



**Vlaanderen**  
is wetenschap



15\_109\_2  
WL rapporten

## **Studie golfimpact kaai 101 haven Oostende**

Deelrapport 2  
Herberekening horizontale golfkrachten

**DEPARTEMENT  
MOBILITEIT &  
OPENBARE  
WERKEN**

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

# Studie golfimpact kaai 101, haven Oostende

## Deelrapport 2 – Herberekening horizontale golfkrachten

Vanneste, D.; Suzuki, T.; Peeters, P. ;Mostaert, F.



### 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 2017  
D/ 2017/3241/139

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

**Vanneste, D.; Suzuki, T.; Peeters, P. ;Mostaert, F.** (2017). Studie golfimpact kaai 101, haven Oostende: Deelrapport 2 – Herberekening horizontale golfkrachten. Versie 4.0. WL Rapporten, 15\_109\_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

### Documentidentificatie



Opdrachtgever:	Afdeling Expertise Beton en Staal (MOW)	Ref.:	WL2017R15_109_2
Keywords (3-5):	Golfkracht, paal, Morison theorie		
Tekst (p.):	11	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

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

### Contole

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Suzuki, T.	
Projectleider:	Vanneste, D.	

### Goedkeuring

Coördinator onderzoeksgroep:	Peeters, P.	
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	



## Abstract

Voor het ontwerp van kaai 101 in de haven Oostende werd in het advies *WL15\_085* (Vanneste *et al.*, 2015) een preliminaire berekening van de horizontale golfbelasting op de buispalen (diameter 1.2 m) uitgevoerd op basis van de Morison theorie. Dit rapport geeft de resultaten weer van een herberekening van deze golfbelasting op basis van verfijnde hydraulische randvoorwaarden, waarbij de ontwerp golfhoogte daalt tot 3.8 m.

Voor de berekening werden 2 waterpeilen beschouwd: +2.1 en +4.65 m TAW. De golfimpact op de buispaal werd berekend voor een kruinpeil van +4.65 en +3.15 m TAW, al dan niet de hoogte van de verdeelbalk in acht nemend die op de buispalen rust. Naast de golfkracht op een individuele paal werd ook de kracht bepaald op een groep van 4 buispalen binnen een eenheidsmoot van de kaaistructuur, waarbij de invalrichting van de golven gevarieerd werd tussen loodrecht en parallel.



# Inhoudstafel

Abstract .....	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren .....	VII
1 Probleemstelling.....	1
2 Hydraulische randvoorwaarden .....	2
3 Berekening golfkracht.....	3
3.1 Golfbelasting op een individuele paal .....	3
3.1.1 SWL +2.1 m TAW .....	3
3.1.2 SWL + 4.65 m TAW .....	4
3.2 Golfbelasting op paalgroep .....	6
3.2.1 Invalshoek 0°.....	6
3.2.2 Invalshoek 35° .....	7
3.2.3 Invalshoek 60° .....	8
3.2.4 Invalshoek 90° .....	8
3.3 Aangrijpingspunt individuele paalkracht.....	9
4 Besluit .....	10
Referenties .....	11



## Lijst van de tabellen

Tabel 1 - Hydraulische randvoorwaarden gebruikt in advies WL2015A15_085_1 (Vanneste <i>et al.</i> , 2015).....	2
Tabel 2 - Bijgestelde hydraulische randvoorwaarden voor de herberekening horizontale golfbelasting .....	2
Tabel 3 - Golfkracht ( $F_D$ =sleepkracht, $F_I$ =inertiëkracht) op discrete tijdstippen tijdens 1 golfperiode. SWL=+2.1 m TAW .....	4
Tabel 4 - Golfkracht ( $F_D$ =sleepkracht, $F_I$ =inertiëkracht) op discrete tijdstippen tijdens 1 golfperiode. SWL=+4.65 , $Z_{max}$ =+3.15 m TAW.....	5
Tabel 5 - Verdeling maximale totale golfkracht binnen paalgroep, golfrichting 0°. .....	6
Tabel 6 - Verdeling maximale totale golfkracht binnen paalgroep, golfrichting 35°. .....	7
Tabel 7 - Verdeling maximale totale golfkracht binnen paalgroep, golfrichting 60°. .....	8
Tabel 8 - Verdeling maximale totale golfkracht binnen paalgroep, golfrichting 90°. .....	8

## Lijst van de figuren

Figuur 1 - Plaatsaanduiding kaai 101, haven Oostende .....	1
Figuur 2 - Verloop golfkracht op een individuele buispaal, SWL=+2.1 m TAW en $z_{\max}$ =+4.65 m TAW .....	3
Figuur 3 - Verloop golfkracht op een individuele buispaal, SWL=+4.65 m TAW en $z_{\max}$ =+3.15 m TAW .....	5
Figuur 4 - Planzicht 15 m brede moot palenstructuur. ....	6
Figuur 5 - Detail krachtsverloop maximum golfimpact, SWL +2.1 m TAW en $z_{\max}$ +4.65 m TAW .....	7
Figuur 6 - Verdeling totale golfkracht over de hoogte van de paal, SWL +2.1 m TAW en $z_{\max}$ +4.65 m tAW ...	9



# 1 Probleemstelling

Afdeling Expertise Beton en Staal (EBS) is verantwoordelijk voor het ontwerp van een nieuw te bouwen aanmeerplatform (kaai 101) in de haven van Oostende. Deze kadeconstructie is gelegen aan de achterzijde van de Vloot gebouwen (Churchillkaai 2), ten zuiden van de ingang van het Montgomerydok (Figuur 1).

Figuur 1 - Plaatsaanduiding kaai 101, haven Oostende



© Google Maps (2016)

Het ontwerp van de kadeconstructie (Figuur 2) is opgebouwd uit een betondek op liggers ondersteund door cilindrische buispalen. De bestaande kademuur op paalfundering wordt afgebroken en vervangen door een talud bekleed met stortsteen.

Voor het structureel ontwerp van het kaaipatform dient een maatgevende golfbelasting in aanmerking genomen te worden. Golven dringen doorheen de havenmond en vallen de structuur aan uit noordelijke richting (Figuur 1). De golfimpact zorgt voor een (hoofdzakelijk) horizontale belasting op de ondersteuningspalen en een opwaartse kracht op het platform.

In een eerder advies *WL2015A15\_085\_1* (Vanneste *et al.*, 2015) werd een preliminaire inschatting gemaakt van de horizontale golfbelasting op de ondersteuningspalen. Deze werd berekend op basis van de Morison theorie. Ten behoeve van de numerieke studie naar de opwaartse golfimpact op het platform (Vanneste *et al.*, 2017) werd een meer gedetailleerde analyse gemaakt van de invallende golfcondities ter hoogte van kaai 101. In een numerieke studie van het golfklimaat met Mike21-BW (De Roo, 2016) werd de bestaande bathymetrie van het Oostende golfmodel aangepast ter hoogte van de Churchillkaai. De kaaimuur werd verwijderd en sponslagen toegevoegd zodat de reflectie op de kaaimuur verdwijnt en de golfhoogte op deze locatie als invallend beschouwd kan worden, wat resulteert in een significante daling van de ontwerp golfhoogte ( $H_{m0}$  daalt van 2.85 m tot 1.9 m voor de 1000-jarige storm).

Dit rapport geeft de resultaten weer van een herberekening van de horizontale golfbelasting op de palenstructuur voor deze bijgestelde hydraulische randvoorwaarden.

## 2 Hydraulische randvoorwaarden

In het advies *WL2015A15\_085\_1* (Vanneste *et al.*, 2015) wordt de berekening van de horizontale golfkracht uitgevoerd voor 2 golfcondities, waarbij verondersteld wordt dat de grootste golfimpact optreedt bij het laagwater tijdens de storm (Tabel 1).

Tabel 1 - Hydraulische randvoorwaarden gebruikt in advies *WL2015A15\_085\_1* (Vanneste *et al.*, 2015)

storm	SWL [m TAW]	waterdiepte [m]	Hdes [m]	Tp [s]
TR=20 jaar	+1.5	8.5	4.6	10.0
TR=1000 jaar	+2.5	9.5	5.7	12.0

De herberekening wordt enkel uitgevoerd voor het maatgevende scenario, d.i. voor de storm met retourperiode 1000 jaar. De hydraulische randvoorwaarden (Tabel 2) worden overgenomen uit Vanneste *et al.* (2017). De ontwerp golfhoogte  $H_{des}$  bedraagt het dubbele van de significante invallende golfhoogte ( $H_{m0}=1.9$  m), indien uitgegaan wordt van Rayleigh verdeelde golven.

De berekeningen worden uitgevoerd voor 2 waterstanden. Het eerste ontwerp laagwaterpeil (+2.1 m TAW) is nog iets lager is dan in de vorige berekening (Vanneste *et al.*, 2015), wat resulteert in een grotere belasting vermits de golfkruin kan aangrijpen op een groter deel van de paal. Het tweede ontwerpwaterpeil (+4.65 m TAW) stemt overeen met het maximale peil bij simulatie van de opwaartse golfimpact op de betonplaat en liggers van het kaaiplatform (Vanneste *et al.*, 2017).

Verder werd ook het bodempeil verlaagd tot -8.5 m TAW om rekening te houden met te baggeren slib (in Vanneste *et al.* (2015) werd een bodempeil op -7 m TAW beschouwd).

Tabel 2 - Bijgestelde hydraulische randvoorwaarden voor de herberekening horizontale golfbelasting

storm	SWL [m TAW]	waterdiepte [m]	Hdes [m]	Tp [s]
TR=1000 jaar	+2.10	10.60	3.8	12.8
TR=1000 jaar	+4.65	13.15	3.8	12.8

### 3 Berekening golfkracht

De berekening van de horizontale golfkracht op de cilindrische ondersteuningspalen wordt uitgevoerd aan de hand van de Morison vergelijking (Morison *et al.*, 1950), welke bestaat uit de afzonderlijke bijdragen van wrijving (*drag force*  $F_D$ ) en de traagheid van de watermassa (*inertia force*  $F_I$ ). In de volgende berekening worden de horizontale snelheid  $u$  en versnelling  $du/dt$  berekend op basis van een niet-lineaire golftheorie (Fenton, 1988). Deze resulteert in een nauwkeuriger inschatting van de snelheid en versnelling ter hoogte van de waterlijn, en bijgevolg de golfkracht. In de berekening worden verder de volgende veronderstellingen gemaakt:

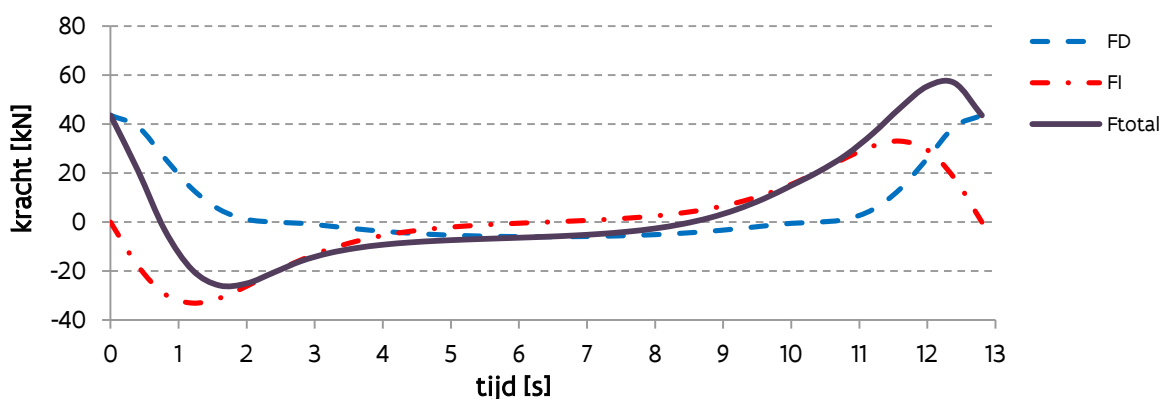
- Diameter buispalen : 1.2 m
- Inertiecoëfficiënt (bepaald door paalvorm, begrensd op 2 voor potentiaalstroming) :  $C_M=2.0$
- Wrijvingscoëfficiënt (bepaald door ruwheid van de paalwand) :  $C_D=1.05$
- Geen belasting door getijdestroom
- Geen brekende golfimpact
- De eindige hoogte van de paal wordt in rekening gebracht. Twee verschillende posities van de top van de buispaal ( $z_{max}$ ) werden beschouwd: +4.65 m TAW (geen rekening houdend met aanwezigheid verdeelbalk) en +3.15 m TAW (rekening houdend met 1.5 m hoge verdeelbalk)

#### 3.1 Golfbelasting op een individuele paal

##### 3.1.1 SWL +2.1 m TAW

Figuur 2 stelt het verloop van de golfkracht voor over een volledige golfperiode ( $t=0$  stemt overeen met het moment waarop de golfkruin het center van de paal bereikt, voor een kruinpeil van de paal op +4.65 m TAW). Uit dit krachtsverloop blijkt dat een maximale totale golfkracht van ca. 56.9 kN bereikt wordt net vóór de golfkruin het paalcenter bereikt<sup>1</sup> (Tabel 3). Bij een kruinpeil van de paal op +3.15 m TAW bedraagt de maximale kracht 49.2 kN (Tabel 3).

Figuur 2 - Verloop golfkracht op een individuele buispaal, SWL=+2.1 m TAW en  $z_{max}=+4.65$  m TAW



<sup>1</sup> Bemerk dat deze maximale golfkracht in de voorgaande berekening 106.3 kN bedroeg, voor  $H_{des}=5.7$  m.

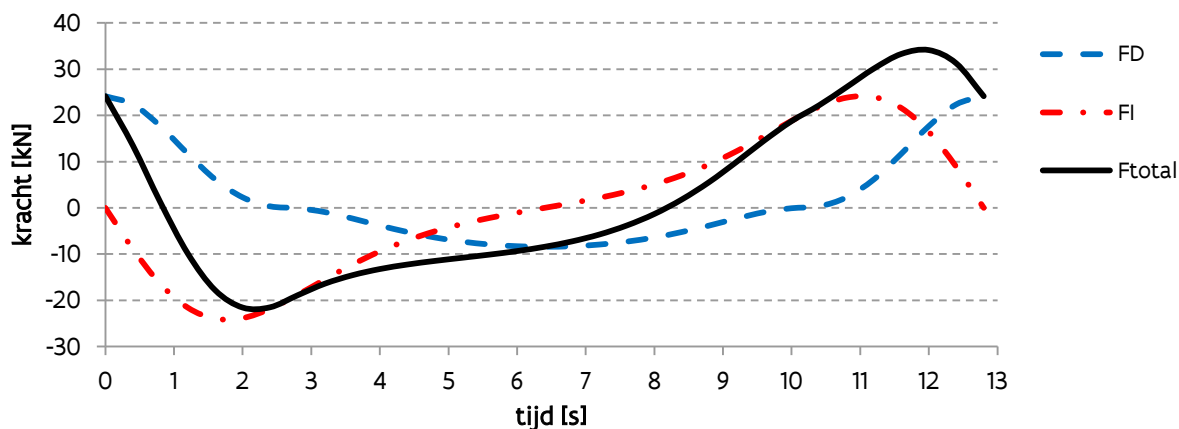
Tabel 3 - Golfkracht ( $F_D$ =sleepkracht,  $F_I$ =inertiekracht) op discrete tijdstippen tijdens 1 golfperiode. SWL=+2.1 m TAW

t	$z_{max} = +4.65 \text{ m TAW}$			$z_{max} = +3.15 \text{ m TAW}$		
	$F_D$	$F_I$	$F_{tot}$	$F_D$	$F_I$	$F_{tot}$
0.00	43.60	0.00	43.60	35.83	0.00	35.83
0.40	<b>38.99</b>	<b>17.86</b>	<b>56.85</b>	32.21	14.71	46.92
0.80	26.04	29.47	55.50	<b>23.23</b>	<b>26.00</b>	<b>49.23</b>
1.20	13.51	33.08	46.59	12.89	31.55	44.44
1.60	5.18	31.06	36.24	5.18	31.06	36.24
2.00	1.13	26.18	27.31	1.13	26.18	27.31
2.40	0.01	20.57	20.58	0.01	20.57	20.58
2.80	-0.50	15.40	14.90	-0.50	15.40	14.90
3.20	-1.58	11.16	9.58	-1.58	11.16	9.58
3.60	-2.74	7.90	5.16	-2.74	7.90	5.16
4.00	-3.75	5.49	1.75	-3.75	5.49	1.75
4.40	-4.54	3.76	-0.78	-4.54	3.76	-0.78
4.80	-5.12	2.52	-2.60	-5.12	2.52	-2.60
5.20	-5.52	1.63	-3.89	-5.52	1.63	-3.89
5.60	-5.78	0.97	-4.82	-5.78	0.97	-4.82
6.00	-5.93	0.45	-5.48	-5.93	0.45	-5.48
6.40	-5.97	0.00	-5.97	-5.97	0.00	-5.97
6.80	-5.93	0.45	-5.48	-5.93	0.45	-5.48
7.20	-5.78	0.97	-4.82	-5.78	0.97	-4.82
7.60	-5.52	1.63	-3.89	-5.52	1.63	-3.89
8.00	-5.12	2.52	-2.60	-5.12	2.52	-2.60
8.40	-4.54	3.76	-0.78	-4.54	3.76	-0.78
8.80	-3.75	5.49	1.75	-3.75	5.49	1.75
9.20	-2.74	7.90	5.16	-2.74	7.90	5.16
9.60	-1.58	11.16	9.58	-1.58	11.16	9.58
10.00	-0.50	15.40	14.90	-0.50	15.40	14.90
10.40	0.01	20.57	20.58	0.01	20.57	20.58
10.80	1.13	26.18	27.31	1.13	26.18	27.31
11.20	5.18	31.06	36.24	5.18	31.06	36.24
11.60	13.51	33.08	46.59	12.89	31.55	44.44
12.00	26.04	29.47	55.50	23.23	26.00	49.23
12.40	38.99	17.86	56.85	32.21	14.71	46.92
12.80	43.60	0.00	43.60	35.83	0.00	35.83

### 3.1.2 SWL + 4.65 m TAW

Voor het hoogste waterpeil werd de berekening enkel uitgevoerd met de top van de buispaal op +3.15 m TAW. De maximale kracht bedraagt 34.1 kN. Het krachtsverloop wordt weergegeven in Figuur 3 en Tabel 4.

Figuur 3 - Verloop golfkracht op een individuele buispaal, SWL=+4.65 m TAW en  $z_{max}=+3.15$  m TAW



Tabel 4 - Golfkracht ( $F_D$ =sleepkracht,  $F_I$ =inertiekracht) op discrete tijdstippen tijdens 1 golfperiode. SWL=+4.65 ,  $z_{max}=+3.15$  m TAW

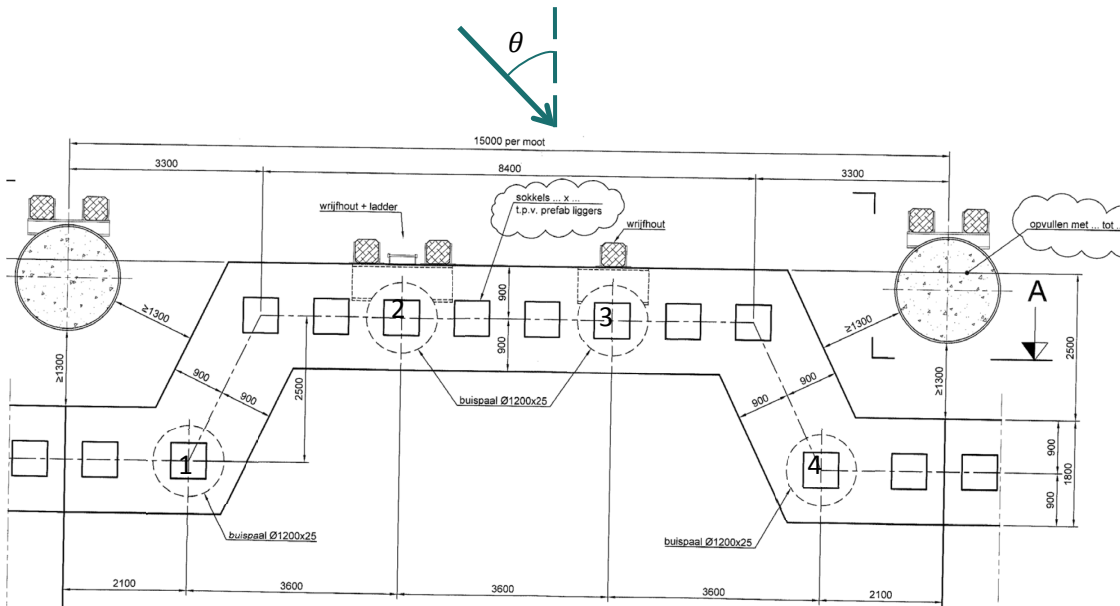
t	$F_D$	$F_I$	$F_{tot}$
0.00	24.15	0.00	24.15
0.40	22.37	8.91	31.28
<b>0.80</b>	<b>17.69</b>	<b>16.45</b>	<b>34.13</b>
1.20	11.70	21.60	33.29
1.60	6.16	23.98	30.14
2.00	2.26	23.83	26.10
2.40	0.33	21.85	22.18
2.80	-0.08	18.83	18.75
3.20	-0.92	15.47	14.55
3.60	-2.31	12.25	9.94
4.00	-3.83	9.41	5.59
4.40	-5.23	7.03	1.80
4.80	-6.40	5.08	-1.33
5.20	-7.30	3.49	-3.81
5.60	-7.93	2.17	-5.76
6.00	-8.30	1.04	-7.26
6.40	-8.42	0.00	-8.42
6.80	-8.30	1.04	-7.26
7.20	-7.93	2.17	-5.76
7.60	-7.30	3.49	-3.81
8.00	-6.40	5.08	-1.33
8.40	-5.23	7.03	1.80
8.80	-3.83	9.41	5.59
9.20	-2.31	12.25	9.94
9.60	-0.92	15.47	14.55
10.00	-0.08	18.83	18.75
10.40	0.33	21.85	22.18
10.80	2.26	23.83	26.10
11.20	6.16	23.98	30.14
11.60	11.70	21.60	33.29
12.00	17.69	16.45	34.13
12.40	22.37	8.91	31.28
12.80	24.15	0.00	24.15



### 3.2 Golfbelasting op paalgroep

De kadeconstructie kan onderverdeeld worden in eenheden van 15 m breed die aan de voorzijde ondersteund worden door 4 buispalen met diameter 1.2 m (Figuur 3). In wat volgt wordt een inschatting gemaakt van de simultane krachtsverdeling op de 4 buispalen binnen een eenheidsmoot, voor verschillende invalshoeken van het golffront. De golven worden hierbij langkruinig verondersteld, d.w.z. ze hebben een recht golffront. De invalshoek  $\theta$  wordt gedefinieerd in tegenwijzerzin t.o.v. de normale op de lengteas van het kadeplatform ( $0^\circ$  = loodrechte golfinval).

Figuur 4 - Planzicht 15 m brede moot palenstructuur.



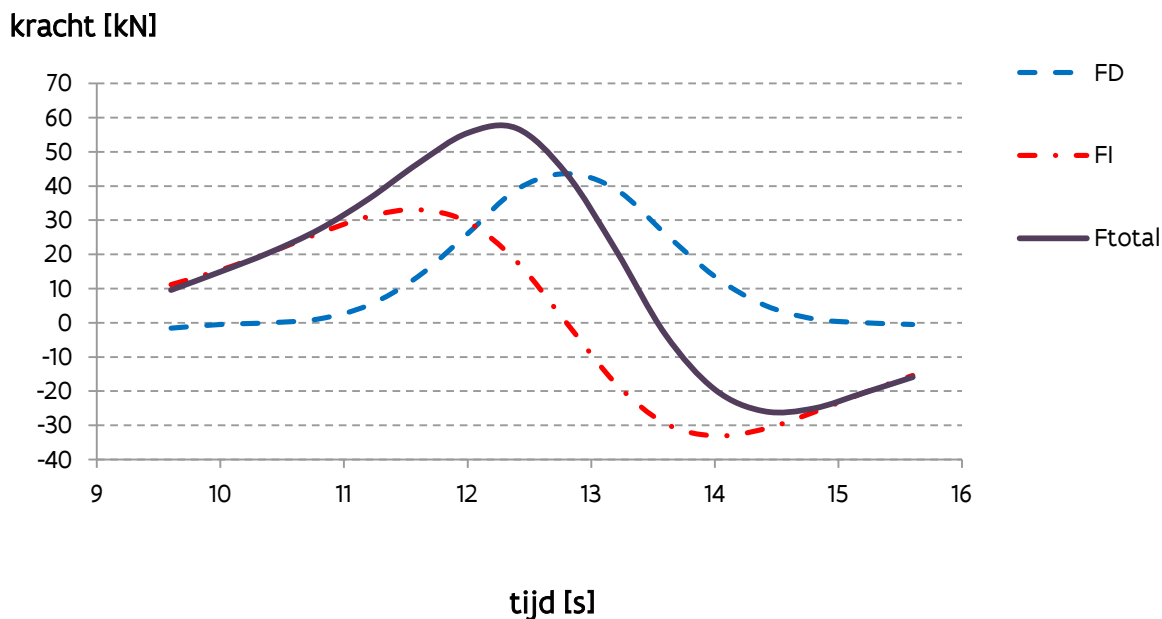
#### 3.2.1 Invalshoek $0^\circ$

Het golffront loopt parallel met de lijnen die paalcenters 1 en 4 en 2 en 3 verbindt (Figuur 4), waardoor het krachtsverloop op palen 1 en 4 en palen 2 en 3 gelijktijdig verloopt. Het faseverschil bedraagt 0.26 s voor SWL +2.1 m TAW en 0.23 s voor SWL +4.65 m TAW. Gelet op het asymmetrisch verloop van de totale individuele golfkracht (Figuur 5) treedt de maximale golfbelasting op de paalgroep op bij het optreden van de maximale kracht op palen 1 en 4. Tabel 5 geeft de verdeling van de krachten binnen de paalgroep op dat ogenblik, voor de beschouwde waterpeilen en kruinposities van de buispaal.

Tabel 5 - Verdeling maximale totale golfkracht binnen paalgroep, golfrichting  $0^\circ$ .

SWL [m TAW]	+2.1	+2.1	+4.65
$z_{max}$ [m TAW]	+4.65	+3.15	+3.15
paal#	kracht [kN]	kracht [kN]	kracht [kN]
1	56.9	49.2	34.1
2	56.0	46.2	33.6
3	56.0	46.2	33.6
4	56.9	49.2	34.1
<b>totaal</b>	<b>225.7</b>	<b>190.8</b>	<b>135.6</b>

Figuur 5 - Detail krachtsverloop maximum golfimpact, SWL +2.1 m TAW en  $z_{max}$  +4.65 m TAW



### 3.2.2 Invalshoek 35°

Deze invalshoek stemt overeen met loodrechte golfinval op de verbindinglijn tussen paalcenters 1 en 2 (Figuur 4). Palen 1 en 2 worden zo gelijktijdig belast. De meest nadelige situatie ontstaat bij het optreden van de maximale individuele golfkracht op paal 3. Bij SWL +2.1 m TAW bedraagt het faseverschil tussen palen 1 & 2 en paal 4 respectievelijk 0.21 en 0.42 s. Voor SWL +4.65 m TAW dalen deze faseverschillen respectievelijk tot 0.19 en 0.38 s. Tabel 6 geeft de verdeling van de krachten binnen de paalgroep op dat ogenblik, voor de beschouwde waterpeilen en kruinposities van de buispaal.

Tabel 6 - Verdeling maximale totale golfkracht binnen paalgroep, golfrichting 35°.

SWL [m TAW]	+2.1	+2.1	+4.65
$z_{max}$ [m TAW]	+4.65	+3.15	+3.15
paal#	kracht [kN]	kracht [kN]	kracht [kN]
1	56.1	46.7	33.7
2	56.1	46.7	33.7
3	56.9	49.2	34.1
4	42.4	46.2	31.5
<b>totaal</b>	<b>211.5</b>	<b>188.9</b>	<b>133.1</b>

### 3.2.3 Invalshoek 60°

Het krachtsverloop op de 4 palen verschilt elk afzonderlijk. De meest nadelige situatie ontstaat bij het optreden van de maximale individuele golfkracht op paal 3. Bij SWL +2.1 m TAW bedraagt het faseverschil met palen 1, 2 en paal 4 respectievelijk 0.51, 0.32 en 0.45 s. Bij SWL +4.65 m TAW wordt dit respectievelijk 0.46, 0.29 en 0.41 s.

Tabel 7 geeft de verdeling van de krachten binnen de paalgroep op dat ogenblik, voor de beschouwde waterpeilen en kruinposities van de buispaal.

Tabel 7 - Verdeling maximale totale golfkracht binnen paalgroep, golfrichting 60°.

SWL [m TAW]	+2.1	+2.1	+4.65
$z_{max}$ [m TAW]	+4.65	+3.15	+3.15
paal#	kracht [kN]	kracht [kN]	kracht [kN]
1	53.0	42.2	32.8
2	55.8	45.4	33.5
3	56.9	49.2	34.1
4	40.9	45.5	31.1
<b>totaal</b>	<b>206.6</b>	<b>182.3</b>	<b>131.6</b>

### 3.2.4 Invalshoek 90°

Het krachtsverloop op de 4 palen verschilt elk afzonderlijk. Gemeten volgens de lengtes van het kaaipatform liggen de palen allen over een afstand van 3.6 m uit elkaar waardoor het faseverschil tussen 2 aanliggende palen gelijk is en voor SWL +2.1 en +4.65 m TAW respectievelijk 0.37 en 0.34 s bedraagt. De meest nadelige situatie ontstaat bij het optreden van de maximale individuele golfkracht op paal 3. Tabel 8 geeft de verdeling van de krachten binnen de paalgroep op dat ogenblik, voor de beschouwde waterpeilen en kruinposities van de buispaal. Vermits in dit geval paal 3 in de schaduw van paal 2 ligt kan in principe een reductie op de individuele kracht op deze paal toegepast worden, hetgeen evenwel niet gedaan werd.

Tabel 8 - Verdeling maximale totale golfkracht binnen paalgroep, golfrichting 90°.

SWL [m TAW]	+2.1	+2.1	+4.65
$z_{max}$ [m TAW]	+4.65	+3.15	+3.15
paal#	kracht [kN]	kracht [kN]	kracht [kN]
1	48.0	37.5	31.2
2	55.6	44.8	33.4
3	56.9	49.2	34.1
4	44.7	47.1	31.7
<b>totaal</b>	<b>205.1</b>	<b>178.7</b>	<b>130.5</b>

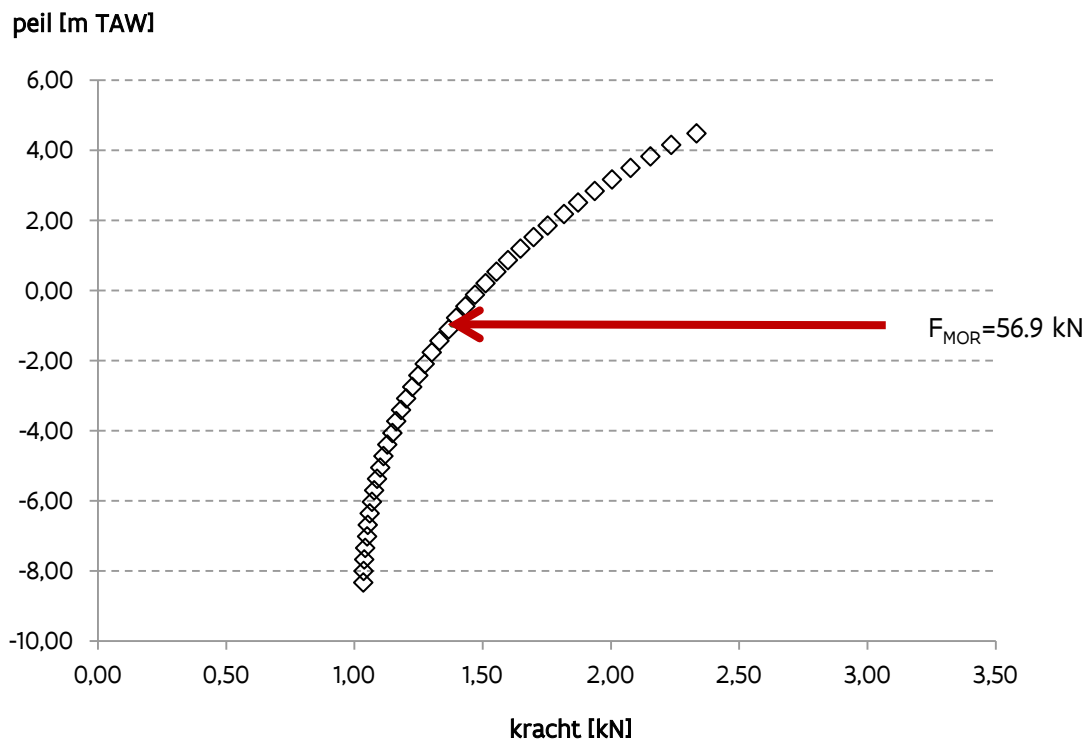
### 3.3 Aangrijpingspunt individuele paalkracht

De verdeling van de totale golfkracht over een buispaal (1.2 m diameter) volgens de Morison theorie wordt weergegeven in Figuur 6, voorgesteld voor de situatie met SWL +2.1 m TAW en kruinpeil buispaal op +4.65 m TAW. Het aangrijpingspunt van de resulterende horizontale golfkracht  $F_{MOR}=56.9$  kN bevindt zich op 7.53 m boven de bodem, of op een peil van -0.97 m TAW.

Voor de situatie met waterpeil op +2.1 m TAW en kruinpeil buispaal op +3.15 m TAW bevindt de resultante van de individuele golfkracht (49.2 kN) zich op 6.42 m boven de bodem (op peil -2.08 m TAW).

Voor de situatie met waterpeil op +4.65 m TAW en kruinpeil buispaal op +3.15 m TAW bevindt de resultante van de individuele golfkracht (34.1 kN) zich op 6.23 m boven de bodem (op peil -2.27 m TAW).

Figuur 6 - Verdeling totale golfkracht over de hoogte van de paal, SWL +2.1 m TAW en  $z_{max}$  +4.65 m tAW



## 4 Besluit

Voor het ontwerp van de kadeconstructie 'kaai 101' in de haven van Oostende dient o.m. de horizontale golfbelasting op de ondersteuningspalen in rekening gebracht te worden. Deze belasting op de cilindrische buispalen (diameter 1.2 m) werd preliminair begroot in het advies *WL2015A15\_085\_1* (Vanneste *et al.*, 2015).

In een vervolgstudie (Vanneste *et al.*, 2017) werden meer nauwkeurige hydraulische randvoorwaarden voor de ontwerpstorm ( $T_R=1000$  jaar) bepaald, waarbij de invallende ontwerp golfhoogte op 3.8 m vastgelegd werd. Bijgevolg wordt de berekening van de horizontale golfbelasting op de ondersteuningspalen herhaald op basis van deze bijgestelde randvoorwaarden. In de berekening worden 2 waterpeilen beschouwd. Het laagste waterpeil +2.1 m TAW (benaderend laagwater tijdens de ontwerpstorm) zal de grootste belasting op de buispaal veroorzaken. Het tweede waterpeil +4.65 m TAW (benaderend op niveau van het kaaivlak) stemt overeen met de bepaling van de opwaartse golfimpact op het kaaidek. Verder werden twee niveaus van het kruinpeil van de buispalen ( $z_{max}$ ) beschouwd: +4.65 m TAW en +3.15 m TAW, al dan niet rekening houdend met de hoogte van de verdeelbalk die op de buispalen rust.

Voor SWL +2.1 m TAW en  $z_{max}$  +4.65 m tAW bedraagt de berekende maximale golfkracht op een afzonderlijke paal **56.9 kN**, waarbij gebruikt werd gemaakt van de Morison theorie in combinatie met een niet-lineaire golftheorie. Het aangrijpingspunt van deze kracht bevindt zich op 7.53 m boven de bodem (-0.97 m TAW). De maximale totale golfkracht op een eenheidsmoot met 4 buispalen varieert tussen 205.1 kN (golfinval 90°) en 225.7 kN (golfinval 0°).

Voor SWL +2.1 m TAW en  $z_{max}$  +3.15 m tAW bedraagt de berekende maximale golfkracht op een afzonderlijke paal **49.2 kN**. Het aangrijpingspunt van deze kracht bevindt zich op 6.42 m boven de bodem (-2.08 m TAW). De maximale totale golfkracht op een eenheidsmoot met 4 buispalen varieert tussen 178.7 kN (golfinval 90°) en 190.8 kN (golfinval 0°).

Voor SWL +4.65 m TAW en  $z_{max}$  +3.15 m tAW bedraagt de berekende maximale golfkracht op een afzonderlijke paal **34.1 kN**. Het aangrijpingspunt van deze kracht bevindt zich op 6.23 m boven de bodem (-2.27 m TAW). De maximale totale golfkracht op een eenheidsmoot met 4 buispalen varieert tussen 130.5 kN (golfinval 90°) en 135.6 kN (golfinval 0°).

## Referenties

- De Roo, S.** (2016). Invallende significante golfhoogte ter hoogte van de Churchillkaai (haven van Oostende) voor 'offshore' golfrichting  $-37^\circ$  (t.o.v. N) in maatgevende storm condities (T=1000jr). *WL Memo's*, 15\_109\_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België
- Fenton, J.D.** (1988). The numerical solution of steady water wave problems. *Comput. Geosci.* 14(3): 357–368. doi:10.1016/0098-3004(88)90066-0
- Morison, J.R.; Johnson, J.W.; Schaaf, S.A.** (1950). The Force Exerted by Surface Waves on Piles. *J. Pet. Technol.* 2(5): 149–154. doi:10.2118/950149-G
- Vanneste, D.; Altomare, C.; De Roo, S.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2017). Studie golfimpact kaai 101, haven Oostende. Deelrapport 1 – Numerieke studie opwaartse golfkracht. *WL Rapporten*, 15\_109\_1: Antwerpen, België
- Vanneste, D.; Suzuki, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2015). Force estimation on a quay structure in Ostend: horizontal force estimation on support pile. *WL Adviezen*, 15\_085. Flanders Hydraulics Research: Antwerp

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)