

Probabilistisch model voor het toetsen van regionale keringen

Promotor is een probabilistisch model voor het afleiden van extreme waterstanden en het toetsen van de hoogte van regionale keringen en in het bijzonder boezemkaden. Diverse combinaties van mogelijke gebeurtenissen kunnen leiden tot extreme waterstanden. De neerslag heeft invloed op de waterstand, maar ook wind zorgt voor verhoging van waterstanden én golven. Promotor bepaalt de piekwaterstand, rekening houdend met al de mogelijke combinaties van neerslag en wind. Het is een eenvoudig en gebruiksvriendelijk model dat overeenkomstig de Hydramodelen werkt, zoals deze worden gebruikt voor de primaire waterkeringen. Het gebruik van het systeem, de functies, de rekenregels en achterliggende filosofie zijn vergelijkbaar. De regionale keringen in West-Nederland zijn inmiddels getoetst aan de door de provincie vastgestelde normen.

Promotor is door HKV Lijn in Water, samen met de provincies Noord-en Zuid-Holland en Utrecht, ontwikkeld om extreme waterstanden nauwkeurig te bepalen voor het toetsen van waterkeringen. Opdrachtgever is de Provincie Zuid-Holland. Het programma geeft inzicht in de piekwaterstand en de totstandkoming daarvan op basis van een probabilistische benadering, waarin combinaties van neerslag en wind worden meegenomen. Met een nauwkeurigere inschatting van extreme waterstanden is inzichtelijker te maken of de kering wel of niet voldoende veiligheid voor het achterliggende gebied biedt. Als de kering niet voldoet, blijkt in welke mate deze moet worden verbeterd. Ook kan de kennis van de opbouw van de belasting worden gebruikt om maatregelen te nemen in het watersysteem.

Voor de implementatie bij de waterbeheerder worden gegevens over de kering en het watersysteem ingevoerd. Uit een vergelijking blijkt dat de totale benodigde gegevens voor de toetsing met gebruik van Promotor niet groter is dan zonder. Promotor standaardiseert bovendien het werkproces en voorkomt veel repeterende handelingen.

Hydraulische belastingen voor elk referentieniveau

De hydraulische belasting wordt gebruikt om te beoordelen of de kering voldoet aan het veiligheidsniveau. Hierbij wordt gekeken naar de overloop en overslag. Het 'maatgevende' waterstandsverloop bij de kering is de hydraulische belasting en is op deterministische of probabilistische wijze te bepalen (zie kader). Voor de boezemkaden in West-Nederland wordt onderscheid gemaakt tussen vijf normklassen. Het gaat om overschrijdingsfrequenties van 1/10, 1/30, 1/100, 1/300 en 1/1000 per jaar.

Afhankelijk van ligging en oriëntatie van de kering en het watersysteem heeft de neerslag óf de wind een groter aandeel in de uiteindelijke hydraulische belasting

die hoort bij het veiligheidsniveau van de kering. De optredende boezemwaterstand wordt bepaald op basis van de neerslag en windrichting en -snelheid.

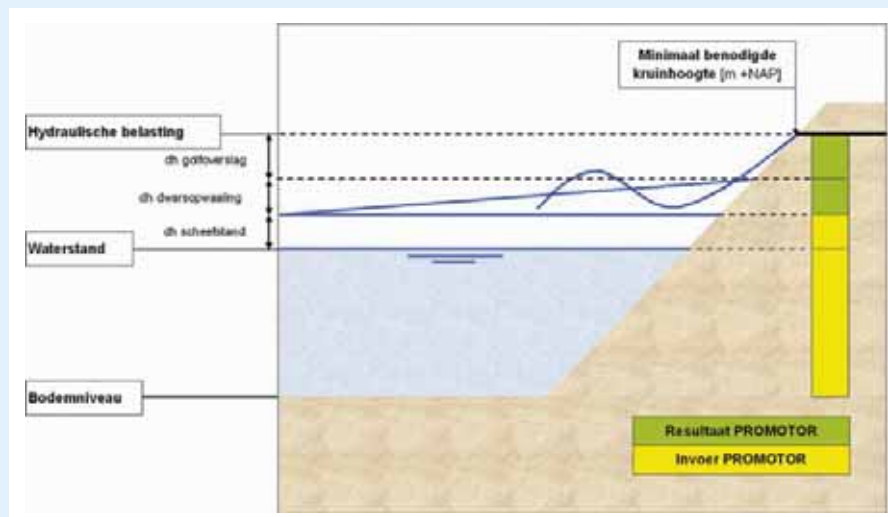
Hierbij wordt gebruik gemaakt van waterstandstatistieken als gevolg van neerslag (zoals bekend bij de waterbeheerder) en windstatistieken (snelheid en richting) afgeleid op basis van metingen bij Schiphol. De belasting van de wind op het watersysteem wordt bepaald met behulp van modelberekeningen, waarbij rekening wordt gehouden met de weerstand van het land. De windinvloed wordt vertaald naar drie belastingen, afhankelijk van snelheid en richting, die alle bijdragen aan de hydraulische belasting op de regionale keringen: langsoopwaaing, dwarsopwaaing en golven. Langsoopwaaing staat voor het waterstandsverschil tussen het bovenwindse en benedenwindse gedeelte van de boezem. Dwarsopwaaing is de lokale waterstandsverhoging door opstuwing van water loodrecht op de waterkering, welke voornamelijk van belang is bij (zeer) brede wateren en meren.

De hoogte van de golven is afhankelijk van onder andere de geometrie van de kering, en de waterdiepte en strijklengte van de wind op het wateroppervlak.

Vergelijking Hoogheemraadschap van Rijnland

De impact op de toetshoogten bij gebruik van de deterministische of de probabilistische methode is voor een aantal locaties onderzocht in 2006. Toen zijn onder andere locaties in de boezem van Rijnland beschouwd. Geselecteerd werd op het onderscheid in dreiging en belasting voor de waterkeringen (golven, langsoopwaaing of boezempeil dominant). Door grote strijklengtes zijn op de Westeinderplassen bijvoorbeeld golven dominant. Voor smalle wateren, zoals Palenstein en Bodegraven, is de langsoopwaaing de verwachte dominante bijdrage. Deze locaties liggen aan de buitenzijde van het boezemsysteem. Op de smallere wateren in het midden van het systeem, zoals de Nieuwe Wetering, werd op voorhand verwacht dat het boezempeil de

Afb. 1: Opbouw van de hydraulische belasting.



Deterministisch of probabilistisch

In het algemeen zijn twee rekenmethoden beschikbaar om de hydraulische belasting te bepalen:

- **deterministische benadering**

In deze benadering wordt vooraf bepaald welke combinatie van wind (richting en snelheid) en neerslag maatgevend is voor de kering. De combinatie kan bestaan uit bijvoorbeeld een extreme wind en een gemiddelde neerslag óf een extreme neerslag en gemiddelde wind. Iedere denkbare combinatie kan op deze wijze worden doorgerekend;

- **probalistische benadering**

In deze benadering wordt een representatieve set van combinaties van belastingen van wind (richting en snelheid) en neerslag doorgerekend. Op basis van de kans van voorkomen van wind en neerslag en de correlatie blijkt per gebeurtenis de hydraulische belasting en de kans van voorkomen hiervan. De maatgevende hydraulische belasting bij de normklasse wordt bepaald op basis van alle mogelijke belastingen. Hieruit blijkt ook in welke mate de verschillende, mogelijke gebeurtenissen bijdragen aan de maatgevende waterstand.

maatgevende bijdrage heeft in de hydraulische belasting.

Per locatie zijn drie combinaties van wind en boezempeil doorgerekend met een deterministische methode en is één berekening gemaakt met de probabilistische methode.

Een conclusie uit het onderzoek is dat bij de deterministische methode het op voorhand vrijwel niet mogelijk is de maatgevende combinatie van neerslag en wind te kiezen. De maatgevende windrichting ligt vaak 22,5 graden naast de richting die bepalend is voor scheefstand. Dit komt doordat de uiteindelijke belasting bestaat uit scheefstand en golven in samenhang met de wind. Een andere conclusie is dat het toepassen van de deterministische methode, gebaseerd op gebruik van wind- en neerslagbelasting, leidt tot overschatting van de hydraulische belasting. Het komen tot een nauwkeurige inschatting met de deterministische methode vereist veel handmatig werk, omdat meerdere gebeurtenissen moeten worden bekeken. In vergelijking met de probabilistische methode is één berekening nodig per waterkering om de maatgevende hydraulische belasting te bepalen. Eenmaal de gegevens op orde kan met Promotor sneller worden gewerkt en meer gestandaardiseerd, wat leidt tot meer nauwkeurigheid en minder handmatig werk.

De benodigde gegevens voor het uitvoeren van de deterministische en de probabilistische methode zijn vrijwel gelijk. Uit het onderzoek blijkt dat ook in de deterministische methode vrijwel alle windrichtingen en snelheden beschouwd moeten worden.

Promotor bepaalt op basis van verschillende druk de hydraulische belasting en levert de kruinhoogtes van de keringen voor de toetsing. Hierbij wordt ook inzichtelijk gemaakt welke combinatie van gebeurtenissen het meest bijdraagt aan de belasting bij normfrequentie van de kering. Ook is het mogelijk om diverse uitsplitsingen te maken. Die geven inzicht in de werking van het systeem (het effect van wind, neerslag, oriëntatie en geometrie van de kering). Het is een grafisch, gebruiksvriendelijk programma, waarin de waterkeringbeheerder zelf de lokale gegevens van de kering invoert. De werking komt overeen met de Hydraprogramma's die worden gebruikt voor het toetsen van primaire keringen.

In het programma is al informatie opgenomen over windstatistiek. Ook worden automatisch op basis van de afmetingen van het water de effectieve strijklengtes bepaald en de dwarsopwaaiing en golven. Door de keringbeheerder in te voeren gegevens zijn onder meer het veiligheidsniveau, de hoogte van de kering

en de bodemhoogte van de boezem. Binnen Promotor is onderscheid te maken tussen een aantal standaardprofielen. Met een standaard gekozen keringprofiel kan de beheerder snel resultaten krijgen. Het is ook mogelijk voor de keringbeheerder de geometrie van de kering goed te schematiseren. Het op te geven profiel en ruwheid kan bestaan uit één of meerdere taluddelen, een steile wand, maar kan ook elementen bevatten als een hoog voorland en een dam.

Inzicht in zwakke plekken

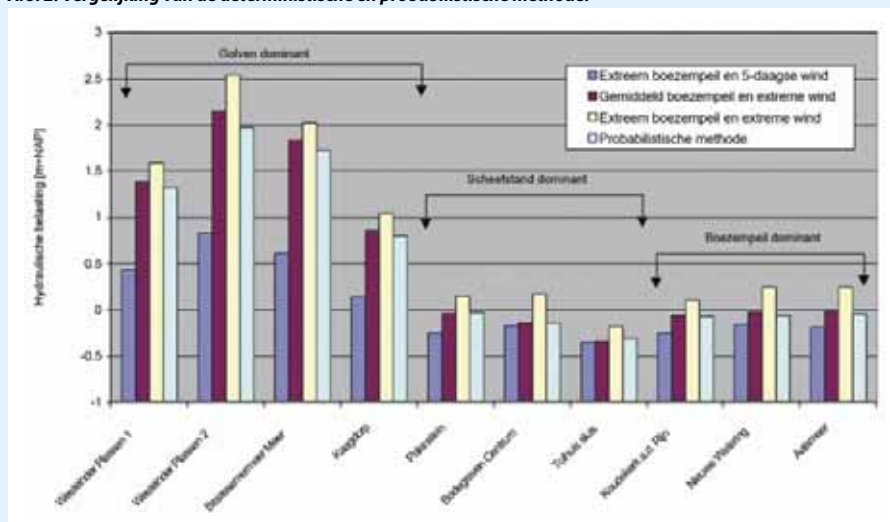
Momenteel is op basis van de toetsingsregels alleen grove kennis aanwezig over het actuele veiligheidsniveau van regionale keringen. Het is voor beheerders ook een grote inspanning de benodigde gegevens te verzamelen. Met beperkte gegevens en eventueel conservatieve aannames voor ontbrekende gegevens kan echter al een oordeel worden geveld over de veiligheid. Op deze manier ontstaat relatief snel een eerste inzicht in de toetshoogtes en zijn sterke en zwakke schakels in het systeem te zien. Een selectie kan worden toegepast voor keringen waarvoor meer gedetailleerde informatie nodig is. Bijvoorbeeld bij onzekerheid over de te hanteren hoeveelheid golfoverslag kan in eerste instantie een geringe toegestane hoeveelheid worden gehanteerd. Als uit een probabilistische of deterministische berekening blijkt dat de kruin ondanks het verwaarloosbare en hiermee strenge overslagcriterium hoog genoeg is, is het niet noodzakelijk meer informatie te vergaren.

De gangbare aanpak bij toetsen van de keringen is om te werken van grof naar fijn. Pas wanneer de kering onvoldoende veiligheid biedt op basis van conservatieve aannames, is het noodzakelijk om meer gedetailleerdere gegevens te verzamelen. Promotor maakt het mogelijk om deze strategie op een snelle en eenduidige manier uit te voeren. Ook ontstaat inzicht in het systeem, zodat eventuele ophoging van de kering ook kan worden vergeleken met aanpassingen aan het watersysteem.

Conclusies

De probabilistische toepassing is voor regionale keringen nieuw, maar voor de primaire waterkeringen is het een bewezen

Afb. 2: Vergelijking van de deterministische en probabilistische methode.





Storm in januari 2007 bij de Westeinderplassen.

techniek. Bovendien leidt de werkwijze niet tot sterke overdimensionering of overschatting van de extreme waterstanden, waardoor het veiligheidsniveau nauwkeurig wordt bepaald. Het aantal benodigde gegevens voor de probabilistische aanpak is niet onderscheidend ten opzichte van een deterministische aanpak. Vanwege de mogelijke winddominantie is het van belang dat de modellen die gebruikt worden voor het bepalen van de windopzet, zijn afgeregeld op deze wind. Indien een keringbeheerder nog niet beschikt over alle invoergegevens, biedt Promotor de mogelijkheid met beperkte data

en gebruik van standaardinvoer inzicht te krijgen in het systeem. Op deze wijze kunnen kadevakken als veilig of als mogelijk kritisch worden beoordeeld.

Het niveau van ontwikkeling van Promotor is 'state-of-the-art'. Gebruik van het programma structureert het werkproces en biedt alle gebruikers eenzelfde structuur. Dit leidt tot uniformiteit en eenduidigheid. Het model is in heel Nederland toepasbaar, waarmee het bijdraagt aan een uniforme landelijke systematiek in het proces van normeren tot beheren van regionale keringen. Promotor is voor alle boezemsystemen in Nederland te

gebruiken en eenvoudig uit te breiden voor toepassing bij andere regionale waterkeringen.

Andries Nederpel en Bas Kolen (HKV Lijn in Water)

Pieter-Jan Hofman en Sandra Fraikin (Provincie Zuid-Holland)