

# Het gebruik van een computer bij het berekenen van rioolstelsels

## 1. Inleiding

Een computer zonder programma is als een auto zonder benzine, men komt er niet mee verder.

Om berekeningen te kunnen uitvoeren dient men over computerprogramma's te kunnen beschikken. Tot voor enkele jaren was de keuze hierin voor de berekeningen van rioolstelsels beperkt tot computerprogramma's uit de wereld van de leidingen-techniek met leidingen die voor 100 % waren gevuld in een systeem dat onder druk staat, of tot programma's voor de berekening van open waterlopen, die — al dan niet met behulp van een in de berekening kunstmatig aangebracht deksel — waren omgetoverd tot programma's voor de berekening van rioolstelsels.

De computerprogramma's die in deze vakantiecursus aan de orde komen zijn echter speciaal samengesteld voor de berekening van rioolstelsels, en houden rekening met zaken als stortputten, overstortdrempels, gedeeltelijk of geheel gevulde buizen en nog veel meer.

Hoewel de programma's die in deze cursus worden beschreven, punten van overeenkomst vertonen zijn er ook duidelijke verschillen, en dit is een van de redenen dat dit onderwerp in twee voordrachten wordt behandeld.

Als deze verschillen in dit artikel aan de orde worden gesteld is dit geen „afzetten tegen”, maar een „vergelijken met”, opdat de lezer, hopelijk, een beter inzicht in deze materie zal kunnen krijgen.

In het navolgende zullen enige sailante punten worden belicht uit de problematiek rondom computerprogramma's voor de berekening van rioolstelsels.

Voor een gedetailleerde beschrijving van het computerprogramma, dat in dit artikel wordt besproken, wordt de lezer verwezen naar het artikel „Een computerprogramma voor de berekening van permanente stromingen in rioleringsnetten”. S. J. van Kregten, Chr. Vree en C. Ket. *H<sub>2</sub>O* (4) mei 1971.

## 2. Waarom computer?

Alvorens over te gaan tot het maken

van een computerprogramma, hetgeen een tijdrovende en kostbare aangelegenheid is, lijkt het verstandig de startvraag te beantwoorden, namelijk „waarom wordt een computer gebruikt bij het berekenen van rioolstelsels?”.

Hiertoe is in afb. 1 een analyse gegeven van de tijdsindeling van de werkzaamheden die nodig zijn voor het opstellen van een rioleringsplan. Hierin betreft A het verzamelen van de gegevens, het landmeetkundige werk, het overleg met de opdrachtgever, en de contacten met allerlei instanties. Dit werk zal zowel bij een handberekening als bij een computerberekening dezelfde tijd kosten.

B is het voorbereiden van de berekening. Deze is bij een computerberekening omvangrijker, omdat alle gegevens voor de computer moeten worden vertaald op ponskaarten of magnetische banden en dergelijke.

C<sub>1</sub> is de rekestijd, en hier is de computer in staat — beter dan de rekenaar — om dit werk snel, foutloos en binnen een van te voren instelbare nauwkeurigheid uit te voeren.

Is de input (B) eenmaal gereed dan zijn — dit in tegenstelling met een bewerking door een rekenaar — alternatieve berekeningen van een rioolstelsel (C<sub>2</sub> en volgenden) met de computer snel en relatief goedkoop te maken. Hierbij kunnen ook latere uitbreidingen van een rioolstelsel, waarvan de input reeds bekend is, worden gezien als variantoplossingen.

Grote rioolstelsels (om de gedachten te bepalen, voor 30 duizend inwoners

en meer) kunnen met de hand vrijwel alleen worden berekend door het aanbrengen van vereenvoudigingen, waardoor uiteraard de nauwkeurigheid van de berekening afneemt.

Schietend water, zoals dat veel voorkomt in hellende gebieden, is zeer lastig met de hand te berekenen.

Bestaande stelsels zijn soms zeer moeilijk vanwege de vele daarin voorkomende onregelmatigheden.

De computer biedt in deze gevallen goede mogelijkheden. Deze voordelen worden echter verkregen ten koste van de rekenvoorbereiding (B).

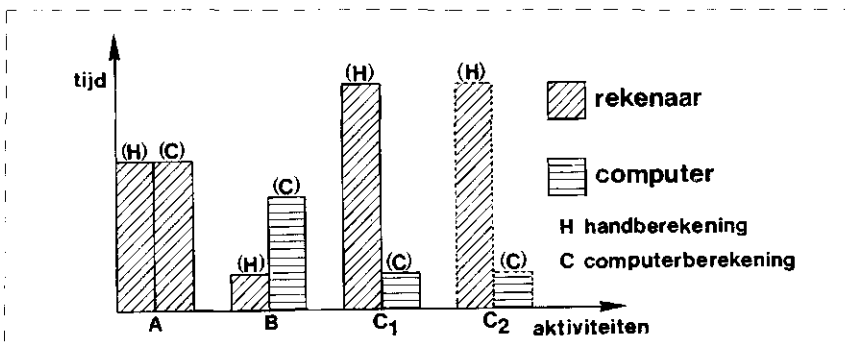
Zoals verder — bij de bespreking van de werking van het programma — zal blijken, is deze voorbereiding bij computerberekeningen van vitaal belang. Samenvattend kan worden gesteld dat op technische gronden computerberekeningen vooral toepassing zullen vinden bij:

- grote rioolstelsels (> 30.000 inwoners);
- rioolstelsels in hellende gebieden;
- bestaande rioolstelsels van enige omvang;
- gevallen waar veel variantoplossingen worden gevraagd om vergelijkingen te kunnen maken.

Gezien vanuit een economisch gezichtspunt kan de vraag „waarom computers gebruiken” worden beantwoord met de constatering dat goede rekenaars-ontwerpers van rioolstelsels schaars zijn.

Om nu toch over de benodigde ontwerp-capaciteit te beschikken kan men de routine-werkzaamheden zoveel mo-

Afb. 1



gelijk doen verrichten door, niet schaarse, elementen zoals de computers.

Uiteraard vereist dit de nodige investeringen. Op het ogenblik zijn de kosten van handberekening en computerberekening nog van dezelfde orde van grootte, met dien verstande, dat in de zojuist genoemde technische voorkeursgebieden a, b, c en d, berekening met computers goedkoper is (en bovendien met de hand vrijwel onmogelijk is).

In de toekomst zal de loonpost van de rekenaars-ontwerpers zeker stijgen, terwijl mag worden verwacht dat de kosten voor computertijd zullen dalen. Op langere termijn gezien zal de computer daarom zeker meer en meer worden ingeschakeld.

Tenslotte is er een — zeker zo belangrijk — sociaal gezichtspunt. Het berekenen van rioolstelsels is in het algemeen een wat geestdodende aangelegenheid. Door nu de routine te laten verrichten door een computer wordt het ontwerpen van een rioolstelsel interessanter voor de rekenaar, terwijl hij tevens meer tijd heeft zich met het eigenlijke ontwerpen bezig te houden. Grote bestaande stelsels vertonen meestal veel onregelmatigheden en vergen soms handrekkentijden tot ongeveer één jaar. Zo'n berekening eindigt veelal met afleveren van de rekenaar in een centrum voor psychisch gestoorden, vooral als blijkt dat de computer dezelfde berekening in een fractie van die tijd foutloos kan leveren.

### 3. Keuze programmatype

Is eenmaal besloten om rioolstelsels te berekenen met behulp van een computer dan moet er een programma worden gemaakt. Nu leiden er vele wegen naar Rome en de routes die in deze vakantie cursus aan de orde worden gesteld zijn te beschouwen als parallelle wegen, die — hoewel zij ieder met een andere verharding zijn toegerust — allen goed berijdbaar zijn. Het zal van de persoonlijke wensen en voorkeur van de chauffeur (en zijn eventuele passagiers) afhangen welke weg hij zal volgen. Als er in de toekomst nog dwarswegen zouden worden aangelegd, zou dit het aantal mogelijkheden om het einddoel te bereiken nog kunnen vergroten.

Op basis van een marktverkenning en van eigen inzichten is door D.H.V. gekozen voor een zgn. controlerend programmatype om rioolstelsels te berekenen en om rioolstelsels te ontwerpen. Het blijkt dat er in Nederland veel werk te verrichten is in het con-

troleren van bestaande rioolstelsels en in het aanpassen daarvan aan gewijzigde omstandigheden en situaties. Dit betreft voornamelijk het aansluiten van nieuwe wijken op bestaande rioolstelsels, het toenemen van het percentage verhard oppervlak in reeds geïsoleerde gebieden, het opheffen van bestaande regenoverstorten, het vergroten van de bergingscapaciteit van bestaande rioolstelsels en het centraal afvoeren van het afvalwater naar een te bouwen rioolwaterzuiveringsinstallatie.

In al deze gevallen is het controlerend berekenen van het bestaande rioolstelsel de meest bewerkelijke factor.

Moet er een rioolstelsel worden ontworpen dan wordt in eerste instantie een globaal plan opgezet door een ervaren ontwerper-rekenaar. Dit wordt daarna met behulp van het computerprogramma gecontroleerd. Na deze controle volgen zonedoel aanpassingen van het ontworpen rioolstelsel.

Dit globaal opzetten van rioolstelsels is zeer goed uitvoerbaar en het is gebleken dat voor een gebied van ca. 2.000 inwoners, één mandag voldoende is. Het voordeel van deze ontwerp methode is o.m. dat met speciale eisen van een plaatselijke situatie rekening kan worden gehouden. Bijvoorbeeld, het stamriool niet door een drukke straat aanleggen — hoewel deze keuze riole-ringstechnisch logisch is — maar dit riool door een stille parallelstraat voeren, waardoor de uitvoering en het onderhoud eenvoudiger worden. Ook specifieke topografische kenmerken kunnen goed worden uitgebuit.

Ontwerpen is een veelzijdige activiteit, die een intelligente aanpak vereist, en waarin compromissen worden gesloten en zaken tegen elkaar worden afgewogen. Hiertoe is de ontwerper zeer goed in staat. Afgezien nog van het feit dat ontwerpen als zodanig een *niet-geestdodende* activiteit is, wordt het contact tussen de rekenaar en het ontwerp zeer belangrijk geacht, omdat men dan (hopelijk) weet wat men doet!

Het controlerende computerprogramma verlost de ontwerper van veel tijdrovend en weinig interessant rekenwerk en stelt hem in staat snel en goedkoop meerdere alternatieve oplossingen te onderzoeken. De rekenaar heeft het dan zelf in de hand tot hoe ver hij de optimalisering wenst door te voeren.

Wanneer eenmaal een bestaand of nieuw ontworpen rioolstelsel voor de computer is voorbereid voor een controlerend programma, dan houdt

dit in dat de gegevens van het rioolstelsel op ponskaarten of magneetbanden voorhanden zijn. Wil men later iets aan het bestaande rioolstelsel berekenen dan kan deze situatie direct foutloos in de computer worden gevoerd, en kan een dergelijke berekening snel en goedkoop worden uitgevoerd.

### 4. Keuze van berekeningsmethode

Voor de berekening van een vermaasd rioolstelsel (een maas in een gesloten circuit van dit stelsel) staan in principe een viertal methodes ter beschikking:

#### a. De mazenmethode

Deze gaat uit voor een gegeven maas van een aangenomen verdeling van het debiet per knooppunt, waarbij in ieder knooppunt  $\Sigma Q = 0$ .

Met deze debieten en uitgaande van een aangenomen waterstand in een startput, wordt de maas hydraulisch doorberekend, en bij de startput terugkerend moet de berekende waterstand overeenstemmen met de aangegeven startwaarde.

Zo niet, dan wordt dit verschil ver-effend door een  $\Delta Q$  correctie over de gehele maas.

#### b. De coupure-methode

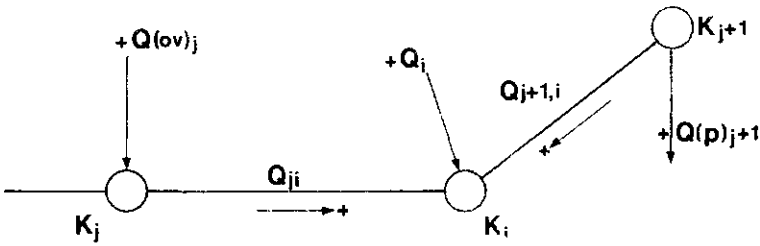
Het is ook mogelijk het vermaasde net d.m.v. coupures in hydraulisch bepaalde boomstructuren te verdelen. Ter plaatse van de coupures moeten de waterstanden overeenstemmen. Is dit niet het geval dan wordt dit verschil ver-effend door een  $\Delta Q$  correctie in de coupure. Deze methode vertoont verwantschap met de mazenmethode; bij de mazenmethode worden alle debieten geschat, bij de coupuremethode alleen de debieten van de coupures.

#### c. De knooppuntmethode

Hierbij worden als uitgangspunt voor de berekening de waterstanden in de knooppunten aangenomen. Dan zal in het algemeen per knooppunt niet zijn voldaan aan  $\Sigma Q = 0$ .

Door een  $\Delta h$  correctie op de waterstand in een knooppunt kan aldaar aan deze continuïteitsvergelijking worden voldaan.

Deze methode is in feite de tegenhanger van de mazenmethode. De mazenmethode neemt debieten aan en ver-effent een sluitfout  $\Delta h$  met een correctie  $\Delta Q$  per maas, terwijl bij de knooppuntmethode de waterstanden worden aangenomen en een sluitfout



Afb. 2

$\Delta Q$  wordt vereffend met een correctie  $\Delta h$  per knooppunt.

d. *De directe methode*

Tenslotte kan worden genoemd de directe methode, waarbij voor alle knooppunten vergelijkingen worden opgesteld, waarin de waterstanden als variabelen worden ingevoerd.

Door de debieten uit deze vergelijkingen te elimineren en de vergelijkingen daarna te lineariseren, kunnen de waterstanden met matrix-berekeningen worden opgelost. Deze methode heeft enige verwantschap met de knooppuntmethode, omdat ook hier de waterstanden de veranderlijke grootheden zijn.

Indien van een rioelstelsel het aantal knooppunten =  $K$ , het aantal mazen =  $M$  en het aantal uitwendige pompen en overstorten =  $U$ , dan is het aantal op te lossen vergelijkingen bij de mazenmethode — al dan niet met coupures —:  $M + U - 1$ , terwijl dit aantal bij de knooppuntmethode  $K$  bedraagt. Ook bij de directe methode is het aantal vergelijkingen in orde van grootte gelijk aan  $K$ .

In het algemeen is  $M + U - 1 < K$  en dit is dus een voordeel van de mazen- en coupuremethodes.

Nu rekent een computer echter zó snel dat dit — voor een handberekening zeker geldende — argument niet doorslaggevend is als men een keuze moet maken voor een computerprogramma. Het is belangrijker dat de berekeningsgang zelf eenvoudig is en het herkennen van situaties door de computer snel kan geschieden. Een rekenaar ziet b.v. op zijn tekening waar de mazen zitten, de computer moet hiertoe worden geprogrammeerd of het moet als extra invoer worden vermeld.

Na afweging van de vele factoren die daarbij een rol spelen is bij D.H.V. de keuze uiteindelijk gevallen op de knooppuntmethode.

Een belangrijk argument hiervoor is

geweest dat indien wordt uitgegaan van waterstanden in de knooppunten, juist de vele speciale facetten van een rioelstelsel snel door de computer zijn te herkennen.

Zo zijn van de rioelstrengen de vulingsgraad en de stromingstoestand (stromend of schietend) op eenvoudige wijze te bepalen. Ook de werking van stuwputten, stortputten, overstorten en pompen zijn allen aan de hand van waterstanden rechtstreeks vast te stellen en te berekenen.

5. *Enige hydraulische grondslagen*

Ter toelichting van de keuze om bij de berekening van rioelstelsels met een computer uit te gaan van waterstanden in de knooppunten worden aan een aantal elementen van een rioelstelsel nader besproken, met de hydraulische formules zoals deze worden beïnvloed door de waterstanden in de knooppunten.

a. *Knooppunten*

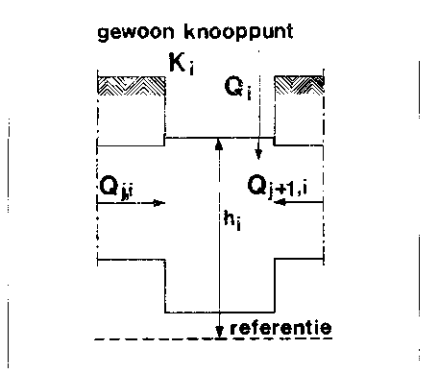
In afb. 2 is  $Q_{ji}$  het debiet van put  $K_j$  naar put  $K_i$  en  $Q_i$  het debiet als belasting van put  $K_i$  (dit kan dwa of rwa zijn).

$Q(ov)_j$  en  $Q(p)_{j+1}$  zijn debieten van een overlaat en een pomp, resp. in knooppunt  $K_j$  en  $K_{j+1}$ .

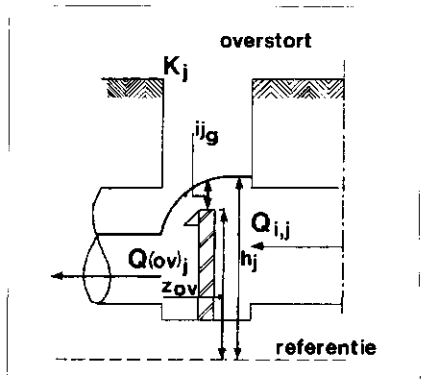
— Een gewoon knooppunt ( $K_i$  in afb. 3) zal alleen een aantal strengen met elkaar verbinden. Hier zal bij de berekening moeten worden voldaan aan  $\sum Q_{ji} + Q_i = 0$ .

— Bij een overstort ( $K_j$  in afb. 4) zal de hoogte en de breedte van de overstort gegeven zijn. Voor  $h_j \leq Z_{ov}$  is  $Q(ov)_j = 0$ . Bij  $h_j > Z_{ov}$  kan  $Q(ov)_j$  als  $f(h_j)$  worden berekend, waarbij moet worden voldaan aan  $\sum Q_{ji} - Q(ov)_j = 0$ .

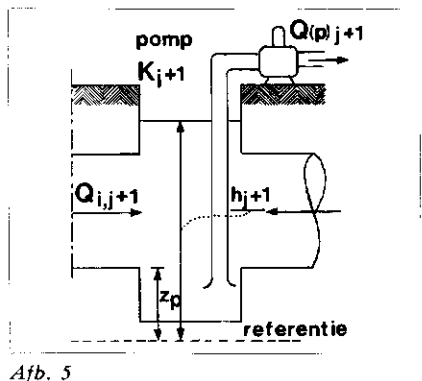
— Van een pompknooppunt ( $K_{j+1}$  in afb. 5) wordt de maximale pompcapaciteit  $Q_{(p)max}$  opgegeven met



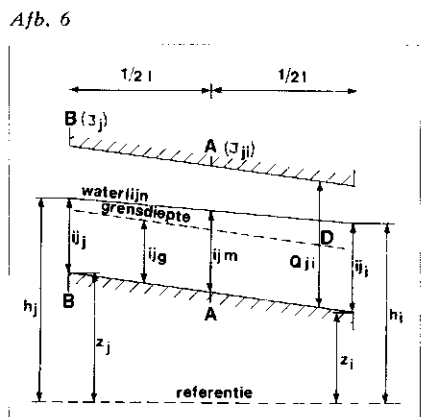
Afb. 3



Afb. 4



Afb. 5



Afb. 6

het laagste peil  $Z_p$ , waarbij de pomp deze opgegeven capaciteit kan verwerken.

Voor  $h_{j+1} < Z_p$  is  $Q_p = 0$ .

Bij  $h_{j+1} \geq Z_p$  is  $0 \leq Q_p \leq Q_{p,max}$  en zolang  $\sum Q_{ji} \leq Q_{p,max}$  wordt de  $h_{j+1}$  waarbij  $\sum Q_{ji} - Q_p = 0$  niet gewijzigd.

Is echter  $\sum Q_{ji} > Q_{p,max}$ , dan wordt  $h_{j+1}$  net zolang verhoogd totdat  $\sum Q_{ji} - Q_{p,max} = 0$ .

In al deze gevallen is de grootte van  $h_{j+1}$  een duidelijk, en door de computer eenvoudig herkenbaar criterium voor de toestand in het knooppunt.

### b. Strengen

Afb. 6 is een definitie-schets van een streng.

Bij volle buizen en bij gedeeltelijk gevulde buizen waar de waterspiegel en de energie-lijn nagenoeg evenwijdig lopen, kan voor de bepaling van het debiet de navolgende formule worden gebruikt:

$$h_j - h_i = \zeta_{ji} \cdot Q_{ji} | Q_{ji} |$$

waarin

$$\zeta_{ji} = \frac{L}{C^2 F^2 R}$$

$F$  ( $m^2$ ) en  $R$  ( $m$ ) zijn resp. de natte doorsnede en de hydraulische straal in profiel A-A, waarbij voor gedeeltelijk gevulde buizen:

$$i_{j,m} = \frac{i_{ji} + i_{jj}}{2}$$

De  $C$  van De Chézy wordt bepaald met de formule van White-Colebrook in de vorm:

$$C = 18 \log \frac{12 R}{k + 2/7 \cdot \delta}$$

met

$$\delta = 11,6 \frac{\nu}{\sqrt{g \cdot R \cdot I}}$$

waarin:

$\nu$  = kinematische viscositeit van het rioolwater

$k$  = wandruwheid van de rioolbuizen

$I$  = verhang van de waterspiegel/energie-lijn

De wijze waarop deze formules worden toegepast voor een aantal stro-

mingstoestanden in een streng wordt aan een nadere beschouwing onderworpen:

$$\text{Voor } \frac{h_i + h_j}{2} > \frac{z_i + z_j}{2} + D \rightarrow \text{ge-}$$

heel gevulde buis (zie A).

$$\text{Voor } \frac{h_i + h_j}{2} < \frac{z_i + z_j}{2} + D \rightarrow \text{ge-}$$

deeltelijk gevulde buis (zie B).

#### A. Geheel gevulde buis (afb. 7)

Het verhang van de energie-lijn is bepalend voor de afvoer:

$$h_j - h_i = \zeta_{ji} \cdot Q_{ji} | Q_{ji} |$$

#### B. Gedeeltelijk gevulde buis

Als  $h_j \leq z_j + i_{jg} \rightarrow$  schietend water (zie C).

Als  $h_j > z_j + i_{jg} \rightarrow$  stromend water (zie D).

Hierin is  $i_{jg}$  = grensdiepte.

#### C. Gedeeltelijk gevulde buis met schietend water (afb. 8)

Het bodemverhang van de streng en de bovenwaterstand zijn maatgevend voor het debiet:

$$z_j - z_i = \zeta_j \cdot Q_{ji} | Q_{ji} |$$

waarin  $\zeta_j$  is afgeleid uit doorsnede B-B (afb. 6).

Het is duidelijk dat  $h_i$  geen invloed uitoefent op  $Q_{ji}$ , wel  $h_j$  middels  $\zeta_j$ .

#### D. Gedeeltelijk gevulde buis met stromend water

Als  $h_i \leq z_i + i_{jg} \rightarrow$  volkomen overlaat uit streng  $j_i$  naar knooppunt  $K_i$  (zie E).

Als  $h_i > z_i + i_{jg} \rightarrow$  normale stroming in gedeeltelijk gevulde buis (zie F).

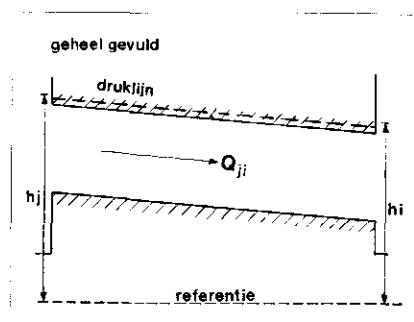
#### E. Gedeeltelijk gevulde buis met stromend water en een volkomen overlaat aan beneden-stroomse einde (afb. 9)

De grensdiepte is de begrenzing van de benedenstroomse waterstand en dus:

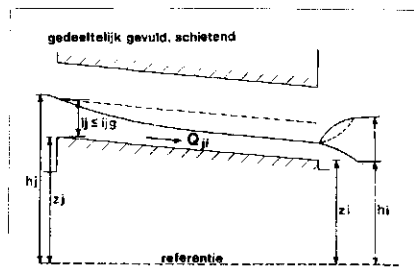
$$h_j - (z_i + i_{jg}) = \zeta_{ji} \cdot Q_{ji} | Q_{ji} |$$

Ook hier weer geen invloed van  $h_i$  op  $Q_{ji}$ .

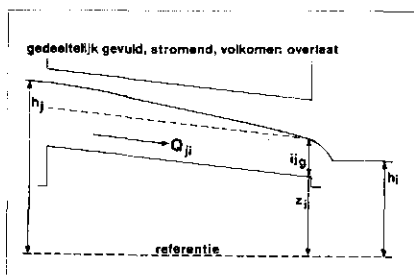
#### F. Gedeeltelijk gevulde buis met stromend water (afb. 10)



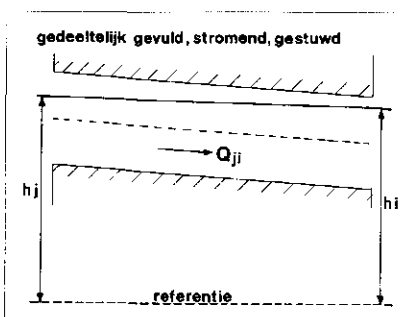
Afb. 7



Afb. 8



Afb. 9



Afb. 10

Hier wordt dezelfde basisformule gebruikt als bij geheel gevulde buizen:

$$h_j - h_i = \zeta_{ji} \cdot Q_{ji} | Q_{ji} |$$

In het voorgaande is aangegeven hoe de computer, identiek aan de werkwijze van een determineertabel van een Flora, en uitgaande van de waterstanden in de knooppunten kan vaststellen welke de stromingstoestand is in iedere streng en welke hydraulische

formule in iedere streng moet worden toegepast.

Samenvattend kan worden gesteld dat een berekening van een rioolstelsel met een computer, gebaseerd op waterstanden in de knooppunten, ondanks het relatief grote aantal op te lossen vergelijkingen, duidelijk voordelen biedt omdat het herkennen van de situatie en de berekening daarvan relatief eenvoudig is.

## 6. Vereffeningberekening

Omdat de gehele knooppuntsberekening afhankelijk is van waterstanden in putten wordt de berekening gestart met putwaterstanden. Bij een berekening met regenwaterafvoer ligt het startpunt bij een op te geven vaste maat beneden straathoogte, waardoor het rioolstelsel vrijwel of geheel met volle buizen de berekening in gaat. Een dwa-berekening begint zodanig dat er geen buizen zijn met minder dan bij voorbeeld 10 % vullingsgraad. In beide gevallen een éénmalige opgave aan de computer op één algemene ponskaart.

Met deze startwaarden worden door de computer alle debieten in de strengen berekend, en worden de afvoeren van overstorten en pompen bepaald. Dit resulteert, met de opgegeven knooppuntsbelastingen  $Q_i$ , voor alle knooppunten in een residu  $r_i$ .

De computer zoekt nu het knooppunt op met de grootste  $|r_i|$  en stelt  $h_i + \Delta h_i$  zodanig in dat  $|r_i|$  nieuw  $\leq \frac{1}{2} |r_i|$  oud.

Deze bewerking wordt daarna uitgevoerd voor het knooppunt dat dan de grootste  $|r_i|$  heeft, enz.

Het is gebleken dat, omdat veranderingen in het ene knooppunt de residu's van de aanliggende knooppunten beïnvloeden, het niet zinvol is per berekeningstap  $|r_i|$  meer dan tot  $\frac{1}{2} |r_i|$  te verkleinen. Op deze wijze convergeert de berekening naar een gewenste graad van vereffening, waarbij het eindresultaat binnen van te voren opgegeven toleranties ligt.

Deze toleranties zijn:

- Tolerantie van de druk per knooppunt in cm.
- Tolerantie van de debieten en residu's (maatgevend voor grote leidingen) in l/sec.
- Tolerantie van het gemiddelde van de absolute waarden van aan- en afvoer in een put (maatgevend over kleine leidingen) in %.

Bij water op straat houdt het computerprogramma de waterstand in het betreffende knooppunt = straathoog-

te en laat dus het residu uit de put stromen. Dit in tegenstelling met de werkwijze van het programma dat door ir. J. H. Kop in deze cursus wordt besproken, waar in de berekening de druk boven de straathoogte kan stijgen en er geen debiet ontsnapt. De hoofdreden van dit verschil in aanpak is dat het ene programma itereert naar drukhoogte en dus de h „heiliger” is dan het debiet door de leidingen, terwijl in het andere programma het debiet belangrijker is voor de berekening en men dus liever in de berekening de druk boven straatniveau laat uitkomen.

## 7. Uitvoering van de computerberekening

Bij het maken van een berekening van een rioolstelsel met behulp van een computer zijn er 3 hoofd fasen te onderscheiden, t.w. het invoeren en controleren van de gegevens, het testen van de ingevoerde gegevens, en het uitvoeren van de berekening met de weergave van de resultaten.

### a. Invoergegevens

Zoals reeds beschreven in het begin van dit artikel vergt de computerberekening meer voorbereidingstijd dan de handberekening en bovendien dient dit zeer zorgvuldig te geschieden en daarna nog te worden gecontroleerd. Het begint met de rioleringsplankaart — liefst op schaal 1 : 2500 —, met daarop straathoogten, de afmetingen van de buizen en de BOK's van de rioolbuizen bij iedere discontinuïteit (verandering van richting, helling en/of diameter) en de juiste plaats van de putten.

Deze plankaart wordt voorzien van een coördinatennet, dat zodanig is georiënteerd dat zo weinig mogelijk plotstroken (van 65 cm breedte) nodig zijn om het plan te bedekken.

Binnen deze plotstroken wordt bij de nummering van de knooppunten zoveel mogelijk rekening gehouden met de

vloeiende beweging van de plotmachine.

Voorziet men een gebied met een kenmerk, b.v. een onderbemaling, van elkaar opvolgende knooppuntsnummers, dan is zo'n gebied in de berekening op eenvoudige wijze te isoleren en kan dit desgewenst als zelfstandige eenheid apart worden berekend.

De plankaart met het coördinatennet wordt nu ingelesen met behulp van een coördinatograaf.

Men plaatst hiertoe het oog op knooppunt nr. 1. Het knooppuntsnummer alsmede de straathoogte worden via het toetsenbord aangeslagen.

De coördinatograaf voegt hierna op commando de X en Y coördinaten aan toe. Deze gegevens worden op een ponsband vastgelegd. Teneinde controle op de geponste gegevens direct mogelijk te maken worden deze cijfers tevens door een schrijfmachine uitgetypt.

Een en ander wordt gestuurd door een tafelcomputer welke hiervoor is geprogrammeerd (afb. 11 geeft een en ander schematisch weer).

Als alle knooppunten zijn ingelesen worden er van de ponsband knooppunts ponskaarten gemaakt.

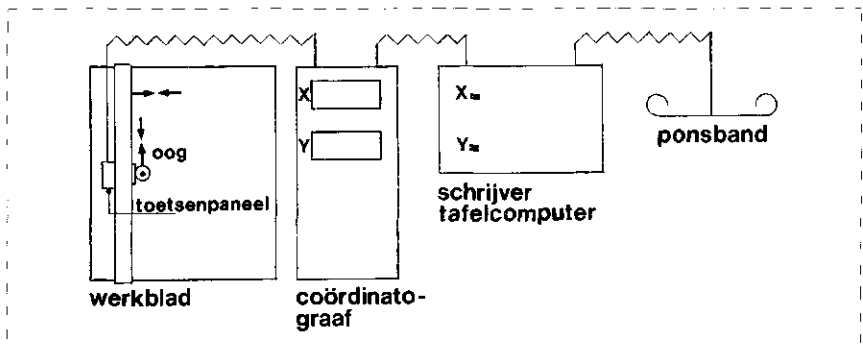
Voor bijzondere knooppunten zoals pompen (intern en extern) en overstorten (intern en extern) worden de gegevens op aparte kaarten geponst. Ook extra lozingen kunnen worden aangegeven.

Controle van deze ponskaarten is mogelijk door deze door de computer op lijsten te laten uitypen.

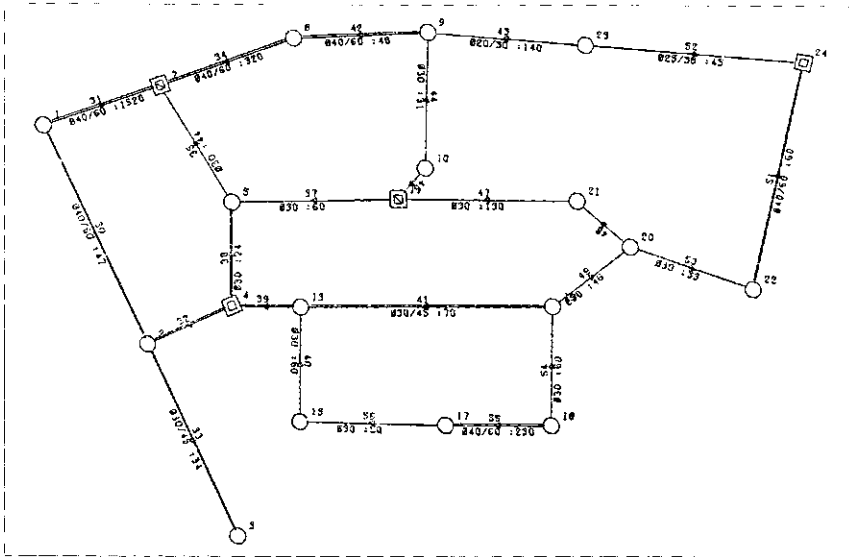
De leidingkaarten worden geponst aan de hand van ingevulde leidingformulieren waarop is aangegeven strengnummer, knooppuntsnummers en BOK begin en einde van de streng, buistype en buisafmeting en eventuele afwijkende wandruwheid.

Een zeer belangrijk gegeven is de breedte van het verhard oppervlak per streng, omdat dit gegeven een

Afb. 11



Afb. 12



Afb. 13

STRENG NUMMER	KNOOPPUNTS- NUMMER AAN HET BEGIN	KNOOPPUNTS- NUMMER AAN HET EIND	HOOGTE AAN HET BEGIN	HOOGTE AAN HET EIND	BINNEN- KANT V D BUIS (IN M)	SOORT BUIS	BUIS- DIA- METER (IN CM)	LENGTE VAN DE BUIS (IN M)	GEMIDDELE DEBIET (L / SEC)	GEMIDDELE SNELHEID (M / SEC)	BREEDTE VAN OPPERVL (IN M)	COEFF. VAN CHEZY	VAND RUV- HEID (M)	VERHANG 1 OF ..
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30	2	1	9.51	6.39	EIVORMIG	40/ 60	148	68.7	222.7	1.76	27	56.31	.0010	47
31	7	1	6.29	6.34	EIVORMIG	40/ 60	76	100.0	132.6	.72	17	55.78	.0010	1520
32*	4	2	10.69	10.44	EIVORMIG	30/ 45	57	.0	.0	.00	27	.00	.0020	230
33	3	2	13.45	9.58	EIVORMIG	30/ 45	130	89.3	177.4	1.92	27	50.01	.0020	34
34	8	7	6.96	6.69	EIVORMIG	40/ 60	87	100.0	143.2	.78	32	55.84	.0010	320
35	5	7	8.59	6.69	ROND	30	84	100.0	146.8	2.08	15	47.63	.0020	44
37	11	5	10.34	8.75	ROND	30	103	60.5	51.0	1.19	27	47.46	.0020	60
38	4	5	11.25	8.68	ROND	30	63	95.0	129.7	1.93	22	47.63	.0020	24
39	13	4	11.08	10.79	EIVORMIG	30/ 45	43	100.0	114.7	1.11	27	48.67	.0020	150
40	15	13	12.69	11.45	ROND	30	70	53.3	41.9	1.11	22	49.14	.0020	60
41	19	13	14.24	11.91	EIVORMIG	30/ 45	156	33.3	38.6	1.12	27	48.21	.0020	70
42	9	8	7.73	6.06	EIVORMIG	40/ 60	83	100.0	113.6	.62	32	55.66	.0010	48
43	23	9	9.42	6.71	EIVORMIG	20/ 30	97	41.9	16.9	.88	32	44.77	.0020	140
44	10	9	11.45	6.79	ROND	30	83	71.4	66.9	1.33	17	49.20	.0020	31
45*	11	10	11.45	11.45	ROND	30	25	.0	.0	.00	0	.00	.0005	****
47	21	11	12.93	12.06	ROND	30	110	32.6	20.4	.89	27	46.49	.0020	130
48	21	20	12.35	13.18	ROND	30	43	.0	.0	.00	27	.00	.0020	52
49	19	20	14.78	13.07	ROND	30	60	9.0	3.4	.54	7	43.37	.0020	46
50	20	22	12.25	9.45	ROND	30	80	93.8	123.3	1.86	17	48.92	.0020	33
51	22	24	8.77	6.33	EIVORMIG	40/ 60	141	50.7	143.2	1.54	27	56.26	.0010	60
52	23	24	9.42	6.44	EIVORMIG	25/ 37	135	30.5	21.7	.99	32	47.31	.0020	95
54	18	19	15.60	14.35	ROND	30	73	28.1	16.5	.85	17	47.19	.0020	60
55	18	17	16.11	15.83	EIVORMIG	40/ 60	65	.0	.0	.00	32	.00	.0010	230
56	17	15	14.80	13.01	ROND	30	90	33.8	21.5	.90	27	47.96	.0020	50

\* INTERNE STRENG

KNOOP- PUNT- NUMMER	STRAAT HOOGTE (IN M.)	DRUK HOOGTE (IN M.)	HERLEID OPPERVL (IN MA)	TOTALE INVOER (L/SEC)	STORT PUT OP STRAAT (IN M.)	DREMPEL LENGTE (IN M.)	OVERSTORT FACTOR (MUI)	DREMPEL HOOGTE (IN M.)	OVERSTORT HOOGTE (IN M.)	CAPACITEIT V.D. POMP (IN L/SEC)	AFVOER V.D. POMP (IN L/SEC)	RESIDU BIJ CA 1 CM DRUKVER- SCHIL (L/SEC)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	7.84	7.84	.26	26		382						-5.70	
2	11.94	9.92	.45	45								11.39	
3	15.89	13.84	1.68	168								13.10	
4*	12.34	11.52	.20	20		2.11	1.86	11.65	WERKT NIET			15.22	
5	10.08	10.08	.27	27	61							-3.36	
7	7.95	7.95	.27	27	54					130	130	13.08	
8	8.41	8.10	.27	27								11.47	
9	10.06	8.19	.36	36								6.40	
10	13.25	11.65	.67	67								6.55	
11**	13.34	10.51	.29	29	***					30	WERKT NIET	5.19	
13	13.21	11.78	.34	34	***							2.31	
15	14.69	12.85	.20	20	***							4.64	
17	17.07	14.91	.23	23								3.26	
18	17.31	15.70	.17	17								3.19	
19	15.64	14.42	.29	29								4.69	
20	13.97	12.52	1.15	115	***							11.26	
21	14.38	13.04	.21	21								3.55	
22	11.43	9.10	.26	26	***							8.46	
23	10.26	9.56	.37	37								5.23	
24	8.22	7.71	.41	41		3.00	1.86	7.60	.11			28.03	

\* INTERNE OVERSTORT  
\*\* INTERNE POMP

AFVOER VIA OVERSTORTEN EN POMPEN

POMP	7	130 L/SEC
OVERSTORT	24	205 L/SEC

grote invloed heeft op de uitkomst van de berekening. Het is daarom bij D.H.V. de gewoonte bij bestaande stelsels het verhard oppervlak, alsmede dat deel van het niet verharde oppervlak dat regenwater afvoert ter plaatse vast te stellen.

De buislengte van de strengen wordt niet opgegeven maar door de computer berekend uit de coördinaten van de knooppunten, tenzij een lengte is aangegeven die dan prevaleert.

Ook hier is weer controle van de ponskaarten mogelijk door middel van het uittypen van lijsten door de computer.

#### b. Testprogramma

Als alle invoergegevens op ponskaarten zijn verwerkt en desgewenst door het uittypen van lijsten zijn gecontroleerd, wordt op basis van deze invoergegevens door de computer een testprogramma uitgevoerd.

Met dit testprogramma worden allereerst nog eventueel gemaakte fouten in de invoergegevens gesignaleerd, zoals o.m.:

- ontbrekende leidingen;
- ontbrekende knooppunten;
- extreme leidingdiameters;
- extreme leidinglengten;
- coördinaten van knooppunten buiten opgegeven grens;
- leidingen boven de straat of met onvoldoende dekking.

Als deze foutmeldingen juist zijn, worden de invoergegevens daaraan aangepast.

Daarna berekent de computer voor alle knooppunten het herleide verhard oppervlak in ha en de totale instroming per knooppunt in l/sec., en voor alle strengen de lengte en het verhang van de buizen.

Ook wordt het totale oppervlak in ha, de totale instroming in l/sec en de totale inhoud van het rioolstelsel beneden elke overstortdrempel in m<sup>3</sup> door de computer bepaald.

Met deze gegevens kan worden beoordeeld of de in het rioolstelsel aanwezige berging de juiste is.

Tenslotte kan men met het testprogramma, met behulp van een elektro-mechanische tekenmachine een zogenaamde „plot” maken, die nog een visuele controlemogelijkheid biedt door deze te vergelijken met de oorspronkelijke rioleringsplankaart. Ook de nummers van de knooppunten en strengen, de stroomrichting en de buizen worden op de plot aangegeven (afb. 12).

#### c. Berekening en uitvoergegevens

Na alle hiervoor genoemde voorbereidingen is er menselijkerwijs niets meer aan te doen en wordt het eigenlijke berekeningsprogramma gestart. Omdat het altijd mogelijk is dat er in de berekeningsgang delen zijn waarbij het iteratieproces slecht convergeert of waar bepaalde verschijnselen net wel of net niet voorkomen, is het verstandig voor de eerste berekeningsgang de toleranties niet te klein te stellen en ook de van te voren instelbare maximum rekentijd niet te groot te nemen. Aan de hand van de resultaten van de eerste berekeningsgang kan het rioleringsplan zonodig worden aangepast, als het over een nieuw ontwerp gaat, of kunnen al indicaties worden verkregen over de knelpunten in een bestaand rioolstelsel.

Eventuele wijzigingen worden door middel van nieuwe ponskaarten aan de computer doorgegeven en een

tweede berekeningsgang, met kleinere toleranties, geeft meestal reeds het verlangde resultaat. Anders wordt de zojuist beschreven procedure herhaald tot aan de wensen van de rekenaar-ontwerper is voldaan.

De reken-uitvoer van de computer bestaat uit een algemene uitvoer, die voornamelijk de basisgegevens voor de berekening vermeldt. Verder een lijst met alle strengen, die naast de invoergegevens het vullingspercentage, het debiet en de gemiddelde snelheid in de leidingen aangeeft.

Van de knooppunten wordt de instroming bij ieder knooppunt vermeld en, waar dit voorkomt, de hoeveelheid water die op straatniveau uit een knooppunt stroomt. Ook de werking van interne en externe overstorten en -pompen wordt aangegeven, met de daarbij behorende debieten.

Afb. 13 geeft de totale uitvoer weer die behoort bij het in afb. 12 aangegeven rioolstelsel.

Hierbij dient te worden aangetekend dat het hier om een proefstelsel gaat, waarin bijna alle moeilijkheden voorkomen die men bij een berekening van een rioolstelsel kan tegenkomen.

#### 8. Slotopmerking

Naar aanleiding van kritische vragen, die na verloop van de vakantiecursus werden gesteld, is het wellicht goed te vermelden dat men het hiervoor beschreven computerprogramma niet alleen kan toepassen als D.H.V. mede wordt ingeschakeld, maar dat binnen Nederland iedereen van dit programma gebruik kan maken.

Last but not least, een woord van dank aan de heren Chr. Vree, ing. en ir. H. Walta voor hun assistentie tijdens het voorbereiden van deze voordracht.