

Het gebruik van numerieke modellen bij de bepaling van overstromingsgebieden

Koen Maeghe¹

1. Inleiding

De Vlaamse waterwegbeheerder maakt vandaag de dag veelvuldig gebruik van numerieke hydrologische en hydraulische modellen voor beleidsvoorbereidende en operationele processen. Zo worden de resultaten van numerieke modellen gebruikt voor de optimalisatie van geplande infrastructuurinterventies, zijn ze een onmiskenbaar hulpmiddel voor het kwantificeren van effecten van geplande maatregelen naar veiligheid, morfologie, grondwater, e.d. en worden ze aangewend om waterstanden te voorspellen met een zichttijd van minimaal 24 u, ... Tenslotte worden numerieke modellen eveneens intens aangewend bij de actualisatie van de waterbeheersingsplannen voor de bevaarbare waterlopen.

2. Beleidskader

De Vlaamse waterlopen veroorzaken geregeld overstromingen, zoals in de winters 1993-1994 en 1994-1995, in september 1998, december 1999, februari 2002, en meest recent nog tijdens de nieuwjaarperiode 2002-2003.

Om de bevolking en de infrastructuur te beschermen tegen overstromingen werden er in het verleden langsheen de bevaarbare waterlopen waterbeheersingsplannen ontwikkeld en uitgevoerd. De meest bekende zijn het Sigmaplan voor de bescherming van het Zeescheldebekken, het Kustverdedigingsplan, het Maasdijkenplan voor de Grensmaas, het Veiligheidsplan voor de IJzer enz. ...

Een nauwkeurige analyse van deze waterbeheersingsplannen leert dat deze veelal gebaseerd zijn op historische hoogwatergebeurtenissen. Het huidige Sigmaplan voor het Zeescheldebekken vormt hierop een uitzondering ; dit waterbeheersingsplan kan beschouwd worden als het verderzetten van het Nederlandse Deltaplan en wenst bijgevolg ook dezelfde veiligheidsgraad te creëren.

De huidige waterbeheersingsplannen omvatten ingrepen die de wateroverlast moet beperken die vandaag zou ontstaan als er zich opnieuw dezelfde meteorologische situatie voordoet als bij historische hoogwaterperiodes. Ten gevolge van de grote ruimtelijke diversiteit van meteorologische fenomenen is in het verleden het ene rivierbekken harder getroffen door wateroverlast dan het andere, en is de huidige veiligheidsgraad in de verschillende rivierbekkens dan ook verschillend en niet op elkaar afgestemd.

Daarom wenst de Vlaamse overheid enerzijds via een actualisatie van de waterbeheersingsplannen van de bevaarbare waterlopen de veiligheidsgraad in de verschillende rivierbekkens beter op elkaar af te stemmen. Deze afstemming wordt daarbij gerealiseerd door het relateren van de investeringen in waterbeheersingsinfrastructuur in elk rivierbekken aan de hierdoor vermeden totale schade en slachtoffers.

Anderzijds is eveneens de globale visie m.b.t. waterbeheer ingrijpend gewijzigd. De mens heeft in het verleden altijd getracht om overstromingen te bedwingen omdat hij zich de schade niet kon of wilde permitteren. De maatregelen die werden genomen om wateroverlast tegen te gaan, gingen meestal in de richting van een snellere waterafvoer, met gevaar voor het ontstaan van grotere problemen stroomafwaarts en tot een vershraling van de leefomgeving. Wijzigingen en ingrepen aan de waterlopen worden tegenwoordig maatschappelijk kritisch bekeken. De Vlaamse overheid wenst dan ook maximaal "mee te werken met de waterloop". Bovendien blijven rivieren en zee grillig en onvoorspelbaar; en zullen hoge waterstanden en afvoeren regelmatig blijven optreden. Er kan bijgevolg altijd een waterstand optreden waarop onze waterkeringen niet zijn berekend, zodat steeds een restrisiko overblijft. Extreme wassen die niet door een waterloop, gewrongen in een eng keurslijf, kunnen worden afgevoerd zullen bijgevolg blijven optreden. Het uitgangspunt wordt dan ook dat schade ten gevolge van overstromingen wordt geminimaliseerd door terug ruimte te scheppen voor de waterloop. De opdracht van de waterbeheerder wordt nu om de onvermijdbare overstromingen dermate onder controle te brengen zodat zij een minimale schade toebrengen.

¹ projectingenieur, afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, administratie Waterwegen en Zeewezen

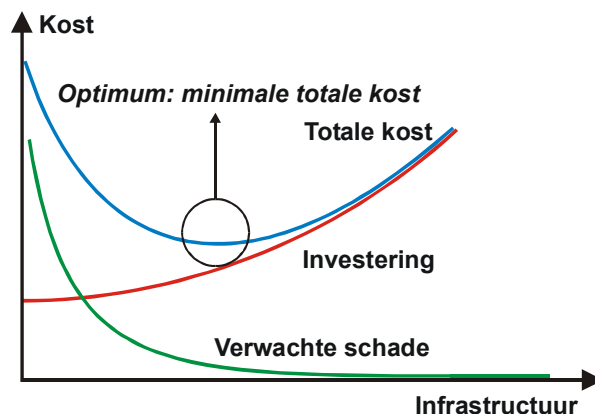
Deze visie wordt duidelijk vertaald in de beleidsbrief Mobiliteit en Openbare Werken 2003-2004 van minister G. Bossuyt, Vlaams minister van Mobiliteit, Openbare Werken en Energie:

"Het huidige waterpeilbeheer kiest niet langer voor bescherming tegen een bepaalde waterstand, maar voor bescherming tegen schade. Op sommige plaatsen is die schade beperkt. In sommige natuurgebieden kunnen overstromingen zelfs positieve effecten hebben. Elders, zoals in dicht bevolkte gebieden, moeten ze absoluut worden vermeden. Overstromingen moeten in de toekomst dus gecontroleerd gebeuren, op plaatsen waar dat verantwoord is. Zo kan een goede verhouding tussen maatschappelijke meerwaarde en kostprijs worden gerealiseerd."

3. Het vertalen van de nieuwe visie m.b.t. waterbeheer naar een onderzoeksprogramma

De nieuwe benadering vereist dat er eerst en vooral inzicht wordt verkregen in de gevolgen van een potentiële overstroming, zoals het mogelijk aantal slachtoffers, de mate van ontredde, de directe en indirecte materiële schade en de vele vormen van immateriële schade. Daar bovenop komen de offers en kosten die de maatschappij moet brengen om waterkeringswerken te realiseren, zoals de kosten van aanleg en onderhoud, maar ook de schade die wordt toegebracht aan waardevolle landschappen en de teloorgang van culturele objecten.

Naarmate de potentiële gevolgen van een overstroming groter zijn, moet bijgevolg de kans op het vóórkomen van deze overstroming dalen. Anderzijds kan waterbeheersinginfrastructuur in gebieden waar de gevolgen van een overstroming minder ernstig zijn, lichter worden gedimensioneerd. Doelstelling is bijgevolg het bepalen van een maatschappelijk en economisch verantwoord optimum, met een evenwicht tussen de kosten, d.i. de bouw- en onderhoudskosten, en baten (vermeden totale schade en slachtoffers) (figuur 1).



Figuur 1 : principeschets van de risicomethode

Het Hydrologisch InformatieCentrum HIC van de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek (AWZ) heeft hiervoor een onderzoeksprogramma opgesteld dat in grote lijnen volgende stappen omvat :

- voor verschillende scenario's
 - het bepalen van alle gebieden die met verschillende terugkeerperiodes T overstromen
 - het bepalen van de totale investerings- en onderhoudskosten van het beschouwde scenario
 - het bepalen van de totale schade en slachtoffers in het overstromingsgebied per beschouwde terugkeerperiode T
 - het bepalen van het totale risico, d.i. de geïntegreerde schade over alle beschouwde terugkeerperiodes
- het bepalen van het economisch en maatschappelijk optimum op basis van een kosten-batenanalyse

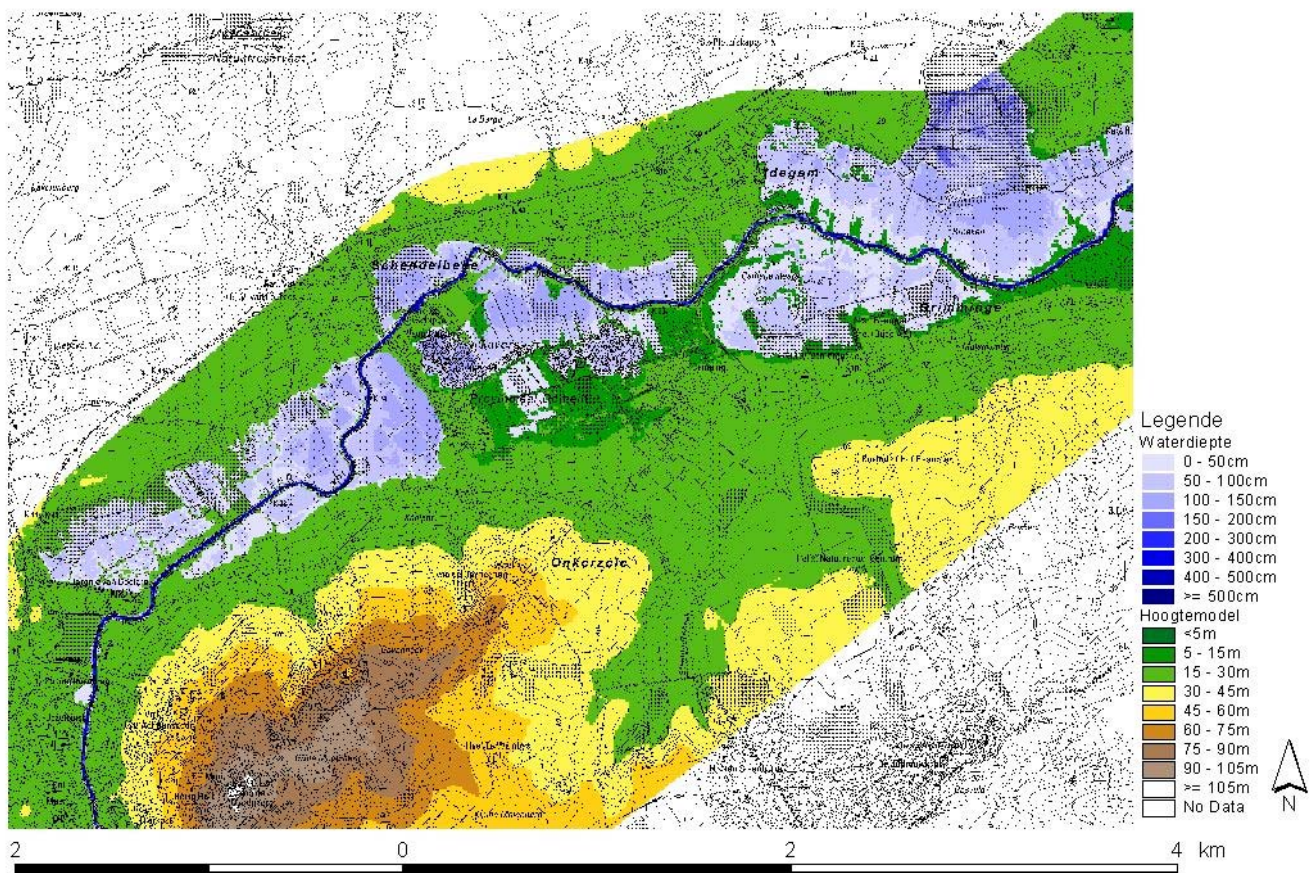
Verderop wordt de methode toegelicht die wordt aangewend voor de bepaling van de overstromingsgebieden met terugkeerperiode T.

4. Definitie van het begrip “overstromingskaart”

Ten gevolge van hevige aanhoudende neerslag en/of het optreden van stormtij kunnen laaggelegen gebieden langsheen de waterloop overstromen. Hierbij kunnen verschillende situaties onderscheiden worden :

- het waterpeil in de waterloop komt hoger dan het kruinpeil van de aanwezige dijk, d.i. overloop
- het optreden van wateroverslag ten gevolge van windgolven
- het falen van de werking van kunstwerken
- het ontstaan van bressen in de waterkering ten gevolge van verschillende grondmechanische faalmechanismen, zoals bvb.
 - erosie van het buitentalud
 - onderloopsheid
 - afschuiving van het binnen- of buitentalud
 - ...
- combinatie van verschillende fenomenen

Voor de actualisatie van de waterbeheersingsplannen voor de Vlaamse bevaarbare waterlopen stelt de administratie Waterwegen en Zeewezen overstromingskaarten op waarbij enerzijds rekening wordt gehouden met de overloop van dijken en anderzijds, zij het vereenvoudigd, met de ontstaan van bressen in de waterkering. Deze overstromingskaarten, horende bij een terugkeerperiode T (figuur 2), bevatten de omhullende van alle locaties die statistisch gemiddeld 1 maal om de T jaar overstromen. Het overstromen van de verschillende locaties binnen deze omhullende afzonderlijk hoeft daarom niet noodzakelijk in dezelfde hoogwatergebeurtenis te gebeuren.



figuur 2 : overstromingskaart opwaarts deel van de Dendervallei – terugkeerperiode T = 10 jaar

Het beschouwen van windgolven bij het bepalen van overstromingskaarten kan van belang zijn langsheen de kuststrook en de oevers van de Beneden-Zeeschelde. Op deze locaties is immers de strijklengte voldoende groot om significante windgolven en golfoverslag te doen ontstaan.

De verdere nota behandelt de methode voor de aflijning van de gebieden die met een terugkeerperiode T overstromen, waarbij “overloop” en “bresvorming” in rekening worden gebracht.

5. Overstromingen ten gevolge van overloop

De administratie Waterwegen en Zeewezen stelt voor alle bevaarbare waterlopen numerieke hydrologische en hydraulische modellen op.

Deze modellen omvatten enerzijds gebiedsgemiddelde conceptuele hydrologische modellen, die het verband uitdrukken tussen de neerslag in een opwaarts rivierbekken en het daaruit resulterend neerslagafstromingsdebiet.

Afstroming van regenwater naar waterlopen kan optreden op drie duidelijk gescheiden manieren: langs de oppervlakte, via de onverzadigde, ondiepe ondergrond en via het grondwater. Regenwater dat op het oppervlak neervalt zal door de poreuze structuur van de ondergrond infiltreren. Aan deze infiltratie komt een einde als de bergingscapaciteit van de ondergrond een verzadigingsgehalte bereikt of door overschrijding van de infiltratiecapaciteit als de grond niet verzadigd is. Hierdoor kan regenwater afstromen langs het oppervlak. Het regenwater dat niet oppervlakkig afstroomt maar in de grond infiltreert kan het afvoersysteem bereiken via de onverzadigde en ondiepe zone of via de verzadigde en diepere zone (het grondwater) van de ondergrond. De relatieve verhouding van deze drie deelstromen hangt af van de eigenschappen van de ondergrond, de topografie en de waterhoogte in de waterloop, en kan eveneens variëren in de tijd.

Gezien de beperkte grootte van de opwaartse rivierbekkens laat AWZ de ruimtelijke variabiliteit van de hierboven kort beschreven atmosferische en hydrologische processen buiten beschouwing. Op een pragmatische wijze beschrijven de gebruikte conceptuele hydrologische modellen de essentie van de hydrologische cyclus, waarbij gebruikt gemaakt wordt van gebiedsgemiddelde waarden.

Het hydraulisch model van de bevaarbare waterloop berekent vervolgens de lokale waterpeilen en debieten in functie van de opwaartse neerslagafstromingsdebieten en de rivierrouting van de waterloop. Hiervoor maakt AWZ gebruik van hydraulische ééndimensionale modellen, waarbij supplementair de overstromingsvlakten, met name het winterbed van de rivier en de aangrenzende binnendijkse laaggelegen gebieden, beschreven worden door een netwerk van bijkomende waterlopen. Zijdelingse overlaten in het netwerk van bijkomende waterlopen beschrijven dan de terreinverhogingen tussen deze depressies enerzijds en de dijken tussen de rivier en de overstromingsvlakte anderzijds. De overstromingsgebieden worden op die manier gediscetiseerd beschreven door een gemaasd netwerk van bijkomende (soms fictieve) waterlopen en zijdelingse overlaten. Door de dwarsdoorsneden van de bijkomende waterlopen identiek te nemen aan deze van de overstromingsvlakten wordt de berging van water in de overstromingsgebieden goed benaderd. Op die manier wordt de beoogde modellering van de uitgestrektheid van potentiële overstromingen bekomen.

Tabel 1 bevat de stand van zaken van de modelleringscampagne van de bevaarbare waterlopen.

| Waterloop | Van ... tot ... | Stand van zaken (01/12/2003) |
|------------------------------|---|--|
| Maas | van Lanaken tot Maaseik | operationeel |
| Zeescheldebekken | vanaf Vlissingen tot Gent (Zeeschelde), Lokeren (Durme), Vilvoorde (Zenne), Wilsele-Wijgmaal (Dijle), Aarschot (Demer), Geel (Grote Nete) en Grobbendonk (Kleine Nete) | operationeel |
| Demer | vanaf Diest tot de monding in Dijle | operationeel |
| Afleidingskanaal van de Leie | vanaf de kruising met het Kanaal Gent-Oostende tot Heist | operationeel |
| Dender | vanaf Overboelare tot de monding in de Zeeschelde | operationeel |
| Leie-Bovenschelde | vanaf Menen (Leie) en Bossuit (Bovenschelde) tot Oostende (Kanaal Gent-Oostende), Terneuzen (Kanaal Gent-Terneuzen) en Melle (Zeeschelde) ; inclusief de koppeling met het model van het Afleidingskanaal van de Leie | in opbouw ; gepland tegen juli 2004 |
| Ijzer | vanaf Roesbrugge tot Nieuwpoort | in opbouw, gepland tegen augustus 2004 |

tabel 1 : Stand van zaken (01/12/2003) van de modelleringen van de bevaarbare waterlopen

De beschikbare tijdreeksen van neerslagintensiteiten worden vervolgens doorgerekend in de hydrologische modellen tot tijdreeksen van neerslagafstromingsdebieten. Vervolgens wordt een statistische analyse op deze neerslagafstromingsdebieten uitgevoerd, om het debiet te bepalen dat overeenkomt met een terugkeerperiode van T.

Er wordt hierbij uitdrukkelijk niet gekozen om de statistische analyse uit te voeren op de gemeten debietmeetreeks zelf, omdat in de meeste gevallen de lengte van de neerslagtijdreeks veel langer is dan deze van de opgemeten debietmeetreeks. Hierdoor is er meer temporele variabiliteit in de berekende reeks van neerslagafstromingsdebieten aanwezig, met een grotere betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de resultaten van de statistische analyse tot gevolg.

Bovendien wordt de statistische analyse evenmin op de neerslagtijdreeks uitgevoerd, omdat de neerslagafstroming de som is van de drie hydrologische deelstromen, en deze deelstromen elk over een eigen responstijd beschikken. Hierdoor wordt het karakter van de neerslagafstromingsdebieten "niet lineair" genoemd, en is de kans van voorkomen van een bepaalde afvoer niet noodzakelijk gelijk aan de deze van de regenbui die aan de basis van dit debiet ligt.

In principe is het hydraulisch proces in de waterloop evenmin lineair. Immers, gezien de instromende neerslagafstromingsdebieten het resultaat zijn van de afwatering van de verschillende opwaartse rivierbekkens, elk met hun eigen karakter in functie van bodemsamenstelling, reliëf, urbanisatiegraad, ... beschikken zij zelf over een eigen karakter, d.i. een eigen reactietijd. Gezien de lokale hydrogrammen in de waterloop bepaald worden door een samenstelling van de opwaartse neerslagafstromingsdebieten en de rivierrouting in de waterloop zelf zijn zij eveneens niet lineair van aard. Het aanleggen van neerslagafstromingsdebieten, elk met een terugkeerperiode T, aan de opwaartse modelranden resulteert bijgevolg niet noodzakelijk in rivierhydrogrammen met dezelfde terugkeerperiode.

De enige oplossing bestaat er dan in om enerzijds de volledige neerslagtijdreeks door te rekenen in de hydrologische modellen tot tijdreeksen van neerslagafstromingsdebieten, en vervolgens deze volledige tijdreeksen aan te leggen in de opwaartse randen van het hydraulisch model om langetijdreeksen van waterpeilen te berekenen. Tenslotte kan een statistische analyse op de hydraulische modeloutput in verschillende modelknooppunten uitgevoerd worden, waaruit de overstromingskaart met terugkeerperiode T kan afgeleid worden. Deze laatste stappen vereisen echter onpraktisch veel reken- en verwerkingstijd. Gelukkig kan in de praktijk het hydraulisch proces bij benadering toch als lineair beschouwd worden, zodat de terugkeerperiode van de aangelegde neerslagafstromingsdebieten gelijk is aan deze van de rivierhydrogrammen.

Het verhaal is daarmee echter nog niet ten einde. Immers, hydrogrammen worden enerzijds bepaald door neerslagafstromingsdebieten en anderzijds door de invloed van de rivierrouting zelf. Deze laatste invloed is verschillende voor verschillende plaatsen langsheen de waterloop. Dit geeft als gevolg dat de grootste uurlijkse neerslagafstromingsdebieten enkel stroomopwaarts tot de grootste rivierdebieten leiden. Meer naar afwaarts zijn het de gemiddelde neerslagafstromingsdebieten over grotere tijdsduren die aanleiding geven tot de grootste rivierdebieten. Bij grote hydrografische bekken kan deze tijdsduur oplopen tot meerdere dagen. Daarom worden voor alle opwaartse modelranden niet enkel de uurlijkse neerslagafstromingsdebieten beschouwd, maar worden eveneens fictieve meetreeksen opgesteld door het berekenen van bewegende gemiddeldes over verschillende tijdsduren. Hierbij worden verschillende discrete tijdsduren tussen 1 uur en de maximale concentratietijd van het volledig rivierbekken beschouwd. Op elke meetreeks wordt vervolgens een statistische analyse uitgevoerd, zodat de terugkeerperiode van het debiet in functie van de tijdsduur waarover het debiet aanhoudt (d.i. het aggregatieniveau) gekend is. Voor elke opwaartse modelrand kunnen vervolgens alle uitgevoerde statistische analyses voor de verschillende beschouwde aggregatieniveaus samen voorgesteld worden in een zogenaamd debiet-duur-frequentiediagram (QDF-diagram). Tenslotte kunnen hieruit per beschouwde terugkeerperiode de afstromingsdebieten voor alle aggregatieniveaus tussen 1 u en de concentratietijd van het rivierbekken afgeleid worden en weergegeven worden in een zogenaamd compositiethydrogram. Het aan alle opwaartse modelranden aanleggen van compositiethydrogrammen met een bepaalde terugkeerperiode zal vervolgens in elk rivierpunt hydrogrammen doen ontstaan met een topwaterstand gelijk aan de beschouwde terugkeerperiode. Op deze wijze kan via het doorrekenen van 1 simulatie (vb. het aanleggen van compositiethydrogrammen met een terugkeerperiode T aan alle opwaartse modelranden) de overstromingskaart horende bij deze terugkeerperiode T bepaald worden.

De compositiethydrogrammethode werd ontwikkeld door het Laboratorium voor Hydraulica en is ondermeer gesteund op inzichten verkregen door het toepassen van de IDF (intensiteit-duur-frequentie) methode bij de modellering van rioleringsystemen.

6. Overstromingen ten gevolge van bresvorming in de waterkering

6.1 Inleiding

Het ontstaan van bressen in de waterkering kan geïnitieerd worden door verschillende grondmechanische processen (vb. erosie van het buitentalud, onderloopsheid, afschuiving van het binnen- of buitentalud, ...). In de literatuur zijn verschillende numerieke relaties terug te vinden die de kans van optreden van elk faalmechanisme uitdrukken in functie van een aantal grootheden, zoals bv.

- piping : wet van Bligh en Lane
- erosie talud : wet van Bishop en Fellenius

Het inrekenen van deze faalmechanismen via de hierboven vermelde relaties vergt echter zeer veel gegevens, die in Vlaanderen vandaag veelal niet beschikbaar zijn. Deze gegevens kunnen door uitgebreide meetcampagnes ingewonnen worden. Dit vergt enerzijds de nodige tijd en financiële middelen. Anderzijds tonen diverse voorbeelden van bresvorming uit het recente verleden in binnen- en buitenland aan dat, ongeacht het regulier preventief onderhoud van de waterkeringen, de waterkeringen nooit 100 % betrouwbaar zijn. Het verwaarlozen van bresvorming als faalmechanisme leidt bijgevolg tot een overschatting van de veiligheid tegen overstromingen. Vandaar dat de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, als onderzoeksafdeling van de administratie Waterwegen en Zeewezen, volgende vereenvoudigde en conceptuele methodologie heeft ontwikkeld om bresvorming in te rekenen als faalmechanisme bij het opstellen van overstromingskaarten. De methodologie gaat daarbij uit van beperkte gegevens die momenteel beschikbaar zijn, zonder dat tijdrovende en dure meetcampagnes moeten uitgevoerd worden. Bovendien zal de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek in de nabije toekomst enerzijds methodologisch studiewerk terzake verrichten en anderzijds een lans breken voor het opstarten van grootschalige meetcampagnes naar grondmechanische grootheden om alle faalmechanismen meer gedetailleerd te kunnen inrekenen.

De methode wordt momenteel voor een eerste maal toegepast in het kader van de maatschappelijke kosten-batenanalyse voor het geactualiseerde Sigmaplan. De hier verkregen inzichten zullen vervolgens meegenomen worden in een actualisatie van deze conceptuele methode.

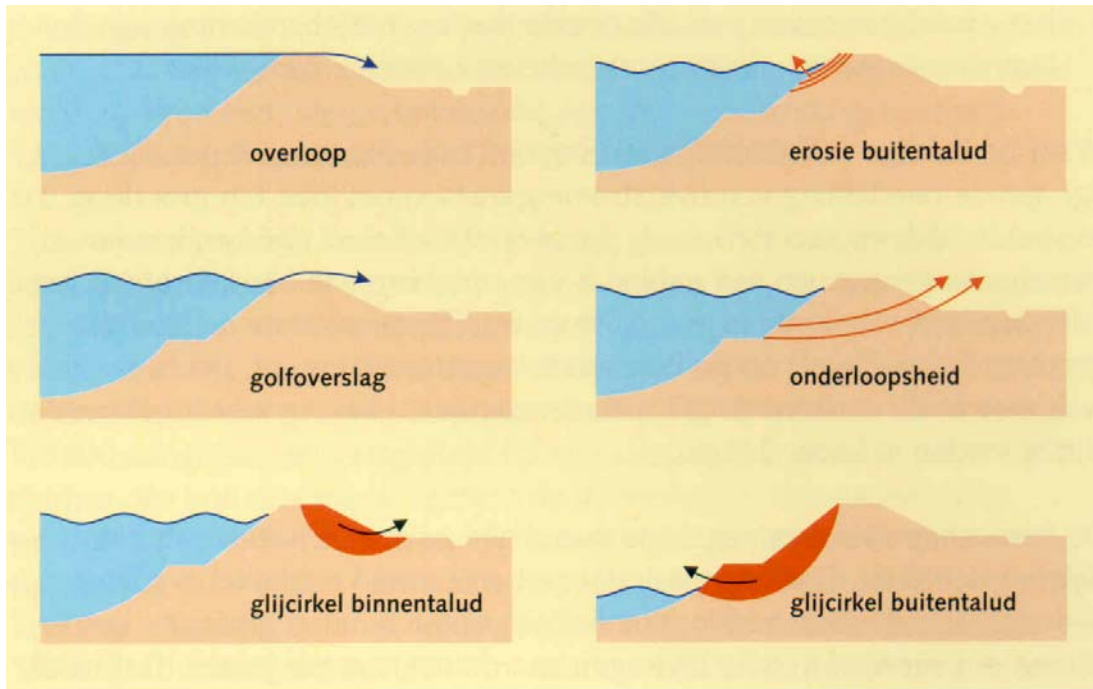
6.2 Methodologie

De methodologie heeft als eerste doel om benaderend alle faalmechanismen in te rekenen, zonder daarbij een exacte beschrijving van de verschillende relevante fysische processen te beogen. De methodologie gaat daarbij uit van een conceptuele aanpak van de problematiek, waarbij wordt verondersteld dat de sterkte van een waterkering kan gerelateerd worden aan een aantal makkelijk te kwantificeren parameters.

De methodologie is gebaseerd op het indelen van de waterkeringen in compartimenten. Aan elk compartiment wordt vervolgens per sterkteparameter een score, d.i. de faalindex per sterkteparameter, toegekend die een maat is voor de relatieve kans dat dit compartiment zal falen. De comparatieve faalindex per compartiment wordt tenslotte bekomen door het sommeren van de verschillende faalindexen per sterkteparameter. Het begrip "relatief" slaat hierbij op het feit dat op deze manier enkel een inschatting kan gemaakt worden van deze compartimenten die vermoedelijk het eerst zullen bezwijken en waar bijgevolg bressen zullen ontstaan.

6.3 Faalmechanismen

Zoals hierboven reeds vermeld kan een waterkering falen ten gevolge van verschillende faalmechanismen. Deze faalmechanismen worden hieronder kort beschreven (figuur 3)



figuur 3 : verschillende faalmechanismen

6.3.1 Erosie van het buitentalud

Door golfaanval en grote stroomsnelheden kan erosie van het buitentalud optreden met dijkdoorbraak tot gevolg. De mate van erosie is sterk afhankelijk van de gebruikte bekleding en de conditie ervan. Harde bekledingen, zoals steen of asfaltbeton, hebben een grotere erosieweerstand dan een al dan niet volgroeide grasmat, dit zeker bij langdurige hoogwaterperiodes waarbij verweking van de grasmat kan ontstaan.

6.3.2 Afschuiven van het buitentalud

Afschuiven van het buitentalud treedt veelal op na een langdurige periode van hoogwater, gevolgd door een snelle daling van het waterpeil. Door de snelle daling van het lokaal waterpeil verdwijnt immers de stabiliserende werking van de hoge waterstand, wat kan leiden tot afschuiving van het buitentalud.

6.3.3 Afschuiven van het binnentalud

Ten gevolge van hoge neerslagintensiteiten kan het afstromen van regenwater van het binnentalud lokaal erosie aan de oppervlakte van het binnentalud doen ontstaan. Dit is vooral het geval bij dijklichamen met een steil binnentalud.

6.3.4 Onderloopsheid, piping, wellen, verweking van het dijklichaam

Deze faalmechanismen beschrijven een verschijnsel waarbij het rivierwater onder het dijklichaam door dringt en in het achterland weer aan het oppervlak komt. Hierdoor kunnen geleidelijk aan watervoerende gangen ontstaan, zodat het water geconcentreerd kan uitstromen, al dan niet met meevoering van het zand van het dijklichaam. De hoeveelheid kwelwater wordt ondermeer bepaald door de grondsamenstelling van het dijklichaam en de dwarsdoorsnede van het dijklichaam.

6.4 Faalindexen per faalmechanisme

Op basis van bovenstaande bondige beschrijving van de verschillende faalmechanismen kunnen volgende globale sterkteparameters beschouwd worden die één of meerdere faalmechanismen beïnvloeden.

- bekleding van de waterkering
- helling van het binnentalud van de waterkering
- kruinbreedte van de waterkering
- ouderdom van de waterkering
- lokale stroomsnelheid aan de teen van de waterkering

6.4.1 Ouderdom van de waterkering

Het uitgangspunt hierbij is dat de kwaliteit van de waterkering degradeert naarmate ze ouder wordt, dit ondanks het regulier onderhoud. Verschillende oorzaken kunnen hiervoor gedetecteerd worden :

- ontstaan van onzichtbare gebreken (mollepijpen, rattenholen,...)
- het slechts gedeeltelijk uitvoeren van regulier onderhoud ten gevolge van beperkte financiële middelen
- ...

Er wordt voorgesteld de ouderdom van de waterkering op te splitsen in decades en per decade een score toe te kennen volgens tabel 2.

| Leeftijd waterkering | Score |
|-----------------------------|--------------|
| < 10 j | 1 |
| 10 j < leeftijd < 20 j | 2 |
| 20 j < leeftijd < 30 j | 3 |
| 30 j < leeftijd < 40 j | 4 |
| leeftijd > 40 j | 5 |

tabel 2

6.4.2 Kruinbreedte van de waterkering

Uitgangspunt hierbij is dat de kruinbreedte van de waterkering, en bijgevolg de dwarssectie van het dijklichaam, voldoende moet zijn om

- allerlei grondmechanische faalmechanismen (piping, afschuiving) te minimaliseren
- elke plaats van de dijk toegankelijk te maken met zwaar materieel (kraan, wagen,...), zodat bij optredende schade tijdens periodes van hoogwater onmiddellijk herstellingswerken kunnen uitgevoerd worden

Daarom worden in de huidige waterbeheersingsplannen voor de bevaarbare waterlopen (Sigmaplan, Maasdijkenplan,...) de dijken aangelegd met bepaalde minimale kruinbreedte. Historische dijken zijn echter veelal minder breed en zijn bijgevolg kwetsbaarder. Er wordt voorgesteld de breedtes van de waterkering op te splitsen en per klasse een score volgens tabel 3 aan toe te kennen.

| Kruinbreedte van de waterkering | Score |
|--|--------------|
| kruinbreedte \geq standaardbreedte | 1 |
| standaardbreedte - 1 m < kruinbreedte < standaardbreedte | 2 |
| standaardbreedte - 2 m < kruinbreedte < standaardbreedte - 1 m | 3 |
| standaardbreedte - 3 m < kruinbreedte < standaardbreedte - 2 m | 4 |
| kruinbreedte < standaardbreedte - 3 m | 5 |

tabel 3

6.4.3 Bekleding van de waterkering

Harde bekledingen, zoals steen of asfaltbeton, hebben een grotere erosieweerstand dan een al of niet volgroeide grasmat, zeker bij langdurige hoogwaterperiodes wanneer verweking van de grasmat kan ontstaan. Er moet daarbij eveneens rekening gehouden worden met het feit dat de overgangzones van harde bekleding naar grasmat of omgekeerd typische zwakke plaatsen zijn in de waterkering en bijgevolg meer gevoelig zijn aan lokale erosie. Op basis van bovenstaande elementen wordt de waterkering opgesplitst naar het type bekleding en per type wordt volgens tabel 4 een score toegekend.

| Bekleding van de waterkering | Score |
|---|--------------|
| kunstmatige waterkering (muur, ...) | 1 |
| harde bekleding (steen, asfaltbeton, ...) | 2 |
| volgroeide grasmat | 3 |
| onvolgroeide grasmat | 4 |
| overgangszone tussen harde bekleding en grasmat | 5 |

tabel 4

6.4.4 Helling van de waterkering

Uitgangspunt hierbij is dat de helling van het binnentalud van de waterkering niet te steil mag zijn om erosie van het binnentalud te vermijden.

Daarom worden in de huidige waterbeheersingsplannen (Sigma-plan, Maasdijkenplan,...) de dijken aangelegd met bepaalde maximale helling van het binnentalud. Historische dijken hebben echter veelal een steiler binnentalud en zijn bijgevolg kwetsbaarder. Er wordt voorgesteld de waterkering in klassen op te splitsen volgens de helling van het binnentalud en per klasse een score volgens tabel 5 aan toe te kennen.

| Helling van de waterkering | Score |
|---|--------------|
| standaardhelling \geq helling | 1 |
| standaardhelling + 10 ° > helling > standaardhelling | 2 |
| standaardhelling + 20 ° > helling > standaardhelling + 10 ° | 3 |
| standaardhelling + 30 ° > helling > standaardhelling + 20 ° | 4 |
| standaardhelling < helling + 30 ° | 5 |

tabel 5

6.4.5 Lokale stroomsnelheid aan de teen van de waterkering

Grote stroomsnelheden, grote veranderingen van de stroomsnelheid en/of de aanwezigheid van golven aan de teen van een waterkering kunnen het buitentalud doen eroderen. Afhankelijk van de relatieve toename van de lokale stroomsnelheid bij hoogwater ten opzichte van de lokale stroomsnelheid bij gemiddeld waterpeil en/of de aanwezigheid van golven wordt de waterkering opgesplitst in klassen en wordt aan elke klasse een score volgens tabel 6 toegekend.

| Lokale stroomsnelheid – golven aan de teen van de waterkering | Score |
|---|--------------|
| relatieve toename stroomsnelheid < 25 % | 1 |
| 25 % < relatieve toename stroomsnelheid < 50 % | 2 |
| relatieve toename stroomsnelheid > 50 % | 3 |
| 25 % < relatieve toename stroomsnelheid < 50 % en aanwezigheid van golven bij hoogwater | 4 |
| relatieve toename stroomsnelheid > 50 % en aanwezigheid van golven bij hoogwater | 5 |

tabel 6

6.5 Comparatieve faalindex voor bezwijken

In 6.4 worden op basis van eenvoudige beschikbare gegevens faalindexen per sterkteparameter gedefinieerd. Vervolgens moet de comparatieve faalindex per compartiment bepaald worden door het sommeren van de individuele faalindexen van de verschillende sterkteparameters.

Indien vervolgens de comparatieve faalindex op een bepaalde locatie hoger is dan een drempelwaarde en in deze locatie treedt eveneens faling op door overloop of golfoverslag, gedefinieerd als deze situatie waarbij het waterpeil hoger stijgt dan “kruinpeil – waakhoogte”, wordt verondersteld dat een bres in de waterkering zal ontstaan. De waakhoogte dient als veiligheid tegen windgolven, lokale zettingen, opstuwning door de stroming

aan de buitenzijde van rivierbochten en door de lokale wind en wordt als niet waterkerend beschouwd. Meestal wordt ze 0.5 m hoog gekozen.

7. Referenties

Bossuyt G., beleidsbrief Mobiliteit en Openbare Werken 2003-2004, Vlaamse Regering, oktober 2003

D'Haeseleer E., Vereecken H., Maeghe K., Onderzoek naar de effecten van het project Levende Grensmaas, model 653, afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, oktober 2002

Maeghe K., Stormvloedbeheersing Zeescheldebekken : verdere tij-indringing op de Zeeschelde, pand Schoonaarde-Gentbrugge - studie van de effectiviteit van de gecontroleerde overstromingsgebieden in de polders van Bornem-Hingene en Vlassenbroek, model 440/6, afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, mei 1996

Maeghe K., Vanneuville W., Bescherming tegen schade vervangt beveiliging tegen hoogwater, afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, VIMatrix april 2003

Maeghe K., Opstellen van een globale overstromingskaart, afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, bestek Sigmaplan : maatschappelijke kosten-batenanalyse, afdeling Zeeschelde, augustus 2003

Mostaert F., Naar een waterpeilbeheer volgens de principes van integraal waterbeheer : toelichting van het plan van aanpak, afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, studiedag het Geactualiseerd Sigmaplan, februari 2001

Terrens I., In welke mate zijn overstromingen af te bakenen en te beheersen, AMINAL afdeling Water, symposium Ruimte voor Water, de beste verzekering tegen wateroverlast, mei 2001

Vaes G., Willems P. & Berlamont J., Onderzoek naar de effecten van compositiehydrogrammen voor de berekening van overstromingsvlaktes met eendimensionale hydraulische modellen”, Laboratorium voor Hydraulica, K.U.Leuven, in opdracht van AWZ, afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, maart 2002

Vaes G., Willems P., Berlamont J., Selectie en compositie van representatieve hydrogrammen voor riviermodellering, Laboratorium voor Hydraulica, K.U.Leuven, tijdschrift Water nr. 1 mei 2002

website Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) (<http://projectvnk.nl>)

Willems P., Vaes G., Berlamont J., Qvick A., Christiaens K., Feyen J., Algemene methodologie voor het simuleren van de waterafvoer in bevaarbare waterlopen in Vlaanderen, Laboratorium voor Hydraulica, K.U.Leuven, in opdracht van AWZ, afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, april 2000