

18 Amersfoort

Inzicht in wateroverlast en effectiviteit van maatregelen met hoogwaardig afstroom- en infiltratiemodel

In het HydroCity-project is een hoogwaardig afstroom- en infiltratiemodel ontwikkeld. Dit PriceXD-model simuleert de stroming van water in een virtuele maquette om te laten zien wat er bij een bepaalde neerslagbelasting kan gebeuren. Zo is te zien welk deel van de neerslag via de straatkolken in het riool loopt, welk deel infiltreert en welk deel over het oppervlak afstroomt. PriceXD modelleert de stedelijke hydrologie zeer gedetailleerd en integreert hoogwaardige ruimtelijke informatie van de hydrologische kringloop met hydraulische modellering van de onder- en bovengrond. Hiermee kan de stedelijk waterbeheerder beter extreme neerslagevents modelleren, inzicht krijgen in de werkelijk opgetreden wateroverlast en de effectiviteit van (bovengrondse) maatregelen bepalen.

Inhoud

- 18.1 Aanleiding en doel
- 18.2 Basisprincipes van PriceXD
- 18.3 Benodigde input voor PriceXD
- 18.4 Kalibratie en verificatie
- 18.5 Voorbeeldtoepassing PriceXD
- 18.6 Conclusies en aanbeveling
- Literatuur

Auteurs

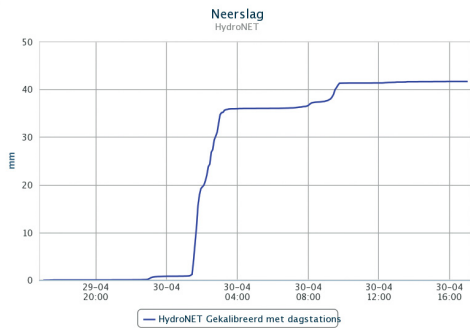
drs. Maarten Spijker (HydroLogic), maarten.spijker@hydrologic.com
ir. Wytse Dassen (HydroLogic), wytse.dassen@hydrologic.com
Ina Loovers (gemeente Amersfoort), i.loovers@amersfoort.nl

18.1 Aanleiding en doel

Steeds vaker komt in korte perioden veel neerslag voor, waardoor hinderlijke situaties en soms zelfs overlast en schade ontstaan. Zeker in reliëfrijke stedelijke gebieden als het Bergkwartier in Amersfoort stroomt het water dan snel naar de lagergelegen plekken. Bij hevige neerslag ontvangt de gemeente Amersfoort verschillende meldingen van water-op-straatsituaties. Bij extreme neerslag leidt het op sommige plekken zelfs tot wateroverlast bij bebouwing.

De overlast treedt op door een complex samenspel van boven- en ondergrondse hydrologische processen. Hierop wil de gemeente grip krijgen. Zeker gezien de verwachting dat dergelijke events in de toekomst vaker en in heviger mate zullen voorkomen. Om hierop voorbereid te zijn, is inzicht in de werking van het stedelijk watersysteem onder extreme omstandigheden noodzakelijk. Dit inzicht krijgt de gemeente alleen via een model dat de stedelijke hydrologische processen adequaat beschrijft.

| 237



Figuur 18.1 Wateroverlast in Bergkwartier in Amersfoort (30 april 2012)

Om tot effectieve oplossingen te komen, moet de gemeente de oorzaken van de wateroverlast kunnen achterhalen. Dit kan als zij precies weet wat er met de gevallen neerslag gebeurt: welk deel via de straatkolken in het riool loopt, welk deel infiltreert en welk deel over het oppervlak afstroomt.

Aanpak

Het nieuwe model is tot stand gekomen in het innovatieproject HydroCity, onder leiding van professor R. Price. HydroCity is een samenwerkingsverband van onder andere de gemeente Amersfoort, NEO (Netherlands Geomatics & Earth Observation), de TU Delft en de Universiteit Twente. De partijen hebben in dit project nieuwe technieken op het gebied van aardobservatie, ICT, neerslagradar en hydrologie geïntegreerd. Hieruit is een model tot stand gekomen dat de hydrologische en hydraulische processen in de stedelijke leefomgeving nauwkeurig weergeeft.

Door de modelresultaten van PriceXD te verifiëren aan werkelijke overlastsituaties, ontstaat een betrouwbaar beeld dat is toegespitst op het werkelijke probleem: wateroverlast. Betrouwbaarheid is belangrijk als het model stedelijk waterbeheerders moet ondersteunen om wateroverlastproblematiek te duiden, effectieve maatregelen vast te stellen en de effectiviteit van deze maatregelen bij bestuurders en bewoners aan te tonen.

De systematiek is in een proeftuin in Amersfoort getest met als doel om de werkelijk optredende wateroverlast zo exact mogelijk na te bootsen.

18.2 Basisprincipes van PriceXD

238 |

Glasbergen & Moens (2012) geven een helder overzicht van de ontwikkeling van hydrodynamische modellen voor het stedelijk waterbeheer. De ontwikkeling start rond 1970 met de modellering van de ondergrondse stroming in rioolbuizen (1D). Latere modellen kunnen rekening houden met stroming over het maaiveld door leidingen of goten (1D/1D). PriceXD gaat verder. Het sluit zowel voor de boven- als ondergrond nauw aan bij de werkelijke hydrologische processen, modelleert het stedelijk oppervlak hydrologisch en hydrodynamisch in 2D en maakt minimaal gebruik van standaardkentallen of -aannamen.

Het zo dicht mogelijk aansluiten bij de werkelijke processen vergroot de voorspellingskracht van het model, ook voor situaties waarop het niet is gekalibreerd. PriceXD integreert de boven- en ondergrond door het maaiveld zeer gedetailleerd te modelleren en op straatkolkenniveau te linken met het rioleringsmodel. Dit is tegenwoordig mogelijk dankzij het hoge detailniveau van de basisinformatie, de toegenomen rekenkracht en slimme hydrodynamische algoritmen.

Drie componenten

Het geïntegreerde model PriceXD bestaat uit drie componenten:

– Stedelijke hydrologische component

Het model simuleert de stedelijke hydrologische processen nauwkeurig, rekening houdend met de specifieke hydrologische eigenschappen van het stedelijk oppervlak. Vanuit gemeten of theoretische neerslag bepaalt het model per cel hoeveel hiervan verdampt, hoeveel bomen opvangen (interceptie), hoeveel infiltreert, hoeveel het maaiveld bergt en hoeveel afstroomt. De laatste waarde vormt de input voor de hydraulische stromingsberekening over het maaiveld.

– *Hydraulische maaiveldcomponent*

Deze component berekent de stroming over het maaiveld tweedimensionaal, de instroom in de straatkolken en de accumulatie van water op lage plekken (plassen). Een deel van het afstromende water infiltreert verderop in de bodem of stroomt als-nog via een andere straatkolk in het riool. Doordat steeds meer gemeenten de locatie van de straatkolken registreren, wordt interactie met de ondergrond (het riool) op het hoogste detailniveau gesimuleerd, namelijk de kolken. Elke kolk heeft een maximale instroomcapaciteit.

– *Hydraulische rioleringscomponent*

Het in de kolken binnenstromende water is input voor de hydraulische rioleringsberekening. Hierin vinden rioolberging, afvoer naar de rwzi en overstorten, en uitstroom via de straatkolken of putten plaats. Uitstroom vanuit de straatkolken is vervolgens weer input voor de hydraulische maaiveldcomponent. Voor de interactie met de ondergrond is een OpenMI-koppeling met het 1D-rioleringsmodel Storm Water Management Model (SWMM) ontwikkeld en in Amersfoort getest. Door aan te sluiten bij de OpenMI-standaard, zijn koppelingen met andere rioleringsmodellen als Infoworks, Sobek of Mouse mogelijk. Vanwege de beschikbaarheid van verschillende goed functionerende rioleringsmodellen en de OpenMI-standaard is het ook niet nodig om een nieuw rioleringsmodel te ontwikkelen. Door de koppeling met SWMM is het PriceXD-model in zijn geheel Open Source.

| 239

Gebruikte formules in PriceXD

De hydraulische maaiveldcomponent gebruikt de MacCormack-methode (MacCormack, 1969) voor de stroming van water. Deze methode is een zogeheten expliciet finite difference scheme. Elke tijdstap wordt in twee stappen berekend: een voorspellende (predictor) en een corrigerende (corrector) stap. In de voorspellende stap wordt de afvoer per cel naar zijn buurcellen benaderd, bij de corrigerende stap wordt deze benadering gecorrigeerd.

Omdat het een expliciet rekenschema betreft, zijn de berekeningen per cel onafhankelijk van de berekende waarde van hun buurcellen in dezelfde tijdstap. Daarom worden alleen de waarden uit de vorige tijdstap gebruikt. Het voordeel van het expliciete schema is dat dit vrij eenvoudig is te paralleliseren en op een grafische kaart is te programmeren. Hierdoor neemt de rekentijd af. Het nadeel is dat de tijdstap kleiner moet zijn dan bij een impliciet schema.

Om de infiltratie te bepalen, wordt het Green-Ampt- of Horton-schema gebruikt. Voor het bepalen van de stroomsnelheid op basis van bodemruwheid, worden Manning- of Chezy-waarden gebruikt.

18.3 Benodigde input voor PriceXD

Gedetailleerder modelleren is alleen zinvol als het detailniveau van het model zich verhoudt tot de kwaliteit van de basisinformatie. Doordat het detailniveau en de kwaliteit van de basisinformatie flink zijn toegenomen, zijn bij de modellering minder aannamen nodig. Dit leidt niet automatisch tot een beter model, maar wel tot een model met meer potentie en een groter toepassingsbereik. Het model is immers minder afhankelijk van de kwaliteit van de aannamen en kentallen (die per definitie binnen een bepaald domein gelden). Daarom heeft het meer zeggingskracht voor nog nooit gemeten omstandigheden, zoals een extreem event of systeemingreep. Na kalibratie neemt de onzekerheid van de modeluitkomsten af en zijn met grotere zekerheid uitspraken te doen over de effectiviteit van maatregelen.

240 | Het PriceXD-model gebruikt onder meer de volgende databronnen:

- 3D-stadsmodel: levert per cel de hoogte, de interceptie- en infiltratiecapaciteit en de bodemruwheid. Levert ook informatie over welke gebouwen afgekoppeld zijn.
- Neerslaginformatie: de gecorrigeerde beelden van de Nederlandse, Duitse en Belgische neerslagradars geven de gevallen neerslag per 5 minuten per km².
- Rioolbeheergegevens: in steeds meer rioolmanagementsystemen (zoals Kikker) zijn de gegevens online beschikbaar. Bijvoorbeeld de locatie en onderhoudstoestand van putten, strengen én straatkolken.

3D-stadsmodel

Om het 3D-stadsmodel te maken, hebben GIS- en remote-sensingexperts van NEO, ITC (Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation van Universiteit Twente) en TU-Delft een sluitende GIS-keten opgezet die voor elke gemeente toepasbaar is. Hierbij wordt de gemeentelijke lijnenkaart van de Grootstalige Basiskaart Nederland (GBKN) vertaald naar een vlakdekkende 2D-objectenkaart. Aan deze objecten worden attributen toegekend, zoals infiltratiecapaciteit, interceptie en bodemruwheid. Hiervoor worden gemeentelijke gegevens gebruikt, bijvoorbeeld uit de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) en weg-, water- en groenbeheersystemen. Ontbrekende gegevens (zoals de mate van verhard oppervlak per achtertuin) worden via aardobservatie (satellietbeelden en luchtfoto's) verkregen. Ook is een kaart met bodemvocht op het starttijdstip van de modelrun in te laden.

Het 2D-stadsmodel (2D-IMgeo) wordt vervolgens opgeschaald met een hoogtemodel, dat is afgeleid van de ruwe puntenwolk van het AHN2 of lokale Lidar-beelden. Op basis van intelligente algoritmen is ervoor gezorgd dat de relevante hydraulische (drempels, stoep-randen) en bergingseigenschappen van het oppervlak correct worden meegenomen. Hierdoor zijn de stroming langs de randen van de weg zichtbaar, de stremming bij drempels en het water dat langs een verhoogde straatkolk stroomt. Dit alles resulteert in een 3D-stadsmodel (3D-IMgeo) geschreven als CityGML-database (internationale standaard).



Figuur 18.2 Schematische weergave van de GIS-keten om te komen tot het 3D-stadsmodel



Figuur 18.3 Beeld uit de overstromingsanimatie van een werkelijk gevallen bui

Neerslaginformatie

Gedetailleerde, betrouwbare neerslaginformatie is een voorwaarde om de modelresultaten goed te laten aansluiten bij de werkelijke situatie (Stichting RIONED, 2011). Het PriceXD-model gebruikt neerslaginformatie van het KNMI. Het KNMI levert ongekalibreerde realtime 5-minutengegevens radarneerslaginformatie per km². Deze gegevens worden via een algoritme gecorrigeerd met neerslagmetingen van grondstations (Lobbrecht e.a., 2012).

Rioolbeheergegevens

Traditionele rioolmodellen (1D) nemen de inspectieputten als het inlooppunt van regenwater, zodat het aantal knopen wordt geminimaliseerd. Om afstromings- en infiltratiemodellering in hoge resolutie mogelijk te maken, zijn de straatkolken aan zowel het rioleringsmodel als het maaiveldmodel toegevoegd. Dit is ook mogelijk, omdat steeds meer gemeenten de locatie en de onderhoudstoestand van straatkolken monitoren door kolkenzuigers te voorzien van softwareprogramma's. De onderhoudstoestand van een straatkolk en bijbehorende leiding kan de inloopcapaciteit van een kolk beïnvloeden. Doordat de gemeente de locatie en instroomhoogte van de kolken in beeld heeft, is met PriceXD te berekenen of de kolken naar behoren functioneren. Zo wordt het bijvoorbeeld duidelijk als er weinig water in een kolk stroomt door verzakking van de omliggende straat.

242 |

18.4 Kalibratie en verificatie

De kunst van het kalibreren is het aantal onzekere parameters minimaliseren en vervolgens binnen de fysische grenzen de beste parameterwaarde van de onzekere parameters bepalen. Juist doordat PriceXD hoogwaardige informatie gebruikt – zoals ruimtelijk en temporeel gedetailleerde neerslaginformatie en een gedetailleerd beeld van het stedelijk oppervlak (berging op maaiveld, afstroming naar straatkolken) – is het aantal onzekere parameters lager dan bij traditionele modellering. Kalibratie vindt dan vooral plaats op de parameters infiltratiecapaciteit en (in mindere mate) bodemruwheid. Door deze te variëren, wordt het model aan de werkelijkheid 'gefit'. Dit betekent dat de locatie en omvang van water-op-straatlocaties zo goed mogelijk aansluiten bij de observaties.

Veldmetingen op kritische locaties

Voor de kalibratie en verificatie van het PriceXD-model zijn metingen op maaiveld nodig: waar is water op straat voorgekomen en met welke omvang en duur? Daarom is in samenwerking met de gemeente Amersfoort een kalibratiemethode ontwikkeld, gebaseerd op het tijdens hevige events verzamelen van kalibratie-informatie. Hierbij worden veldmetingen gedaan, onder meer op vooraf via modelsimulaties bepaalde kritische locaties voor de modelverificatie. Op basis van weersverwachtingen worden tijdig veldmedewerkers gemobiliseerd, die in korte tijd de benodigde informatie verzamelen. Dat doen zij door metingen te doen, foto's te maken en videobeelden op te nemen. De videobeelden geven aanvullende informatie over de stroming van water.

Naast het zelf verzamelen van veldinformatie is crowdsourcing in te zetten. Hierbij verzamelen burgers relevante informatie via sociale media. Met name omwonenden van kritische locaties kunnen hierin een belangrijke rol spelen.



Figuur 18.4 Burgemeester De Wijkstraat in Amersfoort tijdens veldmeting 14 december 2011

Kalibratie PriceXD-model

Voor het PriceXD-model van het Bergkwartier in Amersfoort zijn de locaties en omvang van de gemeten wateroverlast vergeleken met de door het model berekende inundaties. Vervolgens is de match tussen gemeten en berekende wateroverlast verbeterd door de infiltratiewaarden bij te stellen, zo ongeveer tussen de waarden van Van der Ven (1989) en de Leidraad riolering (module C2100) in.

Na aanpassing bleek het model circa driekwart van de inundatielocaties naar behoren te simuleren. Daarnaast volgde uit de validatie dat de infiltratiecapaciteit door het jaar heen varieert, bijvoorbeeld door begroeiing/verdichting tussen tegels of door uitgedroogde, hard geworden (klei)grond. De onderhoudstoestand van de ondergrond en het seizoen zijn daarmee ook een belangrijke factor voor een goede fit met de werkelijkheid.

Rekentijd verminderen

Rekentijd is een cruciale factor bij het draaien van dit soort rekenintensieve modellen. De rekestijd gaat omlaag door meer reken capaciteit te organiseren of door op een lagere resolutie te rekenen.

Meer rekencapaciteit organiseren

NVIDIA's Computed Unified Device Architecture (CUDA) maakt het mogelijk numerieke modellen op een grafische kaart te laten rekenen in plaats van op een processor. Dit heeft als voordeel dat het aantal rekenkernen op een grafische kaart vele malen groter is dan op die van een processor. Om deze techniek te benutten, is de rekenkern van het PriceXD-model vertaald naar CUDA. Hierbij is een snelheidswinst van factor 10 behaald: van 5 uur naar 0,5 uur. Door de nieuwste CUDA-technieken en grafische kaarten te gebruiken, wordt deze snelheidswinst vermoedelijk verhoogd naar een factor 20 tot 30.

Op een lagere resolutie rekenen

De rekentijd is ook te verlagen door het aantal rekencellen te verminderen. Met een intelligent raster zijn de hydrodynamische processen op een lager detailniveau te berekenen zonder een groot detailverlies. Bij de intelligente rastermethode wordt een groot deel van de detailinformatie behouden door hydraulische en bergingsrelaties per cel op te stellen op basis van onderliggende informatie. Dit gebeurt niet alleen voor hoogte, maar ook voor de andere hydrologische eigenschappen. Zo blijven de oppervlakte-eigenschappen die de meeste invloed hebben op het hydrologische proces, bewaard (Verbree e.a., 2013). Bij het toepassen van tienvoudig opgeschaald intelligent raster is de gemeten tijdwinstfactor circa 650: 5 uur naar 0,5 minuut.

244 |

18.5 Voorbeeldtoepassing PriceXD

Het PriceXD-model levert output die voor vele toepassingen te gebruiken is. Zo geeft het model per event informatie over hoeveel water in elke kolk is gestroomd. Als voorbeeld toont figuur 18.5 hoeveel water in de kolken is gestroomd tijdens het event van 14 november 2011. De grootte van de bol geeft de instroom in l/s weer, waarbij de grootste bol symbool staat voor maximale kolkcapaciteit. Hoe kleiner de bol, hoe minder water in de betreffende kolk stroomt. Omdat PriceXD de stroming over maaiveld en straat gedetailleerd berekent, wordt inzichtelijk waar het overtollige water een kolk niet bereikt of voorlangs stroomt.

Deze informatie geeft een beeld van welke kolken zwaar belast worden en kritisch zijn voor het afvoeren van neerslag. Een gemeente kan hiermee bij een renovatie rekening houden door op dergelijke verzamellocaties meer of grotere straatkolken te plaatsen en af te wijken van pragmatische ontwerpregels. Behalve als hulpmiddel bij een doelmatig ontwerp is het model ook te gebruiken om huidig stedelijk oppervlak zo aan te passen dat de bestaande kolkeninrichting beter functioneert. Daarnaast kan deze informatie zinvol zijn voor onderhoud en monitoring van de kolken. Zo kan de gemeente een kritische kolk vaker reinigen of nauwlettender in de gaten houden met alarmeringsapplicaties.



Figuur 18.5 Inlooppvolumes van de straatkolken (rode stippen) op 14 november 2011

Daarnaast is er veel mogelijk met het sturen van water door ingrepen op het maaiveld. Vooral de gevolgen van het niet door de riolering afgevoerde water zijn te beperken door water te sturen naar locaties waar het minder hinder veroorzaakt.

CityFlood-applicatie: aan de slag met PriceXD

Naast de inhoud is ruime aandacht besteed aan de toegankelijkheid van het PriceXD-model.

Ten eerste zijn de modelresultaten met de water-op-straatlocaties en de waterdiepte online als filmpje beschikbaar via de CityFlood-applicatie in zowel 2D-beeld (Open Street Map of luchtfoto) als 3D-beeld (Google earth). Hierdoor zijn resultaten eenvoudig te delen met bijvoorbeeld bewoners of collega's. Bewoners geven feedback vanuit hun eigen ervaringen, zodat meer informatie beschikbaar komt voor een betere kalibratie van het model. Aan de andere kant neemt weerstand van wegbeheerders en verkeers- en stedenbouwkundigen af, omdat ze het effect van maatregelen beter kunnen inschatten.

Ten tweede kunnen stedelijk waterbeheerders online een neerslagevent selecteren en het model via het web doorrekenen. Door zelf met het model aan de slag te gaan en resultaten te vergelijken met de eigen waarnemingen in het veld, neemt de systeemkennis toe. Deze kennis komt vervolgens van pas bij een doelmatig beheer van de stedelijke omgeving en het treffen van effectieve maatregelen tegen wateroverlast.

18.6 Conclusies en aanbeveling

Heftige neerslaggebeurtenissen komen vaker voor en zorgen steeds vaker voor hinderlijke situaties, overlast en zelfs schade in stedelijk gebied. In het HydroCity-project is een nieuwe aanpak ontwikkeld waardoor meer inzicht ontstaat in wat er met de gevallen neerslag gebeurt. Het afstroom- en infiltratiemodel PriceXD laat zien welk deel van de neerslag via de straatkolken in het riool loopt, welk deel infiltreert en welk deel over het oppervlak afstroomt en onder bepaalde omstandigheden tot wateroverlast leidt.

Conclusies

Doordat nieuwe, gedetailleerde informatie beschikbaar komt, is het stedelijk watersysteem beter conform de fysische werkelijkheid te modelleren. Dit heeft als belangrijkste voordeel dat het model een groter toepassingsbereik en meer voorspellingskracht heeft. Hierdoor kan het model betere uitspraken doen over extreme neerslagsituaties en geeft het een betrouwbaarder inzicht in de effectiviteit van maatregelen.

Uiteraard moet het model wel naar behoren zijn gekalibreerd. Mede daarom is in HydroCity een op het werkelijke probleem toegespitste kalibratiemethode ontwikkeld, waarbij tijdens events doelgericht kalibratie-informatie wordt verzameld. Deze methode is succesvol getest. Gebleken is dat een adequate match met de bovengrondse werkelijkheid het vertrouwen in het model vergroot. Dit komt vooral doordat de beheerder de wateroverlast en water-op-straatsituaties herkent. Het correct reproduceren hiervan geeft het nodige vertrouwen. Dat geldt ook als de gemeente het model inzet om extremere events te simuleren of om de effecten van maatregelen te bepalen. De gemeente Amersfoort gaat het model dan ook inzetten om beoogde ruimtelijke ingrepen te toetsen en een verfijndere omgang met de compensatie van extra verhard oppervlak.

Aanbeveling

De meerwaarde van een geïntegreerde modelleringsaanpak zoals met PriceXD is evident. Wij vinden deze vernieuwde stedelijke aanpak dé manier om de water- en klimaatopgave doelmatig aan te pakken. Omdat deze aanpak nauw aansluit bij de fysische processen, de werkelijke problemen adequaat in beeld brengt en de noodzakelijke omslag naar bovengrondse oplossingen faciliteert. Veel gemeenten onderkennen de noodzaak voor verandering, maar zijn nog voorzichtig in het omarmen van de nieuwe aanpak. Tegelijkertijd zijn stedelijk waterbeheerders er al mee aan de slag gegaan, vaak vanuit een recente wateroverlastsituatie. Zeker omdat elke transitie tijd kost, willen wij beheerders met klem aansporen op korte termijn met deze vernieuwde aanpak aan de slag te gaan.

Literatuur

- Geldof, G., van der Heijden, G., Cath, A. en Valkman, R. (2011) Werkplaatsen.
- Glasbergen, M. en Moens, M. (2012) 2D-modellering riolering “Het nieuwe rekenen”, WT-Afvalwater, jaargang 11, nr. 5, blz. 258-269.
- Lobbrecht, A.H., Clemens, F. en Einfalt, T. (2012) Internationaal neerslagradarcomposiet gereed, vakblad H₂O, Nr. 9, blz. 24-25.
- MacCormack, R. W. (1969) The Effect of viscosity in hypervelocity impact cratering, AIAA Paper, 69-354.
- Sande, C.J. van der, de Jong, S.M. en de Rooc, A.P.J. (2003) A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 4, p217–229.
- Stichting RIONED (2011) Neerslaginformatie voor het bebouwde gebied, RIONEDreeks, Nr 16.
- Ven, F.H.M. van de (1989) Van neerslag tot rioolinloop in vlak gebied, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, directie Flevoland, Lelystad.
- Verbree, E., de Vries, M., Gorte, B., Oude Elberink, S. en Karimlou, G. (2013) Semantic 3D city model to raster generalisation for water run-off modelling, 3D GeoInfo 2013 – 8th 3D GeoInfo Conference ISPRS WG II/2 Workshop.