

**OMVORMING VAN NEERSLAG TOT RIOOLINVOER
BIJ ENKELE TYPEN VERHARDINGEN**

J.G. ZONDERVAN

A. DOMMERHOLT

Nota No. 38

**LABORATORIUM VOOR
HYDRAULICA EN AFVOERHYDROLOGIE
DECEMBER 1976
(75-155)**

INHOUDSOPGAVE

	Blz.
1. Inleiding	1
2. Beschrijving meetapparatuur	1
3. Beschrijving van de proefvakken	4
4. Opzet van de proeven	6
5. Verwerking en interpretatie van de meetgegevens	8
5.1. Proefnemingen in Wageningen (P I t/m P IV)	8
5.2. Proefnemingen in Bennekom (B I en B II)	11
5.3. Proefnemingen in Wageningen (H I)	12
6. Conclusies en opmerkingen	13
7. Lijst van symbolen	15
8. Literatuurlijst	16
Meetcijfers uitgevoerde proeven	17
Figuren	
Fotopagina	

1. INLEIDING

Onderzoekingen naar de omvorming van neerslag tot rioolvoer bij verschillende typen "inlet areas" vormen een onderdeel van het onderzoek van de vakgroep inzake stedelijke hydrologie.

Onder "inlet area" wordt het gehele gebied verstaan, waarvan de afvoer ten gevolge van neerslag op één punt het riool binnenkomt. Er kunnen twee typen inlet areas worden onderscheiden, nl.:

1. daken + bijbehorende afvoerbuizen
2. verharde terreinen.

Onderzoek van het eerste type inlet area is nog in uitvoering en een deelonderzoek hiervan is beschreven in Nota 33 (litt. |5|). In deze nota worden enkele experimenten beschreven bij een drietal inlet areas van het tweede type. Terwijl bij het onderzoek van het eerste type inlet area gebruik wordt gemaakt van enkele vaste proefobjecten is besloten om voor het onderzoek van inlet areas van het tweede type een mobiele meetopstelling te ontwikkelen. Het voordeel hiervan is dat met relatief geringe kosten op een groot aantal plaatsen proeven kunnen worden genomen. In de jaren 1975 en 1976 is in het laboratorium van de vakgroep een meetopstelling ontwikkeld waarmee snel veranderende debieten die straatkolken instromen voldoende nauwkeurig kunnen worden gemeten. In het kader van een samenwerkingsverband is van het Rijks-wegenbouwlaboratorium een beregeningsinstallatie geleend.

Nadat de verschillende meetinstrumenten in het laboratorium op nauwkeurigheid waren gecontroleerd, is de gehele proefopstelling op het parkeerterrein voor het gebouw van de afdeling getest, waartoe daar de eerste reeks proeven is uitgevoerd. Nadat dit bevredigend was verlopen zijn in de zomer van 1976 op een parkeerterrein in Wageningen en een stuk straat + trottoirs in Bennekom een reeks experimenten uitgevoerd. Voor de uitvoering van deze proeven is dank verschuldigd aan de Afdeling Gemeentewerken van Wageningen, het Gemeentelijk Gas- en Waterleidingbedrijf te Wageningen en de Veluwe Nutsbedrijven te Ede. Deze instanties hebben meegewerkt om de proefnemingen succesvol te laten verlopen, o.m. door hun toestemming brandkranen te gebruiken en door het uitlenen van materiaal.

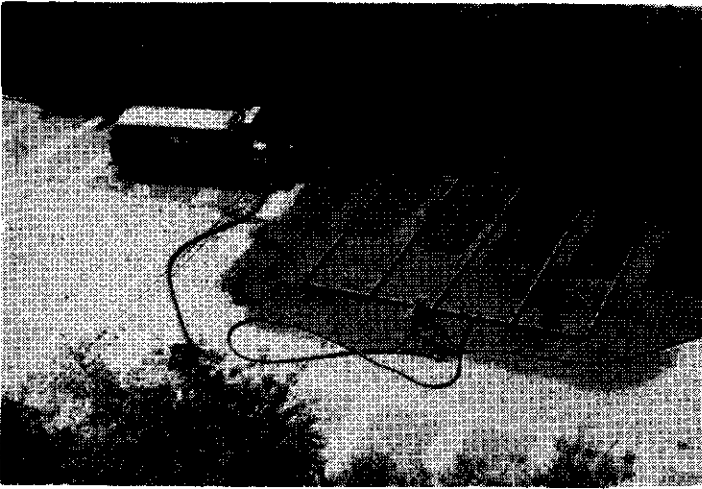
2. BESCHRIJVING MEETAPPARATUUR

Bij de ontwikkeling van de meetopstelling is er van uitgegaan dat deze aan de volgende voorwaarden moet voldoen:

- a. Gemakkelijk verplaatsbaar, dus demontabel in niet te grote en zware onderdelen.
- b. Een goede verdeling van de kunstmatige beregening over het te beregenen oppervlak.

De beregening van de proefvakken vond plaats door een aantal evenwijdig geplaatste pijpen met een onderlinge afstand van 2 meter, waarin aan de bovenkant, regelmatig verdeeld, sproeiers waren geschroefd, zoals deze in de tuinbouw toegepast worden. De uiteinden van de pijpen waren door een dwarspijp met elkaar verbonden en op deze dwarspijp was een slang aangesloten die aan het andere einde aansloot op een flowmeter, waarmee door middel van een kraan de beregeningsintensiteit kon worden geregeld (zie foto's 1 en 2). De voeding van dit geheel geschiedde via een standpijp op een brandkraan van de Gemeente en een slang naar de flowmeter. De pijpen stonden op steuntjes, zodat de stroming van het water over het oppervlak nauwelijks beïnvloed werd.

Voor het meten van de invoer in de straatkolk waren in beginsel twee plaatsen mogelijk, nl. direct in de straatkolk zelf of daarbuiten. Het voordeel van het meten in de straatkolk zelf is dat men onmiddellijk de instromende hoeveelheid kan meten. Het zou echter erg veel tijd gaan kosten om een meetinrichting te ontwikkelen die in een betrekkelijk kleine ruimte geplaatst kon worden en aangesloten moest worden op de afvoer van de straatkolk. Aangezien ook nog verschillende typen straatkolken bestaan was dit uit praktische overwegingen geen interessante mogelijkheid. De andere mogelijkheid was het water zo snel mogelijk en met een minimale tussentijdse berging uit de straatkolk in een op straat opgestelde meetinrichting te pompen. Hiervoor moest de afvoerpijp van de straatkolk afgedicht worden. Een eenvoudige en doeltreffende manier was, een plastic zak ter grootte van de straatkolk bovenaan tegen de wanden van de straatkolk te plakken en waterdicht af te kitten (zie foto 3). In de plastic zak werd een pomp neergelaten tot op de bodem van de kolk. Teneinde de bergingsveranderingen in de plastic zak tot een minimum te beperken, werd het peil hierin zo konstant mogelijk gehouden met behulp van een elektrode, die enkele magneetafsluiters, aan de perszijde van de pomp, bestuurde (zie fig. 1). Als het waterniveau gelijk aan of boven de elektrode kwam werden de twee magneetafsluiters (1), die naar de meetinrichting voerden, geopend en werd afsluiter (2), die terugvoerde naar de straatkolk, gesloten. Zakte het waterniveau ten gevolge van het wegpompen weer onder de elektrode, dan werden (1) gesloten en werd (2)



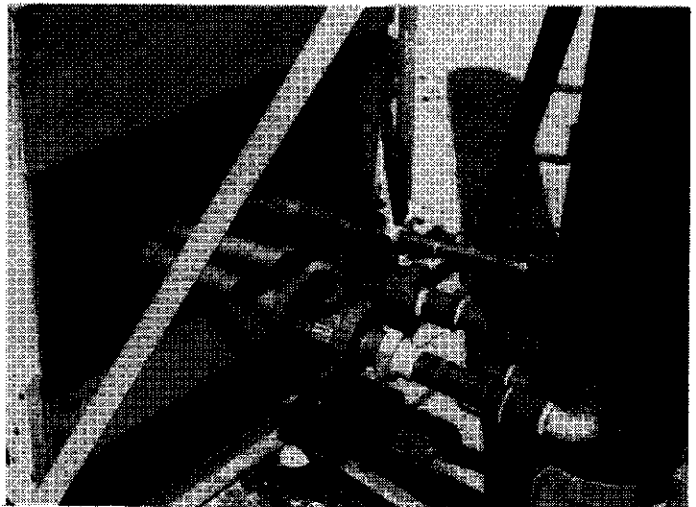
1



2



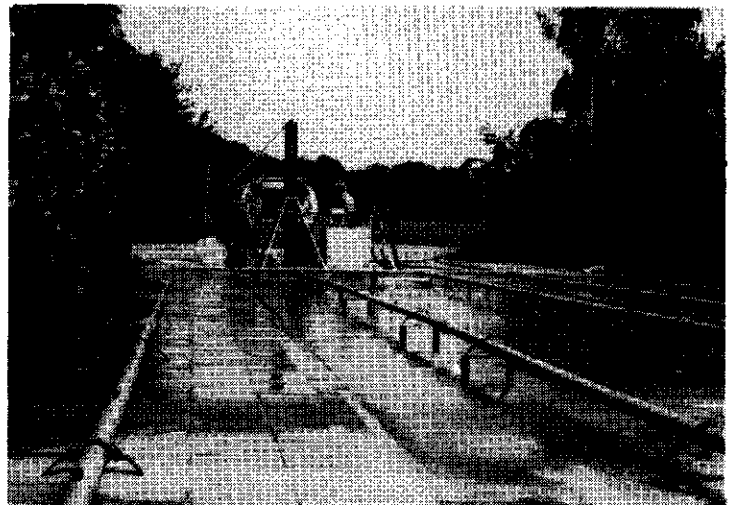
3



4

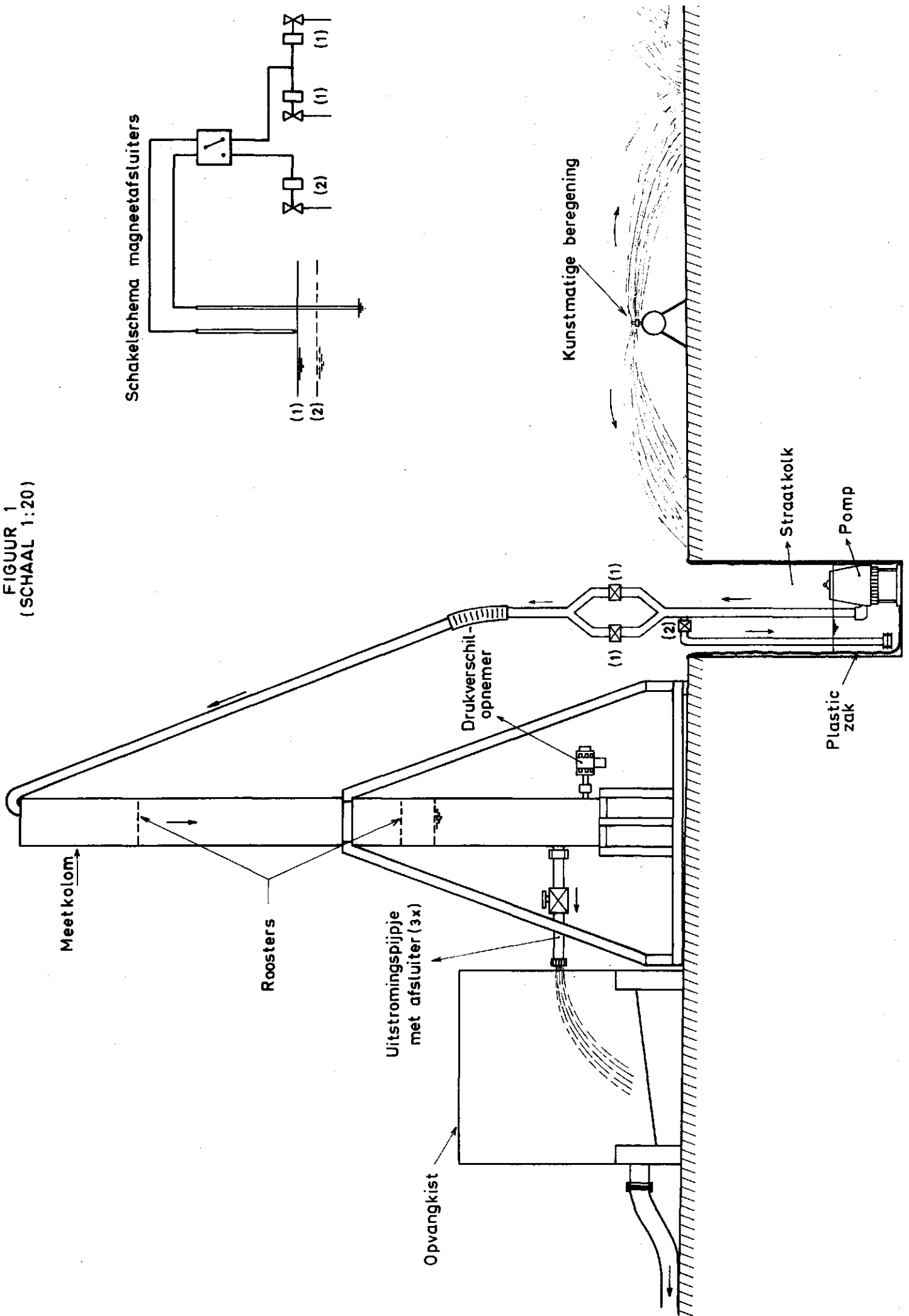


6



5

FIGUUR 1
(SCHAAL 1:20)



geopend. Het uit de straatkolk gepompte water kwam hierdoor pulserend in de meetinrichting. De genoemde meetinrichting bestond uit een 2,5 meter hoge kolom met een diameter van ± 21 cm. Aan deze kolom waren drie uitstromingspijpjes gemonteerd, ieder met een afsluiter en een schijfje met een ronde opening aan de uitstroomzijde (zie foto 4). De relatie tussen de waterhoogte in de meetkolom en het, door elk van deze ronde openingen uitstromende, debiet was door volumetrische ijking in het laboratorium bepaald. De openingen in de schijfjes waren van verschillende diameter, teneinde een zo groot mogelijk bereik van de afvoeren met redelijke nauwkeurigheid te kunnen meten. Door middel van de afsluiters kon zeer snel overgeschakeld worden naar een kleinere of grotere meetopening. Het niveau in de meetkolom werd gemeten met een drukverschilopnemer die verbonden was met een flat-bed-recorder, die aldus continu het niveau registreerde. De afvoer uit de meetkolom werd opgevangen en afgevoerd naar een verderop gelegen straatkolk. Tenslotte werd de benodigde spanning voor de pomp en het elektronica-gedeelte geleverd door een aggregaat. Hierbij dient opgemerkt te worden dat een recorder gebruikt werd die niet gevoelig was voor kleine spanningsverschillen van het aggregaat.

IJkingen

In het laboratorium was een opstelling gemaakt die bestond uit de meetkolom met de drie uitstromingspijpjes en de drukverschilopnemer met daaraan gekoppeld de flat-bed-recorder. Door nu via een op 1% nauwkeurigheid geijkte flowmeter een aantal bekende debieten in de meetkolom te voeren, konden de hierbij behorende waarden op de recorder worden gevonden voor ieder van de drie openingen of combinaties hiervan. Door in een grafiek de gevonden relaties tussen afvoer en recorderaflezing tegen elkaar uit te zetten werd voor iedere opening een ijkcurve gevonden. Met behulp van regressie-analyse is voor deze ijkcurves een goede aanpassing verkregen met de formule:

$$\log Q_m(t) = a + b \log R(t) + c(\log R(t))^2$$

waarin: $Q_m(t)$ = afvoer uit meetkolom
 $R(t)$ = recorderaflezing
 a, b, c = constanten.

Met behulp van de gevonden formules zijn tabellen gemaakt, zodat bij iedere recorderstand onmiddellijk het uitstromende debiet afgelezen kon worden. Om

het de meetkolom instromende debiet te verkrijgen moest nog gecorrigeerd worden voor de bergingsverandering in de meetkolom. Hiervoor was in het laboratorium bepaald welke inhoud in de meetkolom overeenkwam met 1 eenheid op de recorder. De toegepaste formule voor de afvoer werd dan als volgt:

$$Q(t) = Q_m(t) + \frac{dB}{dt}$$

$$Q(t) = Q_m(t) + \frac{\{R(t + \Delta t) - R(t - \Delta t)\}\alpha}{2\Delta t}$$

waarin: $Q(t)$ = afvoer op tijdstip t
 B = berging in meetkolom
 $Q_m(t)$ = uitstromende debiet uit meetkolom op tijdstip t
 (af te lezen uit ijktabel met behulp van $R(t)$)
 $R(t)$ = recorderstand op tijdstip t
 α = omrekeningsfactor van recordereenheden naar inhoud in de meetkolom.

(N.B.: Als waarde voor Δt is steeds 15 seconden gebruikt.)

Voor een verdere test werd nu ook de pomp in de proefopstelling betrokken. De pomp werd geplaatst in een bak met afmetingen die ongeveer gelijk waren aan die van een straatkolk. Met deze opstelling werden enkele testen uitgevoerd en na uitwerking op bovenstaande wijze van de recorderstroken bleek de gemeten afvoer uit de meetinrichting goed overeen te komen met de golf die in de bak was toegevoerd. Ook bleek de vertraging in het systeem verwaarloosbaar klein te zijn.

3. BESCHRIJVING VAN DE PROEFVAKKEN

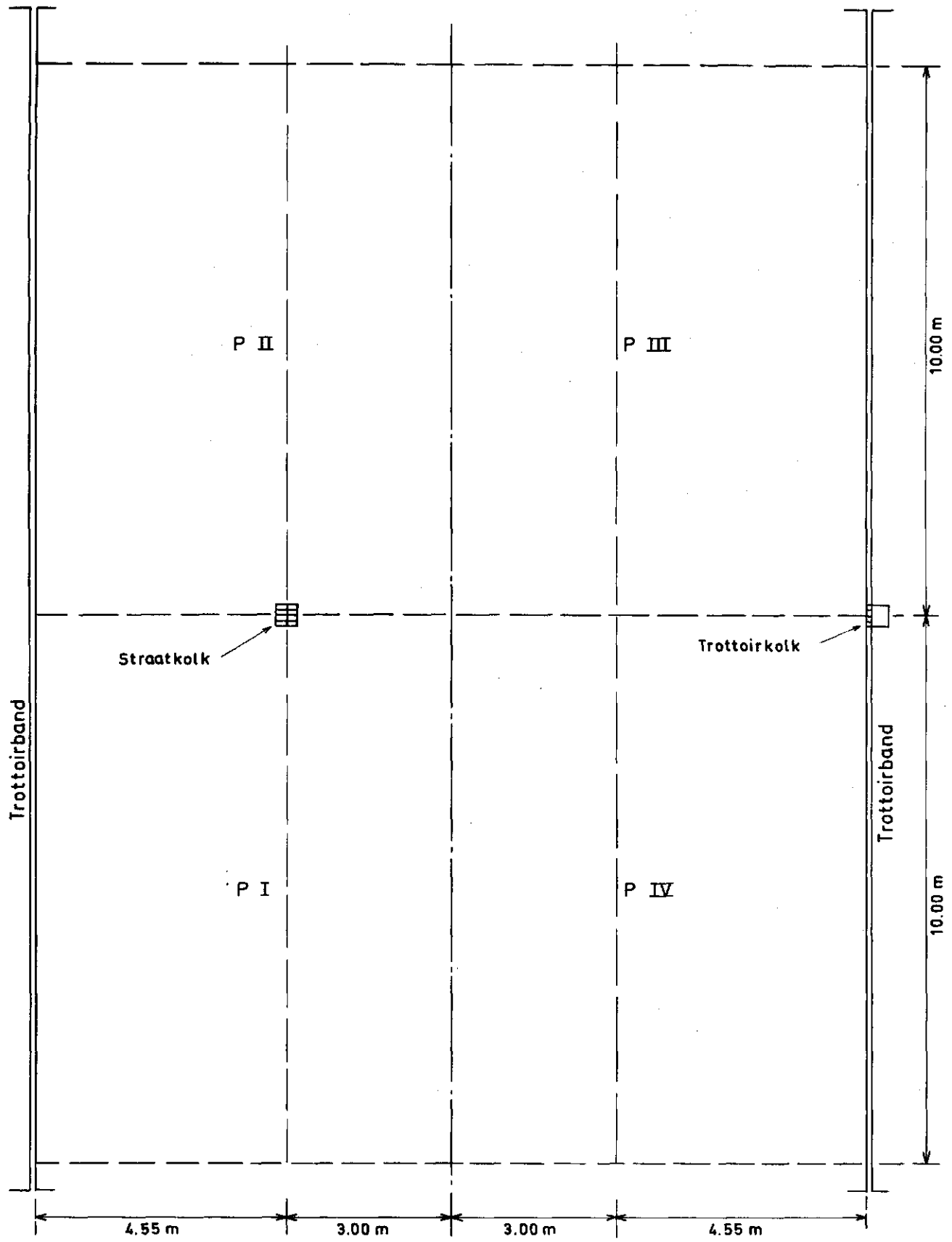
Ten behoeve van dit onderzoek werden metingen gedaan op drie plaatsen, nl.:

- A. Parkeerterrein te Wageningen (Pomona).
- B. Asfaltweg met trottoir aan beide zijden te Bennekom (Alexanderweg).
- C. Bestrating bij gebouw te Wageningen (gebouw "De Nieuwlanden").

A. Parkeerterrein

Dit parkeerterrein was ongeveer 5 jaar in gebruik, maar niet erg intensief. De bestrating bestond uit betonstenen in een zandbed op klei. Op dit parkeerterrein waren zowel straatkolken als trottoirkolken aanwezig (zie fig. 2 en foto 1). Door waterpassing is bepaald welk gedeelte van het parkeerterrein

FIGUUR 2 (SCHAAL 1:100)
Parkeerterrein te Wageningen (Pomona)



Gemiddeld dwarsprofiel (HOOGTE SCHAAL 1:20)



afstroomde naar een bepaalde kolk. In de lengterichting van het parkeerterrein bleek geen helling aanwezig te zijn, zodat als waterscheiding in deze richting de halve afstand tussen twee opeenvolgende kolken is genomen. Aangezien de kolkafstand 20 meter bedroeg was dit dus 10 meter aan weerszijden van de kolk. In de dwarsrichting waren wel hellingen aanwezig (zie fig. 2, dwarsprofiel). De waterscheiding lag hier in het midden van het parkeerterrein. De oppervlakken die afstroomden naar één kolk, zowel naar een straatkolk als een trottoirkolk, bedroegen dus $20 \times 7.55 = 151 \text{ m}^2$. Om praktische redenen (grootte van het te beregenen oppervlak, opstelling meetapparatuur) zijn deze oppervlakken in twee gelijke vakken verdeeld, zodat de kolk aan de rand van zo'n vak kwam te liggen. Uit fig. 2 blijkt dat de vakken P I en P II afstromen naar de straatkolk en de vakken P III en P IV naar de trottoirkolk. Op alle vier deze vakken zijn een aantal beregeningsproeven uitgevoerd.

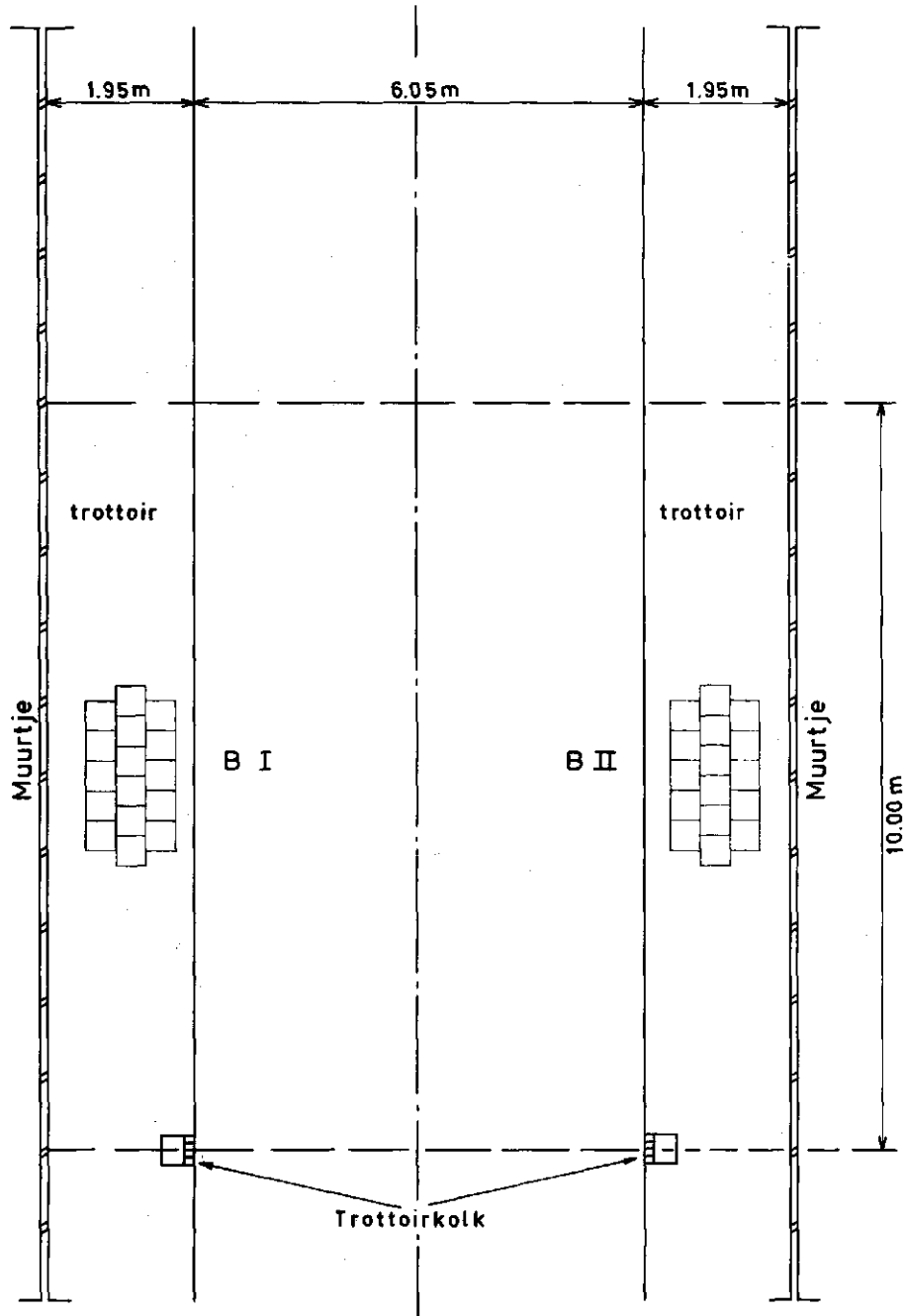
B. Asfaltweg met trottoirs

Dit proefvak bestond uit een asfaltweg van 6.05 m breedte met aan weerszijden een trottoir van 1.95 m (zie foto 5 en fig. 3). Aan weerszijden van de weg bevonden zich trottoirkolken tegenover elkaar. Het beregende oppervlak bestond hier uit een vak met de volledige straatbreedte en een lengte van 10 m, nl. de halve afstand tussen de trottoirkolken, totaal dus $\pm 100 \text{ m}^2$ (zie fig. 3 en foto 5). In de lengterichting van de straat was geen helling aanwezig. In de dwarsrichting lag de waterscheiding in het hart van de weg. Het oppervlak dat afstroomt naar de ene trottoirkolk is B I genoemd en het oppervlak dat naar de tegenoverliggende trottoirkolk afstroomt B II. In feite zijn de vakken B I en B II ieder de helft van de "inlet area" van de betreffende trottoirkolk in het geval van een doorgaande straat. De gemiddelde dwarshelling van de asfaltweg van vak B I was 1,2%; van vak B II was dit 2,2%.

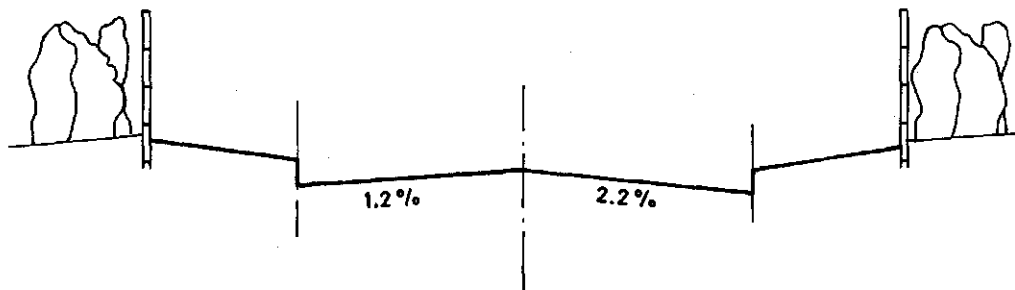
C. Bestrating bij gebouw "De Nieuwlanden"

De bestrating bestond uit hetzelfde type betonstenen in een zandbed op klei als dat wat is toegepast bij het parkeerterrein in Pomona. Dit terrein, dat drie jaar geleden was aangelegd, wordt vrijwel niet bereden en slechts sporadisch als parkeerterrein gebruikt. Er is een stuk beregend van $9.50 \times 10.50 \text{ m} = \pm 100 \text{ m}^2$ (zie fig. 4), terwijl de straatkolk in één van de hoeken lag. Een gemiddelde helling is hier moeilijk aan te geven; in de plaats daarvan zijn hoogtelijnen in de figuur getekend (het verschil tussen twee opeenvolgende hoogtelijnen is 1 cm).

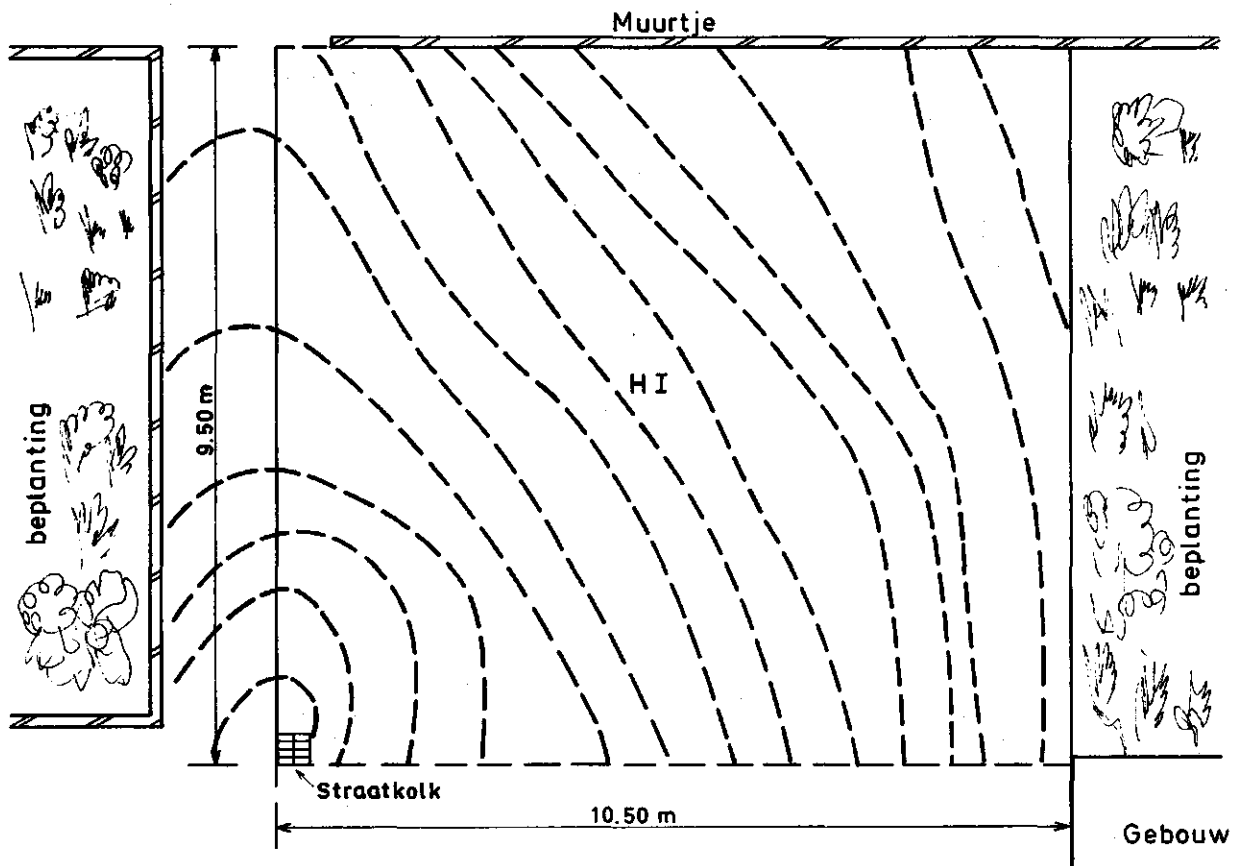
FIGUUR 3 (SCHAAL 1:100)
Asfaltweg met trottoirs te Bennekom



Gemiddeld dwarsprofiel (HOOGTE SCHAAL 1:20)



FIGUUR 4 (SCHAAL 1:100)
Bestrating te Wageningen ("De Nieuwlanden")



HOOGTELIJNEN
(Hoogteverschil tussen 2 hoogtelijnen is 1 cm)

4. OPZET VAN DE PROEVEN

Bij het opstellen van een schema van uit te voeren experimenten was het de opzet om uit de experimenten informatie te verkrijgen t.a.v. de volgende punten:

1. initieel verlies.

Dit verlies treedt op ten gevolge van bevochtiging van het oppervlak en het vullen van depressies.

2. infiltratiesnelheid kort na het begin van neerslag en een indicatie over het afnemen hiervan bij aanhoudende neerslag.

Over punt 2 kan het volgende worden opgemerkt: Om een goed beeld te hebben van de infiltratiesnelheid bij verschillende vochttoestanden van de bestrating en onderliggende grond zou men een zeer lange beregeningsproef met een constant beregeningsdebiet moeten houden na een langdurige droogteperiode. Met uitzondering van een korte periode vanaf het begin van de proef zal de afvoer dan alleen nog veranderen doordat de infiltratie afneemt. Uit het verschil van de gemeten afvoer en het beregeningsdebiet kan dan op ieder tijdstip de infiltratie plus verdamping worden bepaald. Hoewel aan de gehouden proefnemingen inderdaad een langdurige droogteperiode is voorafgegaan ontbrak het toch aan tijd en mankracht om deze langdurige beregeningsproef uit te voeren en is het verlies t.g.v. infiltratie plus verdamping bepaald m.b.v. het eerst en het laatst gehouden experiment voor iedere opstelling.

3. de transformatie van neerslag minus verliezen tot rioolinvoer.

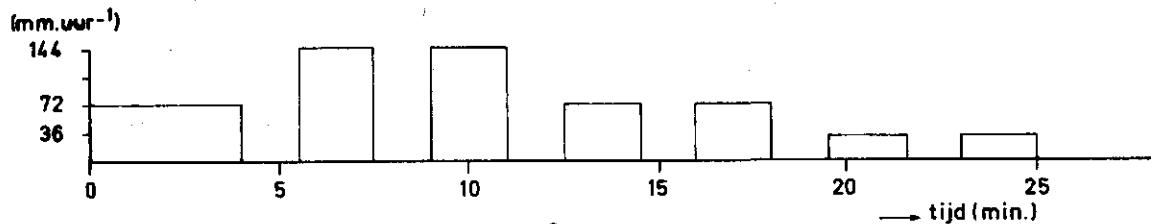
Daar uit vroegere experimenten, door ondergetekenden uitgevoerd in het laboratorium van de afdeling, al was gebleken dat de stroming over verharde vlakken een duidelijk niet-lineair verschijnsel is, is aanvankelijk besloten aan deze niet-lineariteit aandacht te besteden. Hiertoe zijn een drietal korte beregeningsproeven in het schema opgenomen, waarbij voor elk van de drie proeven beregend is met een verschillende konstante intensiteit (36, 72 en 144 (bij "De Nieuwlanden" 108) mm.uur⁻¹). Het idee was om m.b.v. deze drie beregeningsproeven eerst enkele lineaire modellen te vergelijken voor wat betreft hun geschiktheid de beschouwde transformatie te beschrijven voor elk van de drie beregeningsintensiteiten. Vervolgens zouden voor het beste model de parameters kunnen worden bepaald voor elk van de drie proeven.

De verandering van de parameterwaarden met de -konstante- neerslagintensiteit van de proef zou inzicht verschaffen in de mate van niet-lineariteit van de transformatie. Daar -zoals verderop vermeld- bij de verwerking van de metingen bleek dat de transformatie van neerslag minus verliezen tot rioolvoer bij de onderzochte proefplekken een zeer snel verlopend proces is, is het onderzoek zoals dat is vermeld onder punt 3 veel eenvoudiger uitgevoerd dan eerst de bedoeling was. Met name is er van afgezien de niet-lineariteit te onderzoeken. Het schema uitgevoerde proeven is als volgt samengesteld:

A. Proefvakken P I t/m P IV : ieder 75 m^2 (zie fig. 2)

Beregeningsproeven:

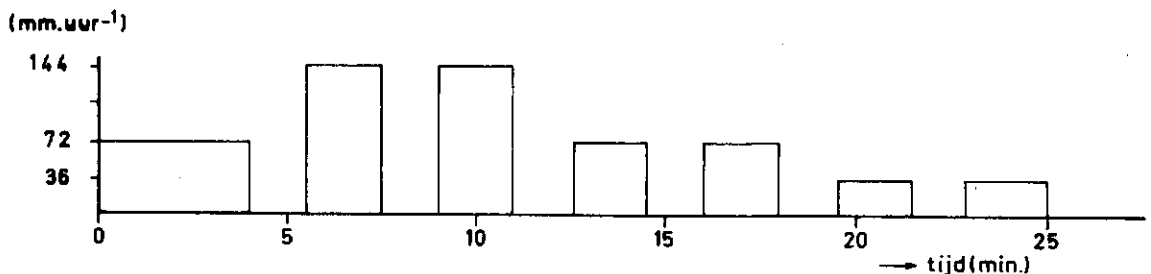
1. $1,5 \text{ l.s}^{-1}$ (= 72 mm.uur^{-1}) tot "vrijwel stationaire" toestand:
 - a. met een droog oppervlak
 - b. na enkele uren beregenen.
 2. a. $0,75 \text{ l.s}^{-1}$ (= 36 mm.uur^{-1}) gedurende 6 minuten
 - b. $1,5 \text{ l.s}^{-1}$ (= 72 mm.uur^{-1}) gedurende 4 minuten
 - c. $3,0 \text{ l.s}^{-1}$ (= 144 mm.uur^{-1}) gedurende 3 minuten.
3. Testbui:



B. Proefvakken B I en B II : ieder 50 m^2

Beregeningsproeven:

1. $1,0 \text{ l.s}^{-1}$ (= 72 mm.uur^{-1}) tot "vrijwel stationaire" toestand.
 2. a. $0,5 \text{ l.s}^{-1}$ (= 36 mm.uur^{-1}) gedurende 6 minuten
 - b. $1,0 \text{ l.s}^{-1}$ (= 72 mm.uur^{-1}) gedurende 4 minuten
 - c. $2,0 \text{ l.s}^{-1}$ (= 144 mm.uur^{-1}) gedurende 3 minuten.
3. Testbui:



C. Proefvak H I : 100 m²

Beregeningsproeven:

1. $2,0 \text{ l.s}^{-1}$ (= 72 mm.uur^{-1}) tot "vrijwel stationaire" toestand:
 - a. met een droog oppervlak
 - b. na enkele uren beregenen.
2. a. $1,0 \text{ l.s}^{-1}$ (= 36 mm.uur^{-1}) gedurende 6 minuten
- b. $2,0 \text{ l.s}^{-1}$ (= 72 mm.uur^{-1}) gedurende 4 minuten
- c. $3,0 \text{ l.s}^{-1}$ (= 144 mm.uur^{-1}) gedurende 3 minuten.
3. Testbui:

5. VERWERKING EN INTERPRETATIE VAN DE MEETGEGEVENS5.1. Proefnemingen in Wageningen (P I t/m P IV, zie fig. 2 en foto 1)

Voor vier verschillende opstellingen van de sproeileidingen is een aantal beregeningsproeven uitgevoerd, waarbij in elke opstelling het halve oppervlak van een "inlet area" werd beregend. Daar de kolken in het symmetrievlak van de "inlet areas" liggen, is de afvoer van een "inlet area" t.g.v. een beregeningspatroon te verkrijgen door de afvoeren op te tellen, die worden verkregen door dit beregeningspatroon op beide helften afzonderlijk te simuleren. In fig. 5 en 6 worden voor de vier opstellingen de afvoercurven van de proeven 1.a. en 1.b. gegeven, waarbij proef 1.a. startte na een droogteperiode van enkele weken, terwijl proef 1.b. is ingezet na enkele uren beregening.

Uit de verschuiving van de opgaande tak van de afvoercurve, veroorzaakt door de verschillende begintoestanden van het verharde oppervlak, kan het z.g. initiële verlies worden geschat, hetgeen wordt veroorzaakt door het bevochtigen van het oppervlak en het vullen van depressies. Uit het verschil tussen het beregeningsdebiet en de vrijwel stationair geworden afvoer aan het eind van de proef kunnen schattingen worden gevonden voor de infiltratiesnelheid plus de verdampingsintensiteit.

Hoewel de experimenten gehouden zijn in juni met warm onbewolkt weer, kan de verdamping geschat worden op maximaal 1 mm.uur^{-1} , hetgeen een onbeduidende fractie uitmaakt van het totale verlies.

De infiltratie wordt veroorzaakt door inzijging in de naden tussen de stenen en door absorptie door de stenen zelf. Daar het nuttig kan zijn om te weten hoe groot de waterabsorptie door het verhardingsmateriaal zelf kan zijn is een eenvoudige proef genomen met twee betonstenen. Na goed te zijn gedroogd zijn deze stenen met één zijde in een bak water gelegd waarna op regelmatige tijden de gewichtstoename is bepaald. Beide stenen bleken gedurende het eerste kwartier $\pm 0,5 \text{ mm}$ te hebben geabsorbeerd. Na het eerste kwartier was de gewichtstoename zeer gering en voor de problematiek van neerslag-afvoerrelaties onbetekenend. Een samenvatting van de resultaten aangaande de verliezen is gegeven in tabel 1.

Tabel 1: Overzicht verliezen op parkeerterrein bij flatgebouwen in Wageningen.

Positie van de sproeileidingen	P I	P II	P III	P IV
Initieel verlies (mm)	0.5	1.8	1.5	*)
Infiltratiesnelheid + verdamping bij een droge begintoestand (mm.uur ⁻¹)	23	25	20	27
Infiltratiesnelheid + verdamping na enkele uren beregenen (mm.uur ⁻¹)	17	16	8	18

*) Proef is afgebroken en opnieuw uitgevoerd, daarom is hier geen initieel verlies bepaald.

Uit de proefnemingen is gebleken dat bij dit parkeerterrein de transformatie van neerslag minus verliezen tot rioolvoer een proces is dat zo snel verloopt, dat indien men dit proces met een parametrisch model wil beschrijven het noodzakelijk is te werken met zeer kleine tijdsintervallen. Om het afvoerproces goed te kunnen volgen is een tijdsinterval van $\pm \frac{1}{4}$ minuut noodzakelijk. Gezien het snelle verloop van de transformatie van neerslag minus verliezen tot rioolvoer lijkt de toepassing van ingewikkelde modellen overdreven. Het eenvoudigste model bestaat hieruit, dat wordt aangenomen dat de neerslag, eventueel na aftrek van verliezen, direkt in de riolering terecht komt. Dit wordt toegepast bij het z.g. "bak-model" (zie |4|).

Wil men wat nauwkeuriger te werk gaan, dan kan men de transformatie van neerslag minus verliezen tot rioolvoer beschrijven met een één-parametermodel. Het lineaire reservoir is dan het meest voor de hand liggende model. Het lineaire reservoir model kan beschreven worden met zijn impulsresponsie (unit hydrograph):

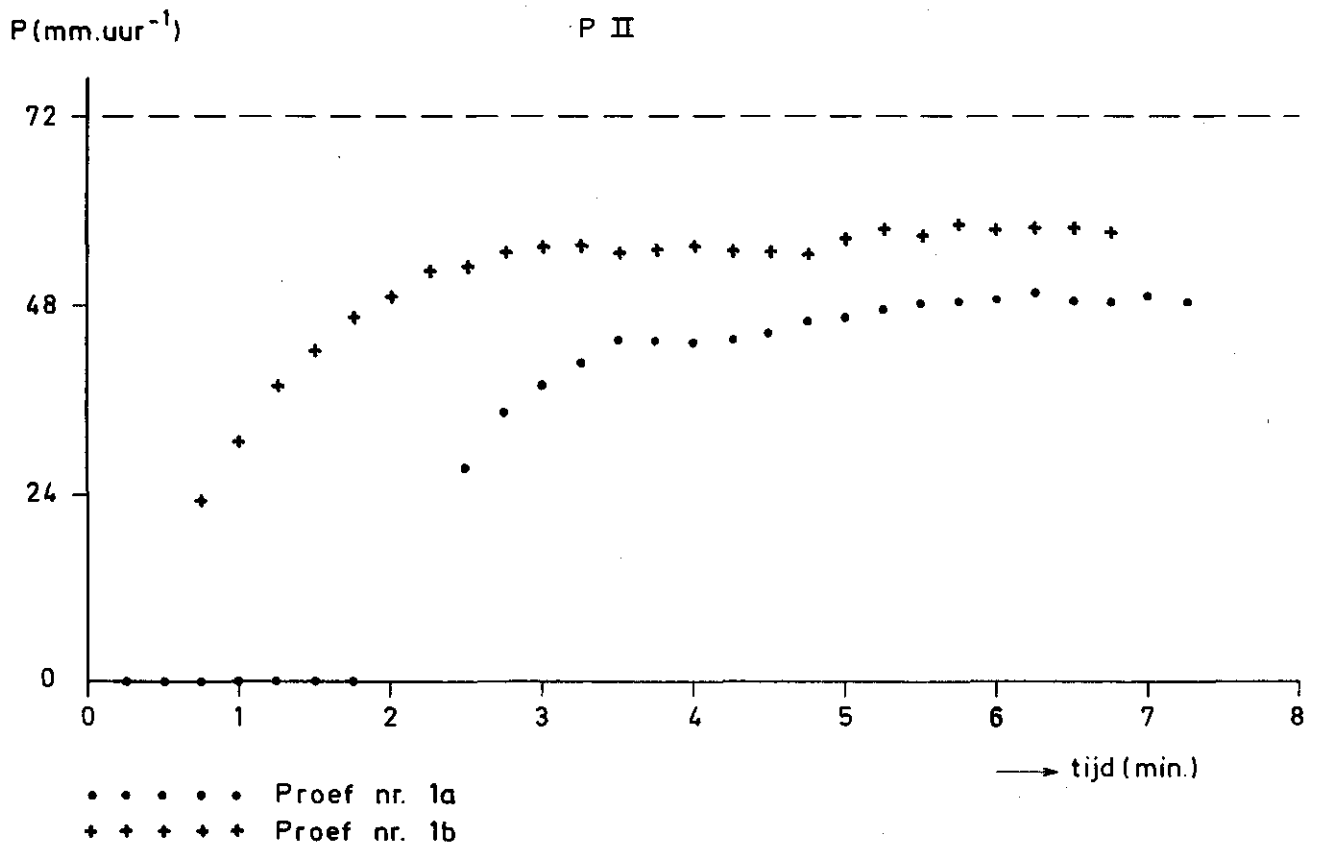
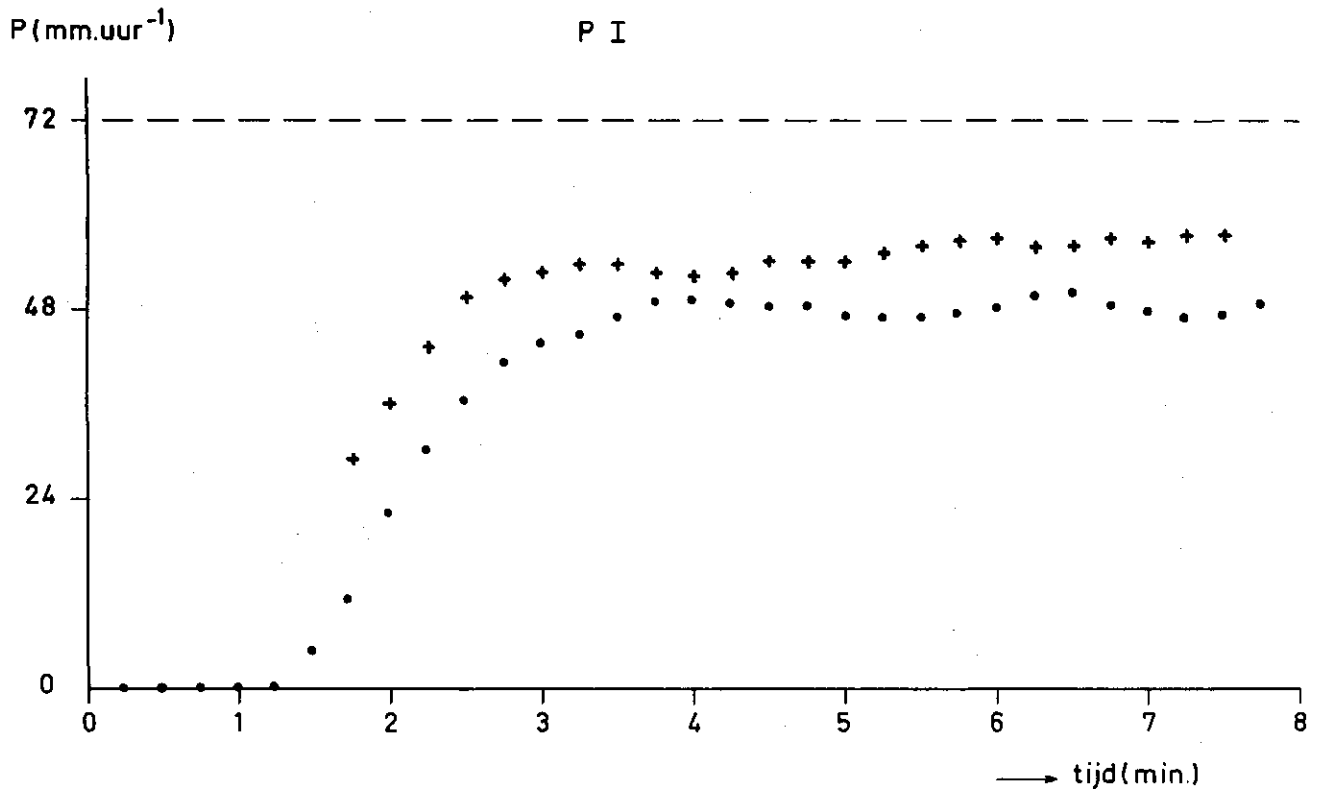
$$h(t) = \frac{1}{k} \cdot e^{-t/k}$$

waarin: $h(t)$ = impulsresponsie
 k = reservoirkonstante
 t = tijd.

Indien een neerslag-afvoersysteem kan worden beschreven met een lineair reservoir model, dan zal de afvoer na het stoppen van de neerslag een exponentieel verloop hebben. Wanneer men de verliezen na het stoppen van de berekening verwaarloost, dan kan van deze eigenschap gebruik worden gemaakt om op eenvoudige wijze de parameter te schatten. Het uitputtingsverloop van de afvoer zal, uitgezet tegen de tijd op semilogaritmisch papier, dan een rechte lijn moeten vormen. Dit is voor de vier proefopstellingen gedaan m.b.v. de gemeten afvoer van beregeningsproef 2.b. Het resultaat is weergegeven in fig. 7. Deze figuur laat zien dat de punten niet, zoals het geval zou zijn indien de proefplekken exact in model zouden kunnen worden gebracht met een lineair reservoir, op één lijn liggen. Door de punten in het traject 48-9.6 mm.uur⁻¹, waarvoor de benadering met een rechte lijn redelijk lijkt, zijn rechte lijnen getrokken. Uit de helling van de lijnen volgen de parameterwaarden.

Met het lineaire reservoir model is m.b.v. de vier parameterwaarden het afvoerverloop gesimuleerd van de testbui. Het resultaat is tesamen met de gemeten afvoerverlopen gegeven in de figuren 8 en 9. Uit de figuren blijkt, dat een betere aanpassing van het gemeten en het gesimuleerde afvoerverloop is te verkrijgen door het gesimuleerde afvoerverloop te verschuiven, b.v. een halve minuut. Het toegepaste model wordt in dat geval een lineair reservoir plus een translatie. Opgemerkt kan worden dat bij het begin van neerslag de gesimuleerde afvoer te steil oploopt. Toepassing van het lineaire reservoir model voor een plat dak dat was afgestrooid met grit gaf hetzelfde beeld (zie [5]). Het bleek daar dat andere lineaire modellen, die een golfvormige impulsresponsie gaven, het afvoerverloop van een testbui beter konden volgen dan het lineaire reservoir model, waarvan de im-

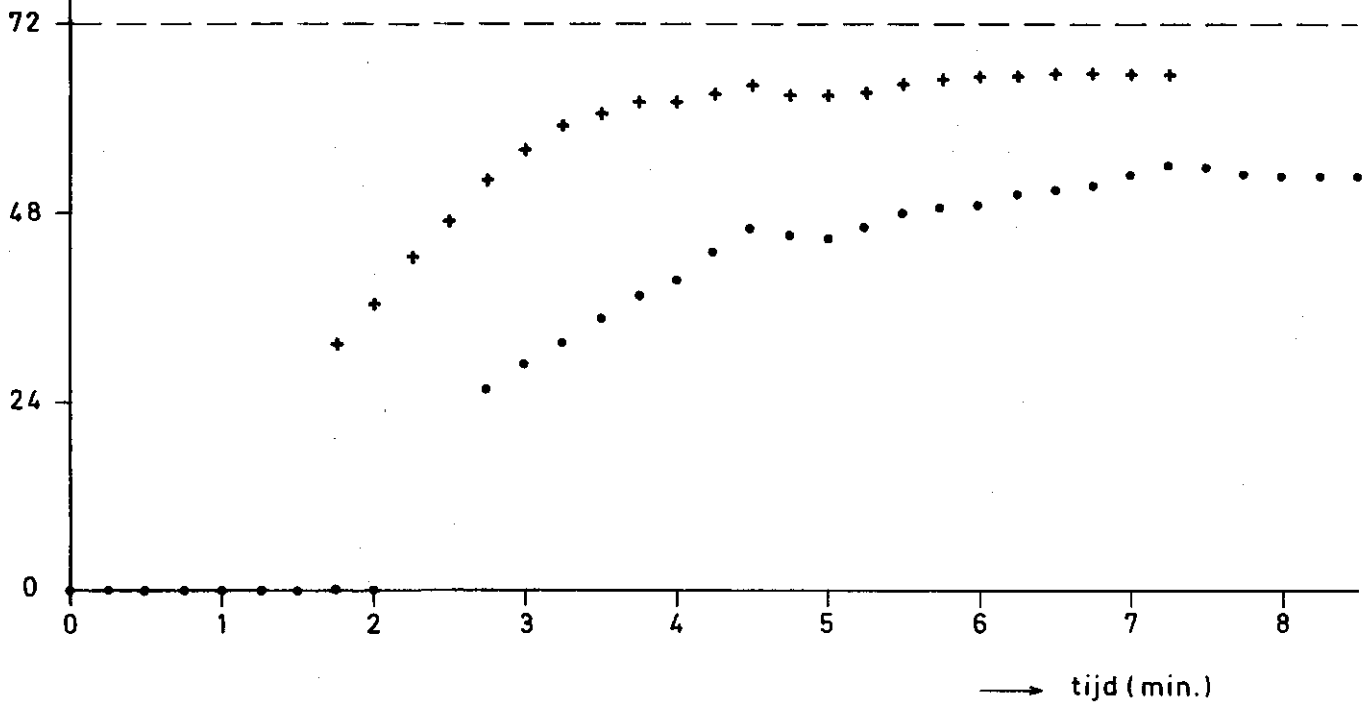
FIGUUR 5



FIGUUR 6

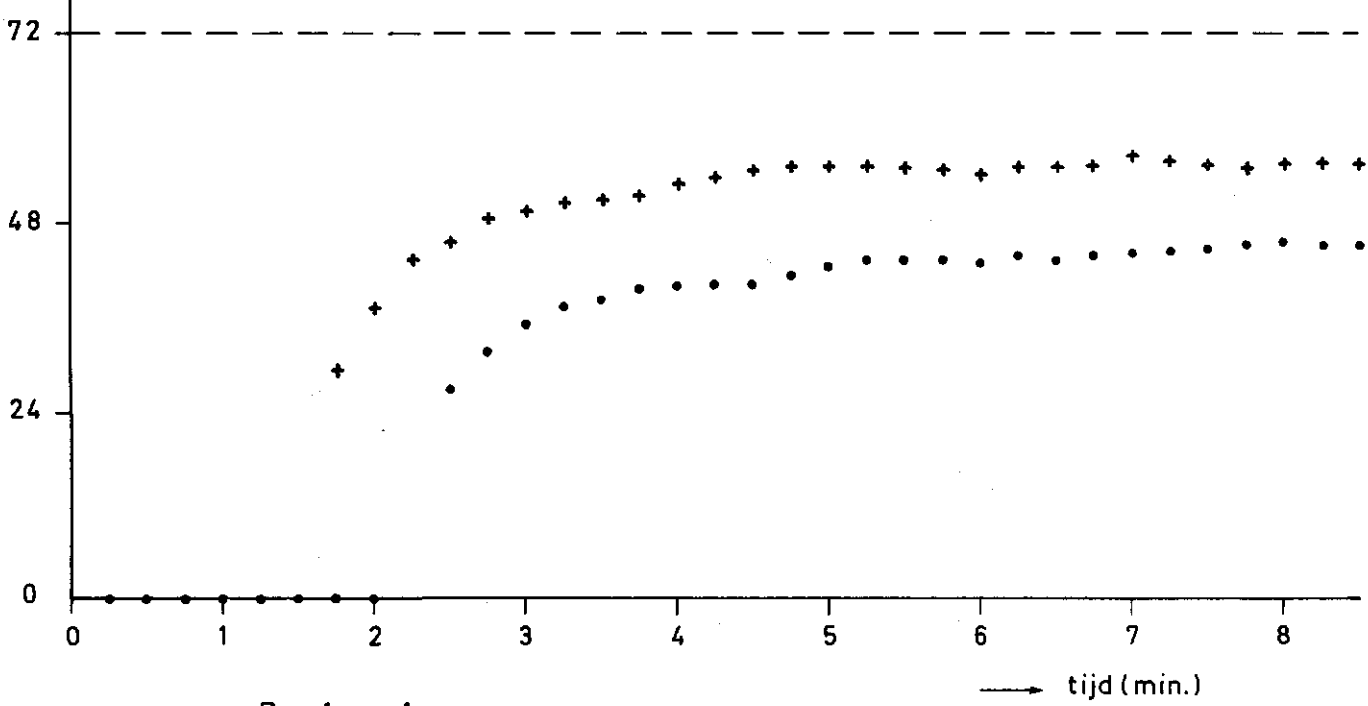
P(mm.uur⁻¹)

P III



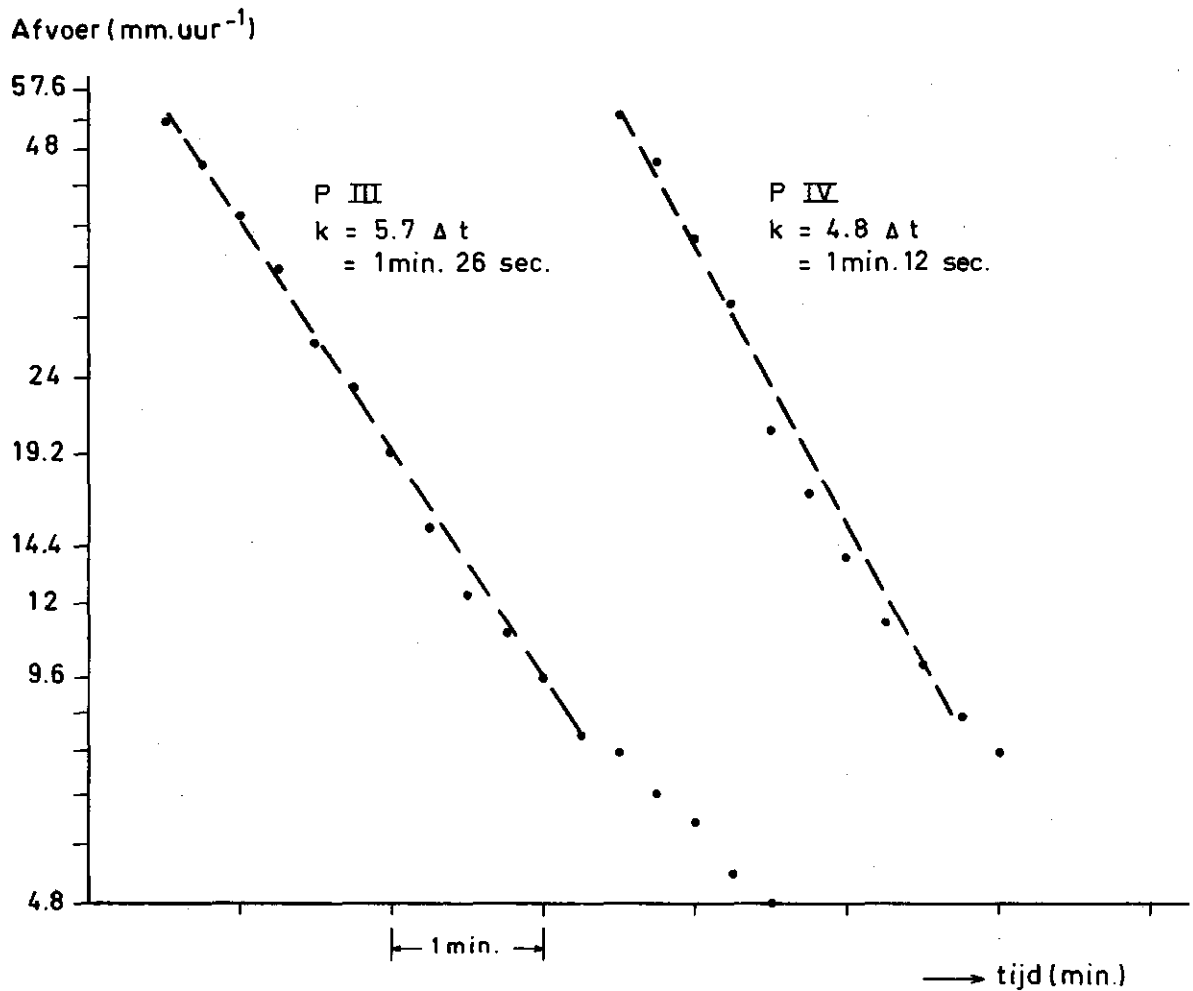
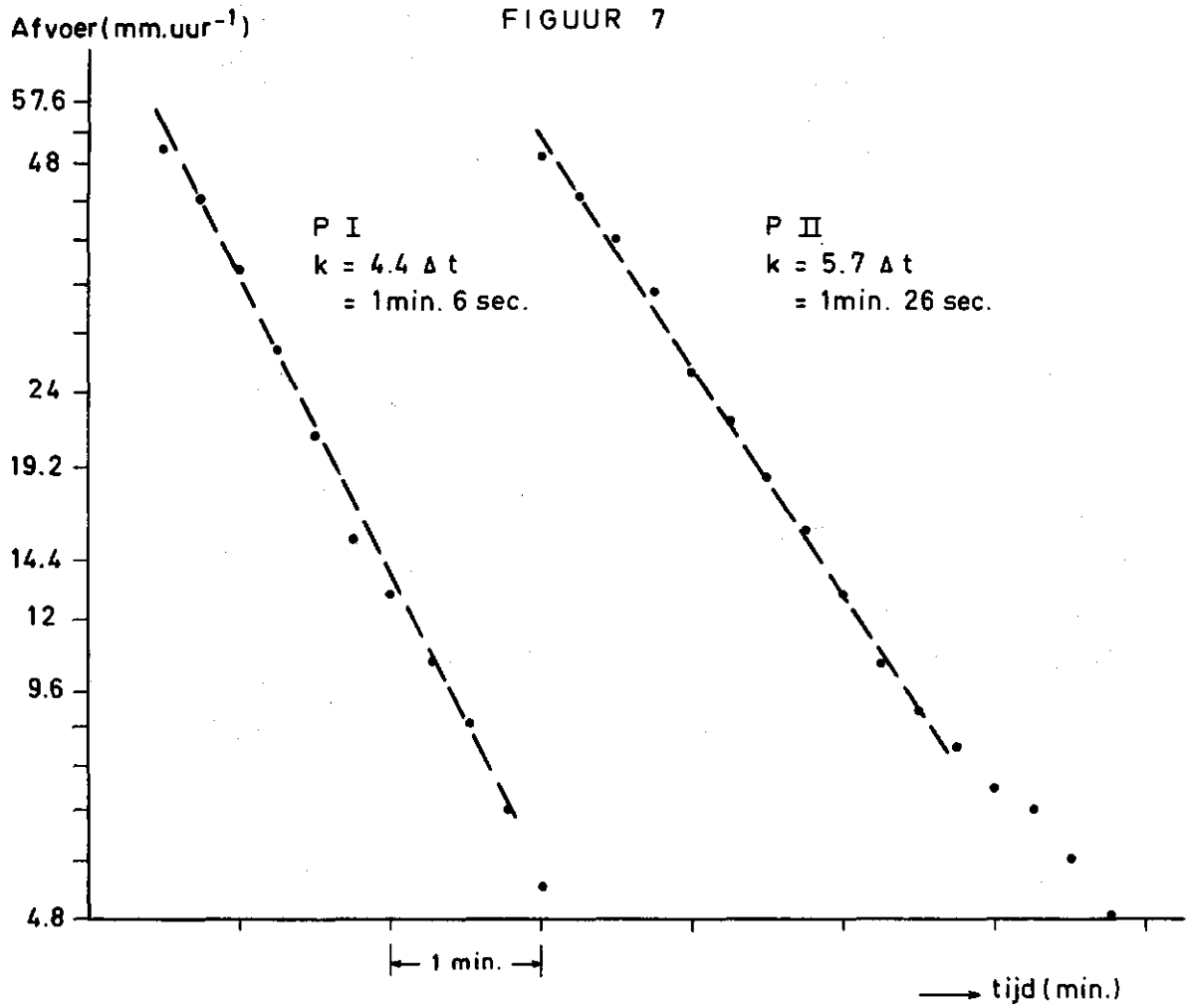
P(mm.uur⁻¹)

P IV

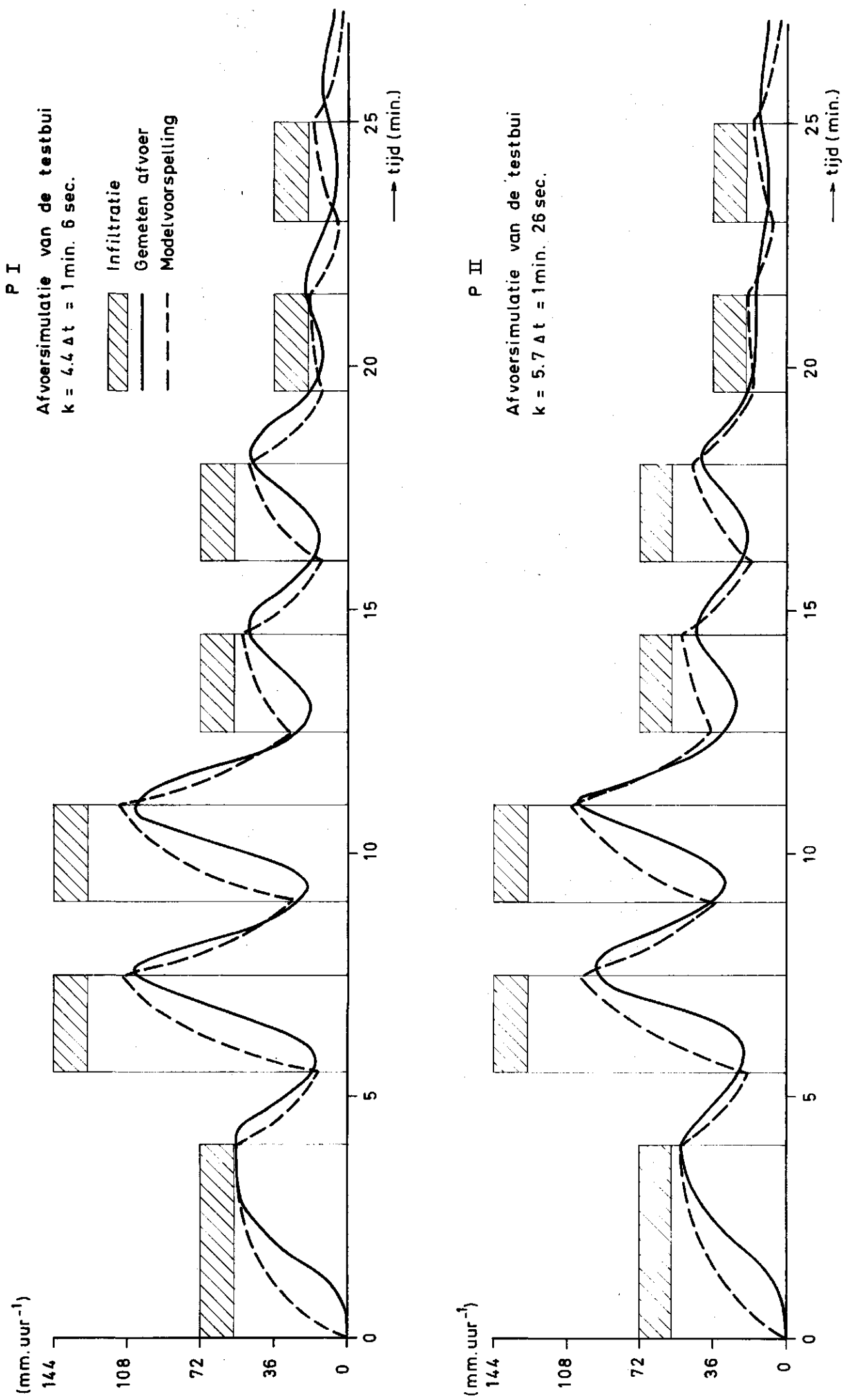


- • • • • Proef nr. 1a
- + + + + + Proef nr. 1b

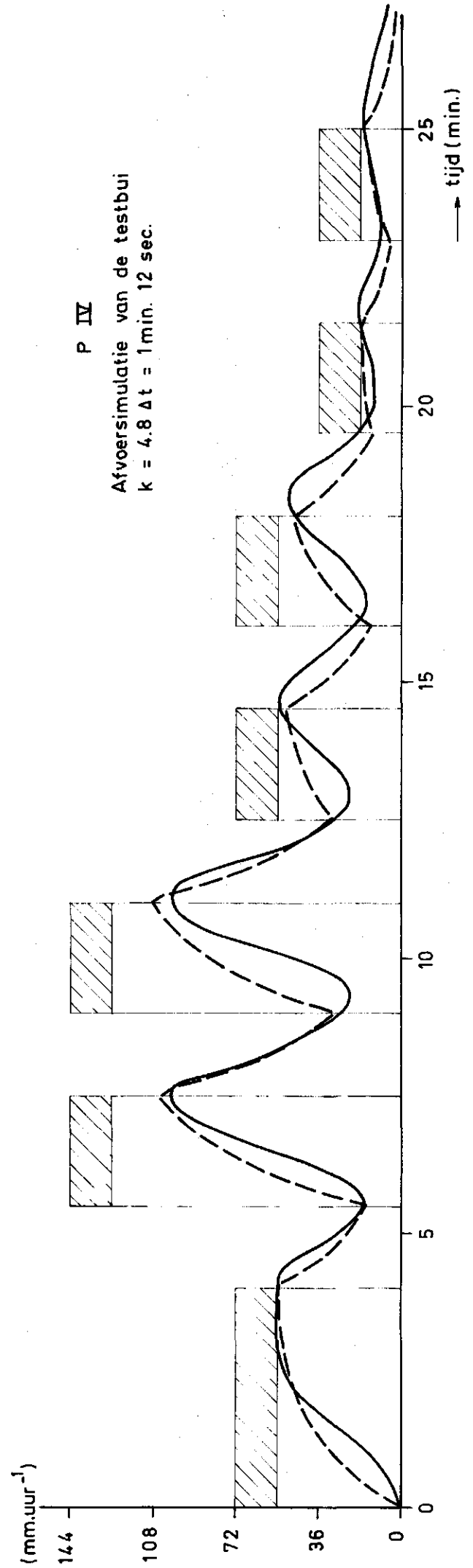
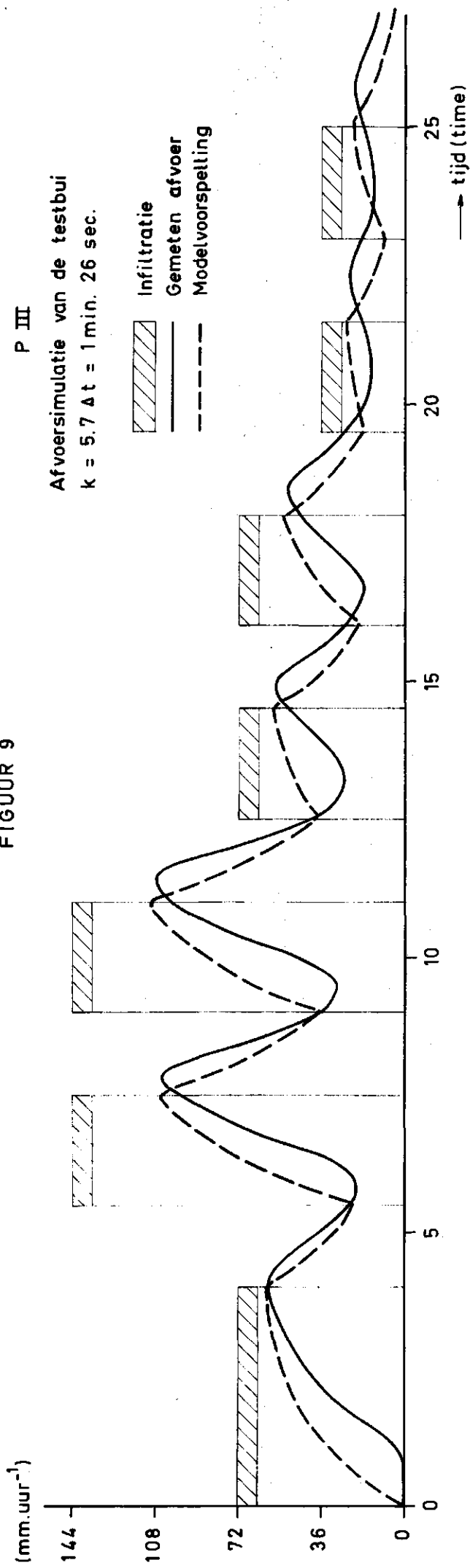
FIGUUR 7



FIGUUR 8



FIGUUR 9

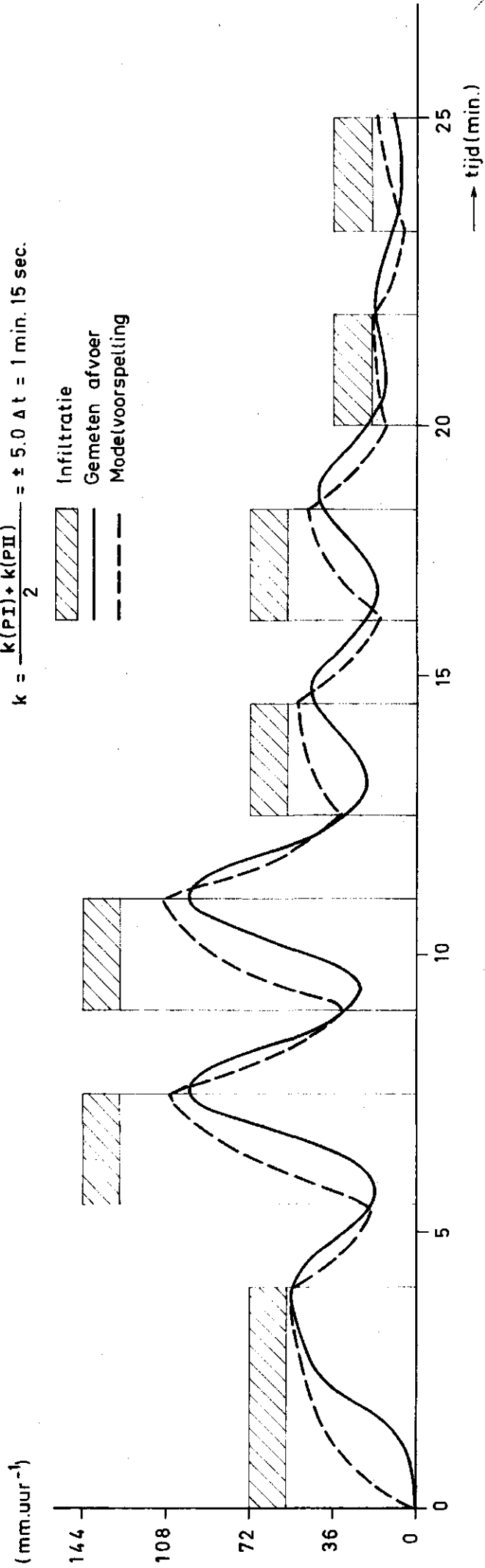


FIGUUR 10

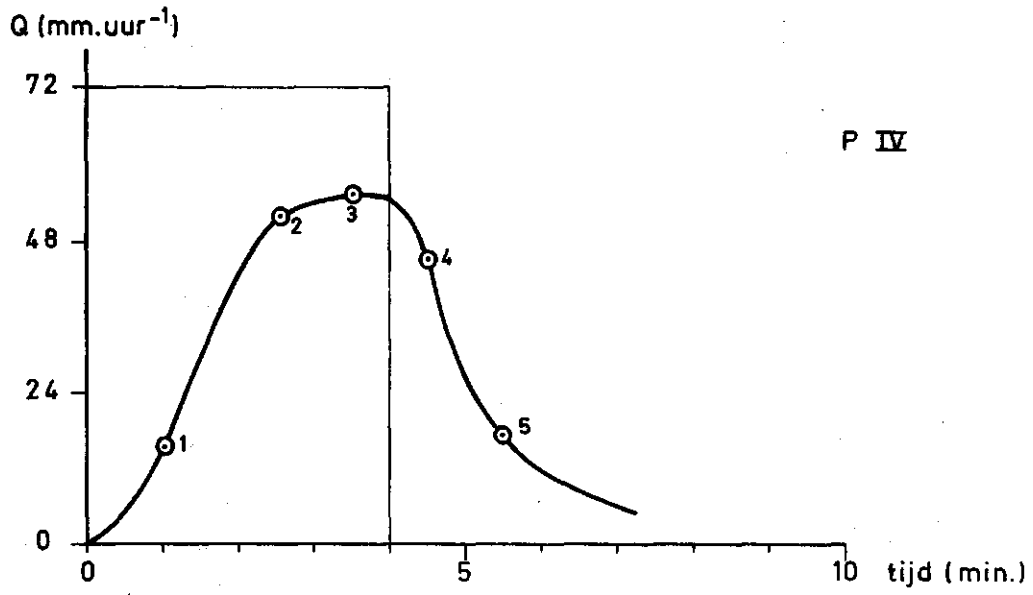
P I + P II

Afvoersimulatie van de testbui

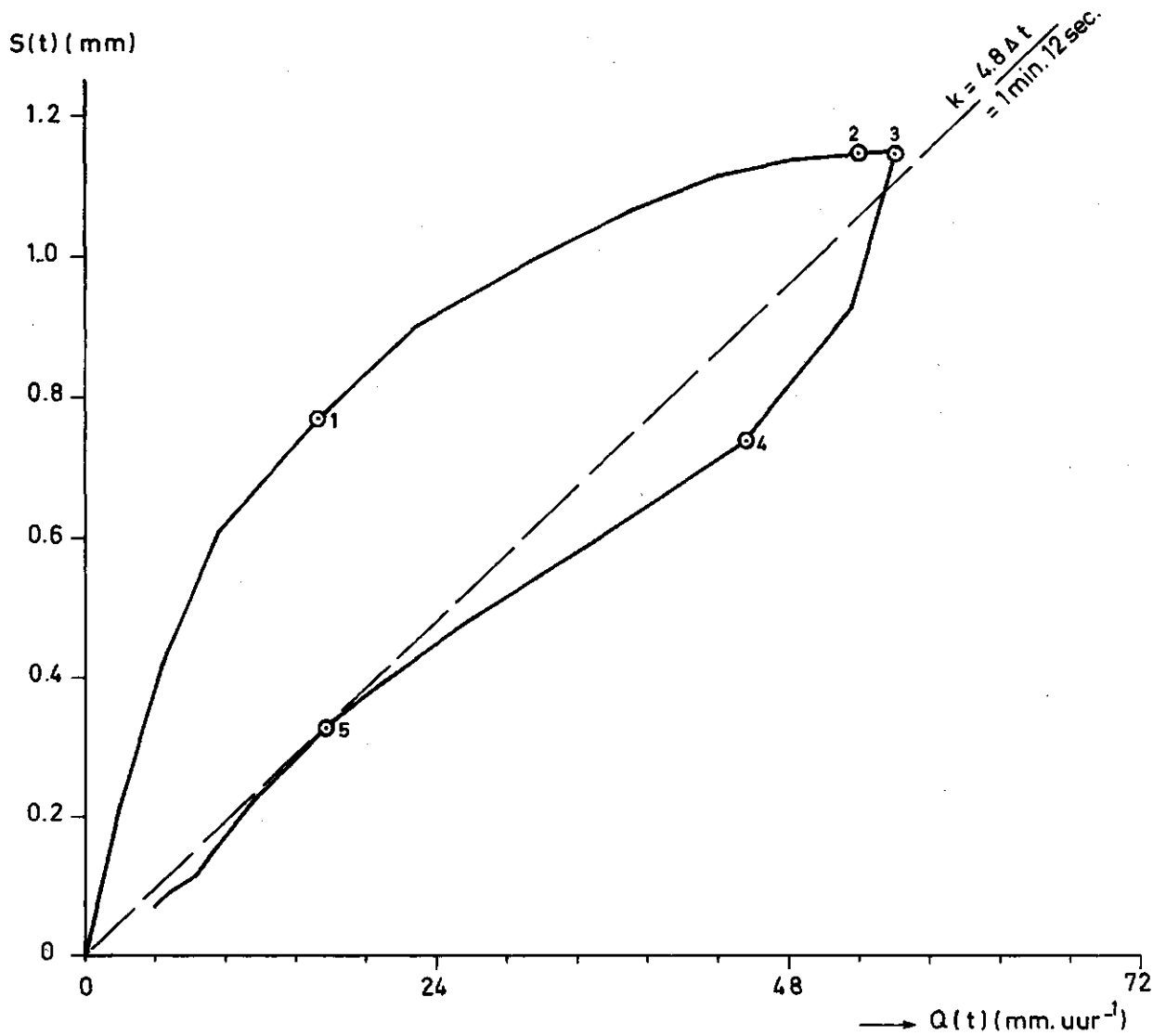
$$k = \frac{k(P I) + k(P II)}{2} = \pm 5.0 \Delta t = 1 \text{ min. } 15 \text{ sec.}$$



FIGUUR 11



Verband tussen berging $S(t)$ in het systeem minus initieel verlies en de riol invoer $Q(t)$



pulsresponsie zijn hoogste waarde heeft bij $t = 0$. Wel moet worden opgemerkt dat het hier modellen betref met meer dan één parameter. Daar de vier waarden van de parameter van het lineair reservoir model betrekking hebben op halve "inlet areas", zijn de parameters voor de twee "inlet areas" geschat door het gemiddelde van de twee helften te nemen. M.b.v. de aldus verkregen parameterwaarden is voor de straatkolk het verloop van de testbui gesimuleerd. Het gesimuleerde afvoerverloop is samen met het gemeten afvoerverloop (dit is verkregen door de afvoeren van de afzonderlijke helften op te tellen) weergegeven in fig. 10. De kwaliteit van deze simulatie blijkt ongeveer gelijk te zijn aan die van de simulaties voor de halve inlet areas.

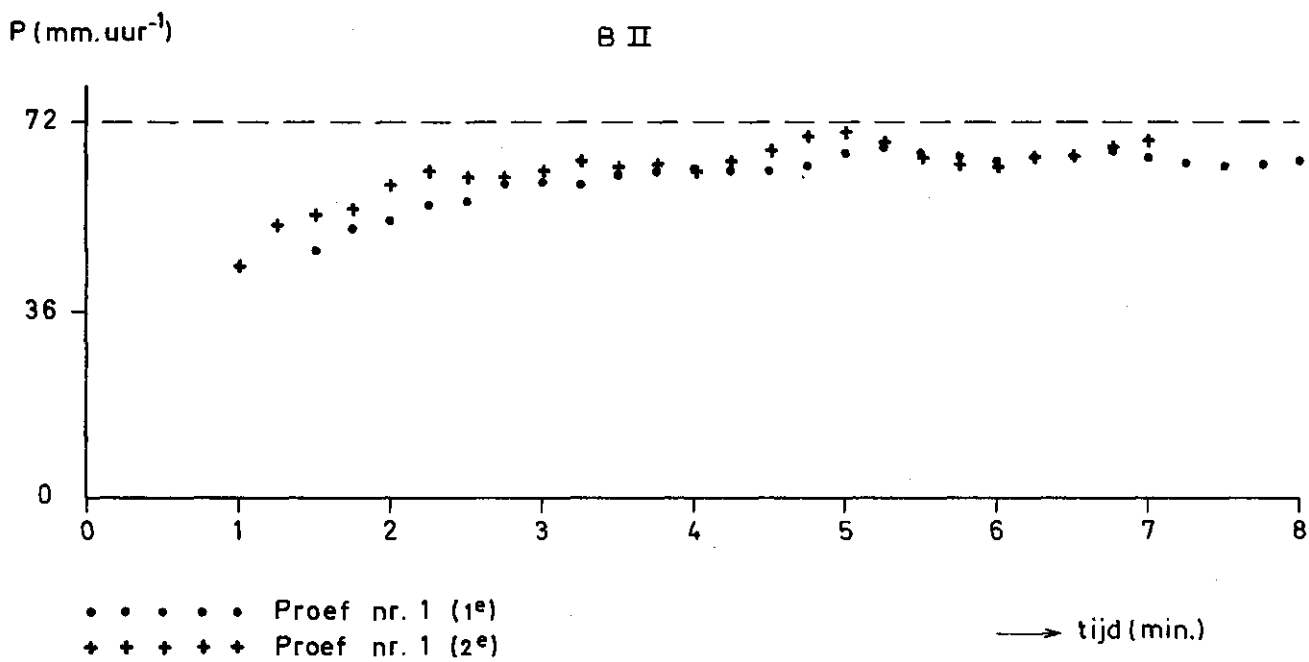
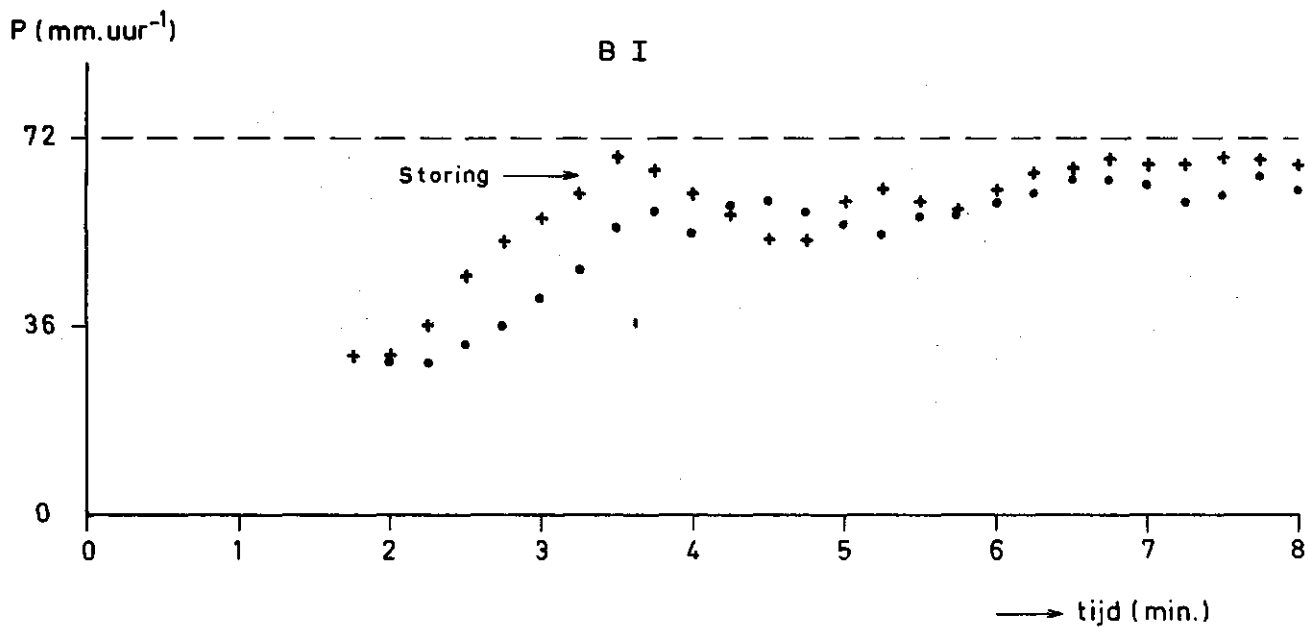
Behalve door het simuleren van afvoerverlopen t.g.v. een "testbui" en het vergelijken van gemeten en gesimuleerde afvoeren, kan het verband tussen de berging op straat (minus initieel verlies) = $S(t)$ en de rioolvoer = $Q(t)$, gedurende een experiment, inzicht geven t.a.v. de bruikbaarheid van het lineaire reservoir model. Voor opstelling IV is met behulp van de proeven 2.b. en 3. het verband bepaald tussen S en Q (zie fig. 11).

Daar voor het lineaire reservoir model een lineair verband geldt tussen S en Q kan in figuur 11 een bevestiging worden gevonden van de simulatie-resultaten in de figuren 8, 9 en 10, namelijk dat het lineaire reservoir model een nogal ruwe benadering geeft van wat in werkelijkheid plaatsvindt. Met behulp van figuur 11 kan uit een punt van de curve een schatting voor k worden gemaakt. Uit de figuur blijkt dat, vanwege de sterke kromming, voor verschillende punten van de opgaande tak, zeer wisselende k -waarden zullen worden gevonden. De waarden die kunnen worden berekend uit punten van de dalende tak zullen minder uiteenlopen. Opgemerkt kan worden dat, wanneer de stationaire toestand wordt benaderd de punten van de curve ongeveer dezelfde waarde opleveren als die welke werd bepaald in figuur 7.

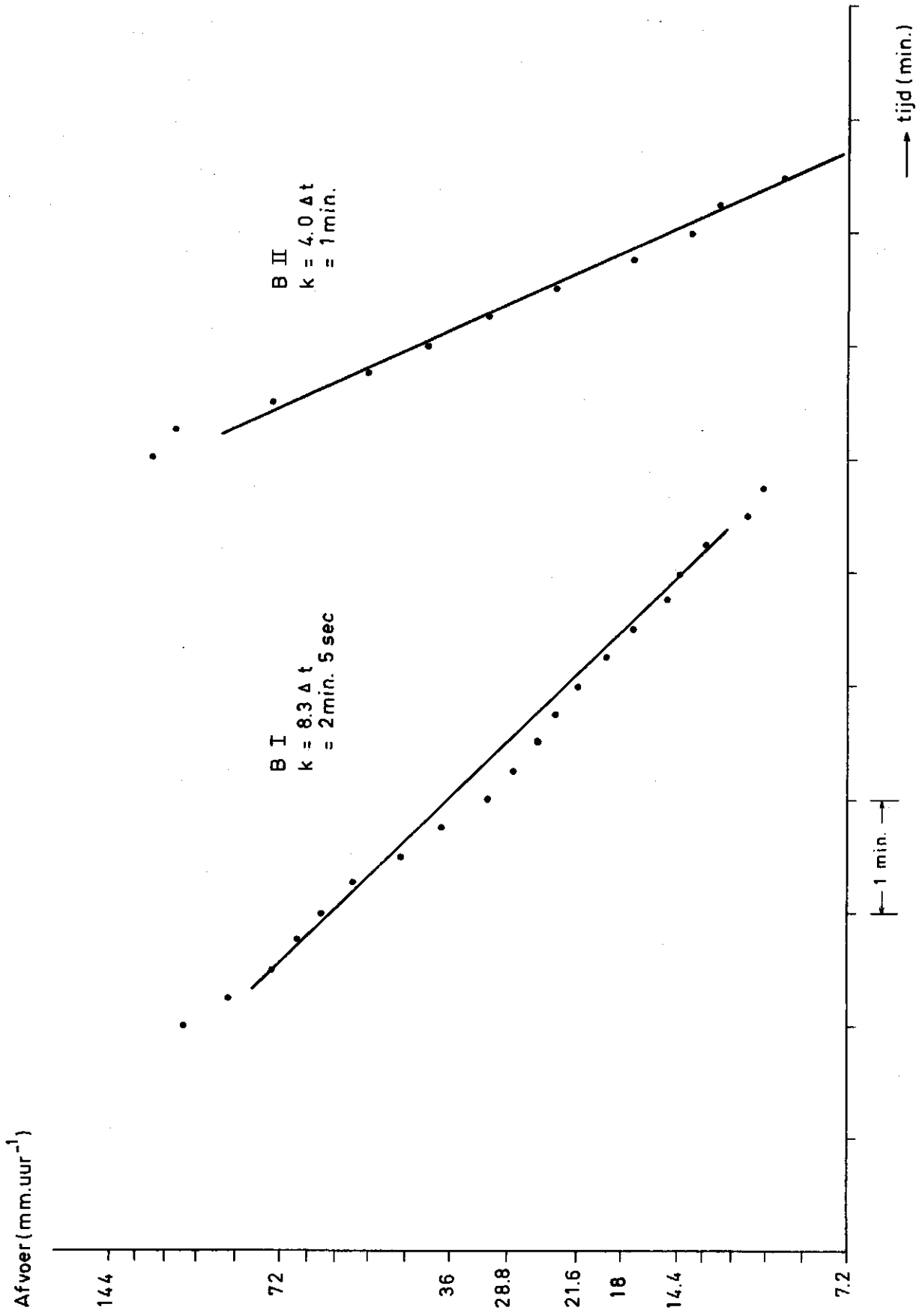
5.2. Proefnemingen in Bennekom

Door problemen in het begin van de proefnemingen (roest in de flowmeter) is de eerste proef met een droge begintoestand mislukt. Hierdoor kon niet, zoals bij de proefvakken P I t/m P IV (Pomona), het initiële verlies worden geschat uit de verschuiving ten opzichte van elkaar van de opgaande takken van de afvoercurves van proef 1 (zie fig. 12). Wel konden uit deze proeven schattingen worden gemaakt van de infiltratiecapaciteit van de trottoirs. Aangezien bij Bennekom het water slechts in een deel van de verharding

FIGUUR 12



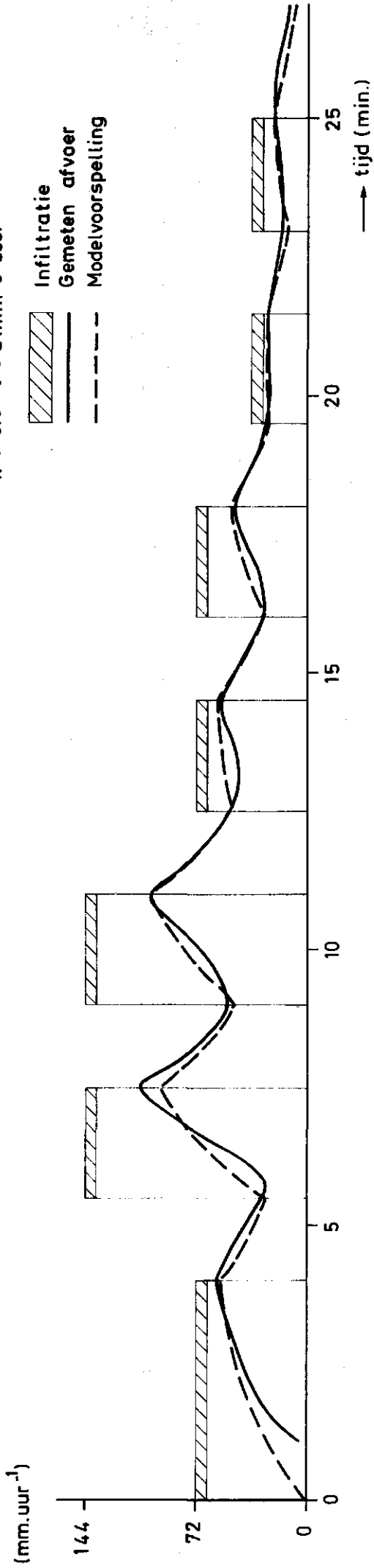
FIGUUR 13



FIGUUR 14

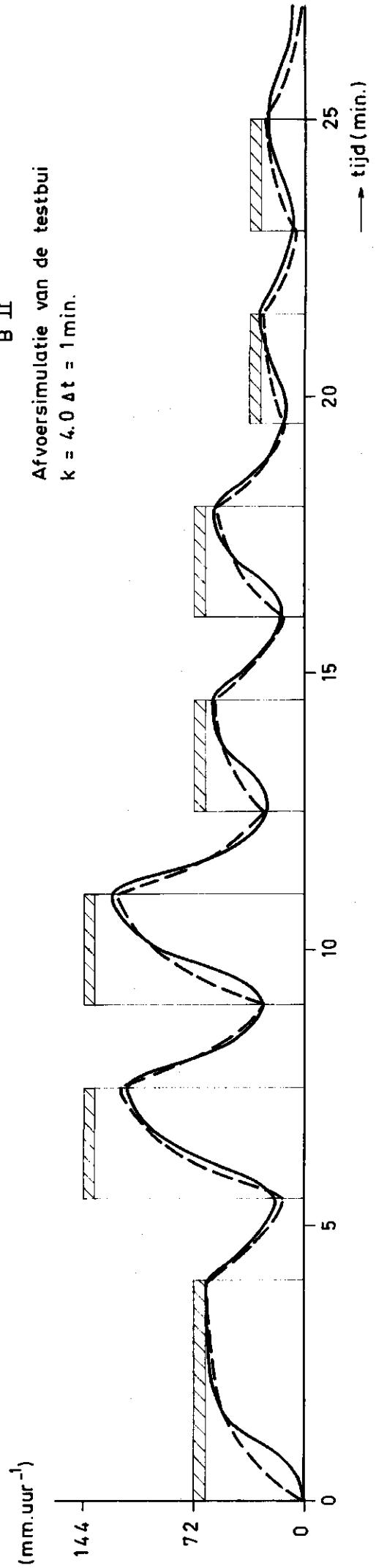
B I

Afvoersimulatie van de testbui
 $k = 8.3 \Delta t = 2 \text{ min. } 5 \text{ sec.}$

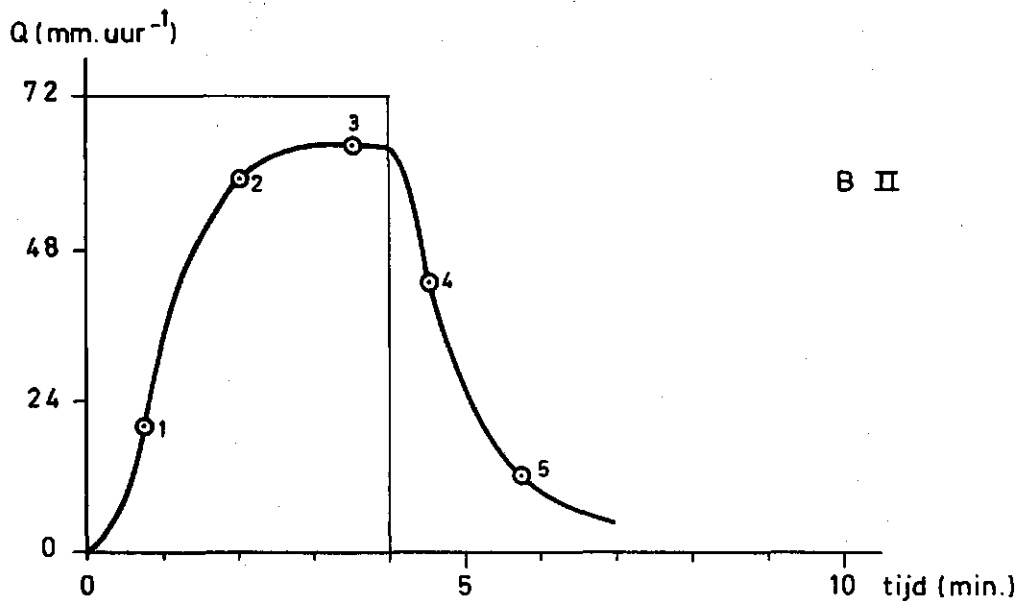


B II

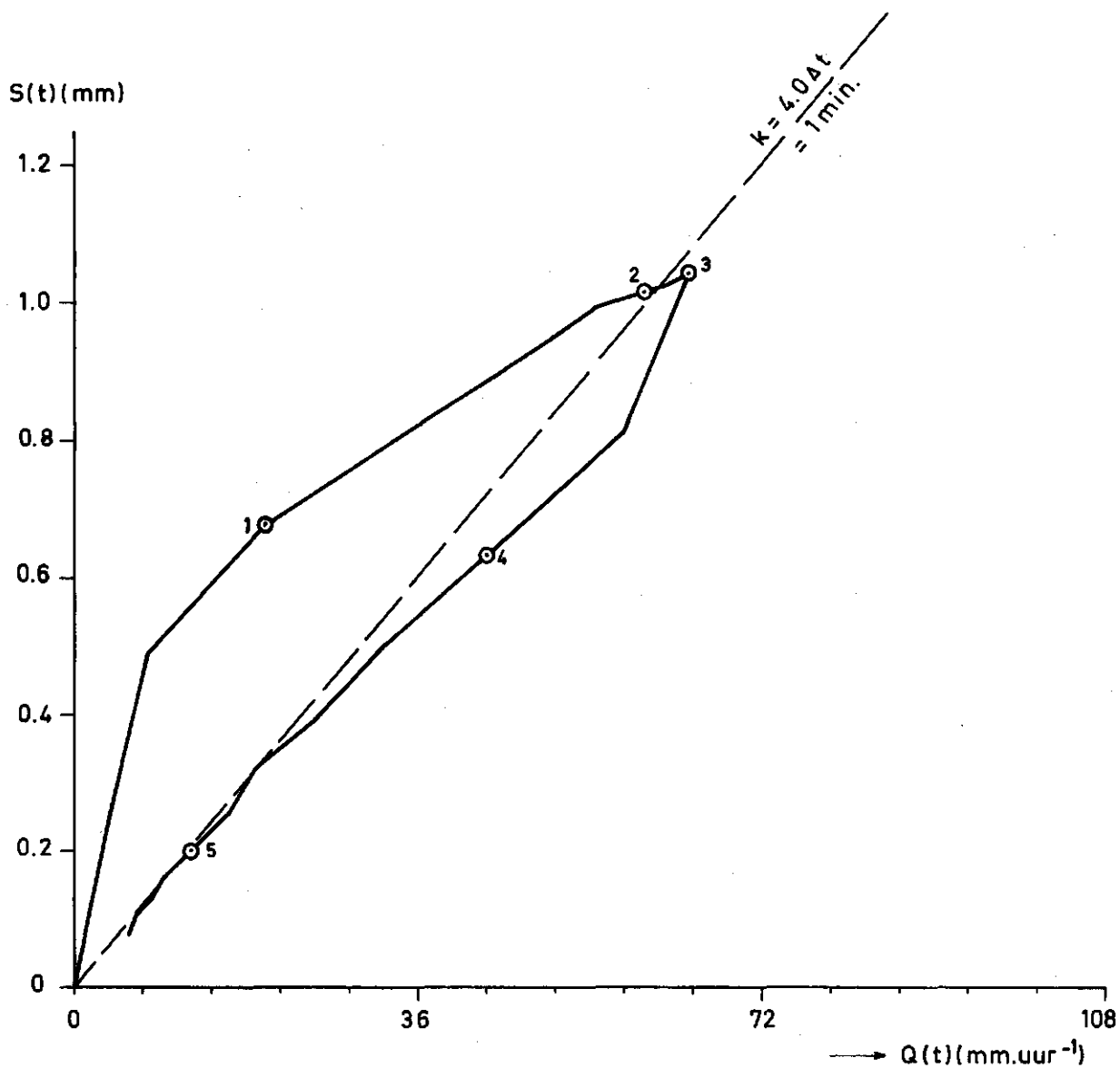
Afvoersimulatie van de testbui
 $k = 4.0 \Delta t = 1 \text{ min.}$



FIGUUR 15



Verband tussen berging $S(t)$ in het systeem minus initieel verlies en de riolinvoer $Q(t)$



infiltreerde (aangenomen dat het vrij nieuwe asfaltdek ondoorlatend was), was het percentage van het beregeningsdebiet dat infiltreerde niet hoog, zodat kleine schommelingen van het beregeningsdebiet en meetfouten een grotere invloed op de berekende infiltratieverliezen hadden dan bij Pomona. Door met het water meegevoerd roest traden kleine storingen nogal frequent op, zodat voor de optredende infiltratiesnelheid van de stoep slechts een schatting kan worden gemaakt (zie tabel 2).

Tabel 2

	B I	B II
Infiltratiesnelheid + verdamping (mm.uur ⁻¹) na enkele minuten beregenen	+ 24	*)
Infiltratiesnelheid + verdamping (mm.uur ⁻¹) na enkele uren beregenen	+ 13	+ 15

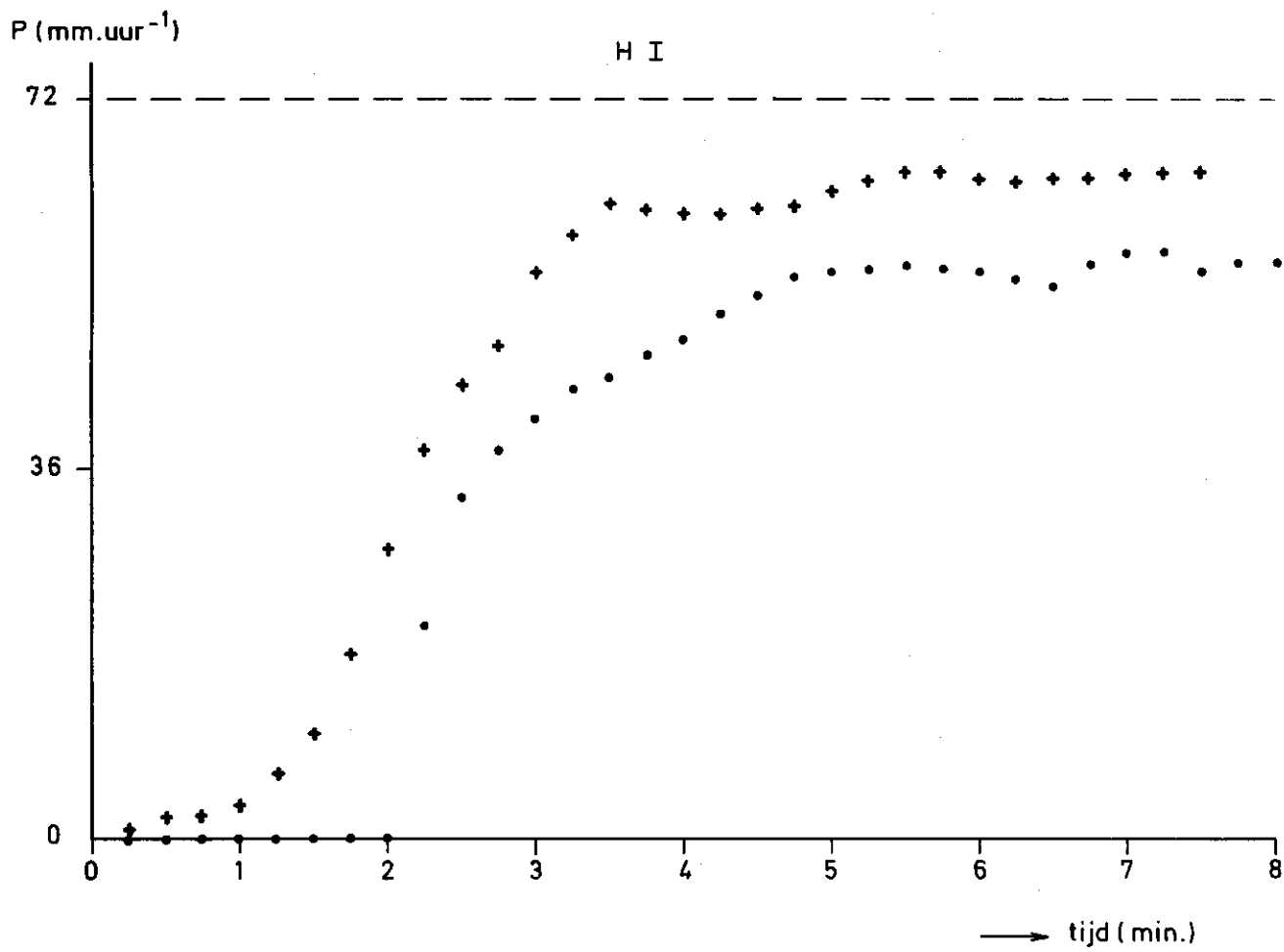
*) Daar bij Bennekom steeds beide vakken tegelijk werden beregend, terwijl de afvoer van één vak werd gemeten, ontbreekt dit gegeven.

Op dezelfde wijze als bij Pomona zijn ook bij Bennekom de beide beregende gedeelten weer in model gebracht met een lineair reservoir (zie fig. 13). Het grote verschil in de in figuur 13 bepaalde parameterwaarden voor vak B I en B II wordt veroorzaakt door het verschil in dwarshelling tussen beide straathelften. Ook hier is voor beide straatkolken het afvoerverloop van de testbui (proef 3) gesimuleerd met het lineaire reservoir (zie fig. 14). De eenvoudige wijze waarop de parameters zijn bepaald in acht genomen, kunnen de simulaties zeer bevredigend worden genoemd. Voor proef 2.b. is het verband bepaald tussen de berging minus initieel verlies en de afvoer (fig. 15). Ook hier wordt gevonden dat tijdens de recessie van de afvoer, na het stopzetten van de berekening, het verband tussen S en Q beter kan worden benaderd met een rechte lijn dan de relatie tussen S en Q die betrekking heeft op een toenemend debiet. De punten waar de stationaire toestand wordt benaderd blijken ook hier praktisch dezelfde k-waarde op te leveren als die, welke werd gevonden in figuur 13.

5.3. Proefnemingen in Wageningen ("De Nieuwlanden")

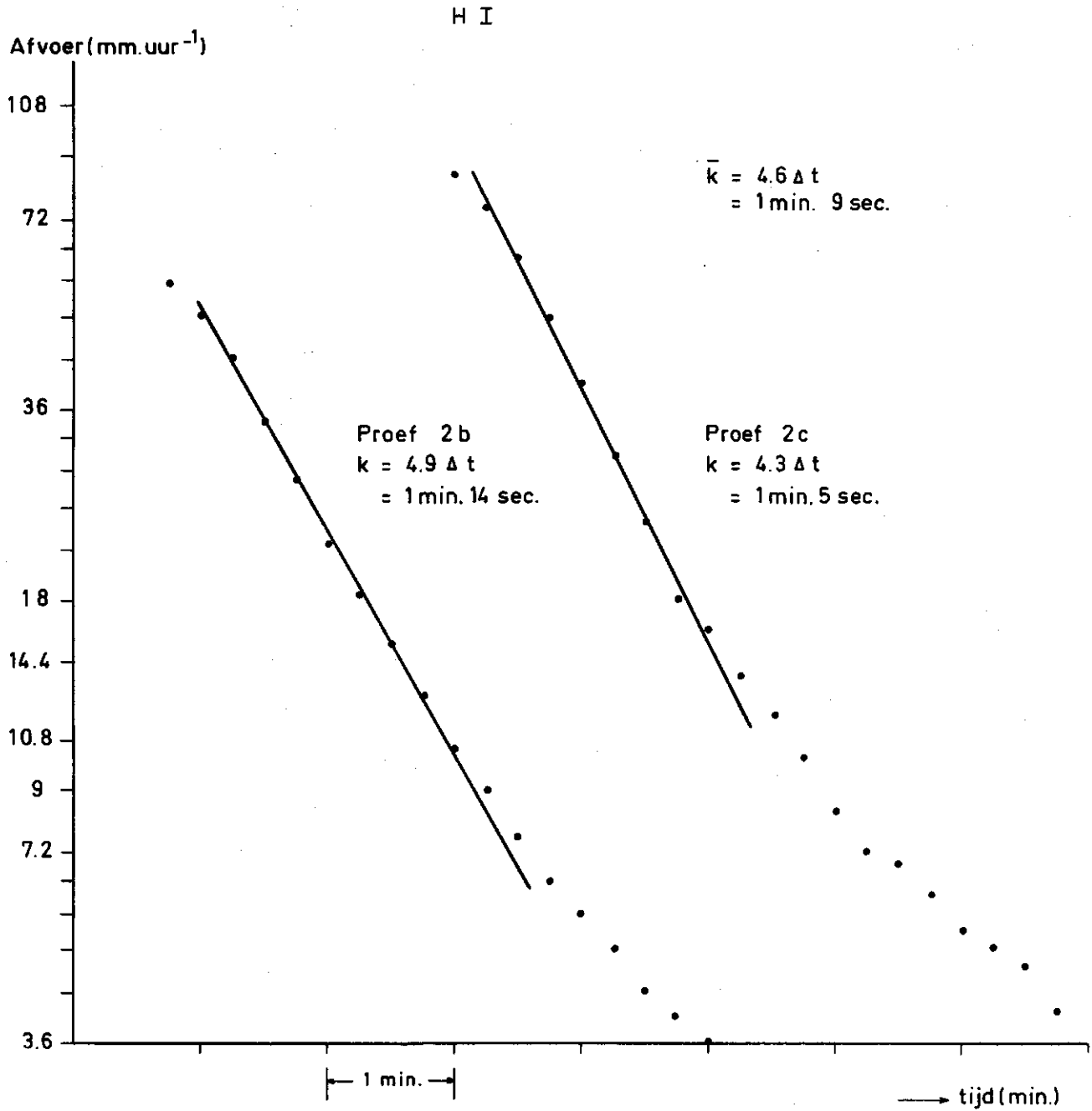
In figuur 16 worden de afvoercurven van de proeven 1.a. en 1.b. gegeven. In tegenstelling tot de proeven bij Pomona blijkt het hier niet zonder

FIGUUR 16



• • • • • Proef nr. 1a
+ + + + + Proef nr. 1b




FIGUUR 17

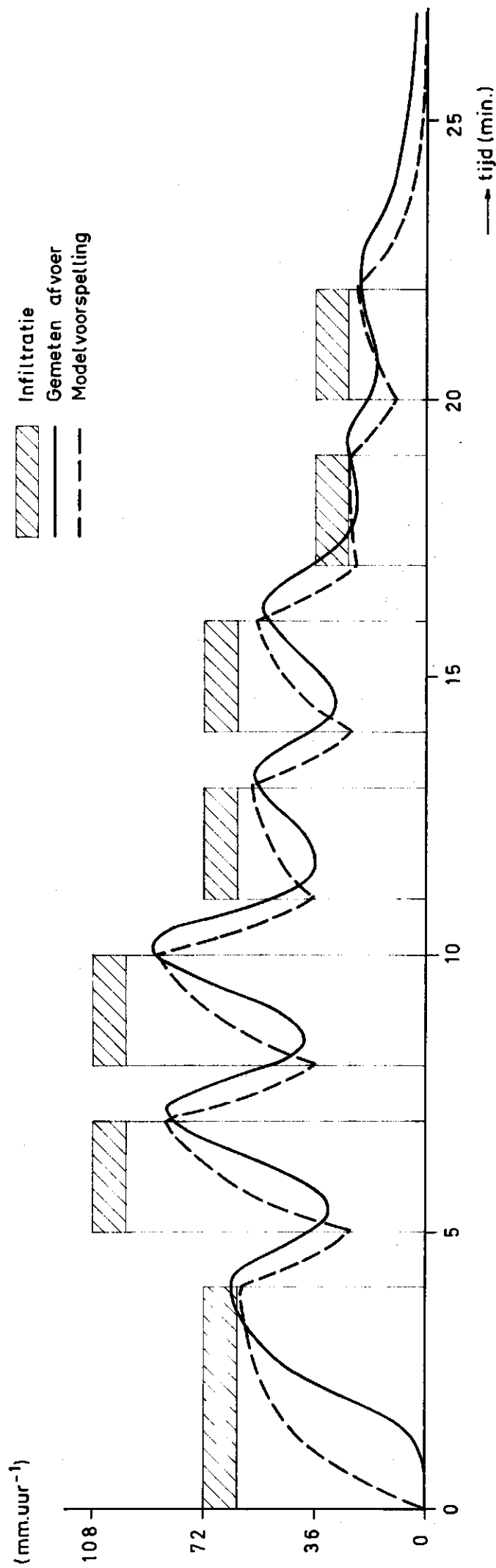


FIGUUR 18

H I

Afvoersimulatie van de testbui
 $k = 4.6 \Delta t = 1 \text{ min. } 9 \text{ sec.}$

-  Infiltratie
-  Gemeten afvoer
-  Modelvoorspelling



meer mogelijk het initiële verlies te schatten uit de verschuiving van de opgaande tak van de afvoercurve, veroorzaakt door de verschillende begin-toestand van het verharde oppervlak, daar de beide curves aanzienlijk van vorm verschillen. Het afwijkende afstromingspatroon kort na de aanvang van de berekening op een droog oppervlak, veroorzaakt door het nog niet gevuld zijn van kleine depressies, kan hier de oorzaak van zijn.

Voor eventuele modeltoepassingen lijkt het wenselijk toch het idee van een zuiver initieel verlies te handhaven en dit verlies te schatten uit de gemiddelde afstand van de opgaande takken. Uit het verschil tussen het beregeningsdebiet en de waarde van de afvoer, wanneer deze vrijwel stationair is geworden, is weer de infiltratiesnelheid plus de verdamping bepaald. In tabel 3 worden de gevonden verliezen gegeven.

Tabel 3

Initieel verlies	(mm)	+ 1
Infiltratiesnelheid + verdamping bij een droge begintoestand	(mm.uur ⁻¹)	16
Infiltratiesnelheid + verdamping na enkele uren beregenen	(mm uur ⁻¹)	7

Ook is het beregende vlak in model gebracht met een lineair reservoir. Een schatting van de parameter k is op dezelfde wijze bepaald als dat in figuur 7 voor Pomona en figuur 13 voor Bennekom is gedaan (zie fig. 17). Evenwel is hier de k -waarde bepaald als gemiddelde uit twee proeven. Een simulatie van de afvoer van de testbui (proef 3.) is tezamen met het gemeten afvoerverloop gegeven in figuur 18.

6. CONCLUSIES EN OPMERKINGEN

1. De opstelling zoals deze is gebruikt bij de proefnemingen is geschikt om te gebruiken als grote infiltrometer. Met deze opstelling kunnen initiële verliezen en inzigingsverliezen voor verschillende verhardingen worden bepaald.
2. Voor de onderzochte "inlet areas" blijkt de transformatie van neerslag tot rioolvoer een zeer snel verlopend proces te zijn. Indien men, voor de berekening van rioolafvoer uit stadsgebieden, inzicht wil krijgen in de vraag in welke gevallen het zinvol is de beschouwde transformatie in model te brengen, zal men het gehele neerslag-afvoerproces,

waar zowel de transformatie van neerslag tot rioolvoer alsook de stroming in het rioleringsstelsel toe behoort, voor een aantal gevallen in model moeten brengen. Voor die gevallen, waarvoor het zinvol blijkt te zijn de omvorming van neerslag tot rioolvoer te modelleren lijkt het lineaire reservoir model, dat slechts één parameter heeft een bruikbaar model. Men kan d.m.v. een aantal proeven de waarde van de parameter schatten voor verschillende typen verhardingen met bijbehorende afvoerkolk-constellaties.

3. Het schatten van de parameter van het lineaire reservoir model uit de recessiecurve bleek ongeveer hetzelfde resultaat op te leveren als dat wat werd gevonden uit het verband tussen de berging en de afvoer wanneer de stationaire toestand werd benaderd.
4. In hoeverre de langdurige droogte verantwoordelijk is voor de gevonden hoge infiltratiesnelheden is niet bekend. Het herhalen van experimenten na een regenachtige periode zou hierover uitsluitsel kunnen geven. Door experimenten uit te voeren op bestratingen van verschillende ouderdom en gebruiksintensiteit zou een algemeen beeld kunnen worden gekregen t.a.v. het afnemen van het infiltrerend vermogen van bestratingen in de tijd. Deze kennis zou kunnen worden gebruikt bij het toepassen van neerslag-afvoermodellen voor stadsgebieden.

7. LIJST VAN SYMBOLEN

t	tijd
$h(t)$	impulsresponsie
$Q_m(t)$	debiet, dat de meetkolom uitstroomt
$Q(t)$	debiet, dat een kolk instroomt
$R(t)$	recorderaflezing
$B(t)$	berging in de meetkolom
$S(t)$	berging op de verharding
α	omrekeningsfactor van recordereenheden naar inhoud van de meetkolom
k	parameter van het lineaire reservoir model
a, b, c	constanten

8. LITERATUURLIJST

- |1| Swinnerton, C.J., Hall, M.J., O'Donnell, T.
"Conceptual model design for motorway stormwater drainage"
Civil Engineering, Febr. 1973.
- |2| Viessman jr., W.
"The hydrology of small impervious areas"
Water Resources Research, Vol. 2, No. 3, 1966.
- |3| Wal, M. van der
"Een hydrologisch model voor een woonhofje en een parkeerterrein
te Lelystad"
Scriptie Technische Hogeschool Delft, 1976.
- |4| Werkgroep Afvoerfactoren Stedelijke Gebieden van het
Koninklijk Instituut van Ingenieurs - Koninklijk Genootschap voor
Landbouwwetenschap
"Kwantitatieve aspecten van de afvoer van stedelijke gebieden", 1973.
- |5| Zondervan, J.G. en Donnerholt, A.
"Omvorming van neerslag tot rioolvoer bij één bepaald type "inlet
area"
Nota 33, Laboratorium voor Hydraulica en Afvoerhydrologie, Landbouw-
hogeschool Wageningen, 1975.

PROEFVAK P I

Meetcijfers uitgevoerde proeven ($l.s^{-1}$)

Tijd	Proef						Tijd	Proef
	1.a.	1.b.	2.a.	2.b.	2.c.	3.		3. (vervolg)
t = 0	0	0	0	0	0	0	14 min.	0,80
15 sec.	0	0	0	0	0	0	15 sec.	0,90
30 "	0	n.b.	0	0	n.b.	0	30 "	0,98
45 "	0	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	45 "	1,00
1 min.	0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	15 min.	0,91
15 "	0	n.b.	n.b.	n.b.	0,87	n.b.	15 "	0,76
30 "	0,10	n.b.	n.b.	n.b.	1,28	n.b.	30 "	0,61
45 "	0,24	0,61	n.b.	0,57	1,68	0,61	45 "	0,48
2 min.	0,46	0,76	0,24	0,72	1,94	0,74	16 min.	0,39
15 "	0,63	0,90	0,24	0,87	2,09	0,86	15 "	0,29
30 "	0,76	1,03	0,24	0,94	2,19	1,00	30 "	0,27
45 "	0,87	1,08	0,22	1,00	2,28	1,07	45 "	0,31
3 min.	0,91	1,10	0,24	1,03	2,32	1,08	17 min.	0,40
15 "	0,94	1,12	0,26	1,04	2,09	1,09	15 "	0,52
30 "	0,98	1,12	0,27	1,07	1,68	1,09	30 "	0,69
45 "	1,02	1,10	0,29	1,09	1,25	1,09	45 "	0,84
4 min.	1,03	1,09	0,32	1,11	0,80	1,12	18 min.	0,95
15 "	1,02	1,09	0,33	1,04	0,59	1,12	15 "	1,00
30 "	1,01	1,13	0,36	0,90	0,44	1,00	30 "	0,92
45 "	1,01	1,13	0,39	0,73	0,31	0,79	45 "	0,84
5 min.	0,99	1,13	0,41	0,57	0,25	0,61	19 min.	0,62
15 "	0,98	1,15	0,40	0,44	0,19	0,46	15 "	0,47
30 "	0,98	1,17	0,40	0,32	0,15	0,34	30 "	0,37
45 "	0,98	1,19	0,42	0,27	0,12	0,31	45 "	0,31
6 min.	0,99	1,19	0,43	0,22	0,09	0,36	20 min.	0,26
15 "	1,00	1,17	0,42	0,18	0,08	0,54	15 "	0,25
30 "	1,04	1,17	0,40	0,14	0,07	0,88	30 "	0,27
45 "	1,05	1,19	0,37	0,11	0,07	1,24	45 "	0,31
7 min.	1,02	1,18	0,31	0,11	0,06	1,58	21 min.	0,35
15 "	1,00	1,20	0,26	0,09	0,05	1,93	15 "	0,40
30 "	0,98	1,20	0,22	0,08		2,16	30 "	0,42
45 "	0,99	1,15	0,18	0,07		2,04	45 "	0,42
8 min.	1,02	1,12	0,15	0,07		1,74	22 min.	0,40
15 "	1,03	1,15	0,13			1,37	15 "	0,36
30 "	1,04	1,20	0,10			0,90	30 "	0,30
45 "	1,05	1,19	0,09			0,69	45 "	0,25
9 min.	1,07	1,17	0,09			0,50	23 min.	0,20
15 "	1,06	1,14	0,08			0,39	15 "	0,17
30 "	1,05	1,11	0,06			0,43	30 "	0,14
45 "	1,03		0,06			0,66	45 "	0,13
10 min.	1,00		0,05			1,04	24 min.	0,12
15 "	1,01					1,41	15 "	0,12
30 "	1,04					1,78	30 "	0,13
45 "	1,03					2,12	45 "	0,17
11 min.	0,96					2,13	25 min.	0,18
15 "	0,89					2,01	15 "	0,20
30 "	0,77					1,74	30 "	0,25
45 "	0,62					1,37	45 "	0,26
12 min.	0,42					0,96	26 min.	0,26
15 "	0,35					0,66	15 "	0,24
30 "	0,28					0,51	30 "	0,20
45 "	0,21					0,41	45 "	0,17
13 min.	0,16					0,36	27 min.	0,15
15 "	0,13					0,39	15 "	0,15
30 "	0,10					0,50	30 "	0,12
45 "						0,65	45 "	0,10

PROEFVAK P II

Meetcijfers uitgevoerde proeven (l.s⁻¹)

Tijd	Proef						Tijd	Proef
	1.a.	1.b.	2.a.	2.b.	2.c.	3.		3. (vervolg)
t = 0	0	0	0	0	0	0	14 min.	0,66
15 sec.	0	n.b.	0	0	0	0	15 sec.	0,76
30 "	0	n.b.	0	0	0	n.b.	30 "	0,87
45 "	0	0,49	0	n.b.	n.b.	n.b.	45 "	0,93
1 min.	0	0,65	0	n.b.	n.b.	n.b.	15 min.	0,93
15 "	0	0,79	0	n.b.	n.b.	n.b.	15 "	0,86
30 "	0	0,89	0	n.b.	0,92	n.b.	30 "	0,74
45 "	0	0,97	0	0,47	1,33	n.b.	45 "	0,64
2 min.	n.b.	1,03	0	0,58	1,78	0,54	16 min.	0,55
15 "	n.b.	1,09	n.b.	0,69	1,94	0,67	15 "	0,47
30 "	0,58	1,11	n.b.	0,79	2,01	0,79	30 "	0,42
45 "	0,71	1,15	n.b.	0,90	2,03	0,87	45 "	0,40
3 min.	0,79	1,16	n.b.	0,91	2,01	0,92	17 min.	0,42
15 "	0,85	1,16	n.b.	0,92	1,89	0,98	15 "	0,46
30 "	0,91	1,15	n.b.	0,94	1,63	1,06	30 "	0,54
45 "	0,91	1,15	n.b.	0,97	1,30	1,06	45 "	0,63
4 min.	0,90	1,16	0,25	1,03	1,00	1,04	18 min.	0,73
15 "	0,91	1,15	0,26	1,02	0,81	1,00	15 "	0,84
30 "	0,93	1,14	0,28	0,91	0,64	0,91	30 "	0,88
45 "	0,96	1,14	0,28	0,80	0,53	0,79	45 "	0,86
5 min.	0,97	1,18	0,30	0,68	0,45	0,67	19 min.	0,73
15 "	0,99	1,20	0,33	0,53	0,37	0,56	15 "	0,64
30 "	1,00	1,18	0,33	0,46	0,31	0,47	30 "	0,55
45 "	1,01	1,21	0,34	0,39	0,27	0,42	45 "	0,47
6 min.	1,02	1,20	0,35	0,33	0,24	0,41	20 min.	0,41
15 "	1,03	1,20	0,36	0,27	0,20	0,49	15 "	0,36
30 "	1,02	1,20	0,35	0,22	0,18	0,68	30 "	0,34
45 "	1,01	1,19	0,32	0,19	0,16	1,02	45 "	0,33
7 min.	1,03	1,11	0,29	0,17	0,13	1,37	21 min.	0,31
15 "	1,01		0,27	0,15	0,12	1,78	15 "	0,30
30 "	0,99		0,25	0,14	0,13	1,86	30 "	0,30
45 "	0,98		0,20	0,12	0,11	1,96	45 "	0,31
8 min.	0,99		0,17	0,10	0,09	1,84	22 min.	0,31
15 "	1,02		0,15	0,10	0,08	1,54	15 "	0,31
30 "	1,02		0,14	0,07	0,09	1,25	30 "	0,29
45 "	0,95		0,13	0,08	0,06	0,99	45 "	0,28
9 min.	0,85		0,12	0,06	0,04	0,78	23 min.	0,26
15 "	0,73		0,10	0,04		0,67	15 "	0,24
30 "	0,58		0,10			0,61	30 "	0,21
45 "	0,48		0,09			0,71	45 "	0,19
10 min.	0,40					0,86	24 min.	0,18
15 "	0,33					1,09	15 "	0,19
30 "	0,28					1,39	30 "	0,19
45 "	0,24					1,71	45 "	0,20
11 min.	0,21					1,96	25 min.	0,22
15 "	0,18					2,07	15 "	0,24
30 "	0,17					1,88	30 "	0,25
45 "	0,15					1,58	45 "	0,26
12 min.	0,12					1,16	26 min.	0,27
15 "	0,11					0,94	15 "	0,27
30 "	0,11					0,79	30 "	0,25
45 "	0,09					0,64	45 "	0,23
13 min.	0,08					0,55	27 min.	0,22
15 "	0,08					0,53	15 "	0,21
30 "	0,06					0,52	30 "	0,18
45 "	0,06					0,57	45 "	0,17
							28 min.	0,16

PROEFVAK P III

Meetcijfers uitgevoerde proeven (l.s⁻¹)

Tijd	Proef						Tijd	Proef 3. (vervolg)
	1.a.	1.b.	2.a.	2.b.	2.c.	3.		
t = 0	0	0	0	0	0	0	14 min.	0,84
15 sec.	0	0	0	0	0	0	15 sec.	0,96
30 "	0	0	0	0	n.b.	0	30 "	1,06
45 "	0	n.b.	0	0	n.b.	0	45 "	1,15
1 min.	0	n.b.	0	n.b.	n.b.	n.b.	15 min.	1,15
15 "	0	n.b.	0	n.b.	0,78	n.b.	15 "	1,02
30 "	0	n.b.	0	n.b.	1,13	n.b.	30 "	0,83
45 "	0	0,65	0	n.b.	1,46	0,57	45 "	0,66
2 min.	0	0,76	n.b.	0,56	1,87	0,73	16 min.	0,55
15 "	n.b.	0,88	n.b.	0,73	1,99	0,80	15 "	0,46
30 "	n.b.	0,98	n.b.	0,83	2,16	0,88	30 "	0,39
45 "	0,53	1,09	n.b.	0,95	2,31	0,96	45 "	0,38
3 min.	0,60	1,17	n.b.	1,05	2,34	1,04	17 min.	0,47
15 "	0,65	1,22	n.b.	1,06	2,35	1,08	15 "	0,59
30 "	0,72	1,26	n.b.	1,11	2,19	1,16	30 "	0,71
45 "	0,78	1,29	0,29	1,16	1,78	1,20	45 "	0,89
4 min.	0,82	1,29	0,32	1,18	1,33	1,24	18 min.	0,97
15 "	0,89	1,31	0,36	1,11	0,99	1,19	15 "	1,04
30 "	0,96	1,33	0,40	0,97	0,69	1,07	30 "	1,07
45 "	0,94	1,31	0,43	0,83	0,60	0,91	45 "	0,98
5 min.	0,93	1,30	0,44	0,70	0,51	0,76	19 min.	0,83
15 "	0,96	1,31	0,46	0,56	0,42	0,62	15 "	0,64
30 "	0,99	1,33	0,47	0,49	0,34	0,48	30 "	0,55
45 "	1,01	1,35	0,50	0,40	0,29	0,44	45 "	0,45
6 min.	1,02	1,35	0,50	0,32	0,25	0,47	20 min.	0,37
15 "	1,01	1,35	0,49	0,26	0,22	0,63	15 "	0,33
30 "	1,02	1,36	0,47	0,23	0,20	0,95	30 "	0,31
45 "	1,01	1,36	0,42	0,20	0,18	1,33	45 "	0,31
7 min.	1,00	1,35	0,37	0,17	0,17	1,59	21 min.	0,34
15 "	1,02	1,35	0,32	0,16	0,15	1,79	15 "	0,37
30 "	1,04	1,33	0,28	0,14	0,15	2,05	30 "	0,40
45 "	1,04	1,31	0,23	0,13	0,14	2,21	45 "	0,43
8 min.	1,05	1,29	0,20	0,11	0,11	2,09	22 min.	0,47
15 "	1,07	1,28	0,16	0,10	0,11	1,78	15 "	0,50
30 "	1,11		0,13	0,10	0,11	1,35	30 "	0,49
45 "	1,13		0,13	0,07	0,10	1,01	45 "	0,44
9 min.	1,12		0,11	0,07	0,11	0,75	23 min.	0,39
15 "	1,11		0,09	0,07	0,10	0,64	15 "	0,34
30 "	1,10		0,09	0,07	0,10	0,62	30 "	0,30
45 "	1,10		0,07			0,77	45 "	0,27
10 min.	1,10		0,06			1,02	24 min.	0,28
15 "	1,10		0,07			1,34	15 "	0,28
30 "	1,11		0,06			1,69	30 "	0,31
45 "	1,12					1,93	45 "	0,34
11 min.	1,13					2,08	25 min.	0,38
15 "	1,12					2,23	15 "	0,42
30 "	1,11					2,24	30 "	0,45
45 "	1,11					1,95	45 "	0,46
12 min.	1,11					1,52	26 min.	0,42
15 "	1,09					1,14	15 "	0,38
30 "	1,02					0,84	30 "	0,33
45 "	0,87					0,66	45 "	0,29
13 min.	0,74					0,56	27 min.	0,25
15 "	0,60					0,56	15 "	0,24
30 "	0,44					0,60	30 "	0,20
45 "	0,37					0,71	45 "	0,17

PROEFVAK P IV

Meetcijfers uitgevoerde proeven ($l.s^{-1}$)

Tijd	Proef					
	1.a.	1.b.	2.a.	2.b.(1e)	2.b.(2e)	2.c.
t = 0	0	0	0	0	0	0
15 sec.	0	0	0	0	0	0
30 "	0	0	0	0	0	0
45 "	0	n.b.	0	0	n.b.	n.b.
1 min.	0	n.b.	0	0	n.b.	n.b.
15 "	0	n.b.	0	n.b.	n.b.	0,99
30 "	0	n.b.	0	n.b.	0,55	1,31
45 "	0	0,60	0	n.b.	0,73	1,61
2 min.	n.b.	0,77	0	0,59	0,88	1,80
15 "	n.b.	0,89	n.b.	0,71	0,97	1,93
30 "	0,56	0,94	n.b.	0,78	1,03	2,03
45 "	0,65	1,00	n.b.	0,86	1,09	2,11
3 min.	0,73	1,02	n.b.	0,96	1,13	2,12
15 "	0,77	1,04	n.b.	1,02	1,18	2,04
30 "	0,79	1,05	n.b.	1,02	1,20	1,76
45 "	0,82	1,06	n.b.	1,02	1,22	1,33
4 min.	0,83	1,09	n.b.	1,03	1,19	0,93
15 "	0,83	1,11	0,28	1,01	1,13	0,69
30 "	0,83	1,13	0,33	0,89	0,98	0,49
45 "	0,86	1,14	0,40	0,72	0,77	0,37
5 min.	0,88	1,14	0,43	0,54	0,63	0,28
15 "	0,90	1,15	0,45	0,40	0,43	0,20
30 "	0,90	1,14	0,46	0,29	0,36	0,15
45 "	0,90	1,13	0,48	0,22	0,29	0,11
6 min.	0,89	1,12	0,49	0,19	0,24	0,07
15 "	0,91	1,13	0,50	0,16	0,21	0,06
30 "	0,90	1,14	0,48	0,12	0,18	0,09
45 "	0,91	1,15	0,45	0,10		0,07
7 min.	0,92	1,17	0,41			0,06
15 "	0,92	1,16	0,41			0,07
30 "	0,93	1,15	0,37			
45 "	0,94	1,14	0,28			
8 min.	0,95	1,15	0,15			
15 "	0,94	1,15	0,07			
30 "	0,93	1,15	0,05			
45 "	0,93	1,13	0,03			
9 min.	0,93	1,06	0,02			
15 "	0,92	0,95	0,03			
30 "	0,91	0,68	0,02			
45 "	0,91	0,56				
10 min.	0,91	0,44				
15 "	0,93	0,32				
30 "	0,95	0,25				
45 "	0,95	0,21				
11 min.	0,94	0,19				
15 "	0,93	0,16				
30 "	0,92	0,13				
45 "	0,91	0,13				
12 min.	0,93	0,09				
15 "	0,93					
30 "	0,93					
45 "	0,94					
13 min.	0,95					
15 "	0,98					
30 "	0,97					
45 "	0,96					

PROEFVAK P IV (vervolg)

Tijd	Proef		Tijd	Proef	
	3.(1e)	3.(2e)		vervolg 3.(1e)	vervolg 3.(2e)
t = 0	0	0	14 min.	0,82	1,04
15 sec.	0	0,05	15 sec.	0,91	1,10
30 "	0	0,11	30 "	0,95	1,06
45 "	0	0,19	45 "	0,94	0,94
1 min.	n.b.	0,33	15 min.	0,84	0,74
15 "	n.b.	0,47	15 "	0,66	0,58
30 "	n.b.	0,64	30 "	0,51	0,44
45 "	n.b.	0,78	45 "	0,40	0,33
2 min.	0,61	0,90	16 min.	0,33	0,32
15 "	0,72	1,01	15 "	0,30	0,35
30 "	0,81	1,10	30 "	0,29	0,42
45 "	0,92	1,14	45 "	0,36	0,57
3 min.	0,99	1,09	17 min.	0,47	0,74
15 "	1,03	1,13	15 "	0,61	0,87
30 "	1,04	1,15	30 "	0,75	0,96
45 "	1,05	1,15	45 "	0,87	1,02
4 min.	1,06	1,14	18 min.	0,96	1,00
15 "	1,02	1,09	15 "	0,94	0,89
30 "	0,90	0,94	30 "	0,79	0,64
45 "	0,71	0,72	45 "	0,61	0,50
5 min.	0,55	0,55	19 min.	0,49	0,39
15 "	0,42	0,43	15 "	0,36	0,30
30 "	0,32	0,33	30 "	0,27	0,25
45 "	0,29	0,37	45 "	0,24	0,25
6 min.	0,38	0,51	20 min.	0,22	0,25
15 "	0,62	0,80	15 "	0,21	0,29
30 "	0,96	1,23	30 "	0,23	0,32
45 "	1,29	1,58	45 "	0,25	0,35
7 min.	1,61	1,86	21 min.	0,26	0,37
15 "	1,87	2,03	15 "	0,29	0,39
30 "	2,00	2,07	30 "	0,32	0,39
45 "	1,94	1,88	45 "	0,32	0,33
8 min.	1,65	1,50	22 min.	0,30	0,27
15 "	1,27	1,14	15 "	0,26	0,22
30 "	0,93	0,88	30 "	0,22	0,19
45 "	0,67	0,60	45 "	0,17	0,19
9 min.	0,52	0,47	23 min.	0,13	0,19
15 "	0,44	0,49	15 "	0,13	0,19
30 "	0,54	0,72	30 "	0,14	0,22
45 "	0,84	1,08	45 "	0,14	0,26
10 min.	1,19	1,46	24 min.	0,16	0,29
15 "	1,52	1,80	15 "	0,19	0,31
30 "	1,81	2,01	30 "	0,22	0,35
45 "	2,00	2,04	45 "	0,24	0,37
11 min.	2,18	2,05	25 min.	0,27	0,34
15 "	1,93	1,82	15 "	0,29	0,30
30 "	1,61	1,44	30 "	0,31	0,27
45 "	1,16	1,01	45 "	0,25	0,25
12 min.	0,84	0,79	26 min.	0,19	0,21
15 "	0,63	0,58	15 "	0,15	0,17
30 "	0,46	0,46	30 "	0,11	0,14
45 "	0,39	0,45	45 "		0,11
13 min.	0,40	0,51			
15 "	0,46	0,63			
30 "	0,57	0,78			
45 "	0,70	0,92			

PROEFVAK B I

Meetcijfers uitgevoerde proeven (l.s⁻¹)

Tijd	Proef						Tijd	Proef
	1.(1e)	1.(2e)	2.a.	2.b.	2.c.	3.		3.(vervolg)
t = 0	0	0	0	0	0	0	14 min.	0,72
15 sec.	0	0	0	0	0	0	15 sec.	0,76
30 "	0	0	0	0	0	0	30 "	0,75
45 "	0	n.b.	0	0	n.b.	0	45 "	0,71
1 min.	0	n.b.	0	0	n.b.	n.b.	15 min.	0,64
15 "	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,61	n.b.	15 "	0,57
30 "	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,83	0,39	30 "	0,51
45 "	n.b.	0,42	n.b.	0,38	1,00	0,44	45 "	0,44
2 min.	0,40	0,42	0,17	0,44	1,14	0,45	16 min.	0,41
15 "	0,40	0,49	0,22	0,47	1,26	0,51	15 "	0,40
30 "	0,44	0,63	0,26	0,53	1,42	0,57	30 "	0,41
45 "	0,50	0,72	0,29	0,61	1,66	0,62	45 "	0,44
3 min.	0,57	0,78	0,30	0,66	1,69	0,67	17 min.	0,51
15 "	0,64	0,85	0,30	0,70	1,47	0,73	15 "	0,55
30 "	0,76	0,95	0,32	0,74	1,22	0,79	30 "	0,59
45 "	0,80	0,91	0,35	0,77	1,03	0,78	45 "	0,64
4 min.	0,74	0,85	0,34	0,78	0,93	0,77	18 min.	0,66
15 "	0,82	0,79	0,37	0,76	0,85	0,76	15 "	0,61
30 "	0,83	0,73	0,42	0,69	0,74	0,70	30 "	0,55
45 "	0,80	0,73	0,41	0,59	0,61	0,62	45 "	0,51
5 min.	0,77	0,83	0,42	0,53	0,52	0,55	19 min.	0,46
15 "	0,74	0,86	0,47	0,48	0,43	0,48	15 "	0,41
30 "	0,78	0,83	0,44	0,43	0,39	0,43	30 "	0,37
45 "	0,79	0,81	0,41	0,38	0,35	0,35	45 "	0,35
6 min.	0,82	0,86	0,39	0,33	0,33	0,45	20 min.	0,35
15 "	0,85	0,90	0,36	0,30	0,30	0,63	15 "	0,35
30 "	0,88	0,92	0,31	0,26	0,27	0,86	30 "	0,32
45 "	0,88	0,95	0,30	0,25	0,24	1,07	45 "	0,32
7 min.	0,88	0,93	0,28	0,22	0,21	1,20	21 min.	0,33
15 "	0,83	0,93	0,25	0,18	0,20	1,39	15 "	0,34
30 "	0,85	0,95	0,24	0,17	0,18	1,52	30 "	0,34
45 "	0,90	0,94	0,22	0,16	0,15	1,00	45 "	0,33
8 min.	0,85	0,93	0,19	0,15	0,14	1,02	22 min.	0,32
15 "	0,82	0,94	0,17	0,12		0,99	15 "	0,30
30 "	0,87	0,91	0,16	0,10		0,87	30 "	0,28
45 "	0,89	0,90	0,14	0,09		0,76	45 "	0,26
9 min.	0,90	0,91	0,13	0,09		0,70	23 min.	0,23
15 "	0,92	0,93	0,12	0,08		0,74	15 "	0,23
30 "	0,92	0,94	0,11	0,06		0,81	30 "	0,23
45 "	0,84	0,92	0,12	0,05		0,88	45 "	0,23
10 min.	0,72	0,90		0,05		0,98	24 min.	0,23
15 "	0,66	0,88				1,11	15 "	0,24
30 "	0,68	0,73				1,23	30 "	0,26
45 "	0,61	0,62				1,34	45 "	0,26
11 min.	0,55	0,56				1,39	25 min.	0,28
15 "	0,48	0,49				1,30	15 "	0,30
30 "	0,41	0,43				1,13	30 "	0,30
45 "	0,36	0,41				0,98	45 "	0,28
12 min.	0,33	0,37				0,87	26 min.	0,24
15 "	0,29	0,32				0,79	15 "	0,22
30 "	0,27	0,29				0,70	30 "	0,20
45 "	0,24	0,24				0,65	45 "	0,19
13 min.	0,20	0,21				0,61	27 min.	0,18
15 "	0,18	0,19				0,64	15 "	0,15
30 "	0,17	0,17				0,64	30 "	0,14
45 "	0,15	0,16				0,66	45 "	0,13

PROEFVAK B II

Meetcijfers uitgevoerde proeven ($l.s^{-1}$)

Tijd	Proef							Tijd	vervolg 3.
	1.(1e)	1.(2e)	2.a.	2.b.	2.c(1e)	2.c(2e)	3.		
t = 0	0	0	0	0	0	0	0	14 min.	0,80
15 sec.	0	0	0	0,05	n.b.	0	0	15 sec.	0,81
30 "	0	n.b.	0	0,11	n.b.	n.b.	n.b.	30 "	0,82
45 "	0	n.b.	0	0,28	0,82	n.b.	n.b.	45 "	0,74
1 min.	n.b.	0,62	n.b.	0,47	1,18	1,18	n.b.	15 min.	0,59
15 "	n.b.	0,73	n.b.	0,61	1,37	1,29	0,63	15 "	0,43
30 "	0,67	0,75	n.b.	0,70	1,48	1,34	0,71	30 "	0,33
45 "	0,72	0,76	n.b.	0,76	1,60	1,46	0,77	45 "	0,26
2 min.	0,75	0,83	0,37	0,83	1,67	1,57	0,82	16 min.	0,21
15 "	0,78	0,87	0,39	0,86	1,72	1,66	0,84	15 "	0,21
30 "	0,79	0,85	0,39	0,88	1,66	1,79	0,84	30 "	0,30
45 "	0,84	0,85	0,41	0,89	1,65	1,88	0,85	45 "	0,46
3 min.	0,84	0,87	0,43	0,89	1,70	1,86	0,89	17 min.	0,62
15 "	0,83	0,89	0,42	0,90	1,55	1,49	0,90	15 "	0,72
30 "	0,86	0,88	0,43	0,89	1,04	1,07	0,88	30 "	0,76
45 "	0,88	0,88	0,44	0,89	0,70	0,79	0,90	45 "	0,80
4 min.	0,88	0,87	0,45	0,87	0,55	0,54	0,92	18 min.	0,78
15 "	0,87	0,89	0,44	0,80	0,43	0,44	0,79	15 "	0,74
30 "	0,87	0,92	0,43	0,60	0,33	0,34	0,59	30 "	0,56
45 "	0,88	0,96	0,44	0,45	0,24	0,27	0,44	45 "	0,38
5 min.	0,92	0,97	0,44	0,35	0,19	0,21	0,34	19 min.	0,30
15 "	0,93	0,94	0,43	0,26	0,17	0,16	0,28	15 "	0,25
30 "	0,92	0,90	0,43	0,22	0,13	0,13	0,24	30 "	0,20
45 "	0,90	0,88	0,44	0,17	0,10	0,12	0,29	45 "	0,16
6 min.	0,89	0,88	0,43	0,13	0,08	0,09	0,64	20 min.	0,17
15 "	0,91	0,90	0,38	0,11	0,07	0,07	1,17	15 "	0,22
30 "	0,91	0,91	0,32	0,09	0,07	0,07	1,44	30 "	0,28
45 "	0,93	0,93	0,25	0,08	0,06	0,06	1,47	45 "	0,33
7 min.	0,91	0,95	0,20	0,06	0,05	0,05	1,49	21 min.	0,37
15 "	0,88		0,16	0,07	0,04	0,04	1,52	15 "	0,40
30 "	0,88		0,14	0,07			1,58	30 "	0,41
45 "	0,88		0,11	0,04			1,43	45 "	0,38
8 min.	0,89		0,08	0,02			1,03	22 min.	0,31
15 "	0,87		0,07				0,73	15 "	0,24
30 "	0,89		0,05				0,54	30 "	0,19
45 "	0,94		0,05				0,42	45 "	0,17
9 min.	0,96		0,04				0,36	23 min.	0,15
15 "	0,93		0,04				0,38	15 "	0,11
30 "	0,90		0,03				0,64	30 "	0,13
45 "	0,89		0,03				1,05	45 "	0,18
10 min.	0,87		0,03				1,33	24 min.	0,22
15 "	0,86						1,46	15 "	0,27
30 "	0,70						1,57	30 "	0,30
45 "	0,51						1,69	45 "	0,32
11 min.	0,36						1,75	25 min.	0,34
15 "	0,28						1,51	15 "	0,34
30 "	0,22						1,08	30 "	0,30
45 "	0,17						0,70	45 "	0,25
12 min.	0,15						0,52	26 min.	0,20
15 "	0,12						0,42	15 "	0,16
30 "	0,09						0,33	30 "	0,14
45 "	0,09						0,31	45 "	0,12
13 min.	0,07						0,39	27 min.	0,11
15 "	0,05						0,55	15 "	0,09
30 "	0,05						0,68	30 "	0,07
45 "	0,05						0,77	45 "	0,06

PROEFVAK H I

Meetcijfers uitgevoerde proeven (1.s⁻¹)

Tijd	Proef						Tijd	Proef
	1.a.	1.b.	2.a.	2.b.	2.c.	3.		3.(vervolg)
t = 0	0	0	0	0	0	0	14 min.	1,04
15 sec.	0	0,03	0	0	0	0	15 sec.	0,87
30 "	0	0,06	0	0	0	0	30 "	0,81
45 "	0	0,06	0	0	0	0	45 "	0,83
1 min.	0	0,09	0	n.b.	n.b.	n.b.	15 min.	0,92
15 "	0	0,18	0	n.b.	n.b.	n.b.	15 "	1,04
30 "	0	0,29	0	n.b.	0,84	n.b.	30 "	1,17
45 "	0	0,50	0	0,52	1,35	0,49	45 "	1,28
2 min.	0	0,78	n.b.	0,81	1,87	0,73	16 min.	1,40
15 "	0,58	1,05	n.b.	1,07	2,04	1,04	15 "	1,47
30 "	0,93	1,23	n.b.	1,25	2,23	1,26	30 "	1,39
45 "	1,05	1,33	n.b.	1,42	2,38	1,37	45 "	1,22
3 min.	1,14	1,53	n.b.	1,51	2,52	1,55	17 min.	1,02
15 "	1,21	1,63	n.b.	1,55	2,37	1,59	15 "	0,83
30 "	1,25	1,72	0,44	1,57	2,09	1,66	30 "	0,73
45 "	1,31	1,70	0,53	1,58	1,75	1,73	45 "	0,68
4 min.	1,35	1,69	0,58	1,59	1,39	1,75	18 min.	0,65
15 "	1,42	1,69	0,60	1,58	1,10	1,71	15 "	0,64
30 "	1,47	1,70	0,61	1,41	0,84	1,54	30 "	0,64
45 "	1,52	1,71	0,64	1,21	0,66	1,30	45 "	0,66
5 min.	1,53	1,75	0,67	0,96	0,50	1,06	19 min.	0,69
15 "	1,54	1,78	0,69	0,78	0,45	0,91	15 "	0,71
30 "	1,55	1,80	0,70	0,61	0,38	0,89	30 "	0,68
45 "	1,54	1,80	0,71	0,51	0,33	0,98	45 "	0,60
6 min.	1,53	1,78	0,72	0,43	0,27	1,19	20 min.	0,52
15 "	1,51	1,77	0,70	0,35	0,23	1,50	15 "	0,46
30 "	1,49	1,78	0,66	0,29	0,20	1,83	30 "	0,46
45 "	1,55	1,78	0,58	0,25	0,19	2,10	45 "	0,46
7 min.	1,58	1,79	0,50	0,21	0,17	2,29	21 min.	0,49
15 "	1,58	1,80	0,43	0,18	0,15	2,34	15 "	0,52
30 "	1,60	1,80	0,38	0,16	0,14	2,14	30 "	0,54
45 "	1,61	1,77	0,32	0,14	0,13	1,79	45 "	0,55
8 min.	1,61	1,66	0,27	0,12	0,11	1,43	22 min.	0,57
15 "	1,61	1,61	0,23	0,11	0,11	1,18	15 "	0,57
30 "	1,58	1,23	0,19	0,10	0,10	1,08	30 "	0,58
45 "	1,53	0,99	0,17	0,09	0,10	1,17	45 "	0,55
9 min.	1,51	0,83	0,14	0,08	0,08	1,34	23 min.	0,48
15 "	1,53	0,67	0,13	0,08	0,08	1,63	15 "	0,41
30 "	1,60	0,55	0,11		0,07	1,96	30 "	0,38
45 "	1,68	0,46	0,09		0,06	2,23	45 "	0,34
10 min.	1,66	0,39	0,08		0,06	2,44	24 min.	0,28
15 "	1,57	0,34	0,07		0,06	2,46	15 "	0,25
30 "	1,53	0,29	0,08			2,19	30 "	0,22
45 "	1,54	0,25	0,06			1,78	45 "	0,22
11 min.	1,55	0,22	0,04			1,41	25 min.	0,18
15 "	1,55	0,19	0,05			1,14	15 "	0,16
30 "	1,56	0,18	0,04			1,00	30 "	0,15
45 "	1,56	0,16				0,97	45 "	0,12
12 min.	1,55	0,14				1,03	26 min.	0,09
15 "	1,53	0,13				1,13	15 "	0,09
30 "	1,41	0,12				1,27	30 "	0,08
45 "	1,12	0,11				1,41	45 "	0,08
13 min.	0,96	0,10				1,46	27 min.	0,08
15 "	0,76	0,09				1,54	15 "	0,07
30 "	0,61	0,08				1,44	30 "	0,07
45 "	0,48	0,08				1,25	45 "	0,06