

EEN KRITISCHE KIJK OP IDF-RELATIES

ir. G. VAES, ir. P. WILLEMS,
prof. J. BERLAMONT,
Laboratorium voor Hydraulica,
Departement Burgerlijke Bouwkunde,
K.U. Leuven

A critical view on Rainfall IDF-relationships

For many years the use of Rainfall IDF-relationships (Intensity/Duration/Frequency-relationships) has been standard practice for hydrological design calculations. Now digitized rainfall data from Uccle for 27 years with a time step of 10 minutes have become recently available and computer power is no longer the limiting factor, new IDF-relationships have been determined, including the IDF-relationships for return periods of less than two years. From this research we can conclude that we only can assess the IDF-relationships with an uncertainty around 10%, because of statisti-

cal variation of rainfall and limiting data set. There are many possibilities to determine IDF-relationships. Depending on the way IDF-relationships have been made they have to be implemented differently, or in the opposite way: depending on the application, they have to be determined in a different way. Besides, one has to be very careful to implement IDF-relationships into design storms, since this implementation may be strongly related to the design criteria and the applied models.

"Blessed is he who expects nothing, for he shall never be disappointed!"
(E. J. Gumbel)

1. BELANG

Reeds vele jaren worden IDF-curven (Intensiteit/Duur/Frequentie-curven) met betrekking tot de neerslag gebruikt bij hydrologische ontwerpberekeningen, onder andere voor riolerings [1]. IDF-curven geven weer met welke gemiddelde frequentie (of terugkeerperiode) gemiddelde neerslagintensiteiten (of -volumes) in een vooropgestelde tijdsduur verwacht kunnen worden. Het opstellen ervan is een monnikenwerk, alhoewel vandaag de dag het overgrote deel van het werk door computers kan worden verricht. IDF-relaties zijn wel de meest gebruikte vorm van statistisch verwerkte neerslaggegevens voor hydrologische berekeningen, maar hun toepassingsgebied is beperkt. Daarnaast kunnen andere vormen van neerslagdata worden afgeleid uit opgemeten neerslag, elk met hun eigen toepassingsgebied, beperkingen en nauwkeurigheid. Bij het gebruik van neerslagdata moet men zich dus goed bewust zijn van de manier waarop deze neerslagdata werden bekomen en verwerkt.

2. WAT ZIJN IDF-RELATIES ?

2.1 Historiek

In 1985 publiceerde G. Demarée IDF-curven voor Ukkel [2]. Deze curven werden opgesteld op basis van de jaarlijkse maxima voor de periode 1934 - 1983 opgemeten te Ukkel door het K.M.I. en verwerkt door gebruik te maken van een extreme waarden kansverdelingsfunctie, namelijk de Gumbel kansverdelingsfunctie. Het gebruik van jaarlijkse maxima is een benadering die gemaakt diende te worden om de verwerkingstijd tot een aanvaardbaar niveau te beperken. Met deze methodologie kunnen IDF-relaties enkel berekend worden voor terugkeerperioden groter dan of gelijk aan 2 jaar.

Een tiental jaar daarvoor, in 1976, publiceerde A. Laurant reeds IDF-curven voor Ukkel [3]. Hij gebruikte de neerslagdata voor de periode 1934 - 1973 en analyseerde deze data door de overschrijdingsfrequenties te tellen (verder de histogram methode genoemd). Omwille van het rechtstreeks fitten aan de berekende IDF-relaties (voor kleine terugkeerperioden), zijn de relaties voor stijgende terugkeerperioden minder nauwkeurig. Laurant extrapoleerde zijn IDF-relaties zelfs voor een terugkeerperiode van 1000 jaar, maar de betrouwbaarheid van de IDF-relaties voor terug-

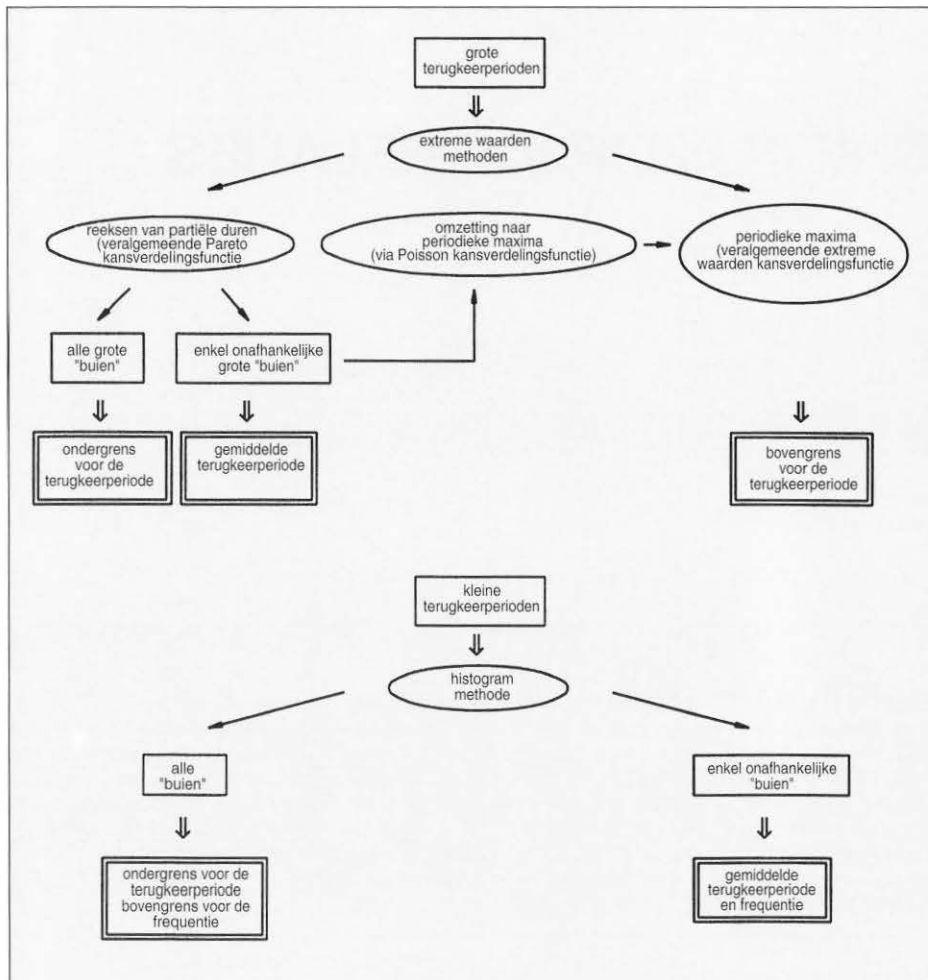
keerperioden groter dan 10 jaar is klein.

Nu, vele jaren later, beschikken we over computers die voldoende krachtig zijn om IDF-relaties te berekenen die gebaseerd zijn op alle gegevens en die tevens geavanceerde statistische berekeningen hierop aankunnen. De beschikbare gegevens hiervoor zijn de neerslaggegevens van Ukkel voor de periode 1967 - 1993 met een tijdstap van 10 minuten die recentelijk (maart 1994) door het K.M.I. gedigitaliseerd ter beschikking werden gesteld.

2.2 Beperktheden van de neerslagdata

Doordat de beschikbare neerslagreeks beperkt is tot 27 jaar kan met de histogram methode geen uitspraak gedaan worden over grote terugkeerperioden. Hiervoor zijn extreme waarden methoden nodig. Doordat extreme waarden methoden slechts gebaseerd zijn op een klein gedeelte van de neerslagdata, zal de nauwkeurigheid van de IDF-relaties voor grote terugkeerperiode klein zijn. Enkel met een langere reeks van gegevens kan ook voor grote terugkeerperioden met de histogram methode een intensiteit/duur-relatie worden opgesteld. Deze langere reeks van neerslaggegevens zou kunnen bekomen worden door de beschikbare neerslaggegevens van Ukkel, waar reeds sinds 1893 waarnemingen worden gedaan, te digitaliseren en zo bruik-

Figuur 1: Overzicht van de methodes voor het berekenen van IDF-relaties.



baar te maken voor verwerking met een computer. Op een kleine periode in 1940 na zijn alle neerslagmetingen sinds 1934 beschikbaar voor Ukkel. Voor de periode tussen 1893 en 1934 zijn de neerslaggegevens beperkt.

Een andere methode om een langere reeks neerslaggegevens te bekomen, bestaat erin een neerslaggenerator op te stellen die gecallibreerd wordt met de beschikbare gegevens [4,5]. Deze gesimuleerde reeksen bevatten echter in wezen dezelfde statistische informatie als de kortere reeks waaruit ze zijn afgeleid en laten dus niet toe bepaalde tendensen aan het licht te brengen. Deze tendensen zijn niet alleen nuttig om veranderingen te bestuderen in neerslagpatronen, maar tevens om de algemene klimaatseffecten en -veranderingen beter te begrijpen.

In België wordt er bij hydrologische berekeningen, op enkele uitzonderingen na, uitsluitend gebruik gemaakt van de neerslag opgemeten te Ukkel. Nochtans is meermaals aangetoond dat specifieke microklimaten met verhoogde neerslag in België voorkomen, bijvoorbeeld in het oosten van Brussel [6]. Het systematisch vergelijken van de neerslaggegevens van Ukkel met deze van andere meetstations kan ons hierover heel wat leren. Zo een onderzoek zou kunnen leiden tot het tekenen van een kaart waarop de verschillende microklima-

ten worden aangeduid. Op deze kaart kunnen factoren worden aangeduid waarmee de neerslagintensiteiten opgemeten te Ukkel moeten worden vermenigvuldigd om het plaatselijke microklimaat te benaderen. In Nederland zijn zulke kaarten opgemaakt, maar de correctiefactoren worden er toegepast op de overschrijdingsfrequentie of terugkeerperiode in plaats van op de neerslagintensiteit [7]. Via IDF-relaties kan dit echter worden omgerekend naar correctiefactoren op de intensiteiten.

2.3 Interpretatie van IDF-relaties

2.3.1 Drie soorten IDF-relaties

Afhankelijk van de manier waarop IDF-relaties worden opgesteld, dienen ze op een verschillende manier te worden geïnterpreteerd, of omgekeerd: afhankelijk van de toepassing dienen IDF-relaties op een verschillende manier te worden opgesteld. Er zijn drie soorten werkwijzen of mogelijkheden tot interpretatie. Voor een bui met een bepaalde duur en intensiteit kan een gemiddelde terugkeerperiode worden bepaald. Dit vergt heel wat inspanning en daarom beperkt men zich meestal tot het berekenen van de ondergrens of de bovengrens voor de terugkeerperiode. Een bovengrens voor de terugkeerperiode is een onveilige aanname, want het is een ondergrens voor de intensiteit. In figuur 1 wordt

het organigram van de verschillende berekeningsmethoden weergegeven.

In het vervolg van deze tekst zal met een 'bui' de neerslaggebeurtenis worden bedoeld gedurende een bepaalde, vastgelegde tijdsduur; de buiduur genoemd. Deze definitie wijkt af van wat psychologisch onder een bui verstaan wordt; verder fysische bui genoemd.

2.3.2 Gemiddelde terugkeerperioden

De grens tussen afhankelijke en onafhankelijke 'buien' (dit wil zeggen 'buien' die al dan niet leiden tot éénzelfde effect) is vaak moeilijk te trekken. Om deze reden is het bepalen van de gemiddelde terugkeerperiode (overeenkomstig met onafhankelijke buien) niet evident. Daarnaast kunnen verschillende kort opeenvolgende fysische buien tot éénzelfde effect leiden. Dit betekent dat ook fysische buien afhankelijk kunnen zijn. Om afhankelijke en onafhankelijke buien te scheiden, zowel (kunstmatige) 'buien' die behoren tot dezelfde fysische bui als afhankelijke fysische buien, moet een criterium worden opgesteld. Dit criterium kan gebaseerd zijn op een drempelwaarde voor de intensiteit of voor de droog weer periode tussen twee buien; ook een combinatie van de twee kan worden gebruikt. Laurant (1976) gebruikte een minimale droog weer periode van 6 uur tussen zijn buien om ze te scheiden, maar gebruikte daarbij een drempelwaarde voor het totaal volume tijdens de droog weer periode [3]. Het invoeren van een criterium is echter subjectief en vaak het zwakke punt in de berekening van de IDF-relaties. Eigenlijk zou dit criterium moeten worden gedefinieerd in functie van de toepassing van de verkregen IDF-relaties, zodat twee 'buien' als onafhankelijk worden beschouwd wanneer ze werkelijk tot een verschillend effect leiden.

2.3.3 Bovengrens voor de terugkeerperioden

De bovengrens voor de terugkeerperiode is eenvoudiger te bepalen. Hiervoor wordt de methode met periodieke (jaarlijkse) maxima gebruikt. Wanneer volgens deze methode een bui een terugkeerperiode heeft van bijvoorbeeld 2 jaar, betekent dit dat gemiddeld één keer in twee jaar een jaarlijks maximum hoger ligt dan deze waarde. Omdat enkel de jaarlijkse maxima werden beschouwd, kan er geen uitspraak worden gedaan over de vraag: hoe dikwijls zal dit maximum worden overschreden in dit jaar? De betreffende bui kan dus meerdere keren voorkomen in hetzelfde jaar, maar zal gemiddeld minstens één keer in twee jaar voorkomen.

Via een theoretisch verband tussen de methode met reeksen van partiële duren (partial duration series) en de methode met periodieke maxima, via een Poisson kansverdelingsfunctie, kan men tot een nauwkeurigere bovengrens komen [8]. Hiertoe dienen echter de geselecteerde buien voor de methode met reeksen van partiële duren onafhankelijk te zijn, waarvoor een (subjectief) criterium dient te worden opgesteld.

Bij het gebruik van maxima over een meer

bepaalde periode dient men voorzichtig te zijn met de interpretatie van de bekomen resultaten. Wanneer men bijvoorbeeld maandelijkse maxima gebruikt, dan betekent een terugkeerperiode van 2 jaar dat eens in de twee jaar een maand zal voorkomen met één of meerdere buien met een volume dat groter of gelijk is aan de bijbehorende waarde. Dit is dus niet hetzelfde als wanneer men jaarlijkse maxima gebruikt.

Voor zeer grote terugkeerperioden (vanaf ongeveer 10 jaar bij het gebruik van jaarlijkse maxima) is de afwijking tussen de gemiddelde terugkeerperiode en de bovengrens nog maar klein [2]. De bovengrens voor de terugkeerperiode berekend uitgaande van jaarlijkse maxima kan niet worden berekend voor terugkeerperioden kleiner dan 2 jaar [2].

2.3.4 Ondergrens voor de terugkeerperioden

Ook de ondergrens voor de terugkeerperiode is eenvoudig te bepalen. Deze bovengrens voor de overschrijdingsfrequentie wordt bepaald door ook afhankelijke overschrijdingen mee te tellen. Een aanhoudende overschrijding kan dus meerdere keren worden geteld, gelijk aan de verhouding tussen de overschrijdingsperiode en de beschouwde buiduur.

3. HET OPSTELLEN VAN DE NIEUWE IDF-RELATIES

3.1 Regressievergelijkingen

Om de bruikbaarheid van IDF-relaties te vergroten, worden ze vaak benaderd met regressievergelijkingen. Bij hydrologische fenomenen blijkt er vaak een hyperbolisch verband te bestaan tussen, amplitude en duur, wat in dit geval betekent tussen neerslagintensiteit i en buiduur Δt . Naast enkele eenvoudige regressievergelijkingen die meestal een minder goede overeenkomst geven, levert de Talbot-Montana formule vaak een goede regressievergelijking op [2]:

$$i = \frac{a_1}{(a_2 + \Delta t)^{a_3}}$$

Deze regressievergelijking levert in een dubbel logaritmisch assenstelsel een rechte op, mits een constante verschuiving a_2 van de buiduur:

$$\log i = \log a_1 - a_3 \log (a_2 + \Delta t)$$

Bij toepassing op de nieuwe IDF-relaties blijkt dat deze regressievergelijking niet voor alle buiduren een even goede regressie oplevert. Een betere regressievergelijking bekomen we als we deze Talbot-Montana formule uitbreiden met een tweede graadsterm in het dubbel logaritmisch assenstelsel. Deze gewijzigde Talbot-Montana formule wordt dan:

$$i = \frac{a_1}{(a_2 + \Delta t)^{a_3 + a_4 \log (a_2 + \Delta t)}}$$

Tabel 1: Parameters voor de regressievergelijkingen voor kleine terugkeerperioden.

frequentie (aantal/jaar)	a_1	a_2	a_3	a_4
10	33,041	-5,2828	0,37207	0,057964
5	49,106	-5,0832	0,40421	0,054797
2	184,53	0,62291	0,70479	0,0056107
1	282,71	1,9809	0,74638	0,0036005

Tabel 2: Parameters voor de regressievergelijkingen voor grote terugkeerperioden.

terugkeerperiode (jaar)	a_1	a_2	a_3	a_4
2	462,12	3,4379	0,85912	-0,019040
5	1085,2	7,0105	1,0424	-0,048073
10	2214,9	10,232	1,2046	-0,073949
20	4865,6	13,963	1,3905	-0,10381

Tabel 3: Parameters voor de regressievergelijkingen voor zowel buiduur als terugkeerperiode.

domein terugkeerperiode	2 tot 10 jaar	2 tot 20 jaar
a_1	795,2	1245
a_2	7,184	9,628
a_3	1,050	1,172
a_4	-0,04909	-0,06846
a_5	0,2088	0,1998
gemiddelde afwijking	1,2%	1,6%
maximale afwijking	9,4%	14,6%

Van deze gewijzigde Talbot-Montana formule werd gebruik gemaakt voor de fitting van de nieuwe IDF-relaties (tabel 1 en 2). De maximale afwijkingen tussen regressievergelijking en data variëren tussen 2,2 % voor een frequentie van 10 keer per jaar en 9,5 % voor een terugkeerperiode van 20 jaar. De gemiddelde afwijkingen liggen ongeveer een factor 5 lager.

Ook voor de variatie van de intensiteit/duur-relaties voor verschillende terugkeerperioden kan een regressievergelijking worden gezocht. Voor hydrologische fenomenen wordt hiertoe vaak de constante teller omgevormd tot een machtsfunctie van de terugkeerperiode, waarvan de Sherman formule een goed voorbeeld is [2]:

$$i = \frac{a_1 T^{a_4}}{(a_2 + \Delta t)^{a_3}}$$

Demarée (1985) voegde hieraan een extra parameter toe, namelijk een constante verschuiving a_5 van de terugkeerperiode T , waardoor een veel betere regressievergelijking werd bekomen [2]:

$$i = \frac{a_1 (a_5 + T)^{a_4}}{(a_2 + \Delta t)^{a_3}}$$

Deze constante verschuiving van de terugkeerperiode levert voor de nieuwe IDF-relaties geen noemenswaardige verbetering van de nauwkeurigheid van de regressievergelijking op. Daarom combineren we de Sherman formule met de gewijzigde Talbot-Montana formule, wat de volgende vergelijking oplevert:

$$i = \frac{a_1 T^{a_5}}{(a_2 + \Delta t)^{a_3 + a_4 \log (a_2 + \Delta t)}}$$

In een dubbel logaritmisch assenstelsel bekomen we dan de volgende vergelijking:

$$\log i = \log a_1 - a_3 \log (a_2 + \Delta t) - a_4 \log^2 (a_2 + \Delta t) + a_5 \log T$$

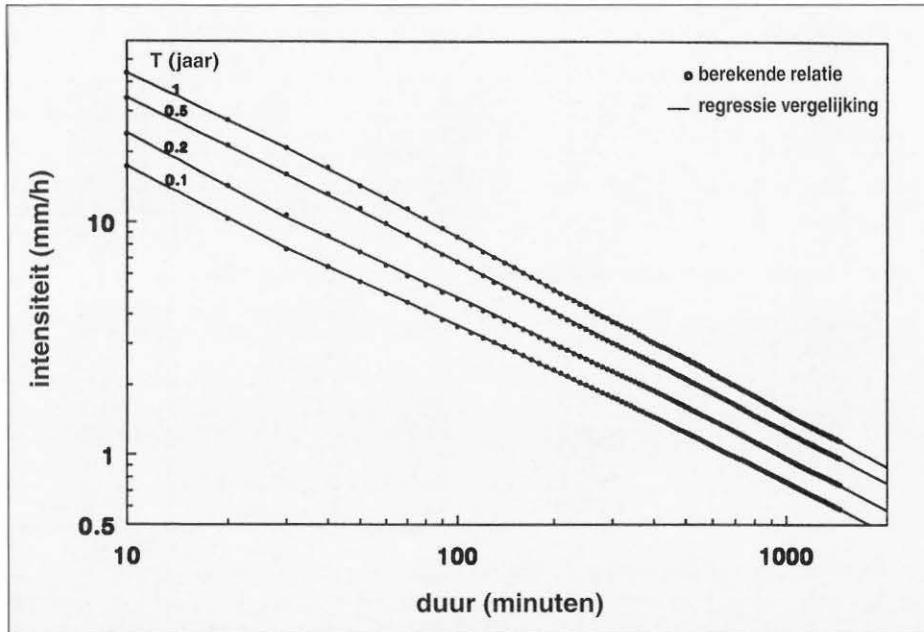
Deze vijf-parameter-formule werd gebruikt voor de fitting van de nieuwe IDF-relaties (tabel 3). Deze regressievergelijkingen voor zowel buiduur als terugkeerperiode gelden enkel voor het aangeduide domein van de terugkeerperiode en hebben een beperkte nauwkeurigheid.

3.2 Kleine terugkeerperioden

Met kleine terugkeerperioden worden hier terugkeerperioden bedoeld die klein zijn ten opzichte van de totale duur van de beschikbare neerslagreeks (hier 27 jaar). Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de histogram methode; het aantal overschrijdingen wordt eenvoudigweg geteld.

Als criterium om afhankelijke 'buien' te detecteren werd gebruik gemaakt van een gecombineerd criterium voor de droog weerperiode en de intensiteit. Twee 'buien' worden onafhankelijk beschouwd als tussen de twee overschrijdingen een periode ligt van minstens 24 uur. De keuze voor een tussenperiode van 24 uur is arbitrair, maar ingegeven door de psychologische perceptie van de mens met betrekking tot het effect

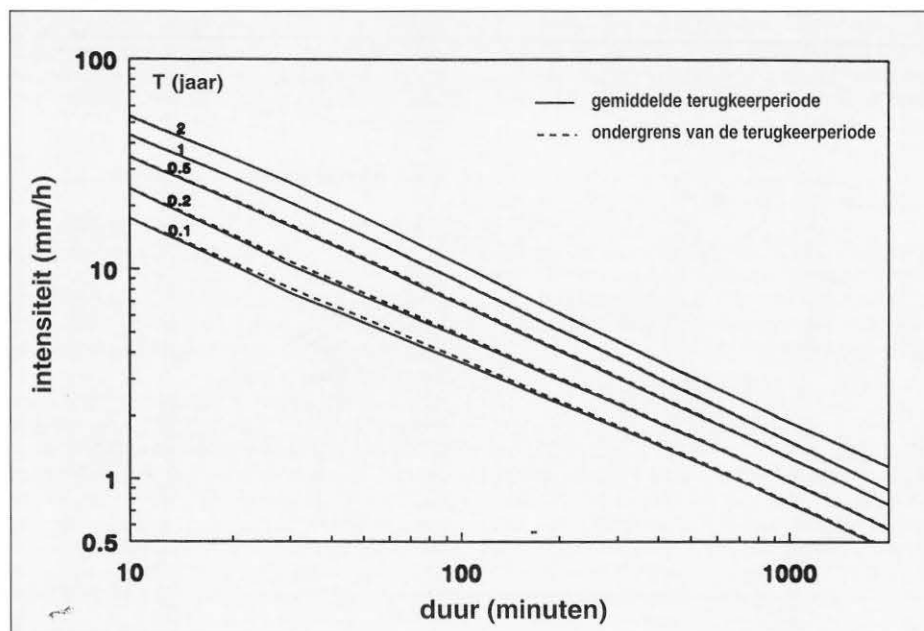
Figuur 2: IDF-relaties voor gemiddelde terugkeerperioden kleiner dan 2 jaar.



van deze gebeurtenissen: twee dezelfde effecten op dezelfde dag worden als één effect ervaren. Deze redenering geldt voor hydrologische berekeningen op kleine schaal, bijvoorbeeld rioleringsberekeningen. Voor meer grootschalige berekeningen, bijvoorbeeld voor hydrografische bekens, kan een grotere tussenperiode zinvol zijn. De resultaten van deze IDF-relaties bepaald met de histogram methode voor de gemiddelde frequenties, staan weergegeven in figuur 2.

Een vergelijking van de bovengrenzen voor de frequenties en de gemiddelde frequenties wordt weergegeven in figuur 3. Voor frequenties tussen 1 en 10 keer per jaar is het verschil zeer klein. De invloed van het gekozen onafhankelijkscriterium is hiervoor dus klein.

Figuur 3: Regressievergelijkingen voor de gemiddelde terugkeerperioden en de ondergrenzen ervan voor terugkeerperioden kleiner dan of gelijk aan 2 jaar.



3.3 Grote terugkeerperioden

3.3.1 Werkwijze

Wanneer de terugkeerperiode waarvoor men de IDF-relaties wenst te berekenen, niet klein is ten opzichte van de totale tijdreeks van neerslaggegevens waarover men beschikt, kan men de IDF-relaties niet meer benaderen door de overschrijdingsfrequenties gewoon te tellen. Het handelt dan immers over extreme gebeurtenissen die in de beschikbare neerslagreeks slechts een beperkt aantal keren voorkomen. Om voor deze terugkeerperioden de IDF-relaties te berekenen moeten we een beroep doen op een extreme waarde theorie.

Bij gebrek aan snelle computers werd vroeger vaak de methode van de periodieke maxima

toegepast, wat een bovengrens oplevert voor de terugkeerperioden [2]. Uit onderzoek aan het K.N.M.I (Nederland) en het K.M.I. blijkt dat de meest nauwkeurige methode voor het berekenen van IDF-relaties voor grote terugkeerperioden de methode met reeksen van partiële duren is [9]. Hiermee kan ook, net als voor kleine terugkeerperioden, de gemiddelde terugkeerperiode en een ondergrens ervoor worden bepaald, afhankelijk van het gestelde onafhankelijkheids criterium.

De spreiding op de terugkeerperiode is groter dan louter statistisch berekend wordt. Er blijkt immers een groepering te zijn van extreme (fysische) buien, clustering genoemd. Het gevolg van deze clustering is dat wanneer men spreekt van een gebeurtenis met een gemiddelde terugkeerperiode van 10 jaar, er heel veel kans is dat de 10 gebeurtenissen die gemiddeld in 100 jaar voorkomen, niet gelijk gespreid zullen voorkomen, maar gegroepeerd (bijvoorbeeld enkele in hetzelfde jaar of decennium).

3.3.2 Methode met reeksen van partiële duren [8,9]

De methode met reeksen van partiële duren bestaat erin alle gebeurtenissen die een bepaalde drempelwaarde overschrijden, en niet enkel de periodieke maxima, in de analyse te betrekken. De keuze van de drempelwaarde is belangrijk. Het gemiddeld aantal overschrijdingen per jaar bepaalt hoe nauwkeurig bepaalde overschrijdingsfrequenties of terugkeerperioden kunnen worden voorspeld. Wanneer het aantal overschrijdingen van de drempelwaarde klein is, worden de grote terugkeerperioden goed voorspeld, maar de kleine minder goed en andersom. Overschrijdingsfrequenties kleiner dan het gemiddeld aantal overschrijdingen van de drempelwaarde kunnen niet worden berekend. Bij de methode met reeksen van partiële duren wordt er een kansverdelingsfunctie gezocht voor de amplitude X_{pd} van elke gebeurtenis die in grootte (neerslagvolume of gemiddelde neerslagintensiteit) een bepaalde drempelwaarde x_0 overschrijdt. Met een gebeurtenis wordt hier een 'bui' bedoeld, zoals voorheen gedefinieerd. Dit kan beschreven worden met een veralgemeende Pareto kansverdelingsfunctie (Generalized Pareto distribution) met drie parameters (θ , β en x_0):

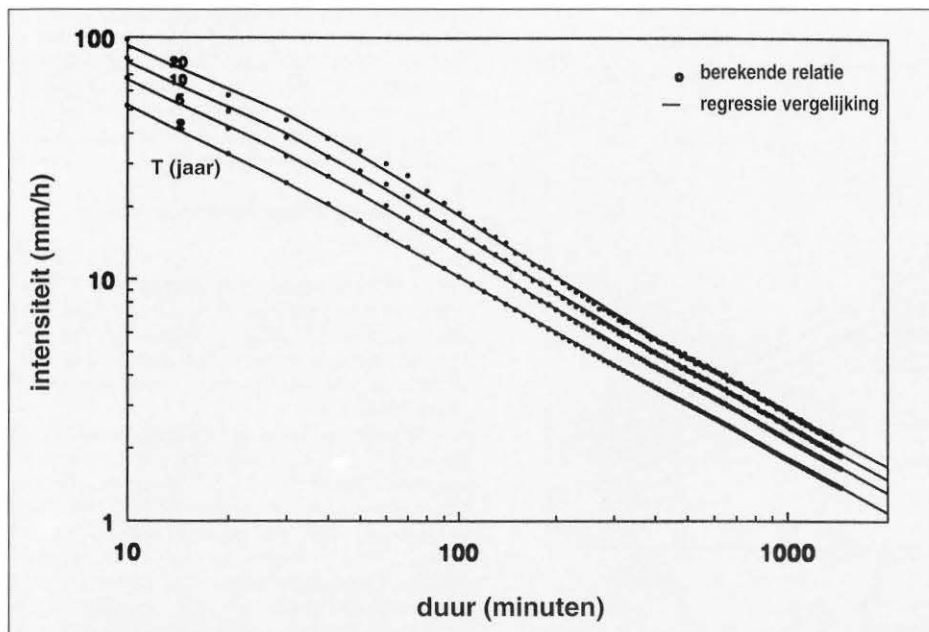
$$P(X_{pd} \leq x / X_{pd} \geq x_0) = 1 - (1 - \theta \frac{x - x_0}{\beta})^{\frac{1}{\theta}}$$

Voor $\theta = 0$ wordt de veralgemeende Pareto kansverdelingsfunctie herleid tot een exponentiële kansverdelingsfunctie.

3.3.3 Gemiddelde terugkeerperioden en ondergrenzen ervoor

Voor de berekening van de gemiddelde terugkeerperioden en de ondergrenzen voor de terugkeerperioden werd telkens gebruik gemaakt van de methode met reeksen van partiële duren met een drempelwaarde die gemiddeld 12 keer per jaar wordt overschreden. Dit bleek een goede keuze om terugkeerperioden tussen 1 en 10 jaar zo nauwkeurig mogelijk te voorspellen. Dit is de leemte die noch door de histogram me-

Figuur 4: IDF-relaties voor gemiddelde terugkeerperioden groter dan of gelijk aan 2 jaar.



thode noch door de methode met periodieke (jaarlijkse) maxima voldoende nauwkeurig kan worden berekend.

Net zoals voor de kleine terugkeerperioden worden de ondergrenzen bepaald door alle buien in te rekenen, dus ook de afhankelijke buien. Deze IDF-relaties blijken zeer dicht te liggen bij deze voor de gemiddelde terugkeerperioden.

Om de gemiddelde terugkeerperioden te berekenen, werd eveneens hetzelfde onafhankelijkheidscriterium gebruikt als bij de kleine terugkeerperioden.

Uit deze veralgemeende Pareto kansverdelingsfunctie kunnen rechtstreeks de IDF-relaties worden afgeleid voor gemiddelde terugkeerperioden of de ondergrens ervoor :

$$T(x) = \frac{T(x_0)}{P(X_{pd} \geq x/X_{pd} \geq x_0)}$$

Deze IDF-relaties voor de gemiddelde terugkeerperioden staan weergegeven in figuur 4.

3.3.4 Methode met periodieke maxima [2,8]

Bij de methode van de periodieke (jaarlijkse) maxima wordt een functie gezocht die een zo goed mogelijke aansluiting geeft aan de frequentieverdeling van de amplituden X_{pm} van de periodiek (jaarlijks) grootste gebeurtenissen. Voor hydrologische fenomenen blijkt deze functie meestal van de volgende vorm te zijn (cumulatief) :

$$P(X_{pm} \leq x) = e^{-\left(1 - \theta \frac{x - \mu}{\sigma}\right)^{\frac{1}{\theta}}}$$

Dit is de veralgemeende extreme waarden kansverdelingsfunctie (Generalized Extreme Value distribution) met drie parameters (θ , μ en σ); voor $\theta = 0$ wordt deze functie herleid tot de Gumbel kansverdelingsfunctie.

Uitgaande van de kansverdeling van de periodieke maxima kan dan bepaald worden

met welke terugkeerperiode T (uitgedrukt in aantal perioden waarvoor de maxima beschouwd worden) een welbepaalde waarde x voorkomt of overschreden wordt :

$$T(x) = \frac{1}{P(X_{pm} \geq x)}$$

Met de methode met reeksen van partiële duren kan ook een bovengrens voor de terugkeerperiode worden afgeleid. Indien wordt aangenomen dat het optreden van de verschillende gebeurtenissen in de reeks met partiële duren kan beschreven worden door een Poisson-proces (onafhankelijke gebeurtenissen), kan de kansverdelingsfunctie van de periodieke (jaarlijkse) maxima hieruit berekend worden. Deze blijkt verdeeld te zijn volgens de veralg-

meende extreme waarden kansverdelingsfunctie. Deze methode is in theorie beter geschikt om de bovengrens te bepalen dan de methode der periodieke maxima.

In figuur 5 wordt de vergelijking weergegeven tussen de gemiddelde terugkeerperiode en de bovengrens ervan voor enkele terugkeerperioden groter dan 1 jaar. In theorie geldt dat voor de bovengrens voor de terugkeerperiode de intensiteiten kleiner zijn dan voor de gemiddelde terugkeerperiode en dat voor groter wordende terugkeerperioden deze relaties dichter bij elkaar komen te liggen. Doordat bij de hier opgestelde IDF-relaties de foutmarge van dezelfde grootte-orde is als het verschil tussen de bovengrens en het gemiddelde, is dit theoretisch verband niet altijd waarneembaar.

3.4 Overlappende der methoden

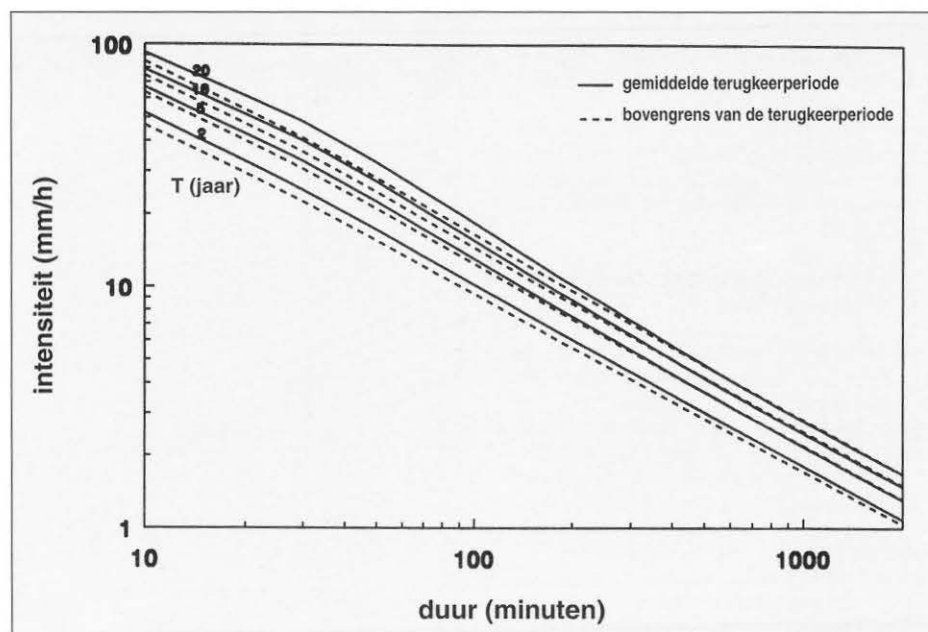
Zowel de histogram methode als de extreme waarden methoden werden toegepast met een overlappingsgebied. In figuur 6 wordt deze vergelijking weergegeven voor de gemiddelde terugkeerperioden. Voor terugkeerperioden rond 1 jaar komen ze goed overeen. Hieruit kunnen we besluiten dat de histogram methode zeker bruikbaar is voor terugkeerperioden tot 1 jaar en dat best gebruik wordt gemaakt van de methode met reeksen van partiële duren voor terugkeerperioden groter dan 1 jaar.

4. VERGELIJKING TUSSEN IDF-RELATIES VAN VROEGER EN NU

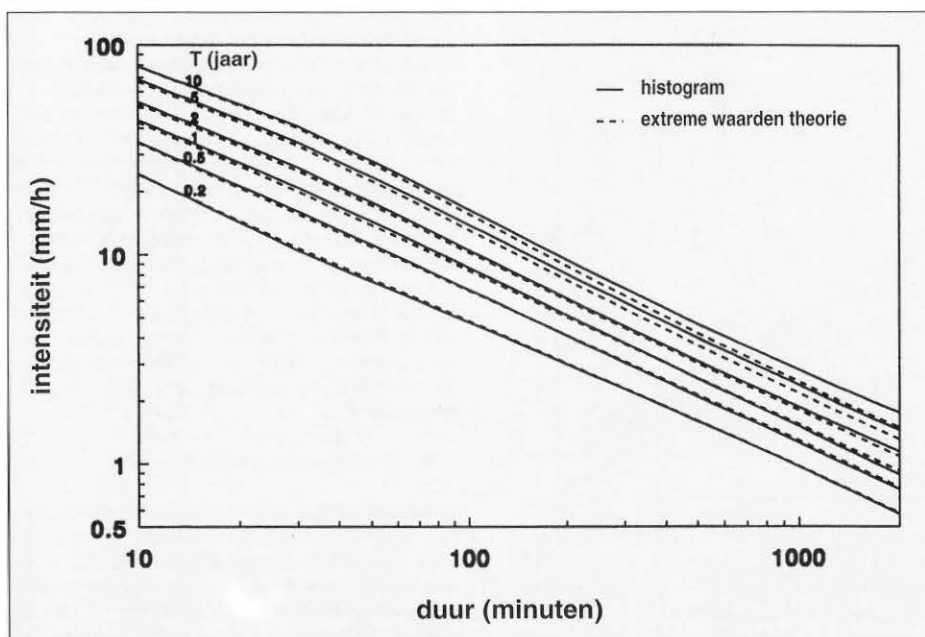
4.1 Betrouwbaarheidsintervallen

Op de extreme waarden verdelingen die gevonden worden, is een onzekerheid aanwezig. Uit deze onzekerheid vloeit een onzekerheid op de IDF-relaties voort. Deze kan zowel voorgesteld worden als een onzekerheid op de terugkeerperiode voor een

Figuur 5: Regressievergelijkingen voor de gemiddelde terugkeerperioden en de bovengrenzen ervan voor terugkeerperioden groter dan of gelijk aan 2 jaar.



Figuur 6: Regressievergelijkingen voor de histogram methode en de extreme waarden methode voor de gemiddelde terugkeerperioden.



bepaalde intensiteit als op de intensiteit voor een bepaalde terugkeerperiode. De betrouwbaarheidsintervallen waarbinnen de intensiteiten met 95 % zekerheid gelegen zijn, worden getoond in figuur 7 voor terugkeerperioden van 2 en 10 jaar. De grootte van de onzekerheidsmarges op de IDF-relaties worden bepaald door de hoeveelheid gegevens uit de neerslagreeksen die door de methode gebruikt wordt en door de vorm van het histogram van deze gegevens. Het goed kunnen benaderen van deze vorm door een extreme waarden kansverdelingsfunctie komt ten goede aan de nauwkeurigheid.

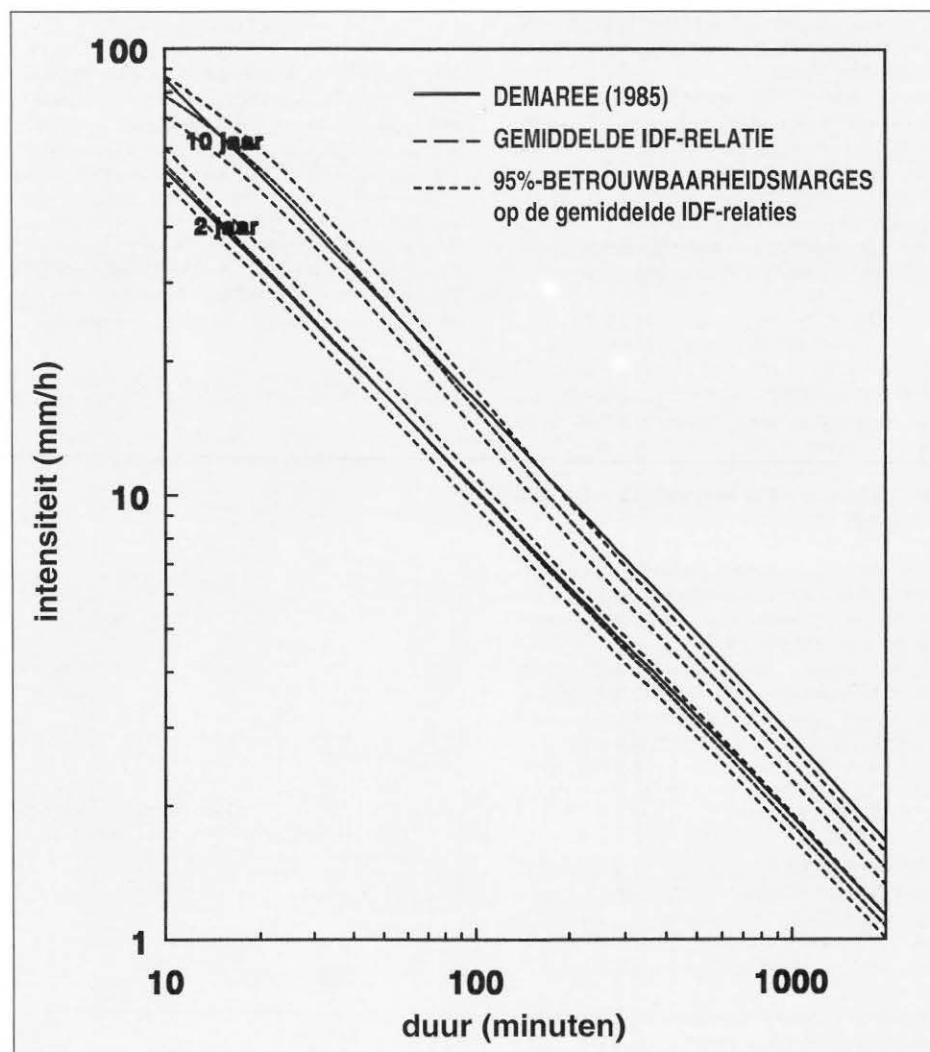
De methode met reeksen van partiële duren beschouwt hier één parameter meer dan de methode van de jaarlijkse maxima en het aantal in rekening gebrachte extreme waarden is een factor 12 groter. De betrouwbaarheidsintervallen zijn bij de methode met reeksen van partiële duren daarom kleiner. Demarée (1985) gebruikte de methode van de jaarlijkse maxima, maar voor een langere waarnemingsperiode (50 jaar). De betrouwbaarheidsmarges op deze IDF-relaties uit 1985 zijn kleiner dan voor de nieuwe IDF-relaties volgens dezelfde methode van de jaarlijkse maxima, maar groter dan voor de nieuwe gemiddelde IDF-relaties volgens de methode met reeksen van partiële duren.

4.2 Terugkeerperioden groter dan of gelijk aan 2 jaar

In de huidige richtlijnen voor het ontwerp van rioleringen staan neerslagintensiteiten aangegeven waarmee ontwerp- en nazichtsberekeningen uitgevoerd dienen te worden (tabel 4) [1]. De neerslagintensiteiten uit de huidige richtlijnen zijn gebaseerd op de IDF-relaties die door Demarée werden opgesteld in 1985 en geven een bovengrens voor de terugkeerperioden [2]. Men zou echter beter werken met gemiddelde terugkeerperioden (figuur 4), omdat de bovengrens voor de terugkeerperiode

een onderschatting van de intensiteit oplevert. In tabel 4 worden ook de intensiteiten

Figuur 7: Regressievergelijkingen voor de nieuwe IDF-relaties voor gemiddelde terugkeerperioden (met de 95%-betrouwbaarheidsintervallen) en deze volgens Demarée (1985) [2].



aangegeven die overeenkomen met de gemiddelde terugkeerperioden en tussen haakjes is de relatieve afwijking ten opzichte van de huidige richtlijnen weergegeven. Rekening houdend met de betrouwbaarheidsmarges toont tabel 4 dat de buien uit de richtlijnen niet wezenlijk afwijken van de gemiddelde nieuwe IDF-relaties.

4.3 Terugkeerperioden kleiner dan 2 jaar

Voor terugkeerperioden kleiner dan 2 jaar werden voor Ukkel IDF-relaties opgesteld door Laurant (1976) [3]. Deze IDF-relaties komen goed overeen met de nieuwe gemiddelde IDF-relaties. De maximale afwijking is slechts 6 %.

Bij impactsimulaties in Vlaanderen worden andere buien gebruikt met een terugkeerperiode kleiner dan 2 jaar. Deze buien zijn afkomstig uit Groot-Brittannië [10]. Bij het verwerken van de neerslaggegevens in Groot-Brittannië werd het land in een aantal delen opgesplitst, omdat het klimaat in de verschillende delen te sterk verschilt. Het klimaat in Vlaanderen bleek het best overeen te komen met dit van Zuid-Oost Engeland. Daarom werd de neerslag uit dit gebied overgenomen voor Vlaanderen voor de buien met een terugkeerperiode kleiner

Tabel 4: Neerslagintensiteiten voor rioleringsberekeningen uit de huidige richtlijnen (bovenste getal) en volgens de nieuwe IDF-relaties voor de gemiddelde terugkeerperioden (onderste getal) met tussen haakjes de relatieve afwijkingen ten opzichte van de huidige richtlijnen [1].

neerslag-intensiteit (mm/h)	buiduur (min)			
terugkeer-periode (jaar)	10	20	30	60
2	51 54,9 (+7%)	33 32,6 (-1%)	26 25,8 (-1%)	16 16,1 (+1%)
5	68 67,7 (0%)	44 47,6 (+8%)	35 34,1 (-3%)	21 20,1 (-4%)
10	79 78,7 (0%)	51 54,7 (+7%)	39 42,1 (+8%)	24 24,0 (0%)

dan 2 jaar en geïmplementeerd in de "Vlaamse Neerslaggenerator" van Hydronaut.

In tabel 5 worden de neerslagvolumes weergegeven afkomstig uit de Vlaamse Neerslaggenerator (versie 1.43) [10]. Tevens worden de neerslagvolumes weergegeven volgens de nieuwe IDF-relaties overeenkomstig met de gemiddelde terugkeerperioden, alsook (tussen haakjes) de relatieve afwijkingen ten opzichte van de Vlaamse Neerslaggenerator. In het algemeen zijn de Britse neerslagvolumes die werden overgenomen in de Vlaamse Neerslaggenerator een lichte onderschatting van de neerslagvolumes van Ukkel. Voor groter wordende buiduren en overschrijdingsfrequenties is deze onderschatting meer uitgesproken.

5. IMPLEMENTATIE VAN IDF-RELATIES

Bij het implementeren van IDF-relaties onder de vorm van ontwerp buien dient men bewust te zijn van de manier waarop de gebruikte IDF-relaties werden afgeleid. Dit bepaalt onder andere of men de intensiteiten al dan niet onder- of overschat. Wanneer IDF-relaties voor gemiddelde terugkeerperioden beschikbaar zijn, dienen deze te worden gebruikt (figuren 2 en 4). Daarnaast kan ook door de aanwezigheid van een lokaal microklimaat een onder- of overschatting worden gemaakt. De neerslaggegevens van Ukkel zijn niet vanzelfsprekend geldig voor heel België.

De belangrijkste beperking is echter dat een IDF-relatie voor een bepaalde terugkeerperiode enkel een gemiddelde neerslag oplevert in een vastgelegde 'buiduur'. IDF-relaties bevatten dus geen informatie over de variatie van de neerslag binnen de 'buiduur', noch over de neerslag die dit 'neerslagblok' voorafgaat.

Deze beperkingen dient men goed in het achterhoofd te houden bij de implementatie van IDF-relaties. Afhankelijk van de toepassing kunnen deze beperkingen leiden tot grote berekeningsfouten en dient er dus een specifieke oplossing voor te worden gezocht. Het gebrek aan kennis over de neerslagvariëaties kan voor ontwerp berekeningen

vaak opgevangen worden door de berekeningen uit te voeren voor een reeks van verschillende 'buiduren'. Ook de voorafgaande neerslag kan een belangrijke invloed hebben. De capaciteit van een waterafvoer- of bergingssysteem kan immers al sterk verminderd zijn door de voorafgaandelijke neerslag, waardoor grote onderschattingen kunnen optreden bij de berekening ervan.

6. CONCLUSIES

De voorgestelde nieuwe IDF-relaties moeten met voorzichtigheid worden gehanteerd. Er is immers een grote onzekerheid op IDF-relaties. Wanneer meer neerslagdata beschikbaar is, kan deze onzekerheid worden verkleind. Ook deze IDF-relaties zijn dus niet 'de waarheid'.

Bij hydrologische ontwerp berekeningen hangt de aan te nemen ontwerpneerslag af van verschillende factoren. Enerzijds kan de neerslag sterk verschillen van plaats tot plaats, wat niet kan worden voorspeld met de neerslagreeks van één meetstation. In België komen op relatief korte afstanden zeer uiteenlopende microklimaten voor. Anderzijds is er de gebruikte methodologie die bepaalt welke ontwerpneerslag nodig is. Zowel de gestelde criteria, de manier van modellering, als het gebruikte simulatiemodel of de gebruikte berekeningsmethode spelen hierbij een rol.

Ontwerpregels zijn daarom geen manier om de volledige werkelijkheid te simuleren, maar wel een algemeen aanvaardbare code om tot een goed ontwerp te komen. Dit betekent dus ook dat bekomen berekeningsresultaten geïnterpreteerd dienen te worden. Het is immers onmogelijk om regels op te stellen waaraan berekeningsresultaten in alle mogelijk voorkomende situaties kunnen voldoen.

Door de grote onzekerheden op de verschillende parameters bij hydrologische ontwerp berekeningen, is het zinvol om te evolueren naar een stochastisch ontwerp. Dit betekent dat de onzekerheden op de verschillende parameters, zowel de data als de modelparameters, worden geschat en er met behulp van random simulaties een kansverdelingsfunctie van de outputparameters wordt verkregen.

Voor impactberekeningen gelden dezelfde opmerkingen als voor ontwerp berekeningen, maar de invloed van statistische onzekerheid op data en modellen is nog groter. Niemand heeft de waarheid in pacht. We moeten resultaten en regels leren relativiseren.

Tabel 5: Neerslagvolumes volgens de Vlaamse Neerslaggenerator (versie 1.43) van Hydronaut (bovenste getal) en volgens de nieuwe IDF-relaties voor gemiddelde terugkeerperioden (onderste getal) met tussen haakjes de relatieve afwijkingen ten opzichte van de Vlaamse Neerslaggenerator [10].

neerslag-volumes (mm)	buiduur Δt (min)			
frequentie (aantal/jaar)	30	60	120	240
12	3,3 3,50 (+6%)	4,2 4,62 (+10%)	5,0 5,92 (+18%)	6,0 7,64 (+27%)
10	3,7 3,84 (+4%)	4,6 4,93 (+7%)	5,6 6,38 (+14%)	6,6 8,24 (+25%)
7	4,4 4,60 (+5%)	5,6 5,77 (+3%)	6,7 7,34 (+10%)	8,0 9,44 (+18%)
6	4,8 4,94 (+3%)	6,0 6,10 (+2%)	7,3 7,76 (+6%)	8,7 9,96 (+14%)
4	6,0 5,97 (-1%)	7,5 7,27 (-3%)	9,1 9,10 (0%)	10,8 11,44 (+6%)
3	6,7 6,80 (+1%)	8,3 8,27 (0%)	10,1 10,08 (0%)	12,0 12,52 (+4%)
2	7,7 8,07 (+5%)	9,6 9,90 (+3%)	11,6 11,86 (+2%)	13,9 14,32 (+3%)
1	9,4 10,47 (+11%)	11,9 12,70 (+7%)	14,3 14,94 (+4%)	17,0 17,77 (+5%)

Toch dienen we ons hier niet bij neer te leggen. De beschikbare informatie vergroot steeds en verder wetenschappelijk onderzoek kan inzichten doen veranderen of verruimen. Om de beschikbare informatie te doen toenemen is het noodzakelijk metingen te verrichten. Fysische fenomenen kunnen enkel begrepen worden door het bestuderen ervan.

Dit alles zou moeten leiden tot een dynamische methodologie voor hydrologische ontwerp- en impactberekeningen, welke voortdurend wordt bijgestuurd op basis van deze nieuwe informatie en inzichten.

*ir. G. VAES, ir. P. WILLEMS
prof. J. BERLAMONT
Laboratorium voor Hydraulica
Departement Burgerlijke Bouwkunde
K.U. Leuven
de Croylaan 2
3001 Heverlee*

DANKWOORD

De 10-minuten neerslagdata over een pe-

riode van 27 jaar, waarop de nieuwe IDF-relaties die in dit artikel werden voorgesteld werden gebaseerd, werden door het K.M.I. gedigitaliseerd ter beschikking gesteld; waarvoor onze dank.

REFERENTIES

- [1] Berlamont J., "Nieuwe richtlijnen voor het ontwerp en de berekening van rioolstelsel in Vlaanderen", Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AROL, 1988.
- [2] Demarée G., "Intensity-Duration-Frequency relationships of point precipitation at Uccle, 1934 - 1983", K.M.I. publikaties, reeks A, nr. 116, 1985.
- [3] Laurant A., "Nouvelles recherches sur les intensités maximum de précipitations à Uccle. Courbes d'intensité - durée - fréquence", T.O.W.B., 1976.
- [4] Mariën J. L. en Vandewiele G. L., "A point rainfall generator with internal storm structure", Water Resources Research, volume 22, nr. 4, 1986.
- [5] Velghe T., Troch P. A., De Troch F. P. en Van de Velde J., "Evaluation of cluster-based

rectangular pulses point process models for rainfall", Water Resources Research, volume 30, nr. 10, 1994.

- [6] Waterbouwkundig Laboratorium, "Studie van de Zenne", Ministerie van Openbare Werken, Bruggen en Wegen, Bestuur der Waterwegen, mod 279, 1973.
- [7] Van Sluis J. W., Ten Hove D. en De Boer B., "Eindrapportage en evaluatie van het onderzoek 1982 - 1989", Nationale Werkgroep Riolerings en Waterkwaliteit (Nederland), 1989.
- [8] Buishand T. A., "Statistics of extremes in climatology", Statistica Neerlandica, nr. 43, 1989.
- [9] Buishand T. A., Demarée G., "Estimation of the annual maximum distribution from samples of maxima in separate seasons", Stochastic Hydrology and Hydraulics, nr. 4, 1990.
- [10] Wallingford Software, "Rainfall generator for Aquafin, version 1.43", 1993.

GROOTSTE SLEEPHOPPERZUIGER TER WERELD WORDT GEDOOPT IN THUISHAVEN ZEEBRUGGE



Op de terreinen van Flanders Container Terminal te Zeebrugge vond op vrijdag 30 september 1994 de doop plaats van de sleep-hopperzuiger 'Pearl River'. Mevrouw F. Desmyter, echtgenote van de Secretaris-generaal van het Vlaamse Ministerie van Leefmilieu en Infrastructuur, heeft het meterschap van het vaartuig aanvaard. Dit baggervaatruig is met een capaciteit van 17.000 m³ inhoud bij verre de grootste ter wereld. De eerste opdracht van het schip bestaat in het opspuiten van de kaaiterreinen voor de Flanders Container Terminal, met zand gewonnen in zee.

Met de bouw van het schip 'Pearl River' dat voor 75% eigendom is van Baggerwerken Decloedt en Zoon N.V. en 25% van Dredging International N.V., haalde de gespecialiseerde Nederlandse scheepswerf IHC opnieuw een miljardenorder binnen.

De 'Pearl River' (144 m lang en 28 m breed) combineert een bijzonder laadvermogen (17.000 m³ specie, of 25.000 ton max.) met een relatief geringe nominale diepgang van 9 meter, wat toelaat ook in ondiepe wateren te baggeren. Het schip werd uitgerust met twee sleeppijpen die op eenvoudige wijze van 30 meter op 60 m lengte of meer kunnen worden gebracht, waarbij op grotere diepte nog steeds een aanzienlijke baggerproductie kan worden gerealiseerd. Uiteraard beschikt het schip over een installatie om op te spuiten aan de wal, en is het uitgerust met een zeer nauwkeurig positioneringssysteem waarbij de positie van de sleepkoppen driedimensionaal wordt weergegeven. De sturing van het baggerproces verloopt op een zeer gebruiksvriendelijke manier op videoscherm, waarbij routinetaken worden overgenomen door de computer, zodat de operator zich volledig op de optimalisatie van het baggerproces kan concentreren. De bovengenoemde karakteristieken geven het schip een aantal technologische en competitieve voordelen in de verschillende segmenten van de baggermarkt.

Uiteraard werd bij het ontwerp van de 'Pearl River' ook aandacht besteed aan de belangrijke offshore-markt, waar voornamelijk de produktiviteit en de nauwkeurigheid op grote diepte worden geapprecieerd.

In navolging en op basis van de ervaringen met de Vlaanderen XVIII, de Pacifique (Decloedt) en de Antigoon (Dredging International) is de 'Pearl River' een ongeziene schaalvergroting. Met 17.000 m³ inhoud en 25.000 ton laadvermogen bij geringe diepgang, de grote aandrijfvermogens op schroeven en pompen, de ver doorgedreven baggernauwkeurigheden en de grote (en nog steeds efficiënt) bereikbare baggerdiepten dient het schip zich grensverleggend aan. De 'Pearl River' zal naast de gebruikelijke baggerwerkzaamheden in staat zijn waterbouwkundige werken uit te voeren die vroeger op technisch vlak niet uitvoerbaar waren.