

Neerslaginvoer voor hydrologische en hydraulische modellen

Neerslag is de drijvende kracht achter heel wat hydraulische problemen. Daarom is een grondige kennis over de neerslag van groot belang. De grote variabiliteit van de neerslag in tijd en ruimte maakt het niet eenvoudig om een goede keuze te maken van de neerslaginvoer voor ontwerpberekeningen en modellering. Een slechte keuze van de neerslaginvoer kan leiden tot verkeerde inschattingen van de risico's met soms verstreckende gevolgen.

In dit artikel wordt ingegaan op volgende aspecten :

- het belang van een nauwkeurige neerslagmeting
- de keuze van de neerslaginvoer voor verschillende toepassingen en watersystemen
- de statistische verwerking van neerslagreeksen
- de invloed van de ruimtelijke spreiding van de neerslag

Deze bijdrage geeft een overzicht van het onderzoek hieromtrent van de laatste 15 jaren aan het Laboratorium voor Hydraulica van de K.U.Leuven.

Inleiding

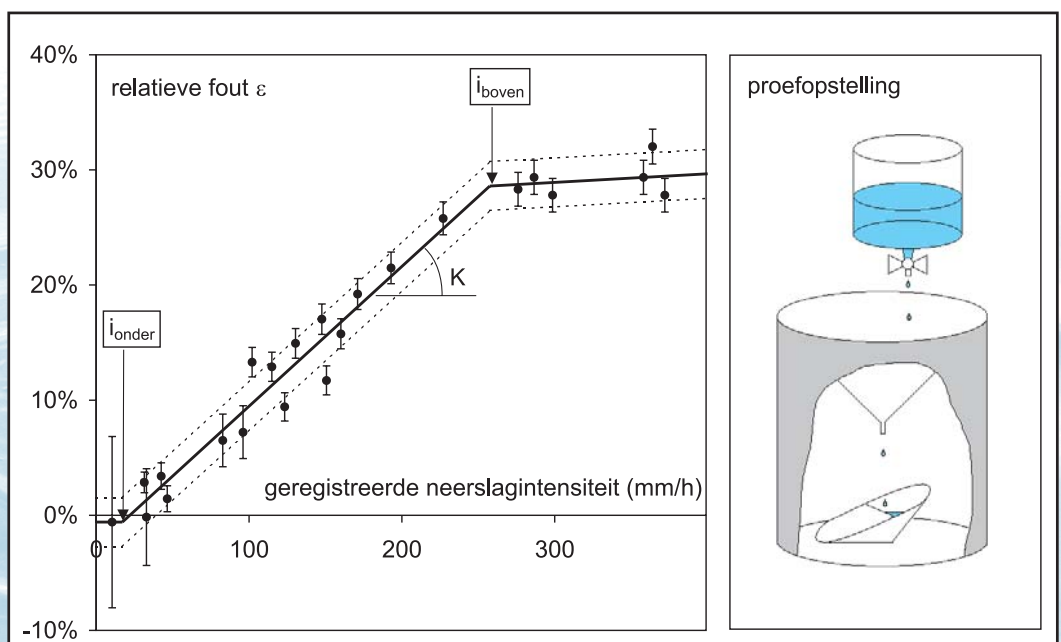
Neerslag is de drijvende kracht achter heel wat hydraulische problemen. Daarom is een grondige kennis over de neerslag van groot belang. De grote variabiliteit van de neerslag in tijd en ruimte maakt het niet eenvoudig om een goede keuze te maken van de neerslaginvoer voor ontwerpberekeningen en modellering. Een slechte keuze van de neerslaginvoer kan leiden tot verkeerde inschattingen van de risico's met soms verstreckende gevolgen.

Aan het Laboratorium voor Hydraulica van de K.U.Leuven werd de laatste 15 jaar de Vlaamse neerslag grondig onder de loep genomen in al zijn facetten. Deze bijdrage geeft een overzicht van dit onderzoek.

Neerslagmeting

Meestal wordt gebruik gemaakt van puntneerslagmetingen opgemeten met pluviografen. Uit onderzoek blijkt dat een goede kalibratie nodig is om de resultaten van deze pluviografen betrouwbaar te maken. Zowel kantelbakpluviografen (tipping bucket) als sifonpluviografen (sifoning gauge) geven systematische onderschattingen van de neerslag bij hoge intensiteiten (figuur 1) [Luyckx & Berlamont, 2001, 2002; Vaes & Berlamont, 2004a]. Deze onderschatting kan ruw worden ingeschat op basis van de pluviograafkarakteristieken of meer nauwkeurig aan de hand van een dynamische calibratie. Dit zijn weinig tijdrovende kalibratietechnieken die de neerslagmeting sterk kunnen verbeteren.

Figuur 1: Voorbeeld van een dynamische kalibratiecurve en een schets van een meetproefopstelling [Luyckx & Berlamont, 2001].



Recent worden ook radarbeelden gebruikt voor de inschatting van de neerslag. In ruimtelijke resolutie geven neerslagradarbeelden een grote meerwaarde, maar de resolutie in tijd en nauwkeurigheid in locatie en intensiteit is nog beperkt [Einfalt et al., 2004]. Er is verder onderzoek nodig naar de bruikbaarheid en implementatie van neerslagradargegevens voor hydrologische toepassingen.

Op het eind van de jaren '90 werd de digitalisatie vervolledigd van een neerslagtijdreeks van 100 jaar (1898-1997) opgemeten met eenzelfde pluviograaf van het KMI te Ukkel. Op deze unieke tijdreeks werd een trendanalyse uitgevoerd, voor een brede variatie aan neerslag van kortstondige buien (10 minuten) tot seizoensneerslag (per 3 maanden). Uit deze analyse bleek een licht dalende tendens voor de kortstondige (zomer)neerslag en een licht stijgende tendens voor de meer langdurige (winter)neerslag. Er werd evenwel geen significante trend vastgesteld [Vaes & Berlamont, 2000]. Deze conclusies zijn recent bevestigd in de analyse van Blanckaert & Willems [2006] voor de uitgebreide neerslagreeks te Ukkel tot en met 2004. Momenteel loopt er aan het Laboratorium voor Hydraulica van de K.U.Leuven een onderzoek waarbij de toekomstige neerslag wordt geanalyseerd door het neerschalen van toekomstscenario's op basis van klimaatmodellen [Willems et al., 2007].

Neerslag in functie van de toepassing

Er worden twee categorieën van toepassingen onderscheiden waarbij het vereiste type neerslag verschillend is:

- kalibratie / verificatie voor historische gebeurtenissen: neerslag vereist op de betreffende plaats en op het betreffende tijdstip
- ontwerp toepassingen: statistisch representatieve neerslag vereist

Deze twee soorten toepassingen hebben dus specifieke vereisten m.b.t. de benodigde neerslag. Hierbij wordt verondersteld dat de neerslag dient om modellen te voeden, omdat de meeste afwateringssystemen vandaag de dag te complex zijn om nog met enige nauwkeurigheid via een handberekening uit te rekenen en omdat de toegankelijkheid tot modellen vandaag de dag goed is ingeburgerd.

In theorie gebruikt men voor ontwerp toepassingen best continue simulaties met lange-termijn-tijdreeksen (minimum 30 jaren), maar omwille van de beperking in rekentijd, is dit vaak niet haalbaar bij complexe hydraulische berekeningen. Daarom wordt de neerslag vaak (statistisch) verwerkt en wordt er met in duur beperkte (representatieve) neerslag gerekend. Deze voorverwerking van de neerslag leidt tot minder goede resultaten wanneer de te modelleren systemen niet-lineair zijn. Immers de kans op voorkomen van een gesimuleerd effect is niet noodzakelijk gelijk aan de kans op voorkomen van de neerslag die dit effect veroorzaakt. In deze gevallen bepaalt het gedrag

van het gemodelleerde afwateringssysteem dus mee de nauwkeurigheid van het resultaat. Een goede keuze van het soort te gebruiken neerslag in functie van de toepassing en het te modelleren watersysteem is dan ook van cruciaal belang [Vaes et al., 2001].

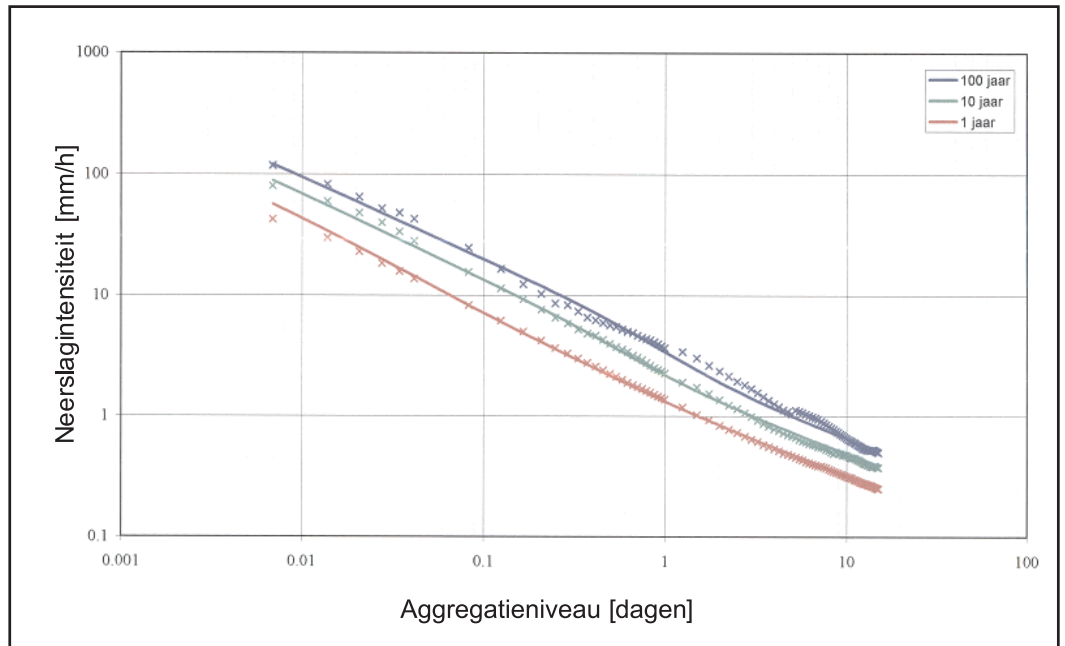
Een overzicht volgt hieronder:

- Voor rioolmodellen:
 - o Ontwerpberekeningen: Omdat bij de extreme buien waarvoor ontwerpberekeningen worden gemaakt, de overstorten in werking treden, wordt het systeemgedrag bij benadering lineair en kunnen zogenaamde ontwerp buien (vb. composiet buien, zie verder) met voldoende nauwkeurigheid worden toegepast. Een bijkomende verbetering van de nauwkeurigheid kan worden bekomen door het gebruik van geselecteerde korte reeksen [Vaes, 1999, 2000].
 - o Berekening overstortemissies: Door de niet-lineariteit van het systeem geeft het gebruik van continue lange-termijn-simulaties met vereenvoudigde modellen veel nauwkeurigere resultaten dan het gebruik van ontwerp buien [Vaes, 1999, 2000].
 - o Berekening van bronmaatregelen: door de sterke niet-lineariteit van het systeem zijn continue lange-termijn-simulaties onontbeerlijk [Vaes & Berlamont, 2004b; Vaes et al., 2004a].
- Voor waterloopmodellen wordt een onderscheid gemaakt tussen de hydrologische deelmodellen (modellering van neerslagafstroming) en de hydrodynamische deelmodellen (modellering rivierstroming) [Willems et al., 2000]:
 - o Hydrologische deelmodellen: Door de sterke tijdsvariatie (ook op lange-termijn) van het verzadigingsgehalte van de ondergrond en de invloed van dit gehalte op de neerslagafstroming, zijn lange-termijn-simulaties onontbeerlijk.
 - o Hydrodynamische deelmodellen: Door de korte concentratietijd langs waterlopen kunnen ontwerphydrogrammen gebruikt worden (vb. compositiehydrogrammen; afgeleid via statistische naverwerking van de historische tijdreeks van neerslagafstromingsdebieten [Vaes et al., 2002a]). Ook kan worden gewerkt met geselecteerde hydrogrammen uit de historische tijdreeks.

Statistische verwerking van neerslagtijdreeksen

Voor de statistische voorverwerking van neerslagtijdreeksen via Intensiteit/Duur/Frequentie-relaties (IDF) werd een vernieuwde methodiek uitgewerkt gebaseerd op de selectie van onafhankelijke neerslagextremen (Peak Over Threshold selectiemethode) en een geavanceerde extreme-waarden-analysetechniek [Vaes et al., 1994; Willems, 2000a]. In figuur 2 worden de IDF-relaties weergegeven voor een aantal terugkeerperioden. Afzon-

Figuur 2 : IDF-relaties voor Ukkel [Willems, 2000].



derlijke en gecombineerde IDF-verbanden werden opgesteld voor zomer- en winterperioden en voor buien van convectieve en frontale oorsprong [Willems, 2000b]. Dit onderscheid is belangrijk omdat er een duidelijk verschil is tussen de karakteristieken van convectieve zomerbuien (lokale onweders) en frontale winterneerslag (langduriger en uitgestrekter) en dit een significant verschil geeft voor hydrologische berekeningen.

Op basis van deze IDF-relaties werd een methodiek uitgewerkt voor het opstellen van ontwerpbuien, de zogenaamde composietbuien [Vaes & Berlamont, 1996; Vaes, 1999]. Deze methodiek werd later uitgebreid naar de analyse van continue lange tijdreeksen van afstromingsdebieten van hydrologische modellen om zo tot composiethydrogrammen voor waterloopmodellering te komen [Vaes et al., 2002a].

Een andere mogelijkheid om de neerslaginvoer te beperken in de tijd bestaat uit het selecteren van representatieve gebeurtenissen. Hierbij moeten alle statistische relevante gebeurtenissen worden meegenomen en worden de onbelangrijke tussenperiodes weggelaten. Dit betekent ook dat er rekening wordt gehouden met de karakteristieken van het watersysteem waarvoor de neerslaginvoer wordt gebruikt en van het type toepassing; het systeemgedrag bepaalt immers mee welke gebeurtenissen statistisch relevant zijn voor het te simuleren effect. De methodiek werd uitgewerkt voor de selectie van neerslaginvoergebeurtenissen op basis van IDF-relaties voor ontwerpberekeningen bij rioleringen [Vaes, 1999, 2000], op basis van een conceptueel rioolmodel voor emissieberekeningen aan riooloverstorten [Vaes, 1999, 2000] en op basis van QDF-relaties (Debiet/Duur/Frequentie-relaties) voor invoerhydrogrammen bij waterloopmodellering [Vaes et al., 2002a].

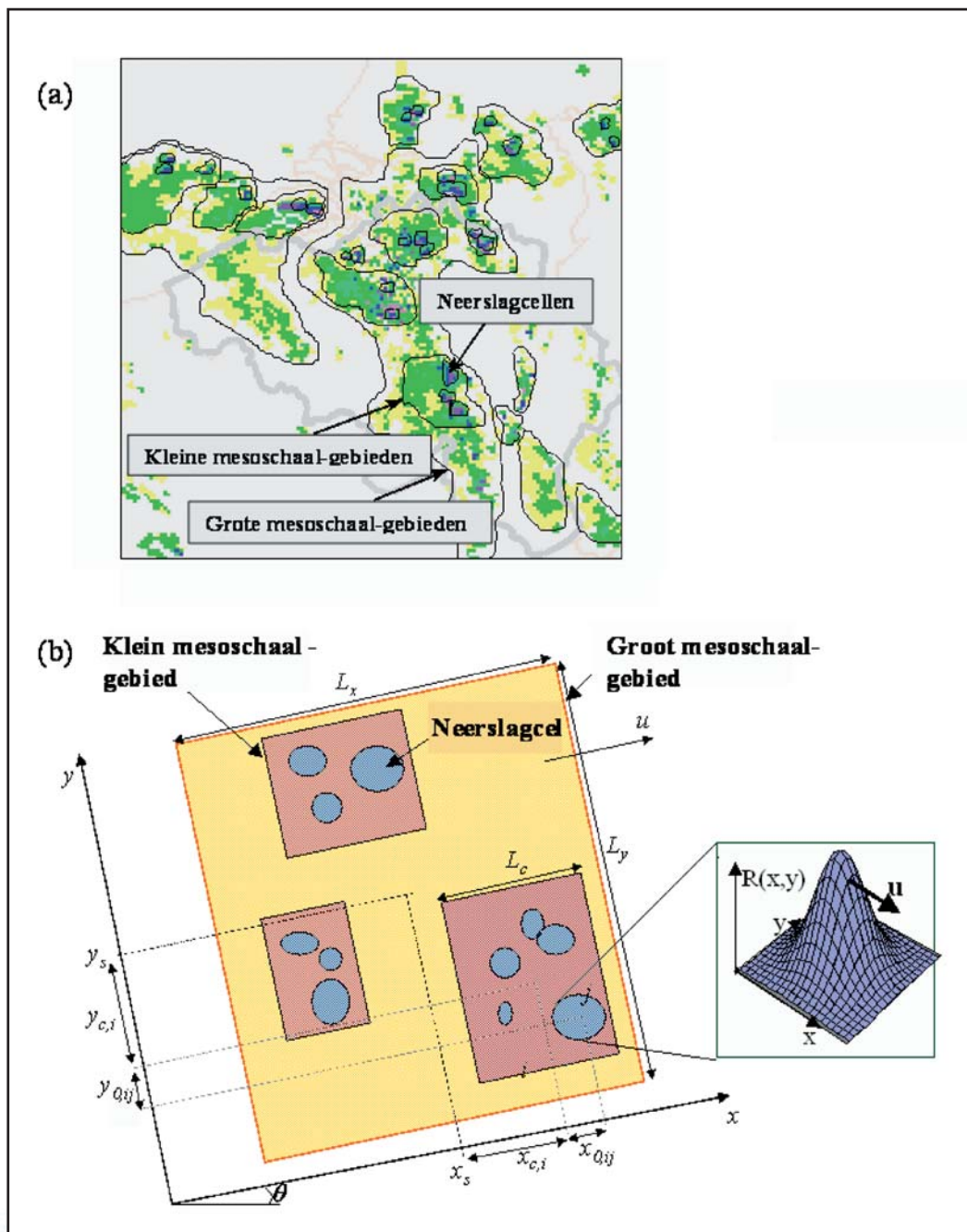
Ruimtelijke variabiliteit van de neerslag

Het correct inrekenen van de ruimtelijke spreiding van de neerslag is een belangrijk probleem bij hydrologische berekeningen. Daarom werd er onderzoek uitgevoerd naar de ruimtelijke variatie van de neerslag en de representativiteit van puntneerslag voor hydrologische en hydraulische berekeningen [Luyckx et al., 1998; Willems, 2001]. Op basis van de geïnventariseerde karakteristieken van de ruimtelijk variërende neerslag (bewegingsrichting en -snelheid) werd een methodiek uitgewerkt om bij het gebruik van ontwerpbuien met de dynamiek van de neerslag rekening te houden (bewegende composietbuien voor rioleringsberekeningen) [Vaes et al., 2002b]. Deze dynamiek blijkt de simulatie resultaten van watersysteemmodellen in grote mate te beïnvloeden, wanneer de hoofdafstromingsrichting van het afwateringssysteem gelijk is aan de dominante windrichting en des te meer naargelang de neerslag trager over het gebied trekt.

Omdat er een groot gebrek is aan voldoende grondmetingen over ruimtelijk variërende neerslag, werd een stochastische ruimtelijke neerslaggenerator opgesteld op basis van een analyse van de ruimtelijke karakteristieken van regenbuien, gebruik makend van de meetgegevens van dichte pluviograafnetwerken en van radarbeelden (figuur 3) [Willems, 2001; Willems et al., 2003]. Deze neerslaggenerator laat toe om continue langdurige neerslagvelden te genereren die statistisch relevant zijn en waarmee verder onderzoek naar de ruimtelijke spreiding van de neerslag kan worden uitgevoerd.

Via simulaties met deze ruimtelijke neerslaggenerator werden ruimtelijke correctiefactoren bepaald die toelaten om de systematische fout in de neerslaginvoer door het gebruik van puntneerslag ten opzichte van de werkelijke ruimtelijk geaggregeerde neerslag over het studiegebied te

Figuur 3 : Karakterisatie van de ruimtelijke neerslag en het afgeleide neerslagmodel [Willems et al., 2003].



eliminieren (figuur 4) [Vaes et al., 2004b]. Deze ruimtelijke correctiefactoren zijn heel wat kleiner dan de correctie op basis van de Frühling regel die in het verleden vaak werd toegepast [Vaes et al., 2000, 2004b].

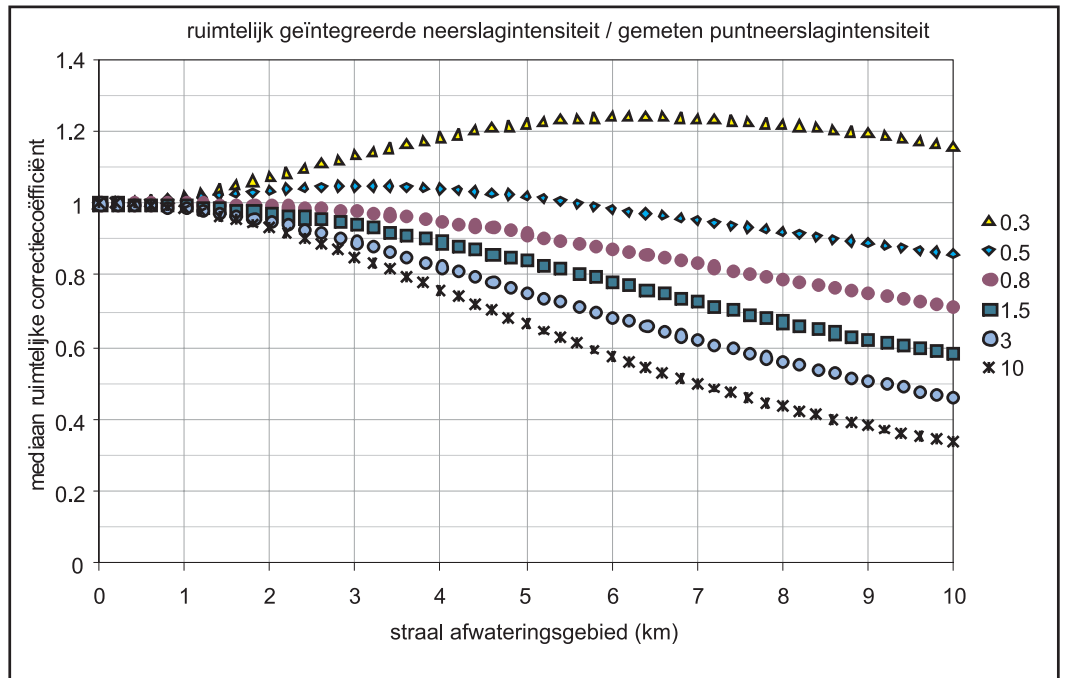
Conclusies

Bij hydrologische en hydraulische berekeningen bepaalt de toepassing en het type te modelleren watersysteem in grote mate de optimale keuze van de neerslaginvoer. De afweging moet echter verder gaan dan enkel m.b.t. de neerslaginvoer. Meestal gaat de keuze van het type model en van de neerslaginvoer hand in hand. De optimale combinatie kan bijvoorbeeld een vereenvoudigd

model zijn met continue lange-termijn-simulaties, omdat de lange-termijn-simulatie een grote meerwaarde betekent boven een gedetailleerd model. Een slechte keuze van de neerslaginvoer kan leiden tot verkeerde inschattingen van de risico's met soms verstreckende gevolgen.

Voor de toepassing van rioleringsberekeningen werd een overzicht m.b.t. de neerslagdata en de neerslaginvoer neergeschreven in de "Toelichting bij de code van goede praktijk voor het ontwerp van rioleringen" (www.mina.be/code_goede_praktijk.html) [Vaes et al., 2004a]. Voor de toepassing van waterloopberekeningen werd een overzicht gegeven in de "Algemene methodologie voor het modelleren van de waterafvoer in bevaarbare waterlopen in Vlaanderen"

Figuur 4 : Ruimtelijke correctiecoëfficiënten voor 10 minuten neerslag [Vaes et al., 2004b].



[Willems et al., 2000] en in het rapport bij het "Ruimtelijk neerslagmodel Vlaanderen" [Willems et al., 2003].

Meer informatie is ook te vinden op www.kuleuven.be/hydr/urban.html.

Referenties

Blanckaert J. & Willems P. (2006). Opstellen van een methode voor het inrekenen van de klimaatverandering in de compositiehydrogrammethode – Analyse trends en cycli, Rapport MOD 706/10-2 van het Waterbouwkundig Laboratorium van de Vlaamse Overheid, door K.U.Leuven - Afdeling Hydraulica en IMDC.

Einfalt Th., Arnbjerg-Nielsen K., Golz C., Jensen N.-E., Quirnbach M., Vaes G. & Vieux B. (2004). Towards a Roadmap for Use of Radar Rainfall Data in Urban Drainage. *Journal of Hydrology*, volume 299, nr. 3-4.

Luyckx G. & Berlamont J. (2001). Vereenvoudigde methode om neerslagmetingen van kantelbakpluviografen te corrigeren. *Rioleringswetenschap*, nr. 4.

Luyckx G. & Berlamont J. (2002). Accuracy of siphoning rain gauges. 9th International Conference on Urban Drainage, Portland, VSA, september 2002.

Luyckx G., Willems P. & Berlamont J. (1998). Influence of the spatial variability of rainfall on sewer system design. *Hydrology in a changing environment*, ed. H. Wheeler & C. Kirby, John Wiley & Sons, volume III.

Vaes G. (1999). The influence of rainfall and model simplification on combined sewer system design. Doctoraatsthesis, Faculteit Ingenieurswetenschappen K.U.Leuven, www.hydroscan.be/hydrofront.cgi?s_id=20.

Vaes G. (2000). De invloed van neerslag en modelvereenvoudiging op het ontwerp van gemiddelde rioleringen. *@WEL - Water* nr. 3.

Vaes G. & Berlamont J. (1996). Compositiebuien als neerslaginvoer voor rioleringsberekeningen. *Water*, nr. 88.

Vaes G. & Berlamont J. (2000). Is er een trend in 100 jaar neerslag te Ukkel? *@WEL - Water* nr. 5, juni 2000.

Vaes G. & Berlamont J. (2004a). The use of standard tipping bucket rain gauges to measure extreme rainfall intensities. 6th International Conference on Urban Drainage Modelling, Dresden, Duitsland, september 2004.

Vaes G. & Berlamont J. (2004b). Het ontwerp van bronmaatregelen gebaseerd op continue lange-termijn-simulaties. *Water*, nr. 13, januari/februari 2004.

Vaes G., Willems P. & Berlamont J. (1994). Een kritische kijk op IDF-relaties. *Water*, nr. 79.

Vaes G., Luyckx G. & Berlamont J. (2000). Nieuwe tendensen in het rioleringsontwerp. *Water* nr. 7, oktober 2000.

Vaes G., Willems P. & Berlamont J. (2001). Rainfall input requirements for hydrological calculations. *Urban Water*, volume 3, nr. 1-2.

Vaes G., Willems P. & Berlamont J. (2002a). Selectie en compositie van representatieve hydrogrammen voor riviermodellering. *Water*, nr. 1, mei 2002.

Vaes G., Willems P. & Berlamont J. (2002b). Bewegende buien voor het ontwerp van riolen. *Rioleringswetenschap en -techniek*, volume 2, nr. 6.

Vaes G., Bouteligier R., Luyckx G., Berlamont J. (2004a). Toelichting bij de Code van goede praktijk voor het ontwerp van rioleringen, Rapport door K.U.Leuven - Afdeling Hydraulica in opdracht van de Afdeling Water, www.mina.be/code_goede_praktijk.html.

Vaes G., Willems P. & Berlamont J. (2004b). Ruimtelijke neerslagcorrectiecoëfficiënten voor rioleringsberekeningen. *Rioleringswetenschap en -techniek*, nr. 15, september/oktober 2004.

Willems P. (2000a). Probabilistic immission modelling of receiving waters. Doctoraatsthesis, Faculteit Ingenieurswetenschappen K.U.Leuven.

Willems P. (2000b). Compound intensity/duration/frequency-relationships of extreme precipitation for two seasons and two storm types, *Journal of Hydrology*, vol. 233, 189 - 205

Willems P. (2001). A spatial rainfall generator for small spatial scales, *Journal of Hydrology*, vol. 252, 126-144

Willems P., Qvick A., Vaes G., Berlamont J., Christiaens K. & Feyen J. (2000). Algemene methodologie voor het modelleren van de water-

afvoer in bevaarbare waterlopen in Vlaanderen. Rapport door K.U.Leuven in opdracht van het Waterbouwkundig Laboratorium van de Vlaamse Overheid.

Willems P., Delbeke L., Qvick A., Vaes G., Berlamont J., Verhoest N., de Troch F., Sas M. & Demarée G. (2003). Ontwikkeling van een operationeel ruimtelijk neerslagmodel voor Vlaanderen. Rapport in opdracht van Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Programma Beleidsgericht Onderzoek.

Willems P., Boukhris O., Berlamont J., Blanckaert J., Van Eerdenbrugh K., Viaene P. (2007). Impact van klimaatverandering op hydrologische extremen - testcase Dender, *Water*, dit nummer.

Guido Vaes
Projectmanager,
HydroScan NV,
Tiensevest 26/4,
3000 Leuven,
tel 016 24 05 05,
fax 016 24 05 09,
E-mail: Guido.Vaes@hydroscan.be

Patrick Willems
Postdoctoraal onderzoeker FWO-Vlaanderen en
gastdocent K.U.Leuven
Laboratorium voor Hydraulica,
K.U.Leuven,
Kasteelpark Arenberg 40,
3001 Heverlee,
tel 016 32 16 63,
fax 016 32 19 89,
E-mail: Patrick.Willems@bwk.kuleuven.be