

REPRODUCTIE ZOUTTOESTAND

GETIJRIVIEREN

II

BOUW GETIJGOOT EN

OPZET GETIJGOOTBEDRIJF

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
DELFT

M 896-II

Mosq6-2

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

REPRODUCTIE ZOUTTOESTAND GETIJRIVIEREN

II

Bouw getijgoot en
opzet getijgootbedrijf

M896 - II
december 1974

INHOUD

blz.

LIJST VAN FIGUREN

LIJST VAN FOTO'S

NOTATIES

<u>1</u>	<u>Inleiding</u>	1
<u>2</u>	<u>Ontwerpgegevens</u>	3
2.1	Schaalkeuze en schematisatie.....	3
2.2	Kunstgrepen (ruwheid, menging).....	7
2.3	Afmetingen reservoirs en pompen.....	11
<u>3</u>	<u>Installaties</u>	13
3.1	Inrichting getijgoot.....	13
3.2	Konstruktie goot.....	14
3.3	Watercirculatiesysteem zeerand.....	15
3.4	Watercirculatiesysteem rivierrand.....	17
3.5	Diverse voorzieningen en outillage.....	18
<u>4</u>	<u>Instrumentatie</u>	22
4.1	Regelapparatuur.....	22
4.2	Meetapparatuur.....	23
4.3	Registratieapparatuur.....	25
<u>5</u>	<u>Organisatie meetbedrijf</u>	26
5.1	Meetprogramma.....	26
5.2	Bemonstering.....	26
5.3	Uitvoering onderzoek.....	27
5.4	Verwerking meetgegevens.....	28
5.5	Nauwkeurigheidsbeschouwing.....	28
<u>6</u>	<u>IJking model</u>	31
6.1	Gevoeligheidsonderzoek.....	31
6.2	Principe opzet ijking.....	31
<u>7</u>	<u>Referenties</u>	33

TABELLEN

FIGUREN

- 1 Rotterdamse Waterweg
- 2 Begrenzungen Getijmodel Rijnmond
- 3 Literatuurgegevens hydraulische modellen
- 4 Ontwikkeling profiel Rotterdamse Waterweg
- 5 Schematisatie geometrie Rotterdamse Waterweg
- 6 Kombergend oppervlak Rotterdamse Waterweg
- 7 Getijvoortplanting bij variatie gootlengte
- 8 Getijkarakteristieken Rotterdamse Waterweg
- 9 Zoutgegevens Rotterdamse Waterweg
- 10 Getijgoot Waterways Experiment Station
- 11 Getijgootonderzoek Waterways Experiment Station
- 12 Schema getijgootopstelling
- 13 Projectie getijgoot op prototype-situatie
- 14 Opstelling getijgoot in hal Getijmodel Rijnmond
- 15 Inventarisatie eigenschappen perspex
- 16 Vormverandering perspex goot
- 17 Overzicht opbouw gootconstructie
- 18 Constructies i.v.m. lengteverandering goot
- 19 Waterhuishoudingssysteem zeerand
- 20 Constructies zeebassin getijgoot
- 21 Regeling niveau in zeebassin
- 22 Principe debietregeling rivierrand
- 23 Constructies getijreservoir
- 24 Constructies rivierrand getijgoot
- 25 Regeling niveau getijreservoir
- 26 Schema heetwatervoorziening
- 27 Details luchtinjectionssysteem
- 28 Meetwagen met meetapparatuur
- 29 Gevoeligheidsonderzoek conditie mond
- 30 Samenvatting opzet getijgootonderzoek

FOTO'S

- 1 Fabrikage perspex goot
- 2 Zeebassin getijgoot
- 3 Overzicht getijgootopstelling
- 4 Overzicht getijgootopstelling
- 5 Overzicht getijgootvoorzieningen
- 6 Luchtinjektiesysteem
- 7 Ruwheid in de getijgoot
- 8 Overzicht meetkamer
- 9 Overzicht verwerkingssysteem
- 10 Behuizing getijgoot

NOTATIES

a	: getijamplitude
a _o	: getijamplitude in de mond
b	: breedte prototypegoot
b _e	: ekwivalente breedte
b _w	: breedte weerstandsstaafje
c	: zoutconcentratie
c _z	: zoutconcentratie (konstant) op zeerand
c _w	: weerstandskoefficiënt
g	: versnelling van de zwaartekracht
h	: waterdiepte
h _e	: ekwivalente waterdiepte
n	: schaalfactor, ook aantal weerstandselementen per m ²
p	: druk
p _a	: luchtdruk (luchtinjectie)
s	: saliniteit
t	: tijd
u	: snelheidskomponent in x-richting
v	: snelheidskomponent in y-richting
w	: opzet tengevolge van stormeffekt
x	: horizontale koördinaat
y	: verticale koördinaat
B	: gootbreedte
C	: weerstandskoefficiënt volgens Chézy
D _x	: diffusiekoefficiënt voor de horizontale richting
D _y	: diffusiekoefficiënt voor de verticale richting
D'	: dispersiekoefficiënt
L	: gootlengte
L _e	: ekwivalente lengte
L _r	: resonantielengte
L _i	: zoutindringingslengte
P _a	: ingebracht vermogen (luchtinjectie)
Q	: debiet
Q _r	: zoetwater (rivier) afvoer
Q _a	: luchtdebiet (luchtinjectie)
R	: hydraulische straal

NOTATIES (vervolg)

T : getijperiode, ook looptijd, ook zouttransport in verticale richting

T^* : transportfunctie

γ : bezetting aan weerstandsstaafjes

δ : vertrekking (horizontale t.o.v. verticale schaalfactor)

ε : meetfout

λ : lengte onvervormde getijgolf

ν : kinematische viskositeit

ρ : dichtheid

ψ : fasedraaiing, ook relatieve meetfout

Δ : stapgrootte

1 Inleiding

Bij brief nr. 6698, van 10 augustus 1966, werd door de Deltadienst van de Rijkswaterstaat aan het Waterloopkundig Laboratorium opdracht gegeven tot het verrichten van modelonderzoek met dichtheidsstromen in een getijgoot. De doelstelling van het getijgootonderzoek is tweërlei:

- * voorstudie voor en begeleiden van het Getijmodel Rijnmond (M900) met betrekking tot de modeltechniek, o.a. ontwikkelen van technieken voor het op schaal brengen van ruwheid en menging, zulks om een optimale reproductie van de zout- en zoetwaterbeweging in het model te bereiken
- * fundamenteel onderzoek naar het mechanisme van de zout- en zoetwaterbeweging, o.a. naar korrelaties van fysische coëfficiënten, zulks om met succes rekenmodellen voor de niet-homogene getijbeweging te kunnen opzetten en te kunnen bedrijven.

Aan het ontwerpen van de getijgoot is een omvangrijk vooronderzoek voorafgegaan, uitgevoerd door ir. C. Stigter en vastgelegd in rapport M896-I. De ontwerpgegevens uit dit vooronderzoek zijn de uitgangspunten geweest voor het ontwerpen van de getijgoot.

De getijgoot is een schematisatie van de Rotterdamse Waterweg (fig. 1) tot een goot met rechthoekig dwarsprofiel met konstante doorsnede en met een horizontale bodem. De goot is in eerste instantie opgezet op dezelfde schalen als die van het Getijmodel Rijnmond (vertikale schaal 1 : 64, horizontale schaal 1 : 640), teneinde een zo goed mogelijke aansluiting aan dit model (fig. 2) te bewerkstelligen.

In de getijgoot wordt een getijbeweging opgewekt; aan de bovenstroomse zijde is een konstante aanvoer van zoet water en aan de benedenstroomse zijde wordt de zoutconcentratie op een konstante waarde gehouden. De getijbeweging wordt verkregen door middel van een regeling van de waterstand aan de benedenstroomse zijde en een debietregeling aan de bovenstroomse zijde. De debietregeling wordt zodanig geprogrammeerd dat er een optimale reproductie is in het gebied waar zoutindringing optreedt. De gegevens worden verkregen met behulp van een homogene getijberekening.

Met het ontwerpen van de getijgoot en met de voorbereiding voor de bouw is begonnen in augustus 1966; de getijgoot is gebouwd in de periode november 1966 t/m augustus 1967. Het mechanisch en elektrisch ijken en het inleidende onderzoek, waaronder gevoeligheidsonderzoek, heeft in de rest van 1967 plaatsgevonden. Begin 1968 was het model operationeel.

Het ontwerp en de bouwbegeleiding is uitgevoerd door ir. A.J. van Rees, in samenwerking met ing. P. de Jong. Dit rapport is samengesteld door ir. A.J. van Rees en daarnaast is er een interne handleiding getijgootbedrijf, samengesteld door ing. P. de Jong.

2 Ontwerpgegevens

2.1 Schaalkeuze en schematisatie

Zoals reeds gesteld in hoofdstuk 1, is de schaalkeuze in eerste instantie bepaald door die van het Getijmodel Rijnmond. De schalen van dit model (vertikale schaal 1 : 64, horizontale schaal 1 : 640) vormen nu het uitgangspunt waaromheen de schalen gevarieerd moeten kunnen worden:

- verticale schaal tussen orde 1 : 32 en 1 : 128
- horizontale schaal tussen orde 1 : 320 en 1 : 2560

In praktische zin is gedacht aan de volgende combinaties van horizontale en verticale schaal:

500/100, 640/64, 750/75, 1000/100, 2000/100, 2400/64.

De schalen voor het Getijmodel Rijnmond zijn vastgelegd op basis van de volgende overwegingen:

* vertikale schaal 1 : 64. Deze schaal is toegepast voor het Deltamodel M600. Een waterdiepte van 16 m in het prototype bijvoorbeeld, is 25 cm in het model. Bij deze schaal kunnen profileringen van waterlopen nog goed worden weergegeven en er is voldoende diepte om te kunnen meten. Bij grote vlaktemodellen wordt wel de schaal 1 : 100 toegepast. Bovengenoemde modellen zijn zoetwatermodellen. Bij modellen met een zout- en zoetwaterstroming, dus met een tweelagenstroming, kan op basis van overwegingen over invloed van de viscositeit (Reynoldsgetal) gemotiveerd worden niet ongunstiger te kiezen dan schaal 1 : 64.

* horizontale schaal 1 : 640. In het Deltamodel M600 (vertikale schaal 1 : 64, horizontale schaal 1 : 2400) is in 1963 een zoutzoetproef uitgevoerd (zie ref. 1). Hierbij is gebleken dat in dit sterk samengetrokken model (vertrekking is 37,5) geen bevredigende reproductie optreedt; het zout komt te ver door.

? Een literatuuronderzoek (ref. 1) heeft aangegeven dat er een optimale reproductie van de longitudinale zoutindringing verwacht kan worden bij een vertrekking orde 10. Bij een te grote vertrekking komt het zout te ver door; bij een te geringe vertrekking niet ver genoeg. Zie voor enkele referenties fig. 3. In de Verenigde Staten zijn bij het Waterways Experiment Station in Vicksburg sinds 1950 met succes getijzoutzoetmodellen toegepast, waarbij de vertrekking 10 was. Deze informatie en enkele theoretische beschouwingen hebben er toe geleid om voor het Getijmodel Rijnmond een horizontale schaal 1 : 640 te kiezen.

In principe hangt de schaalkeuze samen met het aspekt dat men wil onderzoeken. Betreft dit de zoutindringing, dus de horizontale beweging, dan is een juiste keuze van de vertrekking primair. Is de vertikale zoutverdeling uitgangspunt, dan wordt bij voorkeur de vertrekking zo gering mogelijk gemaakt. Evenwel speelt de ekonomie een rol (daarvoor de vertrekking bij voorkeur zo groot mogelijk); verder spelen nog een aantal sekundaire aspekten een rol (o.a. de kunstgrepen die nodig zijn om de ruwheid en de menging op schaal te brengen).

Voor de modelschalen van de getijgoot zijn dus in eerste instantie de schalen van het Getijmodel Rijnmond gekozen. De horizontale schaaalfaktor is 640, de vertikale schaaalfaktor is 64, dus de vertrekking is 10. De snelheden zijn gekozen op Froudeschaal, dat wil zeggen dat het getal van Froude (u/\sqrt{gh}) voor model en prototype dezelfde waarde heeft. Vanwege de niet-homogene waterbeweging moet hetzelfde gelden voor het interne Froude getal ($u/\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho}gh}$). Het model is dan dynamisch gelijkvormig met het prototype. Alle schaaalfaktoren kunnen nu bepaald worden:

- lengteschaalfaktor : $n_L = 640$
- diepteschaalfaktor : $n_h = 64$
- snelheidsschaalfaktor : $n_u = n_h^{\frac{1}{2}} = 8$
- tijdschaalfaktor : $n_t = n_L \cdot n_u^{-1} = 80$
- oppervlakteschaalfaktor : $n_A = n_L \cdot n_h = 40960$
- debietenschaalfaktor : $n_Q = n_A \cdot n_u = 327680$
- dichtheidsschaalfaktor : $n_\rho = 1$

De schaaalfaktor voor de ruwheid is uitgedrukt in de dimensieloze weerstandskoefficiënt λ gelijk aan $n_h \cdot n_L^{-1} = 0,1$ en uitgedrukt in de Chézy-koefficiënt $\sqrt{n_L \cdot n_h^{-1}} = \sqrt{10}$, wat volgt uit de bewegingsvergelijking. Het model moet dus relatief ruwer worden. De schaaalfaktor voor de menging is ten aanzien van de vertikale turbulente diffusie gelijk aan $n_h^{3/2} \cdot (n_h \cdot n_L^{-1}) = 51,2$, wat volgt uit de kontinuïteitsvergelijking voor het zout. De schaaalfaktor voor turbulente diffusie is volgens een $4/3$ machtwet (Kolmogoroff) echter $n_h^{4/3} = 256$, zodat in dit geval het model zelf maar 20% van de benodigde menging kan leveren, de rest moet door van buiten af toegevoerde energie gerealiseerd worden.

De menging is hierbij gekoppeld aan de vertikale turbulente diffusie, d.w.z. betrokken op een twee- dimensionaal diffusiemodel. Daarnaast is uiteraard de horizontale diffusie mede bepalend voor de aard van het verschijnsel.

De reproductie is evenwel toegespitst op de zoutindringing, dus op de horizontale verspreiding. Deze kan gekoppeld worden aan de dispersiecoëfficiënt in een één-dimensionaal diffusiemodel. Aan de hand hiervan kan getoetst worden in hoeverre het model de horizontale cirkulatie kan reproduceren. De hierboven besproken coëfficiënten zijn verzameld in onderstaande tabel in de relatie prototype-model.

Coëfficiënt + diff.model	Prototype getijgoot	Volgens modelschalen		Volgens 4/3 macht-wet	
		Schaalfactor	Nodig in model	Schaalfakt.	Aanw.in mod.
D_y (2-dim.)	$10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$n_h^{5/2} \cdot n_L^{-1} = 51,2$	$2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$n_h^{4/3} = 256$	$4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
D_x (2-dim.)	$10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$n_h^{1/2} \cdot n_L = 5120$	$0,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$n_h^{4/3} = 256$	$4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
D' (1-dim.)	$1000 \text{ m}^2/\text{s}$	$n_h^{1/2} \cdot n_L = 5120$	$0,2 \text{ m}^2/\text{s}$	$n_L^{4/3} = 5520$	$0,2 \text{ m}^2/\text{s}$

Het blijkt dat de diffusiecoëfficiënt D_x te groot is in het model, maar omdat D_x een orde kleiner blijft dan de D_y die nodig is volgens de modelschalen, heeft met deze afwijking geen rekening gehouden te worden. Het blijkt dat bij de schaalkombinaties 640/64, de dispersiecoëfficiënt D' globaal goed in het model gereproduceerd wordt en er kan dus verwacht worden dat de horizontale cirkulatie redelijk goed op schaal zal zijn.

De procedures die ten grondslag liggen aan de schematisatie van de Rotterdamse Waterweg tot een prototype-goot zijn ontwikkeld in het kader van het vooronderzoek voor de getijgoot. Zie rapport M896-I. Hierna wordt daarom volstaan met het vermelden van de hoofdzaken en een toelichting aan de hand van figuren. De configuratie van de Rotterdamse Waterweg is aan voortdurende wijzigingen onderhevig. Zie fig. 4. Voor het ontwerp van de getijgoot is uitgegaan van de situatie 1964. Zie fig. 5.

Het prototype-estuarium moet tot een prototype-goot geschematiseerd worden en wel zodanig dat de hydraulische eigenschappen van de prototype-goot en die van het werkelijke prototype zo goed mogelijk met elkaar overeenkomen.

De bodem van de prototype-goot wordt horizontaal gekozen. De prototype-goot wordt bepaald door lengte, diepte en breedte. Verder zijn de ruwheid en de menging nog vrijheden om een goed mogelijke korrespondentie met het werkelijke prototype te krijgen.

Voor de stroomvoerende breedte van de Waterweg wordt door Rijkswaterstaat de breedte op O.L.W. - 4,50 m (~N.A.P. - 5,50 m) aangehouden. De gemiddelde waterdiepte kan gedefinieerd worden als het quotiënt van het stroomvoerend oppervlak en de stroomvoerende breedte. Voor het bepalen van de waterdiepte van de prototype-goot werd in rapport M896-I de loopsnelheid van de getijgolf als criterium genomen. Als vergelijkingsbasis is de looptijd vanaf de mond genomen, dus een geïntegreerde grootheid.

$$T_x = \int_0^x \frac{dx}{\sqrt{gh_x}} \quad \text{Op basis hiervan werd een ekwivalente diepte } h_e = 13,80 \text{ m gevonden.}$$

Voor het bepalen van de breedte van de prototype-goot is gerekend met de inhoud van de Waterweg onder het vlak van N.A.P., gerekend vanaf de mond.

Dus ook met een geïntegreerde grootheid.

$$b_{e_x} = \frac{\int_0^x b_x h_x dx}{h_e} \quad \text{Op basis hiervan werd een ekwivalente breedte } b_e = 430 \text{ m gevonden.}$$

De breedte van 430 m is een redelijk gemiddelde voor het traject kmr 1030 - kmr 1014 (mond - splitsingspunt Oude Maas). Bovenstrooms is de breedte een globaal ekwivalent voor Nieuwe Maas en Oude Maas tezamen.

De resultaten van de schematisatie van breedte, diepte en dwarsprofiel kunnen geverifieerd worden aan de hand van fig. 5.

De kombergende breedte kan in de goot niet op schaal gebracht worden, wel zouden eventueel geschematiseerde uiterwaarden aangebouwd kunnen worden om de hydraulische karakteristieken van het werkelijke prototype met "uiterwaarden" en havens in het model te krijgen. De schematisatie op basis van kombergend oppervlak is weergegeven in fig. 6. Zie ook rapport M896-I.

De meest belangrijke graad van vrijheid is de lengte van de prototype-goot. In rapport M896-I wordt gesteld dat de lengte zodanig gekozen moet worden dat de getijkarakteristieken (amplitude en faseverschuiving van het getij) zo goed mogelijk overeenkomen met die van het werkelijke prototype. Dit betreft het gedeelte wat van belang is in verband met het onderzoek, dat is het gedeelte waarover zoutindringing plaatsvindt.

Als karakteristieke lengtemaat voor het getijverschijnsel in de goot wordt de resonantielengte van de goot (L_r) gehanteerd.

$$L_r = 1/4 \lambda, \text{ waarbij } \lambda = \text{lengte getijgolf} = \sqrt{gh_e} T.$$

Deze lengte hangt dus samen met de getijperiode en de ekwivalente waterdiepte. Voor $T = 12.25$ uur = 44700 s en $h_e = 13,8$ m is $L_r = 129.700$ m.

Het blijkt nu dat voor de fiktieve goot de amplitude en de faseverschuiving van het getij zo goed mogelijk overeenkomstig het prototype zijn indien de lengte orde $0,85 \text{ à } 0,90 L_r$ is. Voor de ekwivalente lengte is gekozen $L_e = 0,90 L_r = 117.000$ m.

De procedure voor het bepalen van de ekwivalente lengte wordt verduidelijkt aan de hand van een praktisch geval: reproductie van de prototype metingen van juni 1956.

Voor de situatie 1956 was de ekwivalente diepte 12,5 m en de ekwivalente breedte 430 m. Indien de lengte van de goot gevarieerd wordt tussen 0,5 en $2 L_r$ wordt een beeld van het amplitudeverloop (opslingering) en de fasedraaiing verkregen zoals fig. 7 weergeeft. Overeenkomstige karakteristieken uit het prototype voor de situatie juni 1956 zijn gegeven in fig. 8. Het blijkt nu dat voor de fiktieve goot de getijkarakteristieken zo goed mogelijk overeenkomstig het prototype zijn wanneer de lengte orde $0,85 \text{ à } 0,90 L_r$ is (zie bijvoorbeeld de overeenkomstige gegevens voor het meetpunt Rotterdam). Opgemerkt moet worden dat door het te gering zijn van het kombergend oppervlak in de goot de opslingering (a/a_0) wel anders is (meestal groter) dan in het prototype. Aan het korresponderen van de fasedraaiing wordt een groter gewicht toegekend i.v.m. reproductie zouttoestand. Bepalend is het traject waarover de zoutindringing plaatsvindt. Voor de situatie juni 1956 is dit het traject t/m Rotterdam. In fig. 9 zijn ter illustratie hiervan de zoutgegevens behorende bij de metingen van juni 1956 gegeven. Fig. 10 heeft te maken met de zout- en stromingstoestand in de mond van de Waterweg. Dit komt onder 3.3 nader aan de orde.

2.2 Kunstgrepen (ruwheid, menging)

Een optimale schaalkeuze leidt tot een samengetrokken model. Zie onder 2.1. Bij de gekozen schaalkombinatie 640/64 is de vertrekking $\delta = 10$. Uitgangspunt met betrekking tot de waterbeweging is dat de verhangen gereproduceerd worden. Samentrekken met een faktor δ heeft tot gevolg dat de verhangen met een faktor δ versterkt moeten worden. Het model heeft een bepaalde ruwheid (wandruwheid en vormweerstand). Indien deze ruwheid niet toereikend is, zijn kunstgrepen noodzakelijk. Deze kunnen bestaan uit blokjes of stripjes op bodem en wanden. Bij zeer sterke samentrekkingen worden verticale staafjes toegepast die reiken tot aan de waterpiegel.

Deze kunstgrepen betekenen uiteraard een ernstige ingreep in het fysisch gebeuren. Het doel, een juist verhang, wordt wel bereikt. De turbulente structuur, dus het wervelpatroon, zal in het algemeen niet op schaal gereproduceerd worden. Het hangt van het type onderzoek af welk kompromis, dus welk type ruweheidselementen gekozen zal worden.

Ten aanzien van de menging geldt een overeenkomstige beschouwing als ten aanzien van de ruweheid. Uitgangspunt met betrekking tot de massabeweging is dat de verticale zouttransporten gereproduceerd worden. Samentrekken met een faktor δ heeft tot gevolg dat de transporten met een faktor δ versterkt moeten worden. In het model is een initieel vertikaal massatransport. Indien dit transport niet voldoende is, zijn kunstgrepen noodzakelijk om de menging te versterken. Hiervoor zijn diverse middelen mogelijk. Deze zijn behandeld in rapport M923: Onderzoek mengmiddelen. Voorshands lijkt de meest praktische oplossing continue injectie van luchtbellen. Hiermee wordt bewerkstelligd dat het wervelpatroon aangevuld wordt met grotere wervels. De invloed van luchtinjectie op de ruweheid, dus op de verhangen, is verwaarloosbaar klein gebleken. (slechts geringe kleine luchtbellen) Voor het vaststellen van modelwaarden voor de ruweheid wordt uitgegaan van gegevens Rotterdamse Waterweg. Voor de Chézy-ruweheid van de prototypegoot wordt de gemiddelde Chézy-waarde aangehouden van de Waterweg tussen mond en splitsingspunt Oude Maas. Hiervoor is aangenomen $C = 60 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$, korresponderend met een k-waarde van 0,10 m. Via de modelschalen kan dan de C-waarde voor het model berekend worden. Wat de menging betreft, bestaan er voor het prototype nagenoeg geen gegevens. Enkele zeer fragmentarische gegevens zijn verzameld in rapport M923 op blz. 26. Daarnaast kan een schatting gemaakt worden op basis van een $4/3$ -macht wet, bijvoorbeeld uitgaande van wervels met een effectieve diameter orde 2 m. Dit leidt tot een verticale diffusiecoëfficiënt orde $D_y = 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Via de modelschalen kan de diffusiecoëfficiënt voor het model bepaald worden.

Een samenvatting van de ontwerpgegevens betreffende de goot, is gegeven in onderstaande tabel.

Grootheden	Prototype-goot	Schaalfactoren	Modelgetijgoot
Diepte h	13,80 m	$n_h = 64$	0,216 m
Breedte B	430 m	$n_L = 640$	0,672 m
Lengte L	117.000 m	$n_L = 640$	182,81 m
Ruwheid C	$60 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$	$n_C = \sqrt{n_L \cdot n_h^{-1}} = \sqrt{10}$	$19,0 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$
Menging D_y	$10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$n_{D_y} = n_h^{5/2} \cdot n_L^{-1} = 51,2$	$2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Volgens de modelschalen is in het model een zodanige ruwheid nodig dat $C = 19,0 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$. Wanneer de eigen ruwheid van het model bekend is, kan het aantal weerstandselementen berekend worden dat nodig is om de juiste C-waarde te realiseren. Hiervoor wordt de volgende formule gebruikt:

staafjes!

$$\gamma = \frac{2}{c_w} \left[\frac{n_L}{n_h} \cdot \frac{g}{C_{pr}^2} \cdot \frac{D_{pr}}{R_{pr}} - \frac{g}{C_{mo}^2} \cdot \frac{D_{mo}}{R_{mo}} \right], \text{ waarin } \gamma = n_b \frac{D_{mo}}{c_w}$$

In deze formule is:

- n_h, n_L : schaalfactor voor verticale, resp. horizontale schaal
- D_{pr}, D_{mo} : waterdiepte prototype, resp. model
- R_{pr}, R_{mo} : hydraulische straal prototype, resp. model zonder staafjes
- C_{pr}, C_{mo} : Chézy-ruwheid prototype, resp. model zonder staafjes
- g : versnelling van de zwaartekracht
- n : aantal staafjes per m^2 modelbodem
- b_w : breedte staafje
- c_w : weerstandskoefficiënt staafje: $c_w = 1,66$ voor $R_e = \frac{\bar{u} b_w}{\nu} > 200$
- γ : dimensieloze grootheid voor de bezetting

Voor meer informatie zie:

Blumenthal, K.P., Ruwheden in vertrokken modellen, Verslag over proeven betreffende staafjes en roosters, M284, Waterloopkundig Laboratorium, Delft, 1956.

Voor ruwheid door middel van plaatjes en blokjes gelden overeenkomstige formules. Zie Rapport M896-IX.

Voor het geval $D_{pr} = R_{pr} = 13,80$ m, $C_{pr} = 60$ m^{1/2}/s en $n_L/n_h = 640/64$, kan nu het aantal staafjes berekend worden. Voor de eigen ruwheid van de goot (materiaal perspex) wordt aangehouden $k + 0,3 \delta = 0,3$ mm in de formule $C = 18 \log \left[12R (k + 0,3 \delta)^{-1} \right]$. Hieruit volgt $C_{mod} = 67$ m^{1/2}/s. De hierboven gegeven formule voor γ geeft dan $\gamma = 0,0285$. Hieruit volgt $n = 26,4$ per m².

Voor de menging geldt een analoge beschouwing. Volgens de modelschalen is een zodanige menging nodig dat $D_y = 2 \cdot 10^{-5}$ m²/s. Wanneer de initiële menging in het model bekend is, kan de luchtinjetie vastgesteld worden die nodig is om de juiste D_y te realiseren. In rapport M923 (Onderzoek Mengmiddelen) is een globale procedure opgesteld om de benodigde luchthoeveelheid te berekenen. Uitgegaan wordt van de formule:

$$T_{ad}^* = \frac{n_L}{n_h} T_{pr}^* - T_{mo}^*, \text{ waarin } T^* = \frac{T}{\Delta\rho \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} gh_0}}$$

In deze formule is:

- n_h, n_L : schaalfactor voor verticale, resp. horizontale schaal
- T_{pr} : vertikaal massatransport in prototype
- T_{mo} : vert. massatransport in model, zonder extra menging
- T_{ad} : additioneel massatransport t.g.v. extra menging
- $\Delta\rho, \rho$: dichtheidsverschil, resp. dichtheid
- h_0 : waterdiepte t.o.v. middenstand

Uitgegaan wordt van $D_{y_{pr}} = 10^{-3}$ m²/s en $D_{y_{mo}} = 4 \cdot 10^{-6}$ m²/s (vergelijk de tabel onder 2.1).

Gesteld wordt $\Delta\rho = 25$ kg/m³, $\rho \sim 1000$ kg/m³, $h_{pr} = 13,8$ m, $h_{mo} = 0,216$ m.

Verder is $T = D \frac{\delta\rho}{\delta y}$. Gesteld wordt $T \sim D \frac{\Delta\rho}{0,2 h_0}$.

Er volgt dan: $T_{pr}^* = 2 \cdot 10^{-4}$ en $T_{mo}^* = 4 \cdot 10^{-4}$.

Nu is: $T_{ad}^* = 10 \times 2 \cdot 10^{-4} - 4 \cdot 10^{-4} = 16 \cdot 10^{-4}$.

Aan de hand van een grafiek in rapport M923 (M923, fig. 21) kan het benodigde vermogen voor luchtinjetie vastgesteld worden en daaruit het benodigde luchtdebiet. Uit de grafiek volgt:

$$P_a^* = \frac{P_a}{\Delta\rho g v} = 8 \cdot 10^4$$

$\Delta\rho$ is de gemiddelde dichtheid over de verti-
kaal t.o.v. 1000 kg/m³. Stel $\Delta\rho = 12,5$ kg/m³.
Verder is $v \approx 10^{-6}$ m²/s (kinem.viskositeit).

Er wordt dan gevonden $P_a = 10$ Nm/s per m²

$P_a = p_a Q_a$, dus $Q_a = 10^{-4}$ m³/s per m² bij 1 atm. druk (100 cc per m² per sek.).

Deze berekening is aanzienlijk minder betrouwbaar dan de berekening van de toegevoegde ruwheid. Vanwege de onzekerheden in de gegevens voor de diffusie en de gepleegde aannamen, kan deze berekening slechts gezien worden als een zeer globaal recept.

2.3 Afmetingen reservoirs en pompen

De afmetingen van de reservoirs en pompen zijn bepaald in het kader van rapport M896-I. De gegevens uit dit rapport zijn samengevat in de tabellen 1 en 2.

De resultaten zijn op basis van de frekwentieverdelingen voor de hoogwaterstanden te Hoek van Holland en de dagafvoeren van de Rijn te Lobith, zoals deze zijn weergegeven op blz. 159 van deel 5 van het Rapport van de Deltacommissie (1961).

Aan de hand van de hoogwater- en de laagwaterstanden te Hoek van Holland zijn de volgende gemiddelde waarden vastgesteld voor het getijverschil te Hoek van Holland:

- gemiddeld getij : 1,60 m
(gem. HW is +0,90 m, gem. LW is -0,70 m t.o.v. NAP)
- gemiddeld doodtij : 1,20 m
- gemiddeld springtij: 2,00 m.

In het kader van een ontwerp-stormvloed worden voor de opzet (w) 3 gevallen beschouwd:

- geen opzet : w = 0, kans op overschrijden 730 maal per jaar
- stormvloed : w = 2 m, kans op overschrijden 0,05 maal per jaar
- hyperstorm : w = 4 m, kans op overschrijden 10^{-4} maal per jaar

(de opzet is gerekend ten opzichte van een astronomisch getij met hoogwater van + 1,00 m t.o.v. N.A.P.).

Voor de stijgsnelheid tengevolge van stormeffekt wordt een gemiddelde waarde aangehouden ($\overline{\partial w / \partial t}$) van 10^{-4} m/s (opzet van 4 m in ca. 12 uur prototypetijd).

Voor de maximale stijgsnelheid wordt $4 \cdot 10^{-4}$ m/s aangehouden.

Met betrekking tot de rivierafvoer (zoetwaterafvoer) wordt uitgegaan van de volgende 4 gevallen:

- $Q_{\text{goot}} = 475 \text{ m}^3/\text{s}$ bij $Q_{\text{BR}} = 985 \text{ m}^3/\text{s}$ (onderschrijding 5 dagen per jaar)
- $Q_{\text{goot}} = 950 \text{ m}^3/\text{s}$ bij $Q_{\text{BR}} = 2.300 \text{ m}^3/\text{s}$ (ongeveer gemiddelde afvoer)
- $Q_{\text{goot}} = 1900 \text{ m}^3/\text{s}$ bij $Q_{\text{BR}} = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (overschrijding 10 dagen per jaar)
- $Q_{\text{goot}} = 3800 \text{ m}^3/\text{s}$ bij $Q_{\text{BR}} = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (overschrijding 0,3 dagen per jaar).

Deze opstelling is een geschematiseerde weergave op basis van prototypegegevens en proeven in Deltamodel M600 (zie rapport M896-I).

3 Installaties

3.1 Inrichting getijgoot

Een belangrijke stimulans voor het opzetten van een getijgoot voor onderzoek van de zouttoestand in de Rotterdamse Waterweg was een getijgoot die in het begin van de 50-er jaren gebouwd is en in bedrijf is geweest bij het Waterways Experiment Station in Vicksburg in de Verenigde Staten. Fig. 11 geeft een overzicht van deze goot. De afmetingen van de goot zijn: 0,23 m breed, 0,46 m hoog en ca. 100 m lang. Fig. 12 geeft een indruk van de wijze van meten in deze getijgoot. Door middel van injectie van kleurstof werden snelheidsprofielen bepaald en er werd vloeistof onttrokken om de zoutconcentratie te bepalen. Hier toe waren in de gootwand op regelmatige afstanden rijen gaatjes geboord en afgeplakt met zelfdichtend rubber-materiaal. Voor meer gegevens over deze getijgoot en het betreffende onderzoek, wordt verwezen naar ref. 4 en 5.

In tegenstelling tot de goot in Vicksburg is de getijgoot voor de Rotterdamse Waterweg gekoppeld aan prototype-omstandigheden. Hiermee hangt de dimensionering samen en ook de randvoorwaardenregeling. Zie rapport M896-I en hoofdstuk 2 van dit rapport. Naast deze ontwerpgegevens is de bouwkundige plattegrond een bepalende faktor geweest voor de vormgeving van de getijgoot. Het gotengebouw was reeds aan de hand van provisorische gegevens gebouwd. Er waren enkele verdiepte gedeelten aangebracht voor het onderbrengen van reservoirs.

De ruimtelijke situatie is weergegeven in fig. 13. Een verdiept gedeelte kon gebruikt worden voor zeebassin en zeerreservoir. Het gebouw was voldoende lang om het traject waarover zoutindringing kan plaatsvinden, als een recht stuk onder te kunnen brengen. Door de goot over 180° om te buigen, kon in het gotengebouw voldoende uitlooptenlengte gekreëerd worden. De reservoirs voor de randregeling en de zoetwatervoorziening moesten elders ondergebracht worden.

Het gootprofiel was al vastgesteld. Zie rapport M896-I en hoofdstuk 2 van dit rapport. Evenzo waren de meetstations al vastgesteld. Zie de posities in fig. 13. In het gebouw is maar een zeer beperkte ruimte aanwezig voor het aanbouwen van havens, maar in principe is dit in geschematiseerde vorm niet onmogelijk. Op basis van de ontwerpgegevens (zie rapport M896-I en hoofdstuk 2 van dit rapport) en van de ruimtelijke mogelijkheden, is de maatvoering volgens fig. 14 vastgesteld. Praktische overwegingen samenhangend met de situatie ter plaatse hebben een belangrijke rol gespeeld, hetgeen duidelijk wordt aan de hand van fig. 15. De ruimte voor de getijgoot is gekreëerd in een uitbreiding van het gebouw van

het getijmodel Rijnmond. Zie ook foto 10. Bijkomend was dat gebruik gemaakt kon worden van een aantal voorzieningen van het getijmodel (pekelbereiding, toevoer perslucht, waterleiding, riolering e.d.).

3.2 Konstruktie goot

Mede naar aanleiding van de getijgoot in Vicksburg, is niet een konventionele gootkonstruktie (metselwerk, staal, glas) toegepast, maar is de goot geheel in het doorzichtige materiaal perspex uitgevoerd. Overwegingen hiertoe waren de voordelen bij visueel waarnemen, bijvoorbeeld in het geval van de beweging van een zouttong, zichtbaar gemaakt door kleuren met een tracer. Zowel in lengterichting als in verticale richting kan het verschijnsel goed gevolgd worden zonder dat meten direkt noodzakelijk is. Verder is van belang dat het materiaal perspex, in tegenstelling tot glas, redelijk slagvast is. Er kunnen gaten in bodem en wanden geboord worden wat van belang is in verband met eventueel doorvoeren van meetopnemers en bijzondere voorzieningen. Het materiaal kan gemakkelijk bewerkt worden en goed gelijmd worden wat voor modificaties van de goot van belang was.

Er dient evenwel rekening gehouden te worden met een aantal eigenschappen van perspex:

- de uitzettingscoëfficiënt voor perspex is ca. 10x groter dan die voor staal.
 $\epsilon = 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$
- wanneer kruip vermeden dient te worden, is de toelaatbare spanning ca. 10 x lager dan die voor staal. Uiterste waarde $\sigma = 200 \text{ kgf/cm}^2$
- de elasticiteitsmodulus is ca. 100x lager dan die voor staal. Veilige waarde $E = 25000 \text{ kgf/cm}^2$.

Voor meer gegevens over perspex, zie:

- Wildschut, A.J., Eigenschappen en toepassingen van kunststoffen, kollege U8, Technische Hogeschool Delft, 1963
- Imperial Chemical Industries, "Perspex" acrylic materials, Part 5: properties, ICI Plastics Division, England.

Er zijn nog enkele eigenschappen van perspex (onder verzamelnaam acrylaten) weergegeven in fig. 16.

De goot is zo licht mogelijk gekonstrueerd vanwege kostenoverwegingen (niet duurder dan konventionele goot). De goot is opgebouwd uit vrijdragende sekties van 2 m, in de vorm van een open profiel uit perspex platen dik 1 cm met verstijvingen h.o.h. 40 cm.

De vervorming bij maximale belasting varieert van 1 tot 3 mm, in dwarsrichting (als afwijking in gootbreedte) maximaal 5 mm, nagenoeg gelijkmatig over de lengte van de goot.

De veiligheid ten aanzien van lokaal bezwijken (wandkonstruktie, bodemkonstruktie) en van bezwijken als geheel (knik bovenrand) is bij volbelasten (50 cm water) van dezelfde orde, ca. faktor 4 volgens de berekening. In verband met de grote vervormingen die op gaan treden, lijkt een veiligheidsfaktor orde 2 realistischer. De goot is niet berekend op gekoncentreerde belastingen, is dus bijvoorbeeld niet beloopbaar.

De uitkomsten van een proefbelasting van de goot zijn weergegeven in fig. 17. De vervorming hangt ook nog deels samen met temperatuurverschillen (afkoeling binnenkant goot) en met "zetten" van de hoekverbindingen (4 bouten + gedeeltelijke verlijming). Zie ook foto 1 voor de fabricage en de proefbelasting van de goot.

De goot is gevat in een ondersteuningskonstruktie die tevens dient als ondersteuning van de meetrail. Zie fig. 18. In beperkte mate is het mogelijk de goot in hoogte te verstellen of onder een helling te brengen. De hoogte van de goot diende zo gekozen te worden dat enerzijds leidingen onder de goot doorgevoerd konden worden (30 à 35 cm vrije hoogte, tevens kruipruimte) en anderzijds zodanig dat havens en/of een bassin uitgebouwd konden worden onder het Getijmodel Rijnmond (onderkant = 0,70 m + halvloer). Verder moest het mogelijk zijn dat het Getijmodel Rijnmond eventueel uit zou kunnen breiden over de getijgoot heen (model plaatselijk gevat in een stalen bak).

In verband met de grote uitzettingscoëfficiënt van perspex is de goot verankerd zoals aangegeven in fig. 17 en is verder per sektielenkte van 2 m op 2x2 rollen opgelegd. De lengtevariatiës blijven dan beperkt tot maximaal 10 cm (max. temperatuursvariatie van 30°C, max. lengte 32 m, uitzettingscoëfficiënt $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$; in de praktijk is dit enkele cm door kompensatie in de voegvulling tussen de sekties en spanningsvariatie in de goot. Voor de aansluiting aan het zeebassin en voor het bochtstuk zijn bijzondere voorzieningen gemaakt. Zie fig. 19 en 20. De foto's 2, 3, 4 en 5 geven tenslotte een overzicht van de diverse getijgootinstallaties.

3.3 Watercirkulatiesysteem zeerand

De benedenstroomse rand van de getijgoot moet zodanig ingericht zijn dat naast de getijbeweging ook een juiste randvoorwaarde voor de zouttoestand aangeboden wordt. De getijbeweging wordt gerealiseerd door het verloop van de waterstand

voor te schrijven, bijvoorbeeld een sinusvormig getij of een getij op basis van prototypegegevens. De randvoorwaarde voor de zouttoestand wordt tijdens uitstromen van de mond bepaald door de kondities in de achterliggende rivier. Er wordt in deze periode ook de grootste hoeveelheid zoet water geloosd. Zie fig. 10.

De randvoorwaarde voor de zouttoestand bij instromen van de mond wordt mede bepaald door de kondities in de zee: stroming, menging e.d. Deze kondities zijn in het algemeen voor elke riviermond verschillend. Voor de mond van de Rotterdamse Waterweg treedt een sterke dwarsstroom op. Deze maakt dat het zoete water op zee niet akkumuleert, maar snel afgevoerd wordt. Bovendien is er nog verspreiding door diffusie. In rapport M896-I is berekend dat het zoete water voor de mond van de Waterweg in noordelijke richting wegdrift en onder gemiddelde omstandigheden per getijperiode ongeveer 2 km naar het noorden opschuift. Dit verschijnsel en de relatief sterke menging voor de mond van de Waterweg maakt dat de concentratiegradiënt in de mond vrij steil verloopt.

Omdat de zouttoestand in de mond eigenlijk geen randvoorwaarde, maar een aansluitkonditie zee-rivier is, zou dit inhouden dat het aanbrengen van een "zee" essentieel is. Deze "zee" zou dan tot het homogeen zoute gebied moeten reiken, wat zeer grote afmetingen vergt. Omdat de concentratiegradiënt in de mond vrij steil verloopt, kan dit effect ook bereikt worden met een sterke verbreding en verdieping van de mond, in combinatie met een sterke menging. Dit leidt tot een compact bassin (wel ten opzichte van de goot relatief breed en diep) met geforceerde menging. Deze "zee" is dan niet meer vergelijkbaar met een prototype-zee, maar is in feite een "randvoorwaardenfabriek" voor het bereiken van een met de werkelijkheid ekwivalente zouttoestand in de mond van de getijgoot. Dit leidt tot een technische opzet zoals aangegeven in fig. 21.

Het zeebassin in fig. 21 is afgesloten door een klep waarmee de waterstand geregeld wordt. Om te voorkomen dat de zoetwater-laag ongecontroleerd over de klep afgevoerd wordt, is voor de klep een duikschot aangebracht (reikend tot niveau gootbodem). Het zoete water wordt afgezogen door middel van drijvende afzuigers ("skimmers").

Ten behoeve van de getijregeling wordt kontinu water uit het reservoir in het model gepompt; het overtollige water wordt via de klep afgevoerd. Het (zoute) water wordt in het zeebassin gebracht door middel van sproeileidingen op de bodem van het bassin.

De waterstralen bleken zeer effectief te zijn voor de menging van zout en zoet water en wel zodanig dat de "skimmers" (die niet voldeden) minder essentieel konden worden. Het instromende water heeft een konstante dichtheid. Dit wordt bereikt door kontinu een monster te voeren via een soortelijk gewichtmeter die in een regelkring opgenomen is met de pekelinjectie; bij te lage dichtheid wordt automatisch pekkel gedoseerd.

De konstruktieve uitvoering is gegeven in fig. 22. Het zeebassin is 8 m lang, 6 m breed en 1,10 m diep t.o.v. niveau gootbodem. Het bassin is afgesloten met een klep breed 6 m ten behoeve van de getijregeling. Het water wordt in het bassin toegevoerd door sproeileidingen met totaal ca. 800 gaatjes \emptyset 1 cm verdeeld over ca. 48 m² bassin-bodem. Het debiet is in de orde van 80 tot 160 l/s. Door afdichten van een aantal gaatjes kunnen de waterstralen zo ingesteld worden dat een optimale menging verkregen wordt. Aanvankelijk fungeerden 16 drijvende afzuigers ("skimmers") voor het onttrekken van water uit de zoete bovenlaag in het zeebassin. Het rendement was gering; er werd te veel zout water mee afgezogen. Omdat evenwel water aan het systeem onttrokken moet worden (overschot in verband met de zoetwatertoevoer en de pekelinjectie), was wel een voordeel dat minder zout water op het riool geloosd werd en minder pekkel gedoseerd hoefde te worden. Een aantal van de hierboven besproken voorzieningen zijn terug te vinden in foto 2.

Fig. 23 geeft een schema van de niveauregeling van het zeebassin. De waterstand wordt geregeld door middel van een overstortklep die opgenomen is in een regelkring met de waterstandsvolger die de waterspiegel aanmeet. De klep wordt automatisch bijgestuurd wanneer de door het meetinstrument teruggemelde waterstand gaat afwijken van het opgedragen programma (teruggekoppelde regeling).

3.4 Watercirkulatiesysteem rivierrand

Aan de bovenstroomse rand moet naast de zoetwatertoevoer ook de getijstroming gereproduceerd kunnen worden. Deze rand is altijd buiten het gebied van de zoutindringing. De getijregeling op deze rand is in sterke mate bepalend voor de zoutbeweging in de goot en moet om deze reden aan bijzondere eisen van nauwkeurigheid voldoen. Het resulterende debiet (gemiddelde afvoer over getijperiode) moet gelijk zijn aan de ingestelde zoetwatertoevoer. Een fout van 1% in de resulterende afvoer kan wel een fout van 2% in de zoutindringingslengte tot gevolg hebben. Het debiet op de bovenstroomse rand moet dus expliciet voorgeschreven kunnen

worden (nauwkeurigheid 1%) en ook het resulterende debiet moet met een nauwkeurigheid van 1% gerealiseerd kunnen worden.

Bovengenoemde eisen hebben er toe geleid om het debiet volumetrisch te regelen met behulp van een reservoir. Het principe van deze regeling is weergegeven in fig. 24. In dit systeem wordt het getijdebiet geregeld op basis van de berging in het reservoir door middel van regeling van de waterstand in het reservoir. Dit systeem heeft in geen geval een sluitfout ten aanzien van de resulterende afvoer. De zoetwatertoevoer wordt apart gerealiseerd door middel van een meetstuw.

In fig. 25 zijn de konstrukties aangegeven. Zie ook foto 5. Het getijreservoir is een stalen tank \varnothing 2,80 m, hoog 3,75 m, waarin netto 12 m^3 water met voldoende drukhoogte geborgen kan worden. Boven de instroom- en uitstroomkonstrukties is in de tank een rooster aanwezig waarop rollen (\varnothing 0,65 m, hoog 1,00 m) van gaatesplaat gestapeld zijn. Dit is gedaan om slingeringen van het wateroppervlak in de tank tegen te gaan. Opzij van de tank is een stijgbuis aangebracht waarop een waterstandsvolger geplaatst is (zie ook fig. 26). Er wordt kontinu water uit de goot in het reservoir gepompt. Uit het reservoir vloeit water terug naar het model via een regelklep. Deze klep is opgenomen in een regelkring met de waterstandsvolger die de waterstand in de tank aanmeet. De klep wordt automatisch bijgestuurd wanneer de teruggemelde waterstand van het opgedragen programma gaat afwijken (teruggekoppelde regeling). Zie fig. 26.

Fig. 27 geeft de konstruktieve voorzieningen bij de aansluiting met de goot voor het getijdebiet en voor de zoetwatertoevoer. Door van een verdieping in de vloer gebruik te maken, kon een "woelkelder" gemaakt worden voor een geleidelijke in- en uitstroming ter plaatse van het gooteinde. Het zoetwaterdebiet wordt apart via een meetstuw toegevoerd ter plaatse van het gooteinde zoals weergegeven in fig. 27.

3.5 Diverse voorzieningen en outillage

3.5.1 Pekelvoorziening

Tengevolge van de zoetwatertoevoer in het zeebassin zal dit gaan verzoeten. Om de dichtheid (orde $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$) konstant te houden, moet pekels ($\rho \sim 1200 \text{ kg/m}^3$) geïnjecteerd worden. Het pekeldebiet zal orde $1/8$ van de zoetwatertoevoer moeten

zijn. De zoetwatertoevoer naar zee is niet konstant, maar heeft tijdens eb een piekwaarde die belangrijk groter is dan de gemiddelde waarde. Zie fig. 10. Er treedt evenwel een vereffening op in het zeebassin en verder heeft het zee-reservoir een inhoud die groot is ten opzichte van het per getijperiode afgevoerde zoetwatervolume. Het blijkt dat een faktor $1\frac{1}{2}$ voor ongelijkmatige toevoer voldoende zal zijn. De pekeltoevoer is gedimensioneerd op max. 3 l/s en min. 0,15 l/s. Zie verder de beschouwingen in rapport M896-I.

3.5.2 Heetwatervoorziening

Voor de zoetwatervoorziening wordt gebruik gemaakt van de drinkwaterleiding. De temperatuur van dit water zal in het algemeen niet gelijk zijn aan die in de goot en in het zeebassin. Het verschil is in belangrijke mate van de buitentemperatuur (jaargetij) afhankelijk en kan oplopen tot ca. 6°C . Dit kan dichtheidsverschillen veroorzaken tot orde 1 kg/m^3 , afhankelijk van de initiële temperatuur en de initiële dichtheid. Ten aanzien van de meettechniek is de temperatuurvariatie nog hinderlijker, omdat op basis van geleidbaarheid gemeten wordt. Er zijn dan fouten mogelijk tot 3 kg/m^3 wanneer de temperatuur niet meegemeten wordt. Deze situatie is voor het getijgootonderzoek onaanvaardbaar en in een later stadium is daarom een heetwatervoorziening geïnstalleerd.

Uitzonderingen daargelaten, zal het water uit de drinkwaterleiding steeds kouder zijn dan dat in het zeebassin. Er wordt nu bij de zoetwatervoorziening tevens heet water (60°C) gesuppleerd om een temperatuur te bereiken gelijk aan die van het water in het zeebassin. Het temperatuurverschil wordt dan vereffend. De temperatuur van het water zal nog van dag tot dag variëren, maar dit is minder bezwaarlijk.

De suppletie van heet water voor de opwarming van het water uit de drinkwaterleiding wordt verkregen door middel van een boiler. De capaciteit van de boiler is 0,3 l/s water met een temperatuur van 60°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$). Dit is dan voldoende om 3 l/s 6°C in temperatuur op te warmen. De capaciteit is daarmee toereikend om in extreme omstandigheden het normale debiet op te warmen, anderzijds zijn in normale omstandigheden meer extreme debieten mogelijk.

3.5.3 Luchtinjectie-systeem

De luchtvoorziening is ontwikkeld uit het vooronderzoek mengmiddelen (zie rapport M923). De resultaten van dit onderzoek gaven aan dat voor gemiddelde condities

maar bij extreme gelaagdheid, maximaal 100 cc/s per m² modelbodem nodig zou zijn om een volledige menging te krijgen. Dit gegeven is als ontwerpnorm aangehouden. Voor de goot is gerekend met de lengte waarover maximaal zoutindringing plaatsvindt (orde 60 m; goot is 0,672 m breed). Dit leidt tot een benodigde capaciteit van 3 l/s. In sommige gevallen kan het nodig zijn ook in het zeebassin lucht te injecteren. Hiervoor is ook 3 l/s gerekend. Beide voorzieningen (goot, zeebassin) worden niet geacht gelijktijdig op volle capaciteit nodig te zijn.

De luchtvoorziening voor de goot is verdeeld over 18 regelpunten; per 3 regelpunten kan het luchtdebiet gemeten worden (totaal 6 rotameters). Voor de zee is 1 regelpunt aanwezig voor het instellen van het luchtdebiet (meten m.b.v. rotameter). Voor de luchtvoorziening wordt gebruik gemaakt van de compressoren van het Getijmodel Rijnmond. Door een reduceerventiel wordt de druk teruggebracht tot 1 ato.

De elementen voor het injecteren van lucht zijn ontwikkeld uit het onderzoek M923. Het geheel bestaat uit een raampje inw. \emptyset 3 mm, waarin een elementje \emptyset 3mm gevat is. Dit elementje is voorzien van 25 geboorde gaatjes \emptyset 0,2 mm. Het geheel is afgebeeld in fig. 28. Zie ook foto 6.

3.5.4 Middelen voor modelruwheid

Voor de ontwerpformules voor ruwheid d.m.v. weerstandsstaafjes of d.m.v. bodemruwheid wordt verwezen naar 2.2. Opgemerkt kan nog worden dat weerstandsstaafjes toegepast worden wanneer reproductie prototypetoestand het doel van de proef is. Met verticale weerstandsstaafjes die tot aan de waterspiegel reiken, wordt bereikt dat bij een tweelagenstroming ook de beweging van de bovenlaag op schaal weergegeven wordt doordat ook de bovenlaag weerstand ondervindt. Een nadeel van verticale staafjes is dat de schuifspanningen overgebracht worden via verticale vlakken wat niet konform de natuurlijke situatie is of van het fysisch model dat naar aanleiding hiervan opgezet is. Om deze reden wordt bij fundamenteel onderzoek bij voorkeur bodemruwheid d.m.v. kleine verticale plaatjes toegepast. De ruwheidselementen worden vooraf aangemaakt en in een bepaald patroon in de goot gelijmd (speciale lijm die niet het perspex aantast). Met deze wijze van aanbrengen is snel instellen en verwisselen van ruwheden mogelijk. Zie ter illustratie foto 7.

3.5.5 Meetwagens

Voor de getijgoot zijn een tweetal speciale meetwagens ontwikkeld. Deze zijn voorzien van meetapparatuur: een waterstandsvolger, 3 mikromolens en 3 geleidbaarheidsmeters voor resp. bepalen van waterstanden, snelheden en dichtheden. De meetopstelling is mobiel vanwege economische overwegingen; een goot met vaste opstellingen zou te kostbaar zijn geweest. De wagens rijden op rails die zo zuiver mogelijk horizontaal afgesteld zijn (bereikte nauwkeurigheid 0,1 à 0,2 mm). Zie voor de totale opstelling fig. 29 en de foto's 3 en 4. De meetwagens zijn voorzien van een afdrukinrichting waardoor de wielen los komen van de rails en een zeer nauwkeurig afstellen mogelijk is. De bereikte nauwkeurigheid (ca. 0,5 mm) is voldoende voor het instellen van de molens en de zoutopnemers, echter onvoldoende voor het referentieniveau van de waterstandsvolger (vereiste nauwkeurigheid is 0,1 mm). Het overbrengen van een referentieniveau gebeurde d.m.v. waterpasbakjes (kommunicerende vaten) wat in de praktijk onvoldoende betrouwbaar funktioneerde. Dit heeft er toe geleid dat in een later stadium in plaats van de 2 mobiele, totaal 16 vaste waterstandsvolgers in de goot aangebracht zijn.

4 Instrumentatie

4.1 Regelapparatuur

4.1.1 Waterstandsregeling zeerand

De waterstandsregeling van de zeerand bestaat uit een waterstandsvolger als meetinstrument en een scharnierende overstortklep als regelorgaan. De programma-eenheid is opgesteld in de meet- en regelkamer. De klep wordt gestuurd door een elektromotor met fijnregeling (tacho). De opnemer is opgesteld in de direkte nabijheid van de overstortklep en meet daar de waterspiegel aan. Dit is gedaan om najfien van het systeem te voorkomen. Een schema van de regeling is gegeven in fig. 23.

De maximaal gewenste vertikale klepbeweging is ca. 1 mm/s. Dit is noodzakelijk voor het volgen van snelle waterstandsvariatiies (max. $\partial h/\partial t = 4 \cdot 10^{-4}$ m/s prototype-maat of $5 \cdot 10^{-4}$ m/s op modelschaal).

4.1.2 Dichtheidsregeling zeerand

De dichtheidsregeling van de zeerand (bedoeld is zeebassin) bestaat uit een soortelijk gewicht-meter als meetinstrument en een klep in de pekelleiding als doseerorgaan. De programma-eenheid (set-point instelling) is opgesteld in de meet- en regelkamer. De soortelijk gewicht-meter bestaat uit een U-vormige buis die scharnierend verbonden is aan de toevoer- en de afvoerleiding en waardoor kontinuu de te meten vloeistof stroomt. Een variatie in het soortelijk gewicht komt tot uiting in een vertikale beweging van de U-buis. Deze beweging wordt versterkt en omgezet in een elektrisch signaal. De regelklep in de pekelleiding wordt pneumatisch gestuurd. De situatie van de opstelling kan nagegaan worden aan de hand van fig. 22.

4.1.3 Getijdebietregeling rivierrand

De getijdebietregeling van de rivierrand gebeurt indirekt via de regeling van de berging in een reservoir. Dit principe is reeds uiteengezet onder 3.4 en in fig. 24. Een en ander houdt in dat de waterstand in het getijreservoir geregeld wordt. De waterstandsregeling bestaat uit een waterstandsvolger als meetinstrument en een pneumatisch gestuurde klep in de toevoerleiding naar het model als regelorgaan. De waterstandsvolger komt niet direkt in kontakt met de waterspiegel

in de tank, maar met die in een stijgbuis naast de tank. In de verbinding met de tank is weerstand aangebracht om schommelingen zoveel mogelijk te dempen. Er wordt continu water in de tank gepompt (pomp 30 l/s bij 3 m opvoerhoogte). De momentane afwijkingen in het debiet blijven beperkt tot ca. 1% van het ingestelde bereik. In een later stadium is nog naast de aanwezige 6" klep een 4" klep aangebracht voor de kleinere bereiken. Een schema van de regeling is gegeven in fig. 26.

4.1.4 Konstant debietregeling rivierrand

De toevoer van zoetwater wordt geregeld door middel van een meetstuw (V-stuw). Omdat uitgegaan wordt van een ijkverband tussen debiet en waterstand in de meetstuw, wordt ingesteld op basis van de waterstand. Dit gebeurt met een peilnaald en de watertoevoer wordt afgesteld met een handafsluiter. De opstelling is weergegeven in fig. 27. Het water wordt toegevoerd vanuit een konstant niveau reservoir, zodat de voordruk nagenoeg konstant blijft.

4.1.5 Kompensatie temperatuurverschil rivierrand

Om het temperatuurverschil tussen het water in het zeebassin en het toegevoerde zoete water te elimineren, wordt heet water gesuppleerd vanuit een boiler. Hiervoor is een eenvoudig regelmechanisme aanwezig op basis van meting met een bulb in het zeebassin en één bij de zoetwatertoevoer. Een regelklep wordt gestuurd op basis van het verschilsignaal.

De klep kan mechanisch gestuurd worden of met de hand worden ingesteld. Dit laatste is niet bezwaarlijk, omdat er een sterke vereffening optreedt vóór een temperatuurverandering in de dichtheden doorspreekt.

4.2 Meetapparatuur

4.2.1 Waterstandsmeting

Voor de waterstandsmeting wordt de z.g. waterstandsvolger (WAVO) gebruikt. Het principe is een naaldvormige elektrode welke continu in een trillende beweging gehouden wordt (50 c/s) en daarbij even lange tijd in het water als boven het water (in de lucht) gehouden wordt. De gemeten weerstandsvariatie wordt omgezet in een elektrisch signaal. Treedt er een verschuiving op in dit signaal (naald te lang in of uit het water), dan regelt een servomotor de positie van de naald

zodanig, dat weer het gewenste signaal verkregen wordt. Met dit systeem wordt tevens bereikt dat het meetinstrument ongevoelig is voor de oppervlaktespanning van het water. De WAVO is afgebeeld in foto 8.

De nauwkeurigheid van de waterstandsvolger is: instelnaauwkeurigheid $\pm 0,2$ mm en reproduceerbaarheid $\pm 0,1$ mm.

4.2.2 Snelheidsmeting

Het meten van snelheden gebeurt met de z.g. mikromolen. Het principe berust op het meten van de frekwentie van het passeren van gaatjes (60 stuks in een ring rondom het molenwiekje) langs een opnemer. De gemeten frekwentie wordt via een ijkverband omgezet in een snelheidsgegeven. Het molenwiekje (diameter 1,5 cm) is van kunststof gemaakt en het asje is opgehangen in juwelen om een nagenoeg wrijvingsloos lopen mogelijk te maken. Doordat de weerstand over de gaatjes gemeten wordt, zijn er problemen bij meten in zout water omdat daarbij de geleidbaarheid verandert. Er moeten dan speciale voorzieningen aangebracht worden (afkappen lage frekwenties) om de variatie van de geleidbaarheid tengevolge van zoutzoet variaties te onderdrukken. De molens hebben een aanloopsnelheid van 1,5 à 2 cm/s. Indien de bovengenoemde modifikatie voor meten in zout- en zoet water aangebracht is, zijn de signalen pas bruikbaar voor snelheden groter dan 4 cm/s. De mikromolen is in foto 8 afgebeeld. De omwentelingssnelheid van het wiekje is zo groot dat bij voldoende hoge snelheid frekwenties tot 20 Hz gemeten worden. De molen leent zich tevens voor turbulentiemetingen. Voor de normale snelheidsmetingen wordt echter het merendeel van het turbulente signaal afgefilterd (filter met RC-tijd van enkele sekonden). De nauwkeurigheid van de mikromolen is: instelnaauwkeurigheid 1 cm/s en reproduceerbaarheid 0,5 cm/s.

4.2.3 Geleidbaarheidsmeting

Het meten van dichtheden gebeurt via meten van geleidbaarheden met de z.g. VAZO's (vaste zoutopnemers) en BEZO's (bewegende zoutopnemers). Het principe berust op het meten van de geleidbaarheid tussen 2 elektroden in het mondstuk van de opnemer. De opnemer bestaat uit een dunne buis (mondstuk is inwendig \emptyset 1 mm) waardoor water aangezogen wordt. Er wordt ca. 1 cc/s aangezogen wat maakt dat de lokale snelheid in het mondstuk ca. 1 m/s is en het Reynoldsgetal orde 1000. De stroming is dan turbulent wat een goede uitwisseling garandeert en een snelle respons. Het instrument is daardoor zo gevoelig (zonder filter) dat het signaal t/m 20 Hz significant is. Het apparaat leent zich dus ook voor meten van turbulente

zoutfluctuaties. Voor de normale zoutmetingen wordt echter het merendeel van het turbulente signaal afgefilterd (filter met RC-tijd van enkele seconden). Het apparaat is afgebeeld in foto 8. De nauwkeurigheid van het apparaat is: instelnaauwkeurigheid $0,5 \text{ kg/m}^3$ en reproduceerbaarheid $0,25 \text{ kg/m}^3$.

4.2.4 Temperatuurmeting

Het meten van de temperatuur gebeurt met temperatuurcellen. Het principe berust op het meten van de weerstandsverandering van een platina spiraaltje. Deze verandering wordt versterkt en omgezet in een elektrisch signaal. De RC-tijd is 15 à 25, wat betekent dat de temperatuurmeter aanzienlijk trager is dan de geleidbaarheidsmeter.

De nauwkeurigheid van het apparaat is: instelnaauwkeurigheid $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ en reproduceerbaarheid $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

De apparatuur voor temperatuurmeting wordt bij de getijgoot normaal niet gebruikt in verband met de aanwezigheid van temperatuurcompensatie (zie onder 4.1.5).

4.3 Registratieapparatuur

De signalen van de apparaten genoemd onder 4.2 worden uitgeschreven op registratierollen. Aanvankelijk waren dit voor een deel puntdrukkers met 4 kanalen op 1 schrijver. In een later stadium is voor alle kanalen overgegaan op kontinuschrijvers vanwege het turbulente signaal van de snelheden en de dichtheden. Het uitmiddelen van het turbulente signaal op de registratie moet later met de hand geschieden (zie ook 5.4).

De uitschrijfbreedte op de rollen is ca. 20 cm. De nauwkeurigheid van instellen is ca. 1% van de schaalbreedte, de reproduceerbaarheid ca. $\frac{1}{2}\%$. Met deze bijkomende onnauwkeurigheid moet bij het beoordelen van de uiteindelijke resultaten rekening gehouden worden. Indien de rollen niet bij konstante temperatuur en luchtvochtigheid bewaard worden, zijn aanzienlijk grotere afwijkingen te verwachten. De registratie-apparatuur is opgesteld in de meetkamer. Zie foto 8.

5 Organisatie meetbedrijf

5.1 Meetprogramma

Op basis van de doelstellingen van het onderzoek (zie hoofdstuk 1) is een eerste opzet opgesteld voor een meetprogramma. Zie fig. 30. Gedacht werd het onderzoek uit te voeren in 2 gedeelten. Het eerste gedeelte van het onderzoek zou moeten omvatten:

- ijking van de ruwheid in de goot (vertikale staafjes, bodemruwheid, e.d.)
- ijking van de menging in de goot (toepassing resultaten onderzoek M923)
- ijking van de kondities van het zeebassin (ijking zeebassin als "randvoorwaardenfabriek" voor de zouttoestand in de mond van de getijgoot)

en het tweede gedeelte:

- onderzoek variatie randvoorwaarden en stromingskondities (variatie getij en rivierafvoer, variatie waterdiepte, e.d.)
- onderzoek extreme omstandigheden o.a. op basis van prototypetoestanden, ook meerdaagse programma's inclusief stormeffekt
- speciale onderwerpen: onderzoek komberging en uitwisseling door havens en bassins, o.a. voor verifikatie schematisatie getijgoot (zie onder 2.1) en voor praktische toepassingen, waarbij gedacht was aan o.a. aantakken geschematiseerd Haringvlietbassin.

5.2 Bemonstering

Voor eenvoudige proeven geschiedt de waarneming visueel, ook filmen of fotograferen is mogelijk. Door injectie van kleurstof kan de gelaagde stroming vaak goed zichtbaar worden gemaakt.

Van het getijgootonderzoek in Vicksburg (zie onder 3.1) waren de resultaten van enkele proeven beschikbaar. Aan de hand hiervan is getracht om tot een optimaal bemonsteringssysteem te komen. Bepalend hierbij is dat naast de direct gemeten waarden voor waterstand, snelheden en zoutconcentraties ook de afgeleiden naar plaats en tijd (gradiënten) voldoende nauwkeurig moeten zijn. Deze gegevens worden gebruikt om uitwisselingscoëfficiënten (zie hoofdstuk 1) te bepalen.

De nauwkeurigheid van de gradiënten (afgeleiden) wordt enerzijds bepaald door de afbreekfout bij het bepalen van de afgeleide (afbreekfout in de reeks van

Taylor) en anderzijds door de nauwkeurigheid van het meten (meetfout). Een schatting van de afbreekfout kan gemaakt worden aan de hand van de 3^e afgeleide; deze neemt toe met het kwadraat van de meetafstand. De relatieve meetfout is daarentegen omgekeerd evenredig met de meetafstand. Het is dus mogelijk een optimale meetafstand te bepalen.

Dit leidt tot de gelijkstelling:

$$\frac{\epsilon}{\Delta} \sim \frac{\Delta^2}{6} f'''(\theta). \text{ Hieruit volgt: } \Delta \sim \sqrt[3]{\frac{6\epsilon}{f'''(\theta)}}$$

- $f'''(\theta)$: 3^e afgeleide gemeten functie
- ϵ : meetfout
- Δ : (optimale) stapgrootte

Op basis hiervan kan aan de hand van de proeven uit Vicksburg de volgende orde van grootte aangegeven worden voor de optimale stapgrootte:

- in x-richting Δ : $\Delta x \sim 1/10 L_1$ L_1 : zoutindringingslengte
- in y-richting Δ : $\Delta y \sim 1/10 h$ h : waterdiepte
- in t-richting Δ : $\Delta t \sim 1/10 (\frac{1}{2}T)$ T : getijperiode

Wanneer de nauwkeurigheid van de gradiënten niet zo essentieel is en dit is bij praktisch-gericht onderzoek meestal het geval, kan de dubbele afstand aangehouden worden t.o.v. wat hierboven aangegeven is. Het bemonsteringssysteem is mede weergegeven in fig. 32.

5.3 Uitvoering onderzoek

Het uitvoeren van een proef volgens het optimale systeem stelt hoge eisen aan de organisatie van het modelbedrijf. Het aantal meetpunten is 16 in lengterichting van de goot en 12 in de vertikaal, dus totaal 192 punten. Er zijn 2 meetwagens en er wordt simultaan met 3 opnemers in de vertikaal gemeten. Om een vertikaal door te meten is dus 4x instellen nodig en om de stations langs de goot door te meten is 8x instellen langs de goot nodig per meetwagen.

De tijd die beschikbaar is voor het uitvoeren van een proef is sterk gereduceerd vanwege het ijken van de apparatuur vóór de proef en het najken na afloop van de proef. Het inspelen van het model kost geruime tijd (minimaal 8 getijden). Verder moet er dus rekening gehouden worden met de tijd die nodig is voor het verstellen in de vertikaal en voor het verrijden van de meetwagens (voor de laatste handeling wordt telkens 1 getij gemist, dat is ca. 10 min. in

het model). Een en ander houdt in dat per werkdag één volledige proef uitgevoerd kan worden zoals hierboven is beschreven.

Het praktisch-gericht onderzoek behoeft in het algemeen niet zo'n uitgebreide bemonstering. In dat geval zijn meerdere proeven per werkdag mogelijk.

5.4 Verwerking meetgegevens

Het meten omvat het bepalen van de waterhoogten (h), de watersnelheden (u) en de zoutconcentraties (c) als functie van plaats en tijd. Deze grootheden worden in de tijd continu geregistreerd in een aantal meetstations langs de goot (x -richting) voor verschillende punten in de vertikaal (y -richting). Met behulp van een lijnvolger (zie foto 9) worden de continue registraties omgezet in gegevens voor diskrete tijdstappen, zodat tenslotte de meetgegevens in digitale vorm beschikbaar zijn voor diskrete punten (x, y, t). Uit de meetresultaten: waterhoogten, snelheden en zoutconcentraties, worden respectievelijk vervallen, snelheidsgradiënten en concentratiegradiënten bepaald. Daarna worden bewerkingen uitgevoerd om schuifspanningen en zouttransporten te bepalen en verder nog diverse stromingsparameters. Voor een uitvoerige beschrijving van de opzet van de numerieke verwerking zie rapport M896-V. De gewenste eindresultaten worden tenslotte in grafische vorm uitgevoerd door middel van een plotter (zie foto 9).

5.5 Nauwkeurigheidsbeschouwing

In verband met de bewerkingen genoemd onder 5.4 is een nauwkeurigheidsbeschouwing noodzakelijk. De meetonnauwkeurigheden zijn gegeven in hoofdstuk 4. Deze zijn als volgt:

- waterhoogten:

* t.o.v. referentievlak : $\epsilon = \pm 0,1$ mm

* referentievlak zelf : $\epsilon = \pm 0,2$ mm

* bodem getijgoot : $\epsilon = \pm 1$ mm

- horizontale snelheden : $\epsilon = \pm 0,5$ cm/s

- dichtheden : $\epsilon = \pm 0,25$ kg/m³

Voor globale beschouwingen is het wel verantwoord om voor de fouten de normale frekwentieverdeling aan te houden ($68\% < \epsilon$, $99\% < 3\epsilon$).

Behalve de hierboven genoemde fouten zijn er nog sekundaire invloeden o.a. niet volledig gekompenseerde of in rekening gebrachte temperatuurvariaties met als gevolg daarvan invloed op dichtheidsverschil, geleidbaarheid en viskositeit van

het water. Verder zijn er nog onnauwkeurigheden bij de verwerking van de meetgegevens (lijnvolgen van registraties).

Om de voortplanting van de fouten in de berekening na te gaan, wordt de verwachtingswaarde en de variantie bepaald voor funkties van één of meerdere stochastische variabelen.

Stel gemeten is x_1 en x_2 . Stel dat door middel van eerder uitgevoerde proeven is vastgesteld dat de meetresultaten een standaardafwijking hebben van resp. ϵ_1 en ϵ_2 . De relatieve standaardafwijking is voor x_1 en x_2 resp. $\phi_1 = \epsilon_1/x_1$ en $\phi_2 = \epsilon_2/x_2$. Na toepassing van de theorie van de waarschijnlijkheidsrekening ontstaan de volgende uitkomsten voor een aantal rekenkundige (optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen):

Bewerking	Ideaal	Spreiding gelineariseerd	Niet-gelineariseerde spreiding
Optellen	x_1+x_2	$x_1+x_2 + \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2}$	$x_1+x_2 + \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2}$
Aftrekken	x_1-x_2	$x_1-x_2 + \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2}$	$x_1+x_2 + \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2}$
Vermenigvuldigen	$x_1 \cdot x_2$	$x_1 x_2 \left\{ 1 + \sqrt{\phi_1^2 + \phi_2^2} \right\}$	$x_1 x_2 \left\{ 1 + \sqrt{\phi_1^2 + \phi_2^2 + \phi_1^2 \phi_2^2} \right\}$
Delen	$\frac{x_1}{x_2}$	$\frac{x_1}{x_2} \left\{ 1 + \sqrt{\phi_1^2 + \phi_2^2} \right\}$	$\frac{x_1}{x_2} \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\phi_1^2 + \phi_2^2}{1 - \phi_2^2}} \right\} \quad *$

Opgemerkt moet worden dat de formule (*) in principe niet juist is. De bewerking voor delen loopt uit op divergente integralen en is dus wiskundig niet hanteerbaar. Voor het praktische geval is naar een bruikbare formule gezocht in analogie met de formule voor vermenigvuldigen.

Gebleken is dat toepassing van bovengenoemde formules voor niet al te ingewikkelde gevallen wel enig inzicht geeft, vooral om die gedeelten van een berekening te onderkennen die het gevoeligst zijn voor onnauwkeurigheden. Voor de ingewikkelde en omvangrijke berekeningen in het kader van het getijgootonderzoek

is herhaald uitvoeren van proeven het enige middel gebleken om kwantitatieve gegevens over de spreiding in de resultaten te verkrijgen. Zie hiervoor rapport M896-IV: Voorbereidend onderzoek tweelingproeven.

6 IJking model

6.1 Gevoeligheidsonderzoek, o.a. naar zout-zoetrandvoorwaarde

Voorafgaande aan de ijkingen is de getijgoot getest en is een gevoeligheidsonderzoek uitgevoerd. Het testen omvatte de werking van de mechanische en de elektrische systemen. Het getijgootsysteem is getest ten aanzien van opslingeringen; hierbij is een sinusgenerator gebruikt om de eigen frekwenties van het systeem vast te stellen. In aansluiting hierop is een onderzoek uitgevoerd naar de gevoeligheid van de randvoorwaarde zout-zoet in de mond voor verstoringen. Achtereenvolgens zijn de volgende verstoringen m.b.t. de diverse voorzieningen in het zeebassin aangebracht:

- het cirkulatiedebiet is verminderd: daardoor minder effect waterstralen met gevolg sterke invloed op de conditie in de mond van de getijgoot
- er is geen zoet water afgezogen: doordat er al een sterke menging is door de waterstralen, is dit niet kritisch
- luchtinjectie in de zee: doordat er al een sterke mengende werking is van de waterstralen, heeft dit geen groot effect
- duikschot verwijderd: door de sterke menging in de zee, is het zoete water al gemengd voordat dit het duikschot bereikt, daarom geen effect.

Het blijkt dus dat bij een goed afgesteld cirkulatiedebiet er een zeer stabiele randvoorwaarde voor de zouttoestand in de mond optreedt die nauwelijks gevoelig is voor verstoringen in het zeebassin. Zie fig. 31. Aan de hand van ijkingen moet blijken in hoeverre deze randvoorwaarde konform die in het prototype is.

6.2 Principe opzet ijking

De ijking dient te geschieden in het kader dat ten grondslag ligt aan de procedure voor de schematisatie van een estuarium tot een prototypegoot. Zie onder 2.1. Criteria zijn de opslingering en de fasedraaiing van het verticale getij. Vereist is dat de longitudinale zoutindringing goed op schaal weergegeven wordt, voorzover dat vanwege de schematisatie mogelijk kan zijn. In dit één-dimensionale kader past ook een beoordeling van de debieten. Beoordelen van de verticale zout- en snelheidsverdeling is sekundair. In eerste instantie vallen deze aspecten buiten het bestek van de ijking. Dit neemt niet weg dat er hulpmiddelen zijn (zoals inblazen van lucht) om ook aan deze aspecten zo goed mogelijk te voldoen.

Een bijzonderheid is dat voorafgaande aan de ijking op basis van Waterweggegevens, de getijgoot provisorisch getoetst is op basis van gegevens van de rivier van de Savannah in de Verenigde Staten. Dit is gebeurd in het kader van een afstudeerwerk voor de International Course in Hydraulic Engineering in Delft. Hiermee is aangetoond dat de procedure die genoemd is onder 2.1 ook toepasbaar is voor andere estuaria dan de Rotterdamse Waterweg. Het werk is samengevat in het rapport:

Herrmann, F.A., Jr., Investigation of Savannah River salinity phenomena during calibration of Delft Salinity Flume, Groupwork report submitted at International Course in Hydraulic Engineering, Delft, The Netherlands, August 1968.

De formele ijking heeft plaatsgevonden op basis van gegevens van de Rotterdamse Waterweg voor een viertal situaties: situatie 1908 en de situaties 1956, 1966 en 1967. Voor elk van deze situaties is de procedure van hoofdstuk 2.1 toegepast. Het is gebleken dat het mogelijk is om voor al deze situaties de zouttoestand van de Rotterdamse Waterweg op een aanvaardbare wijze weer te geven. De resultaten van het onderzoek zijn vastgelegd in rapport M896-VI.

6.3 Reproductie model-prototype

Er kan niet verwacht worden dat de getijgoot tot in detail de zouttoestand van de Rotterdamse Waterweg reproduceert. Dit is ook niet mogelijk, gezien de zeer sterke schematisatie (zie onder 2.1). Belangrijk is dat de horizontale zoutindringing bestudeerd kan worden (uitgangspunt getijgootonderzoek) en dat de eigenschappen die ten grondslag liggen aan het mechanisme van de zoutindringing onderkend kunnen worden. Als zodanig beantwoordt het onderzoek in zijn totaliteit aan de doelstellingen die genoemd zijn in hoofdstuk 1.

7 Referenties

- [1] Waterloopkundig Laboratorium, Dichtheidsmeting in het Deltamodel M600 (uitgevoerd in 1963), Intern Rapport M600, oktober 1967.
- [2] Rijkswaterstaat, Gemeentewerken Rotterdam en Waterloopkundig Laboratorium, Water-, zout- en sedimentbeweging in het Noordelijk Bekken van het Deltagebied, Richtlijnen voor onderzoek, december 1965.
- [3] Waterloopkundig Laboratorium, Vooronderzoek Getijgoot, Deel A: Ontwerp getijgoot, Rapport M896-I, juni 1974.
- [4] Corps of Engineers, U.S. Army, Investigation of salinity intrusion and related phenomena, Interim report on results of flume control tests (preliminary copy), conducted for Committee on Tidal Hydraulics by Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, U.S.A., January 1955 (revised April 1955).
- [5] Stigter, C., Studiereis naar laboratoria in de Verenigde Staten zomer 1966, Intern Rapport M900/M896, 1966.

TABEL 1. ONTWERPGEGEVENS DEBIETEN (ONTLEEND AAN RAPPORT M896-1)

TYPERING TOESTAND	BEPALENDE OMSTANDIGHEDEN					BEREKENDE DEBIETEN (m ³ /s prototype) (UIT GETIJBEREKENINGEN)								ONTWERP-DEBIETEN (l/s model) BIJ MODELSCHALEN (n _L /n _H)					ONTW.
	a	Q _R	w	$\partial w / \partial t$	L/L _R	Q _g	Q _s	Q _s [*]	Q _o	Q _{pomp} →	NORM	500/100	640/64	750/75	1000/100	2000/100			
POMPKAPACITEIT ZERRAND	NORMAAL	0,8	949	0	1,0	7400	-	-	12950	20530	22000	44	67	47	22	11	1 POMP 75 l/s + 1 POMP 40 l/s		
	"	1,0	949	0	1,0	8650	-	-	12950	21600									
	HALF EXTR	1,0	949	2,0	1,0	9700	5280	2750	12950	30700	31000	62	95	64	31	16			
	EXTREEM	1,0	949	4,0	1,0	11300	5280	2750	12950	32300									
	"	1,0	3798	2,0	1,0	7600	5280	2750	12950	28600	E	33000	66	101	68	33		16	
	"	1,0	3798	2,0	1,0	8600	5280	1400	12950	28200									
"	1,0	475	4,0	1,0	12100	5280	2750	12950	33080										
AFVOER OVER KLEP ZERRAND	NORMAAL	0,8	949	0	1,0	2 Q _g	20 Q _s + 20 Q _s [*]	Q _R	Q _o	Q _{klep} →	NORM						AFVOER 200 l/s		
	"	1,0	949	0	1,0	14800	-	950	12950	28700	32000	64	98	66	32	16			
	HALF-EXTR	1,0	949	2,0	1,0	17300	-	950	12950	31200									
	EXTREEM	1,0	949	4,0	1,0	19400	16060	950	12950	49360	49000	98	150	99	49	25			
	"	1,0	3798	2,0	1,0	22600	16060	950	12950	52560									
	"	1,0	3798	2,0	1,0	15200	16060	3800	12950	48000	E	54000	108	165	111	54		27	
"	1,0	475	4,0	1,0	17200	13350	3800	12950	47210										
"	1,0	475	4,0	1,0	24200	16060	475	12950	53685										
POMPKAPACITEIT RIVIERRAND	NORMAAL	0,8	949	0	1,0	Q _g [*]	Q _s [*]			Q _{pomp} →	NORM						1 POMP VAN 40 l/s		
	"	1,0	949	0	1,0	3600	-			3600	4000	8	12	8	4	2			
	HALF EXTR	1,0	949	2,0	1,0	4000	-			4000	8000	16	24	16	8	4			
	EXTREEM	1,0	949	4,0	1,0	5000	2750			7750									
	"	1,0	3798	2,0	1,0	5500	2750			8250									
	"	1,0	3798	2,0	1,0	3200	2750			5950	E	10000	20	30	21	10		5	
"	1,0	949	4,0	1,0	3700	5500			9200										

TABEL 2. ONTWERPGEVEENS BERGING (ONTLEEND AAN RAPPORT M896-I)

TYPERING TOESTAND	BEPALENDE OMSTANDIGHEDEN					BEREKENDE BERGING (10 m prototype) (UIT GETIJBEREKENINGEN)						ONTWERP-BERGING (m ³ model) BLJ MODELSCHALEN (n _L /n _h)					ONTWERP NORM
	e	Q _R	w	∂w/∂t	L/L _R	V _g	V _g ^x	V _s ^x	V _{res} ^x	NORM	500/100	640/64	750/75	1000/100	2000/100		
	m	m ³ /s	m	10 ⁻⁴ m/s	-												
NORMAAL	0,8	949	0	-	0,9	98	-	-	98	110	4,4	4,2	2,6	1,1			
"	1,0	949	0	-	0,9	108	-	-	108								
HALF EXTR	1,0	949	2,0	-	1,0	137	106	55	298 HE	300	12,0	11,9	7,1	3,0			
EXTREEM	1,0	949	4,0	-	1,0	155	211	109	475 E	{ 450 475 }	18,0	17,8	10,7	4,5			
"	1,0	949	4,0	-	0,85	170	211	72	453 E		19,0	18,8	11,3	4,8			
"	1,0	949	4,0	-	1,3	90	211	173	475 E								
						V _g ^x	V _s ^x		V _{res} ^x	NORM							
NORMAAL	0,8	949	0	-	0,9	49	-	-	49	55	2,2	2,2	1,3	0,6			
"	1,0	949	0	-	0,9	55	-	-	55								
HALF EXTR	1,0	949	2,0	-	1,0	72	55	55	127 HE	125	5,0	4,8	3,0	1,2			
EXTREEM	1,0	949	4,0	-	1,0	83	109	109	192 E	{ 200 300 }	8,0	7,6	4,8	2,0			
"	1,0	949	4,0	-	0,85	70	72	72	241 E		12,0	11,9	7,1	3,0			
"	1,0	949	4,0	-	1,3	100	173	173	273 E								

KAPACITEITEN:

POMP ZEERAND : $Q_{pomp} = Q_g + Q_s + Q_s^x + Q_o$

KLEP ZEERAND : $Q_{klep} = 2Q_g + 2Q_s + 2Q_s^x + Q_R + Q_o$

POMP RIVIERRAND : $Q_{pomp}^x = Q_g^x + Q_s^x$

RESERVOIR ZEE : $V_{res} = V_g + V_s + V_s^x$

RESERVOIR RIVIER : $V_{res}^x = V_g^x + V_s^x$

HIERIN IS:

$Q_g = Q(x=0) - Q_R$; $V_g = \int Q_g dt$; F = Kombergend oppervlak

$Q_s = (F_{zee} + F_{goot}) \frac{\partial w}{\partial t}$; $V_s = \int Q_s dt$

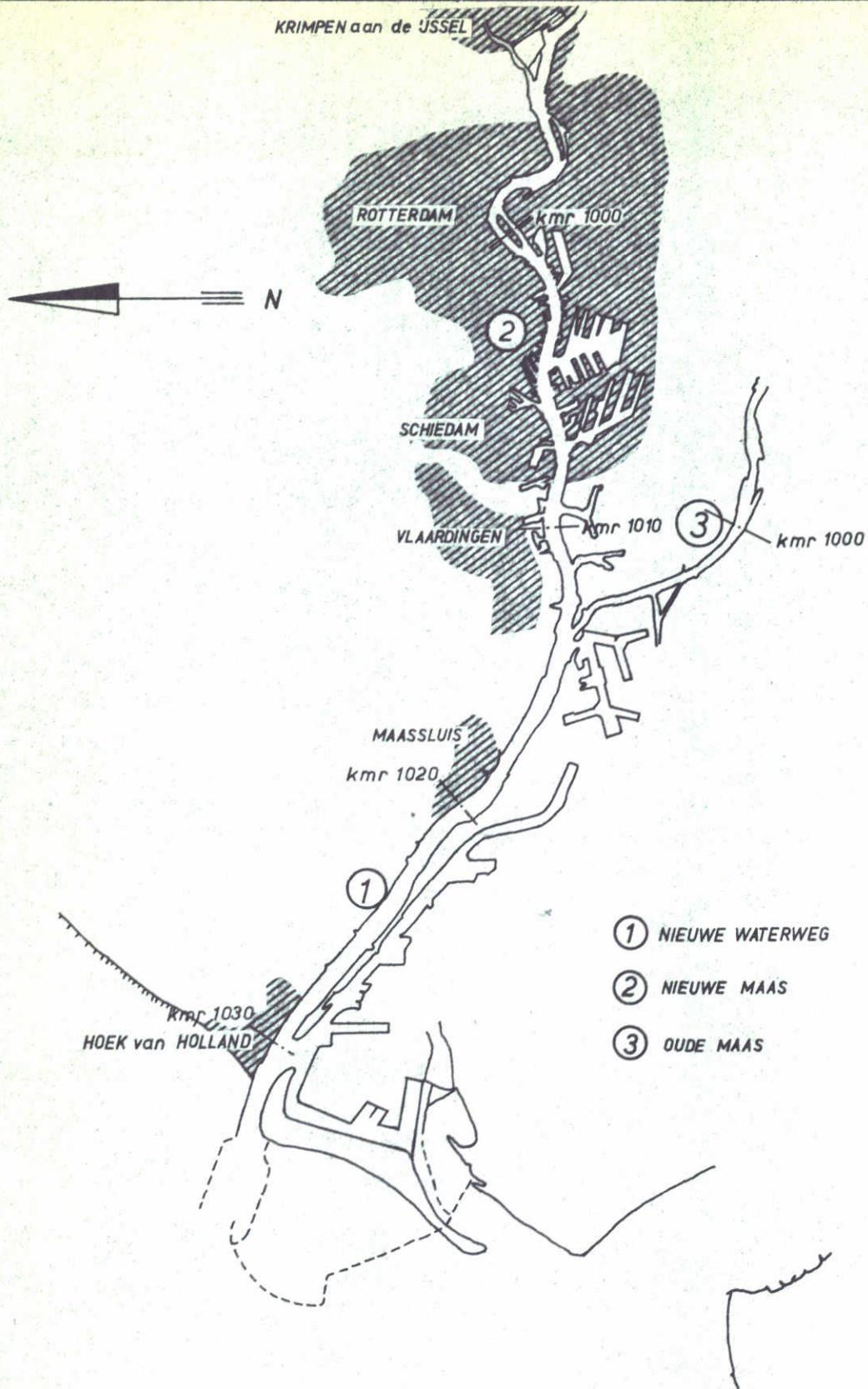
$Q_g^x = Q(x=L_s) - Q_R$; $V_g^x = \int Q_g^x dt$; F_{fiktief} = B (L-L_s) (zie fig. 32)

$Q_s^x = F_{fiktief} \frac{\partial w}{\partial t}$; $V_s^x = \int Q_s^x dt$

$Q_o = Q_{min. overstort}$; $Q_R = -Q(x=L)$

5^h, MET MOGELIJK HEID UIT TE BREI-DEN TOT 12^h

19^h, e.v.t. 25^h



ROTTERDAMSE WATERWEG

SCHAAL 1:200.000

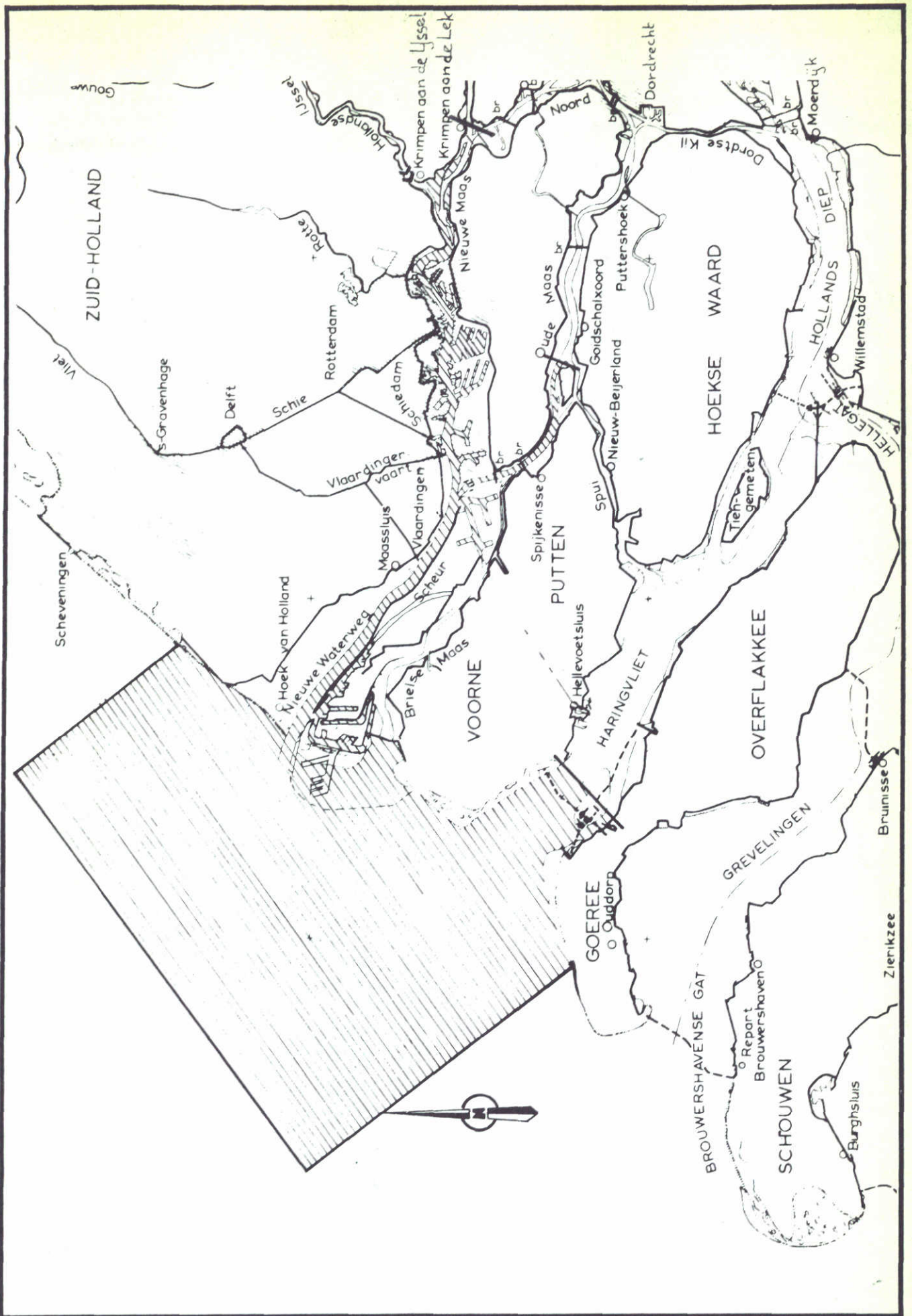
W
K

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896-2003

FIG. 1



BEGREZINGEN GETIJMDEL RIJNMOND

W
K

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896-2004

FIG. 2

Maatgevende omstandigheden van uit de literatuur bekende hydraulisch modellen

Nr.	Naam model	type	Lengte-schaal n ₁	diepte-schaal n _d	vertrekking n _l /n _d	Breedte Diepte	Gemidd. getij ampl.	Zoetwaterd.v. in m ³ /sec		Kunstgrepen i.v.m. Menging + wrijving	Laboratorium	
								Laag	Hoog			
1	Thames	voll.gemengd	600	60	10	100-50	ca 4,5 m	1	70	ca 1000	onbekend	Hydr. Res. Stat. - - Wallingford, Eng.
	Thames	voll.gemengd	600	120	5	100-50	ca 4,5 m	1	70	ca 1000	onbekend	
2	Delaware	voll.gemengd	1000	100	10	ca 100	ca 1,5 m	-	170	-	ruw pleisterwerk op platen en strips in geulen (6-18 mm)	W.E.S.-Vicksburg, USA
3	Savannah I	gedeelte- gemengd	1000	150	6,67	ca 25	2,15 m	-	200	ca 1000	onbekend	W.E.S.-Vicksburg, USA
4	Savannah II	gedeelte- gemengd	800	80	10	ca 25	2,15 m	-	200	ca 1000	ruw pleisterwerk op platen en strips in geulen (6-18 mm)	W.E.S.-Vicksburg, USA
5	Deltamodel M 500	gelaagd gedeeltelijk gemengd	2400	64	37½	20 à 30	1,55 m	300	1000	5 à 4000	staafjes op platen en in geulen (5 mm)	W.L.-Delft, Ned.
6	Bangkok	variërend van voll.gemengd tot gelaagd	500	100	5	50-100	2-2,25 m	40	1000	4000	grind in geulen	W.L.-De Voorst, Ned.

LITERATUURGEGEVENS HYDRAULISCHE MODELLEN

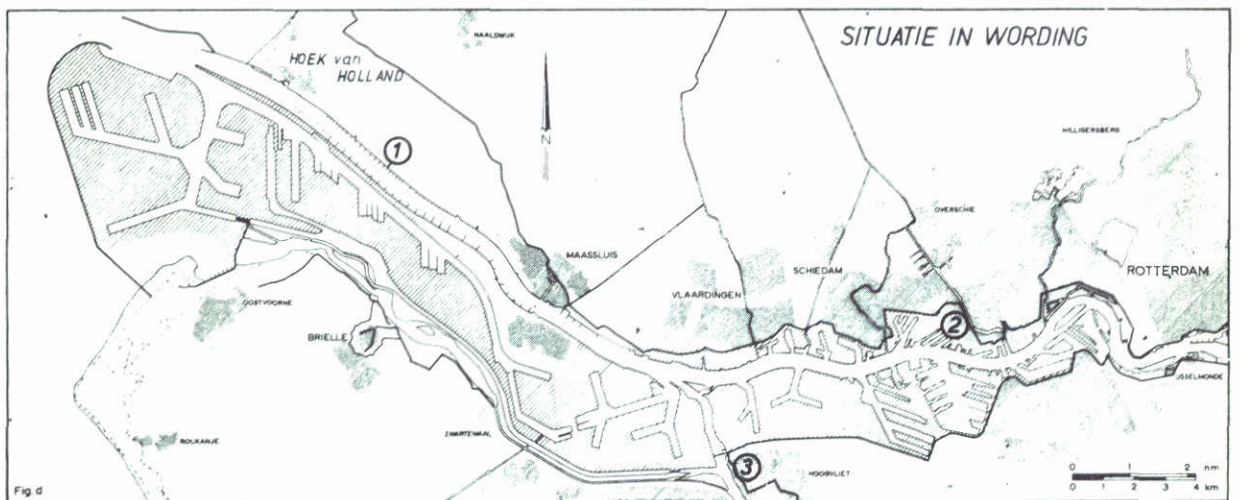
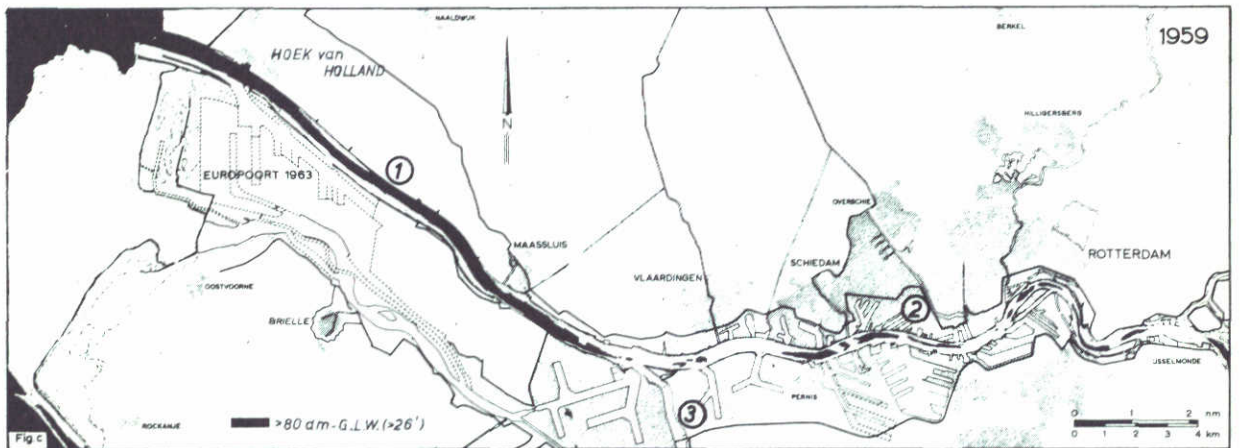
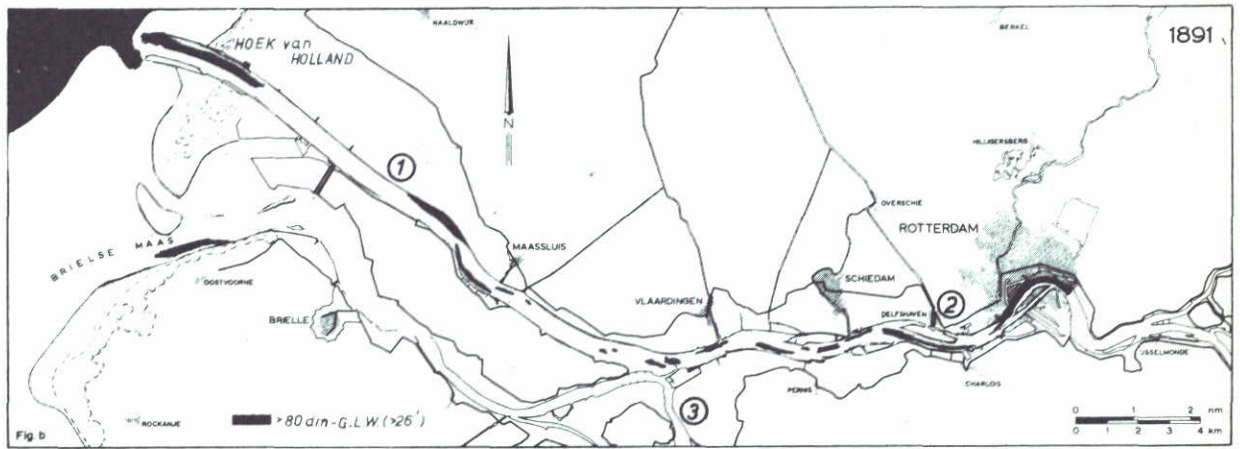
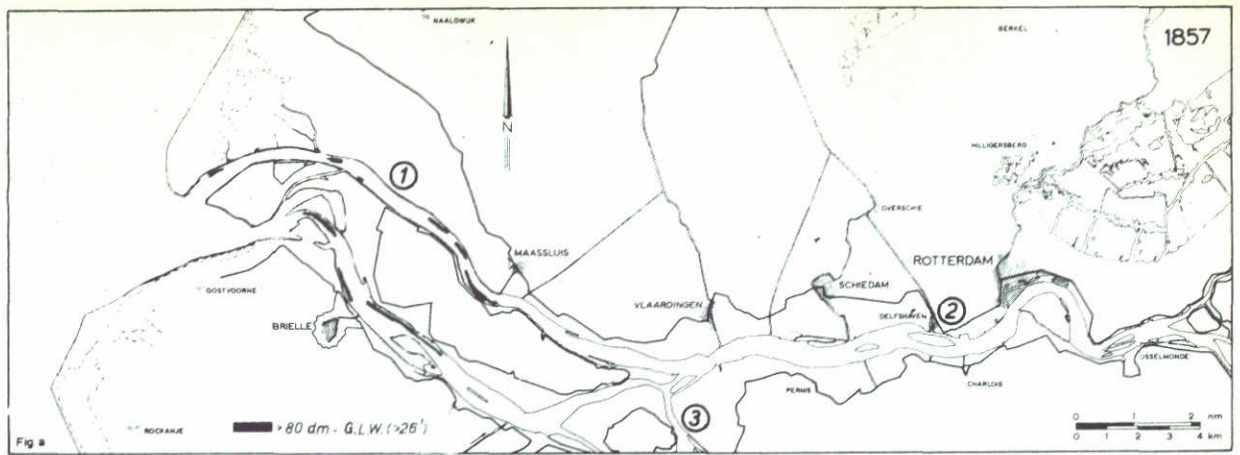
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896-2005

FIG. 3

W
K

A4

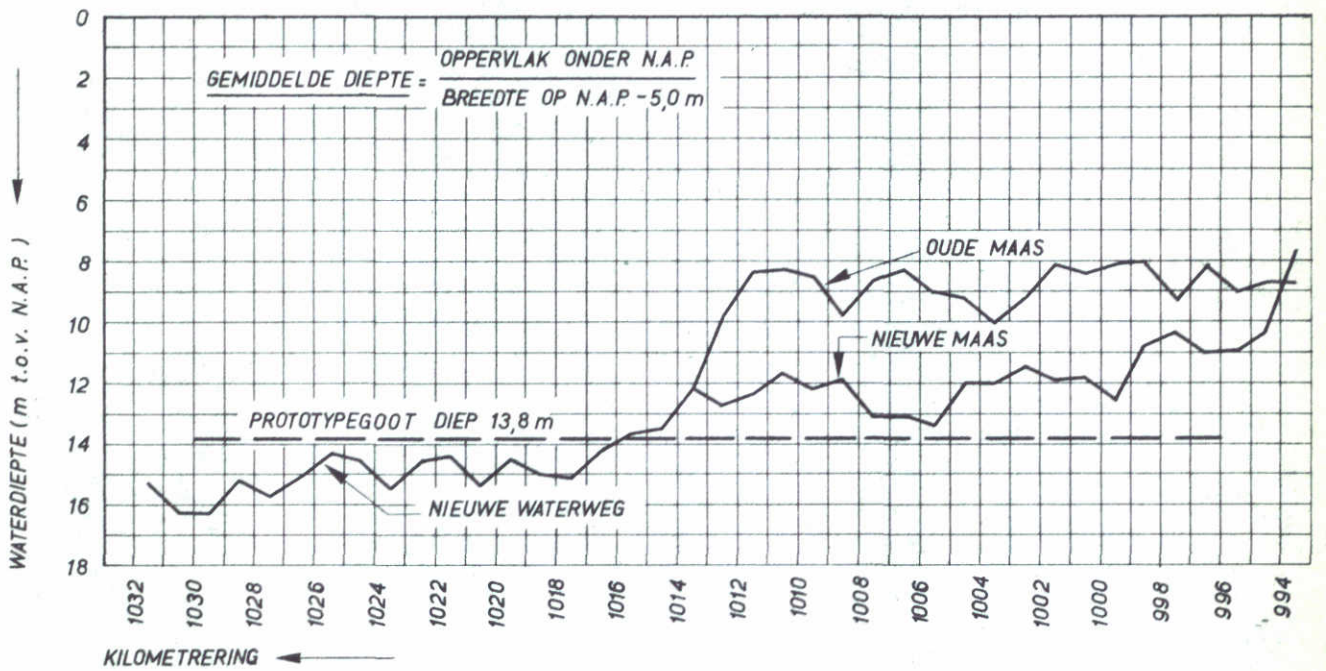
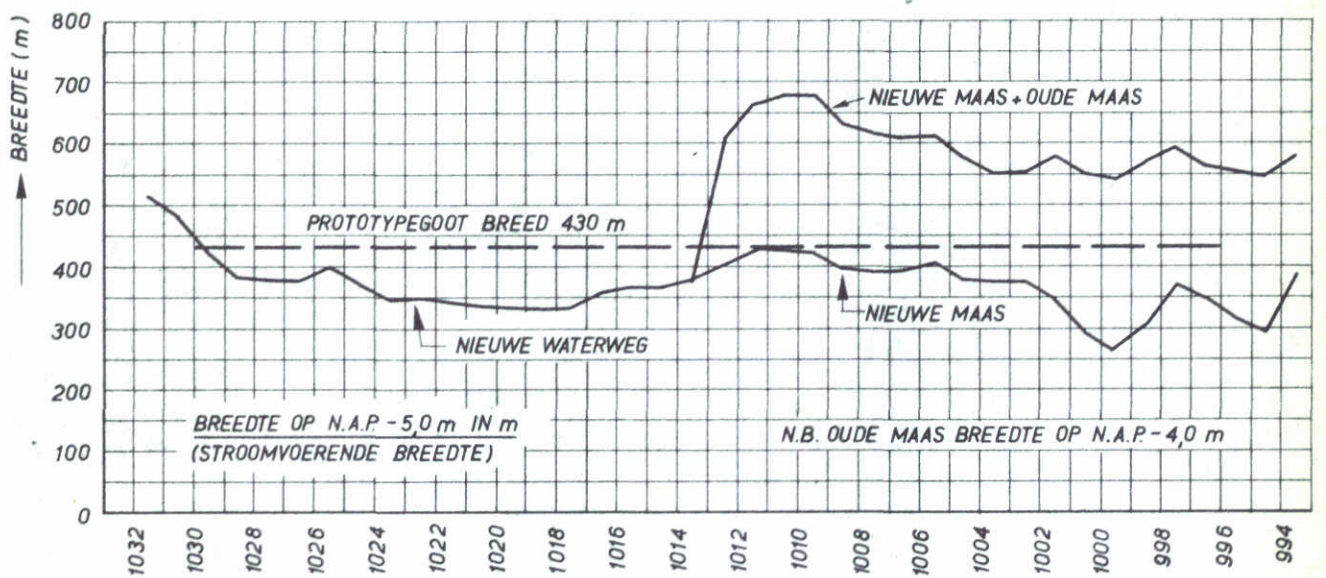
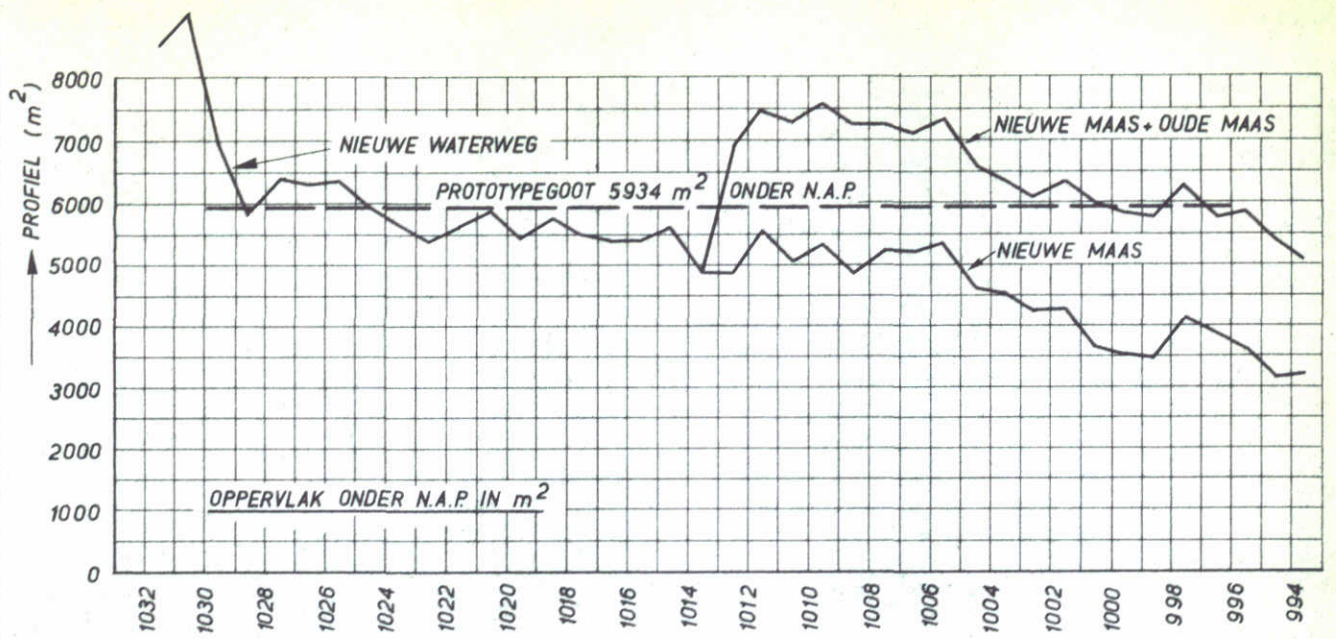


ONTWIKKELING PROFIEL ROTTERDAMSE WATERWEG

- ① NIEUWE WATERWEG
- ② NIEUWE MAAS
- ③ OUDE MAAS

jw

A4

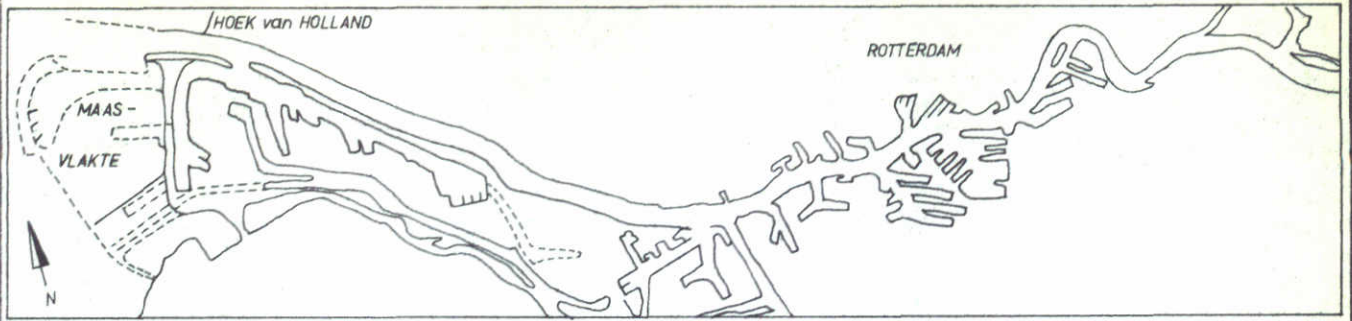


SCHEMATISATIE GEOMETRIE ROTTERDAMSE WATERWEG

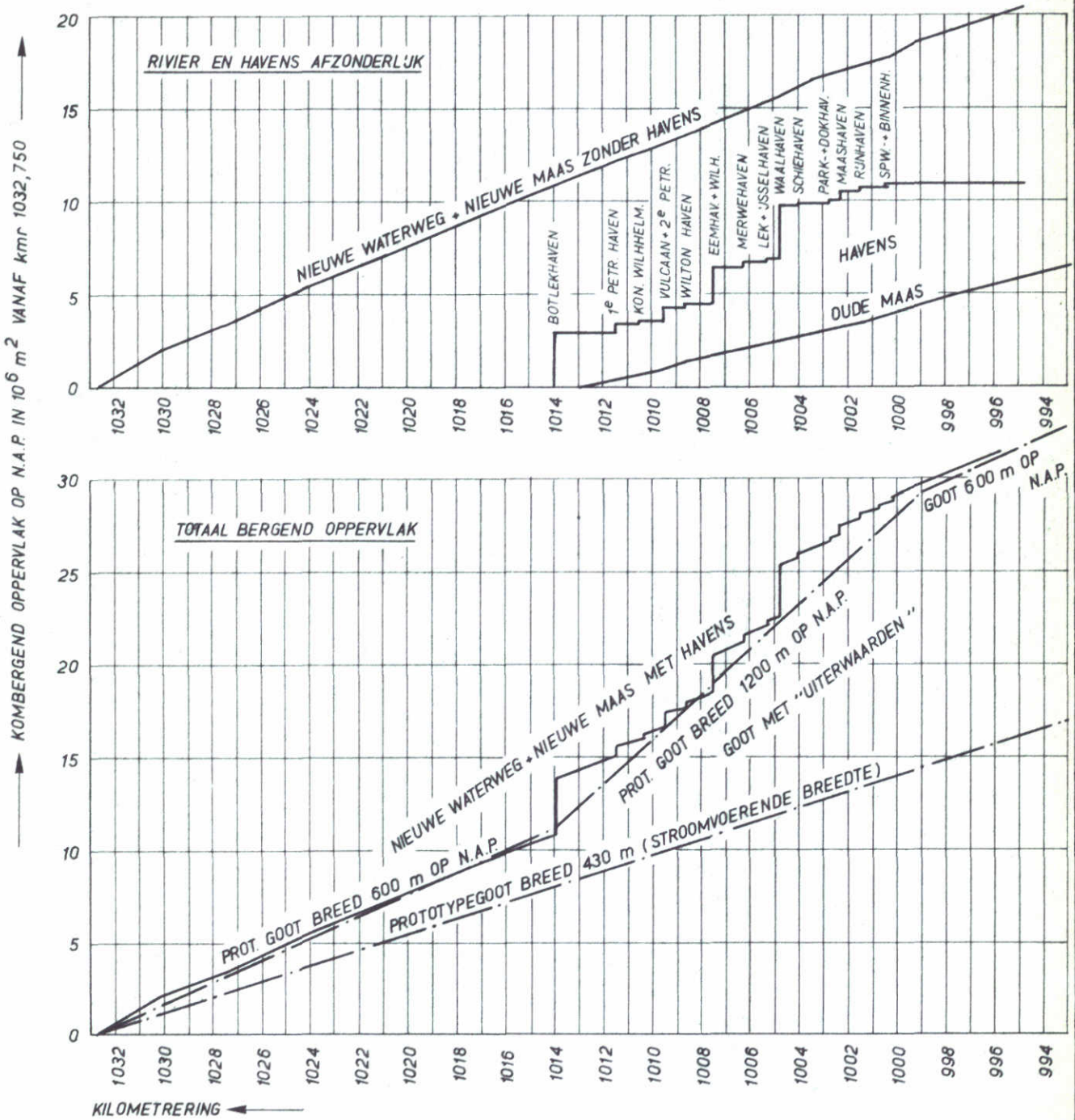
GEGEVENS PROTOTYPE
LODINGEN 1964

W
K

A4



SITUATIE



KOMBERGEND OPPERVLAK ROTTERDAMSE WATERWEG

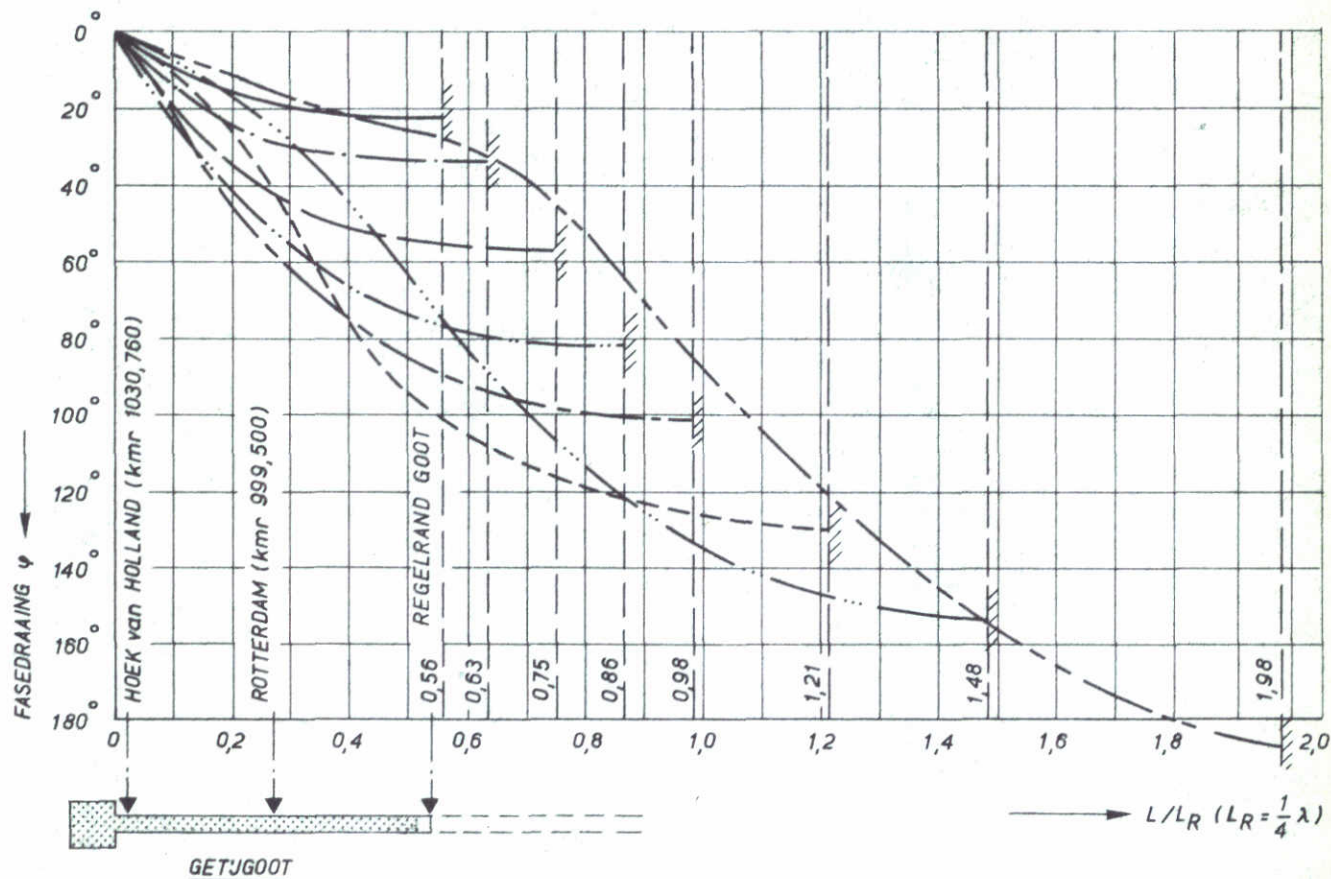
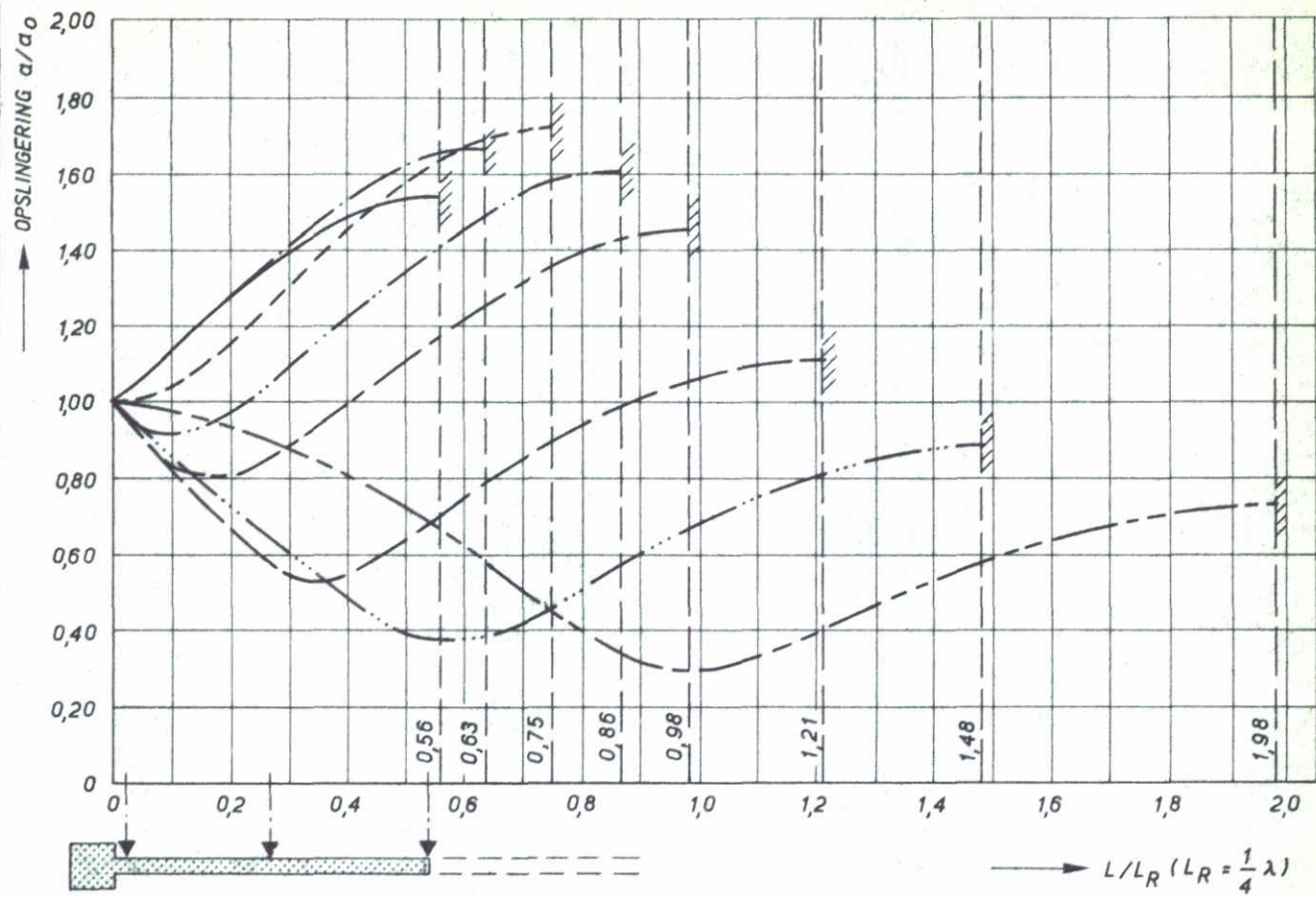
W
K

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896-2008

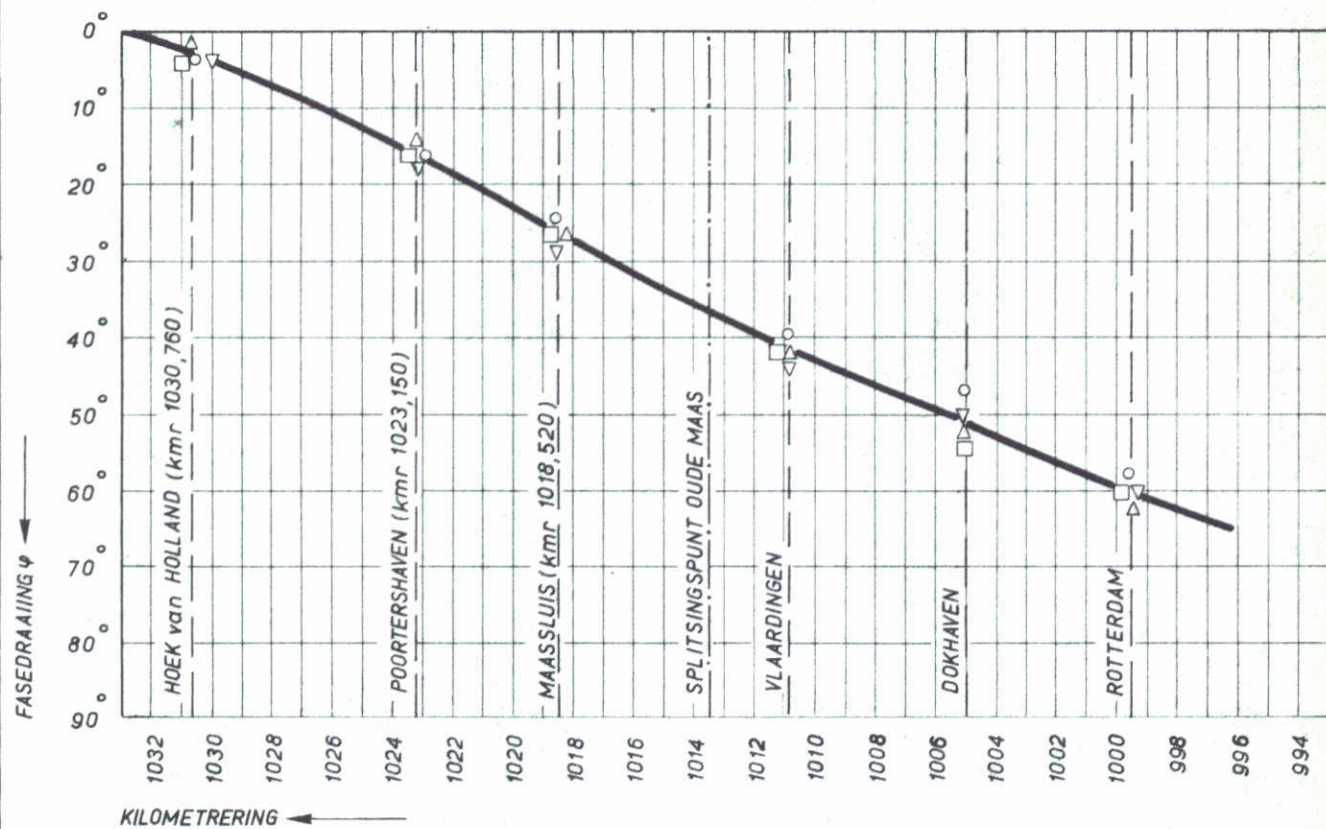
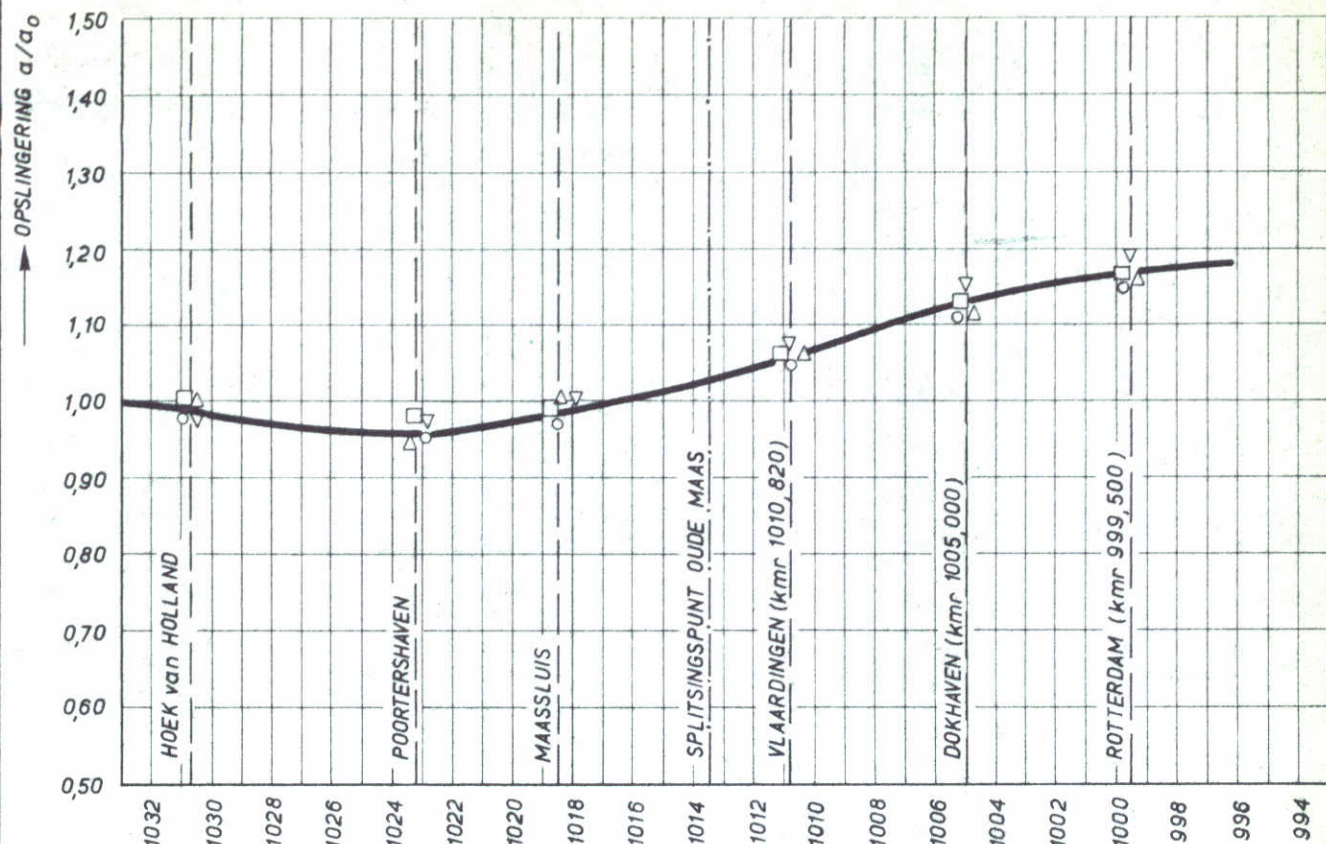
FIG. 6



GETJVOORTPLANTING BIJ VARIATIE GOOTLENGTE

$\lambda = \sqrt{gh_0 T} \quad L_R = \frac{1}{4} \lambda$
 $h_0 = 12,5 \text{ m}; g = 9,81 \text{ m/s}^2$
 $T = 12,25 u = 44700 \text{ s}$

W
K
A4



GETJKARAKTERISTIEKEN ROTTERDAMSE WATERWEG

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

□ 21 JUNI 1956
 △ 22 " "
 ○ 26 " "
 ▽ 27 " "

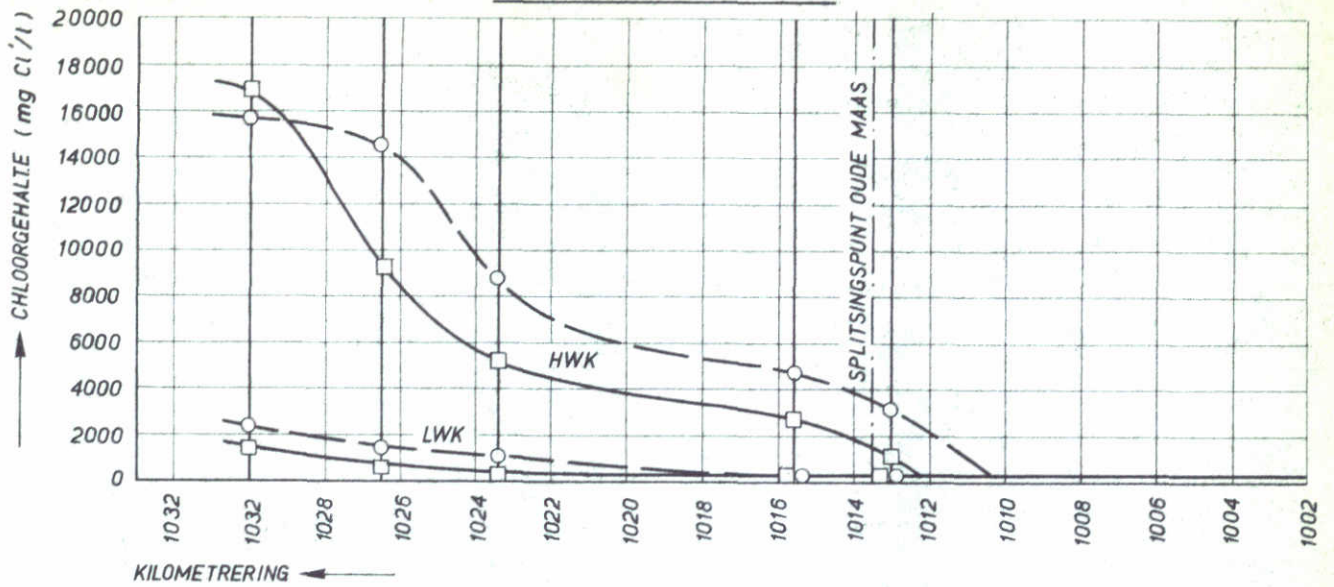
W
K

A4

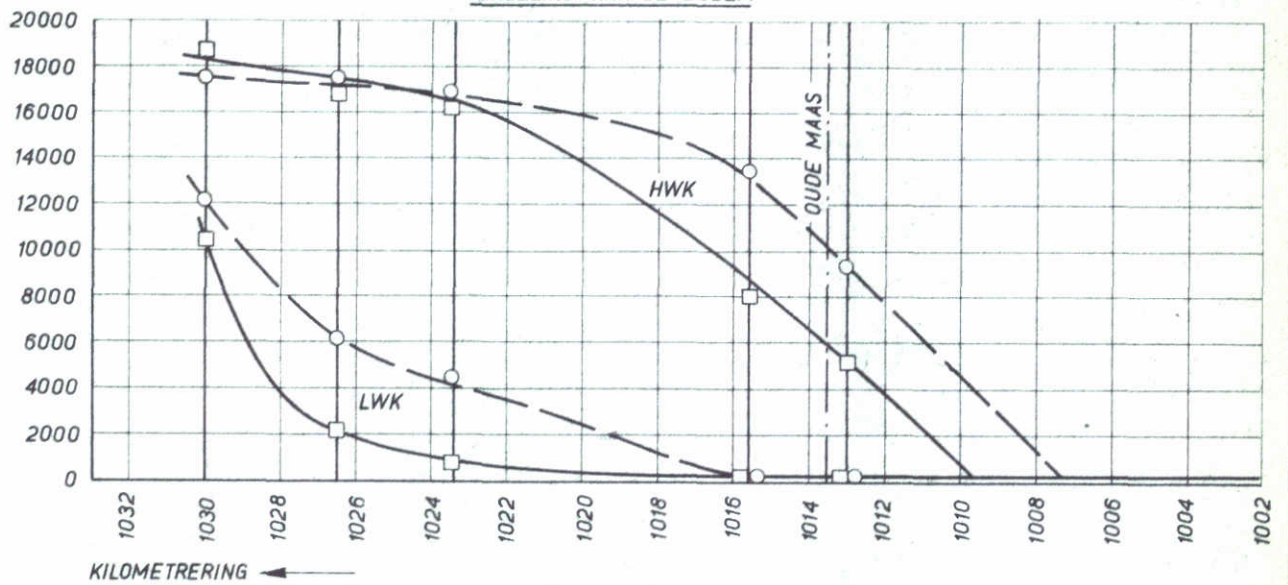
M. 896 - 2010

FIG. 8

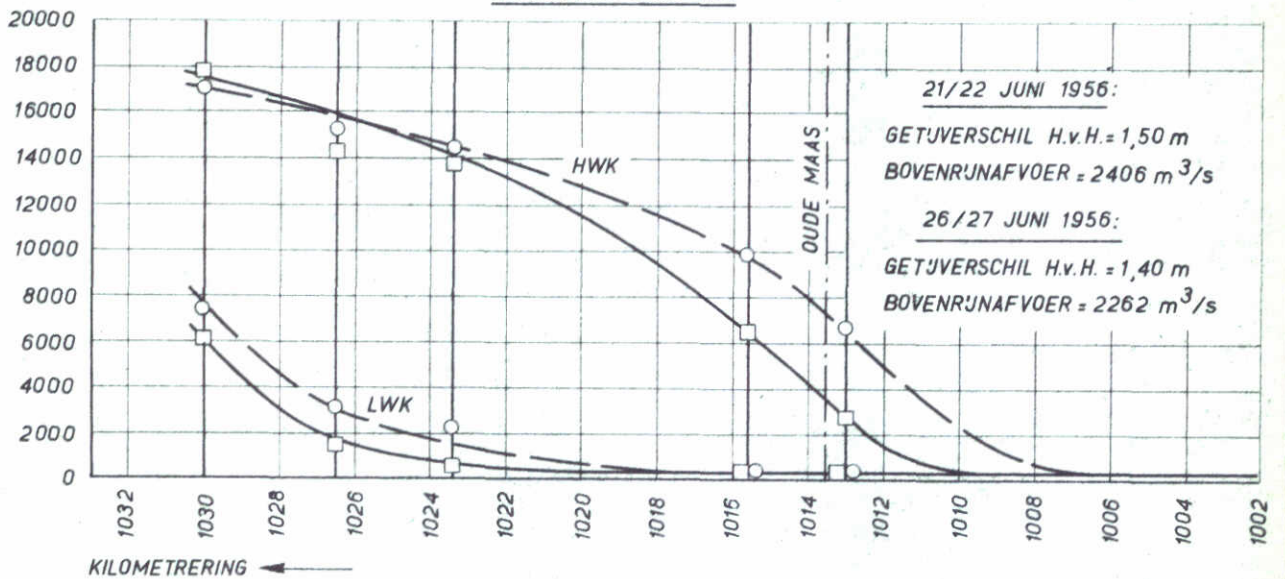
VERDELING AAN HET OPPERVLAK



VERDELING AAN DE BODEM



GEMIDDELDE VERDELING



ZOUTTOESTAND ROTTERDAMSE WATERWEG
 (MIDDENGEDEELTE RIVIER)

HWK = HOOGW. KENTERING
 LWK = LAAGW. KENTERING

W
K

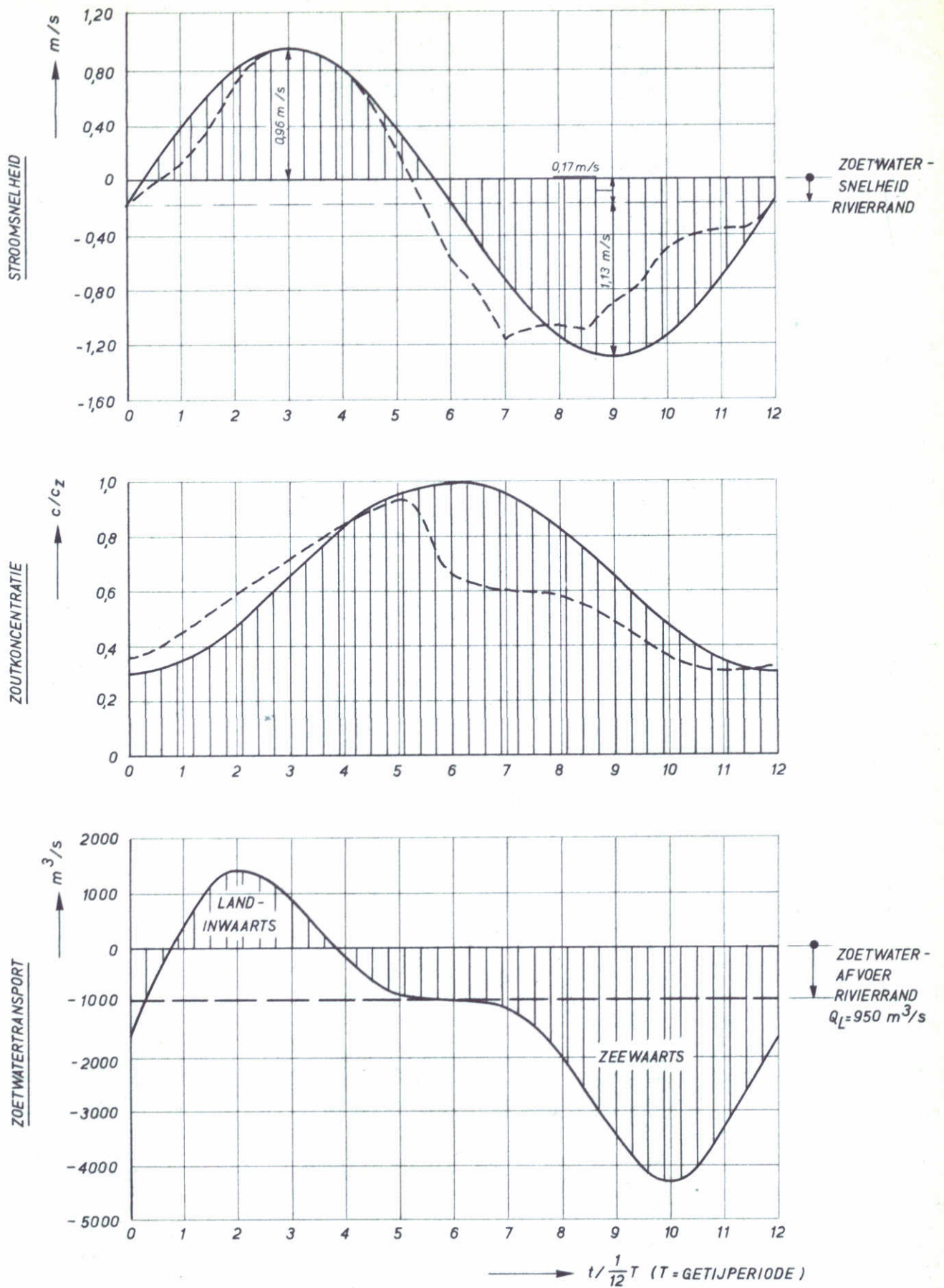
□ 21/22 JUNI 1956
 ○ 26/27 JUNI 1956

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 896 - 2011

FIG. 9

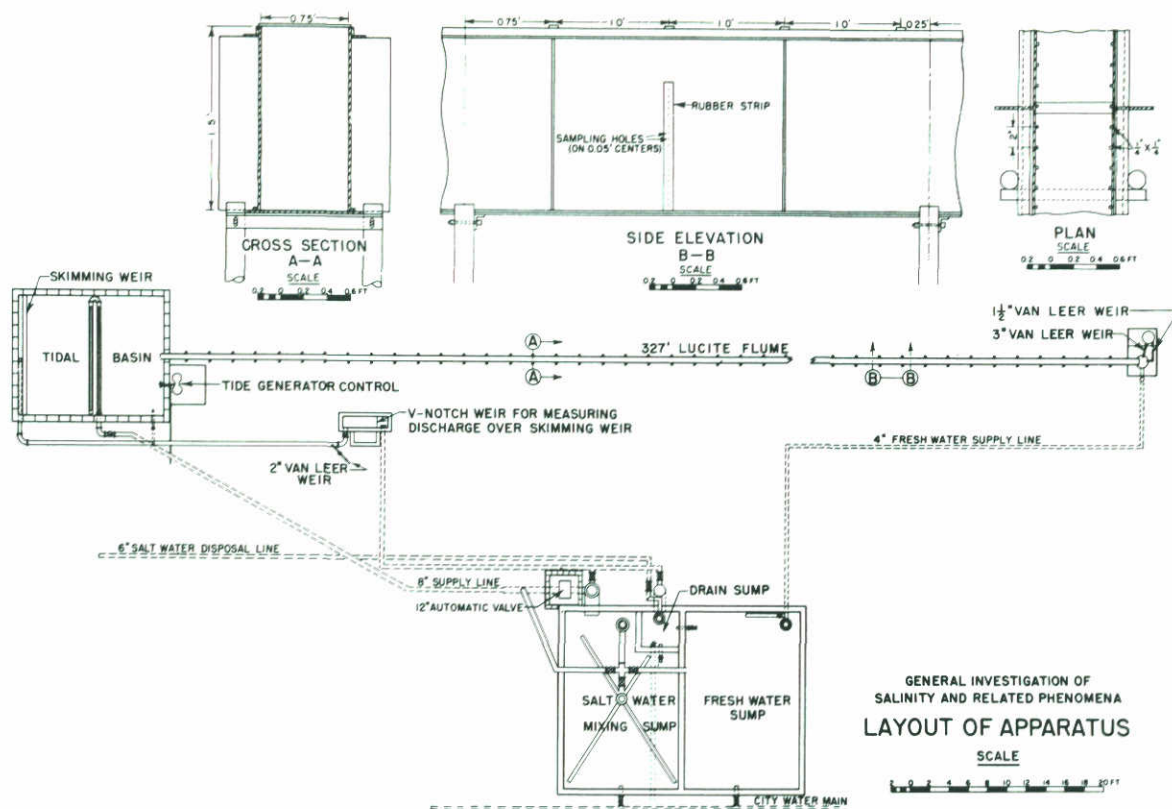


BEREKENING ZOETWATERTRANSPORT MOND WATERWEG
OP BASIS VAN GESCHEMATISEERDE GEGEVENS

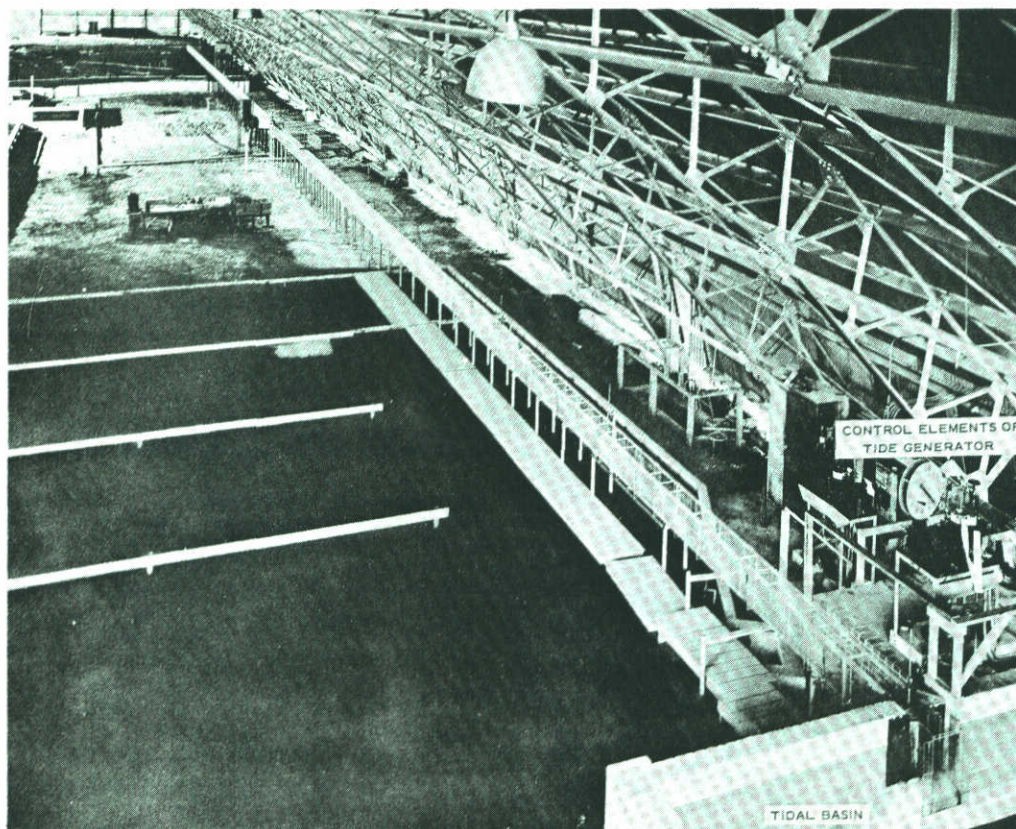
--- PROTOTYPE 2 SEPT. '60
— BEREKENING MET
 $a_0 = 0,90 \text{ m}$, $h_0 = 13 \text{ m}$
en $Q_{BR} = 2380 \text{ m}^3/\text{s}$

W
K

A4



MATENPLAN GET'JGOOT



OVERZICHT GET'JGOOT

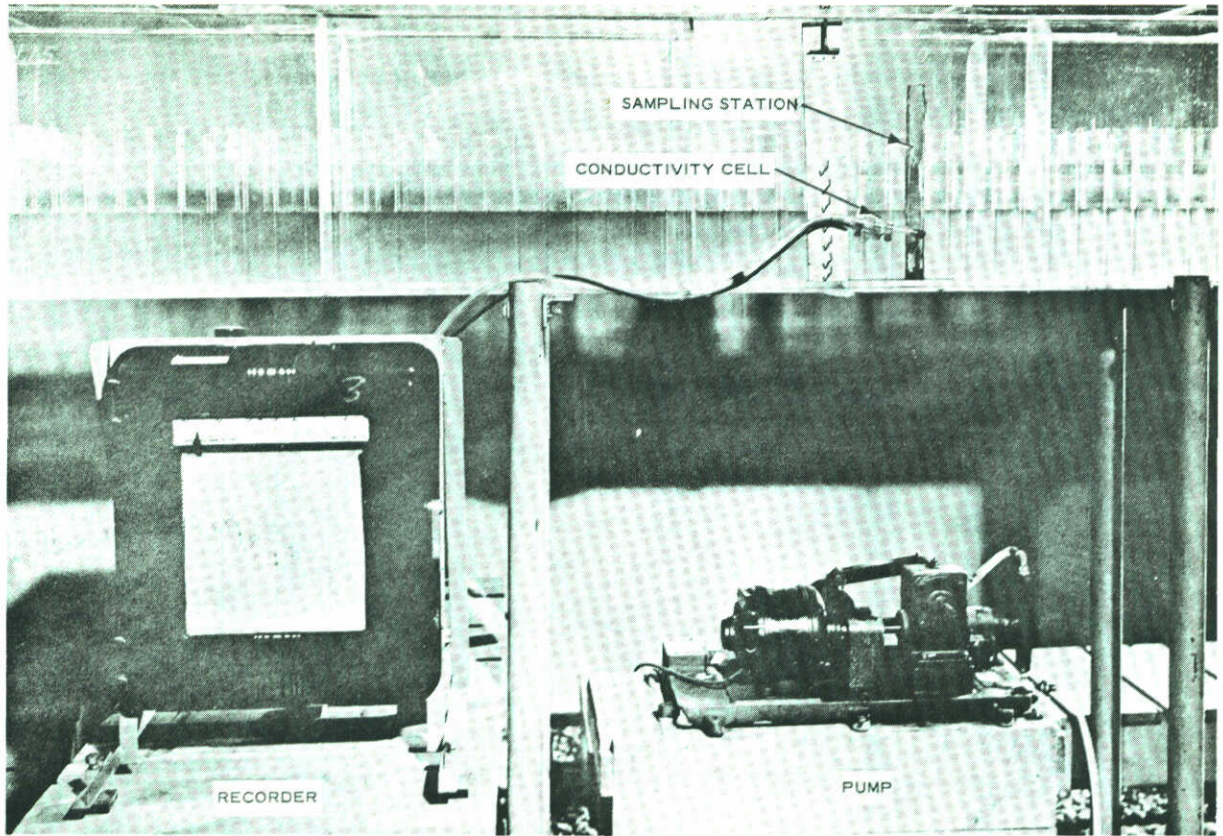
GET'JGOOT WATERWAYS EXPERIMENT STATION

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

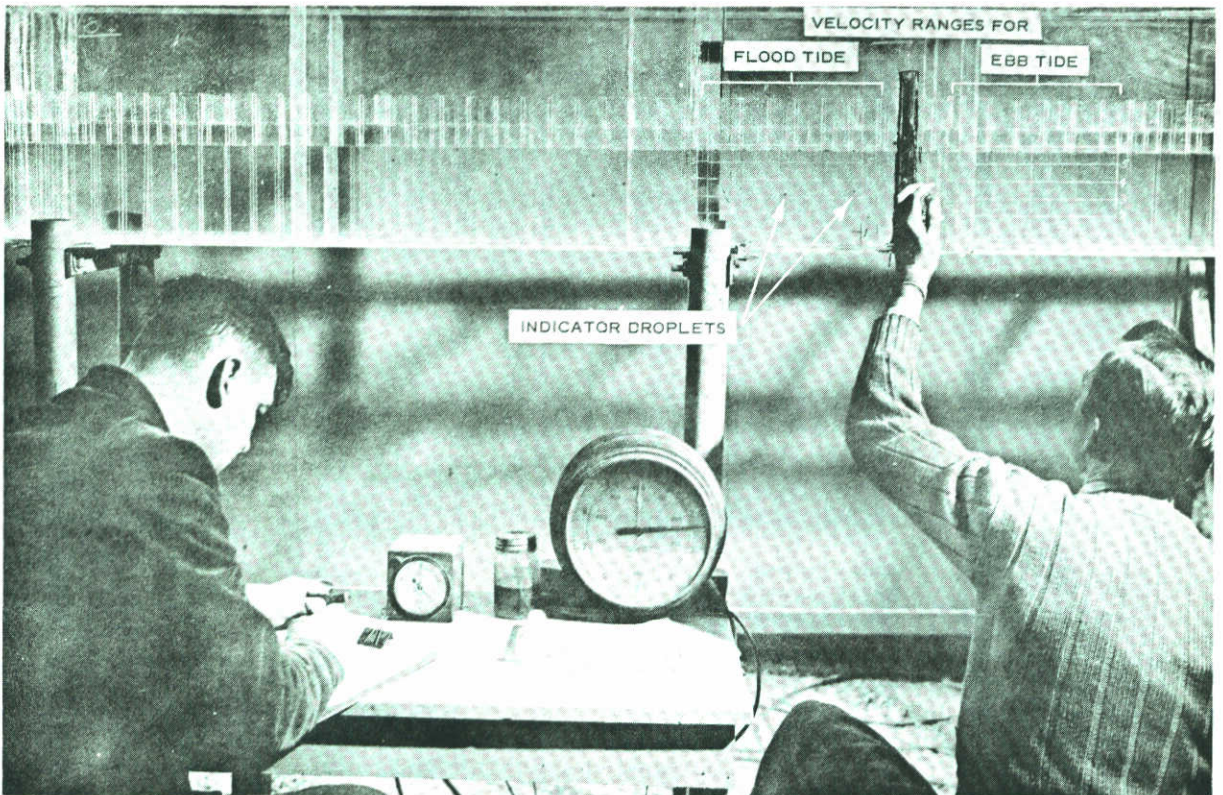
M. 896 - 2013

FIG. 11

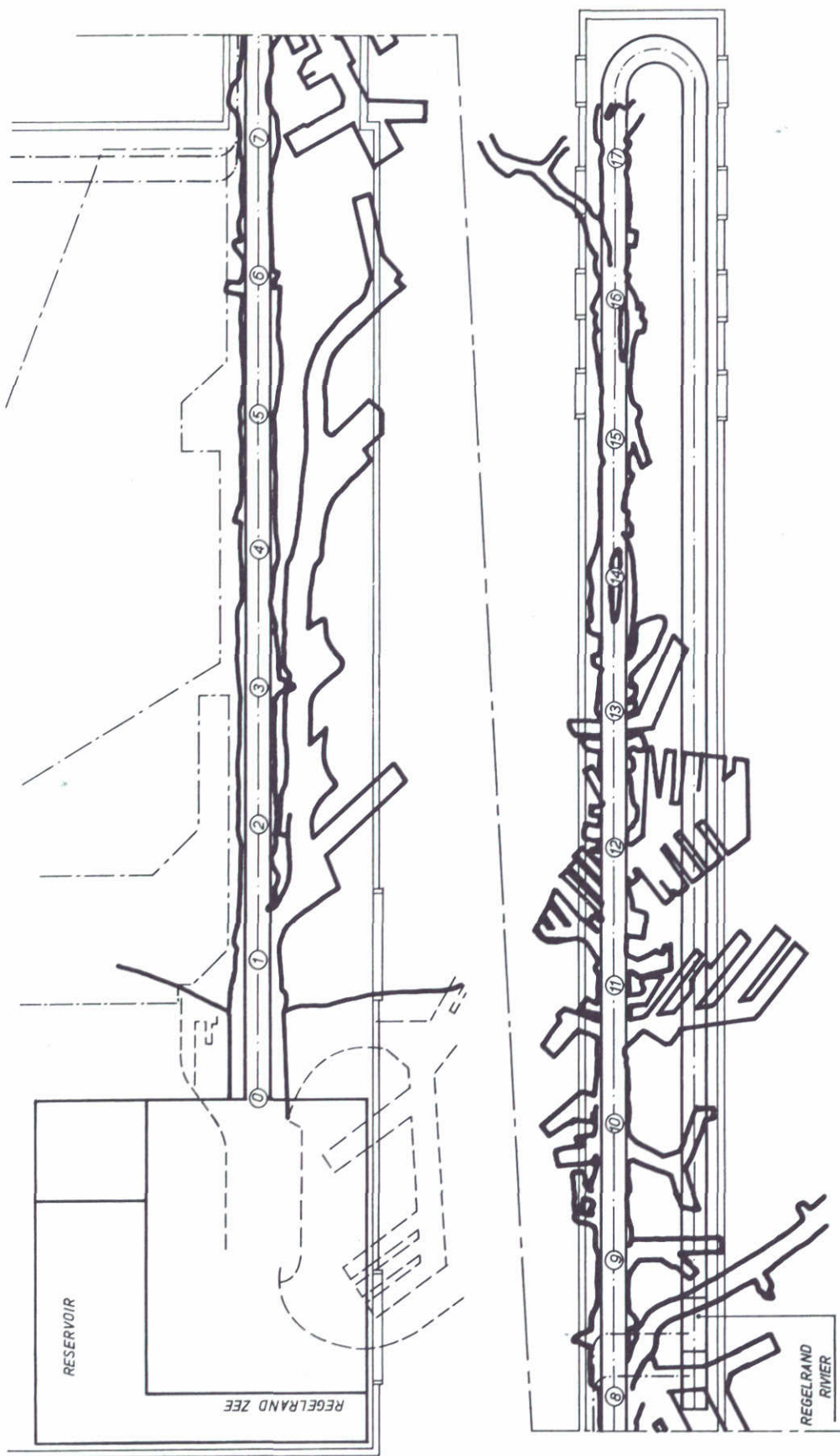
A4



METEN VAN ZOUTKONCENTRATIES

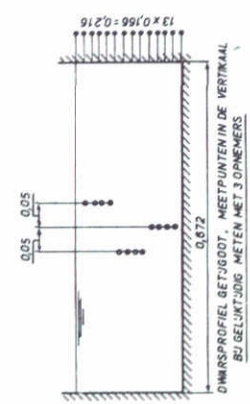


METEN VAN SNELHEDEN



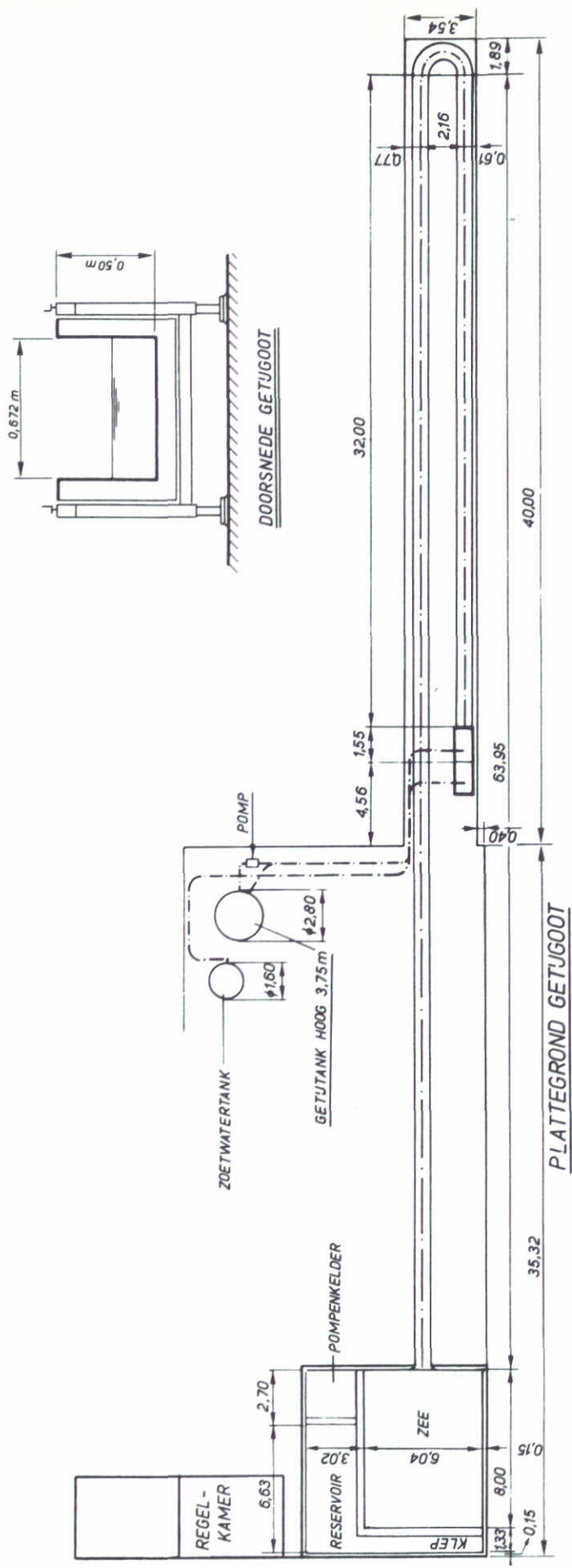
OVERZICHT MEETSTATIONS

NO.	AFSTAND UIT DE MOND		km raai PROT.	BENAMING STATIONS	NO.	AFSTAND UIT DE MOND		km raai PROT.	BENAMING STATIONS
	MODEL(m)	PROT.(km)				MODEL(m)	PROT.(km)		
0	0	0	1032,750	„NOORDERHOEFD“	9	32,91	21,060	1011,690	„VLAARDINGEN“
1	3,66	2,340	1030,410	„EUROPOORT“	10	36,56	23,400	1009,350	„BENELUX TUNNEL“
2	7,31	4,680	1028,070	„HOEK van HOLLAND OOST“	11	40,22	25,740	1007,010	„EEMHAVEN“
3	10,97	7,020	1025,730	„ORANJEKANAL“	12	43,88	28,080	1004,670	„WAALHAVEN“
4	14,63	9,360	1023,390	„POORTERSHAVEN“	13	47,53	30,420	1002,330	„PARKSLUIZEN“
5	18,28	11,700	1021,050	„MAASSLUIS WEST“	14	51,19	32,760	999,990	„MAASSBRUGGEN“
6	21,94	14,040	1018,710	„MAASSLUIS HAVEN“	15	54,84	35,100	997,650	„HONINGERDIJK“
7	25,59	16,380	1016,370	„BOTLEKKEWEG“	16	58,50	37,440	995,310	„KRALINGSE VEER“
8	29,25	18,720	1014,030	„WESTGEUL“	17	62,16	39,780	992,970	„BOLNES“

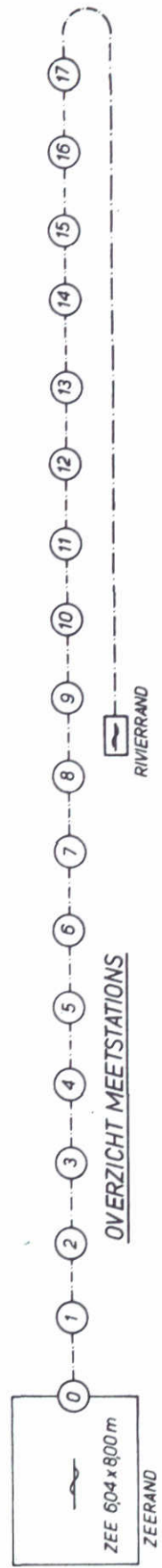


PROJEKTIE GETJGOOT OP PROTOTYPE - SITUATIE

W
K

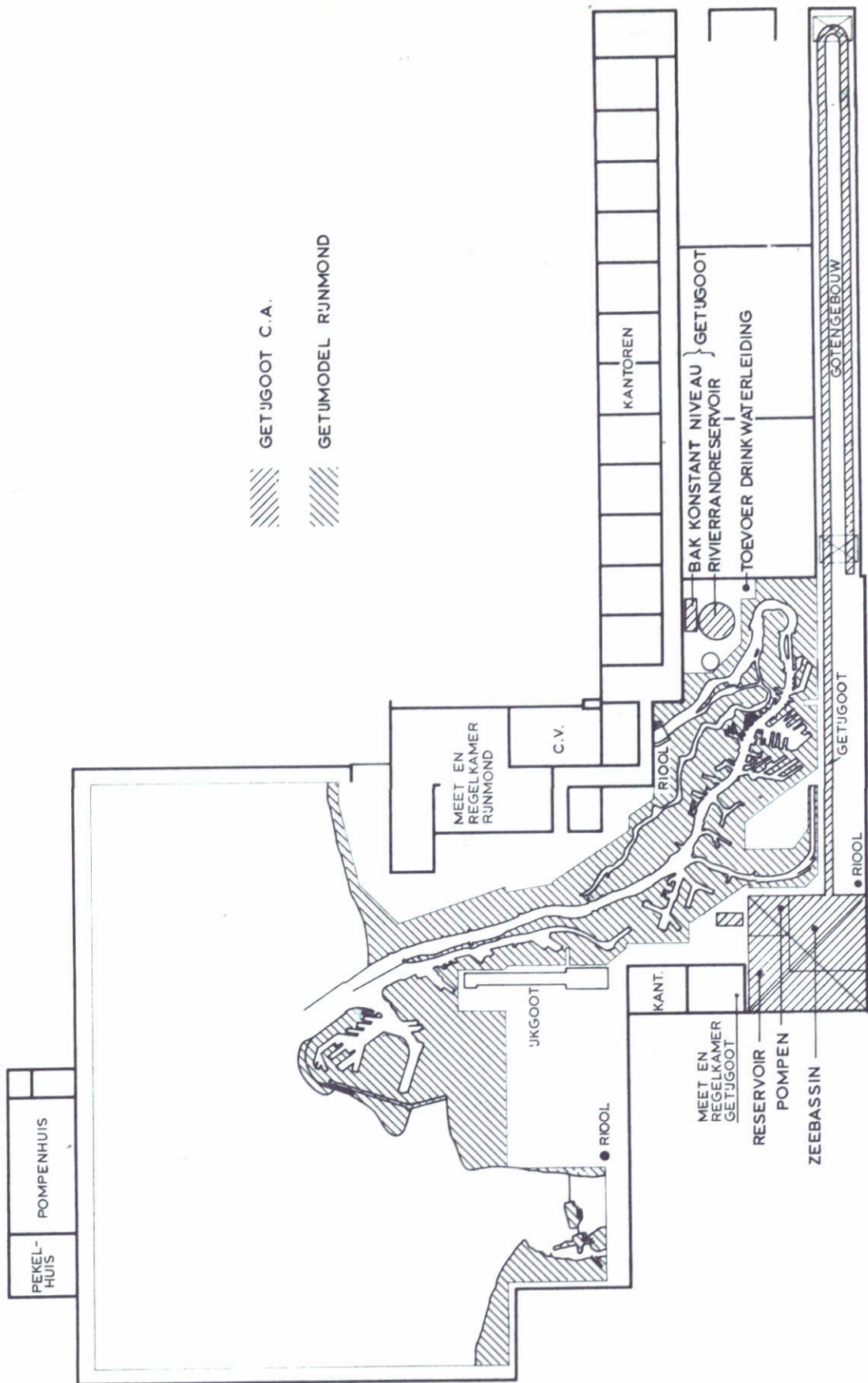


TOTALE GOOTLENGTE 101,00 m



SCHEMA GETJGOOTOPSTELLING

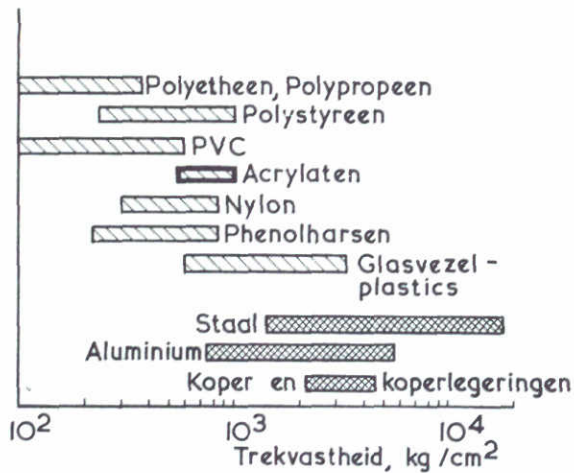
W
K



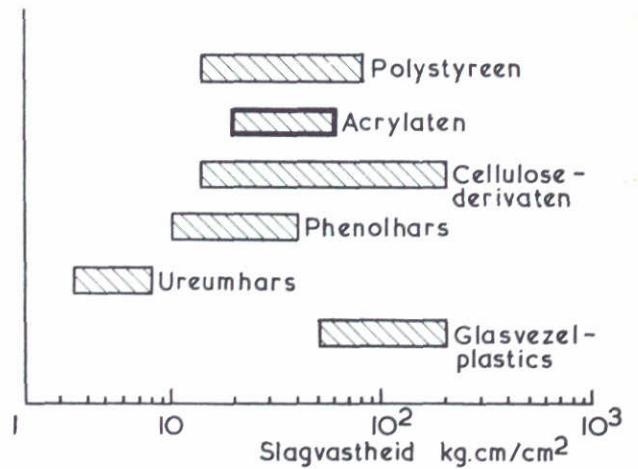
OPSTELLING GETJGOOT IN HAL GETUMODEL RIJNGOOND

W
K

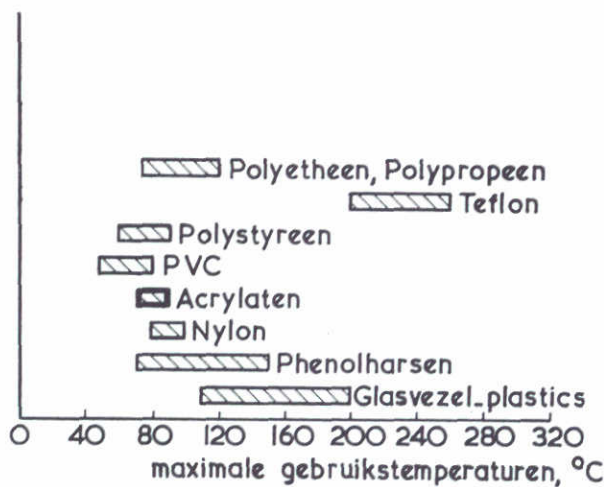
A4



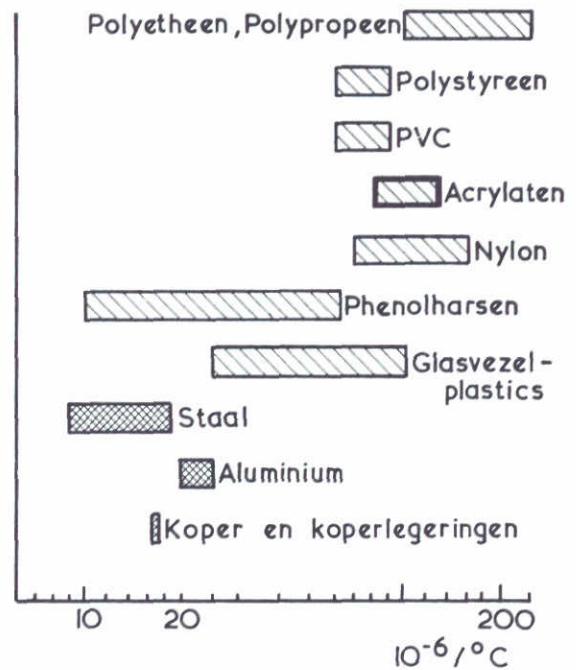
TREKVASTHEID VAN ENIGE KUNSTSTOFFEN EN METALEN BIJ 20°C



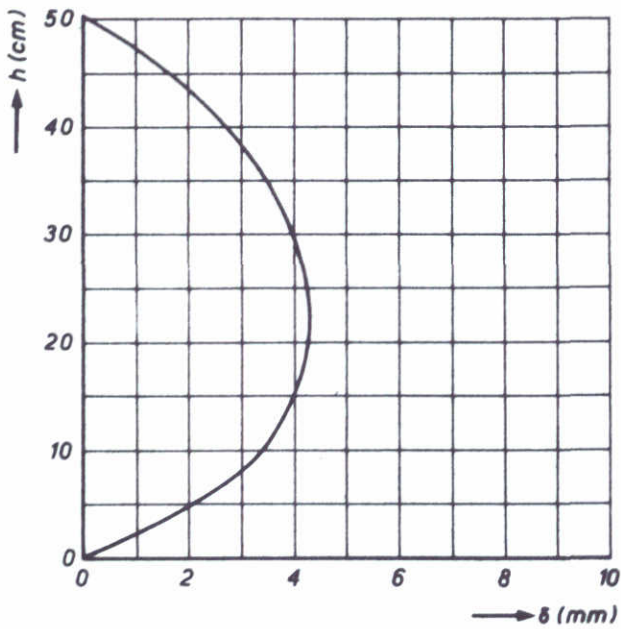
SLAGVASTHEID VAN ENIGE KUNSTSTOFFEN BIJ 20°C



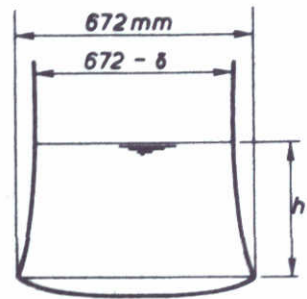
GEBRUIKSTEMPERATUREN VOOR KUNSTSTOFFEN EN METALEN



LINEAIRE UITZETTINGSCOEFFICIENT BIJ 20°C



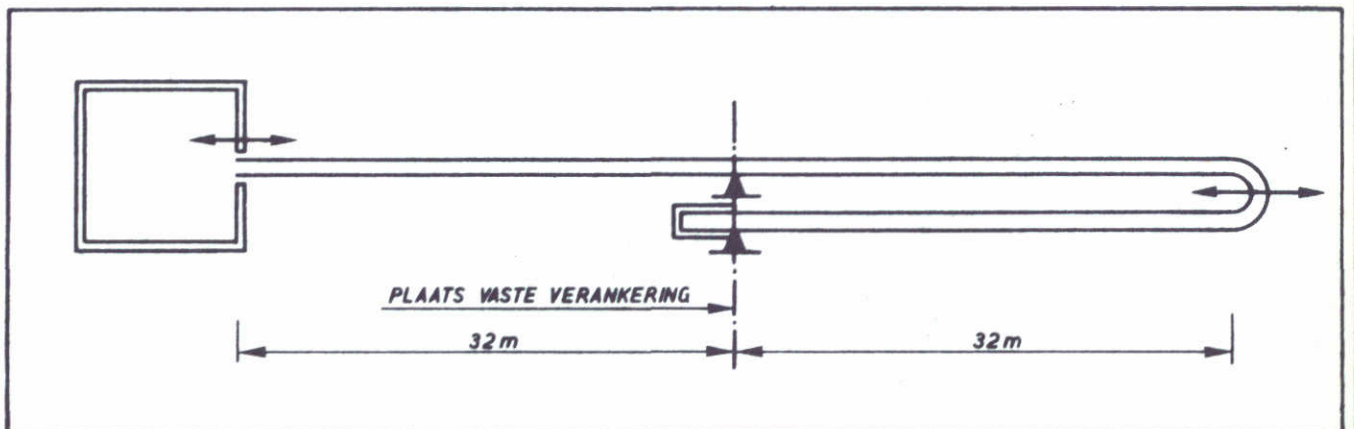
PROEFBELASTING PERSPEX GOOT



VERVORMING GOOT

δ = AFWJING IN GOOTBREEDTE
GEMETEN AAN BOVENZIJDE GOOT
 h = WATERBELASTING IN GOOT

N.B. VERVORMING VOOR EEN DEEL
(ENKELE mm) MEDE DOOR AF-
KOELING (BINNENKANT) GOOT
t.g.v. VULLEN MET KOUD WATER



VERANKERING GOOT EN VERPLAATSINGSVRIJHEID

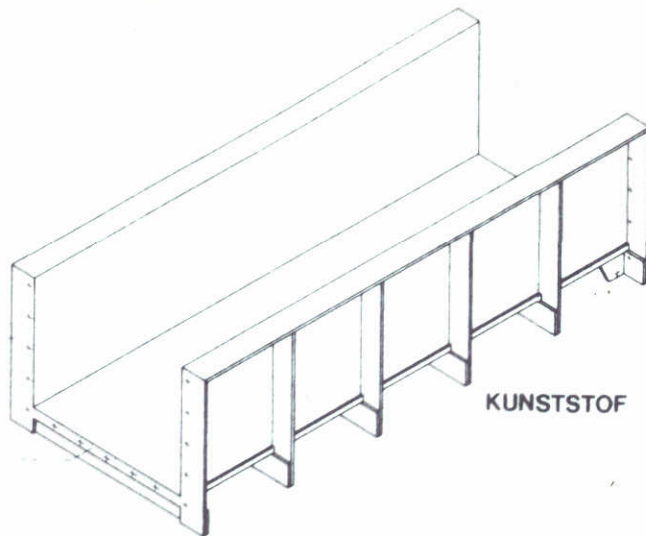
VORMVERANDERING PERSPEX GOOT

W_K

A4

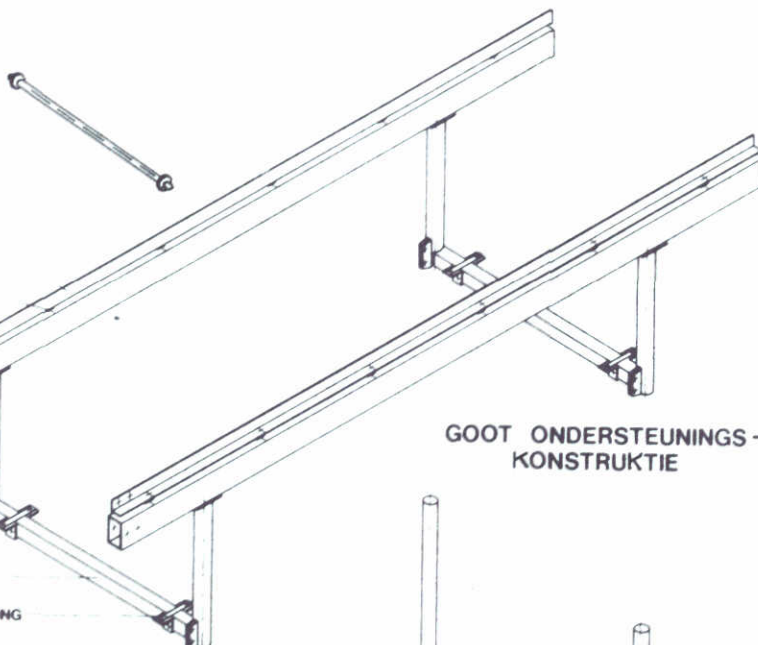
KOPPELINGSBOUTEN EN
VOEG-VULLINGSMATERIAAL

RAND t.b.v. OPLEGGING



KUNSTSTOF GOOTBAK

AS MET ROLLEN



RAIL VOOR MEETWAGEN

STELBOUT VOOR RAIL

RANDBALK

LASEIND

KLEINRICHTING
HOOGTE VERSTELLING

DWARSLIGGER

RIJGOOTJE ROLLENOPLEGGING

GOOT ONDERSTEUNINGS-
KONSTRUKTIE

STELPOT

ANKERBOUTEN

VOETPLAAT



STELPOTEN

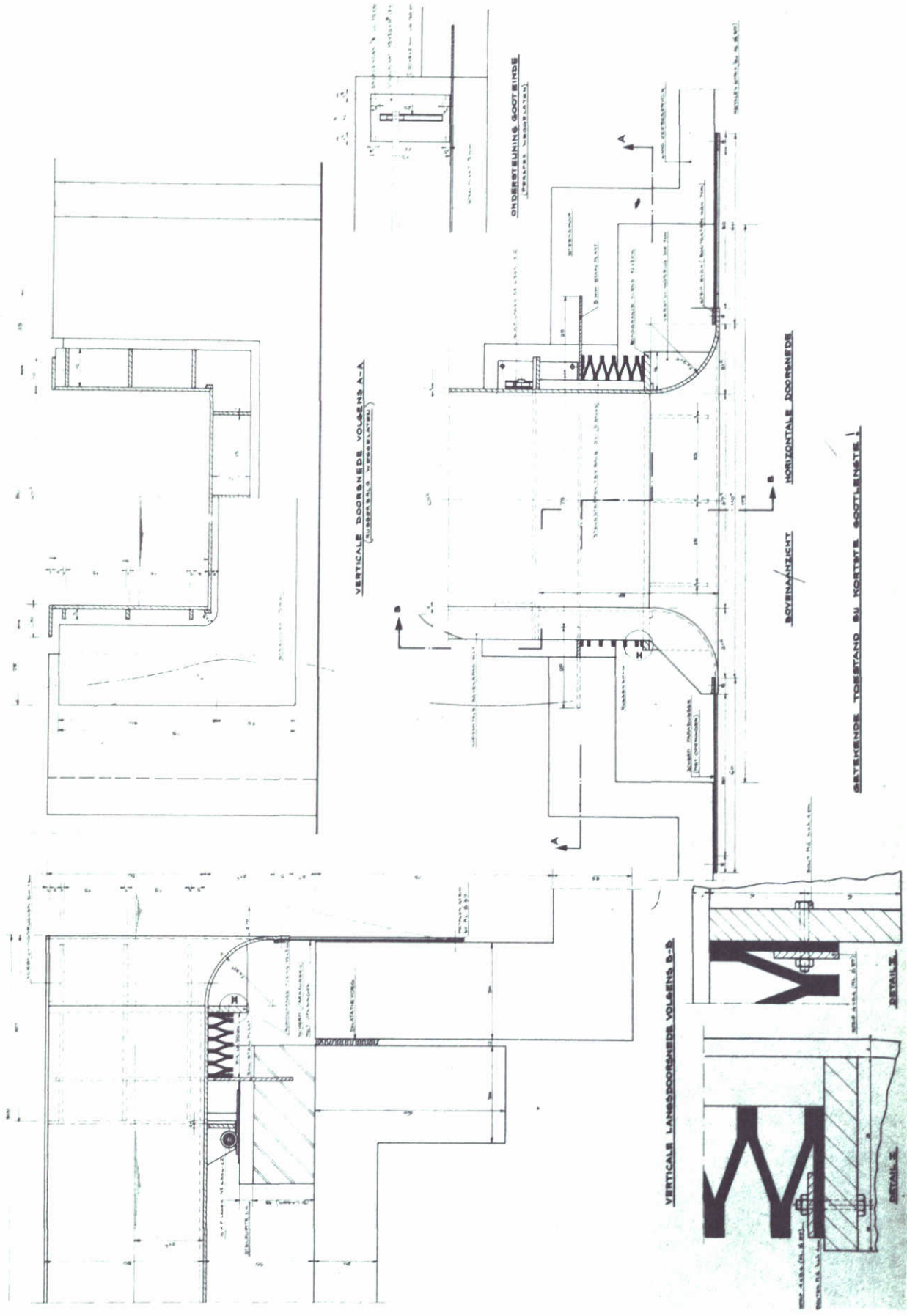
OVERZICHT OPBOUW GOOTKONSTRUKTIE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 896 - 2020

FIG. 18

A4



MONDKONSTRUKTIE i.v.m. LENGTEVERANDERING GOOT

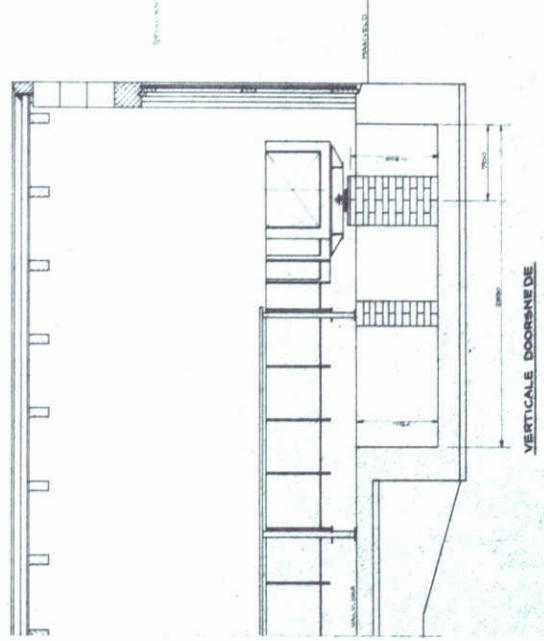
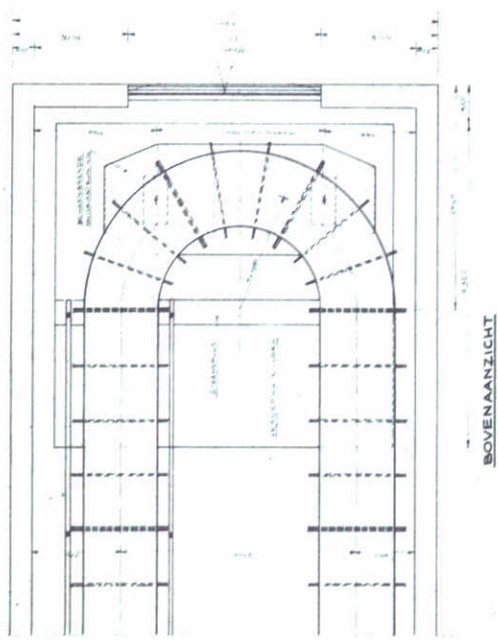
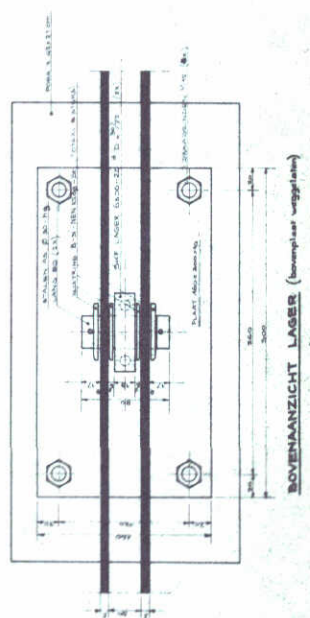
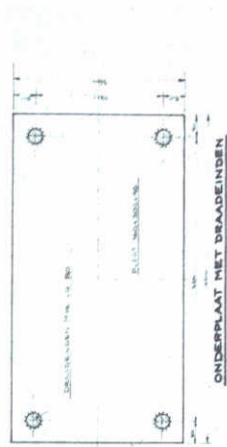
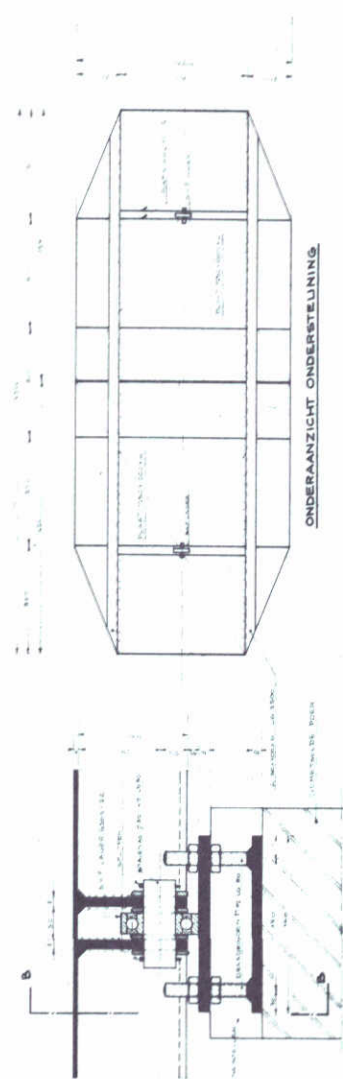
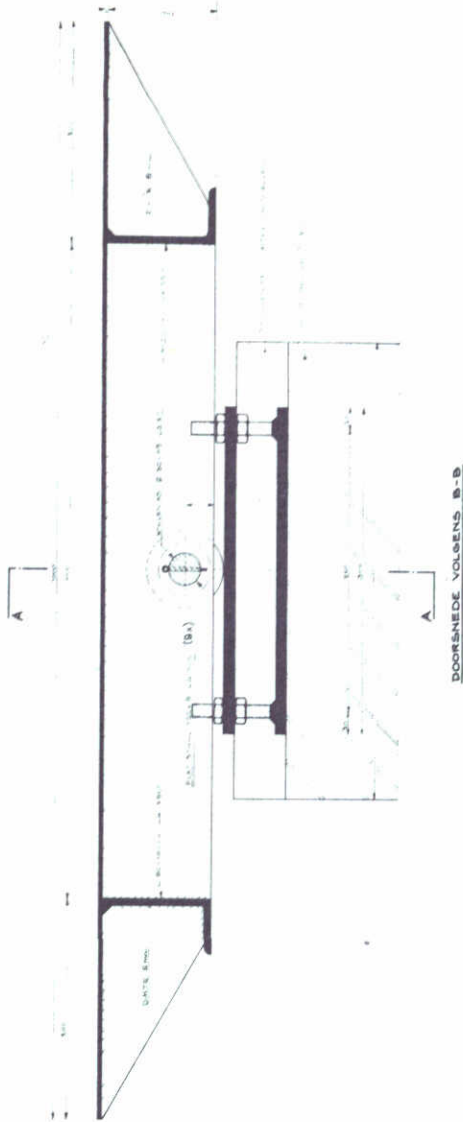
W
K

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896-2021

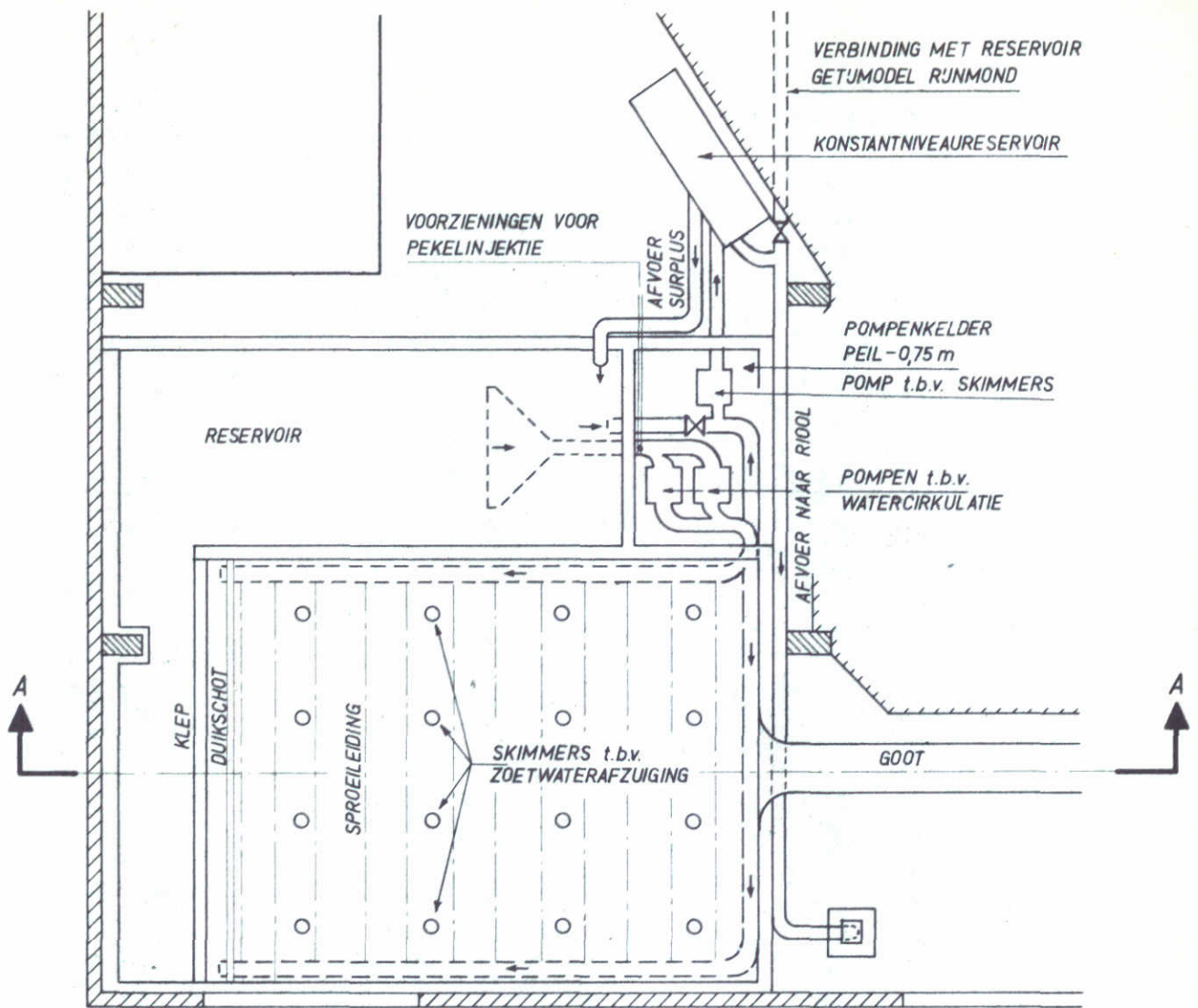
FIG. 19



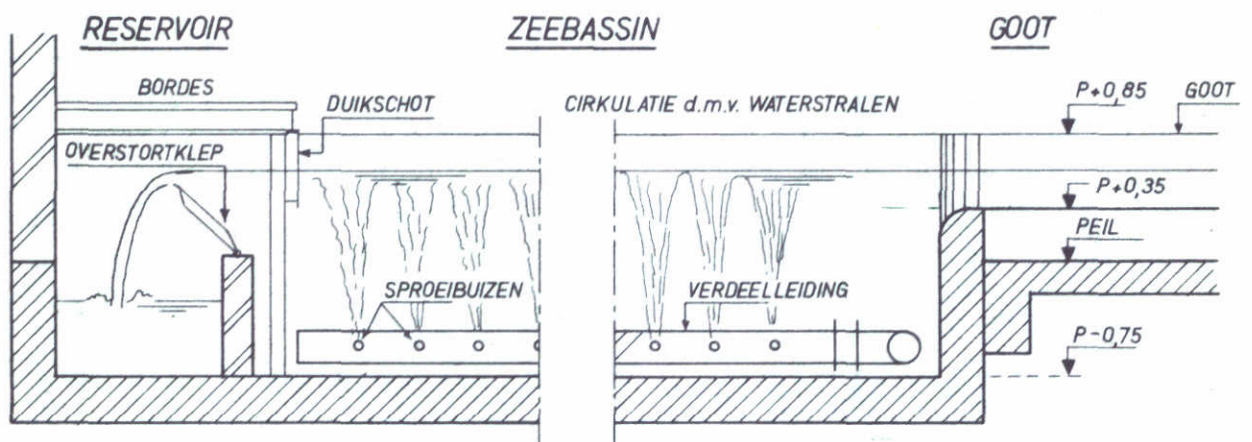
BOCHTKONSTRUKTIE i.v.m. LENGTEVERANDERING GOOT

W
K

A4



PLATTEGROND, SCHAAL 1:100



DOORSNEDE A-A, SCHAAL 1:50

WATERHUISHOUDINGSSYSTEEM ZEERAND

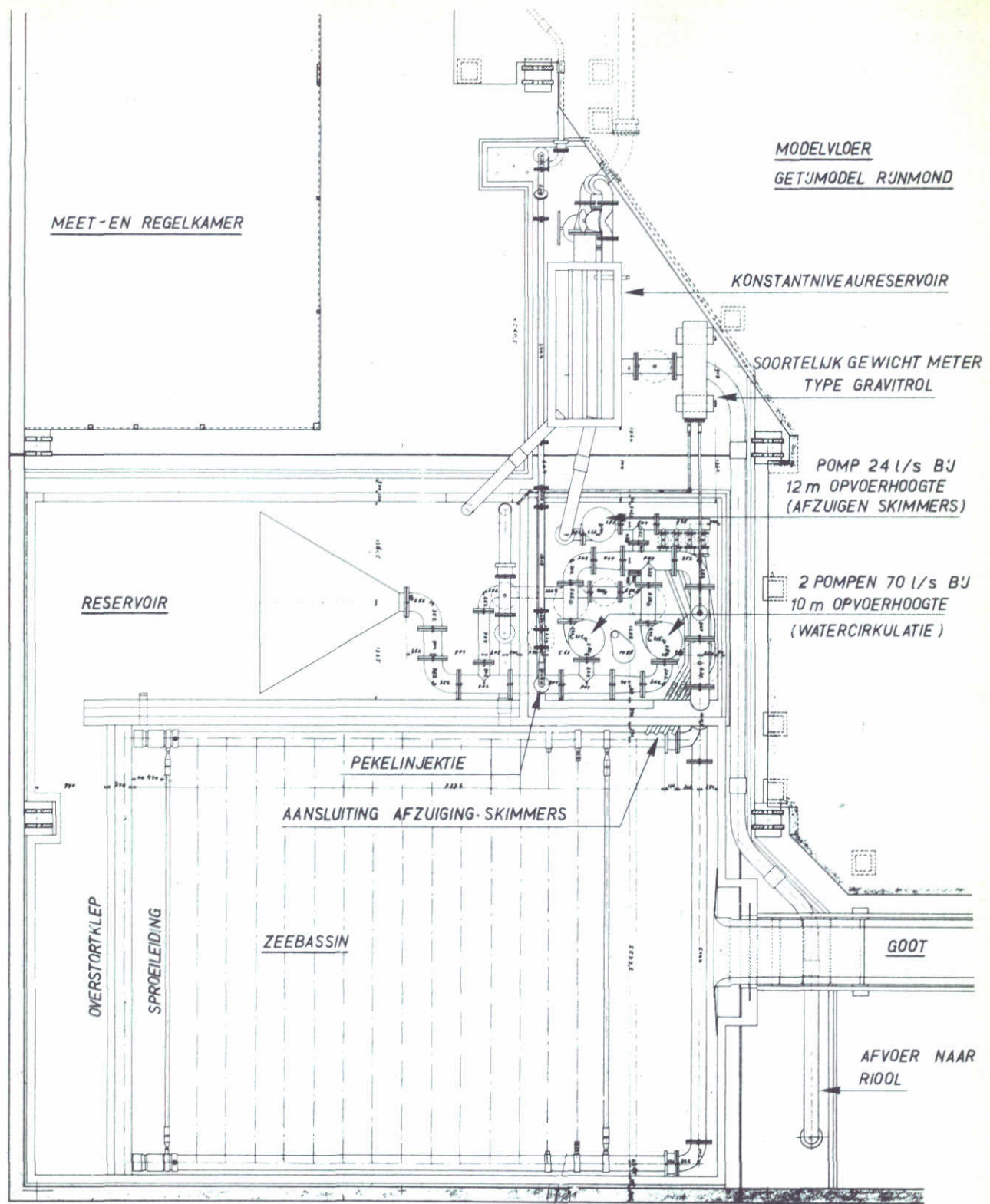
W
K

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896-2023

FIG. 21



KONSTRUKTIES ZEEBASSIN GETJGOOT

SCHAAL 1:80

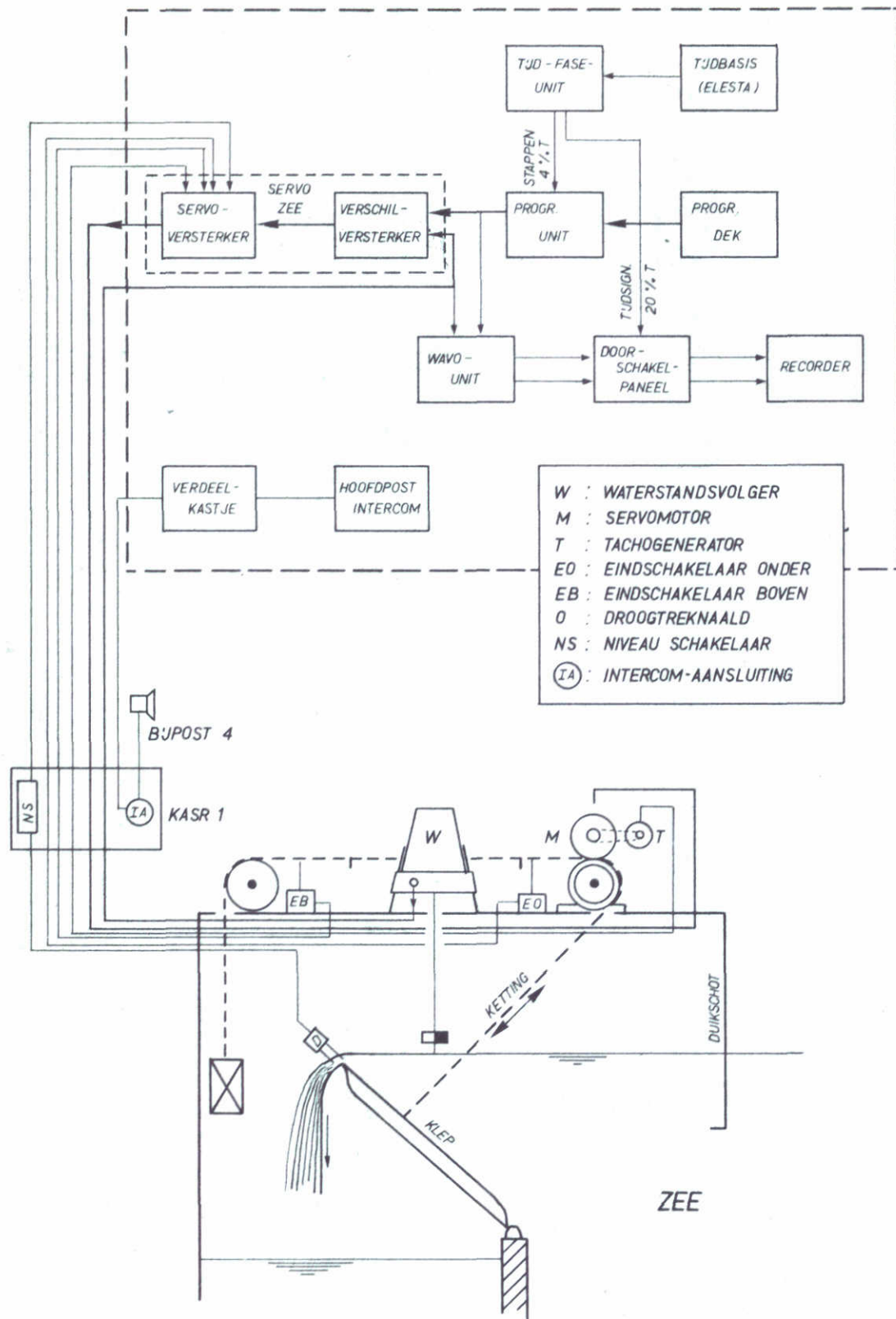
W
K

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896-2024

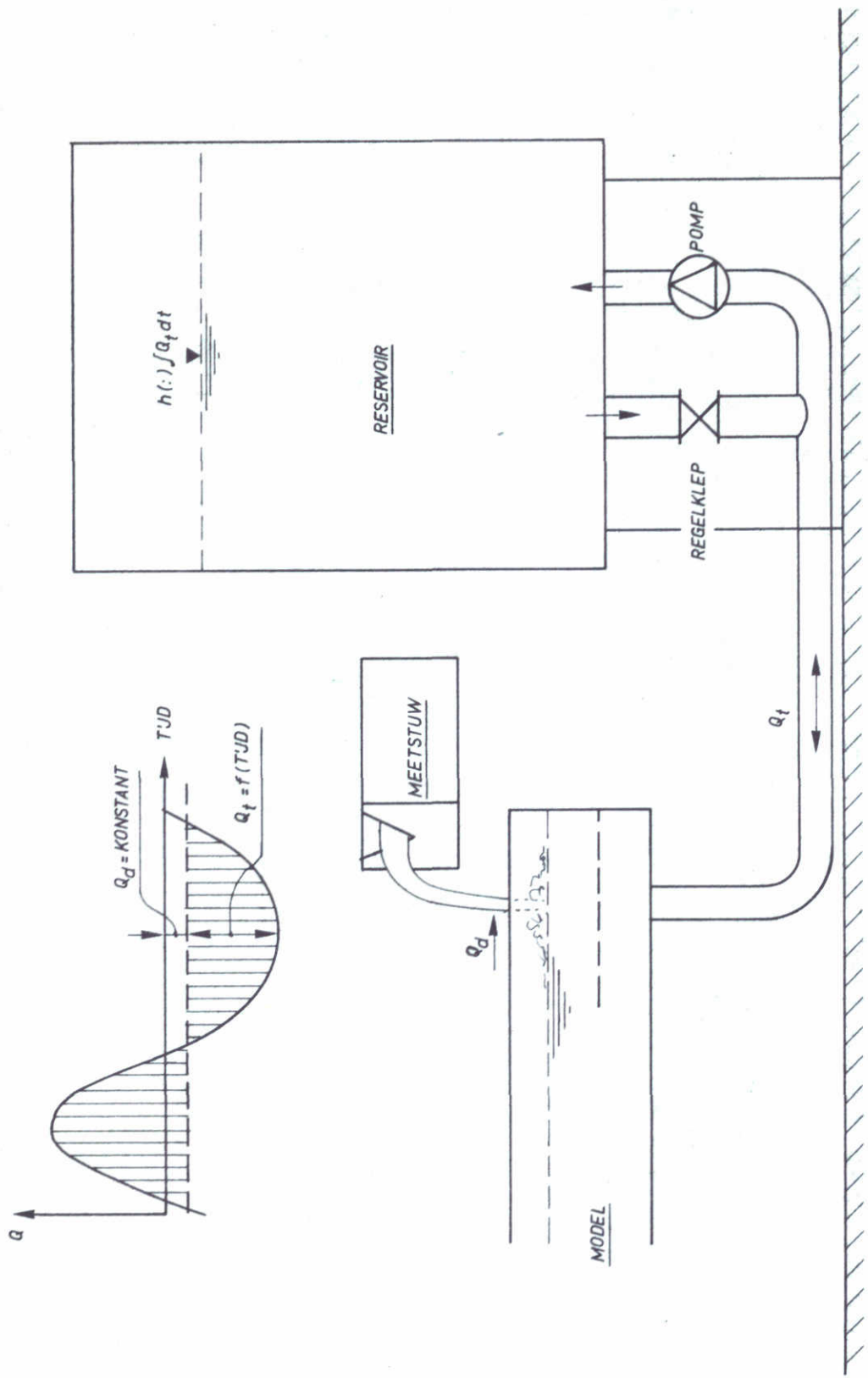
FIG. 22



REGELING NIVEAU IN ZEEBASSIN

W
K

A4

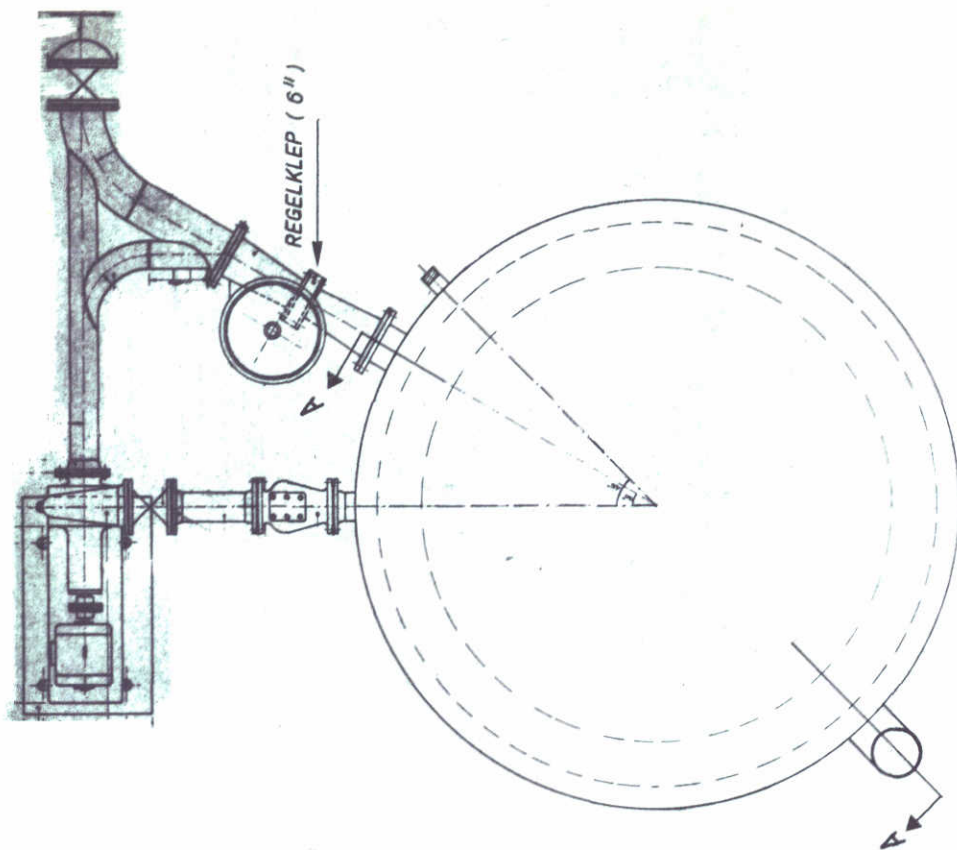


PRINCIPE DEBIETREGELING RIVIERRAND

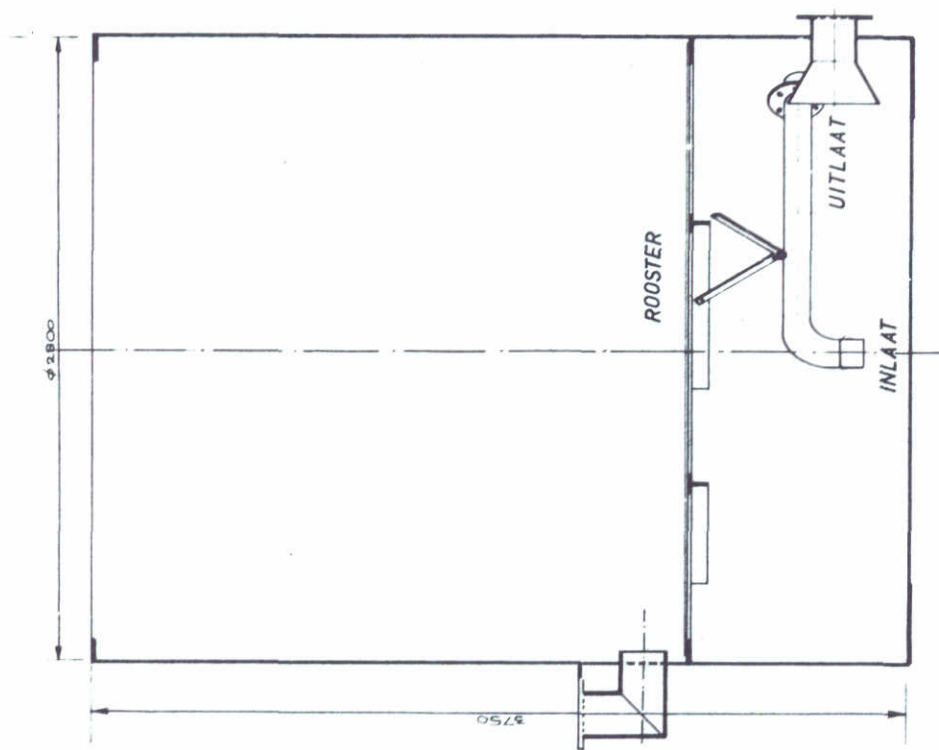
W_K

A4

POMP (30 l/s BIJ 3 m
OPVERHOOGTE)



WATERCIRKULATIESYSTEEM



DOORSNEDE GETJRESERVOIR (A-A)

KONSTRUKTIES GETJRESERVOIR

W_K

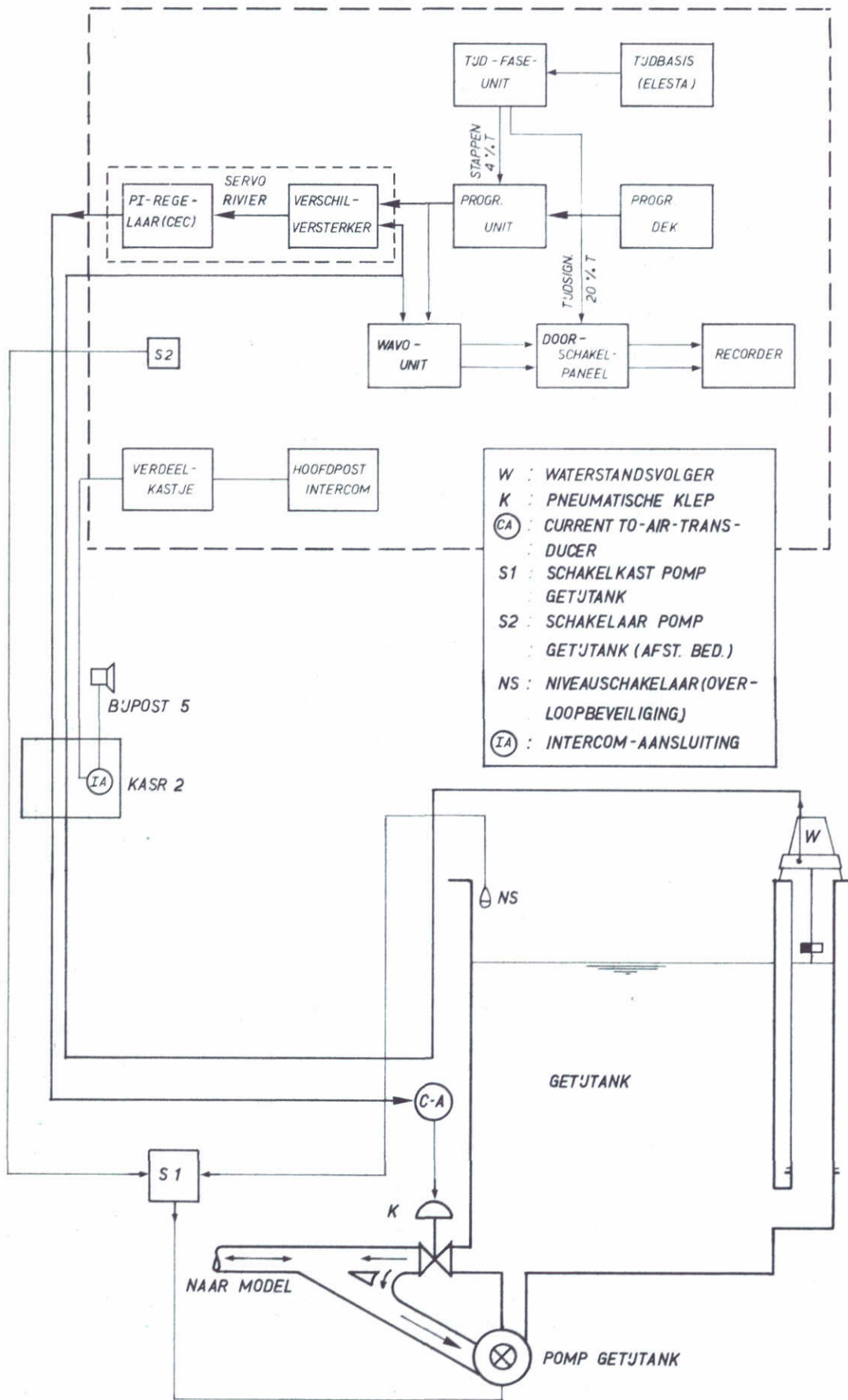
SCHAAL 1: 35

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

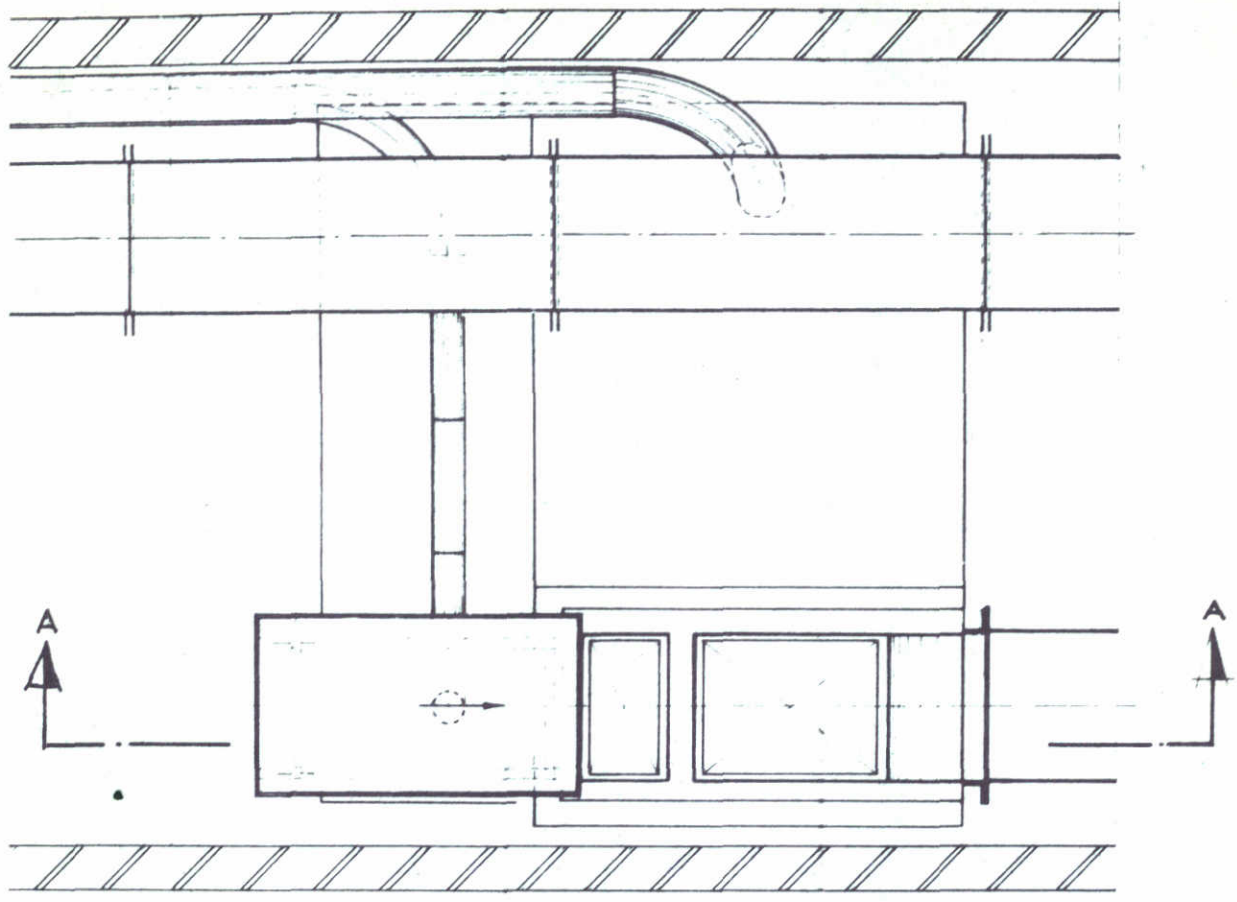
M.896 - 2027

FIG. 25

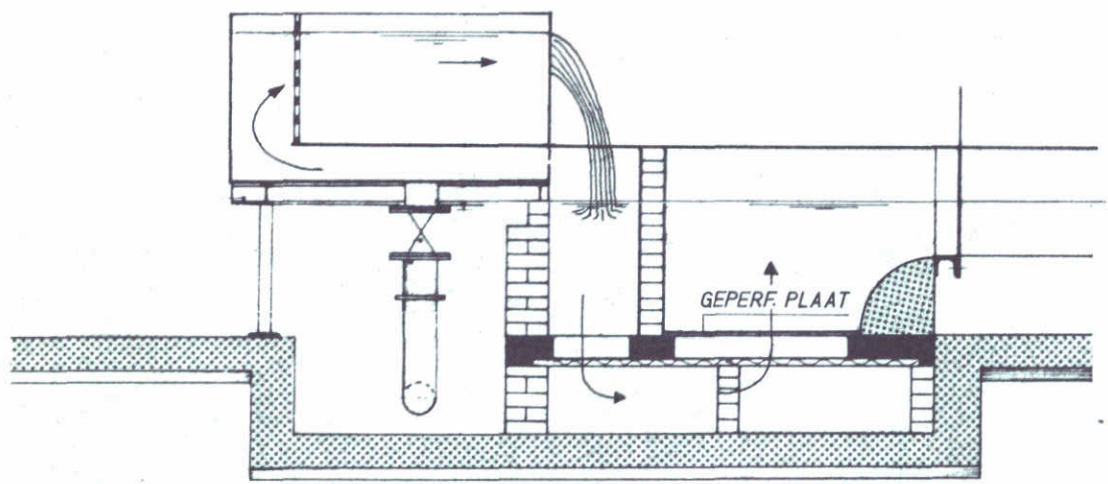


REGELING NIVEAU IN GETJTRESERVOIR

W
K
A4



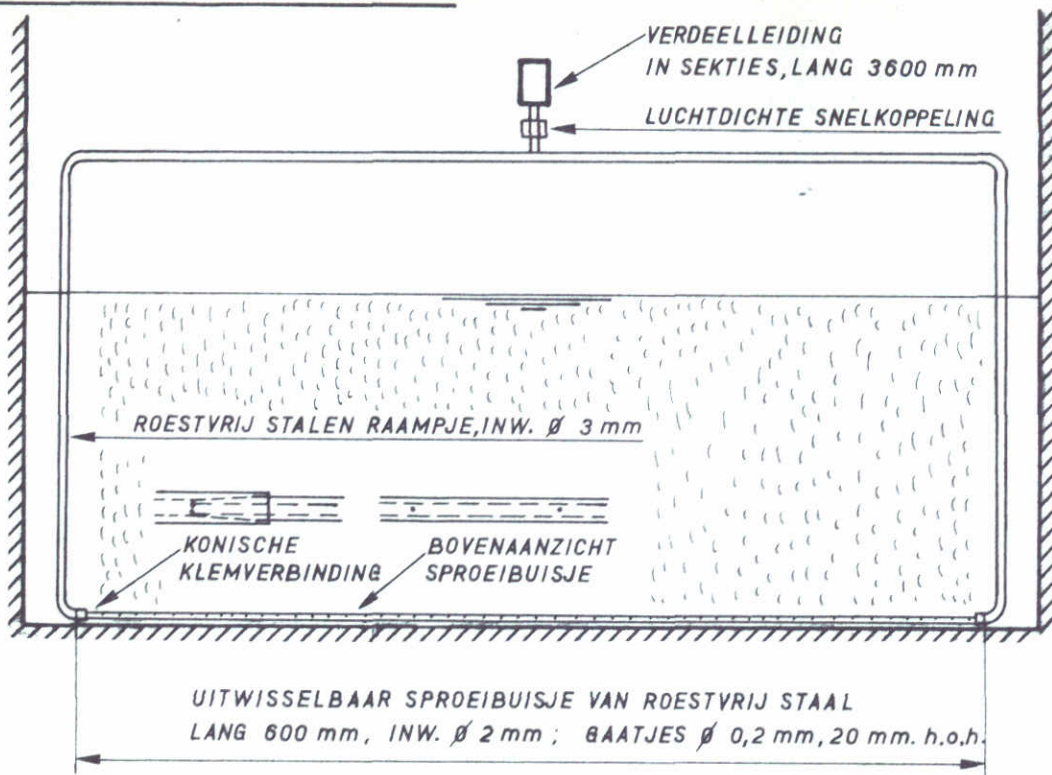
BOVENAANZICHT



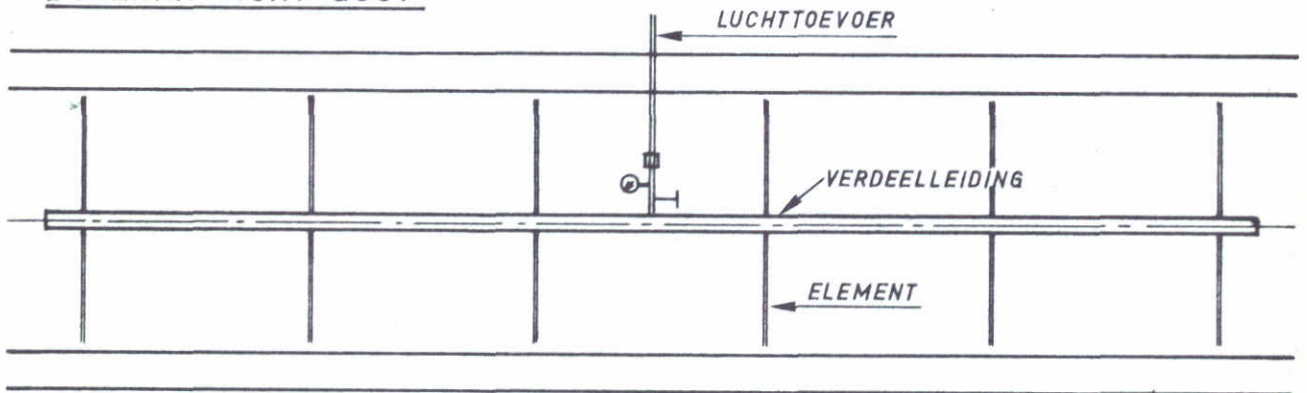
DOORSNEDE A - A

GOOTEINDE MET VOORZIENINGEN t.b.v. GETJ- EN RIVIERDEBIETTOEVOER	SCHAAL 1:35	W K
		A4
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M.896 - 2029	FIG. 27

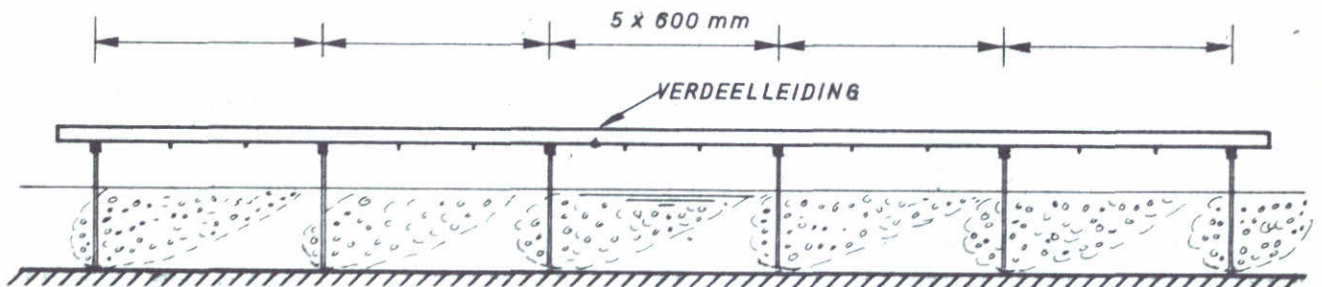
ELEMENT VOOR LUCHTINJEKTIE



BOVENAANZICHT GOOT



LANGSDOORSNEDE GOOT



ELEMENTEN 600 mm h.o.h., AANSLUITMOGELIJKHEID 200 mm h.o.h.

DETAILS LUCHTINJEKTIESYSTEEM

JM

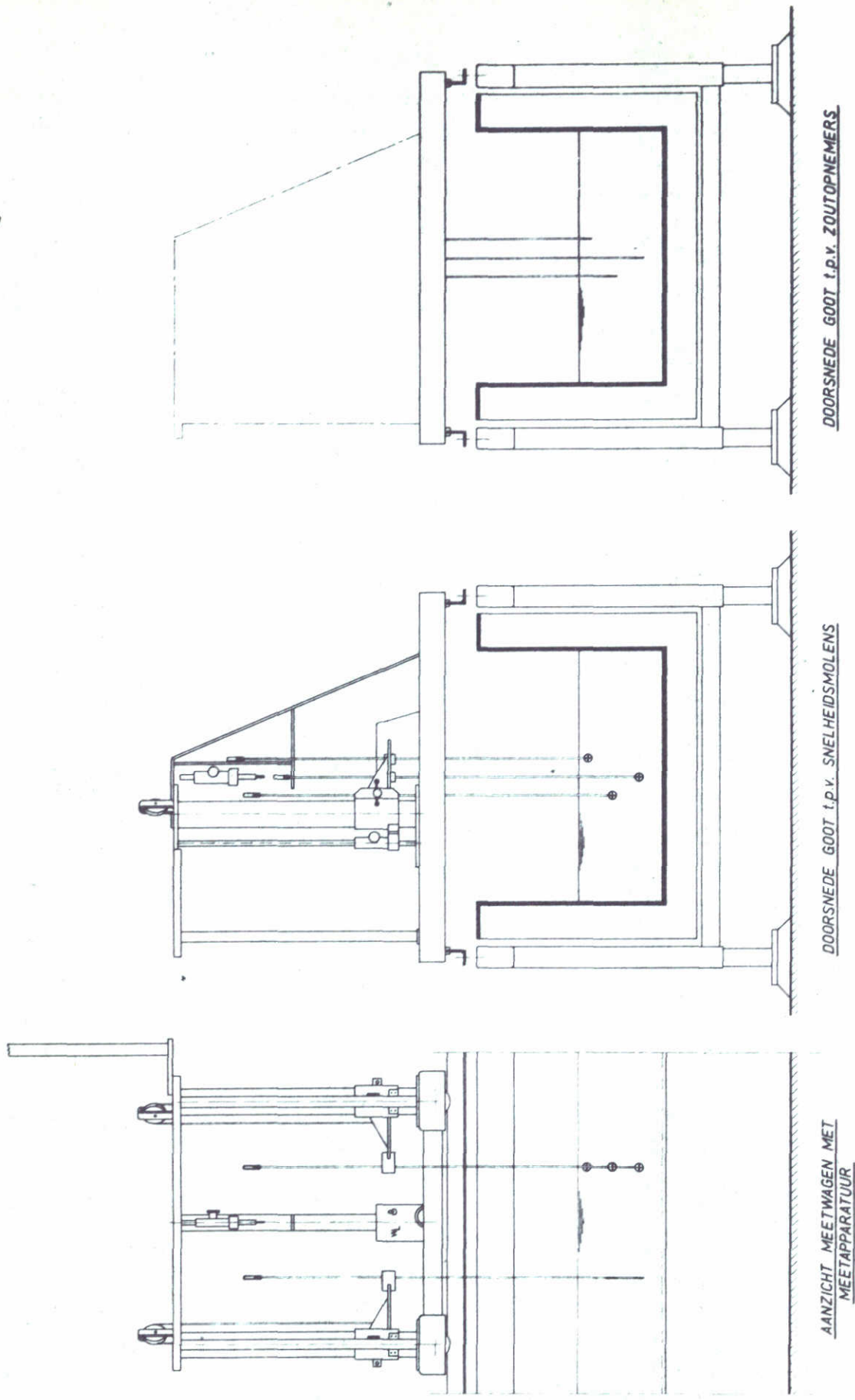
SCHALEN 1:5; 1:20

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896-2030

FIG.28



DOORSNEDE GOOT t.p.v. ZOUTOPNEMERS

DOORSNEDE GOOT t.p.v. SNELHEIDSMOLENS

AANZICHT MEETWAGEN MET MEETAPPARATUUR

OPSTELLING MET MEETWAGENS

j.w.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896 - 2031

FIG. 29

MEETPROGRAMMA GETIJGOOT M. 896

PROEFNUMMER T.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50																				
A	<p>GETIJAAMPLITUDE</p> <p>1. $A_0 = 1,00m$</p> <p>2. $A_0 = 0,80m$</p> <p>3. $A_0 = 0,60m$</p> <p>4. PROTOTYPE GETIJ</p> <p>B MIDDENSTANDVERHOOGING</p> <p>1. $Z = +0,00m$</p> <p>2. $Z = +2,00m$</p> <p>3. $Z = +4,00m$</p> <p>4. PROTOTYPE</p> <p>C RIVERDEBIET</p> <p>1. $475m^3/sec (Q_m = 985m^3/sec)$</p> <p>2. $949m^3/sec (Q_m = 2300m^3/sec)$</p> <p>3. $1899m^3/sec (Q_m = 5000m^3/sec)$</p> <p>4. PROTOTYPE</p> <p>D WATERDIEPTE</p> <p>1. $h = 14,80m$</p> <p>2. $h = 13,80m$</p> <p>3. $h = 12,80m$</p> <p>4. PROTOTYPE</p> <p>E ZOUTCONCENTR. ZEE</p> <p>1. $C = 0,4g/m^3$</p> <p>2. $C = 20,4g/m^3$</p> <p>3. $C = 25,4g/m^3$</p> <p>4. PROTOTYPE</p> <p>F KONDITIE ZEE</p> <p>1. GEEN MENGING</p> <p>2. MENGING</p> <p>3. MENGING + STROMING</p> <p>4. KONDITIE PROTOTYPE</p> <p>G EXTRA KOMBERGING</p> <p>1. GEEN EXTRA BERGING</p> <p>2. HAVENS</p> <p>3. HAVENS + BASSIN</p> <p>4. KONDITIE PROTOTYPE</p> <p>H WEERSTAND IN MODEL</p> <p>1. RIBBELS OP BODEN EN WANDEN</p> <p>2. VERT. WEERSTAND STAAFJES</p> <p>3. HOR. WEERSTAND STAAFJES</p> <p>4. STAAFJES BIJZONDERE VORM</p> <p>J MENGING IN MODEL</p> <p>1. GEEN EXTRA MENGING</p> <p>2. LUCHTBELLEN</p> <p>3. ROERDERS</p> <p>4. VIBRATOREN</p>																																																																					
K	I t/m IV VERGELIJKEND ONDERZOEK RUWHEID EN MENGING										V IJ KING RUWHEID EN MENGING										VI IJ KING KONDITIE ZEE										VII VAR. ZOUT-CONCENTR.										VIII VAR. ALGEMEEN PROGRAMMA VAR. GETIJ, RIV. DEBIET, WATERDIEPTE										IX EXTREME OMSTANDIGH.										X KOMBERGING EN UITWISSELING DOOR HAVENS EN BASSINS									
L	TIJDSHEMA, WEEK NO.																																																																					

EERSTE OPZET MEETPROGRAMMA GETIJGOOTONDERZOEK

LWK

MES

HWK

MVS

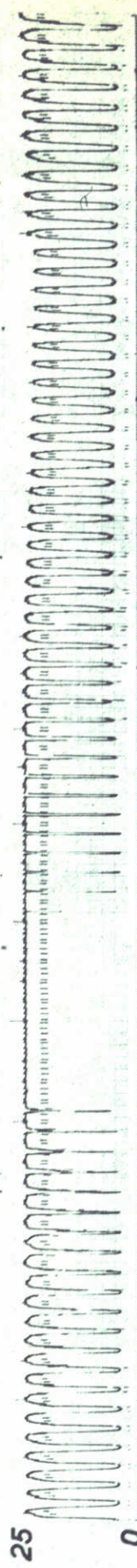


FIG. a REFERENTIEPROEF (T3) GEEN LUCHTINJEKTIE

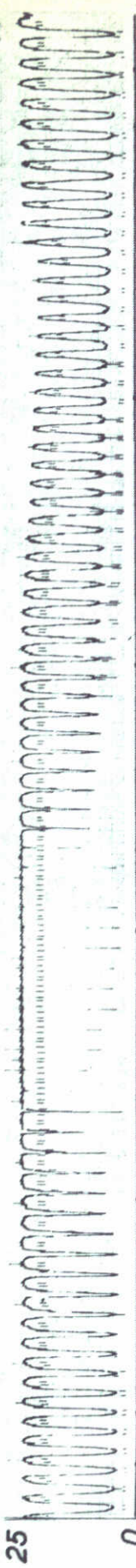


FIG. b 20 cc LUCHT/m²s IN GOOT, GEEN LUCHT IN ZEE

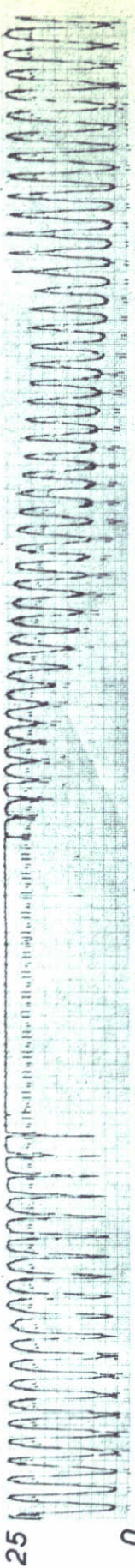


FIG. c 40 cc LUCHT/m²s IN GOOT, GEEN LUCHT IN ZEE

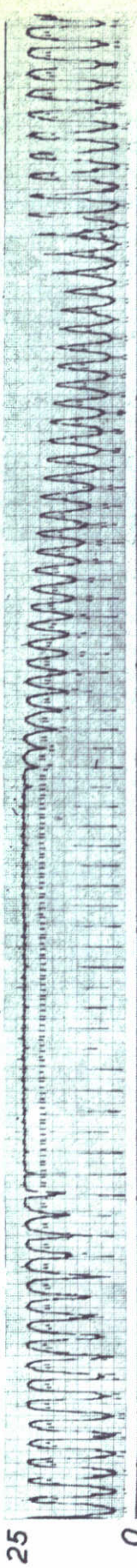


FIG. d 60 cc LUCHT/m²s IN GOOT, GEEN LUCHT IN ZEE

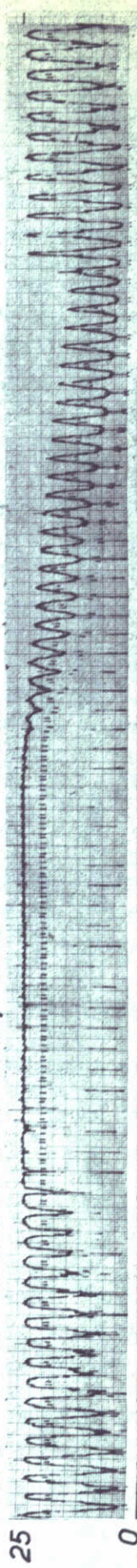


FIG. e 80 cc LUCHT/m²s IN GOOT, GEEN LUCHT IN ZEE

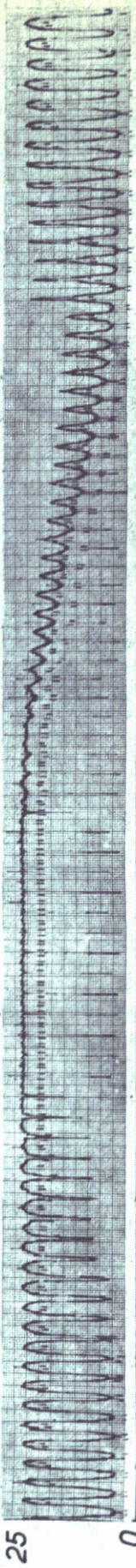


FIG. f 100 cc LUCHT/m²s IN GOOT, GEEN LUCHT IN ZEE

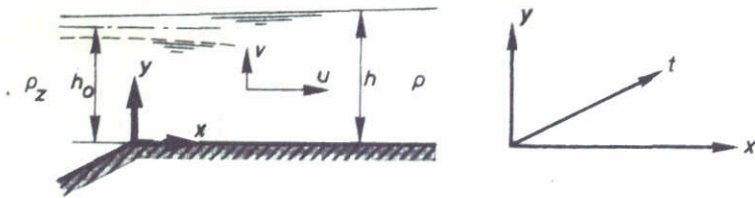
→ t/0,04T

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25

KONDTIE MOND BIJ VARIATIE LUCHTDEBIET IN GOOT
 REGISTRATIES OP EN NEER GAANDE ZOUTOPNEMER IN XΔX=0,5

W_K
 A 4

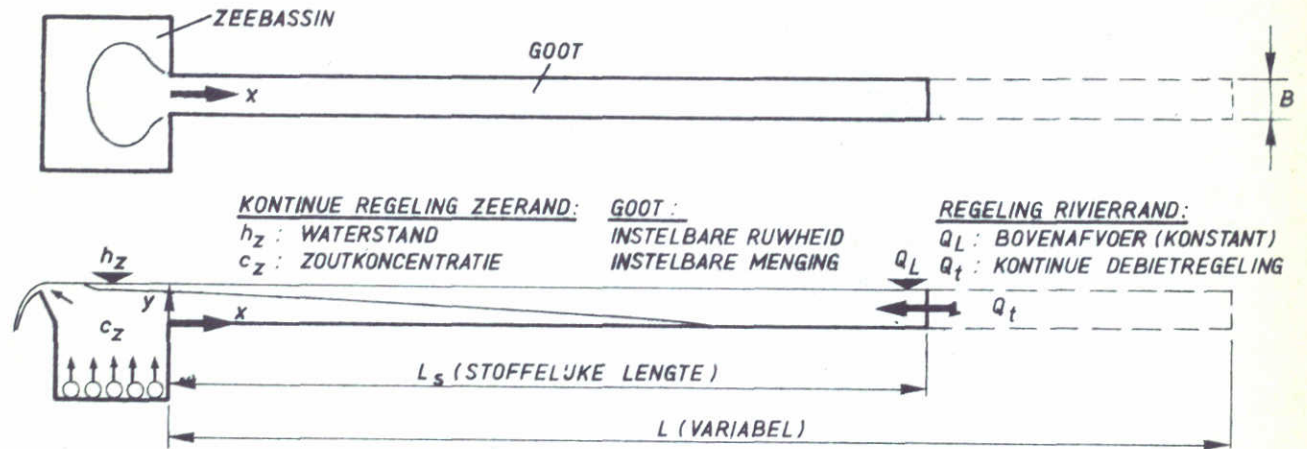
SCHEMATISATIE PROTOTYPEPROBLEEM



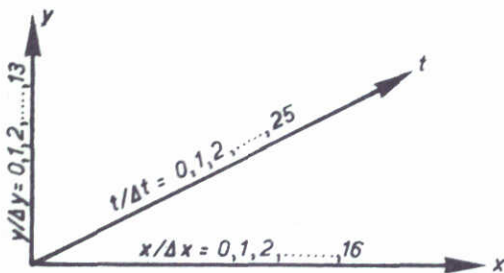
SCHEMATISATIE TOT TWEEDIMENSIONALE NIET-HOMOGENE GETJBEWEGING

$$\begin{aligned}
 h &= f(x, t) \\
 u &= f(x, y, t) \\
 v &= f(x, y, t) \\
 \rho &= f(x, y, t)
 \end{aligned}$$

GETJMODEL GESCHEMATISEERD ESTUARIUM



SCHEMA BEMONSTERING



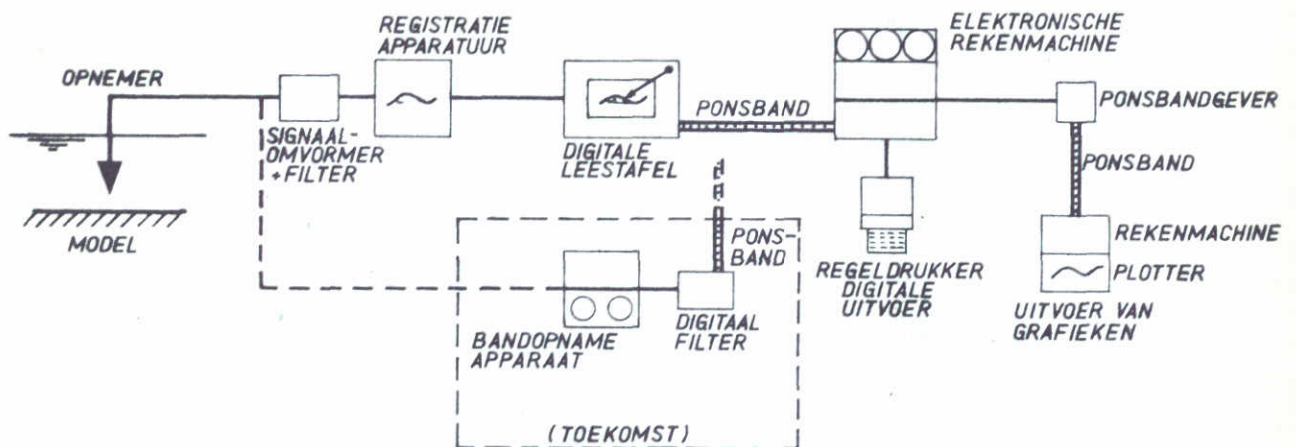
METEN VAN :

- $h f(x, t)$ WATERHOOGTE
- $u f(x, y, t)$ HOR. SNELHEID
- $\rho f(x, y, t)$ DICHTHEID

GEKOZEN MEETAFASTANDEN :

- $\Delta x = 3,65 \text{ m}$ (2340m PROTOTYPE)
- $\Delta y = 0,077 h_0$ (ORDE 1m PROTOTYPE)
- $\Delta t = 0,04 T$ (ORDE 1/2 uur PROTOTYPE)

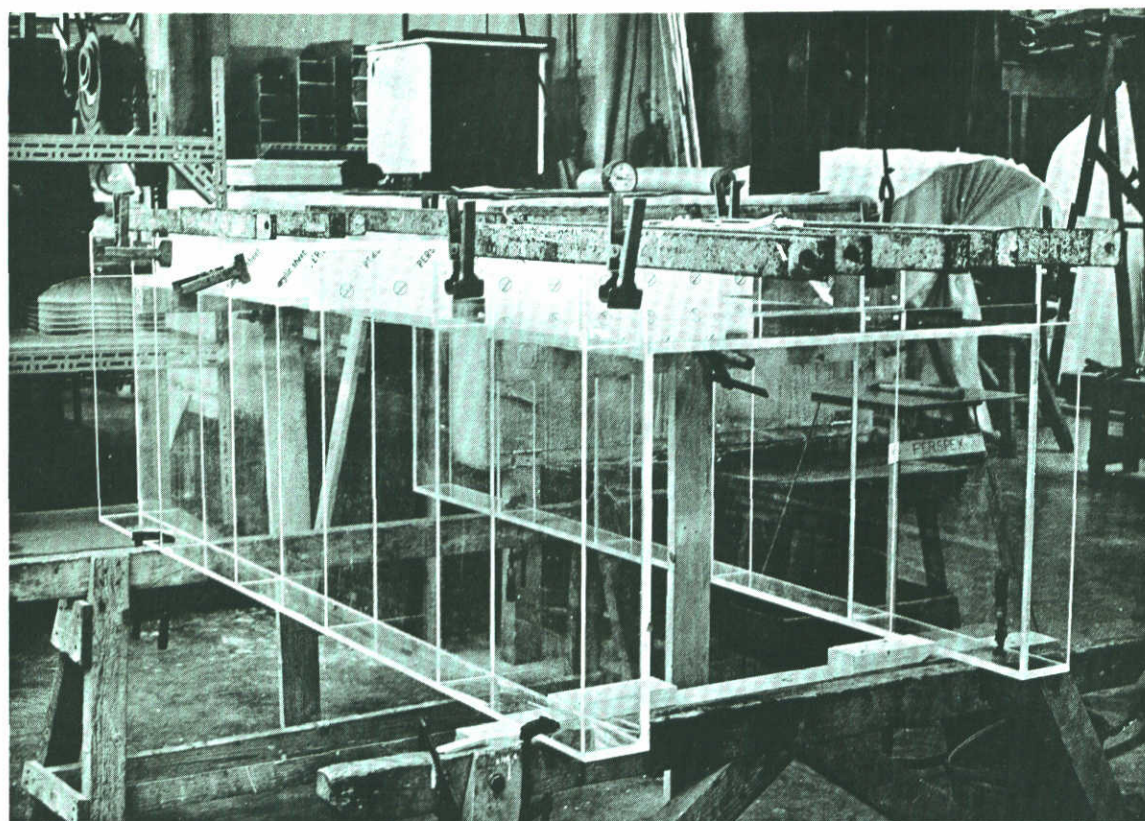
SCHEMA VERWERKING MEET- EN REKENRESULTATEN



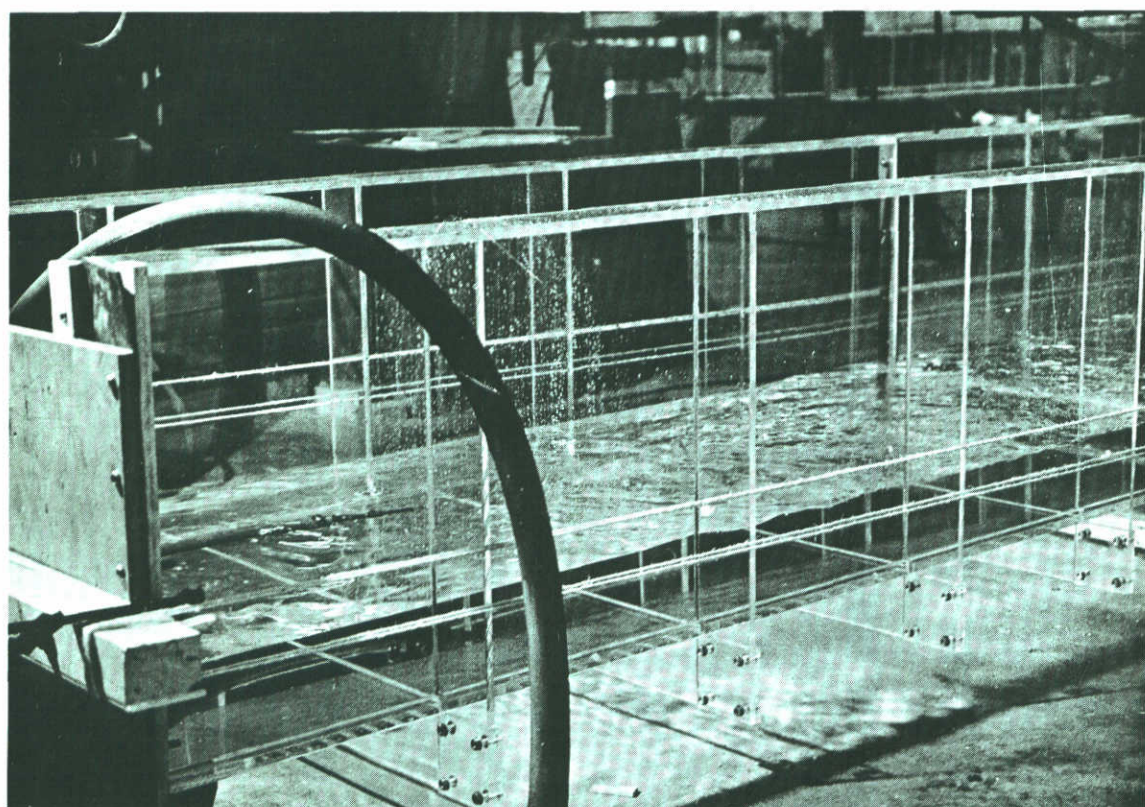
SAMENVATTING OPZET GETJGOOTONDERZOEK

j.w.

A4

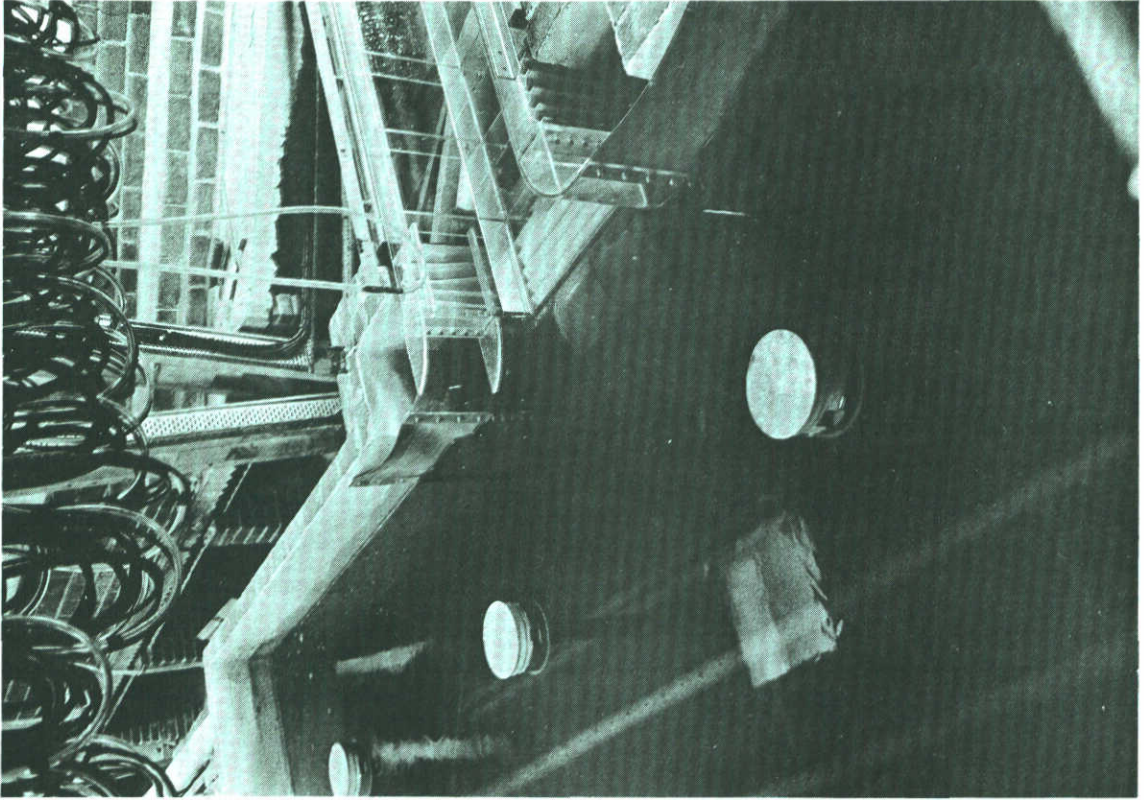


GOOTSEKTIE IN DE LIJMTANGEN

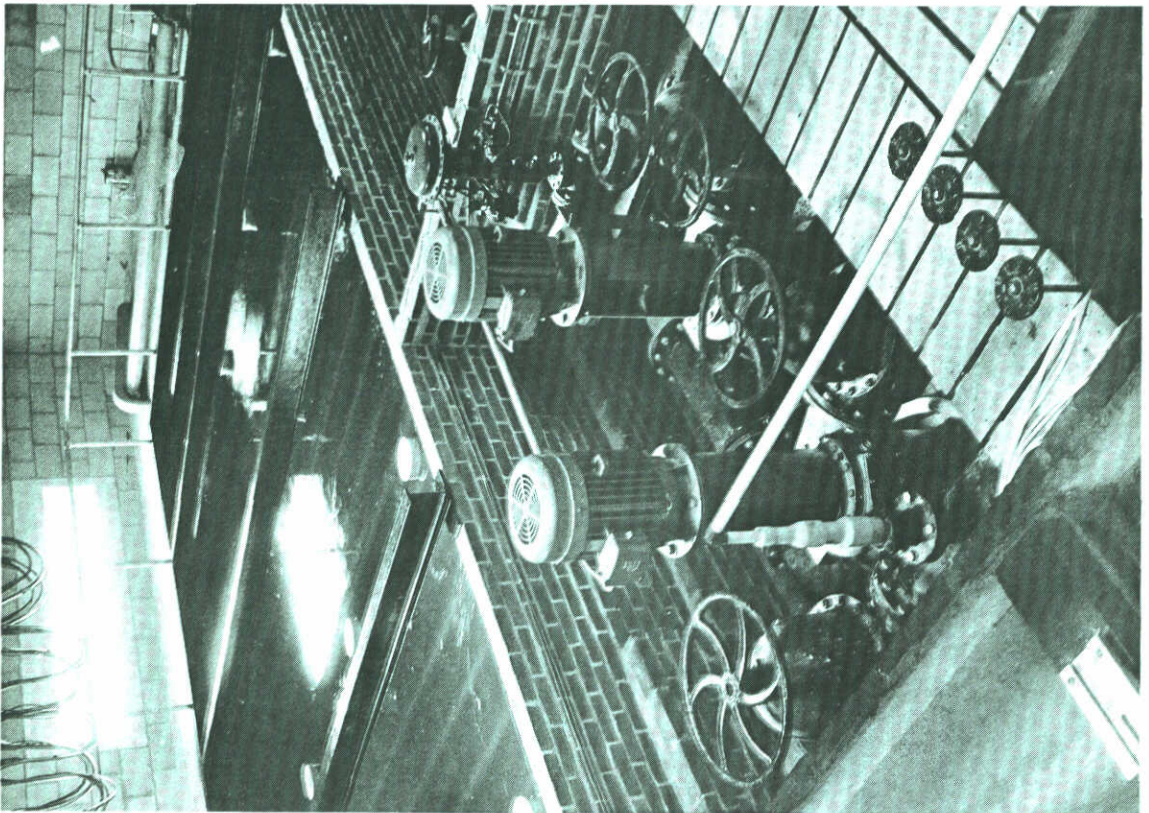


PROEFBELASTING GOOTSEKTIE

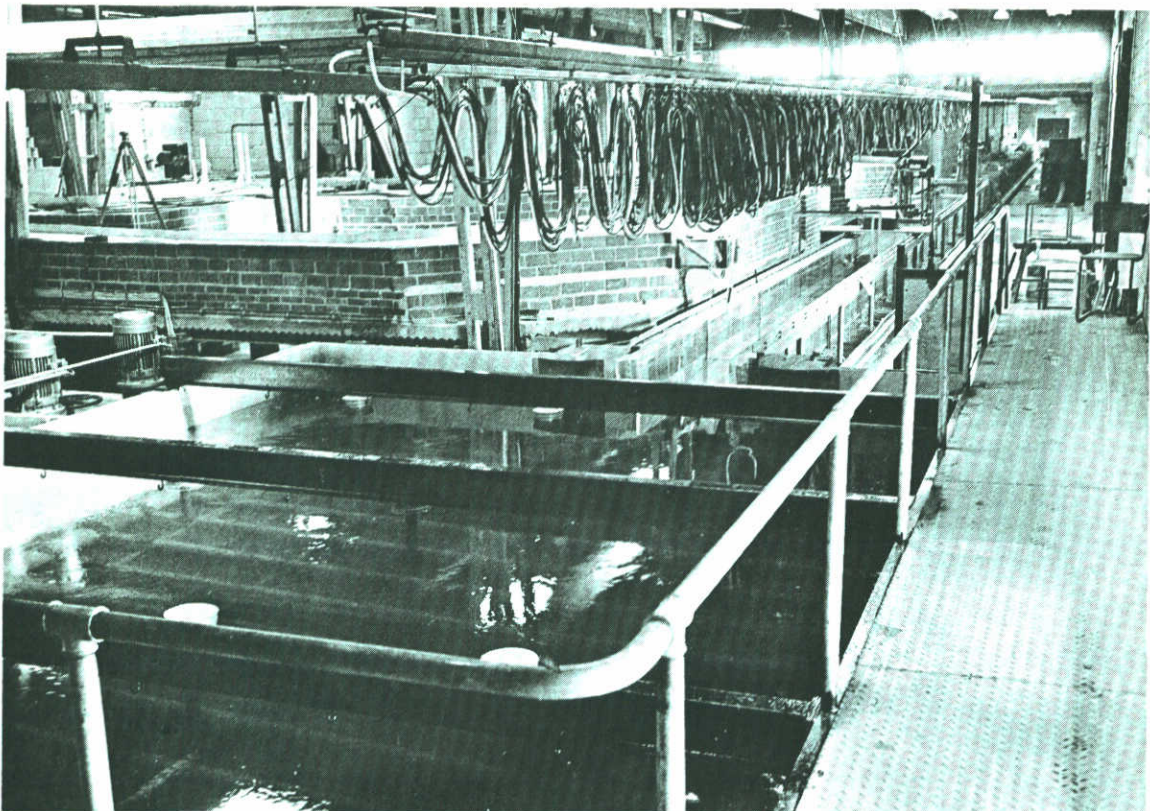
1. FABRIKAGE PERSPEX GOOT



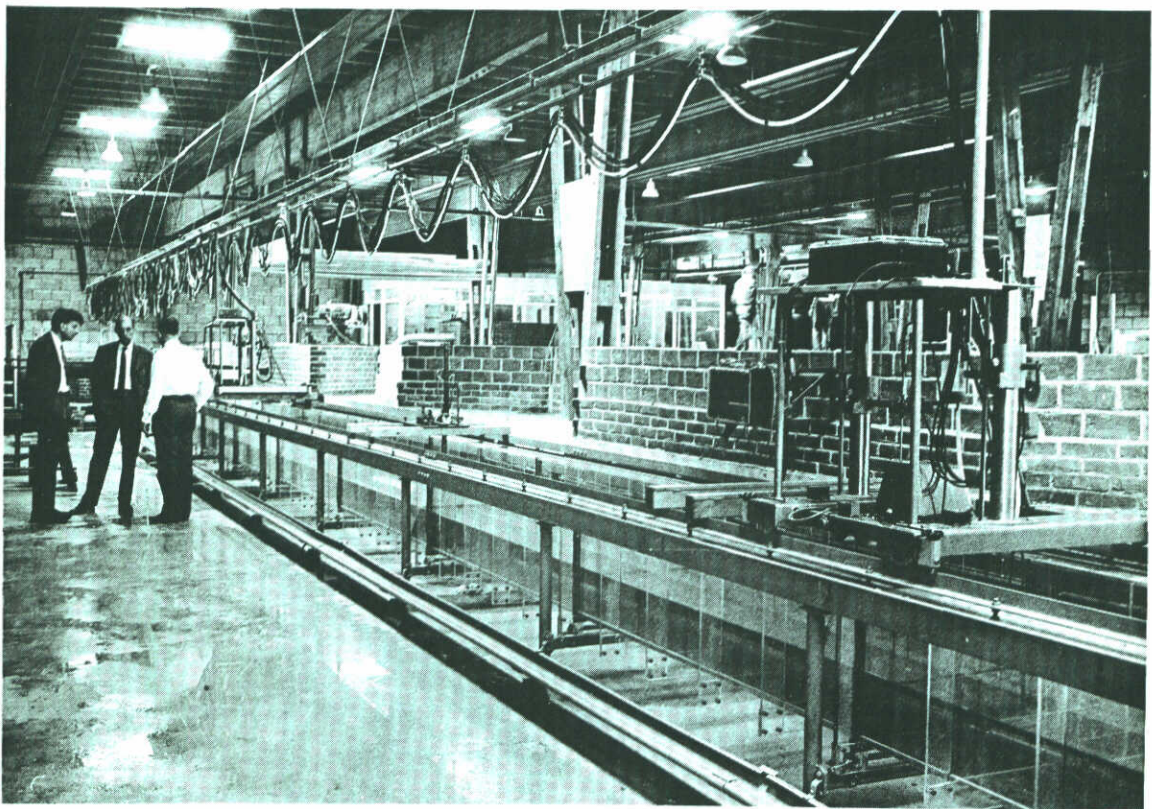
DETAIL AANSLUITING GOOT



OVERZICHT VANAF DE POMPENKELDER

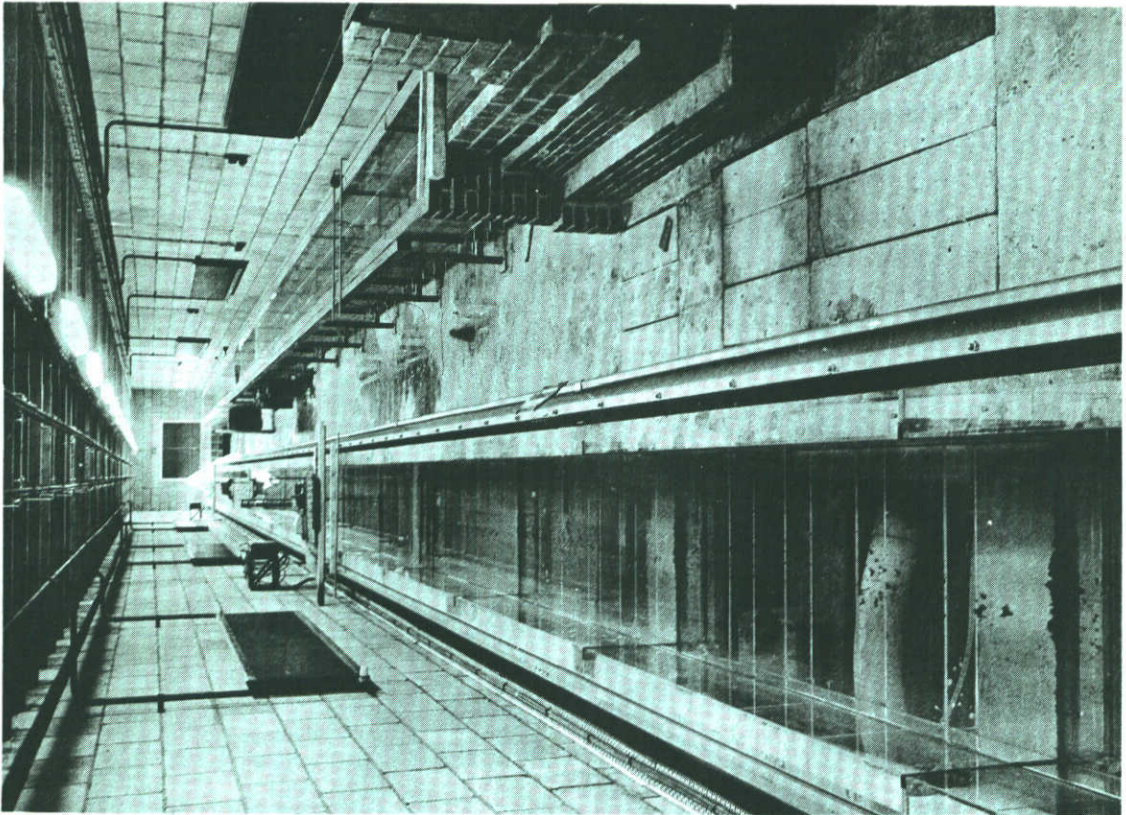


OVERZICHT GOOT VANAF ZEEBASSIN

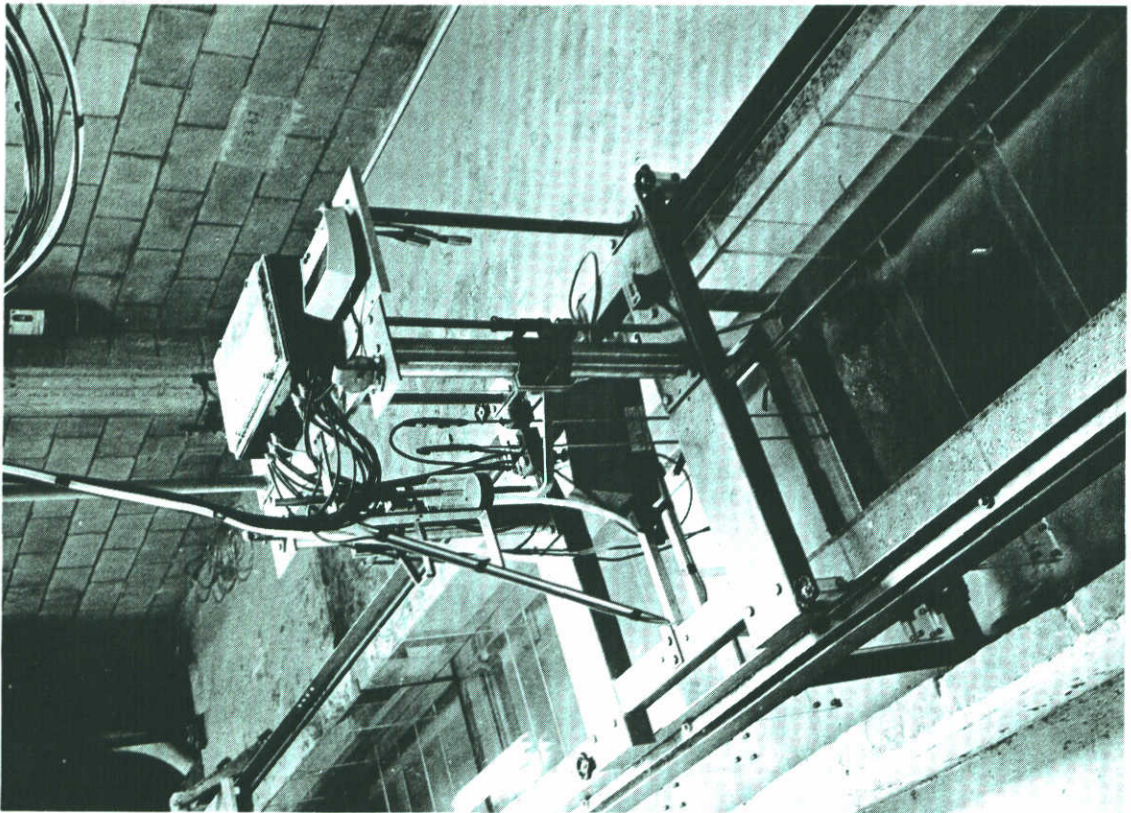


OVERZICHT GOOT RICHTING ZEEBASSIN

3. OVERZICHT GETIJGOOTOPSTELLING

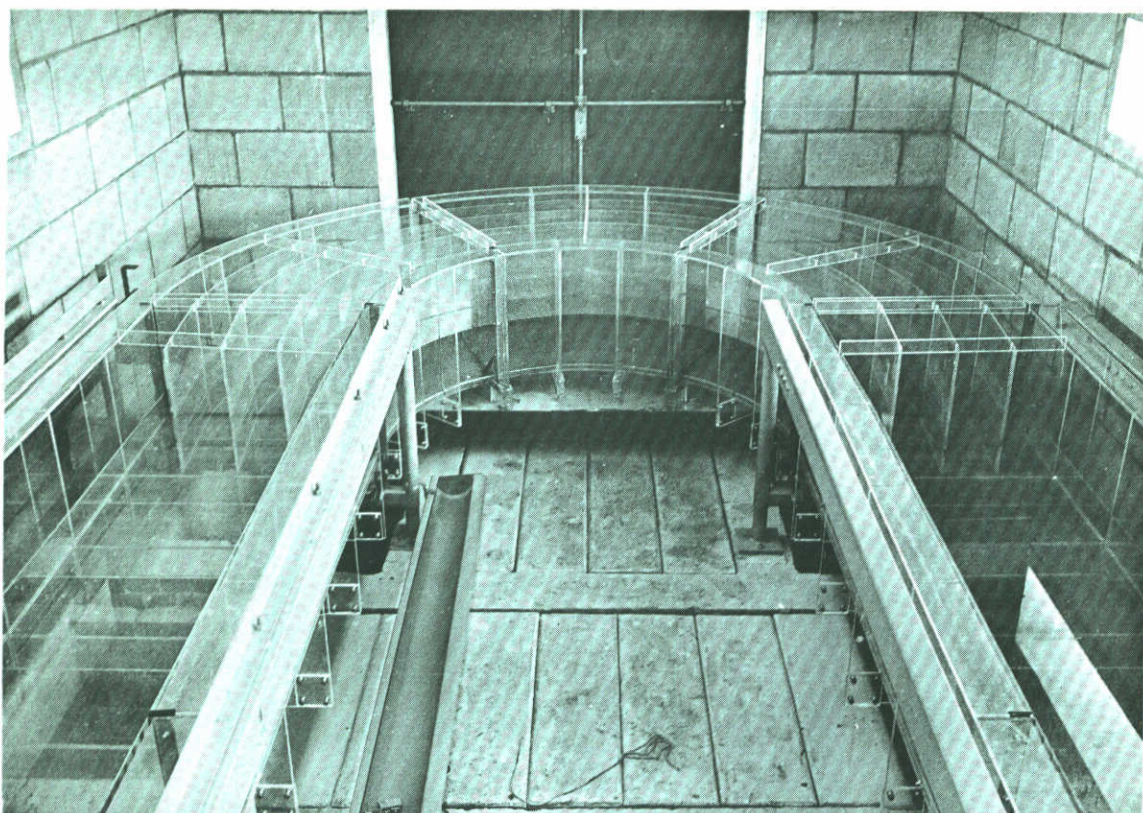


OVERZICHT RICHTING BOCHTSTUK

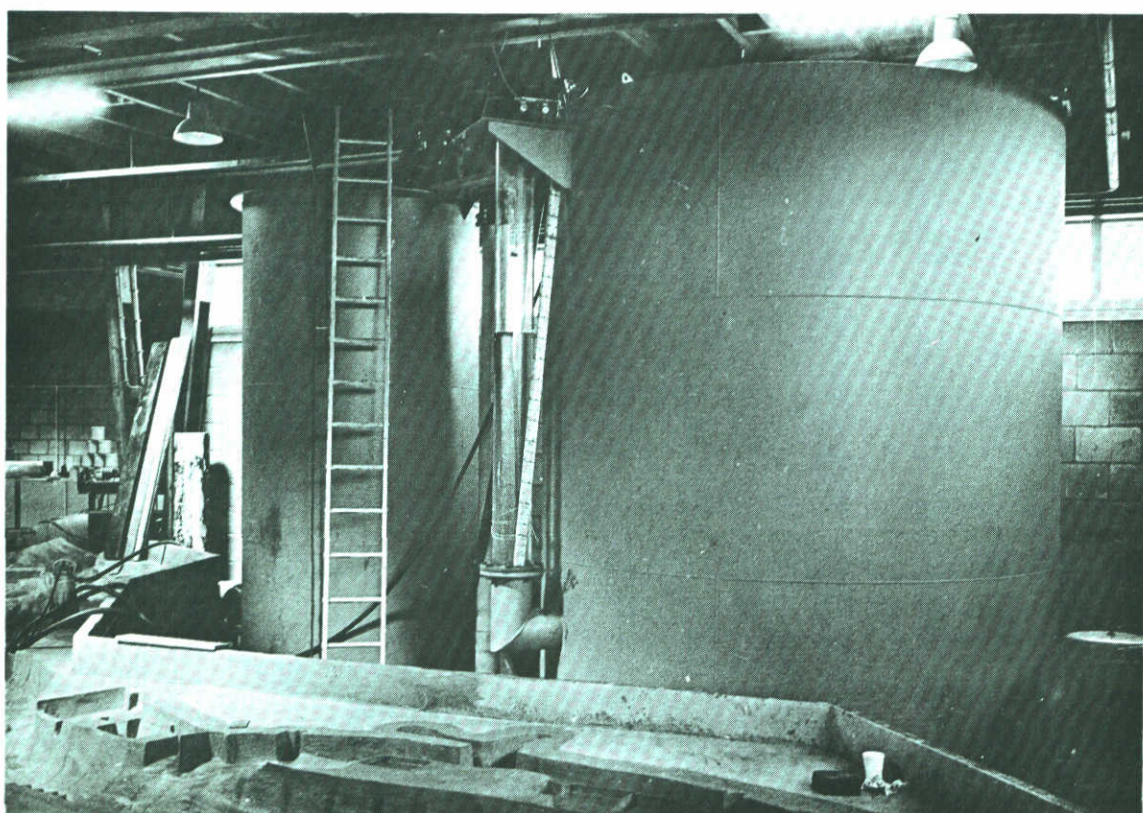


OVERZICHT MEETWAGEN

4. OVERZICHT GOOTOPSTELLING

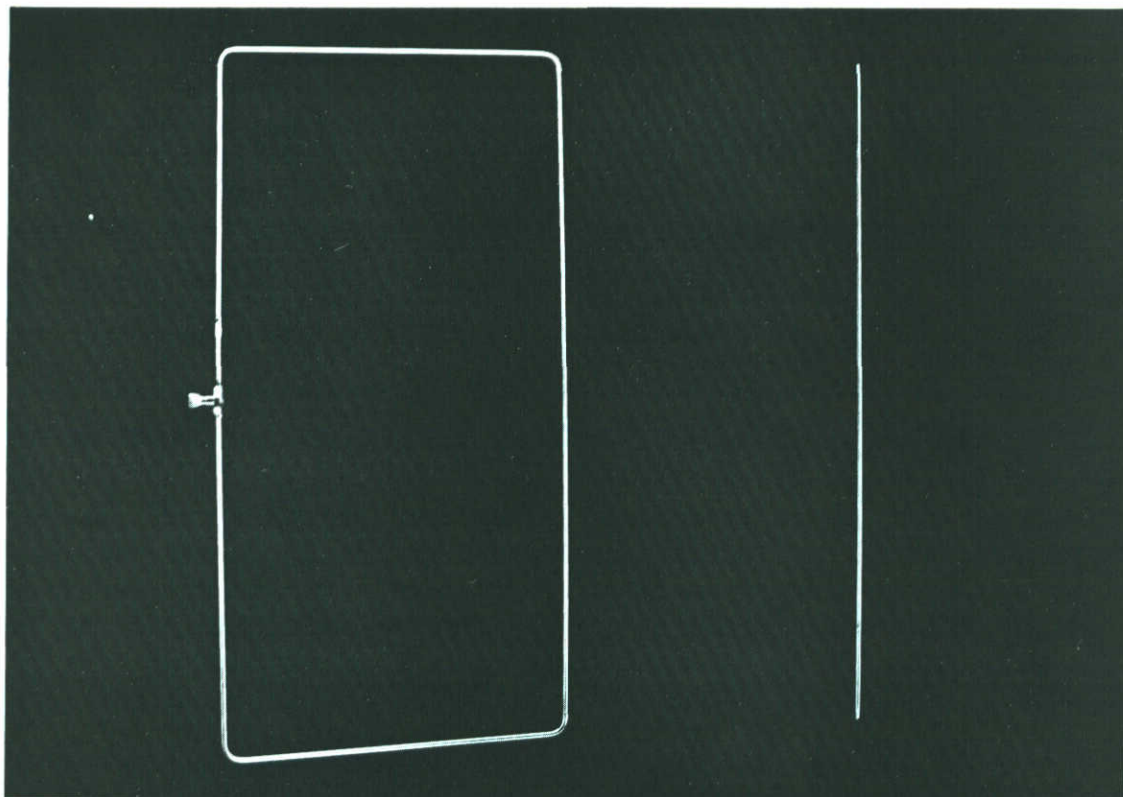


OVERZICHT BOCHTSTUK

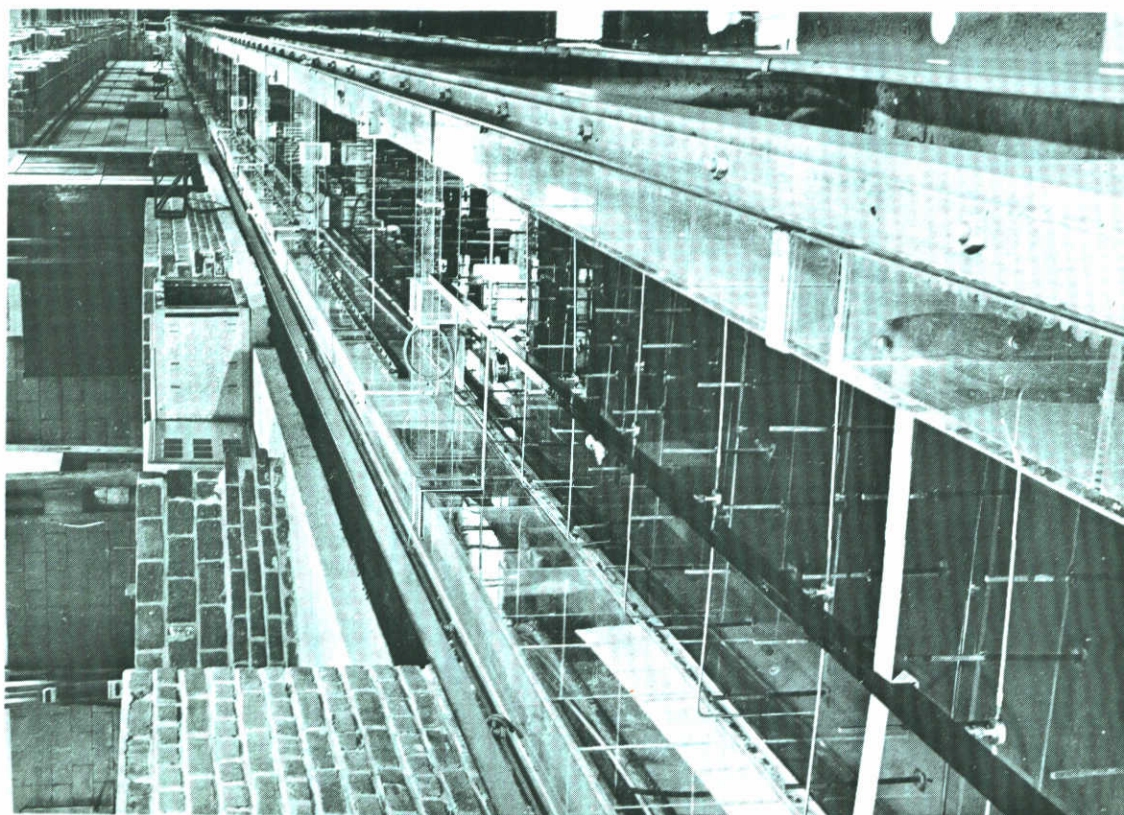


GETIJRESERVOIR EN BUFFERTANK

5. OVERZICHT GETIJGOOTVOORZIENINGEN

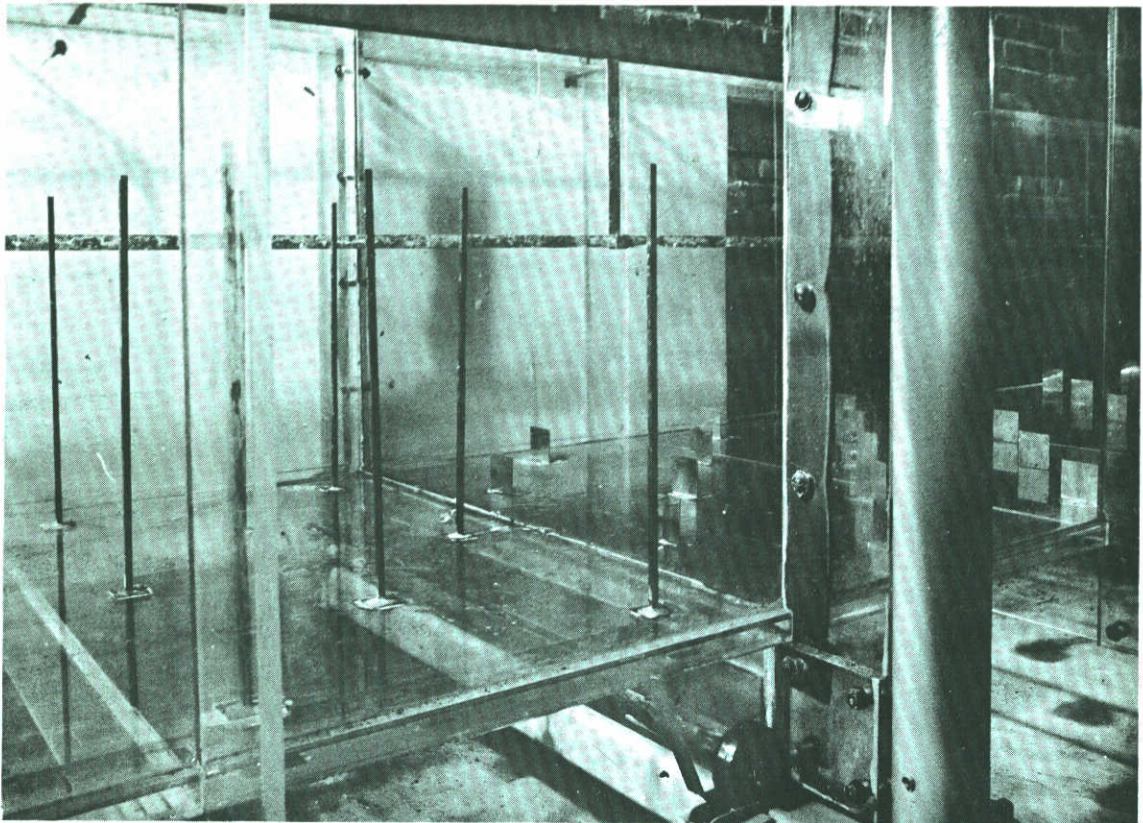


ELEMENT VOOR LUCHTINJEKTIE

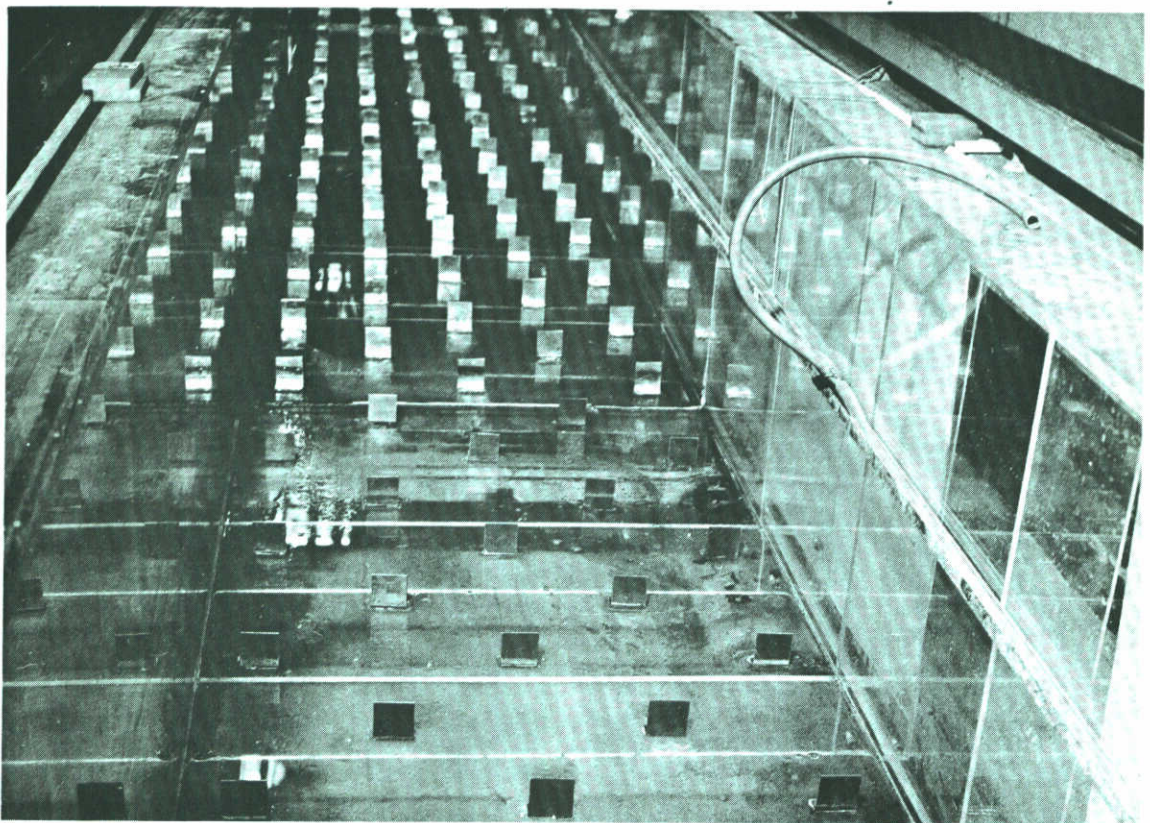


OPSTELLING IN GETIJDGROOT

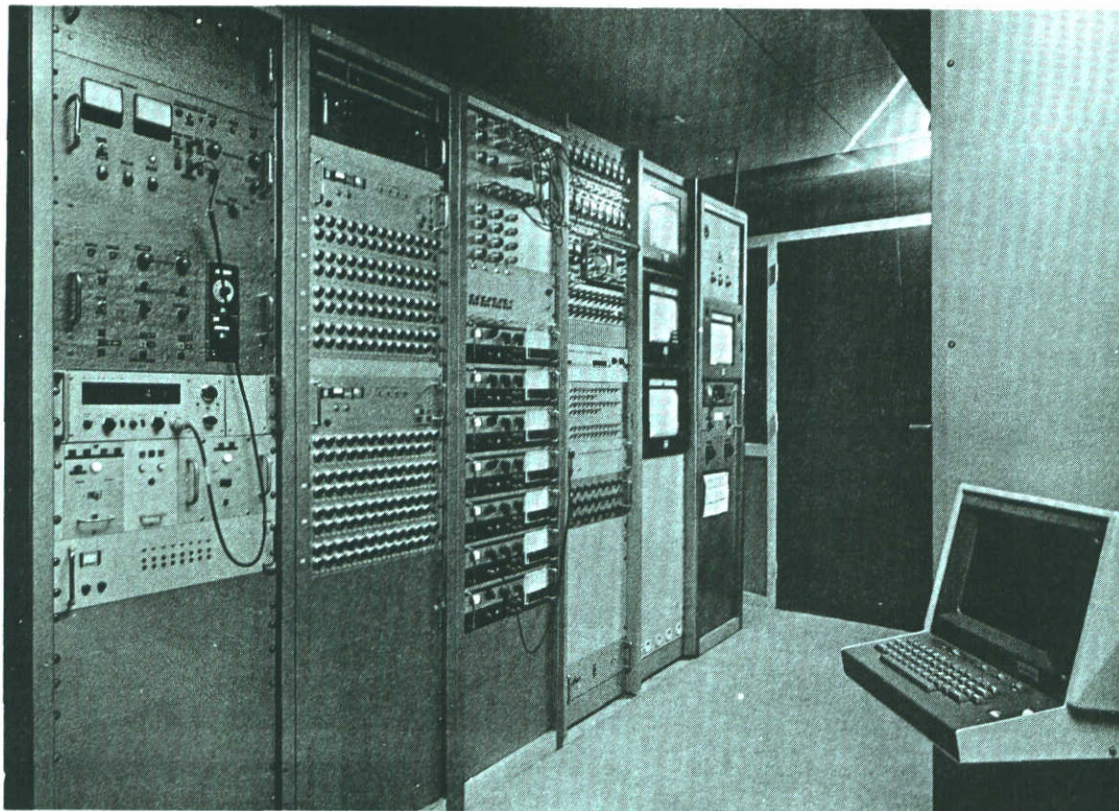
6. LUCHTINJEKTIESYSTEEM



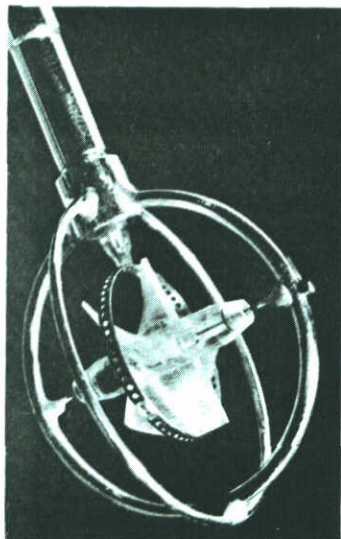
WEERSTANDSSTAAFJES, DAARNAAST PLAATJES



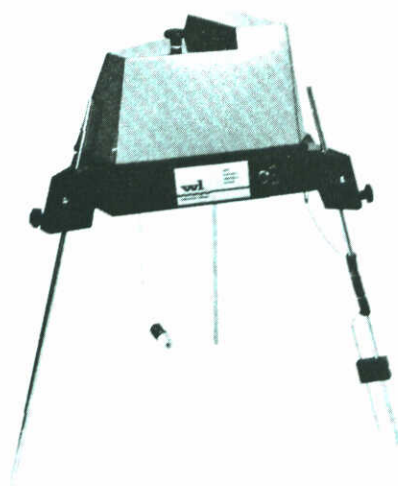
WEERSTANDSPLAATJES OP DE BODEM



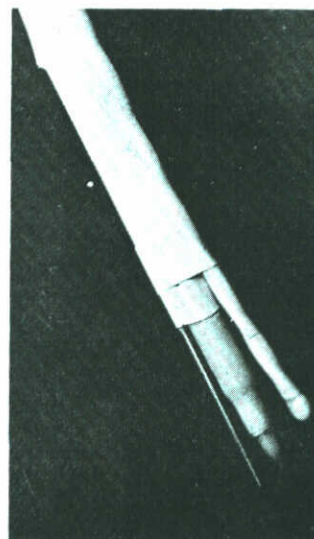
OVERZICHT MEET- EN REGELKAMER



SNELHEIDSMETER

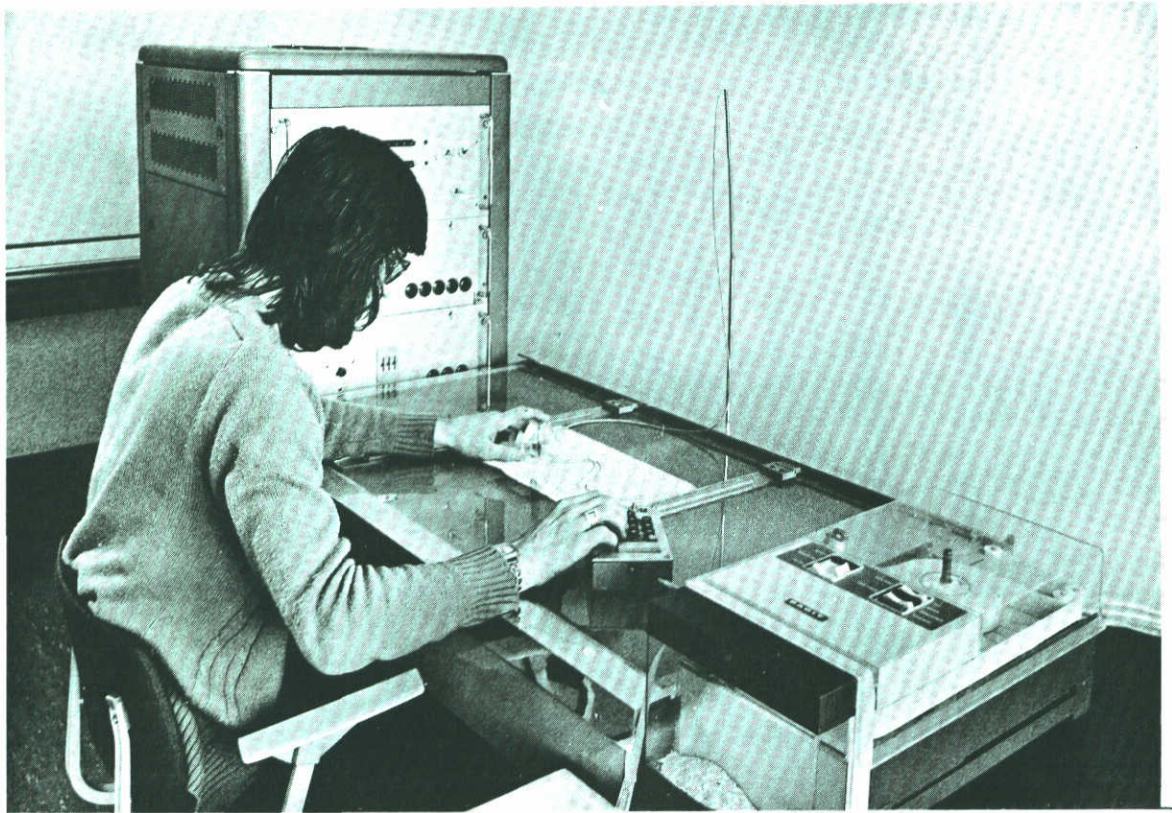


WATERHOOGTEMETER

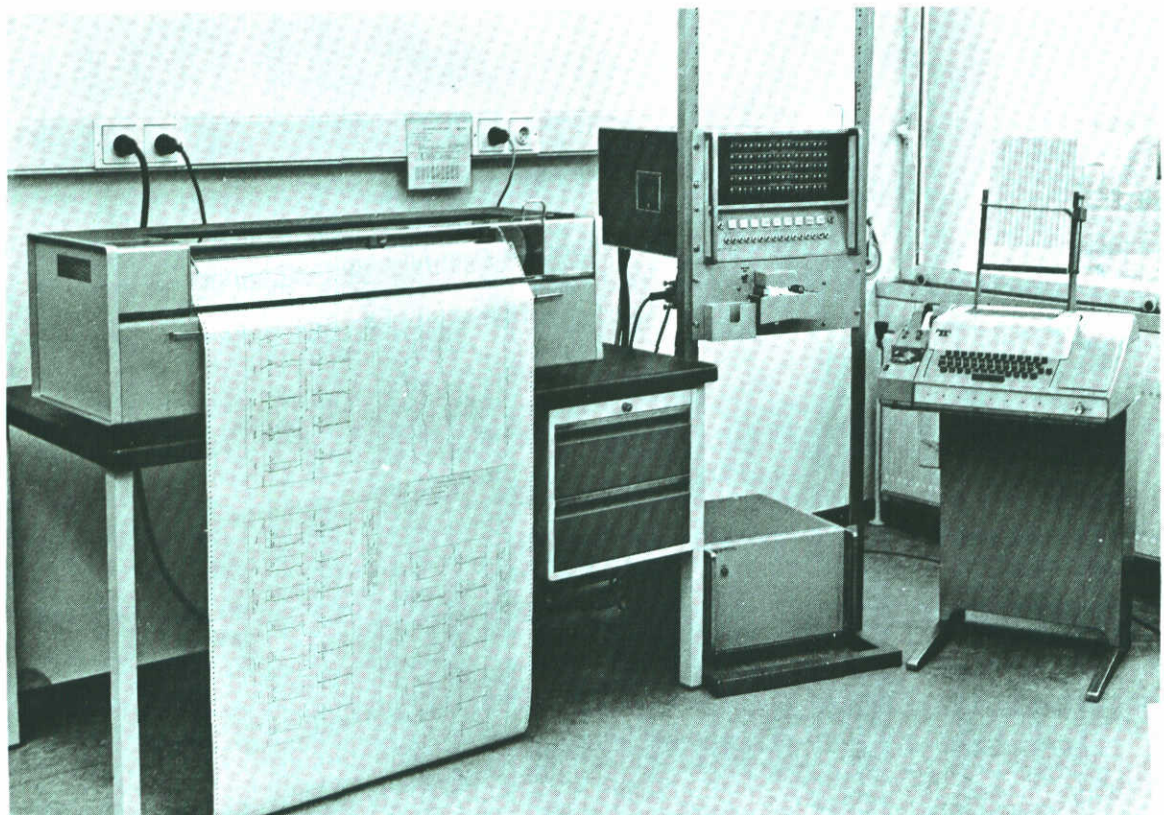


*GELEIDBAARHEIDMETER
EN TEMPERATUURMETER*

8. OVERZICHT INSTRUMENTATIE

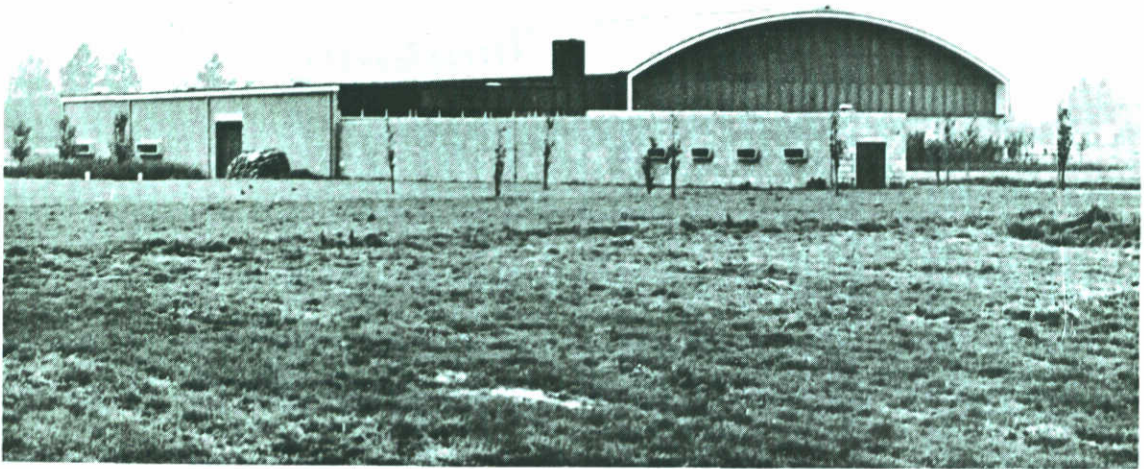


LIJNVOLGER VOOR HET INLEZEN VAN REGISTRATIES

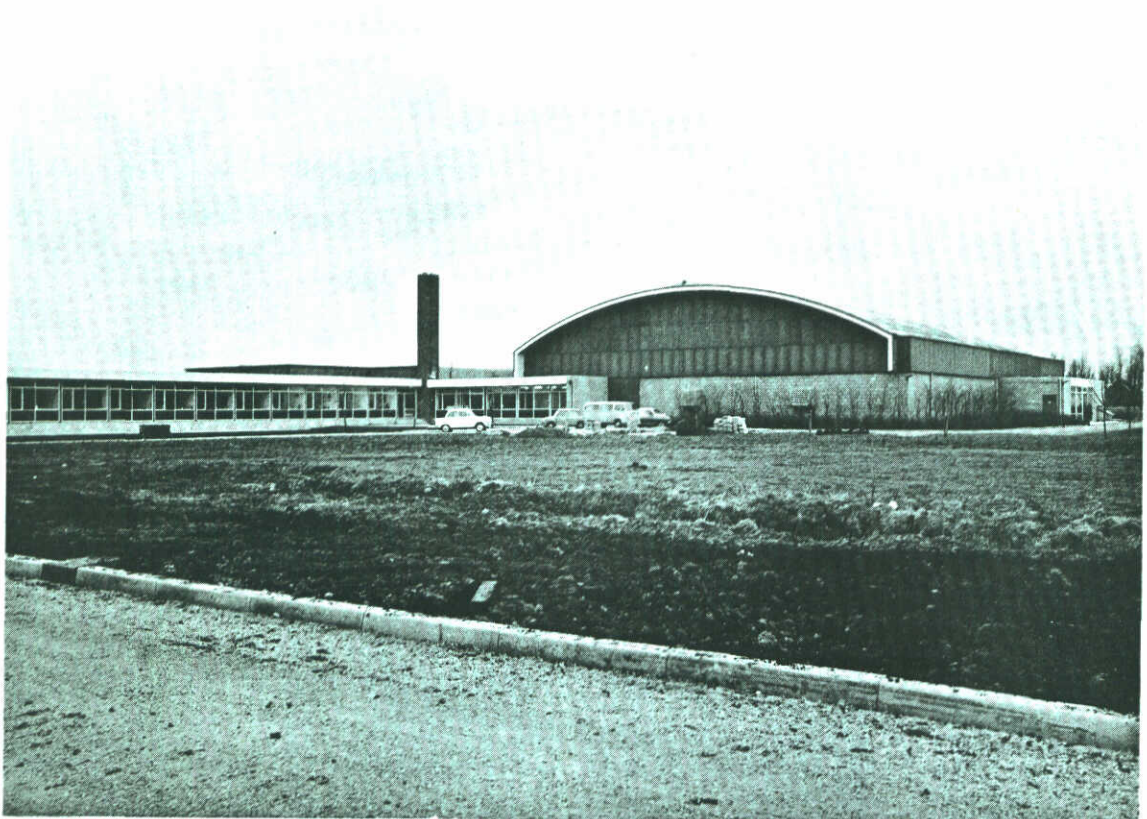


PLOTTER VOOR HET UITVOEREN VAN GRAFIEKEN

9. OVERZICHT VERWERKINGSSYSTEEM



HAL MET GOTENGEBOUW



HAL GETIJMODEL RIJNMOND

