

KWALITATIEVE EN KWANTITATIEVE ASPECTEN
VAN DE AFVOER VAN STEDELIJKE GEBIEDEN

Nota 44

J.D. Leenen

S. Groot

L.H., Hydraulica en Afvoerhydrologie, projectnr. 79-121

W.L., Milieuhydrodynamica Wageningen, projectnr. S415 - I

INHOUD

Lijst van figuren

	<u>blz.</u>
<u>1 Inleiding</u>	<u>1</u>
<u>2 Van neerslag tot afvoer</u>	<u>3</u>
2.1 De neerslag	3
2.2 Afvoer bij verhard en onverhard oppervlak	4
2.3 Het rioolwatersysteem	6
2.4 De hoeveelheid rioolwater	7
2.5 De samenstelling van het rioolwater	8
<u>3 Het STORM-model</u>	<u>10</u>
3.1 Inleiding	10
3.2 Beschrijving van het STORM-model	10
3.2.1 Algemeen	10
3.2.2 Berekening van de afvoer	11
3.2.3 Berekening van de kwaliteit van de afvoer	13
3.2.3.1 Kwaliteit van de oppervlakte-afvoer	13
3.2.3.2 Kwaliteit van de droogweerafvoer (DWA)	14
3.2.4 Relatie berging, zuivering en overstort	15
3.2.5 Resultaten	16
<u>4 Samenvatting, konklusies en aanbevelingen</u>	<u>18</u>

LITERATUUR

FIGUREN

Lijst van figuren

- 1 Pluviogram van 3 verschillende buien
- 2 Theoretische regenkrommen met herhalingsstijd p
- 3 Frekwentieverdeling van de neerslag per 5-minutenvakje
- 4 Frekwentieverdeling van de neerslag per bui
- 5 Frekwentieverdeling van de regenduur per bui
- 6 Frekwentieverdeling van de gemiddelde intensiteit per bui
- 7 Afvoer van neerslag vanaf verharde en onverharde oppervlakken naar het oppervlaktewater
- 8 Jaarlijkse kosten als functie van de afvoerkapaciteit van het rioolstelsel
- 9 Overzicht van de elementen die STORM beschouwt
- 10 Berekeningsprocedure van het STORM-model
- 11 Variatie van de dagelijkse droogweerafvoer
- 12 Variatie van de wekelijkse droogweerafvoer
- 13 Unit hydrograph in een hellend en in een vlak stroomgebied
- 14 Het gebruik van de bergingskapaciteit

1 Inleiding

In de laatste decennia heeft zich in diverse delen van de wereld een omvangrijke verstedelijking voltrokken, waardoor de problemen rond de afvoer van neerslag in die gebieden aanzienlijk zijn toegenomen. Aangezien de neerslag in een stedelijk gebied op een geheel andere wijze wordt verwerkt en afgevoerd dan in een agrarisch gebied, kan de problematiek die betrekking heeft op het waterbeheer in geurbaniseerde en/of geïndustrialiseerde gebieden als een min of meer op zichzelf staand onderdeel van het hydrologische systeem worden benaderd (lit. 1). Het aanleggen van een rioleringssysteem heeft in het algemeen een versnelde afvoer van neerslaghoeveelheden tot gevolg. Afhankelijk van het soort rioolstelsel, worden bij hevige buien tegelijkertijd met het regenwater diverse verontreinigingen op het oppervlaktewater geloosd. Zo zullen bij zeer intensieve neerslag de in een gemengd rioolstelsel aanwezige overstorten in werking treden en wordt sterk vervuild rioolwater, buiten de afvalwaterzuiveringsinstallaties om, direkt op het oppervlaktewater geloosd.

Deze stootbelasting op het ontvangende oppervlaktewater kan vanuit het oogpunt van waterkwaliteitsbeheer en gebruik zeer nadelige gevolgen hebben. De zuurstofhuishouding van het ontvangende water kan door een aanzienlijke BOD-belasting in sterke mate worden aangetast, waardoor vissterfte en dergelijke kan optreden. Deze belasting van het oppervlaktewater is mede ongewenst, omdat de met grote neerslag gepaard gaande afvoergolven veelal geringe concentraties aan opgeloste zouten en andere verontreinigingen bevatten, waardoor het water uit dat oogpunt bijzonder geschikt zou zijn voor onttrekking ten behoeve van de drink- en industriewatervoorziening (spaarbekkens, kunstmatige infiltratie) en de watervoorziening van de agrarische sektor.

Vooraf door vervuiling via overstorten moeten deze grote hoeveelheden water vaak onbenut worden gelaten. Juist tegen de achtergrond van een vergesloede bestrijding van puntlozingen met behulp van zuiveringsinstallaties kan gesteld worden dat het akwatisch milieu tengevolge van deze kortstondig toegevoerde hoeveelheden verontreinigingen (BOD, N, P, toxische stoffen, olie, bacteriën) in ernstige mate wordt verstoord. Overstorten in met name landelijke gebieden zijn vooral bezwaarlijk in de zomerperiode, omdat het ontvangende water (beken etc.) door de lage (natuurlijke) afvoer gedurende die periode slechts een betrekkelijk geringe hoeveelheid verontreiniging kan verwerken.

De hierboven beschreven verschijnselen doen zich behalve in beken en kleine rivieren ook in Maas en Rijn voor. Het is dan ook begrijpelijk dat beheerders van oppervlaktewater aandringen op voldoende bergings- en zuiveringscapaciteit in het rioolwatersysteem om op die manier de afvalwaterbelasting zowel kwantitatief als kwalitatief te reduceren (lit. 2, 3).

Eén van de mogelijkheden om in te spelen op onderhavige problematiek is gebruik te maken van simulatietechnieken waarmee de omvang en de gevolgen van (stoot)belastingen in relatie tot de neerslag en een aantal karakteristieken van het verstedelijkte gebied (incl. het rioolwatersysteem) kunnen worden gekwantificeerd. Belangrijke parameters zijn daarbij de vervuiling door de afvalwaterproduktie tijdens droge perioden, de vervuiling van de straten, de slibafzetting in de riolering en criteria die aangeven welke afvalwaterlozingen nog toelaatbaar zijn. Het tot dusver gehanteerde criterium (de overstort-frekwentie) lijkt hiervoor slechts ten dele geschikt; immers de overstort-frekwentie is geen goede maat voor de absolute grootte van de vuillozing op het ontvangende water tengevolge van een overstorting.

Eén van de simulatiemodellen voor een rioolwatersysteem, waarbij zowel de waterkwaliteit als kwantiteit van de afvoer tengevolge van neerslag en afvalwaterproduktie wordt beschouwd, is het in de Verenigde Staten ontwikkelde standaardmodel STORM ("Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model").

In dit rapport wordt een kort overzicht gegeven van de mogelijkheden van het STORM-model, nadat eerst enige algemene beschouwingen zijn gewijd aan zowel de kwantiteit en kwaliteit van neerslag en afvoer als aan het rioolwatersysteem. Tevens wordt beschreven hoe met behulp van het STORM-model een beter inzicht kan worden verkregen in de omvang en de gevolgen van vuillozingen tengevolge van het overstorten van een rioolwatersysteem.

Dit onderzoek is uitgevoerd door ir. J.D. Leenen, vakgroep hydraulica en afvoerhydrologie, en ir. S. Groot, Waterloopkundig Laboratorium.

2 Van neerslag tot afvoer

2.1 De neerslag

Het basisgegeven voor het ontwerp en de dimensionering van een rioolstelsel is de neerslag in het te rioleren gebied. Een probleem daarbij is echter dat hiervan in het algemeen geen gegevens beschikbaar zijn. Hoewel neerslag zowel een tijds- als plaatsafhankelijk natuurverschijnsel is, worden de berekeningen van een rioleringssysteem in het algemeen uitgevoerd met behulp van gegevens afgeleid uit de neerslagregistraties van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) te De Bilt.

Uit deze, met behulp van zelfregistrerende regenmeters (pluviografen) bepaalde, neerslaggegevens wordt een aantal afgeleide grootheden berekend, waarvan er in het navolgende enkele nader worden besproken.

In de eerste plaats kunnen vermeld worden de zogenaamde regenkrommen of pluviogrammen, waarin de neerslaghoeveelheden kumulatief worden uitgezet. In figuur 1 zijn de pluviogrammen van drie verschillende regenbuien getekend en een omhullende kromme: de zogenaamde theoretische regenkromme die ook wel regenduurlijn wordt genoemd. Het verloop van de theoretische regenkromme is afhankelijk van de frekwentie waarmee een bepaalde eigenschap van een regenbui optreedt, immers de theoretische regenkromme voor zeer hevige (en zeldzame) regenbuien zal afwijken van de regenkromme voor vaker voorkomende regenbuien. Het verloop van de theoretische regenkromme is dus afhankelijk van de herhalingsstijd p (zie ook fig. 2). De waarde van deze theoretische krommen is beperkt. Het zijn omhullenden van regenbuien of onderdelen daarvan, maar uitdrukkelijk geen werkelijke regenbuien. Het is dan ook niet mogelijk te spreken van een regenbui met een bepaalde gemiddelde herhalingsstijd. Men kan slechts aan één specifieke eigenschap van een regenbui een bepaalde herhalingsstijd toekennen, zoals bijvoorbeeld de hoeveelheid neerslag in een bepaalde tijd sinds het begin van de regenval. Het pluviogram van de werkelijke regenbui raakt dan ook slechts in één punt aan de theoretische regenkromme, terwijl de plaats van het raakpunt afhankelijk is van de beschouwde eigenschap.

Door diverse onderzoekers zijn, uitgaande van lange reeksen neerslaggegevens (zoals die van het KNMI 1926-1962), theoretische regenkrommen in een analytische vorm gegoten. Bekend zijn de krommen van Braak en Levert.

Bij het gebruik van theoretische regenkrommen moet echter rekening worden gehouden met grote afwijkingen (zowel positieve als negatieve) ten opzichte van de werkelijke situatie.

Het is duidelijk dat voor de beschrijving van de afvoer tengevolge van neerslag niet alleen kennis omtrent een periode van neerslag noodzakelijk is, maar tevens van de periode tussen verschillende regenbuien in.

De beschikbare regenreeksen van de Bilt zijn verdeeld in opeenvolgende perioden van 5 minuten. Statistische bewerking van deze regenreeksen levert gegevens omtrent

- de frekventieverdeling van de neerslag per 5 minuten
- de frekventieverdeling van de neerslag per bui
- de frekventieverdeling van de regenduur per bui
- de frekventieverdeling van de gemiddelde intensiteit per bui.

Een en ander is weergegeven in de figuren 3 t/m 6.

Voor de dimensionering van een rioolstelsel gaat men veelal uit van neerslag van een bepaalde (konstante) intensiteit. Deze hypothetische neerslag wordt ook wel berekeningsregen of berekeningsintensiteit genoemd. Bestudering van de regenstatistieken die betrekking hebben op de Nederlandse situatie leert dat het vooral om economische redenen onmogelijk is om een rioolstelsel te dimensioneren voor de afvoer afkomstig van regenbuien die slechts éénmaal in een periode van enkele jaren voorkomt. Bij de bepaling van de berekeningsintensiteit moet daarom worden vastgesteld welke frekventie van inundatie van straten toelaatbaar is. Voor de Nederlandse situatie wordt een berekeningsintensiteit van 0,35-0,45 mm/min voor vlakke gebieden verantwoord geacht (enkele maal per jaar, gedurende korte tijd, "water op straat"). Voor hellende gebieden wordt uitgegaan van 0,55 mm/min of meer (lit. 4).

2.2 Afvoer bij verhard en onverhard oppervlak

In het voorgaande is de neerslag in beschouwing genomen. Een volgende vraag is op welke wijze de neerslag, die op een bepaald oppervlak valt, tot afvoer komt.

Neerslag komt in een stedelijk gebied op een andere wijze tot afvoer dan neerslag in een landelijk gebied. Over het algemeen komt van de neerslag die op een onverhard oppervlak valt niets of slechts een beperkt deel in het rioolstelsel terecht. Een groot deel van de neerslag zal door de aanwezige be-

groeiing worden opgenomen, in de bodem wegzakken of verdampen (zie fig. 7).

Verharding van het oppervlak door de aanleg van wegen, huizenbouw etc., heeft in het algemeen een vermindering van de bergingsmogelijkheden voor regenwater in de bodem tot gevolg. De aanleg van een rioleringssysteem in stedelijke gebieden is één van de methoden om te voorkomen dat het "water op straat" komt te staan. Deze bergingsmogelijkheid in het riool is bovendien noodzakelijk omdat door verharding van het oppervlak de neerslag sneller tot afvoer komt dan bij onverharde oppervlakken. Vaak worden onder verharde oppervlakken die oppervlakken verstaan waarvan de afvoer tengevolge van neerslag rechtstreeks naar het rioolstelsel plaatsvindt. Het percentage verhard oppervlak ten opzichte van het totale oppervlak loopt uiteen van 20% voor dorpskernen tot 30% of meer voor steden. Door verschillende oorzaken neemt dit percentage toe. In het algemeen wordt 50 à 60 m² verhard oppervlak per inwoner als uitgangspunt genomen. Het percentage van de neerslag op verharde oppervlakken dat door het rioolstelsel moet worden afgevoerd hangt af van

- de aard en bebouwing van het oppervlak
- de regenduur en regenintensiteit
- de verdamping (interceptie).

Recent onderzoek door onder andere V.d. Berg (lit. 5) heeft aangetoond dat slechts een deel van de neerslag in het rioolstelsel terechtkomt en dat er vertraging en vervorming optreedt bij de transformatie van de netto neerslag vanaf een verhard oppervlak naar een rioolinloop.

Aanvankelijk werd bij ontwerpberekeningen het inloophydrogram (of afvoerkromme) gelijkgesteld aan het pluviogram (of neerslagkromme); in dit geval wordt de (gemiddelde) afvloeiingscoëfficiënt, gedefinieerd als het quotiënt van het totale volume van de neerslag en de afvoer tengevolge van die neerslag, gelijk aan 1 gekozen en op overeenkomstige wijze voor onverharde oppervlakken aan 0. Voor verharde oppervlakken kan de afvloeiingscoëfficiënt echter belangrijk kleiner dan 1 zijn. Aan de andere kant zal er bij grote regenval ook afvoer van de onverharde oppervlakken naar het riool plaatsvinden.

Een andere methode voor de bepaling van de afvoer die langs het oppervlak tot afstroming komt is de zogenaamde eenheidsafvoergolf of "unit hydrograph". Hierop wordt in hoofdstuk 3 nader ingegaan.

Naast het percentage van de neerslag dat niet tot afvoer komt, is belangrijk dat met name bij niet geheel gevulde rioolleidingen het zogenaamde vertra-

gingsverschijnsel optreedt.

2.3 Het rioolwatersysteem

Onder een rioolwatersysteem wordt verstaan het geheel van meerdere rioolstelsels, pompstations, transportleidingen en rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi).

Het rioolwatersysteem vervult verschillende functies:

- inzameling van rioolwater (rioolstelsel)
- transport van rioolwater (persleiding, pompstation)
- zuivering van rioolwater (rwzi).

Het rioolwatersysteem kan op verschillende manieren het oppervlaktewater met afval belasten:

- lozing van effluent door rwzi's
- overstorten uit gemengde rioolstelsels
- (ongezuiverde) lozing van regenwater uit gescheiden rioolstelsels
- (ongezuiverde) lozing van huishoudelijk afvalwater.

Hoewel het oppervlaktewater ook op andere wijzen met afval kan worden belast, wordt bij deze beschouwing alleen de invloed van rioolstelsels op de kwaliteit van het oppervlaktewater beschouwd.

In bovenstaande werd reeds gesproken over verschillende rioolstelsels of rioleringsystemen. Door het gemengde rioolstelsel worden afvalwater en neerslag in combinatie afgevoerd, terwijl door het gescheiden rioolstelsel afvalwater en neerslag afzonderlijk worden afgevoerd. In Nederland komt het gemengde rioolstelsel het meeste voor.

De functie van een rioleringsysteem is dus tweeledig:

- afvoer van water naar rwzi's of pompstations
- berging van water gedurende perioden van (grote) neerslag.

Uitgaande van deze functie kunnen eisen worden geformuleerd waaraan een gemengd rioleringsysteem moet voldoen:

- De transportkapaciteit moet voldoende zijn voor de verwerking van de zogenaamde droogweerafvoer (dwa) en een regenbui met een bepaalde berekeningsintensiteit

- De bergingscapaciteit moet zodanig groot zijn dat de voorgeschreven ("toelaatbare") overstortfrequentie niet wordt overschreden.

Van een rioleringssysteem wordt verlangd dat bovengenoemde eisen worden gerealiseerd tegen een minimum aan kosten. In figuur 8 is schematisch aangegeven op welke wijze de totale kosten van een rioleringssysteem kunnen worden geoptimaliseerd.

Er bestaan diverse mathematische modellen die de relatie tussen neerslag en afvoer trachten te beschrijven. Voor berekening van de transportcapaciteit zijn de bekendste het model voor permanente stroming en het in een later stadium ontwikkelde model voor niet-permanente stromingen.

Voor berekening van de bergingscapaciteit wordt in het algemeen het zogenaamde "bakmodel" gehanteerd, waarbij het rioleringssysteem is vereenvoudigd tot een bak met een inhoud gelijk aan de onderdrempelberging van waaruit water wordt afgevoerd door een pompstation met een bepaalde maximumcapaciteit.

Het zal duidelijk zijn dat een rioolwatersysteem niet dusdanig wordt gedi-mensioneerd dat onder alle omstandigheden een voldoende transport-, bergings- en zuiveringscapaciteit aanwezig is. Eén van de gevolgen daarvan is dat het oppervlaktewater tijdens of na een periode van grote neerslag vervuild kan worden doordat afvalwater via overstorten, dus buiten de zuiveringsinstallaties om, wordt geloosd. Voor de Nederlandse situatie wordt een gemiddelde jaarlijkse overstortfrequentie van 10 maal als norm gehanteerd. Er bestaan echter grote twijfels over de waarde van deze grootheid voor de karakterisering van de invloed die een rioolstelsel heeft op het (ontvangende) oppervlaktewater. Het lijkt reëler de vereiste kwaliteit van het ontvangende water als maatgevend te beschouwen (lit. 6).

2.4 De hoeveelheid rioolwater

Rioolwater dat door een gemengd rioleringssysteem moet worden afgevoerd, bestaat uit neerslag en afvalwater. Dit afvalwater kan velerlei oorsprong hebben, zoals

- huishoudelijk afvalwater, inclusief faecaliën
- industrieel afvalwater
- grondwater (lekwater).

Het afvalwater wordt meestal gekarakteriseerd met behulp van de zogenaamde

droogweerafvoer of dwa, dat is de hoeveelheid afvalwater die in een droge periode moet worden afgevoerd. De droogweerafvoer of afvalwaterproduktie is niet op ieder uur van de dag gelijk; in het algemeen is de produktie 's nachts kleiner dan overdag.

De hoeveelheid huishoudelijk afvalwater zal, met uitzondering van situaties waarin drinkwater ten behoeve van tuinbesproeiing wordt gebruikt, ongeveer gelijk zijn aan het drinkwaterverbruik. Voor het vaststellen van de hoeveelheid huishoudelijk afvalwater kan daarom gebruik worden gemaakt van het drinkwaterverbruik. Bij berekeningen wordt meestal een gemiddelde dagelijkse hoeveelheid afvalwater per inwoner van 120-140 l aangehouden. Uitgaande van de oppervlakte, het totaal aantal inwoners en de afvloeiingscoëfficiënt(en) van het gerioleerde gebied, kan de af te voeren hoeveelheid water van dat gebied worden bepaald.

De hoeveelheid industrieel afvalwater kan niet altijd direkt aan de geleverde hoeveelheid drinkwater gerelateerd worden omdat de industrie dikwijls water onttrekt aan rivieren en beken of gebruik maakt van grondwater. Daarbij komt dat industrieën hun afvalwater gedurende een korte tijd kunnen lozen; de hoeveelheid afvalwater kan dan ook binnen 24 uur zeer sterk variëren. In de toekomst zal de industrie, onder druk van wettelijke maatregelen en/of verhoging van lozingsheffingen, in toenemende mate overgaan tot zuivering en beperking van de geproduceerde hoeveelheid afvalwater.

2.5 De samenstelling van het rioolwater

Hoewel het aantal verontreinigingen, die in het rioolwater kunnen worden aangetroffen, bijzonder groot is, kan daarin een aantal hoofdgroepen worden onderscheiden. Koot (lit. 4) geeft hiervoor de volgende indeling:

- Biologisch afbreekbare verbindingen
 - N-, C-, S-verbindingen
- Niet of moeilijk biologisch afbreekbare verbindingen
 - anorganisch: zouten, zuren, basen
 - organisch : humusverbindingen, gechloreerde koolwaterstoffen etc.
- Nutriënten
 - P-, N-verbindingen en andere plantennutriënten
- Toxische stoffen
 - bestrijdingsmiddelen, metalen, carcinogene stoffen

- Radioactieve stoffen
- Pathogene organismen
 - colibakteriën

Uiteraard zijn ook andere indelingen mogelijk. Organische en anorganische verbindingen die zich in het rioolwater bevinden, kunnen bijvoorbeeld worden onderscheiden in zwevende en opgeloste stoffen.

In de meeste gevallen wordt de vervuiling in en door rioolwatersystemen gekwantificeerd door de zuurstofbehoefte (BOD) van het rioolwater. Dit is natuurlijk slechts één (belangrijke) van de vele waterkwaliteitsparameters waarmee zowel de vuillozing als de kwaliteit van het oppervlaktewater kan worden gekarakteriseerd. Andere kwaliteitsparameters, zoals de concentraties van fosfaat, stikstof, zuurstof en bacteriën, zijn onontbeerlijk voor het vastleggen van de algehele waterkwaliteit. Een beoordeling van een rioolwatersysteem, enkel en alleen op grond van de belasting uitgedrukt in BOD, is daarom eigenlijk niet mogelijk; het geeft slechts een beeld van één bepaald aspect van de werkelijke toestand.

Om tot een keuze van de te beschouwen waterkwaliteitsparameters te komen moet worden achterhaald welke functie(s) het ontvangende (oppervlakte)water vervult en welke normen daaraan verbonden zijn (IMP, EEG, Raad van Europa etc.). In dit verband moet er echter op worden gewezen dat er (nog) onvoldoende kennis is over de gevolgen die een afvalwaterlozing heeft op de kwaliteit van het ontvangende water. Nadere studie op dit gebied is dan ook noodzakelijk en een modelmatige aanpak van deze problematiek kan daarbij van grote betekenis zijn.

In hoofdstuk 3 wordt een bestaand simulatiemodel beschreven, waarmee zowel de kwantiteit als de kwaliteit van afvalwater, afkomstig van gescheiden of gemengde rioolwatersystemen, wordt berekend aan de hand van gegevens betreffende neerslag, vuilbelasting, berging, zuivering, soort oppervlak en dergelijke.

3 Het STORM-model

3.1 Inleiding

In hoofdstuk 2 is er reeds op gewezen dat er (nog) onvoldoende kennis is over de gevolgen die een lozing van rioolwater op het oppervlaktewater kan hebben. Eén van de mogelijkheden om het nodige inzicht te verkrijgen is gebruik te maken van mathematische modellen waarin de samenhang tussen onder andere neerslag, kwaliteit en kwantiteit van riool- en oppervlaktewater door wiskundige relaties wordt beschreven. Simulaties met waterkwaliteitsmodellen welke alle, voor de beschrijving van de waterkwaliteit relevante, waterkwaliteitsparameters bevatten, zullen niet alleen het inzicht in het complexe proces van neerslag tot afvoer vergroten, maar tevens de samenhang tussen de diverse processen in een meer kwantitatieve vorm kunnen gieten. Op basis daarvan is kwantificering van grootte, frekwentie en gevolgen van vuillozingen mogelijk en daarmee een betere beoordeling van rioolstelsels.

Een bestaand model waarmee de beschreven problematiek nader kan worden bestudeerd, is het STORM-model, waarvan in dit hoofdstuk de inhoud en mogelijke toepassingen worden besproken.

Voor uitvoerigere informatie omtrent het STORM-model wordt verwezen naar de handleidingen (lit. 7, 8).

3.2 Beschrijving van het STORM-model

3.2.1 Algemeen

Het "Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model" of STORM is een model waarmee de afvoer van al dan niet verstedelijkte stroomgebieden zowel kwalitatief als kwantitatief kan worden beschouwd.

De resultaten die met het simulatiemodel worden verkregen, kunnen grofweg in twee onderdelen worden gesplitst:

- statistische informatie over kwaliteit en kwantiteit van afvoer en overstortwater
- berekening van belastingkrommen of pollutogrammen.

Tevens wordt zowel de belasting als de concentratie van zes essentiële waterkwaliteitsparameters berekend, namelijk:

- opgeloste stoffen
- zwevende stoffen
- biochemisch zuurstofverbruik
- totaal stikstof
- orthofosfaat
- totaal coli.

Het model beschouwt de interactie van zeven elementen van het neerslagafvoerproces, namelijk:

- neerslag (en sneeuwsmelt)
- afvoer
- droogweerafvoer of dwa (afvalwaterproduktie)
- bergingskapaciteit
- zuiveringskapaciteit
- afvalwaterbelasting en uitspoeling van de bodem
- overstorten.

Een overzicht van deze mogelijkheden is weergegeven in figuur 9 en een stroomschema van de berekeningsprocedure is weergegeven in figuur 10.

Het doel van deze beschouwingen is inzicht te verkrijgen in de afvalwaterproduktie en het onderbouwen van de dimensionering van bergings- en zuiveringscapaciteiten ter regulering van de waterkwantiteit en -kwaliteit.

Tevens kunnen de resultaten betreffende belasting en concentratie van verontreinigende stoffen direkt worden gebruikt in een (oppervlakte)waterkwaliteitsmodel zoals bijvoorbeeld QUAL II. Door koppeling van STORM aan de bij het WL operationele waterkwaliteitsmodellen kan aldus een kwantitatieve beschrijving plaatsvinden van de gevolgen van overstorten op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater.

In de volgende paragrafen wordt kort ingegaan op de wijze waarop in het STORM-model de kwaliteit en kwantiteit van afvoer- en overstortwater wordt beschouwd, terwijl tevens de relatie berging/zuivering/vervuiling kort wordt besproken.

3.2.2 Berekening van de afvoer

Voor de berekening van de grootte van de afvoerbare neerslag kan uit drie methoden worden gekozen:

- de "Coefficient Method" (CM)
- de "Soil Conservation Service (SCS) Curve Number Technique"
- een combinatie van CM en SCS.

Bij de "Coefficient Method" wordt na specificatie van een jaargemiddelde afvoercoëfficiënt voor zowel verharde als onverharde oppervlakken met behulp van de verhouding tussen verhard en onverhard oppervlak één afvoercoëfficiënt voor het gehele gebied berekend. Deze afvoercoëfficiënt wordt vervolgens gebruikt om voor iedere regenbui de af te voeren hoeveelheid water die de interceptie overschrijdt te berekenen. Er wordt daarbij dus geen rekening gehouden met regen en/of bodemkarakteristieken. Hoewel deze methode wellicht een vrij onnauwkeurige afvoerkromme berekent voor afzonderlijke regenbuien, wordt de af te voeren hoeveelheid water na kalibratie in het algemeen voldoende nauwkeurig geschat. De afvoercoëfficiënt voor het verharde oppervlak is de meest gevoelige parameter bij deze methode en dient nauwkeurig te worden bepaald (lit. 12).

De "Soil Conservation Service Curve Number Technique" of SCS-methode maakt gebruik van een empirische relatie om de grootte van de afvoer te relateren aan de hoeveelheid neerslag. Deze relatie is uiteraard afhankelijk van de bodemgesteldheid en de vochtigheidstoestand in de bodem tengevolge van voorgaande neerslag. Het model berekent de berging in de bodem die aan het begin van iedere regenbui beschikbaar is, uitgaande van gegevens omtrent interceptie, percolatie en de tijdschaal waarop de berging in de bodem na een regenbui weer ter beschikking staat. De meest gevoelige parameter bij deze methode is de maximale opnamecapaciteit van de bodem (lit. 12).

Het is tevens mogelijk bij toepassing van het STORM-model te kiezen voor een combinatie van twee genoemde methoden. In dat geval wordt de "Coefficient Method" voor verharde en de SCS-methode voor onverharde oppervlakken binnen het stroomgebied gehanteerd.

Naast kennis omtrent de afvoer tijdens en na een periode van regenval is het belangrijk een schatting te maken van de afvoer die niet afkomstig is van regenval. Met name in droge perioden kan deze afvalwaterproduktie, die ook wel droogweerafvoer wordt genoemd, een belangrijke vervuiling betekenen voor het ontvangende water. Met het STORM-model kan de droogweerafvoer op 4 verschillende wijzen (afhankelijk van de beschikbare gegevens) worden berekend (fig. 11, 12).

De beschreven methoden ter bepaling van de afvoer tengevolge van neerslag houden (nog) geen rekening met de tijd die het afgevoerde regenwater nodig

heeft om het waarnemingspunt te bereiken. Bij beschouwing van niet-stedelijke gebieden, gebieden met relatief groot oppervlak of gerioleerde gebieden met niet volledig gevulde leidingsystemen is het uiteraard noodzakelijk met deze looptijd rekening te houden. Deze tijd is uiteraard voor ieder punt binnen het beschouwde stroomgebied verschillend. Als wordt aangenomen dat de looptijd onafhankelijk is van de neerslagintensiteit, kan de zogenaamde koncentratietijd worden gedefinieerd als de tijd die vanaf het begin van de neerslag verstrijkt tot het totale stroomgebied bijdraagt tot de afvoer op het waarnemingspunt.

Het STORM-model biedt de mogelijkheid dit looptijdeffekt in rekening te brengen. Uitgangspunt daarbij is de "Soil Conservation Service triangular unit hydrograph" die voor twee verschillende stroomgebieden is weergegeven in figuur 13.

Daarbij zijn de gebruikte tijdschalen gedefinieerd als:

T_p = tijd tot het bereiken van de maximale afvoer

T_R = tijd na het bereiken van de maximale afvoer

T_c = een karakteristieke looptijd voor het beschouwde stroomgebied.

De relatie tussen de tijdschalen T_p en T_c wordt bij de SCS-unit hydrograph gedefinieerd als

$$T_p = 0,5 + 0,6 T_c .$$

Bij het STORM-model moeten de tijdschaal T_p en de verhouding

$$T_R/T_p$$

worden opgegeven ter karakterisering van de unit-hydrograph. Vermeld wordt dat de verhouding T_R/T_p kan variëren van 1,2 in sterk hellende verharde gebieden tot 3,3 in vlakke onverharde gebieden (zie ook fig. 13).

3.2.3 Berekening van de kwaliteit van de afvoer

3.2.3.1 Kwaliteit van de oppervlakte-afvoer

Zoals reeds in de inleiding werd beschreven, worden door het STORM-model zes belangrijke waterkwaliteitsparameters berekend:

- opgeloste stoffen
- zwevende stoffen
- chemisch en biochemisch zuurstofverbruik
- totaal stikstof

- orthofosfaat
- totaal coli-bacteriën.

Het STORM-model kan de belasting aan verontreinigende stoffen op twee verschillende manieren berekenen:

- De eerste methode is de zogenaamde "dust and dirt"-methode, waarbij verondersteld wordt dat de verontreiniging afkomstig van een bepaald gebied dezelfde samenstelling heeft als het straatvuil. Een onderzoek naar de samenstelling van het straatvuil in Chicago (lit. 9) heeft aangetoond dat dit stof en vuil de belangrijkste fraktie vormt, met uitzondering van de herfstperiode waarin organisch materiaal het hoofdbestanddeel is. Het zal duidelijk zijn dat deze methode slechts gebruikt kan worden voor stedelijke gebieden. De berekening van de kwaliteit van de afgevoerde neerslag met behulp van de "dust and dirt"-methode is in feite een voortdurende beschouwing van toe- en afvoer van stof en vuil binnen het beschouwde gebied. De fraktie van deze verontreinigingen die uiteindelijk in het riool en eventueel de zuiveringsinstallaties of het ontvangende water terechtkomt hangt onder andere af van factoren als
 - de intensiteit van de neerslag
 - de fraktie van de neerslag die wordt afgevoerd
 - frekwentie en efficiëntie waarmee straten worden gereinigd
 - de hoeveelheid stof en vuil die binnen het stroomgebied akkumuleert.Het STORM-model heeft de mogelijkheid één en ander, afhankelijk van de hoeveelheid informatie die beschikbaar is, met behulp van opties bij de berekeningen te betrekken.
- De tweede methode om de belasting aan verontreinigende stoffen te berekenen is de zogenaamde "daily pollutant accumulation"-methode. Deze methode moet worden gebruikt voor stroomgebieden met een overwegend niet-stedelijk karakter. Bij deze methode behoeft slechts de gemiddelde dagelijkse belasting voor iedere waterkwaliteitsparameter te worden opgegeven.

3.2.3.2 Kwaliteit van de droogweerafvoer

De droogweerafvoer biedt de gebruiker van het STORM-model de mogelijkheid het afvalwater van industriële en huishoudelijke herkomst bij de beschouwingen te betrekken. De specifieke eigenschappen van de industrie of bebouwing kunnen op eenvoudige wijze verdisconteerd worden in de omvang en samenstelling van de afvalwaterproduktie.

Bij beschouwing van de droogweerafvoer worden dezelfde waterkwaliteitsparameters in ogenschouw genomen als bij de oppervlakte-afvoer. Voor de berekening kan gebruik gemaakt worden van 4 opties in het STORM-model, met dien verstande dat voor berekening van zowel kwaliteit als kwantiteit dezelfde optie moet worden gebruikt. De keuze van de te hanteren optie hangt af van de beschikbare informatie. De opties variëren van het gebruik van prototypegegevens tot de zogenaamde "default"-waarden die bij een totaal gebrek aan gegevens kunnen worden gebruikt.

3.2.4 Relatie berging, zuivering en overstort

Het STORM-model berekent de afvoer tengevolge van neerslag uitgaande van een afvoercoëfficiënt en de effectieve neerslag. De berekeningen worden uitgevoerd over perioden van één uur. Voordat afvoer van regenwater kan plaatsvinden, moet eerst de beschikbare berging in de bodem worden overschreden. De grootte van deze berging is onder meer een functie van de neerslag en verdamping in voorafgaande perioden. Als afvoer van neerslag (evt. incl. droogweerafvoer) plaatsvindt, vergelijkt het model deze hoeveelheid met de capaciteit van eventuele zuiveringsinstallaties. Is de afvoer geringer dan de maximale zuiveringscapaciteit, dan wordt de totale afvoer via de zuiveringsinstallatie(s) op het oppervlaktewater geloosd en blijft de bergingscapaciteit in het riool voor 100% beschikbaar.

Overschrijdt de afvoer de maximale zuiveringscapaciteit dan komt het overtollige water in de berging terecht; wordt bovendien de bergingscapaciteit van het riool overschreden dan vindt overstort plaats waarbij het overtollige water buiten de zuiveringsinstallaties om op het oppervlaktewater wordt geloosd.

Wanneer de afvoer na verloop van tijd weer vermindert en geringer wordt dan de maximale zuiveringscapaciteit, vindt voor zover mogelijk aanvulling vanuit de (riool)berging plaats. Perioden zonder neerslag worden onder andere gebruikt voor het weer op peil brengen van de bergingscapaciteit in de bodem en in het rioolwatersysteem.

De beschreven bepaling van de berging in het rioolwatersysteem en interactie van regenval, berging, zuivering en overstort is gekozen om in een tijdreeks met neerslaggegevens een aantal op zichzelf staande "gebeurtenissen" te kunnen onderscheiden, waarbij iedere gebeurtenis volledig wordt bepaald door de karakteristieke eigenschappen van het verstedelijkte gebied.

Of twee buien als twee afzonderlijke gebeurtenissen of als één grote bui kun-

nen worden beschouwd hangt immers volledig af van de wijze waarop het systeem op deze bui(en) reageert. Is het systeem bij aanvang van de tweede bui nog niet hersteld van de eerste, dan moeten deze buien als één gebeurtenis worden beschouwd. Een gebeurtenis wordt in dit verband dan ook gedefinieerd als de tijd waarin (kontinu) gebruik wordt gemaakt van de bergingskapaciteit in het rioolwatersysteem. Dit houdt in dat indien de afvoer (incl. de droogweerafvoer) de zuiveringskapaciteit niet overschrijdt geen "gebeurtenissen" plaatsvinden. Voor het rioolwatersysteem betekent dit dat de neerslag in de desbetreffende periode geen gevolgen heeft voor de bergingskapaciteit in het rioolwatersysteem.

Belangrijk is dat het STORM-model ervan uitgaat dat gedurende de berging in het rioolwatersysteem geen afbraakprocessen plaatsvinden en dat de zuiveringsinstallaties de aanwezige verontreinigingen voor 100% verwijderen. Bekend is echter dat een zuiveringsinstallatie een effectiviteit heeft die veel kleiner kan zijn dan 100% en die bovendien verschilt per waterkwaliteitsparameter. Zo varieert de BOD-zuiveringseffectiviteit van ongeveer 40% voor mechanische tot 90% voor biologisch oxydatieve zuivering.

Door deze veronderstellingen in het STORM-model worden de kosten van zuivering onderschat. Aan de andere kant veronderstelt het STORM-model geen afbraak van verontreinigingen gedurende de berging in het rioolwatersysteem, terwijl dit in de praktijksituatie zeker een rol speelt.

Ondanks de veronderstellingen in het STORM-model is het toch mogelijk met behulp van dit model uitspraken te doen over rioolwatersystemen met een zuiveringseffectiviteit kleiner dan 100% en een zekere afbraak in de berging. Door Heaney (lit. 10, 11) wordt een aanpak voorgesteld waarbij met behulp van het STORM-model zogenaamde isoquanten worden berekend. Dergelijke isoquanten geven combinaties van bergingskapaciteit en zuiveringskapaciteit in het rioolwatersysteem aan, waarbij een gelijk percentage van de afvoer of afvalwater worden behandeld.

De bergings- respektievelijk zuiveringskapaciteit die daarbij wordt gehanteerd, is gekorrigeerd voor afbraakprocessen gedurende de berging respektievelijk de effectiviteit van de zuivering.

3.2.5 Resultaten

De resultaten van het STORM-model kunnen in twee hoofdgroepen worden ingedeeld:

- Statistische informatie betreffende de kwantiteit en de kwaliteit van de afvoer tengevolge van neerslag
- Grafische informatie, zoals de zogenaamde belastingskrommen of "polluto-graphs" en de kumulatieve frekwentiecurve van het gebruik van de bergingskapaciteit (fig. 14).

De statistische informatie, zoals de jaargemiddelde afvoer, vuillast, overstort en belasting tengevolge van overstort, kan gebruikt worden bij het bepalen van de bergings- en zuiveringskapaciteit die noodzakelijk is voor het verwerken van de neerslag in een bepaald gebied.

De zogenaamde belastingskrommen kunnen direkt gebruikt worden in een waterkwaliteitsmodel van het ontvangende water. Met behulp van de verkregen resultaten wordt inzicht verkregen in de afvalwaterproduktie van een bepaald gebied. De resultaten kunnen tevens gebruikt worden voor het onderbouwen van de dimensionering van bergings- en zuiveringskapaciteiten ter regulering van zowel de waterkwantiteit als de kwaliteit.

Een toepassingsmogelijkheid van het STORM-model is met name gelegen in het beschouwen van een aantal alternatieven (zoals grotere bergings- en/of zuiveringskapaciteit) voor het verminderen van de intensiteit en de frekwentie van overstort tot een gewenst niveau.

4 Samenvatting, konklusies en aanbevelingen

Het STORM-model is een dynamisch model waarmee zowel de kwantiteit als de kwaliteit van afvoer (t.g.v. neerslag) en afvalwater (huishoudelijk, industrieel) van een bepaald stroomgebied kan worden beschouwd.

Het model beschouwt een rioolwatersysteem aan de hand van een reeks neerslaggegevens in een gebied gedurende een bepaalde periode. Uitgaande van de neerslaggegevens kan op een aantal manieren de kwantiteit en de kwaliteit van de afvoer worden berekend die naar de bergings- en zuiveringskapaciteiten wordt geleid, of bij onvoldoende capaciteit ongezuiverd op het oppervlaktewater wordt geloosd. Voor beschouwing van een rioolwatersysteem is het met name belangrijk dat deze overstort nader worden geanalyseerd. Zowel het aantal overstortingen als de kwantiteit en kwaliteit van het overstortwater zijn functies van het hydrologische karakter van het stroomgebied, het soort bebouwing, de bergingskapaciteit en de zuiveringskapaciteit.

Eén van de methoden om bovengenomede relaties te kwantificeren is het STORM-model. Het model kan daarom een belangrijk hulpmiddel zijn bij de evaluatie van bestaande en de dimensionering van toekomstige zuiverings- en/of bergingskapaciteiten, bijvoorbeeld mede in relatie tot de functies van het ontvangend oppervlaktewater en de daaraan verbonden kwaliteitseisen.

Alhoewel het model op eenvoudige wijze de kwantiteit en de kwaliteit van de afvoer tengevolge van neerslag bepaalt, is de nauwkeurigheid voor gekalibreerde situaties in het algemeen vrij groot. Het is daarom van het grootste belang dat voor de kalibratie van het model gegevens worden gebruikt van het te beschouwen stroomgebied. Naarmate de kalibratiefase uitgebreider kan worden uitgevoerd, kunnen de meest gevoelige parameters in het model nauwkeuriger worden bepaald (lit. 12).

Gezien de goede resultaten die reeds zijn verkregen, de relatieve eenvoud en doorzichtigheid van het model en de geplande uitbreidingen van dit model in de nabije toekomst (kostenaspecten, zuiveringsrendementen e.d.) kan het STORM-model als een bruikbaar hulpmiddel worden beschouwd voor het onderbouwen, ontwerpen en verbeteren van rioolwatersystemen in het kader van een verantwoord waterkwaliteitsbeheer, waarbij het voldoen aan de eisen die aan de kwaliteit van het ontvangende water gesteld zijn, centraal staat.

Omdat het STORM-model op dit moment slechts is gekalibreerd en toegepast op buitenlandse rioolwatersystemen, is het gewenst de waarde van dit model voor de Nederlandse situatie nader te onderzoeken.

LITERATUUR

- 1 SEGEREN, W.A.
Verstedelijking en waterhuishouding.
H₂O (10) 1977, nr. 17, pp 380-382.
- 2 FLACH, H.J. en SCHABBING, W.
Regenrückhaltebecken bei der abwassertechnischen Ersliessung und
Sanierung von Stadtgebieten, Wasser und Boden (9), 1978, pp 236-238.
- 3 KRAIJENHOFF v.d. LEUR, D.A.
Hoe lozen steden hun regenwater op omliggende gebieden?
Waterschapsbelangen (12), 1978, p. 285.
- 4 KOOT, A.C.J.
Inzameling en transport van rioolwater.
Uitgeverij Waltman, Delft, 1977.
- 5 BERG, J.A. v.d., VEN, G.A.
Kwantitatieve aspecten van de afvoer van regenwater in stedelijke
gebieden.
H₂O (10), 1977, nr. 9, pp 200-203.
- 6 WIGGERS, J.B.M.
Hoe beïnvloeden rioolwatersystemen de vervuiling van het oppervlakte-
water?
H₂O (10) 1977, nr. 17, pp. 387-391.
- 7 HEC.
STORM - Users manual - 1976.
HEC, US Army Corps of Engineers - Program 723-S8-L7520.
- 8 HEC.
Guidelines for calibration and application of STORM - 1977.
HEC, US Army Corps of Engineers - Program 723-S8-L7520.
- 9 APWA.
Water pollution aspects of urban runoff.
WPCR-series, no. WP-20-15, Jan. 1969.

LITERATUUR (vervolg)

- 10 HEANEY, P.J., NIX, J., MURPHY, M.P.
Storage/Treatment mixes for stormwater control.
Journ. Env. Eng. Div., Aug. 1978, pp 581-592.
- 11 DiTORO, D.M.
Statistical design of equalization basins.
Journ. Env. Eng. Div., Dec. 1975, pp 917-932.
- 12 SAUTIER, W.L., DELLEUR, W.J.
Calibration and sensitivity analysis of the continuous
runoff simulation model "STORM".
Purdue University, Water Resources Research Center,
West Lafayette, Indiana, IGR no. 144, Aug. 1978.

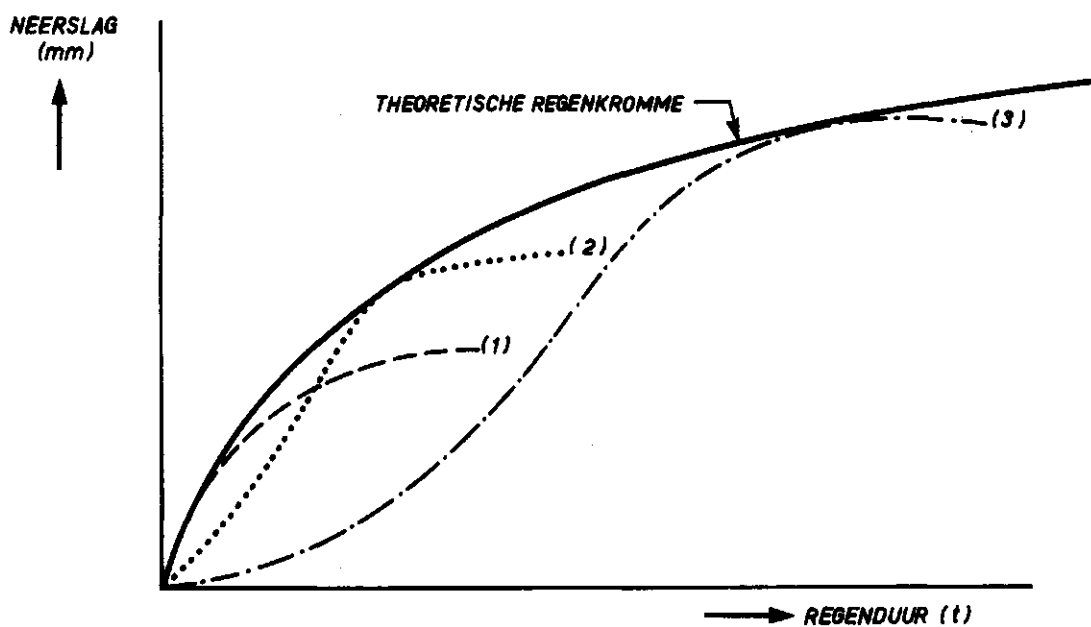


FIG. 1 PLUVIOGRAM VAN 3 VERSCHILLENDE BUIEN

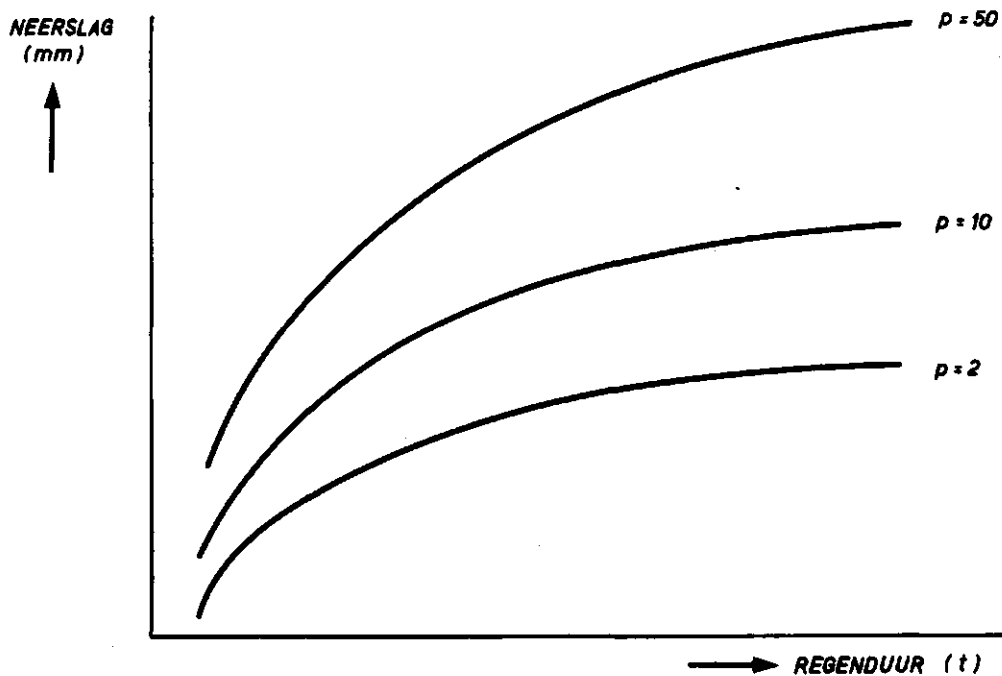


FIG. 2 THEORETISCHE REGENKROMMEN MET HERHALINGSTIJD p

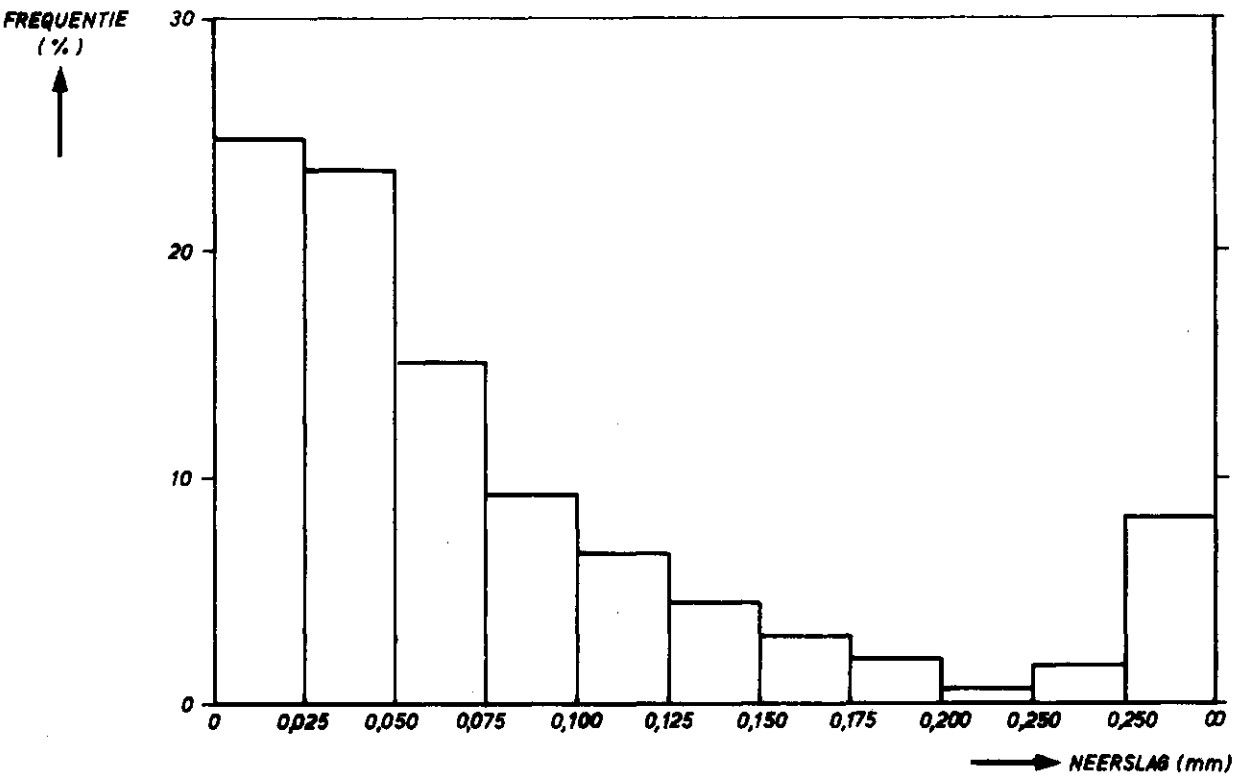
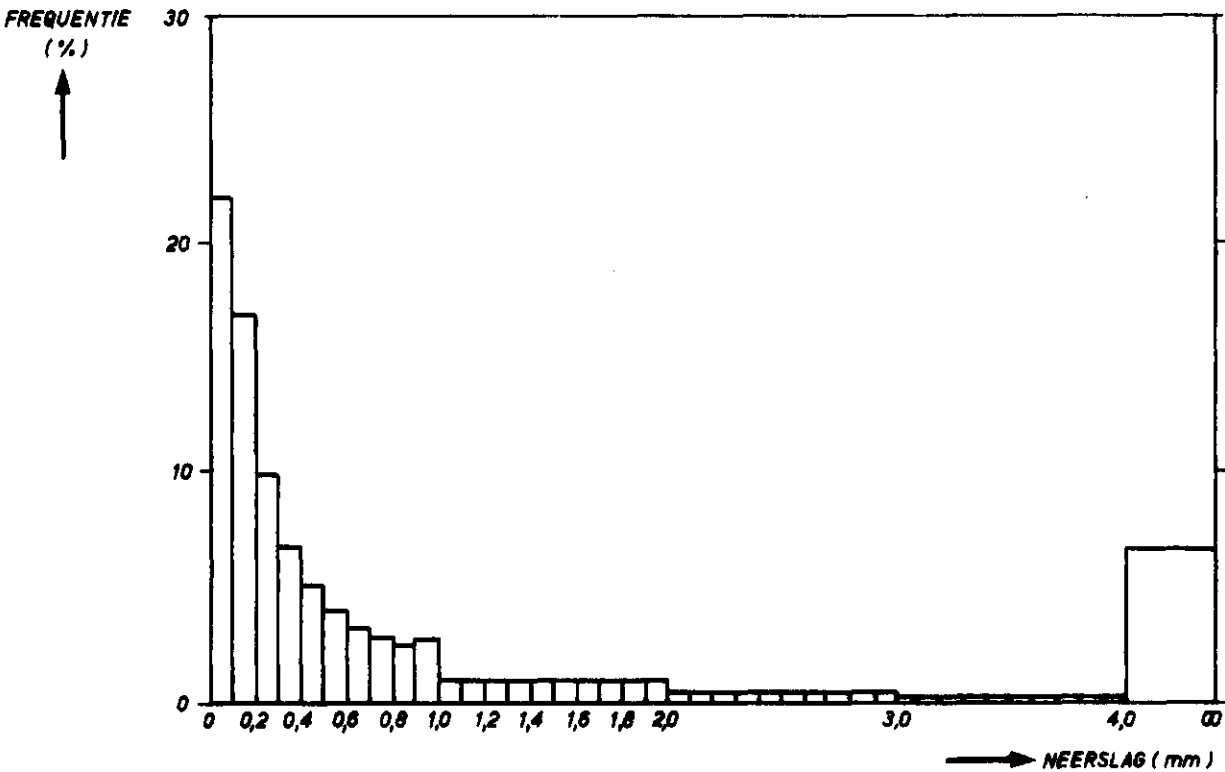


FIG. 3 FREQUENTIEVERDELING VAN DE NEERSLAG PER 5 minuten



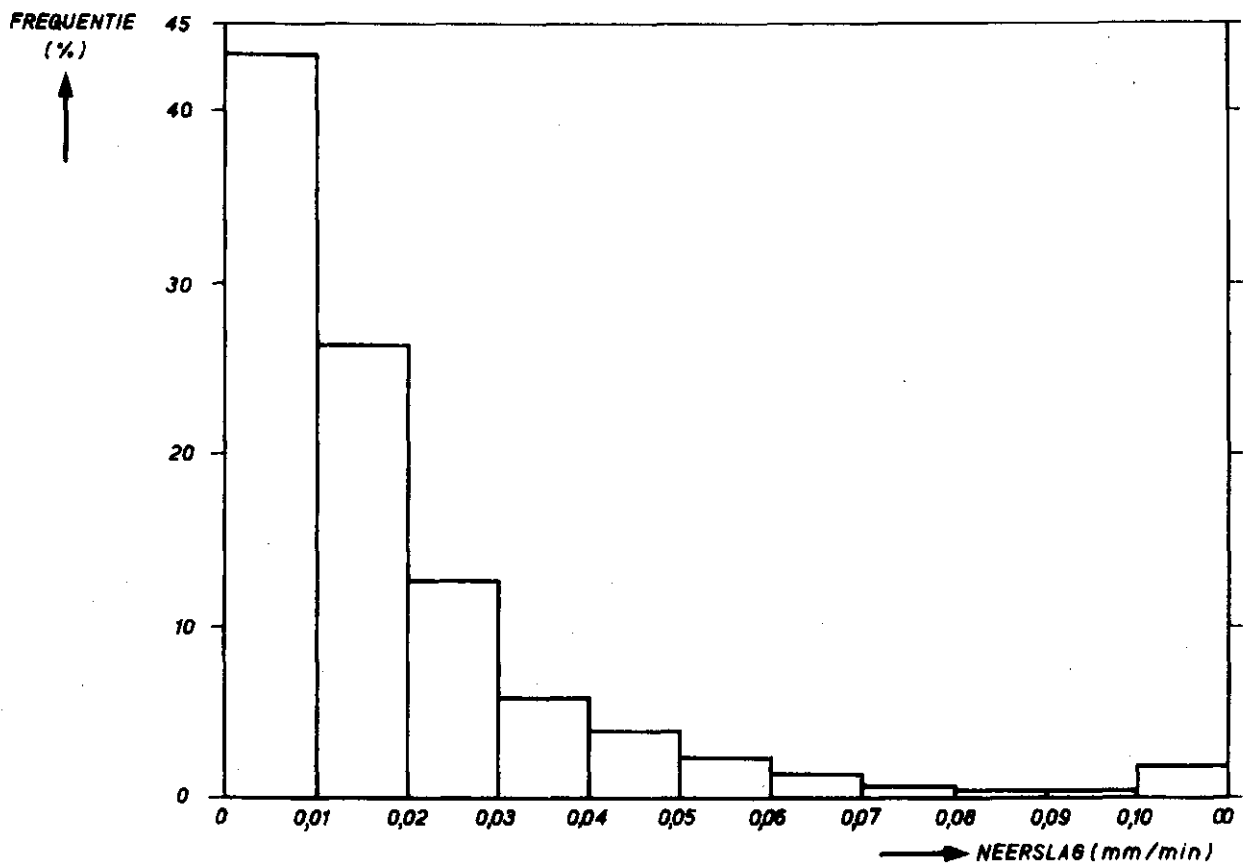


FIG. 5 FREQUENTIEVERDELING VAN DE GEMIDDELDE INTENSITEIT PER BUI

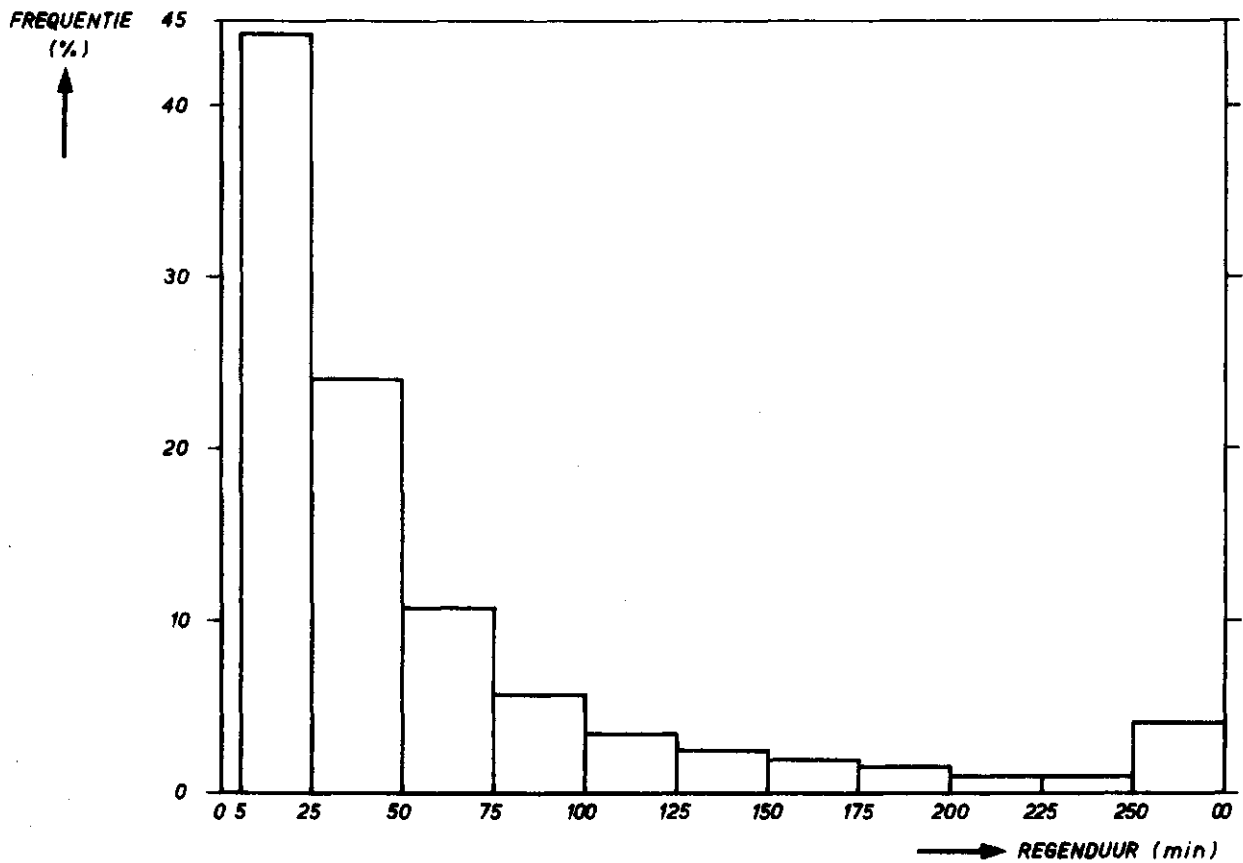
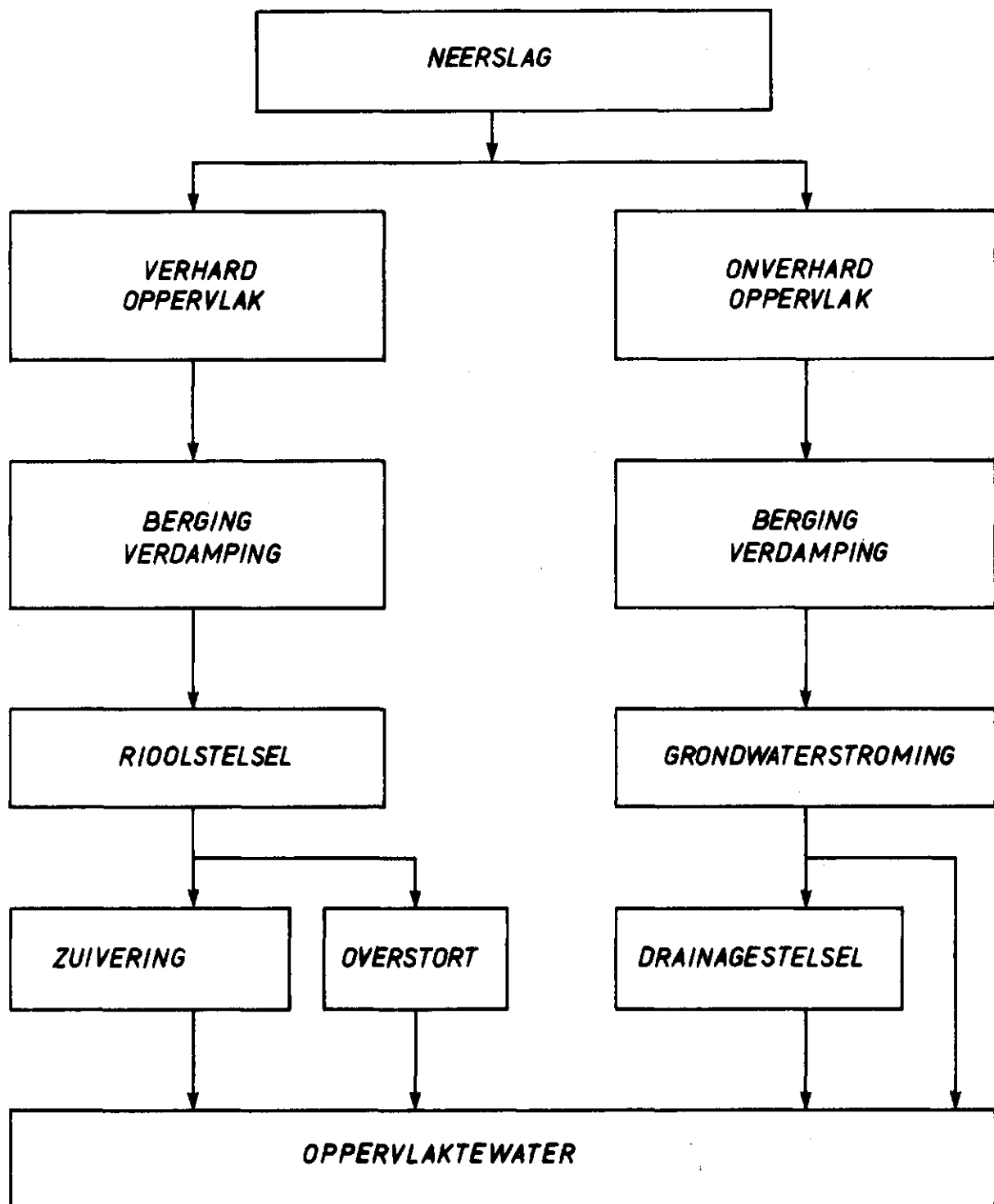


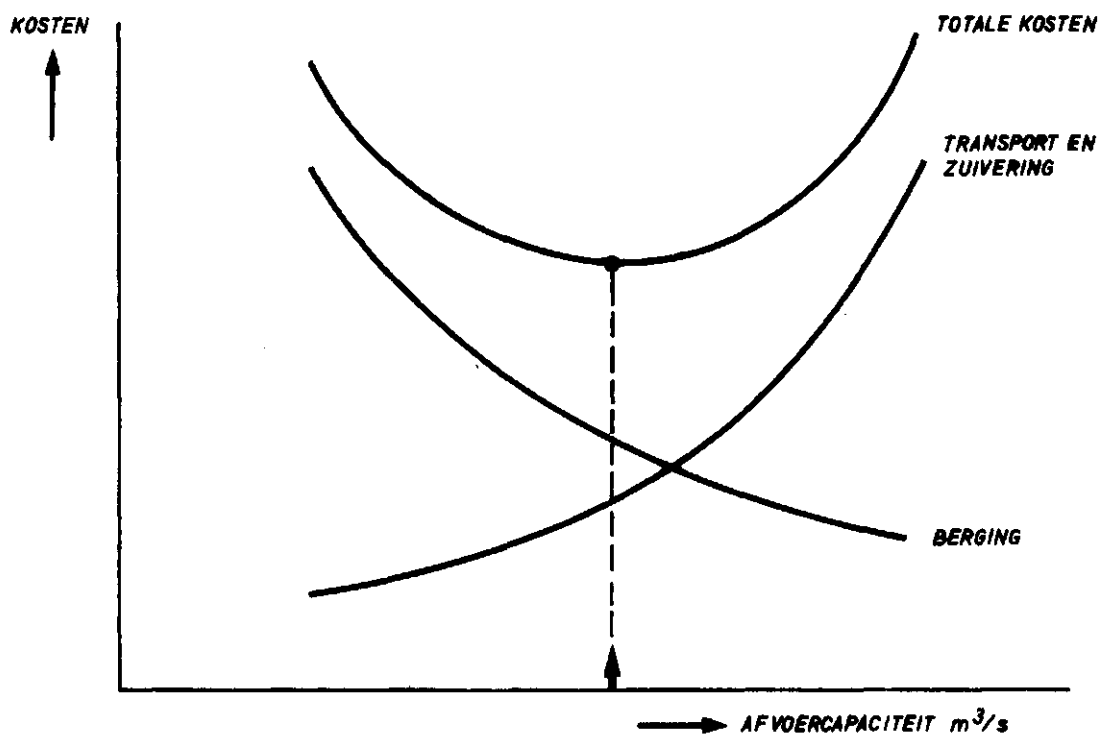
FIG. 6 FREQUENTIEVERDELING PER BUI



AFVOER VAN NEERSLAG VANAF VERHARDE EN ONVERHARDE OPPERVLAKKEN NAAR HET OPPERVLAKEWATER

cb

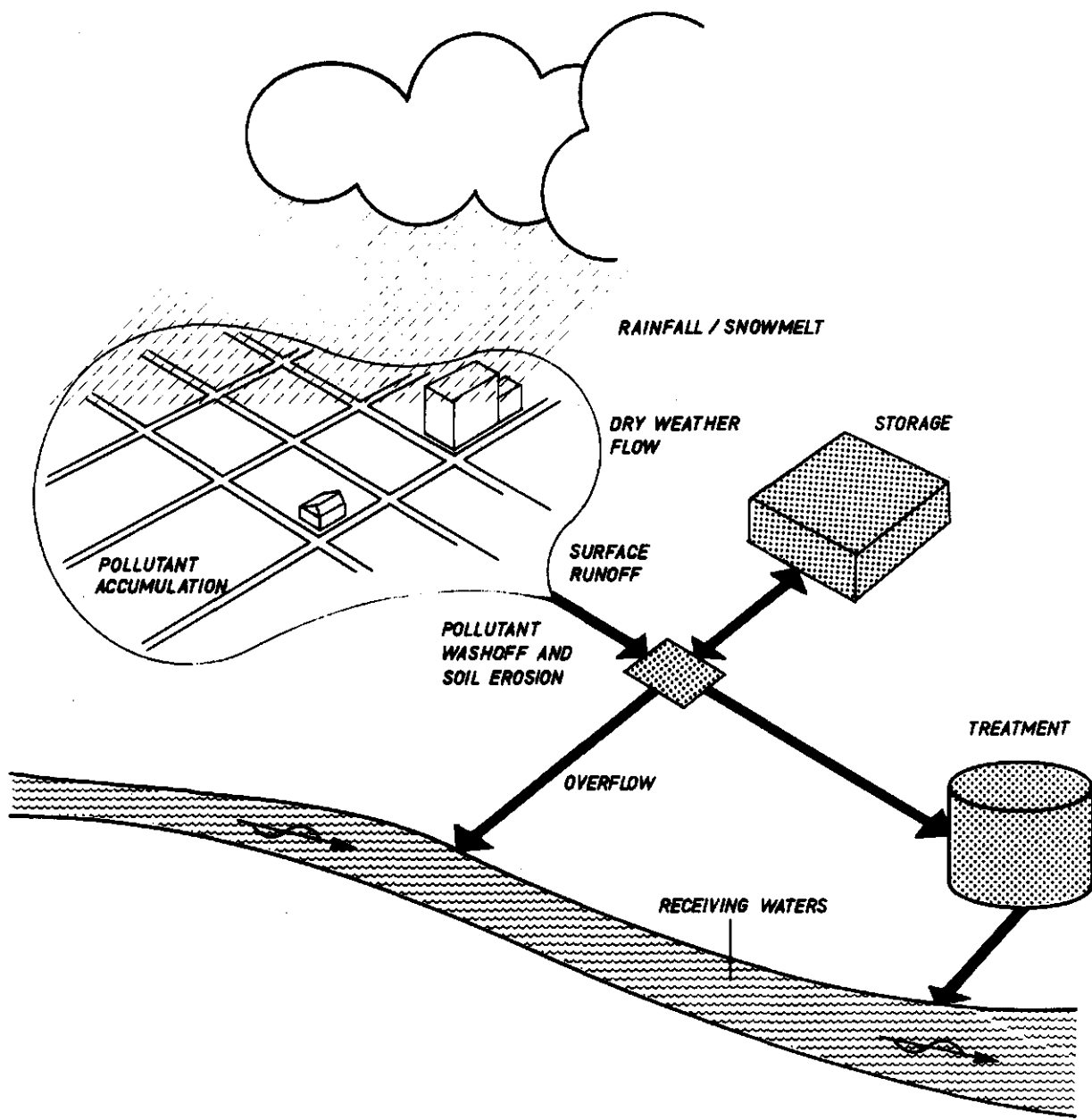
A4



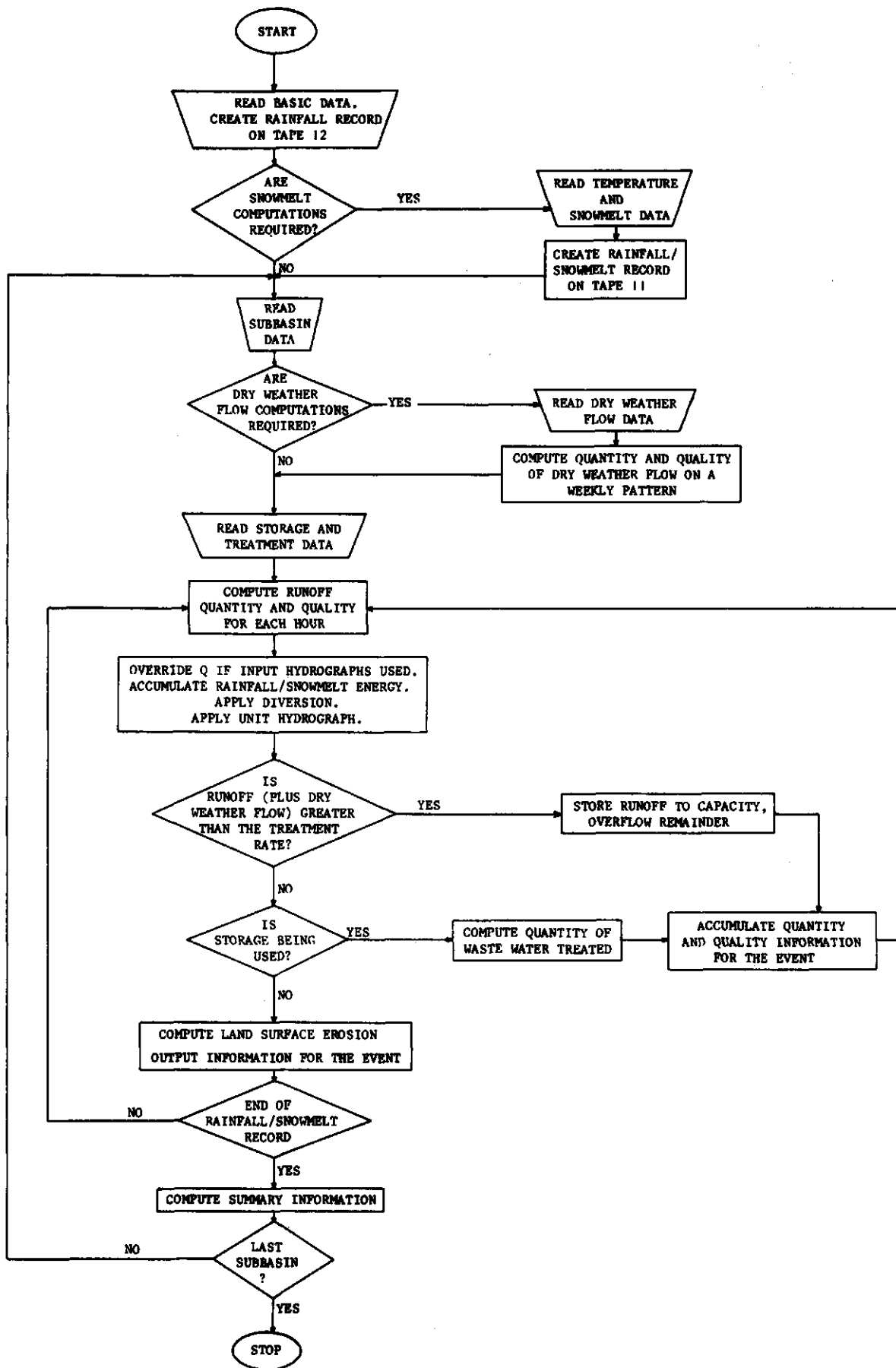
JAARLIJKSE KOSTEN ALS FUNCTIE VAN DE
AFVOERCAPACITEIT VAN EEN RIOOLSTELSEL

cb

A4



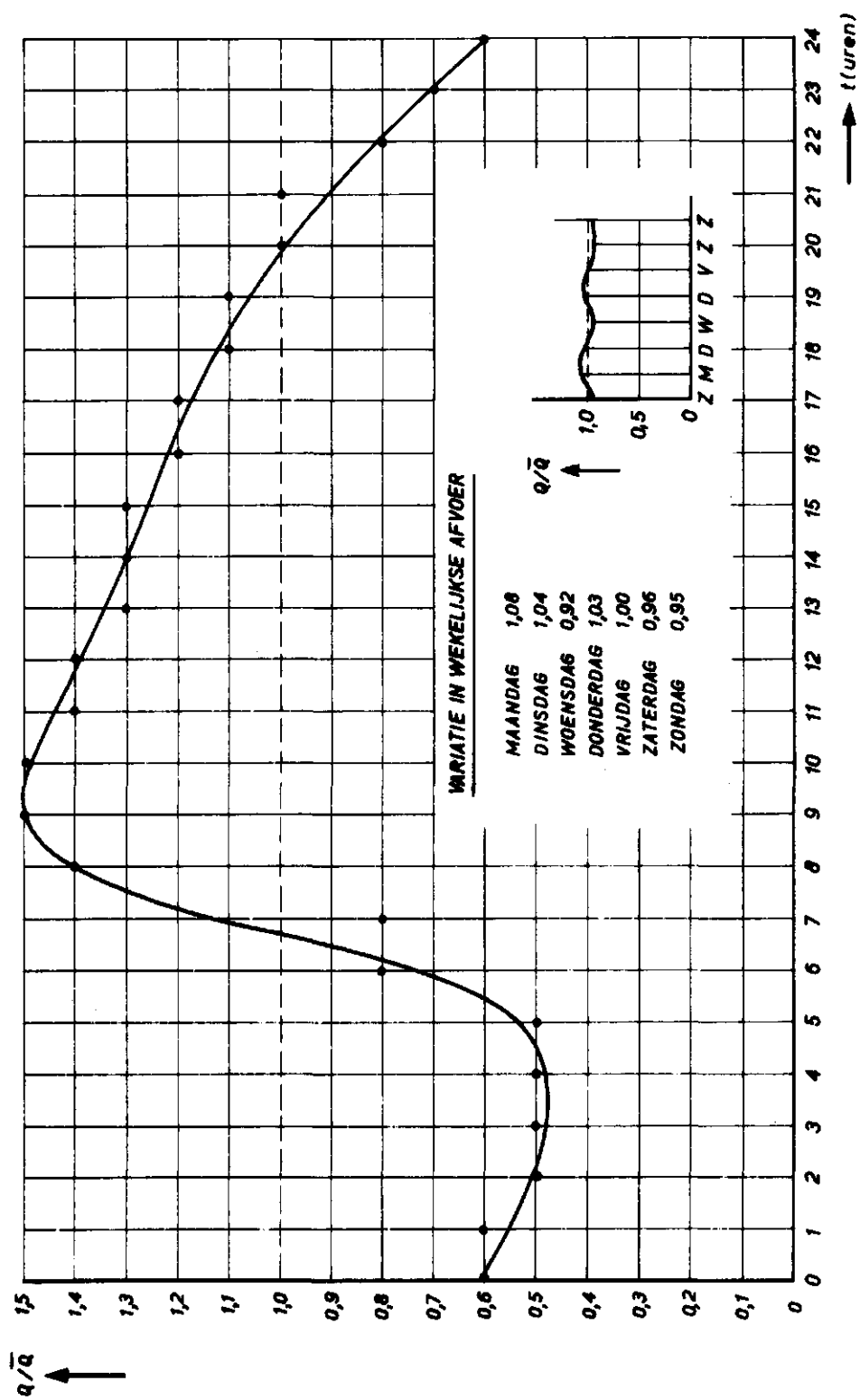
MAJOR PROCESSES MODELLED BY STORM



STORM COMPUTATION PROCEDURE

cd

A4



VARIATIE VAN DE DAGELIJKSE DROOGWEERAFFVOER

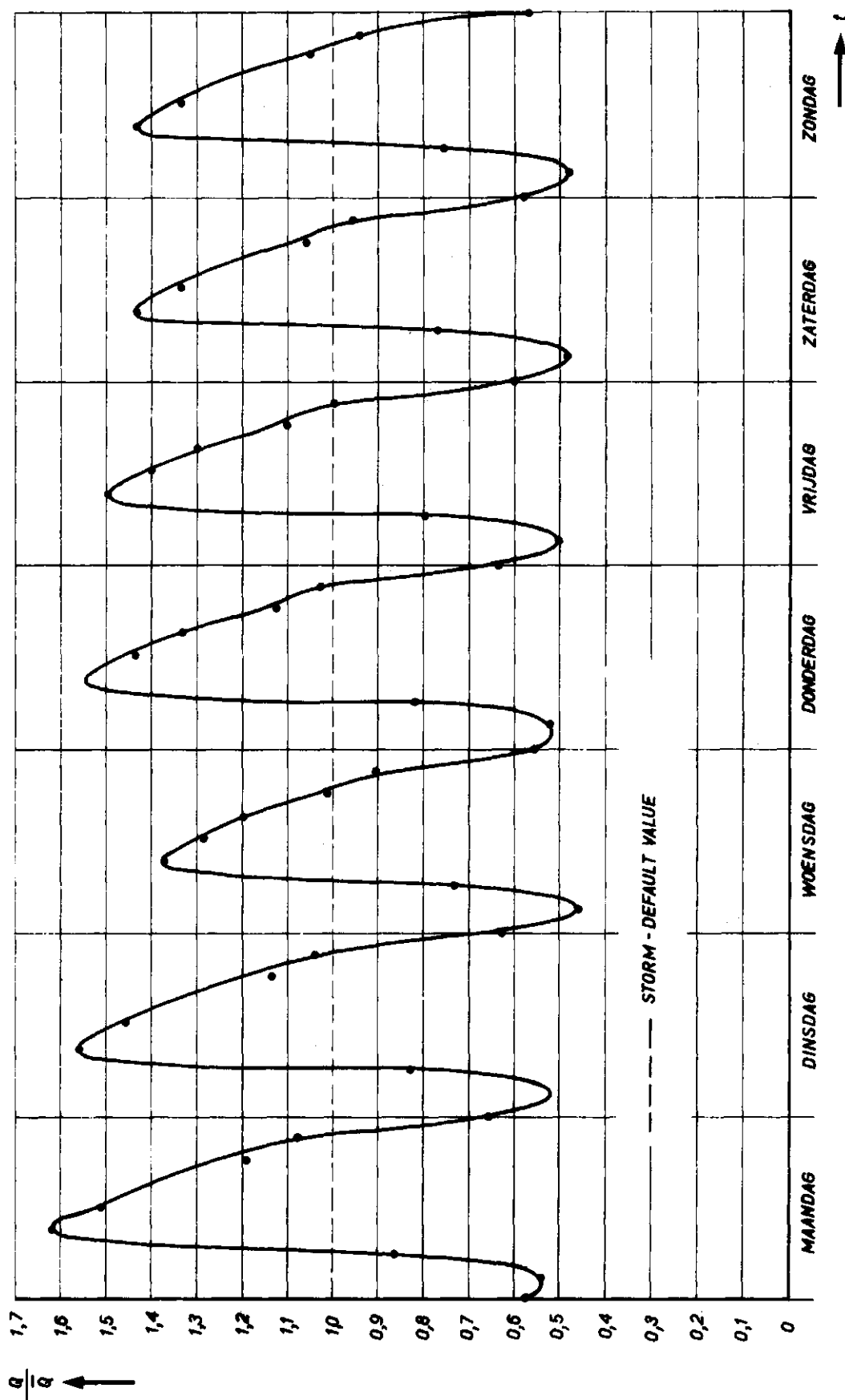
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

S 415-I-1008

FIG.11

cb

A4



VARIATIE VAN DE WEKELIJKSE DROOGWEERAfVOER

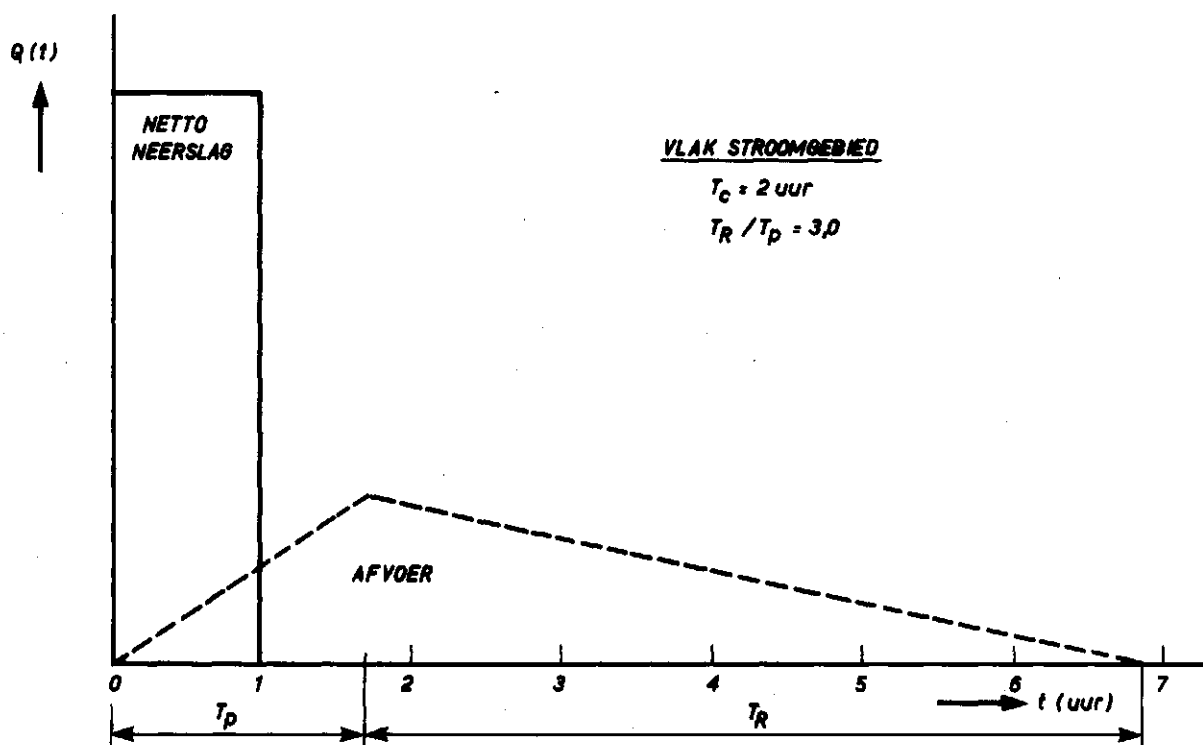
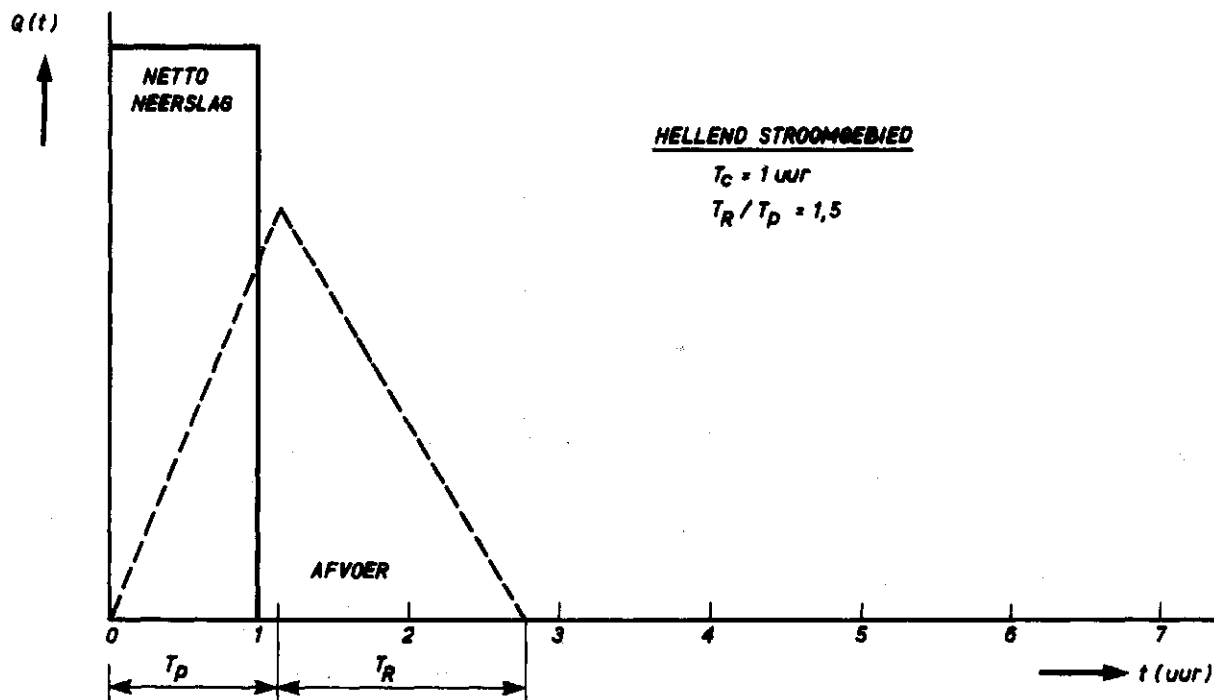
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

S 415-I-1009

FIG.12

cb

A4



DE UNIT-HYDROGRAPH IN EEN HELLEND EN
EEN VLAKE STROOMGEBIED

cb

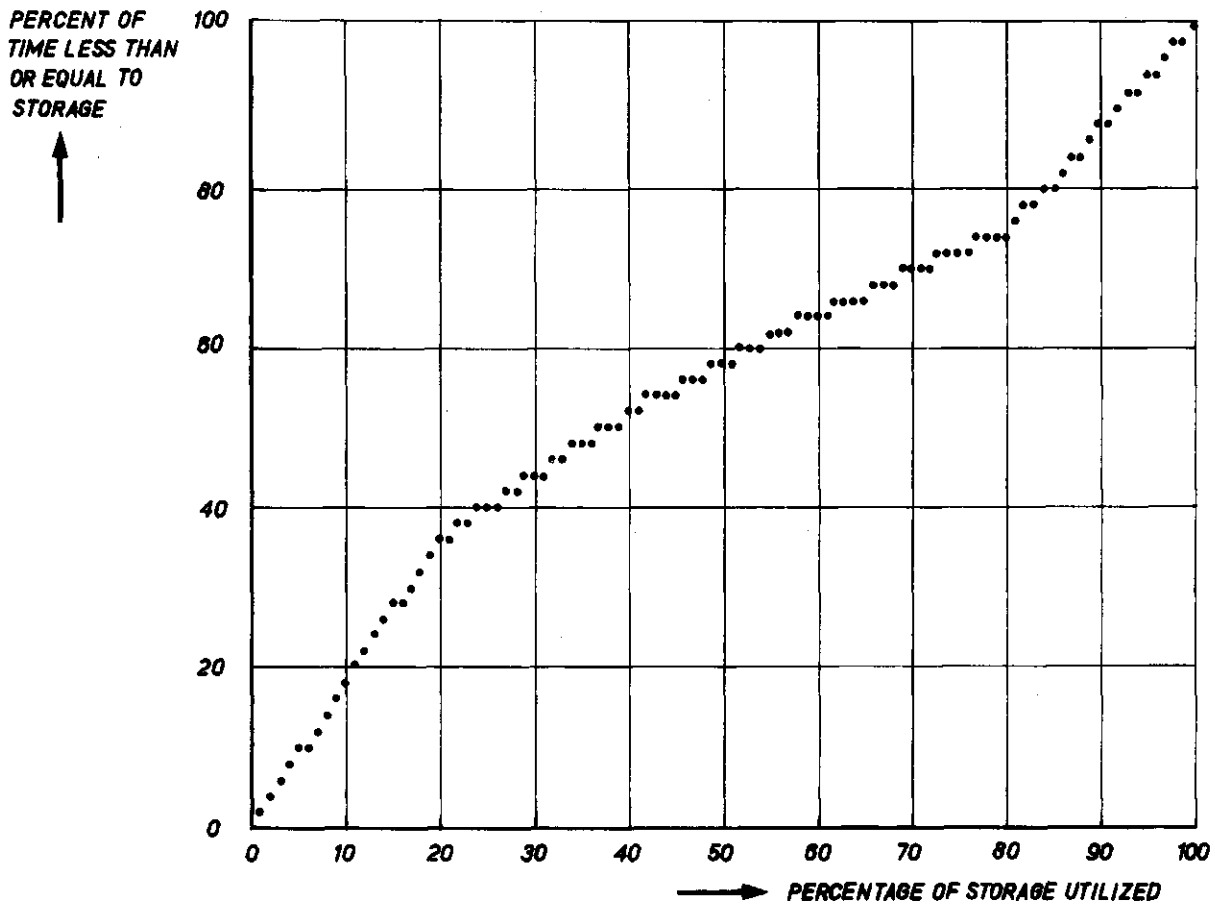
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

S 415-I - 1010

FIG.13

NORMALIZED STORAGE UTILIZATION CURVE



TREATMENT RATE = 0.01 in./hr.
 STORAGE CAPACITY = 0.05 inches
 QUANTITY ANALYSIS
 CASTRO VALLEY, CALIFORNIA

HET GEBRUIK VAN DE BERGINGSCAPACITEIT

cb

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

S 415-I-1011

FIG. 14