Eerste golfoverslagproeven met de indoor Wave Overtopping Simulator

Meten aan overslaande golven in het lab

Door Niels van der Vegt, Jord Warmink, Vera van Bergeijk, Suzanne Hulscher en Bas Hofland

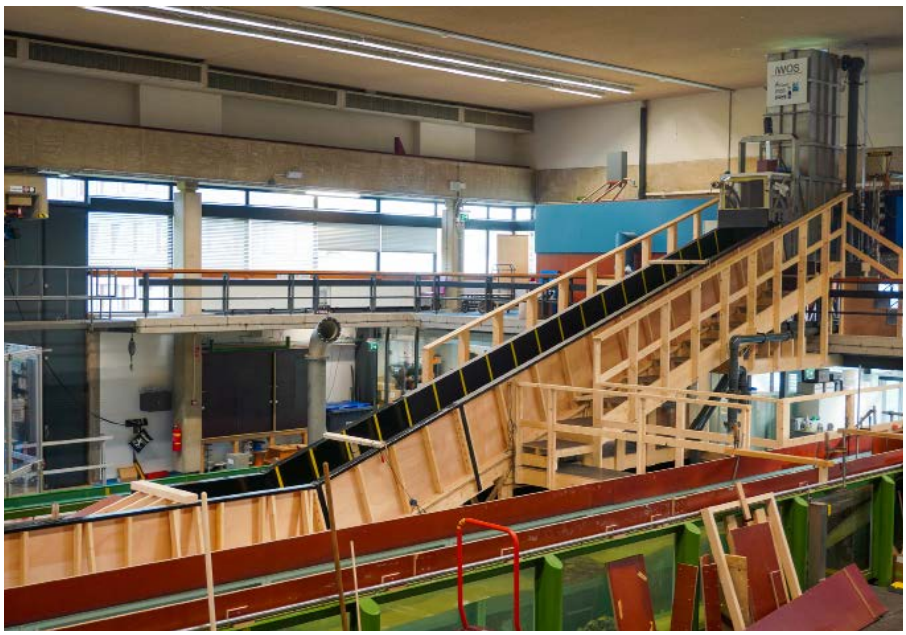
De indoor Wave Overtopping Simulator (iWOS) is een nieuwe, unieke faciliteit aan de Technische Universiteit Delft om golfoverslag bij dijken op werkelijke schaal te onderzoeken. De opstelling maakt het mogelijk om met geavanceerde meettechnieken de stroming van overslaande golven beter te begrijpen.

Voor het bepalen van de kruinhoogte en de geometrie van het binnentalud van een dijk is inzicht nodig in de mate waarin overslaande golven erosie veroorzaken. Dit schademechanisme was bijvoorbeeld bij de watersnoodramp in 1953 en orkaan Katrina in 2005 verantwoordelijk voor een groot deel van de dijkdoorbraken. In de loop der jaren is al enig inzicht verkregen in de sterkte van verschillende typen grasbekledingen, onder andere door veldproeven met de golfoverslagsimulator. Toch is er nog weinig bekend over de fysica van de stroming van deze overslaande golven. De stroming die ontstaat op het binnentalud door overslaande golven lijkt veel erosiever dan een eenparige stroming met dezelfde snelheid, zonder dat duidelijk is waarom.

Om dit verder te onderzoeken, helpt een gecontroleerde omgeving waarin realistische golven kunnen worden gereproduceerd en geavanceerde meettechnieken eenvoudiger kunnen worden toegepast. Voor dit fundamentele onderzoek is de afgelopen twee jaar gewerkt aan de realisatie van de iWOS binnen het NWO-perspectiefprogramma Future Flood Risk Management Technologies, in samenwerking met Universiteit Twente, Technische Universiteit Delft, STOWA en Rijkswaterstaat.

Stalen golfoverslagsimulator

De iWOS bestaat uit een stalen golfoverslagsimulator, geplaatst op een hoogte van ongeveer 4,5 m. Deze simulator kan de stroming van overslaande golven op de binnenkruinlijn simuleren tot 3.000 l/m en wordt aangestuurd met een radiaalklep. De doorsnede van de simulator is zo vormgegeven dat de stroming die bij openen van de radiaalklep ontstaat, dezelfde initiële snelheid bereikt als bij eenzelfde overslaand volume op de binnenkruinlijn wordt verwacht. Een belangrijke vernieuwing van deze simulator zit in het kunnen simuleren van natuurlijke variatie. Niet elke overslaande golf met eenzelfde volume ziet er in werkelijkheid hetzelfde uit; zo is er variatie in stromingskarakteristieken zoals de pieksnelheid, de pieklaagdikte, overslagduur en golffrontsteilheid (steilheid van de voorkant van de stroming). Door de openingshoogte (tot 0,5 m) en -snelheid (tot 1,5 m/s) van de radiaalklep te variëren, kan variatie in de stroming worden aangebracht en onderzocht.



▲ *De indoor Wave Overtopping Simulator (iWOS).*

Vanuit de simulator stroomt het water op een 11 m lang en 0,8 m breed binnentalud met een helling van 1V:3H naar beneden. De onderste 2,2 m van het talud is een los element dat voor toekomstige proeven zal worden vervangen door een glazen sectie. In eerste instantie zal het stromingsveld in een erosiegat worden gemeten. Over het gehele talud wordt de ruwheid van de grasbekleding nagebootst door een kunstgrasmat met macroruwheid. Onderaan het talud knikt de bodem naar een horizontaal vlak waarvan de eerste 3 m geschikt is voor toekomstig onderzoek naar bijvoorbeeld de knik tussen talud en binnenberm en overgangen tussen gras en harde bekledingen. Het resterende deel van het horizontale vlak wordt gebruikt om de hoge snelheid van het water verder af

te remmen en vervolgens weg te laten stromen via een goot langs de zijkant van de proefopstelling.

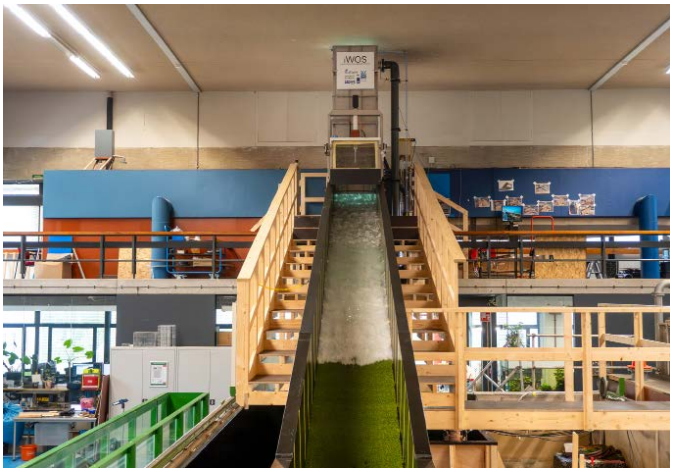
Eerste golven

Het doel van de eerste proevenreeks was te controleren of realistische overslaande golven nagebootst kunnen worden en in welke mate natuurlijke variatie kan worden gesimuleerd. Op drie locaties langs het talud is de snelheid en de laagdikte gemeten. De eerste meetlocatie zit bovenaan het talud op circa 2,5 m vanaf de uitstroom, dit punt vormt virtueel de binnenkruinlijn; de afstand tot de uitstroom is nodig om de stroming zich te laten ontwikkelen. Daarna volgt een tweede meetlocatie op 5,75 m en een derde meetlocatie, onderaan het talud, op 9 m van de uitstroom.

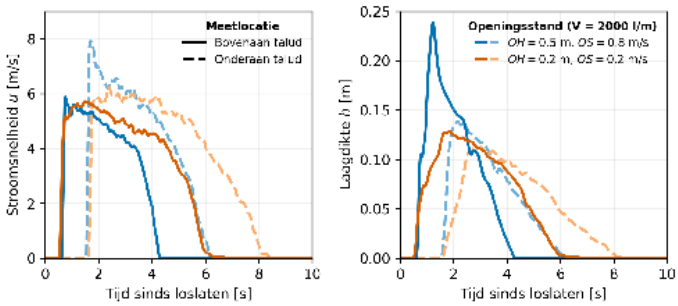
Als voorbeeld worden in de grafiek de eerste metingen aan een golf met een overslaand volume van 2.000 l/m gegeven. Deze experimenten zijn uitgevoerd met verschillende openingshoogtes (OH) en -snelheden (OS) van de radiaalklep. De twee uitersten zijn weergegeven: het snel en volledig openen van de radiaalklep (OH = 0,5 m, OS = 0,8 m/s) en het langzaam en beperkt openen van de radiaalklep (OH = 0,2 m, OS = 0,2 m/s). Elke combinatie is tienmaal herhaald. De gemiddeld gemeten stroomsnelheid en laagdikte zijn weergegeven in de grafiek bij de eerste en derde meetlocatie.

Op het eerste meetpunt, de virtuele binnenkruinlijn, zijn de verschillen in stroming goed zichtbaar wanneer de radiaalklep op een andere manier wordt geopend (doorgetrokken lijn). Het beperkt openen van deze klep leidt inderdaad tot het aftoppen van de laagdikte waardoor de stroming over het algemeen dunner en meer uitgerekt wordt. Dit is realistisch voor overslaande golven die eerst over brede kruinen van dijken moeten stromen. Daarnaast leidt het trager openen van de radiaalklep tot een flauwer golffront: het duurt langer voordat de pieklaagdikte wordt bereikt.

Op het derde meetpunt, onderaan het talud, zijn de verschillen in stroming verder toegenomen (gestreepte lijnen). Opvallend is dat de golffrontsteilheid van de stroming grotendeels behouden blijft: de stroming met het flauwe golffront blijft ook onderaan het talud flauw, terwijl het steile front steil blijft. Tegelijkertijd veranderen de piekstroomsnelheid en pieklaagdikte voor het steile, hoge golffront aanzienlijk langs het talud. Dit komt mogelijk doordat het



▲ *De iWOS simuleert een overslaande golf.*



▲ *Metingen van de stroomsnelheid (links) en laagdikte (rechts) van een overslaande golf van 2.000 l/m boven en onderaan het talud.*

hoge golffront sterker wordt beïnvloed door de zwaartekracht en daardoor grotere versnelling ondervindt. Deze versnelling leidt tot grotere snelheidsverschillen tussen het golffront en de staart van de stroming, waardoor de stroming verder uitrekt en als gevolg daarvan de pieklaagdikte afneemt.

Eerste metingen met de nieuwe faciliteit laten zien dat realistische golven kunnen worden gesimuleerd. Hierbij kan de radiaalklep worden gebruikt om bovenaan het talud stromingskarakteristieken zoals de pieklaagdikte, overslagduur en steilheid van het golffront te variëren. Door de radiaalklep gericht in te stellen is het ook mogelijk om de piekstroomsnelheid te variëren onderaan het talud, met gemeten stroomsnelheden van meer dan 10 m/s.

Vooruitblik

Na de eerste proevenreeks is de opstelling klaar voor vervolgonderzoek. Begin 2027 wordt een tweede proevenreeks uitgevoerd, met als doel de hydraulische belasting te onderzoeken in erosiegaten die ontstaan nadat de grasbekleding is weggeërodeerd. Hiervoor worden twee erosiegaten beproefd, 20 en 50 cm diep, waarbij met particle image velocimetry (PIV) het stroombeeld in het erosiegat vanaf de zijkant wordt gemeten. Dit is van belang om in de toekomst vervolgerosie van de kleilaag en -kern in beoordeling en ontwerp mee te kunnen nemen.

Op langere termijn is het doel om de faciliteit voor veel golfoverslag-gerelateerd onderzoek in te zetten, bijvoorbeeld samen met masterstudenten en promovendi. Daarbij valt te denken aan verder onderzoek naar de hydrodynamica, (niet-) geometrische overgangen en mogelijk erosie. De nieuwe faciliteit verlaagt de drempel om fundamenteel en op maat gesneden onderzoek te doen en zo de fysica achter golfoverslag beter te begrijpen. Die kennis kan vervolgens worden gebruikt om nieuwe, verbeterde modellen te ontwikkelen voor probabilistische toetsing en ontwerp van de kruinhoogte en het binnentalud van dijken. ■

Over de auteurs

Niels van der Vegt is promovendus aan de Universiteit Twente en adviseur bij HKV Lijn in Water. Jord Warmink is universitair hoofddocent bij de Universiteit Twente. Vera van Bergeijk is adviseur/onderzoeker bij Deltares. Suzanne Hulscher is hoogleraar bij de Universiteit Twente. Bas Hofland is universitair hoofddocent bij de Technische Universiteit Delft.