

# Model beschrijving Golfklap

Project Afsluitdijk



**Opdrachtgever:** Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud  
**Zaaknummer:** 31091279

Documentnummer: ASD-RAP-0914  
 Revisie: B  
 Status: Definitief  
 Datum: 19-feb-2020

Werkpakket: A.15.03 – Taskforce Hydraulica  
 Object: 1.05 Spuimiddel en 1.09 Doorlaatmiddel VMR

*© Niets uit dit rapport en / of dit ontwerp mag worden verveelvoudigd, openbaar gemaakt en / of overhandigd aan derden, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Levvel EPC.*

Opgesteld door:

Gecontroleerd door:

Vrijgegeven door:

i.o. ten Oever

19 02 2020

19 02 2020

19 02 2020

Revisie	Datum	Toelichting
0.01	15-11-2019	Concept versie
0.02	18-11-2019	Commentaar [REDACTED]
0.03	19-11-2019	Verwerking commentaar van [REDACTED]
0.04	14-01-2020	Verwerking intern en RWS commentaar
A	31-01-2020	Definitief
A.01	18-02-2020	Kleine correcties na commentaar RWS 05-02-2020)
B	19-02-2020	Definitief

Beheer: De meest recente revisie in het DMS is geldend.

## **Managementsamenvatting**

In dit document wordt de methode die gebruikt wordt om de golfklapbelasting op de kunstwerken te bepalen voor het project Afsluitdijk vastgelegd.

# Inhoudsopgave

<b>Managementsamenvatting .....</b>	<b>3</b>
<b>1           Algemeen .....</b>	<b>6</b>
1.1       Project .....	6
1.2       Doel van het document .....	6
1.3       Scope van het document .....	7
1.4       Leeswijzer van het document .....	7
<b>2           Randvoorwaarden en uitgangspunten .....</b>	<b>8</b>
2.1       Projectspecifieke documenten (bindend).....	8
2.2       Projectspecifieke documenten (niet-bindend) .....	8
2.3       Normen en richtlijnen.....	9
2.4       Randvoorwaarden en uitgangspunten.....	9
2.5       Software .....	10
<b>3           Kenmerken van het ontwerp .....</b>	<b>11</b>
3.1       Vormgeving .....	11
3.2       Civiel .....	11
3.3       Mechanische installaties .....	11
3.4       Elektrische installaties .....	11
3.5       RAM-aspecten (betrouwbaarheid, beschikbaarheid en onderhoudbaarheid) .....	11
3.6       Veiligheid & Gezondheid .....	11
3.7       Duurzaamheid.....	11
3.8       Omgeving en milieu .....	11
3.9       Bediening en Besturing.....	11
3.10      Test- en keurconcept .....	11
3.11      Uitvoeringsconcept .....	11
3.12      Risico's en beheersmaatregelen.....	11
3.13      Raakvlakken .....	11
3.14      Toleranties en maatvoering.....	11
<b>4           Algemene beschrijving golfbelastingen .....</b>	<b>12</b>
<b>5           Methodiek golfklap-belastingen.....</b>	<b>13</b>
5.1       Generieke beschrijving .....	13
5.2       Bepaling van horizontale belasting op wand of schuif .....	14
5.3       Bepaling van verticale belasting op (brug)dek of bovenkant koker .....	16
5.4       Rekenwaarde representatieve overhanglengte $W$ .....	17
5.5       Reductie golfhoogte bij klap achterin met lange overhang lengte .....	19
5.6       Spleeteffect - reductie van drukimpuls door ontluchting .....	19
<b>6           Toepassing golfklap-methodiek per type constructie.....</b>	<b>24</b>
6.1       Case 1; Golfklapbelasting op korte overhang.....	24
6.2       Case 2; Golfklapbelasting op lange overhang bij $h_w = h_{bbb}$ .....	25
6.3       Case 3; Golfklapbelasting achterin bij lange overhang bij $h_w < h_{bbb}$ .....	26
6.4       Case 4; Golfklapbelasting op dek of onderzijde brug .....	28
6.5       Case 5; Golfklapbelasting op geometrie NSM .....	30

6.6	Case 6; Golfklapbelasting op geometrie BSM.....	32
6.7	Case 7; Golfklapbelasting op geometrie VRM.....	34
<b>7</b>	<b>Python reken model.....</b>	<b>36</b>
7.1	Workflow .....	36
7.2	Structuur en gebruik .....	36
7.2.1	Opbouw python project .....	37
7.2.2	Onderdeel Input, Pre Processing .....	39
7.2.3	Rekenkern .....	40
7.2.4	Post Processing en Output .....	40
<b>Bijlage 1.</b>	<b>Onderbouwing factor op golflengte in CFD .....</b>	<b>41</b>
<b>Bijlage 2.</b>	<b>Beschrijving drukverdeling.....</b>	<b>42</b>

# 1 Algemeen

## 1.1 Project

De Afsluitdijk vormt de scheiding tussen het IJsselmeer en de Waddenzee, is een icoon van de Nederlandse waterbouw en is aangelegd in 1932. De primaire functies van de afsluitdijk zijn het verzorgen van de waterveiligheid vanuit de Waddenzee en waterafvoer vanaf het IJsselmeer en als bijkomende functie het verzorgen van het wegverkeer tussen de provincies Noord-Holland en Friesland en voor scheepvaartverkeer tussen de Waddenzee en het IJsselmeer.

Vanwege het stijgen van de zeespiegel en het vergroten van de afvoercapaciteit dient de Afsluitdijk te worden versterkt zoals aangegeven in Document "Rijksinpassingsplan Afsluitdijk" de datum januari 2016.

Voor deze versterking treedt het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat, Grote Projecten en Onderhoud op als opdrachtgever en Level als Opdrachtnemer.

## 1.2 Doel van het document

Het doel van dit document is het vastleggen hoe de golfklapbelasting wordt uitgerekend. Golfklapbelastingen kunnen optreden bij geometrieën waarbij de golf ingesloten raakt door:

- een begrensde bovenzijde zoals een brugdek.
- een begrensde bovenzijde en een gesloten einde zoals een aan een zijde afgesloten koker.

Doordat de golf ingesloten raakt wordt de voortbewegende massa onder de waterlijn in korte tijd afgeremd wat leidt tot een impulsieve belasting.

Indien de bovenzijde van een koker (Boven Binnenkant Buis, BBB) of de onderzijde van een dek of ligger zich vlak bij de waterlijn bevindt kunnen bij enige golfslag de pieken van de golven de BBB of onderzijde dek raken. Deze belastingen treden op wanneer:

- 1) Een golfdal een koker in loopt, waarbij de stilwaterstand hoger staat dan BBB. De druk neemt toe bij het binnenkomen van de golfpiek en de stoot (t.g.v. de orbitaalsnelheid en de massa van het water) wordt in korte tijd uitgeoefend op de constructie.
- 2) Een golfpiek het plafond of onderzijde dek raakt, waarbij de waterstand gelijk of lager is dan BBB of onderzijde dek. De druk neemt toe bij de impact van de golf op de koker of dek en de stoot wordt in korte tijd uitgeoefend op de constructie.

De kracht wordt bepaald door de snelheid van het water t.g.v. de golfbeweging, de massa van de golf welke in contact zal komen met het element en de stootduur waarin de massa met de snelheid afgeremd wordt. Dit leidt tot Vergelijking 1:

Vergelijking 1: golfklap per eenheid van meter

$$F_{\text{golfklap per eenheid van meter}} \sim m * a \sim \rho_w * W * D * \frac{V_{\text{impact}}}{\Delta t_{\text{stootduur}}}$$

$\rho_w$  = dichtheid water

$W$  = overhanglengte

$D$  = diepte

$V_{\text{impact}}$  = verticale orbitaal snelheid bij impact

$\Delta t_{\text{stootduur}}$  = tijdsduur stoot

In dit document is de methode uiteengezet welke toegepast is om de grootte en aantal golfklappen te bepalen. De quasi-statische golfbelasting (Goda) wordt aanvullend toegepast op de totale vermoeiingsbelasting ten behoeve van het ontwerp van de kunstwerken. Deze methodiek is uitvoerig in literatuur vastgelegd en wordt in dit document alleen bij naam genoemd.

### 1.3 Scope van het document

Binnen het project Afsluitdijk zijn bij diverse kunstwerken geometrieën aanwezig waarin golven opgesloten kunnen raken, namelijk:

- Spuikokers aanwezig in Bestaande SpuiMiddelen
  - Spuimiddel Den Oever, hierna genoemd als BSM DO
  - Spuimiddel Kornwerderzand, hierna genoemd als BSM KWZ
- Spuikokers aanwezig in Nieuw SpuiMiddel
  - Spuimiddel Den Oever, hierna genoemd als NSM DO
- Horizontale liggers van de deuren in Keersluis Den Oever
- Pompkanaal Den Oever
- Schuivenhuis VisMigratieRivier, hierna genoemd al VMR

### 1.4 Leeswijzer van het document

In de onderstaande tabel wordt aangegeven wat in welke hoofdstukken wordt beschreven. Deze hoofdstukken en paragrafen geven invulling aan de scope van het document.

Tabel 1-1 Leeswijzer

Hoofdstuk	Beschrijving
<b>H1 Algemeen</b>	Inleiding van het rapport.
<b>H2 Randvoorwaarden en uitgangspunten</b>	Randvoorwaarde, aannames en uitgangspunten
<b>H3 Kenmerken van het ontwerp</b>	Kenmerken van het ontwerp
<b>H4 Algemene beschrijving golfbelastingen</b>	Beschrijving golfbelasting
<b>H5 Methodiek golfklap-belastingen</b>	Beschrijving overeengekomen theorie o.b.v. ontvangen stukken van TUDelft Een beschrijving is gegeven van de toegepaste formules en waarden.
<b>H6 Toepassing golfklap-methodiek per type constructie</b>	Beschrijving golfklapmethodiek per constructietype. Een kwalitatieve weergave van de schematisatie van de golfklapbelastingen is gegeven per type constructie.
<b>H7 Python reken model</b>	Presentatie van het rekenmodel ter bepaling van golfklapbelastingen per constructietype.

## 2 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Dit rapport is een beschrijving en onderbouwing van ontwerpouderdeel hydraulische belastingen en dan specifiek de golfklapbelasting. Voor de uitgangspunten met betrekking tot deze rapportage wordt in paragraaf 2.4 verwezen naar de verschillende uitgangspuntennota's/-rapporten die van belang zijn voor dit rapport.

### 2.1 Projectsamenstapende documenten (bindend)

In de onderstaande tabel zijn de overige projectsamenstapende bindende documenten gehanteerd in dit rapport weergegeven.

Tabel 2-1 Bindende project-specifieke documenten

Nr.	Document	Versie	Datum	Bindend
A.	Niet van toepassing			Ja/Nee

### 2.2 Projectsamenstapende documenten (niet-bindend)

In de onderstaande tabel zijn de overige project-specifieke niet-bindende documenten gehanteerd in dit rapport weergegeven.

Tabel 2-2 Niet-bindende project-specifieke documenten

Nr.	Document	Versie	Datum	Bindend
B.	Waves in Oceanic and Coastal Waters - L. Holthuijsen		2007	nee
C.	X. Chen, et al. 2019; Use of impulses for impact on hydraulic structure; Coastal Engineering 147		2019	nee
D.	TU Delft, Concept paper verstuurd van Bas Hofland naar Henry Tuin, maart 2019. Betreft: "Impact on Overhang.		2019	nee
E.	TU Delft, Concept paper verstuurd van Bas Hofland naar Henry Tuin, maart 2019. Betreft: "Uitvoer van semianalytisch model golfklappen overhang"		2019	nee
F.	Wood & Peregrine, 1996; Wave impact beneath a horizontal surface, ICCE 1996.		1996	nee
G.	Bas Hofland, TU Delft 8 april 2019, "kokereffect theoretisch"		2019	nee
H.	TU Delft 12 april 2019, "TU D advies spleetinvloed klapbelastingen Afsluitdijk (concept v3).		2019	Nee
I.	TU Delft 3 mei 2019, "Review van tweede versie "Onderbouwing golfklappen spuumiddelen - theoretische onderbouwing"		2019	nee
J.	ASD-MEM-0164 Stormverlopen en Stromduur IJsselmeerzijde en Waddenzeezijde	B	18-12-2019	nee



K.	ASD-NOT-0443 Theoretische beschouwing golfklappen op schuiven		13-03-2019	nee
----	---	--	------------	-----

### 2.3 Normen en richtlijnen

In de onderstaande tabel zijn de overige normen en richtlijnen gehanteerd in deze berekeningsrapport weergegeven.

Tabel 2-3 Normen en Richtlijnen

Nr.	Document	Versie	Datum	Bindend
I.	Niet van toepassing			Ja/Nee

### 2.4 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Ten behoeve van de bepaling van de grootte van de kracht t.g.v. golfklappen zijn de aannames en uitgangspunten gegeven in Tabel 2-4 gehanteerd. Deze aannames en uitgangspunten zijn besproken en overeengekomen met RWS op 16 april 2019. De benaderingswijze is gereviseerd door de TUDelft [ref. I]. Uit de review van de TUDelft volgt dat het geheel aan gehanteerde parameters een realistische benadering geeft voor de bepaling van de golfklapbelastingen. De aandachtspunten uit het reviewcommentaar van de TUDelft zijn naar aanleiding van het commentaar besproken met RWS en de TUDelft en op 13 mei akkoord bevonden.

Tabel 2-4 Overzicht aannames en uitgangspunten golfklapbelastingen

Nr.	Aanname of uitgangspunt
1.	Golven vallen recht in. <ul style="list-style-type: none"> <li>Dit is een conservatieve aanname voor een situatie waarbij sprake is van schuin invallende golven.</li> </ul>
2.	Een golfklapduur van 0,10s toegepast voor de bepaling van de maximale belasting.
3.	Voor de bepaling van de golfhoogte behorende bij een overschrijdingskans van 0,1% is de theorie conform Battjes en Groenedijk toegepast i.p.v. de Rayleigh verdeling. <ul style="list-style-type: none"> <li>Dit geeft een reductie in de maatgevende golfhoogte.</li> </ul>
4.	Vanwege de geometrie van spuimiddelen (BSM en NSM) wordt gerekend met een gereduceerde reflectie: <ul style="list-style-type: none"> <li>80% reflectie voor golven vanuit de Waddenzee.</li> <li>70% reflectie voor golven vanuit het IJsselmeer.</li> </ul> Voor de geometrie van de VMR is uitgegaan van een gereduceerde reflectie: <ul style="list-style-type: none"> <li>90% voor golven vanuit beide zijden.</li> </ul> Voor de keersluis wordt geen gereduceerde reflectie gehanteerd: <ul style="list-style-type: none"> <li>100% reflectie voor golven vanuit de Waddenzee</li> </ul>
5.	De verticale snelheid is maximaal bij het doorkruisen van de middenstand. Indien de BBB hoger ligt dan de waterlijn (middenstand) is de snelheid gereduceerd. De toegepaste reductie volgt uit de lineaire golftheorie.
6.	Voor de golfklaplengte geldt het volgende: <ol style="list-style-type: none"> <li>De golfklaplengte wordt bepaald door de golfhoogte te vermenigvuldigen met een factor, mits punt 2 niet geldt. Deze factor is: <ul style="list-style-type: none"> <li>0,15 indien de waterstand gelijk is aan het dek niveau.</li> <li>0 indien de onderzijde dek zich op het niveau van de uiterste piek of dal van de golf bevindt, een detail uitleg is gegeven in paragraaf 5.4.</li> <li>Tussen bovengenoemde punten verloopt de factor met een sinusverband</li> </ul> </li> </ol>

Nr.	Aanname of uitgangspunt
	2. De golfklaplengte wordt gelijkgesteld aan de aanwezige overhanglengte wanneer de overhanglengte kleiner is dan de hierboven bepaalde factor maal de golflengte.
7.	Verlies van energie door de lengte van de koker is niet aantoonbaar aanwezig. Er wordt niet gerekend met een reductie t.g.v. de lengte van de koker.
8.	De golfklapbelasting is gepresenteerd als kracht per strekkende meter schuif. Dit betekent dat de totale kracht op de schuif volgt uit de vermenigvuldiging met de golfklapbelasting met de breedte van de schuif.
9.	<p>In een storm zijn niet-lineaire gepiekte golven aanwezig welke een hogere snelheid hebben maar minder massa. Vooralsnog wordt dit effect niet opgenomen in de kwantificering van de golfklappen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Narekening van de CFD OpenFoam simulaties met de snelheid conform de lineaire golftheorie geeft zonder verhoging t.g.v. de gepiekte golven een goede overeenkomst.</li> </ul>
10.	Voor de weerkaatsing van de impuls door een opgesloten luchtlaag kan de kracht vergroot worden. Dit wordt in rekening gebracht met de 'Bounceback' factor $\beta$ . Aangenomen is dat dit effect niet aanwezig. Hierbij hoort een waarde $\beta = 1$ .

## 2.5 Software

De software die gehanteerd is in deze rapportage is Python.

## **3 Kenmerken van het ontwerp**

### **3.1 Vormgeving**

Niet van toepassing voor dit document.

### **3.2 Civiel**

Niet van toepassing voor dit document.

### **3.3 Mechanische installaties**

Niet van toepassing voor dit document.

### **3.4 Elektrische installaties**

Niet van toepassing voor dit document.

### **3.5 RAM-aspecten (betrouwbaarheid, beschikbaarheid en onderhoudbaarheid)**

Niet van toepassing voor dit document.

### **3.6 Veiligheid & Gezondheid**

De veiligheid wordt geborgd door de belastingen correct en eenduidig te berekenen

### **3.7 Duurzaamheid**

Niet van toepassing voor dit document.

### **3.8 Omgeving en milieu**

Niet van toepassing voor dit document.

### **3.9 Bediening en Besturing**

Niet van toepassing voor dit document.

### **3.10 Test- en keurconcept**

Niet van toepassing voor dit document.

### **3.11 Uitvoeringsconcept**

Niet van toepassing voor dit document.

### **3.12 Risico's en beheersmaatregelen**

Niet van toepassing voor dit document.

### **3.13 Raakvlakken**

Geometrie van de kunstwerken en hydraulische randvoorwaarden

### **3.14 Toleranties en maatvoering**

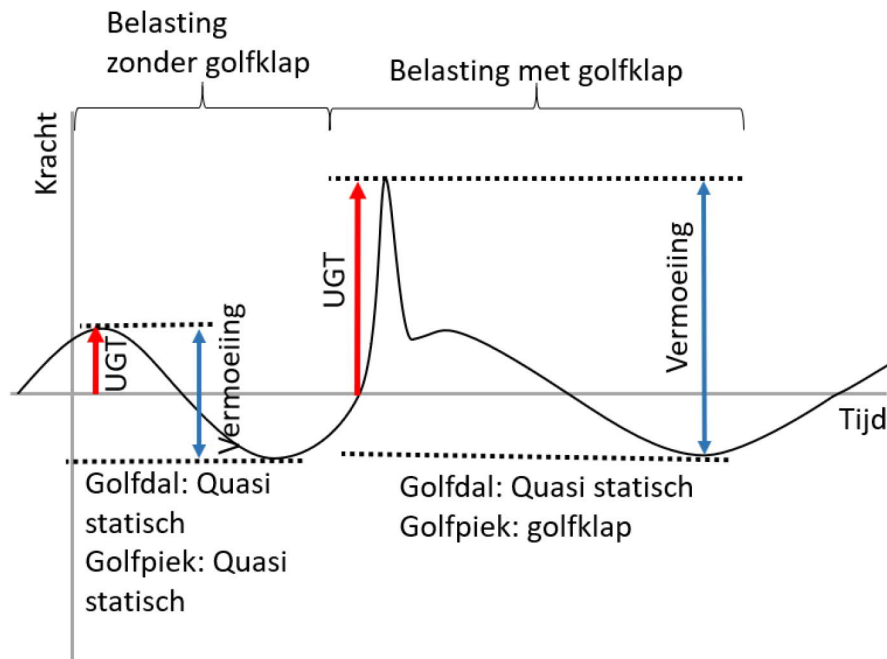
## 4 Algemene beschrijving golfbelastingen

Voor de bepaling van de belastingen dient onderscheid gemaakt te worden tussen een maximale sterkte belasting en een vermoeiingsbelasting:

- Voor sterkte is het verschil tussen de middenstandswaarde tot de piekbelasting relevant.
- Voor vermoeiing van bijvoorbeeld stalen onderdelen is het verschil tussen de minimale waarde tot de maximale waarde relevant.

Voor constructies met en zonder golfklap is de kracht als functie van tijd uiteengezet in Figuur 4-1. De eerste cyclus geeft een belasting weer zonder golfklap; de tweede cyclus geeft een belasting met golfklap weer. Voor de bepaling van de belastingen is gebruik gemaakt van de volgende belastingmodellen:

- Quasi statische belastingen conform Goda indien er geen golfklappen aanwezig zijn of indien de golfklap kleiner is dan de Quasi statisch component.
  - De quasi statische belasting volgt direct uit het geschematiseerde drukverloop over de verticaal. De kracht op het constructieonderdeel volgt uit de integratie van het drukverloop over de verticaal.
- Golfklapbelastingen zoals beschreven in hoofdstuk 5.



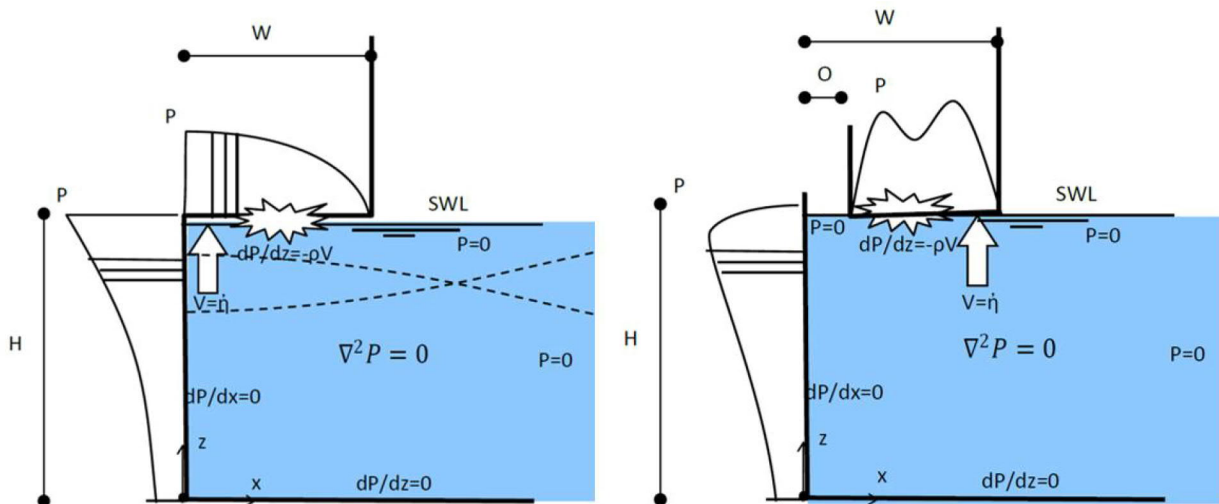
Figuur 4-1 Schematisatie verschil UGT en vermoeiingsbelastingen

Voor de bepaling van de maximale UGT belasting wordt gebruik gemaakt van de kracht of golf welke met een kans van 0,1% overschreden wordt conform de Battjes & Groenendijk verdeling. Voor de vermoeiing wordt het belastingenspectrum bepaald conform de genoemde verdelingen. De volledige wissel volgt uit een quasi statische belasting voor een golfdal gecombineerd met een golfklap indien de golf ingesloten kan raken en anders een quasi statische belasting voor een golfpiek.

## 5 Methodiek golfklap-belastingen

### 5.1 Generieke beschrijving

In dit hoofdstuk wordt de kracht door een golfklap in een constructie met een afgesloten bovenzijde bepaald. De basis van de modellering is gebaseerd op het aangeleverde model van de TUDelft. De theorie welke door de TUDelft uitgewerkt is gaat uit van het model van Wood & Peregrine [ref. F]. In het onderzoek is een analytische benadering opgesteld van golfklappen voor een constructie met een 'overhang' welke volgt uit de numerieke implementatie. Alle orbitaal snelheden van de berekende golven zijn gebaseerd op lineaire golftheorie. De schematisatie is weergegeven in Figuur 5-1. De analytische benadering is beschreven in ref. H.



Figuur 5-1 Schematisatie Impulsmodel TUDelft [ref. H]. Links: zonder ontluchting; Rechts: met ontluchting

De theorie van Wood & Peregrine is aangevuld met de volgende aannames:

- W&P: De gehele overhanglengte ( $W$ ) wordt direct belast door de opgaande golven. Het opgaande wateroppervlak is horizontaal. Aanvullend: De golfvorm wijkt af van een horizontaal wateroppervlak, hierdoor is er een bovengrens van de kokerlengte welke door een golf wordt aangeslagen. Deze maximale lengte is bepaald aan de hand van CFD sommen en vast gesteld op  $0.15 * L$ , waarbij  $L$  de golflengte van de inkomende golf is.
- Door een 'spleet' aan de schuif ( $O$ ) wordt de golfdruk gereduceerd aan de schuif.
  - Bij een openingsgrootte  $O$  gelijk aan  $0\text{m}$  ( $O=0\text{m}$ ) is het resultaat gelijk aan een volledig gesloten koker.
  - Bij een openingsgrootte  $O$  gelijk aan de overhanglengte ( $O=W$ ) is er geen golfklap aanwezig.
  - Voor tussengelegen waarden levert een openingsgrootte  $O$  een reducerende werking op de golfklapbelasting.

In de theorie zijn uitdrukkingen gegeven voor de directe bepaling van de kracht op het horizontale vlak of verticale vlak.

## 5.2 Bepaling van horizontale belasting op wand of schuif

De horizontale belasting op een wand of schuif is een direct gevolg van een impactbelasting op de overhang ( $W$ ). Deze belasting wordt doormiddel van een dimensieloze factor  $C_I$  geprojecteerd op een verticaal vlak. De vergelijking voor het bepalen van de belasting op een wand of schuif wordt weergegeven in Vergelijking 2.

Vergelijking 2: Basisformule voor kracht door golfklap op wand of schuif

$$F_H = \frac{2}{\Delta t_{stoot}} C_S C_I \rho V W^2$$

$\Delta t_{stoot}$  = stootduur, volgt uit [ref. C & ref. H]

$C_I$  = dimensieloze drukimpuls, volgt uit Figuur 5-2.

$C_S$  = reductiefactor ontluchting door spleeteffect, zie paragraaf 5.6.

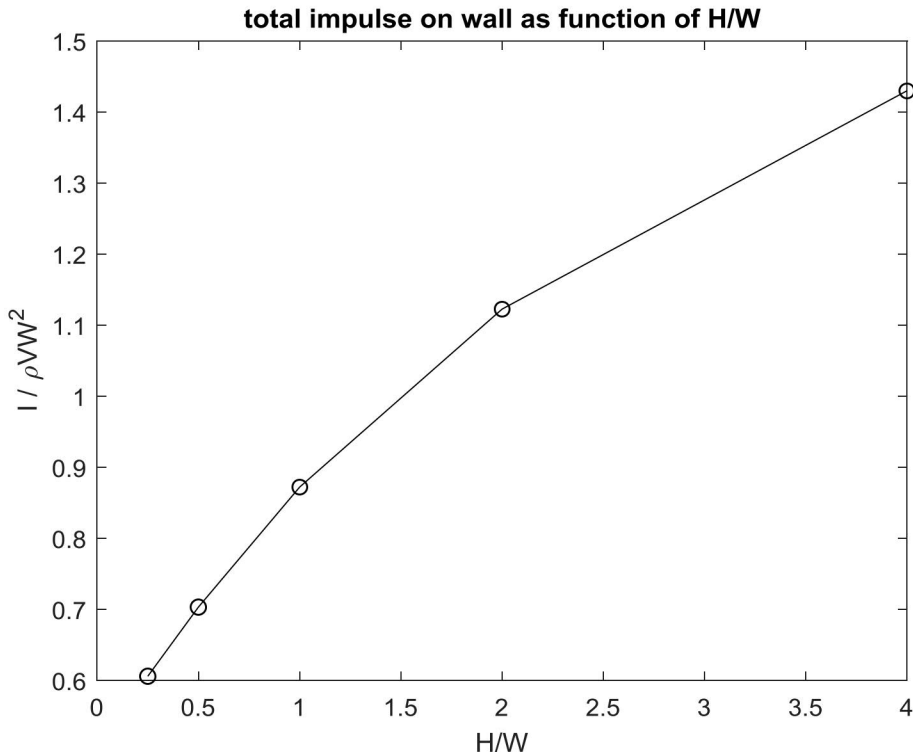
$\rho$  = soortelijke massa water

$V$  = verticale snelheidscomponent uit de orbitaalsnelheid incl. reflectie conform [ref. B]

De maximale verticale snelheid aan de schuif wordt toegepast over de gehele overhanglengte.

$W$  = representatieve overhanglengte, zie paragraaf 5.4

Voor de bepaling van de kracht op de wand c.q. schuif is in [ref. E] een ontwerpgrafiek gegeven welke gebruikt wordt voor het bepalen van  $C_I$ . Deze is in Figuur 5-2 overgenomen. In dit figuur is op de horizontale as de ratio tussen de diepte ( $H$ ) en de afmeting van de representatieve 'overhang' ( $W$ ) gegeven. Op de verticale as is de dimensieloze drukimpuls  $C_I$  uitgezet. Op basis van deze waarden kan de kracht op het verticale vlak (de schuif) bepaald worden met Vergelijking 2. In de waarde  $C_I$  is de toegevoegde watermassa van de golfklap verdisconteerd.



Figuur 5-2 Totale dimensieloze drukimpuls op een muur als functie van  $H/W$  [ref. E]

In Figuur 5-3 is de dimensieloze drukstoot gegeven voor 6 condities van H/W zonder ontluchtingspleet. Hierin is W de representatieve overhanglengte waaronder over de gehele lengte W het water een belasting op de overhang geeft met impactsnelheid V. De drukimpuls over de verticaal wordt berekend met de onderstaande vergelijking. Integratie van deze vergelijking over de hoogte geeft hetzelfde resultaat voor de horizontale kracht op het verticale vlak zoals omschreven in Vergelijking 2. De horizontale belasting is of een wand of schuif is een direct gevolg van een impactbelasting op de overhang (W). Deze belasting wordt doormiddel van een dimensieloze factor CI geprojecteerd op een verticaal vlak. De vergelijking voor het bepalen van de belasting op een wand of schuif wordt weergegeven in Vergelijking 2.

Vergelijking 3: Drukstoot over de verticaal tegen een wand of schuif

$$Pres_{impuls} = \frac{2}{\Delta t_{stoot}} C_p(z) \rho V W$$

Waarin:

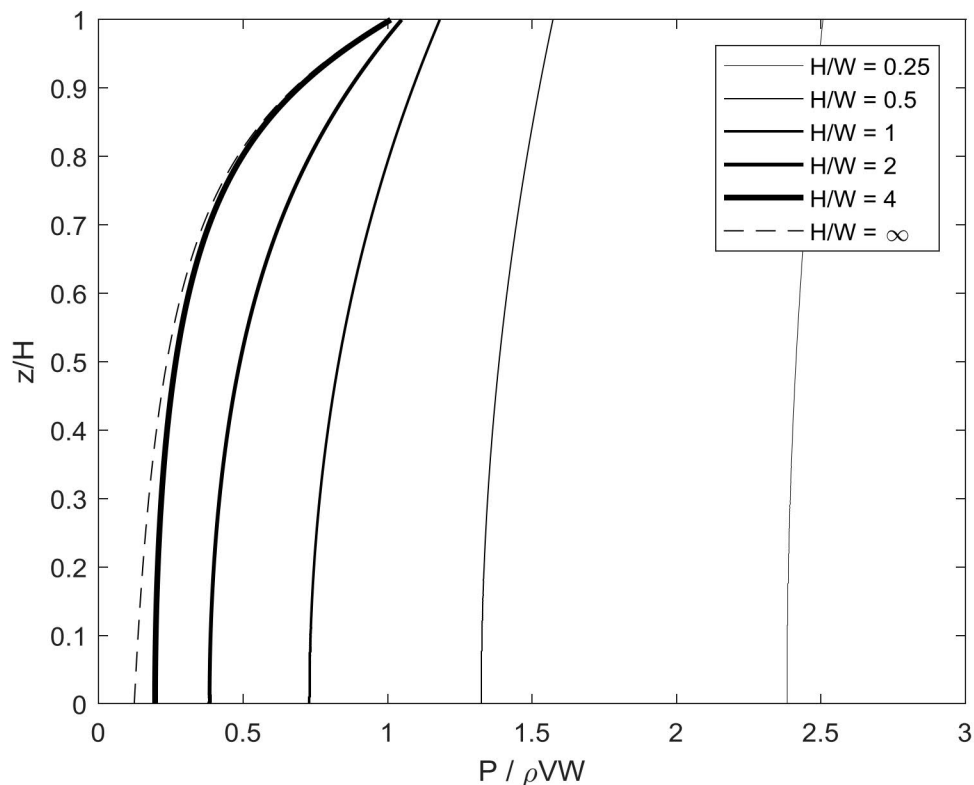
$\Delta t_{stoot}$  = stootduur, volgt uit [ref. C]

$C_p(z)$  = Dimensieloze drukimpulsdruk afgelezen uit Figuur 5-3.

$\rho$  = soortelijke massa water

V = Verticale snelheidscomponent uit de oribtaalsnelheid incl. reflectie conform [ref. B]

W = Representatieve lengte van overhang

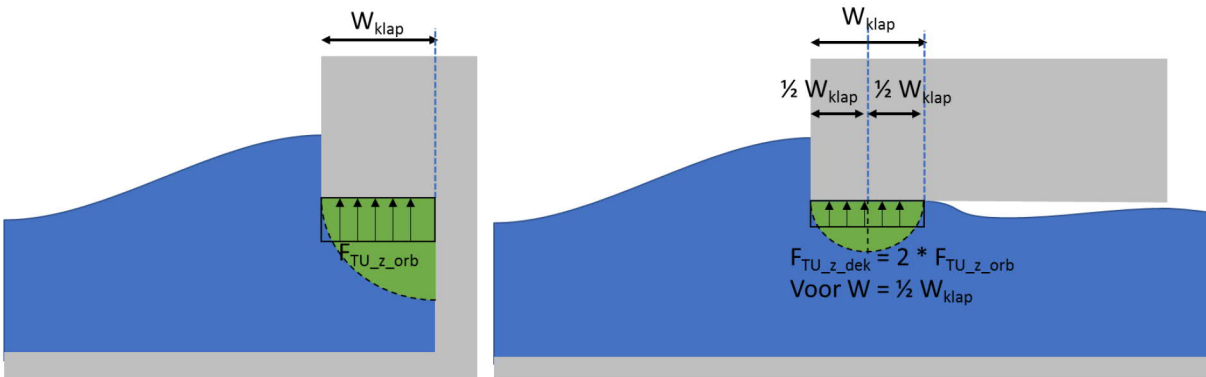


Figuur 5-3 Dimensieloze druk-stoot op wand zonder ontluchting (ref. E)

Met ontluchtingspleet ontstaat er behalve een krachtsreductie ook een ander drukverloop. In Bijlage 2. zijn details gegeven over drukverlopen over de hoogte van het verticale vlak voor gevallen met ontluchtingsopening. In geval van een opening verder van de verticale wand wordt het een uniform profiel en dicht bij de schuif zie je een reductie in druk bovenin. Voor de berekening met een ontluchtingsopening is altijd uitgegaan van een uniform drukprofiel.

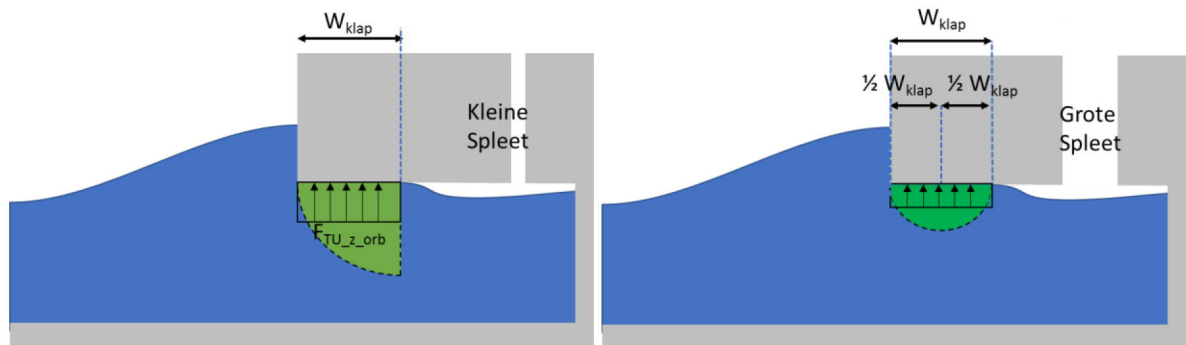
### 5.3 Bepaling van verticale belasting op (brug)dek of bovenkant koker

ij een golf klap of een horizontaal oppervlak wordt er onderscheid gemaakt tussen de situatie waar de klap maar 1 kant op kan, Vergelijking 4 (opgesloten koker) en waar de druk naar twee kanten weg kan (dek), Vergelijking 5. Een visualisatie van de twee situaties is gegeven in Figuur 5-4. In het geval van een opgesloten koker levert dit ook nog een horizontale belasting op de achterwand, zie 5.2. Bij een tweezijdig afstromende belasting zit er een symmetrieas in het midden van het horizontaal belaste oppervlak wat gelijk is aan twee kleiner opgesloten koker belastingen.



Figuur 5-4 Schematisering verticale impact belasting op bovenkant koker (links) en op dek (rechts)

Een koker met een impactbelasting op de bovenkant koker met een ontluuchtingsopening achter de locatie van de impactklap heeft de mogelijkheid tot (gedeeltelijk) afstromen naar binnen gericht. De mate van tweezijdig afstromen is afhankelijk van de spleet grote, die resulteert in de spleetfactor  $C_s$ , waardoor reductie van de impact optreedt, zie schematisering in Figuur 5-5 (links). De bepaling van  $C_s$  wordt toegelicht in sectie 5.6. Bij grote spleet afmeting kan de reductie voor een achterliggende wand/schuif groter worden dan 50%. Voor de verticale impactbelasting kan de belasting nooit minder worden dan een volledige tweezijdige afstroming (Vergelijking 5), zie schematisering van een grote spleet met reductie van meer dan 50% in Figuur 5-5 (rechts).



Figuur 5-5 Schematisering verticale impact belasting op bovenkant koker met beperkte afstroom naar binnen, kleine spleet (links) en volledig tweezijdige afstroming bij grote spleet (rechts)

Voor de linker figuur van Figuur 5-4 wordt de totale belasting op onderkant koker bepaald met Vergelijking 4.



Vergelijking 4: Basisformule voor kracht door golfklap op horizontaal oppervlak

$$F_V = \frac{\pi}{2} \beta \rho W^2 V \Delta t_{imp}^{-1}$$

Waarin:

$\beta$  = 'bounceback' factor waarin het effect van reflectie van de drukimpuls door een opgesloten luchtlaag verrekend kan worden.

Voor het rechter figuur van Figuur 5-4 bestaat het drukfiguur uit tweemaal de toepassing van Vergelijking 4 waarbij per toepassing de halve klaplengte toegepast wordt. De vergelijking voor het bepalen van de kracht op het horizontale vlak met ontluchting is weergegeven in Vergelijking 5. De toepassing van deze schematisering leidt tot een reductie van de belasting op de constructie met een factor 2 ten opzichte van Vergelijking 4.

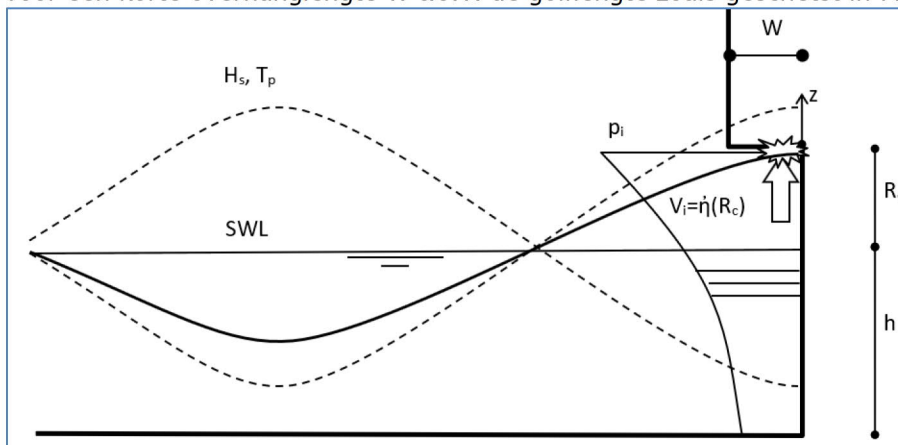
Vergelijking 5: Golfklapbelasting op horizontaal vlak met ontluchting naar beide zijden

$$F_{V\_dek} = 2 \frac{\pi}{2} \beta \rho \left(\frac{W}{2}\right)^2 V \Delta t_{imp}^{-1} = \pi \beta \rho \left(\frac{W}{2}\right)^2 V \Delta t_{imp}^{-1}$$

De kracht (bepaalt met Vergelijking 4 en Vergelijking 5) wordt uniform toegepast over de impact lengte  $W$ .

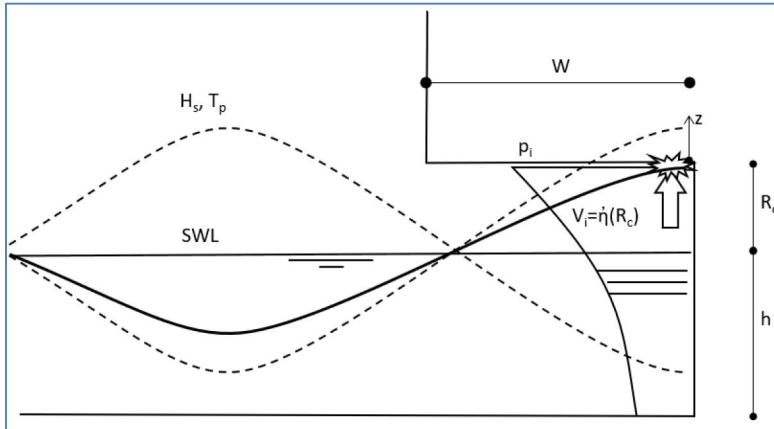
## 5.4 Rekenwaarde representatieve overhanglengte $W$

Het impulsmodel van de Wood & Peregrine gaat uit van een stootbelasting welke op hetzelfde moment over de gehele lengte van de overhanglengte plaats vindt. Deze aanname is alleen geldig voor een korte overhanglengte  $W$  t.o.v. de golflengte zoals geschetst in Figuur 5-6.



Figuur 5-6 Schematisatie golfklap [ref. D]

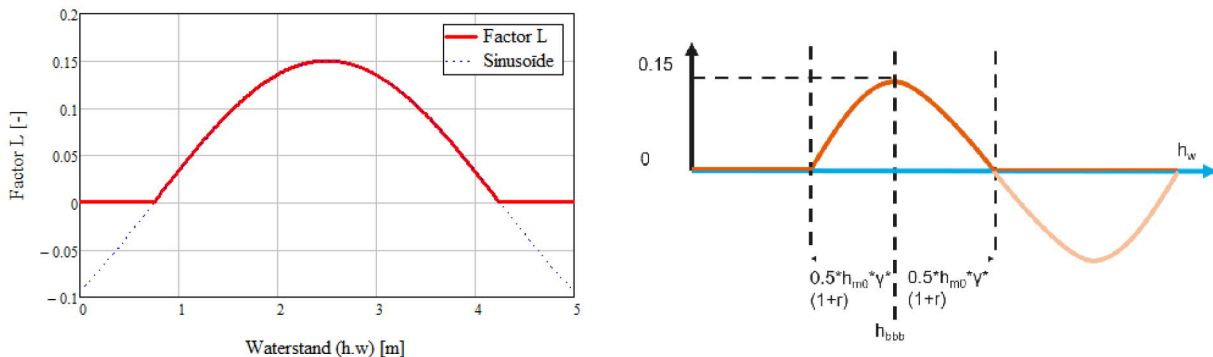
Indien de golflengte kort is t.o.v. de aanwezige overhanglengte zal een deel van de golflengte zorgen voor een golfklapbelasting. Dit principe is geschetst in de aangepaste versie van Figuur 5-6 welke in Figuur 5-7 is weergegeven. Te zien is dat alleen het voorste gedeelte van de golfbeweging een impactbelasting geeft.



Figuur 5-7 Lange overhanglengte (aanpassing Levvel o.b.v. [ref. D]).

In Bijlage 1. is de rekenwaarde van de effectieve overhanglengte onderbouwd o.b.v. de CFD simulaties en een analytische onderbouwing. Geconcludeerd is dat de maximale impact lengte 0,15 maal de golflengte is. Als de waterstand niet gelijk is aan overhanghoogte wordt de impact lengte kleiner.

Indien de overhang op precies gelijke hoogte van de golfpiek bevindt, dan gaat de effectieve golfklaplengte naar 0. Tusseliggend neemt de effectieve golfklaplengte geleidelijk af van 0,15 L naar 0. Deze geleidelijke afname volgt de vorm van een sinus zoals weergegeven is in Figuur 5-8. In het linker figuur is de BBB gelijk aan NAP +2,5m. Voor een waterstand gelijk aan NAP +2,5m is de effectieve golfklaplengte 0,15 maal de golflengte. De golfhoogte is gelijk gesteld aan 2,0m met een reflectie van 0,75. Te zien is dat 1,75m boven NAP +2,5m en beneden NAP +2,5m de factor gelijk is aan 0 en voor tussengelegen waarden de vorm van een sinus volgt.



Figuur 5-8 Afname effectieve golfklaplengte.

## 5.5 Reductie golfhoogte bij klap achterin met lange overhang lengte

Indien de waterstand lager dan onderzijde koker is, kan een deel van de golf doorlopen tot achterin de koker/schuif. De maximale hoogte van de inkomende golf in de koker volgt uit de afstand tussen de waterlijn en onderzijde koker. De maximale golfhoogte in de koker is in Vergelijking 6 gedefinieerd. Om de reductie in golfhoogte toe te passen dient de opgegeven overhang lengte groter te zijn dan  $0.15 * L$ . De berekende maximale golfhoogte is van de inkomende golf. Daarom kan deze golf nog wel reflecteren.

Vergelijking 6: Maximale inkomende golfhoogte in koker indien waterstand lager dan onderzijde koker.

$$H_{\max\_int} = 2(h_{bbb} - h_w) \quad \text{voor } h_w < h_{bbb}$$

Waarin:

$h_{bbb}$  = hoogte onderzijde koker t.o.v. referentie

$h_w$  = waterstand t.o.v. referentie

## 5.6 Spleeteffect - reductie van drukimpuls door ontluchting

Door het effect van een ontluchting (een gat in bovenzijde koker) treedt er een reductie op van de drukimpuls, dus ook de kracht en druk op de schuif en dek. Onderstaand wordt het spleeteffect gekwantificeerd voor de belasting op de wand / schuif en voor de belasting op horizontaal vlak.

De belangrijkste parameters zijn:

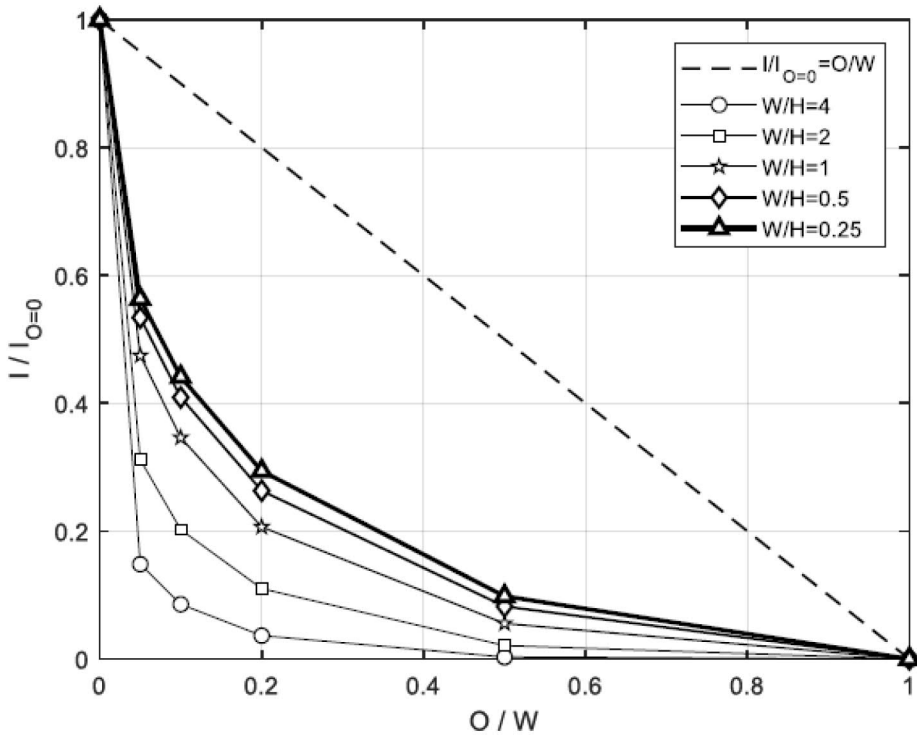
O = spleetgrote in [m]

W = overhang lengte [m]

H = water diepte [m]

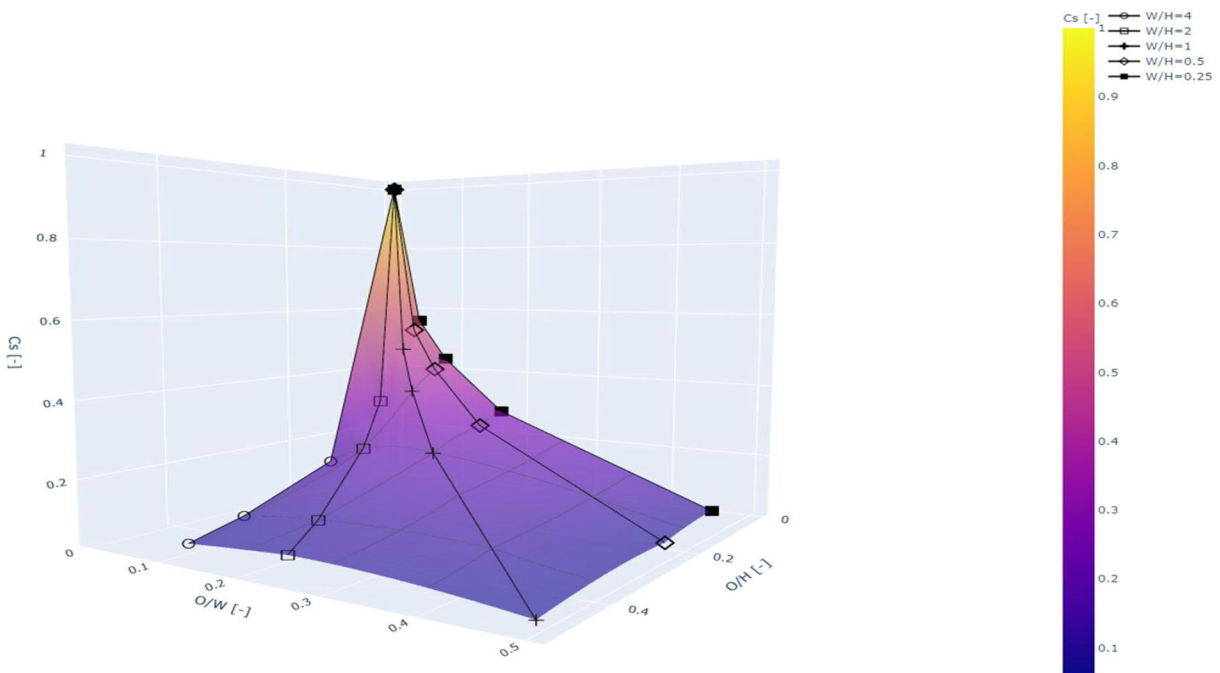
Het effect van de spleetgrote wordt door twee verschillende vergelijkingen/parameters non-dimensionaal gemaakt, op basis van de overhang lengte (O/W) en op basis van koker diepte (O/H) voor lange overhang lengtes. Op basis van beide ratio's wordt een reductie van drukimpuls bepaald zoals hieronder beschreven.

Voor een korte overhang (O/W) is de reductiefactor  $C_S$  ( $C_S = I/I_{O=0}$ ) gegeven als een verhouding tussen de spleetgrootte en de overhanglengte, voor verschillende ratio's van W/H, zie Figuur 5-9. Deze getallen zijn gedigitaliseerd en opgenomen in de input file cs.txt om in Python in 2D geïnterpoleerd te worden.



Figuur 5-9 Reductie ontlichting ( $C_s = I/I_{O=0}$ ) op stoot op schuif (ref. H) voor ontlichting aan de schuif

Deze verschillende W/H-ratio's geven voor een gegeven O/W-waarde ook een O/H-waarde. Iedere  $C_s$  coëfficiënt heeft hiermee een O/W en een O/H-waarde. Met deze variabelen voor de bepaling van  $C_s$  waarde is 3-dimensionale oppervlak grafiek geplot om de afhankelijkheid van O/W en O/H te visualiseren, zie Figuur 5-10. De lijnen horende bij verschillende ratio's van W/H zijn in O/H en O/W-ruimte weergegeven en daartussen is lineier geïnterpoleerd. Bij  $O = 0$  (geen ontlichtingsopening) heeft  $C_s$  per definitie de waarde 1



Figuur 5-10:  $C_s$  afhankelijk van overhanglengte voor verschillende W/H waarde

De drukstootfiguren, waarbij een lange overhang aanwezig is (geen invloed van overhang lengte), wordt de reductie enkel afhankelijk van de water diepte (verhouding O/H). In Figuur 5-11 zijn de reductiefactoren uitgedrukt als  $(I/I_0) = C_s$  weergegeven als functie van de relatieve ontluuchtingsgrootte (O/H). In Figuur 5-11 zijn voor een ontluuchtingspleet bij de schuif (zwarte lijn) en voor een ontluuchtingspleet bij de voorzijde van de koker (grijze lijn) exponentiele fits weergegeven. Te zien is dat een conservatieve benadering verkregen wordt bij de toepassing van de grijze lijn. Deze formule is overgenomen als Vergelijking 7 en in de berekeningsmethode generiek toegepast op elke type ontluuchting voor lange overhangen. Indien er geen ontluuchtingsopening aanwezig is, is de waarde voor  $C_s$  gelijk aan 1 en wordt gerekend met een niet gereduceerde stoot op de wand of schuif.

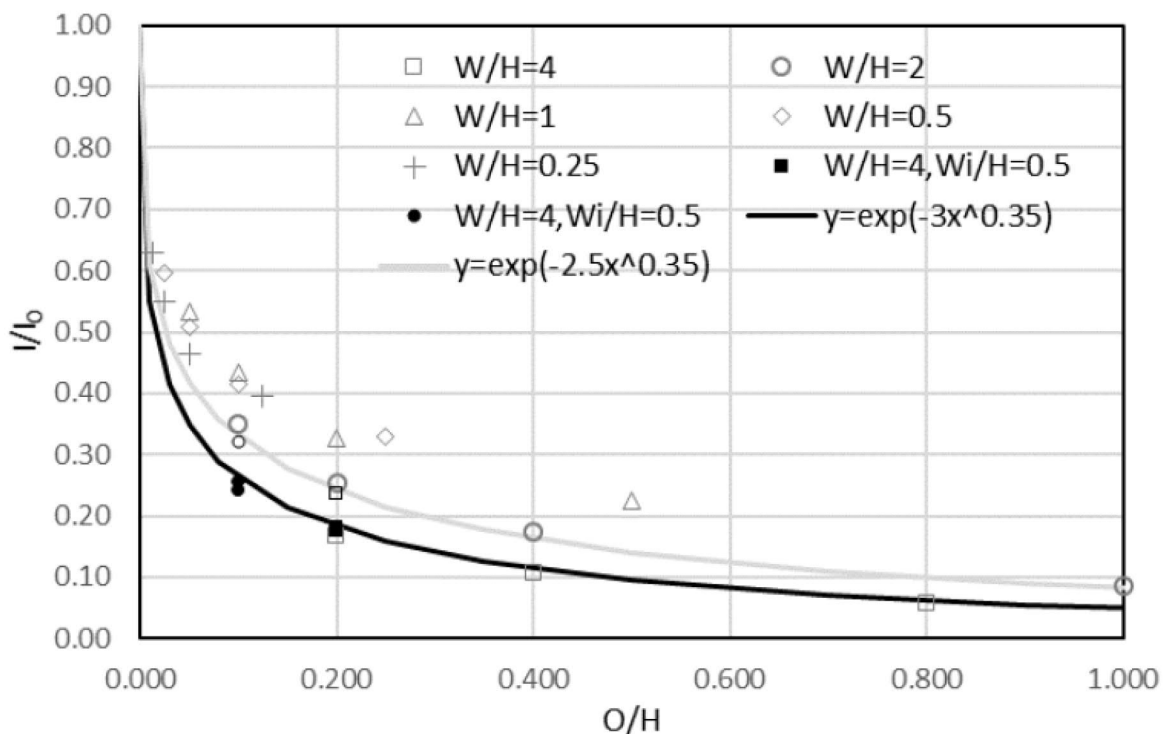
Vergelijking 7: Uitdrukking reductiefactor spleeteffect bij lange overhang met ontluuchting op enige afstand vanaf wand of schuif met klap aan begin koker

$$C_s = \frac{I}{I_{o=0}} = \exp\left[-2.5\left(\frac{O}{H}\right)^{0.35}\right]$$

Waarin:

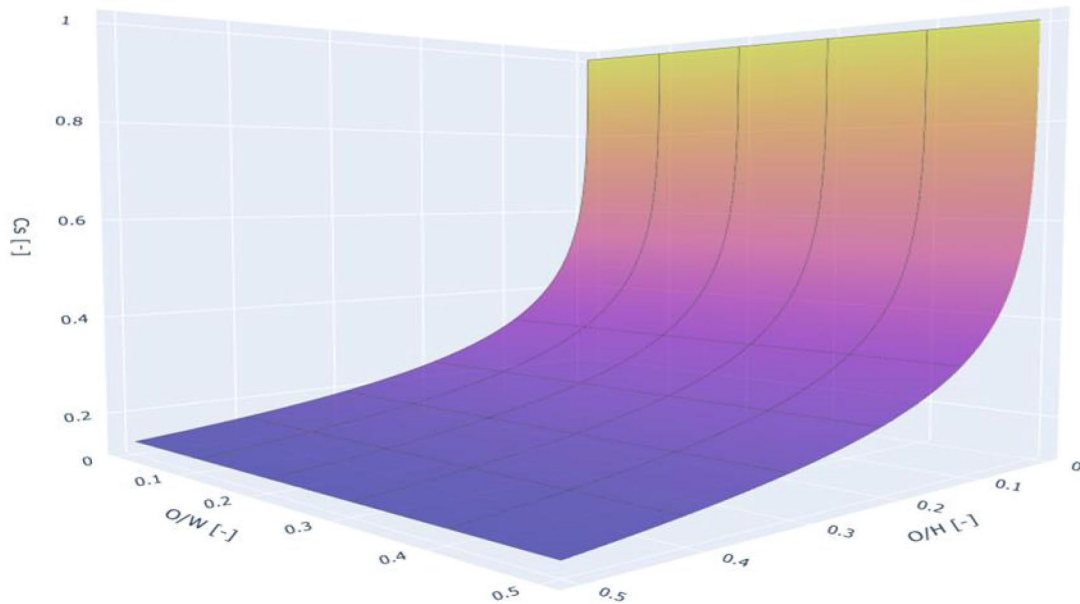
O = grootte ontluuchtingspleet per m1 meter schuif

H = hoogte koker (afstand BBB of onderzijde dek tot bodem)



Figuur 5-11 Relatieve vermindering van stoot op schuif in koker (Grijze waarden voor korte overhang; open symbolen voor ontluuchtingspleet aan voorzijde koker; dichte symbolen ontluuchtingspleet bij schuif)

Als deze functie in de 3d plot wordt gezet is te zien dat de overhanglengte geen invloed heeft op de  $C_s$ -waarde. Zie Figuur 5-12.

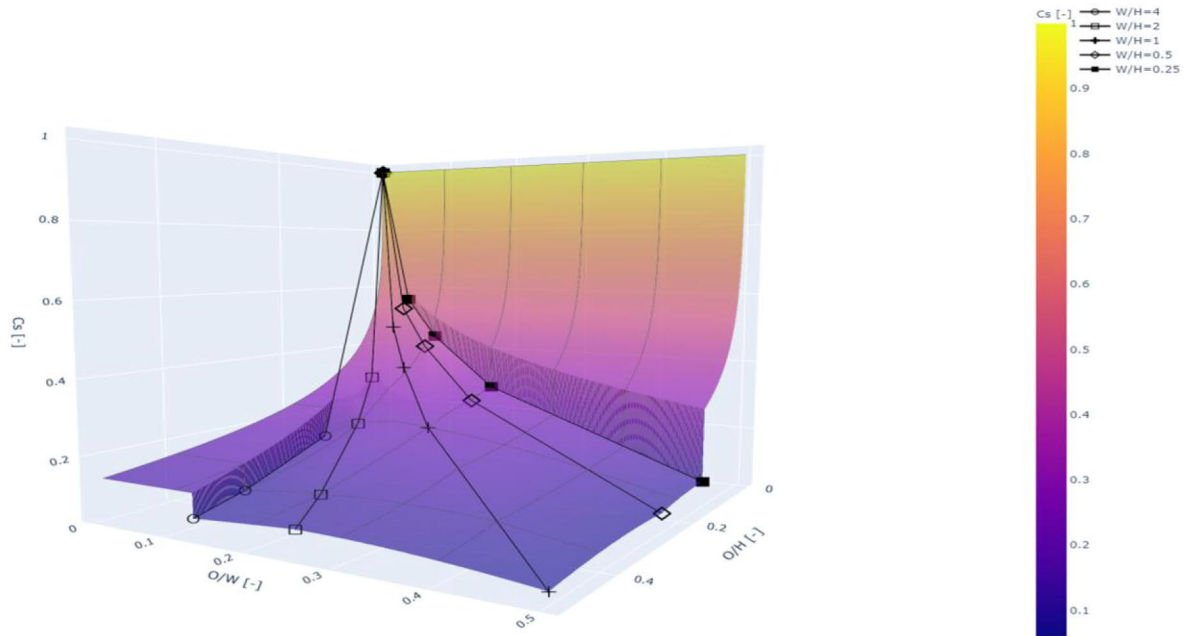


Figuur 5-12:  $C_s$  afhankelijk van koker diepte

Uit Figuur 5-10 is te zien dat voor ontluuchtingsopening met een korte overhang (grote  $O/W$ ) leidt tot een lage  $C_s$ . Uit Figuur 5-12 is te zien dat voor ontluuchtingsopening met een geringe koker diepte (grote  $O/H$ ) leidt tot een lage  $C_s$ . Aangezien de drukimpuls altijd de makkelijkste weg naar buiten zoekt is de route met de grootste reductie van toepassing. Dus, in het geval van een korte overhang op diep water zal de  $C_s$  gebaseerd zijn op  $O/W$  en als de overhang lang is ten opzichte van de kokerdiepte  $H$  dan zal de  $C_s$  gebaseerd zijn op  $O/H$ . De minimale waarde voor  $C_s$  geïnterpoleerd op basis van Figuur 5-10 en Vergelijking 7 wordt opgenomen in de horizontale belasting op een wand of schuif is een direct gevolg van een impactbelasting op de overhang ( $W$ ). Deze belasting wordt doormiddel van een dimensieloze factor  $CI$  geprojecteerd op een verticaal vlak. De vergelijking voor het bepalen van de belasting op een wand of schuif wordt weergegeven in Vergelijking 2

om de gereduceerde kracht te bepalen. Indien er geen spleet aanwezig is, is de waarde voor  $C_s$  gelijk aan 1, waardoor er een niet gereduceerde waarde voor de kracht verkregen wordt.

De gecombineerde ontwerp  $C_s$  grafiek (minimale waarde van Figuur 5-10 en Figuur 5-12) is in Figuur 5-13 weergegeven



Figuur 5-13: Ontwerp  $C_s$

## 6 Toepassing golfklap-methodiek per type constructie

De theorie beschreven in het voorgaand hoofdstuk dient toegepast te worden op de kunstwerken welke gerenoveerd of gerealiseerd gaan worden in de afsluitdijk. In onderstaande paragrafen zijn de verschillende golfklap scenario's toegelicht (cases 1-6). De toegepaste case per object van de golfklapbelastingen is weergegeven in Tabel 6-1.

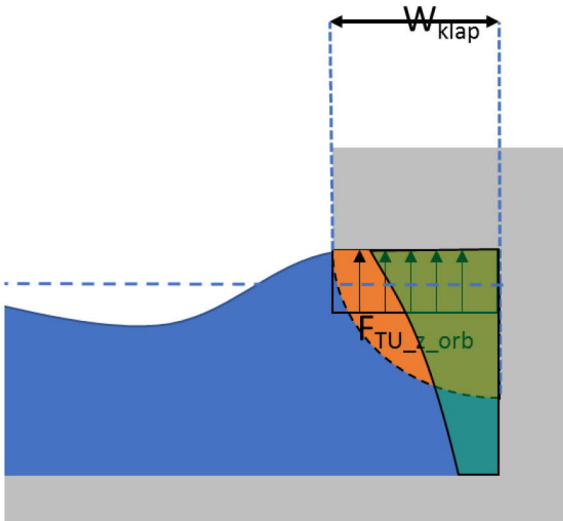
Tabel 6-1 Toewijzing casussen per kunstwerk

Kunstwerk	IJsselmeerzijde	Waddenzeezijde
<b>Schuiven Bestaand spuimiddel DO</b>	Case 6	Case 3 voor zuidschiuf Case 3 voor zuidschiuf Noordschiuf niet relevant i.v.m. verwijdering defensiebalk
<b>Schuiven Bestaand spuimiddel KWZ</b>	Case 6	Case 2 voor zuidschiuf Case 3 voor zuidschiuf Noordschiuf niet relevant i.v.m. verwijdering defensiebalk
<b>Schuiven Nieuw spuimiddel DO</b>	Case 5	Case 1 of 3 voor noordschiuf Case 1 of 3 en 2 voor zuidschiuf
<b>Schuiven Pompgroep DO</b>	Niet van toepassing	Niet van toepassing
<b>Schuiven Vismigratierivier</b>	Case 7	Case 1
<b>Schuiven Keersluis DO</b>	Niet van toepassing	Niet van toepassing
<b>Schuiven Keersluis KWZ</b>	Niet van toepassing	Niet van toepassing
<b>Bruggen en dekken</b>	Case 4	Case 4
<b>Korte Overhangen</b>	Case 1	Case 1

### 6.1 Case 1; Golfklapbelasting op korte overhang

Bij een korte overhang met optioneel ontluchting aan de schuif is de belasting op de schuif of overhang schematisch weergegeven in Figuur 6-1. De kracht op de schuif met korte overhang met eventuele ontluchting aan de schuif wordt bepaald met de horizontale belasting op een wand of schuif is een direct gevolg van een impactbelasting op de overhang ( $W$ ). Deze belasting wordt doormiddel van een dimensieloze factor  $CI$  geprojecteerd op een verticaal vlak. De vergelijking voor het bepalen van de belasting op een wand of schuif wordt weergegeven in Vergelijking 2 met eventueel een reductie bepaalt volgens  $C_s$  (sectie 5.6). De kracht op het horizontale vlak volgt uit de toepassing van Vergelijking 4 met eventuele  $C_s$  reductie (als ondergrens geldt Vergelijking 5). Het belastingschema welke van toepassing is op een korte overhang is analoog aan het belastingschema gepresenteerd in Figuur 6-3.





Figuur 6-1 Schematisatie belasting case 3 – korte overhangen

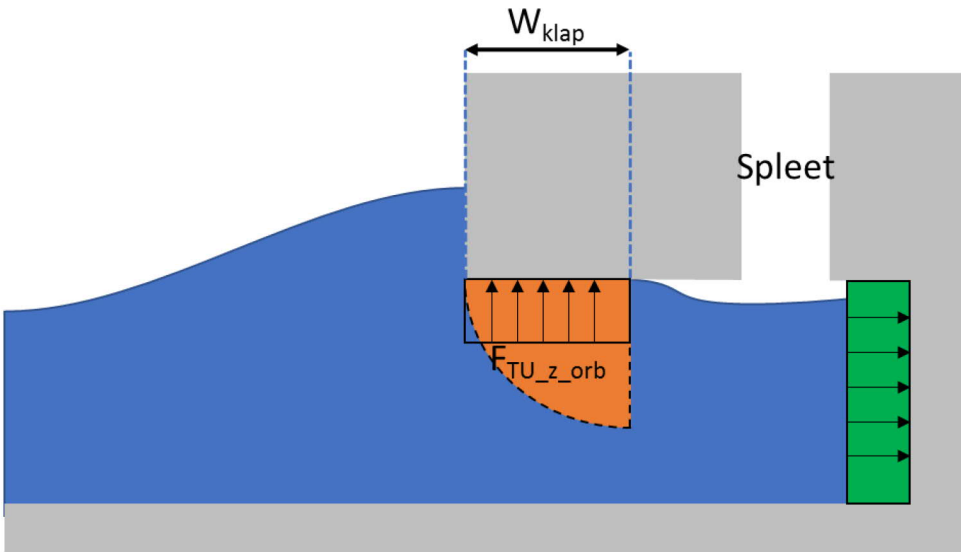
## 6.2 Case 2; Golfklapbelasting op lange overhang bij $h_w = h_{bbb}$

Een lange overhang is van toepassing indien de buitenzijde van de overhang zich op een grotere afstand van de schuif bevindt dan de effectieve overhanglengte (zie paragraaf 0). In de schematisatie gegeven in Figuur 6-2 is uitgegaan van:

- Een volledig gevulde koker (water en onsamendrukbare lucht)
- Een eventuele ontluchtingspleet op enige afstand vanaf de schuif
- Een golfklap op het begin van de koker.
- Een uniforme druk op de schuif. Deze druk is uniform, omdat de golfklap op het begin van de koker plaats vindt. Doordat de koker volledig gevuld is met water is, treedt de reflectie op aan het begin van de koker; zie de illustraties uit Bijlage 1.

De aandrijvende kracht van de golfklap op de schuif is in oranje weergegeven. Deze klap geeft een drukstoot op de schuif. De kracht op de schuif volgt uit de horizontale belasting op een wand of schuif is een direct gevolg van een impactbelasting op de overhang ( $W$ ). Deze belasting wordt doormiddel van een dimensieloze factor  $CI$  geprojecteerd op een verticaal vlak. De vergelijking voor het bepalen van de belasting op een wand of schuif wordt weergegeven in Vergelijking 2.

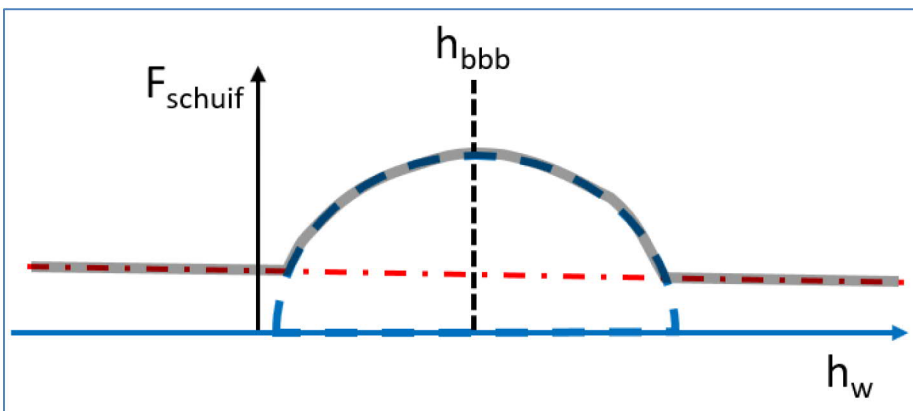
De klap op het horizontaal vlak volgt uit Vergelijking 4 of Vergelijking 5 indien half maantje maatgevend is. De drukimpuls op de schuif en op horizontaal vlak wordt verminderd door de ontluchting met een factor  $C_s$ , zie Vergelijking 7.



Figuur 6-2 Schematisatie belasting case 1 – lange overhang met  $h_w \geq h_{bbb}$

In Figuur 6-3 is het schematisch belastingmodel gegeven. De belasting voor waterstanden waarbij een golfdal t/m een golfpiek niet onder het dek komen volgen de belastingen cf. het Goda model. Indien een golfdal t/m golfpiek een klap kan geven wordt aanvullend het blauwe cirkelvormige verloop verkregen welke volgt uit de horizontale belasting op een wand of schuif is een direct gevolg van een impactbelasting op de overhang ( $W$ ). Deze belasting wordt doormiddel van een dimensieloze factor  $CI$  geprojecteerd op een verticaal vlak. De vergelijking voor het bepalen van de belasting op een wand of schuif wordt weergegeven in De horizontale belasting op een wand of schuif is een direct gevolg van een impactbelasting op de overhang ( $W$ ). Deze belasting wordt doormiddel van een dimensieloze factor  $CI$  geprojecteerd op een verticaal vlak. De vergelijking voor het bepalen van de belasting op een wand of schuif wordt weergegeven in Vergelijking 2.

Vergelijking 2. De maximale kracht op de schuif volgt de grijze omhullende welke beide belastingmodellen omvat.



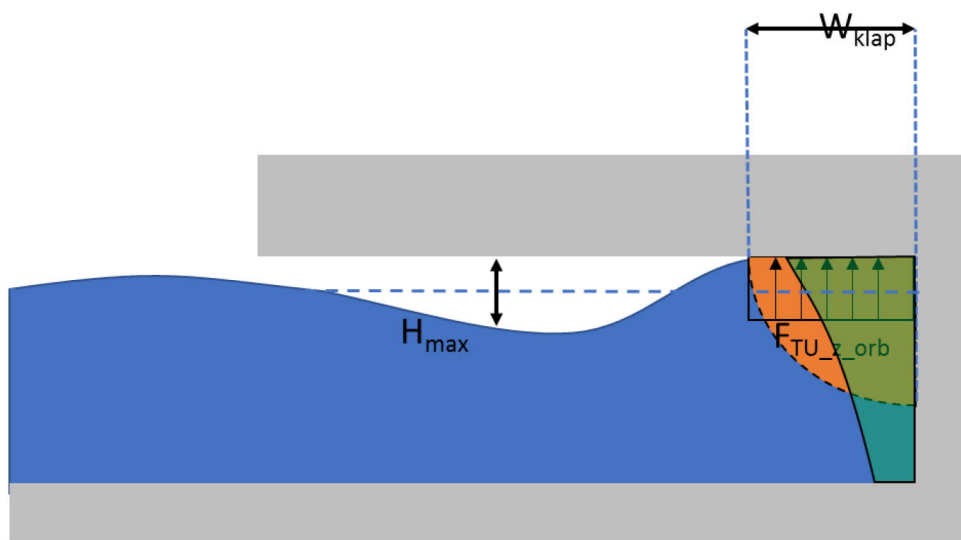
Figuur 6-3 Belastingenschema golfbelasting op schuif, lange overhang met uniforme hoogte  
Rood = Goda; Blauw = Klap op begin koker; grijs= omhullende belasting model

### 6.3 Case 3; Golfklapbelasting achterin bij lange overhang bij $h_w < h_{bbb}$

Indien de waterstand lager dan onderzijde koker is, kan een deel van de golf doorlopen tot aan de schuif. De maximale hoogte van de inkomende golf in de koker volgt uit de afstand tussen de waterlijn en onderzijde koker. De maximale golfhoogte in de koker is in Vergelijking 6 gedefinieerd.

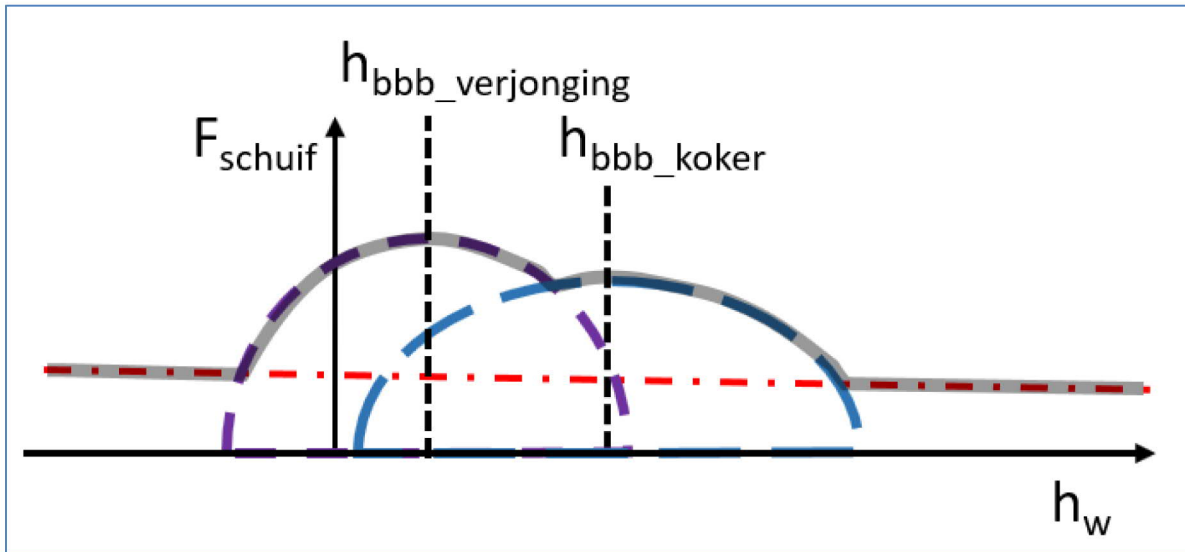
Als de uitwendige golf hoger is dan de onderzijde van de koker; dan vindt de golfklap aan het begin van de koker plaats. De kracht op de schuif wordt dan analoog aan case 1 (zie paragraaf 6.1) bepaald.

In case 2 wordt een golfklap tegen de schuif bepaald met de horizontale belasting op een wand of schuif is een direct gevolg van een impactbelasting op de overhang ( $W$ ). Deze belasting wordt doormiddel van een dimensieloze factor  $CI$  geprojecteerd op een verticaal vlak. De vergelijking voor het bepalen van de belasting op een wand of schuif wordt weergegeven in Vergelijking 2. De verticale kracht op het dek volgt uit Vergelijking 4, alleen is de golfhoogte gelimiteerd met Vergelijking 6.



Figuur 6-4 Schematisatie belasting case 2 – lange overhang met  $h_w < h_{bbb}$

Bij Case 3 zal ook altijd Case 2 getoetst worden. Afhankelijk van de waterstand en geometrie van de constructie volgt de maximale belasting bij een gegeven golfhoogte een omhullende welke volgt uit 2 cirkels en een basislijn die volgt uit Goda, dit is in Figuur 6-5. weergegeven. De rode lijn volgt de belastingen berekend met Goda. De eerste cirkelvorm volgt de klap achterin. De tweede cirkelvorm volgt de klap op het begin van de koker. De maximale golfklap op de schuif volgt uit de maximale waarde van de 2 cirkels of de basislijn. Onderstaand is gegeven dat de klap achterin groter is dan de klap op het begin van de koker. Dit is een impressie; afhankelijk van de geometrie van de verjonging en eventuele ontluchting kunnen de cirkels onderling verschillen van grootte.



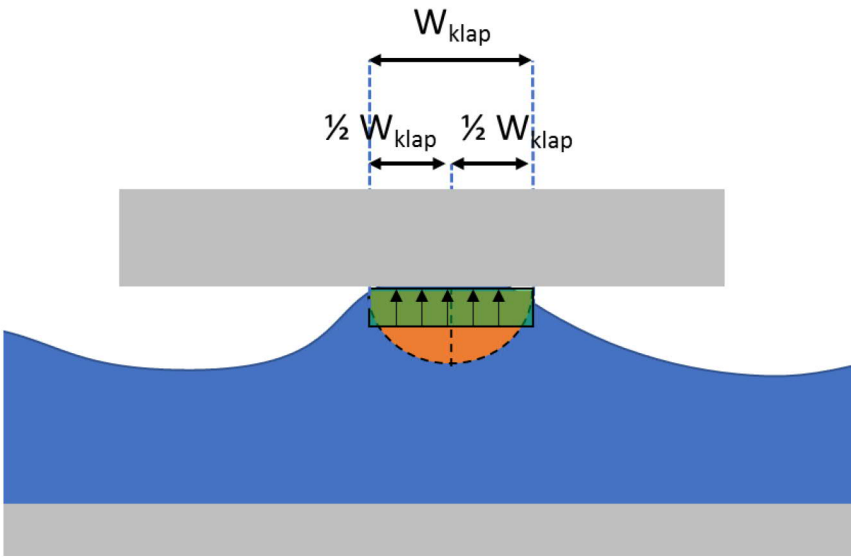
Figuur 6-5 Belastingsschema golfbelasting op schuif, lange overhang met verjonging  
Rood = Goda; Blauw = Klap op begin koker; Paars = Klap op verjonging

#### 6.4 Case 4; Golfklapbelasting op dek of onderzijde brug

Voor een dek zonder verticale begrenzing door een schuif of een wand kan er alleen een golfklap in de verticaal richting optreden. Deze klap kan optreden indien de onderzijde van het dek of brug in de invloedzone van de golf ligt. De maximale golfklap treedt op wanneer het dek op gelijke hoogte ligt met de waterlijn. De golfklap neemt af indien het dek hoger of lager ligt dan de waterlijn. Dit volgt uit:

- De reductie van de verticale snelheid voor een dekhoogte hoger of lager dan de waterspiegel.
- De reductie van de effectieve klaplengte. De effectieve klaplengte is maximaal ( $0.15L$ ) bij een gelijk niveau van onderzijde dek met de waterlijn en minimaal ( $0L$ ) bij een gelijk niveau van onderzijde dek met de absolute piek van de golf. Voor tussenliggende waarden wordt geïnterpoleerd cf. een sinus, zie sectie 0.

De golfklapbelasting wordt berekend door de toepassing van Vergelijking 5. De locatie van de belasting kan op elke mogelijke locatie onder het dek plaats vinden zoals geïllustreerd is in Figuur 6-6.



Figuur 6-6 Schematisatie belasting case 4 – bruggen en dekken

## 6.5 Case 5; Golfkapbelasting op geometrie NSM

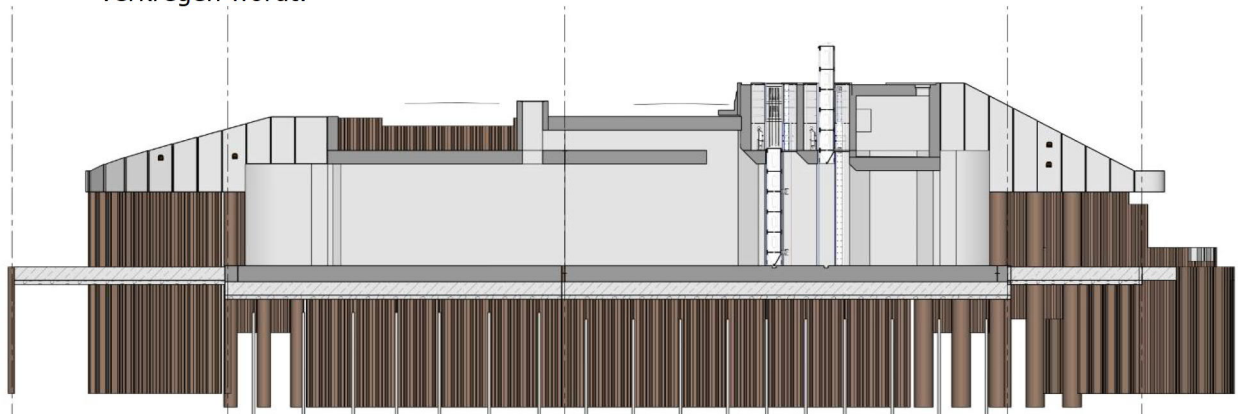
Voor het nieuwe spuumiddel (zie ASD-UNO-0024) is aan IJsselmeerzijde een lange overhang aanwezig. In deze lange overhang bevinden zich 2 ontluuchtingsopeningen; eentje met een direct doorgaande opening ter hoogte van de middenberm van de bovenliggende snelweg en een opening aan de zuidschiif. Het dekniveau is over de gehele hoogte gelijk, een doorsnede is weergegeven in Figuur 6-7.

Een golfklap kan op diverse locaties gegeven worden, namelijk:

- Direct aan de schuif, verticaal drukprofiel gegeven in zwart in Figuur 6-8.
- Op de overhang gelegen tussen de 2 ontluuchtingsopeningen; verticaal drukprofiel is gegeven in groen in Figuur 6-9.
- Aan de voorzijde van de overhang; verticaal drukprofiel is gegeven in oranje in Figuur 6-10.

De belasting op het horizontale vlak van de constructie wordt bepaald met:

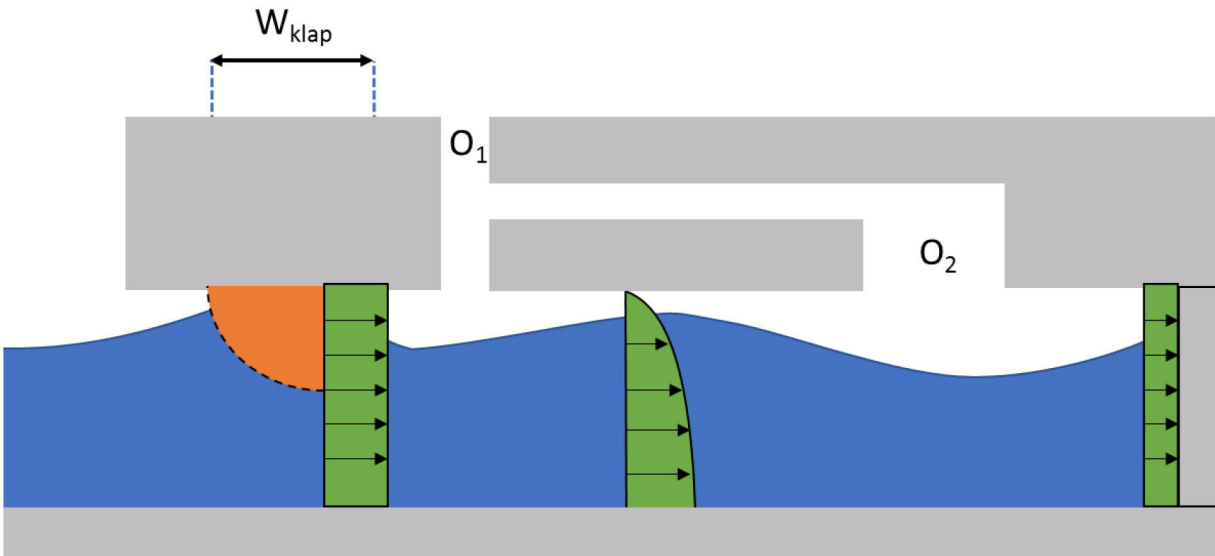
- De klap voorin de koker wordt bepaald met Vergelijking 4. Hier wordt uitgegaan van een verzonken koker waarbij de drukimpuls éézijdig kan afvloeien
- Voor de horizontale oppervlakten gelegen tussen de twee ontluuchting openingen wordt Vergelijking 5 toegepast. Op deze locaties kan de druk aan 2 zijden weg (met verzonken koker kan hier geen golfklap optreden).
- voor de overhang direct aan de schuif wordt Vergelijking 4 gebruikt. Op deze locatie kan de druk maar aan 1 zijde weg, waardoor een drukprofiel vergelijkbaar met een kwartcirkel verkregen wordt.



Figuur 6-7 Doorsnede NSM

De grootte van de belasting op de schuif volgt uit de horizontale belasting op een wand of schuif is een direct gevolg van een impactbelasting op de overhang ( $W$ ). Deze belasting wordt doormiddel van een dimensieloze factor  $CI$  geprojecteerd op een verticaal vlak. De vergelijking voor het bepalen van de belasting op een wand of schuif wordt weergegeven in Vergelijking 2 en dient per locatie wordt als volgt toegepast:

- Klap op de voorzijde van de overhang.
  - Een klap op de voorzijde van de overhang genereert impuls  $I_1$ . Deze impuls zet zich door tot ontluuchting  $O_1$  waardoor de impuls reduceert met factor  $C_s$  tot  $I_2$ . Deze impuls zet zich door tot ontluuchting  $O_2$  waardoor de impuls  $I_2$  reduceert met een factor  $C_s$ . De impuls op de schuif volgt uit Vergelijking 8.
  - De golfhoogte volgt uit de uitwendig opgelegde golfhoogte en wordt niet gereduceerd toegepast op de constructie.



Figuur 6-8: klap voorin de koker van NSM

Vergelijking 8: Reductie van impuls op begin overhang door meerdere ontluittingsopeningen

$$I_{schuif} = I_1 C_s(O_1) C_s(O_2)$$

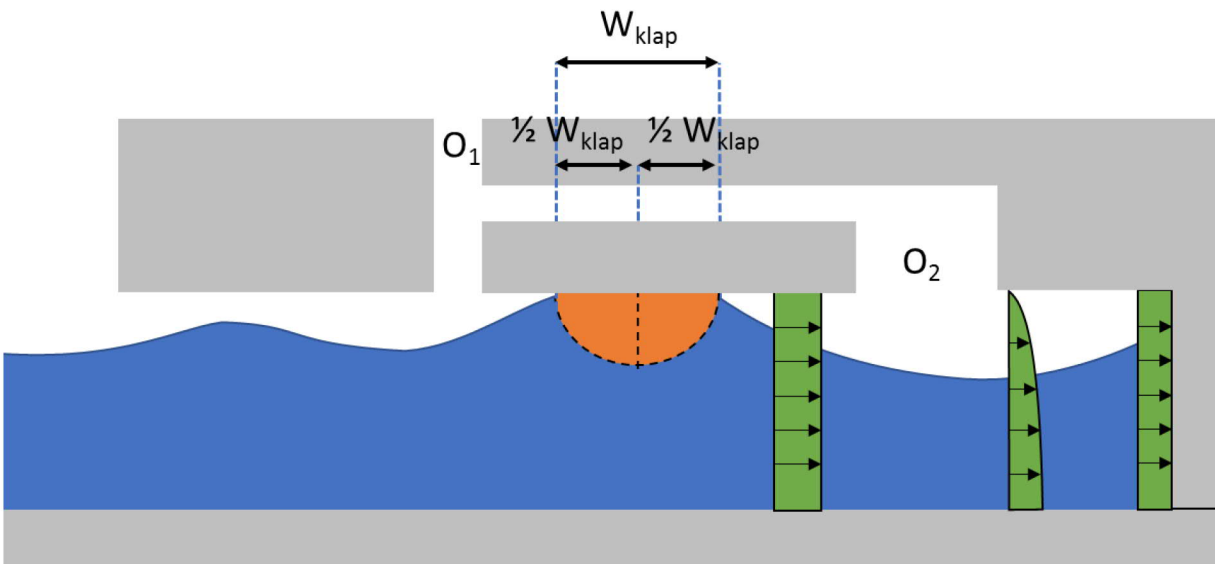
Waarin:

$I_1$  = Impuls gegenereerd door een golfklap aan het begin van de overhang.

$C_s(O_1)$  = Spleetreductie door spleet  $O_1$

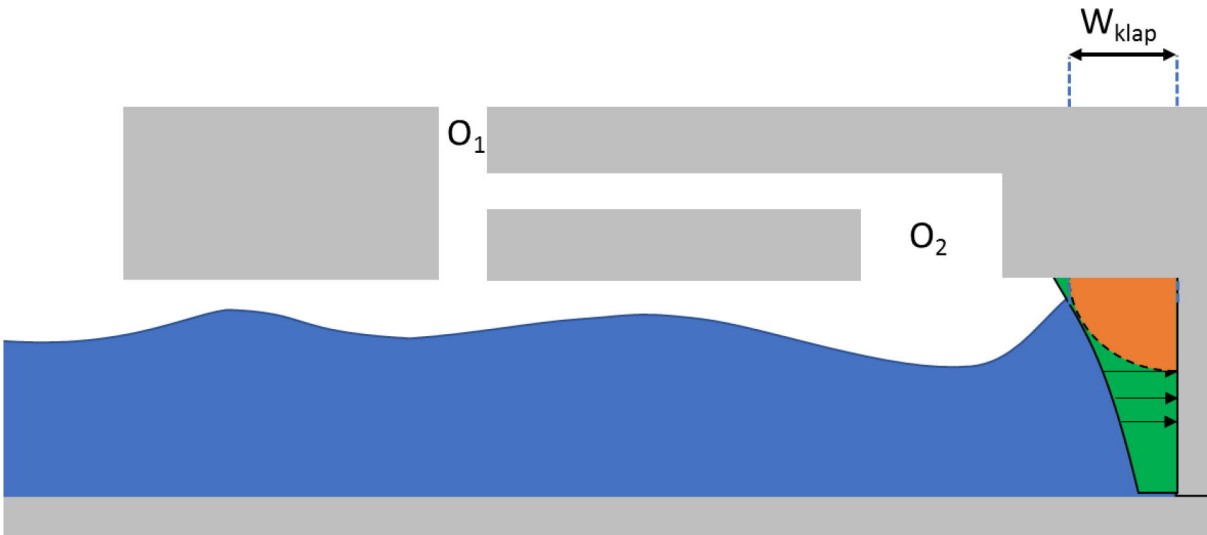
$C_s(O_2)$  = Spleetreductie door spleet  $O_2$

- Klap op overhang gelegen tussen 2 ontluittingsopeningen.
  - Toepassing van ontluifting  $O_2$  (zie Figuur 6-7) ter bepaling van reductiefactor  $C_s$  waarbij de druk op de schuif uniform is over de hoogte.
  - De golfhoogte welke de klap kan geven wordt gereduceerd door de onderzijde van de overhang conform Vergelijking 6



Figuur 6-9: klap tussen de twee ontluittingsopeningen in de koker van NSM

- Klap aan de schuif.
  - Klap op een kleine overhang direct aan de schuif; hier is geen sprake van een speet en dus ook geen reductiefactor  $C_s$ .
  - De golfhoogte welke de klap kan geven wordt gereduceerd door de onderzijde van de overhang conform Vergelijking 6.



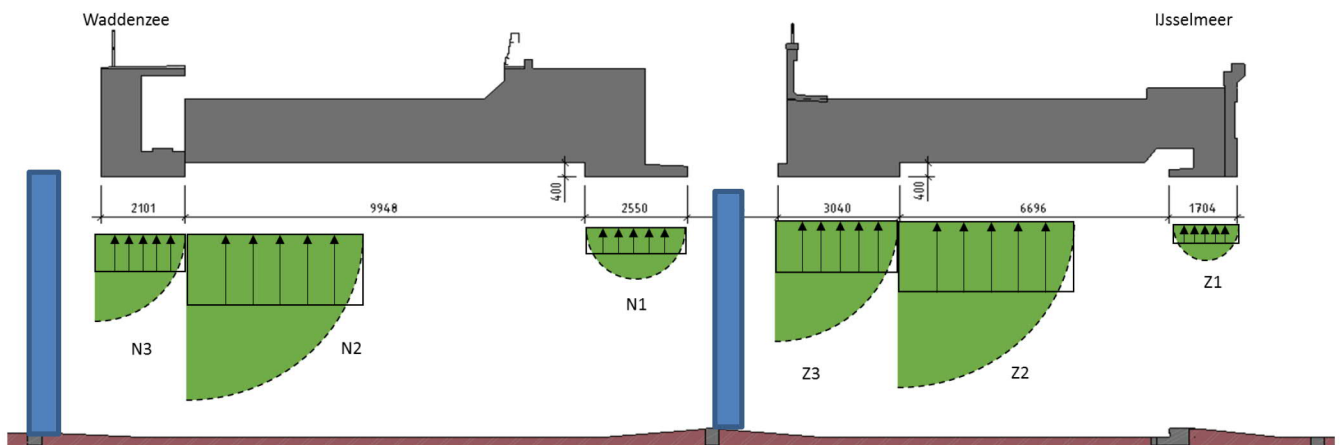
Figuur 6-10: klap aan de schuif in de koker van NSM

Voor de klap aan de Waddenzeezijde kan de golfklapbelasting geschematiseerd worden conform de eerder genoemde casussen.

## 6.6 Case 6; Golfklapbelasting op geometrie BSM

Voor BSM is de onderzijde van de brugdekken niet vlak maar zit er een reces in waardoor het brugdek 40 cm hoger is dan aan de buitenzijde van de spuikoker. De 40 cm hoogteverschil is genoeg om de impact in tijd te separeren. Doordat deze klap niet tegelijk optreedt worden ze individueel berekend en op het brugdek toegepast, waardoor ze niet tegelijk kunnen optreden. In Figuur 6-11 zijn de verschillende klap locaties voor BSM DOV weergegeven. In de tekst eronder is per klap locatie beschreven hoe de golfklap wordt uitgerekend. Bij BSM KWZ zit er in het noordelijk brugdek geen reces waardoor daar alleen N2 overblijft.





Figuur 6-11: mogelijke impact locaties golflap BSM

- Z1 : Klap op de voorzijde van de overhang.
  - Een klap op de voorzijde van de overhang genereert de impuls  $I_{Z1}$ , welke een directe belasting op de overhang geeft.
  - De golfhoogte volgt uit de uitwendig opgelegde golfhoogte en wordt niet gereduceerd toegepast op de constructie.
- Z2 : Klap midden onder brugdek.
  - Een klap midden onder het brugdek genereert de impuls  $I_{Z2}$ , welke een directe belasting op het brugdek geeft. De kracht wordt afgeleid volgens de methode beschreven in 5.3. Deze impuls zet zich door tot ontluchting  $O_1$  waardoor de impuls gereduceerd wordt met factor  $C_s$  tot  $I_{Z2}$  en komt dan de zuidschuif tegen waar dit een belasting op de zuidschuif geeft. Als de zuidschuif open is, zet impuls  $I_{Z2}$  zich door tot ontluchting  $O_2$  waardoor de impuls  $I_{Z2}$  gereduceerd wordt met een factor  $C_s$ . De impuls op de schuif volgt uit Vergelijking 8.
  - De golfhoogte volgt uit de uitwendig opgelegde golfhoogte en wordt niet gereduceerd toegepast op de constructie (eerste overhang is te kort om golfreductie te behalen).
- Z3 : Klap onder brugdek direct voor de schuif.
  - Een klap onder het brugdek direct voor de schuif genereert impuls  $I_{Z3}$ , welke een directe belasting op het brugdek geeft. De kracht wordt afgeleid volgens de methode beschreven in 5.3. Deze impuls zet zich door tot ontluchting  $O_1$  waardoor de impuls gereduceerd wordt met factor  $C_s$  en komt dan de zuidschuif tegen waar dit een belasting op de zuidschuif geeft. Als de zuidschuif open is zet impuls  $I_{Z3}$  zich door tot ontluchting  $O_2$  waardoor de impuls  $I_{Z3}$  gereduceerd wordt met een factor  $C_s$ . De impuls op de schuif volgt uit Vergelijking 8.
  - De golfhoogte volgt uit een inwendige golfhoogte zoals bepaald volgens de methode beschreven in 0. (de hoogte van het brugdek wordt hiervoor gehanteerd en niet de eerste overhang, omdat deze te kort is om golfreductie te behalen).
- N1 : Klap op de voorzijde van de overhang.
  - Een klap op de voorzijde van de overhang genereert impuls  $I_{N1}$ , welke een directe belasting op de overhang geeft. Deze impuls zet zich door tot ontluchting  $O_2$  waardoor de impuls gereduceerd wordt met factor  $C_s$  en komt dan de noordschuif tegen waar dit een belasting op de noordschuif geeft.

- De golfhoogte volgt uit een inwendige golfhoogte zoals bepaald volgens de methode beschreven in 0. (de hoogte van het zuiderbrugdek wordt hiervoor gehanteerd en niet de eerste overhang, omdat deze te kort is om golfreductie te behalen).
- N2 : Klap midden onder brugdek.
  - Een klap midden onder het brugdek genereert impuls  $I_{N2}$ , welke een directe belasting op het brugdek geeft. De kracht wordt afgeleid volgens de methode beschreven in 5.3. Deze impuls zet zich door tot ontluchting  $O_2$  waardoor de impuls gereduceerd wordt met factor  $C_s$  en komt dan de noordschuif tegen waar dit een belasting op de noordschuif geeft.
  - De golfhoogte volgt uit een inwendige golfhoogte zoals bepaald volgens de methode beschreven in 0. (de hoogte van het zuiderbrugdek wordt hiervoor gehanteerd en niet de eerste overhang, omdat deze te kort is om golfreductie te behalen).
- N3 : Klap onder brugdek direct voor schuif.
  - Een klap onder het brugdek direct voor de schuif genereert impuls  $I_{N3}$ , welke een directe belasting op het brugdek geeft. De kracht wordt afgeleid volgens de methode beschreven in 5.3. Deze impuls zet zich door tot ontluchting  $O_2$  waardoor de impuls gereduceerd wordt met de factor  $C_s$  en komt dan de noordschuif tegen waar dit een belasting op de noordschuif geeft.
  - De golfhoogte volgt uit een inwendige golfhoogte zoals bepaald volgens de methode beschreven in 0. (de hoogte van het zuiderbrugdek wordt hiervoor gehanteerd en niet de eerste overhang, omdat deze te kort is om golfreductie te behalen).

## 6.7 Case 7; Golfklapbelasting op geometrie VRM

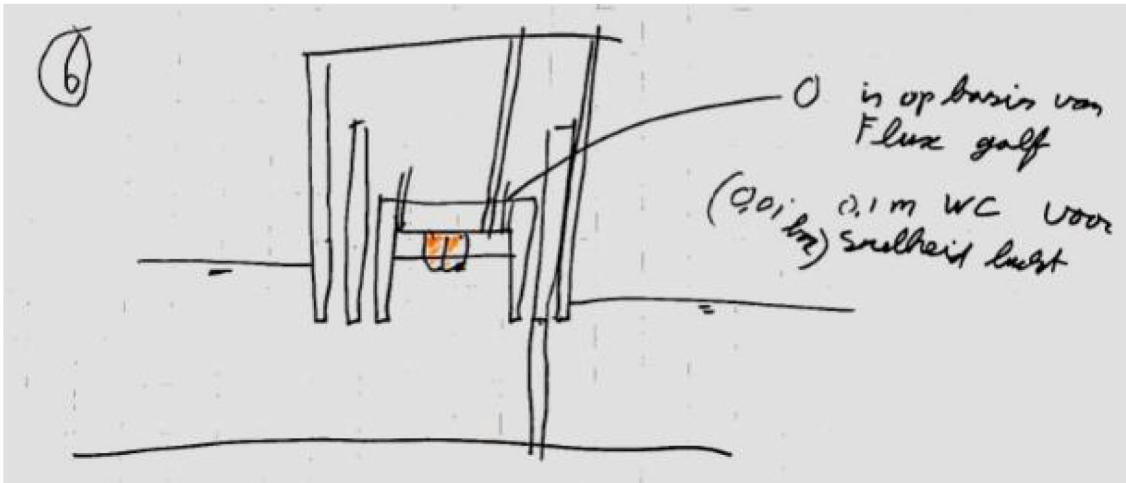
Voor de VisMigratie Rivier (VMR) bestaat de kerende constructie uit een schuivenhuis met de onderzijde binnen de invloedzone van golfbelastingen. Aan de waddenzeezijde bevinden zich waterkerende schuiven, aan de IJsselmeerzijde bevinden zich regelschuiven. De definitieve geometrie voor de VMR ligt nog niet vast daarom is de onderstaande beschrijving gaat uit van de geometrie zoals bekend tijdens het schrijven van dit rapport. Grote wijzigingen in geometrie kunnen resulteren in een wijziging van schematisering. De volgende golfklapbelastingen kunnen optreden voor de gegeven geometrie:

- Een klap op een korte overhang voor een gesloten noordschuif voor golven vanuit de Waddenzee conform paragraaf 6.1.
- Een klap op een korte overhang voor gesloten regelschuiven voor golven vanuit het IJsselmeer conform paragraaf 6.1.
- Golfklappen op een lange overhang voor een gesloten keerschuiven voor golven vanuit het IJsselmeer. Voor deze situatie dienen de regelschuiven geopend te zijn. Door de hoge ligging van het dak met lucht openingen is een grote ontluchtingsspleet voor het vlak op +1,6 m NAP aanwezig.
- Golfklappen op een lange overhang voor gesloten regelschuiven met geopende keerschuiven treden niet op. Het dak bevindt zich op NAP +4m en de hoogwaterkering sluit op NAP +1,5m. Door deze lage waterstand en hoog niveau van het dak kunnen er geen golfklappen optreden.

Voor de condities met lange overhangen kunnen de formules uit hoofdstuk 5 toegepast worden. Voor de bepaling van de klap op de schuif kan Vergelijking 2 toegepast worden:

- voor een klap op het verhoogde plafond tussen de regelkleppen en de keerschuif kan alleen vanuit het IJsselmeer optreden met gesloten keerschuif. De luchtholte tussen het regelwerk

en de keerschuij moet onder de golfbeweging kunnen worden uitgeperst en ingezogen. In het ontwerp dient bepaald te worden hoeveel lucht in een golfperiode verplaatst dient te worden door ontluuchtingsopeningen en hoe groot deze openingen dienen te zijn. De klap die dan nog op het plafond kan optreden is gelijk aan een dek impact, Vergelijking 5.



Figuur 6-12 Schematisatie belasting case 6 – Ijsselmeerzijde VMR

## 7 Python reken model

Het gehele Python model wordt inclusief alle instellingen voor de verschillende objecten in Think Project in de bijlages opgeslagen.

### 7.1 Workflow

Voor de golfkrachten die besproken zijn in dit rapport in hoofdstukken 4 tot en met 6 is een numeriek rekenmodel in python geschreven. Dit programma heeft als doel om de input stormverlopen conform [J] in te lezen, en voor elke storm (en dus elk stormstapje) de UGT en vermoeiing golfkrachten te bepalen. De stappen die in hoofdlijnen genomen worden in het python model zijn hieronder beschreven.

#### Stormverlopen inlezen en golven aanmaken

- Stormverlopen conform [J] worden per 'stormstapje' ingelezen,
- Voor elk stormstapje worden er 2000 golven voor vermoeiing en 1 maximale golf voor UGT aangemaakt conform de Battjes & Groenendijk methode besproken in [J].
- Zowel UGT als vermoeiingen golven worden in een container (lees matrix) opgeslagen (dus ca. 22000 golven voor een storm met 11 stappen).

#### Golfkrachten bepalen per golf

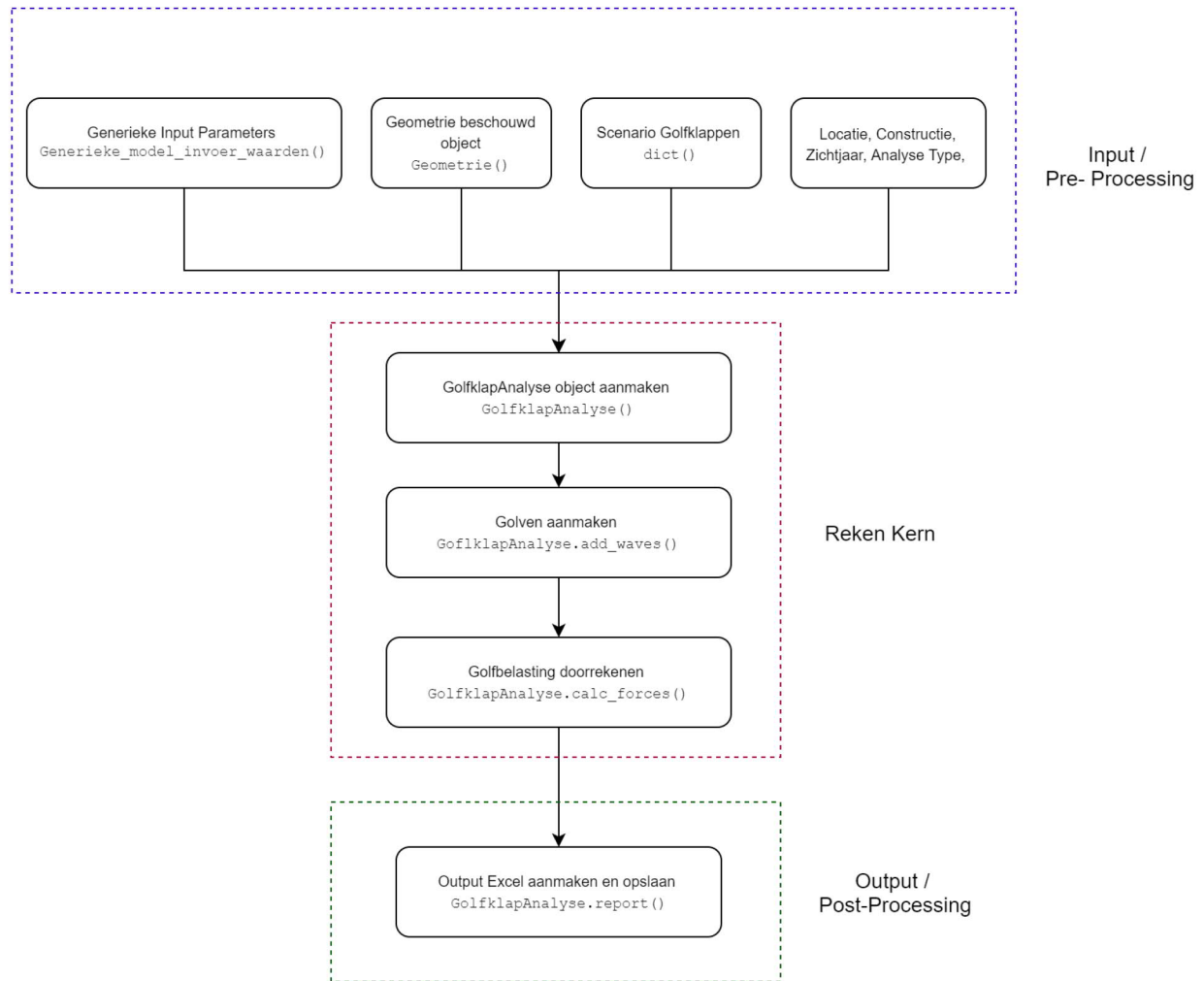
- Voor elke aangemaakte golf wordt de golfklap berekend. De golfklap wordt bepaald aan de hand van de gevraagde cases (1-6) die in dit rapport zijn besproken. Welke cases meegenomen worden, wordt bepaald door de gebruiker in de input van het model. Voor elke berekening zijn er meerdere cases mogelijk.
- De quasi-statische golfkracht volgens de Goda formules worden bepaald voor elke golf.
- Alle golfkrachten worden in een container (lees matrix) opgeslagen (dus ca. 22000 golfkrachten voor een storm met 11 stappen).

#### Resultaten samenvatten en opslaan

- De golfkrachten die bepaald zijn worden samengevat. Hierbij wordt de maatgevende klap bepaald voor de sterkte berekening en voor vermoeiing worden lastwissel histogrammen gemaakt. Hierin staat het aantal lastwissels per belasting range (bijvoorbeeld tussen 0 en 10 kN/m).
- De input parameters, de resultaten voor de golfkrachten en de samenvattingen ervan worden opgeslagen in een Excel bestand.

### 7.2 Structuur en gebruik

Figuur 7-1 geeft de workflow geschematiseerd weer welke in het python model wordt toegepast. De workflow is opgesplitst in drie onderdelen; input, rekenkern en output. De input is het deel waar de gebruiker invoer geeft voor het model. In de rekenkern worden functies aangeroepen waarvoor de input gebruikt wordt om golven aan te maken en golfkrachten te berekenen. Tenslotte, worden in de output fase de resultaten samengevat en output files aangemaakt.

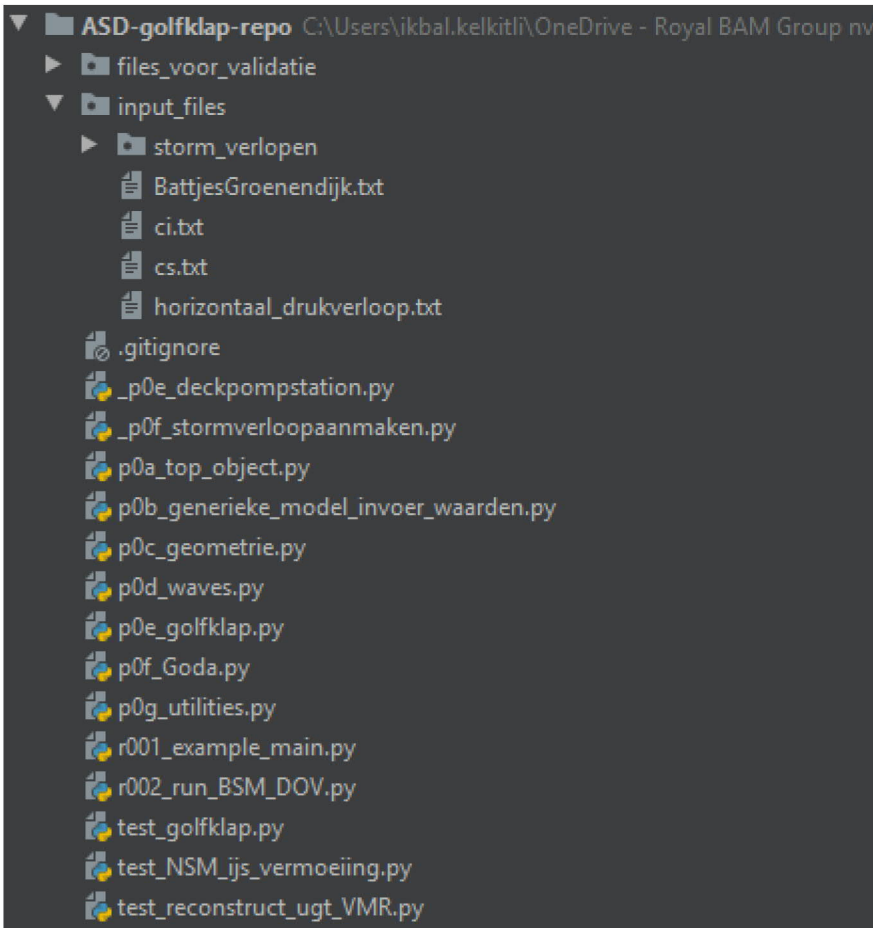


Figuur 7-1 Flowchart met de workflow toegepast in de python model.

### 7.2.1 Opbouw python project

De python code is in een mappenstructuur geplaatst zoals weergegeven in Figuur 7-2. In de mappenstructuur zijn er een aantal mappen en 'type' scripts te onderscheiden. Deze zijn in de lijst hieronder genoemd.

- Alle rekenkern scripts zijn aangegeven met een prefix "p0". Deze dienen niet aangepast te worden door een gebruiker. Deze bestanden bevatten namelijk de python objecten en functies welke nodig zijn om de berekeningen uit te voeren.
- De scripts met prefix "r" zijn run scripts. Deze kunnen worden aangemaakt en aangepast volgens de wensen van de gebruiker.
- Scripts met prefix "test\_" zijn python test scripts welke gebruikt zijn voor validatie. Deze bevatten de test functies die geschreven zijn voor elke module die gebruikt wordt binnen de rekenkern. Om toekomstige aanpassingen binnen het kader van de validatie te houden, dienen deze scripts gedraaid te worden bij eventuele updates van het model (lees Rev B, C etc.). Deze dienen ook niet aangepast te worden door de gebruiker.
- Alle scripts met het prefix "\_" zijn niet relevant voor het bepalen van de golfklappen en kunnen buiten beschouwing worden gelaten.
- Folder "files\_voor\_validatie" bevat documenten die gebruikt zijn voor de validatie van het model met de MathCad sheets en het oorspronkelijke python review model.
- Folder "input\_files" bevat de bestanden die nodig zijn voor de coëfficiënten  $C_s$ ,  $C_I$ , de Battjes en Groenendijk benadering, de drukverlopen en de stormverlopen.



Figuur 7-2 Mappenstructuur python model.

De workflow voor het python project is weergegeven in codevorm in Figuur 7-3. In dit figuur is het voorbeeld voor BSM gebruikt (onderdelen uit script "r002\_run\_BSM.py"). In de onderstaande paragrafen wordt er per onderdeel uitgelegd wat er gedaan wordt in de code en hoe de workflow in elkaar zit.

```

%%specificeer wat te doen voor welk object
UGT = True
FAT = True
locatie = 'DOV'
constructie = 'BSM'
zichtjaar = '2050'
%% maak input die voor alles geldt
#importeer generieke model invoer
gen_settings = Generieke_model_invoer_waarden()
#laad de geometrie in het juiste formaat
geometrie_ijs_zuidschuif = Geometrie(h_bot=-4.85, # bodem niveau [m]
                                     h_bbb=2.3, # hoogte bovenkant binnenkant buis [m]
                                     overhangen_w=[12.612], # lengte overhang 1 [m]
                                     luchtspleten_c=[0.785]) #grootte luchtspleet 1 [m]
#geef relevante scenarios op en geef daar een naam aan
dict_golfklap_methoden_ijs = {'voorin' : bereken_belasting_golfklap_scenario_1_of_3_klap_vorin,
                              'achterin' : bereken_belasting_golfklap_scenario_2_klap_achterin}
golfklap_analyse_ijs = GolfklapAnalyse(geometrie=geometrie_ijs_zuidschuif,
                                       settings=gen_settings,
                                       dict_golfklap_methoden=dict_golfklap_methoden_ijs,
                                       locatie=locatie,
                                       zijde='ijsselmeer',
                                       constructie=constructie,
                                       calc_ugt=UGT,
                                       calc_fat=FAT,
                                       zichtjaar=zichtjaar,
                                       run_beschrijving='IJsselmeer BSM run Zuidschuif')
golfklap_analyse_ijs.add_waves()
golfklap_analyse_ijs.calc_forces()
golfklap_analyse_ijs.report(prefix_before_location_construction='zuidschuif')

```

Figuur 7-3 Screenshot van een voorbeeld run script voor BSM Den Oever.

## 7.2.2 Onderdeel Input, Pre Processing

### 7.2.2.1 Locatie, Constructie, Zichtjaar en Analyse type

De gebruiker heeft de keuze om te kiezen welke locatie (bijvoorbeeld 'DOV' voor Den Oever), welke constructie (Bijvoorbeeld 'BSM'), welk zichtjaar (Bijvoorbeeld '2050') en welke type belasting geanalyseerd dient te worden (UGT, FAT, waarbij UGT maximale golfklap is en FAT vermoeiing). Deze keuzes hebben invloed op parameters zoals waterdichtheid, golfreflectiecoëfficiënten etc..

### 7.2.2.2 Generieke input parameters

De algemene input waarden, zoals waterdichtheid, reflectie coëfficiënten etc. zijn bij elkaar gebracht in het `Generieke_model_invoer_waarden()` object. Over de hele reeks van het bepalen van de golf krachten worden vanuit dit object generieke parameters opgeroepen, afhankelijk van welke input keuzes gemaakt zijn.

### 7.2.2.3 Geometrie

De geometrie van de constructie wordt opgegeven via het `Geometrie()` object, welke als invoer de dimensies van de overhangen, luchtspleten, waterdiepte en bovenkant van de koker heeft.

### 7.2.2.4 Golfklap Scenario

De gebruiker heeft ook de keuze om te kiezen welke 'scenario' (lees case) golfklap waar toegepast moet worden. Deze kan gelinkt worden aan een bepaald woord welke de gebruiker zelf mag beslissen. Bijvoorbeeld 'voorin' of 'achterin' om respectievelijk een gekozen golfklap scenario te linken aan de klap voorin en klap achterin.

### 7.2.3 Rekenkern

#### 7.2.3.1 Golfklap analyse object aanmaken

In het object `GolfklapAnalyse()` komen de input waarden zoals hierboven besproken samen. Dit object dient als 'container' te worden beschouwd. Hiermee worden ten eerste, de golven aangemaakt en ten tweede de golfkrachten doorgerekend conform de methodes beschreven in dit rapport.

#### 7.2.3.2 Golven aanmaken

In het model worden golven aangemaakt op basis van de invoer stormverlopen. Deze stormverlopen zijn te vinden in het mapje "storms" onder "input\_files" (zie Figuur 7-2). Op basis van de invoer waarden voor een storm worden er 1 of 2000 golven aangemaakt voor respectievelijk UGT en FAT. Aan de hand van de maximale overschrijdingskans volgens de Battjes en Groenendijk methode worden er voor FAT 2000 overschrijdingskansen aangemaakt die oplopen van de maximale Battjes en Groenendijk overschrijdingskans (default waarde op 0.1%) tot en met 100%. Deze waarden worden vervolgens gebruikt om impliciet per waarde voor overschrijdingskans de bijbehorende golfhoogte te bepalen. Deze golven worden in een python dictionary formaat opgeslagen en gebruikt voor het bepalen van de golfkrachten.

#### 7.2.3.3 Golfklappen berekenen

De aangemaakte golven die hierboven zijn genoemd worden vervolgens gebruikt om de golfklappen te berekenen. De `calc_forces()` functie wordt hier aangeroepen, welke over alle stormverlopen loopt en de bijbehorende golfklappen bepaalt conform de door de gebruiker opgegeven golfklapscenario. De golfklap scenario's worden opgegeven via een python dictionary waar de gebruiker de keuze heeft uit de volgende functies:

- `bereken_belasting_golfklap_scenario_1_of_3_klap_voorin()`, overeenkomstig met case 1 of 3, zie paragrafen 6.1 en 6.1.
- `bereken_belasting_golfklap_scenario_2_klap_achterin()`, overeenkomstig met case 2 in paragraaf 6.3.
- `bereken_belasting_golfklap_scenario_4_klap_dek()`, overeenkomstig met case 4 in paragraaf 6.4.

De gebruiker mag kiezen welke scenario wordt toegepast in de constructie.

### 7.2.4 Post Processing en Output

#### 7.2.4.1 Output

De output wordt gegenereerd door de functie `GolfklapAnalyse.report()` te runnen. Deze run geeft een output Excel bestand met meerdere tabbladen, welke hieronder met wat uitleg genoemd zijn als:

- *run specificatie*: kort lijst met input parameters zoals die vermeld hierboven,
- *vaste invoer waarden*: een lijst met de generieke input waarden zoals hierboven genoemd,
- *geometrie*: de `Geometrie()` object met de geometrie van de constructie waarvoor berekeningen zijn uitgevoerd
- *samenvatting vermoeiing*: een tabel met de aantal wisselingen per bin golfkrachten voor elke storm dat beschouwd is.
- *samenvatting ugt*: samenvatting van de UGT belastingen
- *overige*: slides met gedetailleerde informatie over vermoeiing en UGT runs.



## Bijlage 1. Onderbouwing factor op golflengte in CFD

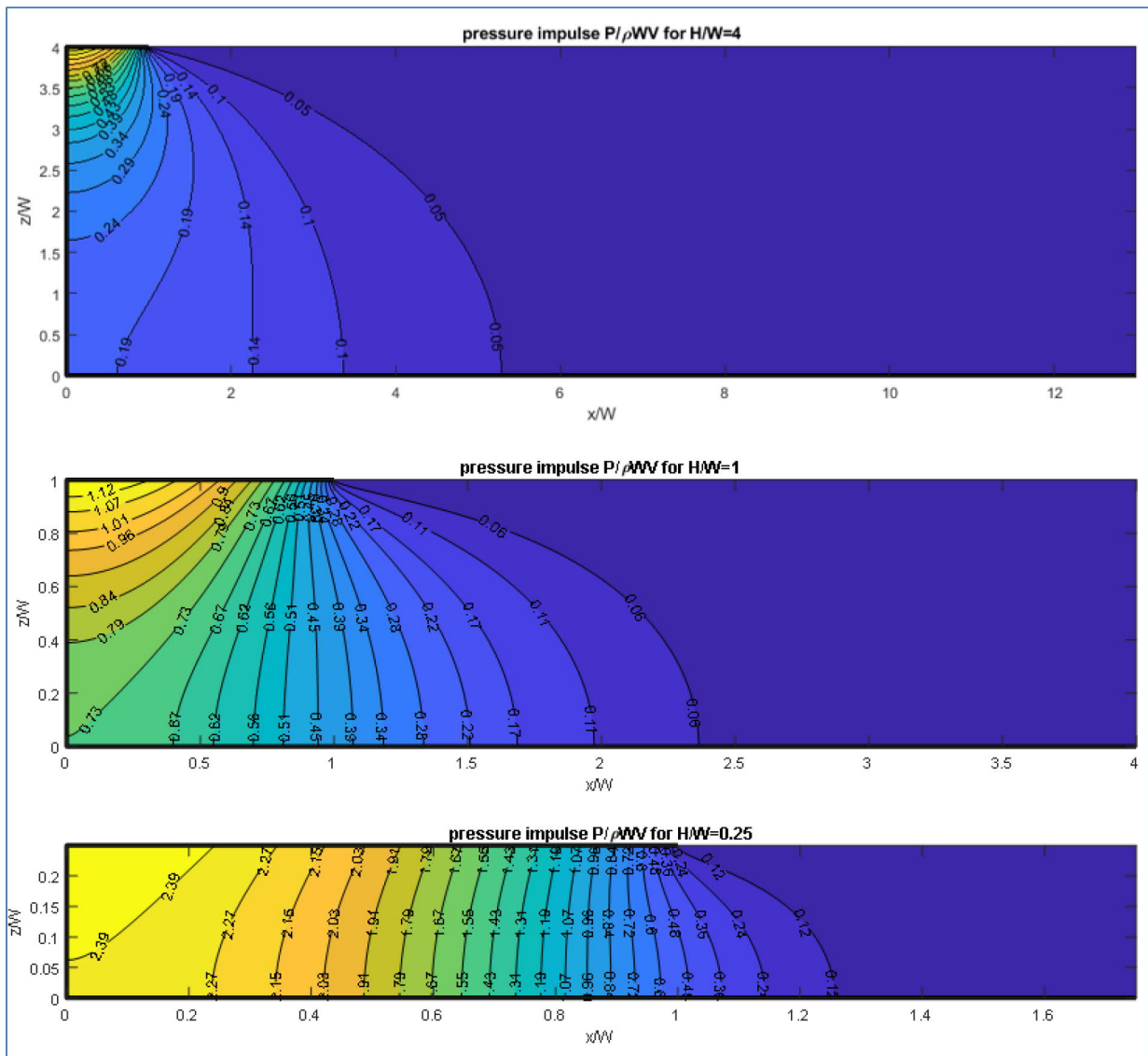
Op basis van CFD simulaties met OpenFoam is door de TUDelft de golfkapbelasting bepaald (ref. H.) Uit de modelresultaten volgt dat de effectieve overhanglengte waarop de golfklap werkt gelijk is aan 0,12L tot 0,15L. In Figuur 7-4 is het moment van golfklap aan het IJsselmeer geschetst op het oude ontwerp van het nieuwe spuimiddel. Te zien is dat de lengte waarover de golfklap plaats vindt beperkt in lengte is. Wanneer de gevonden resultaten in OpenFoam gelijk gesteld worden aan de rekenmethodiek conform De horizontale belasting op een wand of schuif is een direct gevolg van een impactbelasting op de overhang (W). Deze belasting wordt doormiddel van een dimensieloze factor CI geprojecteerd op een verticaal vlak. De vergelijking voor het bepalen van de belasting op een wand of schuif wordt weergegeven in Vergelijking 2.



Figuur 7-4 Maatgevende golfklapbelasting bepaald met OpenFoam (rood = water) (ref. H)

## Bijlage 2. Beschrijving drukverdeling

Conform de theorie van Wood & Peregrine wordt de druk in de watermassa onder en voor de overhang bepaald. Te zien is dat de dimensieloze drukimpuls toeneemt met een toenemende overhanglengte. Dit komt uit de schematisatie dat de golfklap over de gehele lengte van de overhang  $W$  een impuls geeft met snelheid  $V$ . De volledige watermassa over de horizontale as uit onderstaande figuren versneld en het gedeelte onder de overhang komt in impact met de overhang. De effectieve overhanglengte bij een sinusvormige golf en het resulterende verloop van de drukimpuls over de verticaal is uitgewerkt in de hoofdttekst.



Figuur 7-5 Drukimpuls voor 3 ratio's voor  $H/W$  (ref. E)

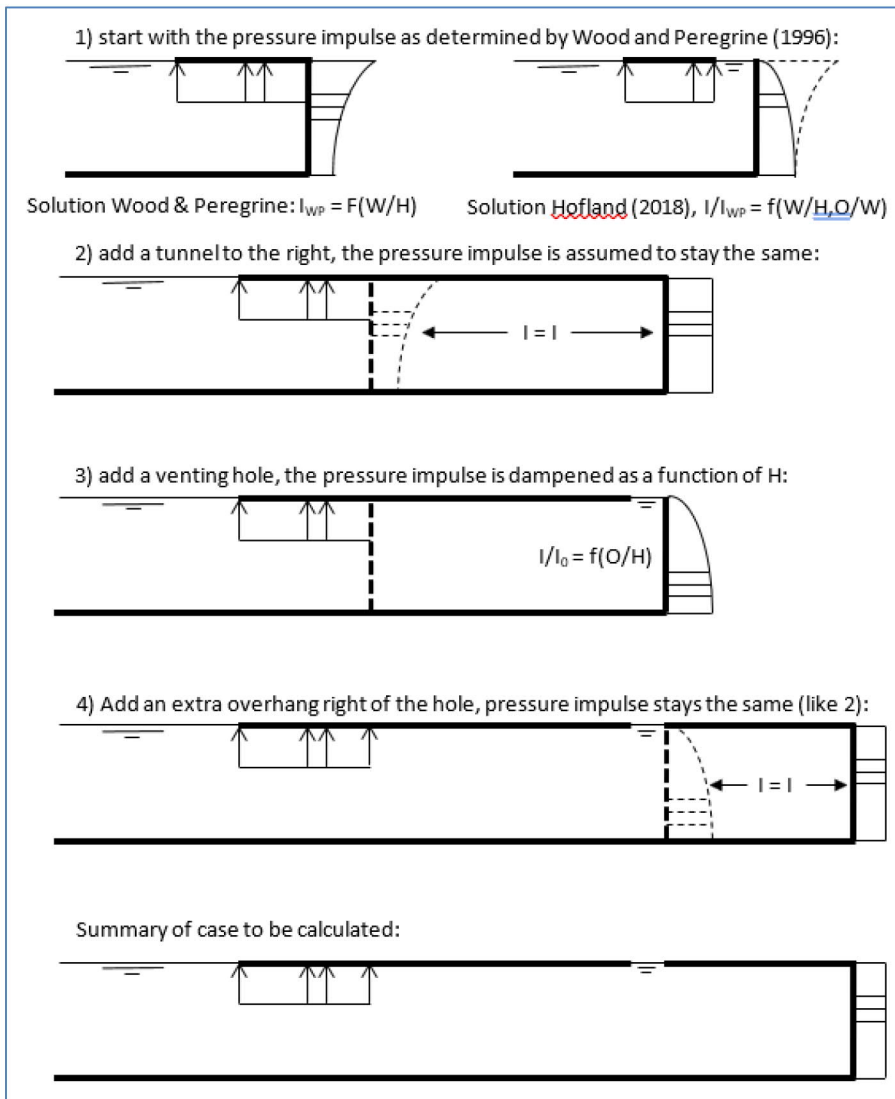
Een reductie van de grootte van de kracht op de schuif treedt op ongeacht waar de ontluchting aanwezig is, zie Figuur 7-6. Bij een korte overhang met een opening direct aan de wand of schuif is de druk op de waterspiegel gelijk aan 0kPa. De drukreductie is het grootst op de waterlijn en nadert op de bodem het normale drukprofiel zonder opening.

Bij een lange overhang vindt de klap plaats op het begin van de overhang indien er spraken is van 100% reflectie en een volledig met water gevulde koker. Bij een reflectie kleiner dan 100% of een deels gevulde koker kan een deel van de golf ook de koker inlopen en tussen het begin van de

overhang en het einde van de koker een klap geven. De grootte van deze aandrijvende kracht is voor elke positie gelijk verondersteld.

In subfiguur 3) uit Figuur 7-6 is het drukfiguur weergegeven voor een ontluuchtingsopening aan de schuif. Dit drukverloop is gelijk aan de vorm geschetst in subfiguur 1) rechterzijde uit Figuur 7-6. De grootte van de kracht voor een lange en korte overhang is in beide situaties gelijk.

Indien de ontluuchting voor een lange koker op enige afstand verwijderd is van het einde van de koker is ter hoogte van de ontluuchting het drukfiguur gelijk aan het drukfiguur voor een lange koker met een opening aan de schuif. Dit is weergegeven in subfiguur 4). De kracht op de wand voor een lange overhang met een ontluuchting van de schuif af is even groot als de kracht na de opening. Echter de druk aan de bovenzijde van de koker is groter dan 0 kPa aangezien er geen ontluuchting aan de schuif aanwezig is. Hierdoor neemt de grootte van de druk op de wand t.o.v. het drukprofiel bij de opening op de bodem af en de druk op de waterlijn toe. Dit is tevens weergegeven in subfiguur 4).



Figuur 7-6 Schematisatie ontluuchtingseffect bij korte en lange overhangen (ref. G)

Voor zowel lange als korte overhanglengtes zijn dimensieloze drukstootprofielen opgesteld (ref. H). Deze getallen zijn gedigitaliseerd aangeleverd en worden toegepast indien nodig.