11	14	17	13	26	22	24
IV	10	16	10	22	6	12	7	15	13	26	24	26
V	22	39	23	62	16	26	26	36	70	25	60	65
VI	41	14	44	12	43	15	96	79	84	56	30	46
VII	56	86	37	128	31	60	46	69	95	85	93	55
VIII	56	39	53	42	63	50	22	56	17	7	9	16
XI	57	26	74	36	53	61	39	64	22	29	15	29



Figuur 3-58: Visualisatie van Tabel 3-16 (deel 1).



Figuur 3-59: Visualisatie van Tabel 3-16 (deel 2).

### 3.3.4 Validatie met natuurmeting

In 2010 en 2011 werden golfmetingen uitgevoerd op locaties ZOK (cf. Figuur 3-7), ZBG\_A, ZBG\_B en ZBG\_C (cf. Figuur 3-8) in de haven van Zeebrugge (IMDC, 2011a). Tijdens deze meetperiode traden echter geen grote stormen op met nadelige golfrichting. Er wordt dan gezocht naar tijdstippen waarop de hoogste significante golfhoogten in de haven werden opgemeten gedurende de volledige meetperiode. Uiteindelijk worden de condities op 25/09/2010 om 22u (15min statistiek, cf. Tabel 3-17) gekozen voor de modellering ter validatie met de natuurmeting. De golfcondities werden gekozen op een moment in de tijdreeks van de “storm” dat de golf- en windrichting ongeveer constant bleef rond het geselecteerde tijdstip. De windrichting blijft vrij constant rond het geselecteerde tijdstip (+/- NW) en de gemiddelde golfrichting ongeveer ook, afhankelijk van de beschouwde golfperiode (cf. Figuur 3-60).

De validatie wordt uitgevoerd met het Mike 21 BW model zonder en inclusief de vaargeul. Voor het model zonder vaargeul worden zowel langkruinige als kortkruinige golven gemodelleerd. Voor het model inclusief vaargeul worden enkel kortkruinige golven gemodelleerd (met een directionele spreiding van 20°).

Als referentie voor de  $K_d$ -waarden wordt de significante golfhoogte op locatie van de Bol van Heist boei gekozen (cf. BvH in Figuur 3-4). Voor het model zonder vaargeul wordt de meting te Bol van Heist op de rand opgelegd en als referentiewaarde gebruikt (cf. Tabel 3-17). De significante golfhoogte die wordt opgelegd aan de rand van het model zonder vaargeul is deze die werd opgemeten te Bol van Heist ( $H_{m0} = 2.4\text{m}$ ). In het model inclusief vaargeul wordt de golfhoogte aan de golfgeneratielijn ( $H_{m0} = 3.0\text{m}$ ) gekalibreerd totdat de opgemeten golfhoogte te Bol van Heist wordt bekomen.

Tabel 3-17: Hydrodynamische randvoorwaarden en golfindringingsmodel waarvoor de validatie met de natuurmeting wordt uitgevoerd

SWL [m TAW]	$d_{\max}$ [m]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	Richting [-]	MILDwave	Mike 21 BW
+2.00	18.03	2.4	8.3	NNW	-	X (zonder vaargeul)
+2.00	18.03	3.0	8.3	NNW	-	X (inclusief vaargeul)

Figuur 3-63 en Figuur 3-64 tonen de  $K_d$ -contourplots van het model zonder en inclusief vaargeul respectievelijk. Ongeveer dezelfde trends i.v.m. de invloed van kortkruinigheid en van de vaargeul worden waargenomen zoals besproken in §3.2.5 en §3.2.6. Voor het model inclusief de vaargeul wordt de  $K_d$ -contourplot ook uitvergroot naar het gebied rond elk meetpunt (cf. Figuur 3-65).

In Figuur 3-61 wordt een vergelijking tussen natuur en numeriek model gemaakt van de  $K_d$ -waarden op de meetlocaties in de haven. Voor alle meetlocaties overschatten de golfmodellen zonder vaargeul de golfhoogte, met uitzondering van ZOK\_GB in geval van langkruinige golven. De beste overeenkomst wordt bekomen met het model inclusief vaargeul en kortkruinige golven. Dit suggereert dat de invloed van de vaargeul en de kortkruinigheid ook in de werkelijkheid niet te verwaarlozen is.

Op punt ZBG\_C maken alle modellen een overschatting. De lagere meetwaarde kan mogelijk een gevolg zijn van:

- Bescherming van de meetlocatie door een aangelegd schip aan de Hermes pier (cf. Figuur 3-62);
- Een te hoge inschatting van de reflectiecoëfficiënt van de structuren in dit dok voor deze waterstand (cf. Bijlage 2);
- De locatiegevoeligheid van het meetpunt door de grote gradiënt van de  $K_d$ -waarde in dit gebied door het complex reflectieveld (cf. rechtsonder in Figuur 3-65).

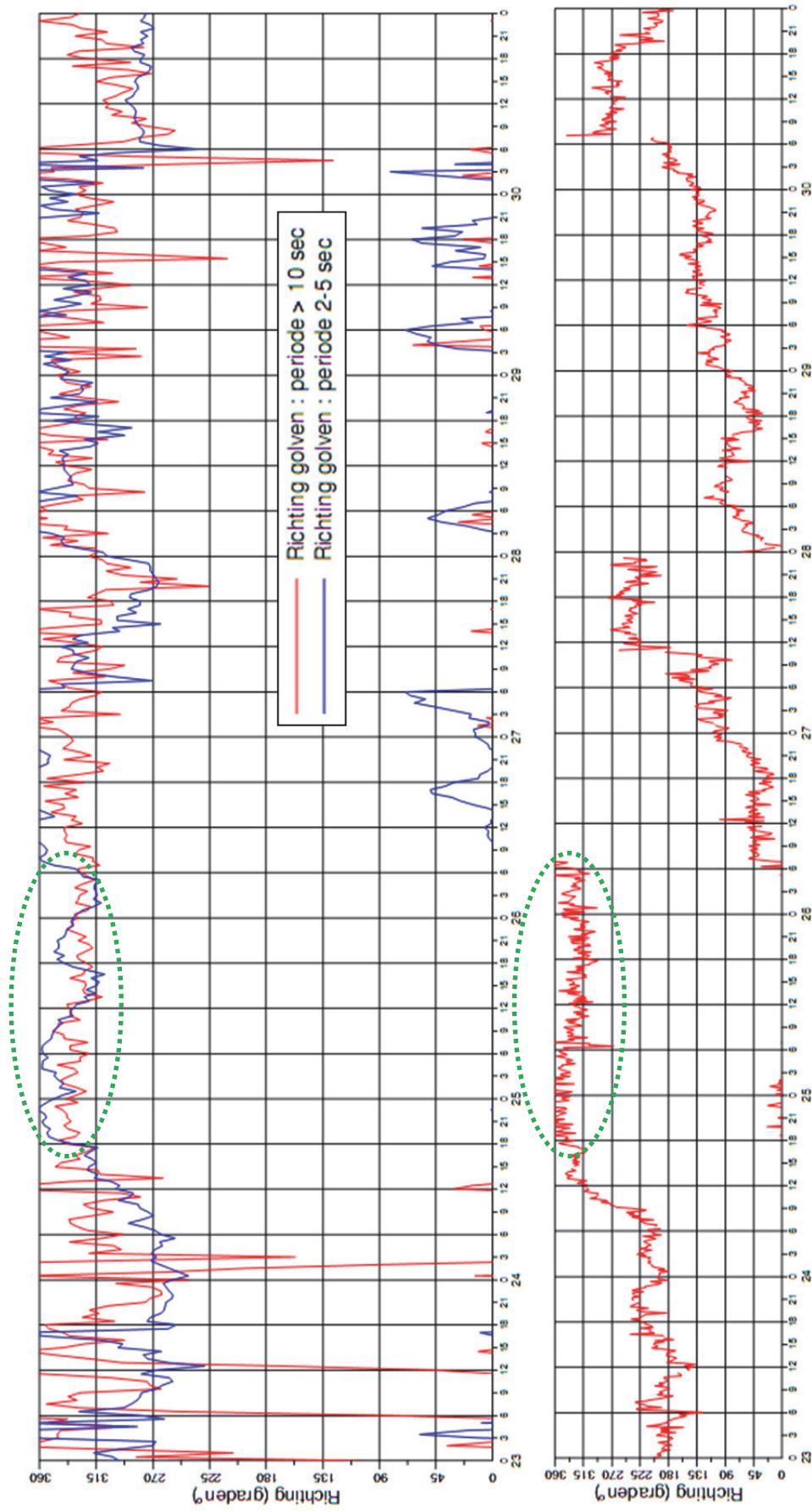


De spectra in de meetpunten BvH, ZOK, ZBG\_A, ZBG\_B en ZBG\_C zijn weergegeven in Figuur 3-66, Figuur 3-67 en Figuur 3-68. In het numeriek model blijft de piekperiode van 8.3s ongeveer behouden, terwijl deze in de werkelijkheid verschuift naar 4.0s – 5.0s (behalve punt ZBG\_C). Mogelijke oorzaken voor dit verschil kunnen zijn:

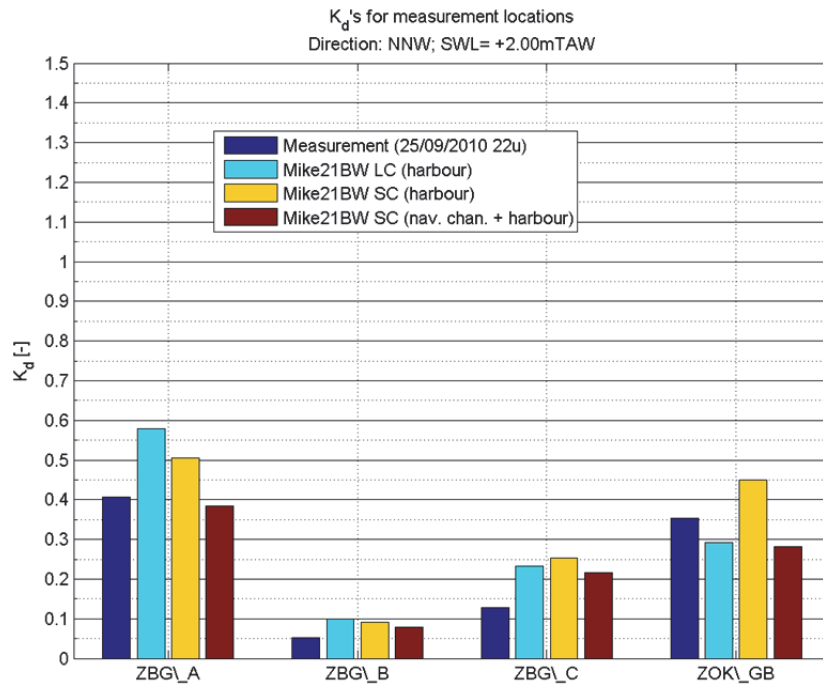
- Het opgelegde JONSWAP spectrum in Mike 21BW komt niet overeen met het opgemeten spectrum (cf. links in Figuur 3-67). Het opgemeten spectrum bevat minder energie rond de piekperiode en meer energie tussen 3.0s en 6.0s;
- De golfrichting in de meting te BvH voor hoogfrequente golven (2.0s – 5.0s) is eerder NNW en voor de laagfrequente golven ( $T > 10.0s$ ) eerder NW (cf. Figuur 3-60). Dit terwijl in het numeriek model als hoofdrichting NNW (met spreiding van  $20^\circ$ ) is gekozen voor alle frequenties.

In principe zouden de golfindringingsresultaten nog gesuperponeerd moeten worden met de lokaal gegenereerde golfenergie. Het is echter twijfelachtig of dit de overeenkomst zou verbeteren omdat het numeriek model sowieso de natuurmetingen al overschat. De golfperiode van de lokaal gegenereerde golfhoogten zou ook maar maximaal 2.0s à 2.5s bedragen, zodat het ook niet echt de piek in de spectra in de haven rond 4.0s – 5.0s kan verklaren. Het is bovendien zelfs mogelijk dat de lokaal gegenereerde windgolven niet door de druksensoren zijn opgemeten wegens te kleine golfperiode (comm. Troch en Trouw, 2011).

Opmerking: de huidige validatie met één golfconditie geeft enkel een eerste idee van de overeenkomst van het numeriek model met de natuur. Voor een betrouwbaardere validatie met de natuurmetingen dienen echter meerdere “extreme” meetcondities gemodelleerd te worden.



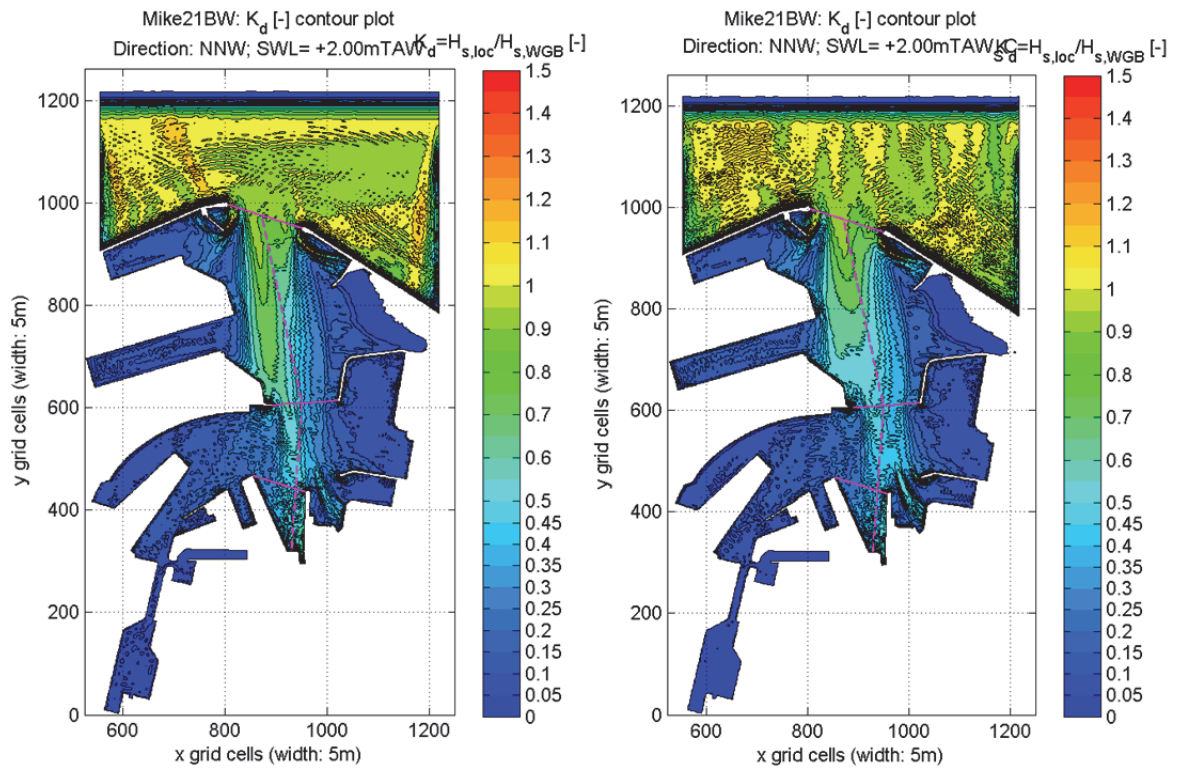
Figuur 3-60: Gemeten golfrichting te Bol van Heist (boven) en gemeten windrichting te Zeebrugge meetboei (onder), Afdeling Kust (2010). Aanduiding van de beschouwde stormperiode (groene stippelijijn).



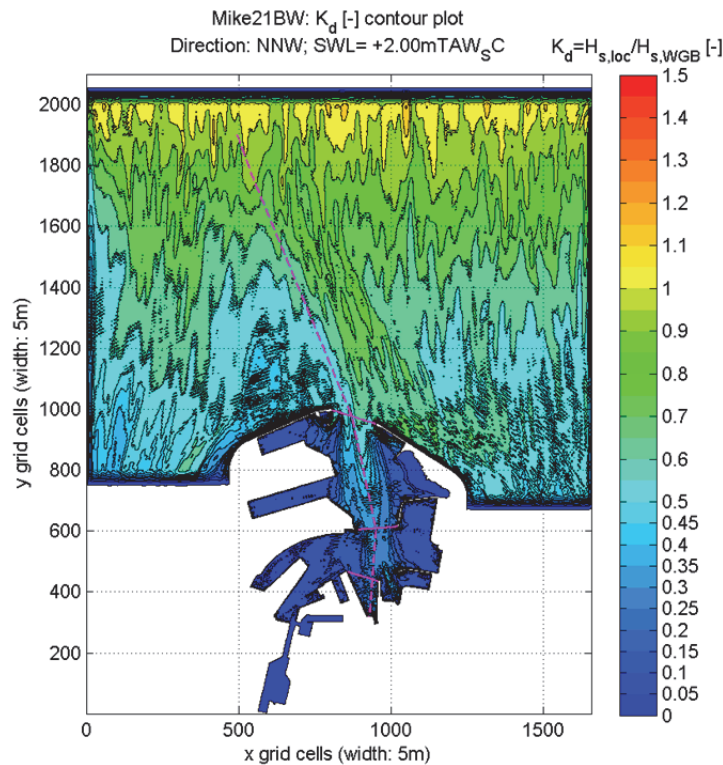
Figuur 3-61: K<sub>d</sub>-waarden voor de meetlocaties in de haven (meting op 25/09/2010 om 22u). Vergelijking tussen in situ meting en numeriek model Mike21BW.



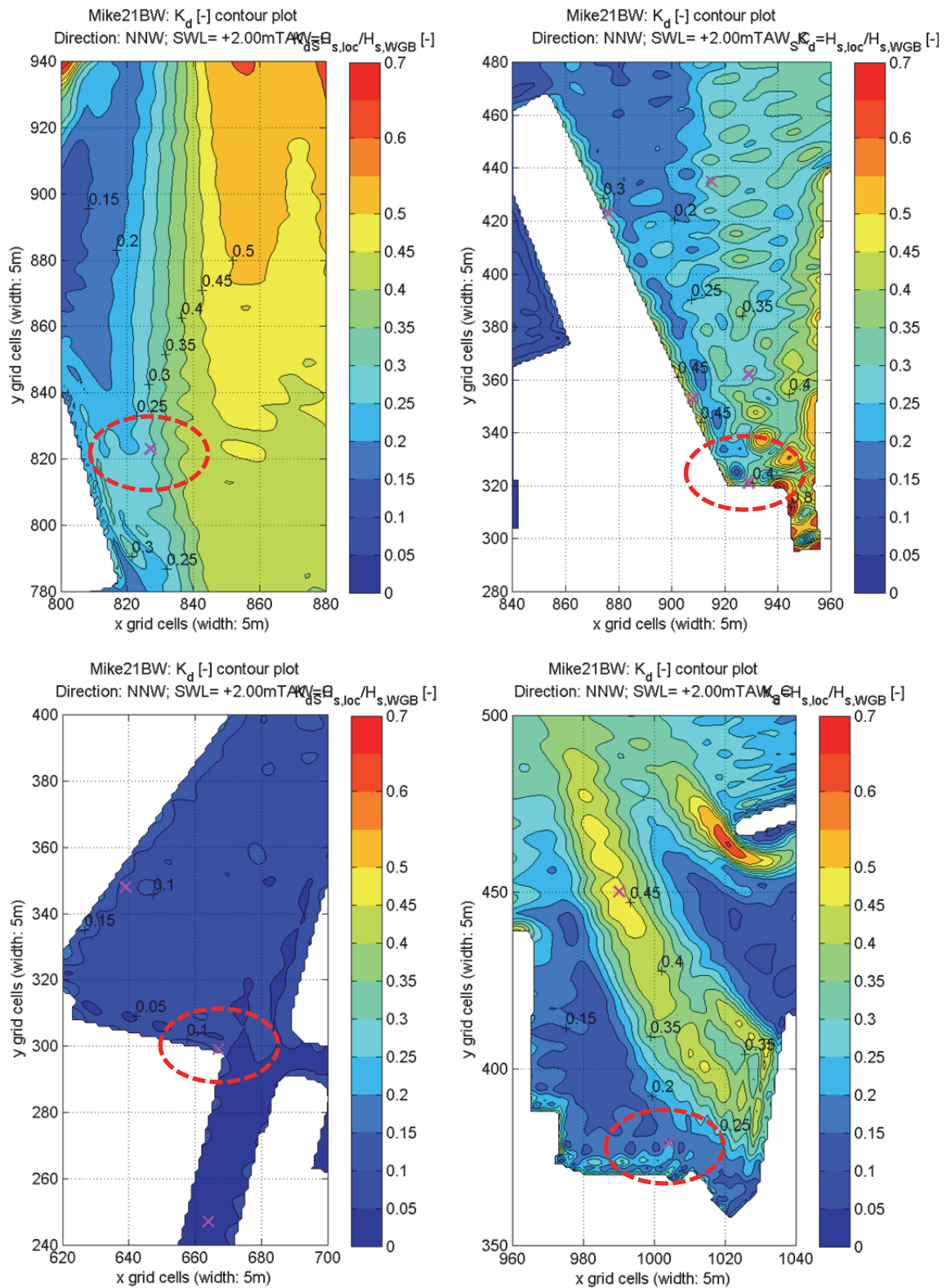
Figuur 3-62: Foto van Britanniadok met aanduiding van aanmeerplaats en aangemeerd schip die voor schaduwzone zorgt voor meetlocatie ZBG\_C. (© Google Earth, 2012).



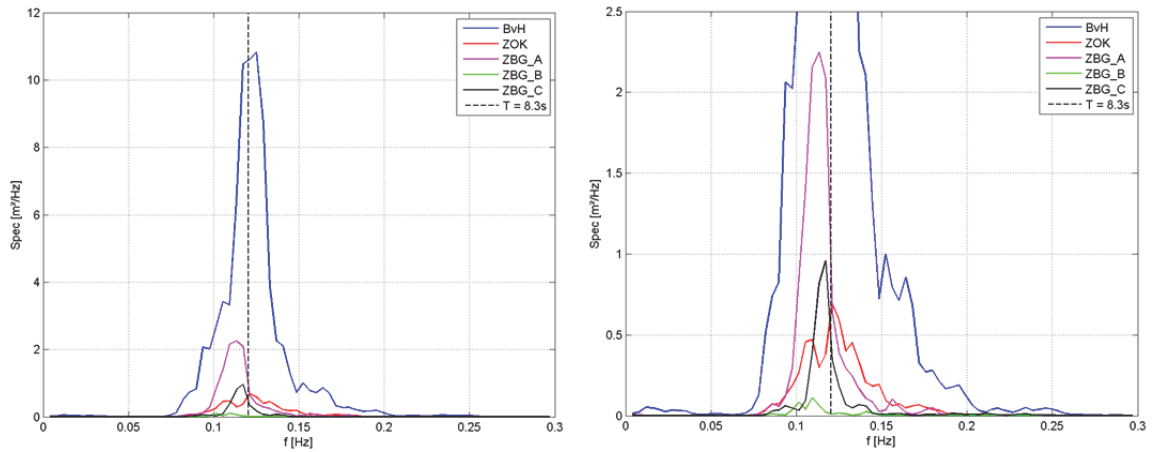
Figuur 3-63: Contourplot van de golfindringingscoëfficiënt  $K_d$  van het Mike 21 BW met langkruinige golven (links) en kortkruinige golven ( $\sigma = 20^\circ$ ) (rechts). Golfcondities van natuurmeting. Model zonder vaargeul.



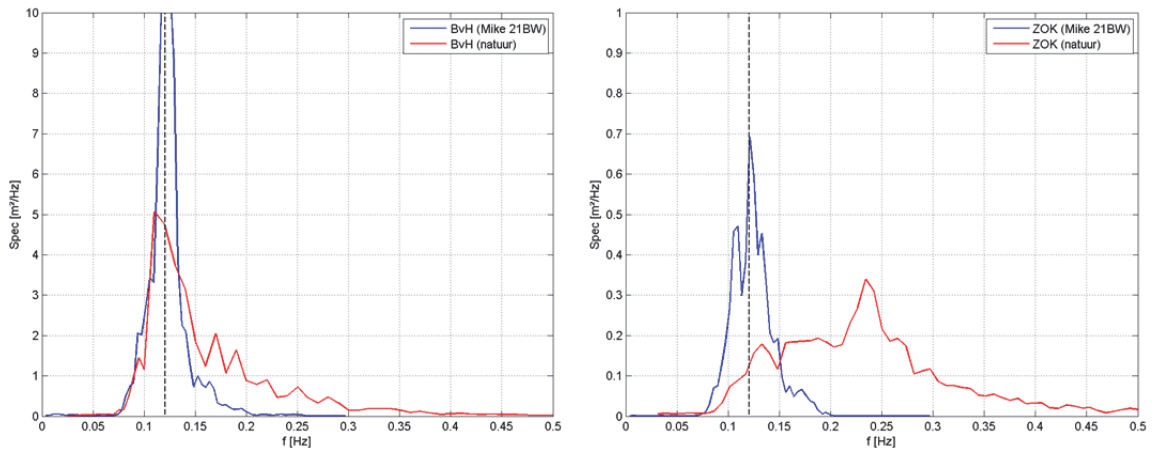
Figuur 3-64: Contourplot van de golfindringingscoëfficiënt  $K_d$  van het Mike 21 BW met kortkruinige golven met directionele spreiding van  $20^\circ$ . Golfcondities van natuurmeting. Model inclusief vaargeul.



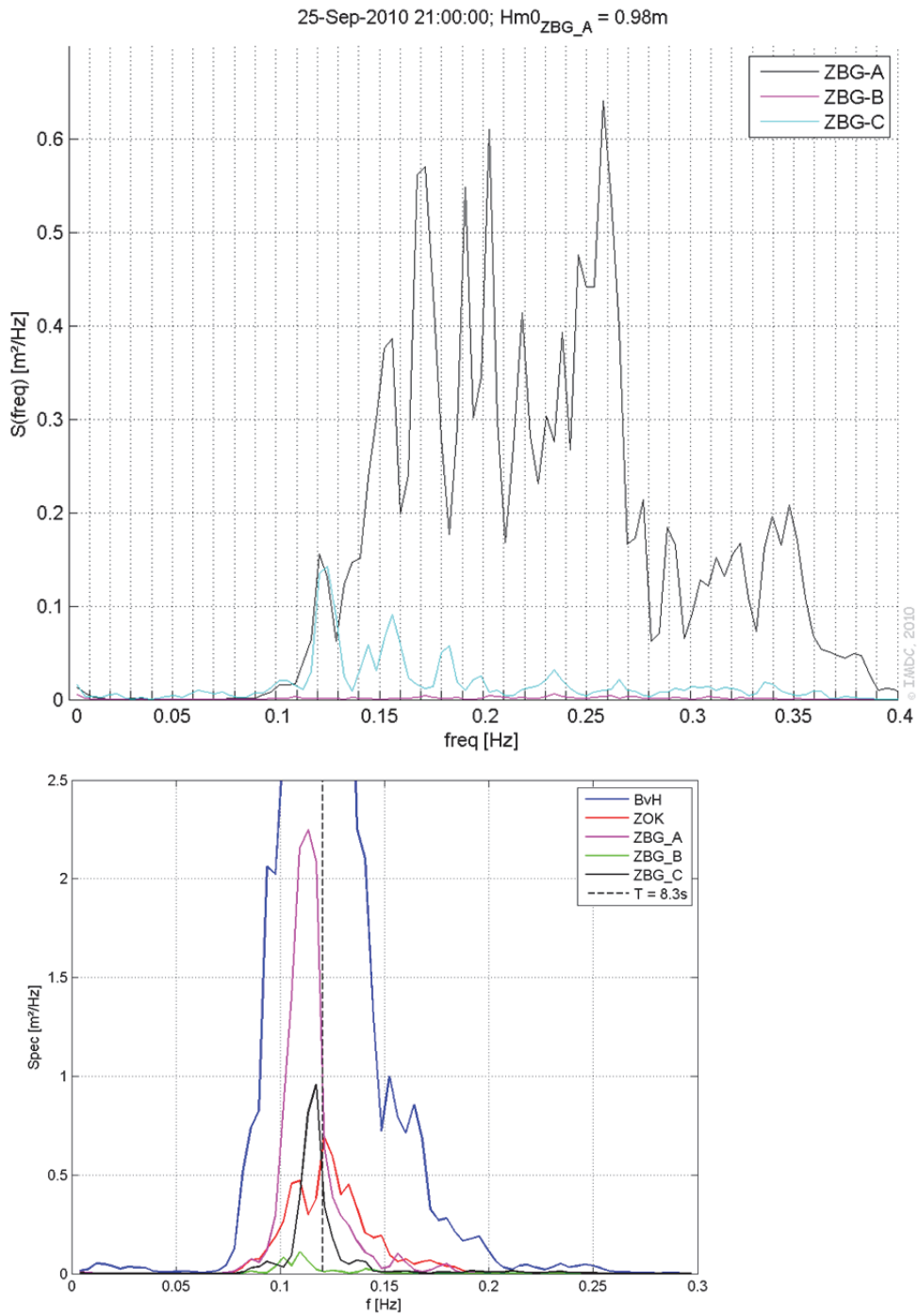
Figuur 3-65: Zoom van Figuur 3-64 naar ZOK (linksboven), ZBG\_A (rechtsboven), ZBG\_B (linksonder), ZBG\_C (rechtsonder). Het beschouwde meetpunt is omcirkeld.



Figuur 3-66: Spectra op alle meetlocaties binnen en buiten de haven, resultaat Mike 21 BW.



Figuur 3-67: Vergelijking van spectra Mike 21BW en natuurmeting + aanduiding van de piekperiode buiten de haven (verticale stippellijn).



Figuur 3-68: Spectra in de meetpunten ZBG\_A, ZBG\_B en ZBG\_C. Boven: meting, onder: Mike 21 BW (incl. vaargeul en directionele spreiding,  $\sigma = 20^\circ$ ).

### 3.3.5 Keuze van finaal model

Tijdens de stuurgroepvergadering van 28/02/2012 (IMDC, 2012) is besloten om in het finaal model rekening te houden met:

- De vaargeul, vanwege zijn grote invloed op de golfindringing;
- Kortkruinige golven ( $s=20^\circ$ ), omdat dit meest de realiteit benadert en kortkruinige golven de zeer grote invloed van de vaargeul op het golfklimaat afvlakken.

Het model inclusief de vaargeul en met kortkruinige golven bleek ook best overeen te komen met de natuurmeting (cf. §3.3.4).

De toegepaste versie van MILDwave heeft geen mogelijkheid om kortkruinige golven te modelleren (cf. §2). Daarom wordt enkel Mike 21 BW toegepast voor het finaal model (cf. §0). Het finaal model voor de golfindringing is dus Mike 21 BW met de bathymetrie inclusief de vaargeul (cf. Figuur 3-5) en met generatie van kortkruinige golven.

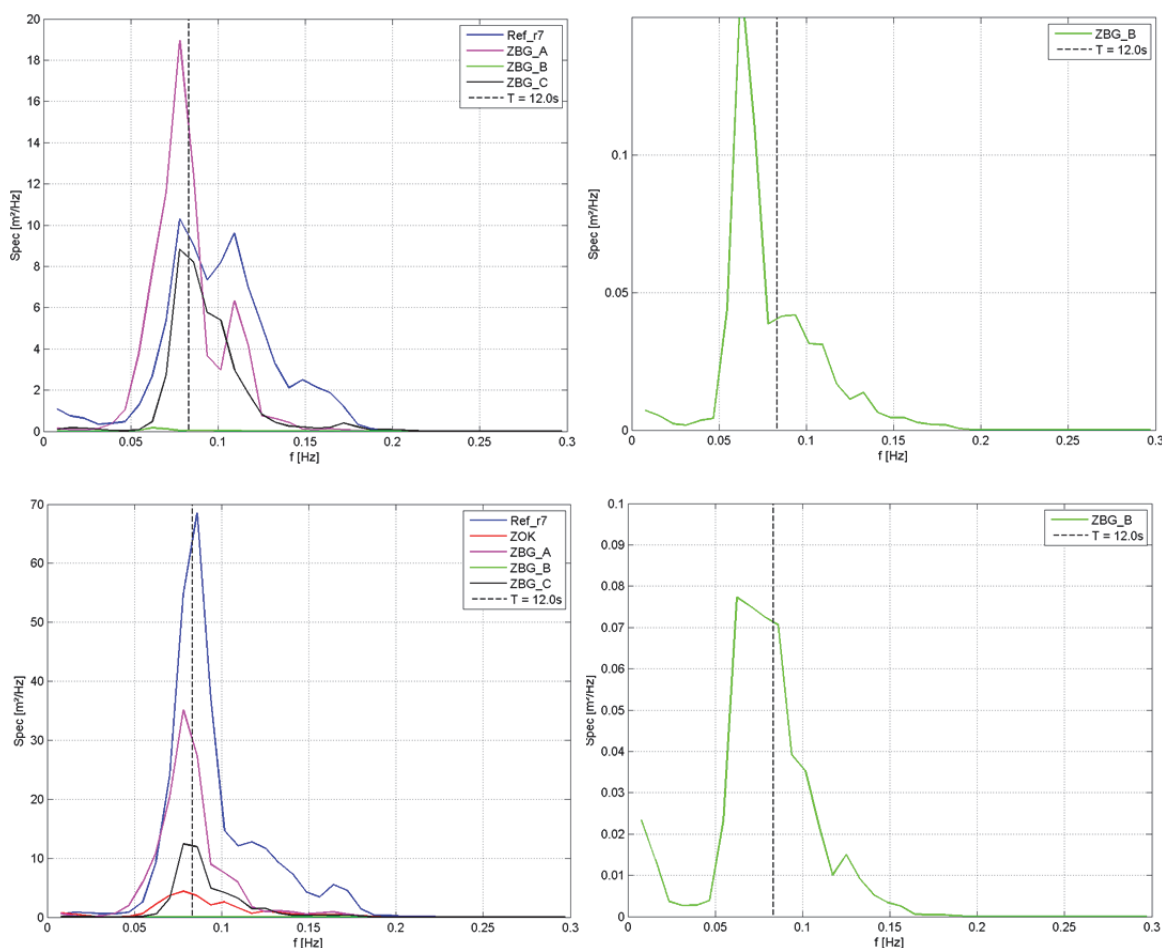
### 3.3.6 Golfperiode

Om een idee te krijgen van de evolutie van de golfperiode in de haven, is de piekperiode onderzocht voor de condities gegeven in Tabel 3-18 door het opstellen van 1D spectra in een aantal punten in de haven (cf. Figuur 3-69).

Tabel 3-18: Hydrodynamische randvoorwaarden en golfindringingsmodel waarvoor de 1D-spectra in de haven werden opgesteld

SWL [m TAW]	$d_{max}$ [m]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	Richting [-]	MILDwave	Mike 21 BW
<b>+7.30</b>	23.33	5.7	12.0	NNW	-	X (met vaargeul)
<b>+7.90</b>	23.93	6.2	12.0	NNW	-	X (zonder vaargeul)





Figuur 3-69: 1D-spectra van referentiepunt en meetlocaties, met aanduiding van piekperiode  $T_p = 12.0s$ .  
 Resultaat van Mike 21 BW. Boven: model inclusief vaargeul, SWL=+7.30m TAW, NNW, langkruinig.  
 Onder: model zonder vaargeul, SWL=+7.90m TAW, NNW, langkruinig.

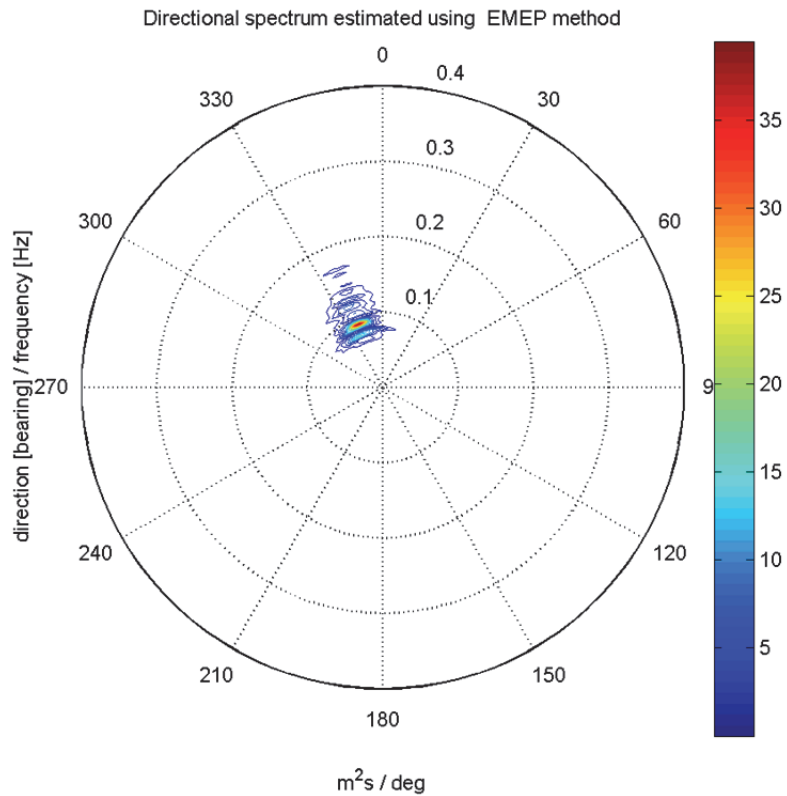
De piekperiode in de haven blijft rond de waarde liggen die werd opgelegd aan de golfgeneratielijn (12.0s in dit geval, cf. Figuur 3-69) in het model zowel met als zonder vaargeul.

### 3.3.7 Golfrichting

De golfrichting van de indringende golven kan in principe op drie manieren worden bepaald:

1. Op basis van een directioneel spectrum opgesteld volgens de maximum entropie methode van Nwogu et al. (1987). Dit is enkel toepasbaar op de resultaten van Mike 21 BW, omdat het Boussinesq model naast de verheffing ook de dieptegemiddelde horizontale flux geeft (maat voor horizontale orbitaalsnelheid) in de tijd;
2. Door een directionele analyse uit te voeren op basis van verheffingstijdreeksen in een aantal meetpunten geplaatst volgens een bepaald patroon met tussenafstanden afhankelijk van de golflengte (mond. comm. Troch, 2011);
3. Op basis van verheffingsplots, waarbij gekeken wordt naar de richting van de loodrechte op de kruin van de eerste golf die de haven binnendringt (mond. comm. Troch, 2011).

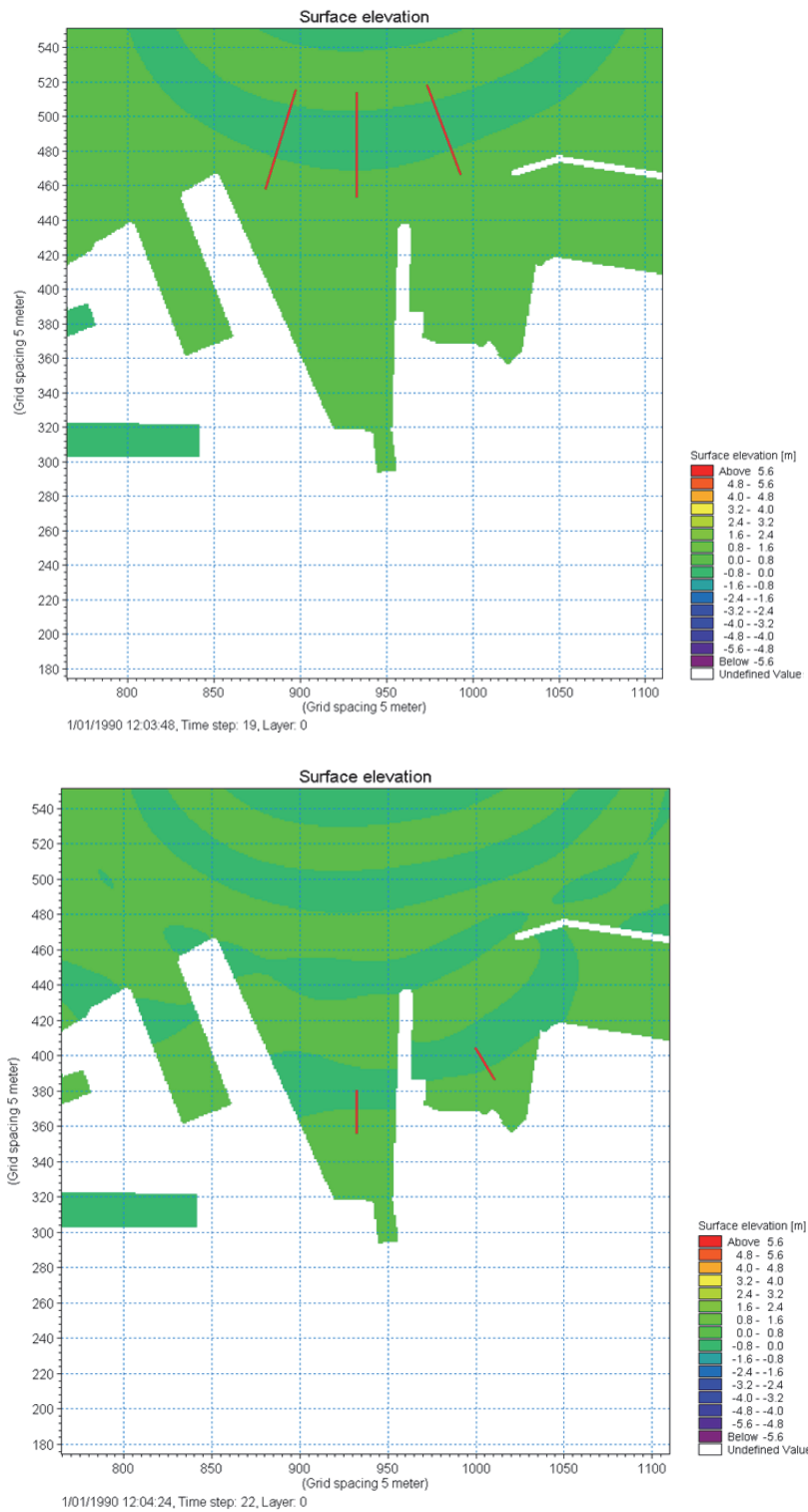
De eerste methode heeft als belangrijke beperking dat dergelijke analyse onnauwkeurige resultaten geeft wanneer het meetpunt zich in de buurt van een reflecterende constructie bevindt (Nwogu et al., 1987). Een voorbeeld is gegeven in Figuur 3-70 voor punt Ref\_r7.



Figuur 3-70: Directioneel spectrum opgesteld met DIWASP (2011) op basis van Mike 21 BW resultaat in punt Ref\_r7 voor SWL=+7.90m TAW, golfrichting NNW, model zonder vaargeul.

De tweede methode is in principe toepasbaar met beide numerieke modellen. Het is echter niet overall toepasbaar in deze haven: door de kleine geometrische afmetingen van de dokken met betrekking tot de golflengte van de meest energetische golven kunnen de vereiste tussenafstanden niet gerespecteerd worden.

Bij de derde methode wordt gekeken naar de richting van de loodrechte op de golfkruin van de eerste golf die de haven binnendringt (cf. Figuur 3-71). Er wordt gekeken naar de eerste golf omdat anders het golfveld reeds verstoord is door reflecties in de haven en daarom geen duidelijke golfkruin van de inkomende golf meer te onderscheiden valt. Deze methode houdt geen rekening met de golfrichting van andere inkomende golven die gereflecteerd werden tegen andere structuren dan de beschouwde.



Figuur 3-71: Voorbeelden van verheffingsplot (ter hoogte van het dok naar de Vandammesluis) waarin de golfkruin van de eerste golf duidelijk zichtbaar is (Mike 21 BW resultaat). Met aanduiding van de loodrechte op de golfkruin (rode rechte) die de golfrichting aanduidt.

### 3.3.8 Golfindringing en inkomend golfhoogte aan de Vandammesluis

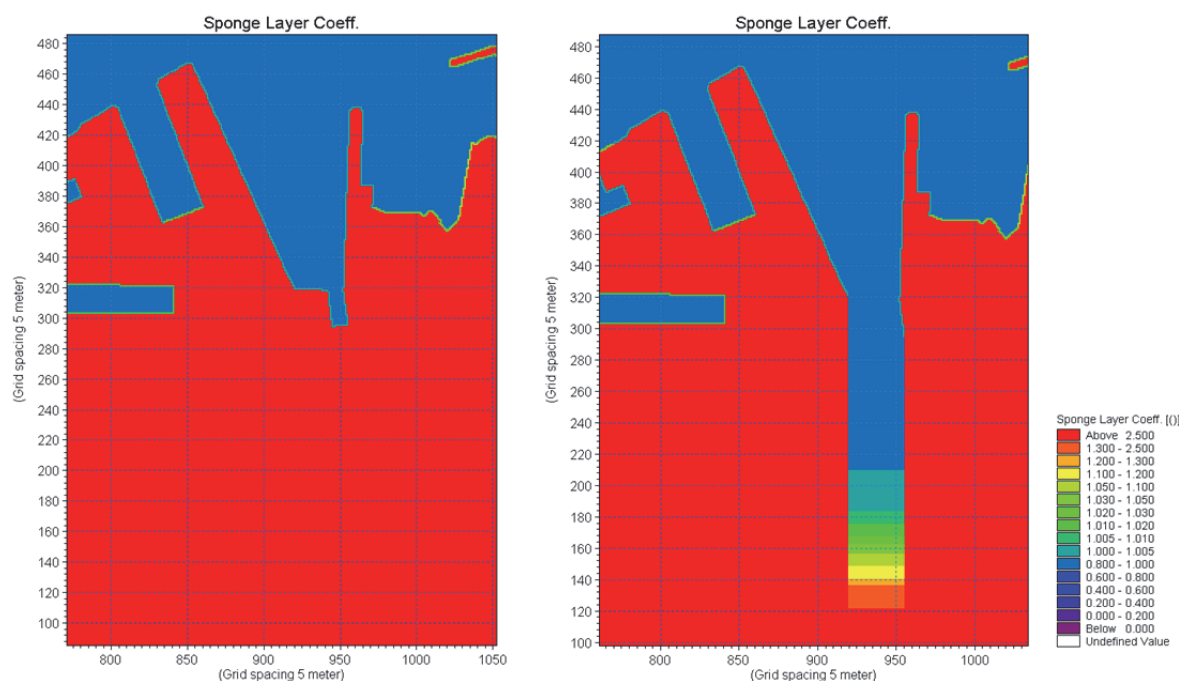
Speciale aandacht wordt gevestigd op de golfindringing tot in het dok naar de Vandammesluis en dit in het finaal model zoals werd bepaald in §3.3.5. Voor de meest nadelige golfrichting 17°N (offshore van de vaargeul, cf. §3.2.7) loopt de significante golfhoogte in dit dok zeer hoog op. Dit is te wijten aan reflecties van de golven tegen de kaaimuren in dit dok, die de golfhoogte aan de kaaimuur kan doen toenemen met een factor van 2 (Gruwez et al., 2011). Omdat dit een totale significante golfhoogte betreft, bevat het zowel de inkomende als de gereflecteerde golfhoogte. In het ontwerp van een stormmuur is enkel de inkomende golfenergie van belang zodat toepassing van de totale golfenergie een veel te conservatieve aanname zou zijn.

In deze paragraaf wordt lokaal aan de kaaimuur ten westen van de Vandammesluis, waar een stormmuur ontworpen dient te worden, getracht de inkomende significante golfhoogte te bepalen. Hier is de totale significante golfhoogte heel hoog ( $H_s = 5.7m * 0.52 = 3.0m$ , cf. positie ZBG\_A in Figuur 3-73) omdat nagenoeg loodrechte golfaanval optreedt en de reflectie-effecten dus ook zeer groot zijn.

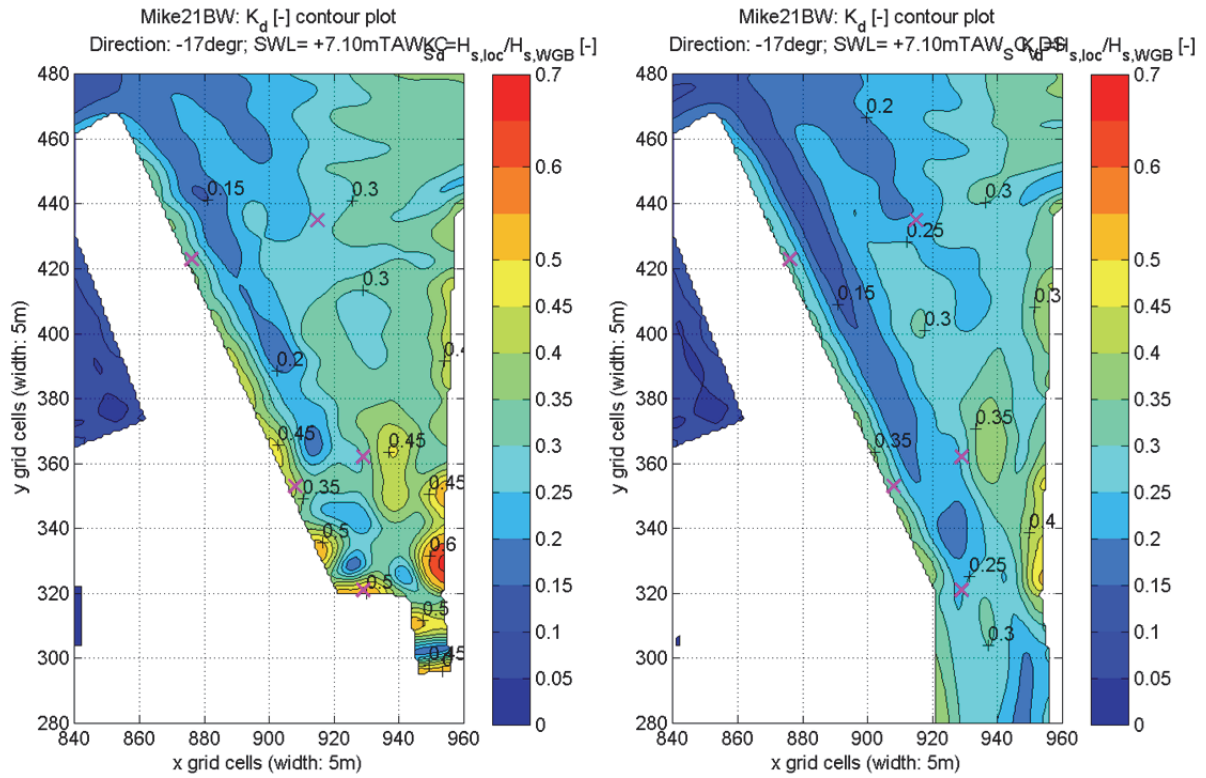
In §3.3.7 werd al aangetoond dat de conventionele technieken om de gereflecteerde golfhoogte te onderscheiden van de inkomende, niet of zeer moeilijk toe te passen zijn in een dergelijk complex golfreflectieveld en dicht tegen de reflecterende structuur waar staande golfoscillaties nog duidelijk aanwezig zijn.

Een alternatief is om aan de sponslaag van de structuur een absorptiecoëfficiënt toe te kennen die overeenstemt met een zo laag mogelijke reflectiecoëfficiënt (cf. §3.1.8). Deze techniek zorgt er echter voor dat vooral vlak aan de kaaimuur de golfhoogte onrealistisch laag is (voor dergelijke  $\mu$ -waarden). Weg van de kaaimuur treedt wel een convergentie op naar de inkomende golfhoogte, maar pas vanaf een afstand van ongeveer één golfengte. Wegens deze beperking is gekozen voor een andere benadering: de reflecterende structuur wordt volledig weggenomen en het dok wordt artificieel uitgebreid met voldoende plaats voor sponslagen die alle inkomende golfenergie kunnen absorberen (cf. Figuur 3-72). Op die manier treedt geen reflectie t.g.v. de weggenomen kaaimuur meer op en wordt de inkomende golfhoogte verkregen. De totale significante golfhoogte daalt zo van ongeveer 3.0m naar 1.45m ( $H_s = 5.7m * 0.25 = 1.45m$ , cf. positie ZBG\_A in Figuur 3-73).

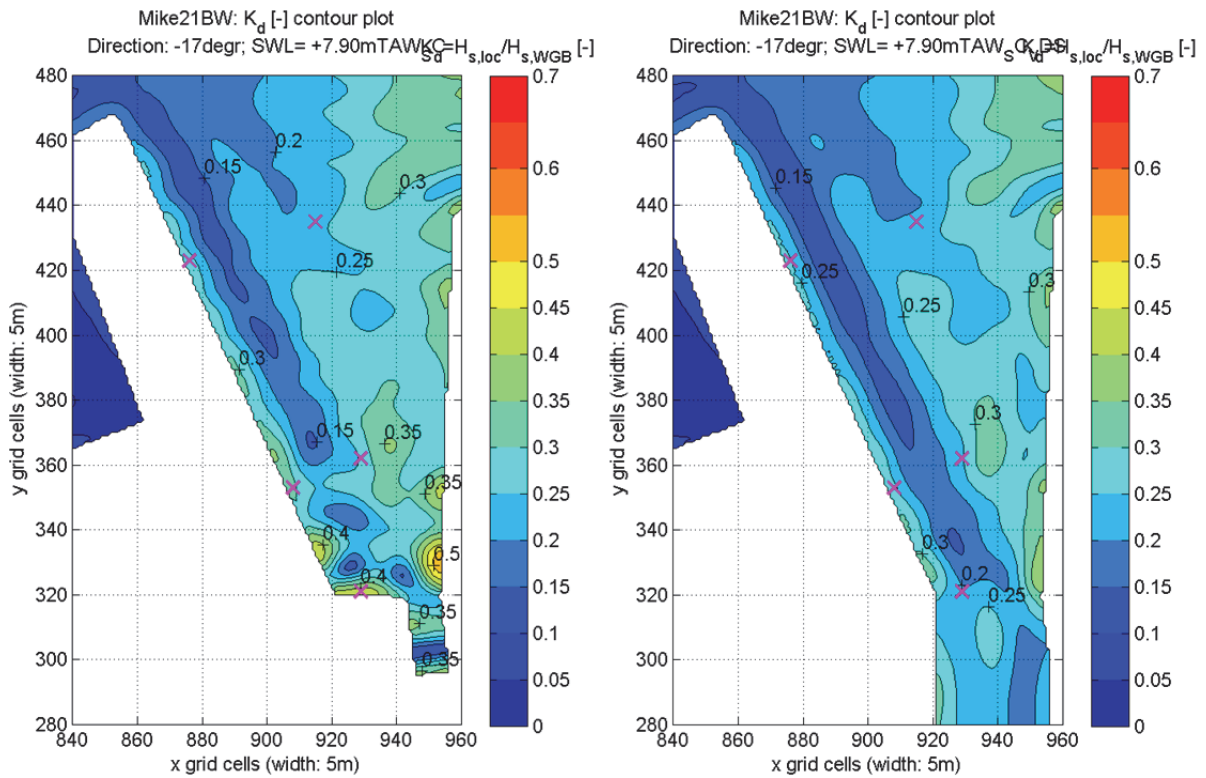
Opgelet: De waarden die hier opgegeven worden zijn niet bestemd voor ontwerp. Daarvoor is zeker nog een expert judgement nodig en moet er met verschillende onzekerheden rekening gehouden worden.



Figuur 3-72: Sponslaagmap voor SWL = +7.10m TAW, focus op het dok naar de Vandammesluis. Links: werkelijke toestand, rechts: kaaimuur verwijderd en als absorberende sponslagen toegevoegd.



Figuur 3-73:  $K_d$ -contourplot bij de Vandammesluis (RP=1000j). Links: met kaaiuur, rechts: zonder.



Figuur 3-74:  $K_d$ -contourplot bij de Vandammesluis (+7.90m TAW). Links: met kaaiuur, rechts: zonder.

## 4 Lokale windgolven: fasegemiddelde golfmodellering

### 4.1 Inleiding

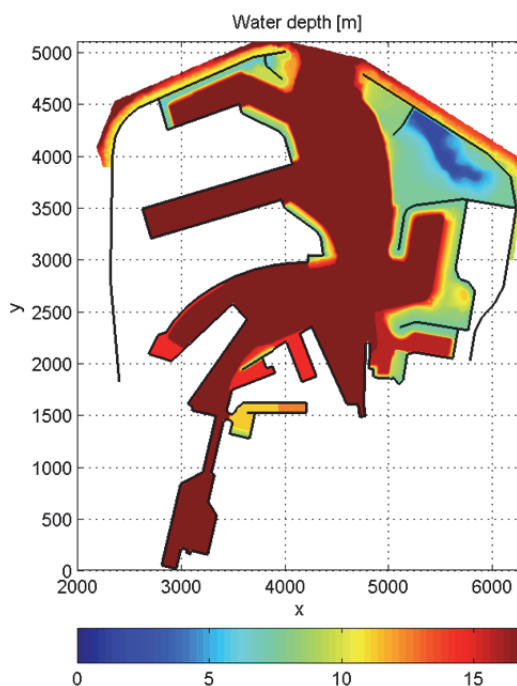
Lokaal gegenereerde golven bepalen het golfklimaat in de meest achterliggende gebieden van de haven of dus daar waar weinig of geen golfindringingsenergie toekomt. Door de grote afmeting van de haven van Zeebrugge zijn grote strijklengten aanwezig en kunnen de lokaal gegenereerde golfhoogten hoog oplopen bij de extreme windsnelheden tijdens een superstorm.

Voor de modellering van lokale golfgeneratie door wind wordt het fasegemiddelde golfmodel SWAN (TUDelft, 2010) ingezet. Gruwez et al. (2011) toonden aan dat SWAN hiervoor geschikt is.

### 4.2 Bathymetrie en rekendomein

#### 4.2.1 Bathymetrie

Voor de golfindringingsmodellen werd een bathymetrie (cf. Figuur 4-1) opgesteld op basis van de meest recente streefdieptes voor de jachthavens en het economisch gedeelte van de haven van Zeebrugge (cf. §3.1.2).



Figuur 4-1: Waterdiepte in het SWAN model voor waterstand +7.40m TAW.

#### 4.2.2 Rekendomein

Wegens de grootte van de haven van Zeebrugge en de noodzaak naar voldoende fijne roostercelafmetingen (cf. 4.4) moet het aantal rekencellen zoveel als mogelijk beperkt worden om de rekentijd binnen perken te houden. Het rekendomein wordt beperkt tot het gebied binnen de haven, dus zonder het buitengaats gebied. Het doel van het SWAN model is immers ook om enkel de lokaal in de haven gegenereerde golven te bepalen.

### 4.3 Randvoorwaarden

#### 4.3.1 Hydrodynamische randvoorwaarden

Op de rand wordt geen golfhoogte opgelegd, zodat alle golven die voorkomen in het model enkel ten gevolge van wind zijn. Bovendien wordt de haveningang gesloten met een fictieve golfbreker zodat enkel met strijklengtes in de haven zelf rekening gehouden kan worden.

Voor de windsnelheden van de 1000-jarige storm wordt uitgegaan van de statistiek die is opgesteld voor de 2-uurwaarden op diep water (Technum et al., 2002), net zoals voor de haven van Oostende (Gruwez et al., 2011). Daarop zijn opnieuw opeenvolgend 2 reductiefactoren toegepast: 0.90 en 0.80. De eerste is een factor die de windsnelheid reduceert naar 10m hoogte boven het wateroppervlak (logaritmisch profiel) zodat deze rechtstreeks als invoer voor SWAN kan worden gebruikt. De andere is een reductiefactor die rekening houdt met landeffecten. De resulterende windsnelheden staan in Tabel 4-1. Per windrichting wordt in de tabel ook een richtingsafhankelijke waterstand opgegeven. Ze zijn gebaseerd op die van Oostende en aangepast volgens het verschil in waterpeil bij springtij tussen Oostende en Zeebrugge (~0.10m).

Tabel 4-1: Randvoorwaarden van de SWAN simulaties met enkel wind (RP = 1000 jaar)

windrichting	waterstand (incl. zsr)	windsnelheid	windsnelheid (10m hoogte)	windsnelheid (land)
[-]	[m TAW]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
NO	5.90	28.33	25.5	20.4
NNO	6.30	30.46	27.4	21.9
N	6.90	30.57	27.5	22.0
NNW	6.90	30.77	27.7	22.2
NW	6.90	29.98	27.0	21.6
WNW	6.80	33.43	30.1	24.1
W	6.60	35.53	32.0	25.6

Ook de windsnelheden gegeven door Verwaest et al. (2008), behorende bij een aantal waterstanden, worden gemodelleerd (cf. Tabel 4-2). Deze waarden zijn reeds snelheden op 10m hoogte maar moeten wel nog gereduceerd worden naar landsnelheden (dus reductie met factor 0.80). Deze windsnelheden horen volgens Verwaest et al. (2008) bij richting  $-33.75^\circ$  (gemiddelde van NW en NNW). Toch werden voor elke waterstand en bijhorende windsnelheid alle windrichtingen<sup>10</sup> zoals in Tabel 4-1 gemodelleerd om de meest nadelige windrichting te kunnen bepalen.

Tabel 4-2: randvoorwaarden van de SWAN simulaties met enkel wind voor waterstanden en windsnelheden volgens Verwaest et al. (2008)

waterstand	windsnelheid (10m hoogte)	windsnelheid (land) NO, NNO, N, NNW, NW, WNW, W
[m TAW]	[m/s]	[m/s]
+6.40	25.6	20.5

<sup>10</sup> Opmerking: omdat de windsnelheden volgens Verwaest et al. (2008) richtingsafhankelijk zijn (voor richting  $-33.75^\circ$ ), is het mogelijk dat ze een onder- of overschatting zijn voor andere richtingen. Windsnelheden voor W zijn bvb. groter voor dezelfde terugkeerperiode.

+6.90	29.1	23.3
+7.40	32.6	26.1
+7.90	36.1	28.9

#### 4.3.2 Structuren

Structuren zoals golfbrekers, kaaimuren en glooiingen worden in SWAN gemodelleerd als obstakels met een bepaalde transmissie- en reflectiecoëfficiënt.

Een transmissiecoëfficiënt dient enkel opgegeven te worden indien voorbij de structuur ook betrouwbare resultaten gewenst zijn. Omdat de meeste obstakels kaaimuren e.d. zijn en gevolgd worden door land, is voor alle structuren een transmissiecoëfficiënt van 0.0 opgegeven. Een uitzondering is het gedeelte kaaivlak dat op palen staat in het Prins Albert I dok (uitstekend verlengde van de zuidelijke kaaimuur). Hiervoor werd een transmissiecoëfficiënt van 0.5 aangenomen.

Aan alle structuren in de haven wordt in SWAN echter een reflectiecoëfficiënt van 0.0 toegekend<sup>11</sup> omdat (IMDC, 2012):

- Enkel de inkomende golfhoogte gewenst is. Inclusief reflectie zou resulteren in te conservatieve golfhoogten;
- Het contradictorisch is om met reflectie rekening te houden maar niet met diffractie (comm. Troch, 28/02/2012). Diffractie wordt sowieso door SWAN niet goed gemodelleerd in een haven.

#### 4.4 Numerieke instellingen

Het basis invoerbestand met alle numerieke instellingen is gegeven in Bijlage 2 voor waterstand +7.90m TAW.

Een rechthoekig rooster wordt toegepast met roostercelafmetingen 7.5m x 7.5m. Om de zeer korte windgolven (1.0s à 3.0s) te kunnen modelleren wordt het frequentiebereik voldoende hoog gekozen, i.e.: 0.05Hz – 2.49Hz.

#### 4.5 Resultaten

SWAN simulaties werden uitgevoerd met alle randvoorwaarden uit §4.3.1 (in totaal 35 simulaties).

Voor de rapportage van de resultaten wordt het interessegebied (cf. Figuur 1-1) onderverdeeld in zones (cf. Figuur 4-2). Langs elke zone wordt gezocht naar de minimale en maximale significante golfhoogte voor elke windrichting en voor een bepaalde waterstand. Dit wordt gedaan op basis van contourplots van de significante golfhoogte (cf. bv. Figuur 4-3 en Figuur 4-4).

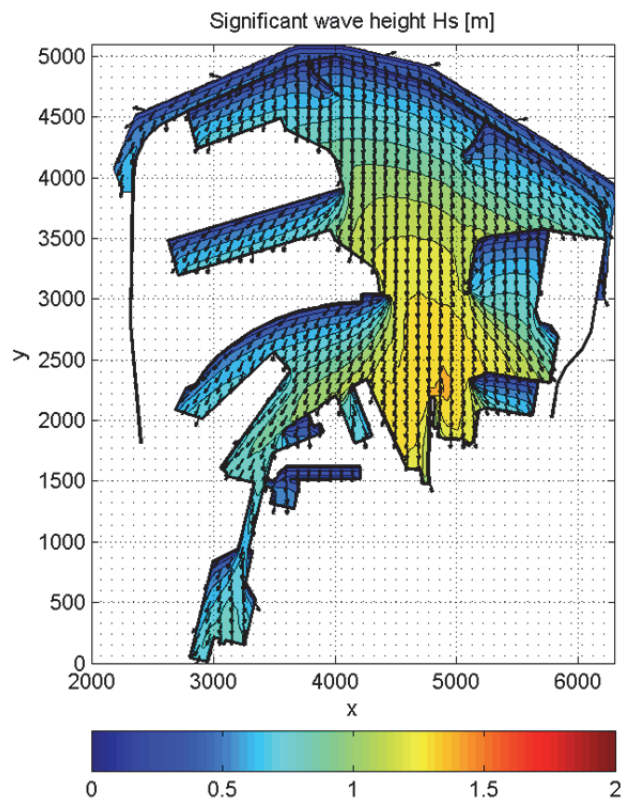
Ter controle van het SWAN resultaat wordt vergeleken met de theoretische bepaling van de door wind gegenereerde golfhoogte volgens Wilson (1965). Aan de Vandammesluis wordt voor de +7.90m TAW NNW storm door SWAN een significante golfhoogte gegeven van ongeveer 1.25m (cf. Figuur 4-4) en een piekperiode van 3.7s. Een strijklengte van 3250m (afstand van ingang haven tot aan de Vandammesluis) voor windrichting NNW en windsnelheid van 28.9m/s, geeft met de formule van Wilson een significante golfhoogte van 1.29m en een piekperiode van ongeveer 3.4s. SWAN komt dus goed overeen met de formule van Wilson.

<sup>11</sup> Dit is een afwijking van de methode die werd toegepast voor Oostende (Gruwez et al., 2011).

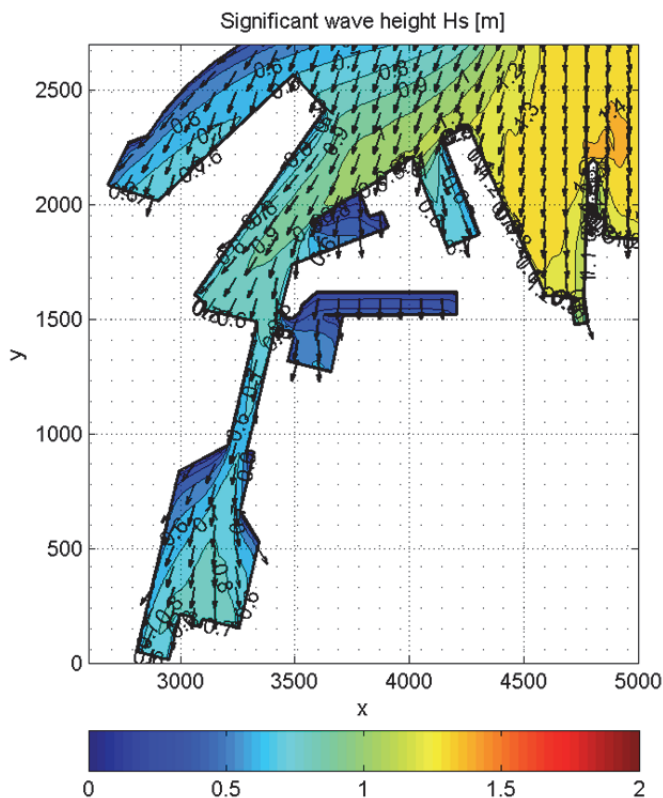




Figuur 4-2: Aanduiding van zones waarvoor de golfcondities ten gevolge van lokaal wind gegenereerde golven bepaald worden uit de SWAN simulatie resultaten.



Figuur 4-3: Contourplot van de significante golfhoogte  $H_s$  [m] die ontstaat door lokale golfopwekking in de haven van Zeebrugge tijdens een superstorm met SWL = +7.90m TAW en windrichting NNW. Zwarte pijlen duiden de gemiddelde golfrichting aan.



Figuur 4-4: Idem als Figuur 4-3, maar vergroot naar de interessegebieden.

De resultaten van de simulaties met de 1000-jarige condities staan in Tabel 4-3 en de resultaten van de simulaties met condities volgens Verwaest et al. (2008) staan in Tabel 4-4 en Tabel 4-5. De tabellen bevatten per zone de minimale en maximale significante golfhoogte langs deze zone voor de meest nadelige windrichting. De meest nadelige richting komt dan overeen met de richting waarvoor de wind de grootste effectieve strijklengte ter beschikking heeft voor die bepaalde zone. Per zone werd ook een golfrichting bepaald. Deze wordt gegeven in graden t.o.v. de loodrechte op de beschouwde structuur.

In de digitale bijlage op de bijgevoegde CD-rom zijn de resultaten per zone voor alle richtingen terug te vinden. Per zone zijn hier dan ook de maximale en minimale gemiddelde golfperiode  $T_{m-1,0}$  gegeven samen met de gemiddelde golfrichting.

Tabel 4-3: Minimale en maximale significante golfhoogte  $H_s$  door wind per zone en voor de meest nadelige windrichting (met randvoorwaarden voor RP = 1000 jaar).

Zone	bepalende windrichting	RP = 1000j		Golfrichting
		min. $H_s$	max. $H_s$	
[-]	[-]	[m]	[m]	[°loodrechte]
VDS	NNW	0.84	0.87	5
PAD1	W	0.30	0.45	80
PAD2	W	0.45	0.50	0
PAD3	W	0.41	0.50	80
PAD4	W	0.46	0.54	0
PAD5	N	0.39	0.49	0
VIS	N	0.49	0.53	0

Tabel 4-4: minimale en maximale significante golfhoogte  $H_s$  door wind per zone en voor de meest nadelige windrichting (deel 1 waterstanden en windsnelheden volgens Verwaest et al. (2008)).

Zone	bepalende windrichting	SWL = +6.40m TAW		SWL = +6.90m TAW		Golfrichting
		min. $H_s$	max. $H_s$	min. $H_s$	max. $H_s$	
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[°loodrechte]
VDS	NNW	0.75	0.79	0.90	0.94	5
PAD1	W	0.21	0.33	0.26	0.40	80
PAD2	W	0.33	0.36	0.40	0.44	0
PAD3	W	0.29	0.36	0.36	0.44	80
PAD4	W	0.33	0.38	0.40	0.46	0
PAD5	N	0.35	0.37	0.42	0.45	0
VIS	N	0.45	0.48	0.53	0.57	0

Tabel 4-5: Minimale en maximale significante golfhoogte  $H_s$  door wind per zone en voor de meest nadelige windrichting (deel 2 waterstanden en windsnelheden volgens Verwaest et al. (2008)).

Zone	bepalende windrichting	SWL = +7.40m TAW		SWL = +7.90m TAW		Golfrichting
		min. $H_s$	max. $H_s$	min. $H_s$	max. $H_s$	
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[°loodrechte]
VDS	NNW	1.05	1.09	1.21	1.26	5
PAD1	W	0.31	0.47	0.36	0.54	80
PAD2	W	0.47	0.52	0.54	0.60	0
PAD3	W	0.42	0.52	0.50	0.60	80
PAD4	W	0.48	0.55	0.55	0.64	0
PAD5	N	0.50	0.54	0.58	0.63	0
VIS	N	0.62	0.67	0.71	0.77	0

Het valt op dat vrij grote golfhoogten voorkomen in de resultaten. Deze zijn mogelijk door de grote beschikbare strijklengten in de haven van Zeebrugge. Alle gerapporteerde significante golfhoogtes bevatten geen gereflecteerde golfenergie en gaan dus enkel om de inkomende golfhoogte (cf. §4.3.2).

De gemiddelde golfperiode  $T_{m-1,0}$  van deze windgolven varieert tussen minimaal 1.50s en maximaal 3.30s voor de volledige haven.

## 4.6 Conclusies

Er werd een SWAN model opgesteld van de haven van Zeebrugge om de lokale generatie van golven door extreme windsnelheden te modelleren. In totaal werden 35 simulaties uitgevoerd zodat resultaten werden bekomen voor de 1000-jarige en superstorm waterstanden en windsnelheden.

De kaaimuren waarvoor stormmuren ontworpen dienen te worden, werden onderverdeeld in representatieve zones. Langs elke zone werd de minimale en maximale significante golfhoogte gezocht voor de meest nadelige windrichting voor die zone.

De resulterende maximale significante golfhoogte kan oplopen tot 1.26m. Dit lijkt een relatief hoge waarde te zijn, die te wijten is aan de grote strijklengten die in de haven van Zeebrugge aanwezig zijn. Een goede overeenkomst met Wilson werd waargenomen. De significante golfhoogte bevat geen gereflecteerde golfenergie omdat de structuren als niet-reflecterend gemodelleerd zijn. Indien de windsnelheden volgens Verwaest et al. (2008) voor andere richtingen dan NW en NNW onderschat zijn (zoals het geval is voor de 1000-jarige windsnelheden), kunnen de golfhoogten voor die richtingen ook onderschat zijn.

De gemiddelde golfperiode  $T_{m-1,0}$  van deze windgolven varieert tussen minimaal 1.50s en maximaal 3.30s voor de volledige haven.

## 5 Superpositie golfindringing en lokale windgolven

### 5.1 Methode

De modellering van de golfindringing en lokaal gegenereerde windgolven werd ontkoppeld omdat momenteel geen van de gekozen golfmodellen in staat is beide fenomenen tegelijkertijd te modelleren voor een haven. De resultaten van de twee groepen numerieke modellen worden in dit hoofdstuk samengebracht om het volledig extreem golfklimaat in de haven te bekomen.

Terug samenbrengen van de golfindringing en lokaal gegenereerde windgolven wordt uitgevoerd zoals voorgesteld door van der Meer et al. (2002), met name door een superpositie uit te voeren van de significante golfhoogtes op volgende wijze:

$$H_{m0} = \sqrt{H_{m0,1}^2 + H_{m0,2}^2}$$

Waarin  $H_{m0}$  de significante golfhoogte inclusief golfindringing en lokale windgolven  
 $H_{m0,1}$  de significante golfhoogte van het golfindringingsmodel (Mike 21 BW, cf. §3.2.9)  
 $H_{m0,2}$  de lokaal gegenereerde significante golfhoogte door de extreme windsnelheid (SWAN)

Het overzicht van de resultaten wordt beperkt tot de kaaimuurzones waarvoor de hydrodynamische randvoorwaarden gekend moeten zijn voor het ontwerp van de stormmuren. De zones zijn gedefinieerd in Figuur 5-1. Een kaaimuurzone met stormmuur wordt pas beschouwd wanneer de bermbreedte op het kaaivlak naar de stormmuur voldoende klein is. Voor onbeschouwde kaaimuurzones wordt verondersteld dat de bermbreedte voldoende groot is opdat de golfhoogte bepaald zal worden door de lokale waterdiepte op het kaaivlak voor de stormmuur.

Het SHIP-dok werd opgenomen in alle simulaties, maar wordt verder niet beschouwd in dit hoofdstuk. Alle resultaten in dit dok kunnen geraadpleegd worden op de figuren in de digitale bijlage op de bijgevoegde CD-rom.



Figuur 5-1: Opdeling van de kaaimuren voorzien van stormmuren in zones.

## 5.2 Resultaten per zone

De minimum en maximum significante golfhoogten wordt gegeven per kaaimuurzone (cf. Figuur 5-1) van elk numeriek model afzonderlijk en daarnaast ook als superpositie van golfindringingsmodellen Mike 21 BW en MILDwave met de SWAN resultaten. Op die manier kan voor elke kaaimuurzone het aandeel van de golfindringing en lokale windgolven tot de totale golfhoogte geraadpleegd worden. Hierbij is steeds de superpositie gemaakt van de maxima en minima per kaaimuurzone. Dit geeft een conservatieve waarde voor het maximum, maar niet noodzakelijk voor het minimum, omdat de locaties van de maxima en minima langs elke kaaimuurzone voor golfindringing en lokale windgolven niet steeds samenvallen (mond. comm. Monbaliu, 2011).

De overzichtstabellen worden beperkt tot de resultaten voor waterstanden +7.10m TAW (cf. Tabel 5-1) en +7.90m TAW (cf. Tabel 5-2). De maximale waarde uit alle gemodelleerde golf- en windrichtingen per waterstand werd steeds weerhouden. De resultaten van de overige waterstanden kunnen afgeleid worden uit de tabellen en contourplots op de bijgesloten CD-rom.

Voor de golfindringingsmodellen zijn de resultaten in hoofdstuk 3 steeds relatief beschouwd aan de hand van de golfindringingscoëfficiënt  $K_d$ . Deze wordt vermenigvuldigd met de waarde  $H_{m0,inc}$  in Tabel 5-1 en Tabel 5-2 zodat de significante golfhoogten in de haven bekomen worden.

Tabel 5-1: Overzicht van de minimale en maximale significante golfhoogten langs de gedefinieerde zones in de haven. Mike 21 BW model inclusief vaargeul en met kortkruinige golven ( $\sigma = 20^\circ$ ). Superpositie van Mike 21 BW met SWAN. Voor SWL = +7.10m TAW.

T1000	SWAN		Mike 21 BW		Mike & SWAN	
			model inclusief vaargeul kortkruinig ( $\sigma = 20^\circ$ )			
<b>richting</b>			<b>alle richtingen</b>			
<b>terugkeerperiode [jaar]</b>	1000		1000			
<b>waterstand [m TAW]</b>	~6.9		7.1			
<b>H<sub>m0,inc</sub> [m]</b>	0.00		5.70			
<b>T<sub>p</sub> [s]</b>	-		12.0			
	<b>min</b>	<b>max</b>				
<b>gegenereerde T<sub>m-1,0</sub> [s]</b>	0.80	2.80				
						<b>Golfrichting</b>
<b>Kaaimuur zone</b>	<b>Hs,min [m]</b>	<b>Hs,max [m]</b>	<b>Hs,min [m]</b>	<b>Hs,max [m]</b>	<b>Hs,min [m]</b>	<b>Hs,max [m]</b>
<b>VDS*</b>	0.84	0.87	1.40	1.80	1.63	2.00
<b>PAD1</b>	0.30	0.45	0.00	0.06	0.30	0.46
<b>PAD2</b>	0.45	0.50	0.00	0.00	0.45	0.50
<b>PAD3</b>	0.41	0.50	0.00	0.06	0.41	0.50
<b>PAD4</b>	0.46	0.54	0.06	0.11	0.47	0.55
<b>PAD5</b>	0.39	0.49	0.06	0.06	0.40	0.49
<b>VIS*</b>	0.49	0.53	0.11	0.11	0.50	0.54

\*: resultaat Mike 21 BW waarbij reflecterende structuur werd weggelaten zodat enkel de inkomende significante golfhoogte werd bekomen (cf. §3.3.8)

Tabel 5-2: Overzicht van de minimale en maximale significante golfhoogten langs de gedefinieerde zones in de haven. Mike 21 BW model inclusief vaargeul en met kortkruinige golven ( $\sigma = 20^\circ$ ). Superpositie van Mike 21 BW met SWAN. Voor SWL = +7.90m TAW.

+7.90m TAW	SWAN	Mike 21 BW	Mike & SWAN
		model inclusief vaargeul	
		kortkruinig ( $\sigma = 20^\circ$ )	
<b>richting</b>		<b>alle richtingen</b>	
<b>terugkeerperiode [jaar]</b>	-	-	
<b>waterstand [m TAW]</b>	7.90	7.90	
<b>H<sub>m0,inc</sub> [m]</b>	0.00	6.20	
<b>T<sub>p</sub> [s]</b>	-	12.0	
	<b>min</b>		
	<b>max</b>		
<b>gegenereerde T<sub>m-1,0</sub> [s]</b>	1.50	3.30	
<b>Kaaimuur zone</b>	<b>Hs, min [m]</b>	<b>Hs, min [m]</b>	<b>Hs, min [m]</b>
<b>VDS*</b>	1.21	1.18	1.61
<b>PAD1</b>	0.36	0.00	0.00
<b>PAD2</b>	0.54	0.00	0.00
<b>PAD3</b>	0.50	0.00	0.00
<b>PAD4</b>	0.55	0.00	0.00
<b>PAD5</b>	0.58	0.00	0.00
<b>VIS*</b>	0.71	0.00	0.06
	<b>Hs,max [m]</b>	<b>Hs,max [m]</b>	<b>Hs,max [m]</b>
	1.26	1.61	2.05
	0.54	0.00	0.54
	0.60	0.00	0.60
	0.60	0.00	0.60
	0.64	0.00	0.64
	0.63	0.00	0.58
	0.77	0.00	0.71
			<b>Golfrichting</b>
			<b>[°loodrechte]</b>
			0
			80
			0
			80
			0
			0
			0

\*: resultaat Mike 21 BW waarbij reflecterende structuur werd weggelaten zodat enkel de inkomende significante golfhoogte werd bekomen (cf. §3.3.8)

De waarden uit Tabel 5-1 en Tabel 5-2 zouden rechtstreeks toegepast kunnen worden als randvoorwaarden voor het ontwerp van de stormmuren. De SWAN golfhoogte bevatten immers enkel de inkomende golfenergie. In het Mike 21BW model aan de Vandammesluis en aan de Visartsluis is de reflecterende structuur niet aanwezig zodat ook daar enkel de inkomende golfhoogte (voor die structuur) bekomen wordt (§3.3.8). Toch is nog een expert judgement aangeraden ter bepaling van de definitieve randvoorwaarden, bv. indien rekening gehouden zou moeten worden met richtingsafhankelijkheid.



## 6 Conclusies

Voor het ontwerp van structuren en het uitvoeren van overstromingsrisicoberekeningen zijn de hydrodynamische randvoorwaarden nodig in de haven van Zeebrugge langs de structuren nabij de Vandammesluis, de Visartsluis, in het Prins Albert I-dok en het toekomstig SHIP-dok. De huidige deelopdracht had als doel om deze randvoorwaarden te bekomen tijdens een storm met terugkeerperiode 1000 jaar en tijdens de superstormen die werden gedefinieerd voor de risicoanalyse.

Net zoals voor de haven van Oostende, werd het modelleren van het golfklimaat ontkoppeld naar de golfindringing (met Mike 21 BW en MILDwave) en de lokaal gegenereerde golven door de extreme wind (met SWAN).

Het Mike 21 BW en het MILDwave model werden opgesteld volgens dezelfde methodologie toegepast als die voor de haven van Oostende (Gruwez et al., 2011) met de lessen die toen uit de modelleringen zijn gevolgd. Hierbij viel op dat veel minder numerieke dissipatie maatregelen noodzakelijk waren in het Mike 21 BW model om numerieke stabiliteit te bekomen dan voor het model van Oostende. Dit is omdat veel minder zeer ondiepe gebieden in de haven van Zeebrugge voorkomen.

Er zijn twee bathymetriën opgesteld voor de golfindringingsmodellen:

- Een model van het gebied van de haven en een beperkt buitengaats gebied. Dus een model zonder de vaargeul Pas van het Zand;
- Een model met zowel de haven als de volledige vaargeul Pas van het Zand.

Dit liet toe de invloed van de vaargeul op het golfklimaat in de haven te onderzoeken. De teenconstructies van de stortsteengolfbrekers werden opgenomen in de bathymetrie.

De reflectiecoëfficiënten voor overstroomde kaaimuren met of zonder stormmuur werden bepaald op basis van die bekomen voor Oostende. Partiële reflectie werd in beide modellen gemodelleerd door een ééncellige sponslaag waarvan de absorptiecoëfficiënt werd gecalibreerd in een 1DH-model met Mike 21 BW voor een bepaalde reflectiecoëfficiënt. De absorptiecoëfficiënten  $\mu_{MW}$  van MILDwave werden ingeschat op basis van de relatie tussen de absorptiecoëfficiënten  $\mu_{BW}$  en  $\mu_{MW}$  voor de haven van Oostende.

Volgende gevoeligheidsanalyses werden uitgevoerd:

1. Wijziging van de extrapolatie factor. Er bleek dat verhoging van deze factor geen merkbaar verschil teweeg brengt in de resultaten van het 2DH model met structuren en bathymetrie van het uiteindelijk model van de haven;
2. Variatie van de breedte van de haveningang. Niet opnemen van de hellingen van de havendammen in de bathymetrie heeft invloed op de haveningangbreedte. Wijzigen van de haveningangbreedte van 760m naar 720m heeft echter een verwaarloosbare invloed op het golfklimaat in de interessegebieden;
3. Variatie van de golfrichting aan de ingang van de haven. Golfrichting NNW aan de haveningang blijkt voor de grootste golfindringing in de oude haven te zorgen en dus ook in de interessegebieden. Deze golfrichting werd dan ook toegepast voor de eindresultaten;
4. Effect van kortkruinige golven. Uit de vergelijking tussen langkruinige en kortkruinige modelresultaten bleek dat het effect van kortkruinige golven niet te verwaarlozen is;
5. Invloed van de vaargeul op het golfklimaat in de haven. De invloed van de vaargeul op het golfklimaat in de oude haven is over het algemeen een daling van de golfhoogte in de interessegebieden. Dit effect is kleiner in geval van kortkruinige golven maar nog steeds niet te verwaarlozen.
6. De invloed van de golfbreking op het golfklimaat in de haven is zeer groot, zeker in geval van langkruinige golven. Dit is vooral ten gevolge van de invloed van de vaargeul, waar door refractie convergentie van golfenergie optreedt.
7. Omdat de vaargeul ook een invloed heeft op de golfrichting aan de ingang van de haven werden golfrichtingen (offshore van de vaargeul) NNW,  $-17^\circ\text{N}$ ,  $-12^\circ\text{N}$ ,  $-6^\circ\text{N}$  en N met elkaar vergeleken. Het bleek dat de golfrichting  $-17^\circ\text{N}$  offshore van de vaargeul voor de meest nadelige golfindringing zorgt tot aan de Vandammesluis. Het verschil met richting NNW is echter minder groot in geval van kortkruinige golven.

Een goede overeenkomst van de golfindringingscoëfficiënt  $K_d$  werd waargenomen tussen beide numerieke modellen Mike 21 BW en MILDwave onderling voor het model zonder vaargeul. De vaargeul blijkt echter wel een verschillende invloed te hebben op het golfklimaat in beide typen modellen. Dit suggereert dat de vaargeul een niet-lineaire invloed uitoefent op het golfklimaat of dat hier de verschillende werking van de golfbrekingsmodule van beide modellen naar boven komt.

Van alle fysische modellen was het model van Wens en Verbist (1985b) meest geschikt voor validatie van het Mike 21BW model inclusief vaargeul. De verschillen in bathymetrie bleken echter toch nog te groot om een mooie overeenkomst tussen fysisch en numeriek model te kunnen verwachten. Door het feit dat enkel langkruinige en regelmatige golven zijn gemodelleerd, wordt elk effect van de verschillen in bathymetrie tussen NM en FM uitvergroot omdat alle golfenergie in één richting en één frequentie is geconcentreerd. Beide modellen tonen wel een vrij goede overeenkomst wat betreft de relatieve evolutie over de verschillende golfrichtingen in het Wielingendok, wat mogelijk op een gunstige validatie van de diffractie van het numeriek model kan wijzen.

Uit validatie van het model met en zonder vaargeul met een natuurmeting blijkt dat het model met vaargeul en kortkruinige golven algemeen de betere overeenkomsten vertoont. De vorm van de spectra in de haven komt niet goed overeen met de natuurmeting. De hoofdredenen zijn dat het spectrum buiten de haven al verschillend is en dat de golfrichting in de natuurmeting verschillend is voor andere golfperiodes. Om een betrouwbaardere validatie te bekomen, zouden daarentegen meerdere "extreme" metingen gemodelleerd moeten worden.

Voor de modellering van de lokale windgolven werd een SWAN model opgesteld. De resultaten van dit model zijn belangrijk voor de meest landwaartse gedeelten van de haven (Prins Albert I-dok, Visartsluis en het toekomstig SHIP-dok), want weinig golfenergie van de golfpenetratie komt daar nog toe (nog geen 5%).

Het eindresultaat werd gegeven voor de 1000-jarige storm en de +7.90m TAW superstorm aan de hand van minimale en maximale significante golfhoogten per kaaimuurzone. Dit zowel voor de golfindringing en lokale windgolven afzonderlijk als gesuperponeerd met elkaar. Voor de kaaimuurzone naast de Vandammesluis werd het model aangepast zodat op deze locatie enkel de inkomende golfhoogte werd bekomen. Voor de andere kaaimuurzones is de golfindringing verwaarloosbaar t.o.v. de lokale golfgeneratie zodat dergelijke oefening voor die kaaimuurzones niet noodzakelijk was. Omdat in het SWAN model geen reflectie werd gemodelleerd, komt ook uit dit model enkel de inkomende golfhoogte zodat de gesuperponeerde golfhoogten de inkomende significante golfhoogten voorstellen.

Om de significante golfhoogte te bekomen als input voor bijvoorbeeld overslagberekeningen, is het toch nog aangeraden deze te bepalen aan de hand van een expert judgement van de resultaten, bv. indien de randvoorwaarden op richtingsafhankelijke resultaten gebaseerd dient te worden. Er dient ook nog rekening gehouden te worden met onzekerheden.

## 7 Data bronnen

Afdeling Kust (2011a). Plan met streefdieptes voor de jachthaven in de haven van Zeebrugge. *zeebrugge in wgs84 utm31.dwg*

Afdeling Kust (2011b). *Verzameling van gescande plannen inclusief dwarsdoorsneden van kaaimuren en glooiingen van het Prins Albert I dok (jachthaven van Zeebrugge).*

Afdeling Maritieme Toegang (2011a). Plan met streefdieptes voor de economische gedeelten van de haven van Zeebrugge. *1M2B6MA00005300\_final\_for\_distribution\_v2000.dwg*

Afdeling Maritieme Toegang (2011b). Plan met streefdieptes voor de vaargeulen. *Vaargeulen-1M2B6MA00002300\_final.pdf*

Afdeling Maritieme Toegang (2011c). *Verzameling van gescande plannen inclusief dwarsdoorsneden van de havendammen, kaaimuren en glooiingen rondom de haven van Zeebrugge (economische gedeelten van de haven).*

Waterbouwkundig Laboratorium (2011a). Plan met geometrie en bathymetrie buiten- en binnengaats van de haven van Zeebrugge. *dieptelijnen\_schaalmodel\_uitgedund\_jan2010\_V-20101110+Nwe-Havendammen+kopOost+Haven-op+8m+or.dwg*

Waterbouwkundig Laboratorium (2011b). Plan met kruinpeilen langsheen het tracé van de kaaimuren en andere structuren grenzend aan het water. *Brugge - Zeebrugge2010\_opgekuist.dwg*

## 8 Referenties

- Afdeling Kust (2010). "Digitaal maandrapport meetnet Vlaamse banken". <http://www.meetnetvlaamsebanken.be/Default.aspx?Page=MonthlyReports&L=en>
- Afdeling Kust (2012). "Verslag vergadering 25 januari 2012: Voortgangsoverleg extreem golfklimaat in de kusthavens: Blankenberge en Zeebrugge."
- Beltrami, G. M., De Girolamo, P., Pellegrini, G (2003). "Influence of Dredged Channels on Wave Penetration into Harbours: The Malamocco Inlet Case." Coastal Structures.
- Booij, N.; Ris, R.C.; Holthuijsen, L.H. (1999). "A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation." J. Geoph. Research, Vol. 104, pp.7649-7666
- Brorsen M., Helm-Petersen J. (1998). "On the reflection of short-crested waves in numerical models"
- Brorsen M., (2000). "Reflection of short-crested waves from thin sponge layers in numerical models"
- Caspeele, R. (2006). "Generatie van onregelmatige lang- en kortkruinige golven in een numeriek model voor golfvoortplanting: implementatie, validatie en toepassing". Master thesis. Universiteit Gent.
- DHI (2009). "Mike 21 BW: Boussinesq Waves Module User Guide."
- DIWASP (2011), a directional wave spectra toolbox for MATLAB®: User Manual. Research Report WP-1601-DJ (V1.1), Centre for Water Research, University of Western Australia.
- Dujardin, A.; Vanlede, J.; De Maerschalck, B.; Mostaert, F. (2011). "Verbetering numeriek instrumentarium Zeebrugge: Deelrapport 3 - Stromingsmodel met verfijnd rekenrooster voor Zeebrugge en de Pas van het Zand." Versie 2\_0. WL Rapporten, 753\_08. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Goda Y. (2010). "Random Seas and Design of Maritime Structures". Advanced Series on Ocean Engineering, Vol 33.
- Graré, W.; Roovers, P. (1978). "Groot diffractiemodel. Uitbouw voorhaven Zeebrugge." WL Rapporten, MOD. 381-2. Waterbouwkundig Laboratorium: Borgerhout, België.
- Gruwez, V.; Bolle, A.; Suzuki, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2011). "Numerieke modellering van het extreem golfklimaat in de Belgische havens. Deel 1: Haven van Oostende." Versie 2\_0. WL Rapporten, 769\_03. Waterbouwkundig Laboratorium & IMDC (I/RA/11273/11.113/VGR).
- IMDC (2011a). "Golfmetingen in de havens van Nieuwpoort, Blankenberge en Zeebrugge." In opdracht van Afdeling Kust. I/RA/11348/11.084/SDO
- IMDC (2012). "11273 – golfklimaat havens: stuurgroepvergadering 5". Verslag vergadering, ref.: I/VV/11273/11273/12.060/VGR, 28/02/2012.
- Jensen M.S. (2004). "Breaking of waves over a Steep Bottom Slope". Doctoraatsthesis. Aalborg University.
- Klopman G. en van der Meer J. W (1999). "Random Wave Measurement in Front of Reflective Structures." Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering.
- Li, Y. S., Liu, S. X., Wai, O. W. H., Yu, Y. X (2000). "Wave Concentration by a Navigation Channel." Applied Ocean Research Vol. 27.
- Madsen, P.A.; Murray R.; Sørensen, O.R. (1991). "A new form of the Boussinesq equations with improved dispersion characteristics." Coastal Engineering, Vol. 15, pp. 371-388.
- Madsen, P.A.; Sørensen, O.R. (1992). "A new form of the Boussinesq equations with improved dispersion characteristics. Part 2. A slowly-varying bathymetry." Coastal Engineering, Vol. 18, pp. 183-204.

- Misra, S.K.; Driscoll, A.M.; Kirby, J.T.; Cornett, A.; Lomonaco, P.; Sayao, O. en Yavary, M. (2008). "Surface gravity wave interactions with deep-draft navigation channels: physical and numerical modeling case studies", ICCE 2008.
- Radder, A.C. and Dingemans, M.W. (1985). "Canonical equations for almost periodic, weakly nonlinear gravity waves." *Wave Motion*, Vol. 7, pp. 473-485.
- Technum, IMDC en Alkyon (2002). "Structureel herstel van de kustverdediging te Oostende en verbetering van de haventoeegang naar de haven van Oostende: Hydrodynamische randvoorwaarden voor het ontwerp. Waterstanden en golfklimaat". 26-30070-200/SR002
- Troch, P. (1998). "MILDwave – A numerical model for propagation and transformation of linear water waves." Intern rapport, AWW-UGent.
- Thompson E.F., Chen H.S., Hadley L.L. (1996). "Validation of numerical model for wind waves and swell in harbors". JoWPCaOE
- Tritel (2011). "Het strategisch haveninfrastructuurproject (SHIP) in de westelijke achterhaven van Zeebrugge. Kennisgeving Project-MER 'SHIP en kruisende infrastructuur'." In opdracht van Afdeling Maritieme Toegang. 5244-501-019-04 Kennisgeving projectMER SHIP.
- TU Delft (2010). "SWAN (Simulating WAVes Nearshore); a third generation wave model" Copyright © 1993-2011, Delft University of Technology.
- UGent (2011). "Overtopping Binnenhaven Oostende. Proeven Wandelaarkaai: Deel Overtopping. Schaal 1/20." Rapport OBO277/006 DRAFT.
- van der Meer, J.W.; Langenberg, J.W.; Breteler, M.K.; Hurdle, D.P.; den Heijer, F. (2002). "Wave boundary conditions and overtopping in complex areas." *Coastal Engineering*, 2002, pp. 2092-2104
- Verwaest, T.; Van Poucke, Ph.; Vanderkimpen, P.; Van der Biest, K.; Reyns, J.; Peeters, P.; Kellens W.; Vanneuville, W.; Mostaert, F. (2008). "Overstromingsrisico's aan de Vlaamse kust: Evaluatie van de zeevering. Deel 1: Methodologie." WL Rapporten, 718/2A. Waterbouwkundig Laboratorium & Universiteit Gent & Soresma-Haecon: Borgerhout, België.
- Victor, L. (2012). "Optimalisatie van het hydrodynamische gedrag van golfenergieconvertoren gebaseerd op golfoverslag: experimentele studie van optimale geometrie en kansverdeling van overslagvolumes." Doctoraatsthesis, UGent.
- WaveLab (2011). "WaveLab 3.39". Hydraulic and coastal engineering, Aalborg University, 2011.
- Wens, F.; Verbist, F. (1985a). "Golfonderzoek Wielingendok." WL Rapporten, MOD. 437. Waterbouwkundig Laboratorium: Borgerhout, België.
- Wens, F.; Verbist, F. (1985b). "Golfonderzoek Binnenrede Zeebrugge." WL Rapporten, MOD. 437/2. Waterbouwkundig Laboratorium: Borgerhout, België.
- Wens, F.; Verbist, F. (1986). "Golfonderzoek Wielingendok. Bijkomende proeven." WL Rapporten, MOD. 437/3. Waterbouwkundig Laboratorium: Borgerhout, België.
- Wilson, B.W. (1965). "Numerical prediction of ocean waves in the North Atlantic for December, 1959." *Deutsche Hydrographische Z.*, 18(3), 114–130.
- Zanuttigh B., van der Meer J.W. (2006). "Wave reflections from coastal structures." In: Proc. 30th International Conference on Coastal Engineering. ASCE, World Scientific, Singapore, pp. 4337–4349, ISBN-13 978-981-270-636.
- Zwamborn, J. A., Grieve, G (1974). "Wave Attenuation and Concentration Associated with Harbour Approach Channels." 14th International Conference on Coastal Engineering, Copenhagen.

## **Bijlage 1: NOTA HYDRODYNAMISCHE RANDVOORWAARDEN**



## Nota

**Datum:** 21/02/2012  
**Aan:** Waterbouwkundig Laboratorium  
**Auteur:** Vincent Gruwez, Toon Verwaest  
**Documentref:** I/NO/11273/11.341/VGR/ v1.0

---

**Betreft :** 11273 - Hydrodynamische randvoorwaarden voor de golfindringingsmodellen (ZBG en BLK)

---

---

### Inhoudstafel

---

<b>0. INLEIDING</b> .....	<b>2</b>
<b>1. HAVEN VAN ZEEBRUGGE</b> .....	<b>3</b>
1.1 HYDRODYNAMISCHE RANDVOORWAARDEN VOOR T1000.....	3
1.2 HYDRODYNAMISCHE RANDVOORWAARDEN VOOR DE SUPERSTORMEN.....	5
<b>2. HAVEN VAN BLANKENBERGE</b> .....	<b>7</b>
2.1 HYDRODYNAMISCHE RANDVOORWAARDEN VOOR T1000.....	7
2.2 HYDRODYNAMISCHE RANDVOORWAARDEN VOOR DE SUPERSTORMEN.....	9
<b>3. REFERENTIES</b> .....	<b>11</b>

## 0. INLEIDING

In deze nota worden de hydrodynamische randvoorwaarden voor de havens Blankenberge en Zeebrugge bepaald die gebruikt zullen worden voor de golfindringingsmodellen binnen project 11273. Naar analogie met de randvoorwaarden die voor de haven van Oostende werden gebruikt, zijn nodig:

- T1000: de 1000-jarige hydrodynamische randvoorwaarden bepaald op basis van de 98 stormen uit IMDC *et al.* (2004) en IMDC (2008).
- Superstormen: de hydrodynamische randvoorwaarden horende bij de superstormen bepaald voor de risicoberekeningen (Verwaest et al., 2008)

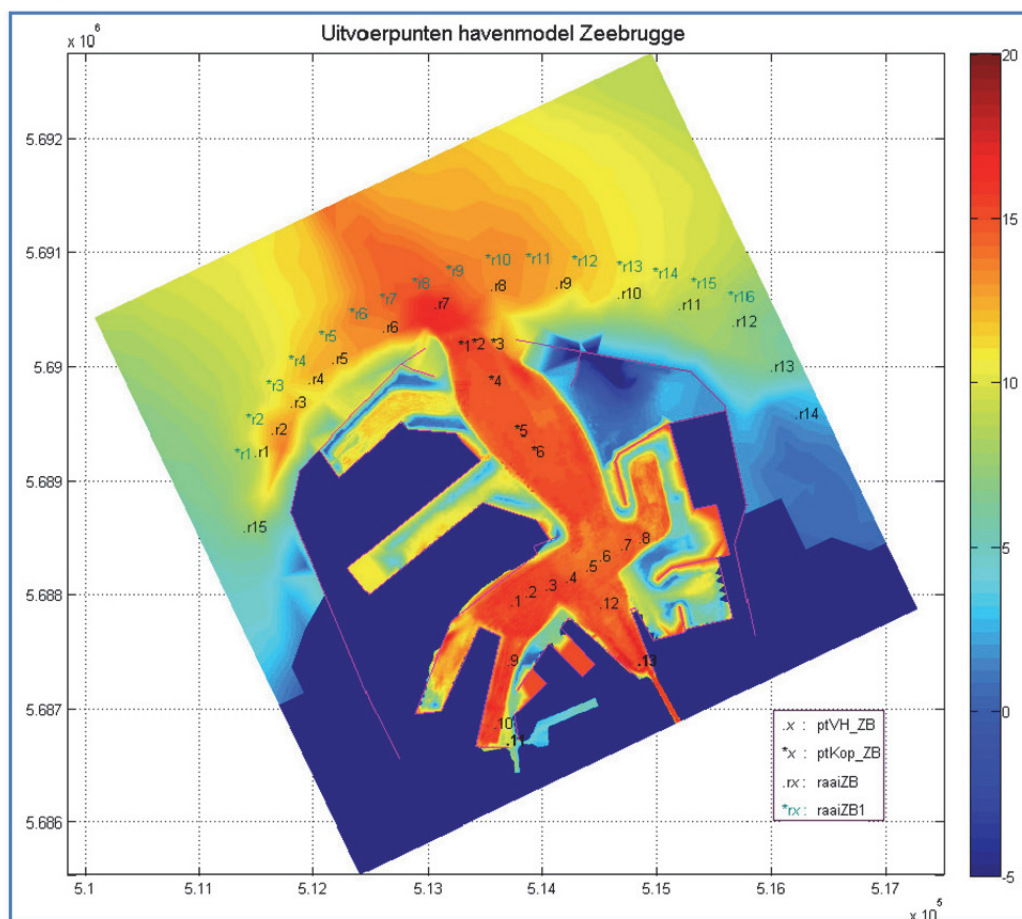


# 1. HAVEN VAN ZEEBRUGGE

## 1.1 HYDRODYNAMISCHE RANDVOORWAARDEN VOOR T1000

IMDC (2008) stelde een SWAN model op om een eerste benadering van de hydraulische randvoorwaarden in de haven te bekomen. 98 extreme condities (cf. Bijlage A) werden daarbij gemodelleerd met gekende kans van voorkomen zodat in elk uitvoerpunt aan de kust of in de havens de extreme waarden curve voor de significante golfhoogte opnieuw opgesteld kon worden. In deze simulaties werd telkens ook uitvoer in punten buiten de haven opgevraagd. Het is één van deze punten die gebruikt zal worden om de hydrodynamische randvoorwaarden voor de golfindringingsmodellen te bepalen.

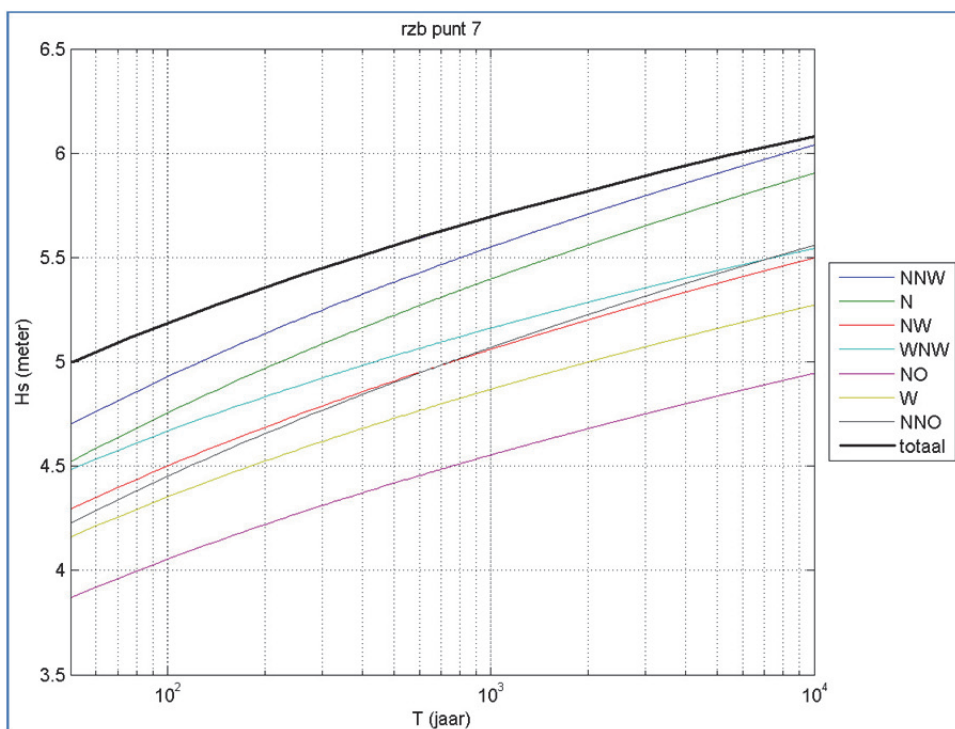
In Figuur 1-1 zijn de beschikbare uitvoerpunten weergegeven.



Figuur 1-1: Bathymetrie en rekengebied van het SWAN nestmodel voor de haven van Zeebrugge met aanduiding van de beschikbare uitvoerpunten (IMDC, 2008).

Punt r7 op raaiZB (cf. Figuur 1-1) wordt gebruikt als referentiepunt voor de randvoorwaarden van de golfindringingsmodellen. Het punt ligt net buiten de ingang van de haven zodat dit punt tegelijk een goede representatie is van de golfcondities die de haven binnenkomen en nog geen invloed van structuren van de haven ondervindt. Het punt ligt bovendien in de vaargeul.

De extreme waarden curve voor de significante golfhoogte in punt r7, opgesteld aan de hand van de 98 stormen volgens de methode beschreven door IMDC (2008), is weergegeven in Figuur 1-2. Zowel de richtingsonafhankelijke curve als de curve voor elke richting is weergegeven.



Figuur 1-2: Significante golfhoogte  $H_s (=H_{m0})$  vs terugkeerperiode  $T$  voor punt r7 (raaiZB).

De richtingsonafhankelijke condities worden gekozen voor de golfindringingsmodellen om te vermijden dat bij elke richtingswijziging de golfcondities gewijzigd moeten worden. Andere golfcondities en waterstand kunnen er immers voor zorgen dat een nieuw rekenrooster opgesteld moet worden en/of dat een nieuwe tijdstap geldt. De richtingsonafhankelijke golfcondities gebruiken is een conservatieve aanname. Uit Figuur 1-2 blijkt dat voor  $T = 1000j$  richting NNW niet veel afwijkt van de richtingsonafhankelijke waarde (resp.  $H_{m0,1000j} = 5.55m$  en  $5.69m$ ), echter richting NW eerder wel ( $H_{m0,1000j,NW} = 5.08m$ ). NNW en NW zijn waarschijnlijk de belangrijkste richtingen voor golfindringing diep in de haven van Zeebrugge.

De richtingsonafhankelijke hydrodynamische randvoorwaarden voor  $T = 1000j$  in punt r7 zijn gegeven in Tabel 1-1. De waterstand in deze tabel is zonder zeespiegelstijging en wordt gegeven door IMDC (2008). Ter vergelijking, de 1000-jarige waterstand zonder zeespiegelrijzing van Oostende is  $6.90mTAW$ . Met een verschil in springtij HW van ongeveer  $0.10m$  tussen Oostende en Zeebrugge is de 1000-jarige waterstand voor Zeebrugge van  $6.81mTAW$  inderdaad een verwachte waarde.

Tabel 1-1: De hydrodynamische condities in punt r7 voor de storm met terugkeerperiode 1000 jaar (IMDC, 2008)

Punt	X <sub>p</sub>	Y <sub>p</sub>	H <sub>m0</sub>	T <sub>p</sub>	SWL	bodem
[-]	[m UTM31 WGS84]	[m UTM31 WGS84]	[m]	[s]	[m TAW]	[m TAW]
r7	513053.000	5690550.000	5.69	11.78	6.81	-16.22

De hydrodynamische randvoorwaarden uit Tabel 1-1 worden afgerond voor gebruik in de golfindringingsmodellen (cf. Tabel 1-2). De waterstand werd daarbij verhoogd met een zeespiegelrijzing van 0.30m voor hoogwater in 50 jaar (2050) (IMDC *et al.*, 2003). Er wordt geen rekening gehouden met een waterstandsverhoging door lange golfoscillaties, buistoten,... . De invloed van de zeespiegelrijzing op de golfcondities wordt verwaarloosd zoals ook werd aangenomen door IMDC (2008).

Tabel 1-2: De richtingsonafhankelijke hydrodynamische condities in punt r7 voor de storm met terugkeerperiode 1000 jaar. Waterstand inclusief zeespiegelstijging en lange golfoscillaties. Waarden bestemd voor de kalibratie van de randvoorwaarden in de golfindringingsmodellen voor Zeebrugge.

Parameter	Waarde
H <sub>m0</sub> [m]	5.70
T <sub>p</sub> [s]	12.0
SWL [m TAW]	+7.10

De randvoorwaarden aan de golfgeneratielij van de golfindringingsmodellen kunnen dan gekalibreerd worden totdat in punt r7 de gewenste 1000-jarige golfcondities uit Tabel 1-2 worden bekomen.

## 1.2 HYDRODYNAMISCHE RANDVOORWAARDEN VOOR DE SUPERSTORMEN

Er is een springtijverschil van 0.10m tussen Oostende en Zeebrugge. Daarom worden de superstormwaterstanden van Oostende met 0.10m verlaagd resulterend in de superstormwaterstanden voor Zeebrugge. Deze waarden zijn zonder zeespiegelrijzing.

Gebruik makend van de resultaten van de golfvoortplantingsmodelleringen van de verschillende superstormen met het swan2D kustzonemodel uitgevoerd in het kader van de risicoberekeningen ter onderbouwing van het kustveiligheidsplan voor wat betreft de variatie van H<sub>m0</sub> met het stormvloedniveau worden de golfrandvoorwaarden voor de verschillende superstormen afgeleid vertrekkende van deze voor de 1000-jarige storm. Dit is consistent met

de werkwijze die aangehouden is voor de haven van Oostende. Voor de golfperiode wordt  $T_p=12s$  aangehouden voor elk van de superstormen (vanwege dezelfde redenen als bij de case Oostende; cf. het hiervoor genoemde rapport Gruwez et al. 2011)

De resulterende hydrodynamische randvoorwaarden voor de superstormen worden gegeven in Tabel 1-3.

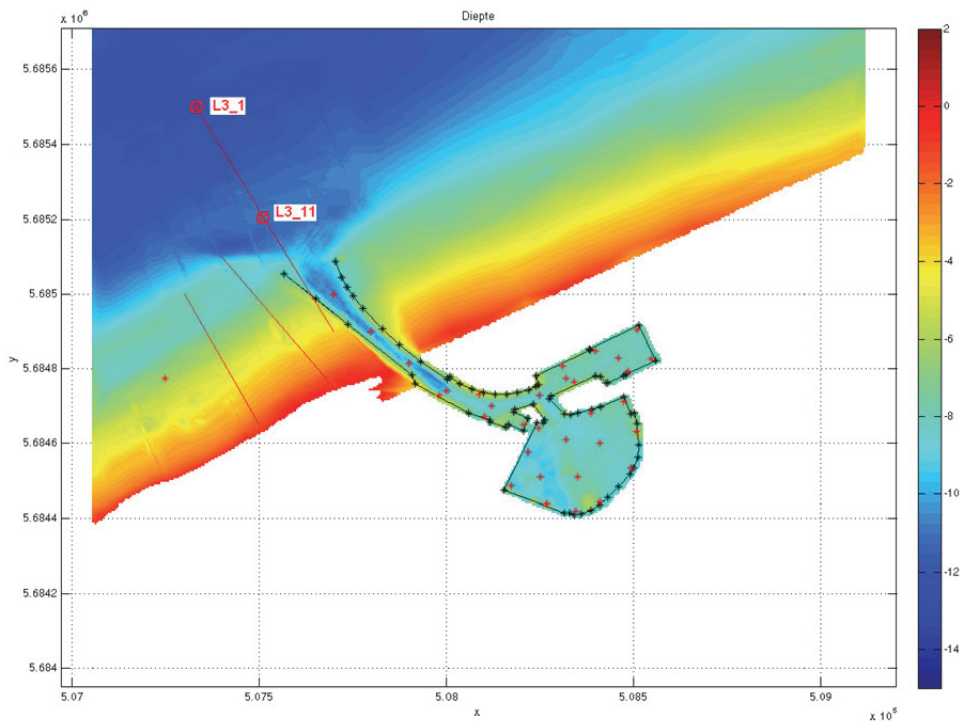
*Tabel 1-3: De hydrodynamische randvoorwaarden van de superstormen voor Zeebrugge.*

SWL [mTAW]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]
+6.40	5,50	12.0
+6.90	5,70	12.0
+7.40	5,90	12.0
+7.90	6,20	12.0

## 2. HAVEN VAN BLANKENBERGE

### 2.1 HYDRODYNAMISCHE RANDVOORWAARDEN VOOR T1000

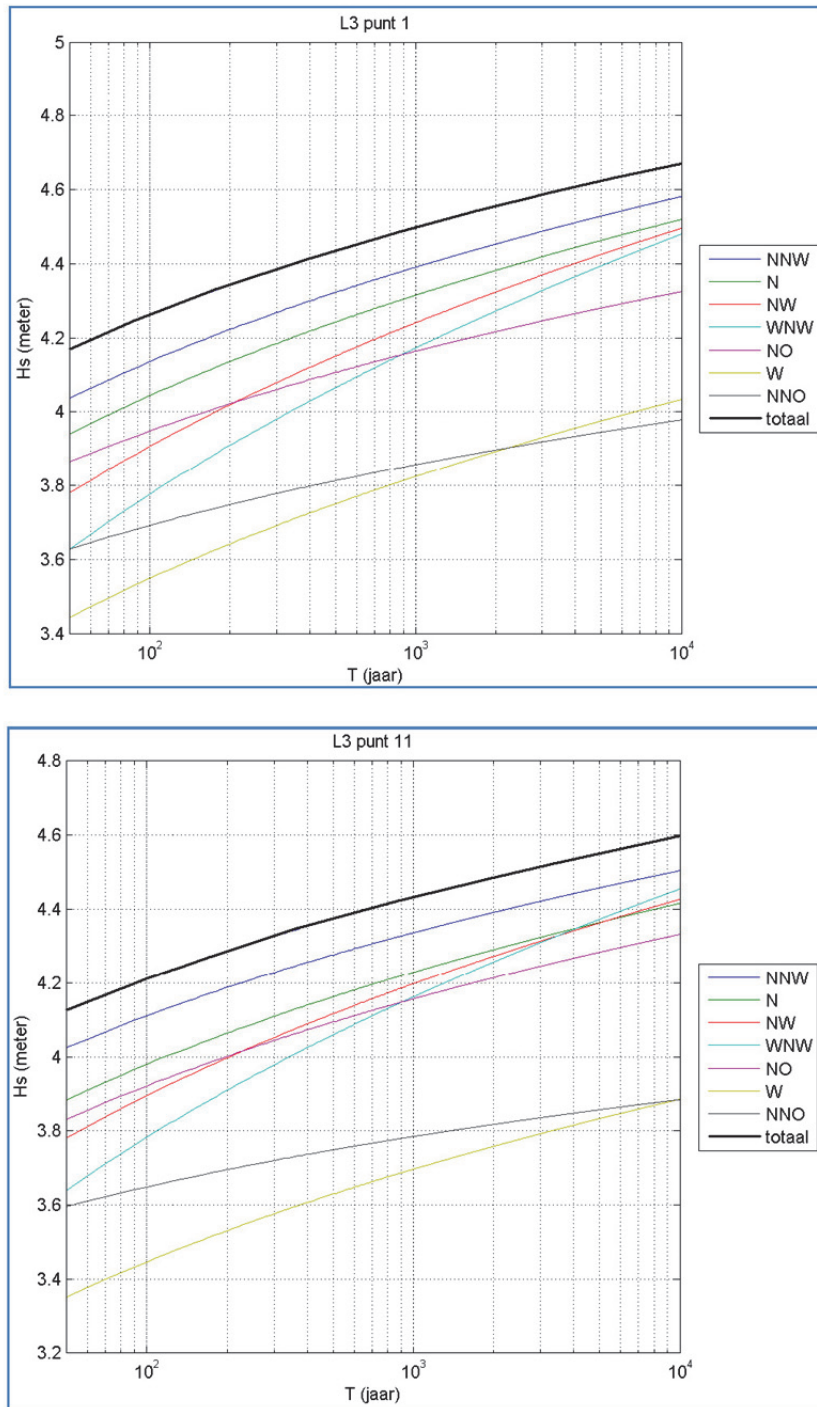
Dezelfde methode wordt gevolgd zoals in §1.1. Ook voor de haven van Blankenberge zijn reeds uitvoerpunten buiten de haven beschikbaar (cf. Figuur 2-1).



*Figuur 2-1: Bathymetrie en rekengebied van het SWAN nestmodel voor de haven van Blankenberge met aanduiding van de beschikbare uitvoerpunten (IMDC, 2008).*

De onderste van de twee cirkel-kruis aanduidingen op de raai die meest zeewaarts reikt (punt L3\_11, cf. Figuur 2-1) wordt gebruikt als referentiepunt voor de randvoorwaarden van de golfindringingsmodellen. Het punt ligt net buiten de ingang van de haven zodat dit punt tegelijk een goede representatie is van de golfcondities die de haven binnenkomen en nog geen invloed van structuren van de haven ondervindt. Het punt wordt vergeleken met het meest offshore punt L3\_1.

De extreme waarden curven voor de significante golfhoogte in beide punten, opgesteld aan de hand van de 98 stormen volgens de methode beschreven door IMDC (2008), zijn weergegeven in Figuur 2-2. Zowel de richtingsonafhankelijke curve als de curve voor elke richting is weergegeven.



Figuur 2-2: Significante golfhoogte  $H_s (=H_{m0})$  vs terugkeerperiode  $T$  voor punt L3\_1 (boven) en L3\_11 (onder).

De condities voor retourperiode 1000 jaar in beide punten zijn gegeven in Tabel 2-1.

Tabel 2-1: De hydrodynamische condities in punten buiten de haven voor de storm met terugkeerperiode 1000 jaar (IMDC, 2008)

Punt	X <sub>p</sub>	Y <sub>p</sub>	H <sub>m0</sub>	T <sub>p</sub>	SWL	bodem
[-]	[m UTM31 WGS84]	[m UTM31 WGS84]	[m]	[s]	[m TAW]	[m TAW]
L3_1	507330.000	5685500.000	4.50	11.81	6.84	-5.70
L3_11	507515.000	5685200.000	4.43	11.77	6.83	-4.58

De golfcondities verschillen weinig in beide punten. Punt L3\_11 wordt gekozen als referentiepunt voor kalibratie van de randvoorwaarden in de golfindringingsmodellen omdat dit punt het dichtst bij de haven ligt zodat de grootte van het rekendomein beperkt kan worden.

De condities werden afgerond en aangepast zoals besproken in §1.1 naar de waarden gegeven in Tabel 2-2.

Tabel 2-2: De richtingsonafhankelijke hydrodynamische condities in punt L3\_11 voor de storm met terugkeerperiode 1000 jaar. Waterstand inclusief zeespiegelstijging en lange golfoscillaties. Waarden bestemd voor de kalibratie van de randvoorwaarden in de golfindringingsmodellen.

Parameter	Waarde
H <sub>m0</sub> [m]	4.50
T <sub>p</sub> [s]	12.0
SWL [m TAW]	+7.10

## 2.2 HYDRODYNAMISCHE RANDVOORWAARDEN VOOR DE SUPERSTORMEN

Omdat Blankenberge nabij Zeebrugge ligt, wordt eenzelfde verschil van 0.10m van het springtij met Oostende ondersteld. De superstormwaterstanden van Zeebrugge gelden dan ook voor Blankenberge. Deze waarden zijn zonder zeespiegelrijzing.

Voor het bepalen van de golfcondities wordt een analoge manier gevolgd als in §1.2.

De resulterende hydrodynamische randvoorwaarden voor de superstormen worden gegeven in Tabel 2-3.

Tabel 2-3: De hydrodynamische randvoorwaarden van de superstormen voor Zeebrugge.

SWL [mTAW]	H <sub>mo</sub> [m]	T <sub>p</sub> [s]
+6.40	4,30	12.0
+6.90	4,50	12.0
+7.40	4,70	12.0
+7.90	5,00	12.0



### 3. REFERENTIES

IMDC, WLH, KUL (2003). Hydraulisch randvoorwaardenboek Vlaamse Kust (2004), I/RA/11226/03041/KTR, in opdracht van Afdeling Kust.

IMDC (2008). Geïntegreerd Kustveiligheidsplan: Leidraad Toetsen 2007, I/RA/11310/07.129/ABO, in opdracht van Afdeling Kust.

Verwaest, T.; Van Poucke, Ph.; Vanderkimpen, P.; Van der Biest, K.; Reyns, J.; Peeters, P.; Kellens W.; Vanneuville, W.; Mostaert, F. (2008). Overstromingsrisico's aan de Vlaamse kust: Evaluatie van de zeewering. Deel 1: Methodologie. WL Rapporten, 718/2A. Waterbouwkundig Laboratorium & Universiteit Gent & Soresma-Haecon: Borgerhout, België.

## **Bijlage A    Randvoorwaarden voor het SWAN model voor de kust**

Tabel A-3-1: Overzicht van de parameters voor de 98 stormen (IMDC et al., 2003).

	<i>Hm0</i> [m]	<i>Tp</i> [s]	<i>Golfrichting</i> [°]	<i>Waterstand</i> [m TAW]	<i>Windsnelheid</i> [m/s]	<i>Windricht.</i> [°N]	<i>Kans p</i> [-]
aNNW	4.507	9.758	333.658	5.62	22.357	337.5	1.957E-06
bNNW	4.763	10.025	333.543	5.76	23.386	337.5	1.097E-06
cNNW	5.019	10.286	333.439	5.91	24.44	337.5	6.019E-07
dNNW	5.276	10.54	333.338	6.07	25.518	337.5	3.237E-07
eNNW	5.536	10.788	333.237	6.22	26.615	337.5	1.708E-07
fNNW	5.793	11.03	333.155	6.39	27.733	337.5	8.855E-08
gNNW	6.05	11.268	333.079	6.56	28.868	337.5	4.514E-08
hNNW	6.305	11.5	332.992	6.73	30.019	337.5	2.264E-08
iNNW	6.566	11.728	332.91	6.9	31.187	337.5	1.119E-08
jNNW	6.828	11.951	332.829	7.08	32.369	337.5	5.446E-09
kNNW	7.093	12.17	332.746	7.27	33.565	337.5	2.614E-09
lNNW	7.362	12.386	332.647	7.45	34.775	337.5	1.238E-09
mNNW	7.636	12.598	332.547	7.64	35.997	337.5	5.785E-10
nNNW	7.911	12.806	332.444	7.84	37.232	337.5	2.670E-10
aN	4.431	9.758	-8.87	5.52	22.303	0	1.420E-06
bN	4.684	10.025	-9.098	5.65	23.409	0	7.892E-07
cN	4.93	10.286	-9.497	5.79	24.534	0	4.308E-07
dN	5.177	10.54	-9.84	5.94	25.677	0	2.312E-07
eN	5.422	10.788	-10.204	6.08	26.835	0	1.222E-07
fN	5.668	11.03	-10.527	6.23	28.007	0	6.366E-08
gN	5.91	11.268	-10.927	6.39	29.192	0	3.271E-08
hN	6.158	11.5	-11.199	6.54	30.39	0	1.659E-08
iN	6.406	11.728	-11.488	6.7	31.599	0	8.312E-09

	<i>Hm0</i> [m]	<i>Tp</i> [s]	<i>Golfrichting</i> [°]	<i>Waterstand</i> [m TAW]	<i>Windsnelheid</i> [m/s]	<i>Windricht.</i> [°N]	<i>Kans p</i> [-]
jN	6.658	11.951	-11.724	6.86	32.819	0	4.116E-09
kN	6.919	12.17	-11.839	7.03	34.048	0	2.016E-09
lN	7.185	12.386	-11.943	7.19	35.287	0	9.768E-10
mN	7.456	12.598	-12.08	7.36	36.536	0	4.684E-10
nN	7.728	12.806	-12.246	7.53	37.792	0	2.224E-10
aNW	4.442	9.758	315.378	6.02	23.494	315	4.044E-07
bNW	4.592	9.919	315.409	6.12	24.116	315	2.556E-07
cNW	4.741	10.078	315.443	6.22	24.728	315	1.617E-07
dNW	4.891	10.234	315.453	6.33	25.331	315	1.023E-07
eNW	5.042	10.388	315.476	6.44	25.925	315	6.483E-08
fNW	5.192	10.54	315.506	6.55	26.512	315	4.110E-08
gNW	5.343	10.689	315.537	6.66	27.091	315	2.608E-08
hNW	5.494	10.837	315.557	6.78	27.664	315	1.655E-08
iNW	5.647	10.982	315.562	6.91	28.231	315	1.051E-08
jNW	5.799	11.126	315.571	7.02	28.791	315	6.682E-09
kNW	5.952	11.268	315.587	7.16	29.346	315	4.249E-09
lNW	6.106	11.408	315.585	7.29	29.896	315	2.703E-09
mNW	6.26	11.546	315.581	7.42	30.441	315	1.720E-09
nNW	6.415	11.683	315.577	7.57	30.98	315	1.095E-09
aWNW	4.287	9.758	298.638	5.69	22.468	292.5	2.375E-06
bWNW	4.589	10.078	298.429	5.79	23.44	292.5	1.375E-06
cWNW	4.883	10.388	298.465	5.9	24.404	292.5	7.949E-07
dWNW	5.177	10.689	298.517	6	25.36	292.5	4.591E-07
eWNW	5.472	10.982	298.577	6.1	26.31	292.5	2.649E-07

	<i>Hm0</i> [m]	<i>Tp</i> [s]	<i>Golfrichting</i> [°]	<i>Waterstand</i> [m TAW]	<i>Windsnelheid</i> [m/s]	<i>Windricht.</i> [°N]	<i>Kans p</i> [-]
fWNW	5.77	11.268	298.596	6.2	27.254	292.5	1.528E-07
gWNW	6.075	11.546	298.541	6.3	28.192	292.5	8.801E-08
hWNW	6.388	11.818	298.382	6.4	29.125	292.5	5.067E-08
iWNW	6.708	12.083	298.218	6.51	30.053	292.5	2.915E-08
jWNW	7.038	12.343	298.073	6.61	30.977	292.5	1.676E-08
kWNW	7.384	12.598	297.882	6.71	31.896	292.5	9.633E-09
lWNW	7.753	12.847	297.595	6.81	32.811	292.5	5.533E-09
mWNW	8.151	13.092	297.24	6.92	33.722	292.5	3.177E-09
nWNW	8.583	13.332	296.86	7.02	34.629	292.5	1.823E-09
aNO	4.235	9.758	31.041	5.24	22.763	45	5.508E-07
bNO	4.5	10.025	31.111	5.32	23.582	45	3.254E-07
cNO	4.776	10.286	31.294	5.4	24.398	45	1.918E-07
dNO	5.064	10.54	31.69	5.48	25.209	45	1.129E-07
eNO	5.402	10.788	32.859	5.57	26.017	45	6.629E-08
fNO	5.752	11.03	33.861	5.65	26.822	45	3.886E-08
gNO	6.102	11.268	34.821	5.73	27.623	45	2.275E-08
hNO	6.469	11.5	35.868	5.81	28.421	45	1.330E-08
iNO	6.838	11.728	36.754	5.89	29.217	45	7.762E-09
jNO	7.192	11.951	37.357	5.98	30.01	45	4.525E-09
kNO	7.548	12.17	37.846	6.06	30.8	45	2.635E-09
lNO	7.924	12.386	38.453	6.14	31.587	45	1.533E-09
mNO	8.322	12.598	39.121	6.23	32.372	45	8.905E-10
nNO	8.742	12.806	39.853	6.31	33.155	45	5.168E-10
aW	4.313	10.286	285.524	5.81	25.776	270	9.188E-07

	<i>Hm0</i> [m]	<i>Tp</i> [s]	<i>Golfrichting</i> [°]	<i>Waterstand</i> [m TAW]	<i>Windsnelheid</i> [m/s]	<i>Windricht.</i> [°N]	<i>Kans p</i> [-]
bW	4.553	10.54	284.986	5.88	26.615	270	5.838E-07
cW	4.793	10.788	284.494	5.96	27.451	270	3.694E-07
dW	5.04	11.03	283.913	6.04	28.284	270	2.329E-07
eW	5.289	11.268	283.328	6.11	29.115	270	1.463E-07
fW	5.534	11.5	282.981	6.19	29.943	270	9.166E-08
gW	5.779	11.728	282.69	6.27	30.768	270	5.724E-08
hW	6.043	11.951	282.118	6.35	31.591	270	3.564E-08
iW	6.324	12.17	281.412	6.43	32.412	270	2.214E-08
jW	6.626	12.386	280.693	6.51	33.23	270	1.371E-08
kW	6.956	12.598	279.732	6.59	34.046	270	8.477E-09
lW	7.305	12.806	278.749	6.67	34.859	270	5.227E-09
mW	7.671	13.011	277.915	6.75	35.671	270	3.216E-09
nW	8.045	13.212	277.151	6.83	36.48	270	1.975E-09
aNNO	4.184	9.758	6.207	5.49	23.693	22.5	5.988E-07
bNNO	4.425	10.025	5.868	5.59	24.602	22.5	3.690E-07
cNNO	4.696	10.286	6.312	5.68	25.499	22.5	2.282E-07
dNNO	4.949	10.54	6.241	5.78	26.387	22.5	1.416E-07
eNNO	5.223	10.788	6.624	5.87	27.264	22.5	8.810E-08
fNNO	5.48	11.03	6.553	5.97	28.134	22.5	5.497E-08
gNNO	5.736	11.268	6.445	6.06	28.995	22.5	3.438E-08
hNNO	5.998	11.5	6.377	6.15	29.849	22.5	2.155E-08
iNNO	6.268	11.728	6.443	6.25	30.696	22.5	1.354E-08
jNNO	6.545	11.951	6.519	6.34	31.536	22.5	8.519E-09
kNNO	6.825	12.17	6.559	6.43	32.371	22.5	5.372E-09

IMDC nv

Hydrodynamische randvoorwaarden voor de golfindringingsmodellen (ZBG en BLK)

	<i>Hm0</i> [m]	<i>Tp</i> [s]	<i>Golfrichting</i> [°]	<i>Waterstand</i> [m TAW]	<i>Windsnelheid</i> [m/s]	<i>Windricht.</i> [°N]	<i>Kans p</i> [-]
INNO	7.117	12.386	6.705	6.52	33.2	22.5	3.393E-09
mNNO	7.456	12.598	7.527	6.61	34.023	22.5	2.146E-09
nNNO	7.64	12.806	6.129	6.71	36.274	22.5	1.360E-09

## Bijlage 2: OVERZICHT REFLECTIECOEFFICIENTEN en absorptiecoëfficiënten

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de reflectiecoëfficiënten gebruikt in elk model en de corresponderende absorptiecoëfficiënten  $\mu_{BW}$  die per gemodelleerde waterstand in het Boussinesq model Mike 21 BW werden toegepast.

In Mike 21 BW is de absorptiecoëfficiënt  $\mu_{BW} = 1/\mu$  terwijl dit  $\mu_{MW} = \mu$  is in MILDwave, vandaar dat in Mike 21 BW de absorptiecoëfficiënt groter is dan één en in MILDwave kleiner dan 1 (cf. §3.1.8).

Tabel 0-1: Reflectiecoëfficiënten van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +7.90m TAW samen met de corresponderende absorptiecoëfficiënten  $\mu_{BW}$  toegepast in het Mike 21 BW model.

plannr	naam	tan( $\alpha$ )	bodempeil	waterdiepte	$\xi_{n-1,0}$	kruin	vrijboord	wandtype	$C_r$	$\mu_{BW}=1/\mu$
[-]	[-]	[-]	[m TAW]	[m]	[-]	[m TAW]	[m]	[-]	[-]	[-]
1 DEST5245	Havendam west aanl	2/3	-5.10	13.00	3.80	10.09	2.19	Antifer betonblokken	0.366	1.13360
2 DEST5245	Havendam west na knik (loef)	2/3	-5.10	13.00	3.80	10.09	2.19	Antifer betonblokken	0.366	1.13360
3 DEST5245	Havendam west kop (loef)	1/2	-4.00	11.90	2.85	10.09	2.19	Antifer betonblokken	0.290	1.17326
4 DEST5245	Havendam west kop (lei)	1/2	-3.10	11.00	4.82	10.09	2.19	Antifer betonblokken	0.439	1.10497
5 DEST5245	Havendam west mini-kop (loef)	1/2	-2.20	10.10	4.82	10.09	2.19	HARO betonblokken	0.439	1.07215
6 DEST5245	Havendam west na knik (lei)	2/3	-0.23	8.13	9.08	10.09	2.19	rots	0.770	1.01523
7 DEST5245	WD (einde): glooiing met berm	2/5	-0.23	8.13	5.45	8.11	0.21	vlak met berm	0.481	1.06269
8 WD-01	WD: kaaimuur	vert	-10.23	18.13	-	8.00	0.10	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
9 WD-01	WD: kaaimuur	vert	-13.23	21.13	-	8.00	0.10	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
10 DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	8.51	4.28	9.11	1.21	HARO betonblokken	0.401	1.08108
11 DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	8.51	5.99	9.11	1.21	HARO betonblokken	0.515	1.05584
12 AD-01	Albertldok: kaaimuur	vert	-16.03	23.93	-	8.00	0.10	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
13 AD-01	Albertldok (einde): kaaimuur	vert	-15.73	23.63	-	8.00	0.10	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
14 AD-01	Albertldok: kaaimuur	vert	-16.23	24.13	-	8.00	0.10	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
15 DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	9.51	5.43	9.11	1.21	HARO betonblokken	0.480	1.06383
16 DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	9.51	4.66	9.11	1.21	HARO betonblokken	0.428	1.07527
17 F_doorsnedes	uitkraging met toren	vert	-1.61	9.51	-	13.00	5.10	vlakke betonnen wand	1.000	1.00000
18 F_doorsnedes	LD1: kaaimuur	vert	-10.70	18.60	-	7.00	-0.90	vlakke betonnen wand	0.785	1.02727
19 F_doorsnedes	LD2: kaaimuur	vert	-9.20	17.10	-	7.00	-0.90	vlakke betonnen wand	0.785	1.02727
20 F_doorsnedes	LD3: kaaimuur	vert	-7.40	15.30	-	7.00	-0.90	vlakke betonnen wand	0.785	1.02727
21 F_doorsnedes	LD4: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.70	-0.20	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
22 B_Plan1	CFTO&W: glooiing met berm (2m op +5.90mTAW))	1/3	-7.20	15.10	9.08	7.90	0.00	metselwerk	0.925	1.00802
23 C_ASBUILT DEEL1	WHW: kaaimuur	vert	-13.20	21.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
24 -	WHN: kaaimuur	vert	-14.20	22.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
25 L_HZ	WHE1: kaaimuur	vert	-14.20	22.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
26 L_HZ	WHE2: kaaimuur	vert	-15.70	23.60	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
27 -	GE2: kaaimuur	vert	-12.50	20.40	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
28 Plan-MER	SHIP: kaaimuur	vert	-12.50	20.40	-	8.00	0.10	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
29 -	glooiing	1/2	-12.50	20.40	30.47	6.90	-1.00	breuksteenmetselwerk	0.800	1.02500
30 1109	Albert I-dok: talud ingang	1/3	-3.70	11.60	-	6.90	-1.00	beton gepenteerde steenslag	-	1.02727
31 168	kielbank met glooiing zonder stormmuur	1/2	-0.20	8.10	-	6.90	-1.00	gemetselde breukstenen	-	1.02727
32 168	kielbank met glooiing met stormmuur	1/2	-0.20	8.10	-	6.90	-1.00	gemetselde breukstenen	-	1.02727
33 151 & 151a	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	11.60	-	6.90	-1.00	vlakke betonnen wand	-	1.02727
34 -	steiger	vert	-3.70	11.60	-	6.90	-1.00	staat waarschijnlijk op palen	-	1.02727
35 152	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	11.60	-	6.90	-1.00	vlakke betonnen wand	-	1.02727
36 1232	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-5.20	13.10	-	6.90	-1.00	vlakke betonnen wand	-	1.02727
37 -	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	11.60	-	6.90	-1.00	vlakke betonnen wand	-	1.02727
38 -	glooiing	1/2	-3.70	11.60	-	6.90	-1.00	getrinite betonblokken	-	1.02727
39 1109	Albert I-dok: talud ingang	1/3	-3.70	11.60	20.31	6.90	-1.00	beton gepenteerde steenslag	0.800	1.02500
40 -	glooiing	1/2	-12.50	20.40	13.63	6.90	-1.00	breuksteenmetselwerk	0.800	1.02500
41 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
42 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
43 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
44 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: muur+steenbestorting?	vert	-0.20	8.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.500	1.05874
45 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	muur?	vert	-0.20	8.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00000
46 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
47 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
48 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	+ 1/?	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand + betonnen helling	0.750	1.03293
49 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
50 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
51 -	Zweedse kaai: kaaimuur	vert	-15.20	23.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
52 20_05-300	VandammeSluis: kaaimuur+stormmuur	vert	-15.20	23.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.950	1.00503
53 20_05-300	VandammeSluis: sluisdeur	vert	-15.20	23.10	-	8.90	1.00	vlakke wand	1.000	1.00000
54 -	Oostelijke geleidingskaai	vert	-15.20	23.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
55 -	Hermeskaai: kaaimuur	vert	-8.20	16.10	-	7.90	0.00	vlakke betonnen wand	0.925	1.00802
56 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	Hermespijler: muur+glooiing	+ 1/?	-0.20	8.10	-	7.90	0.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.500	1.05874
57 -	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	8.10	4.23	7.90	0.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.472	1.06383
58 A_zsb	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	8.10	5.98	7.90	0.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.604	1.04167
59 -	Sea-Ro: glooiing	2/3	-0.20	8.10	9.08	8.00	0.10	stortsteen bekleding (stenen)	0.770	1.01523
60 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	8.10	6.81	7.40	-0.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.657	1.03093
61 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	8.10	6.81	7.90	0.00	stortsteen bekleding (stenen) + berm	0.657	1.03093
62 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1a	1/2	-0.20	8.10	6.81	7.90	0.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.657	1.03093
63 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1b	1/2	-0.20	8.10	9.63	7.90	0.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.791	1.01010
64 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	8.10	12.85	7.60	-0.30	stortsteen bekleding (stenen)	0.884	1.05003
65 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	8.10	12.85	7.60	-0.30	stortsteen bekleding (stenen)	0.884	1.05003
66 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	8.10	6.27	7.90	0.00	Antifer betonblokken	0.532	1.05263
67 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	8.10	7.42	7.90	0.00	Antifer betonblokken	0.595	1.04167
68 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost mini-kop	1/2	-0.50	8.40	3.32	7.90	0.00	Antifer betonblokken	0.329	1.09890
69 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (lei)	2/3	-1.00	8.90	7.42	10.09	2.19	rots	0.691	1.02564
70 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost kop	1/2	-4.70	12.60	2.85	10.09	2.19	Antifer betonblokken	0.290	1.17326
71 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (loef)	2/3	-4.60	12.50	3.80	10.09	2.19	Antifer betonblokken	0.366	1.13362



Tabel 0-2: Reflectiecoëfficiënten van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +7.10m TAW (aangenomen voor +7.10m TAW en +7.40m TAW) samen met de corresponderende absorptiecoëfficiënten  $\mu_{sw}$  toegepast in het Mike 21 BW model.

plannr	naam	tan( $\alpha$ )	bodempcil		$\zeta_{m-1,0}$	kruin	vrijboord wandtype		$C_r$	$\mu_{sw}=1/\mu$	
			[m TAW]	[m]			[m TAW]	[m]			
1	DEST5245	Havendam west aanl	2/3	-5.10	12.20	3.80	10.09	2.99	Antifer betonblokken	0.37	1.13636
2	DEST5245	Havendam west na knik (loef)	2/3	-5.10	12.20	3.80	10.09	2.99	Antifer betonblokken	0.37	1.13636
3	DEST5245	Havendam west kop (loef)	1/2	-4.00	11.10	2.85	10.09	2.99	Antifer betonblokken	0.29	1.17647
4	DEST5245	Havendam west kop (lei)	1/2	-3.10	10.20	4.82	10.09	2.99	Antifer betonblokken	0.44	1.07527
5	DEST5245	Havendam west mini-kop (loef)	1/2	-2.20	9.30	4.82	10.09	2.99	HARO betonblokken	0.44	1.07527
6	DEST5245	Havendam west na knik (lei)	2/3	-0.23	7.33	9.08	10.09	2.99	rots	0.77	1.01523
7	DEST5245	WD (einde): glooiing met berm	2/5	-0.23	7.33	5.45	8.11	1.01	vlak met berm	0.48	1.06383
8	WD-01	WD: kaaimuur	vert	-10.23	17.33	-	8.00	0.90	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
9	WD-01	WD: kaaimuur	vert	-13.23	20.33	-	8.00	0.90	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
10	DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	7.71	4.28	9.11	2.01	HARO betonblokken	0.40	1.08108
11	DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	7.71	5.99	9.11	2.01	HARO betonblokken	0.52	1.05263
12	AD-01	Albertldok: kaaimuur	vert	-16.03	23.13	-	8.00	0.90	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
13	AD-01	Albertldok (einde): kaaimuur	vert	-15.73	22.83	-	8.00	0.90	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
14	AD-01	Albertldok: kaaimuur	vert	-16.23	23.33	-	8.00	0.90	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
15	DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	8.71	5.43	9.11	2.01	HARO betonblokken	0.48	1.06383
16	DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	8.71	4.66	9.11	2.01	HARO betonblokken	0.43	1.07527
17	F_doorsnedes	uitkraging met toren	vert	-1.61	8.71	-	13.00	5.90	vakke betonnen wand	1.00	1.00000
18	F_doorsnedes	LD1: kaaimuur	vert	-10.70	17.80	-	7.00	-0.10	vakke betonnen wand	0.90	1.01010
19	F_doorsnedes	LD2: kaaimuur	vert	-9.20	16.30	-	7.00	-0.10	vakke betonnen wand	0.90	1.01010
20	F_doorsnedes	LD3: kaaimuur	vert	-7.40	14.50	-	7.00	-0.10	vakke betonnen wand	0.90	1.01010
21	F_doorsnedes	LD4: kaaimuur	vert	-7.20	14.30	-	7.70	0.60	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
22	B_Plan1	CFTO&W: glooiing met berm (2m op +5.90mTAW))	1/3	-7.20	14.30	9.08	7.90	0.80	metselwerk	1.00	1.00503
23	C_ASBUIT DEEL1	WHW: kaaimuur	vert	-13.20	20.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
24	-	WHN: kaaimuur	vert	-14.20	21.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
25	L_HZ	WHE1: kaaimuur	vert	-14.20	21.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
26	L_HZ	WHE2: kaaimuur	vert	-15.70	22.80	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
27	-	GE2: kaaimuur	vert	-12.50	19.60	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
28	Plan-MER	SHIP: kaaimuur	vert	-12.50	19.60	-	8.00	0.90	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
29	-	glooiing	1/2	-12.50	19.60	30.47	6.90	-0.20	breuksteenmetselwerk	1.00	1.01010
30	1109	Albert I-dok: talud ingang	1/3	-3.70	10.80	-	6.90	-0.20	beton gepenetreerde steenslag	-	1.01010
31	168	kielbank met glooiing zonder stormmuur	1/2	-0.20	7.30	-	6.90	-0.20	gemetselde breukstenen	-	1.01010
32	168	kielbank met glooiing met stormmuur	1/2	-0.20	7.30	-	6.90	-0.20	gemetselde breukstenen	-	1.01010
33	151 & 151a	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	10.80	-	6.90	-0.20	vakke betonnen wand	-	1.01010
34	-	steiger	vert	-3.70	10.80	-	6.90	-0.20	staat waarschijnlijk op palen	-	1.01010
35	152	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	10.80	-	6.90	-0.20	vakke betonnen wand	-	1.01010
36	1232	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-5.20	12.30	-	6.90	-0.20	vakke betonnen wand	-	1.01010
37	-	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	10.80	-	6.90	-0.20	vakke betonnen wand	-	1.01010
38	-	glooiing	1/2	-3.70	10.80	-	6.90	-0.20	getrilde betonblokken	-	1.01010
39	1109	Albert I-dok: talud ingang	1/3	-3.70	10.80	20.31	6.90	-0.20	beton gepenetreerde steenslag	1.00	1.01010
40	-	glooiing	1/2	-12.50	19.60	13.63	6.90	-0.20	breuksteenmetselwerk	1.00	1.01010
41	Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	14.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
42	Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	14.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
43	Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	14.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
44	Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: muur+steenbestorting?	vert	-0.20	7.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.60	1.04167
45	Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	muur?	vert	-0.20	7.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.95	1.00000
46	MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
47	MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
48	MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	: + 1/?	-7.20	14.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand + betonnen helling	0.80	1.02564
49	MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
50	MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
51	-	Zweedse kaai: kaaimuur	vert	-15.20	22.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
52	20_05-300	VandammeSluis: kaaimuur+stormmuur	vert	-15.20	22.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.98	1.00150
53	20_05-300	VandammeSluis: sluisdeur	vert	-15.20	22.30	-	8.90	1.80	vakke wand	1.00	1.00000
54	-	Oostelijke geleidingskaai	vert	-15.20	22.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
55	-	Hermeskaai: kaaimuur	vert	-8.20	15.30	-	7.90	0.80	vakke betonnen wand	0.97	1.00301
56	Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	Hermespiet: muur+glooiing	: + 1/?	-0.20	7.30	-	7.90	0.80	stortsteen bekleding (stenen)	0.60	1.04167
57	-	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.30	4.23	7.90	0.80	stortsteen bekleding (stenen)	0.47	1.06383
58	A_Zsb	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.30	5.98	7.90	0.80	stortsteen bekleding (stenen)	0.60	1.04167
59	-	Sea-Ro: glooiing	2/3	-0.20	7.30	9.08	8.00	0.90	stortsteen bekleding (stenen)	0.77	1.01523
60	ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.30	6.81	7.40	0.30	stortsteen bekleding (stenen)	0.66	1.03093
61	ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.30	6.81	7.90	0.80	stortsteen bekleding (stenen) + berm	0.66	1.03093
62	ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1a	1/2	-0.20	7.30	6.81	7.90	0.80	stortsteen bekleding (stenen)	0.66	1.03093
63	ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1b	1/2	-0.20	7.30	9.63	7.90	0.80	stortsteen bekleding (stenen)	0.79	1.01010
64	ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	7.30	12.85	7.60	0.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.88	1.00503
65	ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	7.30	12.85	7.60	0.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.88	1.00503
66	ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	7.30	6.27	7.90	0.80	Antifer betonblokken	0.53	1.05263
67	ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	7.30	7.42	7.90	0.80	Antifer betonblokken	0.60	1.04167
68	ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost mini-kop	1/2	-0.50	7.60	3.32	7.90	0.80	Antifer betonblokken	0.33	1.09890
69	ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (lei)	2/3	-1.00	8.10	7.42	10.09	2.99	rots	0.69	1.02564
70	ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost kop	1/2	-4.70	11.80	2.85	10.09	2.99	Antifer betonblokken	0.29	1.17647
71	ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (loef)	2/3	-4.60	11.70	3.80	10.09	2.99	Antifer betonblokken	0.37	1.12994

Tabel 0-3: Reflectiecoëfficiënten van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +6.90m TAW samen met de corresponderende absorptiecoëfficiënten  $\mu_{BW}$  toegepast in het Mike 21 BW model.

plannr	naam	tan( $\alpha$ )	bodempeil	waterdiepte	$\xi_{n=1,0}$	kruin	vrijboord	wandtype	$C_r$	$\mu_{BW}=1/\mu$
[-]	[-]	[-]	[m TAW]	[m]	[-]	[m TAW]	[m]	[-]	[-]	[-]
1 DEST5245	Havendam west aanl	2/3	-5.10	12.00	3.80	10.09	3.19	Antifer betonblokken	0.366	1.13360
2 DEST5245	Havendam west na knik (loef)	2/3	-5.10	12.00	3.80	10.09	3.19	Antifer betonblokken	0.366	1.13360
3 DEST5245	Havendam west kop (loef)	1/2	-4.00	10.90	2.85	10.09	3.19	Antifer betonblokken	0.290	1.17326
4 DEST5245	Havendam west kop (lei)	1/2	-3.10	10.00	4.82	10.09	3.19	Antifer betonblokken	0.439	1.10497
5 DEST5245	Havendam west mini-kop (loef)	1/2	-2.20	9.10	4.82	10.09	3.19	HARO betonblokken	0.439	1.07215
6 DEST5245	Havendam west na knik (lei)	2/3	-0.23	7.13	9.08	10.09	3.19	rots	0.770	1.01523
7 DEST5245	WD (einde): glooiing met berm	2/5	-0.23	7.13	5.45	8.11	1.21	vlak met berm	0.481	1.06269
8 WD-01	WD: kaaimuur	vert	-10.23	17.13	-	8.00	1.10	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
9 WD-01	WD: kaaimuur	vert	-13.23	20.13	-	8.00	1.10	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
10 DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	7.51	4.28	9.11	2.21	HARO betonblokken	0.401	1.08108
11 DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	7.51	5.99	9.11	2.21	HARO betonblokken	0.515	1.05584
12 AD-01	Albertildok: kaaimuur	vert	-16.03	22.93	-	8.00	1.10	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
13 AD-01	Albertildok (einde): kaaimuur	vert	-15.73	22.63	-	8.00	1.10	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
14 AD-01	Albertildok: kaaimuur	vert	-16.23	23.13	-	8.00	1.10	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
15 DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	8.51	5.43	9.11	2.21	HARO betonblokken	0.480	1.06383
16 DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	8.51	4.66	9.11	2.21	HARO betonblokken	0.428	1.07527
17 F_doorsnedes	uitkraging met toren	vert	-1.61	8.51	-	13.00	6.10	vlakke betonnen wand	1.000	1.00000
18 F_doorsnedes	LD1: kaaimuur	vert	-10.70	17.60	-	7.00	0.10	vlakke betonnen wand	0.925	1.00806
19 F_doorsnedes	LD2: kaaimuur	vert	-9.20	16.10	-	7.00	0.10	vlakke betonnen wand	0.925	1.00806
20 F_doorsnedes	LD3: kaaimuur	vert	-7.40	14.30	-	7.00	0.10	vlakke betonnen wand	0.925	1.00806
21 F_doorsnedes	LD4: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.70	0.80	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
22 B_Plan1	CFTO&W: glooiing met berm (2m op +5.90m TAW))	1/3	-7.20	14.10	9.08	7.90	1.00	metselwerk	0.674	1.00802
23 C_ASBUILT DEEL1	WHW: kaaimuur	vert	-13.20	20.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
24 -	WHN: kaaimuur	vert	-14.20	21.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
25 L_HZ	WHE1: kaaimuur	vert	-14.20	21.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
26 L_HZ	WHE2: kaaimuur	vert	-15.70	22.60	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
27 -	GE2: kaaimuur	vert	-12.50	19.40	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
28 Plan-MER	SHIP: kaaimuur	vert	-12.50	19.40	-	8.00	1.10	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
29 -	glooiing	1/2	-12.50	19.40	30.47	6.90	0.00	breuksteenmetselwerk	1.000	1.02500
30 1109	Albert I-dok: talud ingang	1/3	-3.70	10.60	-	6.90	0.00	beton gepenetreerde steenslag	-	1.00802
31 168	kielbank met glooiing zonder stormmuur	1/2	-0.20	7.10	-	6.90	0.00	gemetselde breukstenen	-	1.00802
32 168	kielbank met glooiing met stormmuur	1/2	-0.20	7.10	-	6.90	0.00	gemetselde breukstenen	-	1.00802
33 151 & 151a	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	10.60	-	6.90	0.00	vlakke betonnen wand	-	1.00802
34 -	steiger	vert	-3.70	10.60	-	6.90	0.00	staat waarschijnlijk op palen	-	1.00802
35 152	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	10.60	-	6.90	0.00	vlakke betonnen wand	-	1.00802
36 1232	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-5.20	12.10	-	6.90	0.00	vlakke betonnen wand	-	1.00802
37 -	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	10.60	-	6.90	0.00	vlakke betonnen wand	-	1.00802
38 -	glooiing	1/2	-3.70	10.60	-	6.90	0.00	getrilde betonblokken	-	1.00802
39 1109	Albert I-dok: talud ingang	1/3	-3.70	10.60	20.31	6.90	0.00	beton gepenetreerde steenslag	1.000	1.02500
40 -	glooiing	1/2	-12.50	19.40	13.63	6.90	0.00	breuksteenmetselwerk	1.000	1.02500
41 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
42 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
43 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
44 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: muur+steenbestorting?	vert	-0.20	7.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	0.600	1.05874
45 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	muur?	vert	-0.20	7.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00000
46 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
47 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
48 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	t + 1/?	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand + betonnen helling	0.850	1.03293
49 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
50 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
51 -	Zweedse kaai: kaaimuur	vert	-15.20	22.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
52 20_05-300	VandammeSluis: kaaimuur+stormmuur	vert	-15.20	22.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00503
53 20_05-300	VandammeSluis: sluisdeur	vert	-15.20	22.10	-	8.90	2.00	vlakke wand	1.000	1.00000
54 -	Oostelijke geleidingskaai	vert	-15.20	22.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
55 -	Hermeskaai: kaaimuur	vert	-8.20	15.10	-	7.90	1.00	vlakke betonnen wand	1.000	1.00802
56 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	Hermespiet: muur+glooiing	t + 1/?	-0.20	7.10	-	7.90	1.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.600	1.05874
57 -	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.10	4.23	7.90	1.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.472	1.06383
58 A_Zsb	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.10	5.98	7.90	1.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.604	1.04167
59 -	Sea-Ro: glooiing	2/3	-0.20	7.10	9.08	8.00	1.10	stortsteen bekleding (stenen)	0.770	1.01523
60 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.10	6.81	7.40	0.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.657	1.03093
61 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.10	6.81	7.90	1.00	stortsteen bekleding (stenen) + berm	0.657	1.03093
62 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1a	1/2	-0.20	7.10	6.81	7.90	1.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.657	1.03093
63 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1b	1/2	-0.20	7.10	9.63	7.90	1.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.791	1.01010
64 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	7.10	12.85	7.60	0.70	stortsteen bekleding (stenen)	0.884	1.00503
65 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	7.10	12.85	7.60	0.70	stortsteen bekleding (stenen)	0.884	1.00503
66 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	7.10	6.27	7.90	1.00	Antifer betonblokken	0.532	1.05263
67 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	7.10	7.42	7.90	1.00	Antifer betonblokken	0.595	1.04167
68 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost mini-kop	1/2	-0.50	7.40	3.32	7.90	1.00	Antifer betonblokken	0.329	1.09890
69 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (lei)	2/3	-1.00	7.90	7.42	10.09	3.19	rots	0.691	1.02564
70 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost kop	1/2	-4.70	11.60	2.85	10.09	3.19	Antifer betonblokken	0.290	1.17326
71 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (loef)	2/3	-4.60	11.50	3.80	10.09	3.19	Antifer betonblokken	0.366	1.13362

Tabel 0-4: Reflectiecoëfficiënten van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +2.00m TAW samen met de corresponderende absorptiecoëfficiënten  $\mu_{BW}$  toegepast in het Mike 21 BW model.

plannr	naam	tan( $\alpha$ )	bodempeil	waterdiepte	$\xi_{m=1,0}$	kruin	vrijboord	wandtype	$C_r$	$\mu_{BW}=1/\mu$
[#]	[#]	[#]	[m TAW]	[m]	[#]	[m TAW]	[m]	[#]	[#]	[#]
1 DEST5245	Havendam west aanl	2/3	-5.10	7.10	5.86	10.09	8.09	Antifer betonblokken	0.51	1.05820
2 DEST5245	Havendam west na knik (loef)	2/3	-5.10	7.10	5.86	10.09	8.09	Antifer betonblokken	0.51	1.05820
3 DEST5245	Havendam west kop (loef)	1/2	-4.00	6.00	4.40	10.09	8.09	Antifer betonblokken	0.41	1.08108
4 DEST5245	Havendam west kop (lei)	1/2	-3.10	5.10	7.42	10.09	8.09	Antifer betonblokken	0.60	1.04167
5 DEST5245	Havendam west mini-kop (loef)	1/2	-2.20	4.20	7.42	10.09	8.09	HARO betonblokken	0.60	1.04167
6 DEST5245	Havendam west na knik (lei)	2/3	-0.23	2.23	14.00	10.09	8.09	rots	0.91	1.00100
7 DEST5245	WD (einde): glooiing met berm	2/5	-0.23	2.23	8.40	8.11	6.11	vlak met berm	0.64	1.03093
8 WD-01	WD: kaaimuur	vert	-10.23	12.23	-	8.00	6.00	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
9 WD-01	WD: kaaimuur	vert	-13.23	15.23	-	8.00	6.00	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
10 DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	2.61	6.60	9.11	7.11	HARO betonblokken	0.55	1.04712
11 DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	2.61	9.23	9.11	7.11	HARO betonblokken	0.68	1.02564
12 AD-01	Albertldok: kaaimuur	vert	-16.03	18.03	-	8.00	6.00	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
13 AD-01	Albertldok (einde): kaaimuur	vert	-15.73	17.73	-	8.00	6.00	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
14 AD-01	Albertldok: kaaimuur	vert	-16.23	18.23	-	8.00	6.00	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
15 DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	3.61	8.37	9.11	7.11	HARO betonblokken	0.64	1.03093
16 DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	3.61	7.18	9.11	7.11	HARO betonblokken	0.58	1.04167
17 F_doorsnedes	uitkraging met toren	vert	-1.61	3.61	-	13.00	11.00	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
18 F_doorsnedes	LD1: kaaimuur	vert	-10.70	12.70	-	7.00	5.00	vlakke betonnen wand	0.90	1.01010
19 F_doorsnedes	LD2: kaaimuur	vert	-9.20	11.20	-	7.00	5.00	vlakke betonnen wand	0.90	1.01010
20 F_doorsnedes	LD3: kaaimuur	vert	-7.40	9.40	-	7.00	5.00	vlakke betonnen wand	0.90	1.01000
21 F_doorsnedes	LD4: kaaimuur	vert	-7.20	9.20	-	7.70	5.70	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
22 B_Plan1	CFTO&W: glooiing met berm (2m op +5.90mTAW)	1/3	-7.20	9.20	14.00	7.90	5.90	metselwerk	1.00	1.00001
23 C_ASBUIT DEEL1	WHW: kaaimuur	vert	-13.20	15.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
24	WHN: kaaimuur	vert	-14.20	16.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
25 I_HZ	WHE1: kaaimuur	vert	-14.20	16.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
26 I_HZ	WHE2: kaaimuur	vert	-15.70	17.70	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
27 -	GE2: kaaimuur	vert	-12.50	14.50	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
28 Plan-MER	SHIP: kaaimuur	vert	-12.50	14.50	-	8.00	6.00	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
29 -	glooiing	1/2	-12.50	14.50	46.95	6.90	4.90	breuksteenmetselwerk	1.00	1.00100
30 1109	Albert I-dok: talud ingang	1/3	-3.70	5.70	-	6.90	4.90	beton gepenetreerde steenslag	-	1.00100
31 168	kielbank met glooiing zonder stormmuur	1/2	-0.20	2.20	-	6.90	4.90	gemetselde breukstenen	-	1.00100
32 168	kielbank met glooiing met stormmuur	1/2	-0.20	2.20	-	6.90	4.90	gemetselde breukstenen	-	1.00100
33 151 & 151a	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	5.70	-	6.90	4.90	vlakke betonnen wand	-	1.00100
34 -	steiger	vert	-3.70	5.70	-	6.90	4.90	staat waarschijnlijk op palen	-	1.00100
35 152	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	5.70	-	6.90	4.90	vlakke betonnen wand	-	1.00100
36 1232	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-5.20	7.20	-	6.90	4.90	vlakke betonnen wand	-	1.00100
37 -	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	5.70	-	6.90	4.90	vlakke betonnen wand	-	1.00100
38	glooiing	1/2	-3.70	5.70	-	6.90	4.90	getrilde betonblokken	-	1.00100
39 1109	Albert I-dok: talud ingang	1/3	-3.70	5.70	31.30	6.90	4.90	beton gepenetreerde steenslag	1.00	1.00001
40 -	glooiing	1/2	-12.50	14.50	21.00	6.90	4.90	breuksteenmetselwerk	1.00	1.00001
41 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	9.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
42 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	9.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
43 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	9.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
44 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: muur+steenbestorting?	vert	-0.20	2.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
45 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	muur?	vert	-0.20	2.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
46 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	9.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
47 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	9.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
48 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	t + 1/?	-7.20	9.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand + betonnen helling	1.00	1.00001
49 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	9.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
50 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	9.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
51 -	Zweedse kaai: kaaimuur	vert	-15.20	17.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
52 20_05-300	VandammeSluis: kaaimuur+stormmuur	vert	-15.20	17.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
53 20_05-300	VandammeSluis: sluisdeur	vert	-15.20	17.20	-	8.90	6.90	vlakke wand	1.00	1.00001
54 -	Oostelijke geleidingskaai	vert	-15.20	17.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
55 -	Hermeskaai: kaaimuur	vert	-8.20	10.20	-	7.90	5.90	vlakke betonnen wand	1.00	1.00001
56 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	Hermes pier: muur+glooiing	t + 1/?	-0.20	2.20	-	7.90	5.90	stortsteen bekleding (stenen)	1.00	1.00001
57 -	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	2.20	6.51	7.90	5.90	stortsteen bekleding (stenen)	0.64	1.03093
58 A_Zsrb	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	2.20	9.21	7.90	5.90	stortsteen bekleding (stenen)	0.77	1.01523
59 -	Sea-Ro: glooiing	2/3	-0.20	2.20	14.00	8.00	6.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.91	1.00100
60 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	2.20	10.50	7.40	5.40	stortsteen bekleding (stenen)	0.82	1.01010
61 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	2.20	10.50	7.90	5.90	stortsteen bekleding (stenen) + berm	0.82	1.01010
62 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1a	1/2	-0.20	2.20	10.50	7.90	5.90	stortsteen bekleding (stenen)	0.82	1.01010
63 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1b	1/2	-0.20	2.20	14.85	7.90	5.90	stortsteen bekleding (stenen)	0.92	1.00100
64 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	2.20	19.80	7.60	5.60	stortsteen bekleding (stenen)	0.97	1.00100
65 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	2.20	19.80	7.60	5.60	stortsteen bekleding (stenen)	0.97	1.00100
66 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	2.20	9.66	7.90	5.90	Antifer betonblokken	0.70	1.02564
67 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	2.20	11.43	7.90	5.90	Antifer betonblokken	0.76	1.01523
68 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost mini-kop	1/2	-0.50	2.50	5.12	7.90	5.90	Antifer betonblokken	0.46	1.06383
69 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (lei)	2/3	-1.00	3.00	11.43	10.09	8.09	rots	0.85	1.00503
70 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost kop	1/2	-4.70	6.70	4.40	10.09	8.09	Antifer betonblokken	0.41	1.07527
71 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (loef)	2/3	-4.60	6.60	5.86	10.09	8.09	Antifer betonblokken	0.51	1.05263

Tabel 0-5: Reflectie- en transmissiecoëfficiënten  $C_r$  en  $C_t$  van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +6.40m TAW toegepast in het SWAN model.

plannr	naam	tan( $\alpha$ )	bodempeil	waterdiepte	$\xi_{n-1,0}$	kruin	vrijboord	wandtype	$C_r$	$C_t$
[-]	[-]	[-]	[m TAW]	[m]	[-]	[m TAW]	[m]	[-]	[-]	[-]
1 DEST5245	Havendam west aanl	2/3	-5.10	11.50	2.27	10.09	3.69	Antifer betonblokken	0.24	0.00
2 DEST5245	Havendam west na knik (loef)	2/3	-5.10	11.50	2.27	10.09	3.69	Antifer betonblokken	0.24	0.00
3 DEST5245	Havendam west kop (loef)	1/2	-4.00	10.40	1.70	10.09	3.69	Antifer betonblokken	0.19	0.00
4 DEST5245	Havendam west kop (lei)	1/2	-3.10	9.50	1.70	10.09	3.69	Antifer betonblokken	0.19	0.00
5 DEST5245	Havendam west mini-kop (loef)	1/2	-2.20	8.60	1.70	10.09	3.69	HARO betonblokken	0.19	0.00
6 DEST5245	Havendam west na knik (lei)	2/3	-0.23	6.63	2.27	10.09	3.69	rots	0.28	0.00
7 DEST5245	WD (einde): glooiing met berm	2/5	-0.23	6.63	1.36	8.11	1.71	vlak met berm	0.16	0.00
8 WD-01	WD: kaaimuur	vert	-10.23	16.63	-	8.00	1.60	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
9 WD-01	WD: kaaimuur	vert	-13.23	19.63	-	8.00	1.60	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
10 DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	7.01	2.27	9.11	2.71	HARO betonblokken	0.24	0.00
11 DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	7.01	2.27	9.11	2.71	HARO betonblokken	0.24	0.00
12 AD-01	Albertldok: kaaimuur	vert	-16.03	22.43	-	8.00	1.60	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
13 AD-01	Albertldok (einde): kaaimuur	vert	-15.73	22.13	-	8.00	1.60	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
14 AD-01	Albertldok: kaaimuur	vert	-16.23	22.63	-	8.00	1.60	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
15 DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	8.01	2.27	9.11	2.71	HARO betonblokken	0.24	0.00
16 DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	8.01	2.27	9.11	2.71	HARO betonblokken	0.24	0.00
17 F_doorsnedes	uitkraging met toren	vert	-1.61	8.01	-	13.00	6.60	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
18 F_doorsnedes	LD1: kaaimuur	vert	-10.70	17.10	-	7.00	0.60	vlakke betonnen wand	0.80	0.00
19 F_doorsnedes	LD2: kaaimuur	vert	-9.20	15.60	-	7.00	0.60	vlakke betonnen wand	0.80	0.00
20 F_doorsnedes	LD3: kaaimuur	vert	-7.40	13.80	-	7.00	0.60	vlakke betonnen wand	0.80	0.00
21 F_doorsnedes	LD4: kaaimuur	vert	-7.20	13.60	-	7.70	1.30	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
22 B_Plan1	CFTO&W: glooiing met berm (2m op +5.90mTAW))	1/3	-7.20	13.60	1.14	7.90	1.50	metseiwerk	0.19	0.00
23 C_ASBUIT DEEL1	WHW: kaaimuur	vert	-13.20	19.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
24 -	WHN: kaaimuur	vert	-14.20	20.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
25 I_HZ	WHE1: kaaimuur	vert	-14.20	20.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
26 I_HZ	WHE2: kaaimuur	vert	-15.70	22.10	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
27 -	GE2: kaaimuur	vert	-12.50	18.90	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
28 Plan-MER	SHIP: kaaimuur	vert	-12.50	18.90	-	8.00	1.60	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
29 -	glooiing	1/2	-12.50	18.90	1.70	6.90	0.50	breuksteenmetseiwerk	0.33	0.00
30 1109	Albert I-dok: talud ingang	1/3	-3.70	10.10	1.14	6.90	0.50	beton gepenetreerde steenslag	0.19	0.00
31 168	kielbank met glooiing zonder stormmuur	1/2	-0.20	6.60	1.70	6.90	0.50	gemetselde breukstenen	0.60	0.00
32 168	kielbank met glooiing met stormmuur	1/2	-0.20	6.60	1.70	6.90	0.50	gemetselde breukstenen	0.90	0.00
33 151 & 151a	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	10.10	-	6.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
34 -	steiger	vert	-3.70	10.10	-	6.90	0.50	staat waarschijnlijk op palen	0.50	0.50
35 152	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	10.10	-	6.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
36 1232	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-5.20	11.60	-	6.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
37 -	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	10.10	-	6.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
38 -	glooiing	1/2	-3.70	10.10	1.70	6.90	0.50	getrilde betonblokken	0.30	0.00
39 1109	Albert I-dok: talud ingang	1/3	-3.70	10.10	1.14	6.90	0.50	beton gepenetreerde steenslag	0.19	0.00
40 -	glooiing	1/2	-12.50	18.90	1.70	6.90	0.50	breuksteenmetseiwerk	0.33	0.00
41 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	13.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
42 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	13.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
43 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	13.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
44 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: muur+steenbestorting?	vert	-0.20	6.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
45 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	muur?	vert	-0.20	6.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
46 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	13.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
47 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	13.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
48 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur, einde dok	rt + 1/2	-7.20	13.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand + betonnen helling	0.80	0.00
49 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	13.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
50 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	13.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
51 -	Zweedse kaai: kaaimuur	vert	-15.20	21.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
52 20_05-300	VandammeSluis: kaaimuur+stormmuur	vert	-15.20	21.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
53 20_05-300	VandammeSluis: sluisdeur	vert	-15.20	21.60	-	8.90	2.50	vlakke wand	0.90	0.00
54 -	Oostelijke geleidingskaai	vert	-15.20	21.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
55 -	Hemeskaai: kaaimuur	vert	-8.20	14.60	-	7.90	1.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
56 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	Hemespier: muur+glooiing	rt + 1/2	-0.20	6.60	-	7.90	1.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.60	0.00
57 -	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	6.60	1.70	7.90	1.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
58 A_Zsrb	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	6.60	1.70	7.90	1.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
59 -	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	6.60	2.27	8.00	1.60	stortsteen bekleding (stenen)	0.28	0.00
60 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	6.60	1.70	7.40	1.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
61 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	6.60	1.70	7.90	1.50	stortsteen bekleding (stenen) + berm	0.22	0.00
62 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1a	1/2	-0.20	6.60	1.70	7.90	1.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
63 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1b	1/2	-0.20	6.60	1.70	7.90	1.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
64 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	6.60	2.27	7.60	1.20	stortsteen bekleding (stenen)	0.28	0.00
65 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	6.60	2.27	7.60	1.20	stortsteen bekleding (stenen)	0.28	0.00
66 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	6.60	2.27	7.90	1.50	Antifer betonblokken	0.24	0.00
67 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	6.60	2.27	7.90	1.50	Antifer betonblokken	0.24	0.00
68 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost mini-kop	1/2	-0.50	6.90	1.70	7.90	1.50	Antifer betonblokken	0.19	0.00
69 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (lei)	2/3	-1.00	7.40	2.27	10.09	3.69	rots	0.28	0.00
70 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost kop	1/2	-4.70	11.10	1.70	10.09	3.69	Antifer betonblokken	0.19	0.00
71 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (loef)	2/3	-4.60	11.00	2.27	10.09	3.69	Antifer betonblokken	0.24	0.00

Tabel 0-6: Reflectie- en transmissiecoëfficiënten  $C_r$  en  $C_t$  van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +6.90m TAW toegepast in het SWAN model.

plannr	naam	tan( $\alpha$ )	bodempeil	waterdiepte	$\xi_{m-1,0}$	kruin	vrijboord	wandtype	$C_r$	$C_t$
[-]	[-]	[-]	[m TAW]	[m]	[-]	[m TAW]	[m]	[-]	[-]	[-]
1 DEST5245	Havendam west aanl	2/3	-5.10	12.00	2.27	10.09	3.19	Antifer betonblokken	0.24	0.00
2 DEST5245	Havendam west na knik (loef)	2/3	-5.10	12.00	2.27	10.09	3.19	Antifer betonblokken	0.24	0.00
3 DEST5245	Havendam west kop (loef)	1/2	-4.00	10.90	1.70	10.09	3.19	Antifer betonblokken	0.19	0.00
4 DEST5245	Havendam west kop (lei)	1/2	-3.10	10.00	1.70	10.09	3.19	Antifer betonblokken	0.19	0.00
5 DEST5245	Havendam west mini-kop (loef)	1/2	-2.20	9.10	1.70	10.09	3.19	HARO betonblokken	0.19	0.00
6 DEST5245	Havendam west na knik (lei)	2/3	-0.23	7.13	2.27	10.09	3.19	rots	0.28	0.00
7 DEST5245	WD (einde): glooiing met berm	2/5	-0.23	7.13	1.36	8.11	1.21	vlak met berm	0.16	0.00
8 WD-01	WD: kaaimuur	vert	-10.23	17.13	-	8.00	1.10	vakke betonnen wand	0.90	0.00
9 WD-01	WD: kaaimuur	vert	-13.23	20.13	-	8.00	1.10	vakke betonnen wand	0.90	0.00
10 DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	7.51	2.27	9.11	2.21	HARO betonblokken	0.24	0.00
11 DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	7.51	2.27	9.11	2.21	HARO betonblokken	0.24	0.00
12 AD-01	Albertlido: kaaimuur	vert	-16.03	22.93	-	8.00	1.10	vakke betonnen wand	0.90	0.00
13 AD-01	Albertlido (einde): kaaimuur	vert	-15.73	22.63	-	8.00	1.10	vakke betonnen wand	0.90	0.00
14 AD-01	Albertlido: kaaimuur	vert	-16.23	23.13	-	8.00	1.10	vakke betonnen wand	0.90	0.00
15 DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	8.51	2.27	9.11	2.21	HARO betonblokken	0.24	0.00
16 DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	8.51	2.27	9.11	2.21	HARO betonblokken	0.24	0.00
17 F_doorsnedes	uitkraging met toren	vert	-1.61	8.51	-	13.00	6.10	vakke betonnen wand	0.90	0.00
18 F_doorsnedes	LD1: kaaimuur	vert	-10.70	17.60	-	7.00	0.10	vakke betonnen wand	0.77	0.00
19 F_doorsnedes	LD2: kaaimuur	vert	-9.20	16.10	-	7.00	0.10	vakke betonnen wand	0.77	0.00
20 F_doorsnedes	LD3: kaaimuur	vert	-7.40	14.30	-	7.00	0.10	vakke betonnen wand	0.77	0.00
21 F_doorsnedes	LD4: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.70	0.80	vakke betonnen wand	0.90	0.00
22 B_Plan1	CFTO&W: glooiing met berm (2m op +5.90mTAW))	1/3	-7.20	14.10	1.14	7.90	1.00	metselwerk	0.19	0.00
23 C_ASBUIT DEEL1	WHW: kaaimuur	vert	-13.20	20.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
24 -	WHN: kaaimuur	vert	-14.20	21.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
25 L_HZ	WHE1: kaaimuur	vert	-14.20	21.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
26 L_HZ	WHE2: kaaimuur	vert	-15.70	22.60	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
27 -	GE2: kaaimuur	vert	-12.50	19.40	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
28 Plan-MER	SHIP: kaaimuur	vert	-12.50	19.40	-	8.00	1.10	vakke betonnen wand	0.90	0.00
29 -	glooiing	1/2	-12.50	19.40	1.70	6.90	0.00	breuksteenmetselwerk	0.33	0.00
30 1109	Albert l-dok: talud ingang	1/3	-3.70	10.60	1.14	6.90	0.00	beton gepenetreerde steenslag	0.19	0.00
31 168	kielbank met glooiing zonder stormmuur	1/2	-0.20	7.10	1.70	6.90	0.00	gemetselde breukstenen	0.60	0.00
32 168	kielbank met glooiing met stormmuur	1/2	-0.20	7.10	1.70	6.90	0.00	gemetselde breukstenen	0.90	0.00
33 151 & 151a	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	10.60	-	6.90	0.00	vakke betonnen wand	0.87	0.00
34 -	steiger	vert	-3.70	10.60	-	6.90	0.00	staat waarschijnlijk op palen	0.50	0.50
35 152	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	10.60	-	6.90	0.00	vakke betonnen wand	0.87	0.00
36 1232	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-5.20	12.10	-	6.90	0.00	vakke betonnen wand	0.87	0.00
37 -	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	10.60	-	6.90	0.00	vakke betonnen wand	0.87	0.00
38	glooiing	1/2	-3.70	10.60	1.70	6.90	0.00	getrilde betonblokken	0.30	0.00
39 1109	Albert l-dok: talud ingang	1/3	-3.70	10.60	1.14	6.90	0.00	beton gepenetreerde steenslag	0.19	0.00
40 -	glooiing	1/2	-12.50	19.40	1.70	6.90	0.00	breuksteenmetselwerk	0.33	0.00
41 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
42 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
43 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
44 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: muur+steenbestorting?	vert	-0.20	7.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
45 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	muur?	vert	-0.20	7.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
46 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
47 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
48 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur, einde dok	+ 1/?	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand + betonnen helling	0.80	0.00
49 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
50 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
51 -	Zweedse kaai: kaaimuur	vert	-15.20	22.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
52 20_05-300	VandammeSluis: kaaimuur+stormmuur	vert	-15.20	22.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
53 20_05-300	VandammeSluis: sluisdeur	vert	-15.20	22.10	-	8.90	2.00	vakke wand	0.90	0.00
54 -	Oostelijke geleidingskaai	vert	-15.20	22.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
55 -	Hermeskaai: kaaimuur	vert	-8.20	15.10	-	7.90	1.00	vakke betonnen wand	0.90	0.00
56 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	Hermespier: muur+glooiing	+ 1/?	-0.20	7.10	-	7.90	1.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.60	0.00
57 -	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.10	1.70	7.90	1.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
58 A_Zsrb	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.10	1.70	7.90	1.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
59 -	Sea-Ro: glooiing	2/3	-0.20	7.10	2.27	8.00	1.10	stortsteen bekleding (stenen)	0.28	0.00
60 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.10	1.70	7.40	0.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
61 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.10	1.70	7.90	1.00	stortsteen bekleding (stenen) + berm	0.22	0.00
62 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1a	1/2	-0.20	7.10	1.70	7.90	1.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
63 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1b	1/2	-0.20	7.10	1.70	7.90	1.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
64 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	7.10	2.27	7.60	0.70	stortsteen bekleding (stenen)	0.28	0.00
65 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	7.10	2.27	7.60	0.70	stortsteen bekleding (stenen)	0.28	0.00
66 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	7.10	2.27	7.90	1.00	Antifer betonblokken	0.24	0.00
67 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	7.10	2.27	7.90	1.00	Antifer betonblokken	0.24	0.00
68 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost mini-kop	1/2	-0.50	7.40	1.70	7.90	1.00	Antifer betonblokken	0.19	0.00
69 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (lei)	2/3	-1.00	7.90	2.27	10.09	3.19	rots	0.28	0.00
70 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost kop	1/2	-4.70	11.60	1.70	10.09	3.19	Antifer betonblokken	0.19	0.00
71 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (loef)	2/3	-4.60	11.50	2.27	10.09	3.19	Antifer betonblokken	0.24	0.00

Tabel 0-7: Reflectie- en transmissiecoëfficiënten  $C_r$  en  $C_t$  van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +7.40m TAW toegepast in het SWAN model.

plannr	naam	tan( $\alpha$ )	bodempeil	waterdiepte	$\xi_{n-1,0}$	kruin	vrijboord	wandtype	$C_r$	$C_t$
[-]	[-]	[-]	[m TAW]	[m]	[-]	[m TAW]	[m]	[-]	[-]	[-]
1 DEST5245	Havendam west aanl	2/3	-5.10	12.50	2.27	10.09	2.69	Antifer betonblokken	0.24	0.00
2 DEST5245	Havendam west na knik (loef)	2/3	-5.10	12.50	2.27	10.09	2.69	Antifer betonblokken	0.24	0.00
3 DEST5245	Havendam west kop (loef)	1/2	-4.00	11.40	1.70	10.09	2.69	Antifer betonblokken	0.19	0.00
4 DEST5245	Havendam west kop (lei)	1/2	-3.10	10.50	1.70	10.09	2.69	Antifer betonblokken	0.19	0.00
5 DEST5245	Havendam west mini-kop (loef)	1/2	-2.20	9.60	1.70	10.09	2.69	HARO betonblokken	0.19	0.00
6 DEST5245	Havendam west na knik (lei)	2/3	-0.23	7.63	2.27	10.09	2.69	rots	0.28	0.00
7 DEST5245	WD (einde): glooiing met berm	2/5	-0.23	7.63	1.36	8.11	0.71	vlak met berm	0.16	0.00
8 WD-01	WD: kaaimuur	vert	-10.23	17.63	-	8.00	0.60	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
9 WD-01	WD: kaaimuur	vert	-13.23	20.63	-	8.00	0.60	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
10 DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	8.01	2.27	9.11	1.71	HARO betonblokken	0.24	0.00
11 DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	8.01	2.27	9.11	1.71	HARO betonblokken	0.24	0.00
12 AD-01	Albertlidoek: kaaimuur	vert	-16.03	23.43	-	8.00	0.60	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
13 AD-01	Albertlidoek (einde): kaaimuur	vert	-15.73	23.13	-	8.00	0.60	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
14 AD-01	Albertlidoek: kaaimuur	vert	-16.23	23.63	-	8.00	0.60	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
15 DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	9.01	2.27	9.11	1.71	HARO betonblokken	0.24	0.00
16 DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	9.01	2.27	9.11	1.71	HARO betonblokken	0.24	0.00
17 F_doorsnedes	uitkraging met toren	vert	-1.61	9.01	-	13.00	5.60	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
18 F_doorsnedes	LD1: kaaimuur	vert	-10.70	18.10	-	7.00	-0.40	vlakke betonnen wand	0.83	0.00
19 F_doorsnedes	LD2: kaaimuur	vert	-9.20	16.60	-	7.00	-0.40	vlakke betonnen wand	0.83	0.00
20 F_doorsnedes	LD3: kaaimuur	vert	-7.40	14.80	-	7.00	-0.40	vlakke betonnen wand	0.83	0.00
21 F_doorsnedes	LD4: kaaimuur	vert	-7.20	14.60	-	7.70	0.30	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
22 B_Plan1	CFTO&W: glooiing met berm (2m op +5.90mTAW))	1/3	-7.20	14.60	1.14	7.90	0.50	metselwerk	0.19	0.00
23 C_ASBUIT DEEL1	WHW: kaaimuur	vert	-13.20	20.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
24 -	WHN: kaaimuur	vert	-14.20	21.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
25 I_HZ	WHE1: kaaimuur	vert	-14.20	21.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
26 I_HZ	WHE2: kaaimuur	vert	-15.70	23.10	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
27 -	GE2: kaaimuur	vert	-12.50	19.90	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
28 Plan-MER	SHIP: kaaimuur	vert	-12.50	19.90	-	8.00	0.60	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
29 -	glooiing	1/2	-12.50	19.90	1.70	6.90	-0.50	breuksteenmetselwerk	0.33	0.00
30 1109	Albert l-dok: talud ingang	1/3	-3.70	11.10	1.14	6.90	-0.50	beton gepenetreerde steenslag	0.19	0.00
31 168	kielbank met glooiing zonder stormmuur	1/2	-0.20	7.60	1.70	6.90	-0.50	gemetselde breukstenen	0.60	0.00
32 168	kielbank met glooiing met stormmuur	1/2	-0.20	7.60	1.70	6.90	-0.50	gemetselde breukstenen	0.90	0.00
33 151 & 151a	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	11.10	-	6.90	-0.50	vlakke betonnen wand	0.83	0.00
34 -	steiger	vert	-3.70	11.10	-	6.90	-0.50	staat waarschijnlijk op palen	0.50	0.50
35 152	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	11.10	-	6.90	-0.50	vlakke betonnen wand	0.83	0.00
36 1232	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-5.20	12.60	-	6.90	-0.50	vlakke betonnen wand	0.83	0.00
37 -	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	11.10	-	6.90	-0.50	vlakke betonnen wand	0.83	0.00
38 -	glooiing	1/2	-3.70	11.10	1.70	6.90	-0.50	getrilde betonblokken	0.30	0.00
39 1109	Albert l-dok: talud ingang	1/3	-3.70	11.10	1.14	6.90	-0.50	beton gepenetreerde steenslag	0.19	0.00
40 -	glooiing	1/2	-12.50	19.90	1.70	6.90	-0.50	breuksteenmetselwerk	0.33	0.00
41 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	14.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
42 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	14.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
43 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	14.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
44 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: muur+steenbestorting?	vert	-0.20	7.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
45 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	muur?	vert	-0.20	7.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
46 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
47 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
48 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur, einde dok	t + 1/2	-7.20	14.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand + betonnen helling	0.80	0.00
49 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
50 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	14.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
51 -	Zweedse kaai: kaaimuur	vert	-15.20	22.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
52 20_05-300	VandammeSluis: kaaimuur+stormmuur	vert	-15.20	22.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
53 20_05-300	VandammeSluis: sluisdeur	vert	-15.20	22.60	-	8.90	1.50	vlakke wand	0.90	0.00
54 -	Oostelijke geleidingskaai	vert	-15.20	22.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
55 -	Hermeskaai: kaaimuur	vert	-8.20	15.60	-	7.90	0.50	vlakke betonnen wand	0.90	0.00
56 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	Hermespier: muur+glooiing	t + 1/2	-0.20	7.60	-	7.90	0.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.60	0.00
57 -	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.60	1.70	7.90	0.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
58 A_Zsrb	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.60	1.70	7.90	0.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
59 -	Sea-Ro: glooiing	2/3	-0.20	7.60	2.27	8.00	0.60	stortsteen bekleding (stenen)	0.28	0.00
60 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.60	1.70	7.40	0.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
61 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	7.60	1.70	7.90	0.50	stortsteen bekleding (stenen) + berm	0.22	0.00
62 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1a	1/2	-0.20	7.60	1.70	7.90	0.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
63 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1b	1/2	-0.20	7.60	1.70	7.90	0.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
64 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	7.60	2.27	7.60	0.20	stortsteen bekleding (stenen)	0.28	0.00
65 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	7.60	2.27	7.60	0.20	stortsteen bekleding (stenen)	0.28	0.00
66 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	7.60	2.27	7.90	0.50	Antifer betonblokken	0.24	0.00
67 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	7.60	2.27	7.90	0.50	Antifer betonblokken	0.24	0.00
68 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost mini-kop	1/2	-0.50	7.90	1.70	7.90	0.50	Antifer betonblokken	0.19	0.00
69 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (lei)	2/3	-1.00	8.40	2.27	10.09	2.69	rots	0.28	0.00
70 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost kop	1/2	-4.70	12.10	1.70	10.09	2.69	Antifer betonblokken	0.19	0.00
71 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (loef)	2/3	-4.60	12.00	2.27	10.09	2.69	Antifer betonblokken	0.24	0.00

Tabel 0-8: Reflectie- en transmissiecoëfficiënten  $C_r$  en  $C_t$  van alle structuren in de haven van Zeebrugge voor SWL = +7.90m TAW toegepast in het SWAN model.

plannr	naam	tan( $\alpha$ )	bodempeil	waterdiepte	$\xi_{m-1,0}$	kruin	vrijboord	wandtype	$C_r$	$C_t$
[-]	[-]	[-]	[m TAW]	[m]	[-]	[m TAW]	[m]	[-]	[-]	[-]
1 DEST5245	Havendam west aanl	2/3	-5.10	13.00	2.27	10.09	2.19	Antifer betonblokken	0.24	0.00
2 DEST5245	Havendam west na knik (loef)	2/3	-5.10	13.00	2.27	10.09	2.19	Antifer betonblokken	0.24	0.00
3 DEST5245	Havendam west kop (loef)	1/2	-4.00	11.90	1.70	10.09	2.19	Antifer betonblokken	0.19	0.00
4 DEST5245	Havendam west kop (lei)	1/2	-3.10	11.00	1.70	10.09	2.19	Antifer betonblokken	0.19	0.00
5 DEST5245	Havendam west mini-kop (loef)	1/2	-2.20	10.10	1.70	10.09	2.19	HARO betonblokken	0.19	0.00
6 DEST5245	Havendam west na knik (lei)	2/3	-0.23	8.13	2.27	10.09	2.19	rots	0.28	0.00
7 DEST5245	WD (einde): glooiing met berm	2/5	-0.23	8.13	1.36	8.11	0.21	vlak met berm	0.16	0.00
8 WD-01	WD: kaaimuur	vert	-10.23	18.13	-	8.00	0.10	vakke betonnen wand	0.80	0.00
9 WD-01	WD: kaaimuur	vert	-13.23	21.13	-	8.00	0.10	vakke betonnen wand	0.80	0.00
10 DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	8.51	2.27	9.11	1.21	HARO betonblokken	0.24	0.00
11 DEST5249	Zandopvangkade Noord: golfbreker	2/3	-0.61	8.51	2.27	9.11	1.21	HARO betonblokken	0.24	0.00
12 AD-01	Albertldok: kaaimuur	vert	-16.03	23.93	-	8.00	0.10	vakke betonnen wand	0.80	0.00
13 AD-01	Albertldok (einde): kaaimuur	vert	-15.73	23.63	-	8.00	0.10	vakke betonnen wand	0.80	0.00
14 AD-01	Albertldok: kaaimuur	vert	-16.23	24.13	-	8.00	0.10	vakke betonnen wand	0.80	0.00
15 DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	9.51	2.27	9.11	1.21	HARO betonblokken	0.24	0.00
16 DEST5249	Zandopvangkade Zuid: golfbreker	2/3	-1.61	9.51	2.27	9.11	1.21	HARO betonblokken	0.24	0.00
17 F_doorsnedes	uitkraging met toren	vert	-1.61	9.51	-	13.00	5.10	vakke betonnen wand	0.90	0.00
18 F_doorsnedes	LD1: kaaimuur	vert	-10.70	18.60	-	7.00	-0.90	vakke betonnen wand	0.70	0.00
19 F_doorsnedes	LD2: kaaimuur	vert	-9.20	17.10	-	7.00	-0.90	vakke betonnen wand	0.70	0.00
20 F_doorsnedes	LD3: kaaimuur	vert	-7.40	15.30	-	7.00	-0.90	vakke betonnen wand	0.70	0.00
21 F_doorsnedes	LD4: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.70	-0.20	vakke betonnen wand	0.78	0.00
22 B_Plan1	CFTO&W: glooiing met berm (2m op +5.90m TAW))	1/3	-7.20	15.10	1.14	7.90	0.00	metselwerk	0.19	0.00
23 C_ASBUIT DEEL1	WHW: kaaimuur	vert	-13.20	21.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
24 -	WHN: kaaimuur	vert	-14.20	22.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
25 I_HZ	WHE1: kaaimuur	vert	-14.20	22.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
26 I_HZ	WHE2: kaaimuur	vert	-15.70	23.60	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
27 -	GE2: kaaimuur	vert	-12.50	20.40	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
28 Plan-MER	SHIP: kaaimuur	vert	-12.50	20.40	-	8.00	0.10	vakke betonnen wand	0.80	0.00
29 -	glooiing	1/2	-12.50	20.40	1.70	6.90	-1.00	breuksteenmetselwerk	0.33	0.00
30 1109	Albert I-dok: talud ingang	1/3	-3.70	11.60	1.14	6.90	-1.00	beton gepenetreerde steenslag	0.19	0.00
31 168	kielbank met glooiing zonder stormmuur	1/2	-0.20	8.10	1.70	6.90	-1.00	gemetselde breukstenen	0.50	0.00
32 168	kielbank met glooiing met stormmuur	1/2	-0.20	8.10	1.70	6.90	-1.00	gemetselde breukstenen	0.80	0.00
33 151 & 151a	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	11.60	-	6.90	-1.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
34 -	steiger	vert	-3.70	11.60	-	6.90	-1.00	staat waarschijnlijk op palen	0.70	0.50
35 152	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	11.60	-	6.90	-1.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
36 1232	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-5.20	13.10	-	6.90	-1.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
37 -	kaaimuur + stormmuur (berm)	vert	-3.70	11.60	-	6.90	-1.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
38	glooiing	1/2	-3.70	11.60	1.70	6.90	-1.00	getrilde betonblokken	0.30	0.00
39 1109	Albert I-dok: talud ingang	1/3	-3.70	11.60	1.14	6.90	-1.00	beton gepenetreerde steenslag	0.19	0.00
40 -	glooiing	1/2	-12.50	20.40	1.70	6.90	-1.00	breuksteenmetselwerk	0.33	0.00
41 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
42 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
43 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
44 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	MD2: muur+steenbestorting?	vert	-0.20	8.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
45 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	muur?	vert	-0.20	8.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
46 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
47 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
48 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur, einde dok	+ 1/7	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand + betonnen helling	0.70	0.00
49 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
50 MilitairDok_plan 808	MD1: kaaimuur	vert	-7.20	15.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
51 -	Zweedse kaai: kaaimuur	vert	-15.20	23.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
52 20_05-300	VandammeSluis: kaaimuur+stormmuur	vert	-15.20	23.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
53 20_05-300	VandammeSluis: sluisdeur	vert	-15.20	23.10	-	8.90	1.00	vakke wand	0.80	0.00
54 -	Oostelijke geleidingskaai	vert	-15.20	23.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
55 -	Hermeskaai: kaaimuur	vert	-8.20	16.10	-	7.90	0.00	vakke betonnen wand	0.80	0.00
56 Brugge - Zeebrugge2010_opgekuisd.dwg	Hermespij: muur+glooiing	+ 1/7	-0.20	8.10	-	7.90	0.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.50	0.00
57 -	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	8.10	1.70	7.90	0.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
58 A_Zsrb	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	8.10	1.70	7.90	0.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
59 -	Sea-Ro: glooiing	2/3	-0.20	8.10	2.27	8.00	0.10	stortsteen bekleding (stenen)	0.28	0.00
60 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	8.10	1.70	7.40	-0.50	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
61 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	Sea-Ro: glooiing	1/2	-0.20	8.10	1.70	7.90	0.00	stortsteen bekleding (stenen) + berm	0.22	0.00
62 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1a	1/2	-0.20	8.10	1.70	7.90	0.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
63 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 1-1b	1/2	-0.20	8.10	1.70	7.90	0.00	stortsteen bekleding (stenen)	0.22	0.00
64 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	8.10	2.27	7.60	-0.30	stortsteen bekleding (stenen)	0.28	0.00
65 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	8.10	2.27	7.60	-0.30	stortsteen bekleding (stenen)	0.28	0.00
66 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 4-4	2/3	-0.20	8.10	2.27	7.90	0.00	Antifer betonblokken	0.24	0.00
67 ZBB-553_31-60_002_ZO-dam+LNG	LNG: glooiing 3-3	2/3	-0.20	8.10	2.27	7.90	0.00	Antifer betonblokken	0.24	0.00
68 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost mini-kop	1/2	-0.50	8.40	1.70	7.90	0.00	Antifer betonblokken	0.19	0.00
69 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (lei)	2/3	-1.00	8.90	2.27	10.09	2.19	rots	0.28	0.00
70 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost kop	1/2	-4.70	12.60	1.70	10.09	2.19	Antifer betonblokken	0.19	0.00
71 ZDB-429_31-90_033_NO-dam+kop_oost	Havendam oost (loef)	2/3	-4.60	12.50	2.27	10.09	2.19	Antifer betonblokken	0.24	0.00

## Bijlage 3: INVOER SWAN MODEL

```

$*****HEADING*****
$
PROJ 'zeebrugge' 'ew'
$proto bestand voor de superstormen voor haven zeebrugge met enkel wind
$en zonder reflectie (Cr=0)
$
$*****MODEL INPUT*****
$
SET LEVEL {wst}
SET NAUT
MODE STATIONARY
MODE TWOD
$
CGRID 0 0 0 6300 5100 840 680 CIRCLE 64 0.05 2.49 41
$
INPGRID BOTTOM 0 0 0 1659 1099 5 5 EXC -9
READ BOTTOM -1 '..\..\..\Bathymetry\Bathy_NNW_ew_SWAN_crop.txt' 1 16 FREE
$
$
$BOU SHAPE JON 3.3 PEAK DSPR POWER

$BOU SIDE N      CCW CON PAR {Hm0}          {TPE}          {dir}          {dd}

$BOU SIDE W      CCW CON PAR {Hm0}          {TPE}          {dir}          {dd}

$BOU SIDE E      CCW CON PAR {Hm0}          {TPE}          {dir}          {dd}

$
GEN3 KOMEN AGROW
BREAK CON 1.00 0.73
FRIC JON 0.0670
$
NUM STOPC STAT 50
$
$obstakels (zie SWAN_obst_relcoordn_sorted voor benamingen)
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5786.499 2026.160 5831.421 2298.381
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5831.421 2298.381 5894.909 2434.316
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5894.909 2434.316 6025.651 2577.617
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  6025.651 2577.617 6107.863 2736.372
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  6107.863 2736.372 6231.265 3492.175
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  6231.265 3492.175 6175.611 3797.802
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  6175.611 3797.802 5965.144 4009.367
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5965.144 4009.367 5242.971 4468.652
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5242.971 4468.652 4746.887 4784.15
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5242.971 4468.652 5128.187 4281
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5128.187 4281 5039.133 4196.97
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  6231.265 3492.175 5757.541 3571.406
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5757.541 3571.406 5713.979 3578.692
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5713.979 3578.692 5249.418 3518.484
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5249.418 3518.484 5180.378 3483.909
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5180.378 3483.909 5149.879 3423.274
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5149.879 3423.274 5095.586 3083.457
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5757.541 3571.406 5645.049 2905.427
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5645.049 2905.427 5682.447 2809.935
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5682.447 2809.935 5769.785 2780.642
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5769.785 2780.642 5831.823 2692.335
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5831.823 2692.335 5766.675 2313.472
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5766.675 2313.472 5669.340 2329.339
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5669.34 2329.339 5266.184 2395.063
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5266.184 2395.063 5105.654 2343.34
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5669.340 2329.339 5618.789 2042.054
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5618.789 2042.054 5247.913 2102.550
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5247.913 2102.550 5179.015 2082.200
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5179.015 2082.200 5139.471 1833.413
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5139.471 1833.413 5097.086 1791.885
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5097.086 1791.885 5045.694 1860.743
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5045.694 1860.743 5017.616 1839.739
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5017.616 1839.739 5008.137 1852.044
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  5008.137 1852.044 4896.898 1853.163
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  4896.898 1853.163 4850.189 1869.659
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  4850.189 1869.659 4853.668 1941.643
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  4853.668 1941.643 4811.098 1943.041
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  4811.098 1943.041 4818.474 2179.597
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  4818.474 2179.597 4798.875 2199.574
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  4798.875 2199.574 4778.522 2177.260
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  4778.522 2177.260 4761.235 1597.546
OBST  TRANSM  0      REFL  0      LINE  4761.235 1597.546 4776.711 1485.784
    
```



Numerieke modellering van het extreem golfklimaat in de Belgische havens: Deel 2: Haven van Zeebrugge

OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4776.711	1485.784	4719.408	1478.672
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4719.408	1478.672	4704.983	1599.486
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4704.983	1599.486	4595.094	1603.274
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4595.094	1603.274	4256.166	2347.431
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4256.166	2347.431	4144.267	2283.569
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4144.267	2283.569	4303.077	1870.735
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4303.077	1870.735	4163.500	1815.981
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4163.500	1815.981	4011.371	2206.978
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4011.371	2206.978	3897.896	2139.212
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3897.896	2139.212	3890.007	2119.865
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3890.007	2119.865	3780.577	2053.544
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3780.577	2053.544	3584.044	1932.112
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3780.577	2053.544	3823.152	1946.804
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3823.152	1946.804	3879.176	1968.400
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3879.176	1968.400	3904.976	1903.029
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3904.976	1903.029	3490.932	1741.528
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3490.932	1741.528	3438.468	1543.895
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3438.468	1543.895	3456.889	1512.122
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3456.889	1512.122	3488.684	1505.055
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3488.684	1505.055	3520.792	1528.008
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3520.792	1528.008	3529.505	1558.068
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3529.505	1558.068	3598.436	1618.911
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3598.436	1618.911	4204.349	1618.740
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4204.349	1618.740	4204.492	1520.481
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4204.492	1520.481	3710.321	1519.238
OBST	TRANSM	0.5	REFL	0	LINE	3710.321	1519.238	3628.86	1518.908
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3710.321	1519.238	3659.126	1271.820
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3659.126	1271.820	3466.606	1317.044
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3466.606	1317.044	3492.021	1421.402
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3492.021	1421.402	3476.799	1447.205
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3476.799	1447.205	3437.148	1456.634
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3437.148	1456.634	3407.956	1437.382
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3407.956	1437.382	3289.791	928.861
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3289.791	928.861	3320.440	921.739
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3320.440	921.739	3260.065	661.918
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3260.065	661.918	3342.054	528.762
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3342.054	528.762	3254.777	153.165
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3254.777	153.165	3095.067	190.277
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3095.067	190.277	3087.824	159.107
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3087.824	159.107	3048.862	168.161
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3048.862	168.161	3056.105	199.331
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3056.105	199.331	2997.662	212.911
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2997.662	212.911	2951.637	14.842
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2951.637	14.842	2809.392	47.895
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2809.392	47.895	2992.196	834.589
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2992.196	834.589	3206.997	948.100
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3206.997	948.100	3332.933	1489.472
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3332.933	1489.472	3101.964	1541.393
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3101.964	1541.393	3108.787	1572.198
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3108.787	1572.198	3061.884	1607.409
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3061.884	1607.409	3632.756	2419.413
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3632.756	2419.413	3493.509	2568.052
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3493.509	2568.052	2904.967	2016.669
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2904.967	2016.669	2683.238	2086.500
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2683.238	2086.500	2773.409	2267.301
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2773.409	2267.301	2856.421	2297.860
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2856.421	2297.860	2922.449	2398.604
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2922.449	2398.604	3027.770	2518.423
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3027.770	2518.423	3149.371	2621.786
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3149.371	2621.786	3297.987	2722.539
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3297.987	2722.539	3520.373	2835.264
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3520.373	2835.264	3708.596	2901.301
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3708.596	2901.301	3883.836	2940.458
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3883.836	2940.458	4042.052	2961.766
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4042.052	2961.766	4221.401	2971.161
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4221.401	2971.161	4219.332	3038.910
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4219.332	3038.910	4370.060	3036.972
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4370.060	3036.972	4448.846	3035.837
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4448.846	3035.837	4345.981	3203.029
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4345.981	3203.029	4306.980	3267.282
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4306.980	3267.282	3995.533	3494.007
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3995.533	3494.007	3965.657	3571.915
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3965.657	3571.915	2709.192	3199.371
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2709.192	3199.371	2624.195	3486.325
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2624.195	3486.325	4071.250	3915.819
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4071.250	3915.819	3996.781	4170.622
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3996.781	4170.622	3945.145	4231.893
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3945.145	4231.893	3584.454	4405.466
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3584.454	4405.466	3557.786	4494.699
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3557.786	4494.699	2865.932	4247.141
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2865.932	4247.141	2779.056	4546.007
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2779.056	4546.007	3694.329	4946.984
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3694.329	4946.984	3801.781	4965.429
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3801.781	4965.429	4008.357	4998.855
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4008.357	4998.855	3816.487	4867.458
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3816.487	4867.458	3976.426	4731.286
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	3976.426	4731.286	2587.298	4458.166
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2587.298	4458.166	2483.627	4374.420
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2483.627	4374.420	2408.115	4277.193
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2408.115	4277.193	2361.856	4174.225
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2361.856	4174.225	2335.857	4000.944
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2335.857	4000.944	2316.129	2800.166
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	2316.129	2800.166	2401.656	1816.081
\$ ingang sluiten									
OBST	TRANSM	0	REFL	0	LINE	4746.887	4784.15	4008.357	4998.855

```

$
$
$
$*****MODEL OUTPUT*****
$
OUTPUT OPTIONS TABLE 16 BLOCK 9 6
$
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_xp.blk' LAY-OUT 1 XP
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_yp.blk' LAY-OUT 1 YP
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_dep.blk' LAY-OUT 1 DEP
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_hs.blk' LAY-OUT 1 HS
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_tmm10.blk' LAY-OUT 1 TMM10
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_per.blk' LAY-OUT 1 PER
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_rtp.blk' LAY-OUT 1 RTP
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_tps.blk' LAY-OUT 1 TPS
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_dspr.blk' LAY-OUT 1 DSPR
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_dir.blk' LAY-OUT 1 DIR
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_pdir.blk' LAY-OUT 1 PDIR
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_ubot.blk' LAY-OUT 1 UBOT
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_urms.blk' LAY-OUT 1 URMS
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_dhsign.blk' LAY-OUT 1 DHSIGN
BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD '{ident}_drtm01.blk' LAY-OUT 1 DRTM01
$
$POINTS 'uitptn' FILE '..\..\..\Coordn\uitvoerptn.txt'
$TABLE 'uitptn' NOHEADER '{ident}_uitvoerptn_tbl.swn' XP YP DEP HS RTP &
$ TPS DIR PDIR TM01 TM02 TMM10 WIND
$SPEC 'uitptn' SPEC1D ABS '{ident}_uitvoerptn_spec1D.swn'
$SPEC 'uitptn' SPEC2D ABS '{ident}_uitvoerptn_spec2D.swn'
$
WIND {wvs} {wrs}
COMPUTE
STOP
$

```



**Waterbouwkundig Laboratorium**

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: [waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)

[www.watlab.be](http://www.watlab.be)