

WTI 2017 Kunstwerken

**Achtergrondrapport toetspoor Hoogte I -
Modellering optredend overslag-/overloopdebiet**



WTI 2017 Kunstwerken

**Achtergrondrapport toetspoor Hoogte I - Modellerings
optredend overslag-/overloopdebiet**

1220087-001

Titel
WTI 2017 Kunstwerken

Opdrachtgever
RWS

Project
1220087-001

Kenmerk
1220087-001-GEO-0004-
jvm

Pagina's
12

Trefwoorden Keywords
Overslag, overloop, kunstwerken
Wave overtopping, overflow, hydraulic structures

Samenvatting

In het cluster Toetsregels Kunstwerken van het WTI2017 worden de faalmodellen voor waterkerende kunstwerken uitgewerkt. Hierbij is het vastleggen van de kennisbasis erg belangrijk. In voorliggend document wordt de kennisbasis ten aanzien van het instromende debiet als gevolg van overslag en/of overloop over het gesloten kunstwerk vastgelegd.

In dit document wordt de benadering zoals opgenomen in de Leidraad Kunstwerken 2003 en is toegepast in VNK2 als vertrekpunt genomen. Daarnaast is de recent ontwikkelde kennis in het kader van de EurOtop-manual beschouwd, en is geïnventariseerd op welke wijze overslag en overloop bij kunstwerken in een aantal berekeningsprogramma's zoals de Hydra-modellen en PC-OVERSLAG is meegenomen.

Uiteindelijk is in het WTI2017 ervoor gekozen de benadering conform [TAW-LK 2003] toe te passen voor de gedetailleerde toets van *overslag/overloop* bij kunstwerken. Dit laat onverlet dat de methode uit [Meer e.a. 2014] uitstekend in de toets op maat toegepast kan worden als in de gedetailleerde toets tot een toetsoordeel 'voldoet niet' wordt gekomen.

Summary



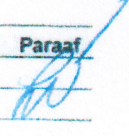

In the cluster hydraulic structures of WTI2017 the failure models for water retaining structures are developed. The present document defines the knowledge base with respect to the incoming flow as a result of wave overtopping and / or overflow when the structure itself is closed / locked.

In this document, the approach set out in the Leidraad Kunstwerken 2003 and applied in VNK2 has been taken as a starting point. In addition, the recent knowledge developed in the framework of the EurOtop-manual is considered, and an inventory has been made on how wave overtopping and / or overflow is included in a number of calculation software like the Hydra models and PC-OVERSLAG is.

Finally, in the WTI2017, the approach in accordance with [TAW-LK 2003] has been chosen to apply for the detailed review (level 2) of wave overtopping and / or overflow. The method from [Meer e. a. 2014] can be excellently applied in the more specific and hydraulic structure dedicated (level 3) review if the outcome of the detailed review (level 2) is 'voldoet niet' / 'does not meet'.

Referenties

Zie Referentielijst

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
D1	dec 2015	B. van Bree		ir. R. Delhez		ir. L. Voogt	
				ir. D. Pereboom			

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Modelling overslag/overloop binnen PC-Ring	2
2.1 Algemeen	2
2.2 Situatie I: instromend debiet bij golfoverslag	2
2.3 Situatie II: instromend debiet bij overloop	4
2.4 Situatie III: instromend debiet bij zowel golfoverslag als overloop	5
3 Modelling overslag/overloop binnen andere modellen	7
3.1 Inleiding	7
3.2 Modelling overslag/overloop binnen HYDRA-modellen	7
3.3 Modelling overslag/overloop binnen PC-OVERSLAG	7
3.4 Modelling overslag/overloop binnen EurOtop-manual	7
4 Keuze modellering overslag/overloop binnen WTI2017	9
4.1 Keuze binnen WTI2017	9
4.2 Reden van deze keuze	9
4.2.1 Verschil tussen [TAW-LK 2003 en [Meer e.a. 2014] is beperkt	9
4.2.2 Kritieke overslagdebiet is onzeker	10
4.2.3 Status van de nieuwe inzichten	10
4.2.4 Programmeerbaarheid	10
4.3 Omgang met waakhogte	11
4.4 Conclusie	11
Referenties	12
A Review wave overtopping at (composite) vertical structures	A-1

1 Inleiding

In het cluster Toetsregels Kunstwerken van het WTI2017 worden de faalmodellen voor waterkerende kunstwerken uitgewerkt. Hierbij is het vastleggen van de kennisbasis erg belangrijk. In voorliggend document wordt de kennisbasis ten aanzien van het instromende debiet als gevolg van overslag en/of overloop over het gesloten kunstwerk vastgelegd.

Vertrekpunt hierbij is de modellering van overslag/overloop zoals gehanteerd in PC-Ring. Deze wordt in hoofdstuk 2 behandeld. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op de modellering van *overslag/overloop* in de vigerende HYDRA-modellen, PC-OVERSLAG en de EurOtop-manual 2007. In hoofdstuk 4 ten slotte wordt een keuze gemaakt voor de modellering van *overslag/overloop* voor kunstwerken met verticale keermiddelen (coupures, (keer)sluizen) voor het toetsspoor *hoogte* bij kunstwerken in het WTI2017. Opgemerkt wordt dat voor kunstwerken waarbij de kerende hoogte wordt verzorgd door het dijklichaam (denk aan duikers, persleidingen van gemalen) de hoogtetoets onderdeel is van de beoordeling van het toetsspoor *hoogte* in het dijkenstroomspoor.

Een belangrijk aspect in de modellering van *overslag/overloop* is dat falen niet direct optreedt zodra er water over het kunstwerk stroomt. Om daadwerkelijk falen te veroorzaken dient de hoeveelheid binnenstromend water te leiden tot erosie van de bodembescherming achter het kunstwerk dan wel tot het overschrijden van het kombergend vermogen van de achterliggende watergang. De kennisbasis hieromtrent is vastgelegd in de documenten 'Kennisbasis instromende debiet en toelaatbare komberging kunstwerken' ([DLT-komkw 2015]) en 'Achtergrondrapport bepaling kritiek overslag-/overloop-/instroomdebet bij kunstwerken' [DLT-kdkw 2015].

2 Modelling overslag/overloop binnen PC-Ring

2.1 Algemeen

Binnen PC-Ring worden voor het berekenen van het overslaande / overlopende debiet over het hoogwaterkerend gesloten kunstwerk drie modellen gebruikt, alle afkomstig uit [TAW-LK 2003]:

- I. Buitenwaterstand is lager of gelijk dan de kerende hoogte van het kunstwerk. In dit geval is alleen sprake van golfoverslag.
- II. Buitenwaterstand is hoger dan de kerende hoogte van het kunstwerk en er zijn geen of afluende golven. In dit geval is er sprake van een overloopsituatie.
- III. Buitenwaterstand is hoger dan de kerende hoogte van het kunstwerk en er zijn golven. In deze situatie wordt het instromende debiet met een combinatieformule bepaald.

Met het overslag-/overloopdebiet wordt bedoeld het debiet dat over de harde constructie van het kunstwerk stroomt (bijvoorbeeld sluisdeuren). In deze situatie is er geen direct contact tussen binnen- en buitenwater. Het binnenwater heeft dan ook geen invloed op de grootte van het instromende debiet. Alle overloopformules ([2-5] en [2.6]) zijn daarom ook afgeleid van een situatie met een volkomen overlaat, waarbij het binnenwater ook geen invloed heeft op het instromende debiet.

Alle drie de modellen zijn afgeleid voor verticale wanden op relatief diep water. Relatief diep water wil zeggen dat de golfhoogte klein is ten opzichte van de waterdiepte, of meer concreet, als de inkomende golfhoogte vlak voor de constructie niet groter is dan ongeveer 1/3 van de waterdiepte. Indien wel sprake is van zwaar golfbreken – bijvoorbeeld bij keerwanden of muren op een kade, waarbij veel breken van golven op de ondergelopen kade zelf wordt verwacht – wordt verwezen naar [WL-gkvw 1998].

Bij constructies die meer onderdeel van een dijk zijn dan een constructie die apart moet worden beschouwd – bijvoorbeeld hooggelegen coupures – wordt verwezen naar [TAW-GG 2002].

2.2 Situatie I: instromend debiet bij golfoverslag

De formule voor het instromende debiet als gevolg van golfoverslag is (zie formule B2.4 uit [TAW-LK 2003]):

$$q_{os} = m_{os} \cdot \sqrt{g \cdot (H_s)^3} \cdot e^{\left(-3,0 \frac{h_{kn} - h}{H_s} \frac{1}{\gamma_\beta \cdot \gamma_n} \right)} \quad h_{kn} \geq h_{buit} \quad 2-1$$

met:

$$\gamma_\beta \Rightarrow \begin{cases} \beta \leq 20^\circ & \Rightarrow \gamma_\beta = 1 \\ 20^\circ < \beta < 90^\circ & \Rightarrow \gamma_\beta = \max\{\cos(\beta - 20); 0,7\} \\ \beta \geq 90^\circ & \Rightarrow \gamma_\beta = 0 \end{cases} \quad 2-2$$

$$\gamma_n \Rightarrow \begin{cases} \frac{h_{kh} - h}{H_s} \leq 0,5 & \Rightarrow \gamma_n = 1 \\ 0,5 < \frac{h_{kh} - h}{H_s} \leq 1 & \Rightarrow \gamma_n = 1,3 - 0,6 \cdot \frac{h_{kh} - h}{H_s} \\ \frac{h_{kh} - h}{H_s} > 1 & \Rightarrow \gamma_n = 0,7 \end{cases} \quad 2-3$$

Hierin is:

q_{os}	[m ³ /s/m ¹]	Gemiddeld overslagdebiet over een verticale wand
m_{os}	[-]	Modelfactor voor overslagdebiet. Voor deterministische berekeningen geldt $m_{os}=0,13$. Voor probabilistische analyses geldt voor m_{os} een lognormale verdeling met gemiddelde $\mu=0,09$ en een spreiding $\sigma=0,06$ ¹ .
g	[m/s ²]	Gravitatieversnelling ($g=9,81$ m/s ²)
H_s	[m]	Significante golfhoogte
h	[mNAP]	Lokale buitenwaterstand
h_{kh}	[mNAP]	Kerende hoogte kunstwerk
β	[°]	Hoek van golfaanval. Dit is de hoek tussen de golfrichting en de normaal van het kunstwerk
γ_n	[-]	Invloedsfactor neusconstructie (minimale afmetingen neusconstructie te bepalen met [TAW-LZM 1999a] Figuur 5.7.1
γ_β	[-]	Invloedsfactor scheve golfaanval

Het gemiddeld overslagdebiet is een rekengrootheid. In werkelijkheid is er geen constant debiet, maar gaat er nu en dan bij een hoge golf een grote hoeveelheid water over de constructie heen en dan weer een lange tijd niets. Deze overslaghoeveelheden per golf hangen af van de golfhoogte en de afstand tussen de waterstand (stilwaterlijn) en de kruinhoogte. Hoe groter de golfhoogte hoe groter de hoeveelheden in een hoge overslag kunnen zijn, overigens bij eenzelfde gemiddeld overslagdebiet. Een paar grote overslaande golven kunnen immers eenzelfde debiet geven als vele kleine golfjes.

In de Leidraad Kunstwerken [TAW-LK 2003] wordt nog gesproken over het toepassen van een aanvullende windfactor indien er kleine overslagdebieten optreden ($q_{os} \leq 10$ l/s/m). Deze factor brengt het debiet in rekening, dat door de wind over de kering wordt geblazen op het moment dat vanuit een golf opgestuwd water tegen een verticale wand boven de kruin uitkomt [INFR-khk 2000]). Deze factor is alleen van toepassing in situaties met relatief ondiep water en een relatief groot verschil tussen de kerende hoogte en de waterstand. Een dergelijke situatie kan zich voordoen bij lage coupures². Bij bijvoorbeeld keersluizen en schutsluizen komt dit niet voor. Hieronder is voor de volledigheid in formulevorm de aanpassing van het debiet aangegeven:

¹ Opgemerkt wordt dat dit andere waarden zijn dan in de Leidraad Kunstwerken staat aangegeven. De waarden die in de Leidraad Kunstwerken staan weergegeven zijn niet correct. Voor meer informatie wordt verwezen naar [PAO-LKW08 2007]

² Bijvoorbeeld coupures op een kade, waar direct voor de coupure het water op de kade staat en dus sprake is van een relatief lage waterstand.

$$q_{os;w} = \gamma_w \cdot q_{os}$$

$$\gamma_w \Rightarrow \begin{cases} q_{os} < 1 \text{ l/s/m} & \Rightarrow \gamma_w = 3 \\ 1 \leq q_{os} \leq 10 \text{ l/s/m} & \Rightarrow \gamma_w = -\frac{2}{9} \cdot q_{os} + 3\frac{2}{9} \\ q_{os} > 10 \text{ l/s/m} & \Rightarrow \gamma_w = 1 \end{cases} \quad 2-4$$

Opgemerkt wordt dat kleine golfoverslagdebieten ($q_{os} \leq 10 \text{ l/s/m}^1$) geen rol spelen bij zowel het deelfaalmecanisme sterkte bodembescherming als het deelfaalmecanisme komberging. De factor γ_w is daarom ook niet meegenomen in de modellering binnen PC-Ring.

Geldigheidsgebied

De formule is geldig:

- Voor verticale wanden.
- Als de inkomende golfhoogte vlak voor de constructie niet groter is dan ongeveer 1/3 van de waterdiepte.
- Als de buitenwaterstand kleiner of gelijk is aan de kerende hoogte van het kunstwerk.
- Onder voorwaarde dat geen zwaar golfbreken vlak voor de constructie plaatsvindt.

Bij waterstanden hoger dan de kerende hoogte van het kunstwerk mag formule 2-1 niet gebruikt worden en moeten de formules uit de volgende paragrafen worden toegepast. Indien zwaar golfbreken optreedt vlak voor het kunstwerk dan kan formule 2-1 eventueel wel gebruikt worden maar geeft een overschatting van het optredende overslagdebiet.

Voor constructiedelen die niet verticaal lopen wordt het overslagdebiet juist onderschat bij gebruik van formule 2-1. Hiervoor zijn diverse andere formules uit onderzoek naar golfoverslag bij dijken beschikbaar. Omdat deze situatie bij kunstwerken eigenlijk nooit voorkomt, wordt hier niet nader op ingegaan.

2.3 Situatie II: instromend debiet bij overloop

De formule voor het instromende debiet als gevolg van overloop (bovenkant kunstwerk is lager dan buitenwaterstand en er zijn geen golven) is (zie formule B2.16 uit [TAW-LK 2003]):

$$q_{ol} = m_{ol} \cdot 0,55 \cdot \sqrt{-g \cdot (h_{kh} - h)^3} \quad h_{kh} < h \quad 2-5$$

Hierin is:

q_{ol}	[m ³ /s/m ¹]	Overloopdebiet over een verticale wand
m_{ol}	[-]	Modelfactor voor overloopdebiet afhankelijk van verhouding tussen straal van de kruin en de overloophoogte (veelal wordt aangehouden $m_{ol} = 1,1$, de waarde kan variëren tussen 1 en 1,3)
g	[m/s ²]	Gravitatieversnelling ($g=9,81 \text{ m/s}^2$)
h	[mNAP]	Lokale buitenwaterstand
h_{kh}	[mNAP]	Kerende hoogte kunstwerk

Geldigheidsgebied

De formule is geldig:

- Voor verticale wanden.
- Als de buitenwaterstand groter is dan de kerende hoogte van het kunstwerk.
- Als er geen of afluende golven zijn.
- Als er sprake is van een rechthoekig aanstroomkanaal. Voor de situaties bij waterkerende kunstwerken is dit nagenoeg altijd het geval.

Bij waterstanden kleiner of gelijk aan de kerende hoogte van het kunstwerk mag formule 2-5 niet gebruikt worden en moet formule 2-1 worden toegepast. Indien wel sprake is van golven dan moet formule 2-6 gebruikt worden.

Voor constructiedelen die niet verticaal lopen zijn diverse andere formules uit onderzoek naar overloop bij dijken beschikbaar. Omdat deze situatie bij kunstwerken eigenlijk nooit voorkomt, wordt hier niet nader op ingegaan.

2.4 Situatie III: instromend debiet bij zowel golfoverslag als overloop

De formule voor het instromende debiet als gevolg van zowel golfoverslag als overloop is (zie formule B2.17 uit [TAW-LK 2003]):

$$q_{os/ol} = m_{ol} \cdot 0,55 \cdot \sqrt{-g \cdot (h_{kh} - h)^3} + m_{os} \cdot \sqrt{g \cdot (H_s)^3} \quad h_{kh} < h \quad 2-6$$

Hierin is:

$q_{os/ol}$	[m ³ /s/m ¹]	Gemiddeld overslag/overloopdebiet over een verticale wand
m_{ol}	[-]	Modelfactor voor overloopdebiet afhankelijk van verhouding tussen straal van de kruin en de overloophoogte (algemeen geldt $m_{ol} = 1,1$)
m_{os}	[-]	Modelfactor voor overslagdebiet. Voor deterministische berekeningen geldt $m_{os}=0,13$. Voor probabilistische analyses geldt voor m_{os} een lognormale verdeling met gemiddelde $\mu=0,09$ en een spreiding $\sigma=0,06^3$.
g	[m/s ²]	Gravatieversnelling ($g=9,81$ m/s ²)
h	[mNAP]	Lokale buitenwaterstand
h_{kh}	[mNAP]	Kerende hoogte kunstwerk
H_s	[m]	Significante golfhoogte

Geldigheidsgebied

De formule is geldig:

- Voor verticale wanden.
- Als de inkomende golfhoogte vlak voor de constructie niet groter is dan ongeveer 1/3 van de waterdiepte.
- Als de buitenwaterstand groter is dan de kerende hoogte van het kunstwerk.
- Als er golven zijn, onder voorwaarde dat geen zwaar golfbreken vlak voor de constructie plaatsvindt.

³ Opgemerkt wordt dat dit andere waarden zijn dan in de Leidraad Kunstwerken staat aangegeven. De waarden die daarin staan weergegeven zijn niet correct. Voor meer informatie wordt verwezen naar [PAO-LKW08 2007]

- Als er sprake is van een rechthoekig aanstroomkanaal. Voor de situaties bij waterkerende kunstwerken is dit nagenoeg altijd het geval.

Voor opmerkingen hoe om te gaan met situaties buiten het geldigheidsgebied wordt verwezen naar de vorige paragrafen.

3 Modelling overslag/overloop binnen andere modellen

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt aangegeven op welke wijze binnen de HYDRA-modellen, PC-OVERSLAG en de EurOtop-manual golfoverslag en overloop wordt berekend. Per model wordt aangegeven wat de verschillen zijn met de formules die in hoofdstuk 2 zijn gepresenteerd en wat dit in de praktijk betekent. Net als in het vorige hoofdstuk beperkt de scope zich tot verticale constructies. Voor samengestelde constructies wordt verwezen naar [TAW-GG 2002] en de nog uit te brengen EurOtop 2015.

De formules zelf worden niet gepresenteerd, hiervoor wordt verwezen naar de referenties die in de betreffende paragrafen genoemd worden.

3.2 Modelling overslag/overloop binnen HYDRA-modellen

De modellering binnen de Hydra-modellen is gericht op het berekenen van het overslag-/overloopdebiet bij taluds. Het overslag-/overloopdebiet wordt berekend aan de hand van de formules zoals opgenomen in [TAW-GG 2002], waarbij niet de gehele functionaliteit is opgenomen. Meer complexe samengestelde taluds moeten daarom doorgaans worden vereenvoudigd.

Verticale elementen binnen samengestelde taluds kunnen niet als zodanig worden meegenomen; ze kunnen wel worden geschematiseerd als taluddelen met een maximale helling van 1:1. Hiermee wordt het optredende overslagdebiet enigszins overschat.

Verticale wanden kunnen binnen sommige Hydra-modellen worden doorgerekend. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de formules uit [TAW-LK 2003]. De functionaliteit is echter beperkt; alleen bij een gegeven waterstand (MHW) kan een overslag-/overloopberekening gemaakt worden.

3.3 Modelling overslag/overloop binnen PC-OVERSLAG

Het programma PC-OVERSLAG is gebaseerd op de formules zoals opgenomen in [TAW-GG 2002]. Dit betekent dat het programma bedoeld is om overslag en overloop bij taluds te berekenen. Met PC-OVERSLAG kunnen meer verschillende taludconfiguraties worden doorgerekend dan met de Hydra-modellen. Zo kunnen bijvoorbeeld verticale elementen in een samengesteld talud worden opgenomen. PC-OVERSLAG kan hiermee worden gebruikt als het kunstwerk (bijvoorbeeld een coupure) onderdeel uitmaakt van een samengesteld talud.

Voor verticale objecten (bijvoorbeeld schutsluizen, keersluizen) is het programma niet geschikt.

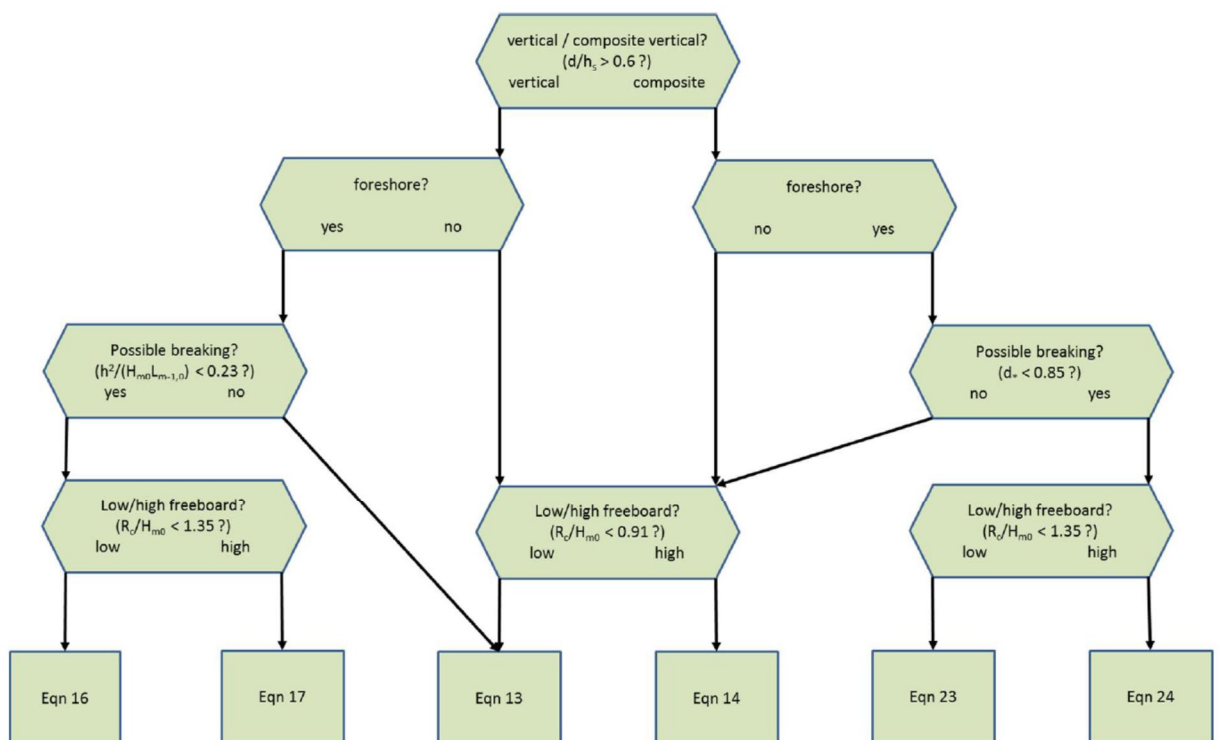
3.4 Modelling overslag/overloop binnen EurOtop-manual

Momenteel wordt gewerkt aan een update van [EurOtop 2007], die naar verwachting in 2015 verschijnt. Nieuwe inzichten die worden verwerkt zijn gepubliceerd in [Meer e.a. 2014]. Deze nieuwe inzichten hebben echter nog niet de status 'definitief'. Op sommige punten is de verwachting dat de resultaten uit [Meer e.a. 2014] nog worden aangescherpt in de EurOtop 2015. EurOtop 2015 is echter nog niet beschikbaar, zodat onderstaande alinea's gebaseerd zijn op [EurOtop 2007] en [Meer e.a. 2014].

Voor samengestelde taluds zijn de formules in [TAW-GG 2002] en [EurOtop 2007] hetzelfde. In [Meer e.a. 2014] wordt een aangepaste formule voorgesteld, die het gat tussen steile taluds (maximaal 1:1) en verticale constructies overbrugt.

Voor verticale objecten wordt het met de formules uit [Meer e.a. 2014] mogelijk gemaakt een grotere diversiteit aan objecten door te rekenen. Onderscheid wordt gemaakt in verticale objecten en samengestelde objecten, bestaande uit een verticaal deel en een teenconstructie die doorloopt tot een zekere hoogte. Daarnaast wordt onderscheid gemaakt naar het type belasting (brekende en niet-brekende golven) en constructies met een grote en kleine waakhoogte. Tot slot kunnen ook zeer steile constructies worden berekend voor niet-brekende golven.

De veelheid aan belastingsituaties en constructietypen leidt ertoe dat beslisschema's nodig zijn om te bepalen met welke formule het overslag-/overloopdebiet berekend moet worden. In Figuur 3.1 is een voorbeeld van een dergelijk beslisschema opgenomen, waarbij wordt opgemerkt dat dit schema in EurOtop 2015 waarschijnlijk nog wijzigt.



Figuur 3.1 Beslisschema gebaseerd op Figuur 20 in [Meer e.a. 2014]

Een uitgebreidere beschrijving van de modellering van overslag en overloop in de diverse EurOtop-publicaties is opgenomen in [Waal 2014]. Dit document is bijgevoegd in Bijlage A.

4 Keuze modellering overslag/overloop binnen WTI2017

4.1 Keuze binnen WTI2017

In het WTI2017 is ervoor gekozen de benadering conform [TAW-LK 2003] toe te passen. Dit betekent dat de formules zoals gegeven in de paragrafen §2.2 t/m §2.4 worden toegepast. Deze formules zijn in Hydra-Ring geprogrammeerd. De parameters van de formules kunnen door de gebruiker worden aangepast.

4.2 Reden van deze keuze

De benadering uit [EurOtop 2007] en [Meer e.a. 2014] vormt op sommige punten een waardevolle verbetering van de benadering uit [TAW-LK 2003]. Toch is om de volgende redenen ervoor gekozen deze benadering niet over te nemen in het WTI2017:

- Voor de constructies die voor het WTI2017 het meest interessant zijn, namelijk verticale constructies met een klein vrijboord, zijn de verschillen tussen [Meer e.a. 2014] en [TAW-LK 2003] klein.
- Omtrent de waarde van het kritieke overslagdebiet bestaat een grote onzekerheid, waardoor een exacte bepaling van het optredende overslagdebiet slechts een beperkte toegevoegde waarde heeft.
- De inzichten zoals gepubliceerd in [Meer e.a. 2014] hebben nog niet de status 'definitief'.
- De beslisschema's uit [Meer e.a. 2014] zijn nog niet voldoende programmeerbaar.

In onderstaande paragrafen wordt hier nader op ingegaan.

4.2.1 Verschil tussen [TAW-LK 2003] en [Meer e.a. 2014] is beperkt

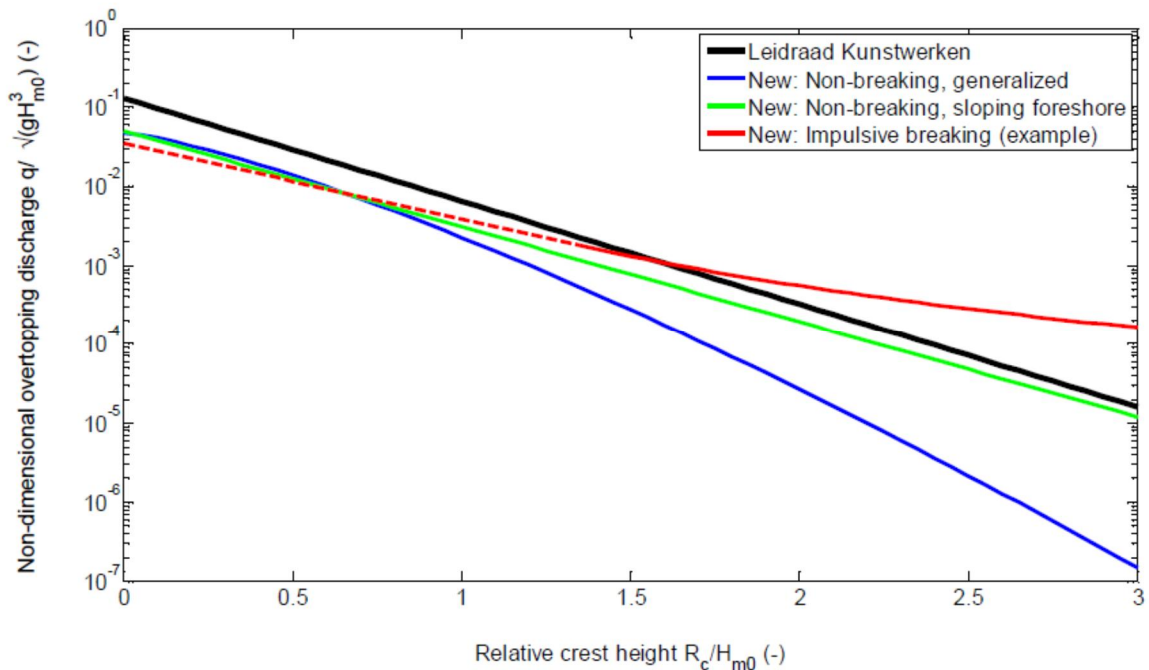
In [Waal 2014] (zie Bijlage A) is een vergelijking gemaakt tussen de formules uit [Meer e.a. 2014] en [TAW-LK 2003] voor zuiver verticale constructies (zie Figuur 4.1). Dit type constructie is ook voor het WTI2017 het meest interessant, omdat dit veruit het meest voorkomt. Uit deze vergelijking blijkt dat het verschil tussen beide methoden circa een factor 2 is bij constructies met een relatief beperkt vrijboord. Het spreekt voor zich dat dit het toepassingsgebied is dat voor het WTI2017 het meest interessant is. Tevens is in Figuur 4.1 te zien dat in dit toepassingsgebied de formules uit [TAW-LK 2003] altijd conservatief zijn in vergelijking met de formules uit [Meer e.a. 2014].

In de huidige toetspraktijk, waarbij gebruik wordt gemaakt van de formules uit [TAW-LK 2003], worden relatief weinig kunstwerken afgekeurd op een tekort aan hoogte (ervaring opgedaan binnen VNK). Dit maakt dat de noodzaak beperkt is om over te gaan naar een minder conservatieve, maar meer bewerkelijke benadering.

Voorts wordt het met de formules uit [Meer e.a. 2014] mogelijk gemaakt een breder spectrum aan constructietypen door te rekenen. Het gaat hierbij om constructies met een erg kleine waakhoogte, stortsteen tegen constructies voor een verticale constructies en constructies met hellingen steiler dan 1:1. Dit soort objecten komt binnen de Nederlandse toetspraktijk echter niet zo vaak voor. Dit maakt dat de toegevoegde waarde hiervan binnen het WTI2017 beperkt is.

De methode uit [Meer e.a. 2014] kan overigens uitstekend in de Toets op maat toegepast worden indien in de gedetailleerde toets tot een toetsoordeel 'voldoet niet' wordt gekomen.

Dit wordt specifiek aanbevolen voor de in de vorige alinea genoemde constructietypen, alsmede voor verticale kunstwerken die net niet voldoen aan de norm.



Figuur 4.1 Relatie tussen vrijboord en overslagdebiet voor verschillende overslagformules (zie ook Bijlage A). De blauwe, groene en rode lijn betreffen aangescherpte formules uit [Meer e.a. 2014], de zwarte lijn betreft de formule uit [TAW-LK 2003]

4.2.2 Kritieke overslagdebiet is onzeker

Met de formules uit [Meer e.a. 2014] kan het optredende overslagdebiet circa een factor 2 nauwkeuriger worden ingeschat. De onzekerheid rondom het kritieke overslagdebiet waaraan het optredende overslagdebiet wordt getoetst is echter in veel situaties veel groter dan een factor 2. Er zijn situaties waarin het kritieke overslagdebiet op niet meer dan expert judgement berust, zoals bij een overstortende straal achter een coupure. Ook in een situatie waarin het kritieke overslagdebiet berekend kan worden, zoals bij een granulaire bodembescherming achter een kunstwerk, is de onderhoudstoestand vaak dermate onzeker dat ook deze berekende waarde een grote mate van onzekerheid kent. Dit maakt dat de meerwaarde van een iets nauwkeuriger inschatting van het optredende overslagdebiet in de praktijk beperkt is.

4.2.3 Status van de nieuwe inzichten

Momenteel wordt gewerkt aan een update van [EurOtop 2007], die naar verwachting in 2015 verschijnt. Nieuwe inzichten die worden verwerkt zijn gepubliceerd in [Meer e.a. 2014]. Deze nieuwe inzichten hebben echter nog niet de status 'definitief'; op sommige punten is de verwachting dat de resultaten uit [Meer e.a. 2014] nog worden aangescherpt in de EurOtop 2015. Alvorens nieuwe inzichten te integreren in toetslaag 2 van het WTI2017 dienen deze helemaal uitgekristalliseerd te zijn. Dat is hier dus nog niet het geval.

4.2.4 Programmeerbaarheid

De in [Meer e.a. 2014] gepresenteerde methode is nog niet voldoende uitgewerkt om geprogrammeerd te kunnen worden. Hiertoe dienen verschillende parameters nader

gedefinieerd te worden en moeten aanvullende keuzes worden gemaakt in de beslisschema's. Voor meer informatie wordt verwezen naar [Waal 2014] (zie Bijlage A).

4.3 Omgang met waakhoogte

Het begrip waakhoogte geeft het verschil aan tussen de werkelijk aanwezige hoogte van het kunstwerk en de toetswaterstand. Voor ontwerpen wordt in [TAW-LK 2003] voorgesteld een minimale waakhoogte van 0,30 m aan te houden. Deze waakhoogte van 0,30 m is voor de situatie overslag (dus waterstand < kruinhoogte) ook overgenomen in [MVW –vtv 2006] als één van de voorwaarden om tot een score 'goed' te komen. Indien niet wordt voldaan aan een minimale waakhoogte van 0,30 m kan alleen met een geavanceerde beoordeling tot een oordeel 'voldoende' worden gekomen. In de geavanceerde beoordeling kan onder meer worden beschouwd in hoeverre de onzekerheden in de maatgevende waterstand worden afgedekt door de marge tussen kruinhoogte en toetswaterstand. Feitelijk hoeft dus ook in de huidige toetspraktijk conform [MVW –vtv 2006] niet aan een waakhoogte-eis te worden voldaan om toch een score 'voldoende' te bereiken.

Ook in het WTI2017 wordt geen waakhoogte-eis toegepast. Binnen het WTI2017 wordt de beoordeling van het toetsspoor *hoogte* volledig probabilistisch uitgevoerd. Dit betekent dat voor ieder kunstwerk een faalkans wordt berekend voor dit toetsspoor. Het hanteren van een minimale waakhoogte-eis past niet binnen de probabilistische benadering.

4.4 Conclusie

Om redenen zoals aangegeven in paragraaf 4.2 is in het WTI2017 ervoor gekozen de benadering conform [TAW-LK 2003] toe te passen voor de gedetailleerde toets van *golfoverslag en overloop* bij kunstwerken. Dit laat onverlet dat de methode uit [Meer e.a. 2014] uitstekend in de toets op maat toegepast kan worden als in de gedetailleerde toets tot een toetsoordeel 'voldoet niet' wordt gekomen. Dit wordt specifiek aanbevolen voor constructietypen anders dan puur verticale constructies, alsmede voor kunstwerken die in de gedetailleerde toets net niet voldoen aan de norm.

Referenties

[DLT-kdkw 2015]

WTI 2017 Kunstwerken - Achtergrondrapport toetsspoor Hoogte II - Bepaling kritiek overslag-/overloopdebiet. Deltares rapport 1220087-001-GEO-0011, Versie D1, 22 december 2015, definitief

[DLT-komkw 2015]

Kennisbasis instromende debiet en toelaatbare komberging kunstwerken
Deltares, kenmerk 1220087-002-GEO-0004-gbh, september 2015

[EurOtop 2007]

EurOtop, 2007. European Manual for the Assessment of Wave Overtopping.
T. Pullen, N.W.H. Allsop, T. Bruce, A. Kortenhaus, H. Schüttrumpf and J.W. van der Meer.
At: www.overtopping-manual.com

[INFR-khk 2000]

Kerende hoogte kunstwerken – Methode
INFRAM rapport i 336 Juli 2000. Auteur dr. ir. J.W. van der Meer

[Meer e.a. 2014]

EurOtop revisited. Part 1: sloping structures & Part 2: Vertical Structures
Meer et al, 2014

[MVW –vtv 2006]

Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen,
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, ISBN 978 90 369 5762 5, september 2007

[PAO-LKW08 2007]

LKW08 Oefening controle op kerende hoogte
R. Gajadhar, PAO-cursus Leidraad Kunstwerken, 2007

[TAW-LZM 1999a]

Leidraad Zee- en Meerdijken
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, december 1999;

[TAW-GG 2002]

Technisch Rapport Golfoploop en golfoverslag bij dijken,
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, mei 2002

[Waal 2014]

Review wave overtopping at (composite) vertical structures
Deltares-memo 1209438-001-GEO-0002, juli 2014

[WL-gkvw 1998]

Golfoverslag en krachten op verticale waterkeringsconstructies
WL|Delft Hydraulics rapport H2014, F. den Heijer, 1998




A Review wave overtopping at (composite) vertical structures

Memo

To
WTI 2017

Date	Number of pages	
21 July 2014	10	
From	Direct line	E-mail
Hans de Waal	+31 (0)88 33 58 501	hans.dewaal@deltares.nl

Subject
Review wave overtopping at (composite) vertical structures

Version	Date	Author	Initials	Review	Initials	Approval	Initials
2.0	july 2014	H. de Waal		B. Hofland		M. van Gent	

1 Introduction

1.1 Problem

As a part of the development of the WTI2017, a software module is required for the assessment of the mean wave overtopping discharge at water defence structures in the Netherlands.

Since the methods of WTI2011 are regarded as the reference (and fall back option) for all methods within WTI2017, the reference software for this overtopping discharge assessment is taken from WTI2011. This software module is based on the formulae for vertical walls from the 'Leidraad Kunstwerken' (TAW, 2003).

A more general overview of wave overtopping formulae is given in the EurOtop Manual 2007 (EurOtop, 2007). Preferably, the WTI methods should comply with these international standards. At this moment, however, new insights in the overtopping formulae of the EurOtop Manual 2007 are in the process of being published (Van der Meer and Bruce, 2014). These new insights will be incorporated in an update of the EurOtop Manual in 2015.

The main question to be addressed in this memo is how to deal with these new insights within the WTI2017 scope of specifying and delivering the required software module.

1.2 Scope

In this memo we focus on the *available formulae for mean wave overtopping discharge*, primarily for *vertical structures*.

Further development of wave overtopping formulae is beyond the scope of this WTI subtask.



Being a part of the WTI2017 programme, the approach within this subtask needs to find a balance between intended technical improvements (standards to be met in WTI methods) and project restrictions (WTI deadlines, budget, available capacity and manageability).

1.3 Approach

The approach to answer the question mentioned in section 1.1 consists of the following steps:

- Analysis of the new insights, in relation to the currently (within WTI) applied formulae and software
- Discussion with Jentsje van der Meer, the first author of (Van der Meer and Bruce, 2014)
- Discussion with Bob van Bree, who has valuable experience in assessing the safety of structures within the VNK project
- Draft version of a memo (present document)
- Review and final version of the memo

The following aspects of the new insights are covered:

- the improvement of the calculation method compared to the present method
- the impact on the execution of the WTI practice
- the status of the new calculation method
- the 'programmability' of the new calculation method (inventory of completeness; range of application, background)

The new insights (calculation method) will be compared with:

- Leidraad Kunstwerken (LK) formulae
- Hydra's, PC Overslag
- EurOtop 2007

1.4 Target group

This memo is intended for the members of the project group of WTI2017 Cluster 6 (Structures), both from Deltares and Rijkswaterstaat. For close reading (especially of the appendix) the reader of this memo is supposed to have the following documents at hand:

- Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003)
- EurOtop Manual 2007 (EurOtop, 2007)
- The new insights publication (Van der Meer and Bruce, 2014)

No summary of these documents will be provided here.

1.5 Outline

In the next chapter the general evaluation will be presented. Chapter 3 provides the advice on the WTI2017 activities pertaining to wave overtopping at structures. The appendix presents a more detailed evaluation of the new insights from a computer programmer's point of view.

2 Evaluation

2.1 Introduction

The formulae which are currently applied in Dutch WTI practice consist of the following main components:

- 1) 'TAW' (TAW, 2002) formulae for slopes, being the minimum result of:
 - a) a formula for breaking waves (mild slopes)
 - b) a formula for non-breaking waves (steep slopes and/or low wave steepness)
- 2) 'LK' formula for vertical walls.

The corresponding components as provided by the EurOtop Manual 2007 are:

- 1) 'TAW' formulae for slopes, being the minimum result of:
 - a) a formula for breaking waves (mild slopes)
 - b) a formula for non-breaking waves (steep slopes and/or low wave steepness)
- 2) A set of formulae for different types of walls and hydraulic conditions, accompanied by a decision scheme for choosing the appropriate formula.

The new insights consist of the following aspects:

- | | | |
|---|------------------|---|
| 1 | Slopes | : improved extension of 'TAW' (2002) formulae towards low and zero freeboard, resulting in a 'Battjes-like' formula. |
| 2 | Walls | : reunification of formulae for impulsive breaking and non-breaking conditions (the set of formulae mentioned in point 2 above in the EurOtop Manual) |
| 3 | Walls | : distinction between low and high freeboard |
| 4 | Walls | : distinction between vertical and composite structures (i.e. vertical walls combined with a toe protection berm) |
| 5 | Walls and slopes | : (for non-breaking conditions:) reunification of formulae for low and high freeboard; inclusion of steep slopes |

This results in the new components for slopes and walls to be provided by the EurOtop Manual 2015, being the minimum result¹ of:

- 1) A 'Battjes-like' formula for waves breaking on the slope
- 2) A new set of formulae for steep slopes (up to vertical) and different hydraulic conditions, accompanied by a new decision scheme for choosing the appropriate formula.

2.2 Comparisons

2.2.1 Formulae

The single LK formula for vertical walls is attractive due to its simplicity and obvious robustness. On the other hand, the empirical formula represents a very large set of data covering a large variety of circumstances. Therefore, it is relatively conservative in many cases and the scatter (uncertainty) is fairly large.

¹ Taking the minimum result is probably not always appropriate, which will be pointed out in the appendix.



Both current (2007) and new (2015) EurOtop Manual approaches provide a set of formulae and a selection scheme as calculation method for vertical structures. This approach takes account of the differences between structure types and the hydraulic conditions affecting the overtopping discharge, thus reducing the uncertainty. On the other hand, especially the EurOtop Manual 2007 is quite nontransparent due to the different types of formulae involved. The consistency and robustness are not clear. By unifying the shape of the formulae, the transparency of the new formulae is definitely improved. Nevertheless, the new method remains quite complex too. This may be partly due to the fact that (Van der Meer and Bruce, 2014) does not provide a complete set of formulae in itself. For several definitions and details the publication refers to the EurOtop Manual 2007.

For slopes TAW (2002) formulae and the EurOtop Manual 2007 are identical. In (Van der Meer and Bruce, 2014), however, an adapted basic formula is proposed, in order to improve the results for very low freeboards. Moreover, new formulations are provided which bridge the current gap between steep slopes (up to 1:1) and vertical walls. This fact raises the question whether the WTI 2017 method for overtopping at dikes should be adapted too. This topic was originally outside the scope of this analysis, but will be addressed in the advice in chapter 3.

2.2.2 Available software modules

Both PCRing and Hydra-Zoet use a Fortran software module for wave overtopping at vertical walls, which is based on the Leidraad Kunstwerken formulae, but the source code is not identical. PCOverslag is not applicable for vertical walls. The EurOtop 2007 formulae for vertical walls have not been implemented in a software module, which means they are not applied in Dutch WTI practice. The new insights have not been implemented in a software module yet. The fall back option for vertical walls in Hydra-Ring consists of the PCRing module.

For the overtopping formulae at slopes various software modules are available. PCOverslag and the Hydra models use a Delphi coded dll based on the TAW formulae. However, the (probabilistic) Hydra models do not allow all structure varieties that (the deterministic model) PCOverslag basically supports: for example, the use of a vertical wall on top of a crest is not allowed in Hydra, but supported in PCOverslag. PCRing includes several Fortran routines largely based on simplified TAW formulae. For Hydra-Ring a new Fortran module for slopes has been developed, based on the TAW formulae, but extended to account for overflow.

2.3 Improvement

In general, the formulae as presented in (Van der Meer and Bruce, 2014) may be regarded as a valuable improvement, both with respect to the present EurOtop manual 2007 and with respect to the Leidraad Kunstwerken (LK). The new formulae provide more insight in their mutual relationships due to the unification. Moreover, they are better fitted on the available data to take relevant characteristics into account. And last but not least, the range of applicability is extended.

In Dutch WTI practice however, the added value of the new formulae is less clear. This will be addressed in the next section.

2.4 Impact

In order to assess the impact of the new formulae for the Dutch WTI practice, first a global comparison between calculation results for vertical walls will be presented. Figure 2.1 presents a decision scheme based on Figure 20 in (Van der Meer and Bruce, 2014).

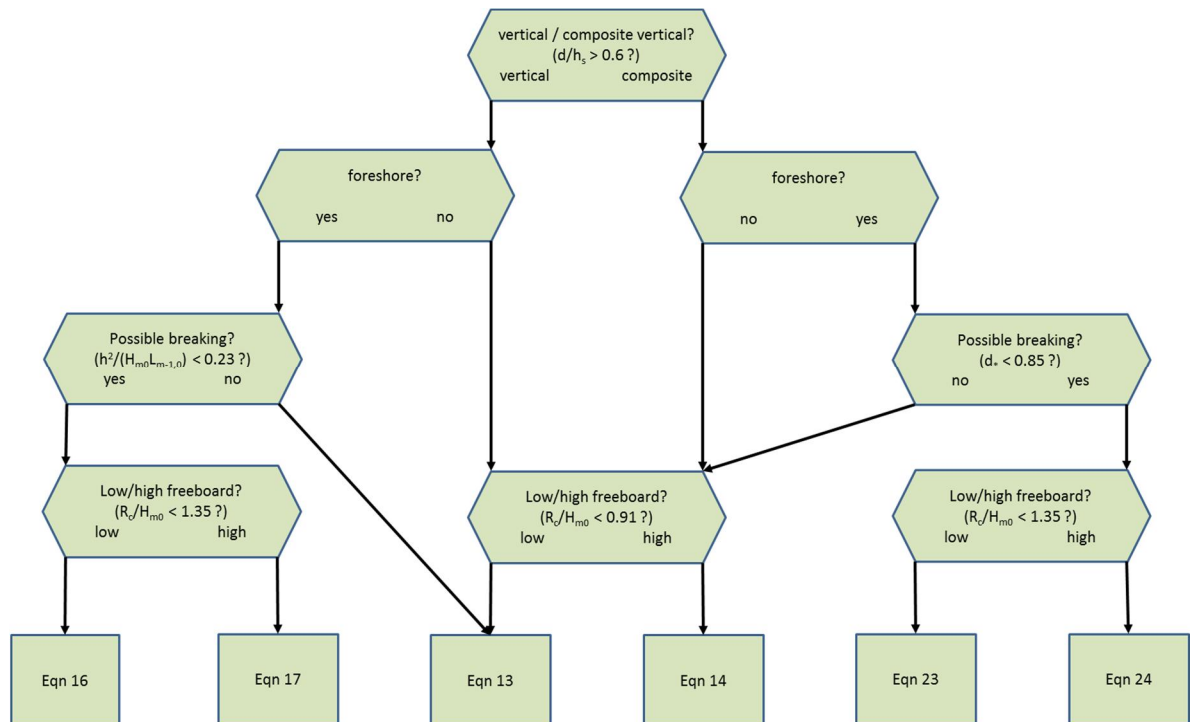


Figure 2.1 Decision scheme based on Figure 20 in (Van der Meer and Bruce, 2014).

Oral communication with Van der Meer clarified that the final version of this scheme may become as presented in Figure 2.2.

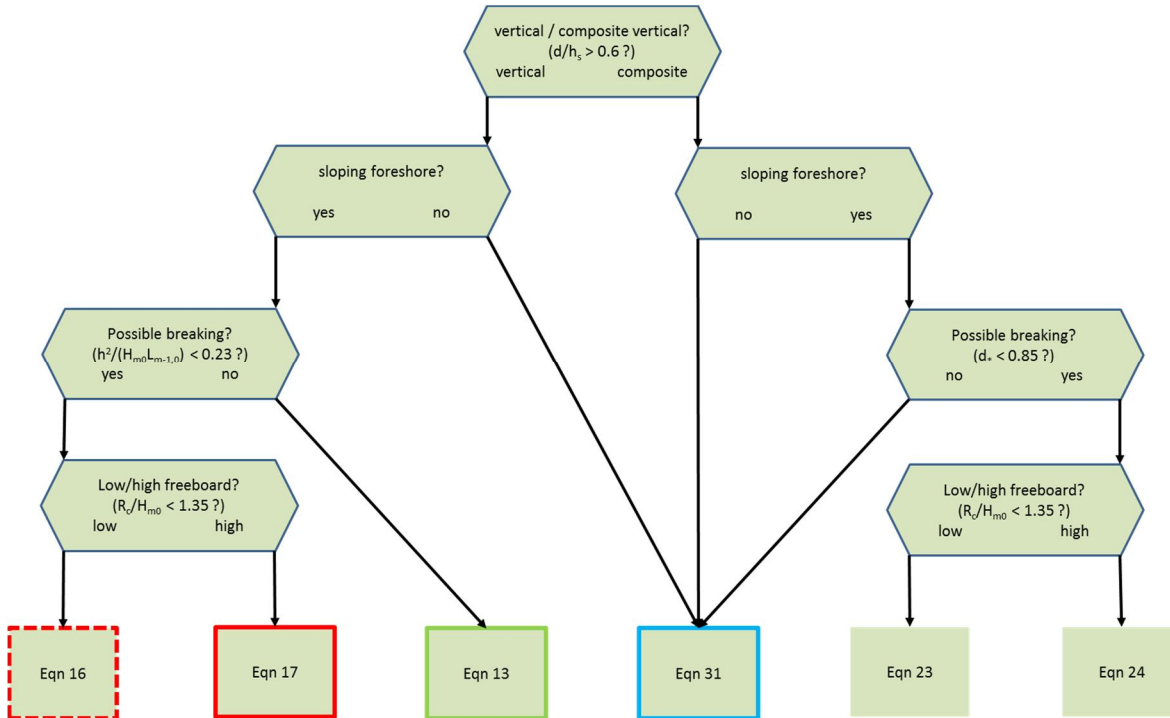


Figure 2.2 Probably intended final decision scheme.

In this brief analysis we focus on vertical (non composite) structures. Figure 2.3 presents the relationship between the (non dimensional) overtopping discharge and the (non dimensional) freeboard for several formulae. The black line refers to the LK formula. The line colours red, green and blue refer to the corresponding formula box colours in Figure 2.2.

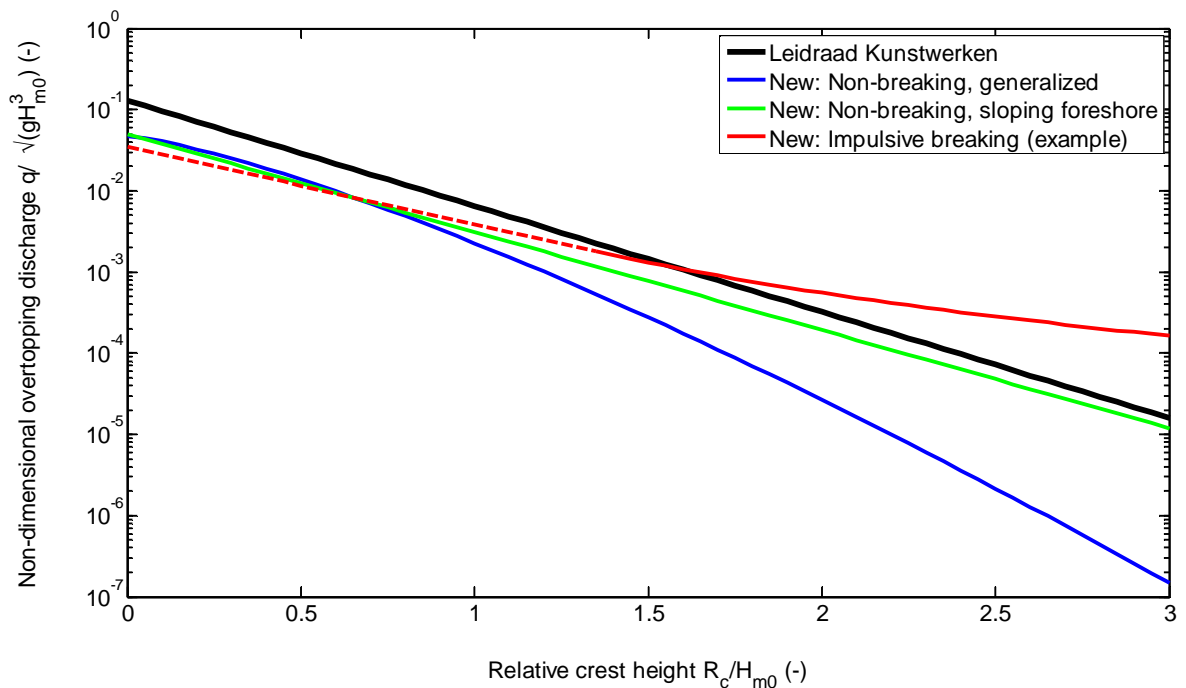


Figure 2.3 Relation between freeboard and overtopping discharge from several overtopping formulae.

From Figure 2.3 the following observations may be noted:

- For relatively small freeboards the different formulae within the new calculation method lead to fairly similar results; for higher freeboards the results strongly diverge.
- The LK formula yields (significantly) more conservative results than the new calculation method, except for impulsive breaking conditions combined with relatively high freeboards.

The impact of changing to a (generally) less conservative calculation method on the safety WTI assessment is probably small, since currently hardly any vertical wall structure is rejected on the basis of the wave overtopping criterion², using the LK formula (oral communication with B. van Bree). The same holds for the impact of a reduction in uncertainty about the overtopping discharge. In this respect it should also be noted that the uncertainty about the critical overtopping discharge remains quite large anyway.

The added ranges of application (very low crests, rubble mound toe in front of a wall, very steep slopes) are not encountered that often in Dutch WTI safety assessment practice. Therefore, the added value of these extensions for WTI is relatively small. On the other hand, a better formula describing the effect of a (small) wall on top of a dike (slope with or without a berm) would be valuable for WTI practice. Such an improved formula is not included in the present calculation method yet, but is expected to be ready in time to be included in the update of the EurOtop Manual.

² The overtopping criterion is fairly mild in many cases: the allowed overtopping rate can be high.



The difference in results between the new formula for dikes (slopes) and the present TAW formula is small, only for very low freeboards the new results are better and less conservative.

2.5 Status

The new calculation method is accepted in a scientific journal. The method will be incorporated in the update of the EurOtop Manual. However, the WTI method would preferably refer to the new EurOtop Manual. As will be pointed out in section 2.6 and the appendix, it is expected that the method will be clarified and/or adapted at some issues before the final publication in the new EurOtop Manual. Therefore, the method as described in (Van der Meer and Bruce, 2014) does probably not have the status 'final' for the next EurOtop Manual yet.

Since the estimated impact of changing the calculation method is small for Dutch WTI practice, and the calculation methods are simplified and unified, the acceptance by users is not expected to become an issue.

2.6 Programmability

There is no (official or prototype) software code for the new calculation method yet. So there is no experience in programming the new formulae.

Earlier experience with programming the formulae as presented in the TAW (2002) report showed that the transition from scientifically solid looking formulae to software code requires serious attention. In many cases additional 'interpretation' of the calculation method appeared to be required.

In order to assess the manageability of programming the new calculation method within the scope of the WTI2017 project, the calculation method was analysed, having the following (types of) questions in mind:

- Is the method complete?
- Are the specifications unambiguous?
- Is the area of applicability clear?
- Is continuity in results guaranteed?

This analysis revealed that the method as presented in (Van der Meer and Bruce, 2014) may be sufficiently specified within the scientific context, but for the transition to software code quite some additional effort is required: the method is not complete yet, several parameters are not clearly defined and additional choices need to be made. The reader is referred to the appendix for more details. Considerable effort will be needed to program the calculation method such that the above four demands can be met.

3 Advised approach

The conclusions from Chapter 2 may be summarized as follows:

- The new calculation method leads to more accurate and in many cases less conservative results than the present LK formula. The new method is much more transparent and wider applicable than the method provided by the EurOtop Manual 2007.
- The impact of replacing the calculation method on Dutch WTI safety assessment results is expected to be small.
- The status of the new calculation method should not be regarded as 'final' (for the EurOtop Manual 2015) yet.
- Programming the formulae in software code may require considerable additional effort on clarifying details and filling in gaps in the current description of the calculation method.

This summary leads to the following general answer to the question "how to deal with these new insights within the WTI2017 scope of specifying and delivering the required software module":

Implement the (for Dutch WTI practice) most useful and clear parts of the new method into a (prototype) software module, but do not put this development on the critical path of the WTI2017 project.

The latter restriction implies that at first the present WTI calculation method (LK formula) should be consolidated as the reference method for WTI2017.

In more detail the following steps within the WTI2017 project are advised:

- 1) Consolidate the present WTI calculation methods for wave overtopping:
 - a) the TAW 2002 method for slopes
 - b) the TAW 2003 ('LK formula') as the reference method for vertical structures (method A).
- 2) Develop a prototype module based on the new calculation method by Van der Meer and Bruce, but initially restricted to vertical walls (method B). Test the continuity in results, make comparisons with results of the LK method (method A) and the Neural Network method (method C).
- 3) Write a Functional Design for a generalized vertical wall module, incorporating methods A, B and C. Define the IO (input/output) and main functionality of a generalized module for wave overtopping at vertical walls, in which a choice can be made between methods A, B and C.
- 4) Experiment with using (the three methods within) the generalized module in Hydra-Ring, on a branch of the Hydra-Ring development.
- 5) Verify the status of the calculation method in the EurOtop Manual 2015 as soon as possible (in 2015), before deciding on
 - a) formalizing method A for vertical walls or an adapted version of method A in the WTI edition of 2017, and
 - b) whether or not to start experimenting with a unified calculation method for slopes (including crest walls), steep slopes and vertical walls for the WTI edition of 2023.



4 References

EurOtop, 2007. European Manual for the Assessment of Wave Overtopping. T. Pullen, N.W.H. Allsop, T. Bruce, A. Kortenhaus, H. Schüttrumpf and J.W. van der Meer. At: www.overtopping-manual.com.

Meer, J.W. van der, Bruce, T., 2014. New physical insights and design formulae on wave overtopping at sloping and vertical structures. Journal of ASCE, WPC&OE, <date> 2014. Approved, to be published.

TAW, 2002. Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken. TAW 2002.

TAW, 2003. Leidraad Kunstwerken. TAW rapport, mei 2003.

Memo

To
WTI 2017

Date
21 July 2014

Number of pages
5

From
Hans de Waal

Direct line
+31 (0)88 33 58 501

E-mail
hans.dewaal@deltares.nl

Subject
Review wave overtopping at (composite) vertical structures
Appendix: Considerations on new insights

1 Introduction

This memo is intended as an appendix of the memo 'Review wave overtopping at (composite) vertical structures'. In order to assess the manageability of programming the new calculation method presented in (Van der Meer and Bruce, 2014) within the scope of the WTI2017 project, the new calculation method was analysed, having the following (types of) questions in mind:

- Is the method complete?
- Are the specifications unambiguous?
- Is the area of applicability clear?
- Is continuity in results guaranteed?

We focus on the assessment of the mean overtopping discharge. The reader is expected to have direct access to the publication.

The remarks in this memo are not intended to be complete. They are intended to provide specific information in answering the question whether complications are expected in programming the calculation method.

2 Practical considerations and questions

2.1 New insights

2.1.1 Unification of formulae for slopes and (steep) structures

The new calculation method appears to consist of method components for slopes and walls being the minimum result of:

- 1) A 'Battjes-like' formula for waves breaking on the slope
- 2) A new set of formulae for steep slopes (up to vertical) and different hydraulic conditions, accompanied by a new decision scheme for choosing the appropriate formula.



However, we cannot always compute the result of the first component, certainly not for a vertical wall, since the value for the breaker parameter becomes infinite. Reducing the formula for an infinite value for the breaker parameter may be possible, but then it is still questionable whether taking the minimum result of the two approaches will lead to the intended result, especially in case of impulsive breaking at a vertical wall. Therefore, the necessity of computing this part of the formulae should be restricted to slope angles up to a certain limit, for example 1:1. Such a restriction is not provided yet.

The first component allows for defining a multi section profile: a profile composed of several straight sections, having different slope angles (originally up to 1:1) and roughness characteristics. It is not immediately clear that the second component is (presumably) applicable for single-section slopes only. This should be clarified.

2.1.2 Effect of a mound

At the top of the decision scheme (Figure 20) a distinction is made between vertical and composite vertical walls. Several remarks may be made:

There is no clear position for (very) steep slopes in this distinction.

The distinction should be clarified. Presumably the 'berm' in case of a composite vertical wall is supposed to be just a relatively small (rubble mound) toe protection. Otherwise the width of the berm and the outer slope would become important at some stage, just like in the multi-section approach for dikes (see section 2.1.1). This 'relatively small' should be specified (quantified); it is clear that the formula is not intended for a toe berm at SWL, but the actual range of applicability is not clear, i.e. a lower limit of applicability of d is needed.

The decision scheme provides a parameter ' h_s ', which is not defined. (Probably ' h ' was meant instead).

2.1.3 Effect of a (sloping) foreshore

The decision scheme includes the question 'foreshore?', which is too vague. From the text it can be derived that actually 'sloping foreshore?' was meant (and not 'shallow foreshore?' p.e.). Answering this actual question may be straightforward in the case of laboratory data, but in real life cases it is much less straightforward. Probably the wave length (wave period) is involved in selecting a relevant section of the foreshore bathymetry. This would add to the complexity of the calculation scheme. Also the slope angle should probably be included in the criterion (or a limiting factor, after which it can be called 'flat'. This is not mentioned in the paper.

And even if the distinction is clarified, it is almost certain that the distinction in its present form will introduce a discontinuity in results. This should be avoided, which will probably require additional (transition) formulae.

2.1.4 Effect of (impulsive) breaking at the toe

The decision scheme includes the question 'possible breaking?'. From the formulae it can be expected that the transition between 'no' and 'yes' will result in a discontinuity in results.

Note that the transition may indeed be quite sudden for a single wave, but this transition should be smoothed for a standard random wave field. An actual jump (discontinuity) is not expected.

2.2 Influence factors

2.2.1 Introduction

It is relatively easily stated that the formulae for taking specific influences into account do not change. In practice this may lead to inconsistencies.

The decision scheme refers to several formulae (like 13, 14) in which no influence factors are involved. Is that really meant this way, or should the influence factors be included like in other formulae (as a fictive enhancement of the relative freeboard)?

2.2.2 Influence factor for wave angle

The effect of the wave angle for vertical walls differs from the effect for slopes. (For walls there is even a distinction between the wave angle effect for non-breaking versus impulsive breaking). Which formula one should be applied, when slopes and walls are covered by one set of formulae?

Is there information on the transition from very obliquely incident to offshore directed waves at vertical walls?

2.2.3 Influence factors for roughness

The TAW guide (2002) says that the effect of roughness γ_f depends on breaker parameter $\xi_{m-1,0}$ (optionally combined with the effect of a berm γ_b). The roughness effect diminishes for a breaking parameter increasing from 1.8 to 10. In the Eurotop Manual 2007 see page 113-114. Should this influence factor γ_f still be present in the formula describing the maximum for surging waves, or for vertical walls?

2.2.4 Influence factors for wind and / or a parapet

The new calculation method does not provide information on the effect of wind and or a parapet. Are the original formulae still applicable, without exceptions?

2.2.5 Influence factors for a crest wall

Expected formulae for the effect of a crest wall may fill in an important gap, but may also lead to (minor?) adaptations in existing formulas in order to get a consistent set.

2.3 Quantification of uncertainties



The unified formulae 6 and 7 contain two constants for which a mean μ and standard deviation σ are provided. What is the correlation between these two 'constants'?

The unified formula 31 for very steep slopes contains varying parameters a and b. For the initial (fixed) values of a and b the uncertainty is given; not for the final (varying) values of a and b.

3 More general considerations

3.1 Unification of slopes and walls

For slopes the (for wave overtopping) most relevant wave motion occurs at the horizontal 'bottom' range between the toe of the structure and the crest, with a more specific focus on the 'bottom' range between $1.5 H_{m0}$ below swl and the crest. 'Bottom' is used here in the sense of the bed that the wave 'feels' just before reaching the water line, which is on the dike slope, in case of sloping dike. The characteristics of this part of the 'bottom' are dominating the water motion and the wave overtopping.

For steeper slopes this bottom range becomes smaller and smaller, reducing to zero width for a vertical wall. In the latter case, and shallow water conditions, the water motion at the structure is dominated by the relevant bottom just in front of the structure: the near foreshore. Characteristics like relative depth and foreshore slope become important for the wave overtopping.

A unified method for both slopes and walls should cover all these input variables. This may be feasible for a neural network. For empirical formulae it may be considered too ambitious to completely combine the two areas of application and cover the transitional area without any discontinuity or gap in applicability.

3.2 Alternative: Neural network

In some cases (like eqns. 16 and 17) a formula includes a relative wave height (H_{m0}/h) divided by the wave steepness. In fact, this results in a ratio of deep water wave length over water depth ($L_{0,m-1,0}/h$). In the formula, the square root of this ratio is taken, which implies that the factor is proportional to the wave period $T_{m-1,0}$.

I think it would be very interesting to explore whether the Neural Network confirms such a linear relationship between the non-dimensional wave overtopping discharge and the wave period.

This is just one example of possible validating the relationships in the empirical formulae with those from the Neural network.

4 References

- EurOtop, 2007. European Manual for the Assessment of Wave Overtopping. T. Pullen, N.W.H. Allsop, T. Bruce, A. Kortenhaus, H. Schüttrumpf and J.W. van der Meer. At: www.overtopping-manual.com.
- Meer, J.W. van der, Bruce, T., 2014. New physical insights and design formulae on wave overtopping at sloping and vertical structures. Journal of ASCE, WPC&OE, 2014.
- TAW, 2002. Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken.TAW 2002

Enclosures