

## **Complexe dijkdoorbraak**

*Meer dan de helft van Nederland zou overstroomd zonder stevige dijken. Na de watersnoodramp in 1953 loopt Nederland voorop met het maken van stevige dijken. Toch blijft het wiskundig moeilijk om de balans tussen de risico's en de kosten voor de dijken in Nederland te optimaliseren.*

De watersnoodramp in 1953 blijft een historisch moment in de Nederlandse geschiedenis. In een nacht liep 165 duizend hectare land, een twintigste deel van Nederland, onder water. Bijna tweeduizend mensen kwamen om, samen met vele dieren. De oogsten mislukten, een ongelooflijk economisch verlies (10% van het GBP) ten gevolge. Het werd direct duidelijk dat de Nederlandse kusten verbeterd moesten worden, met vele dijken, dammen en stormvloedkeringen.

## **Directe maatregelen**

Na deze ramp werden direct maatregelen getroffen. Er werd een Deltacommissie aangesteld om zulke rampen voor altijd te voorkomen. Vele dammen en dijken werden aangelegd, verhoogd en versterkt. Meer dan de helft van het oppervlak van Nederland wordt vandaag de dag beschermd tegen overstromingen door meer dan 3500 kilometer dijken en duinen, achter elkaar geplakt goed voor een retourtje Zuid-Italië. Jaarlijks wordt er meer dan een miljard euro geïnvesteerd, maar dit lijkt nog niet genoeg.

De zeespiegel stijgt. Begin jaren negentig ontsnapte Nederland maar net aan twee overstromingen. Dit brengt jaarlijks meer dan een miljard euro aan kosten met zich mee voor onderhoud en beheer. Er zijn nieuwe oplossingen nodig, en Nederland is daarin niet alleen. De rest van de wereld kijkt over onze schouders mee, want ook in andere landen ligt het risico van overstromingen op de loer. Jaarlijks betreuren we internationaal vele slachtoffers aan overstromingen.

De wetten en regelgeving op het gebied van dijkbescherming zijn inmiddels behoorlijk gedateerd. De regelgeving en modellen zijn ontwikkeld in de jaren zestig, vlak na de watersnoodramp. De tijd heeft zijn werk gedaan: zowel het aantal mensen als de economische waarden in overstroombare gebieden is enorm gestegen. Het overstromingsrisico kan daardoor veel grotere economische gevolgen hebben.

## **Nieuwe urgentie**

Door twee nipte situaties in de jaren negentig, waarbij in 1995 zelfs 200.000 mensen moesten worden geëvacueerd, vraagt de overheid opnieuw aandacht voor de optimalisatie van de Nederlandse dijken. De Deltacommissie werd opnieuw in het leven geroepen en met Prinsjesdag wordt jaarlijks een hernieuwd Deltaplan gepresenteerd. Rijkswaterstaat en het Centraal Planbureau (CPB) werken samen toe naar optimale oplossingen. Dankzij nieuwe kennis en methoden zijn de mogelijkheden voor preciezere kans- en gevolgberekeningen verbeterd. Het CPB maakt hier gebruik van en wil de wiskundige modellen testen en verbeteren.

Hoe hoger een dijk, hoe kleiner de kans op een overstroming. Maar het aanleggen, verhogen en onderhouden van dijken kost veel geld. Al in 1954 publiceerde het CPB een kosten-baten analyse van het plan van Rijkswaterstaat om de waterveiligheid te verhogen. Volgend op dit

'Delta-plan' presenteerde Van Dantzig in 1956 een wiskundig model voor de economische afwegingen rondom overstromingspreventie. Het model combineerde de kosten als functie van dijkhoogte met het risico en bijkomende kosten voor een dijkdoorbraak. Op deze manier bepaalde hij de optimale dijkhoogte.

In de huidige Deltaplannen is Nederland verdeeld in 53 gebieden die omringd zijn door onafgebroken bescherming tegen water. Elk gebied heeft een eigen veiligheidsstandaard, afhankelijk van het aantal inwoners en de economische waarde van het gebied. Zo is de maximaal toegestane overstromingskans in Amsterdam vastgesteld op 1 op 10.000 maar is de toegestane kans voor sommige dunbevolkte gebieden in Gelderland 1 op 1250.

Uit de huidige modellen vormt de kans op overstroming als functie van jaren een zaagtandpatroon. De dijken worden eens per circa dertig jaar opgehoogd, wat de overstromingskans direct verlaagt. Vervolgens nemen de risico's weer toe: de zeespiegel stijgt, de dijken verliezen sterkte en kwaliteit. De kans op een dijkdoorbraak en overstroming neemt langzaam toe terwijl de toegestane kans juist wordt verlaagd door economische groei en toenemende populatie.

### **Speciaal geval**

Het IJsselmeergebied in Nederland is een bijzonder geval. De meeste gebieden in Nederland hebben een enkele dijk of dam tussen water en achterland. Het land wordt beschermd door afgesloten dijkringen. De Afsluitdijk en Houtribdijk vormen beiden geen onderdeel van een gesloten dijkring. Daarbij zijn het IJsselmeer en het Markermeer 'kunstmeren'. Het waterpeil kan worden gereguleerd met behulp van pompen. Hoewel deze dijken geen onderdeel zijn van dijkringen, zijn de overstromingsrisico's in 15 andere dijkringen wél afhankelijk van deze dijken.

Om kosten en baten afhankelijk van de risico's van een dijkdoorbraak voor de Afsluitdijk en de Houtribdijk (IJsselmeerdijken) beter te berekenen heeft het CPB recent een nieuw model gepresenteerd: het Dique-Opt model. Door verschillende overstromingskansen mee te nemen en flexibele modellering van schade en investeringen lijkt dit model een verbetering ten opzichte van eerdere modellen. Daarnaast neemt het model de mogelijkheid van pompen of juist het toelaten van vers water met zich mee.

Tot groot genoegen van de ontwikkelaars van het model van het CPB is dat het model niet alleen heel goed blijkt te werken, maar ook nog eens snel tot een optimale oplossing komt. Toch komen er nog lastige wiskundige vraagstukken bij kijken, zo was het voor de ontwikkelaars nog niet duidelijk wat de wiskundige complexiteit van het nieuwe model is en onder welke omstandigheden het model zo snel mogelijk werkt. Het CPB schakelde een SWI-groep in om deze problemen aan te pakken.

### **Aan de slag**

Een SWI team van zes wiskundigen pakte direct het nieuwste wiskundige model erbij, in 2017 ontwikkeld bij het CPB. Er wordt een set dijksegmenten genomen, met elk een eigen hoogte, plus de hoogte van de IJsselmeerdijken. Het model neemt vervolgens beslissingsvariabelen die iets zeggen over de veiligheidsrisico's en onderhoudskosten van het dijksegment en de IJsselmeerdijken. Verder nemen ze de kosten voor onderhoud van beide soorten mee, net als verwachte schade.

De wiskundigen bekeken allereerst de structuur van het model, ze wilden nagaan of het probleem makkelijk oplosbaar is. 'Dit bleek niet direct te lukken', legt Sander Gribling uit, 'zonder voorwaarden kregen we niet altijd een geheeltallige oplossing.' Dit betekent dat het model niet altijd een eenduidig antwoord: 'verhogen of niet' kan geven.

'Maar als we ervoor kiezen om bepaalde parameters vast te zetten, is het model wél makkelijk op te lossen,' vertelt Sander. Het blijkt dat als het aantal toegestane hoogten, of het aantal toegestane dijksegmenten vastgelegd wordt, het model aantoonbaar binnen afzienbare tijd kan worden opgelost. Dit bevestigt de ervaringen van het CPB. Het model werkte al erg goed, maar de wiskundige verklaring miste nog.

### **Wiskunde in praktijk**

Het grote doel van deze zaak was het beter begrijpen van de wiskundige modellen van het CPB. Dat is gelukt! De modellen werden al gebruikt, het SWI team heeft het CPB geholpen met hun nieuwsgierige vragen. Het team zelf vond het een heel interessante opdracht: 'De samenwerking met het CPB, Rijkswaterstaat en professor Kees Roos maakte de opdracht heel veelzijdig,' zegt Gribling, 'het feit dat een team waarvan professor Roos deel uitmaakte een belangrijke prijs voor zijn onderzoek kreeg benadrukt het belang van dit werk.'

Professor Roos vond het zelf ook erg bijzonder om bij te dragen aan deze opdracht: 'het team heeft veel kunnen doen in een week. Ik ben onder de indruk van de wiskundige stappen die zijn genomen.' Het CPB had al het vermoeden dat de modellen in veel gevallen een goede (geheeltallige) oplossing zou vinden, maar het team wiskundigen heeft meer vorm aan het model gegeven. Ze hebben laten zien dat niet-geheeltallige oplossingen onvermijdelijk zijn, maar dat dit probleem met een paar randvoorwaarden voorkomen kan worden. Roos is onder de indruk van de resultaten van het team: 'dit kun je wel een succes noemen!'