



Coördinatiecommissie  
**Integraal Waterbeleid**

# **rapport**

---

Code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het  
onderhoud van rioleringssystemen

---

Deel 5: Ontwerpneerslag

CIW augustus 2012



<b>5</b>	<b>Ontwerpneerslag</b>	<b>4</b>
<b>5.1</b>	<b>Welke neerslagreeks gebruiken we?</b>	<b>4</b>
<b>5.2</b>	<b>IDF-relaties</b>	<b>4</b>
5.2.1	Analyse van de trends in neerslagextremen	7
5.2.2	Controle IDF-verbanden	9
5.2.3	Aangepaste IDF-verbanden	11
5.2.4	Aangepaste ontwerpneerslag	14
<b>5.3</b>	<b>Composietbuien</b>	<b>15</b>
<b>5.4</b>	<b>Ruimtelijke correctiefactoren</b>	<b>17</b>
<b>5.5</b>	<b>Invloed van het voortbewegen van buien over een rioolstelsel</b>	<b>18</b>
<b>5.6</b>	<b>Simulatie van tijdreeksen</b>	<b>18</b>

## 5 Ontwerpneerslag

### 5.1 Welke neerslagreeks gebruiken we?

De neerslag in onze streken is zeer variabel, zowel in de tijd als in de ruimtelijke dimensie. Om, in functie van het rioleringsontwerp, de representatieve variatie aan neerslaggebeurtenissen in de tijd te omvatten, dient men minimaal een drietal decennia neerslag te beschouwen. Bovendien zal bij een extrapolatie naar meer uitzonderlijke fenomenen een langere reeks nodig zijn om de onzekerheden te beperken.

Uit een vergelijking tussen de neerslag van Ukkel over de periode 1967-1993 met deze over de periode 1898-1997 blijkt dat zelfs bij het gebruik van de tijdreeks van 27 jaar er nog verschillen zijn met de 100-jarige reeks die het ontwerp kunnen beïnvloeden [Vaes & Berlamont, 2000a,b].

De IDF-relaties (Intensiteit/Duur/Frequentie-relaties) die vanaf 1996 worden gebruikt [VMM, 1996a] werden opgesteld op basis van de 27-jarige neerslagreeks van Ukkel voor de periode 1967-1993 en met een tijdstap van 10 minuten [Vaes et al., 1996]. Onderzoek aan het KMI toont aan dat er in Vlaanderen geen significante regionale verschillen zijn in extreme neerslag [Gellens, 2000; Delbeke, 2001], waardoor deze neerslagreeks van Ukkel en de hieruit voortkomende IDF-relaties voor heel Vlaanderen bruikbaar zijn. Er kunnen wel significante verschillen zijn in bijvoorbeeld neerslagvolumes van zeer frequente neerslaggebeurtenissen [Gellens, 2000]. Voor Vlaanderen zijn deze verschillen nog relatief beperkt (bijvoorbeeld tussen de kust en het binnenland). De extreme neerslag die voor rioleringsberekeningen van toepassing is, wordt hierdoor voor de Vlaamse situatie dus niet beïnvloed. De overstortvolumes en -duren zouden hierdoor wel lichtjes kunnen worden beïnvloed, maar deze onzekerheid wordt enkel significant bij een nauwkeurige lange termijn modellering. Momenteel is de neerslagreeks te Ukkel voor de periode 1898-2007 ter beschikking. Dat brengt de totale periode op 110 jaar. Deze meetreeks is daarmee wereldwijd uniek, niet enkel omwille van haar lengte en de 10-minuten resolutie, maar ook omdat de metingen sinds 1898 met dezelfde pluviograaf en op dezelfde meetlocatie zijn bekomen. Deze neerslagreeks kan, voor wat betreft de piekdebieten, als representatief voor Vlaanderen worden aanzien en zal als uitgangspunt worden gebruikt voor de berekeningen.

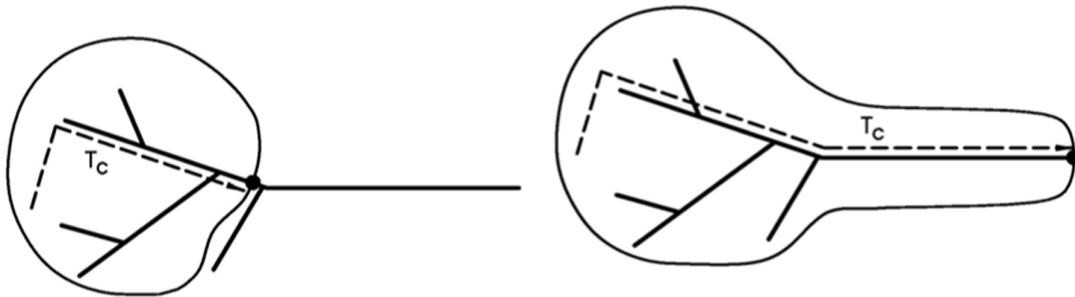
Gelet op de zeer grote onzekerheden in de toekomstige klimaatverandering wordt momenteel aanbevolen om toekomstige afvoer- en bergingssystemen niet te ontwerpen volgens de toekomstige neerslagcondities, maar wel een adaptief ontwerp uit te werken.

### 5.2 IDF-relaties

Idealiter werkt men voor hydrologische berekeningen met continue lange termijnsimulaties, maar dit is niet altijd rekentechnisch en economisch haalbaar. Daarom wordt de neerslaginvoer voor hydrologische berekeningen vaak vereenvoudigd door 'gemiddelde' of representatieve waarden te gebruiken die men bekomt via een statistische verwerking. Hierbij dient men erover te waken dat deze statistische verwerking rekening houdt met het systeemgedrag van het afwateringssysteem dat men beschouwt.

Om te bepalen welke neerslag moet worden gebruikt voor rioleringsberekeningen, volstaat het niet om enkel de neerslag te analyseren. Ook het systeemgedrag van het afwateringssysteem speelt een belangrijke rol. De belangrijkste parameter die dit systeemgedrag bepaalt, is de concentratietijd. De concentratietijd is de tijd die de meest opwaarts gevallen neerslag nodig heeft om naar het ontwerppunt te stromen (figuur 5.1) [Chow, 1964; Berlamont, 1997]. We krijgen dus een bijdrage in het ontwerppunt vanwege het gehele opwaarts toevoerend gebied na een tijd gelijk aan de concentratietijd (als het gedurende deze tijd blijft regenen). Bij een constante neerslag krijgen we dus een maximaal debiet in het ontwerppunt na een buiduur gelijk aan de concentratietijd. Daarom noemt men dit de 'kritieke buiduur' (of 'kritische buiduur'). Aangezien de concentratietijd voor elk punt in een afwateringssysteem verschillend is (stijgend van opwaarts naar afwaarts), betekent dit ook dat de kritieke buiduur voor elk ontwerppunt verschilt. In de ontwerpneerslag moet dus rekening

gehouden worden met alle buiduren tot de maximale concentratietijd die in het gehele afwateringssysteem voorkomt en dit voor de gekozen ontwerp-terugkeerperiode. Hiertoe worden de tijdreeksen van neerslaggegevens verwerkt tot Intensiteit/Duur/Frequentie-relaties (IDF-relaties), welke het verband geven tussen de neerslagintensiteit, de duur waarover deze neerslag valt en de frequentie (d.i. de inverse van de terugkeerperiode) waarmee de combinatie van deze twee vorige parameters voorkomt.

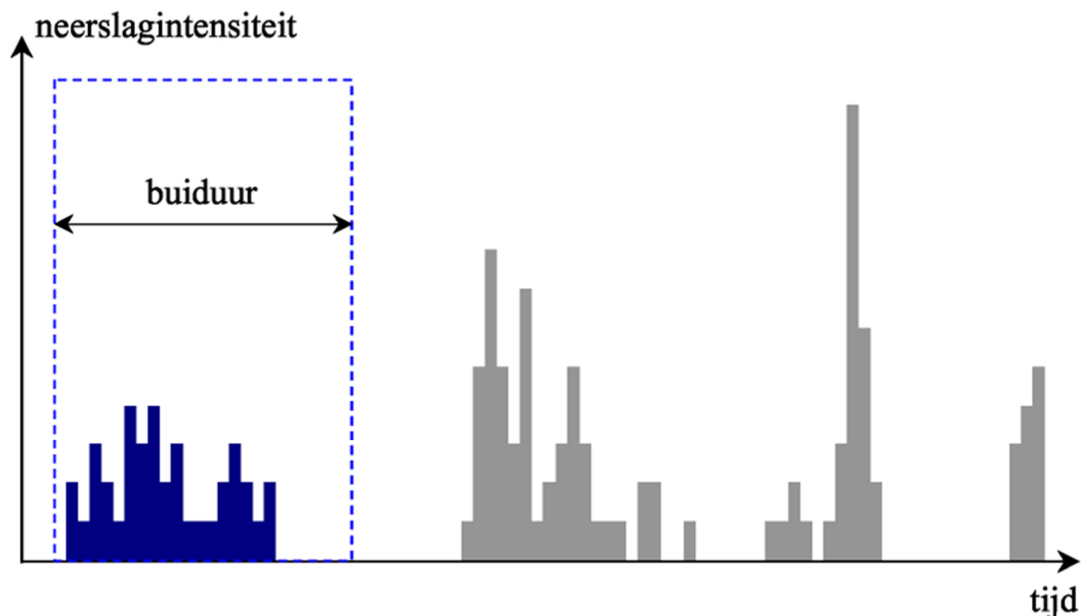


**Figuur 5.1:** Illustratie van de fysische betekenis van de concentratietijd  $T_c$  voor twee verschillende ontwerp-punten

Bij het opstellen van IDF-relaties zal men eerst voor elke buiduur alle hoge neerslagintensiteiten of -volumes uit een lange tijdreeks selecteren. De parameter buiduur slaat hierbij niet op de totale duur van een bui, maar op de breedte van een tijdvenster dat over de tijdreeks heen beweegt en waarbinnen men de neerslagvolumes sommeert (figuur 5.2). De overeenkomstige neerslagintensiteit is dan dit neerslagvolume gedeeld door de breedte van het tijdvenster.

Men varieert dan de breedte van dit tijdvenster van de tijdstap tot de maximale beschouwde buiduur. Dit komt overeen met het aggregeren van de tijdreeks over de beschouwde buiduur en daarom gebruikt men beter het begrip 'aggregatieniveau' in plaats van 'buiduur'. Omwille van de gedistribueerde toevoer naar het rioolstelsel gebeurt in een rioolstelsel ook een dergelijke aggregatie of uitmiddeling over de concentratietijd. De werkelijke variabiliteit binnen dit tijdvenster is daardoor slechts van 2<sup>de</sup> orde belang. Het minimale aggregatieniveau dat kan beschouwd worden, is gelijk aan de tijdstap waarmee de neerslaggegevens beschikbaar zijn.

De maximale beschouwde buiduur dient minimaal overeen te komen met de maximale concentratietijd van het systeem dat men wenst te beschouwen.



**Figuur 5.2:** Illustratie van het bepalen van IDF-relaties uit een neerslagreeks

Door de neerslagwaarden per aggregatieniveau te rangschikken van groot naar klein kan men de relatie zoeken met de terugkeerperiode. De grootste waarde in een tijdreeks van 100 jaar heeft een empirische terugkeerperiode van 100 jaar, de tweede hoogste waarde heeft een empirische terugkeerperiode van 50 jaar, de derde van 33 jaar, de vierde van 25 jaar, enz... De werkelijke terugkeerperiode zal hiervan verschillen omwille van de grote variabiliteit van de neerslag.

Omwille van de grote variabiliteit van de neerslag in de tijd (ook op grote tijdschaal, dit is van jaar tot jaar), is dus een extreme waarden analyse nodig om de intensiteiten voor grote terugkeerperiodes nauwkeurig te kunnen bepalen. De lengte van de tijdreeks speelt hierbij een belangrijke rol. Uit de analyse van de neerslaggegevens van Ukkel voor een periode van 27 jaren (1967-1993) bleek dat een extreme waarden analyse nodig is vanaf een terugkeerperiode van 2 jaar [Vaes et al., 1994a,b]. Via een monotone rangschikkingsmethode kan dus slechts een nauwkeurige uitspraak worden gedaan over de waarde bij een bepaalde terugkeerperiode voor terugkeerperiodes kleiner dan ongeveer 1/20 van de totale lengte van de gebruikte tijdreeks.

Voor grotere terugkeerperiodes is een extreme waarden analyse nodig, waarbij niet zomaar een aantal verdelingen worden uitgetoetst, maar waarbij men eerst de juiste verdeling zoekt.

Het is van groot belang dat het type extreme waarden distributie wordt bepaald op basis van een analyse van het staartgedrag [Beirlant et al., 1996; Willems, 2000; Berlamont et al., 2000b].

Voor de Vlaamse toepassingen werden op basis van de bovenstaande methodologie IDF-relaties opgesteld in 1996 uitgaande van de neerslag te Ukkel voor de periode 1967-1993 met een tijdstap van 10 minuten [Vaes et al., 1996]. Deze relaties hielden geen rekening met de afhankelijkheid in het voorkomen van neerslagextremen over verschillende decennia. Ook hielden ze geen rekening met de recente stijging in de neerslag extremen ten gevolge van de klimaatopwarming.

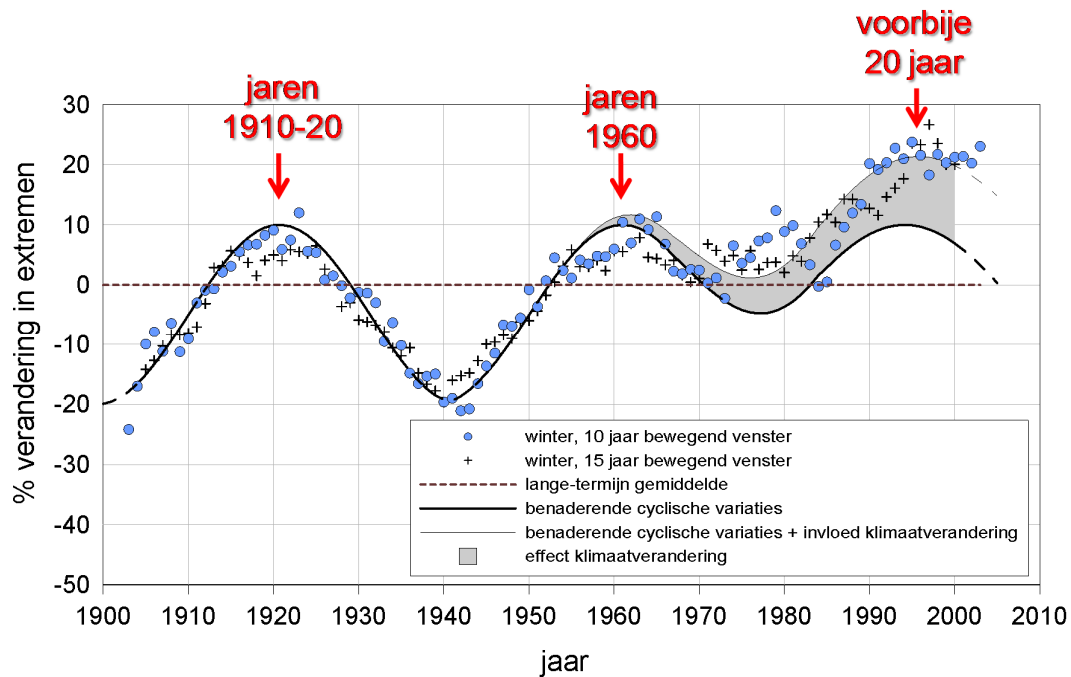
### 5.2.1 Analyse van de trends in neerslagextremen

Uit de analyse van de onafhankelijke neerslagextremen uit de volledige tijdreeks sinds 1898 [Willems, 2011] blijkt dat neerslagextremen niet willekeurig in de tijd voorkomen, maar gegroepeerd. Dit fenomeen van meerjarige afhankelijkheid is bekend onder de benaming “clustering” of “persistentie”. Het zorgt voor een groepering van neerslagextremen over perioden van één of meer decennia, en dus van “multidecenniale schommelingen”. Door deze schommelingen in het klimaat zijn er de laatste 20 jaar meer extreme regenbuien voorgekomen, zowel tijdens de winter (figuur 5.3) als tijdens de zomer (figuur 5.4). Voor de zomer zijn deze echter niet extremer dan bijvoorbeeld in de jaren 1910-1920 of de jaren 1960.

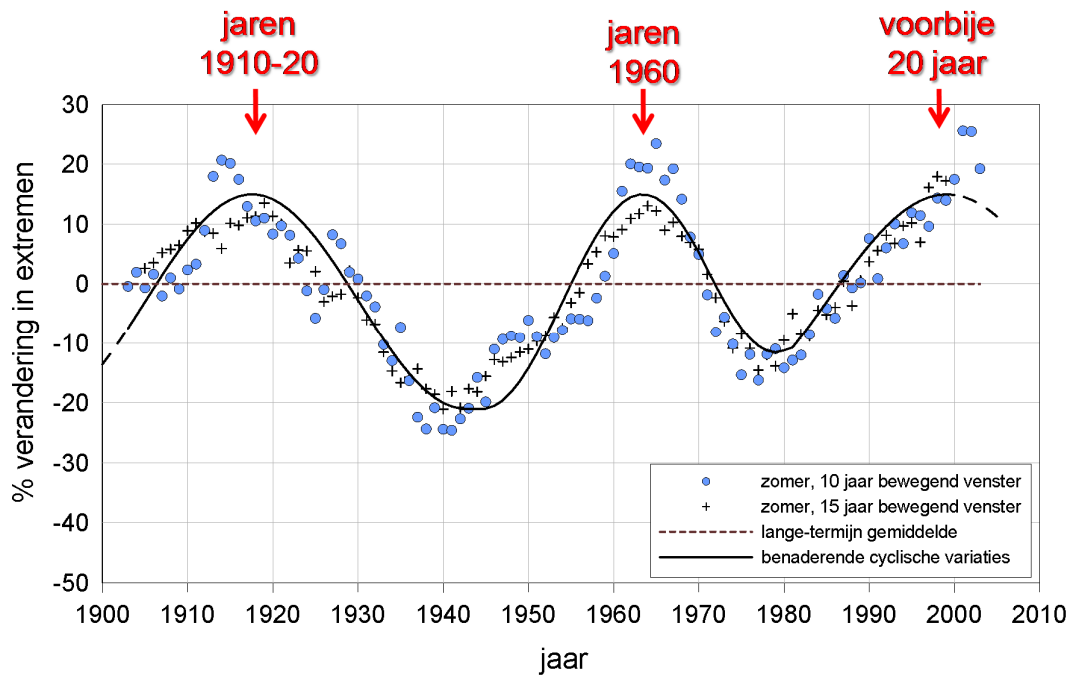
Voor de winterperiode wordt sinds de jaren 1990 wel een sterke toename in de neerslagkwantielen vastgesteld, met een verhoging van de neerslagkwantielen met meer dan 20% t.o.v. deze berekend op basis van de ganse meetperiode. Door uit te gaan van een ruwe hypothese dat zonder klimaatverandering de laatste oscillatiepiek (bij benadering) even hoog zou zijn dan de oscillatiepieken in de jaren 1910-1920 en 1960, werd in figuur 5.3 de recente toename in neerslagkwantielen opgedeeld in een deel “natuurlijke oscillaties” en een deel “klimaatverandering”. Het deel “klimaatverandering” blijkt consistent met de resultaten van klimaatmodellen (zie Willems, 2009).

De aanwezigheid van oscillatiegolven in het neerslagklimaat is zeer recente kennis (eerste resultaten voor België in Willems et al., 2007, en Ntegeka & Willems, 2008) ook internationaal is deze kennis nieuw (Willems & Yiou, 2010). Ze is niet verrassend omdat internationaal eerder reeds oscillatiepatronen werden bewezen voor luchtdruk, temperatuur aan de zeeoppervlakte en andere oceanografische variabelen. Het bestaan van oscillatiegolven voor neerslag en neerslagextremen was totnogtoe minder duidelijk, vooral omdat ze minder duidelijk aantoonbaar zijn, door de grote natuurlijke variabiliteit (vb. van jaar tot jaar) van de neerslag.

Dankzij de ontwikkeling van de kwantielperturbatiemethode (Willems et al., 2007; Ntegeka & Willems, 2008) kon een deel van de hoogfrequente natuurlijke variabiliteit worden weggefilterd en werden de oscillaties duidelijker. Bovendien blijken de temporele oscillaties in het voorkomen van neerslagextremen sterk gecorreleerd met de multidecenniale oscillaties in luchtdrukpatronen en andere atmosferische en oceanografische variabelen (Willems & Yiou, 2010). Het zorgt bovendien voor een anti-correlatie tussen noordwest- en zuid-Europa (oscillatiepieken in België komen voor tijdens perioden met oscillatiedalen in zuid-Europa en vice-versa).



**Figuur 5.3:** Schommelingen over meerdere decennia en recente trend in het voorkomen van extreme neerslag, voor de wintermaanden december-januari-februari. Noot: elk punt is gebaseerd op de neerslagextremen die zijn voorgekomen in een periode van 10 of 15 jaar gecentreerd rond het punt. [Willems, 2011]



**Figuur 5.4:** Schommelingen over meerdere decennia en trend in het voorkomen van extreme neerslag, voor de zomermaanden juni-juli-augustus. Noot: elk punt is gebaseerd op de neerslagextremen die zijn voorgekomen in een periode van 10 of 15 jaar gecentreerd rond het punt. [Willems, 2011]



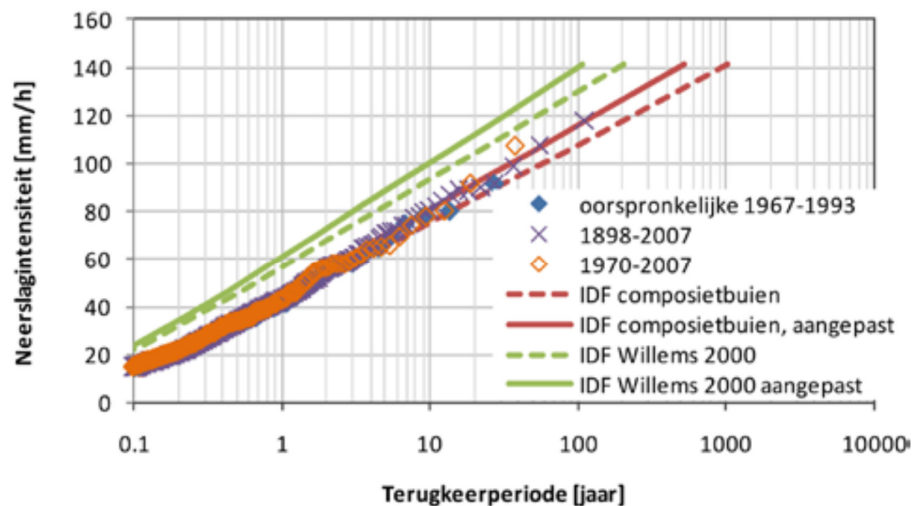
### 5.2.2 Controle IDF-verbanden

De empirische IDF-verbanden werden herberekend [Willems, 2011] voor de volledig beschikbare meetreeks van 10 minuten neerslagintensiteiten te Ukkel. Hierbij werd dezelfde methode gevolgd als in Vaes et al. (2004) en Willems (2000).

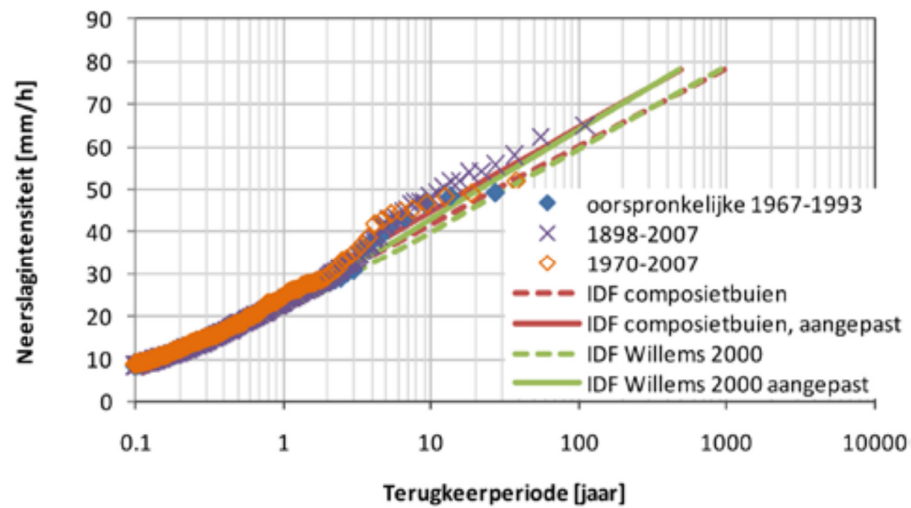
Bij het vergelijken van de oorspronkelijke waarnemingen voor de periode 1967-1993 met de waarnemingen voor de ganse meetperiode 1898-2007 en de meest recente oscillatieperiode 1970-2007 (zie figuur 5.5 tot en met figuur 5.9), wordt vastgesteld dat de empirische extreme-waarden-verdelingen op basis van deze laatste perioden (inclusief de meest recente jaren) voor alle aggregatieniveaus een lichte stijging vertonen. Dit heeft 2 oorzaken: (1) de onderschatting van de neerslagkwantielen op basis van de oorspronkelijke meetperiode 1967-1993, en (2) de invloed van de klimaatverandering voor de meeste recente decennia (zie ook Willems, 2009).

Het is duidelijk dat de onderschatting in de huidige IDF-statistieken door oorzaak (1) gecorrigeerd moet worden. Ook met de klimaatverandering moet rekening worden gehouden. Oorzaak (1) wordt gecorrigeerd door de metingen van een volledige oscillatiegolfperiode (1970-2007) in rekening te brengen. Met oorzaak (2), de klimaatverandering, is voor een deel rekening gehouden door de metingen te gebruiken van de meest recente oscillatiegolfperiode (opnieuw 1970-2007). Het is duidelijk dat deze aanpak nu voor vertekende (onderschatte) IDF-statistieken kan zorgen, aangezien de klimaatverandering zich continu verder zet.

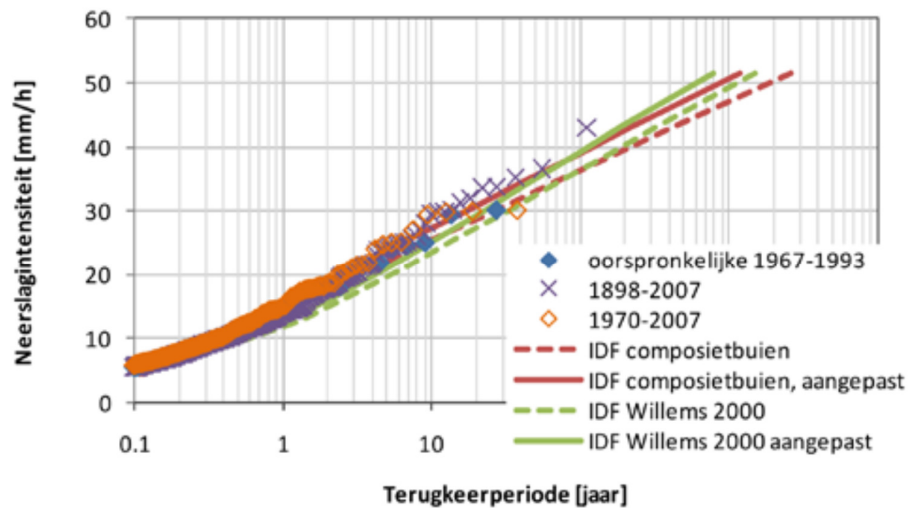
Toekomstige klimaatevoluties kunnen echter niet op basis van nauwkeurige metingen gekwantificeerd worden, hiervoor dient men gebruik te maken van (vooralsnog zeer onzekere) klimaatscenario's (Willems, 2009). Met de grote onzekerheid kan rekening worden gehouden via een aanpasbaar ontwerp (een ontwerp dat in de toekomst verder kan aangepast worden aan de toekomstige klimaatevoluties). De klimaatscenario's geven op basis van de huidige kennis en inzichten een beeld van de waaier aan mogelijke toekomstige klimaatevoluties. Bij een hoog-klimaatscenario voor Vlaanderen wordt een 20-jarige bui op heden een 5-jarige bui tegen 2100. Dit is één van de redenen waarom in hoofdstuk 6 wordt vooropgesteld om de ontwerp terugkeerperiode voor beveiliging tegen water op straat te verhogen van 5 jaar naar 20 jaar.



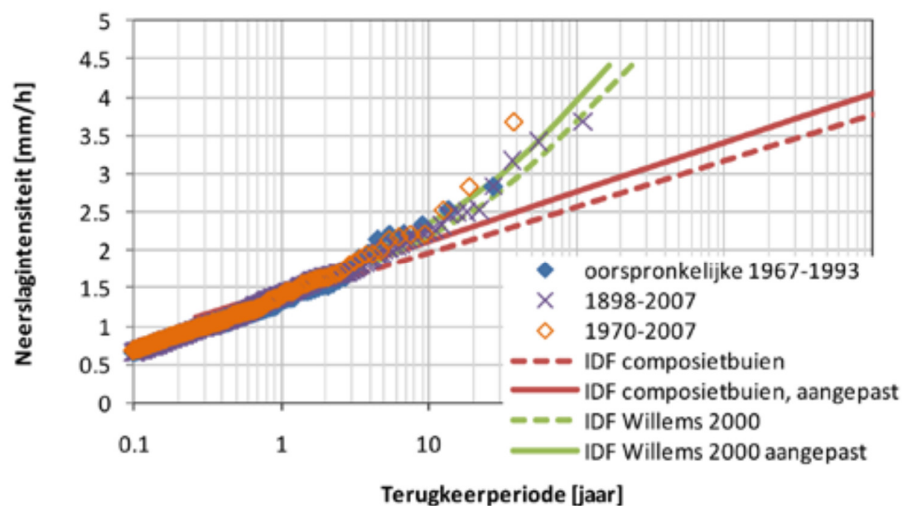
**Figuur 5.5:** 10-minuten neerslagintensiteit versus terugkeerperiode [Willems, 2011]



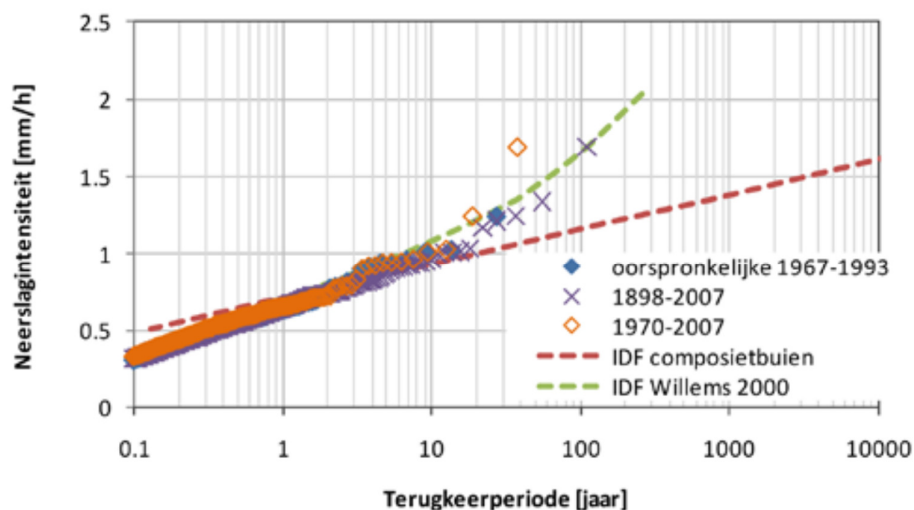
Figuur 5.6: 30-minuten neerslagintensiteit versus terugkeerperiode [Willems, 2011]



Figuur 5.7: 1-uur neerslagintensiteit versus terugkeerperiode [Willems, 2011]



Figuur 5.8: 1-dag neerslagintensiteit versus terugkeerperiode [Willems, 2011]



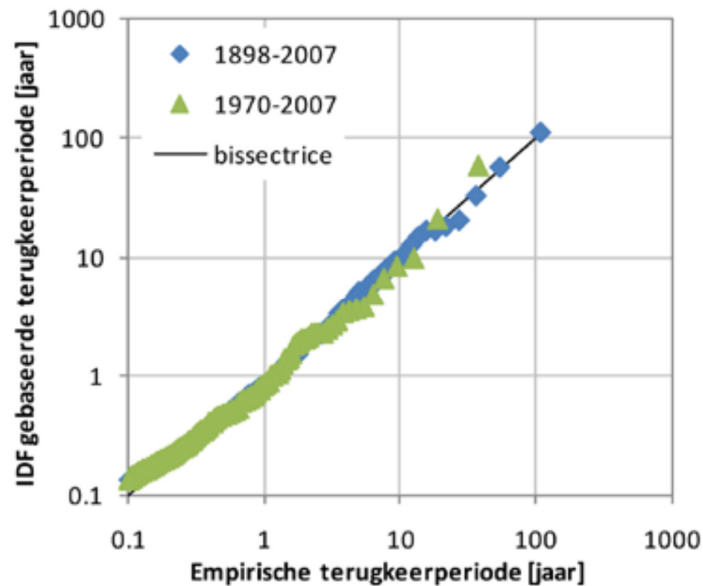
Figuur 5.9: 3-dagen neerslagintensiteit versus terugkeerperiode [Willems, 2011]

### 5.2.3 Aangepaste IDF-verbanden

De aanpassing aan de IDF-verbanden werd gezocht in de vorm van een algemene correctiefactor op de neerslagkwantielen. De resultaten in figuur 5.3 en figuur 5.4 geven immers aan dat de neerslagkwantielen (neerslagintensiteiten bij welbepaalde terugkeerperioden) met een bepaald percentage moeten verhoogd worden. Dit percentage bleek nagenoeg constant voor de aggregatieniveaus tussen 10 minuten en 1 dag (dit zijn de aggregatieniveaus welke relevant zijn voor rioleringstoepassingen en ook voor oppervlaktehydrologie langs stroomgebieden). Voor al deze aggregatieniveaus werd een gemiddelde correctiefactor van 7,5 % gevonden (of een factor 1/0.93). Dit betekent dat voor welbepaalde terugkeerperioden de aangepaste IDF-neerslagwaarden kunnen bekomen worden mits gebruik van de oorspronkelijke IDF-verbanden na verhoging van de neerslagwaarden met deze factor. Of, omgekeerd, kunnen voor welbepaalde neerslagwaarden de

terugkeerperioden gevonden worden mits gebruik van diezelfde IDF-verbanden maar na reductie van de neerslagwaarden met een factor 0,93.

Figuur 5.10 geeft aan dat na correctie met deze factor een onvertekende schatting wordt bekomen van de IDF-neerslagwaarden voor zowel de periode 1898-2007 als de deelperiode 1970-2007. Voor kleine aggregatieniveaus (10 minuten in figuur 5.10) komen de hoogste neerslagextremen voor in de zomer, terwijl de invloed van de klimaatverandering voor deze periode vooralsnog beperkt is (zie figuur 5.4). Dit verklaart waarom de neerslagkwantielen op basis van de volledige periode 1898-2007 en deze voor de meest recente oscillatiegolf 1970-2007 weinig verschillen. Voor de winterperiode is dit echter anders (zie figuur 5.3).



**Figuur 5.10:** Empirische versus IDF gebaseerde terugkeerperioden na aanpassing van de IDF-verbanden van Vaes et al. (1996-2004), voor de 10-minuten neerslagintensiteiten in de perioden 1898-2007 en 1970 – 2007 [Willems, 2011]

De aangepaste IDF-relatie is bijgevolg:

$$T = \frac{n}{m \left( p_a \exp\left(\frac{i_0 - i.C}{\beta_a}\right) + (1 - p_a) \exp\left(\frac{i_0 - i.C}{\beta_b}\right) \right)}$$

waarbij de parameters als volgt afhankelijk zijn van het aggregatieniveau D [dagen]

$$\log(\beta_a) = -0,05 - 0,58 \log(D)$$

$$\log(\beta_b) = -0,55 - 0,58 \log(D)$$

$$\log(p_a) = -1,35 - 0,58 \log(D)$$

$$\log(i_0) = -0,05 - 0,58 \log(D)$$

$$\log(p_1) = -1,12 - 0,5 \log(D)$$

waarbij

$T$  = de terugkeerperiode [jaar]

$i$  = de neerslagintensiteit [mm/h]

$n$  = het aantal gebruikte jaren in de oorspronkelijke periode 1967-1993 = 27 jaar

$m$  = het aantal gebruikte waarden boven de drempel =  $1 + 54 \cdot p_1 / (p_1 - p_a)$

$i_0$  = de drempelwaarde [mm/h]

$\beta$  = de gemiddelde intensiteit van de exponentiële extreme-waarden-verdeling

$C$  = correctiefactor voor de periode 1970-2007 t.o.v. de initiële periode 1967-1993.

Deze is 0,93 voor buiduren tot één dag en 1 voor buiduren groter dan 1 dag.

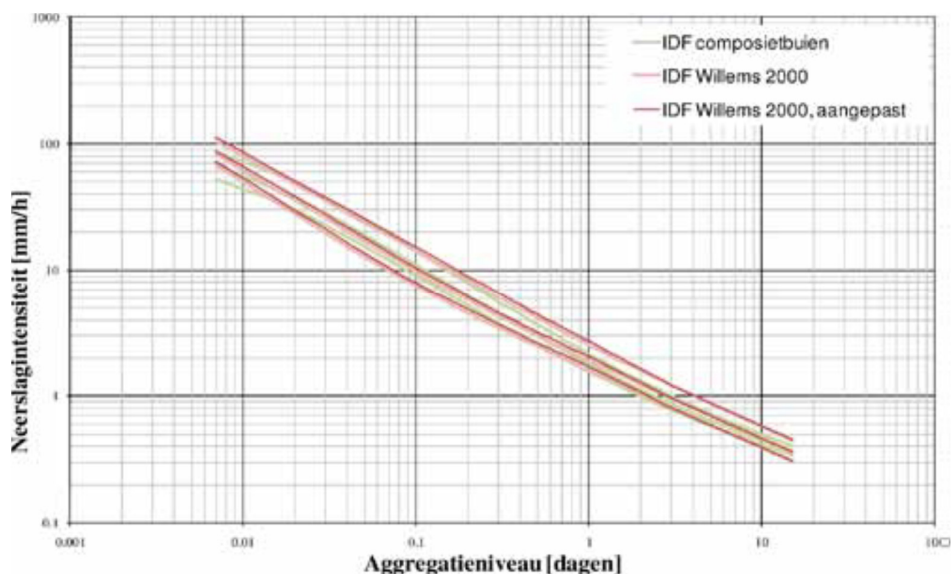
Tabel 5.1 geeft de neerslagintensiteiten voor een aantal buiduren en terugkeerperioden.

Buiduur	Terugkeerperiode [jaar]					
	2	5	20	2	5	20
	mm/h			l/s/ha		
10 min	73	88	112	202	246	312
15 min	52	64	83	143	178	230
20 min	40	51	67	112	141	185
30 min	29	37	49	79	102	137
40 min	22	29	40	62	81	111
50 min	18,5	24	34	51	68	94
1 uur	15,9	21	29	44	58	82
2 uur	9,1	12	17,4	25	33	48
3 uur	6,7	8,7	12,8	18,7	24,2	35,5
4 uur	5,5	7,0	10,2	15,2	19,4	28,5
5 uur	4,7	5,9	8,6	13,1	16,5	24,0
6 uur	4,2	5,2	7,5	11,5	14,4	20,8
12 uur	2,6	3,2	4,4	7,3	8,9	12,3
1 dag	1,7	2,0	2,7	4,7	5,7	7,5
2 dagen	1,07	1,27	1,64	2,97	3,54	4,55
3 dagen	0,81	0,96	1,22	2,24	2,66	3,38
4 dagen	0,68	0,80	1,01	1,88	2,23	2,82
5 dagen	0,59	0,70	0,88	1,65	1,95	2,45
7 dagen	0,48	0,57	0,72	1,34	1,59	1,99
10 dagen	0,391	0,462	0,575	1,085	1,28	1,60
15 dagen	0,306	0,362	0,450	0,851	1,006	1,25

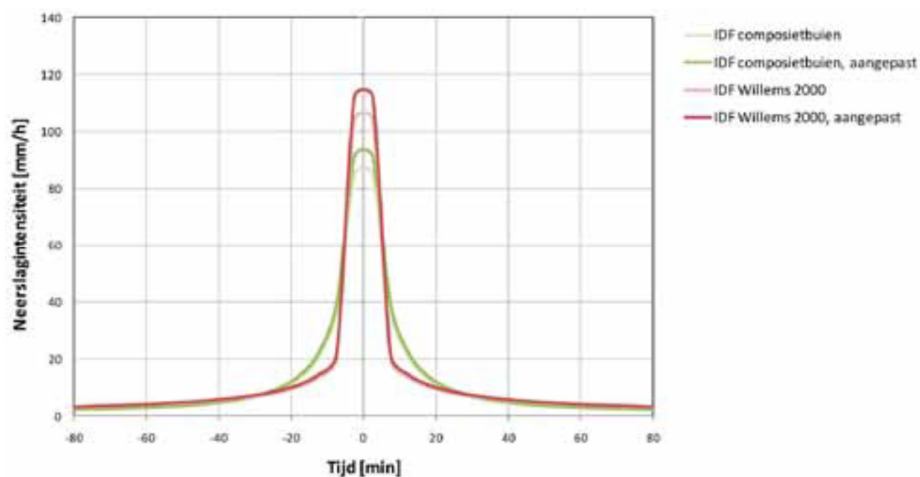
Tabel 5.1: IDF-relaties voor Ukkel

#### 5.2.4 Aangepaste ontwerpneerslag

Hierna wordt in figuur 5.11 de verschuiving in IDF-verbanden voor enkele terugkeerperioden samengevat. In overeenstemming met de aangepaste IDF-verbanden werden ook de composietbuien (ontwerpneerslag) aangepast. Figuur 5.12 vergelijkt de composietbui met een terugkeerperiode van 20 jaar voor en na aanpassing.



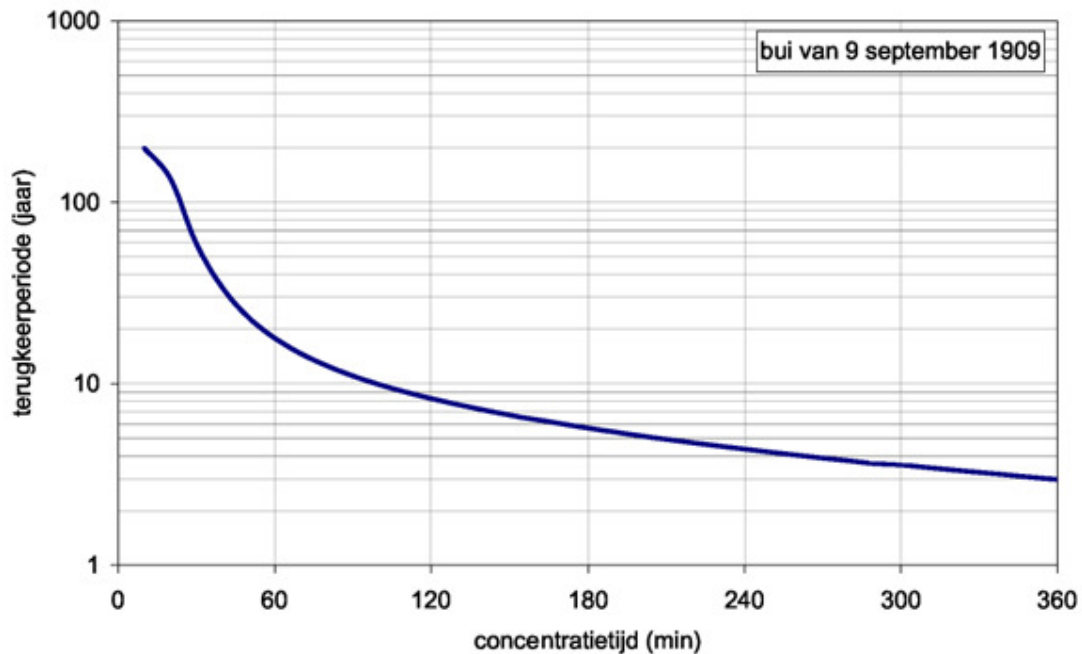
Figuur 5.11: IDF-curven voor terugkeerperioden van 2, 5 en 20 jaar [Willems, 2011]



Figuur 5.12: Composietbui voor een terugkeerperiode van 20 jaar. [Willems, 2011]

### 5.3 Composietbuien

Een historische bui heeft geen eenduidige terugkeerperiode in functie van de concentratietijd (een voorbeeld wordt gegeven in figuur 5.13 voor de bui met de grootste piekintensiteit gedurende 10 minuten uit de 100-jarige neerslagreeks van Ukkel).



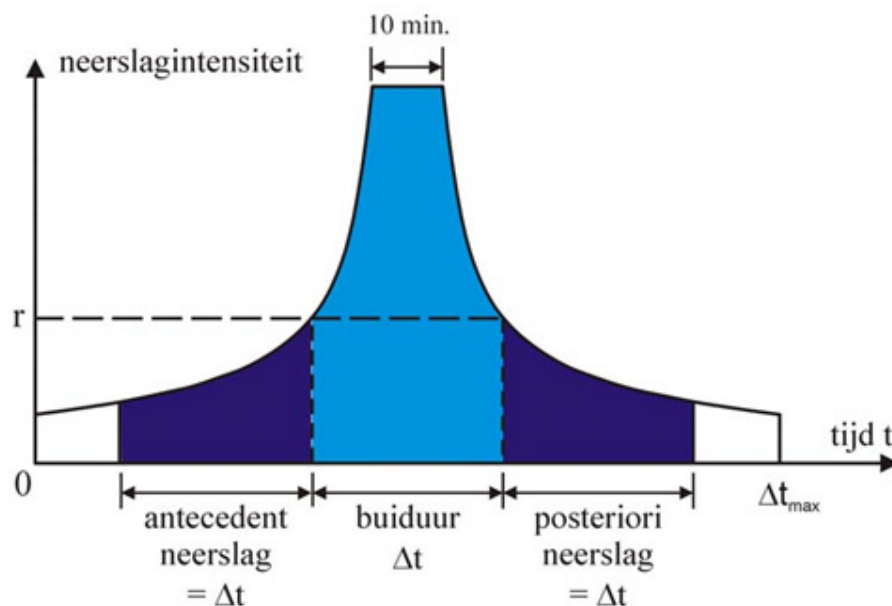
**Figuur 5.13:** Variatie van de terugkeerperiode met de concentratietijd voor de bui met de meest extreme piekintensiteit gedurende 10 minuten uit de 100-jarige neerslagreeks van Ukkel (1898 – 1997)

Uit de IDF-relaties kunnen echter wel synthetische buien of hyetogrammen worden afgeleid die wel een eenduidige terugkeerperiode hebben in functie van de concentratietijd. Daartoe werden voor rioleringsberekeningen in Vlaanderen op basis van de IDF-relaties ontwerpstormen ontwikkeld [Vaes & Berlamont, 1995, 1996a; Vaes et al, 1996]. Deze buien werden zodanig opgesteld dat slechts één bui nodig is voor een welbepaalde terugkeerperiode of frequentie en zijn analoog aan de 'Chicago-storm' [Keifer & Chu, 1957]. Alle buiduren tussen 10 minuten en de maximale buiduur zitten dus vervat in één enkele bui. Daarom worden deze buien 'composietbuien' genoemd. Deze buien kunnen worden bekomen door voor een bepaalde terugkeerperiode de neerslagvolumes uit de IDF-relaties symmetrisch ten opzichte van het centrum van de bui uit te zetten, beginnende bij de kleinste buiduur (10 minuten) (figuur 5.14).

Het verband tussen de neerslagintensiteit  $r$  van de composietbui in functie van de tijd  $t$  en de intensiteit  $i$  uit de IDF-relatie in functie van de buiduur  $\Delta t$  wordt (voor symmetrische buien) gegeven door [Vaes & Berlamont, 1996a; Vaes et al., 1996]:

$$r = \frac{di}{d\Delta t} \Delta t + i = i \left( 1 + \frac{d \log i}{d \log \Delta t} \right)$$

$$\text{met } t = \frac{\Delta t_{\max} \pm \Delta t}{2}$$



**Figuur 5.14:** Schematische voorstelling van de constructie van een composietbui

Het volume van de composietbui binnen het interval van de buiduur komt dus overeen met het volume uit de IDF-relaties door de intensiteit uit de IDF-relatie te vermenigvuldigen met de duur. Het grote voordeel van het gebruik van composietbuizen voor hydrodynamische simulaties is dat met één bui alle leidingen worden beoordeeld voor de betrokken terugkeerperiode, ongeacht de concentratietijd. Dit geldt zolang de concentratietijd kleiner is dan de maximale duur van de bui.

In systemen met veel berging kan de voorafgaande vulling van het systeem een grote invloed hebben op de simulatieresultaten. Daarom is er in deze buien gemiddelde antecedent en posteriori neerslag ingebouwd voor buiduren tot 1/3 van de totale duur van de bui [Vaes & Berlamont, 1996a; Vaes et al., 1996]. Bij een concentratietijd gelijk aan 1/3 van de totale duur van de bui komt het middelste 1/3 overeen met de IDF-relaties en gaat er antecedent neerslag aan vooraf gedurende een periode gelijk aan de concentratietijd (1/3 van de totale duur van de bui), zodat de (gemiddelde) initiële vulling van het riool wordt ingerekend. Ook volgt er een posteriori neerslag gedurende een periode gelijk aan de concentratietijd (1/3 van de totale duur van de bui) om het volledige effect te kunnen waarnemen.

Bij het gebruik van composietbuizen is er wel een potentieel gevaar dat men de relatie met de concentratietijd en de ledigingstijd (bijvoorbeeld ten gevolge van een afwaartse randvoorwaarde kan de ledigingstijd sterk stijgen) uit het oog verliest. Voor grote rioleringssystemen zijn de Vlaamse composietbuizen, welke in 1996 werden verspreid en welke afgekapt zijn bij een maximale buiduur van 360 minuten, te kort. Een uitbreiding naar buiduren van één tot enkele dagen is nodig voor grotere rioleringssystemen en bij randvoorwaarden met een langdurig effect.

Er werd een symmetrisch profiel aangenomen, omdat er geen significant verschil werd gevonden tussen de antecedent en posteriori neerslag in de neerslagreeksen van Ukkel [Vaes & Berlamont, 1996a; Vaes et al., 1996]. Indien men niet-symmetrische composietgebeurtenissen zou willen opstellen, kan dat gebruik makend van dezelfde bovenstaande differentiaalvergelijking, maar met een andere relatie tussen de tijd en de duur, namelijk:

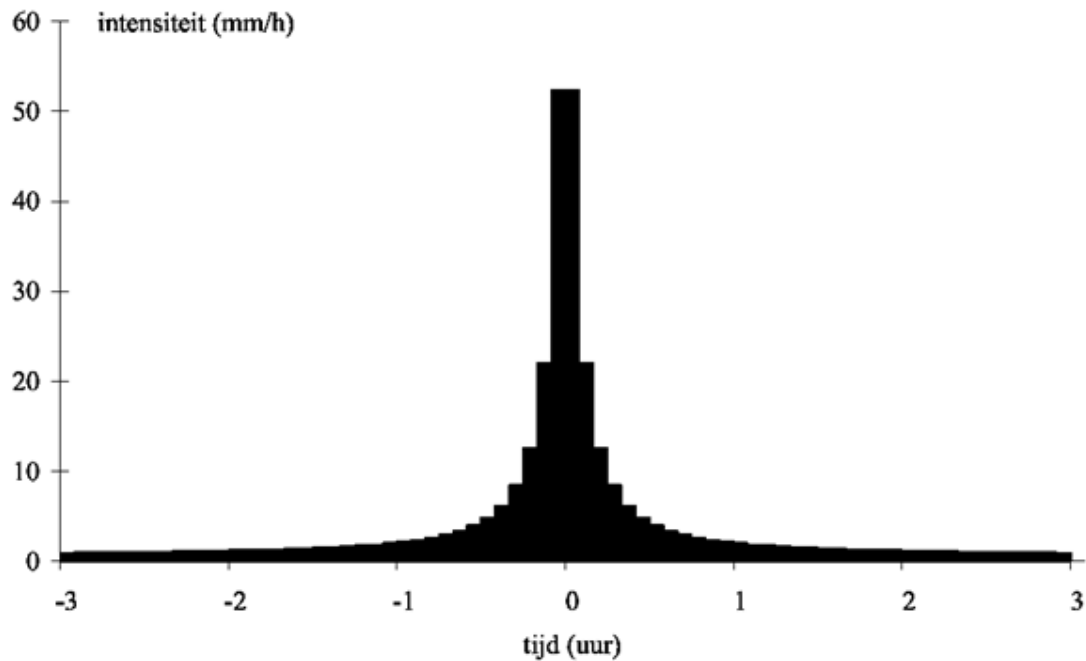
$$t = \alpha \Delta t_{\max} - \alpha \Delta t \quad \text{als} \quad t < \alpha \Delta t_{\max}$$

$$t = \alpha \Delta t_{\max} + (1 - \alpha) \Delta t \quad \text{als} \quad t > \alpha \Delta t_{\max}$$



De parameter  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ) is hierin de parameter die de scheefheid van de composietbui weergeeft. Indien  $\alpha$  gelijk is aan  $\frac{1}{2}$  bekomt men een symmetrische composietbui, voor  $\alpha$  kleiner dan  $\frac{1}{2}$  ligt de piek meer naar voor en bekomt men een sterker stijgende flank en een langzamer dalende flank.

In figuur 5.15 wordt het centrale deel (360 minuten) getoond van de Vlaamse composietbui met een terugkeerperiode van 2 jaar [Vaes & Berlamont, 1996a].



**Figuur 5.15:** Centrale deel van de Vlaamse composietbui met een terugkeerperiode van 2 jaar

## 5.4 Ruimtelijke correctiefactoren

De ruimtelijke spreiding van de neerslag kan een belangrijke invloed hebben op de inschatting van de piekdebieten in riolen. Aangezien men vertrekt van neerslaggegevens opgemeten in één punt, zal afhankelijk van de grootte van het afwateringsgebied een onder- of overschatting van de totale neerslagvolumes worden gemaakt. Enerzijds meet men zelden de piekneerslag binnen een bui, waardoor voor kleine afwateringsgebiedjes eerder een onderschatting van de neerslag wordt bekomen. Dit geldt dus voor kleine rioleringsgebieden en de opwaartse uiteinden van een rioolstelsel. Anderzijds varieert de intensiteit van de neerslag binnen een bui en heeft een bui beperkte afmetingen [Luyckx et al., 1998a], waardoor bij grotere afwateringsgebieden een overschatting van het neerslagvolume wordt bekomen bij aanname van uniforme neerslag.

Daarom dient er een statistische correctie te worden toegepast op de neerslaginvoer bij hydrologische berekeningen. Dit kan via ruimtelijke correctiefactoren. Dit is een statische correctie die het totaal volume regenwater over een afstromingsgebied corrigeert. Dit type statische correctie wordt al decennia lang toegepast (bijvoorbeeld [ASCE, 1969]). Nochtans zijn de correctiecoëfficiënten vaak gebaseerd op zeer beperkte informatie over de ruimtelijke verdeling van de neerslag. In Vlaanderen wordt de correctieformule van Frühling reeds bijna een eeuw gebruikt [Mennes, 1910], terwijl dit gebaseerd is op de meting van neerslagintensiteiten op slechts twee locaties en de niet-geverifieerde aanname van een exponentieel verloop tussen de twee locaties. Luyckx et al. [1998a] vonden echter dat een Gaussiaans profiel beter past voor de ruimtelijke

variatie van de neerslagintensiteit binnen een bui. Dit verschil tussen een exponentieel en Gaussiaans profiel heeft grote gevolgen in totale neerslagvolumes over het afstromingsgebied [Vaes, 1999; Vaes et al., 2000a]. Dit toont de noodzaak tot een meer nauwkeurige inschatting van de ruimtelijke correctiecoëfficiënten aan. Het gebruik van de formule van Frühling is dan ook niet toegelaten, omdat dit tot een systematische onderschatting van de neerslaginvoer leidt voor afwateringsgebieden tot een tiental kilometer diameter [Vaes, 1999]. In afwachting van betere correctiefactoren is het daarom aangewezen om geen correctiecoëfficiënt te gebruiken voor rioleringsberekeningen.

## **5.5 Invloed van het voortbewegen van buien over een rioolstelsel**

Naast deze systematische afwijking van de geschatte neerslagvolumes wanneer puntneerslagmetingen worden gebruikt, is er ook nog het dynamisch effect van buien die bewegen over het afstromingsgebied. Deze beweging kan tot een verhoging of afvlakking van de afvoergolf leiden. In het algemeen kan gesteld worden dat indien een bui beweegt over een afstromingsgebied in de hoofdafstromingsrichting van het rioleringsstelsel, er een cumulatieve verhoging van debieten en een verhoging van maximale piezometrische hoogten ontstaat.

Via hydrodynamische simulaties met ontwerpstormen die bewegen over een gerioleerd gebied, zou de gevoeligheid van het ontwerp voor dit effect kunnen worden nagegaan, maar dit is in de praktijk niet haalbaar.

## **5.6 Simulatie van tijdreeksen**

Men kan ook historische tijdreeksen gebruiken voor het hydrodynamisch simuleren van rioolsystemen. Een groot nadeel hierbij is de grotere rekentijd. Vandaar dat dit vooral wordt gebruikt als extra en finale verificatie. Bij een goed gebruik leveren de tijdreeksen meestal nauwkeurigere simulatieresultaten op. Toch zijn er heel wat valkuilen bij het gebruik van tijdreeksen. De gebruikte reeks moet voor ons klimaat minimaal een lengte van een drietal decennia hebben om representatief te zijn (en ideaal gelijk aan de periode op basis waarvan de composietbuien werden berekend, teneinde statistische vergelijking van beide rekenmethoden toe te laten). Hoe langer de reeks is, hoe kleiner de kans wordt op een verkeerde extrapolatie van de resultaten bij hoge terugkeerperioden.

Men dient zich hierbij te realiseren dat deze tijdreeksen enkel op een praktisch haalbare manier kunnen worden gebruikt, indien men de simulatieresultaten slechts in een beperkt aantal punten wil verwerken ter verificatie van een ander type ontwerpberekening of om de emissies ter hoogte van bijvoorbeeld overstorten te begroten.

Bij de simulatie van tijdreeksen moet er niet enkel gebruik worden gemaakt van de neerslag maar eveneens van de evaporatie.