

Redeneerlijn probabilistisch bepalen kruinhoogte

Datum November 2019
Status Definitief

Samenvatting

Bij het beoordelen van de veiligheid van waterkeringen met het Wettelijk Beoordelings- Instrumentarium (WBI) wordt de benodigde kruinhoogte probabilistisch bepaald. Dat betekent dat de kruinhoogte bepaald wordt door te verwachten combinaties van sterkte van de grasbekleding en optredende belastingen. Bij HWBP projecten is het bij het ontwerpen nog niet gangbaar de benodigde kruinhoogte op deze manier te bepalen. Probabilistisch rekenen aan kruinhoogte kan tot een significant lagere benodigde kruinhoogte leiden. De eerste toepassingen bij Waterschap Rivierenland, Waterschap Vallei en Veluwe en Waterschap Drents Overijsselse Delta tonen aan dat een kruinhoogte reductie van meerdere decimeters mogelijk is.

De programmadirectie van het HWBP vraagt aan elk project (tot einde planstudie) te verkennen wat probabilistisch rekenen betekent voor de benodigde kruinhoogte én vraagt een expliciete afweging te maken of (en hoe) probabilistisch rekenen wordt meegenomen in het ontwerp. Wij vragen dit namens de HWBP alliantie omdat het kan leiden tot een verkleining van de versterkingsopgave en potentieel doelmatiger dijkversterkingen.

Aanleiding

In de begeleiding van projecten wordt geconstateerd dat veel projecten de bestaande hoogte van dijken beoordelen én de toekomstige hoogte van dijken ontwerpen op basis van een vast toelaatbaar gemiddeld overslagdebiet. Deze werkwijze staat beschreven in het Ontwerp Instrumentarium (OI versie 2014V4), maar past slecht bij de overstromingskansbenadering en kan leiden tot ondoelmatige dijkversterkingen.

Met de overgang naar de overstromingskans is een norm geïntroduceerd die uitgaat van een toelaatbare faalkans van de kering. Onderdeel van de faalkansbenadering is dat ontworpen wordt op de sterkte van de bekleding én dat onder die belasting voortschrijdende schade optreedt die uiteindelijk leidt tot falen van de dijk. Deze aanpak betekent ook dat gerekend moet worden met een realistische schatting van de grassterkte en niet met ontwerpwaarden.

In de meeste gevallen leidt een probabilistische analyse (waarin ontworpen wordt op de sterkte van de grasbekleding en de te verwachten belasting) tot een lagere benodigde kruinhoogte. Dit kan leiden tot het niet hoeven te verhogen van een dijk.

Bovenstaande is de aanleiding geweest voor de programmadirectie om deze redeneerlijn op te stellen waarin een aanbevolen werkwijze beschreven staat voor het bepalen van de kruinhoogte Deze redeneerlijn met bijlagen kan

gebruikt worden door de projecten in afstemming met de begeleidingsteams waarmee er meer eenduidigheid in de aanpak ontstaat bij het bepalen van de benodigde de kruinhoogte in HWBP projecten.

Aanpak

De wettelijke veiligheidsnormen (overstromingskansbenadering) stellen geen directe eisen aan de hoogte van de kering. De kruinhoogte is (naast geometrie rivierzijde, ruwheid voorland & optredende waterstanden en golven) bepalend voor de hoeveelheid water die (per tijdseenheid) over een kering heen kan stromen, het overslagdebiet. Een groot debiet kan direct of indirect leiden tot een overstroming. Dat is mede afhankelijk van de duur van optreden van het debiet. De manieren waarop overslag kan leiden tot een overstroming is toegelicht in bijlage 1 bij deze redeneerlijn.

Eén van de manieren waarop overslag kan leiden tot falen van de kering is door het eroderen van de bekleding op de kruin en het binnentalud. Bij elk project met een mogelijke hoogte opgave moet met een probabilistische analyse worden vastgesteld in hoeverre er sprake is van een hoogteopgave. Bij deze analyse wordt gekeken naar:

- de optredende belasting
- de sterkte van de bekleding
- hoe de bekleding gedurende de tijd schade ondervindt van de belasting op kruin en binnentalud

De uitkomsten van de analyse moeten worden meegenomen in het project bij het bepalen van de versterkingsopgave. Dat betekent niet dat de probabilistische analyse altijd moet worden verwerkt in het ontwerp, maar wel dat hierover een weloverwogen besluit moet worden genomen waarbij doelmatigheid van de versterking een belangrijk criterium is.

Doelmatigheid is niet het enige criterium. Project- en fase afhankelijk zijn ook andere criteria relevant. Omdat er geen standaard afwegingskader te maken is, is het verstandig de afweging af te stemmen met het begeleidingsteam van het HWBP en het Adviesteam Dijkontwerp .

In bijlage 2 is een aanbevolen werkwijze beschreven voor het bepalen van de kruinhoogte. Uiteraard mogen projecten een andere benadering toepassen, als de doelmatigheid van de versterking maar afdoende wordt onderbouwd.

Wanneer het vanuit praktische overwegingen lastig is om de kruinhoogte probabilistisch te ontwerpen , kunnen de resultaten uit de probabilistische analyse worden gebruikt om een passend vast overslagdebiet te kiezen voor het ontwerp van de dijkversterking. Binnen projecten kan het, vanuit het oogpunt van doelmatigheid, nodig zijn voor verschillende strekkingen, afhankelijk van de kenmerken van de strekking, verschillende overslagdebieten te hanteren.

Tot slot

Wij vragen aandacht voor adaptief versterken en het onderbouwen van versterkingsmaatregelen met een LCC benadering. Het is belangrijk zo vroeg mogelijk te onderzoeken of verhogingen kunnen worden voorkomen of uitgesteld en onderdelen van het dwarsprofiel ongemoeid kunnen worden gelaten. Als kan worden aangetoond dat een dijk nog een aantal decennia hoog genoeg is wordt in een project vanuit een ander vertrekpunt toegewerkt naar een voorkeursalternatief. Dat kan leiden tot beperktere ingrepen (en lagere investeringen over de levensduur).

Vragen?

Voor vragen over de toepassing van deze redeneerlijn en bijbehorende bijlagen in uw project verwijzen we u naar uw HWBP begeleidingsteam.

Voor algemene vragen over de redeneerlijn kunt u terecht bij:

Han Knoeff: 088 - 533 572 44 / han.knoeff@deltares.nl

Joost Frakking: 06 - 251 797 49 / joost.frakking@rws.nl

Bijlagen:

- I. Overslagdebiet en overstroming (waterveiligheid), 25-11-2019
- II. Werkwijze bepaling kruinhoogte en versterkingsopgave, 25-11-2019

Bijlage 1 Overslagdebiet en overstroming (waterveiligheid)

Opgesteld door: Han Knoeff, Joost Frakking

Gereviewd door: Alfons Smale en Ruben Jongejan (KPR), Philippe Schoonen, Kenrick Hein, Mathijs Bos, Cor Bisschop en Marten Hoeksema (HWBP community Techniek)

Datum: 25-11-2019

De kruinhoogte is (naast geometrie rivierzijde, ruwheid voorland & waterstanden en golven) bepalend voor het debiet dat over een kering heen kan stromen. Een groot (overslag)debiet kan (1) direct of (2) indirect leiden tot een overstroming.

1. Een groot overslagdebiet leidt tot waterbezwaar achter de kering welke in extreme situaties de kenmerken heeft van een overstroming. Omdat de schade bij overslag of overloop vaak kleiner is dan bij een dijkdoorbraak kunnen de eisen voor waterbezwaar veelal minder streng zijn. Het (toelaatbaar) waterbezwaar kan worden omgezet in een toelaatbaar totaal overslagdebiet dat gedurende een maatgevende gebeurtenis (veelal een hoog water gecombineerd met een storm) over de dijk slaat. Het ontwerp en beoordelingsinstrumentarium geeft hier geen handvatten voor. Over waterbezwaar en overstroming is door het KPR een memo 'Hoe om te gaan met waterbezwaar als gevolg van hoge overslagdebieten?' [bron 2] opgesteld. Deze memo kan worden gebruikt bij het bepalen van eisen aan overslagdebiet door waterbezwaar.
2. Een groot overslagdebiet kan ook een ander mechanisme initiëren, welke kan leiden tot een dijkdoorbraak. In het BOI wordt onderscheid gemaakt tussen de mechanismen:
 - a. Gras Erosie van Kruin en Binnentalud (GEKB). Het water dat over kruin en binnentalud stroomt kan de bekleding (grasmat) eroderen. De erosie hangt af van de duur van de belasting, het overslagvolume en de kwaliteit van de grasmat. Om voldoende veiligheid tegen erosie van kruin en binnentalud te garanderen werd in het verleden een vast overslagdebiet gehanteerd. De rekenwaarde van het overslagdebiet uit het OI heeft dan ook een benaderende relatie met de overstromingskans en is voor de meeste situaties conservatief. Met een probabilistische analyse zoals beschreven in het KPR advies 'Ontwerpen met kansverdelingen voor kritieke overslagdebieten' [bron 1] kan de overstromingskans door erosie van kruin en binnentalud worden bepaald, rekening houdend met de onzekerheid t.a.v. de eigenschappen van belasting op de kering, de sterkte van de grasmat en de aanwezigheid van overgangen (zoals geometrische overgangen en overgangen bij niet waterkerende objecten). In het ontwerp kunnen overigens ook maatregelen genomen worden om de grasmat en/of overgangen sterker te maken in plaats van een verhoging van de kruin. Dat kan in sommige gevallen doelmatiger zijn.
 - b. Macroinstabiliteit (STBI). Een deel van het water dat over kruin en binnentalud stroomt, infiltreert (deels) in het grondlichaam waardoor de grondwaterstand stijgt en stabiliteit van het grondlichaam afneemt. Deze situatie wordt beschouwd in de semi probabilistische analyse binnenwaartse macrostabiliteit zoals beschreven in de KPR factsheet 'werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag OI2014v4' [bron 3]. Daarbij wordt de kans op significante overslag (leidend tot significante infiltratie en significante verhoging van de freatische lijn) verdisconteerd in de te hanteren veiligheidsfactor voor STBI, behorende bij een situatie met een door overslag verhoogde freatische lijn. Het is ook mogelijk om de situatie met significante overslag en infiltratie direct in een probabilistische stabiliteitsanalyse te modeleren. Verder wordt opgemerkt dat ook in het ontwerp maatregelen kunnen worden genomen om infiltratie te verminderen (minder doorlatend maken van het binnentalud) of het effect van infiltratie op de freatische lijn te verkleinen (door het draineren van de binnenteen).
 - c. Afschuiving van de binnenbekleding. In sommige gevallen stroomt het water in de kering en leidt vervolgens tot opdrukken en/of afschuiven van de binnenbekleding (voordat een macro instabiliteit optreedt). Deze situatie wordt geverifieerd in de analyse van microstabiliteit (STMI) en gras afschuiven binnentalud (GABI). Het is denkbaar dat in het ontwerp maatregelen getroffen worden om dit mechanisme te voorkomen, anders dan een kruinverhoging.

Overslagdebiet en secundaire functies

De waterkering vervult ook andere functies dan waterveiligheid. Deze functies moeten ook met een bepaalde mate van betrouwbaarheid worden vervuld. De eisen die deze functies stellen aan de waterkering zijn veelal niet maatgevend vergeleken met de waterveiligheidseisen. Een voorstel hoe met deze eisen kan worden omgegaan is beschreven in het POVM memo 'ontwerpkader secundaire functies waterkeringen in relatie tot golfoverslag' [bron 4].

Bijlage 2 Werkwijze bepaling kruinhoogte en versterkingsopgave

Opgesteld door: Han Knoeff, Joost Frakking

Gereviewd door: Alfons Smale en Ruben Jongejan KPR, Philippe Schoonen, Kenrick Hein, Mathijs Bos, Cor Bisschop en Marten Hoeksema
(community Techniek)

Datum: 25-11-2019

Om te komen tot een doelmatige bepaling van de benodigde kruinverhoging kan de volgende werkwijze worden gehanteerd. De ontwerper kan van deze werkwijze afwijken. Natuurlijk geldt dat als er geen hoogteopgave is, geen ontwerphoogte hoeft te worden bepaald.

1. *Bepaal (probabilistisch) de benodigde hoogte van de kering op basis van falen door erosie van kruin en binnentalud (GEKB) voor enkele zichtjaren. Daarbij wordt het voorland zo goed mogelijk (realistisch-werkelijke situatie) geschematiseerd. In [bron 1]¹ is beschreven op welke wijze probabilistisch de kruinhoogte kan worden bepaald. Vergelijk de benodigde hoogte (per zichtjaar) met de te verwachten kruinhoogte (per zichtjaar). Wanneer (net) niet aan hoogte eisen wordt voldaan bevat de KPR factsheet 'Golfcondities bij ontwerpen en toetsen (GEKB en GEBU)' [bron 5] handvatten om de hydraulische belasting scherper te bepalen.*
2. *Bepaal de restlevensduur voor de strekking (qua hoogte op het aspect GEKB) en heroverweg op basis van deze analyse de gekozen uitgangspunten (ten aanzien van planperiode, gehanteerde klimaatverandering, integraliteit van de versterking). In deze stap kan ook verkend worden hoe kansrijk het is om nog niet verdisconteerde belasting beperkende factoren mee te nemen (zoals bestaande begroeiing voorland, invloed van stroming op golven).*
3. *Bepaal de versterkingsopgave vanuit de andere faalmechanismen en breng de kenmerken van de kering in beeld (overgangen, NWO's, aanwezige en te realiseren graskwaliteit).*
4. *Wanneer de huidige hoogte van de kering niet voldoet kan in het ontwerp worden gekozen voor:*
 - Kruinverhoging;
 - aanpassing geometrie en / of ruwheid buitentalud;
 - golf reducerende maatregelen in het voorland of op talud, bijvoorbeeld begroeiing;
 - verhogen erosiebestendigheid van kruin- en binnentalud
5. *Bepaal bij de berekende benodigde hoogte (of aanwezige hoogte indien deze hoger is dan berekend) of voldaan wordt aan de eisen voor macrostabiliteit en afschuiving binnenbekleding. Indien niet wordt voldaan aan de criteria kunnen maatregelen worden genomen om:*
 - De kans op het optreden van een hoog overslag debiet te verkleinen door de kruin te verhogen;
 - De stabiliteit te verhogen door bijvoorbeeld
 - I. aanpassen geometrie (berm, taludverflauwing)
 - II. reduceren waterspanningen of
 - III. toepassen constructie of innovatie.
6. *Bepaal de kans op waterbezwaar bij de berekende hoogte (of aanwezige indien aanwezige hoogte hoger is dan berekend) en bepaal of deze acceptabel is. Indien niet acceptabel kunnen maatregelen worden genomen om:*
 - De kans op een te hoog overslagvolume te reduceren;
 - De gevolgen van waterbezwaar in geval van overslag te reduceren, door het watersysteem aan te passen (bijvoorbeeld door extra pompen);
 - Schade te reduceren (bijvoorbeeld maatregelen in de ruimtelijke ordening (RO) of verwijderen obstakels die leiden tot komvorming).

¹ Bij de najaarsrelease (2019) van het WBI komt een vernieuwde versie van de schematiseringshandleiding Grasbekleding beschikbaar. Deze biedt extra handvatten voor het rekenen aan GEKB. Ook de vernieuwde versie van Riskeer die met de najaarsrelease wordt uitgeleverd maakt het probabilistisch ontwerpen op GEKB eenvoudiger uit te voeren.

7. *Bepaal of wordt voldaan aan eisen vanuit beheer (inspectie).* Een eis kan worden geformuleerd door aan te geven tot wanneer inspectie en calamiteitszorg plaats vindt en onder welke omstandigheden dat mogelijk is. Wanneer niet aan de beheereisen wordt voldaan kan:
- Beheer worden aangepast;
 - Overslagdebiet worden gereduceerd door versterkingsmaatregel (dit is alleen subsidiabel als is aangetoond dat dit leidt tot de laagste maatschappelijke kosten over de levensduur. De doelmatigheid van de eis aan beschikbaarheid voor beheer moet dus zijn aangetoond).
8. *Bepaal of wordt voldaan aan eisen vanuit een verkeersfunctie.* Een eis kan worden geformuleerd door aan te geven tot wanneer de weg begaanbaar moet zijn voor evacuatie, en voor nood- en hulpdiensten. Wanneer niet aan de beschikbaarheidseis wordt voldaan kan:
- De eis worden aangepast;
 - Overslagdebiet worden gereduceerd door versterkingsmaatregel (dit is alleen subsidiabel als is aangetoond dat de beschikbaarheidseis doelmatig is).

Overig

Extra aandacht moet worden besteed aan overgangen van harde naar zachte bekledingen of van harde constructies naar grondlichamen. Met een goede engineering van aansluitconstructies wordt voorkomen dat ze bijdragen aan de overstromingskans. In uitzonderlijke gevallen kan een overgang reden zijn om de hoogte van de kering te verhogen (en het overslagdebiet te reduceren).

Bronnen:

1. Memo, 'Ontwerpen met kansverdelingen voor kritieke overslagdebieten', V1.0, KPR, juni 2019
2. Memo, 'Hoe om te gaan met waterbezwaar als gevolg van hoge overslagdebieten?', V5 (V5 staat in de bestandsnaam op de pdf staat versie 2) , KPR, oktober 2018
3. Factsheet, 'werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag OI2014v4', V2, KPR, maart 2018
4. Memorandum, 'Ontwerpkader secundaire functies waterkeringen In relatie tot golfoverslag', V2, POVM, december 2018
5. Factsheet, 'Golfcondities bij ontwerpen en toetsen (GEKB en GEBU)', V1, KPR, februari 2018