

Leidraad module C2100, berekening van het didactisch rioolstelsel: een toetsing

IR. F.H.L.R. CLEMENS, WITTEVEEN+BOS RAADGEVENDE INGENIEURS B.V.

IR. P.P.G. GANZEVLES, TAUWMABEG CIVIEL EN BOUW B.V.

IR. M.E. BOOMGAARD, WITTEVEEN+BOS RAADGEVENDE INGENIEURS B.V.

IR. H. VAN LUIJTELAAR, GRONTMIJ ADVIES & TECHNIEK*

DR. J. R. WIXCEY, WALLINGFORD SOFTWARE

* THANS WERKZAAM BIJ TAUWMABEG CIVIEL EN BOUW B.V.

Met het verschijnen van de module C2100 'Rio-
leringsberekeningen, hydraulisch functioneren'
in de Leidraad Riolerings [1] december 1995 is
een rekenwijze voor hydraulische berekeningen
van rioolstelsels eenduidig vastgelegd en zijn
defaultwaarden aangegeven voor diverse reken-
parameters. Bovendien zijn StandaardUitwis-
selsFormaten (SUF's, [2] en [3]) gedefinieerd
om zowel invoergegevens als resultaten van
berekeningen toegankelijker te maken en onaf-
hankelijk te laten zijn van de gebruikte soft-
ware.

Een groot voordeel van de C2100-systema-
tik is dat hierin geen bepaald programma-
pakket voorgeschreven is, maar dat de module
voorwaarden stelt. Als toepassingsvoorbeeld
van de module C2100 en voor de toetsing van
software heeft de stichting RIONED het rap-

port 'Didactisch rioolstelsel' [4] uitgegeven
waarin een volledige presentatie van de reken-
wijze en de resultaten is weergegeven.

In dit artikel zal, na een korte samenvat-
ting van de systematiek uit de module C2100,
worden ingegaan op de ervaringen, die zijn
opgedaan met het hydrodynamische reken-
programma Hydroworks (versie 3.3) bij bere-
kening van het hydraulisch functioneren van
het didactisch stelsel. Nagegaan is in hoeverre
de resultaten software-onafhankelijk zijn en of
er afwijkingen ontstaan door gebruik te
maken van de in [1] beschreven methodiek. In
het artikel wordt niet ingegaan op mogelijke
verklaringen voor geconstateerde verschillen
in de rekenresultaten tussen die bereikt met
Hydroworks en de in [4] gerapporteerde resul-
taten.

Samenvatting

Met als voornaamste doel het uniformeren van de hydraulische berekeningen aan rioolstelsels
zijn door het ministerie van VROM en de stichting RIONED in 1995 een aantal rapporten
gepubliceerd. In deze rapporten waarvan de module C2100 'Rio-
leringsberekeningen, Hydraulisch functioneren' van de Leidraad Riolerings de voornaamste is, is een rekensystematiek
beschreven die uitgangspunten, randvoorwaarden en eisen formuleert die gesteld worden aan
hydraulische berekeningen aan de riolerings. Deze rekenmethodiek is inmiddels landelijk geac-
cepteerd en vindt brede toepassing in de praktijk.

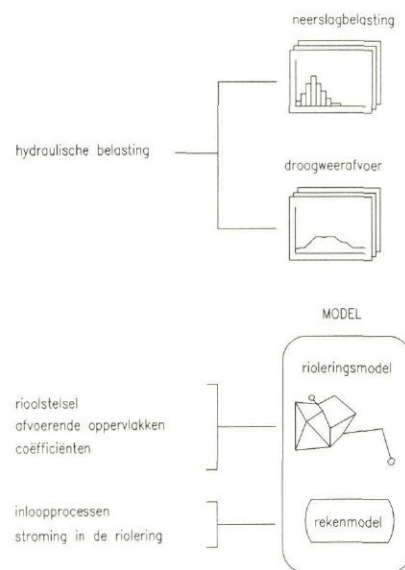
Een belangrijk kenmerk van de gepresenteerde systematiek is het feit dat niet dwingend een
bepaald softwarepakket wordt verlangd, maar dat een minimumpakket aan uitgangspunten
en te presenteren controles is neergelegd. Hierdoor ontstaat de vrijheid om met diverse reken-
instrumenten (softwarepakketten) te kunnen werken en is er geen obstakel om deze instru-
menten verder te kunnen ontwikkelen. In het artikel wordt nagegaan in hoeverre afwijkingen
ontstaan als een fictief stelsel, het didactisch rioolstelsel, met twee, volledig onafhankelijk van
elkaar ontwikkelde, softwarepakketten wordt doorgerekend.

De belangrijkste conclusie is dat er afwijkingen in berekeningsresultaten kunnen ontstaan
door het gebruik van verschillende pakketten. Bij gebeurtenisberekeningen zijn deze verschil-
len verwaarloosbaar klein en hebben nauwelijks betekenis voor de dagelijkse praktijk. De
resultaten van de reeks berekeningen zijn in grote lijnen gelijklopend, de verschillen blijven
echter binnen acceptabele grenzen.

Systematiek module C2100

De module C2100 gaat voor de controle
van het hydraulisch functioneren van riool-
stelsel uit van het gebruik van niet-stationaire
hydraulische rekenmethoden. Hierbij wordt
gewerkt met een rekenmodel dat bestaat uit
een inloop- en stromingsmodel voor de
beschrijving van de afvoer van afval- en regen-
water in het rioolstelsel. Afbeelding 1 geeft aan
dat samen met de kenmerken van het riool-
stelsel (ligging putten en leidingen, afvoeren-
de oppervlakken) een volledig model van het
rioolstelsel wordt verkregen als basis voor de
berekeningen. De resultaten van de berekenin-
gen worden gebruikt om het hydraulisch
functioneren van een rioolstelsel te beoorde-
len. Hierbij wordt vooral gelet op afvoer- en
bergingscapaciteit.

Afb. 1 Onderdelen systematiek 'Rio-
leringsberekeningen, hydraulisch functioneren' [1].



Onvoldoende afvoer capaciteit resulteert in
'water op straat'. Het beoordelen van de
hydraulische afvoer capaciteit wordt uitge-
voerd met een volledig model en standaard
neerslaggebeurtenissen. Bij de analyse van
'water op straat' wordt vooral gelet op de loca-
tie en de omvang. Voor de berekende 'water op
straat' locaties wordt nagegaan of dit strookt
met de praktijk.

Onvoldoende bergingscapaciteit resulteert
in overstortingen. Bij het beoordelen van de
bergingscapaciteit worden de overstortingsfre-
quenties, -volumen en -debieten in beschou-
wing genomen. Voor een statistisch verant-
woorde interpretatie van deze grootheden is
het noodzakelijk te rekenen met een meerjari-
ge continue neerslagreeks. Omdat het rekenen
met een volledig model en een meerjarige



Vormfactor

De vormfactor α is gelijk aan het absolute verschil tussen de twee berekende overstortingsvolumen, gerelateerd aan het totale overstortingsvolume van het volledige model. In formulevorm wordt de vormfactor α als volgt uitgedrukt:

$$\begin{aligned} \text{als } \int_{t_s}^{t_e} Q_{\text{voll}}(t) dt \neq 0 \text{ dan } \alpha &= 1 - \frac{\int_{t_s}^{t_e} Q_{\text{voll}}(t) - Q_{\text{aan}}(t) dt}{2 \cdot \int_{t_s}^{t_e} Q_{\text{voll}}(t) dt} \\ \text{als } \int_{t_s}^{t_e} Q_{\text{voll}}(t) dt = 0 \wedge \int_{t_s}^{t_e} Q_{\text{aan}}(t) dt &= 0 \text{ dan } \alpha = 0 \\ \text{als } \int_{t_s}^{t_e} Q_{\text{voll}}(t) dt = 0 \wedge \int_{t_s}^{t_e} Q_{\text{aan}}(t) dt &\neq 0 \text{ dan } \alpha = 0 \\ \text{als } \int_{t_s}^{t_e} Q_{\text{voll}}(t) dt \neq 0 \wedge \int_{t_s}^{t_e} Q_{\text{aan}}(t) dt &= 0 \text{ dan } \alpha = 0 \end{aligned}$$

(opmerking: deze laatste formule is een noodzakelijke toevoeging aan de in [1] gegeven definitie van de vormfactor)

Waarin:

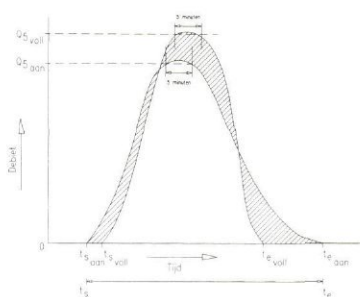
$$t_s = \min(t_{s_{\text{voll}}}, t_{s_{\text{aan}}})$$

$$t_e = \max(t_{e_{\text{voll}}}, t_{e_{\text{aan}}})$$

en

Q_{voll} overstortingsdebiet volledig model

Q_{aan} overstortingsdebiet aangepast model



Afb. A Definitie vormfactor α , overgenomen uit [1].

In afbeelding A wordt de vormfactor α grafisch toegelicht. Het gearceerde gedeelte in de afbeelding geeft het absolute verschil weer tussen de twee berekende overstortingsvolumen. De in [4] gerapporteerde reeks berekeningsresultaten zijn uitgevoerd met een aangepast model (zie paragraaf 2 van dit artikel). De resultaten van de controle van dit aangepast model zijn weergegeven in tabel A. Uit deze tabel blijkt dat de vormfactor (voor alle overstorten en alle neerslaggebeurtenissen aan de in [1] gestelde eis voldoet: in alle gevallen is $\alpha > 0.8$).

Tabel A Berekende vormfactoren voor de standaardneerslaggebeurtenissen voor de controle van NIVO/GM aan EXTRAN/GM, zie ook [4].

Overstort	Vormfactor α per overstort per neerslaggebeurtenis									
	01	02*	03	04*	05	06*	07	08	09*	10
02013	/	-	-	-	0.87	-	0.99	0.90	-	0.96
04003	/	-	-	-	/	-	0.99	0.81	-	0.97
06004	0.98	-	0.98	-	0.99	-	0.99	0.99	-	0.99
06006	0.98	-	0.98	-	0.99	-	0.99	0.99	-	0.99
07004	0.98	-	0.91	-	0.97	-	0.98	0.89	-	0.98
07005	0.96	-	0.84	-	0.93	-	0.94	0.85	-	0.98
08002	/	-	0.93	-	0.95	-	0.98	0.98	-	0.98
09002	/	-	0.96	-	0.97	-	/	/	-	/
10003	/	-	/	-	/	/	/	/	-	0.88

De met * gemerkte gebeurtenissen hoeven volgens [1] niet in de controleprocedure betrokken te worden. In tabel geeft '/' aan dat hier niet duidelijk blijkt uit [4] of er sprake is van gelijkheid van resultaten tussen EXTRAN/GM en NIVO/GM.

De reeks berekeningen met Hydroworks zijn met exact hetzelfde rioleringsmodel uitgevoerd als de gebeurtenisberekeningen. Daarom hoeft de controleprocedure in dit geval niet te worden uitgevoerd, immers voor de vormfactor geldt dan steeds $\alpha=1$.

reeks veel rekentijd vergt, wordt in de praktijk gebruik gemaakt van een zogenaamd aangepast model. Een aangepast model bestaat uit een vereenvoudiging van het rioleringsmodel al dan niet in combinatie met een ander rekenmodel dan het model dat gebruikt is voor de gebeurtenisberekeningen. Een en ander wordt hierbij zodanig vereenvoudigd dat tenminste de werking van overstorten en gemalen gesimuleerd kan worden. De juistheid van de aanpassingen wordt geverifieerd door te controleren of voor een bepaald aantal neerslaggebeurtenissen de berekening met het aangepast model dezelfde resultaten oplevert als de berekening met het volledige model. Afbeelding 2 geeft de systematiek schematisch weer. Voor achtergronden en details wordt verwezen naar de literatuur [1,5,6,9].

De in [1] beschreven methodiek geeft de vrijheid voor de keuze voor een bepaald rekenmodel en het gebruik van een al dan niet volledig model voor de reeks berekeningen.

Voor de gerapporteerde berekeningen aan het didactisch rioolstelsel [4] is gebruik gemaakt van de rekenprogramma's EXTRAN/GM en NIVO/GM [7,8] voor respectievelijk de gebeurtenisberekeningen met het volledige model en de reeks berekeningen met een aangepast model. De resultaten van de controle van het aangepast model zijn weergegeven in het kader. De belangrijkste parameter in de controle is vormfactor α , waarvan in het kader de definitie is weergegeven.

In dit onderzoek zijn zowel de gebeurtenis- als de reeks berekeningen uitgevoerd met het programma Hydroworks en het **volledig** model van het didactisch rioolstelsel. Omdat de reeks berekeningen uitgevoerd zijn zonder aanpassing van het model is de controleprocedure niet noodzakelijk. Hierdoor is een tweeledige toetsing mogelijk:

- een vergelijking van gebeurtenisberekeningen uitgevoerd met twee verschillende rekenprogramma's;
- een vergelijking van reeks berekeningen uitgevoerd met een aangepast en een volledig model van het didactisch rioolstelsel.

Omdat het binnen het bestek van een artikel onmogelijk is om alle rekenresultaten te presenteren is een keuze gemaakt uit de resultaten om de hiervoor genoemde toetsing te presenteren.

Rekenprogramma's Hydroworks, EXTRAN/GM en NIVO/GM

Hydroworks [10,11] is een rekenprogramma voor het berekenen van niet-stationaire stromingen in rioolstelsels door hydraulische belastingen, die in de tijd variëren. Evenals EXTRAN/GM berekent Hydroworks de stroomsnelheden en debieten in leidingen en

de waterstanden in putten als functie van de tijd. Hydroworks verschilt van EXTRAN/GM in de wijze waarop de St-Venant-vergelijkingen opgelost worden. EXTRAN/GM gaat uit van een zogenaamd expliciet rekenschema, waardoor gerekend moet worden in kleine tijdstappen om de vergelijkingen zonder iteraties op te lossen. Hydroworks gaat uit van een impliciet rekenschema waarbij per tijdstap de vergelijkingen iteratief opgelost worden. De gebruikte rekentechniek is zo krachtig dat Hydroworks reeksberoeeningen met een volledig model praktisch mogelijk maakt.

NIVO/GM is een rekenpakket dat speciaal is ontwikkeld om reeksberoeeningen te kunnen uitvoeren met een aangepast model. Hierbij wordt uitgegaan van een vereenvoudigde beschrijving van het hydraulisch gedrag van overstorten en pompen in het rioolstelsel waardoor de rekentijden zeer kort kunnen blijven.

Beschrijving didactisch stelsel

Het didactisch rioolstelsel is een klein rioolstelsel waarin, gebaseerd op realistische kentallen, een veelheid aan in de praktijk voorkomende elementen zijn aangebracht waaronder overstorten met verschillende drempelniveaus, randvoorzieningen, RTC toepassingen en het optreden van discontinue lozingen.

In afbeelding 3 is het didactisch rioolstelsel schematisch weergegeven. In totaal zijn er 10 rioleringsgebieden, elk met hun eigen kenmerken. In tabel 1 zijn deze kenmerken kort weergegeven.

In het didactisch stelsel komt een aantal bijzondere zaken voor. Een van de meest belangrijke is het 'net wel/net niet' in werking treden van overstorten. Overstort 09002 en 02013 zijn hiervan voorbeelden. Voor een gedetailleerde beschrijving van het didactisch rioolstelsel wordt verwezen naar de literatuur [4].

In de berekeningen die zijn gemaakt met Hydroworks is uitgegaan van alle ter beschikking gestelde gegevens voor het didactisch rioolstelsel zoals dit in [4] is beschreven. Dit impliceert ook dat voor de gebruikte rekenparameters en rekenprocessen volledig is aangesloten bij wat in [1] is beschreven.

Resultaten gebeurtenisberekeningen

In [1] zijn tien standaardneerslaggebeurtenissen gedefinieerd. Aan deze standaardbuien zijn herhalingstijden toegekend van 0,25, 0,5, 1, 2, 5, en 10 jaar. Voor de herhalingstijden 0,25 tot en met 2 jaar zijn steeds twee buivormen gebruikt, een met de maximale neerslagintensiteit aan het begin van de bui en een met de maximale intensiteit aan het einde van bui. In afbeelding 4 is een tweetal van deze standaardbuien weergegeven. De herhalingstijd van de standaardbuien kan niet rechtstreeks worden 'doorvertaald' naar een herhalingstijd van het optreden van 'water op straat' of naar een overstortingsfrequentie. De laatste genoemde grootheden zijn immers mede afhankelijk van het hydraulisch gedrag van het rioolstelsel.

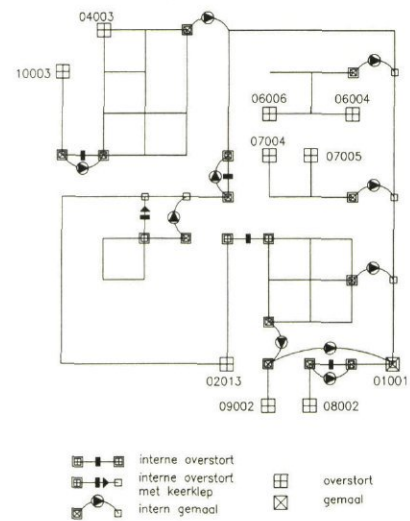
De resultaten van de berekeningen met de 10 standaardbuien zijn vergeleken met de in [4] gerapporteerde resultaten voor de volgende parameters:

- overstortingsvolume per locatie;
- begintijdstippen van overstortingen;
- locaties van 'water op straat'.

De vergelijkingsparameter voor de overstortingsvolumen is gedefinieerd als:

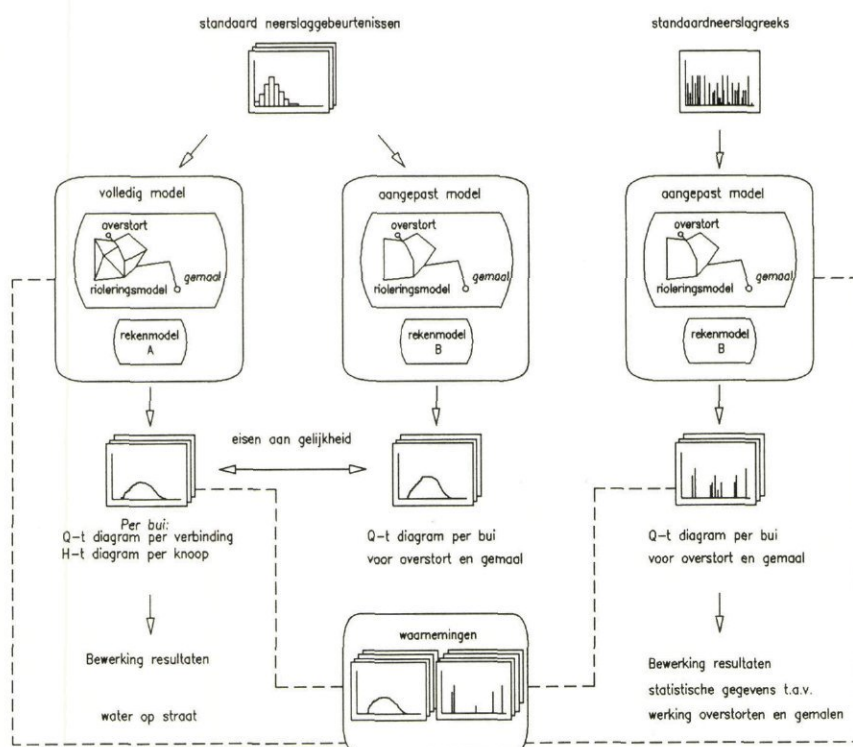
$$\beta = 1 - 2 \frac{V_{\text{Hydroworks}} - V_{\text{EXTRAN/GM}}}{V_{\text{Hydroworks}} + V_{\text{EXTRAN/GM}}}$$

Waarin:



Afb. 3 Schema didactisch stelsel (overgenomen uit [1]).

Afb. 2 Schematische weergave systematiek 'Rioleringsberekeningen-hydraulisch functioneren' [1]



$V_{\text{Hydroworks}}$ het berekende overstortingsvolume in Hydroworks (m^3)
 $V_{\text{EXTRAN/GM}}$ het berekende overstortingsvolume in EXTRAN/GM (m^3)

In de tabellen 2 en 3 zijn de resultaten van de berekende overstortingsvolumen samengevat, hieruit blijkt dat de afwijking tussen de beide berekeningen, met uitzondering voor de overstorten met relatief kleine overstortingsvolumen (09002, en 04003) gering is. De tendens is dat de overeenstemming voor de buien met een kleine herhalingstijd (bui 01 tot en met bui 04) minder goed is dan de overige buien. Het merendeel van de afwijkingen is minder dan 3%.

De relatieve verschillen voor overstort 09002 zijn groot, hierbij moet bedacht worden dat het in absolute zin om zeer kleine verschillen gaat.

In tabel 4 zijn de begintijdstippen en de overstortingsduren onder belasting van bui 07 in de beide berekeningen met elkaar vergele-

gebied	omschrijving	bijzonderheden
01	eigen gebied awzi	rioolgemaal naar awzi vlak gelegen grote koker relatief weinig afvoerend oppervlak relatief veel berging
02	onderbemalen stuwgebied	onderbemaling naar gebied 01 bovendrempelberging van gebied 01 externe hooggelegen overstort
03	hooggelegen gebied	interne overstort naar gebied 02 met lang afvoertraject naar awzi extra pompcapaciteit naar bergingsvoorziening in gebied 08
04	laaggelegen vlak gebied	laaggelegen vlak gebied lozing op koker in gebied 01
05	vlak gebied, pendelpomp	pendelende pomp door te kleine kelder interne drempel naar gebied 02 overstort voorzien van terugslagklep
06	verbeterd gescheiden stelsel	noodoverstort dwa-rwa systeem gem. dwa belasting 10 l/(inw.h) dwa periode van 8 - 20 uur
07	industriegebied, vlak uitgestrekt	2 overstortdrempels ongelijkmatige vulling rioolstelsel dwa productie industrie 7 l/s dwa belasting ma - vr 8 - 16 uur
08	bergbezinkvoorziening	bergbezinkvoorziening van gebied 01
09	berging/ overstort-bemaling	berging met extra pompcapaciteit voor gebied 03
10	'groene' berging	bergingsvoorziening van circa 12 mm t.o.v. oppervlak gebied 04

Tabel 1 Kenmerken rioleringsgebieden

ken. De berekende overstortingsduren zijn met elkaar vergeleken met de parameter τ :

$$\tau = 1 - 2 \frac{T_{\text{Hydroworks}} - T_{\text{EXTRAGAM/GM}}}{T_{\text{Hydroworks}} + T_{\text{EXTRAGAM/GM}}}$$

Waarin:

$T_{\text{Hydroworks}}$ overstortingsduur berekend met Hydroworks
 $T_{\text{EXTRAGAM/GM}}$ overstortingsduur berekend met EXTRAN/GM

De resultaten van de gemaakte berekeningen komen goed overeen, met uitzondering van overstort 09002. Van deze overstort is in [4] geen begintijdstip gerapporteerd (zie tabel 2).

Begintijdstippen en overstortingsduren zijn belangrijke indicatoren voor een goede vergelijking van berekeningsresultaten.

In tabel 5 zijn de 'water op straat' locaties in beide berekeningen met elkaar vergeleken. Opvallend is dat de verschillen in uitkomsten van beide rekenprogramma's voor alle gebeurtenissen minimaal zijn.

In EXTRAN- en Hydroworksberekeningen is er sprake van 'water op straat' als gedurende een instelbaar tijdsinterval er een waterpeil groter dan of gelijk aan het maaiveldpeil optreedt. In beide berekeningen is voor dit tijdsinterval uitgegaan van een uitvoerstap van 1 minuut.

Resultaten reeksberoekeningen

De resultaten van de reeksberoekeningen zijn vergeleken voor de volgende parameters: per overstort:

- totale overstortingsvolume in de gehele periode van 25 jaar;
- het aantal overstortingen in de gehele gesimuleerde periode;
- de herhalingstijd voor geloosd volume.

De berekeningen zijn gemaakt met de 15 minuten neerslagreeks De Bilt 1955-1979. In de vergelijking tussen de berekende volumeen met

Tabel 2 Berekende overstortingsvolumen voor de standaardgebeurtenissen (1e getal is resultaat Hydroworks, 2e getal is het resultaat van EXTRAN/GM, alle volumeen zijn uitgedrukt in m³)

buinummer										
Overstort	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
02013	0/0	0/0	1/0	35/33	47/42	206/188	316/293	440/420	10659/1055	1549/1557
04003	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	5/4	10/9	21/19	108/108	197/198
06004	38/38	38/38	72/73	72/73	94/94	94/94	121/122	121/122	208/208	266/266
06006	38/38	38/38	72/73	72/73	94/94	94/94	121/122	121/122	208/208	266/266
07004	42/45	37/40	80/83	78/81	103/105	102/104	126/128	126/128	216/217	271/271
07005	10/10	16/16	41/42	45/45	62/62	64/65	93/94	93/94	176/177	235/237
08002	0/0	0/0	612/715	600/714	1122/1243	1004/1142	1617/1783	1555/1675	3178/3338	4267/4396
09002	0/0	0/0	24/14	6/0	28/21	8/3	11/2	7/0	22/14	23/10
10003	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	52/54	94/94

	buinummer									
overstort	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
02013	-	-	-1.00	0.97	0.95	0.96	0.96	0.98	1.00	1.00
04003	-	-	-	-	-	0.85	0.93	0.96	1.00	1.00
06004	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
06006	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
07004	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00
07005	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00
08002	-	-	0.92	0.91	0.95	0.94	0.95	0.96	0.98	0.99
09002	-	-	0.75	-1.00	0.85	0.54	0.32	-1.00	0.77	0.60
10003	-	-	-	-	-	-	-	-	0.98	1.00

Een '-' in de tabel geeft aan dat in zowel de Hydroworksberekening als in de EXTRAN/GM berekening een overstortingsvolume van 0 m³ is berekend.

Tabel 3 β-waarden voor de gebeurtenisberekeningen

Hydroworks en NIVO/GM is gebruik gemaakt van de volgende parameter:

$$\gamma = 1 - 2 \frac{V_{\text{Hydroworks}} - V_{\text{NIVO/GM}}}{V_{\text{Hydroworks}} + V_{\text{NIVO/GM}}}$$

Waarin:

overstort

resultaten bui 07: tijdstippen en overstortduren (in minuten)

	start Hydroworks	start EXTRAN/GM	overstortingsduur Hydroworks	overstortingsduur Hydro-works	τ
02013	20.50	19	27.00	28	0.96
04003	27.00	27	10.75	10	0.93
06004	22.50	22	49.25	50	0.98
06006	22.50	22	49.25	50	0.98
07004	31.50	30	59.50	60	0.99
07005	20.25	21	46.75	46	0.98
08002	32.00	32	42.00	42	1.00
09002	64.75	X	12.25	3	-0.21
10003	-	-	-	-	-

het berekende overstortingsvo-
lume in Hydroworks (m³)

het berekende overstortingsvo-
lume in NIVO/GM (m³)

Knoop	Bui 06	bui 07	bui 08	bui 09	bui 10
1012				H	H
1013	H/E		H/E	H/E	H/E
1014			H/E	H/E	H/E
1015				H	H
1016				H/E	H/E
2001				H/E	H/E
2002				H/E	H/E
2003			H/E	H/E	H/E
2004				H/E	H/E
2005			H/E	H/E	H/E
2006			H/E	H/E	H/E
2007				H/E	H/E
2008				H	H
2009				H/E	H/E
2010				H/E	H/E
2011				H/E	H/E
2012				H	H
2013				H	H
2014				H/E	H/E
2016					H/E
3001				H/E	H/E
3002				H/E	H/E
3003				H/E	H
3005				H	H/E
3007				H/E	H/E
3008				H/E	H/E
3009			H/E	H/E	H
4009				H	H/E
4010					H/E
5002			H/E	H/E	H/E
5003			H/E	H/E	H/E
5004			H/E	H/E	H
5005			H/E	H/E	H

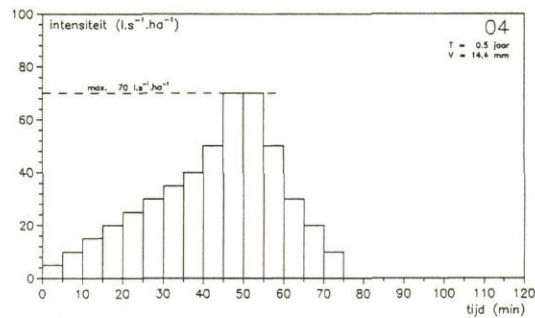
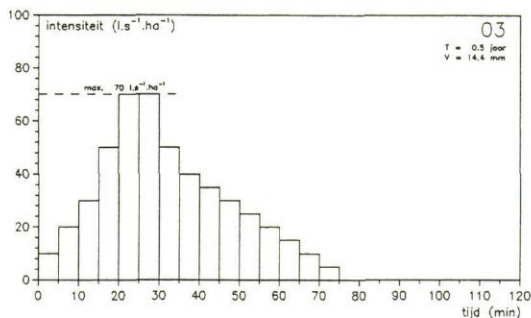
'X' markeert een niet gerapporteerd resultaat in [4].

Tabel 4 Begintijdstippen van overstortingen en overstortingsduren voor bui 07

Tabel 7 Resultaten reeksberekeningen: aantal overstortingen en overstortingsfrequentie

overstort	aantaloverstortingen NIVO/GM	jr-1	aantal overstortingen Hydroworks	jr-1	δ
02013	310	12.4	53	2.1	-0.42
04003	48	1.9	34	1.4	0.66
06004	550	22.0	538	21.5	0.98
06006	550	22.0	538	21.5	0.98
07004	250	10.0	262	10.5	0.95
07005	158	6.3	170	6.8	0.92
08002	205	8.2	147	5.9	0.67
09002	189	7.6	276	11.0	0.63
10003	20	0.8	21	0.8	0.95

Tabel 5 'Water op straat' locaties berekend met Hydroworks (H) en EXTRAN/GM (E)



Afb. 4 Standaardneerslaggebeurtenissen 03 en 04, herhalingstijd = 0,5 jaar (overgenomen uit [1]).

overstort	totaal overstortings- volume NIVO/GM m³		totaal overstortings- volume Hydroworks m³		γ
02013	36400	9.4%	18602	5.3%	0.35
04003	900	0.2%	1998	0.6%	0.24
06004	27300	7.1%	27930	7.9%	0.98
06006	27300	7.1%	27930	7.9%	0.98
07004	17800	4.6%	18533	5.3%	0.96
07005	3700	1.0%	5204	1.5%	0.66
08002	240800	62.2%	220528	62.7%	0.91
09002	29600	7.6%	29230	8.3%	0.99
10003	3300	0.9%	1985	0.6%	0.50
Totaal	387100	100%	351940	100%	0.90

Tabel 6 Resultaten reeksberoeeningen: Overstortingsvolumen

Het aantal overstortingen in de berekeningen is met elkaar vergeleken met de parameter δ :

$$\delta = 1 - 2 \frac{N_{\text{Hydroworks}} - N_{\text{NIVO/GM}}}{N_{\text{Hydroworks}} + N_{\text{NIVO/GM}}}$$

Waarin:

N het aantal overstortingen is dat berekend is.

In tabel 6 zijn de berekende overstortingsvolumen per overstort gepresenteerd. Ook is in deze tabel de waarde van de vergelijkingsparameter γ opgenomen. In tabel 7 zijn het berekende aantal overstortingen, de overstortingsfrequentie en de waarde van de vergelijkingsparameter δ gepresenteerd.

Het totaal overstortingsvolume over de gehele periode van 25 jaar geeft een afwijking van ongeveer 10% te zien tussen Hydroworks en NIVO/GM. De verdeling van de overstortingsvolumen over de overstorten is in grote lijnen gelijk. Opvallend zijn de afwijkingen voor overstort 02013, aantal overstortingen 53 versus 310 en een overstortingsvolume van 18607 m³ versus 36400 m³. Dit is des te opvallender wanneer de resultaten van de gebeurtenisberekeningen in beschouwing worden genomen (tabel 1 en 2). Voor zowel EXTRAN/GM als voor Hydroworks geldt dat overstort 02013 onder belasting van de

'kleine' standaardbuien 01, 02 en 03 geen overstorting te zien geeft. Op grond hiervan zou een betrekkelijk gering aantal overstortingen in de reeksberoeening worden verwacht.

De herhalingstijd van de gebeurtenisberekeningen kan niet direct worden doorvertaald naar een overstortingsfrequentie. Overstort 10003 werkt bijvoorbeeld alleen bij de gebeurtenissen 09 en 10 met herhalingstijden van respectievelijk 5 en 10 jaar, de berekende overstortingsfrequentie in de reeksberoeening is circa 0,8 maal per jaar.

Oorzaken tussen verschillen in uitkomsten van de rekenmodellen kunnen verschillend van aard zijn. Hierbij kan gedacht worden aan de detailmodellering van pompregimes, interne numerieke afwerking van bijzondere gevallen in de software zoals droogvallende leidingen en dergelijke. Uit de resultaten komt naar voren dat de verschillen in het algemeen kleiner zijn voor de overstorten waar een grotere vormfactor is berekend (tabel 9).

Conclusies

Voor de gebeurtenisberekeningen wordt geconcludeerd dat berekeningen gebaseerd op

de in [1] beschreven systematiek met gebruikmaking van twee onafhankelijk van elkaar ontwikkelde rekenpakketten leidt tot een bruikbare overeenstemming van de rekenresultaten.

De geconstateerde overeenkomsten zijn dusdanig dat eenduidige conclusies kunnen worden getrokken voor het functioneren van het stelsel en het aangeven van mogelijke of noodzakelijke aanpassingen.

Voor de reeksberoeeningen wordt geconcludeerd dat de trend van de resultaten van beide rekenmodellen gelijk is. Nader onderzoek is gewenst naar de oorzaken van de verschillen in resultaten die waarschijnlijk worden veroorzaakt door verschillen in werking van de beschouwde rekenmodellen.

Concluderend wordt gesteld dat het bij gebruik van de in de Leidraad Riolerings module C2100 'Rioleringsberekeningen, Hydraulisch functioneren' beschreven procedures en vastgelegde defaultwaarden voor rekenparameters mogelijk is om binnen redelijke grenzen gelijklopende rekenresultaten te krijgen met twee onafhankelijk van elkaar ontwikkelde softwarepakketten. Dit is een van de belangrijkste uitgangspunten geweest bij de totstandkoming van de leidraadmodule C2100.

Voor de praktijk betekent dit dat als rekenmodellen voldoen aan de in [1] gestelde voorwaarden de aandacht in de discussie rondom betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van rekenresultaten meer kan worden toegespitst op de kwaliteit van de invoergegevens en de kalibratie hiervan aan praktijkwaarden. Vooral de juistheid van de ingevoerde structuur van het rioolstelsel in het rioleringsmodel en de aard en de omvang van de afvoerende oppervlakken spelen hierbij een belangrijke rol. ■

Urban Storm Drainage, Hannover, Germany, august 1996.

overstort	T= 1 jaar			T=2 jaar			T=5 jaar		
	Hydro-	NIVO/	$\gamma_{T=1}$	Hydro-	NIVO/	$\gamma_{T=2}$	Hydro-	NIVO/	$\gamma_{T=5}$
02013	119	342	0.03	360	495	0.68	852	876	0.97
04003	9	6	0.60	55	15	-0.14	128	39	-0.07
06004	172	159	0.92	217	204	0.94	325	324	1.00
06006	172	159	0.92	217	204	0.94	325	324	1.00
07004	164	168	0.98	223	219	0.98	311	309	0.99
07005	67	48	0.67	96	72	0.71	150	132	0.87
08002	2150	2263	0.95	3733	3633	0.97	6471	5395	0.82
09002	303	312	0.97	414	417	0.99	632	657	0.96
10003	-	-	-	63	96	0.58	113	219	0.36

Tabel 8 Resultaten reeksrekeningen: berekende herhalingsstijden van overstoringsvolumen

Factor	overstort								
	02013	04003	06004	06006	07004	07005	08002	09002	10003
$\alpha_{(min)}$	0.87	0.81	0.98	0.98	0.89	0.84	0.93	0.96	0.88
γ	0.35	0.24	0.98	0.98	0.96	0.66	0.91	0.99	0.50
$\gamma_{T=1}$	0.03	0.60	0.92	0.92	0.98	0.67	0.95	0.97	-
$\gamma_{T=2}$	0.68	-0.14	0.94	0.94	0.98	0.71	0.97	0.99	0.58
$\gamma_{T=5}$	0.97	-0.07	1.00	1.00	0.99	0.87	0.82	0.96	0.36

Tabel 9 Samenvatting belangrijkste vergelijkingsparameters

LITERATUUR

1. Leidraad riolering module C2100, Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, december 1995
2. StandaardUitwisselingsFormaat HYDraulische rioleringsberekeningen, versie 1.10, gegevens, Stichting RIONED 1995
3. StandaardUitwisselingsFormaat HYDraulische rioleringsberekeningen, versie 1.10, resultaten, Stichting RIONED 1995
4. Didactisch rioolstelsel, voorbeeldberekeningen, Stichting RIONED 1995.
5. Van Luijtelaar, H. en Rebergen, E. Guidelines for hydrodynamic calculations in urban drainage in the Netherlands: Backgrounds and examples. In: Proceedings of the VIIth International Conference on Urban Storm Drainage, Hannover, Germany, august 1996
6. Van Mameren, H.J. en Clemens, F.H.L.R. Guidelines for hydrodynamic calculations in the Netherlands: Overview and principles. In: Proceedings of the VIIth International Conference on Urban Storm Drainage, Hannover, Germany, august 1996
7. Van Luijtelaar, H. en Ganzevles P.P.G. Bewerking van 15-minuten neerslagreeksen ten behoeve van dimensionering van rioolstelsels en randvoorzieningen. 2e Nationale Rioleringscongres Riolering en Waterkwaliteit, Aquatech 1990, NVA, Rijswijk
8. Van Luijtelaar, H. en Ganzevles P.P.G. Dynamic design of sewer detention tanks. Wat.Sci.Tech., vol.27, Nos 5-6, pp.133-143, 1993
9. Van Mameren, H.J., van Luijtelaar, H., Ganzevles, P.P.G., van Wieringen, H.S.J., New guidelines for calculations on sewer systems in the Netherlands, reality or fiction? Wat.Sci.Tech., vol.27, Nos 5-6, pp.165-176, 1993
10. Wixcey, J.R., Lewy, M. & Price, R.K. Computational Modelling of Highly Looped Networks of Storm Sewers, Fluid Flow Modelling (Eds. Blain, W.R. & Cabrera, E.), Computational Mechanics Publications, Southampton, Boston 1992
11. Neylon, K.J., Price, R.K., Wixcey, J.R., Phan, L., A Robust Water Quality Modelling Tool for Urban Drainage Networks, Proceedings of the 7th International Conference on

Guidelines Module C2100

The foundation RIONED published a number of reports in order to achieve a more uniform approach of hydraulic calculation in urban drainage. The main report in this respect is 'module C2100 'Rioleringsberekeningen, Hydraulisch functioneren', Leidraad Riolering'.

Characteristic of the method presented in these guidelines is the fact that no software package is prescribed, the guidelines merely formulate procedures to be followed and put constraints on the results of these. These constraints and procedures are to be regarded as minimum demands.

In this manner one is free to choose the calculational tool to be used and there is no obstacle for further developments in the field of these tools.

The article reports the results of a comparison of calculation results using two distinct software packages in a hydraulic calculation of a fictitious sewer system, the so called 'didactic system' while both calculations meet the constraints as formulated in the mentioned report before.

The main conclusion is that the degree of agreement between the results of the two software packages is good enough to state that the results can safely be used in practice. There are, however, several details to be worked out in order to get more trustworthy results.