

22\_078\_1  
WL rapporten

## Nieuwe Sluis Zeebrugge

Impact nieuwe toegang Jachthaven op  
ontwerp overstromingsmaatregelen

# Nieuwe Sluis Zeebrugge

## Impact nieuwe toegang Jachthaven op ontwerp overstromingsmaatregelen

Vanneste, D.; Verwaest, T; Peeters, P.

### Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.  
De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.  
Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

### Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2022  
D/2022/3241/212

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

**Vanneste, D.; Verwaest, T; Peeters, P.** (2022). Nieuwe Sluis Zeebrugge: Impact nieuwe toegang Jachthaven op ontwerp overstromingsmaatregelen. Versie 3.0. WL Rapporten, 22\_078\_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

### Documentidentificatie

Opdrachtgever:	DMOW, Afdeling Maritieme Toegang	Ref.:	WL2022R22_078_1
Trefwoorden (3-5):	Jachthaven Zeebrugge, stormmuren, golfklimaat, SWAN, Masterplan Kustveiligheid		
Kennisdomeinen:	Kustbescherming > kustveiligheid bij extreme stormen> hydrometeoklimaat extreme stormen > numerieke modelleringen		
Tekst (p.):	19	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur:	Vanneste, D.
---------	--------------

### Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verwaest, T..	Getekend door:Toon Verwaest (Signature) Getekend op:2023-01-09 12:30:10 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed  <i>Toon Verwaest</i>
Projectleider:	Peeters, P.	Getekend door:Patrick Peeters (Signature) Getekend op:2023-01-03 12:18:42 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed  <i>Patrick Peeters</i>

### Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door:Abdelkannm Bellafkih (Sign) Getekend op:2023-01-03 11:30:45 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed  <i>Abdelkannm Bellafkih</i>
-----------------	---------------	--



## Abstract

In het kader van het ontwerp van de Nieuwe Sluis Zeebrugge wordt een verplaatsing van de toegang tot de Jachthaven in noordelijke richting voorgesteld. Vermits dit een eventuele wijziging van het golfklimaat in de Jachthaven met zich mee kan brengen, dewelke reeds gebruikt werd in het ontwerp van de stormmaatregelen rond de Jachthaven in het kader van het Masterplan Kustveiligheid (MPKV), dringt een verificatie van de ontwerprandvoorwaarden zich op.

In deze studie werd het bestaande SWAN model aangepast voor de situatie met toegang tot de Jachthaven (variante OP5g). Uit de simulaties van het golfklimaat blijkt dat de golfhoogte overal afneemt in de situatie met toegang OP5g t.o.v. de situatie van de bestaande haventoeegang, voor een identieke modelopzet in SWAN en dezelfde randvoorwaarden op basis van HR2020.

Wanneer de golven met nieuwe haventoeegang vergeleken worden met de resultaten op basis van voorgaande SWAN modellering (Gruwez *et al.*, 2012), wordt vastgesteld dat een wijziging van de haventoeegang volgens variante OP5g geen nadelige invloed heeft op de randvoorwaarden voor het ontwerp van de stormmuren rond de Jachthaven i.h.k.v. MPKV, opgemaakt in WL-rapport Suzuki *et al.* (2021). Deze ontwerprandvoorwaarden voldoen m.a.w. aan de gestelde veiligheidseisen bij een 1000-jarige storm na wijziging van de haventoeegang volgens variante OP5g.



# Inhoudstafel

Abstract .....	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren .....	VII
1 Context en vraagstelling.....	1
2 Bestaande uitgangspunten voor overstromingsmaatregelen.....	2
2.1 Stormvloedpeil .....	2
2.2 Golfklimaat Jachthaven (algemeen) .....	3
2.3 SWAN modellering golfklimaat Jachthaven .....	5
3 Golfklimaat Jachthaven met toegang Op5g .....	9
3.1 Aanpassingen SWAN model .....	9
3.1.1 SWAN versie .....	9
3.1.2 Bathymetrie en rekenrooster .....	9
3.1.3 Golfreflectie .....	10
3.1.4 Randvoorwaarden HR2020.....	11
3.2 T1000 golfklimaat Jachthaven met toegang OP5g .....	12
3.3 Vergelijking met golfrandvoorwaarden bestaande toestand .....	16
4 Conclusies .....	18
Referenties .....	19

## Lijst van de tabellen

Tabel 1 – T1000 stormvloedpeilen (mediane waarden) ter hoogte van de haveningang Zeebrugge .....	2
Tabel 2 – T1000 golfrandvoorwaarden Jachthaven Zeebrugge .....	3
Tabel 3 – Golfrandvoorwaarden in bepaling muurhoogte en golfimpact toegepast in Suzuki <i>et al.</i> (2021) ....	4
Tabel 4 – Randvoorwaarden T1000 SWAN simulaties in Gruwez <i>et al.</i> (2012).....	5
Tabel 5 – Resultaten golfparameters in zones Jachthaven voor meest nadelige windrichting .....	5
Tabel 6 – vergelijking tussen gemodelleerde en berekende Hm0 waarden, simulatie WNW T1000 en huidige configuratie .....	7
Tabel 7 – T1000 waterpeil en windsnelheid (incl. wrijving land) op basis van HR2020.....	11
Tabel 8 – Maximale Hm0 en Tm-10 waarden per zone voor SWAN T1000 simulaties met toegang variantie OP5g. ....	12
Tabel 9 – Golfparameters in zones Jachthaven met toegang OP5g, vergelijking parameters toegepast in ontwerp .....	17

## Lijst van de figuren

Figuur 1 – Layout nieuwe toegang Jachthaven Zeebrugge, variant OP5g .....	1
Figuur 2 – Indeling zones afleiding golfklimaat in Jachthaven Zeebrugge .....	4
Figuur 3 – Vergelijking Hm0 waarden in zone Jachthaven tussen windrichting W (links) en N (rechts). T1000 SWAN simulaties uit Gruwez <i>et al.</i> (2012).....	6
Figuur 4 – Hm0 contourplot zonder (panelen boven) en met (panelen onder) golfreflectie. Simulatie T1000 WNW (HR2020) en bestaande configuratie Jachthaven. ....	7
Figuur 5 – Hm0 (gemodelleerd met en zonder reflectie) langs sneden JH_p1 t.e.m. JH_p5. Simulatie T1000 WNW (HR2020) en bestaande configuratie Jachthaven. ....	8
Figuur 6 – Oorspronkelijke bathymetrie in omgeving Jachthaven, met aanduiding van obstakels voor reflectie en transmissie.....	9
Figuur 7 – Aangepaste bathymetrie in omgeving Jachthaven met obstakels en toegang volgens variante OP5g .....	10
Figuur 8 – Concept Ontwerp doorsnedes nieuwe buitendammen toegang Jachthaven.....	11
Figuur 9 – Vergelijking Hm0 langs snedes JH_p1, t.e.m. JH_p6 voor SWAN simulaties T1000 W tem. NNW. ....	13
Figuur 10 – Hm0 contourplots Jachthaven met haventoeegang ‘OP5g’, SWAN T1000 NW.....	14
Figuur 11 – Hm0 contourplots Jachthaven met haventoeegang ‘OP5g’, SWAN T1000 W .....	15
Figuur 12 – Vergelijking Hm0 tussen bestaande haventoeegang en variant OP5g voor bepaalde richting W, zones PAD1 (JH_p6), PAD2 (JH_p5) en PAD3 (JH_p4).....	16
Figuur 13 – Vergelijking Hm0 tussen bestaande haventoeegang en variant OP5g voor bepaalde richting NW, zones PAD4 (JH_p3) en PAD5 (JH_p2).....	16

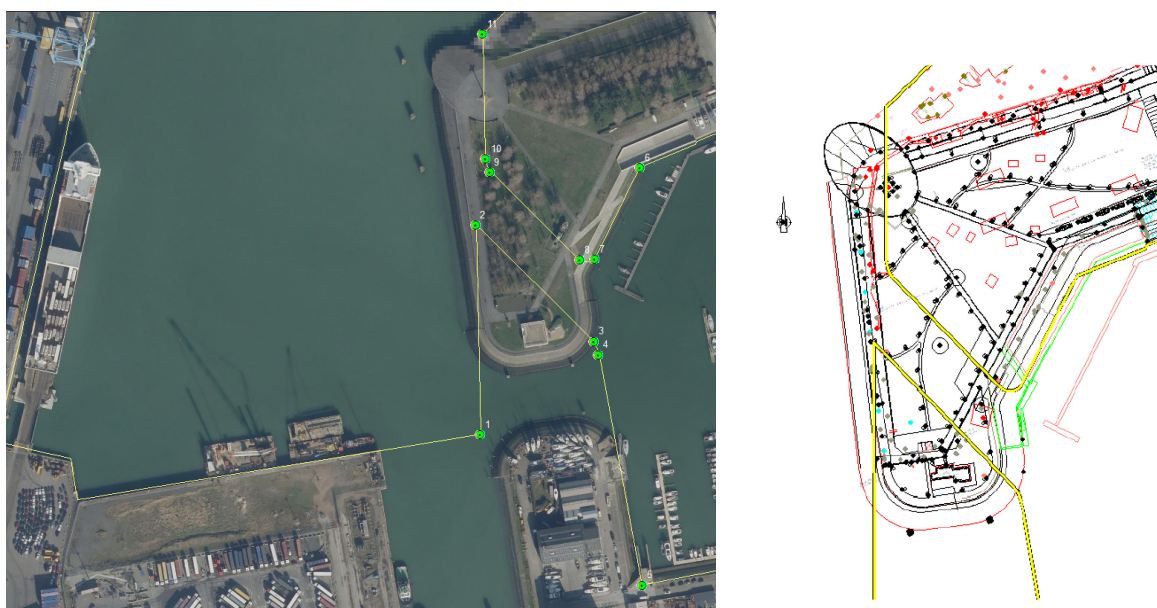




# 1 Context en vraagstelling

In het kader van het ontwerp van de Nieuwe Sluis Zeebrugge (NSZ) op de huidige locatie van de Visartsluis wordt een nieuwe toegang tot de Jachthaven bestudeerd. Een nieuwe toegang is nodig aangezien bij de huidige toegang de stroming op de grote schepen die de toekomstige sluis in- en uitvaren, afkomstig van het leegstromen van de jachthaven bij terugtrekkend tij, te groot is om veilig in- en uitvaren te allen tijde te waarborgen. Verschillende inplantingen voor een nieuwe toegang tot de Jachthaven werden bestudeerd, waarvan variatie 'OP5g' als meest waarschijnlijke gekozen zal worden (Figuur 1), na verificatie van alle randvoorwaarden.

Een wijziging van de locatie van de toegang heeft potentieel een impact op het golfklimaat in de Jachthaven. De overstromingsmaatregelen haven Zeebrugge (fase 2) in het kader van het Masterplan Kustveiligheid (MPKV) voorzien in de bouw van stormmuren langsheen het Jachthavenbekken, dewelke ontworpen werden op basis van het T1000 golfklimaat en voor de op vandaag bestaande situatie. In onderhavig rapport wordt nagegaan in welke mate de uitgangspunten van het bestaande ontwerp geldig blijven bij een wijziging van de haventoeegang volgens variatie OP5g.



Figuur 1 – Layout nieuwe toegang Jachthaven Zeebrugge, variant OP5g (bron figuur rechts: IMDC<sup>1</sup>)

<sup>1</sup> Presentatie VV22246 - CP NSZ WG Toegang Jachthaven 202200927\_Bijlage.pdf

## 2 Bestaande uitgangspunten voor overstromingsmaatregelen Jachthaven

Het WL-rapport Suzuki *et al.* (2021) bevat de meest recente randvoorwaarden voor ontwerp van de stormmuren langsheen de Jachthaven in het kader van het MPKV. De randvoorwaarden voor het geometrisch en constructief ontwerp van de stormmuren omvatten 2 aspecten: (i) de benodigde kruinpeilen van de stormmuren die voldoen aan de veiligheidsnorm<sup>2</sup> en (ii) de bijhorende golfimpact (dynamische golfdruk) op de stormmuren.

Met het oog op het maken van een grondige vergelijking tussen voorgaande en nieuwe SWAN modellering, worden in deze sectie de golfrandvoorwaarden (en de onderliggende aannames bij de modellering) uit Suzuki *et al.* (2021), dewelke aan de basis liggen van de afleiding van hoger vermelde ontwerprandvoorwaarden, in detail toegelicht.

### 2.1 Stormvloedpeil

Het richtingsonafhankelijk (omnidirectioneel) 1000-jarig stormvloedpeil ter hoogte van de haven van Zeebrugge is gelegen op +6.87 m TAW, volgens het meest recente Hydraulisch Randvoorwaardenboek voor de Belgische kust (HR2020, Vuik *et al.*, 2020). Merk op dat het omnidirectioneel stormvloedpeil 21 cm boven het peil ligt dat overeenstemt met de meest nadelige richting (NW) voor stormopzet (zie Tabel 1). In het ontwerp werd – tot nader order – steeds uitgegaan van een omnidirectionele waterstand. Dit is een conservatieve aanname.

Het ontwerp houdt rekening met een levensduur van de stormmuren van ca. 50 jaar. Rekening houdend met een zichtjaar 2070 betekent dit +0.38 m zeespiegelstijging in 2070 t.o.v. 2020 (referentietoestand), dus +7.25 m TAW (Suzuki *et al.*, 2021).

Tabel 1 – T1000 stormvloedpeilen (mediane waarden) ter hoogte van de haveningang Zeebrugge (bron: HR2020)

windsector	Stormvloedpeil anno 2020 [m TAW]	Stormvloedpeil anno 2070 [m TAW]
N	+6.23	+6.61
NNW	+6.35	+6.73
NW	+6.66	+7.04
WNW	+6.62	+7.00
W	+6.33	+6.71
omnidirectioneel	+6.87	+7.25

<sup>2</sup> De basisnorm schrijft voor dat het gemiddeld overslagdebiet op de piek van een 1000-jarige stormvloed beperkt moet blijven tot 1 l/m/s.

## 2.2 Golfklimaat Jachthaven (algemeen)

In Suzuki *et al.* (2021) wordt gebruik gemaakt van de golfrandvoorwaarden die afgeleid werden in de studie van het extreem golfklimaat in de haven van Zeebrugge door IMDC (Gruwez *et al.*, 2012), zie Tabel 2.

De golfhoogten (Hm0 waarden) in Tabel 2 betreffen de minimale en maximale *invallende*<sup>3</sup> waarden in de gedefinieerde zones binnen de Jachthaven (Figuur 2). De golfenergie uit beide modellen (SWAN : windgolven, Mike21-BW : indringingsgolven) werd gecombineerd tot een samengestelde (invallende) golfhoogte (rechterkolom Tabel 2), onafhankelijk van de exacte locatie binnen de zone. Voor beide modellen werd per zone telkens de meest nadelige golfrichting of windrichting beschouwd. Dit betekent dat er geen strikt fysische correlatie toegepast werd voor wat betreft de windrichting en richting van stormopzet/golfindringing in de combinatie van windgolven en indringingsgolven.

Tabel 2 – T1000 golfrandvoorwaarden Jachthaven Zeebrugge (Tabel 5-1 in Gruwez *et al.* 2012)

T1000	SWAN		Mike 21 BW model inclusief vaargeul kortkruinig ( $\sigma = 20^\circ$ )		Mike & SWAN		
richting			alle richtingen				
terugkeerperiode [jaar]	1000		1000				
waterstand [m TAW]	~6.9		7.1				
H <sub>m0,inc</sub> [m]	0.00		5.70				
T <sub>p</sub> [s]	-		12.0				
	min	max					
gegenereerde T <sub>m-1,0</sub> [s]	0.80	2.80					
							Golfrichting
Kaaimuur zone	Hs,min [m]	Hs,max [m]	Hs,min [m]	Hs,max [m]	Hs,min [m]	Hs,max [m]	[°loodrechte]
VDS*	0.84	0.87	1.40	1.80	1.63	2.00	0
PAD1	0.30	0.45	0.00	0.06	0.30	0.46	80
PAD2	0.45	0.50	0.00	0.00	0.45	0.50	0
PAD3	0.41	0.50	0.00	0.06	0.41	0.50	80
PAD4	0.46	0.54	0.06	0.11	0.47	0.55	0
PAD5	0.39	0.49	0.06	0.06	0.40	0.49	0
VIS*	0.49	0.53	0.11	0.11	0.50	0.54	0

Merk op dat de waterstanden die toegepast werd in deze studie (tussen +5.9 en +6.9 m TAW in het SWAN model voor windgolven en +7.1 m TAW in het golfindringingsmodel Mike 21 BW) niet exact overeenstemmen met het ontwerpwaterpeil (+7.25 m TAW) uit sectie 2.1. In Suzuki *et al.* (2021) werd aangenomen dat een verhoging van het waterpeil (door het in rekening brengen van verschillende bijdragen van zeespiegelstijging) geen invloed heeft op de resultaten uit Tabel 2. Dit is zeker het geval voor de korte windgolven omwille van 2 redenen : (i) bodemwrijving -gelinkt aan de waterdiepte- heeft quasi geen effect in dit geval en (ii) er werd geen (vrijboordafhankelijke) reflectie toegepast in SWAN<sup>4</sup>.

Voor de langere indringingsgolven is het effect van de waterstand minder duidelijk a priori vast te stellen. Een toename van de waterstand beïnvloedt de hoeveelheid golfenergie in het havenbekken op verschillende manieren: (i) een toename van de hoeveelheid golfenergie die havenmond binnendringt (diffractieproces),

<sup>3</sup> In SWAN werd een reflectiecoëfficiënt Cr=0 toegekend aan de obstakel definities in de invoerbestanden. De waarden in Mike21 BW werden bekomen door vermenigvuldiging van lokale Kd waarden met een (zogenaamde) invallende Hm0 waarde aan de golfgeneratielijn (zie p.97 in Gruwez *et al.* 2012). Vermits de Kd waarden afgeleid werden op basis van lokale Hm0 waarden zonder compensatie van reflectie en de golven aan de rand geen reflectie bevatten, is het onwaarschijnlijk dat er op deze manier een invallende golfhoogte bekomen wordt. De component via indringing is dus conservatief ingeschat (maar blijft verwaarloosbaar)

<sup>4</sup> De impact van het weglaten van de reflectie in het SWAN model wordt in detail bestudeerd in sectie 2.3.

(ii) een verminderde reflectie op de kademuuren en glooiingen (bij ongewijzigde kadepeilen van de havendokken) die in principe leidt tot een daling van invallende golfhoogtes dieper in de haven en (iii) een vermindering van bodemwrijving die aanleiding geeft tot een (beperkte) toename van golfenergie. Echter, vermits bij indringingsgolven slechts een beperkte hoeveelheid golfenergie de Jachthaven binnendringt heeft de bovenstaande nuancering weinig tot geen consequenties in dit specifieke geval.

De toegepaste golfrandvoorwaarden ter bepaling van de muurhoogtes en golfimpact in Suzuki *et al.* (2021) zijn samengevat in Tabel 3. De golfpiekperiode werd bepaald op basis van de in SWAN gemodelleerde spectrale golfperiode: ( $T_p = 1.1 * T_{m-1,0}$ ).



Figuur 2 – Indeling zones afleiding golfklimaat in Jachthaven Zeebrugge (bron : Gruwez *et al.*, 2012)

Bemerk dat de met SWAN gemodelleerde golfhoogtes quasi identiek zijn aan de gecombineerde. Dit ten gevolge van de beperkte hoeveelheid golfenergie die onder de Leopold dam diffracteert richting Jachthaven en de toegang van de Visartsluis. De bijdrage van golfindringing kan daarom verwaarloosbaar geacht worden t.o.v. de lokaal opgewekte windgolven onder een 1000-jarige windsnelheid. Dit heeft voor gevolg dat de verdere analyse van de impact beperkt zal worden tot de bijdrage van windgolven. De specifieke SWAN simulaties die aan de basis liggen van de resultaten in Tabel 3 worden verder besproken in de volgende sectie.

Tabel 3 – Golfrandvoorwaarden in bepaling muurhoogte en golfimpact toegepast in Suzuki *et al.* (2021)

locatie	Hm0 [m]	Tm-1,0 [s]	Tp [s] (*)	invalsrichting [° tov. loodrechte]
PAD1	0.46	2.80	3.08	80
PAD2	0.50	2.80	3.08	0
PAD3	0.50	2.80	3.08	80
PAD4	0.55	2.80	3.08	0
PAD5	0.49	2.80	3.08	0

(\*) de maximale waarde in het volledige modeldomein bekomen voor alle SWAN T1000 simulaties

## 2.3 SWAN modellering golfklimaat Jachthaven

In Gruwez *et al.* (2012) werden de T1000 scenario's in SWAN gemodelleerd voor windrichtingen NO t.e.m. W (in tegenwijzerzin doorlopen). Daarbij werd een combinatie van richtingsafhankelijke waterstand en windsnelheid toegepast (statistiek op basis van 2u gemiddelde windsnelheid, uit Technum *et al.*, 2002). Er werd geen golftrandvoorwaarde in het SWAN model toegepast (gesloten haventoeegang), en ook geen reflectie van kademuren en glooiingen. Tabel 4 toont de toegepast randvoorwaarden.

Tabel 4 – Randvoorwaarden T1000 SWAN simulaties in Gruwez *et al.* (2012).

Windrichting	waterstand [m TAW]	windsnelheid offshore <sup>5</sup> [m/s]	windsnelheid land <sup>6</sup> [m/s]
NO	5.90	25.5	20.4
NNO	6.30	27.4	21.9
N	6.70	27.5	22.0
NNW	6.90	27.7	22.2
NW	6.90	27.0	21.6
WNW	6.70	30.1	24.1
W	6.60	32.0	25.6

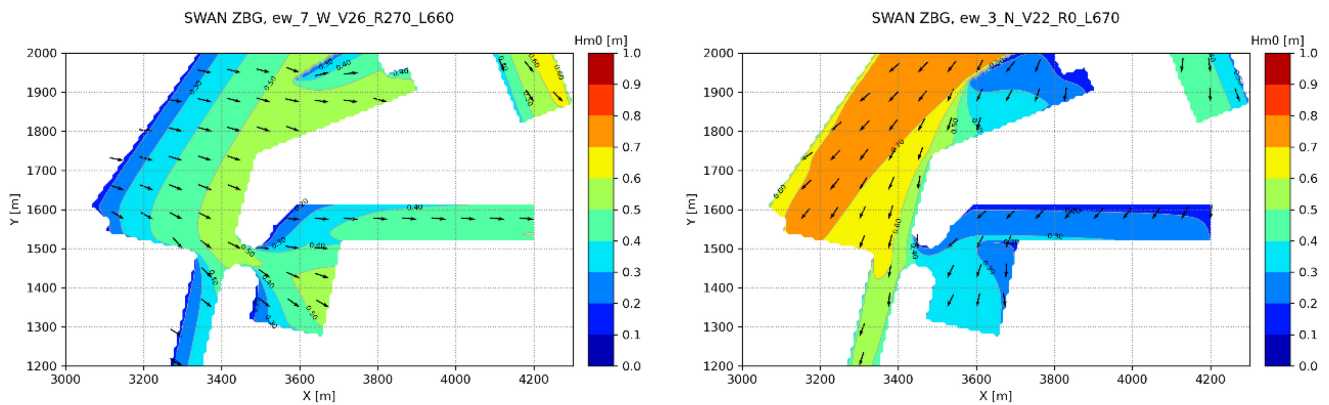
De resultaten per zone (die aan de basis liggen van de huidige ontwerprandvoorwaarden in Tabel 3) zijn samengevat in Tabel 5. Deze tabel is identiek aan tabel 4-3 in Gruwez *et al.* (2012), op de gegevens voor zone PAD 5 na. Voor deze zone (gelegen langs de Werfkaai in de zone tussen de Kielbank en de Tijdokstraat) werd in Gruwez *et al.* (2012) ten onrechte geconcludeerd dat richting N de grootste invallende golfhoogte genereert. Na controle van de SWAN resultaten blijkt echter richting W dominant te zijn (zie Figuur 3). De maximale golfhoogte voor N bedraagt 0.39 m, voor W 0.49 m. Weliswaar vallen de golven bij N wind ongeveer loodrecht in op zone PAD5. De combinatie van een golfhoogte van 0.49 m (volgens W) en een golfrichting loodrecht invallend op de glooiing in zone PAD5, zoals toegepast in het ontwerp (Tabel 3), is een conservatieve benadering.

Tabel 5 – Resultaten golfparameters in zones Jachthaven voor meest nadelige windrichting

locatie	Bepalende windrichting	Max. $H_{m0,inc}$ [m]	Max. $T_{m-1,0}$ [s]	Golfrichting [° tov. Loodrechte]
PAD1	W	0.45	1.86	80
PAD2	W	0.50	1.94	0
PAD3	W	0.50	1.94	80
PAD4	W	0.54	1.88	0
PAD5	<b>W</b>	0.49	1.95	<b>80</b>

<sup>5</sup> Referentie windsnelheid op 10 m boven zeeoppervlak.

<sup>6</sup> Windsnelheid tot 80% van de snelheid offshore gereduceerd ten gevolge van landwrijving.



Figuur 3 – Vergelijking Hm0 waarden in zone Jachthaven tussen windrichting W (links) en N (rechts). T1000 SWAN simulaties uit Gruwez *et al.* (2012). De pijlen geven de gemiddelde golfrichting aan.

Figuur 4 toont het verschil in significante golfhoogte tussen een SWAN modellering met en zonder reflectie van de kademuren en glooiingen, geïllustreerd voor windrichting WNW. Naast de vanzelfsprekende toename in golfenergie valt ook een wijziging van de golfrichting in de hoek van het dok begrensd door PAD4 en PAD5 op te merken. In de simulatie zonder reflectie vallen de golven onder een hoek van ca. 10-20° t.o.v. de loodrechte op de kademuur in zone PAD4, in zone PAD 5 benaderend onder 45° op de glooiing. In de simulatie met reflectie worden de golven meer afgebogen richting zone PAD5, ten gevolge van de reflectie op de kademuur langs zone PAD4. Het verschil in golfhoogte langs enkele sneden (aangeduid in rechterpanelen Figuur 4) wordt getoond in Figuur 5.

Theoretisch<sup>7</sup> geldt in SWAN het volgende verband tussen de gemodelleerde (totale)  $H_{m0,tot}$  en de invallende waarde  $H_{m0,inc}$ :

$$H_{m0,tot} = \sqrt{1 + C_r^2} \cdot H_{m0,inc} \quad \text{vgl. (1)}$$

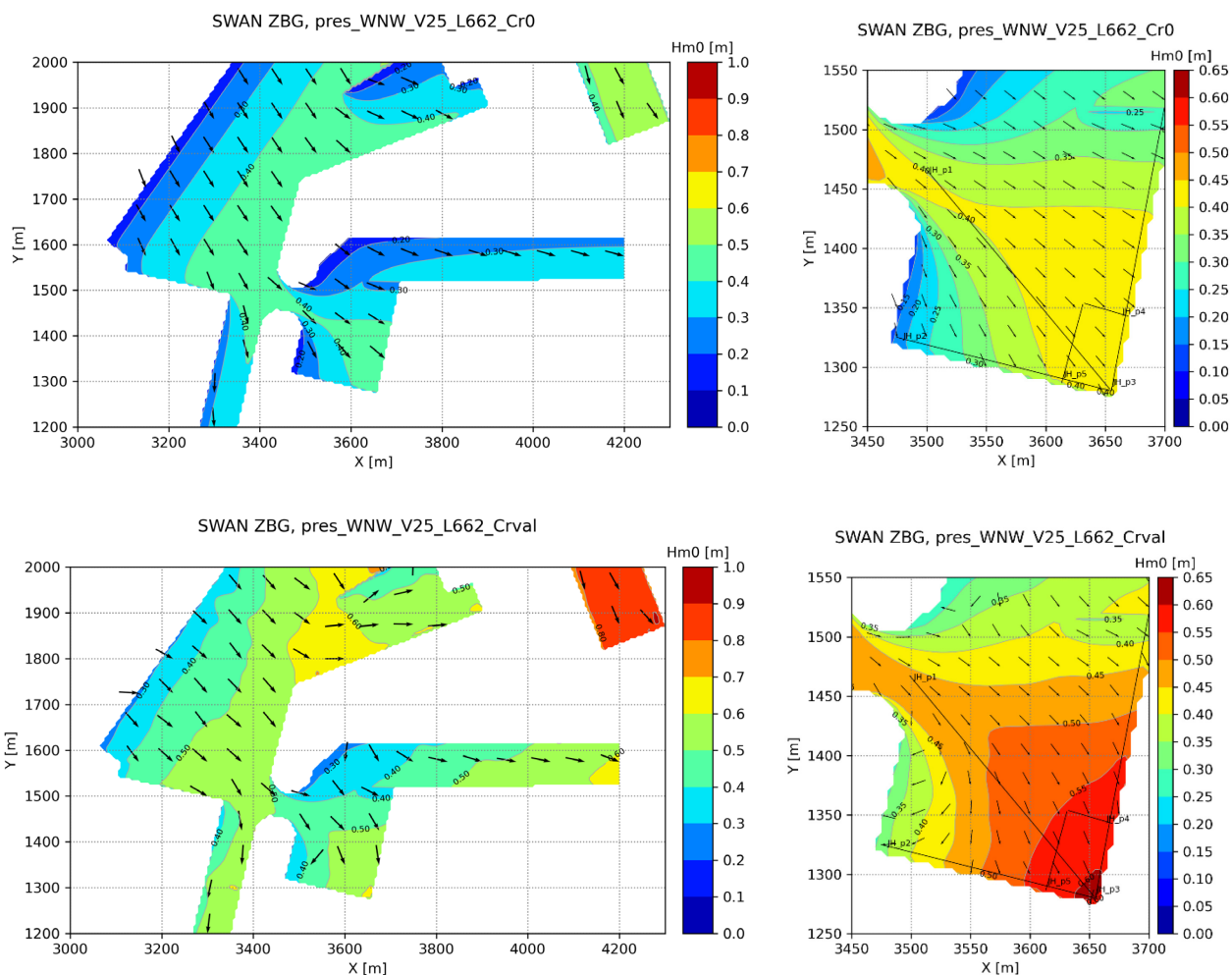
Tabel 6 toont aan de hand van hetzelfde geval (T1000 WNW) het verschil tussen de gemodelleerde invallende golfhoogte (obstakels met  $C_r=0$ ) en de waarde berekend uit de modelrun met reflectie. De berekende waarden van invallende golfhoogte tonen een vrij goede overeenkomst met de gemodelleerde waarden, ondanks de afwijkende geometrie (in dit geval reflectie op 2 loodrecht op elkaar staande structuren t.o.v. het geval met één oneindig lange kademuur dat aan de basis ligt van de afleiding vgl. (1)). De afbuiging van de invalrichting richting zone PAD5 (Figuur 4) zorgt in dit geval voor een toename van berekende invallende golfhoogte t.o.v. de gemodelleerde zonder reflecterende structuren.

Er wordt besloten om bij de scenario-analyse (hoofdstuk 3) SWAN simulaties uit te voeren zowel met niet-reflecterende als met reflecterende obstakels in de jachthaven.

<sup>7</sup> De asymptotische Hm0-waarde op voldoende afstand van een (oneindig lange) lijnvormige structuur met reflectiecoëfficiënt  $C_r$  (zie bv. Klopman & Van der Meer, 1999). Vermits SWAN geen fase oplost ontbreekt een staand golvenpatroon en geldt de asymptotische waarde reeds in de onmiddellijke nabijheid van de structuur, en is er bovendien geen invloed van invalrichting en de specifieke vorm van het multidirectioneel spectrum.

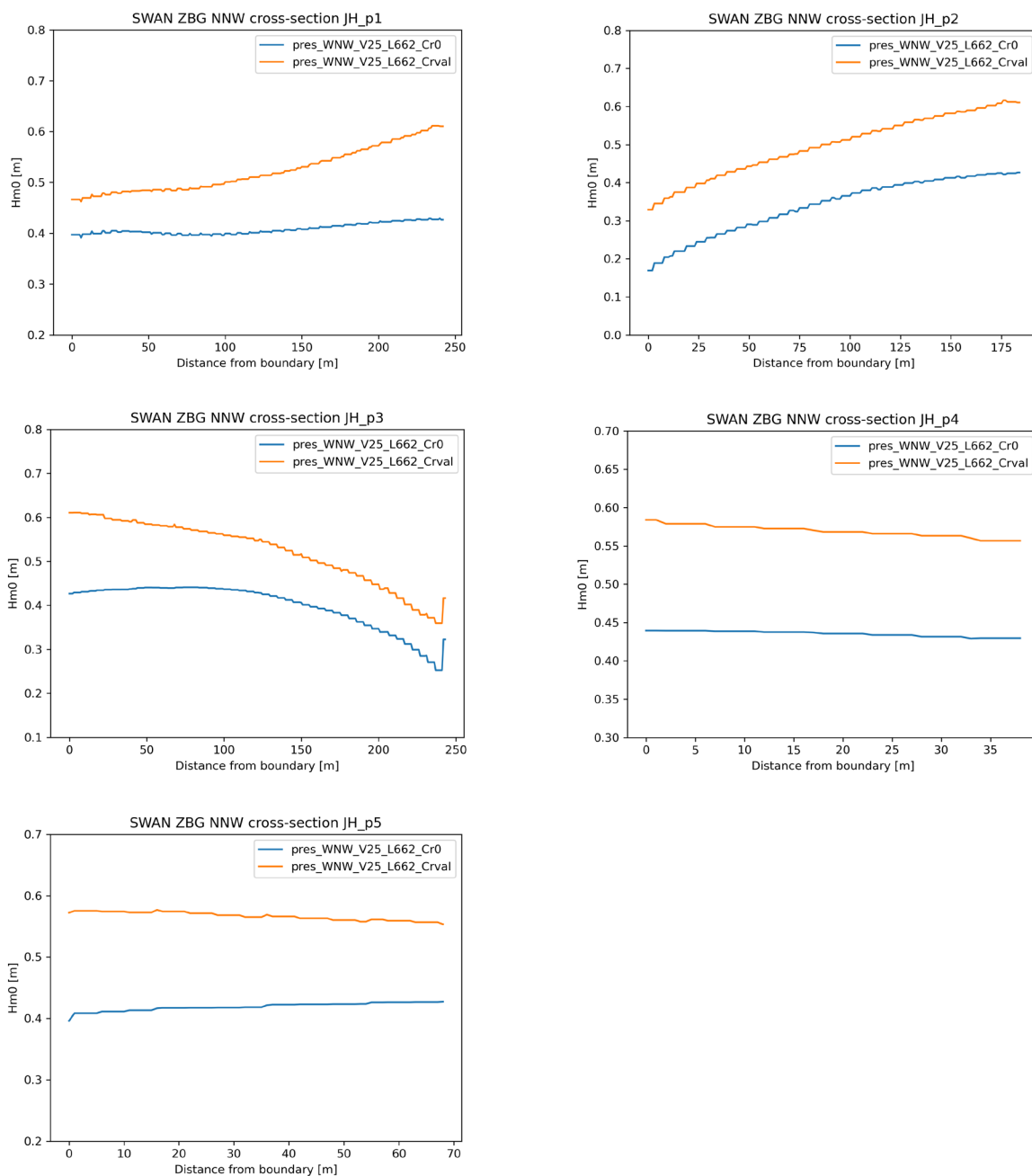
Tabel 6 – vergelijking tussen gemodelleerde en berekende Hm0 waarden, simulatie WNW T1000 en huidige configuratie

	PAD4 (40 m van hoekpunt)	PAD5 (40 m van hoekpunt)	Hoekpunt PAD4-PAD5
<b>Cr model [-]</b>	0.9	0.9	0.9
<b>H<sub>m0,SWAN</sub> (Cr=0.9) [m]</b>	0.590	0.575	0.611
<b>H<sub>m0,SWAN</sub> (Cr=0) [m]</b>	0.437	0.408	0.427
<b>H<sub>m0,inc</sub> (volgens vgl. (1)) [m]</b>	0.439 (+0.35%)	0.427 (+4.8%)	0.454 (+6.4%)



Figuur 4 – Hm0 contourplot zonder (panelen boven) en met (panelen onder) golfreflectie. Simulatie T1000 WNW (HR2020) en bestaande configuratie Jachthaven.





Figuur 5 – Hm0 (gemodelleerd met en zonder reflectie) langs sneden JH\_p1 t.e.m. JH\_p5. Simulatie T1000 WNW (HR2020) en bestaande configuratie Jachthaven.

## 3 Golfklimaat Jachthaven met toegang Op5g

### 3.1 Aanpassingen SWAN model

Het SWAN model ontwikkeld in Gruwez *et al.* (2012) fungeert als vertrekpunt voor de nieuwe modellering. In deze sectie wordt beknopt toegelicht hoe dit model aangepast werd.

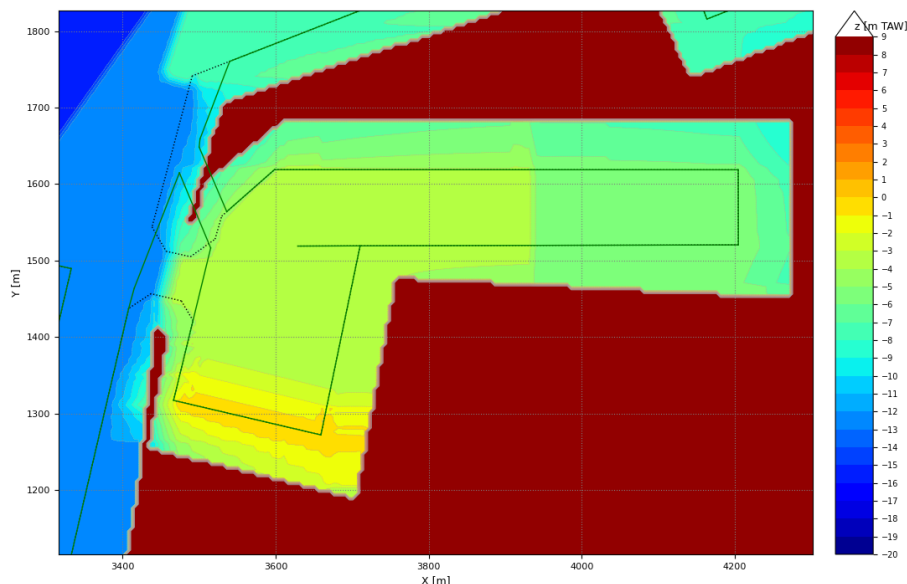
#### 3.1.1 SWAN versie

De modellering werd uitgevoerd met SWAN versie 41.01A. De coëfficiënt voor bodemwrijving werd gelijkgesteld aan 0.038.

Ter vergelijking: de SWAN modellering in Gruwez *et al.* (2012) werd uitgevoerd met versie 40.72ABCDE en bodemwrijvingscoëfficiënt 0.067. Er wordt aangenomen dat de verschillende modelversie en gewijzigde implementatie van bodemwrijving geen merkbare invloed op de resultaten in de omgeving Jachthaven hebben.

#### 3.1.2 Bathymetrie en rekenrooster

De oorspronkelijke bathymetrie en posities van obstakels die de bestaande en toekomstige toegang tot de Jachthaven afbakenen worden getoond in Figuur 6. De Kielbank glooiing werd niet in het model opgenomen, zodat eventuele golfbreking verwaarloosd werd (conservatieve aanname). Dit werd niet gewijzigd.

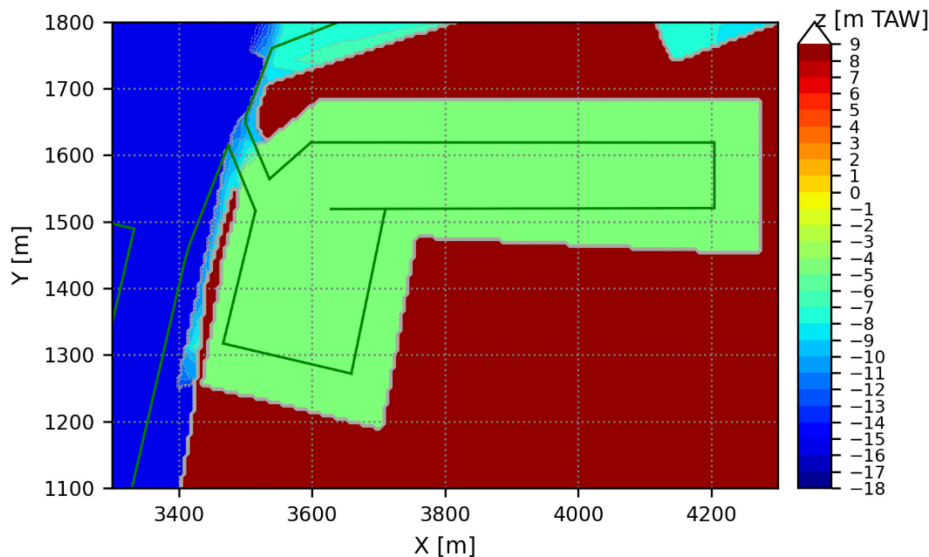


Figuur 6 – Oorspronkelijke bathymetrie in omgeving Jachthaven, met aanduiding van obstakels voor reflectie en transmissie (zwarte stippellijn : huidige layout, groene volle lijn: toegang volgens variante OP5g)

Figuur 7 toont de aangepaste bathymetrie met toegang volgens variante OP5g. De locatie<sup>8</sup> van de obstakels die de nieuwe buitendammen voorstellen stemt overeen met het dagvlak van de taluds (damwandbeschoeiing, zie Figuur 8).

Het bodempeil in de volledige Jachthaven werd op -4.25 m TAW geplaatst<sup>9</sup>. In bepaalde zones (vooral rond de Kielbank) is dit iets dieper dan in de oorspronkelijke bathymetrie. Te verwachten valt dat dit geen merkbare invloed op de resultaten heeft.

In de nieuwe simulaties wordt de resolutie van het rekenrooster verhoogd van 7.5x7.5 m tot 5x5 m. Een controle met nog fijner rekenrooster (2x2 m) geeft aan dat de resultaten convergent zijn.



Figuur 7 – Aangepaste bathymetrie in omgeving Jachthaven met obstakels en toegang volgens variante OP5g (groene volle lijn)

### 3.1.3 Golfreflectie

De plannen voor een nieuwe toegang voorzien in de aanleg van nieuwe buitendammen met een beschoeiing met damplanken (tot op peil +2.5 m TAW) in combinatie met een talud 10/4 of 8/4 tot +7 m TAW (Figuur 8).

De (bulk) reflectiecoëfficiënt van deze nieuwe structuren wordt ingeschat op basis van vergelijkingen (5) en (10) in Zanuttigh & van der Meer (2008). Daarbij werd een breuksteen talud verondersteld. Afhankelijk van het waterpeil werd een reflectie tussen ca. 10 en 40 % toegepast.

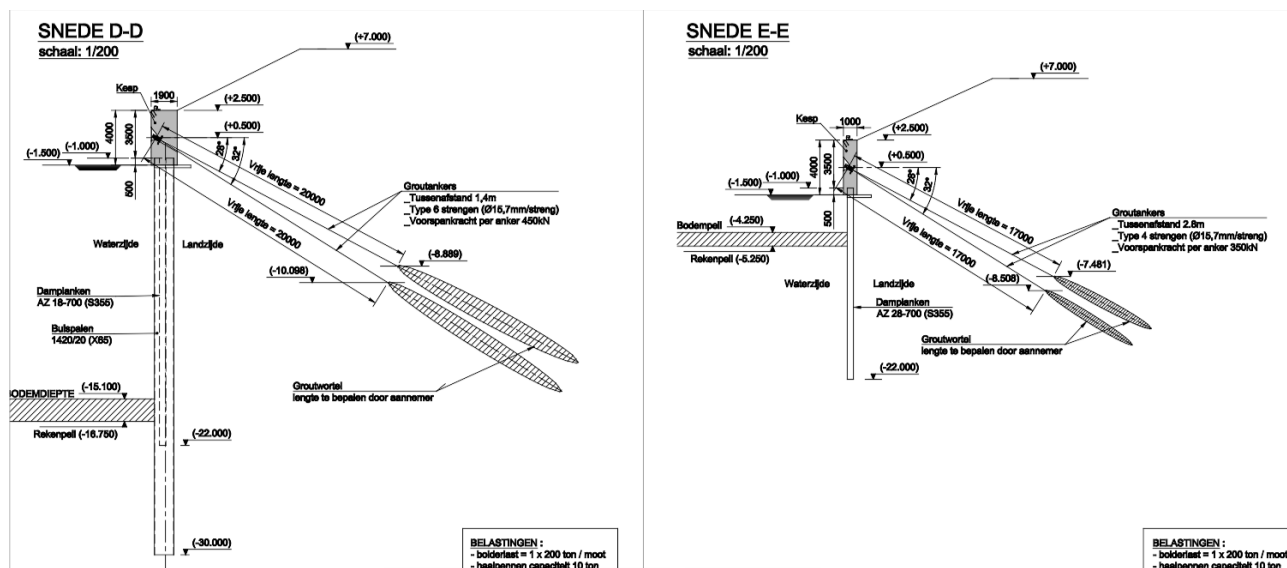
De overige reflectiecoëfficiënten worden overgenomen uit de SWAN modellering in Gruwez *et al.* (2012). Merk op dat in het oorspronkelijk modelopzet een steiger geïmplementeerd werd op hoek tussen de Tijdokstraat en de Vismijnstraat (transmissie- en reflectiecoëfficiënt 0.5), zie Figuur 6. Deze steiger werd behouden<sup>10</sup>.

Zoals hoger reeds aangegeven worden zowel SWAN-simulaties uitgevoerd met niet-reflecterende obstakels in de jachthaven (met direct output qua invallende golven) als met reflecterende obstakels in de jachthaven (waarbij de output totale golfhoogtes omgerekend worden tot invallende golfhoogtes volgens vgl. (1)).

<sup>8</sup> Locaties ontvangen van IMDC (Ali Dastgheib) in de vorm van een shape file op 03.11.2022.

<sup>9</sup> Info op plan met streefdieptes *TC-STU-BW-011-A\_Bodemdieptes\_Noordelijke varianten.pdf* ontvangen van afdeling Maritieme Toegang op 9/11/2022.

<sup>10</sup> De steiger is intussen afgebroken (mondellinge comm. D. Thoon). Op basis van de resultaten (zie Figuur 10 en 11) kan echter geconcludeerd worden dat de steiger beperkt lokale afscherming veroorzaakt (vooral bij richting NW tot N) en geen invloed uitoefent op de weerhouden ontwerpwaarde van golfhoogte.



Figuur 8 – Concept Ontwerp doorsnedes nieuwe buitendammen toegang Jachthaven (bron: afdeling Maritieme Toegang)

### 3.1.4 Randvoorwaarden HR2020

In Gruwez *et al.* (2012) werden wind- en waterstandsrandvoorwaarden toegepast uit de studie Technum *et al.* (2002). Er werd uitgegaan van de statistiek op basis van de 2u gemiddelde windsnelheid.

In de nieuwe simulaties worden de T1000 randvoorwaarden toegepast uit HR2020 (Vuik *et al.*, 2020), met (mediane) windsnelheden op basis van een 30 min. windstatistiek (gelet op de beperkte afmetingen van het Jachthavenbekken is deze duurtijd realistischer). Bij de omzetting van de referentiesnelheid ( $u_{w,10}$ ) boven zeeoppervlak naar landwind wordt dezelfde reductiefactor 0.8 gebruikt als in Gruwez *et al.* (2012).

Tabel 7 toont het overzicht met toegepaste waterstand en windsnelheid in de nieuwe SWAN simulaties met haventoeegang volgens variant OP5g.

Tabel 7 – T1000 waterpeil en windsnelheid (incl. wrijving land) op basis van HR2020

	Windrichting [°N]	stormvloedpeil Zeebrugge [m TAW]	$u_{w,land}$ (2u) [m/s] (*)	$u_{w,land}$ (0.5u) [m/s]
<b>N</b>	0	+6.23	20.97 (22.0)	22.80
<b>NNW</b>	337.5	+6.35	20.76 (22.2)	21.60
<b>NW</b>	315	+6.66	22.10 (21.6)	22.01(**)
<b>WNW</b>	292.5	+6.62	22.13 (24.1)	24.88
<b>W</b>	270	+6.33	23.82 (25.6)	24.34

(\*) waarde in cursief tussen haakjes toegepast in simulaties Gruwez *et al.* (2012)  
(\*\*) de 0.5u gemiddelde windsnelheid kan fysisch onmogelijk lager zijn dan de 2u gemiddelde windsnelheid. Dit resultaat is een artefact van de extremewaardefitting HR2020. Als (conservatieve) inschatting werd de 0.5 u waarde van WNW toegepast voor richting NW.

### 3.2 T1000 golfklimaat Jachthaven met toegang OP5g

Uit een analyse van de significante golfhoogte langsheen enkele snedes in de Jachthaven (Figuur 10) blijkt richting NW bepalend te zijn voor zones PAD4 en PAD5 (het zuidelijk dok begrensd door de Werfkaai en Tijdokstraat).

Windrichting W blijkt het meest nadelig voor zones PAD1, 2 en 3 (het langwerpige dok langs de Vismijn).

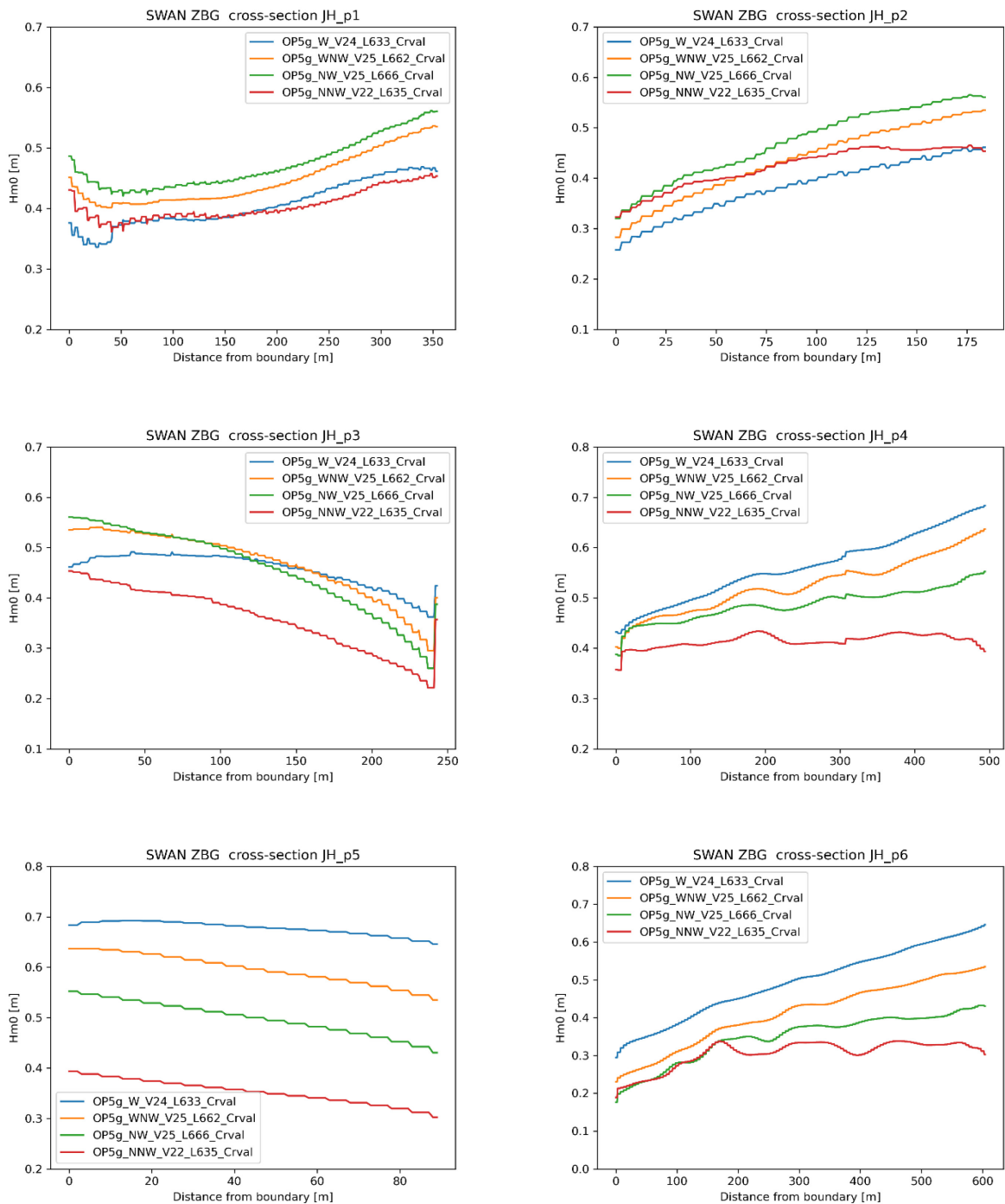
De Hm0 contourplots met aanduiding van de gemiddelde golfrichting worden getoond in Figuur 10 en Figuur 11, voor resp. richtingen NW en W.

Tabel 8 bevat de maximale waarden per zone van significante golfhoogte en spectrale golfperiode. De invallende golfhoogtes uit de simulaties met golfreflectie op basis van vgl. (1) zijn in de meeste gevallen (licht) hoger dan de waarden bekomen op basis van de simulaties zonder reflectie. Merk op dat dit niet het geval is in zone PAD4 en PAD5 bij richting NW. Voor het ontwerp kunnen de grootste waarden geselecteerd worden, dus SWAN\_Crval output voor PAD1, 2 en 3 en SWAN\_Cr0 output voor PAD4 en PAD 5 (conservatieve aanname).

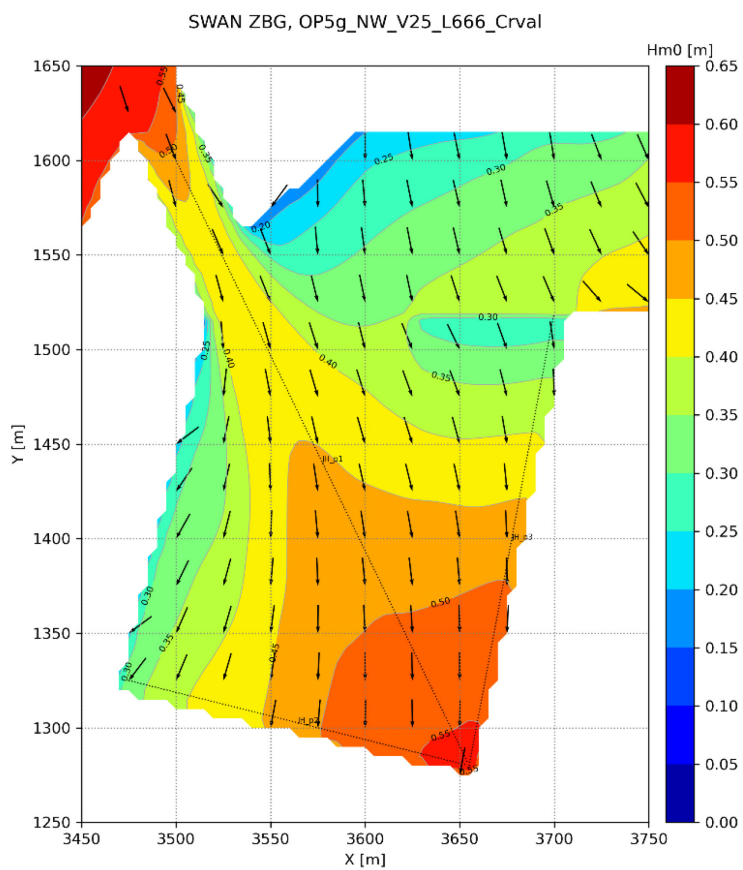
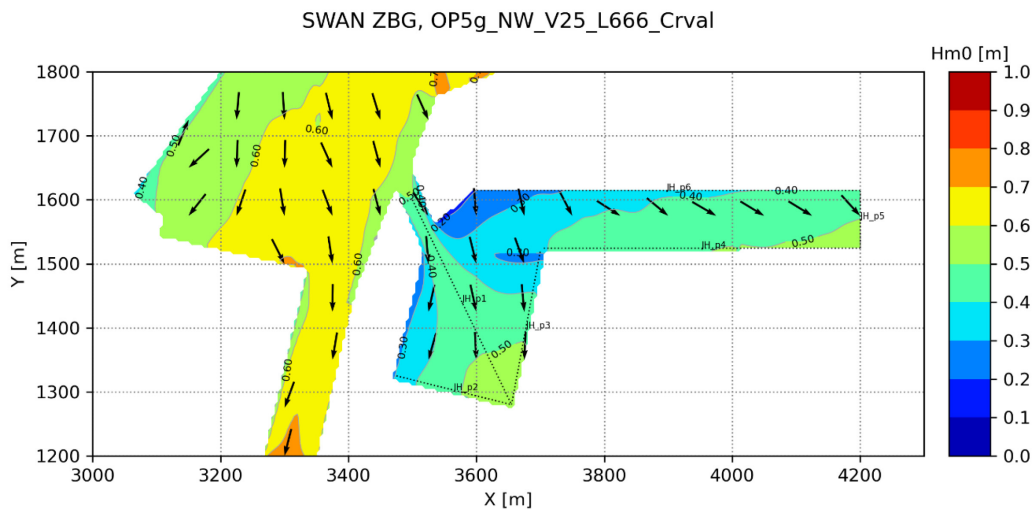
Tabel 8 – Maximale Hm0 en Tm-10 waarden per zone voor SWAN T1000 simulaties met toegang variantie OP5g.  
Kolom "SWAN\_Crval" bevat de resultaten van de simulaties met reflecterende obstakels in de jachthaven.  
Kolom "SWAN\_Cr0" bevat de resultaten van de simulaties met niet-reflecterende obstakels in de jachthaven.

windrichting	zone	snede	SWAN_Crval			SWAN_Cr0	
			Hm0,tot [m]	Hm0_inc (*) [m]	Tm-10 [s]	Hm0_inc [m]	Tm-10 [s]
W	PAD5	JH_p2	0.46	0.34	1.90	0.36	1.72
W	PAD4	JH_p3	0.49	0.37	1.91	0.39	1.75
W	PAD3	JH_p4	0.68	<b>0.51</b>	2.28	0.39	1.85
W	PAD2	JH_p5	0.69	<b>0.51</b>	2.27	0.40	1.85
W	PAD1	JH_p6	0.65	<b>0.48</b>	2.28	0.33	1.75
WNW	PAD5	JH_p2	0.53	0.40	2.07	0.42	1.87
WNW	PAD4	JH_p3	0.54	0.40	2.04	0.43	1.87
WNW	PAD3	JH_p4	0.64	0.47	2.03	0.37	1.74
WNW	PAD2	JH_p5	0.64	0.47	2.16	0.37	1.74
WNW	PAD1	JH_p6	0.54	0.40	2.18	0.25	1.52
NW	PAD5	JH_p2	0.56	<b>0.42</b>	2.20	<b>0.45</b>	1.92
NW	PAD4	JH_p3	0.56	<b>0.42</b>	2.11	<b>0.44</b>	1.92
NW	PAD3	JH_p4	0.55	0.41	2.10	0.33	1.57
NW	PAD2	JH_p5	0.55	0.41	2.02	0.32	1.56
NW	PAD1	JH_p6	0.43	0.32	2.13	0.16	1.13
NNW	PAD5	JH_p2	0.47	0.35	2.17	0.36	1.75
NNW	PAD4	JH_p3	0.45	0.34	1.99	0.34	1.72
NNW	PAD3	JH_p4	0.43	0.32	1.94	0.25	1.35
NNW	PAD2	JH_p5	0.39	0.29	1.86	0.21	1.26
NNW	PAD1	JH_p6	0.34	0.25	1.94	0.09	0.76

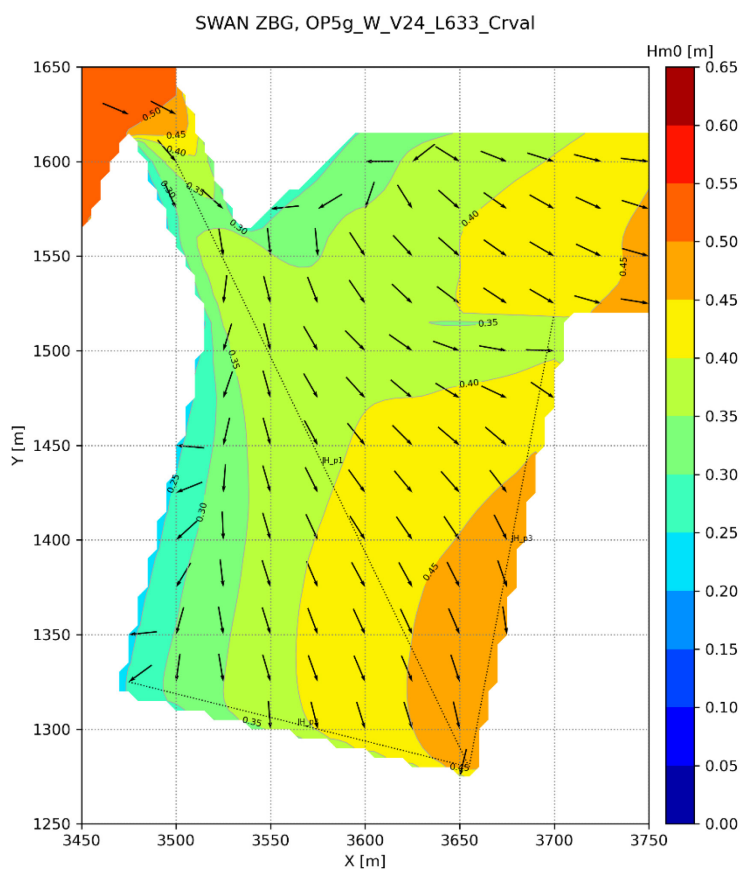
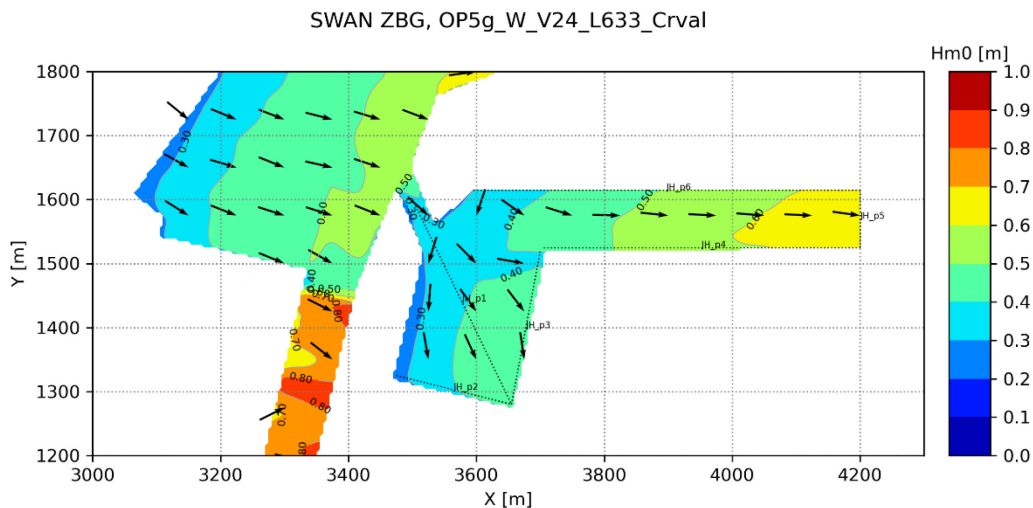
(\*) berekend op basis van vgl. (1) en de toegepaste reflectiecoëfficiënt in SWAN



Figuur 9 – Vergelijking  $H_{m0}$  langs snedes JH\_p1, t.e.m. JH\_p6 voor SWAN simulaties T1000 W tem. NNW. (Aanduiding locatie snedes in Figuur 10).



Figuur 10 – Hm0 contourplots Jachthaven met haventoeegang 'OP5g', SWAN T1000 NW.  
De pijlen geven de gemiddelde golfrichting aan.



Figuur 11 – Hm0 contourplots Jachthaven met haventoeegang ‘OP5g’, SWAN T1000 W  
De pijlen geven de gemiddelde golfrichting aan.

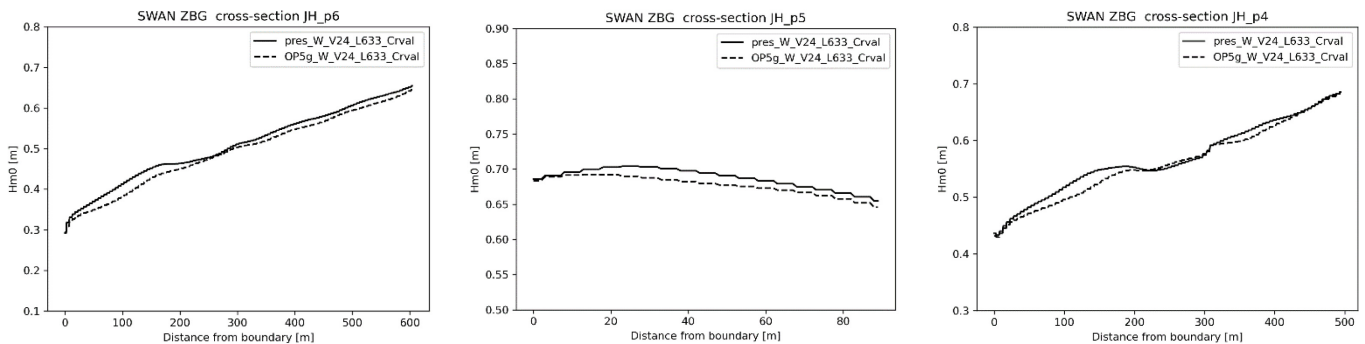


### 3.3 Vergelijking met golfbrandvoorwaarden bestaande toestand

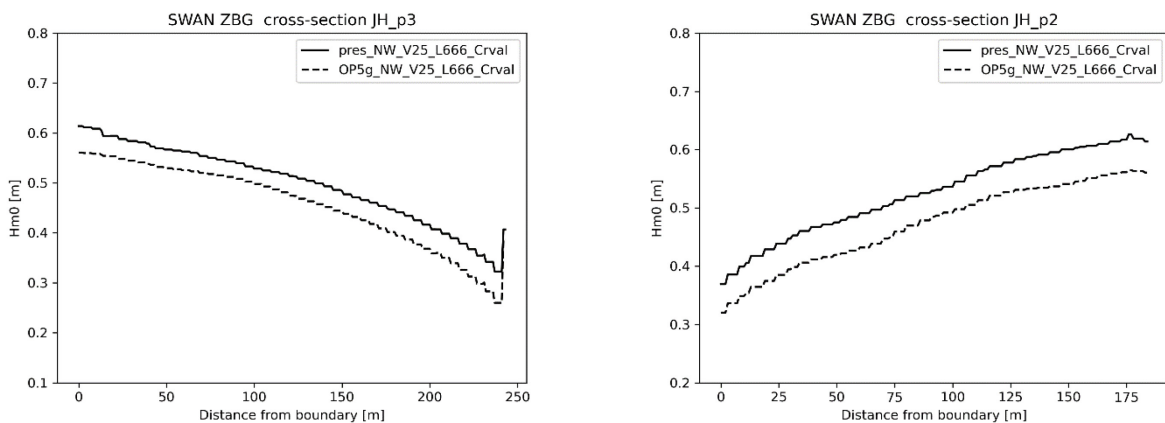
De invloed van de gewijzigde toegang op het golfklimaat in de Jachthaven wordt nagegaan op basis van een identiek modelopzet in SWAN (modelversie, rooster, reflecterende obstakels, waterstand en windsnelheid).

Figuur 12 toont de vergelijking van Hm0 langs zones PAD1 (snede JH\_p6), PAD2 (snede JH\_p5) en PAD3 (snede JH\_p4) voor de bepalende windrichting W. Voor zover er al een invloed van de gewijzigde haventoeegang merkbaar is, lijkt de golfhoogte zeker niet toe te nemen.

Figuur 13 toont de vergelijking van Hm0 langs zones PAD4 (snede JH\_p3) en PAD5 (snede JH\_p2) voor de bepalende windrichting NW. Golfhoogtes in deze zones nemen af in de situatie van de nieuwe haventoeegang volgens variant OP5g.



Figuur 12 – Vergelijking Hm0 tussen bestaande haventoeegang en variant OP5g voor bepalende richting W, zones PAD1 (JH\_p6), PAD2 (JH\_p5) en PAD3 (JH\_p4)



Figuur 13 – Vergelijking Hm0 tussen bestaande haventoeegang en variant OP5g voor bepalende richting NW, zones PAD4 (JH\_p3) en PAD5 (JH\_p2)

In Tabel 9 worden de T1000 golfrandvoorwaarden in de 5 zones (zie Figuur 2) dewelke in Suzuki *et al.* (2021) gebruikt werden als basis voor de bepaling van de muurhoogte van de stormmuren en bijhorende golfimpact voor de op vandaag bestaande configuratie van de Jachthaven, vergeleken met de waarden afgeleid met de SWAN modelresultaten voor de situatie met haventoeegang volgens variante OP5g.

In zones PAD1, 2 en 3 (het lange smalle dok naast de Vismijnlaan) is er een verwaarloosbare toename van de golfhoogte (tot max. 2 cm). In zones PAD4 en 5 (langs Werfkaai en Tijdokstraat) wordt er een beperkte daling van de golfhoogte opgemerkt voor de nieuwe toegang variante OP5g. Verder ontstaat er nergens een meer ongunstige situatie voor wat betreft de invloed van golfperiode of invalrichting van de golven.

Tabel 9 – Golfparameters in zones Jachthaven met toegang OP5g, vergelijking parameters toegepast in ontwerp (Suzuki *et al.*, 2021)

locatie	Bepalende windrichting		Max. $H_{m0,inc}$ [m]		Max. $T_{m-1,0}$ [s]		Invalsrichting [°]	
	bestaand	OP5g	bestaand	OP5g	bestaand	OP5g	bestaand	OP5g
PAD1	W	W	0.46	0.48	2.80	2.28	80	80
PAD2	W	W	0.50	0.51	2.80	2.27	0	0
PAD3	W	W	0.50	0.51	2.80	2.28	80	80
PAD4	W	NW	0.55	0.44	2.80	2.11	0	45
PAD5	N	NW	0.49	0.45	2.80	2.20	0	0

## 4 Conclusies

In het kader van het ontwerp van de Nieuwe Sluis Zeebrugge wordt een verplaatsing van toegang tot de Jachthaven in noordelijke richting voorgesteld. Vermits dit een eventuele wijziging van het golfklimaat in de Jachthaven met zich mee kan brengen, dewelke reeds gebruikt werd in het ontwerp van de stormmaatregelen rond de Jachthaven in het kader van het Masterplan Kustveiligheid, dringt een verificatie van deze golfrandvoorwaarden zich op.

Na controle van de bestaande golfrandvoorwaarden blijkt dat het golfklimaat in de Jachthaven quasi uitsluitend bepaald wordt door lokaal opgewekte windgolven, dewelke met het spectraalmodel SWAN gemodelleerd worden. De impact van de nieuwe haventoeegang werd nagegaan op basis van nieuwe SWAN simulaties met gewijzigde bathymetrie en obstakeldefinities, en met als randvoorwaarden een 1000-jarige waterstand en windsnelheden tussen sector W en NNW, bepaald op basis van het nieuwe Hydraulisch Randvoorwaardenboek (HR2020).

Uit de simulaties van het golfklimaat blijkt dat de golfhoogte niet significant verschilt tot licht afneemt in de situatie met toegang OP5g t.o.v. de situatie van de bestaande haventoeegang, voor een identiek modelopzet in SWAN (rekenkundig rooster en reflecterende obstakels) en dezelfde waterstands- en windrandvoorwaarden op basis van HR2020.

Wanneer de golven met nieuwe haventoeegang vergeleken worden met de resultaten op basis van voorgaande SWAN modellering (Gruwez *et al.*, 2012), met lichte verschillen in het modelopzet en gedateerde hydrometeo data, dan wordt in zones PAD1, 2 en 3 (het lange smalle dok naast de Vismijnlaan) een verwaarloosbare toename (tot max 2 cm) van de golfhoogte vastgesteld. In zones PAD4 en 5 (langs Werfkaai en Tijdokstraat) wordt er een lichte daling van de golfhoogte opgemerkt voor de nieuwe toegang variante OP5g. Verder ontstaat er nergens een meer ongunstige situatie voor wat betreft golfperiode of invalrichting van de golven.

Er kan met andere woorden geconcludeerd worden dat een **wijziging van de haventoeegang** volgens variante OP5g **geen nadelige invloed** heeft op de randvoorwaarden voor het ontwerp van de stormmuren rond de Jachthaven i.h.k.v. MPKV, opgemaakt in WL-rapport Suzuki *et al.* (2021). Deze ontwerprandvoorwaarden voldoen m.a.w. aan de gestelde veiligheidseisen bij een 1000-jarige storm na wijziging van de toegang van de Jachthaven volgens de plannen 'variante OP5g'.

## Referenties

**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. *WL Rapporten*, 769\_03. Waterbouwkundig Laboratorium/IMDC: Antwerpen

**Klopman, G.; Van der Meer, J.W.** (1999). Random wave measurements in front of reflective structures. *J. Waterw. Port, Coast. Ocean Eng.* 125(1): 39–45

**Suzuki, T.; Altomare, C.; Verwaest, T.** (2021). Wave overtopping and force assessment of the new proposed defenses in Zeebrugge: 2nd phase with the SLR scenario of 2070. Version 2.0. *FHR reports*, 21\_024\_1. Flanders Hydraulics Research: Antwerp

**Technum; IMDC; 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. Technum: Oostende. 264 pp.

**Vuik, V.; Kuijper, B.; Geerse, C.P.M.; Strijker, B.; Gautier, C.; Trouw, K.; Vanneste, D.; Suzuki, T.; Nossent, J.; Thoon, D.; De Roo, S.; Mostaert, F.** (2020). Het hydraulisch randvoorwaardenboek (2020): rapport. Versie 2.0. *WL Rapporten*, 18\_037\_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=332127>

**Zanuttigh, B.; van der Meer, J.W.** (2008). Wave reflection from coastal structures in design conditions. *Coast. Eng.* ISBN 9789812706362 55(10): 771–779. doi:10.1016/j.coastaleng.2008.02.009

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**  
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

[waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)

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