

KWALITATIEVE EN KWANTITATIEVE ASPECTEN
VAN DE AFVOER VAN STEDELIJKE GEBIEDEN,
CALIBRATIE STORM-MODEL

Nota 45

J.D. Leenen

S. Groot

L.H., Hydraulica en Afvoerhydrologie, projectnr. 80-121

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

INHOUD

Lijst van figuren

	blz.
<u>1</u> <u>Inleiding</u>	
1.1 Probleemstelling en achtergronden	1
1.2 Doelstelling.	1
1.3 Opbouw rapport.	2
<u>2</u> <u>Het STORM-model</u>	
2.1 Algemeen.	3
2.2 Beschrijving van het STORM-model.	3
2.2.1 Achtergrond	3
2.2.2 Berekening van de afvoer.	4
2.2.3 Berekening van de kwaliteit van de afvoer	6
2.2.4 Relatie berging, zuivering en overstort	7
2.2.5 Resultaten.	9
<u>3</u> <u>Het beschouwde stroomgebied</u>	11
<u>4</u> <u>Methodologie van calibreren</u>	
4.1 Algemeen.	13
4.2 De beschikbare calibratiemethoden	13
<u>5</u> <u>Calibratie en verificatie van de kwantiteit voor Enschede</u>	
5.1 Beschikbare gegevens.	15
5.2 Uitvoering van de calibratie.	16
5.3 Resultaten van calibratie en verificatie.	17
<u>6</u> <u>Samenvatting, conclusies en aanbevelingen</u>	19

LITERATUUR

FIGUREN EN TABELLEN

Lijst van figuren

- 1 Overzicht van de elementen in STORM
- 2 Berekeningsprocedure van STORM
- 3 Variatie van de dagelijkse droogweerafvoer
- 4 Variatie van de wekelijkse droogweerafvoer
- 5 De unit-hydrograph in een hellend en in een vlak stroomgebied
- 6 Het gebruik van de bergingscapaciteit
- 7 Globaal overzicht van het rioolwatersysteem in Enschede-Noord
- 8 De volume-diepte relatie van het bergingsbassin aan de Roessinghbleekweg
- 9 De dagelijkse totale neerslag in 1976, 1977, 1978, Bamshoeve, Enschede
- 10 Optimalisatie met behulp van de concentratietijd T_c en de transportcapaciteit
- 11 Het gebruik van het bergingsbassin aan de Roessinghbleekweg, zoals berekend door STORM
- 12 Waargenomen neerslag op 30-9-1978 te Bamshoeve
- 13 De neerslag en het gemeten waterpeil in het bergingsbassin aan de Roessinghbleekweg ten gevolge van de neerslag op 30-9-1978

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling en achtergronden

Rioolwatersystemen hebben als doel het afvoeren van afvalwater en/of regenwater afkomstig van bebouwde gebieden en het voorkomen van wateroverlast tijdens regenbuien. Daarbij worden eisen gesteld aan het rioolstelsel met betrekking tot het aantal malen per jaar dat de regenintensiteit groter mag zijn dan de ontwerpcapaciteit en met betrekking tot de overstortfrequentie van gemengde rioolstelsels.

Voor de belasting van het oppervlaktewater via overstorten zijn slechts richtlijnen gesteld.

Door middel van simulatietechnieken kan een beeld worden verkregen van de afvalwaterbelasting van het oppervlaktewater door een bestaand of gepland rioolwatersysteem.

Eén van de simulatiemodellen voor een rioolwatersysteem, waarbij zowel de waterkwaliteit als kwantiteit van de afvoer ten gevolge van neerslag en afvalwaterproduktie wordt beschouwd, is het in de Verenigde Staten ontwikkelde model STORM (Storage, Treatment, Overflow, Runoff, Model). Na een oriënterende beschouwing van STORM tijdens de eerste fase van dit onderzoek [1], werd geconcludeerd dat dit model als een bruikbaar hulpmiddel kan worden beschouwd voor het onderbouwen van ontwerp, verbeteringen en beheer van rioolwatersystemen. Omdat STORM tot op dit moment slechts gecalibreerd en toegepast was op buitenlandse rioolwatersystemen, is STORM in het onderhavige onderzoek gecalibreerd voor een Nederlands stroomgebied. Hiervoor is een gedeelte van het rioolwatersysteem van de stad Enschede gekozen.

In dit rapport worden de resultaten van de toepassing van STORM op de stad Enschede beschreven, voorafgegaan door enige algemene beschouwingen omtrent het gehanteerde model, het beschouwde stroomgebied en de methode van calibreren.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is het verkrijgen van kwantitatieve informatie omtrent het neerslagafvoer proces ter beoordeling van rioolwatersystemen met betrekking tot grootte, frequentie, gevolgen van vuilwaterlozingen enz.

Het uiteindelijke doel van dit onderzoek is het verkrijgen van een gekwantificeerd beeld van de gevolgen van de lozingen vanuit rioolwatersystemen op het oppervlaktewater, hetgeen mogelijk wordt door STORM te koppelen aan een waterkwaliteitsmodel, zoals het reeds bij het WL operationele model MODQUAL.

1.3 Opbouw rapport

In hoofdstuk 2 wordt allereerst een algemene beschouwing gewijd aan de opbouw van STORM.

In het derde hoofdstuk wordt vervolgens in meer detail het rioolwatersysteem van het beschouwde stroomgebied en de karakteristieke eigenschappen van onder andere neerslag en verdamping beschreven. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de methodologie van het calibreren terwijl het vijfde hoofdstuk de resultaten beschrijft van de toepassing van het STORM-model op het rioolwatersysteem van de stad Enschede, gevolgd door hoofdstuk 6 met samenvatting, conclusies en aanbevelingen.

Dit onderzoek is uitgevoerd door ir. J.D. Leenen, vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie, en ir. S. Groot van het Waterloopkundig Laboratorium, vestiging Wageningen.

Dank zijn wij verschuldigd aan ir. W. ten Heuvel van de gemeente Enschede, afd. Openbare Werken voor de toelevering van de meetgegevens en voor de stimulerende discussies voor en tijdens het onderzoek.

2 Het STORM-model

2.1 Algemeen

In de inleiding 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. Met behulp van deze modellen is kwantificering van grootte, frequentie en gevolgen van vuilozingen mogelijk en daarmee een betere beoordeling van rioolstelsels.

Eén van de mathematische modellen waarmee de vuillast kan worden gekwantificeerd is het door het Hydrologic Engineering Center, Californië (VS) ontwikkelde STORM-model, dat in dit hoofdstuk kort wordt beschreven. Voor uitvoerigere informatie omtrent STORM wordt verwezen naar de handleidingen [2,3]. Kwantificering van de gevolgen van deze lozingen voor het oppervlaktewater is mogelijk door STORM te koppelen aan een waterkwaliteitsmodel voor het oppervlaktewater, zoals het reeds bij het Waterloopkundig Laboratorium operationele model MODQUAL.

2.2 Beschrijving van het STORM-model

2.2.1 Achtergrond

Het "Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model" is een mathematisch model waarmee de afvoer van geheel of gedeeltelijk verstedelijkte stroomgebieden zowel kwalitatief als kwantitatief kan worden beschouwd. De resultaten die met het simulatie-model 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 (op dit moment) zes essentiële waterkwaliteitsparameters berekend, namelijk opgeloste stoffen, zwevende stoffen, biochemisch zuurstofverbruik, totaal stikstof, orthofosfaat

en totaal coli.

Het model beschouwt de interactie van zeven elementen van het neerslag-afvoer proces, te weten:

- neerslag (en eventueel sneeuwsmelt)
- afvoer
- droogweerafvoer of DWA (afvalwaterproduktie)
- berging(sbasins)
- zuivering(sinstallaties of RWZI's)
- afvalwaterbelasting door overstorten en uitspoeling van de bodem
- overstorten.

Een overzicht van deze mogelijkheden is weergegeven in figuur 1, terwijl een stroomschema van de berekeningsprocedure is weergegeven in figuur 2.

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 - overstort kort wordt besproken.

2.2.2 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 jaargemiddelde afvoercoëfficiënten voor zowel verharde als onverharde oppervlakken, met behulp van de verhouding tussen verhard en onverhard oppervlak één afvoercoëfficiënt voor het gebied bepaald. Deze afvoercoëfficiënt wordt vervolgens gebruikt om voor iedere regenbui de af te voeren hoeveelheid water, die niet in het gebied wordt vastgehouden, te berekenen. Er wordt daarbij dus geen rekening gehouden met regen en/of bodemkarakteristieken.

Hoewel met deze methode wellicht een vrij onnauwkeurig afvoerverloop wordt berekend voor afzonderlijke regenbuien, wordt de af te voeren hoeveelheid water na calibratie 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 [4].

De "Soil Conservation Service Curve Number Technique" of SCS-methode maakt gebruik van empirische relaties om de grootte van de afvoer te relateren aan de hoeveelheid neerslag. Deze relaties brengen de invloed van de bodemgesteldheid en de vochtigheid en de vochtigheidstoestand in de bodem ten gevolge van voorafgaande neerslag tot uitdrukking. 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 zich na een regenbui weer herstelt. De meest gevoelige parameter bij deze methode is de maximale opnamecapaciteit van de bodem [4].

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

Naast het verkrijgen van 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 afvalwaterproductie, die ook wel droogweerafvoer (DWA) wordt genoemd, een belangrijke vervuiling betekenen voor het ontvangende water. Met STORM kan de droogweerafvoer op 4 verschillende wijzen (afhankelijk van de beschikbare gegevens) worden berekend (fig. 3,4).

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 concentratietijd worden gedefinieerd als de tijd die vanaf het begin van de neerslag verstrijkt tot het totale stroomgebied bijdraagt tot de afvoer op het waarnemingspunt.

STORM 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 5.

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. 5).

2.2.3 Berekening van de kwaliteit van de afvoer

2.2.3.1 Kwaliteit van de oppervlakte-afvoer

Zoals reeds werd beschreven, worden op dit moment in 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 altijd dezelfde samenstelling heeft. Deze methode kan slechts worden gebruikt 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 fractie van deze verontreinigingen die uiteindelijk in het riool en eventueel in de zuiveringsinstallaties of het ontvangende water

terechtkomt, hangt onder andere af van factoren als:

- de intensiteit van de neerslag
- de fractie van de neerslag die wordt afgevoerd
- de frequentie en efficiëntie waarmee straten worden gereinigd
- de hoeveelheid stof en vuil die binnen het stroomgebied accumuleert.

Het STORM-model heeft de mogelijkheid elk van deze factoren, 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.

2.2.3.2 Kwaliteit van de droogweerafvoer

De introductie van het begrip 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 deze 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 STORM. 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.

2.2.4 Relatie berging, zuivering en overstort

STORM berekent de afvoer ten gevolge van neerslag uitgaande van een afvoercoëfficiënt. 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 (eventueel inclusief 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 daalt tot onder 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 komen van de bergingscapaciteit in de bodem en in het rioolwatersysteem.

De beschreven bepaling van de berging in het rioolwatersysteem en de 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 kunnen 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 bergingscapaciteit in het rioolwatersysteem. Dit houdt in dat indien de afvoer (inclusief de droogweerafvoer) de zuiveringscapaciteit niet overschrijdt geen "gebeurtenissen" plaatsvinden. Voor het rioolwatersysteem betekent dit dat de neerslag in de desbetreffende periode geen gevolgen heeft voor de bergingscapaciteit in het rioolwatersysteem.

Belangrijk is dat STORM 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.

Aan de andere kant veronderstelt STORM geen afbraak van verontreinigingen gedurende de berging in het rioolwatersysteem, terwijl dit in de praktijksituatie zeker een rol speelt. Toekomstige versies van STORM zullen hiermee rekening gaan houden. Ondanks de veronderstellingen in het huidige STORM-model is het toch mogelijk met behulp van dit model uitspraken te doen over rioolwatersystemen met een zuiveringseffektiviteit kleiner dan 100% en een zekere afbraak in de berging. Door Heaney en anderen [5,6] wordt een aanpak voorgesteld waarbij met behulp van STORM zogenaamde isoquanten worden berekend. Dergelijke isoquanten geven combinaties van bergingscapaciteit en zuiveringscapaciteit in het rioolwatersysteem aan, waarbij een gelijk percentage van de afvoer of de hoeveelheid afvalwater wordt behandeld. De bergings- respectievelijk zuiveringscapaciteit die daarbij wordt gehanteerd, is gecorrigeerd voor afbraakprocessen gedurende de berging respectievelijk de effectiviteit van de zuivering.

2.2.5 Resultaten

De resultaten die met behulp van STORM worden verkregen kunnen in twee hoofdgroepen worden ingedeeld:

- Statistische informatie betreffende de kwantiteit en de kwaliteit van de afvoer ten gevolge van neerslag en
- Grafische informatie, zoals de belastingskrommen of "pollutographs" en en de cumulatieve frequentiecurve van het gebruik van de bergingscapaciteit (fig. 6).

De statistische informatie, zoals de jaargemiddelde afvoer, vuillast, overstort en belasting ten gevolge van overstort, kan gebruikt worden bij het bepalen van de bergings- en zuiveringscapaciteit die noodzakelijk is voor het verwerken van de neerslag in een bepaald gebied. Met behulp van de zogenaamde belastingskrommen wordt inzicht verkregen in de afvalwaterproduktie van een bepaald gebied. De resultaten kunnen gebruikt worden voor het onderbouwen van de dimensionering van bergings- en zuiveringscapaciteiten 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 zuiveringscapaciteit) voor het verminderen van de intensiteit en de frequentie van

overstort tot een gewenst niveau. Worden de voorspellingen van de afvalwaterproduktie via zuiveringsinstallaties en overstorten ingevoerd in een waterkwaliteitsmodel van het ontvangende oppervlaktewater, zoals bijvoorbeeld MODQUAL, dan is het mogelijk, uitgaande van functies c.q. richtlijnen die toegekend zijn aan het oppervlaktewater, de toelaatbare lozing via overstort of zuiveringsinstallatie en derhalve de berging en dimensionering van het rioolwatersysteem te kwantificeren.

3 Het beschouwde stroomgebied

Voor het uitvoeren van een calibratie van de parameters in STORM is het noodzakelijk over gegevens te beschikken met betrekking tot neerslag, afvoer, afwaterend oppervlak, helling van het stroomgebied en aantal inwoners. Als stroomgebied is de stad Enschede gekozen, onder andere omdat daarvan zowel neerslag als afvoergegevens beschikbaar zijn.

STORM is gecalibreerd voor het stedelijke gebied Enschede-Noord, met een totale oppervlakte van 3.52 km^2 . De riolering in dit gebied is van het gemengde type (fig. 7).

Naar Nederlandse begrippen is het stroomgebied van Enschede een hellend gebied: de gradiënt van oost naar west bedraagt circa 0,25% (v.g.l. het verhang van de Rijn van circa 0,01%).

De oostzijde van de stad valt nagenoeg samen met de waterscheiding van de rivieren Regge en Dinkel, met als gevolg dat het stedelijk gebied praktisch geheel afwatert op de Regge.

De neerslag in het stroomgebied wordt continu gemeten door middel van vijf zelfregistrerende regenmeters, waarvan er één staat in het bij de calibratie beschouwde noordelijke deel van Enschede. De gegevens van deze regenmeter zijn als invoer voor STORM gebruikt.

Het rioolwatersysteem van Enschede beschikt over één rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI). Deze RWZI zuivert het water, dat vanuit de 3 min of meer gescheiden delen van de stad wordt aangevoerd. Elk van deze gescheiden delen heeft een bergingsbassin, dat als tijdelijke opslagplaats van afvalwater dienst doet, waardoor piekbelastingen op de zuiveringsinstallatie afgevlakt kunnen worden. Het beschouwde gebied Enschede-Noord heeft een bergingsbassin aan de Roessinghbleekweg. In dit bassin bevindt zich een continue peilschrijver, waarmee door middel van een vulkromme de relatie met het totale volume aan rioolwater in deze berging berekend wordt (fig. 8).

Het bassin heeft niet, zoals het STORM-model veronderstelt, een overstort naar het oppervlaktewater. Eventueel overstortwater van dit bassin wordt via een omleiding toch naar de rioolwaterzuiveringsinstallatie gevoerd.

Het bassin vult zich in perioden waarin het debiet in het hoofdriool een zekere drempelwaarde overschrijdt. Door de maximale afvoer van de riool te schatten, kan met behulp van de peilregistraties van het bassin de totale hoeveelheid water worden geschat, die van het beschouwde stroomgebied

afkomstig is. Met behulp van deze hoeveelheid oppervlakteafvoer is getracht de kwantiteitsparameters van STORM te calibreren.

Het effluent van de rioolwaterzuiveringsinstallatie tesamen met de overstort van het bergingsbassin bij de RWZI, komt uit op de Twekkelerbeek en de Elsbeek aan de uiterste westzijde van de stad.

In de gemengde riolering treedt bij droog weer - vooral in de beginleidingen - bezinking van vaste stoffen en slib op. Bij hevige regenval wordt dit bezonken vuil geheel of gedeeltelijk afgevoerd, met als gevolg dat de overstorten de Twekkelerbeek en de Elsbeek in sterke mate belasten.

De kwaliteit van het rioolwater afkomstig van het stedelijke gebied Enschede-Noord wordt slechts op één plaats routinematig gemeten. Dit geschiedt door het nemen van verzamelmonsters éénmaal per twee weken. Daarbij moet worden opgemerkt dat het aangevoerde rioolwater bij de zuiveringsinstallatie een andere kwaliteit kan hebben dan het rioolwater dat het bergingsbassin nog moet passeren. Doordat slechts verzamelmonsters voor bepaling van de kwaliteit worden genomen, kunnen de karakteristieke eigenschappen van de kwaliteit van het rioolwater (zoals de grootte van (stoot)belastingen, "first-flush" effecten, de kwaliteit van de droogweerafvoer (DWA) etc.) niet worden bepaald. Dit maakt het bijzonder moeilijk het kwalitatieve gedeelte van STORM naar waarde te schatten; calibratie en verificatie van dit gedeelte is met de thans ter beschikking staande gegevens dan ook niet mogelijk.

4 Methodologie van het calibreren

4.1 Algemeen

Praktische moeilijkheden bij het verzamelen van voldoende afvoergegevens en financiële beperkingen maken een volledige karakterisering van de stedelijke afvoer van een stroomgebied moeilijk. Om deze reden wordt steeds meer gebruik gemaakt van computermodellen zoals STORM om hoeveelheid en kwaliteit van stedelijke afvoer uit een lange reeks regencijfers te berekenen. Dergelijke modellen zijn effectief gebleken en bovendien goede alternatieven voor langlopende meetcampagnes, vooropgesteld dat de modellen gecalibreerd en geverifieerd dienen te worden voor het beschouwde stroomgebied.

Calibratie houdt in een minimalisering van de afwijkingen tussen in het veld gemeten waarden en modelresultaten, door aanpassing van de parameters in het model. Een zekere minimum hoeveelheid veldgegevens is vereist om tot een verantwoorde calibratie te komen.

Verificatie is het proces waarbij het gecalibreerde model getoetst wordt aan een onafhankelijke reeks gegevens. Aangezien de beschikbare hoeveelheid gegevens veelal beperkt is, wordt de verificatie slechts op een bescheiden deel van de gegevens uitgevoerd om in ieder geval een behoorlijke calibratie mogelijk te maken.

4.2 De beschikbare calibratie-methoden

Modellen die de kwantiteit van stedelijke afvoer voorspellen kunnen gekoppeld zijn aan een simulatie-model dat ook de kwaliteit ervan beschrijft. Het STORM-model is hiervan een voorbeeld.

Calibratie van dergelijke modellen bestaat uit calibratie van de kwantiteit gevolgd door calibratie van de kwaliteit, waarbij de uitvoer van het gecalibreerde kwantiteitsgedeelte als invoer voor het kwaliteitsgedeelte gebruikt wordt. Soms is alleen het kwantiteitsgedeelte gecalibreerd en worden geschatte of gemiddelde waarden gebruikt voor de kwaliteitsparameters [7].

Bestudering van de beschikbare literatuur toont aan dat er bijna evenveel calibratiemethoden als onderzoekers bestaan. In het algemeen zijn de calibratiemethoden niet of nauwelijks kwantitatief; slechts zelden wordt een kwantitatieve maat voor de overeenkomst tussen model en prototype vermeld, welke dient te worden gerealiseerd voordat van een geslaagde calibratie kan worden

gesproken.

In dit onderzoek is daarom enige aandacht besteed aan een criterium dat aangeeft hoe goed of slecht de overeenkomst tussen model en prototype, afhankelijk van de gekozen parameters, is.

5 Calibratie en verificatie van de kwantiteit voor Enschede-Noord

5.1 Beschikbare gegevens

De neerslagcijfers die zijn gebruikt, zijn afkomstig van één regenmeter binnen het beschouwde gebied, namelijk de regenmeter bij Bamshoeve (fig. 7).

De neerslagreeks die voor de calibratie is gebruikt (fig. 9a t/m c) beslaat een periode van drie jaar (uurwaarnemingen).

Een karakteristiek resultaat van de regenmeter te Bamshoeve is weergegeven in figuur 12. De regenmeter geeft een sommatie van de neerslag. Zoals uit de figuur blijkt ledigt de meter zichzelf bij een niveau van 10 mm en begint dan weer opnieuw. De geschetste bui in figuur 12 is tevens gebruikt voor calibratie. In de figuren 13a en 13b is deze neerslag nogmaals weergegeven. De schematisatie tot uur-intensiteiten ten behoeve van STORM is af te lezen. Figuur 13c geeft de vulling van het bergingsbassin Roessingh weer voor de beschreven regenbui. Uit deze figuur blijkt bovendien dat er een zekere looptijd in het afvoersysteem aanwezig is. Tevens kan uit deze figuur met behulp van de vullingskromme de inhoud van de berging afgeleid worden.

De afvoer als gevolg van deze neerslag wordt bepaald door de afvoercoëfficiënt. Zoals reeds vermeld, zijn de resultaten van het model vrij sterk afhankelijk van de zogenaamde samengestelde afvoercoëfficiënt van het beschouwde stroomgebied, die onder andere afhangt van het percentage verhard oppervlak. Het bebouwingspercentage van de stad Enschede, dat door een recentelijke uitgevoerde luchtfotokartering vrij nauwkeurig bekend is, is vastgesteld op 50%. De afvoer afkomstig uit het gebied kan eveneens geschat worden met behulp van de peilregistraties van het bergingsreservoir aan de Roessinghbleekweg en de transportcapaciteit van het erlangs lopende hoofdriool. Hoewel deze transportcapaciteit niet nauwkeurig bekend is, is deze volgens een schatting van de gemeente Enschede ongeveer 600 liter per seconde. Door deze onzekerheid is ook de transportcapaciteit als een te calibreren parameter van het model beschouwd.

De afvoer als functie van de tijd vanuit het stroomgebied wordt naast de neerslag bepaald door de verdamping en de zogenaamde depressieberging, waarmee de berging in greppels, plassen op straat en dergelijke wordt bedoeld. Voor de verdamping zijn literatuurgegevens gebruikt (maandgemiddelden), terwijl voor de depressieberging een alom gehanteerde waarde van één millimeter is gebruikt [8].

5.2 Uitvoering van de calibratie

Calibratie van STORM voor het noordelijk deel van Enschede is uitgevoerd met behulp van de gemeten en berekende overstort vanuit het bergingsbassin aan de Roessinghbleekweg. Daarvoor zijn die onafhankelijke buien uit de beschikbare driejarige neerslagreeks gekozen, welke een meetbare berging in het genoemde reservoir tot gevolg hebben gehad.

STORM bepaalt met behulp van deze neerslaggegevens bij een gegeven zuiverings-, transport- en bergingscapaciteit, de hoeveelheid water die overstort. Aangezien het reservoir aan de Roessinghbleekweg in de praktijk echter zelden overstort, is het onmogelijk STORM op basis van deze werkelijke hoeveelheid overstortend water te calibreren. Om één en ander te ondervangen is in het reservoir een fictieve bergingsgrens aangenomen. Hierdoor kan het verschil met de werkelijk optredende berging als overstort beschouwd worden (fig. 8). Deze fictieve overstort kan vergroot worden door de fictieve berging te verkleinen. Ten behoeve van de calibratie is de fictieve berging gelegd op 750 m^3 bij een totale reservoircapaciteit van 15000 m^3 . Door deze benadering is toch een verantwoorde calibratie mogelijk.

Mede doordat de meetapparatuur (regenmeter en peilregistratie) niet altijd goed gefunctioneerd heeft in de beschouwde jaren, is calibratie uiteindelijk uitgevoerd met vier buien en verificatie met één onafhankelijke bui.

De parameters waarmee het model is gecalibreerd, zijn:

- CPERV = afvoercoëfficiënt van het onverharde oppervlak
- CIMP = afvoercoëfficiënt van het verharde (= bebouwde) oppervlak
- T_R/T_p = "time of recession"/"time to peak" (fig. 5)
- T_c = "time of concentration" (fig. 5).

Na variaties van de STORM-parameters bleek de grote gevoeligheid van de eindresultaten voor de afvoercoëfficiënten CPERV en CIMP. Aangezien over de werkelijke grootte van deze parameters weinig bekend is, is gekozen voor literatuurwaarden van respectievelijk 0,15 en 0,90 [2].

Voor wat betreft de verhouding T_R/T_p adviseert de STORM-handleiding een waarde die ligt tussen 1.2 voor zeer steile verharde en 3.3 voor zeer vlakke onverharde gebieden. Hierbij kan opgemerkt worden dat ook de bergingsverdeling binnen het beschouwde stroomgebied invloed zal hebben op de verhouding T_R/T_p .

Zoals reeds is vermeld in hoofdstuk 3 is het stedelijk gebied Enschede voor Nederlandse begrippen behoorlijk hellend, met een gemiddelde gradiënt van circa 0,25%. Als in STORM de advieswaarde voor T_R/T_p van 1,2 voor steile gebieden werd gebruikt, werden waarden voor de hoeveelheid overstortend water berekend, die geheel onjuist waren. Indien voor T_R/T_p een waarde van 3,0 werd gebruikt, bleken de resultaten in de goede orde van grootte te liggen. Daarom is deze waarde van T_R/T_p in de verdere verfijning aangehouden. Door de grotere verschillen in topografie, heeft het begrip "steil" in de V.S. blijkbaar een andere betekenis. Van Amerikaanse zijde werd bevestigd dat het begrip "steil" in de V.S. duidt op gradiënten van meer dan 1%. Dit houdt in dat STORM praktisch ieder Nederlands stedelijk gebied als vlak beschouwt.

In hoofdstuk 5.1 is reeds vermeld dat ook de transportcapaciteit van het hoofdriool bij de calibratie is betrokken. Uiteindelijk zijn de concentratietijd T_c van de driehoekige unit-hydrograph en deze transportcapaciteit volgens een bepaald criterium geoptimaliseerd, waarbij als uitgangspunt gold dat de uiteindelijke keuze van de parameterwaarden fysisch acceptabel diende te zijn.

De optimalisatie van de laatste twee parameters is uitgevoerd door van de vier gekozen buien de fictieve overstort te vergelijken met de door STORM berekende overstort voor verschillende waarden van T_c en de transportcapaciteit. Als criterium is gesteld dat de gemiddelde relatieve afwijking zo klein mogelijk moet zijn. De relatieve afwijking Δ is als volgt gedefinieerd:

$$\Delta = \frac{\text{gemeten fictieve overstort} - \text{door STORM berekende overstort}}{\text{gemeten fictieve overstort}}$$

Dit criterium houdt in, dat aan elke regenbui een gelijk gewicht wordt toegekend.

Bij de calibratie is de gemiddelde relatieve afwijking $\bar{\Delta}$ van de 4 beschouwde buien geminimaliseerd.

5.3 Resultaten van calibratie en verificatie

Uit de figuren 10a t/m f blijkt dat voor het kwantitatieve deel van STORM de grootste overeenkomst tussen model en prototype bereikt wordt voor $T_c = 2,0$ uur met een transportcapaciteit van 560 l/sec en voor $T_c = 1,9$ uur met een transportcapaciteit van 580 l/sec. De gemiddelde relatieve afwijking bedraagt

in beide gevallen bijna 22%. Van de twee combinaties heeft de laatste een transportcapaciteit die het dichtst bij de door de gemeente Enschede geschatte waarde ligt, reden waarom uiteindelijk voor deze laatste combinatie is gekozen. Vervolgens is op een onafhankelijke bui een verificatie uitgevoerd, met als resultaat een vrij hoge relatieve afwijking voor de hoeveelheid overstortend water van ongeveer 30%. Deze afwijking tussen de overstort in het gecalibreerde model en de in het prototype gemeten hoeveelheid wordt door een aantal factoren bepaald:

- . Eén regenmeter in een gebied van 3.52 km^2 is niet voldoende om de gemiddelde neerslag over het hele gebied te bepalen.
- . De berekening van de neerslagverliezen is slechts benaderend.
- . In het model wordt aangenomen dat de neerslag homogeen verdeeld is over het beschouwde stroomgebied. In Enschede blijkt het afvoerverloop in belangrijke mate afhankelijk te zijn van de richting waarin een bui zich over de stad beweegt. De bergingsbassins bevinden zich in het westen van de stad, waardoor buien bij westenwind in het algemeen een geringer gebruik van de berging tot gevolg hebben dan bij oostenwind.
- . Bij deze calibratie is de parameter T_R/T_P niet meegenomen in de optimalisatie. Variatie van deze parameter zou een nog betere calibratie en verificatie kunnen opleveren.
- . De hoeveelheid gegevens die beschikbaar is voor het uitvoeren van de verificatie (slechts 1 bui) is te gering.

Na calibratie kan STORM statistische informatie geven over onder andere het gemiddeld aantal overstorten per jaar en het percentage van de tijd dat een bepaalde hoeveelheid van de berging wel of niet benut wordt. Met dit laatste kan een uitspraak gedaan worden over de effectiviteit van de berging. In figuur 11 is het gebruik van de berging aan de Roessinghbleekweg weergegeven, zoals die door het gecalibreerde STORM-model is bepaald. Tevens is daarin een voorbeeld gegeven van een slechte onderlinge afstemming van transport en bergingscapaciteit: de berging staat weliswaar vaak leeg (30% van de tijd), maar loopt ook bijzonder snel over. Het zou in dit laatste geval een goede beheersmaatregel zijn om de transportcapaciteit te verkleinen, en de berging te vergroten.

STORM berekende voor het bergingsbassin Roessinghbleekweg een gemiddeld aantal overstorten van 1,7 per jaar. Dit komt goed overeen met het in de praktijk-situatie optredende aantal overstorten, dat 1 à 2 per jaar bedraagt.

6 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

- Het STORM-model is een computersimulatiemodel, waarmee de kwantiteit en kwaliteit van de afvoer uit stedelijke gebieden geanalyseerd kan worden. Het model kan getypeerd worden als een management model, waarbij het als een waardevol hulpmiddel kan worden beschouwd bij de bestudering van alternatieven waarvoor de waterbeheerder zich geplaatst ziet om de afvoer van rioolwater van een stedelijk gebied te verbeteren.
- Een belangrijk aspect van het model is dat niet alleen de duur en de intensiteit, maar ook de verspreiding van de buien in de tijd in beschouwing wordt genomen.
- De kwantiteitsparameters van STORM zijn voor een Nederlandse situatie (Enschede-Noord) geoptimaliseerd aan de hand van de beschikbare neerslag en afvoergegevens over een periode van 3 jaar.
- Het stroomgebied Enschede-Noord is voor Nederlandse begrippen weliswaar steil (0,25%), maar kan voor STORM nog als vrij vlak worden beschouwd.
- De grootste overeenkomst tussen prototype en model werd bereikt voor een concentratietijd van ongeveer 2 uur en een riooltransportcapaciteit van 560 à 580 liter per seconde. De schatting van de gemeente Enschede voor deze transportcapaciteit bedroeg 600 liter per seconde.
- Voor Enschede-Noord kan met behulp van STORM het verloop van de afvoer ten gevolge van neerslag als functie van de tijd redelijk worden beschreven.
- De waarden van de gecalibreerde parameters komen vrij goed overeen met de waarden die hiervoor uit de literatuur bekend zijn.
- Het verschil tussen de hoeveelheid overstortend water in het prototype en het model bedroeg voor de vier buien waarop gecalibreerd is, na optimalisatie van de parameters, gemiddeld ca. 20%. Gezien de beperkte hoeveelheid gegevens die beschikbaar was en de resultaten van overige onderzoekers, kan dit resultaat als vrij goed worden beschouwd [7, 9, 10].

- STORM berekent voor het bergingsbassin aan de Roessinghbleekweg een gemiddeld aantal overstorten van 1,7 per jaar, hetgeen goed overeenkomt met het in de praktijksituatie optredende aantal overstorten van 1 á 2 maal per jaar. Dit bergingsbassin is dan ook redelijk gedimensioneerd.

- Calibratie van de kwaliteitsparameters van STORM voor Enschede-Noord bleek door de zeer geringe hoeveelheid waterkwaliteitsgegevens niet mogelijk. Aanvulling van de bestaande waterkwaliteitsregistraties is noodzakelijk om een calibratie van het waterkwaliteitsgedeelte te kunnen uitvoeren.

- Het is gewenst STORM te calibreren voor een groter gebied, dat is opgebouwd uit een aantal op zichzelf staande deelgebieden. Het rioolwatersysteem van geheel Enschede, dat is opgebouwd uit 3 min of meer afzonderlijke delen, lijkt hiervoor bijzonder geschikt.

- Voor een goede calibratie van de kwantiteit zijn registraties van neerslag, vulling van het bergingsbassin en het aantal overstortingen per jaar onvoldoende. Registratie van het debiet op verschillende plaatsen in het rioolwatersysteem wordt dan ook aanbevolen.

- Voor een beschouwing van de waterkwaliteit is registratie van die kwaliteit een eerste vereiste. De huidige, eenmaal per twee weken, genomen verzamelmonsters zijn ontoereikend voor een bepaling van de kwaliteit van het aangevoerde afvalwater. Tevens dient de kwaliteit op andere plaatsen dan alleen bij de RWZI te worden bepaald om na te gaan welke kwaliteitsverandering optreedt door verblijf in het rioolstelsel inclusief de bergingsbassins.

- Indien uitbreiding van de kwaliteitsbepaling niet mogelijk is, dient te worden nagegaan of (en zo ja in welke mate) de kwaliteit van het afvalwater kan worden beschreven door gemiddelde concentraties.

- Als de afvalwaterkwaliteit kan worden beschreven door gemiddelde concentraties, is het kwantitatieve gedeelte van STORM reeds nu een bruikbaar instrument ten behoeve van het oppervlaktewaterkwaliteitsbeheer, mede omdat STORM kan worden gekoppeld aan een waterkwaliteitsmodel voor het oppervlaktewater, zoals het reeds bij het Waterloopkundig Laboratorium operationele model MODQUAL. De resultaten van STORM fungeren dan als invoergegevens voor het waterkwaliteitsmodel van het ontvangende water.

LITERATUUR

- 1 Groot, S. Kwalitatieve en kwantitatieve aspecten van de afvoer van
Leenen, J.D. stedelijke gebieden, nota S415-I, april 1979.

- 2 H.E.C. STORM - Users Manual - 1977
H.E.C., U.S. Army Corps of Engineers
Program 723-- S 8 - L 7520.

- 3 H.E.C. Guidelines for calibration and application of STORM-1977
H.E.C., U.S. Army Corps of Engineers
Program 723 - S 8 - L 7520.

- 4 Sautier, W.L. Calibration and sensitivity analysis of the continuous
Delleur, W.J. runoff simulation model STORM. Purdue University,
Water Resources Research Center,
West Lafayette, Indiana, IGR - 144, may 1978.

- 5 Heaney, P.J. Storage/Treatment mixes for stormwater control.
Nix, J. Journ. Env. Eng. Div.,
Murphy, M.P. Aug. 1978, pp. 581 - 592.

- 6 DiToro, D.M. Statistical design of equilization basins,
Journ. Env. Eng. Div.,
Dec. 1975, pp. 917 - 932.

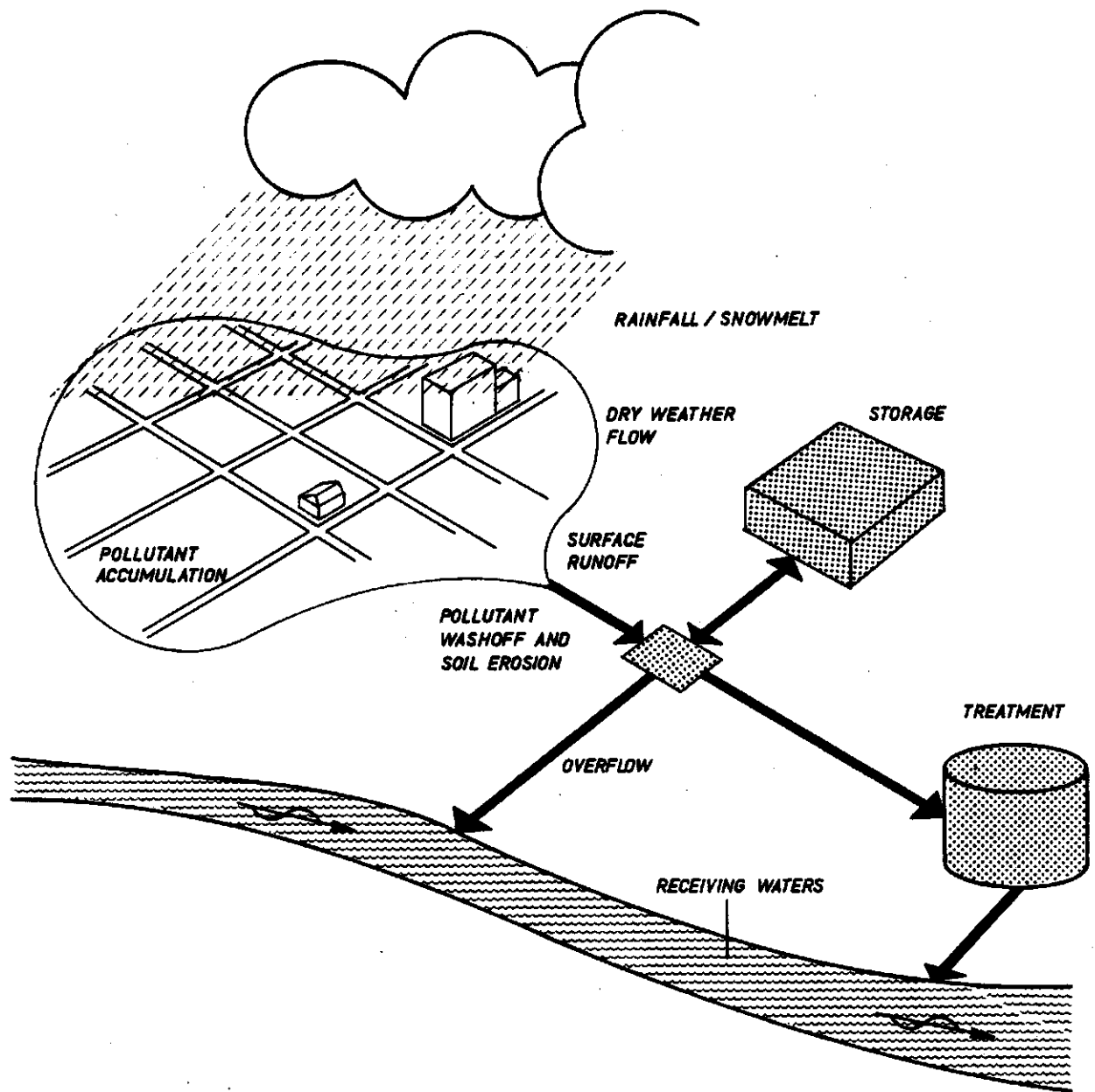
- 7 Prosser, R.T. Use of STORM for sewer inflow removal/treatment cost
Shapiro, H.M. effective analyses.

- 8 Koot, A.C.J. Inzameling en transport van rioolwater.
Uitgeverij Waltman, Delft, 1977.

- 9 Kaufman, H.L. Joint use of SWMM and STORM models for planning urban sewer
Fu-Hsiung Lai systems.
Clinton Bogert Associates, Fort Lee, New Jersey

- 10 Holbrook, P.F. Stormwater studies and alternatives in Atlanta.
Perez, A.I. Procs. ASCE, I. Env. Eng. Div., 102 (1976) EE6, bec.,
Turner, B.G. paper 12614, pp. 1263-1277, 14 ref.
Miller, H.J.

FIGUREN EN TABELLEN



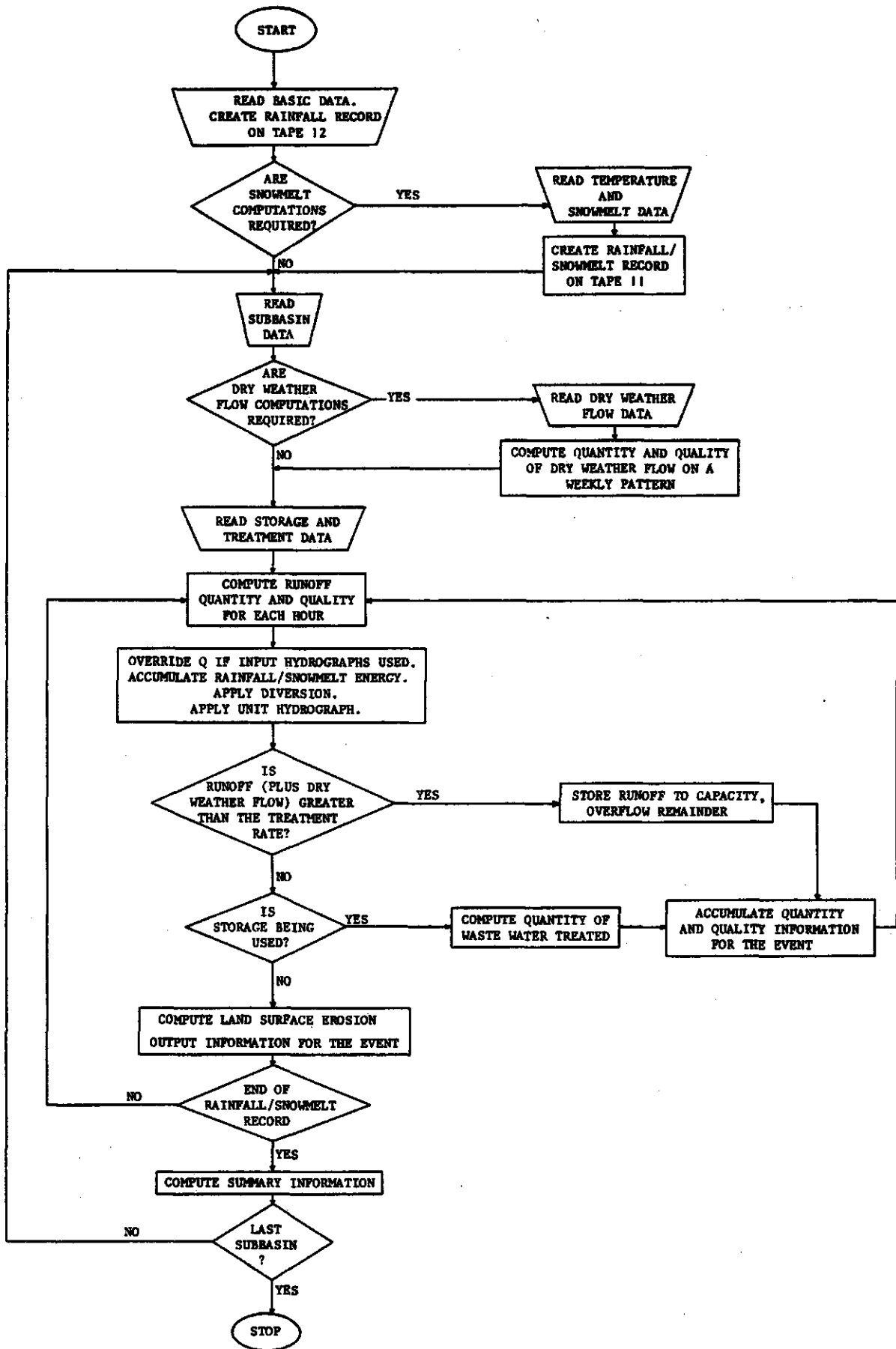
MAJOR PROCESSES MODELLED BY STORM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

S 415-II-1012

FIG. 1

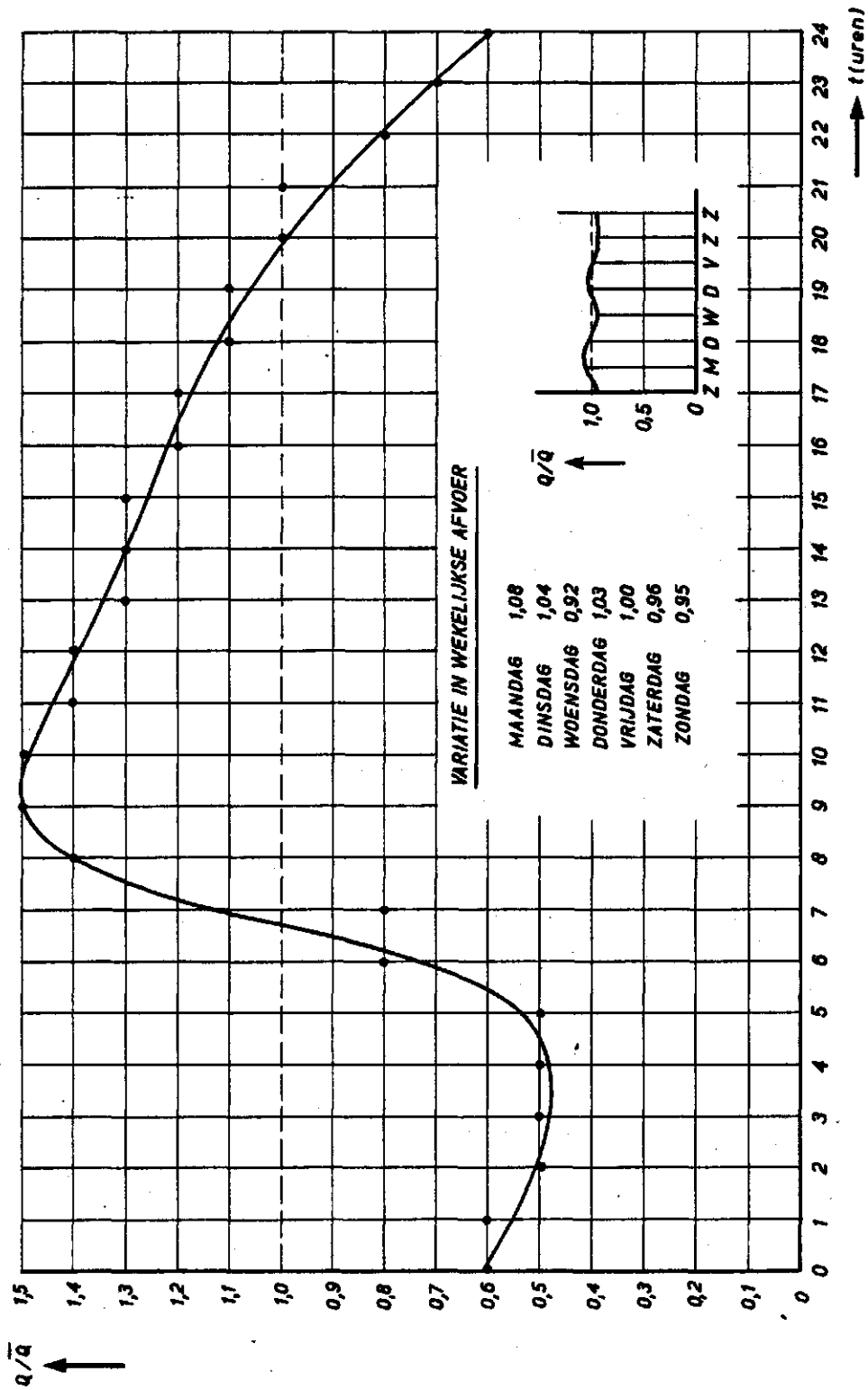
A4



STORM COMPUTATION PROCEDURE

cd

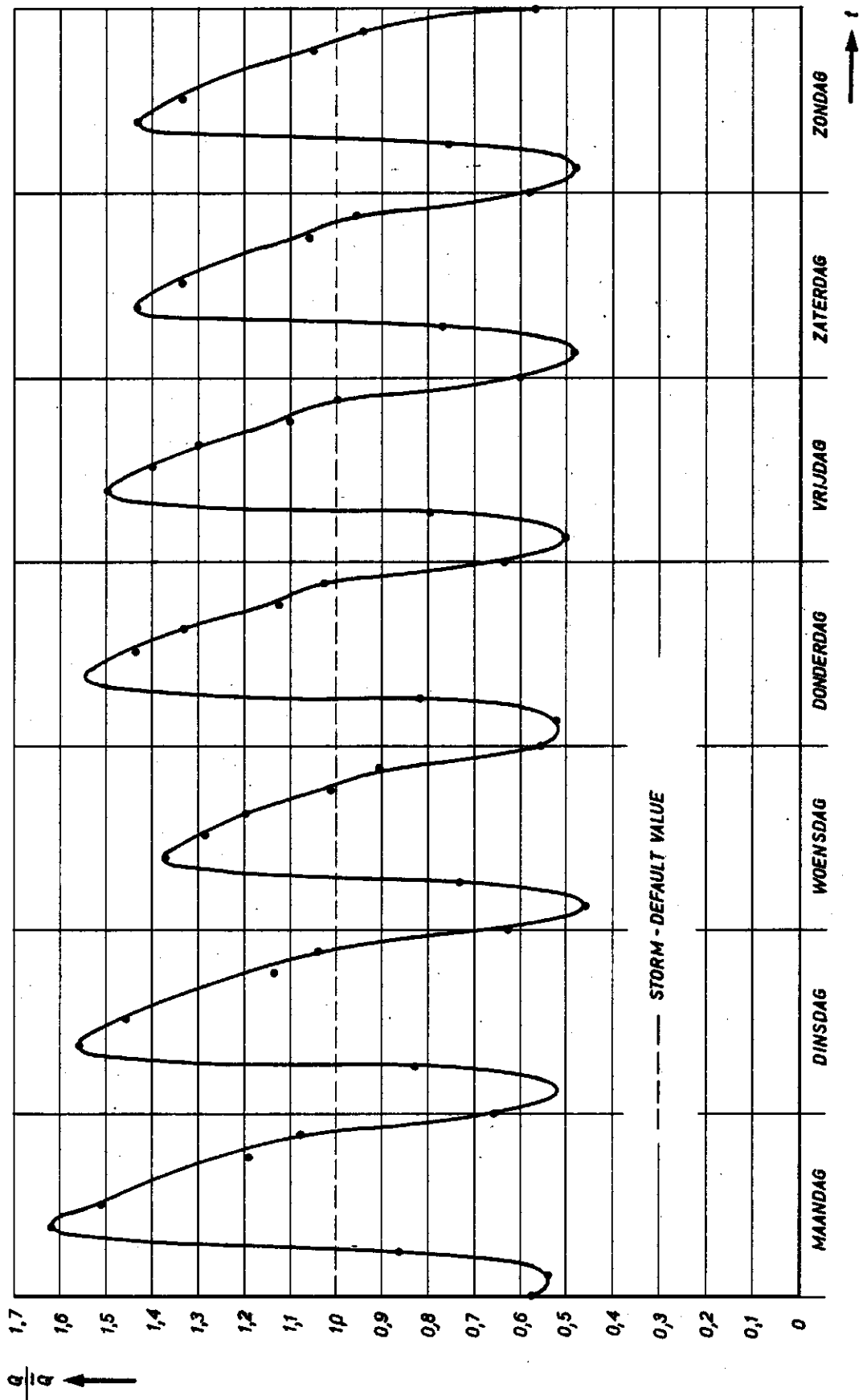
A4



VARIATIE VAN DE DAGELIJKSE DROOGWEERAFVOER

cb

A4



VARIATIE VAN DE WEKELIJKSE DROOGWEERAFVOER

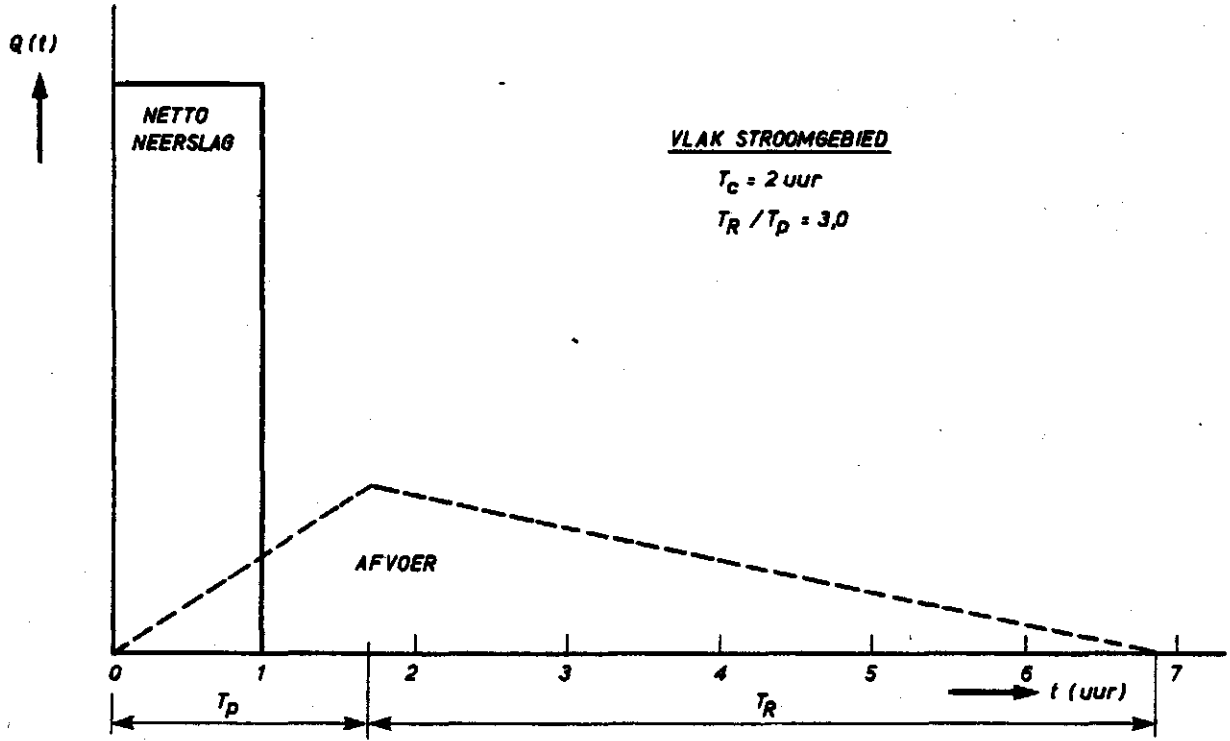
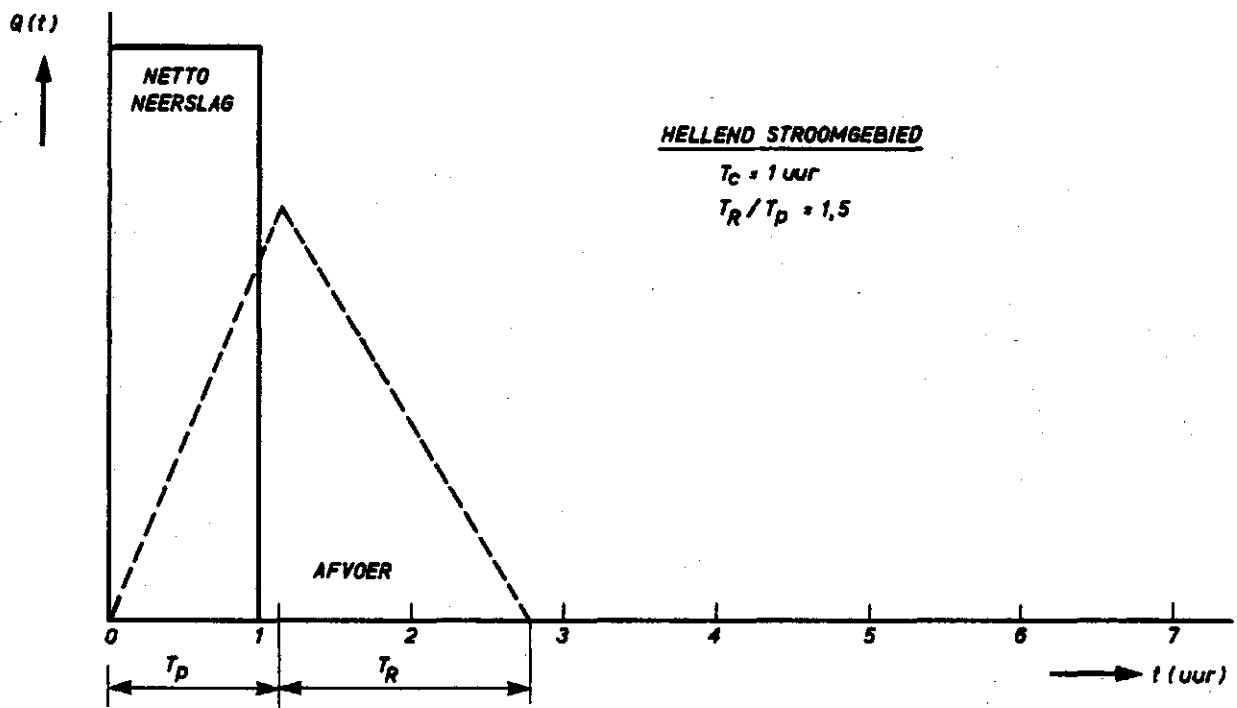
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

S 415-II-1015

FIG. 4

cb

A4

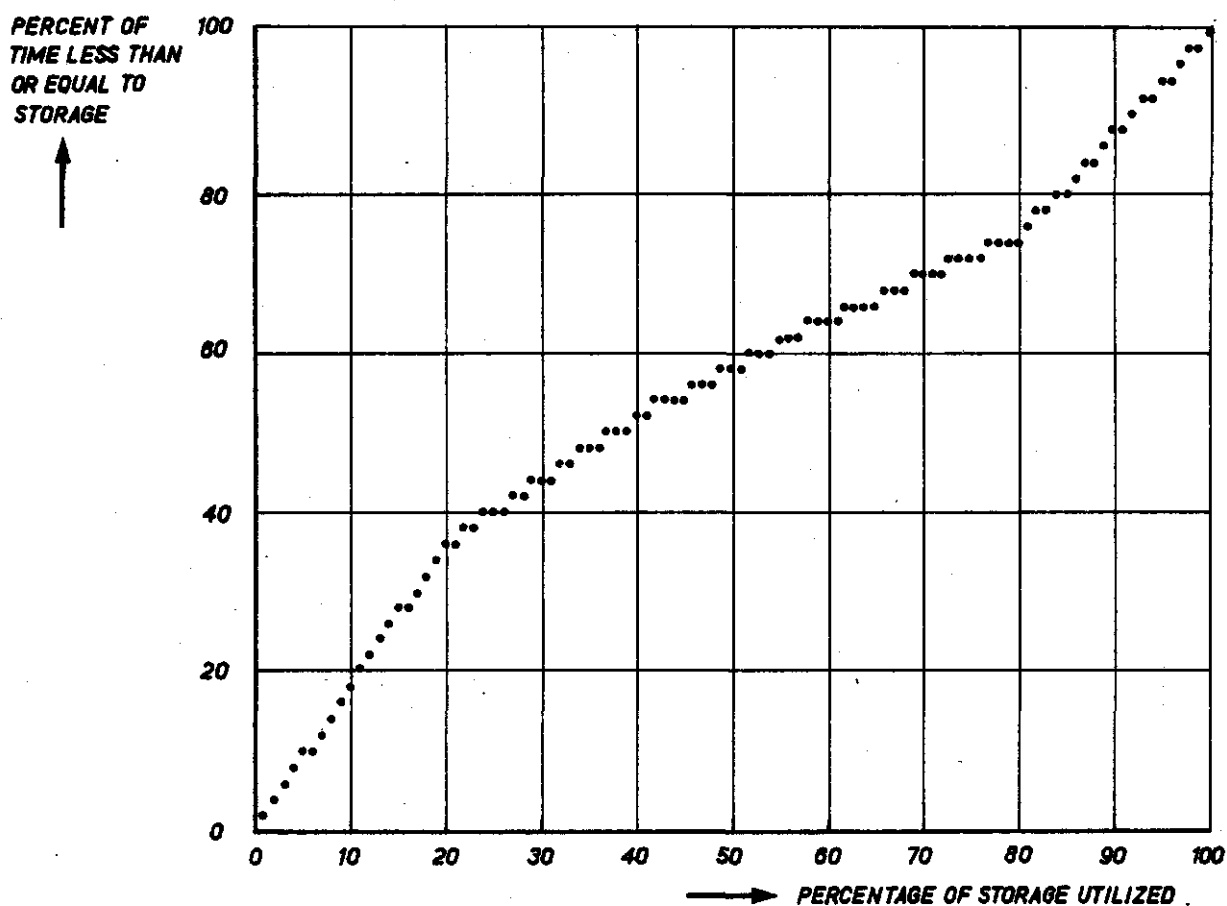


DE UNIT-HYDROGRAPH IN EEN HELLEND EN EEN VLAK STROOMGEBIED

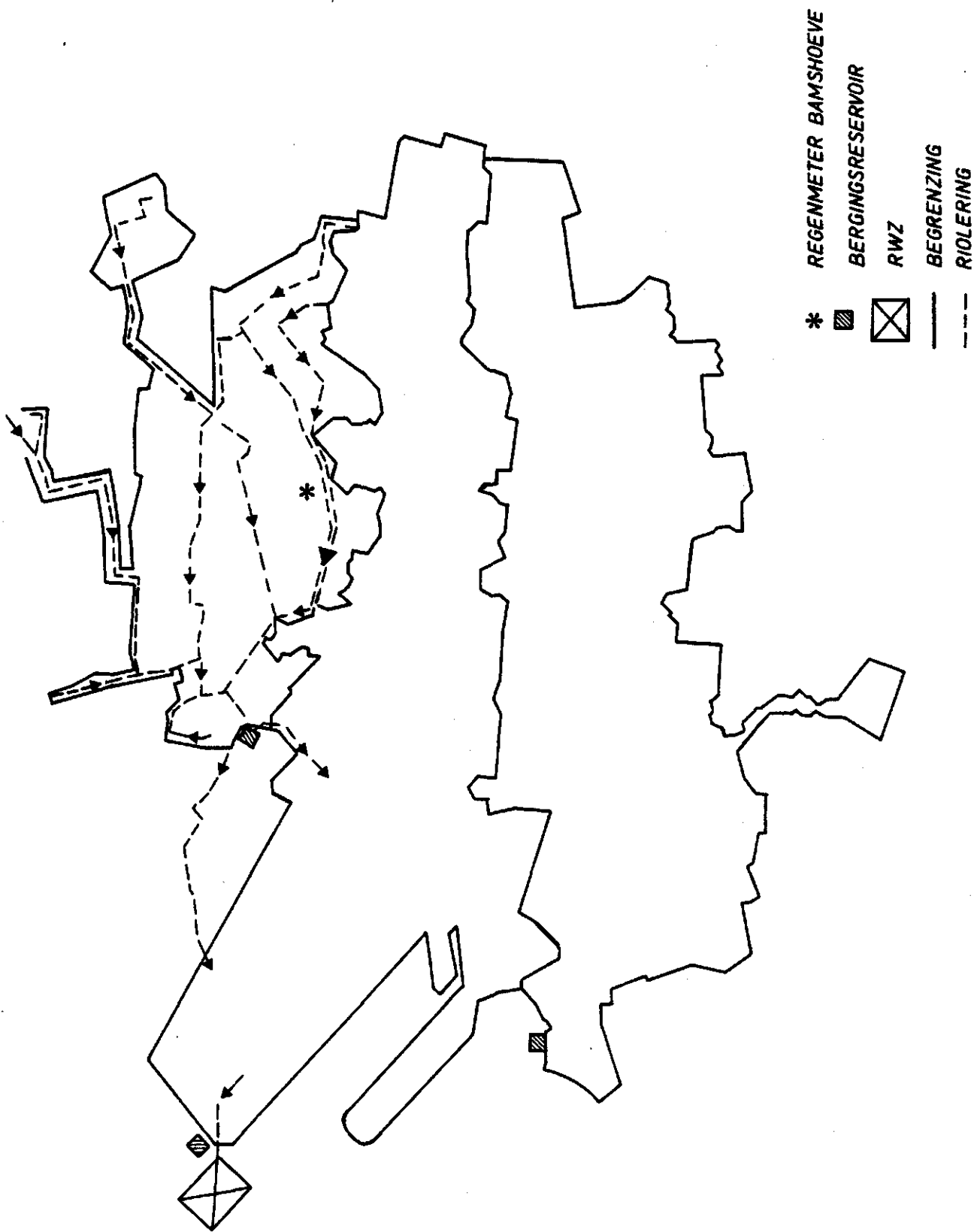
cb

A4

NORMALIZED STORAGE UTILIZATION CURVE



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

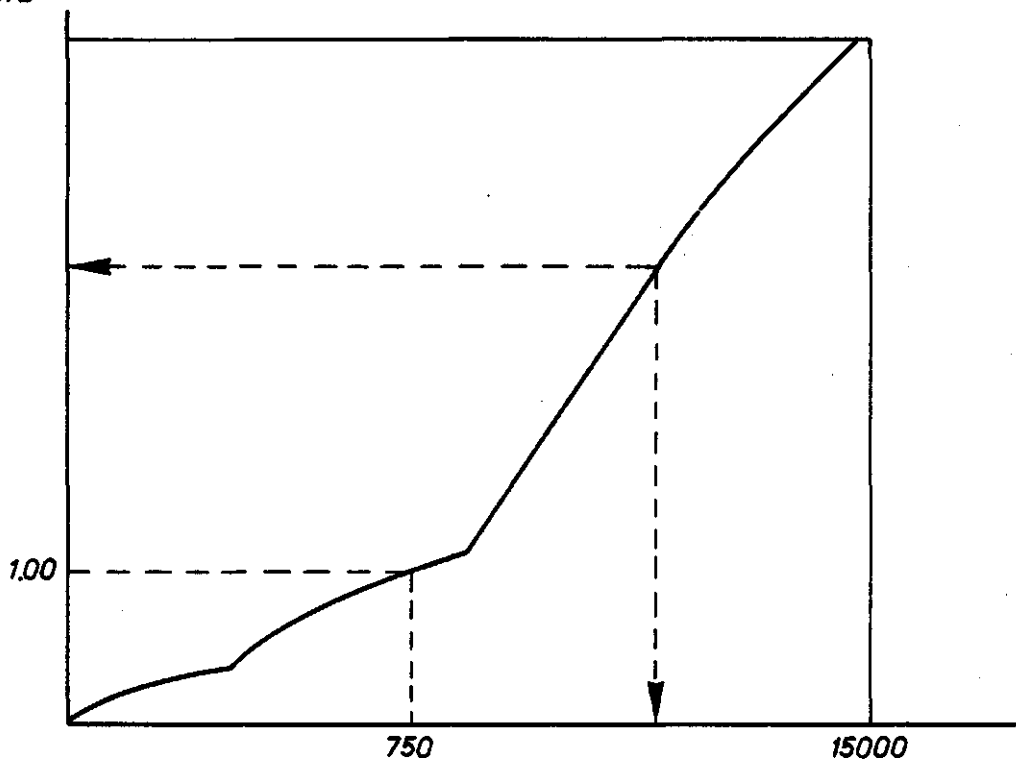


GLOBAAL OVERZICHT VAN HET RIOOLWATER-
 SYSTEEM IN ENSCHEDE-NOORD

JB

A4

VULHOOGTE
(m)



FICTIEVE BERGING

FICTIEVE OVERSTORT

INHOUD (m³)

BESCHIKBARE BERGING

DE VOLUME-DIEPTE RELATIE VAN HET
BERGINGSBASSIN AAN DE ROESSINGHBLEEKWEG

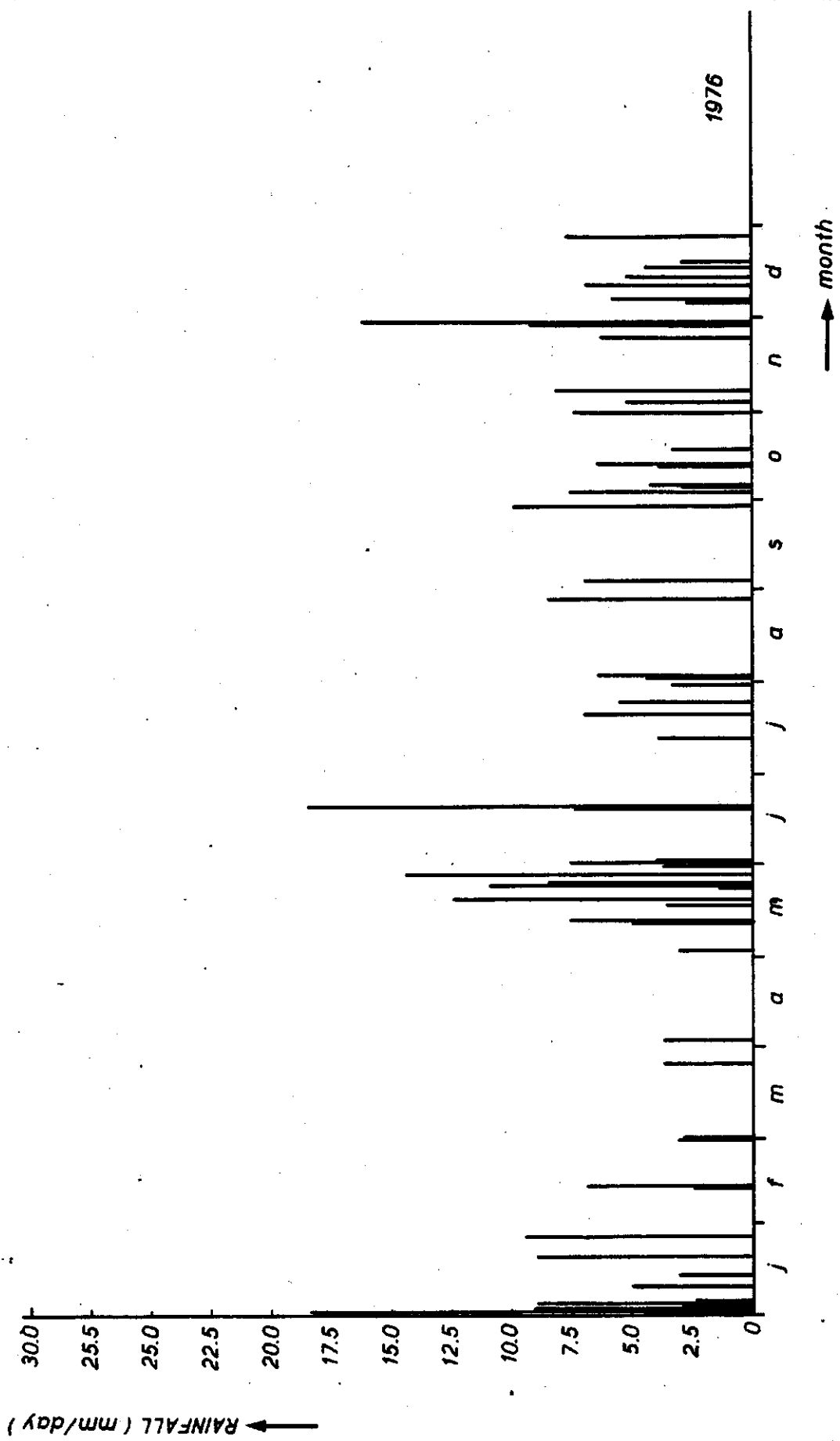
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

S 415-II-1019

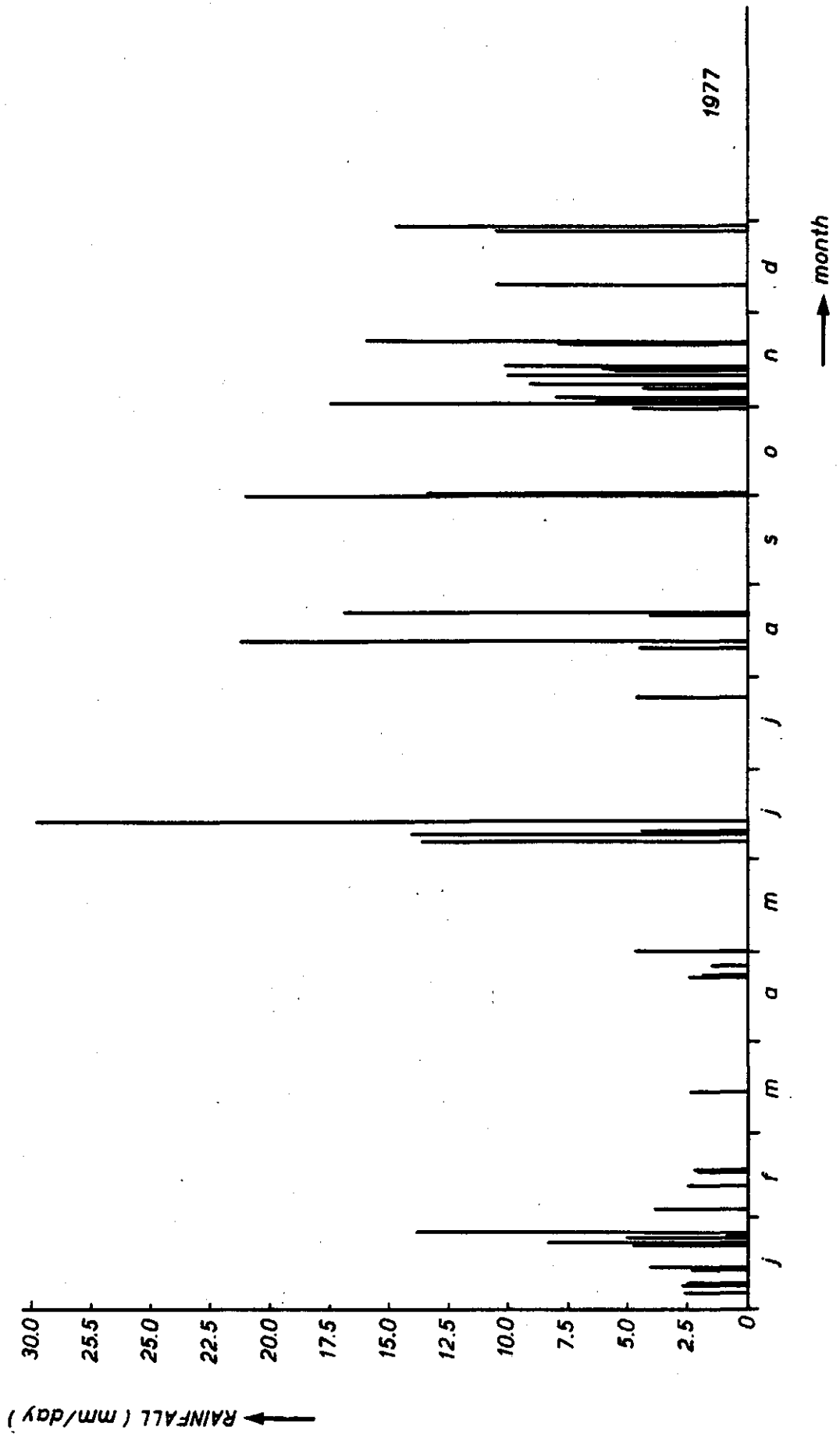
FIG. 8



TOTAL DAILY RAINFALL IN 1976 , BAMSHOEVE, ENSCHEDE

JB

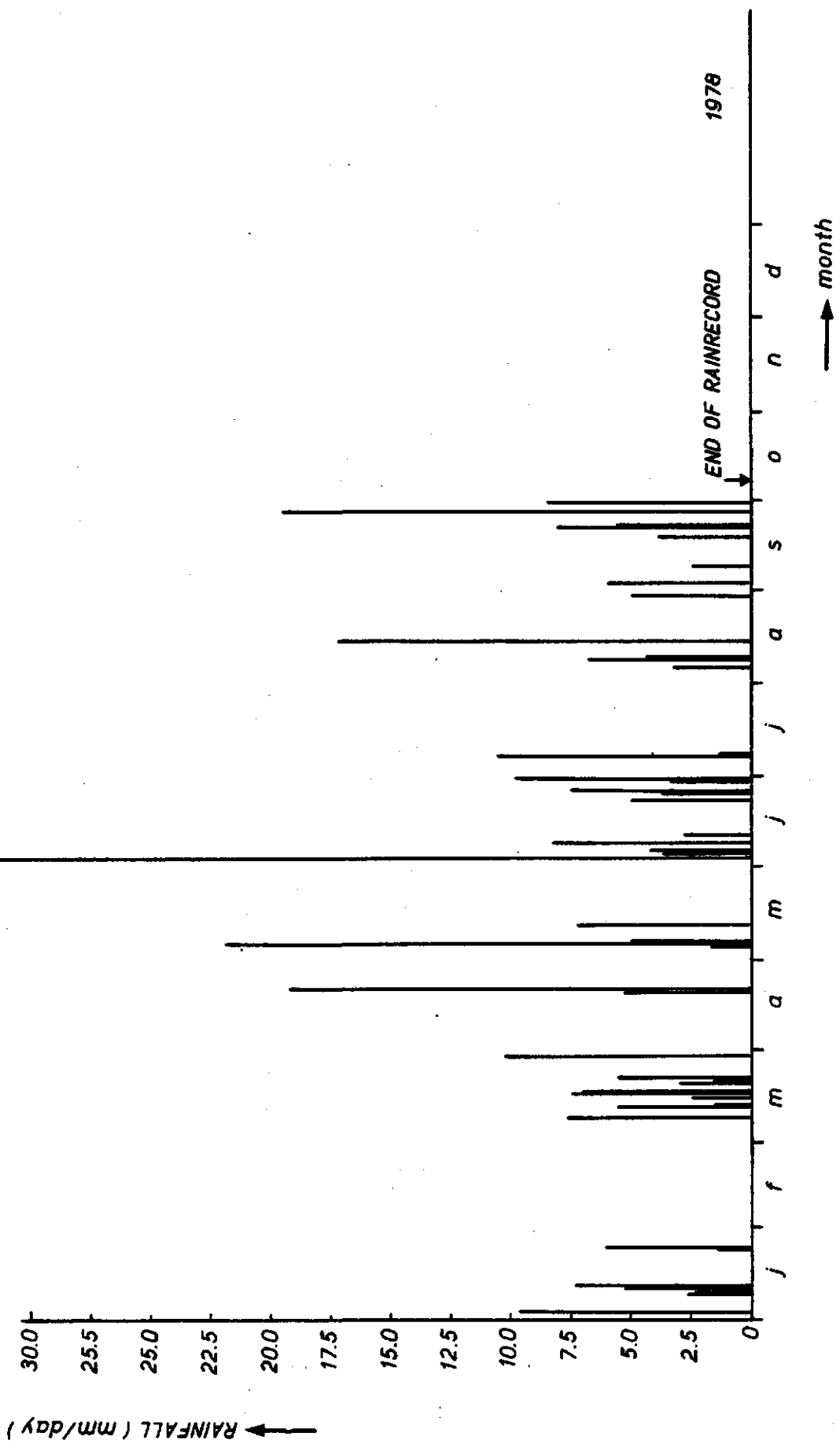
A4



TOTAL DAILY RAINFALL IN 1977, BAMSHOEVE, ENSCHEDE

JB

A4



TOTAL DAILY RAINFALL IN 1978 , BAMSHOEVE, ENSCHEDE

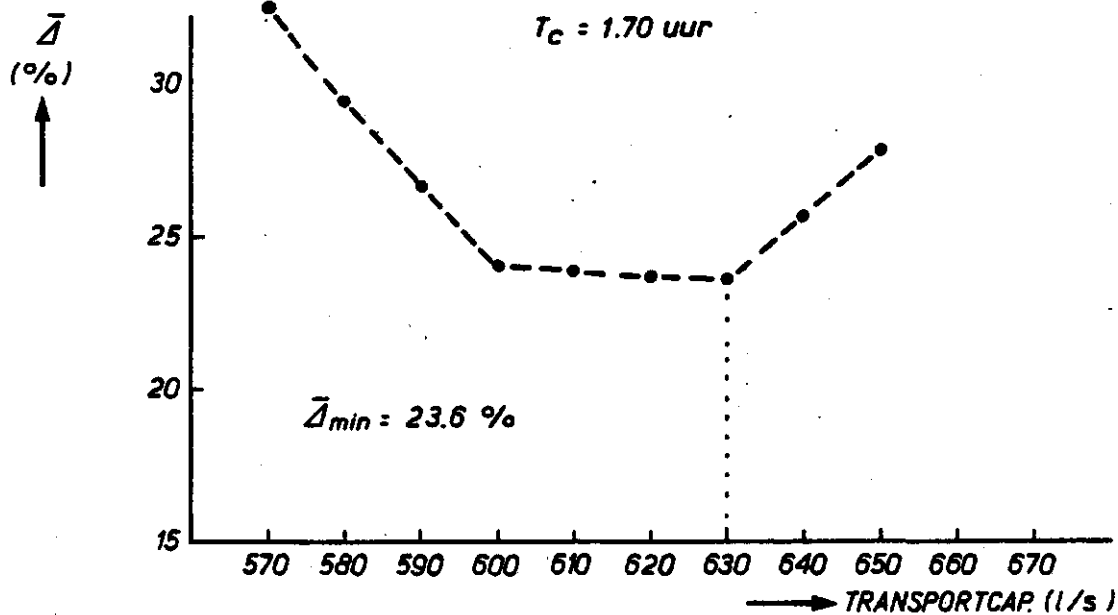
JB

A4

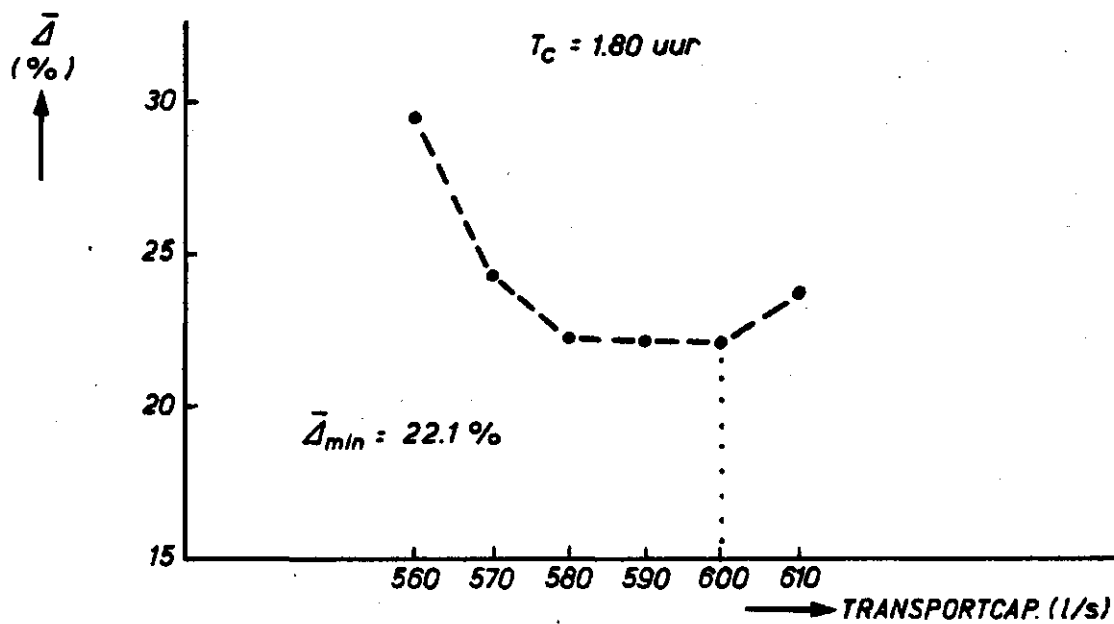
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

S 415-II-1022

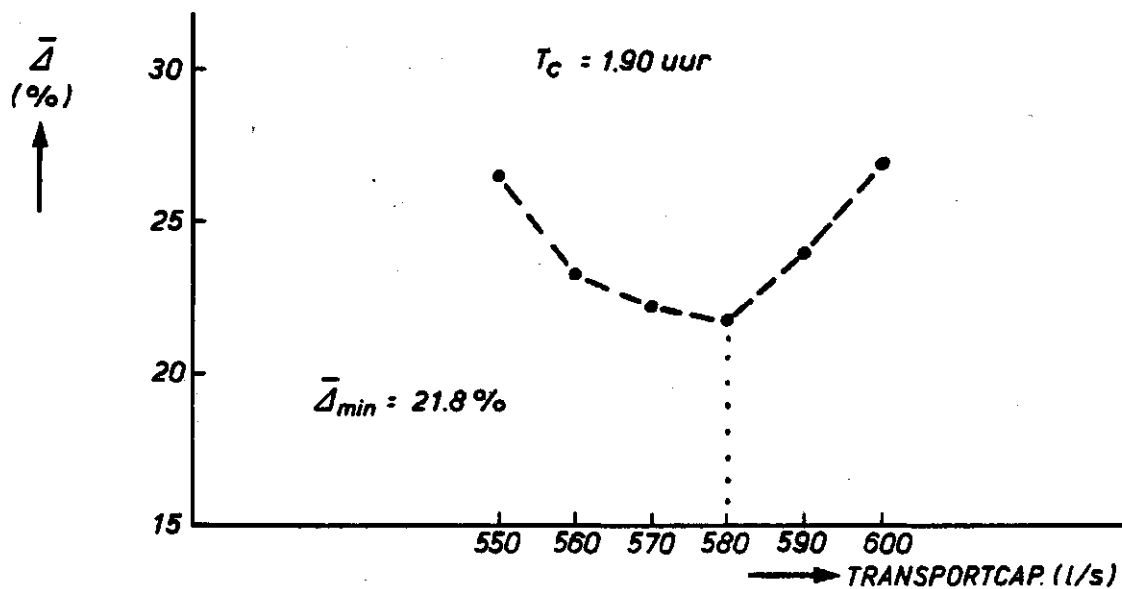
FIG.9c



10a



10b



10c

OPTIMALISATIE VAN DE CONTRATIETJD T_c
EN DE TRANSPORTCAPACITEIT

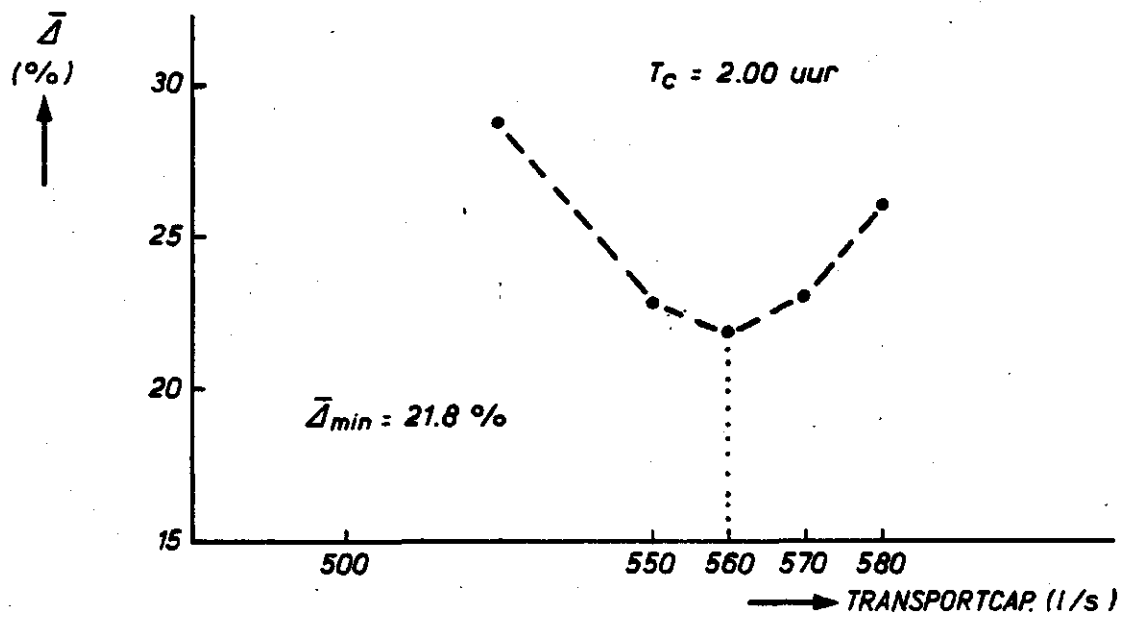
JB

A4

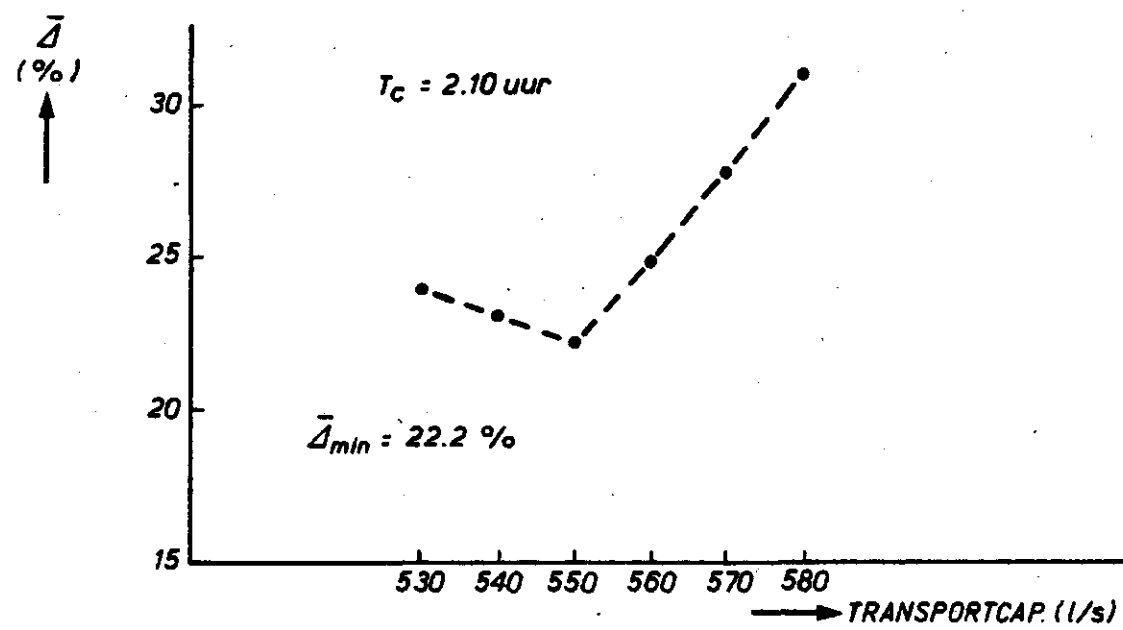
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

S415-II-1023

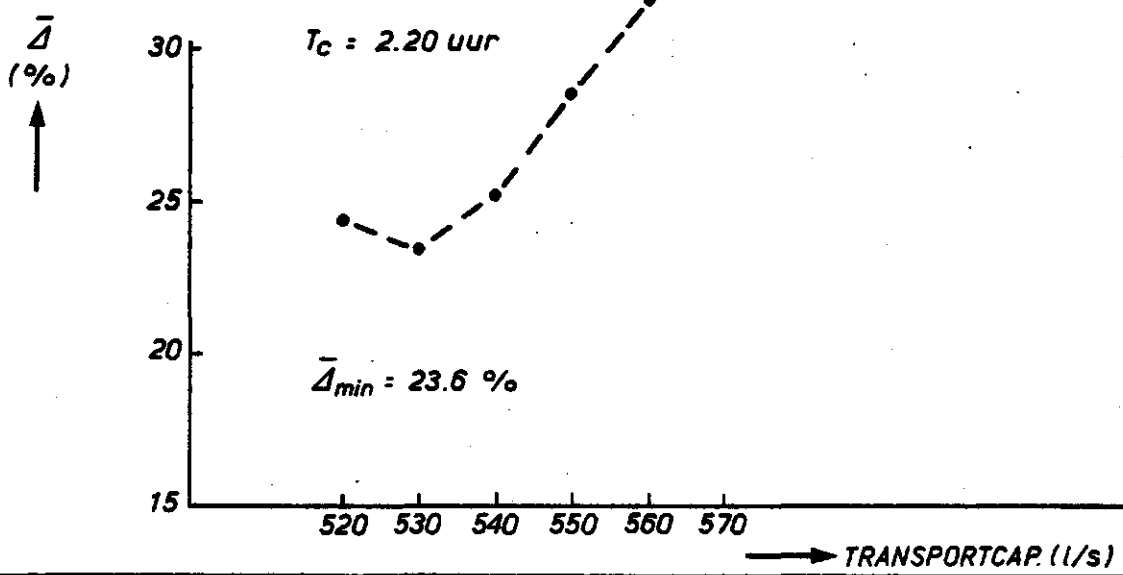
FIG.10



10d



10e



10f

OPTIMALISATIE VAN DE CONTRATIETJD T_c
EN DE TRANSPORTCAPACITEIT

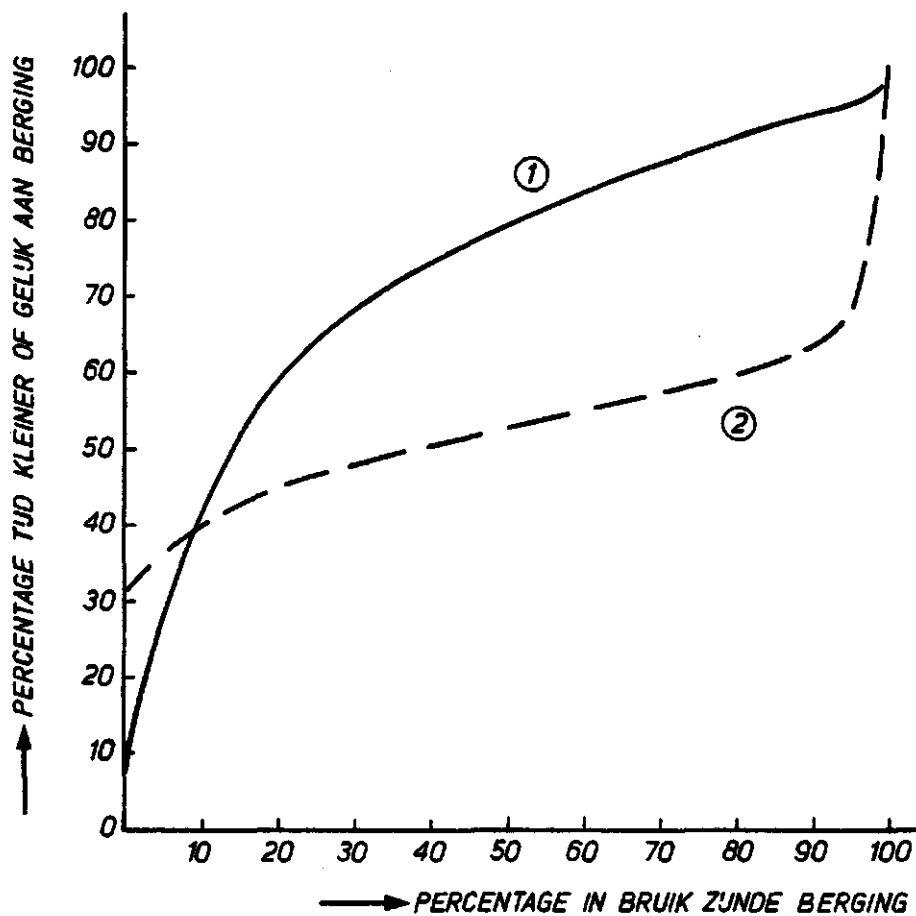
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

S415-II-1024

FIG.10



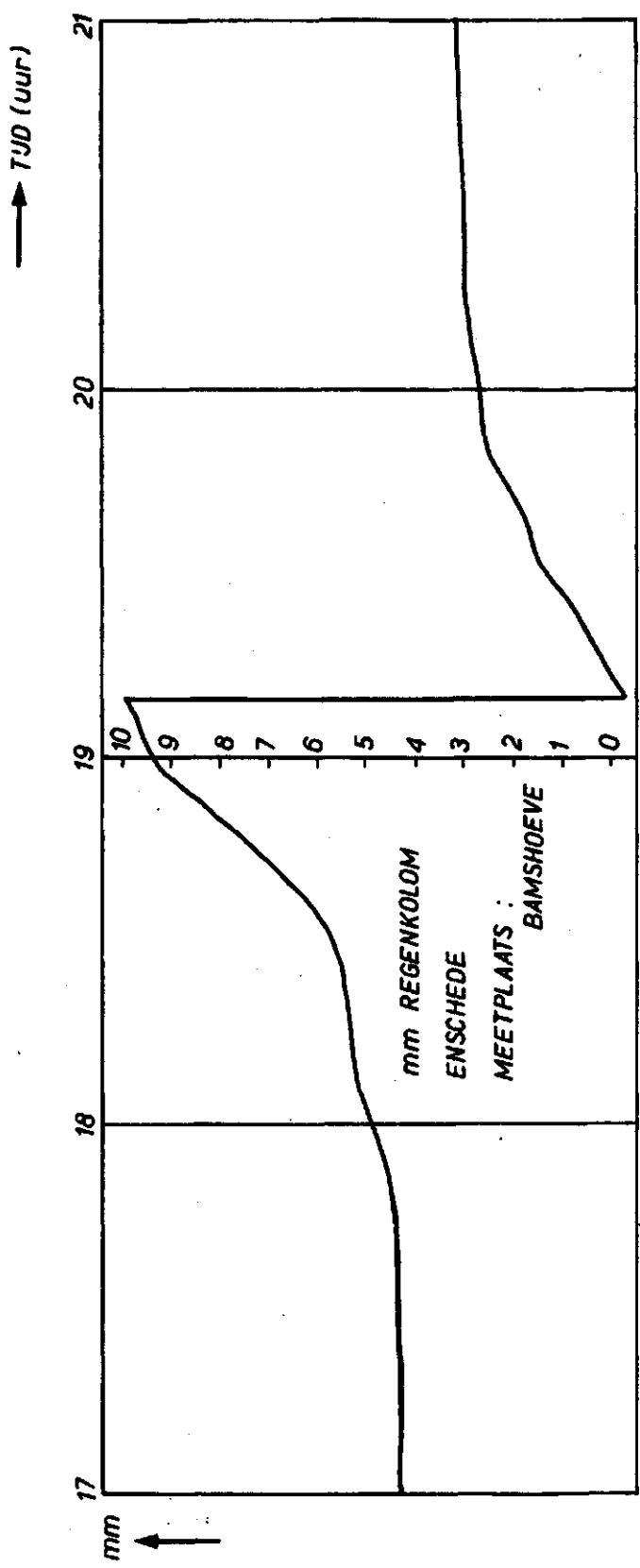
- 1 Goede dimensionering van de berging en goede afstemming op de transportcapaciteit. De berging staat slechts zelden helemaal leeg en stort weinig over. Deze figuur geeft het gebruik van het bergingsbassin Roessingh weer.

- 2 Algemeen voorbeeld van een slechte dimensionering van de berging en een slechte afstemming op de transport of zuiveringscapaciteit. De berging is vaak onbenut (30%) en loopt bijzonder snel over.

HET GEBRUIK VAN HET BERGINGSBASSIN AAN DE ROESSINGHBLEEKWEG, ZOALS BEREKEND DOOR STORM

JB

A4



WAARGENOMEN NEERSLAG OP 30-9-1978 TE BAMSHOEVE

JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

S 415-II-1025

FIG. 12

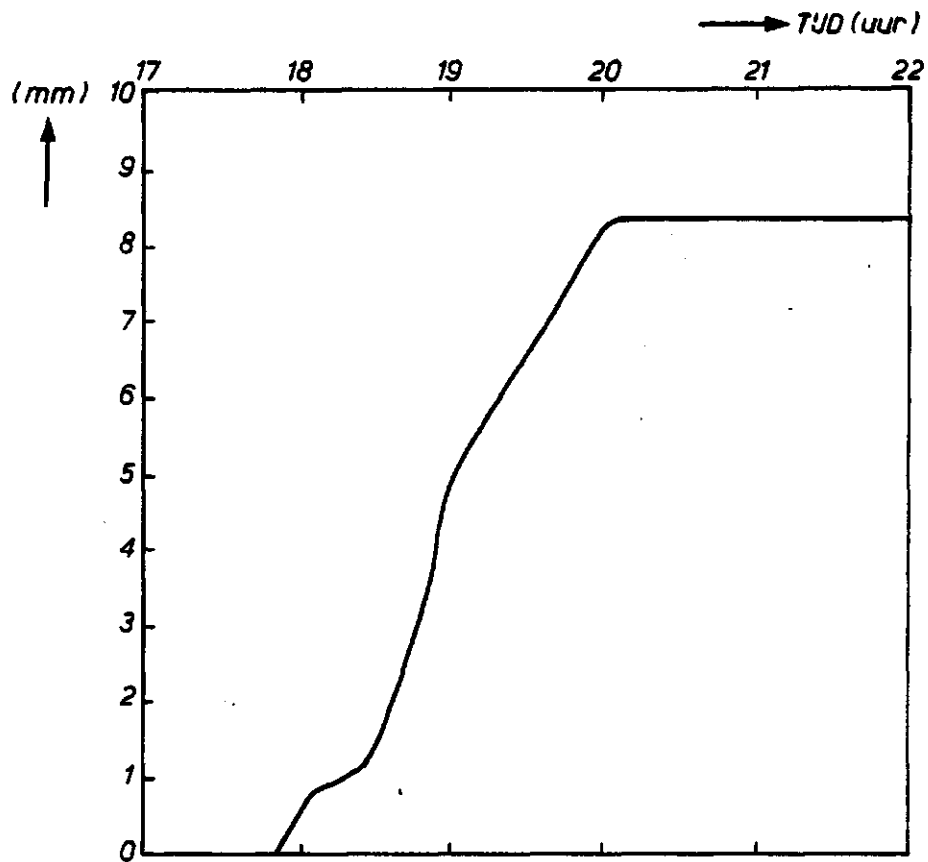


FIG. 13a GESOMMEERDE NEERSLAG BAMSHOEVE 30/9/78

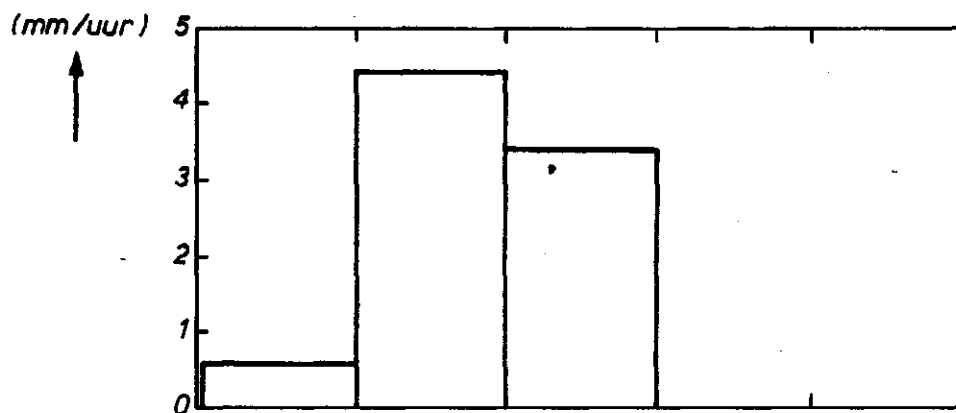


FIG. 13b SCHEMATISATIE NEERSLAG T.B.V. STORM 30/9/78

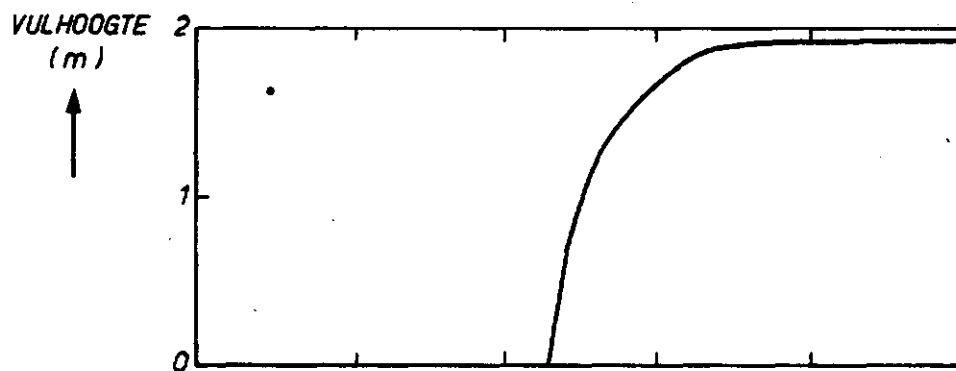


FIG. 13c VULLING VAN BERGINGSBASSIN HET ROESSINGH 30/9/78

DE NEERSLAG EN HET GEMETEN WATERPEIL IN HET
BERGINGSBASSIN AAN DE ROESSINGHBLEEKWEG T.G.V.
DE NEERSLAG OP 30-9-1978

JB

A4