

Memo

Aan
RWS WVL - Marieke Hazelhoff

Datum	Kenmerk	Aantal pagina's
18 september 2017	11200574-007-GEO-0001	8
Van	Doorkiesnummer	E-mail
Han Knoeff	+31(0)88335 7244	han.knoeff@deltares.nl

Onderwerp
Factsheet indirecte mechanismen

1 Wat zijn indirecte mechanismen?

De nieuwe normen voor waterveiligheid zijn eisen op trajectniveau aan de kans op overstromen. Verschillende mechanismen of combinatie van mechanismen kunnen er toe leiden dat een kering zijn waterkerende functie verliest, zodat er een overstroming optreedt. In het WBI2017 is ervoor gekozen onderscheid te maken tussen directe en indirecte mechanismen. Als een direct mechanisme optreedt, leidt dit meteen tot een bres dan wel overstroming. Indirecte mechanismen veroorzaken niet direct een bres dan wel overstroming, maar leiden tot verzwarende omstandigheden, waardoor de kans dat een direct mechanisme optreedt toeneemt.

De indirecte mechanismen die in het WBI2017 worden onderscheiden zijn:

- het bezwijken van havendammen en voorlanden (golfafslag, afschuiving voorland en zettingsvloeiing), en
- het bezwijken van Niet Waterkerende Objecten (NWO's: begroeiing, gebouwen, leidingen, ...).

Buitenwaartse macro instabiliteit kan ook als indirect mechanisme worden gezien maar is in het WBI 2017 nog niet zo uitgewerkt¹.

Het onderscheid tussen een direct en een indirect faalmechanisme is niet altijd makkelijk te maken. Zo kan een zettingsvloeiing als een mogelijke verzwarende omstandigheid (indirect mechanisme) voor piping worden beschouwd, maar kan "piping na een zettingsvloeiing" ook als een (samengesteld) direct mechanisme worden opgevat.

2 Scenario's

Voor de beoordeling in het WBI wordt de toelaatbare kans op een overstroming in de gedetailleerde toets per vak met behulp van een faalkansbegroting verdeeld over de verschillende faalmechanismen. Een eis op doorsnedeniveau wordt verkregen door daarna

¹ Het WBI 2017 volgt voor het toetspoor buitenwaartse macrostabiliteit nog de oude filosofie waarbij de eis op doorsnedeniveau wordt afgeleid uit de eis voor binnenwaartse macrostabiliteit.

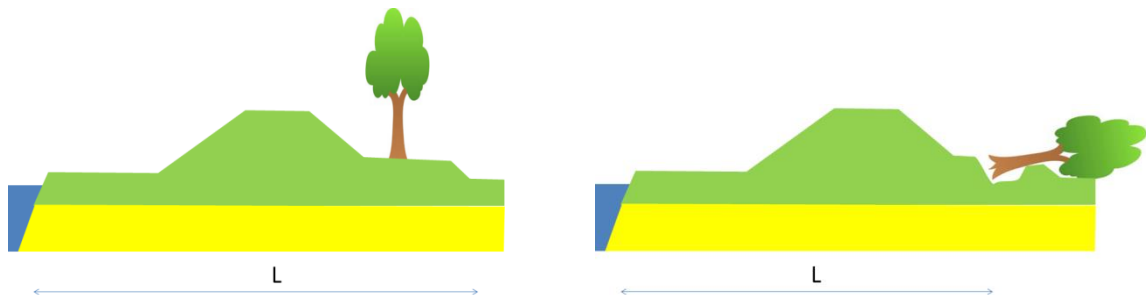
een lengte effectfactor in rekening te brengen. De eisen op doorsnedeniveau worden in het ontwerpinstrumentarium gebruikt als ontwerpeisen.²

In de faalkansbegroting is ruimte gereserveerd voor de faalmechanismen gras erosie kruin en binnentalud (overslag of hoogte), macro-instabiliteit, piping, duinafslag, falen van kunstwerken / puntconstructies en falen van bekledingen op het buitentalud. Daarnaast is een post overig opgenomen. De post overig is gereserveerd voor faalkansbijdragen die onbekend zijn of niet kunnen worden gekwantificeerd.

Voor de indirecte mechanismen uit het WBI2017 is geen faalkansruimte gereserveerd, omdat deze met scenario's als verzwarende omstandigheden worden meegenomen bij de beoordeling van de faalmechanismen.

Voorbeeld rij bomen op het binnentalud

Op de binnenberm van een waterkering staat een rij bomen. Wanneer deze bomen omwaaien verandert de geometrie. Er ontstaat een kuil aan de binnenteen waardoor de kwelweglengte (L) kleiner wordt en de kans op piping groter wordt. Dit is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.



Stel:

- De kans op piping zonder omwaaien is 1×10^{-8} per jaar
- Bij omwaaien van de boom wordt de kans op piping een factor 10 groter. De kans op piping bij omwaaien van de boom wordt berekend met een kortere kwelweglengte.
- De kans op omwaaien is 1×10^{-3} per jaar
- Er is geen correlatie tussen waterstand en wind.

De overstromingskans door piping van de doorsnede bedraagt:

$$P_{piping, drsn} = P_{boom\ waait\ om} P_{piping\ | \ omgevaaide\ boom} + (1 - P_{boom\ waait\ om}) P_{piping\ met\ boom}$$

$$P_{piping, drsn} = 1,1E - 8$$

De doorsnedekans op overstroming door piping kan worden vergeleken met een eis op doorsnedeniveau. Door het omvallen van de boom verandert ook de kans op een binnenwaartse macrostabiliteit. De overstromingskans door macrostabiliteit kan op een vergelijkbare manier worden bepaald. De doorsnedekansen van de verschillende mechanismen kunnen worden gecombineerd tot een overstromingskans van het traject³.

De werkwijze is hiermee vergelijkbaar met de wijze waarop bij de beoordeling van piping en macrostabiliteit met ondergrondscenario's wordt rekening gehouden.

² Het toepassen van een faalkansverdeling en in rekening brengen van een lengte-effectfactor leidt tot 'veilige' ontwerpeisen. In de praktijk zullen niet alle doorsneden voor alle mechanismen exact aan de ontwerpeisen voldoen.

³ De correlatie tussen directe mechanismen wordt door het optreden van indirecte mechanisme groter. In de textbox wordt de correlatie verwaarloosd (conservatief uitgangspunt).

3 Beoordeling van indirecte mechanismen in het WBI

Het is niet altijd nodig om indirecte mechanismen te beoordelen via scenario's bij faal mechanismen. Indirecte mechanismen kunnen vaak ook los worden beoordeeld worden. Een scenario-analyse is niet nodig als:

- de kans op de verzwarende omstandigheid kleiner is dan de toelaatbare kans op het falen van de dijk. Wanneer bijvoorbeeld op basis van dimensies van een boom of modelberekeningen kan worden gesteld dat de kans op omwaaien verwaarloosbaar klein is, draagt deze niet bij aan de overstromingskans. Verwaarloosbaar is het WBI gedefinieerd als kleiner dan 1% van de norm.
- de faalkans van de kering niet wordt beïnvloed door het optreden van het indirecte mechanisme. Wanneer de kans op omwaaien significant is maar de boom staat buiten de invloedzone⁴ van de dijk is het ook niet nodig de boom als Niet Waterkerend Object te beoordelen.

In het WBI zijn de volgende regels opgenomen om indirecte mechanismen los te beoordelen:

- In de eenvoudige toets zijn beslisregels opgenomen waarmee kan worden aangetoond dat een indirect mechanisme niet significant bijdraagt aan de overstromingskans. Het betreft zowel regels die betrekking hebben op de kans van optreden van het indirecte mechanisme (verwaarloosbaar klein) of de invloed van het indirecte mechanisme op de faalkans van de kering (ook verwaarloosbaar klein). De beslisregels in de eenvoudige toets zijn grotendeels overgenomen uit het VTV2006 en het niet vastgestelde WTI 2011.
- In de gedetailleerde toets zijn voor een aantal indirecte mechanismen rekenregels gegeven waarmee kan worden aangetoond dat de kans op een verzwarende omstandigheid voldoende klein is (zettingsvloeiing, beoordeling leidingen) of de sterkte na optreden van verzwarende omstandigheid voldoende groot is (zettingsvloeiing, havendammen, afschuiving voorland).
- In de toets op maat wordt de mogelijkheid geboden om met alternatieve methoden aan te tonen dat de kans van optreden verwaarloosbaar klein is. Voor zettingsvloeiing kan dit bijvoorbeeld door het toepassen van geavanceerde rekenmodellen zoals SLIQ2D of HMBreach, beide geïmplementeerd in D- FlowSlide.
- Het is ook mogelijk om met een toets op maat aan te tonen dat het optreden van een indirect mechanisme slechts een verwaarloosbare invloed heeft op de overstromingskans. Op basis van expert judgement in combinatie met een enkele gevoeligheidsberekening kan snel een gevoel worden gekregen of een scenario-analyse nodig is. Een raamwerk waarmee de invloed op het directe mechanisme kan worden beoordeeld is in de bijlage gegeven.

⁴ De invloedzone wordt begrensd door de uiterste lijn op het maaiveld waarvoor geldt dat als aan de dijkzijde van die lijn het maaiveld wordt verstoord de veiligheid van de waterkering onder de vereiste veiligheid zakt, gelet op alle directe faalmechanismen

Wanneer het niet mogelijk is om aan te tonen dat de invloed van het indirecte mechanisme op de overstromingskans verwaarloosbaar is kan in de toets op maat de invloed van het indirecte mechanisme op de overstromingskans door middel van scenario's worden bepaald. Voor de beoordeling van niet waterkerende objecten in duinen is een aparte handreiking opgesteld.

Bij een beoordeling met scenario's wordt het restprofiel na optreden van een indirect mechanisme als stochastische variabele (scenario) in de beoordeling van directe faalmechanismen meegenomen⁵.

Wanneer meerdere indirecte mechanismen kunnen optreden neemt het aantal mogelijke scenario's sterk toe. Het is dan belangrijk om van grof naar fijn te werken.

Handreikingen zijn:

- CUR (1997) Kansen in de Civiele Techniek, deel 1, paragraaf 5.6.3 en 5.6.4 en in de ISO (2015) general principles on reliability for structures stage 40.20 van de international organisation for standardisation. Deze publicaties zijn bij de primaire waterkeringen in Groningen gebruikt voor het beoordelen van de overstromingskans gegeven de kans dat een aardbeving optreedt.
- In de POV voorlanden worden handreikingen ontwikkeld.

Het is vaak niet nodig om een indirect mechanisme te beoordelen wanneer de kering ook zonder deze mechanismen al niet voldoet. Wanneer directe mechanismen in toetslaag 2a niet aan eisen op vakniveau voldoen, hoeft de bijdrage van indirecte mechanismen niet te worden beoordeeld, tenzij deze naar verwachting leidt tot een andere oordeelcategorie.

4 Gebruik van Riskeer

Op dit moment wordt de beoordeling van indirecte mechanismen met scenario's niet expliciet ondersteund door de software. Voor de beoordeling van macrostabiliteit en piping kunnen in Riskeer wel scenario's met afwijkende geometrieën worden aangemaakt. Dit kan als volgt:

1. Kopieer alle ondergrondscenario's
2. Wijzig de geometrie van de gekopieerde schematisaties
3. Pas de percentages van scenario's zodanig aan dat deze weer op 100% sluiten

⁵. Bij beoordeling van niet waterkerende objecten ontstaat wel of niet een verstoringskuil, de omvang zal altijd ongeveer hetzelfde zijn. Het werken met scenario's ligt hier voor de hand. Bij beoordeling van zettingsvloeiing is het verstoringsprofiel een stochastische variabele met gemiddelde en standaardafwijking. Alternatief is om het verstoringsprofiel hier als stochastische variabele mee te nemen.

Illustratie kopiëren ondergrondscenario's en toekennen kans van voorkomen

- er zijn ondergrondscenario's
 - scenario A met kans van voorkomen van 20%
 - scenario B met kans van voorkomen van 30%
 - scenario B met kans van voorkomen van 50%
- en na optreden indirect mechanisme ontstaat een twee geometrie scenario:
 - scenario I zonder optreden van het indirecte mechanisme
 - scenario II na optreden indirect mechanisme (kans 10%) met respectievelijk
- De ondergrond- en geometriescenario's worden gekopieerd. 6 scenario's ontstaan:
 - scenario AI met kans van voorkomen van 18%
 - scenario BI met kans van voorkomen van 27%
 - scenario CI met kans van voorkomen van 45%
 - scenario AII met kans van voorkomen van 2%
 - scenario BII met kans van voorkomen van 3%
 - scenario CII met kans van voorkomen van 5%

Voor de beoordeling van de overige toetsporen moeten de berekeningen buiten Riskeer worden uitgevoerd en het resultaat als toets op maat worden ingevoerd bij de directe mechanismen. In het logboek en het comment veld in Riskeer kan dan worden vermeld dat het eindoordeel van het directe mechanisme wordt bepaald door de bijdrage van het indirecte mechanisme.

Bijlage 1: Eenvoudig rekenmodel om te bepalen of een indirect mechanisme bijdraagt aan de overstromingskans

Er is in het WBI geen faalkansruimte gereserveerd voor overstroming ten gevolge van schade aan de waterkering die wordt veroorzaakt door het indirecte mechanisme. Wanneer het indirecte mechanisme een verwaarloosbaar bijdrage levert aan de overstromingskans hoeft bij de beoordeling geen rekening te worden gehouden met het indirecte mechanisme. Of de bijdrage verwaarloosbaar is hangt af van:

- De kans van optreden van het indirecte mechanisme
- De schade als gevolg van het indirecte mechanisme
- De toename van de kans dat direct mechanisme vervolgens tot overstroming leidt. Deze is afhankelijk van:
 - De kans op het directe mechanisme
 - De kans op herstel van de schade ten gevolge van het indirecte mechanisme. De kans op herstel is afhankelijk van:
 - Kwaliteit en frequentie van inspectie
 - Hersteltijd na waarnemen van schade

Het volgende model kan in de toets op maat worden gebruikt om te bepalen of een indirect mechanisme als scenario moet worden meegenomen.

Overstromingskans door optreden indirect mechanisme

De faalfrequentie van de kering door indirecte mechanismen kan als volgt worden beschreven:

$$f = f_s * P_{f|s}$$

met:

- f = faalfrequentie van de kering door optreden van een direct mechanisme tgv indirect mechanisme. Deze wordt bepaald voor alle directe mechanismen waar het indirecte mechanisme invloed op heeft (f is verwaarloosbaar wanneer $f < 0,01 * P_{eis}$; mechanisme,doorsnede)
- f_s = frequentie van optreden van (initiële) schade door indirect mechanisme
- $P_{f|s}$ = kans dat de kering door het directe mechanisme, gegeven initiële schade (NB: formeel moet dit zijn: kans op doorbraak door het directe mechanisme die een direct gevolg is van optreden van indirect mechanisme. De kans op een doorbraak van een beschadigde kering als gevolg van een gebeurtenis die bij een onbeschadigde kering ook tot doorbraak geleid zou hebben moet hier uit "weggefilterd" worden)

$P_{f|s}$ is de kans dat, *in geval van initiële schade aan de kering door het indirecte mechanisme*, hydraulische belastingen optreden die leiden tot falen van de kering. $P_{f|s}$ is afhankelijk van:

- de tijdsduur, D_h , (in maanden) tussen optreden van indirect mechanisme en volledig herstel
- de kans *per maand*, P_{qt} , dat hydraulische belastingen optreden die leiden tot falen van de kering, *in geval van schade aan de kering door optreden indirect mechanisme*.

De relatie tussen deze grootheden is als volgt:

$$P_{f|s} = 1 - (1 - P_{qt})^{D_h}$$

Voor het moment nemen we aan dat P_{qt} onafhankelijk is van de omvang van de initiële schade. Voor P_{qt} dient een aanname te worden gedaan. Wanneer blijkt dat dit een parameter is die de uitkomst beïnvloedt kan in een later stadium deze kans afgeleid worden op basis van:

- kansen op optreden/overschrijden van verschillende niveaus van hydraulische belastingen (per maand);
- omvang van de initiële schade door indirecte mechanisme;
- sterkte kering, gegeven initiële schade.

De waarde van $P_{f|s}$ wordt bepaald door alle mogelijke uitkomsten van duur D_h te beschouwen en daar over te integreren. In dit rekenmodel gebruiken we een alternatieve rekenmethode waarin de verwachtingswaarde van D_h wordt berekend. Deze is afhankelijk van:

- D_i = duur tussen twee inspecties
- D_{si} = duur tussen optreden van schade door indirect mechanisme en de eerstvolgende inspectie
- D_{hs} = hersteltijd na waarneming schade
- D_{ih} = duur tussen de inspectie en volledig herstel
- P_a = kans dat schade niet wordt opgemerkt tijdens één inspectie
- P_b = kans dat schade wel wordt opgemerkt tijdens één inspectie ($P_b = 1 - P_a$)

Voor de te berekenen duur D_h geldt:

$$D_h = D_{si} + D_{ih}$$

De *verwachtingswaarde* van tijdsduur D_h , is daarmee gelijk aan:

$$E[D_h] = E[D_{si}] + E[D_{ih}].$$

De verwachtingswaarde $E[D_{si}]$ is gelijk aan de helft van de gemiddelde duur tussen 2 inspecties:

$$E[D_{si}] = 0.5 * D_i$$

Nu moeten we dus nog de verwachtingswaarde van D_{ih} afleiden. We definiëren eerst een nieuwe term X als volgt:

$$X = D_{ih} - D_{hs} \Rightarrow D_{ih} = D_{hs} + X$$

X is de tijdsduur tussen het moment van de eerstvolgende inspectie en het moment van waarneming van de schade. Er is een kans P_b dat de schade gelijk bij de eerste inspectie wordt waargenomen. In dat geval is X gelijk aan 0. Echter, er is ook een kans P_a dat de schade niet wordt waargenomen en dan moeten we wachten tot de volgende inspectie op een nieuwe kans van waarneming. Die volgende inspectie vindt D_i maanden later plaats. Er is dan in feite sprake van D_i "verloren maanden".

Samenvattend:

- er is een kans P_b dat $X=0$
- er is een kans P_a dat $E[X]$ toeneemt met D_i maanden in vergelijking met de startsituatie

In formule:

$$E[X] = P_b * 0 + P_a (D_i + E[X])$$

Daaruit volgt:

$$E[X] - P_a E[X] = P_a D_i \Rightarrow (1 - P_a) E[X] = P_a D_i \Rightarrow E[X] = \frac{P_a D_i}{1 - P_a} = \frac{P_a D_i}{P_b}$$

En dus geldt:

$$E[D_h] = E[D_{si}] + E[D_{ih}] = E[D_{si}] + D_{hs} + E[X] = 0.5 * D_i + D_{hs} + \frac{P_a D_i}{P_b}$$

Met deze formule kan de verwachtingswaarde van de tijdsduur, D_h , tussen optreden van de schade en volledig herstel berekend worden. Op basis van eerder beschreven formules kunnen dan achtereenvolgens P_{ijs} , en f bepaald worden. De laatstgenoemde term is de geschatte frequentie van doorbreken als gevolg van het optreden van een indirect mechanisme. Wanneer deze kleiner is dan 1% van de kans die berekend wordt zonder optreden van het indirecte mechanisme is deze verwaarloosbaar.

In de toets op maat kan dit rekenmodel worden gebruikt om voor elk direct mechanisme die wordt beïnvloedt door het indirecte mechanisme te onderbouwen of een scenario analyse voor een direct nodig is.