



Mathijs van Ledden, Royal Haskoning
 Mirjam Groot Zwaafink, Royal Haskoning
 Karin de Bruijn, WL|Delft Hydraulics
 Bas Jonkman, TU Delft

Slim compartimenteren biedt perspectief voor New Orleans

Twee jaar geleden zette de orkaan Katrina een groot deel van New Orleans onder water. Sindsdien zijn allerlei plannen ontwikkeld om de stad veiliger te maken. Eén ervan is het opdelen van het stadscentrum in compartimenten door het ophogen van bestaande spoorlijnen en wegen en het gebruikmaken van natuurlijke hogergelegen delen in de stad. Royal Haskoning heeft dit plan geanalyseerd met een overstromings- en schademodel. Op basis van een globale vergelijking van kosten en baten voor het Katrina-scenario verdient het plan verdere uitwerking.



Afb. 1: New Orleans met de locaties van de dijkdoorbraken en de grootte van het overstroomde gebied in het centrale deel van de stad tijdens Katrina. Het kader geeft de omgeving aan van de foto op de volgende pagina.

In augustus 2005 sloeg orkaan Katrina verwoestend toe in New Orleans. Op veel plaatsen brak de waterkering door en binnen korte tijd stond bijna 80 procent van de stad onder water. De overstromingsdiepte in de stad bedroeg op veel plaatsen meer dan drie meter. Vooral het oostelijk deel van de stad werd zwaar getroffen. De beelden van de wijk Lower Ninth Ward met bijna honderd dodelijke slachtoffers zijn de hele wereld overgegaan.

Het heeft weken geduurd voordat de laatste delen van stad weer drooggelegd waren.

De gevolgen van Katrina voor New Orleans zijn enorm groot^{1,2}. Hele woonwijken zijn geruïneerd en ook nu nog is de schade in de overstroomde wijken goed zichtbaar (zie foto). Daarnaast is een groot deel van de waterkeringen beschadigd. De directe schade voor de stad New Orleans is geschat op meer dan 20 miljard dollar. Het precieze

aantal slachtoffers is nog steeds niet helemaal duidelijk. Wel staat vast dat in de overstroomde delen van New Orleans meer dan 600 slachtoffers zijn gevallen, vooral onder oudere mensen³.

Al snel na de ramp rees de vraag: hoe is New Orleans in de toekomst beter te beschermen tegen een dergelijke ramp? Allerelei plannen zijn vervolgens gemaakt voor het versterken en verbeteren van de waterkeringen rondom de stad, het verplaatsen van pompstations en het aanleggen van stormvloedkeringen. De werkgroep Bring New Orleans Back heeft het voorstel gedaan om het centrale deel van New Orleans op te splitsen in kleinere polders om zo de schade bij een eventuele overstroming te beperken⁴. Dit vormde voor Royal Haskoning aanleiding om de effectiviteit van dit plan te bekijken voor de situatie tijdens orkaan Katrina.

Overstromingssimulaties

Om een beeld te krijgen van de overstroming en de schade in het centrale deel van New Orleans tijdens Katrina is een tweedimensionaal hydrodynamisch model gebruikt⁵. Dit model berekent de waterstanden en de stroomsnelheden in het overstroomde gebied in de tijd. De invoergegevens voor deze berekeningen zijn de bodemligging en de ruwheid van het oppervlak. Daarnaast zijn de buitenwaterstanden, de locaties en de karakteristieken van de dijkdoorbraken belangrijke invoergegevens.

Een beperking van de schematische weergave in dit model voor New Orleans is dat het systeem van ontwatering niet



Luchtfoto van New Orleans van afgelopen juni met op de voorgrond het Inner Harbor Navigation Canal. Rechts van dit kanaal ligt de overstromde wijk Lower Ninth Ward.

kanalen en pompen niet is meegenomen. Vanwege de grote hoeveelheid water die in het Katrina-scenario bij de doorbraken naar binnen is gestroomd, mag verwacht worden dat het ontwateringssysteem nauwelijks een rol heeft gespeeld in de uiteindelijke waterstanden, maar wellicht wel in het overstromingsverloop in de tijd⁵⁾. Ook regenval is niet meegenomen, want naar verwachting heeft dit een beperkt effect op de overstroming.

Met het overstromingsmodel zijn berekeningen uitgevoerd voor het Katrina-scenario. Voor de locaties en de karakteristieken van de bressen zijn de gegevens gebruikt uit de IPET-studie¹⁾. Vijf doorbraaklocaties zijn in het model doorberekend voor het centrale deel van New Orleans (zie afbeelding 1):

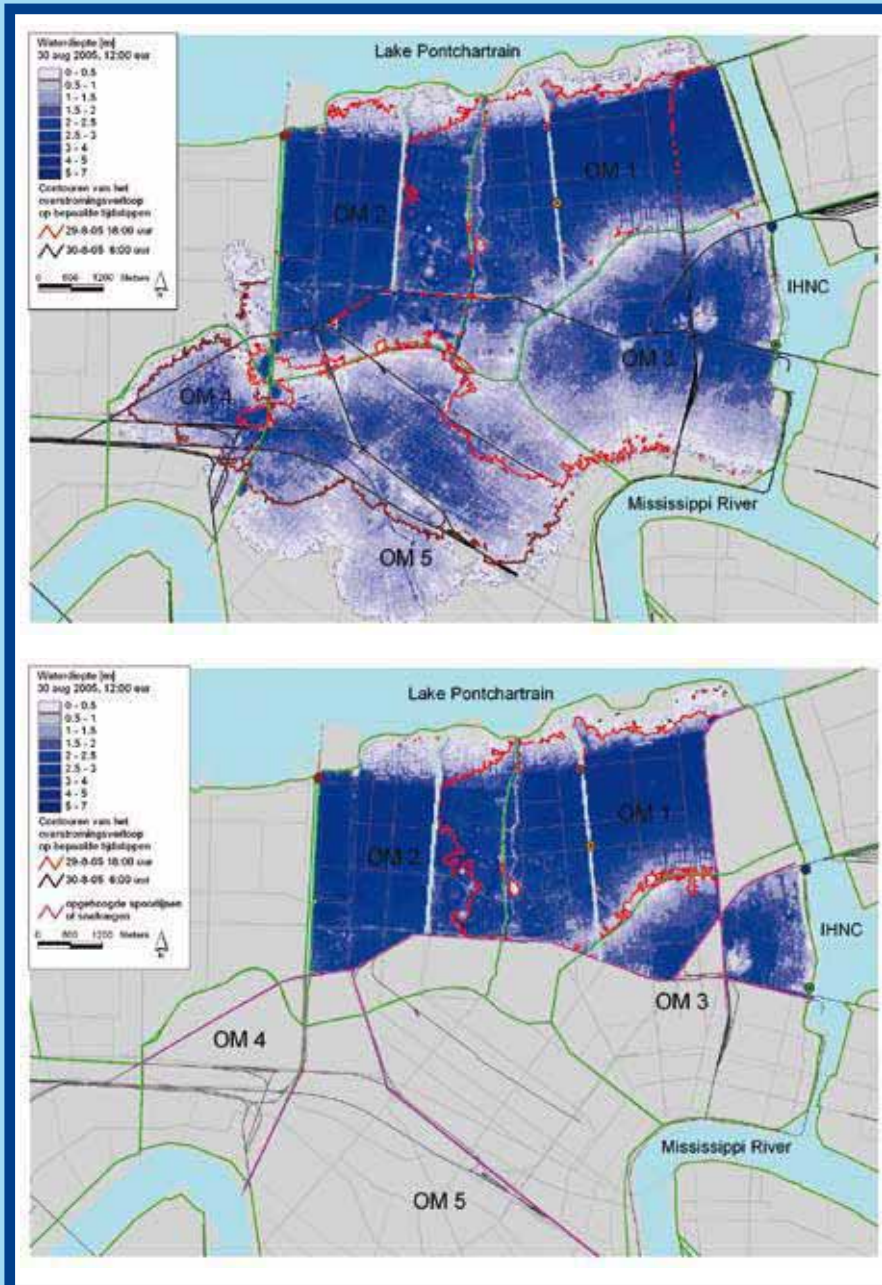
- Inner Harbor Navigation Canal (noord) - 5.00 uur
- Inner Harbor Navigation Canal (zuid) - 5.30 uur

- London Avenue Canal (west) - 7.15 uur
 - London Avenue Canal (oost) - 7.30 uur
 - 17th Street Canal - 8.30 uur
- Bij de doorbraaklocatie van de 17th Street Canal was een aantal uur voor de echte doorbraak al sprake van een beperkte hoeveelheid water die de naastgelegen woonwijk instroomde. Diverse ooggetuigen hebben een hard geluid gehoord rond 8.30 uur, vlak daarna stroomde snel veel meer water de straten in. Waarschijnlijk is op dat moment de damwand in de kanaaldijk gescheurd waarna de bres snel groeide tot een groot gat.

Afbeelding 2a geeft het gesimuleerde overstromingsverloop en de uiteindelijke waterdiepte weer. De resultaten van de overstromingsberekeningen voor Katrina zijn vergeleken met waarnemingen^{1),5)}. Allereerst is gekeken naar het verloop van de overstroming in de tijd, op basis van

verslagen van ooggetuigen. Hieruit blijkt dat het model de aankomsttijd van het water op veel plaatsen binnen een half uur nauwkeurig voorspelt. Daarnaast is een vergelijking gemaakt met de waargenomen waterdiepten in de verschillende delen van de stad. De uiteindelijke waterdiepte in het model is circa anderhalve meter boven het gemiddelde zeeniveau voor het gehele gebied. Dit is iets hoger dan de waarnemingen aangeven (circa één tot anderhalve meter boven zeeniveau). Er zijn geen directe waarnemingen beschikbaar voor andere overstromingskenmerken zoals de stroom- en stijgsnelheid van het water in het gebied. Voor verdere analyse en verificatie kunnen de gesimuleerde waarden worden vergeleken met schadepatronen in het overstromde gebied.

Relatief onzekere parameters in het overstromingsmodel zijn de ruwheid van het gebied en de breskarakteristieken. Gevoeligheids-



Afb. 2: Resultaat van de overstromingsberekeningen voor het Katrina-scenario na anderhalve dag zonder (a) en met hoge binnendijken (b).

berekeningen tonen aan dat een variatie in de ruwheid binnen realistische grenzen het verloop in de tijd beperkt beïnvloedt. De maximale waterdiepte is daarentegen ongevoelig voor de keuze van de ruwheid⁵⁾. De breskarakteristieken (tijd van doorbraak, groei en uiteindelijke grootte van de bres) zijn zeer bepalend voor het overstromingsverloop en de maximale waterdiepte in het gebied. Voor deze instellingen in het model zijn weinig gegevens beschikbaar. Ondanks de beperkingen en onzekerheden in het model laat de vergelijking met de waarnemingen zien dat het model het verloop en de uiteindelijke waterdiepte goed kan simuleren.

Van badkuip naar poffertjespan

Na orkaan Katrina heeft burgemeester Ray Nagin van New Orleans de werkgroep Bring New Orleans Back in het leven geroepen. Het doel van deze werkgroep was om advies

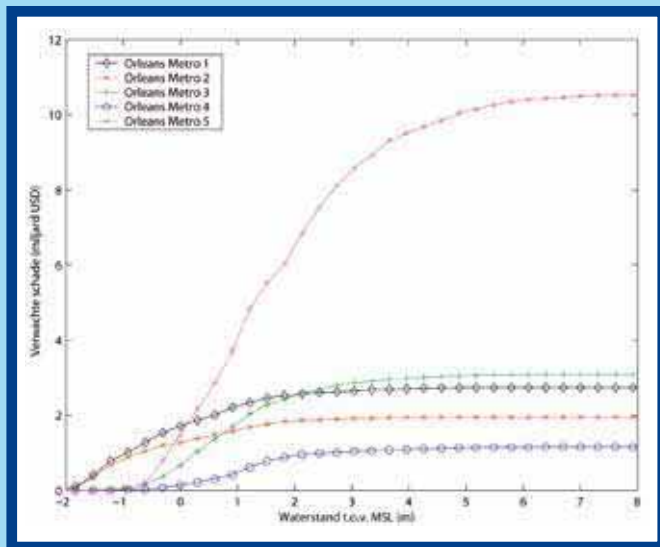
te geven over het herstel van de stad. Deze werkgroep heeft allerlei plannen gepresenteerd op sociaal, cultureel en technisch vlak. Eén van de technische adviezen is het opsplitsen van het centrale deel van de stad in diverse subpolders (compartimentering). De gebruikte beeldspraak bij dit plan is: 'From bowl to muffinpan' ofwel: de enorme badkuip veranderen in een poffertjespan om zodoende bij een eventuele overstroming de schade te beperken.

Het plan met compartimenten voor het centrale deel van New Orleans maakt gebruik van de bestaande hooggelegen structuren in het gebied (zie afbeelding 1). Eén van deze structuren - de Gentilly Ridge - is een oude, hooggelegen zandrug die loopt van oost naar west. Tijdens Katrina was de waterdiepte op deze zandrug slechts gering (minder dan een halve meter). In het plan wordt ook gebruikgemaakt van de aanwezige

spoorlijnen en snelwegen. Onderdoorgangen van deze infrastructurele elementen worden afgesloten en de infrastructuur zelf wordt versterkt, zodat geen falen optreedt tijdens een overstroming.

Om een eerste inschatting te krijgen van de effectiviteit van een dergelijke compartimentering zijn twee alternatieven - lage en hoge binnendijken - doorgerekend voor de situatie tijdens Katrina. Voor beide alternatieven is een binnendijk aangebracht die het bestaande spoortraject volgt (zie afbeelding 2b). In het lage alternatief is deze op een hoogte van circa anderhalve meter boven zeeniveau gebracht, bij het hoge alternatief op vier meter. Dit komt ongeveer overeen met de hoogte van de bestaande waterkeringen van de uitwateringskanalen langs de 17th Street Canal en de London Avenue Canal. De overstromingsberekeningen voor de situatie tijdens Katrina laten zien dat beide

Afb. 3: Verwachte schade als gevolg van de waterstand voor de verschillende deelgebieden in het centrale gedeelte van New Orleans op basis van pre-Katrina schadegetallen.



Verwachte directe schade in miljarden dollars voor het Katrina-scenario op basis van pre-Katrina schadegetallen. Zie voor de ligging van de economische deelgebieden afbeelding 1.

economisch deelgebied	bestaande situatie	met lage binnendijken	met hoge binnendijken
OM01	2,5	2,5	1,8
OM02	1,8	1,8	1,5
OM03	2,3	2,4	1,0
OM04	0,4	geen schade	geen schade
OM05	3,4	2,2	geen schade
totaal	10,4	8,8	4,2

alternatieven een duidelijk effect hebben op het verloop van de overstroming. Afbeelding 2b toont het overstroomde gebied vóór het alternatief met hoge binnendijken.

Significante verlaging van de schade

Voor een vergelijking van de situatie met én zonder compartimentering is de directe schade bepaald. Hierbij is gebruikgemaakt van de schadefuncties uit de IPET-studie¹⁾ (zie afbeelding 3). Belangrijk daarbij is dat deze schadefuncties de pre-Katrina situatie weergeven. Als eerste stap is de schade berekend voor de situatie zonder compartimentering op basis van het Katrina-scenario. Hierbij is gebruikgemaakt van de waterstanden uit het overstromingsmodel en de schadefuncties in de IPET-studie. Het resultaat voor de verschillende subgebieden staat in tabel 1. De berekende schade is circa 10,4 miljard dollar op basis van het hier gebruikte overstromingsmodel. Dit komt goed overeen met de geschatte directe schade van 9,4 miljard dollar tijdens Katrina in dit gebied¹⁾.

Vervolgens is voor beide alternatieven van compartimentering (lage en hoge binnendijken) de schade bepaald in de verschillende deelgebieden (zie tabel 1). De schadegetallen laten zien dat de compartimentering vooral de schade in de gebieden OM4 en OM5 reduceert. Dit is logisch aangezien deze gebieden ver van de doorbraken en 'achter' de binnendijken liggen. Door de compartimenten kan het water deze gebieden veel moeilijker bereiken. In de gebieden die direct grenzen aan de waterkering, stijgt bij het lage alternatief de waterdiepte, maar neemt de schade niet toe, omdat die in deze gebieden al maximaal is. Bij het hoge alternatief neemt de schade zelfs af, omdat een deel van het gebied niet onder water komt te staan. Over het geheel bedraagt de reductie van de directe schade ongeveer anderhalf tot zes miljard dollar voor respectievelijk het lage en hoge alternatief in het Katrina-scenario.

Naast voordelen, zoals de reductie van de directe schade, zijn er allerlei positieve neveneffecten van compartimentering. Daarbij valt bijvoorbeeld te denken aan minder ontwrichting van de samenleving tijdens een dergelijk rampscenario, omdat het totale oppervlak aan overstroomd gebied drastisch verminderd wordt. Natuurlijk zijn er ook mogelijk negatieve effecten. De compartimenten leiden tot kleinere polders, waardoor de stijgsnelheid van het water in de polders grenzend aan de waterkering toeneemt. Uit historische gegevens blijkt dat het sterftecijfer mede samenhangt met de stijgsnelheid van het water³⁾. Het voorkomen van slachtoffers moet het uitgangspunt zijn bij de verdere uitwerking van een plan met compartimenten.

Aanleg van subpolders

De vraag is of de afname in de directe schade van anderhalf tot zes miljard dollar opweegt tegen de kosten die gemoeid zijn met de aanleg van de compartimenten. Op basis van een zeer globale kostenschätzung zouden volgens de werkgroep Bring New Orleans Back⁴⁾ de investeringen voor de aanleg van compartimenten 75 à 150 miljoen dollar bedragen. Om dit bedrag met reductie van de schade te vergelijken, moet de kans om een Katrina-scenario te voorkomen, meegenomen worden. De kans op een orkaan met vergelijkbare karakteristieken als Katrina is 1/400 per jaar⁶⁾. Uitgaande van een rentevoet van vier procent mag de investering maximaal in de orde van 100 tot 400 miljoen dollar bedragen, wil een dergelijk plan kosteneffectief zijn.

Het uitwerken van één of meerdere alternatieven voor het compartimenteren van het centrale deel van New Orleans biedt daarom zeker perspectief op basis van het Katrina-scenario. Om het plan verder te onderbouwen, is een gedetailleerde kostenschätzung nodig van de infrastructurele ingrepen. Daarnaast moet bekeken worden hoe de kosteneffectiviteit van compartimen-

tering zich verhoudt tot een verhoging van de buitenwaterkering. Tenslotte moet beter in kaart gebracht worden wat de reductie is van het risico voor verschillende orkaan-scenario's, gelet op de toekomstige aanpassingen aan het waterkeringsstelsel.

Ook in Nederland wordt nagedacht over mogelijkheden tot compartimentering van bestaande dijkingen. De resultaten van de studie voor New Orleans kunnen dus ook voor de Nederlandse praktijk van belang zijn, omdat ze laten zien onder welke condities compartimentering een effectieve maatregel is.

LITERATUUR

- 1) IPET (2007). Performance evaluation of the New Orleans and Southeast Louisiana Hurricane Protection System. L. Link (editor).
- 2) Kok M., R. Theunissen, B. Jonkman en H. Vrijling (2006). Schade door overstroming. Ervaringen uit New Orleans. TU Delft en HKV Lijn in Water.
- 3) Jonkman S. (2006). Loss of life estimation in flood risk assessment. PhD thesis TU Delft.
- 4) Flood Protection Alliance (2006). Technical note from Bring New Orleans Back committee.
- 5) De Bruijn K. (2006). Improvement of casualty functions based on data of the flooding of New Orleans in 2005. WL|Delft Hydraulics. Project Q3668.
- 6) Resio D. (2007). White paper on estimating hurricane inundation (2007). US Army Corps of Engineers. ERDC-CHL.