

SIMULATIE VAN NEERSLAG AAN DE HAND VAN STOCHASTISCHE CLUSTER-MODELLEN VOOR RIOOLONTWERPBEREKENINGEN

ir. N. VERHOEST*, ir. T. VELGHE[◇],
Prof. Dr. ir. P.A. TROCH*,
Prof. Dr. ir. F.P. DE TROCH*

*Laboratorium voor Hydrologie en
Waterbeheer, Faculteit Landbouwkun-
dige en toegepaste Biologische Weten-
schappen, Universiteit Gent

[◇]Vlaamse Landmaatschappij,
Provinciale Directie Herentals

This paper presents cluster-based rectangular pulses models for the simulation of point rainfall to be used in the hydraulic design of sewer systems. It is shown that this type of rainfall models is able to preserve the stochastic properties of the observed rainfall at Uccle. Different versions of the models are compared in order to find the model which fits best. In a statistical sense, the historical time series. For several applications (e.g. the hydraulic design of sewer

systems), the extreme values of precipitation are very important. Therefore, a comparison is made between the extreme values of the historical and the simulated data by means of frequency analysis and the IDF-curves. The different models perform quite well, although an improvement of the models concerning the generation of extreme values at small aggregation levels is required.

INLEIDING

Bij het hydraulisch ontwerp van rioleringen vormt neerslag een belangrijke input van het systeem. Bij controleberekeningen van dit ontwerp wordt de retourperiode van overstorten ten gevolge van verschillende neerslagreeksen nagegaan. Hierbij is het van belang een representatieve reeks van neerslaggebeurtenissen uit de historische waarnemingen te selecteren. Als de duur van de historische reeks kort is, is een keuze van een representatieve neerslagreeks, vanuit statistisch standpunt, niet altijd mogelijk, zeker wanneer grotere retourperiodes als belangrijk worden beschouwd. Daarom kan gebruik gemaakt worden van een gesimuleerde neerslagreeks die dezelfde statistische eigenschappen heeft als de historische neerslaggegevens. Mariën en Vandewiele (1986) hebben een stochastische neerslag-generator ontwikkeld en gecalibreerd op een 13,5 jarige neerslagreeks te Ukkel. Dit model bevat 19 parameters en is bijgevolg moeilijk af te ijken. Het gebruik van een stochastische cluster-gebaseerde rechthoekige pulsen modellen voor het genereren van zo'n reeks heeft zijn deugdelijkheid gedurende de laatste jaren bewezen (Rodriguez-Iturbe et al., 1987a, b, 1988, Entekhabi et al., 1989, Troch et al., 1991, Velghe et al., 1994). Naast het behoud van de eerste en tweede orde momenten moet eveneens het verloop van de extreme waarden worden behouden, daar deze gebeurtenissen aanleiding zullen geven tot de overstortingen. Om dit te controleren kan een vergelijk gemaakt

worden tussen de Intensiteit-Duur-Frequentie (IDF) - curves opgesteld voor de historische en de gegenereerde tijdreeks. Deze IDF-relaties kunnen op verschillende manieren opgebouwd worden en de interpretaties van deze relaties is hiervan sterk afhankelijk (Vaes et al., 1994).

Voor deze studie werd een tijdreeks van 27 jaar met 10-minuten neerslag-gegevens voor Ukkel gebruikt. Er dient echter opgemerkt dat voorzichtigheid aan de dag moet gelegd worden bij het gebruik van deze reeks voor hydrologische studies in België. Uit onderzoek van Dupriez et al. (1988, 1989) blijkt dat voor grotere aggregatieniveaus of waarnemingsintervallen (+ 5 dagen) de correlatie van de extreme waarden tussen verschillende neerslagstations over België groot is. Een aggregatieniveau is een tijdsinterval waarbinnen de neerslag gecumuleerd wordt. Voor kleinere aggregatieniveaus zijn deze maxima slechts in geringe mate gecorreleerd.

De opmetingen van de neerslag wordt meestal gecumuleerd over constante tijdsintervallen (bijvoorbeeld uurlijkse waarnemingen). Deze tijdreeks heeft specifieke kenmerken, die verschillend zijn afhankelijk van de lengte van het waarnemingsinterval (dit volgt onder andere uit de IDF-curves opgesteld voor die neerslagreeks). Bij vele stochastische modellen voor neerslag (bv. tijdreeksmodellen) zullen afzonderlijke parametersets bekomen worden voor een specifiek waarnemingsinterval. Zulk een geïdentificeerd model is niet bruikbaar voor

andere intervallslengtes. Als men een tijdreeks wil bekomen die de statistische eigenschappen voor een ander waarnemingsinterval beschrijft, moet een nieuwe parameterset berekend worden. Hieruit volgt dat voor verschillende lengtes van waarnemingsintervallen, telkens een nieuwe parameterset zou moeten berekend worden en dat tevens voor elk aggregatieniveau een andere tijdreeks moet worden gegenereerd. De cluster-gebaseerde rechthoekige pulsen modellen zijn echter in staat om aan de hand van 1 parameterset, de statistische structuur van de tijdreeks voor verschillende aggregatieniveaus te behouden.

In een eerste deel van dit artikel worden de statistische kenmerken van de historische tijdreeks doorgenomen. Hierbij wordt voornamelijk aandacht besteed aan de verschillende momenten, de extreme waarden diagramma's en de IDF-curves opgesteld voor deze reeks. In een tweede deel wordt kort een overzicht gegeven van de verschillende modellen die gebruikt kunnen worden voor het beschrijven van een neerslagtijdreeks en wordt tevens een beschrijving gegeven van de opbouw van een neerslagsimulator. In een derde deel worden de resultaten voor de verschillende modellen besproken.

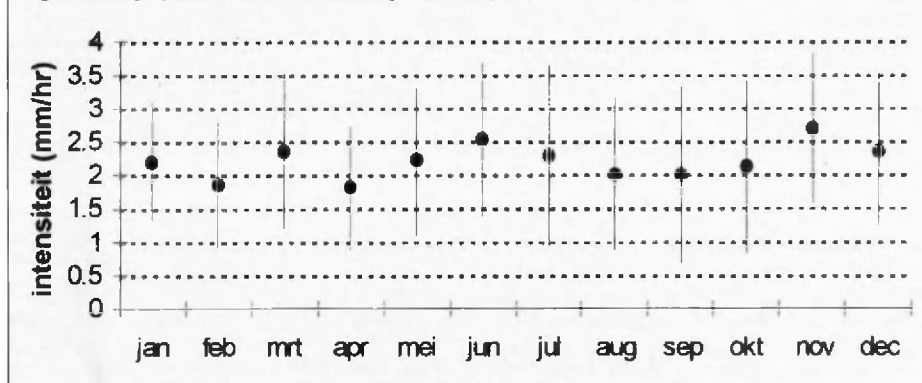
DE HISTORISCHE TIJDREEKS

Als historische tijdreeks beschikken we over 27 jaar neerslaggegevens (1967-

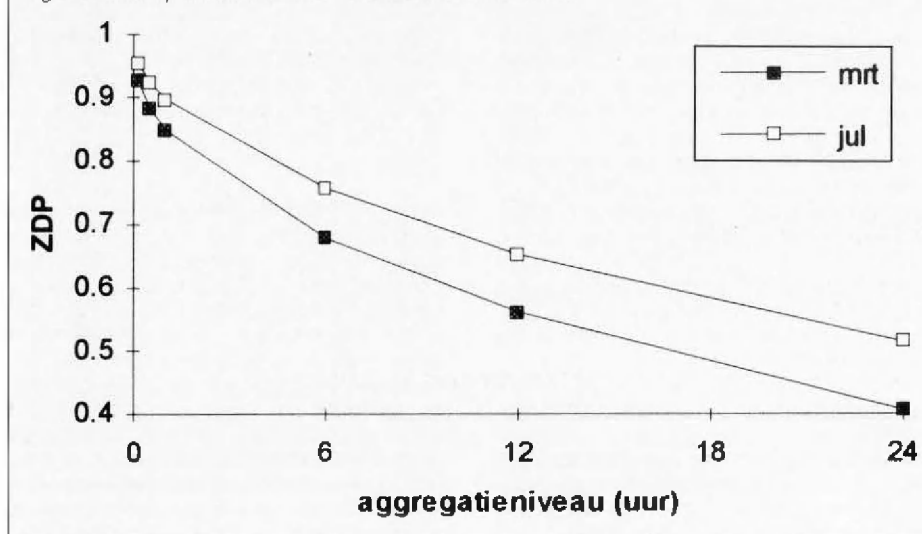
Tabel 1: Eerste en Tweede Orde Momenten en de ZDP Voor de Maanden Maart en Juli (Ukkel 1967-1993).

aggregatieniveau	gemiddelde mm	variantie mm ²	covariantie mm ²	correlatie (lag 1) mm ²	correlatie (lag 2) mm ²	correlatie (lag 3) mm ²	ZDP
maart							
10 min	0.01635	0.00723	0.00426	0.58939	0.44169	0.37441	0.92613
30 min	0.04904	0.04474	0.02585	0.57788	0.39171	0.30537	0.88408
1 uur	0.09808	0.14287	0.07383	0.51673	0.32925	0.25621	0.84911
6 uur	0.5885	2.35332	0.78606	0.33402	0.1468	0.11648	0.67832
12 uur	1.177	6.56869	1.65187	0.25148	0.13629	0.05538	0.56153
24 uur	2.354	15.73018	4.07035	0.25876	0.11355	0.12185	0.40621
juli							
10 min	0.01608	0.02425	0.0127	0.52366	0.29278	0.20626	0.95331
30 min	0.04824	0.14229	0.05153	0.36218	0.20668	0.10751	0.92284
1 uur	0.09649	0.40579	0.11953	0.29456	0.10655	0.06724	0.89596
6 uur	0.57894	4.25407	0.73523	0.17283	0.08008	0.09122	0.75388
12 uur	1.15788	9.87919	1.77851	0.18003	0.12393	0.04568	0.65054
24 uur	2.31577	23.3552	4.74515	0.20317	0.05438	0.06513	0.51254

Figuur 1: Dagelijkse Gemiddelde Neerslagintensiteit (mm).



Figuur 2: Verloop van de ZDP voor de Maanden Maart en Juli.



1993) van Ukkel met een tijdstap van 10 minuten. Deze reeks werd recentelijk gedigitaliseerd ter beschikking gesteld door het K.M.I. Door zijn beperkte duur is het vrij moeilijk om een uitspraak te kunnen doen in verband met neerslagintensiteiten over

grote retourperioden. Om hieraan te kunnen verhelpen kan gebruik gemaakt worden van neerslagsimulatoren voor het bekomen van een lange neerslagtijdsreeks die dezelfde statistische eigenschappen heeft als de historische reeks.

Allereerst is het vrij belangrijk dat verschillende eerste en tweede orde momenten bepaald worden voor de tijdsreeks. Naast het gemiddelde en de variantie op de reeks, kunnen covariantie en correlaties voor verschillende lags berekend worden. Tevens worden deze verschillende momenten berekend voor verschillende aggregatieniveaus. Hierbij is het aggregatieniveau met een duur van 10 minuten het kleinste mogelijke interval, daar dit de tijdstap is waarmee de gegevens voor Ukkel werden verwerkt. Als verschillende niveaus nemen we 10 minuten, 1/2, 1, 6, 12 en 24 uur. Naast het berekenen van de verschillende momenten is het belangrijk dat de kans dat geen neerslag valt (ZDP: Zero Depth Probability) behouden blijft voor de gesimuleerde reeks. Deze drukt de verhouding uit van het aantal droge intervallen tot het totale aantal intervallen in de beschouwde reeks. Deze grootte wordt ook berekend voor de verschillende maanden aggregatieniveaus.

De verschillende modellen die kunnen gebruikt worden voor het simuleren van een neerslagtijdsreeks zijn gebaseerd op stationariteit van de reeks. In de winter heeft ons klimaat voornamelijk cyclonale neerslag terwijl in de zomer tevens convectieve buien optreden. Deze seizoenale trends zorgen ervoor dat de reeks niet stationair is. We kunnen er echter van uit gaan dat de reeks nagenoeg stationair blijft gedurende één maand. Daarom berekenen we de verschillende momenten en ZDP's voor de verschillende maanden. In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van deze grootte voor de maanden juli en maart. Deze maanden zijn representatief voor respectievelijk een zomer- en wintermaand. Voor een overzicht van de overige maanden verwijzen we naar Verhoest et al. (1995).

Figuur 1 geeft een overzicht van de gemiddelde dagelijkse neerslag voor de verschillende maanden. Op deze grafiek worden

tevens de varianties uitgezet, zodat kan afgeleid worden dat de gemiddelde waarde van de dagelijkse intensiteit nagenoeg constant is gedurende het jaar. Figuur 2 geeft het verloop weer van de ZDP berekend voor de maanden maart en juli. Daar de gemiddelde dagelijkse intensiteit nagenoeg een constante is over het jaar, is het logisch dat de ZDP en de gemiddelde bui-intensiteit positief gecorreleerd zijn. Men kan dit als volgt inzien: als de ZDP toeneemt, dan moet gedurende een kortere tijdspanne evenveel neerslag vallen, want de gemiddelde neerslag blijft nagenoeg constant. Dit kan slechts gebeuren door het toemenen van de gemiddelde bui-intensiteit. Deze relatie blijkt ook uit figuur 3 waarbij de maand juli een hoge bui-intensiteit heeft en de ZDP hoog is, en de maand april een lage bui-intensiteit heeft en de ZDP laag is.

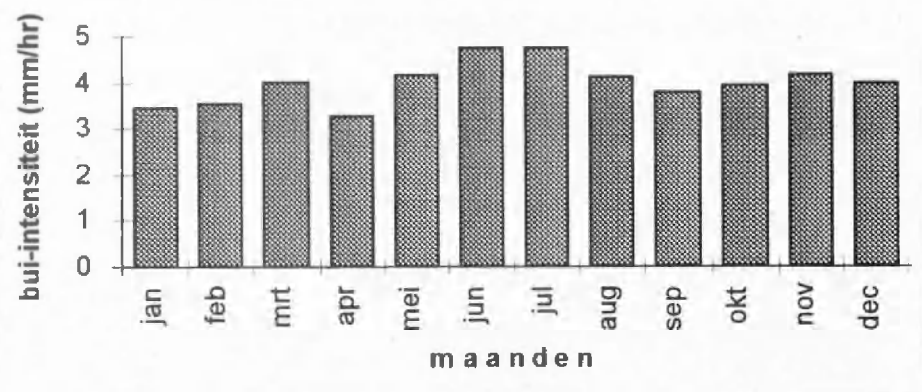
Bij het hydraulisch ontwerp van rioelstelsels zijn voornamelijk de gebeurtenissen waarbij extreme neerslagintensiteiten voorkomen belangrijk. Daarom is het belangrijk om na te gaan in hoeverre een gesimuleerde neerslag-tijdreeks deze gebeurtenissen beschrijft. Dit kan men doen door het uitvoeren van een frequentie-analyse op zowel de historische tijdreeks van Ukkel, als op de gesimuleerde reeks. De berekeningswijze van een frequentie-analyse op periodieke maxima kan uitgevoerd worden zoals gegeven in Demarée (1985). Tijdens deze analyse wordt enkel gebruik gemaakt van de maximum waarde waargenomen over een periode (een jaar, een specifieke maand in een jaar, ...). Voor de historische reeks van 27 jaar worden op deze manier 27 getallen weerhouden. De verdeling van deze extreme waarden zal anders zijn dan deze van de populatie waarvan ze afkomstig zijn, ten gevolge van deze merkwaardige voorkeursbehandeling. Meestal kan een Gumbel distributie (ook dikwijls extreme value type I of Fisher-Tippett type I distributie genoemd) aangenomen worden voor deze verdeling. Als deze distributie effectief gevolgd wordt, zal het verloop van de verschillende extreme waarden in het Gumbel diagramma een rechte vertonen. Figuur 4 geeft deze diagramma's weer voor de jaarlijkse maxima. Hierin herkennen we het lineaire verloop voor de extreme waarden voor de verschillende aggregatieniveaus. Voor een overzicht van deze diagrammen voor de verschillende maanden van het jaar verwijzen we naar Verhoest et al. (1995).

Voor het berekenen van rioelstelsels duiden Vaes et al. (1994) op het belang van IDF-curve. Deze curves kunnen op verschillende manieren berekend worden. We beperken ons tot de bovengrens voor de terugkeerperioden. Voor de manier waarop deze relaties bepaald worden verwijzen we naar Vaes et al. (1994). Figuur 5 geeft een overzicht van deze relaties bepaald voor jaarlijkse perioden. Voor een overzicht van de IDF-curves voor de verschillende maanden kunnen we opnieuw verwijzen naar Verhoest et al. (1995).

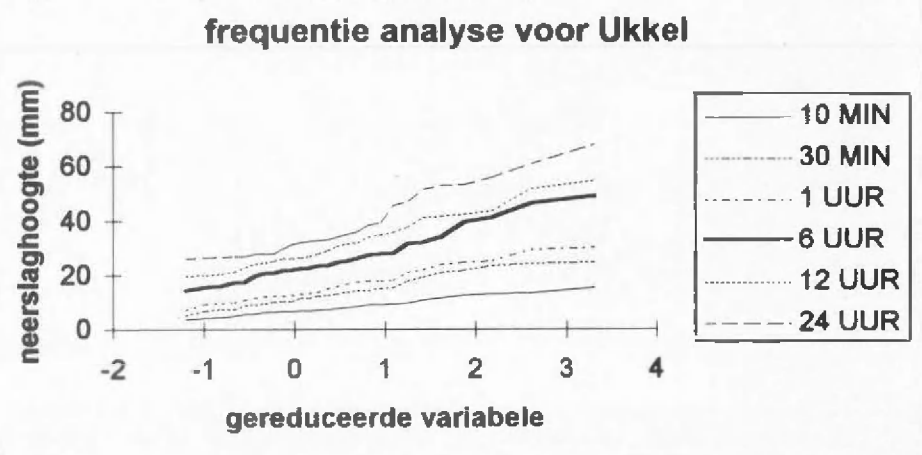
NEERSLAGMODELLEN

Neerslag, zoals alle fenomenen in de natuur, is een toevalsproces. Wil men de

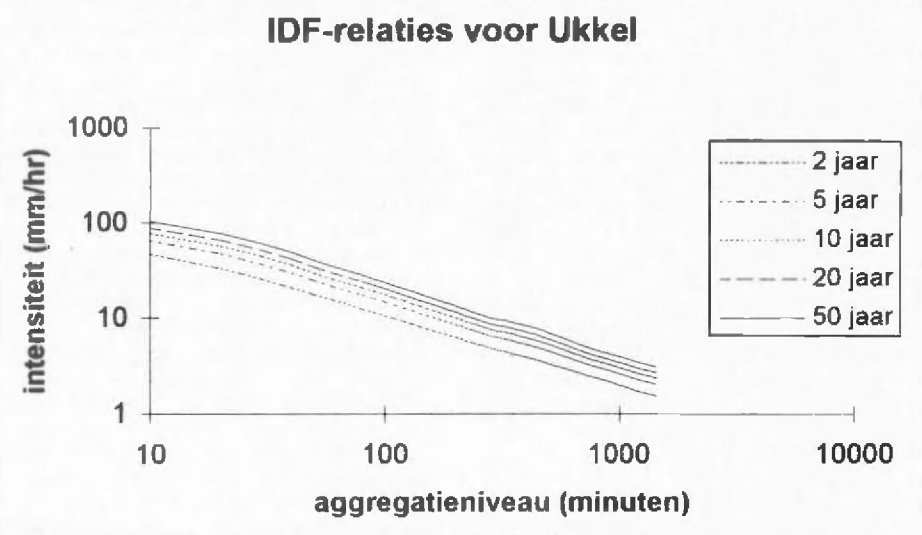
Figuur 3: Overzicht van de Gemiddelde Waarde van een Bui per Maand.



Figuur 4: Gumbel Diagramma's voor de Jaarlijkse Maxima.



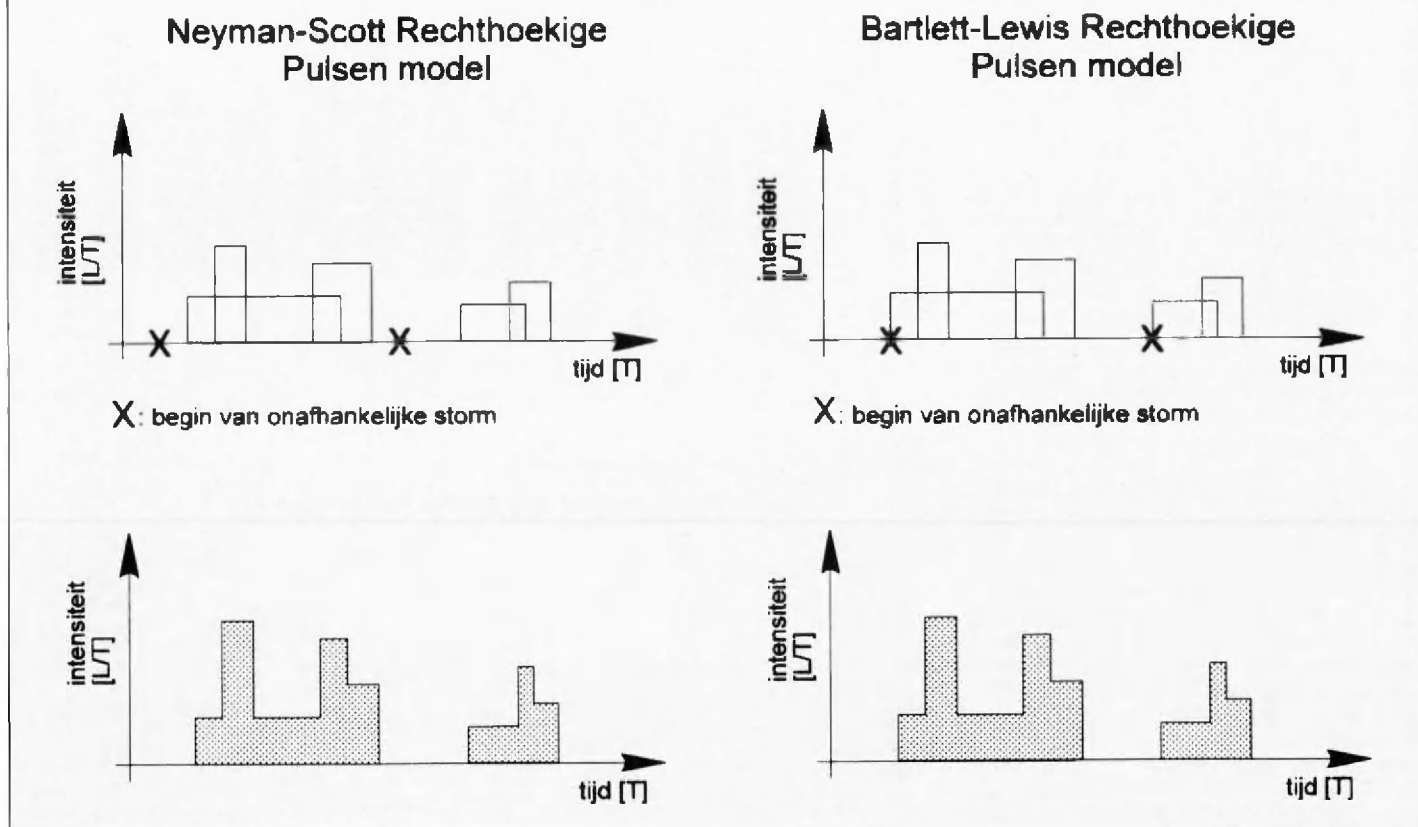
Figuur 5: IDF-relaties opgesteld voor Periodieke Maxima voor Ukkel.



neerslag omvatten in een model, dan maakt men best gebruik van een stochastische benadering. Het resulterend model bevat één of meerdere parameters die toevallig veranderlijk zijn. Gedurende de laatste decennia kreeg het gebruik van puntprocessen veel belangstelling bij het ontwikkelen van fysisch realistische neerslagmodellen. Een puntproces is een stochastisch proces, waarbij veranderlijken in voorkomen die te beschouwen zijn als puntge-

beurtenissen in de tijd en/of in de ruimte. Definiëren we een tijdreeks als een waargenomen realisatie van een stochastisch proces. Meestal wordt een dergelijke tijdreeks bekomen door het stochastisch signaal (= neerslag) op discrete tijdstippen ($t = 1, 2, \dots$) te observeren. Het aggregatieniveau, τ , is het tijdsinterval waarbinnen de neerslag wordt gecumuleerd en op basis waarvan de intensiteit wordt berekend.

Figuur 6: Het Concept van de Generatie van Synthetische Neerslag Data gebruik makend van Cluster Poisson Proces Modellen.



De eerste puntneerslagmodellen waren gebaseerd op Markov processen. Deze modellen waren heel eenvoudig van opbouw, maar konden de typische neerslagstructuur niet beschrijven. Daarna werd overgegaan op Poisson proces modellen. Hierbij werd gebruik gemaakt van een Poisson-verdeling voor het beschrijven van de tijdstippen waarbij neerslag valt. Een Poisson-verdeling wordt gebruikt als de veranderlijken op expliciete tijdstippen of plaatsen optreden, zoals bijvoorbeeld de ogenblikken waarbij mensen aan een kassa passeren. Ook deze processen boden geen echte voldoening bij het beschrijven van de neerslagstructuur. Daarom werden de cluster Poisson proces modellen ontwikkeld. Voor een gedetailleerd overzicht van de ontwikkeling van deze modellen verwijzen we naar Verhoest et al. (1995). Cluster Poisson proces modellen koppelen aan elk tijdstip, verdeeld volgens een Poisson-proces, een reeks van neerslag-gebeurtenissen. Deze modellen leunen ten gevolge van hun clusterstructuur veel dichter aan bij de stormstructuur. Tevens zijn de cluster-gebaseerde rechthoekige pulsen modellen in staat om aan de hand van 1 parameterset, de statistische structuur van de tijdreeks voor verschillende aggregatieniveaus te behouden.

DE CLUSTER-GEBASEERDE RECHTHOEKIGE PULSEN MODELLEN

Het Neyman-Scott Rechthoekig Pulsen model en het Bartlett-Lewis Rechthoekig Pulsen model zijn typische voorbeelden van

cluster Poisson processen. Deze beide modellen zijn qua opbouw nagenoeg identiek. Het concept van het genereren van synthetische neerslag data door middel van het Neyman-Scott Rechthoekige Pulsen model en van het Bartlett-Lewis Rechthoekige Pulsen model wordt beschreven in figuur 6. De tijd tussen twee opeenvolgende stormoorsprongen wordt bekomen, gebruik makend van een Poisson verdeling met een parameter λ bepaald aan de hand van gegevens uit een historische tijdreeks. Aan elke stormoorsprong wordt een aantal cellen gekoppeld, waarbij dit aantal varieert van storm tot storm volgens een Poisson verdeling met gemiddelde waarde μ_c , zoals bij het Poisson Neyman-Scott en het Bartlett-Lewis model, of een geometrische verdeling met gemiddelde waarde μ_c bij het geometrische Neyman-Scott model. Het verschil tussen het Bartlett-Lewis en het Neyman-Scott model is zeer miniem. Bij het Bartlett-Lewis model is de stormoorsprong tevens de oorsprong van de eerste cel van het cluster cellen verbonden aan die stormoorsprong door een Poisson proces waardoor de cellen gegenereerd worden met snelheid β (via een exponentiële verdeling met parameter γ). Echter bij het Neyman-Scott Model starten de stormoorsprongen een zekere tijd, exponentieel verdeeld met parameter β , na de stormoorsprong. Hierdoor situeert zich geen enkel begin van een cel bij de stormoorsprong waardoor deze stormoorsprong bij het Neyman-Scott model eigenlijk zijn fysische betekenis verliest (zie fi-

guur 6). Geassocieerd aan elke cel is een willekeurige duur en hoogte (intensiteit) gekoppeld, die elk een exponentiële distributie, respectievelijk met parameters μ_x en η , volgen. Uiteindelijk verkrijgt men een model dat door 5 parameters (nl. bij het Bartlett-Lewis model: λ , β , γ , μ_x en η ; bij het Neymann-Scott model: λ , β , μ_x , μ_c en η) bepaald wordt.

Naast het behoud van de verschillende statistische momenten, is het belangrijk dat de modellen de distributie van droge en natte periodes goed behouden. De oorspronkelijke Neyman-Scott en Bartlett-Lewis modellen presteerden minder goed op dit vlak. Door het vervangen van de exponentiële distributie voor de celduur door een tweeparameter gamma distributie, volgen de modellen de kans op droogte (ZDP, Zero Depth Probability) beter. Hierdoor wordt echter een parameter meer toegevoegd aan het model (6 parameter model), wat de bepaling van deze parameters sterk bemoeilijkt.

In een onderzoek op neerslaggegevens van Denver, kon afgeleid worden dat deze gewijzigde modellen niet enkel de ZDP goed behouden, maar dat tevens het verloop van de extreme waarden sterk verbeterd (Velghe et al., 1994). Echter uit onderzoek op twee Italiaanse weerstations kon voor het gewijzigde Neyman-Scott model geen verbetering gemerkt worden inzake de ZDP (Troch et al., 1991).

Voor de verschillende modellen werden zowel de analytische als de gesimuleerde

Tabel 2: Parameters voor het gewijzigde Bartlett-Lewis model.

	λ (h^{-1})	κ	ϕ	μ_x (mm/h)	α	θ (h)
maart	0.032597	0.654607	0.034060	1.192015	2.810060	0.225965
juli	0.018019	0.046864	0.008659	6.285239	7.754327	0.898657

momenten berekend. Daarnaast werd een frequentie-analyse uitgevoerd op de gesimuleerde reeksen voor de verschillende modellen en werden de IDF-relaties bepaald. Na een vergelijkend onderzoek tussen de verschillende modellen bleek dat het gewijzigde Bartlett-Lewis model (MBL; modified Bartlett-Lewis) voor al deze karakteristieken het best de resultaten van de historische tijdreeks weer gaf. Daarom wordt in het verder verloop van dit artikel slechts enkel resultaten voor dit model weergegeven.

PARAMETERSCHATTING

De parameterschatting kan gebeuren met behulp van verschillende methodes. Een eerste en meest eenvoudige methode is gebruik maken van de momenten bepaald uit de historische reeks ter bepaling van de parameters. Een tweede, maar moeilijkere methode maakt gebruik van de maximum likelihood. Daar echter voor de verschillende momenten analytische uitdrukkingen bestaan uitgaande van de parameters van het model, is in eerste instantie voor de momentenmethode gekozen. Hiervoor stelt men verschillende combinaties van statistieken uit de historische reeks gelijk aan de analytische uitdrukkingen die voor die specifieke statistieken gegeven zijn, zodat een stelsel van niet-lineaire vergelijkingen bekomen wordt. Het oplossen van dit stelsel kan niet meer analytisch gebeuren, zodat aan de hand van numerische technieken een oplossing moet gezocht worden. Een mogelijkheid bestaat erin een optimalisatie algoritme, zoals de Powell's quadratically

convergent method (Press et al., 1986, p. 297) toe te passen op dit stelsel. In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de parameters voor het gewijzigde Bartlett-Lewis model voor de maanden maart en juli. De parameter μ_x staat voor de gemiddelde intensiteit per cel. Deze parameter (uitgedrukt in mm / uur) is veel groter voor de maand juli. Dit is ook fysisch te verantwoorden daar we in deze maand meer convectieve neerslag kennen. De overige parameters in tabel 2 kunnen als volgt worden geïnterpreteerd: λ staat voor het gemiddeld aantal stormen per uur. κ en ϕ zijn twee dimensionloze grootheden en staan respectievelijk voor β/η en γ/η , waarbij β het aantal cellen per storm en per uur voorstelt. $1/\gamma$ is de gemiddelde tijd waarna de celgeneratie stopt en $1/\eta$ staat voor de gemiddelde duur van een cel. Deze parameter λ is echter veranderlijk van storm tot storm (=gewijzigd model) en wordt bepaald door een twee parameter gamma verdeling, waarvan α en θ respectievelijk de vorm- en schaalparameters zijn.

ANALYTISCHE MOMENTEN

Voor de verschillende modellen werden analytische formules opgesteld die de momenten uitdrukken in functie van de parameters van dat model en het aggregatieniveau waarvoor dat moment werd berekend (Rodriguez-Iturbe, 1986, Rodriguez-Iturbe et al., 1987a,b, 1988, Obeysekera et al., 1987, Entekhabi et al., 1989). Voor de Bartlett-Lewis modellen beschikken we tevens over een analytische uitdrukking voor de ZDP-waarde van de verschillende ag-

gregatieniveaus. De berekening van deze momenten is een eerste controle van de schatting van de parameters. In tabel 3 wordt een overzicht gegeven van deze statistieken voor de maanden maart en juli voor het gewijzigde Bartlett-Lewis model. We zien een zeer goede overeenkomst van de verschillende momenten. Dit wordt tevens vastgesteld voor de andere onderzochte modellen (het geometrische en Poisson originele Neyman-Scott model en het originele Bartlett-Lewis model). Voor het originele Bartlett-Lewis model blijkt echter wel een iets slechtere schatting van de ZDP. Voor de Neyman-Scott modellen kan hieromtrent geen uitspraak gedaan worden wegens het ontbreken van de analytische uitdrukking.

DE GESIMULEERDE TIJDREEKS

Met behulp van een computerprogramma dat de beschreven modellen implementeert en de parameters, berekend voor dit model, kan een tijdreeks van willekeurige duur gegenereerd worden. Voor de verschillende modellen werd telkens een tijdreeks van 100 jaar gesimuleerd.

Net zoals op de historische reeks kunnen de eerste en tweede orde momenten bepaald worden. Voor de verschillende aggregatieniveaus kan het gemiddelde, de variantie, de covariantie en de correlaties voor verschillende lags berekend worden. Dezelfde aggregatieniveaus worden aangenomen als bij de historische reeks zodat het vergelijken van deze grootheden mogelijk wordt. Tevens wordt de kans op droogte berekend voor de verschillende aggregatieniveaus. In tabel 4 wordt opnieuw voor de maanden maart en juli voor het gewijzigde Bartlett-Lewis model een overzicht gegeven van deze statistieken. Het gemiddelde, de variantie en covariantie komen vrij goed overeen met de historische waarden. Uit het onderzoek bleek dat de meeste mo-

Tabel 3: De Analytische Momenten berekend voor de Maanden Maart en Juli aan de hand van het MBL Model (vgl. Tabel 1).

aggregatieniveau	gemiddelde mm	variantie mm ²	covariantie mm ²	correlatie (lag 1) mm ²	correlatie (lag 2) mm ²	correlatie (lag 3) mm ²	ZDP
maart							
10 min	0.01635	0.00662	0.0046	0.69546	0.49016	0.40221	0.90996
30 min	0.04904	0.04474	0.02585	0.57778	0.39795	0.33032	0.88409
1 uur	0.09808	0.14118	0.07624	0.54	0.3674	0.29141	0.86398
6 uur	0.58847	2.4641	1.00283	0.40698	0.1835	0.10814	0.73062
12 uur	1.17694	6.93386	2.17363	0.31348	0.10811	0.05731	0.60071
24 uur	2.35388	18.21498	4.07022	0.22345	0.05878	0.02896	0.40621
juli							
10 min	0.0161	0.02424	0.0127	0.52388	0.21107	0.10624	0.96768
30 min	0.04831	0.13374	0.03501	0.26175	0.06981	0.05193	0.93693
1 uur	0.09662	0.33749	0.06062	0.17963	0.07648	0.06984	0.89879
6 uur	0.57972	3.10883	0.74603	0.23997	0.15926	0.11309	0.72761
12 uur	1.15945	7.70972	2.08784	0.27081	0.13557	0.07347	0.63944
24 uur	2.31889	19.59513	4.74471	0.24214	0.07171	0.02586	0.51267

Tabel 4: Eerste en Tweede Orde Momenten voor de Gesimuleerde Reeks (vgl. Tabel 1 en 3).

aggregatieniveau	gemiddelde mm	variantie mm ²	covariantie mm ²	correlatie (lag 1) mm ²	correlatie (lag 2) mm ²	correlatie (lag 3) mm ²	ZDP
maart							
10 min	0.01534	0.00647	0.00441	0.68253	0.47711	0.38428	0.94013
1/2 uur	0.04601	0.04328	0.02416	0.55816	0.36826	0.29391	0.90901
1 uur	0.09203	0.13466	0.06881	0.51102	0.33576	0.26921	0.88496
6 uur	0.55216	2.26762	0.87648	0.38652	0.165	0.07141	0.75395
12 uur	1.10432	6.22194	1.83817	0.29543	0.07558	0.03208	0.62339
24 uur	2.20865	15.81306	3.17832	0.20099	0.02085	0.00898	0.43419
juli							
10 min	0.01596	0.0235	0.01221	0.51956	0.21226	0.1078	0.97458
1/2 uur	0.04787	0.12786	0.03517	0.27503	0.08915	0.05883	0.94898
1 uur	0.09574	0.31953	0.06921	0.21658	0.08062	0.07004	0.91569
6 uur	0.57445	3.07436	0.7455	0.24249	0.16281	0.11616	0.74774
12 uur	1.1489	7.74009	2.01274	0.26004	0.15218	0.06084	0.65339
24 uur	2.29781	19.51596	5.11092	0.26188	0.04161	-0.00918	0.52935

dellen deze eerste en tweede orde statistieken goed behielden. Toch bleken de Neyman-Scott modellen minder goed de statistieken weer te geven in vergelijking met de Bartlett-Lewis modellen. Er wordt eveneens een lichte verbetering van de schatting voor de ZDP opgemerkt bij het gewijzigde Bartlett-Lewis model ten opzichte van het originele model.

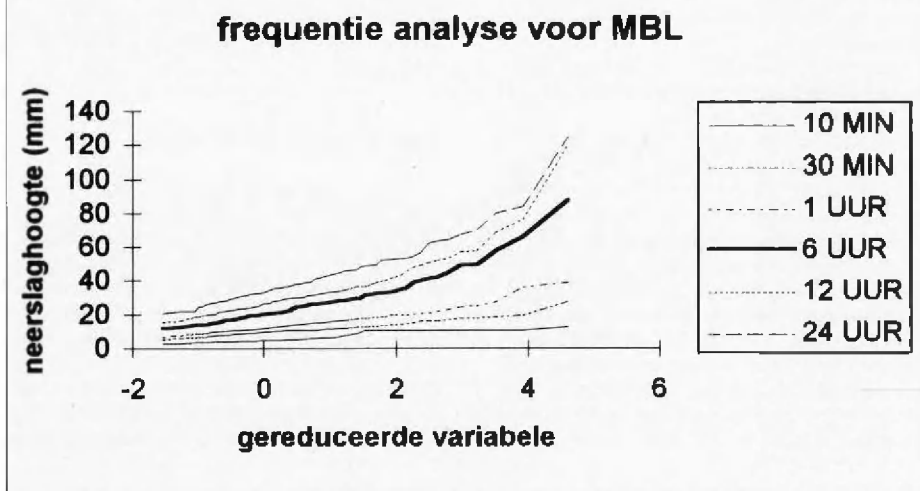
Daar voor dit onderzoek het verloop van de extreme waarden voornamelijk moet behouden worden, worden de gesimuleerde tijdreeksen onderworpen aan een frequentie-analyse. Alle modellen die onderzocht werden vertonen een onderschatting van de extreme waarden voor kleine aggregatieniveaus. Zoals door *Velghe (1994)* reeds kon opgemerkt worden voor de Denver-reeks, blijkt hier tevens dat het gewijzigde Bartlett-Lewis model beter de extreme waarden weergeeft dan het originele model. Figuur 7 geeft een overzicht voor het extreme waarde diagram voor de jaarlijkse maxima.

Naast de frequentie-analyse uitgevoerd op de gesimuleerde reeks, kunnen ook IDF-relaties berekend worden voor deze reeks. Zoals reeds kon afgeleid worden uit de frequentie-analyses verkrijgt men een onderschatting van de extreme waarden bij kleine aggregatieniveaus. Een goede overeenkomst tussen de IDF-curves van de historische en de gesimuleerde reeks wordt bekomen vanaf een aggregatieniveau van enkele uren. Figuur 8 geeft een overzicht van de IDF-relaties voor de jaarlijkse maxima.

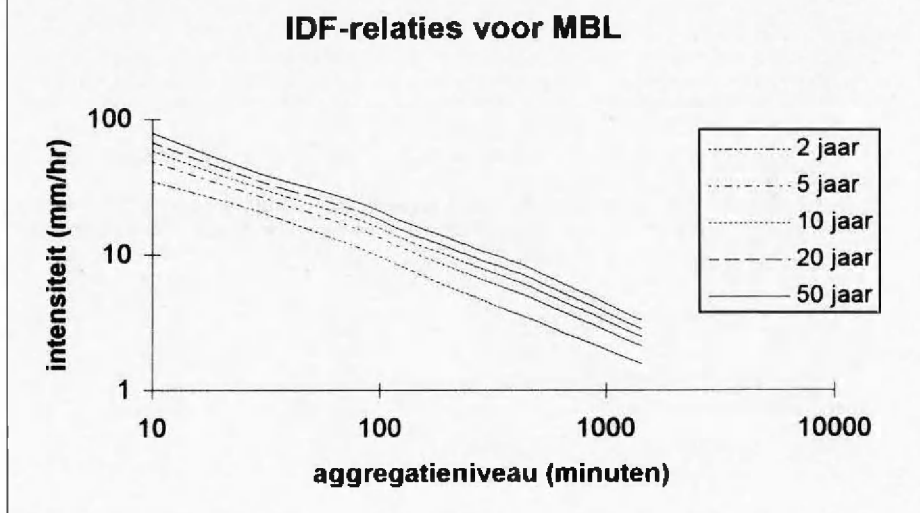
BESLUIT

Bij ontwerpberoeingen van rioleringen zijn de extreme neerslaggebeurtenissen zeer belangrijk. De tijdreeks over 27 jaar die de neerslag te Ukkel beschrijft, is nogal kort om alle mogelijke combinaties van neerslag te beschrijven. Daarom kan een beroep gedaan worden op computersimula-

Figuur 7: Gumbel Diagramma's voor de Periodieke Maxima bepaald uit de Gesimuleerde Reeks (vgl. Figuur 4).



Figuur 8: IDF-relaties voor Periodieke Maxima voor de Gesimuleerde Reeks (vgl. Figuur 5).



ties die een neerslagtijdsreeks genereren die dezelfde statistische eigenschappen hebben als de historische tijdsreeks. Tal van modellen werden reeds voorgesteld, maar de op clusters gebaseerde rechthoekige pulsen modellen blijken het best de statistieken van de historische tijdsreeks te behouden. Deze modellen zijn echter niet in staat om het verloop van de extreme waarden goed te simuleren. Het gewijzigde Bartlett-Lewis model geeft het best het verloop van deze waarden weer, toch blijft nog steeds een onderschatting van de extreme waarden op kleine aggregatieniveaus opvallend.

DANKWOORD

Het onderzoek voorgesteld in dit artikel maakt gebruik van een 10-minuten neerslag te Ukkel (1967-1993), gedigitaliseerd ter beschikking gesteld door het K.M.I., waarvoor onze dank. Tevens danken we de n.v. Aquafin voor de steun verleend aan het onderzoek, onder contractnr. SK327/01.

N. VERHOEST

P.A. TROCH

F.P. DE TROCH

Universiteit Gent

Laboratorium voor Hydrologie en Waterbeheer

Coupure Links 653

9000 Gent

T. VELGHE

Vlaamse Landmaatschappij

Provinciale Directie Herentals
Cardijnlaan 1
2200 Herentals

REFERENTIES

- DEMAREE, G., Intensity-Duration-Frequency Relationship of Point Precipitation at Uccle. Reference Period 1934-1983. K.M.I. publicaties, reeks A, N° 116, 52p., 1985.
- DUPRIEZ, G.L., G. DEMAREE, Totaux pluviométriques sur des périodes continues de 1 à 30 jours, 1. Analyse de 11 séries pluviométriques de plus de 80 ans. K.M.I. publicaties, reeks A, N° 8, 154p., 1988.
- DUPRIEZ, G.L., G. DEMAREE, Totaux pluviométriques sur des périodes continues de 1 à 30 jours, 2. Analyse des séries pluviométriques d'au moins 30 ans. K.M.I. publicaties, reeks A, N° 9, 53p., 1989.
- ENTEKHABI, D., I. Rodriguez-Iturbe and P.S. EAGLESON, Probabilistic representation of the temporal rainfall process by the modified Neyman-Scott rectangular pulses model: Parameter estimation and validation. *Water Resour. Res.*, 25(2), 295-302, 1989.
- MARIEN, J.L. and G.L. VANDEWIELE, A point rainfall generator with internal storm structure. *Water Resour. Res.*, 22(4), 475-482, 1986.
- OBEYSEKERA, J.T.B., TABIOS III, G.Q. and SALLAS, J.D., On parameter estimation of temporal rainfall models. *Water Resour. Res.*, 23(10), 1837-1850, 1987.
- PRESS, W.H., B.P. FLANNERY, S.A. TEUKOLSKY and W.T. VETTERLING, *Numerical Recipes - The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press, Cambridge, 1986.
- RODRIGUEZ-ITURBE, I., Scale of fluctuation of rainfall models. *Water Resour. Res.*, 22(9), 15S-

37S, 1986.

RODRIGUEZ-ITURBE, I., D.R. COX and V. ISHAM, A point process model for rainfall: Further developments. *Proc. Royal Soc. London, Ser. A* 417, 283-298.

RODRIGUEZ-ITURBE, I., D.R. COX and V. ISHAM, Some models for rainfall based on stochastic point processes. *Proc. Royal Soc. London, Ser. A* 410, 269-288, 1987a.

RODRIGUEZ-ITURBE, I., B. FEBRES DE POWER and J.B. VALDES, Rectangular pulses point process models for rainfall: Analysis of empirical data. *Journal of Geophys. Res.*, 92, 9645-9656, 1987b.

TROCH, P.A., J. VAN DE VELDE and F.P. DE TROCH, A stochastic point rainfall generator based on the modified Neyman-Scott rectangular pulses model. University of Ghent, Laboratory of Hydrology and Water Management, 96p., 1991.

VAES, G., P. WILLEMS en J. BERLAMONT, Een kritische kijk op IDF-relaties. *Water*, 79, 229-236, 1994.

VELGHE, T. Evaluatie en toepassing van de Neyman-Scott en Bartlett-Lewis puntneerslagmodellen. *Afstudeerwerk*, Gent, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, 1993.

VELGHE, T., P.A. TROCH, F.P. DE TROCH and J. VAN DE VELDE, Evaluation of cluster-based rectangular pulses point process models for rainfall. *Water Resour. Res.*, 30(10), 2847-2857, 1994.

VERHOEST, N., T. VELGHE, P.A. TROCH en F.P. DE TROCH, Vergelijkende studie van cluster-gebaseerde puntneerslagmodellen met het oog op het bepalen van representatieve buien voor rioolontwerpberekeningen. *Toepassing: 10-minuten neerslaggegevens te Ukkel (1967-1993)*. Universiteit Gent, Laboratorium voor Hydrologie en Waterbeheer, 241p., 1995.

REEDS IN HET VOORJAAR WORDT DRINKWATER AAN TOPSNELHEID GELEVERD !!!

PIDPA, de Provinciale en Intercommunale Drinkwatermaatschappij van de Provincie Antwerpen, die meer dan 1 miljoen inwoners van onze Provincie van drinkwater voorziet, levert sinds begin april al water aan topsnelheid.

Het normaal gemiddeld dagverbruik van 198 miljoen liter water wordt nu ruim overschreden. Reeds nu worden dagelijks verbruiken genoteerd, die men normaal slechts in droge zomer-maanden optekent.

De oorzaak hiervan is dat reeds vele abonnees, die over watervoorraden beschikken via een eigen put, wegens droogvallen van deze voorraden nu reeds op het PIDPA-drinkwater beroep doen. Ook wordt in vele tuinen overvloedig gesproeid.

De gemiddelde jaarlijkse neerslag bedraagt normaal 800 mm/m². Op dit ogenblik bedraagt het totale neerslagtekort 300 mm op jaarbasis. Hierdoor liggen de grondwaterpeilen in onze provincie gemiddeld 1m tot 1,5m lager dan normaal.

Door de droge zomer en de daaropvolgende droge winter die wij kenden, werden de ondergrondse waterlagen, onvoldoende aangevuld. Het is de jaarlijkse winterneerslag die grotendeels verantwoordelijk is voor de aanvulling van het peil van deze waterlagen. Tijdens dit koude seizoen is er immers veel minder verdamping van de neerslag. Omdat de planten aan hun rustperiode toe zijn, gaan zij veel minder water uit de ondergrond putten. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat een groot gedeelte van de neerslag ongestoord in de grond kan dringen en zo deze waterlagen aanvult.

Het PIDPA-drinkwater wordt uit de bodem opgepompt via een 300-tal putten, verdeeld over de ganse provincie Antwerpen. Deze putten variëren in diepte van 60 tot 200 m, afhankelijk van de diepte van de grondwaterlaag waaruit PIDPA ter plaatse water oppompt. Door de diepte van deze putten bestaat er voor de drinkwaterproductie in onze provincie dan ook momenteel geen probleem.

Drinkwater is een natuurlijke rijkdom én een economisch goed dat zeker niet mag verspild worden. PIDPA besteedt zelf de uiterste zorg aan dit drinkwater dat wij aan het milieu ontlenden. Het bedrijf vraagt dan ook aan haar klanten om er eveneens zorgzaam mee om te springen.

De tuin overvloedig sproeien hoeft echt niet! De auto wassen met de tuinslang kan ook anders: met enkele emmers water is dat ook mogelijk en zo wordt er opmerkelijk minder water verbruikt!

Laat een lekkende kraan tijdig herstellen. Een verlies van 10 druppels per minuut betekent al vlug een verlies van 170 l per maand!

Voor vele doeleinden kan men gebruik maken van regenwater in plaats van leidingwater!

Een douche van 6 min. verbruikt gemiddeld driemaal minder water dan een bad. Ook douchen kan voordeliger door installatie van een waterbesparende douchekop. Dit betekent een besparing van 4 l water per minuut!

Een doorsnee wasmachine gebruikt gemiddeld 100 à 120 l water, ook als de trommel maar voor de helft gevuld is. Kookwas is een grote waterverslinder. Dus kookwas vermijden en altijd wassen met een volle trommel!

Verder kan je:

- met spoelwater en afgekoeld kookwater de planten gieten.
- de kraan dichtdraaien tijdens het tandenpoetsen!
- de stop van de wastafel, het bad of de gootsteen gebruiken!
- in het toilet een spaarspoeltoets voorzien!

Antwerpen, 26 april 1996