



Vlaanderen
is wetenschap



25_011_1
WL rapporten

Hydraulische randvoorwaarden voor ontwerp caisson renovatie sluisdeuren Visserijsluis

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Hydraulische randvoorwaarden voor ontwerp caisson renovatie sluisdeuren Visserijsluis

Vanneste, D.; De Roo, S.

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 2025
D/2025/3241/018

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vanneste, D.; De Roo, S. (2025). Hydraulische randvoorwaarden voor ontwerp caisson renovatie sluisdeuren Visserijsluis. Versie 4.0. WL Rapporten, 25_011_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Oprachtgever:	Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust, afdeling Kust	Ref.:	WL2025R25_011_1
Trefwoorden (3-5):	Visserijsluis, haven Oostende, vloeddeur, renovatie, caisson		
Kennisdomeinen:	Waterbouwkundige constructies> Dijken, oevers en andere waterkeringen> Literatuur en desktoponderzoek< Kustbescherming> Kustveiligheid bij extreme stormen> constructies in havens> literatuur- en desktoponderzoek/in-situ metingen		
Tekst (p.):	19	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Vanneste, D.
------------	--------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	De Roo, S.	Getekend door: Sieglie De Roo (Signatur) Getekend op: 2025-04-01 13:02:08 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed  
Projectleider:	Vanneste, D.	Getekend door: Dieter Vanneste (Signatur) Getekend op: 2025-04-01 12:55:02 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed  

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sig) Getekend op: 2025-04-02 11:00:43 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed  
-----------------	---------------	---

Abstract

In dit rapport werden randvoorwaarden voor waterstand en golfbelasting opgesteld voor het ontwerp van een caisson die ingezet zal worden bij de renovatie van de vloeddeuren van het benedenhoofd van de Visserijsluis in de haven van Oostende. De randvoorwaarden worden gekenmerkt door een terugkeerperiode tot 10 jaar. De randvoorwaarden voor waterstand werden geanalyseerd op de beschikbare meetreeks uit de studie van het Hydraulisch Randvoorwaardenboek 2020 (HR2020, Vuik *et al.*, 2020). Golfdrukprofielen werden berekend door kwadratische sommatie van de drukprofielen op basis van de lineaire golftheorie, toegepast voor de afzonderlijke bijdragen van golfindringing en lokaal opgewekte windgolven. Deze dynamische drukprofielen zijn te combineren met een hydrostatische druk onder de aangeleverde ontwerpwaterstanden waarbij het effect van een lange golf nog ingerekend wordt.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Context en vraagstelling.....	1
2 Randvoorwaarden	2
2.1 Hoogwaterstand Oostende.....	2
2.2 Golfparameters	3
2.2.1 Golven buitengaats.....	3
2.2.2 Golfindringing tot Visserijsluis	8
2.2.3 Windgolven.....	10
2.2.4 Totaal golfspectrum (indringing + wind)	12
2.2.5 Lange golven	13
3 Golfbelasting.....	14
3.1 Methodiek.....	14
3.1.1 Invloed lange golven	14
3.1.2 Omzetting kortegolfspectrum in golfdrukprofiel en golfkracht	14
3.1.3 Kansverdeling golfkrachten en drukprofielen	15
3.1.4 Geometrische kenmerken caisson.....	16
3.2 Resultante golfbelasting.....	16
3.3 Golfdrukprofielen.....	17
4 Conclusie.....	18
Referenties	19

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – hoogwaterstand Oostende [m TAW] voor terugkeerperioden tussen 0.5 en 10 jaar gebaseerd op empirische statistiek.....	3
Tabel 2 – overzicht meetwaarden golfmeetboeien Oostende Oosterstaketsel	5
Tabel 3 – Significante golfhoogte [m] buitengaats t.p.v. ingang haven Oostende	6
Tabel 4 – Gemiddelde golfperiode (GTZ=Tm02) [s] buitengaats t.p.v. ingang haven Oostende	8
Tabel 5 – Invallende significante golfhoogte [m] t.p.v. de Visserijsluis Oostende (golfindringing)	9
Tabel 6 – Golfpiekperiode Tp [s] t.p.v. de Visserijsluis Oostende (golfindringing)	9
Tabel 7 – Spectrale golfperiode Tm-1,0 [s] t.p.v. de Visserijsluis Oostende (golfindringing).....	10
Tabel 8 – offshore windsnelheid $u_{w,10}$ [m/s].....	10
Tabel 9 – invallende significante golfhoogte (Hm0) windgolven t.p.v. Visserijsluis [m]	10
Tabel 10 – spectrale golfperiode (Tm-1,0) windgolven t.p.v. Visserijsluis [s] (originele waarden op basis van SWAN modellering in grijs cursief boven, herijkte waarden onder)	11
Tabel 11 – golfpiekperiode windgolven t.p.v. Visserijsluis [s]	12
Tabel 12 – totale invallende golfhoogte aan de sluisdeur Visserijsluis.....	13
Tabel 13 – significante golfkrachten onder golfkruin en golfdal.....	16

Lijst van de figuren

Figuur 1 – illustratie caisson	1
Figuur 2 – empirische frequenties hoogwaterstand Oostende (1925-2019) en verdelingen hoogwaterstand voor richtingen N, NNW en NW (HR2020) en richtingsonafhankelijk (Willems, 2019)	2
Figuur 3 – locaties uitvoerpunt 117 (HR2020) en directionele waverider Oostende Oosterstaketsel (Meetnet Vlaamse Banken)	3
Figuur 4 - tijdslijn meetwaarden Hm0 en RHF golfmeetboeien Oostende Oosterstaketsel	4
Figuur 5 – frequentieverdeling van significante golfhoogte op locatie Oosterstaketsel en uitvoerlocatie 117 (HR2020)	5
Figuur 6 – bathymetrie BCP (2016) en strandzone (2022) met locatie boei Oosterstaketsel en loc 117 (HR2020)	6
Figuur 7 – correlatie GTZ [s] en Hm0 [m], Oostende Oosterstaketsel	7
Figuur 8 – invallende diffractiecoëfficiënt aan de Visserijsluis i.f.v. waterstand	8
Figuur 9 – evolutie getij, golfhoogte buitengaats en relatieve verhouding spectrale golfperiode t.g.v. golfindringing en lokaal opgewekte windgolven aan de ingang Visserijsluis tijdens de NW storm 13-14 januari 2017	12
Figuur 10 – Gemeten golfspectrum nabij ingang Visserijsluis (13.01.2017 23:30)	13

1 Context en vraagstelling

Voor de renovatie van de vloeddeuren van het benedenhoofd van de Visserijsluis in de haven van Oostende moet een caisson gebouwd worden.

De caisson is een u-vormige bak die tegen de kolkwand gezet wordt, zodat het deel van de kolk rond het draaipunt lokaal drooggezet kan worden. Deze caisson is een tijdelijke constructie die geen deel uitmaakt van de zeewering.

De afdeling Kust van het agentschap Maritieme Dientsverlening en Kust vraagt WL om de randvoorwaarden m.b.t. waterstand en golfimpact aan te leveren voor het ontwerp van de caisson.



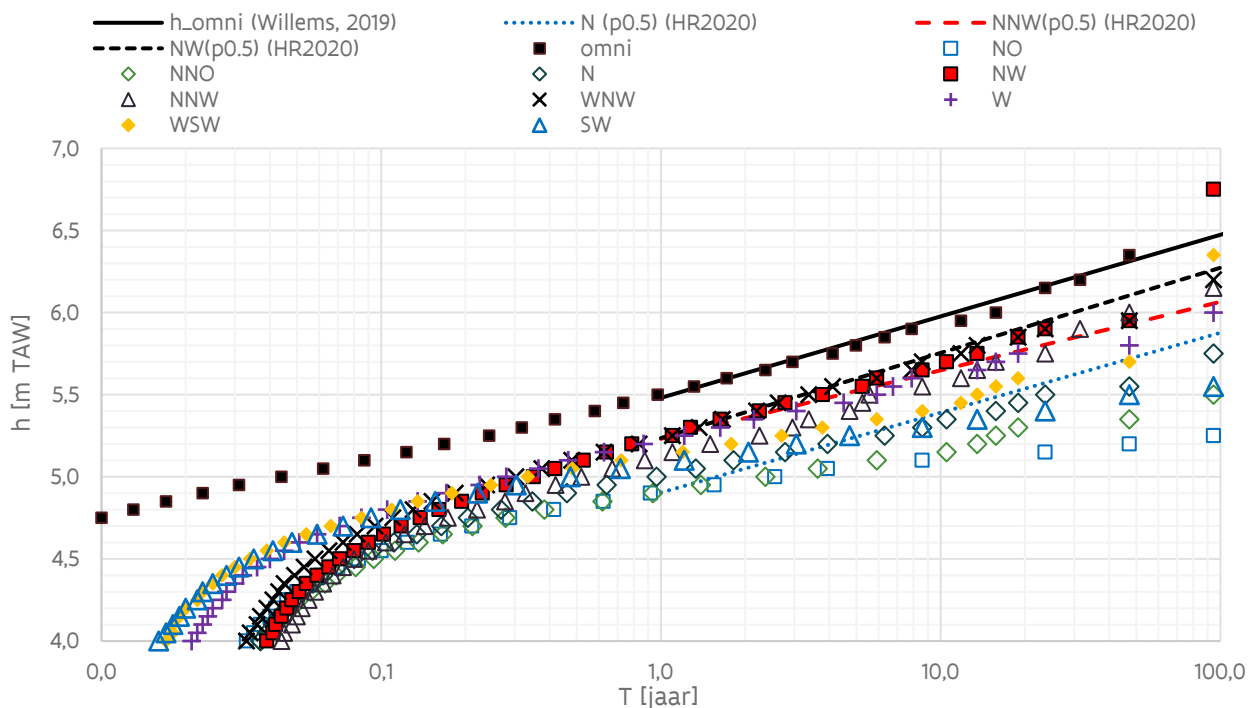
Figuur 1 – illustratie caisson

2 Randvoorwaarden

2.1 Hoogwaterstand Oostende

Om de hoogwaterstand te bepalen voor terugkeerperioden kleiner dan 10 jaar¹ wordt een analyse uitgevoerd op de waterstandsmetreeks² opgemaakt in het kader van het Hydraulisch Randvoorwaardenboek 2020 (HR2020, Vuik *et al.*, 2020). De overschrijdingskans (op basis van het relatieve aantal waarnemingen binnen de meetperiode) wordt omgezet in een overschrijdingsfrequentie door vermenigvuldiging met het aantal waarnemingen binnen de meetperiode, waarbij deze laatste aaneengesloten beschouwd wordt. Er wordt geen rekening gehouden met een verschil in winter- of zomerhalfjaar (zoals wel het geval is in HR2020). De duurtijd van de meetreeks bedraagt 94.5 jaar (1925-2019). De selectie van richtingsafhankelijke meetwaarden gebeurt binnen niet-overlappende sectoren met een breedte van 22.5°.

Figuur 2 toont de empirische terugkeerperiodes (richtingsonafhankelijk en richtingen tussen N en ZW) samen met enkele extremewaardeverdelingen uit HR2020. Bij een terugkeerperiode tussen 1 en 10 jaar vertonen de empirische frequenties een vrij goede tot goede overeenkomst met de gefitte verdelingen (vooral voor de richtingsonafhankelijke en richting NW). Tabel 1 bevat de hoogwaterstanden voor terugkeerperioden tussen 0.5 en 10 jaar.



Figuur 2 – empirische frequenties hoogwaterstand Oostende (1925-2019) en verdelingen hoogwaterstand voor richtingen N, NNW en NW (HR2020) en richtingsonafhankelijk (Willems, 2019)

¹ 10 jaar is ongeveer de terugkeerperiode van de drempelwaarden in extremewaardeverdelingen van hoogwater in HR2020.

² WP2-waterstanden.csv bevat astronomisch tij, opzet, hoogwaterstand en windrichting.

Tabel 1 – hoogwaterstand Oostende [m TAW] voor terugkeerperioden tussen 0.5 en 10 jaar gebaseerd op empirische statistiek

T [jaar]	omni	NO	NNO	N	NNW	NW	WNW	W	WZW	ZW
0.5	5.38	4.82	4.83	4.91	4.99	5.09	5.11	5.11	5.05	5.01
1	5.50	4.91	4.91	5.01	5.13	5.23	5.23	5.22	5.13	5.08
2	5.62	4.97	4.98	5.11	5.23	5.38	5.38	5.34	5.21	5.15
5	5.80	5.06	5.08	5.22	5.43	5.54	5.58	5.47	5.33	5.25
10	5.93	5.11	5.15	5.34	5.57	5.69	5.72	5.62	5.42	5.31

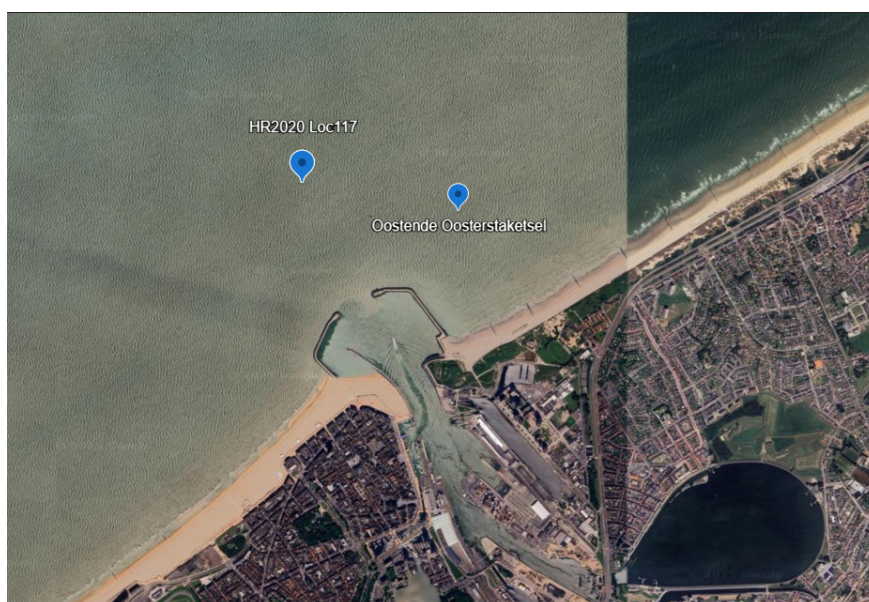
2.2 Golfparameters

De bepaling van de invallende golfhoogte ter plaatse van de Visserijsluis gebeurt in 2 stappen: (i) eerst worden de golfparameters buitengaats bepaald in de omgeving van de haveningang en (ii) vervolgens worden deze golfparameters getransformeerd naar invallende condities ter plaatse van de sluisdeur Visserijsluis.

2.2.1 Golven buitengaats

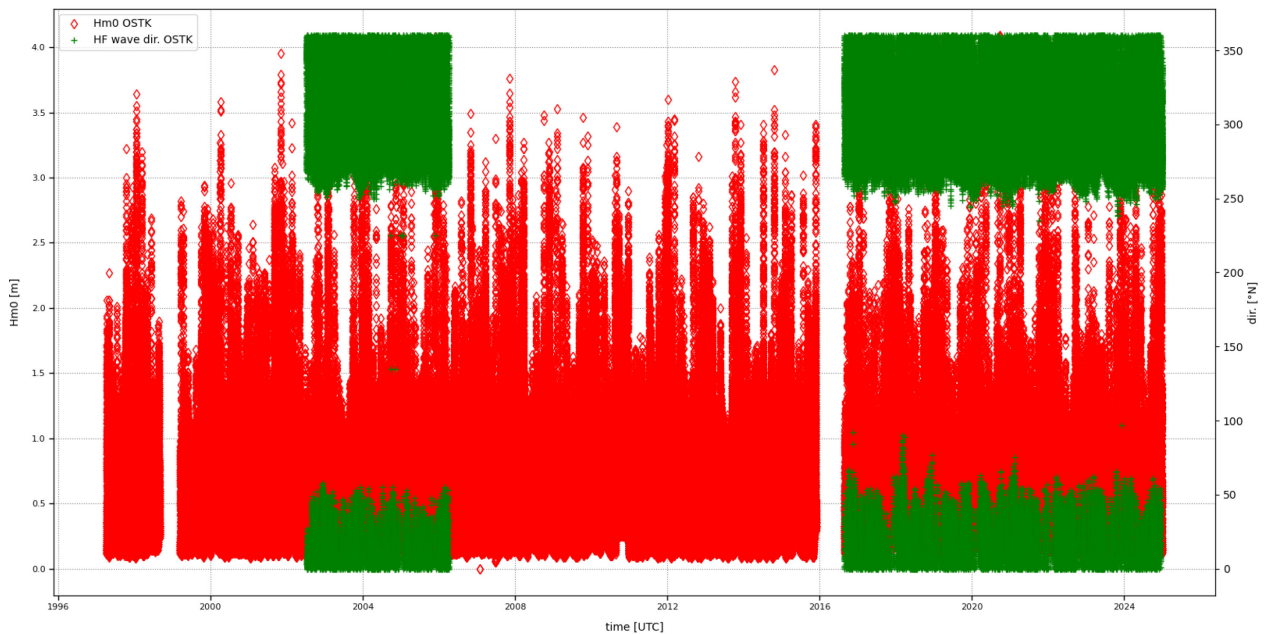
Golfhoogte

In HR2020 zijn op uitvoerlocatie 117 golfparameters (golfhoogte en -periode) beschikbaar met terugkeerperiode vanaf 10 jaar (Figuur 3). Een retourperiode van 10 jaar is te hoog voor het ontwerp van een caisson die tijdelijk in dienst is. Om die reden wordt een analyse uitgevoerd van de golfboeimetingen op locatie Oostende Oosterstaketsel (Meetnet Vlaamse Banken).



Figuur 3 – locaties uitvoerpunt 117 (HR2020) en directionele waverider Oostende Oosterstaketsel (Meetnet Vlaamse Banken)

De metingen zijn beschikbaar sinds april 1997 tot op heden, met 2 grote onderbrekingen (winterseizoen 1998-1999 en 2015-2016, zie Figuur 4). Er werden 2 types meetboeien ingezet: Datawell wavec (niet-directioneel, 15 min meetwaarden) en Datawell waverider (directioneel, 30 min). Een overzicht van de metingen wordt gegeven in Tabel 2. De totale meetperiode exclusief onderbrekingen (met en zonder gemeten golfrichting) bedraagt 25.9 jaar en 11.92 jaar met registratie van zowel golfhoogte en richting.



Figuur 4 - tijdslijn meetwaarden Hm0 en RHF golfmeetboeien Oostende Oosterstaketsel

De empirische frequentieverdeling van de parameter *significante* golfhoogte³ werd afgeleid uit de meetgegevens. De overschrijdingskans (op basis van het relatieve aantal waarnemingen binnen de meetperiode) wordt omgezet in een overschrijdingsfrequentie (jaar) door vermenigvuldiging met het aantal waarnemingen binnen de meetperiode, waarbij deze laatste aaneengesloten beschouwd wordt. Er wordt daarbij geen rekening gehouden met een verschil in winter- of zomerhalfjaar (zoals wel het geval is in HR2020).

Figuur 5 stelt de frequentieverdelingen voor, omnidirectioneel en richtingsafhankelijk (tussen W en NO). Dit zijn enerzijds de empirische frequenties uit de boeigegevens op locatie Oostende Oosterstaketsel en anderzijds de frequenties op uitvoerlocatie 117 uit HR2020.

Een eerste vaststelling is dat de empirische frequentieverdeling van locatie Oosterstaketsel voor richting W een stuk lager uitvalt in vergelijking met de andere richtingen, iets wat niet waargenomen wordt op locatie 117. Dit is te wijten aan de aanwezigheid van de stroombank die er voor zorgt dat de grotere golven uit westelijke richting meer demping (bodempwrijving, golfbreking) ondergaan op de meetlocatie Oosterstaketsel in vergelijking met de uitvoerlocatie 117 die iets noordelijker ligt, vlak naast de vaargeul (Figuur 6).

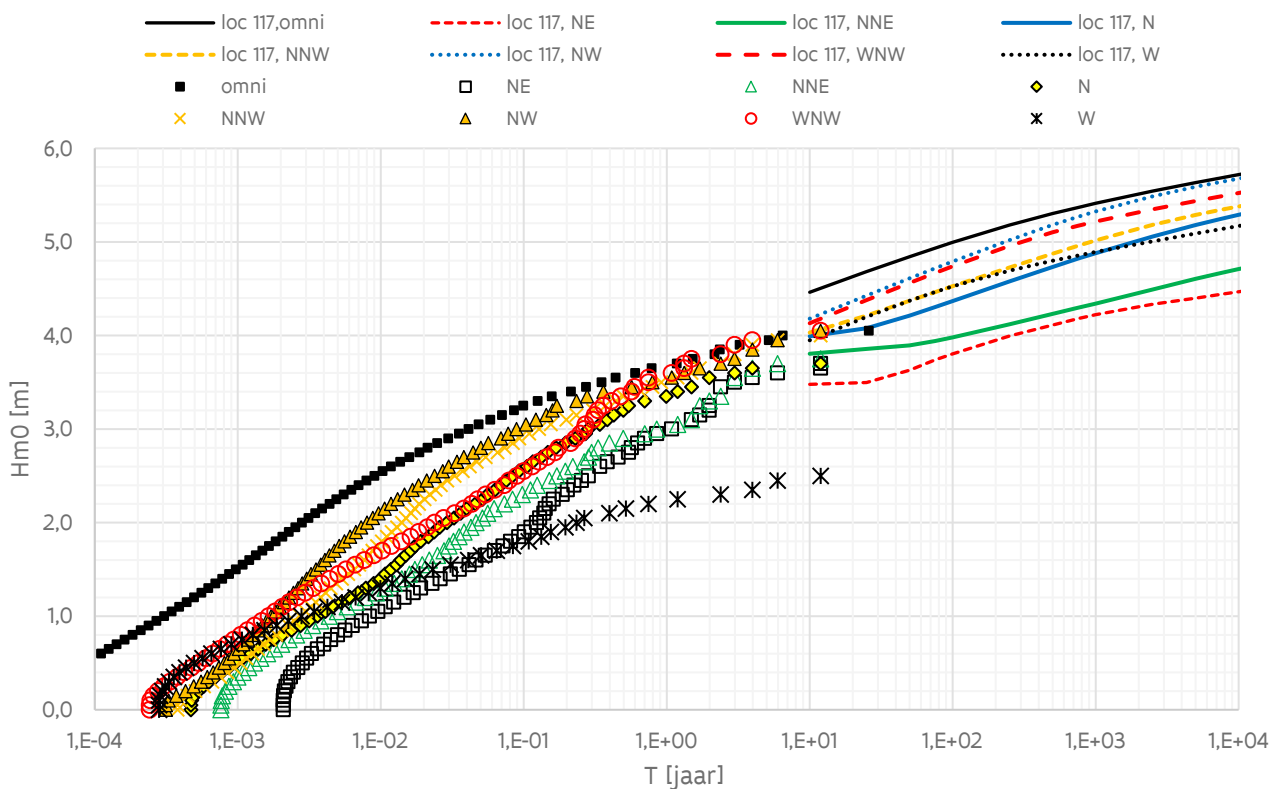
Verder valt op dat de frequentieverdelingen tussen beide locaties een (beperkte) discontinuïteit vertonen rond een retourperiode 10 jaar. Aan de basis hiervan ligt het verschil in locatie (invloed bathymetrie, vooral voor richting W ten gevolge van de stroombank) maar ook de modelonzekerheid ten gevolge van de doorvertaling van diepwater randvoorwaarden naar de uitvoerlocatie 117 in SWAN.

³ Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen de parameter H33 (gedefinieerd in tijdsdomein) en Hm0 (frequentiedomein).

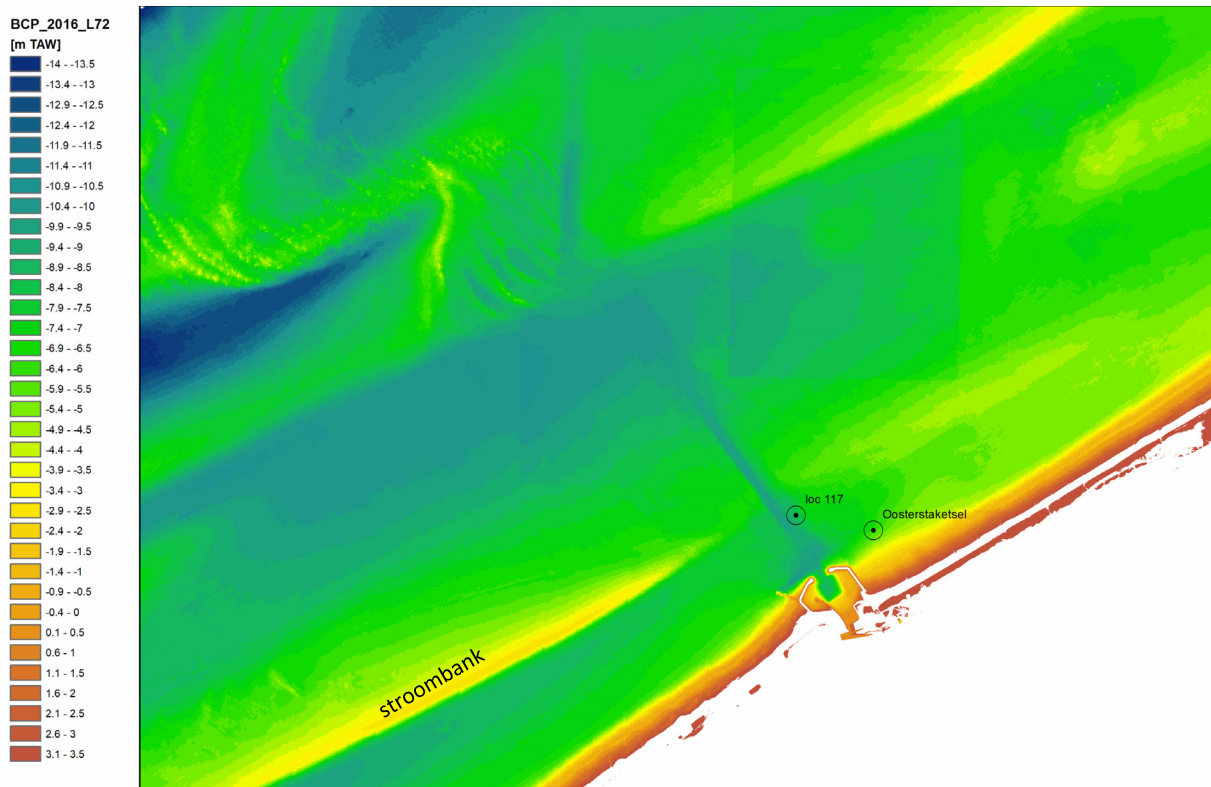
Tabel 2 – overzicht meetwaarden golfmeetboeien Oostende Oosterstaketsel

periode	type boei	parameter	interval
08.04.1997 - 09.1998	Waverider (wavec)	H33, H10, GTZ	15 min
03.1999 – 07.1999	Waverider (wavec)	H33, H10, GTZ	15 min
08.1999 – 10.07.2002	Waverider (wavec)	H33, H10, GTZ	15 min
10.07.2002 – 06.04.2006	Directionele waverider	Hm0, H10, HLF, GTZ, RHF, RLF	30 min
06.04.2006 – 27.11.2015	Waverider (wavec)	H33, H10, GTZ	15 min
24.08.2016 – heden	Directionele waverider (Mark III)	Hm0, H10, HLF, GTZ, RHF, RLF	30 min

H33: gemiddelde van de 33 % hoogste golven
H10 : gemiddelde van de 10 % hoogste golven
Hm0 : significante golfhoogte bepaald als 4 maal de wortel van het 0-de orde moment van het energiedichtheidsspectrum
HLF : hoogte deining bepaald als 4 maal de wortel van het 0-de orde moment van het energiedichtheidsspectrum, geïntegreerd tussen 0.03 en 0.1 Hz
GTZ : gemiddelde golfperiode ($=T_{m02}$ voor de wavec golfboei vanaf 01.07.1998)
RHF : richting golven met periode tussen 2 en 5 seconden
RLF : richting golven met periode > 10 sec



Figuur 5 – frequentieverdeling van significante golfhoogte op locatie Oosterstaketsel en uitvoerlocatie 117 (HR2020)



Figuur 6 – bathymetrie BCP (2016) en strandzone (2022) met locatie boei Oosterstaketsel en loc 117 (HR2020)

Tabel 3 bevat de golfhoogtes die representatief zijn voor de buitengaatse waarden ter plaatse van de haveningang.

Tabel 3 – Significante golfhoogte [m] buitengaats t.p.v. ingang haven Oostende

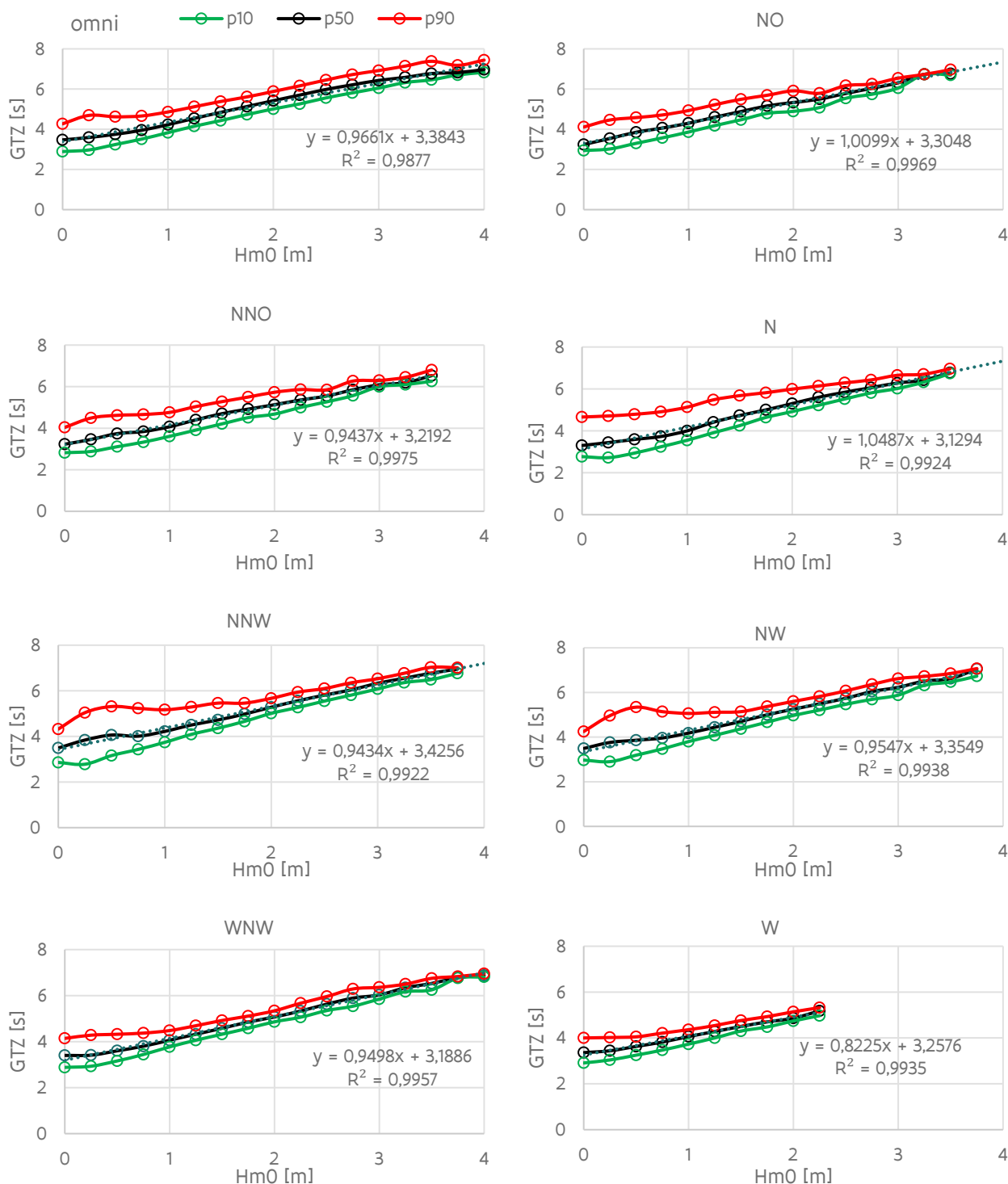
T [jaar]	omni	NO	NNO	N	NNW	NW	WNW	W ^(a)	WZW ^(a)	ZW ^(a)
0.5	3.57	2.73	2.90	3.20	3.35	3.43	3.36	3.21	2.88	2.64
1	3.68	2.98	3.02	3.35	3.52	3.54	3.59	3.43	3.08	2.82
2	3.79	3.40	3.30	3.55	3.67	3.67	3.78	3.61	3.24	2.97
5	3.95 ^(b)	3.58	3.68	3.66	3.93	3.93	4.01	3.83	3.44	3.15
10	4.01 ^(b)	3.63	3.73	3.69	3.98	4.03	4.04	3.86	3.46	3.18

(a) De golfhoogtes voor richtingen W, WZW en ZW werden niet bepaald uit de golfmetingen Oosterstaketsel, omdat deze niet representatief zijn voor de waarden ter hoogte van de vaargeul (wegens de reducerende invloed van de stroombank). De waarden voor deze richtingen werden bekomen door de waarden WNW te herscalen met een factor gelijk aan de verhouding van de 10-jarige golfhoogte van de beschouwde richting tot die van WNW (waarden op uitvoerlocatie 117 HR2020).

(b) De omnidirectionele waarde is lager dan de directionele waarde (NW of WNW). Dit is het gevolg van interpolatie tussen meetpunten die verder uiteen liggen, het gevolg van de langere duurtijd van de omnidirectionele meetreeks. Hier wordt verder geen acht aan besteed, aangezien deze waarden niet toegepast worden.

Golfperiode

Figuur 7 toont de correlatie tussen de gemiddelde golfperiode (GTZ) en de significante golfhoogte, voor de boeimetingen Oostende Oosterstaketsel (richtingen tussen NO en W). De spreiding van de gemeten GTZ-waarden wordt gekwantificeerd door de 10 en 90% fractielen rond de mediaanwaarden (p50).



Figuur 7 – correlatie GTZ [s] en Hm0 [m], Oostende Oosterstaketsel

Tabel 4 bevat de waarden van gemiddelde golfperiode gekoppeld aan de golfhoogtes in Tabel 3. Deze waarden werden berekend op basis van een lineaire fit tussen H_{m0} en (mediane) GTZ-waarden (Figuur 7).

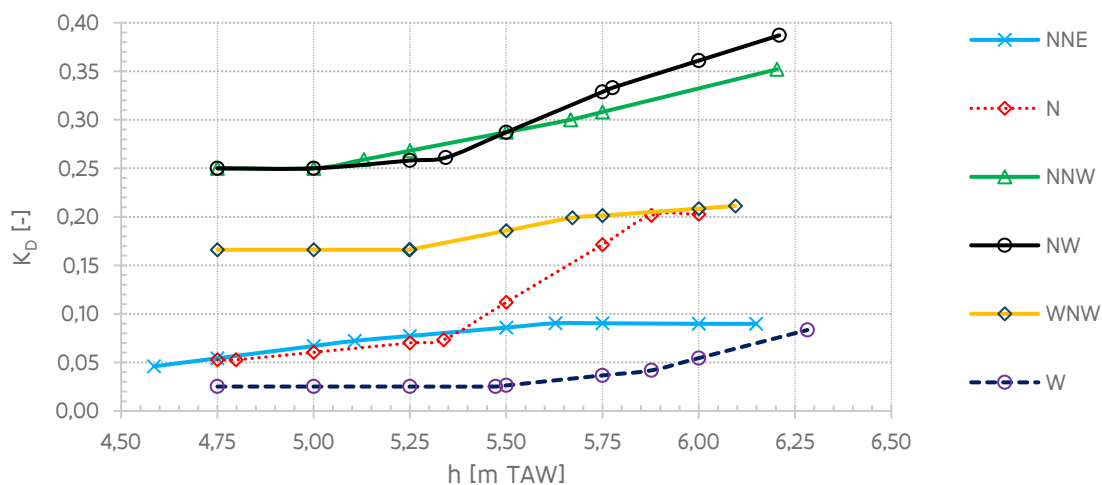
Tabel 4 – Gemiddelde golfperiode (GTZ= T_{m02}) [s] buitengaats t.p.v. ingang haven Oostende

T [jaar]	omni	NO	NNO	N	NNW	NW	WNW	W ^(a)	WZW ^(a)	ZW ^(a)
0.5	6.83	6.06	5.96	6.49	6.59	6.63	6.38	6.33	5.59	5.51
1	6.94	6.32	6.07	6.64	6.74	6.73	6.60	6.55	5.78	5.70
2	7.04	6.74	6.34	6.85	6.89	6.86	6.78	6.73	5.94	5.85
5	7.20	6.92	6.69	6.96	7.13	7.10	6.99	6.94	6.13	6.04
10	7.26	6.97	6.74	7.00	7.18	7.21	7.02	6.97	6.16	6.06

(a) De golfperiodes voor richtingen W, WZW en ZW werden niet bepaald uit de golfmetingen Oosterstaketsel, omdat deze niet representatief zijn voor de waarden ter hoogte van de vaargeul (wegens de reducerende invloed van de stroombank). De waarden voor deze richtingen werden bekomen door de waarden WNW te herscalen met een factor gelijk aan de verhouding van de 10-jarige T_{m02} -waarden van de beschouwde richting tot die van WNW. De 10-jarige T_{m02} -waarden op uitvoerlocatie 117 (HR2020) werden berekend op basis van de T_p -waarden met de aanname van een vaste verhouding $T_{m02}=0.8 \cdot T_p$ (geldig voor een Jonswap spectrum met peak enhancement factor = 3.3).

2.2.2 Golfindringing tot Visserijsluis

De golfindringing tot aan de Visserijsluis werd bestudeerd in Vanneste *et al.* (2022). De zg. invallende (K_D^{inc}) diffractiecoëfficiënt wordt gedefinieerd als de verhouding van de resp. lokale invallende golfhoogte tot de golfhoogte buitengaats. De K_D -factor is in principe onafhankelijk van de golfhoogte, voor zover er geen brekingsprocessen optreden tussen de modelrand en de haveningang of in bepaalde ondiepe zones van de haven. Figuur 8 toont de invallende waarden van richtingsafhankelijke diffractiecoëfficiënt t.p.v. de zeewaartse deur van de Visserijsluis. De grootste golfindringing treedt op bij windrichting NW en WNW. De waarden nemen (licht) toe met toenemende waterstand (tussen +5.5 en +6.5 m TAW) wegens de verhoogde reflectie in het havenbekken.



Figuur 8 – invallende diffractiecoëfficiënt aan de Visserijsluis i.f.v. waterstand

Tabel 5 bevat de significante golfhoogtes (invallende waarden) ter plaatse van de Visserijsluis. Deze werden bekomen door vermenigvuldiging van de waarden buitengaats (Tabel 3) met een voor elke richting constante K_D -coëfficiënt (bepaald op basis van Figuur 8). De omnidirectionele K_D -waarde werd daarbij gelijk gesteld aan het maximum voor richting NW. De ontbrekende waarde NO werd gelijkgesteld aan NNO, idem dito voor WZW en ZW die gelijkgesteld werden aan W.

Tabel 5 – Invallende significante golfhoogte [m] t.p.v. de Visserijsluis Oostende (golfindringing)

	omni	NO	NNO	N	NNW	NW	WNW	W	WZW	ZW
K_D [-]	0.33	0.090	0.090	0.20	0.31	0.33	0.20	0.05	0.05	0.05
T [jaar]	Hm0 [m]									
0.5	1.19	0.25	0.26	0.65	1.03	1.14	0.68	0.18	0.16	0.14
1	1.22	0.27	0.27	0.68	1.08	1.18	0.72	0.19	0.17	0.15
2	1.26	0.31	0.30	0.72	1.13	1.22	0.76	0.20	0.18	0.16
5	1.31	0.32	0.33	0.74	1.21	1.31	0.81	0.21	0.19	0.17
10	1.33	0.33	0.34	0.74	1.23	1.34	0.81	0.21	0.19	0.17

Er wordt aangenomen dat de golfpiekperiode in de nabijheid van de Visserijsluis ongewijzigd blijft t.o.v. van de waarde buitengaats nabij de haveningang. Deze aanname is gerechtvaardigd indien de dissipatieve processen (golfbreking, bodemwrijving) niet dermate significant zijn dat een verschuiving in de piekperiode ontstaat. De golfpiekperiode T_p buitengaats (Tabel 6) wordt berekend op basis van de T_{m02} -waarde buitengaats (Tabel 4) als $T_p=1.25 \cdot T_{m02}$ onder de aanname van een Jonswap spectrum met $\gamma=3.3$.

Tabel 6 – Golfpiekperiode T_p [s] t.p.v. de Visserijsluis Oostende (golfindringing)

T [jaar]	omni	NO	NNO	N	NNW	NW	WNW	W	WZW	ZW
0.5	8.54	7.57	7.45	8.11	8.23	8.29	7.98	7.92	6.99	6.89
1	8.67	7.90	7.59	8.31	8.43	8.41	8.25	8.18	7.23	7.12
2	8.80	8.43	7.92	8.57	8.61	8.58	8.47	8.41	7.43	7.31
5	8.99	8.64	8.36	8.70	8.91	8.88	8.74	8.68	7.66	7.55
10	9.07	8.72	8.43	8.75	8.98	9.01	8.78	8.71	7.70	7.58

Door golfdiffractie ontstaat een relatieve toename van lange(re) golfenergie in het spectrum, met een stijging van de $T_{m-1,0}$ waarde tot gevolg. Dit bleek ook uit de Mik21-BW modellering van de golfindringing in Vanneste *et al.* (2022). De verhouding van de $T_{m-1,0}$ waarde nabij de Visserijsluis tot de golfpiekperiode buitengaats werd in deze studie gelijkgesteld aan 1.05 (tussen N en WNW) of 1.15 (NNO en W). De waarden van spectrale golfperiode nabij de ingang van de Visserijsluis zijn opgenomen in Tabel 7.

Tabel 7 – Spectrale golfperiode $T_m-1,0$ [s] t.p.v. de Visserijsluis Oostende (golfindringing)

T [jaar]	omni	NO	NNO	N	NNW	NW	WNW	W(*)	WZW	ZW
0.5	8.97	8.71	8.56	8.52	8.65	8.71	8.38	9.11	8.04	7.92
1	9.10	9.08	8.73	8.72	8.85	8.83	8.66	9.41	8.31	8.19
2	9.25	9.69	9.11	9.00	9.04	9.00	8.90	9.67	8.54	8.41
5	9.44	9.94	9.61	9.14	9.36	9.32	9.18	9.98	8.81	8.68
10	9.53	10.03	9.69	9.18	9.43	9.46	9.22	10.02	8.85	8.72

2.2.3 Windgolven

In Vanneste *et al.* (2022) werden de parameters van het invallende golfspectrum nabij de Visserijsluis bepaald m.b.v. SWAN modellering, voor verschillende windrichtingen tussen NO en ZW (in tegenwijzerzin doorlopen). Door gebruik te maken van een lineaire fit tussen de opgelegde windsnelheid en de parameters H_m0 en $T_m-1,0$ in SWAN, kunnen de gezochte invallende windgolven bepaald worden voor windsnelheden met retourperiode tussen 0.5 en 10 jaar.

Tabel 8 bevat de offshore windsnelheid (gerefereerd op 10 m boven wateroppervlak). Voor aanlandige wind worden deze omgezet in een waarde boven land door vermenigvuldiging met een factor 0.72 (De Roo *et al.*, 2016). Tabel 9 en Tabel 10 bevatten resp. de invallende significante golfhoogte en spectrale golfperiode nabij de Visserijsluis, alsook de parameters van de lineaire regressie op basis van de SWAN resultaten.

Tabel 8 – offshore windsnelheid $u_{w,10}$ [m/s]

T [jr]	NO	NNO	N	NNW	NW	WNW	W	WZW	ZW
0.5	13.7	13.3	13.6	15.7	17.2	17.7	20.0	19.7	21.4
1	15.2	14.4	15.3	16.5	18.1	19.2	20.4	21.2	22.6
2	16.6	15.5	16.8	18.1	19.3	20.6	21.8	22.6	24.2
5	18.3	16.8	18.7	19.6	20.7	22.4	23.3	24.3	26.1
10	19.5	17.7	20.1	20.7	21.7	23.6	24.3	25.5	27.4

Tabel 9 – invallende significante golfhoogte (H_m0) windgolven t.p.v. Visserijsluis [m]

	NO	NNO	N	NNW	NW	WNW	W	WZW	ZW
a [s]	0.015	0.016	0.015	0.018	0.022	0.023	0.025	0.025	0.022
b [m]	-0.127	-0.140	-0.108	-0.134	-0.154	-0.151	-0.144	-0.148	-0.141
T [jr]									
0.5	0.025	0.008	0.035	0.069	0.114	0.146	0.210	0.203	0.192
1	0.042	0.021	0.052	0.080	0.128	0.172	0.216	0.230	0.211
2	0.057	0.033	0.068	0.099	0.147	0.195	0.241	0.255	0.235
5	0.076	0.047	0.088	0.120	0.169	0.224	0.268	0.285	0.264
10	0.089	0.057	0.102	0.134	0.184	0.245	0.286	0.307	0.285

Tabel 10 – spectrale golfperiode ($T_{m-1,0}$) windgolven t.p.v. Visserijsluis [s]
(originele waarden op basis van SWAN modellering in grijs cursief boven, herijkte waarden onder)

	NO	NNO	N	NNW	NW	WNW	W	WZW	ZW
<i>a [s²/m]</i>	<i>0.065</i>	<i>0.080</i>	<i>0.084</i>	<i>0.082</i>	<i>0.086</i>	<i>0.061</i>	<i>0.054</i>	<i>0.059</i>	<i>0.052</i>
<i>b [s]</i>	<i>0.593</i>	<i>0.149</i>	<i>0.082</i>	<i>0.135</i>	<i>0.186</i>	<i>0.618</i>	<i>0.799</i>	<i>0.712</i>	<i>0.722</i>
T [jr]									
0.5	1.23	0.92	0.90	1.07	1.25	1.40	1.58	1.55	1.52
1	1.30	0.98	1.00	1.11	1.31	1.47	1.60	1.61	1.56
2	1.37	1.04	1.09	1.20	1.38	1.53	1.65	1.67	1.62
5	1.45	1.12	1.21	1.30	1.47	1.61	1.71	1.74	1.69
10	1.50	1.17	1.29	1.36	1.53	1.66	1.75	1.80	1.74
T [jr]									
0.5	3.91	2.98	3.13	3.44	3.96	4.37	4.74	4.78	4.66
1	3.96	3.03	3.17	3.49	4.01	4.44	4.81	4.85	4.72
2	4.04	3.09	3.24	3.56	4.09	4.52	4.90	4.95	4.82
5	4.18	3.20	3.35	3.69	4.24	4.68	5.08	5.12	4.99
10	4.24	3.24	3.40	3.74	4.30	4.75	5.15	5.19	5.06

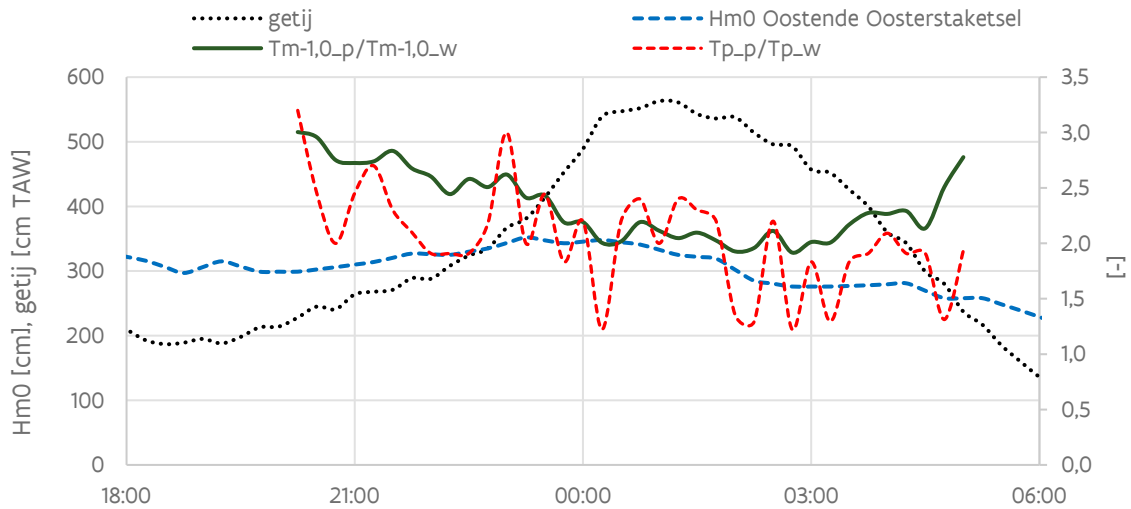
Uit eerdere validatie van de SWAN resultaten van windgolven nabij de Mercatorsluis en de Demeysluis (Vanneste *et al.*, 2023, 2024) is gebleken dat de golfpiekperiode in SWAN lager is dan wat in situ waargenomen wordt. Aangezien de $T_{m-1,0}$ -waarden (in cursief) in Tabel 10 onrealistisch laag lijken, wordt voorgesteld om het te verwachten frequentieinterval met windgolfenergie in te schatten op basis van de golfmeting die werd uitgevoerd aan de ingang van de Visserijsluis tijdens een storm op 13-14 januari 2017 (Vanneste *et al.*, 2017).

Figuur 9 toont het verloop van waterstand en golfhoogte buitengaats (Oostende Oosterstaketsel) rond de piek van de storm, met wind en golven uit NW. De gemeten golfspectra⁴ werden opgesplitst in een component 0.05-0.2 Hz gelinkt aan golfindringing en een component 0.2-2 Hz gelinkt aan windgolven. De verhouding van de $T_{m-1,0}$ -waarden van golfindringing t.o.v. wind, weergegeven in Figuur 9, bedraagt gemiddeld 2.2 rond de stormpiek. Dit geldt ook voor de verhouding van de golfpiekperiodes, al vertoont deze meer variatie door de intrinsieke fluctuatie van de piekfrequentie.

De $T_{m-1,0}$ -waarden op basis van SWAN modellering werden herijkt in 2 stappen: (i) voor richting NW werden de originele waarden vermenigvuldigd met een factor 2.2; (ii) voor de overige richtingen werden de herijkte NW-waarden vermenigvuldigd met de verhouding van de originele waarde van de betreffende richting tot de waarde van NW (gemiddelde factor per richting). De herijkte waarden zijn opgenomen onderaan Tabel 10.

De golfpiekperiode van de windgolven (Tabel 11) werden bepaald door de $T_{m-1,0}$ waarden (Tabel 10) te vermenigvuldigen met een richtingsafhankelijke verhouding $T_p/T_{m-1,0}$ uit de SWAN gemodelleerde golvenspectra.

⁴ De meetlocatie bevond zich aan de noordelijke zijde van de fuik tot de Visserijsluis, niet precies aan de sluisdeur zelf. Dit heeft echter weinig tot geen invloed op de (korte) golfperiode.



Figuur 9 – evolutie getij, golfhoogte buitengaats en relatieve verhouding spectrale golfperiode t.g.v. golfindringing en lokaal opgewekte windgolven aan de ingang Visserijsluis tijdens de NW storm 13-14 januari 2017

Tabel 11 – golfpiekperiode windgolven t.p.v. Visserijsluis [s]

	NO	NNO	N	NNW	NW	WNW	W	WZW	ZW
$T_p/T_{m-1,0}$ SWAN [-]	0.99	1.15	1.28	1.20	1.20	1.20	1.02	1.03	1.03
T [jr]									
0.5	3.88	3.44	4.01	4.13	4.75	5.25	4.86	4.93	4.78
1	3.94	3.49	4.07	4.19	4.82	5.33	4.93	5.00	4.85
2	4.01	3.55	4.15	4.27	4.91	5.43	5.02	5.09	4.95
5	4.15	3.68	4.29	4.42	5.09	5.62	5.20	5.27	5.12
10	4.21	3.73	4.36	4.49	5.16	5.70	5.28	5.35	5.20

2.2.4 Totaal golfspectrum (indringing + wind)

Het totale golfspectrum onder de combinatie van indringingsgolven en windgolven wordt benaderd door de superpositie van de golvenspectra van beide componenten. Een mogelijke interactie tussen indringingsgolven en lokaal opgewekte golven binnen het havenbekken die aanleiding kan geven tot verschuiving van energie in het spectrum wordt hiermee niet beschouwd.

Er wordt volledige correlatie tussen de golfrichting en windrichting verondersteld. Dit is niet per definitie de meest nadelige situatie, aangezien een winddraaiing naar de meest nadelige richting voor windgolfbelasting (W) een verhoging van de golfbelasting kan veroorzaken bij golfindringing vanuit de meest nadelige richting (NW). Een volledige correlatie van de randvoorwaarden waterstand, golven en wind buitengaats (combineren van parameterwaarden volgens empirische verdelingen) is daarentegen wel een conservatieve aanname.

Tabel 12 bevat voor elke richting de totale invallende golfhoogte berekend op basis van de totale golfenergie

$$\text{als } H_{m0,tot} = \sqrt{H_{m0,p}^2 + H_{m0,w}^2}$$

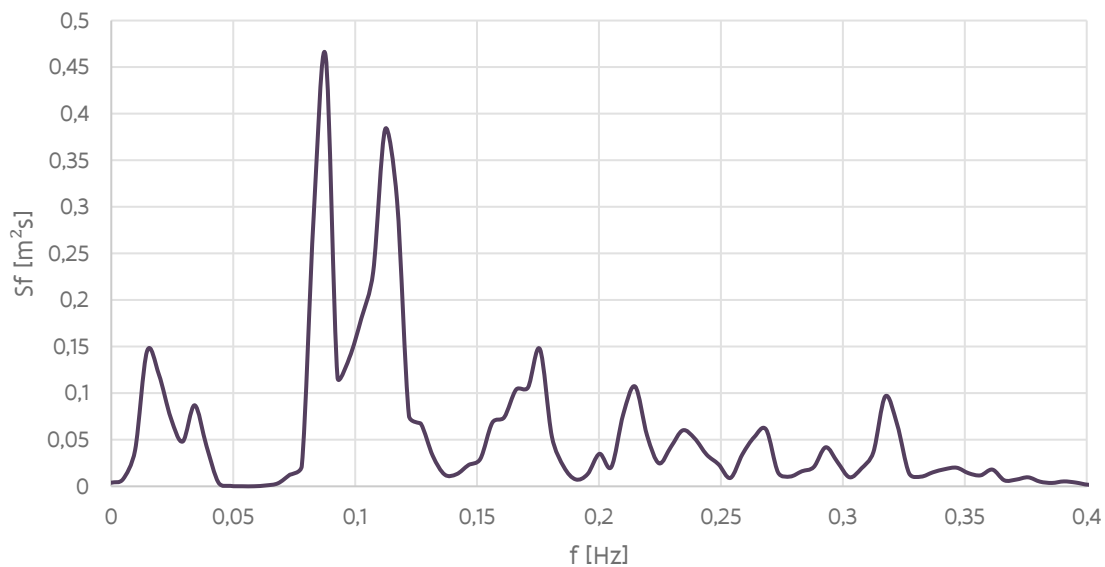
Tabel 12 – totale invallende golfhoogte aan de sluisdeur Visserijsluis

		NO	NNO	N	NNW	NW	WNW	W	WZW	ZW
Hm0 [m]	T [jr]									
	0.5	0.25	0.26	0.65	1.03	1.15	0.69	0.27	0.26	0.24
	1	0.27	0.27	0.68	1.09	1.18	0.74	0.29	0.28	0.26
	2	0.31	0.30	0.72	1.14	1.23	0.79	0.31	0.31	0.29
	5	0.33	0.34	0.74	1.22	1.32	0.84	0.34	0.34	0.32
10	0.34	0.34	0.75	1.23	1.36	0.85	0.36	0.36	0.33	

2.2.5 Lange golven

Uit de analyse van de golfmetingen nabij de ingang van de Visserijsluis tijdens de januaristorm 2017 (zie § 2.2.3) blijkt een significante hoeveelheid langegolfenergie aanwezig in het golfspectrum (<0.05 Hz). Ter illustratie wordt het golfspectrum met de grootste gemeten (totale) energieinhoud weergegeven (Figuur 10). Deze energie kan afkomstig zijn van lange golven buitengaats die de haven binnendringen of door resonantie binnen het havenbekken.

De gemeten Hm0-waarde van de langegolfcomponent bedraagt gemiddeld 0.2 m rond de stormpiek (golfrichting NW). Deze waarde kan als een *totale* waarde beschouwd worden (incl. reflectie).



Figuur 10 – Gemeten golfspectrum nabij ingang Visserijsluis (13.01.2017 23:30)

3 Golfbelasting

3.1 Methodiek

3.1.1 Invloed lange golven

De invloed van de langegolfcomponent ($f < 0.05$ Hz) ten gevolge van resonantie in de berekening van het drukprofiel onder een golfkruin resp. golfdal wordt in aanmerking genomen door het verhogen, resp. verlagen, van het stilwaterpeil met de halve laagfrequente *totale* significante golfhoogte $H_{m0} = 0.2$ m (zie § 2.2.5). Hierdoor wordt telkens de meest nadelige situatie beschouwd.

3.1.2 Omzetting kortegolfspectrum in golfdrukprofiel en golfkracht

In dit rapport wordt de golfbelasting op 2 manieren berekend: (i) volgens de methode Goda-Takahashi (2010) en (ii) op basis van een samengesteld drukprofiel met dubbele toepassing van de lineaire golftheorie voor de bijdragen van golfindringing en windgolven afzonderlijk.

Methodie Goda-Takahashi

Bij de methode **Goda-Takahashi** (hierna verder afgekort tot 'Goda methode') zijn de volgende aannames en parameterwaarden van toepassing:

- De totale *invallende* significante golfhoogte ($H_s \approx H_{m0}$) wordt als invoer gebruikt (Tabel 12), deze stemt overeen met een significante golfkracht F_s ;
- de golflengte wordt berekend op basis van de golfpiekperiode T_p ;
- een dichtheid van zeewater $\rho_w = 1025$ kg/m³;
- loodrechte golfinval;
- de golfdrukformules veronderstellen 100 % golfreflectie, waardoor een eventuele overschatting van de belasting te verwachten is bij optreden van significante golfoverslag of overloop;
- het Goda model heeft betrekking op de belasting onder een golfkruin. Voor een golfdal kunnen de berekeningsdiagrammen in sectie 4.2.3 in Goda (2010) gebruikt worden. Deze leveren de totale kracht onder een golfdal, het aangrijpingspunt van de resultante en druk ter hoogte van de bodem. Deze diagrammen werden theoretisch afgeleid voor staande (niet-brekende) golven. Deze diagrammen werden echter niet toegepast in deze studie;
- de methode is ontwikkeld voor unimodale spectra (vertoont 1 energiepiek) en is in principe minder geschikt indien zowel lokale windgeneratie als golfindringing een gelijkwaardige energie-inhoud vertonen. Er wordt hier een veilige benadering gevolgd door de golfpiekperiode geassocieerd met golfindringing toe te passen indien de energie door indringing hoger is dan deze van de windgolven. Indien andersom wordt een 'equivalente' waarde $T_{p,eq}$ gebruikt, berekend als (van der Meer *et al.*, 2002):

$$T_{p,eq} = \left(\frac{H_{m0,swell}}{H_{m0,tot}} \right)^2 T_{p,swell} + \left(\frac{H_{m0,wind}}{H_{m0,tot}} \right)^2 T_{p,wind} \quad (1)$$

Lineaire golftheorie – kwadratische sommatie

De significante golfkracht $F_{s,kr}$ (kracht per eenheidsbreedte op een vlakke wand) onder een golfkruin wordt op basis van de lineaire golftheorie (LWT) berekend als de geïntegreerde druk tussen de onderzijde van de sluisdeur $z_{d,bot}$ en z_{kr} (=minimum van peil golfkruin $(SWP+0.5 * (1 + CR) * H_{m0,inc})$ of kruinpeil $z_{d, cr}$ van de constructie):

$$F_{s,kr} = \frac{(1+CR)\rho_w g H_{s,inc}}{2} * \left[\int_{z_{d,bot}}^0 \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} dz + \int_0^{z_{kr}} \left(1 - \frac{z}{(1+CR)H_{m0,inc}/2} \right) dz \right] \quad (2)$$

waarbij $H_{s,inc}$ de invallende significante golfhoogte ($H_{s,inc} \approx H_{m0,inc}$) en $k = 2\pi/L_p$ het golfgetal op basis van de golfpiekperiode T_p .

Analoog wordt de golfkracht $F_{s,dal}$ onder een golfdal (tegengesteld aan de invalrichting van de golven) berekend door integratie van de golfdruk tussen $z_{d,bot}$ en z_{dal} (=minimum van peil golfdal $(SWP-0.5 * (1 + CR) * H_{m0,inc})$ of kruinpeil $z_{d, cr}$ van de constructie):

$$F_{s,dal} = - \frac{(1+CR)\rho_w g H_{s,inc}}{2} * \int_{z_{d,bot}}^{z_{dal}} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} dz \quad (3)$$

Bij voorkomen van een bimodaal (dubbelpiekig) golfspectrum is het toepassen van **kwadratische sommatie (LWT-QS)** van de resultaten van de lineaire golftheorie van de afzonderlijke componenten van golfindringing $F_{LWT,swell}$ en windgolven $F_{LWT,sea}$ een goede benadering van de spectrale lineaire golftheorie (Tuin, 2022):

$$F_{LWT,QS} = \sqrt{F_{LWT,swell}^2 + F_{LWT,sea}^2} \quad (4)$$

3.1.3 Kansverdeling golfkrachten en drukprofielen

De verdeling van individuele golfhoogtes binnen een golfspectrum van niet-brekende golven kan met goede benadering d.m.v. een Rayleigh verdeling beschreven worden. Dit geldt zowel voor enkeltoppige als dubbeltoppige golfspectra (Goda, 2010).

De kans op overschrijden van een golfkracht kan conditioneel aan het golfveld beschouwd worden⁵. In Tuin (2022) wordt op basis van experimenteel gemeten golf- en golfkrachtspectra aangetoond dat de krachten Rayleigh verdeeld zijn, zowel voor enkeltoppige als dubbeltoppige spectra.

De overschrijdingskans van de golfkracht F op basis van de Rayleigh verdeling luidt⁶:

$$P(F) = \exp \left[-2 \left(\frac{F}{F_s} \right)^2 \right] \quad (5)$$

waarin F_s de significante golfkracht als schaalparameter, berekend op basis van $H_s \approx H_{m0}$. De significante golfkracht heeft een overschrijdingskans van 13.5%. Eenmaal de waarde F_s gekend, levert vergelijking (9) de golfkrachtwaarde voor een willekeurige overschrijdingskans.

Op dezelfde manier als voor de golfkracht kan ook het significante drukprofiel verschaald worden op basis van een Rayleigh verdeling met de significante golfdruk als schaalparameter.

⁵ Indien er destructieve interferentie optreedt tussen de inkomende en gereflecteerde golf kan in principe de 1-op-1 relatie tussen golfhoogte en golfkracht verbroken worden, waardoor de kansverdelingen van golven en krachten onderling kunnen afwijken.

⁶ Afgeleid op basis van $tP \left(\frac{H}{\bar{H}} \right) = \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{H}{\bar{H}} \right)^2 \right]$ en $H_s \approx 1.6\bar{H}$ (zie hoofdstuk 2 Goda (2010))

3.1.4 Geometrische kenmerken caisson

Bodempeil ter plaatse van sluiskolk: -5.6 m TAW⁷.

Kruinpeil: +6.91 m TAW.

In dit rapport worden de golfkrachten per eenheidsbreedte uitgedrukt.

3.2 Resultante golfbelasting

De krachtsresultanten van dynamische golfdruk onder een golfkruin en golfdal worden samengevat in Tabel 13, voor golf- en windrichting tussen NNO en ZW (tegenwijzerzin).

Tabel 13 – significante golfkrachten onder golfkruin en golfdal

		SWP ^(a) [m TAW]	H _{mo} [m]	T _{p,eq} [s]	F _{s,kruin} [kN/m]	F _{s,dal} [kN/m]			SWP ^(a) [m TAW]	H _{mo} [m]	T _{p,eq} [s]	F _{s,kruin} [kN/m]	F _{s,dal} [kN/m]
T0.5	NNO	4.83	0.26	7.45	21.3	-20.0	N	4.91	0.65	8.11	57.2	-50.2	
T1		4.91	0.27	7.59	22.5	-21.1		5.01	0.68	8.31	61.1	-53.4	
T2		4.98	0.30	7.92	25.7	-24.0		5.11	0.72	8.57	66.2	-57.5	
T5		5.08	0.33	8.36	29.3	-27.3		5.22	0.75	8.70	69.1	-60.0	
T10		5.15	0.34	8.43	30.5	-28.4		5.34	0.75	8.75	69.9	-60.8	
T0.5	NNW	4.99	1.03	8.23	93.8	-76.8	NW	5.09	1.15	8.29	105.6	-85.0	
T1		5.13	1.08	8.43	100.6	-82.0		5.23	1.19	8.41	111.3	-89.3	
T2		5.23	1.13	8.61	107.3	-86.9		5.38	1.23	8.58	117.6	-94.0	
T5		5.43	1.22	8.91	118.6	-95.3		5.54	1.32	8.88	130.0	-102.9	
T10		5.57	1.24	8.98	122.2	-98.1		5.69	1.35	9.01	135.1	-107.0	
T0.5	WNW	5.11	0.70	7.98	61.0	-53.2	W	5.11	0.28	6.16	19.5	-18.4	
T1		5.23	0.74	8.25	66.5	-57.7		5.22	0.29	6.35	20.9	-19.7	
T2		5.38	0.78	8.47	72.0	-62.3		5.34	0.31	6.40	23.0	-21.7	
T5		5.58	0.84	8.74	79.3	-68.3		5.47	0.34	6.52	25.6	-24.0	
T10		5.72	0.85	8.78	80.6	-69.5		5.62	0.35	6.48	26.8	-25.0	
T0.5	WZW	5.05	0.26	5.72	17.2	-16.3	ZW	5.01	0.24	5.51	15.2	-14.4	
T1		5.13	0.29	5.79	19.3	-18.2		5.08	0.26	5.61	16.9	-15.9	
T2		5.21	0.31	5.87	21.4	-20.1		5.15	0.28	5.70	18.9	-17.7	
T5		5.33	0.34	6.01	24.2	-22.5		5.25	0.31	5.83	21.5	-20.1	
T10		5.42	0.36	6.00	25.7	-23.8		5.31	0.33	5.82	22.8	-21.2	

(a) stilwaterpeil (buitengaats) zonder verhoging of verlaging met de langegolfamplitude

⁷ Afgeleid op peilplan 181009_724_HA_OST_HAV_AB_SB_33 (peiling 33kHz dd. 9/10-10-2018).

3.3 Golfdrukprofielen

De hydrodynamische golfdrukprofielen moeten gecombineerd worden met een hydrostatisch drukprofiel onder een stilwaterpeil (Tabel 1) dat verhoogd en verlaagd wordt met 0.1 m bij het optreden van respectievelijk een golfkruin en golfdal (zie §3.1.1).

De golfdrukprofielen zijn opgenomen in een digitale bijlage bij het rapport: *p_profiles.zip*. Dit bestand bevat *.txt bestanden met getalwaarden van positie z [m TAW] en corresponderende significante golfdruk [kPa].

Naamgeving bestanden: b.v. **p_profile_dir_case Tn_LWT_QS_crest.txt**

- dir : windrichting
- case Tn : retourperiode n jaar
- LWT_QS : significant drukprofiel berekend met lineaire golftheorie kwadratisch gesommeerd
- crest of trough : drukprofiel onder golfkruin/golfdal

Naast de drukprofielen zijn ook grafieken opgenomen van de drukprofielen. Naamgeving van de bestanden: b.v. **Significante drukprofielen_crest_N_case_T0.5.png**

4 Conclusie

In dit rapport werden randvoorwaarden voor waterstand en golfbelasting opgesteld voor het ontwerp van een caisson die ingezet zal worden bij de renovatie van de vloeddeuren van het benedenhoofd van de Visserijsluis in de haven van Oostende. De randvoorwaarden worden gekenmerkt door een terugkeerperiode tot 10 jaar.

De randvoorwaarden voor waterstand werden geanalyseerd op de beschikbare meetreeks uit de studie van het Hydraulisch Randvoorwaardenboek 2020 (HR2020, Vuik *et al.*, 2020).

De randvoorwaarden voor golfbelasting zijn samengesteld uit de bijdrage van golfindringing en lokaal opgewekte windgolven. Voor de golfindringing werden boeimetingen van Oostende Oosterstaketsel geanalyseerd die getransformeerd werden tot een lokale invallende golfhoogte t.p.v. de Visserijsluis. Voor de kennis i.v.m. de golftransformatie werd gesteund op numerieke modellering die eerder werd uitgevoerd i.h.k.v. het onderzoek naar randvoorwaarden voor de probabilistische toetsing van de Visserijsluis (Vanneste *et al.* (2022)). In deze studie werd eveneens SWAN modellering uitgevoerd, waarvan de resultaten gebruikt werden voor het begroten van de invallende windgolven aan de Visserijsluis.

Uit bijkomende analyse van opgemeten golfspectra aan de ingang tot de Visserijsluis tijdens een NW storm blijkt bovendien dat een lange golf aanwezig is op deze locatie, die in rekening gebracht wordt door het verhogen of verlagen van de stilwaterpeil (naargelang de belasting onder een golfkruin of golfdal beschouwd wordt).

Golfdrukprofielen werden berekend door kwadratische sommatie van de drukprofielen op basis van de lineaire golftheorie, toegepast voor beide componenten (indringing en windgolven). De drukprofielen bevatten de waarden van significante golfdruk, die in ontwerp nog herschaald dient te worden naargelang de vooropgestelde kans van overschrijden (keuze van de ontwerper). Deze dynamische drukprofielen zijn te combineren met een hydrostatische druk onder de aangeleverde ontwerpwaterstanden waarbij het effect van een lange golf nog ingerekend wordt.

Referenties

- Bree, B. van; Delhez, R.; Casteleijn, A.; Jongejan, R.** (2018). Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken – Ontwerpverificaties voor de hoogwatersituatie. Groene versie 1 november 2018. Rijkswaterstaat-WVL Waterkeringen
- De Roo, S.; Trouw, K.; Ruiz Parrado, I.; Willems, P.; Suzuki, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016). Het hydraulisch randvoorwaardenboek 2014: achtergrondrapport. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 14_014_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. XXIII, 104 + 96 p. appendices pp.
- Goda, Y.** (2010). Random Seas and Design of Maritime Structures. 3rd ed. *Advanced Series on Ocean Engineering*, 33 (P. L.-F. Liu, Ed.). World Scientific. ISBN 978-981-4282-39-0. doi:10.1142/7425
- Tuin H.; Voortman H. ; de Almeida E.;** (2022). Evaluation and validation of the spectral linear wave theory and 'traditional' formulae for pulsating wave loads for unimodal and bimodal seas. *J. Coast. Hydraul. Struct.* 2(21)
- van der Meer, J.; W. Langenberg, J.; Klein Breteler, M.; Hurdle, D.; den Heijer, F.** (2002). Wave boundary conditions and overtopping in complex areas. *Coast. Eng.*: 2092–2104
- Vanneste, D.; Nguyen, D.A.; De Roo, S.** (2023). Toetsing kunstwerken in kusthavens: deelrapport 3. Golfbelasting Mercatorsluis. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 20_025_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <https://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=380625>
- Vanneste, D.; Nguyen, D.A.; De Roo, S.** (2024). Toetsing kunstwerken in kusthavens: deelrapport 4. Golfbelasting Demeysluis. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 20_025_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <https://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=404701>
- Vanneste, D.; Nguyen, D.A.; De Roo, S.; Suzuki, T.** (2022). Toetsing kunstwerken in kusthavens: deelrapport 2. Golfbelasting Visserijsluis. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 20_025_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=348941>
- Vanneste, D.; Willems, M.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2017). Golfmetingen haven Oostende tijdens storm 'Dieter'. versie 3.0. *WL Rapporten*, 17_008_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=285858>
- Willems, P.** (2019). Actualisatie van de extremewaardestatistiek van de stormvloeden aan de kust, KU Leuven voor Waterbouwkundig Laboratorium

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

www.waterbouwkundiglaboratorium.be