

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

stroomsluis in de Brouwersdam

afvoercharacteristieken sluisontwerp

verslag modelonderzoek

M 1257 / M 1306

oktober 1975

stroomsluis in de Brouwersdam

afvoercharacteristieken sluisontwerp

verslag modelonderzoek

M 1257 / M 1306

oktober 1975

INHOUD

LIJST VAN TABELLEN

LIJST VAN FIGUREN

NOTATIES

blz.

1	<u>Inleiding</u>	1
1.1	Stroomsluis in de Brouwersdam	1
1.2	Berekeningen en modelonderzoek	2
1.3	Samenvatting van de resultaten	2
1.4	Konklusies	5
2	<u>Gegevens en randvoorwaarden</u>	7
2.1	Waterhuishoudkundige randvoorwaarden	7
2.2	Hydraulische randvoorwaarden	8
3	<u>Model</u>	9
3.1	Ontwerp en bouw van het model	9
3.2	Onderzoek ontwerp A-1	11
4	<u>Resultaten van berekeningen en modelonderzoek</u>	14
4.1	Berekeningen voorontwerp en ontwerp A-1	14
4.2	Modelonderzoek ontwerp A-1	16
4.3	Aanvullende berekeningen	19

TABELLEN

FIGUREN

REFERENTIES

INHOUD (vervolg)

blz.

APPENDIX

Vervallen over en krachten op visnetten (verslag onderzoek M1306)

<u>1</u>	<u>Inleiding en gegevens</u>	1
<u>2</u>	<u>Theorie</u>	1
<u>3</u>	<u>Onderzoek</u>	3
<u>4</u>	<u>Resultaten</u>	4

FIGUREN

LIJST VAN TABELLEN

- | | |
|------|---|
| I | Over- respectievelijk onderschrijdingsfrequenties van waterstanden bij de Brouwersdam |
| II | Berekening voorontwerp sluis Brouwersdam. Lozen |
| III | Berekening voorontwerp sluis Brouwersdam. Inlaten |
| IV | Geschatte frequenties van luchtaanzuigen bij lozen.
Voorontwerp |
| V | Geschatte frequenties van luchtaanzuigen bij inlaten.
Voorontwerp |
| VI | Berekening ontwerp A-1. Lozen en inlaten |
| VII | Geschatte frequenties van luchtaanzuigen bij lozen.
Ontwerp A-1 |
| VIII | Geschatte frequenties van luchtaanzuigen bij inlaten.
Ontwerp A-1 |
| IX | Frequenties van luchtaanzuigen volgens gemeten $h_s / \Delta H$.
Lozen, ontwerp A-1 |
| X | Frequenties van luchtaanzuigen volgens gemeten $h_s / \Delta H$.
Inlaten, ontwerp A-1 |
| XI | Toename afvoerkapaciteit bij afnemende spronghoogte achter de keel |

LIJST VAN FIGUREN

- 1 Overzichtssituatie sluis Brouwersdam
- 2 Gemiddelde getijkromme bij de Brouwersdam
- 3 Voorontwerp van een sluis in de Brouwersdam
- 4 Sluisontwerp A
- 5 Sluisontwerp A-1
- 6 Schuifontwerp van sluis Brouwersdam
- 7 Opstelling stromingsmodel van één koker
- 8 Details schuivenhuis in model
- 9 Schuifontwerp van kokermodel
- 10 Druklijnen lozen en inlaten bij geopende schuif, $\Delta H = 1$ m
- 11 Druklijnen lozen bij geknepen eerste schuif, $\Delta H = 1$ m
- 12 Druklijnen lozen bij geknepen tweede schuif, $\Delta H = 1$ m
- 13 Druklijnen inlaten bij geknepen eerste schuif, $\Delta H = 1$ m
- 14 Druklijnen inlaten bij geknepen tweede schuif, $\Delta H = 1$ m
- 15 Afvoercoëfficiënt voor lozen. Oriëntatie schuiven 1 en 2 korrekt en inkorrekt
- 16 Afvoercoëfficiënt voor inlaten. Oriëntatie schuiven 1 en 2 korrekt en inkorrekt
- 17 Drukwinst achter de schuif als functie van het verval. Lozen, schuiven 1 en 2
- 18 Drukwinst achter de schuif als functie van het verval. Inlaten, schuif 1
- 19 Drukwinst achter de schuif als functie van het verval. Inlaten, schuif 2
- 20 Vergelijking relatie $h_s / \Delta H$ voor schuif 1 en 2, inlaten
- 21 Vergelijking van de "gemeten" en de berekende energielijn voor lozen. Ontwerp A-1

NOTATIES

b	breedte	m
b_o	kleinste breedte diffusor	m
d	hoogte schuifopening	m
D	totale hoogte in de keel	m
D_H	hydraulische diameter koker	m
F	doorstroomoppervlak	m^2
F_o	doorstroomoppervlak in de keel	m^2
F_1	doorstroomoppervlak in een kokerdeel	m^2
F_2	doorstroomoppervlak in het uitstroompand	m^2
F_{sluis}	doorstroomoppervlak van de gehele sluis	m^2
g	versnelling van de zwaartekracht	m/s^2
h	drukhoogte	m
h_o	kleinste hoogte diffusor	m
Δh	drukverschil	m
h_s	drukwinst = verlaging druk in de keel ten opzichte van benedenwaterstand	m
ΔH	verlies aan energiehogte, verval	m
k	wandruwheid van de koker	m
l	kokerlengte	m
Q	debiet	m^3/s
v	snelheid	m/s
v_o	snelheid in de keel	m/s
v_1	snelheid in een kokerdeel	m/s
v_2	snelheid in het uitstroompand	m/s
α	diffusorhoek in horizontale vlak	graden
β	diffusorhoek in verticale vlak	graden
Δ	relatieve wandruwheid	
μ	afvoercoëfficiënt	
ν	kinematische viscositeit	m^2/s
ξ	verliescoëfficiënt	
ξ_o	totale verliescoëfficiënt van de koker	
$\Delta \xi$	correctie op de verliescoëfficiënt	
ρ	soortelijk gewicht	kg/m^3

STROOMSLUIS IN DE BROUWERSDAM

AFVOERKARAKTERISTIEKEN SLUISONTWERP

1 Inleiding

1.1 Stroomsluis in de Brouwersdam

Ten behoeve van de beheersing van de waterkwaliteit van de afgesloten Grevelingen blijkt het wenselijk in de Brouwersdam een doorlaatmiddel aan te brengen (figuur 1). Een definitieve keuze voor een zoet Grevelingenbekken, waarbij de sluis slechts zal lozen, of een zout bekken, waarvoor ook ingelaten zal moeten worden, is nog niet genomen. Op grond van recente onderzoekresultaten betreffende de kwaliteit van het nu zoute Grevelingenbekken en de daarin voorkomende soortenrijkdom van plantaardig en dierlijk leven, bestaat de neiging om dit experiment voort te zetten.

Aanvankelijk werd gedacht aan een hevel als middel voor inlaten en lozen. Een door het Laboratorium verrichte studie [1] met betrekking tot de toepassing van hevels in het Deltagebied toonde zowel voor- als nadelen aan. Belangrijke voordelen zijn het feit dat een hevel over de bestaande dam heen gelegd kan worden en dat het grondverzet minimaal is. De hoge kerende hoogte maakt een hoge kruinligging van de hevel noodzakelijk. De drukken bij lozen en inlaten worden daardoor laag, waardoor het onzeker is of het ontwerp vrij van cavitatie is. In verband met het experimentele karakter van een dergelijke konstruktie en de wens spoedig over een doorlaatmiddel te kunnen beschikken werd door Rijkswaterstaat besloten om in dit geval een duikersluis toe te passen, analoog aan het ontwerp voor een sluis in de Oosterscheldedam, waarvan het onderzoek in een vergevorderd stadium verkeerde (figuur 3).

Tijdens de bespreking op 24 oktober 1973 van de Werkgroep Waterstaatkundige inrichting zuidelijk Deltabekken werd het Waterloopkundig Laboratorium opgedragen onderzoek te verrichten inzake het ontwerp van een stroomsluis in de Brouwersdam. Opdracht volgde in de brief van de Deltadienst dd. 18 december 1973. Het onderzoek vond plaats aan de hand van berekeningen, het definitieve ontwerp is onderzocht in een model. Het onderzoek duurde van oktober 1973 tot en met februari 1974 en stond onder leiding van ir. H. Ligteringen, tevens auteur van dit verslag.

1.2 Berekeningen en modelonderzoek

De voor dit ontwerp uitgevoerde berekeningen betroffen de afvoercoëfficiënt bij geheel geopende schuif. Een schatting werd gemaakt van de optredende drukken in de keel als functie van het verval bij enigszins geknepen schuifopening. De voor deze berekening gehanteerde vergelijkingen zijn alle afgeleid in hoofdstuk 4 van rapport M 1089 [2], waar zij gebruikt werden voor het identieke ontwerp van de sluis Noordland.

Nadat een indruk was verkregen van de orde-grootte van de afvoercoëfficiënt voor inlaten en lozen, werd besloten het definitieve ontwerp zowel aan de zeezijde als aan de meerzijde te voorzien van een sprong bij de overgang van schuivenhuis naar uitstroomkoker. Reden hiertoe was de relatief hoge ligging van de sluis, (bodem NAP-11,00 m ten opzichte van NAP-12,50 m voor sluis Noordland) waardoor bij inlaten luchtaanzuiging frekwent op zou treden. Gezien de verhoogde onzekerheid die deze wijziging in het ontwerp voor de berekeningsresultaten impliceerde, werd besloten van dit definitieve ontwerp weer één koker in model te onderzoeken.

Het model werd op schaal 1:25 onvertrokken uitgevoerd in roestvrij staal. Het schuivenhuis werd omwille van de zichtbaarheid van de waterstanden en het meenemen van lucht uitgevoerd in perspex. Het modelonderzoek omvatte druk- en vervalmetingen voor verschillende debieten zowel voor inlaten als lozen. De invloed van de schuifstand op de drukverdeling in de koker werd onderzocht, zowel voor de bovenstroomse als voor de benedenstroomse schuif. Tevens werd nagegaan wat het effect op de drukken in de keel was wanneer de schuif, die asymmetrisch in de sponning staat, de verkeerde oriëntatie heeft ten opzichte van de stroomrichting.

Na beëindiging van het modelonderzoek werd door middel van berekening nagegaan in hoeverre de capaciteit van de sluis te verhogen was door wijzigingen in de verticale doorsnede van het ontwerp. De horizontale doorsnede bleef hierbij ongewijzigd.

1.3 Samenvatting van de resultaten

De eerste berekening vond plaats op grond van het voorontwerp, dat door directie Sluizen en Stuwen gemaakt was.

Dit ontwerp (GB-8) werd gekenmerkt door een bodemligging NAP-11,00 m en een plafond in de koker op NAP-3,00 m, in de keel op NAP-7,00 m. De diffusorhoeken van dit ontwerp zijn verder ontleend aan het ontwerp K-8 van de sluis

Noordland (figuur 3).

In dit stadium van het ontwerp was ook de sprong achter het schuivenhuis slechts aan de zeezijde aanwezig.

De benodigde lozingskapaciteit voor de sluis werd globaal gesteld op $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$, gemiddeld over het getij, hetgeen volgens berekeningen van de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst bereikt kon worden met een $\mu F_{\text{sluis}} = 125 \text{ m}^2$. De benodigde inlaatkapaciteit was kleiner, exacte getallen hiervoor bestonden niet.

De berekeningsresultaten waren:

$$\begin{aligned} \text{lozen} \quad \mu &= 1,43 \\ h_s/\Delta H &= 1,65 \quad (\text{geschat}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{inlaten} \quad \mu &= 1,56 \\ h_s/\Delta H &= 2,2 \quad (\text{geschat}) \end{aligned}$$

De afvoerkapaciteit voor lozen bedroeg voor een sluis met 4 kokers $\mu F = 137 \text{ m}^2$, dit wil zeggen een kleine overkapaciteit. Voor inlaten was de overkapaciteit groot. Luchtaanzuigen zou echter frekwent optreden op grond van de geschatte waarden voor $h_s/\Delta H$ (voor inlaten 10 maal per jaar).

In verband met een reductie van de benodigde capaciteit van de sluis tot $Q = 75 \text{ m}^3/\text{s}$ gemiddeld over het getij ($25 \text{ m}^3/\text{s}$ zou gespuid kunnen worden via het Halskanaal) en ter vermindering van het aanzuigen van lucht bij inlaten werd een nieuw ontwerp gemaakt bestaande uit twee kokers met keelafmetingen $4 \times 7 \text{ m}^2$, bodemligging ongewijzigd, doch de sprong achter het schuivenhuis nu ook aan de zijde van het Grevelingenmeer. (Ontwerp A, figuur 4.)

Onder aanname dat de afvoercoëfficiënt hiervan weinig zou verschillen van het voorontwerp (lozen) bedroeg $\mu F = 80 \text{ m}^2$. Vereist was $\mu F_{\text{sluis}} = 75 - 80 \text{ m}^2$. Tijdens de besprekingen kwam de wenselijkheid naar voren om de keelafmetingen van de sluizen in de Oosterschelde en de Brouwersdam gelijk te maken. Dit zou het voordeel hebben dat het schuifontwerp voor beide sluizen gelijk zou zijn en de schuiven onderling uitwisselbaar. Het definitieve ontwerp A-1 voor de Brouwersdamsluis kreeg daarom een keeldoorsnede $4,50 \times 6,0 \text{ m}^2$, identiek aan ontwerp K-6 voor de sluis Noordland in de Oosterschelddam (figuur 5). Het niveau van de vloer van de sluis werd op NAP-11,00 m gehouden, het plafond in de keel kwam dus op NAP-6,50 m, hetgeen de noodzaak om de plotselinge verwijding aan weerszijden van het schuivenhuis aan te brengen nog versterkte.

De berekeningen van dit ontwerp, dat ook in model onderzocht is, gaven de

volgende resultaten:

inlaten en lozen: $\mu = 1,51$

$$h_s / \Delta H = 1,80$$

Luchtaanzuigen zou ongeveer 1-maal per jaar voorkomen, bij de geschatte waarde van $h_s / \Delta H$. Dit werd acceptabel geacht.

Met name in verband met de onzekerheid, geïntroduceerd door de wijziging in de verticale doorsnede van de sluis werd het wenselijk geacht modelonderzoek te verrichten. Een model, schaal 1:25, van één der twee kokers werd daartoe onderzocht bij permanente stroming. De opstelling van het model geeft figuur 7.

Het in perspex uitgevoerde schuivenhuis (figuur 8) was zodanig ontworpen dat hierin in een later stadium ook trillingsonderzoek aan de schuif plaats zou kunnen vinden. Als schuifontwerp werd hetzelfde ontwerp van een asymmetrisch in de schacht geplaatste schuif gebruikt, dat tenslotte voor stroomsluis Noordland gekozen was (figuur 6 en 9). De modelresultaten zijn weergegeven in de figuren 10 tot en met 21. Kort samengevat:

lozen: $\mu_{\text{model}} = 1,39$ (figuur 15)

$$\mu_{\text{prototype}} = 1,46 \quad (\text{gecorrigeerd voor wrijvingsverlies})$$

$$\mu F_{\text{prototype}} = 79 \text{ m}^2$$

$$h_s / \Delta H = 1,50 \quad (\text{figuur 17})$$

inlaten: $\mu_{\text{model}} = 1,37$ (figuur 16)

$$\mu_{\text{prototype}} = 1,44 \quad (\text{gecorrigeerd voor wrijvingsverlies})$$

$$\mu F_{\text{prototype}} = 78 \text{ m}^2$$

$$h_s / \Delta H = 1,30 \quad (\text{figuur 18 en 19}).$$

Een verkeerde oriëntatie van de schuiven (kleinste spleet bovenstrooms) gaf op de waarden van μ en $h_s / \Delta H$ nauwelijks verschillen ten opzichte van de bovengenoemde waarden (zie figuur 15 t/m 19, schuif inkorrekt). Het gebruik van de meest benedenstroomse schuif (schuif 2) als hoofdschuif werd voor stroomsluis Noordland geadviseerd. Evenals in het onderzoek voor die sluis, zijn in dit onderzoek geen grote bezwaren naar voren gekomen om deze volgorde om te draaien.

Met een waarde $\mu F_{\text{sluis}} = 78 \text{ à } 79 \text{ m}^2$ was voldaan aan de eis met betrekking tot de capaciteit. De waarden van $h_s / \Delta H$ waren lager dan geschat, hetgeen het ont-

werp veiliger maakt. Men kon overwegen om de sluisvloer nu te verhogen, dit is nagelaten aangezien dit ook weer konsekwenties zou hebben voor de golfindringing in de koker aan de zeezijde.

Na afloop van het onderzoek kwam het verzoek van de Deltadienst om na te gaan in hoeverre een verkleining van de sprong achter het schuivenhuis de capaciteit van de sluis zou verhogen. Deze vraag vloeide voort uit de noodzakelijkheid van hogere lozingscapaciteiten als de kompartementering van het zuidelijk bekken lozing van het zoete water van de Brabantse rivieren via de Grevelingen nodig zou maken. Naar aanleiding van deze vraag zijn berekeningen uitgevoerd, waarin de sprong achter de keel gevarieerd werd van 1,5 m tot 0 (volledige diffusor). De afvoercoëfficiënt nam hierbij toe van 1,53 tot 1,76 ($\mu F = 82,5-95 \text{ m}^2$) en de waarde $h_s/\Delta H$ groeide van 1,90 tot 2,80.

De toename van de capaciteit was dus gering ten koste van een grote toename van de frekwentie van luchtaanzuigen.

1.4 Konklusies

Als konklusie van het onderzoek mag gesteld worden dat ook voor een doorlaatmiddel in de Brouwersdam de combinatie van een venturi-vormige koker met een verlaagd schuivenhuis in de keel een optimale oplossing biedt.

Ten opzichte van het eindontwerp voor de sluis Noordland is er zelfs sprake van een konsekwentere uitvoering, doordat ook aan de meerzijde de overgang van keel naar uitstroomkoker sprongsgewijs verloopt. Aangezien in eerste instantie de afvoerverbetering door middel van de venturi-vorm strijdig lijkt met de vernauwing van de keeldoorsnede worden de argumenten, die tot dit ontwerp geleid hebben hier nogmaals weergegeven.

- a) De sluis moet een hoge afvoer koppelen aan voldoende lage uitstroomsnelheden. Dit laatste in verband met de stabiliteit van het stortebed.
- b) De sluis dient uitgevoerd te worden als duikersluis, teneinde hoge golfbelastingen op de afsluitorganen te voorkomen. De sluis is meer geëxposeerd aan golfaanval dan bijvoorbeeld de Haringvlietsluis.
- c) Een al te diepe ligging van de sluisbodem (zodanig dat ook met behoud van de optimale venturi-vorm geen drukken beneden de atmosferische druk optreden in de keel) zou tot een oneconomisch ontwerp leiden.

De verlaging van de afvoercoëfficiënt door de sprong is noodzakelijk. Dit is

als volgt in te zien. Het debiet door de koker ligt vast in relatie tot de wenselijke μF en de grootte van de uitstroomopening ligt vast in verband met toelaatbare uitstroomsnelheden. Hoe kleiner de schuif wordt (met daaraan gekoppeld een grote μ) hoe hoger de snelheden en hoe lager de lokale drukken. In relatie tot de gekozen plafondhoogte ligt de minimaal toelaatbare druk en daarmee de schuifgrootte vast. De bijbehorende μ wordt met de sprong bereikt.

Sluisontwerp A-1 voldoet aan de gestelde eisen met betrekking tot de lozingskapaciteit. De inlaatkapaciteit ligt in dezelfde orde van grootte als de lozingskapaciteit.

Door de keelafmetingen van de koker gelijk te maken aan die van de Oosterschelde spuisluis, kon voor het ontwerp van de schuif gebruik gemaakt worden van het onderzoek M 1089 [2]. Uit de modelresultaten blijkt dat het weinig verschil maakt of de bovenstroomse of benedenstroomse schuif gebruikt wordt. Voor de eenduidigheid wordt geadviseerd om de benedenstroomse schuif te gebruiken als hoofdschuif, dit wil zeggen dat deze schuif bovenstrooms voorzien wordt van de breedste spleet bij de bovenaanslag. Hiermee wordt bereikt dat in de schacht de waterstand boven de schuif staat waardoor geen of nauwelijks luchtaanzuigen mogelijk is. Met betrekking tot het optreden van drukken beneden atmosferische druk in de keel is ontwerp A-1 veilig. De frekwentie van optreden van luchtaanzuigen ligt in de orde van 10^{-1} (keren/jaar) voor zowel lozen als inlaten. Verhoging van de capaciteit door verkleining van de sprong ter weerszijden van het schuivenhuis levert zeer weinig resultaat. De maximum capaciteit bij volledige diffusorvorm bedraagt $\mu F = 95 \text{ m}^2$, de frekwentie van luchtaanzuigen bedraagt dan ongeveer 10^2 keren/jaar, dit wil zeggen dat het bij vrijwel elke spuigang optreedt.

Geadviseerd wordt dan ook om een eventuele capaciteitsverhoging van de sluis te bereiken door het vergroten van het aantal kokers of herziening van het kokerontwerp.

2 Gegevens en randvoorwaarden

2.1 Waterhuishoudkundige randvoorwaarden

Peil

Zowel voor een zoet als een zout Grevelingenbekken zal het peil normaal enigszins schommelen rond NAP-0,20 m. Wanneer het bekken gebruikt zal worden voor de zoetwatervoorziening zal in droge jaren het peil in het algemeen lager liggen, in natte jaren hoger in verband met voorraadvorming. Deze variaties kunnen enkele decimeters bedragen. Een extreem laag peil NAP-0,70 m wordt eens in de tien jaar verwacht.

Lozingskapaciteit

Op grond van berekeningen, die door de Deltadienst zijn uitgevoerd, is aan het begin van het onderzoek gesteld dat een zoet Grevelingenbekken een lozingskapaciteit zou moeten hebben van $100 \text{ m}^3/\text{s}$ gemiddeld over het getij. Hiervan kan $\frac{1}{4}$ deel gerealiseerd worden door spuien via het Halskanaal, zodat de lozingskapaciteit van het kunstwerk $75 \text{ m}^3/\text{s}$ gemiddeld over het getij zou moeten bedragen.

Berekend werd vervolgens dat om deze capaciteit te bereiken bij een dichtheidsverschil over de sluis $\Delta\rho = 25 \text{ kg/m}^3$ en een sluisvloer op NAP-11,00 m de sluis een $\mu F_{\text{tot}} = 71 \text{ m}^2$ zou moeten hebben. (Uitgaande van de eindfase na ontziltling dus zonder dichtheidsscherm.) Een peilverlaging van 0,10 m zou een 25% grotere waarde van μF_{totaal} vergen voor dezelfde capaciteit. Verdieping van de sluisvloer tot NAP-12,50 m zou de benodigde μF_{tot} -waarde met 6% verhogen tot 75 m^2 . Besloten werd om voor een zoet bekken als maatgevende situatie de sluis te dimensioneren op een waarde $\mu F_{\text{tot}} = 75 \text{ à } 80 \text{ m}^2$.

Voor een zout bekken zou de lozingskapaciteit van een dergelijk ontwerp hoog genoeg zijn. Een definitieve waarde hiervoor is nooit vastgesteld.

Inlaatkapaciteit

In het geval van een zoet Grevelingenbekken zal de sluis alleen lozen. Voor een zout bekken zal de sluis zowel moeten lozen als inlaten. De inlaatcapaciteit ligt dan in dezelfde grootte orde als de lozingskapaciteit. Eisen met betrekking hiertoe zijn niet geformuleerd.

2.2 Hydraulische randvoorwaarden

Waterstanden

Een gemiddelde getijkromme na afsluiting van de Grevelingen is tot stand gekomen door berekeningen en voor zover mogelijk in het korte tijdsbestek na afsluiting geverifieerd aan de hand van metingen (figuur 2).

De frekwenties van hoog en laag water, voor zover deze beneden 1 maal per jaar liggen, zijn gegeven in tabel 1. Maximum op- en afwaaiing bedraagt ca. 0,50 m.

3 Model

3.1 Ontwerp en bouw van het model

Het modelonderzoek vond plaats in een model van de meest noordelijke der twee sluiskokers, waaruit ontwerp A-1 bestaat (figuur 5). Als schaal werd 1:25 gekozen, evenals voor het onderzoek inzake sluis Noordland, teneinde het verschil in wrijvingsverliezen tussen model en prototype zoveel mogelijk te beperken. Hierbij kwam, dat door keuze van deze schaal gebruik gemaakt zou kunnen worden van de in- en uitstroompanen van het model van sluis Noordland.

Eventueel aanvullend onderzoek voor de uiteindelijke vormgeving van sluis Noordland zou bovendien eenvoudig plaats kunnen vinden met gebruikmaking van het voor het onderhavige onderzoek gebouwde schuivenhuis. Tenslotte was deze schaal ook geschikt voor een in een later stadium uit te voeren trillingsonderzoek van de schuiven.

Aangezien de totale lengte van het sluisontwerp A-1 kleiner was dan de tussen de modelpanen bestaande ruimte werd het verschil overbrugd door aan de zeezijde een open kanaal te plaatsen tussen uitstroomkoker en modelpand (figuur 7). De wanden hiervan waren parallel hetgeen niet in overeenstemming was met prototype, waar de damwanden schuin weglopen. Dit rechte kanaalgedeelte maakte de drukmeting in in- en uitstroompand echter éénduidiger, terwijl ten opzichte van prototype-peilen toch een correctie plaats zou moeten vinden aangezien peilschalen in prototype verder van de sluis weg komen te staan, dan waar in model gemeten is. Ook aan de meerzijde, waar de koker wel aansloot aan het pand, werd in- en uitstroming geleid door middel van parallelle wanden.

Het model werd voor het grootste deel, dit wil zeggen alle kokers, behalve de keel en het schuivenhuis, uitgevoerd in roestvrij staal. De voordelen van dit materiaal waren de geringe ruwheid, waardoor de prototype wandruwheid vrijwel op schaal gereproduceerd werd. Het schuivenhuis werd echter toch in perspex uitgevoerd omwille van de visualiteit (figuur 8). Dit schuivenhuis was bovendien zodanig gekonstrueerd dat het in een later stadium met een minimum aan kosten omgebouwd zou kunnen worden voor een trillingsonderzoek van de schuiven. Hiertoe waren de zijwanden geheel uitneembaar en was het gehele schuivenhuis geplaatst in een stalen frame, teneinde voldoende stijfheid te verkrijgen.

Het schuifontwerp, dat in dit onderzoek gebruikt werd (figuur 6 en 9) was het

resultaat van uitvoerig stromingsonderzoek aan de schuiven van de sluis Noordland en overleg met de direktie Bruggen. Gekozen was een gladde dubbelbeplate glijdschuif, die asymmetrisch in de sponning staat. In de hydraulisch optimale positie heeft de schuif, zodra deze enkele decimeters geheven is, een grote spleet aan de bovenstroomse zijde van de bovenaanslag, terwijl de spleet aan de benedenstroomse zijde zo klein mogelijk gehouden is. Reden om tot dit ontwerp te komen was de wenselijkheid om de schuif in geheven toestand geheel onder water te houden om zodoende het aanzuigen van lucht door de schuifschacht zoveel mogelijk te beperken. Het grote omstromingsdebiet door de bovenstroomse spleet en via de schuif zelf terug in de koker trok bij geheel gladde schachtwanden nog veel lucht mee de koker in. Dit was reden om in een latere fase van het onderzoek deze wanden nog te voorzien van een nok over de volledige breedte van de koker (gestippeld op figuur 8) met de onderzijde hellend onder 1:10.

De kokerbeëindiging aan de zeezijde was niet geheel in overeenstemming met prototype. Immers in model was boven de koker aan de dagzijde een vlakke vertikale wand, terwijl in prototype het talud van de dam boven NAP geleidelijk terugweek. Om de invloed hiervan op de instroomverliezen na te gaan werd in de loop van het onderzoek deze vertikale wand vervangen door een neus, die het prototype volledig reproduceerde.

De waterstand in model werd nauwkeurig afgeregeld met een overstortklep benedenstrooms van de sluis. Het water liep vandaar terug naar het modelreservoir vanwaar het door middel van een pomp aangevoerd werd naar het instroompand. Het circuit was zodanig ontworpen dat de stroomrichting in model eenvoudig om te draaien was door pomp en leidingwerk om te zetten. Debietmeting vond plaats door middel van een meetflens, die in het circuit was gebouwd volgens normblad NEN 3005, waarbij theoretisch een nauwkeurigheid van de meting van 1% bereikt kon worden. Aflezing van de vervallen over de flens vond plaats met een watermanometer.

Waterstanden en energiehogten in de in- en uitstroompanden van de sluiskoker werden gemeten met pitotbuizen. De drukhoogten in de koker en het schuivenhuis zijn gemeten door middel van piezometerbuizen, die via plastic slang aangesloten waren op druknippels in de wand van de koker. Deze drukaansluitingen zijn voor het merendeel aangebracht in de bodem van de koker op plaatsen die aangegeven staan op figuur 7.

Waar in verband met een mogelijke kromming van de stroomlijnen verwacht kon

worden dat er verschil zou optreden tussen de drukken in de bodem en aan het plafond zijn ook drukaansluitingen in het plafond aangebracht. Dit was het geval in en ter weerszijden van het schuivenhuis.

3.2 Onderzoek ontwerp A-1

Zoals reeds gesteld is in de inleiding kwam ontwerp A-1 tot stand via een aantal berekeningen, die deels stoelden op de resultaten van het onderzoek van stroomsluis Noordland in de Oosterscheldedam. Besloten werd om dit ontwerp nogmaals in model te onderzoeken omdat op twee essentiële punten het ontwerp afweek van sluis Noordland. De vloer van de sluis lag over de gehele lengte 1,50 m hoger en de abrupte overgang van keel naar uitstroomgedeelten was nu tweezijdig aangebracht. De afronding in deze sprong had een straal $r = 2,50$ m gekregen. De indruk bestond namelijk dat de stroming bij de overgang van de koker zeezijde naar de keel in sluis Noordland niet aan bleef liggen bij een straal van 2,0 m.

Het modelonderzoek diende dus in de eerste plaats als een verifikatie van de berekeningen op het punt van maximale afvoercoëfficiënt en geneigdheid tot luchtzuigen. In de tweede plaats werd met het onderzoek beoogd een gedetailleerd beeld te krijgen van het drukverloop in de koker bij de verschillende hefhoogten van de schuiven.

Een overzicht van de verschillende situaties die in model onderzocht zijn wordt gegeven in tabel II.

Inlaten Serie A. Meting van waterstanden en energiehogten boven- en benedenstrooms en drukken in de koker bij verschillende debieten onder permanentie. $Q_{\text{koker}} = 160 \text{ m}^3/\text{s}$, $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Schuif 1 (bovenstrooms = zeezijde) en schuif 2 (benedenstrooms = meerzijde) beiden met de grote spleet bovenstrooms. Deze schuiforiëntatie is in dit verslag kortweg de korrekte schuifpositie genoemd, namelijk die welke de schuif ook in geknepen stand zo goed mogelijk onder water houdt. Voor elk debiet werd de schuif geknepen voorzover dit te realiseren was: tot een maximaal verval van 5,50 m. Bij het hoge debiet werd dit verval reeds bij een hefhoogte $d/D = 0,7$ bereikt, bij het lage debiet bij $d/D = 0,2$.

Serie B. Teneinde een eerste indruk te krijgen wat de invloed van de foute reproductie van de instroming aan zeezijde was, werd in deze serie een horizontaal uitstekende plaat aan de dagzijde van de

koker aangebracht. De afstand van de rand van de plaat tot de dag van de koker bedroeg 1,90 m (prototype), voldoende om een duidelijk omstromingeffect te bewerkstelligen. In feite werd hiermee echter de lengte van het plafond met die afstand verlengd, zodat dit niet meer dan een kwalitatieve beoordeling toeliet.

Serie C. In deze serie was de instroming aan zeezijde volledig gereproduceerd, zoals op figuur 7 gestippeld is aangegeven. Omdat de invloed van deze instroming op de afvoer karakteristieken zich het best bij hoge afvoeren lieten meten is deze serie alleen bij $Q_{\text{koker}} = 160 \text{ m}^3/\text{s}$ uitgevoerd.

Serie D. Tenslotte werden de metingen herhaald voor inlaten, waarbij beide schuiven een inkorrekte oriëntatie hadden. Dus de grootste spleet benedenstrooms.

Lozen

Serie E. Dezelfde proeven als voor inlaten zijn in deze serie uitgevoerd voor schuif 1 (bovenstrooms = meerzijde) en schuif 2 (benedenstrooms = zeezijde) in de voor lozen korrekte oriëntatie.

Serie F. Schuiven hebben een inkorrekte oriëntatie, overigens zelfde proevenprogramma als voor serie E.

Nadat het eigenlijke onderzoek inzake de afvoer karakteristieken was afgesloten is het schuivenhuis aangepast voor het trillingsonderzoek van de schuiven. Dit onderzoek is nog in de uitvoeringsfase en zal in een later stadium gerapporteerd worden.

Parallel aan dit trillingsonderzoek vond onderzoek plaats naar de mogelijkheid om in één der uitstroomkokers een akoestische debietmeting te verwezenlijken. De uitvoerbaarheid van een dergelijke meting in prototype is sterk afhankelijk van twee factoren a) of ergens in de koker een raai is waar de stroomlijnen parallel lopen teneinde een dergelijke meting mogelijk te maken b) of het water op die plaats voldoende homogeen van samenstelling is, waarmee ook bedoeld wordt, dat zich geen lucht in het water mag bevinden.

Ook dit aanvullend onderzoek is nog niet afgerond. Het wordt hier en ook in hoofdstuk 4 echter aangestipt, omdat deze aanvullende eisen en met name punt b) konsekventies had voor de vormgeving van het kunstwerk.

Vooraf bij hogere debieten trok de sluis namelijk op twee punten lucht aan, zoals reeds was geconstateerd in het vooronderzoek van de eerste ontwerpen voor sluis Noordland. Ter plaatse van de instroming ontstond in model een

draaikolk, die aan de meerzijde onderdrukt wordt door het plafond onder 45° te laten weglopen. Aan de zeezijde was een dergelijke konstruktie niet wenselijk geacht in verband met de golfaanval. In het schuivenhuis zorgt het hoge omstromingsdebiet in de schacht en door de schuif voor een luchtbellensroom in het water. Beide verschijnselen dienen niet verward te worden met het elders gehanteerd begrip "luchtaanzuigen" waarmee het optreden van drukken beneden de atmosferische druk ter plaatse van het plafond in de keel bedoeld is. De luchtbellens geven geen aanleiding tot dynamische verschijnselen, waarvoor met betrekking tot de schuiven gevreesd wordt, en zijn dus alleen vanuit het oogpunt van de akoestische debietmeting onaanvaardbaar.

Voor zover het trekken van lucht in de schuifschacht betreft is een eenvoudige oplossing gevonden in de vorm van een horizontale nok op de wand van de schuifschacht. In model verdween hiermee de lucht geheel uit het water. Het onderdrukken van de draaikolk aan zeezijde (bij inlaten) bleek een moeilijker opgave. Verschillende konstrukties zijn onderzocht in model waarvan het schuine plafond onder 45° eigenlijk nog de meest aantrekkelijke en de meest afdoende was. In een later stadium is besloten dit toch, in verband met golfkrachten, niet toe te passen en voor inlaten de debietmeter te laten vervallen.

4 Resultaten van berekeningen en modelonderzoek

4.1 Berekeningen voorontwerp en ontwerp A-1

Ter oriëntatie voor het ontwerp van een stroomsluis in de Brouwersdam werd in eerste instantie gerekend aan een ontwerp, dat sterk geleek op het ontwerp K-8 van de sluis Noordland in de Oosterscheldedam. Een redelijk nauwkeurige berekening leek mogelijk aan de hand van het tot op dat ogenblik uitgevoerde onderzoek voor deze laatste sluis.

Bij deze oriënterende berekeningen was de benodigde capaciteit nog open gelaten en hiermee het aantal kokers, waaruit de sluis zou bestaan. Aangezien de berekeningen echter voor één koker golden, was dit geen bezwaar.

Het voorontwerp (figuur 3) had dus even als sluis Noordland een plotselinge verwijding van de keel naar de uitstroomkoker aan zeezijde. Aan de meerzijde verliep de kokerdoorsnede ook in het verticale vlak verturi-vormig. De lengte van het schuivenhuis en de wijkhoeken in de kokers waren identiek aan ontwerp K-8. De lengten van de kokers, breedte in de keel en daarmee in de rest van de kokers, alsmede de diepte van de sluisvloer waren aangepast aan de specifieke omstandigheden van de lokatie in de Brouwersdam.

De berekening werd uitgevoerd voor zowel lozen als inlaten volgens de in rapport M 1089 (Stroomsluis Noordland) gegeven methode. De hiervoor gebruikte vergelijkingen en formules worden in dit rapport niet herhaald, waar nodig wordt verwezen naar bovengenoemd rapport, hoofdstuk 4 [1]. Voor de berekening van de wrijvingsverliezen is ook hier een k -waarde voor beton aangenomen:

$k = 0,25 \times 10^{-3}$ m. Diffusorverliezen, sprongverliezen en uitstroomverliezen werden berekend met respectievelijk de vergelijkingen 7 tot en met 10, 11 en 14 van bovengenoemd rapport.

De berekeningsresultaten zijn uitgesplitst per kokerdeel en naar de aard van de verliezen weergegeven in tabel I voor lozen en tabel II voor inlaten. Hierbij dient opgemerkt te worden dat voor de verliezen in de sponningen en bij de instroming de waarden zijn aangehouden, die uit het onderzoek M 1089 volgden. Wel is het instroomverlies herberekend, betrokken op de nieuwe verhouding van de doorsnede in keel en instroomopening. In de berekening voor inlaten is een extra verlies opgenomen, ξ -korrektie, onder aanname dat de stroming achter de sprong contraheert, ondanks de afronding. Met behulp van de aldus gevonden ξ -waarden werd vervolgens een schatting gemaakt van de onderdruk in de keel, uitgedrukt in de verhouding $h_s/\Delta H$ (zie vergelijking

18 en figuur 27 van rapport M 1089). Zoals in dat rapport al is uiteengezet is deze berekening voor een volledige venturiuitstroming betrouwbaar, voor de lozingssituatie echter niet, vanwege de onzekerheid of de stroming in de keel aanligt aan het plafond alvorens te verwijden. De waarde voor lozen is dan ook aangenomen op grond van de resultaten voor sluis Noordland.

Volgens deze procedure verkrijgt men de volgende resultaten voor afvoer-koëfficiënt en koëfficiënt voor lucht aanzuigen:

lozen : $\mu = 1,43$

$(h_s / \Delta H)_{\max.} = 1,65$ (de waarde van K-8 + 10%)

inlaten : $\mu = 1,56$

$(h_s / \Delta H) \sim 2,2$

Tabellen IV en V geven op grond van deze waarden de geschatte frekventies van luchtaanzuigen bij lozen en inlaten. Hieruit blijkt dat bij een plafond in de keel op NAP-7,0 m bij lozen het optreden van drukken lager dan atmosferische druk tot een lage frekventie van 1 x per tien jaar is teruggebracht. Bij inlaten zou het verschijnsel zich echter 10 x per jaar voordoen, hetgeen onaanvaardbaar werd geacht.

Deze overweging, tesamen met de keuze van de benodigde capaciteit voor de sluis van 75 m³/s gemiddeld over het getij, vormden de gronslagen voor een nieuw ontwerp: A volgens figuur 4 van directie Sluizen en Stuwen. De keel-doorsnede was gebracht op 2 x (7,00 x 4,00), terwijl nu ook aan de meerzijde een sprong in het plafond achter de keel was aangebracht. Overigens waren ook de lengteafmetingen en diffusorhoeken iets anders als in het voorontwerp.

De definitieve keuze, die inmiddels gemaakt was voor de kokerafmetingen van de sluis Noordland (6,0 x 4,5 m² in de keel) gaven voor ontwerp A direkt aanleiding tot de volgende wijziging: ook voor sluis Brouwersdam werd de keel op 6,0 x 4,5 m² gebracht, in verband met uniformiteit in het ontwerp en de uitvoering der schuiven en de onderlinge uitwisselbaarheid ervan. Het aldus tot stand gekomen ontwerp werd A-1 genoemd (figuur 5).

De berekeningen, die voor dit ontwerp zijn uitgevoerd, waren een nog sterkere extrapolatie dan die van het voorontwerp, gezien de verschillen tussen dit ontwerp en de tot dan toe in model onderzochte ontwerpen voor sluis Noordland. Dit was aanleiding tot de opdracht om na berekening toch een model-

onderzoek uit te voeren en op grond van de resultaten daarvan het ontwerp te kunnen optimaliseren.

De berekeningen verliepen geheel zoals beschreven voor het voorontwerp. De verliescoëfficiënten per kokerdeel en naar de soort van verlies gesplitst zijn weergegeven in tabel VI. Gezien de volledige symmetrie van ontwerp A-1 ten opzichte van het schuivenhuis wordt hier slechts één berekening uitgevoerd, waarbij in het midden gelaten wordt of dit voor lozen of voor inlaten geldt. Het uittreeverlies is bepaald op grond van de theoretische afleiding maar gekorrigeerd wegens optreden verschillen tussen theorie en modelmetingen (M 1089, verklaard door de sterke asymmetrie in de vertikale snelheidsverdeling bij uitstroming).

Het intreeverlies en het spanningsverlies zijn eveneens proefondervindelijk vastgestelde waarden.

Voor de berekening van de onderdruk h_s in de keel kan slechts een redelijk betrouwbare waarde gevonden worden voor volledig geheven schuif: zodra de schuif geknepen wordt voldoet het stroombeeld erachter niet langer aan de voorwaarden gesteld bij de theoretische afleiding van de waarde $h_s/\Delta H$

(vgl. 18, rapport M 1089). De maximale waarde van deze faktor werd in voorgaand onderzoek steeds gevonden bij een hefhoogte $d/D \approx 0,9-0,8$ en lag steeds dichtbij de waarde voor $d/D = 1,0$. In de schatting is hiervan gebruik gemaakt: de geschatte $h_s/\Delta H$ is de berekende waarde voor $d/D = 1,0$ (volledig geheven schuif) vermeerderd met 10%.

De resultaten van de berekening zijn dan:

$$\mu = 1,51 ; (h_s/\Delta H)_{\max.} = 1,80$$

De waarden van de onderdruk in de keel voor verschillende buitenwaterstanden worden tenslotte gegeven in tabellen VII en VIII voor lozen respectievelijk inlaten. De waarde voor op- en afwaaiing op het Grevelingenbekken zijn in deze tabel gereduceerd tot 0,30 m op grond van meer gedetailleerde berekeningen van de Waterstaat.

4.2 Modelonderzoek ontwerp A-1

De resultaten van het modelonderzoek zijn weergegeven in de figuren 10 tot en met 20 voorzover het direkte meetresultaten betreft. De gemeten drukken

in de koker en het schuivenhuis zijn in figuur 10 weergegeven voor zowel lozen als inlaten bij volledig geopende schuiven. De druklijnen zijn genormeerd op een verval $\Delta H = 1$ m terwijl als uitgangspunt van deze figuren steeds NAP als peil op het Grevelingenbekken is aangehouden. Dit is niet in overeenstemming met de randvoorwaarden, maar maakt de figuren hanteerbaar. Zoals ook in het onderzoek voor sluis Noordland bleek, waren de gemeten druklijnen relatief ten opzichte van de beneden waterstand onafhankelijk van de ingestelde waterstand op het Grevelingenbekken. Het grotere in- en uitstroomverlies bij hogere waterstanden binnen en buiten verlaagde de afvoercoëfficiënt enigszins. De verschillen vielen echter binnen de meetnauwkeurigheid. Bij andere vervallen dan 1 m vervormt de druklijn naar evenredigheid, dit wil zeggen elke druk gerekend ten opzichte van de benedenwaterstand is evenredig met het verval. In alle figuren zijn drukken weergegeven, zoals ze in de bodem van de koker gevonden werden. De drukken gemeten in de punten h'_4 , h'_5 en h'_6 in het plafond van het schuivenhuis verschilden alleen van de drukken aan de bodem wanneer een schuif direkt benedenstrooms van een bepaald punt geknepen werd. In dit geval is de gemiddelde druk gegeven. Grote verschillen traden niet op. De modelresultaten wat betreft afvoercoëfficiënt en coëfficiënt $h_s/\Delta H$ voor volledig geopende schuif waren:

lozen : $\mu = 1,39$; $h_s/\Delta H = 1,4 \text{ á } 1,6$ (figuur 15 en 17)

inlaten : $\mu = 1,37$; $h_s/\Delta H = 1,3$ (figuur 16, 18, 19 en 20)

De variatie in de waarde was een gevolg van het feit dat bij de lagere debieten ($Q_{\text{sluis}} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$) de meetnauwkeurigheid terugloopt, hetgeen met name in de meting van h_s sterk doorspeelde. De waarden voor de hogere debieten zijn dan ook betrouwbaarder.

Door de berekende verliescoëfficiënten voor wrijving voor model en prototype te vergelijken, werd een korrektiewaarde gevonden waarmee de hierboven gegeven afvoercoëfficiënt om te rekenen zijn tot prototypewaarden. Deze waarden zijn

lozen : $\mu_{\text{proto}} = 1,46$

inlaten : $\mu_{\text{proto}} = 1,44$

Met nadruk wordt gesteld, dat de in de figuren gepresenteerde waarden voor de afvoercoëfficiënt, ook voor waarden $d/D = 1,0$, ongecorrigeerd zijn voor dit Reynolds-effekt op de wrijvingsweerstand.

De druklijnen voor lozen bij geknepen bovenstroomse schuif (= schuif 1) zijn gegeven in figuur 11. Wederom zijn de drukken genormeerd op $\Delta H = 1$ m. Figuur 12 geeft de druklijnen voor geknepen tweede schuif bij lozen. De druklijnen voor geknepen eerste en tweede schuif bij inlaten zijn gepresenteerd in figuur 13 en 14. De invloed van de plaatsing van de schuiven in de sponning (korrekt = grootste spleet bovenstrooms) was in de druklijnen niet significant. In de waarden van de afvoercoëfficiënten zou voor waarden $0,7 < d/D < 0,9$ enig verschil te zien zijn bij lozen (figuur 15). De verschillen zijn echter in de orde van grootte van de variatie in de metingen, zoals de μ -waarden voor $d/D = 1,0$ laten zien. Bij inlaten is geen verschil ten gevolge van een foute oriëntatie van de schuiven op te maken (figuur 16).

Voor een uitgesproken voorkeur voor de boven- of de benedenstroomse schuif met betrekking tot de waarden van μ of $h_s/\Delta H$ is geen reden gezien deze resultaten. Weliswaar geeft schuif voor waarden $0,8 < d/D < 0,4$ steeds iets hogere waarden voor $h_s/\Delta H$ (figuur 17 en 20), bij de kritieke hefhoogte ($d/D = 0,8 \text{ á } 0,9$) is geen verschil gemeten.

Bij de proeven voor inlaten zijn een aantal verschillende vormgevingen van de instroomopening onderzocht. Hierbij ging het in eerste instantie slechts om de invloed op de afvoercoëfficiënt en de waarde $h_s/\Delta H$ van een foute schematisatie van de instroomopening. Figuur 18 en 19 geven de waarde van $h_s/\Delta H$ voor de verschillende vormgevingen en tonen een geringe afname van $h_s/\Delta H$ voor series C en D (= juiste reproductie van prototype) bij grote hefhoogten van de schuif. De invloed op de afvoercoëfficiënt was niet significant.

Zoals reeds in hoofdstuk 3 is uiteengezet, werd de vormgeving van deze instroomopening in een later stadium wederom punt van discussie in verband met het trekken van een wervel aan de zeezijde. De hierdoor aangezogen lucht zou een akoestische debietmeting in de kokers onmogelijk maken. Gezien de resultaten van de series A tot en met C en het geringe verschil in afvoercoëfficiënt tussen inlaten en lozen zou een wijziging van de vormgeving van de instroomkoker van geringe invloed zijn op de afvoercoëfficiënt en de waarde van $h_s/\Delta H$. Wel toonde het onderzoek aan dat een dergelijke oplossing ook voor inlaten het trekken van een wervel definitief onderdrukt.

Ook voor dit kokerontwerp zijn de resultaten betreffende de verschillende verliezen nader geanalyseerd.

Gebaseerd op de gemeten druklijn voor lozen is in figuur 21 een energielijn

gekonstrueerd door bij de gemeten drukken een snelheidshoogte op te tellen. Het resultaat, de "gemeten" energielijn, in deze figuur vergeleken met een berekende energielijn, die tot stand komt door uitgaande van de gemeten energiehooft bovenstrooms alle theoretische energieverliezen af te trekken op die punten in de koker waar ze plaats vinden. Het resultaat van deze vergelijking is bevredigend op het verlies in het schuivenhuis na. Hier geeft de "gemeten" energielijn een groter energieverlies dan verwacht op grond van de theorie en de aangenomen waarde van het verlies in de sponningen, deze zijn gelijk genomen aan die welke bij sluis Noordland zijn gevonden: M 1089. Een verklaring hiervoor is niet gevonden.

Resumerend kan gesteld worden, dat de waarden voor de afvoercoëfficiënt bij inlaten en lozen na korrektie voldoende afvoerkapaciteit geven. De waarden van 1,44 respectievelijk 1,46 verschillen ten opzichte van de prognose van 1,51 slechts 4%. De grote veiligheidsmarge, die in de geschatte waarde van $h_s/\Delta H$ was opgenomen, bleek niet nodig te zijn, waardoor de sluis nog grotere veiligheid krijgt ten opzichte van het voorkomen van onderdruk in de keel, dan in tabel VII en VIII wordt gegeven. De nieuwe waarden op grond van de onderzoeksresultaten zijn gegeven in tabel XI en X.

De verschillen tussen geschatte en gemeten $h_s/\Delta H$ waren overigens geen aanleiding om het ontwerp te wijzigen.

4.3 Aanvullende berekeningen

Na beëindigen van het modelonderzoek werd verzocht na te gaan in hoeverre de afvoerkapaciteit verhoogd zou kunnen worden met behoud van de buitenafmetingen van de sluis door verkleining van de sprong aan weerszijden van de keel. Uit de analyse van de afzonderlijke kokerverliezen was geen verschil naar voren gekomen tussen theoretische en gemeten sprongverliezen (vgl. M 1089 vergelijking 11), zodat de toename van de afvoercoëfficiënt bij kleiner wordende spronghoogte goed theoretisch te benaderen is. De waarden van $h_s/\Delta H$, berekend volgens vergelijking 18 van rapport M 1089, klopten bij benadering met de gemeten waarden, zodat voor een schatting deze vergelijking gebruikt is in deze aanvullende berekening. Tabel XI geeft de nieuwe waarden van μ en $h_s/\Delta H$ voor de verschillende waarden van de spronghoogte. Uit deze tabel blijkt dat de winst aan afvoerkapaciteit zeer gering is ten koste van een snel stijgen van de waarde $h_s/\Delta H$ waardoor de geneigdheid om lucht aan te zuigen weer toeneemt. Deze benadering om de afvoerkapaciteit te verhogen is dan ook verworpen.

Over- respektievelijk onderschrijdings- frekwentie	H.W. (m t.o.v. NAP)	L.W. (m t.o.v. NAP)
10^0	2,75 ⁺	2,00 ⁻
10^{-1}	3,45 ⁺	2,40 ⁻
10^{-2}	4,10 ⁺	2,80 ⁻

Tabel I : Over- respektievelijk onderschrijdingsfrekwenties van waterstanden
bij de Brouwersdam.

	Kokerdeel					
	1	2	3	4	5	
b_o/b_1	6,80/9,70	6,00/6,80	6,00	6,00/7,20	7,20/10,65	
h_o/h_1	8,00/8,00	4,00/8,00	4,00	7,00/8,00	8,00/8,00	
F_o/F_1	54,5/77,6	24,0/54,5	24,00	42,0/57,6	57,6/85,1	
1	42,75	28,50	21,25	42,75	42,75	
$\bar{b}$	8,25	6,40	6,00	6,60	8,95	
$\bar{h}$	8,00	6,00	4,00	7,50	8,00	
$\bar{F}$	66,0	38,4	24,0	49,5	71,6	
D_H	8,11	6,20	4,80	7,00	8,45	
$\bar{v}$	1,82	3,12	5,00	2,86	1,67	
Re	$1,48 \times 10^7$	$1,94 \times 10^7$	$2,4 \times 10^7$	$2,0 \times 10^7$	$1,41 \times 10^7$	
$\bar{\Delta} = k/D_H$	$3,1 \times 10^{-5}$	4×10^{-5}	$5,2 \times 10^{-5}$	$3,6 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-5}$	
λ	0,010	0,0102	0,0107	0,0101	0,010	
ξ_f	0,0585	0,047	0,0475	0,0615	0,06	
ξ'_f	0,0077	0,0183	0,0475	0,0145	0,0065	
ξ'_{dif}				verwaarloosbaar		
ξ'_u					0,045	
ξ'_{sprong}			0,250			
ξ'_i	0,062					
$\xi_{sponning}$			0,037			
$\xi_{tot} = \xi_o$						0,489
μ						1,43

Tabel II : Berekening voorontwerp sluis Brouwersdam, Lozen.

	Kokerdeel					
	1	2	3	4	5	
b_o/b_1						
h_o/h_1						
F_o/F_1						
1						
$\bar{b}$						
$\bar{h}$						
$\bar{F}$	als					
D_H	tabel II					
$\bar{v}$						
Re						
$\bar{\Delta}$						
λ						
ξ_f						
ξ'_f	0,007 ^x	0,04 ^x	0,0475	0,0145	0,0065	^x vgl. 8 en 10 rapp. M 1089
ξ'_{dif}	0,002	0,022				
ξ'_u					0,05	
ξ'_{sprong}						
ξ'_i	0,10					
$\xi_{sponning}$			0,04			
$\xi_{korrektie}$		0,06				i.v.m. afronding
$\xi_{tot} = \xi_o$						0,41
μ						1,56

Tabel III : Berekening voorontwerp sluis Brouwersdam. Inlaten.

Onderschrijdings- percentage	L.W. m t.o.v. NAP	Grevelingen m t.o.v. NAP	ΔH m	h_s m	h_{keel} m t.o.v. NAP
10^0	2,00 ⁻	0,30 ⁺	2,30	3,80	5,80 ⁻
10^{-1}	2,40 ⁻	0,30 ⁺	2,70	4,45	6,85 ⁻
10^{-2}	2,80 ⁻	0,30 ⁺	3,10	5,10	7,90 ⁻

Tabel IV : Geschatte frekwenties van luchtaanzuigen bij lozen.

Voorontwerp.

Overschrijvings- percentage	H.W. m t.o.v. NAP	Grevelingen m t.o.v. NAP	ΔH m	h_s m	h_{keel} m t.o.v. NAP
10^1	2,10 ⁺	0,70 ⁻	2,80	6,15	6,85 ⁻
10^0	2,75 ⁺	0,70 ⁻	3,45	7,60	8,30 ⁻
10^{-1}	3,45 ⁺	0,70 ⁻	4,15	9,10	9,80 ⁻

Tabel V : Geschatte frekwenties van luchtaanzuigen bij inlaten.

Voorontwerp.

	Kokerdeel					
	1	2	3	4	5	
b_o/b_1	7,40/12,85	6,00/7,40	6,0/6,0	6,0/7,40	7,40/12,85	
h_o/h_1	8,00/ 8,00	8,00/7,00	4,50/4,50	7,00/8,00	8,00/ 8,00	
F_o/F_1	59,2/103	42,0/59,2	27,0	42,0/59,2	59,2/103	
1	43,50	43,50	20,50	43,50	43,50	
$\bar{b}$	10,12	6,70	6,00	6,70	10,12	
$\bar{h}$	8,00	7,50	6,00	} vgl. kokerdeel 1 & 2		
$\bar{F}$	81,0	50,3	27,0			
D_H	8,94	7,07	5,14			
$\bar{v}$	1,67	2,69	5,00			
Re	$1,49 \times 10^7$	$1,90 \times 10^7$	$2,52 \times 10^7$			
$\bar{\Delta} = k/D_H$	$2,8 \times 10^{-5}$	$3,5 \times 10^{-5}$	$4,9 \times 10^{-5}$			
λ	0,0098	0,0101	0,0106			
ξ_f	0,0475	0,0606	0,0423	0,0606	0,0475	
ξ'_f	0,0053	0,0175	0,0423	0,0175	0,0053	
ξ'_{dif}				0,002	0,003	
ξ'_u					0,0646	
ξ'_{sprong}				0,20		
ξ'_i	0,0414					
$\xi_{sponning}$			0,037			
$\xi_{tot} = \xi_o$						0,436
μ						1,51

Tabel VI : Berekening ontwerp A-1. Lozen en inlaten.

Onderschrijdings- frekwentie	L.W. m t.o.v. NAP	Grevelingen m t.o.v. NAP	ΔH m	h_s m	h_{keel} m t.o.v. NAP
10^0	2,00 ⁻	0,10 ⁺	2,10	3,78	5,78 ⁻
10^{-1}	2,40 ⁻	0,10 ⁺	2,50	4,50	6,90 ⁻
10^{-2}	2,80 ⁻	0,10 ⁺	2,90	5,20	8,00 ⁻

Tabel VII : Geschatte frekwenties van luchtaanzuigen bij lozen.
Ontwerp A-1.

Overschrijdings- frekwentie	H.W. m t.o.v. NAP	Grevelingen m t.o.v. NAP	ΔH m	h_s m	h_{keel} m t.o.v. NAP
10^0	2,75 ⁺	0,50 ⁻	3,25	5,85	6,35 ⁻
10^{-1}	3,45 ⁺	0,50 ⁻	3,95	7,10	7,60 ⁻
10^{-2}	4,10 ⁺	0,50 ⁻	4,60	8,30	8,80 ⁻

Tabel VIII : Geschatte frekwenties van luchtaanzuigen bij inlaten.
Ontwerp A-1.

Onderschrijdings- frekwentie	L.W. m t.o.v. NAP	Grevelingen m t.o.v. NAP	ΔH m	h_s m	h_{keel} m t.o.v. NAP
10^0	2,00 ⁻	0,10 ⁺	2,10	3,15	5,15 ⁻
10^{-1}	2,40 ⁻	0,10 ⁺	2,50	3,75	6,15 ⁻
10^{-2}	2,80 ⁻	0,10 ⁺	2,90	4,35	7,15 ⁻

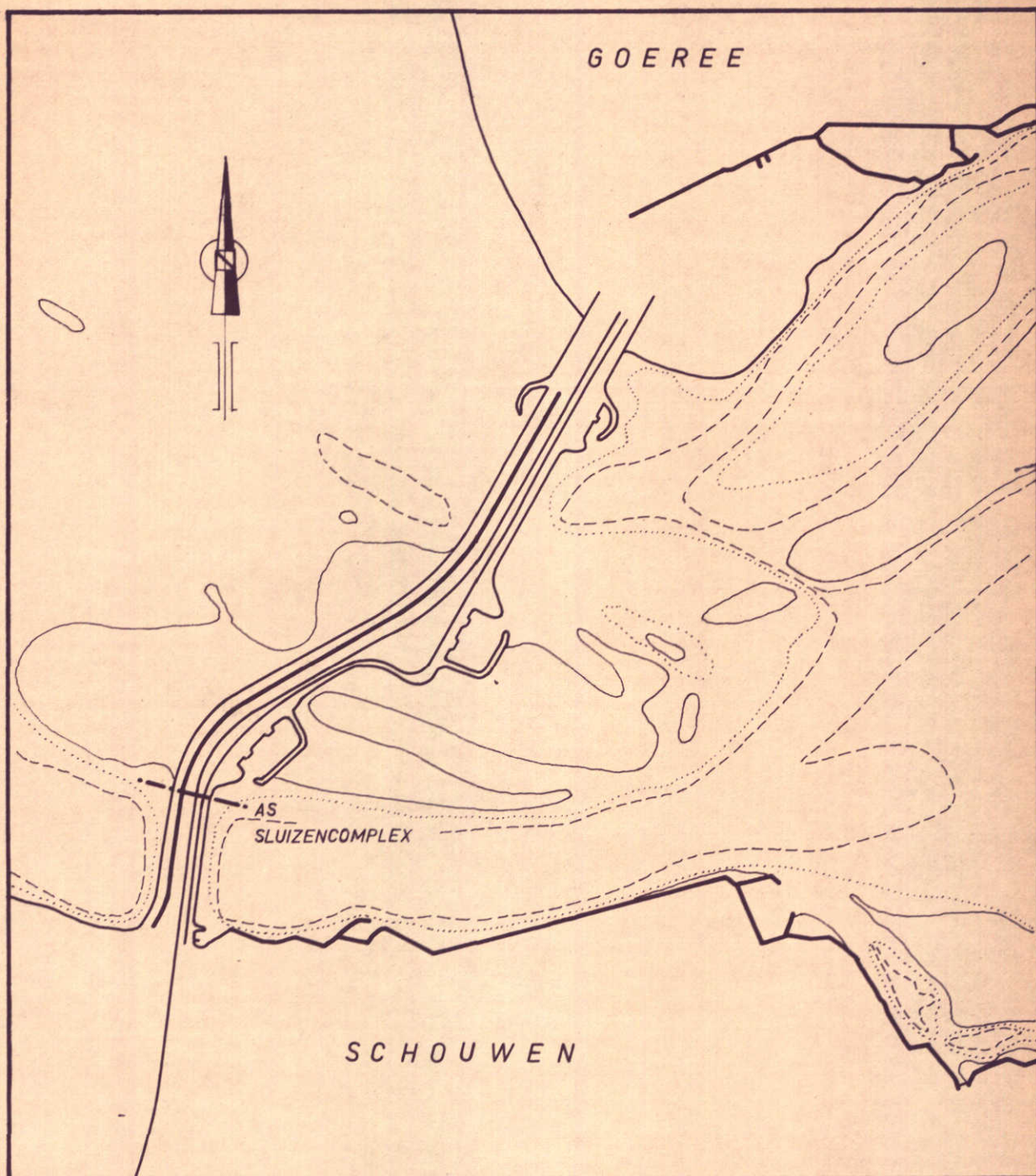
Tabel IX : Frekwenties van luchtaanzuigen volgens gemeten $h_s/\Delta H$.
Lozen, ontwerp A-1

Overschrijdings- frekwentie	H.W. m t.o.v. NAP	Grevelingen m t.o.v. NAP	ΔH m	h_s m	h_{keel} m t.o.v. NAP
10^0	2,75 ⁺	0,50 ⁻	3,25	4,20	4,70 ⁻
10^{-1}	3,45 ⁺	0,50 ⁻	3,95	5,15	5,65 ⁻
10^{-2}	4,10 ⁺	0,50 ⁻	4,60	6,00	6,50 ⁻

Tabel X : Frekwenties van luchtaanzuigen volgens gemeten $h_s/\Delta H$.
Inlaten, ontwerp A-1.

Spronghoogte [m]	μ	μF_{koker} [m ²]	$h_s / \Delta H$
2,5 (ontwerp A-1)	1,46	79	1,5
1,5	1,53	82,5	1,9
1,0	1,58	85,5	2,10
0,5	1,63	88,0	2,25
0 (diffusor)	1,76	95,0	2,80

Tabel XI : Toename afvoerkapaciteit bij afnemende spronghoogte achter de keel.



OVERZICHTSITUATIE SLUIS BROUWERSDAM

SCHAAL 1:50.000

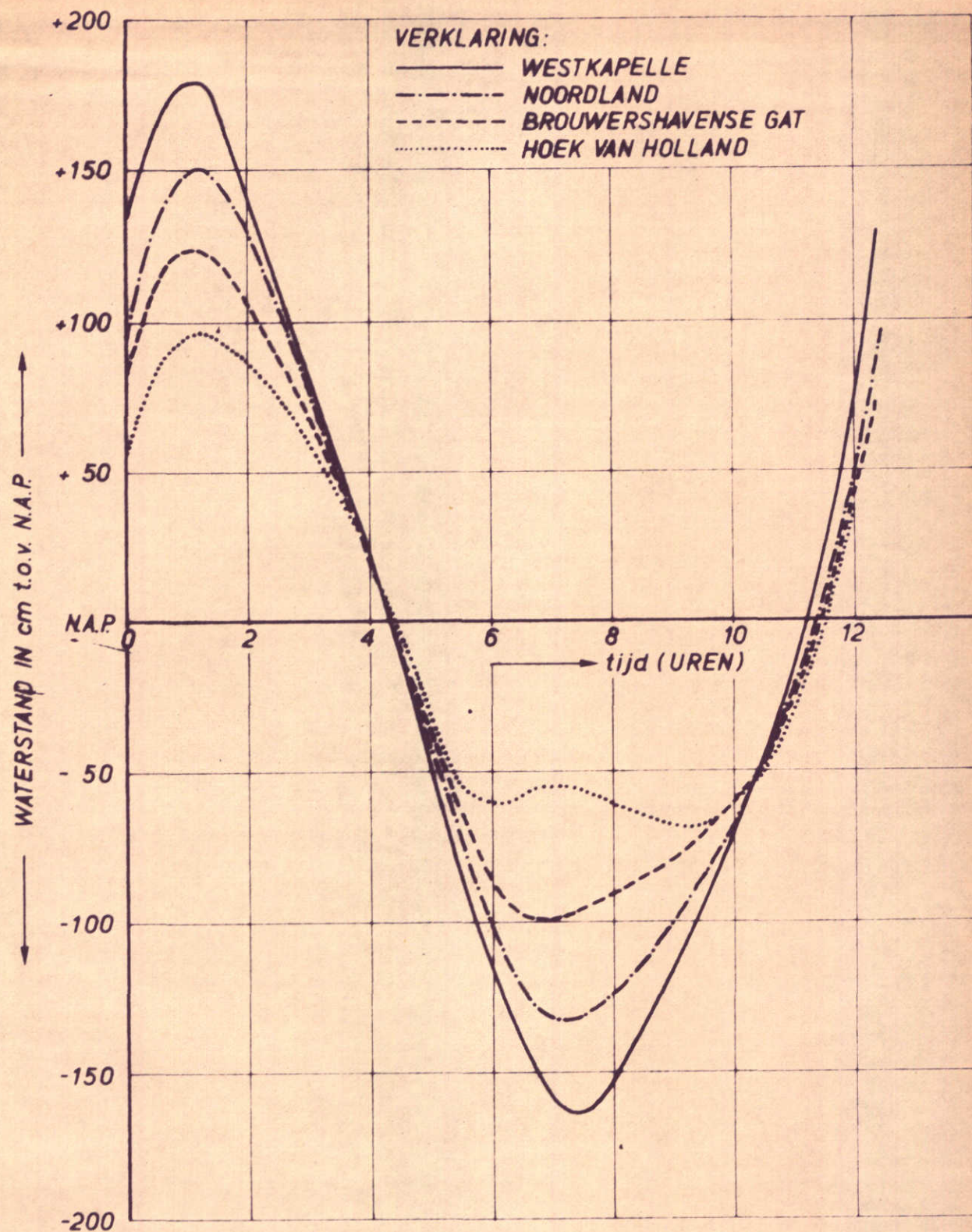
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1257 - 1001

FIG. 1



GETJUKROMMEN HEBBEN NIET DE JUISTE FASE;
DOORGANG DOOR N.A.P. IN DALENDE TAK IS OP
HETZELFDE TIJDSTIP GELEGD.

GEMIDDELDE GETJUKROMME BIJ DE BROUWERSDAM

OVERGENOMEN UIT
NOTA W - 73.074

A4

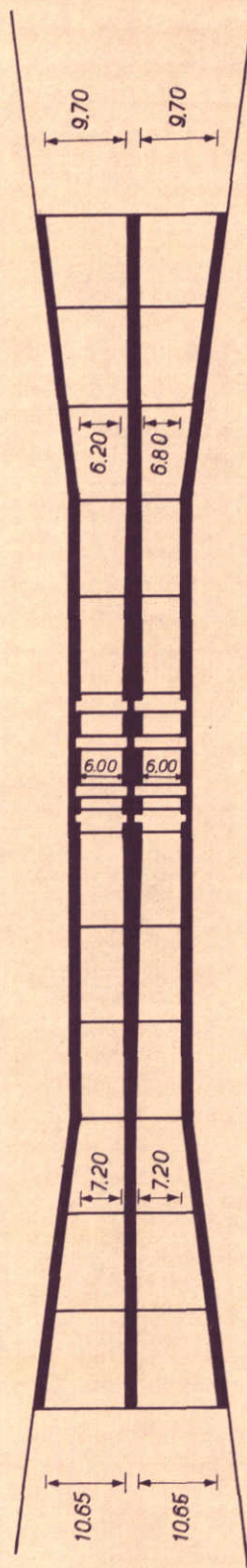
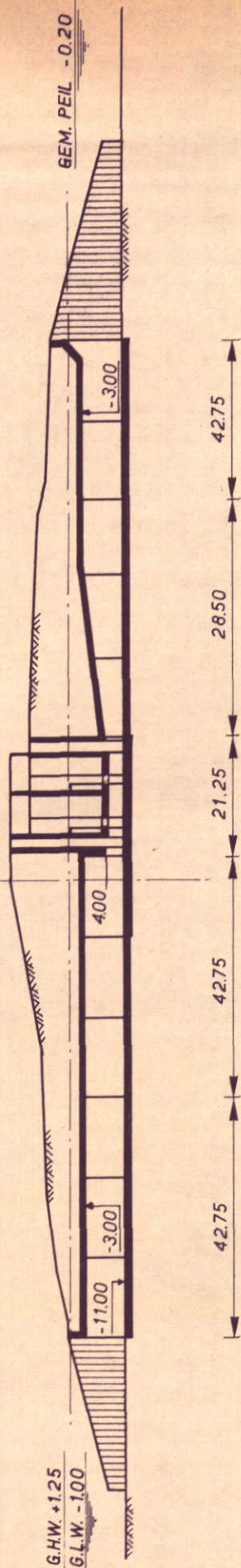
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1257-1002

FIG. 2

ZEEZIJDE

G.M. ZIJDE



VOORONTWERP VAN EEN SLUIS IN DE BROUWERSDAM

MATEN IN m PROTOTYPE

R.R.

A4

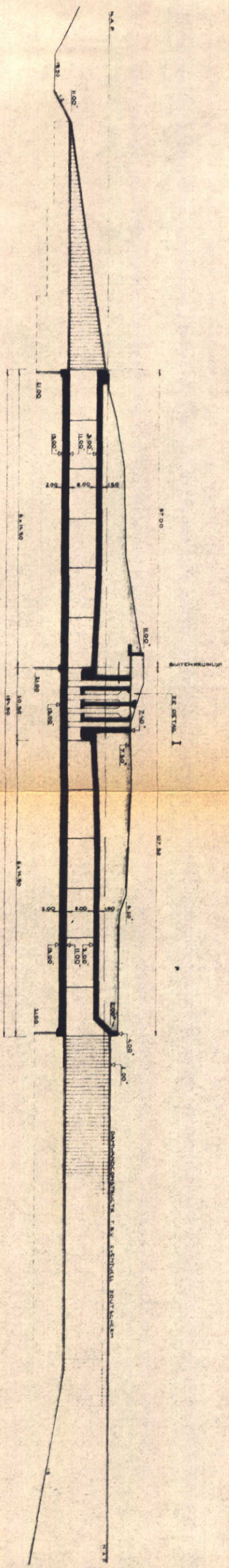
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1257 - 1003

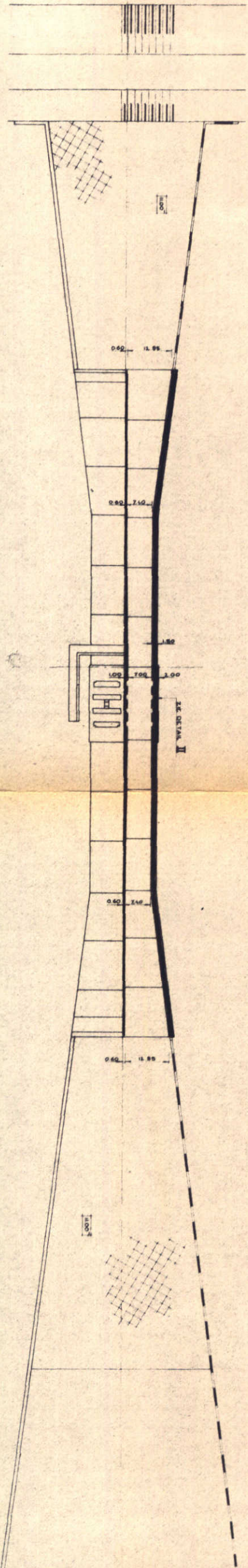
FIG. 3

ZEEZIJDE

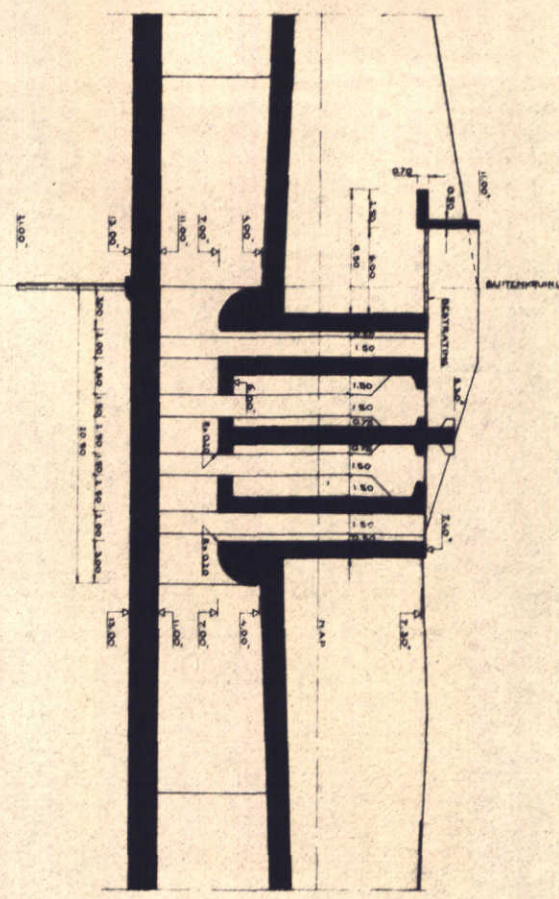
G.M. ZIJDE



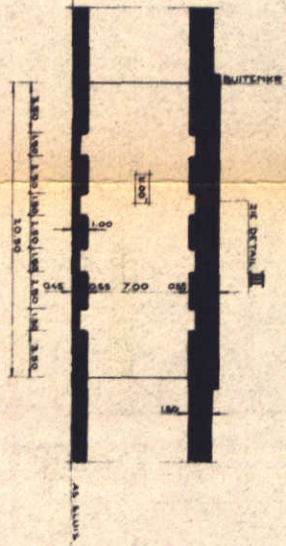
LANGSDOORSNEDEN



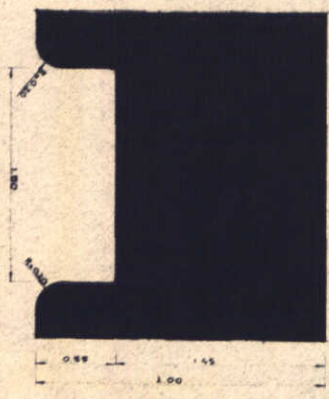
HOR. DOORSNEDEN EN BOVENAANZICHT



DETAIL I



DETAIL II



DETAIL III

SLUISONTWERP A

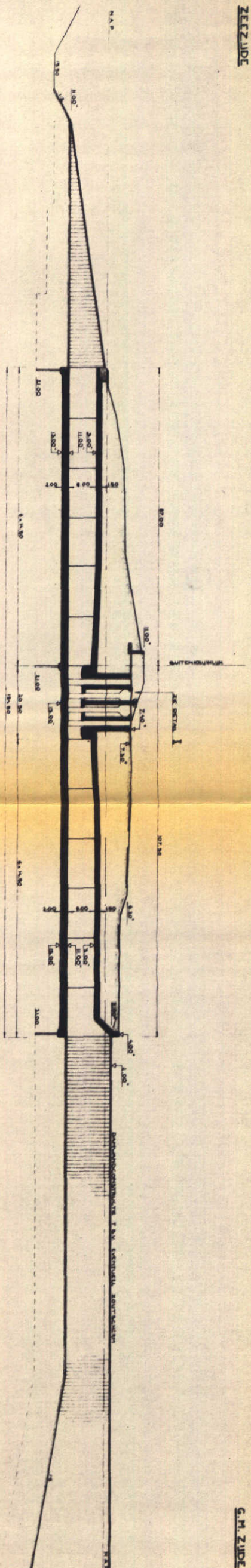
VOLGENS R.W.S.-TEK. G.B.14 R.R.

A3

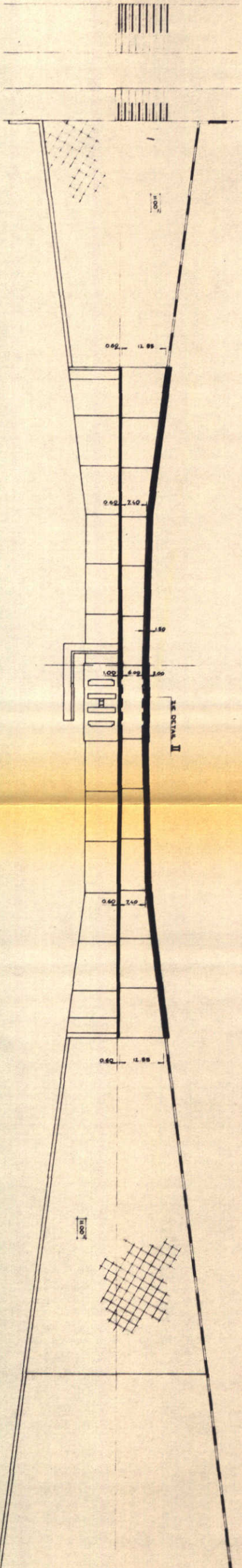
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1257-1004

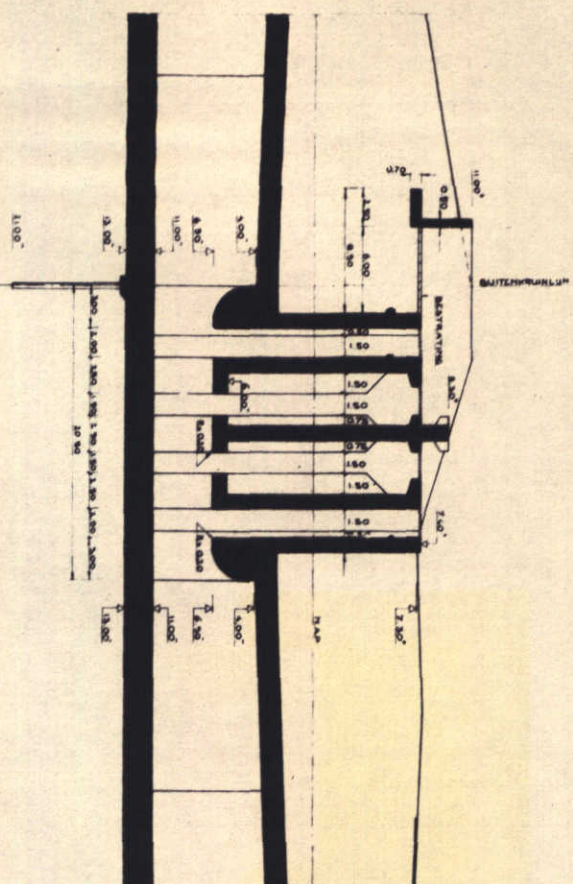
FIG. 4



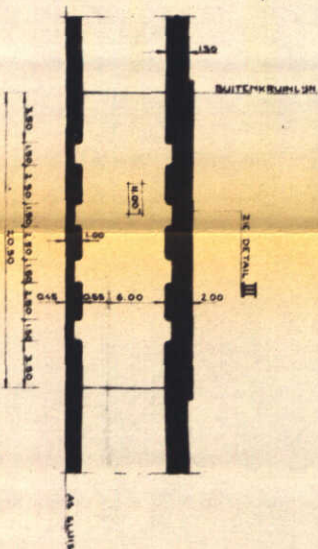
LANGSDOORSNED E



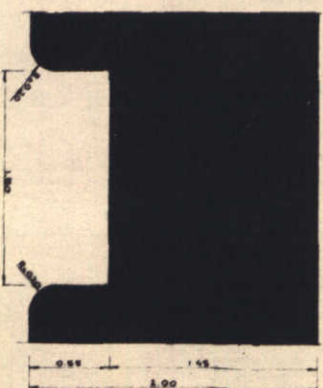
HOB DOORSNED E EN BOVENAANZICHT



DETAIL I



DETAIL II



DETAIL III

SLUISONTWERP A-1

WATERLOOPOKUNDIG LABORATORIUM

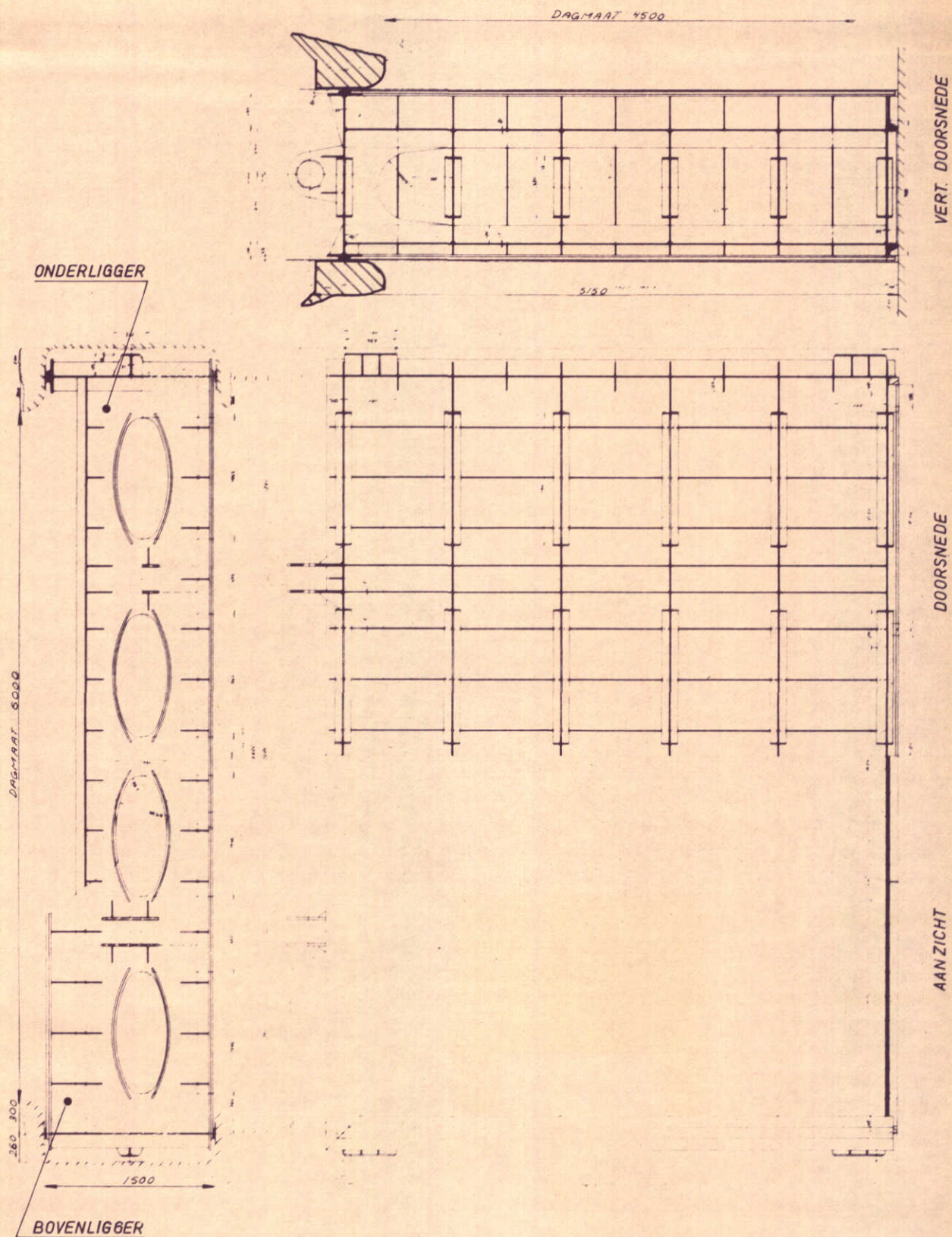
M. 1257-1005

FIG. 5

VOLGENS R.W.S.-TEK. 6B140

R.R.

A3



SCHUIFONTWERP VAN SLUIS BROUWERSDAM

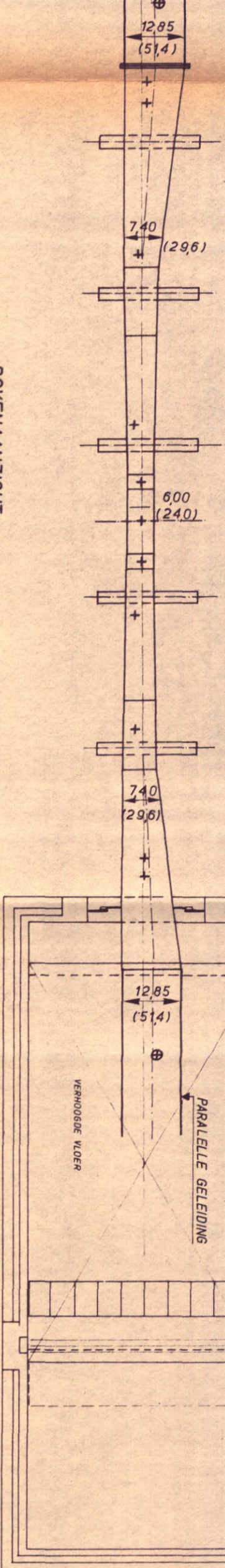
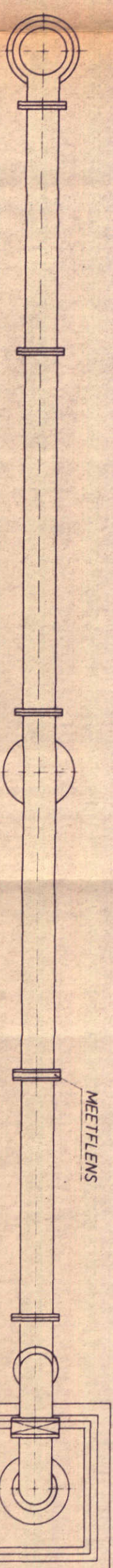
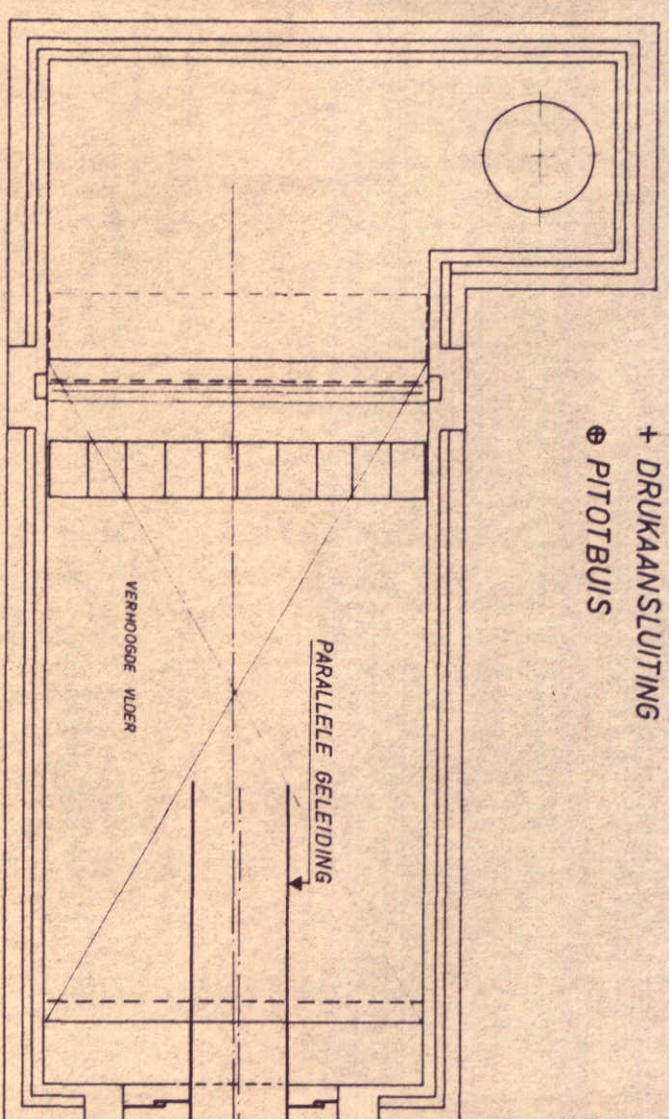
RWS. DIR. BRUGGEN
Tek. A III D1100

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1257 - 1006

FIG. 6

A4

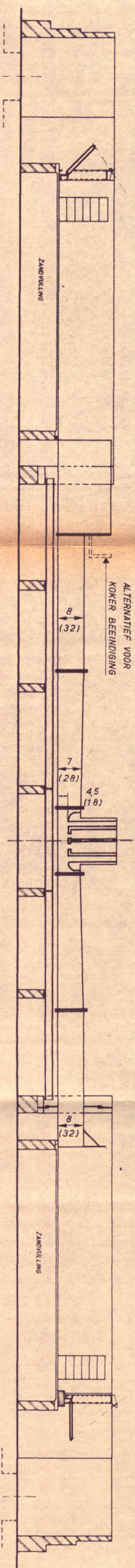


BOVENAANZICHT

ZEE



ZEEUWS MEER



VERT. LANGSDOORSNEDE

OPSTELLING STROMINGSMODEL VAN ÉÉN KOKER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

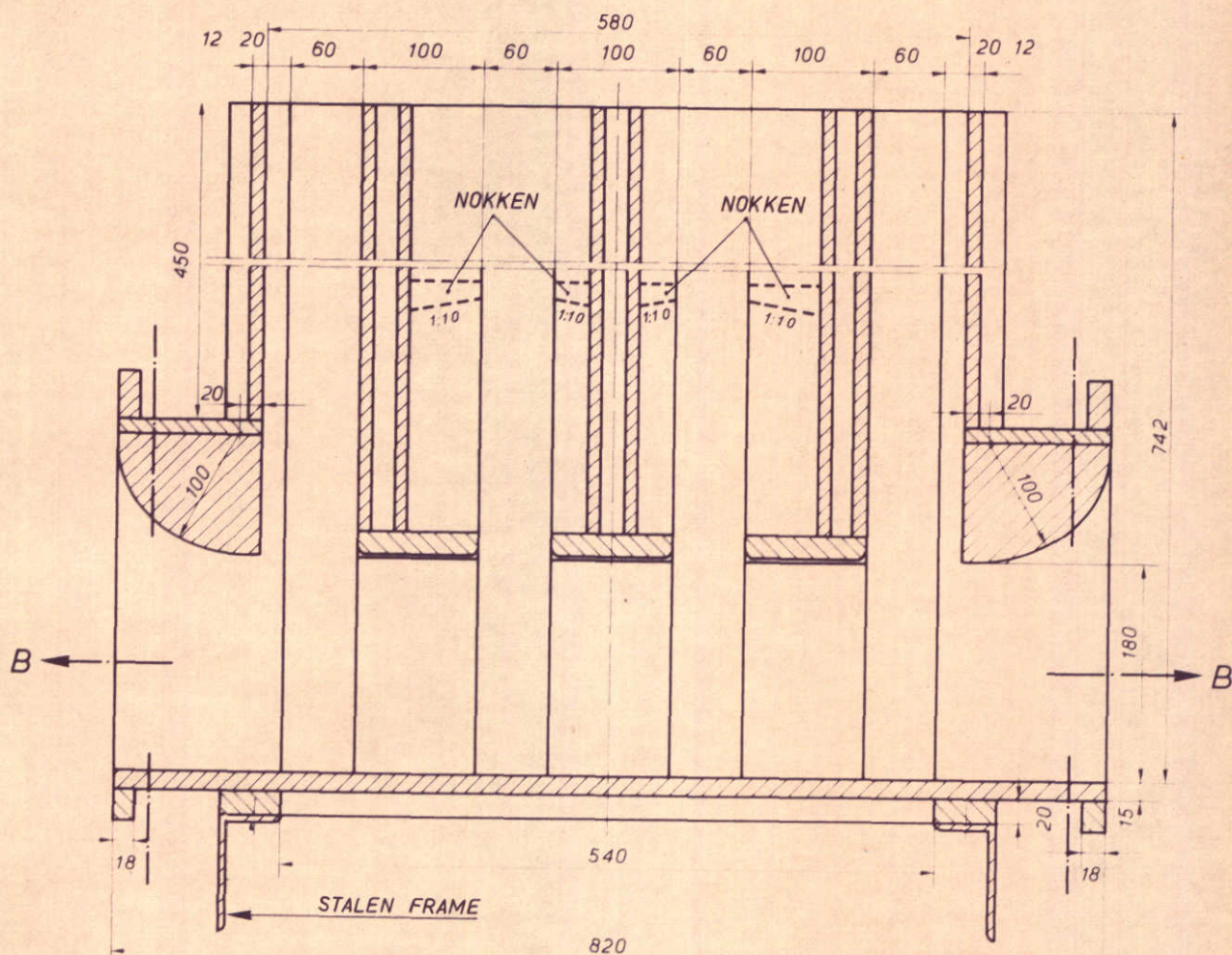
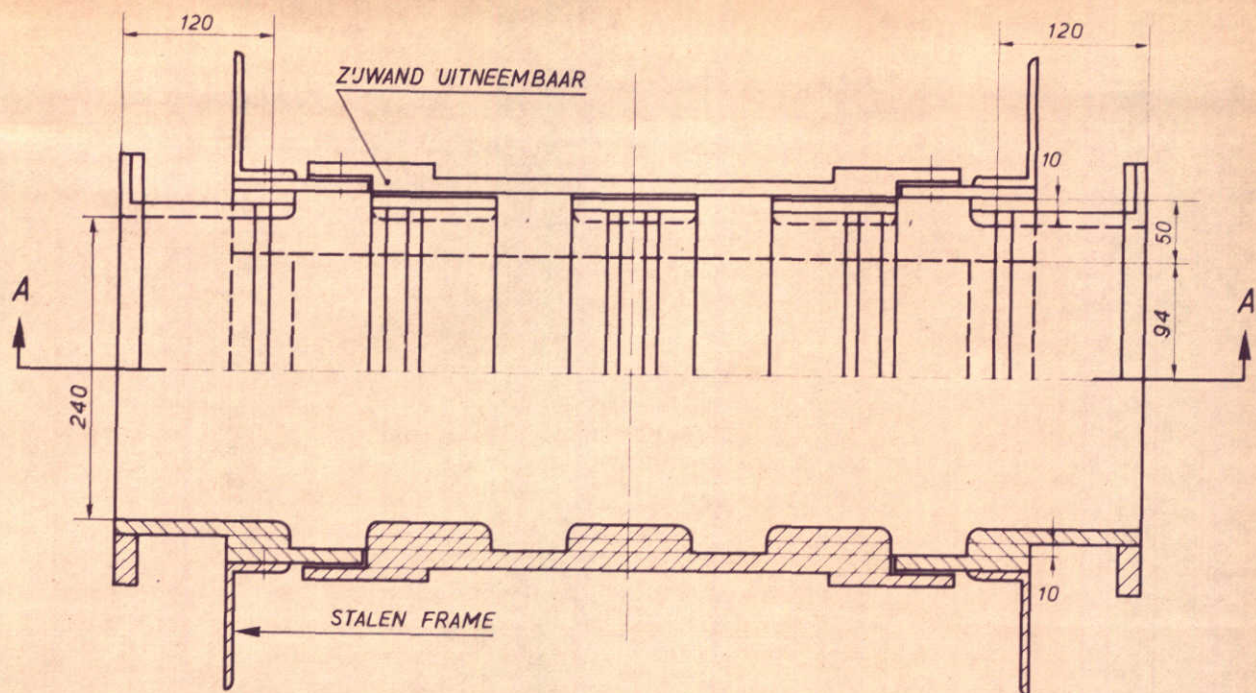
R.R.

A3¹

M.1257 - 1007

FIG. 7

SCHAAL 1:40 t.o.v. MODEL
MATEN IN m PROTOTYPE
MATEN () IN cm MODEL



DOORSNEDE A-A

DETAILS SCHUIVENHUIS MODEL

MATEN IN mm MODEL

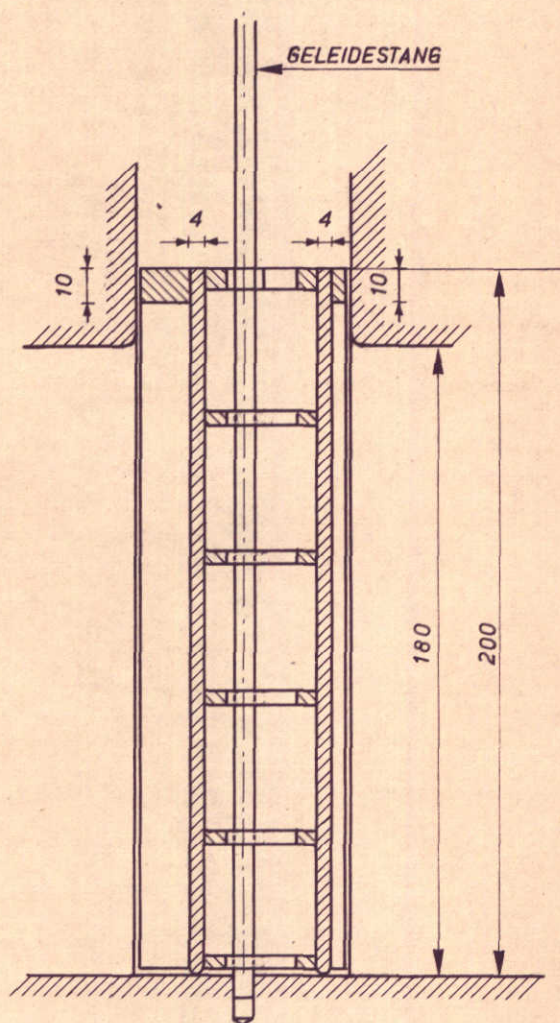
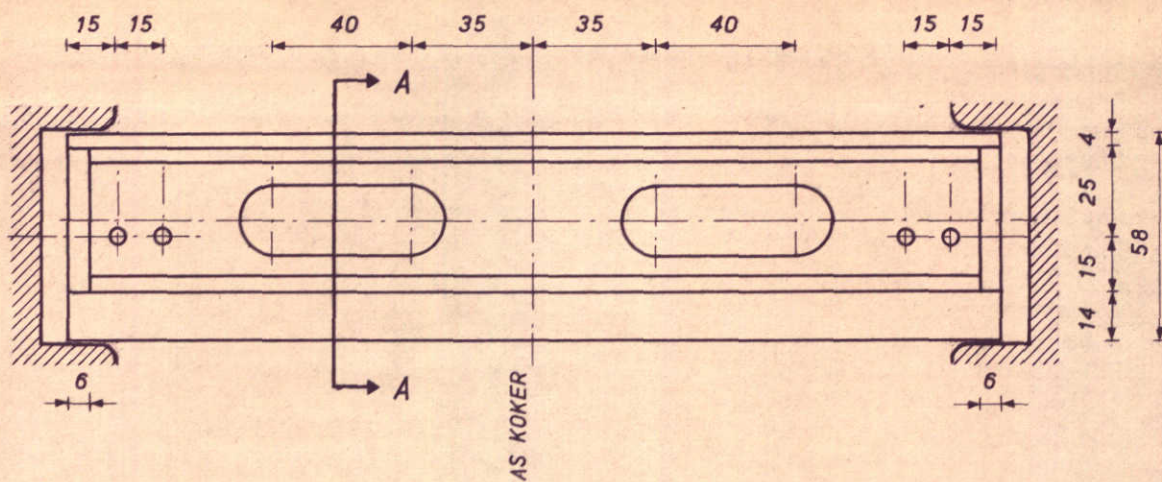
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1257-1008

FIG. 8



DSN. A-A

SCHUIFONTWERP VAN KOKERMODEL

MATEN IN mm MODEL

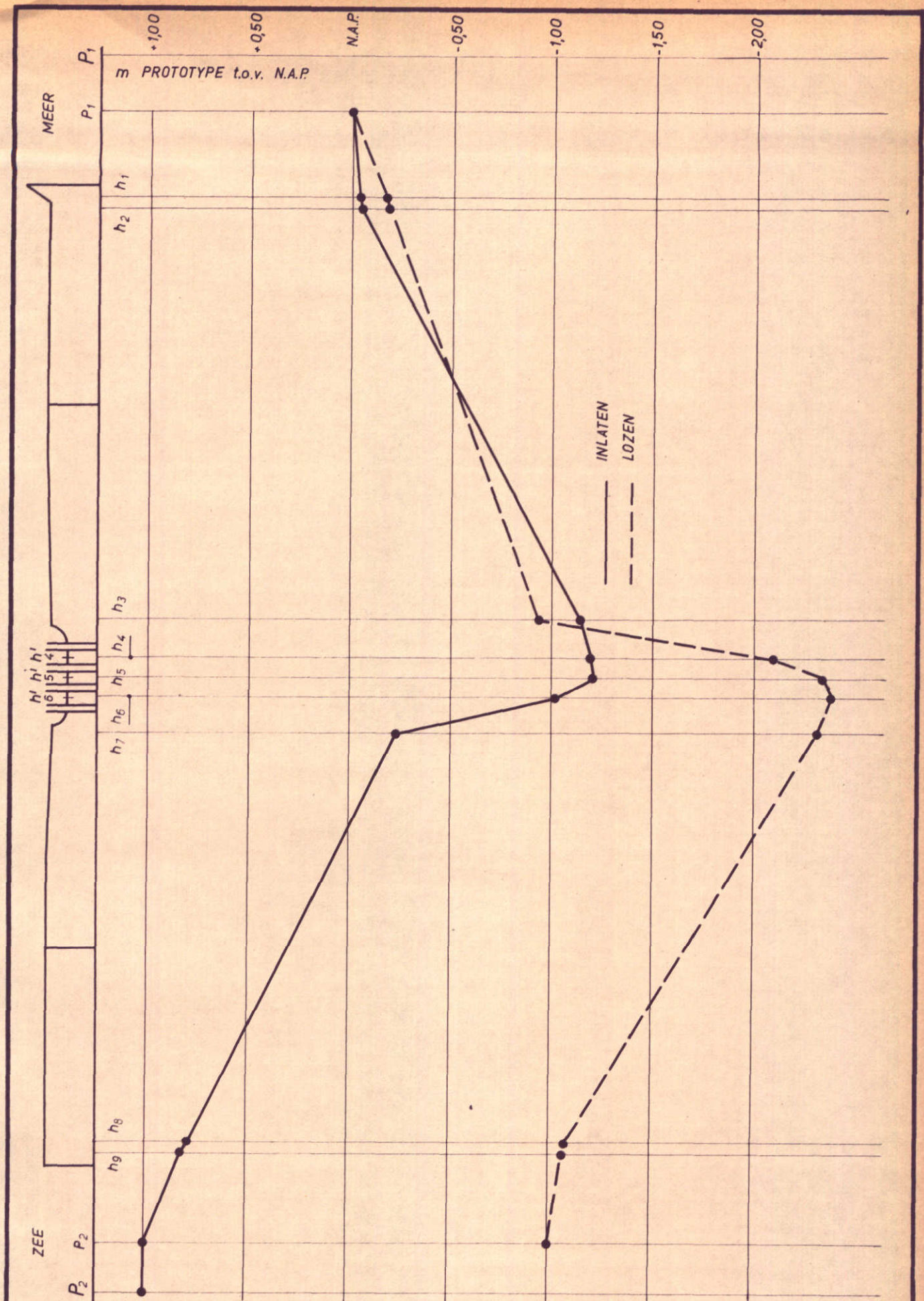
R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1257 - 1009

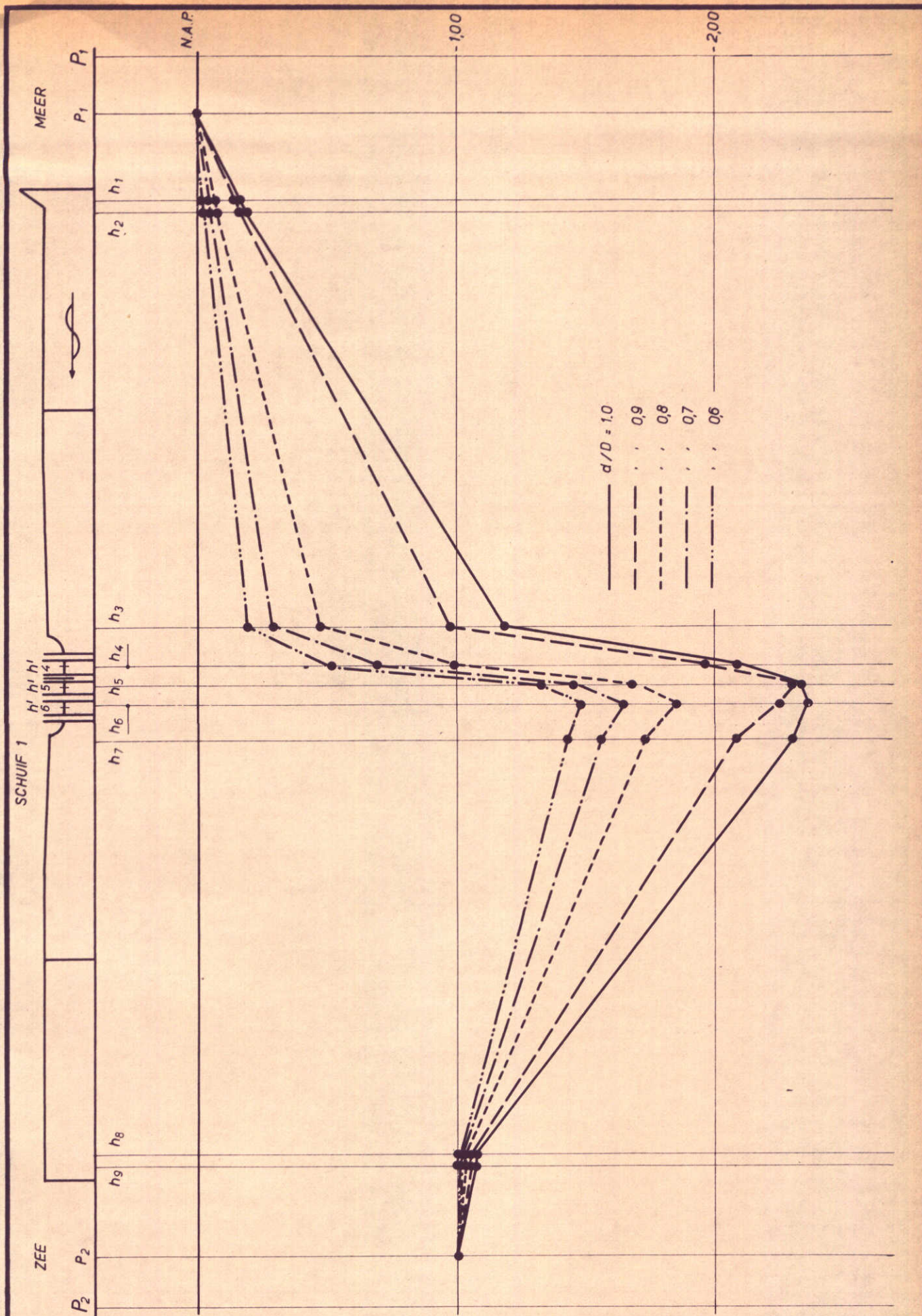
FIG. 9



DRUKLIJNEN LOZEN EN INLATEN BIJ GEOPENDE SCHUIF
 $\Delta H = 1m$

R.R.

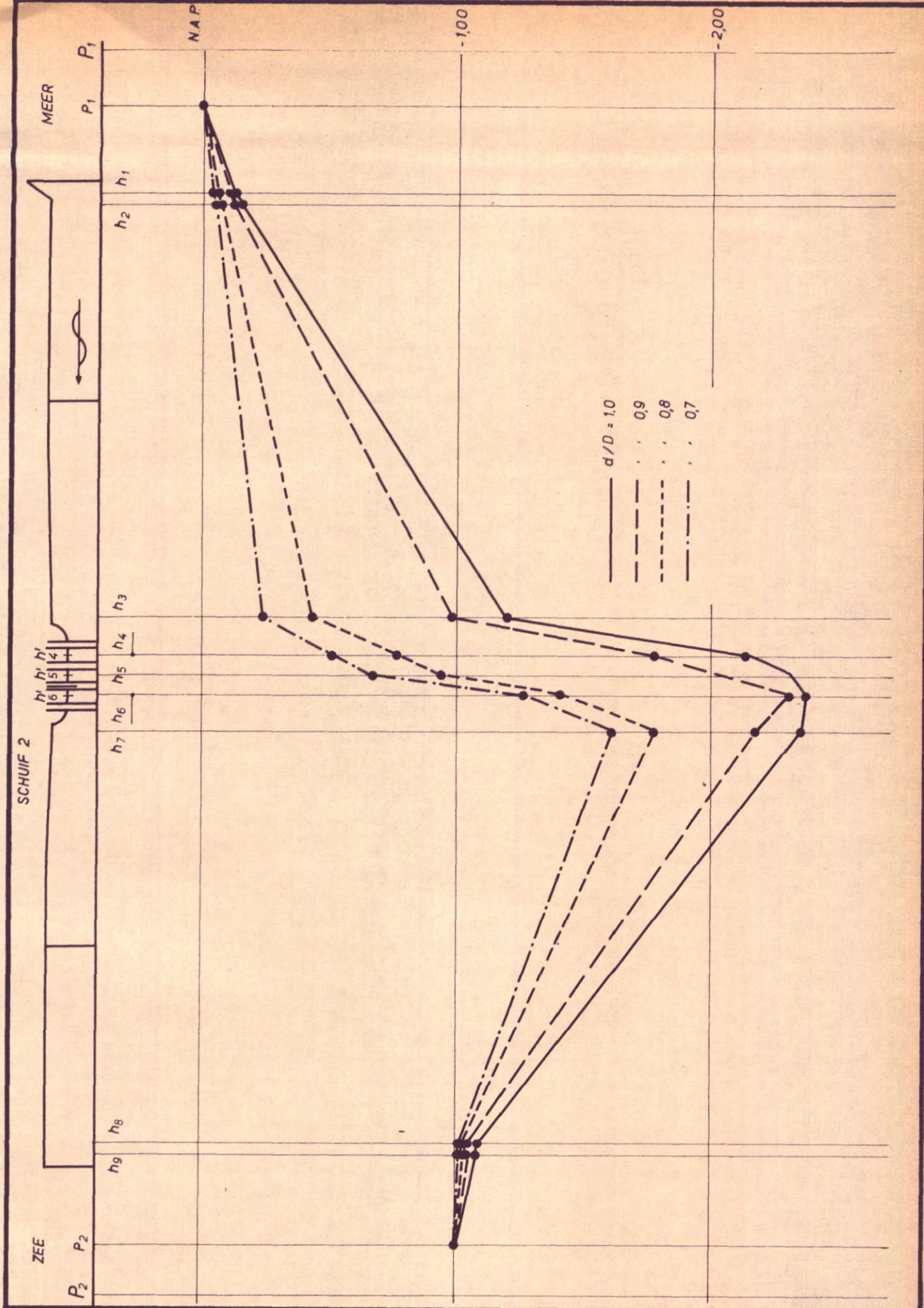
A4



DRUKLIJNEN LOZEN BIJ GEKNEPEN EERSTE SCHUIF $\Delta H = 1 \text{ m}$

R.R.

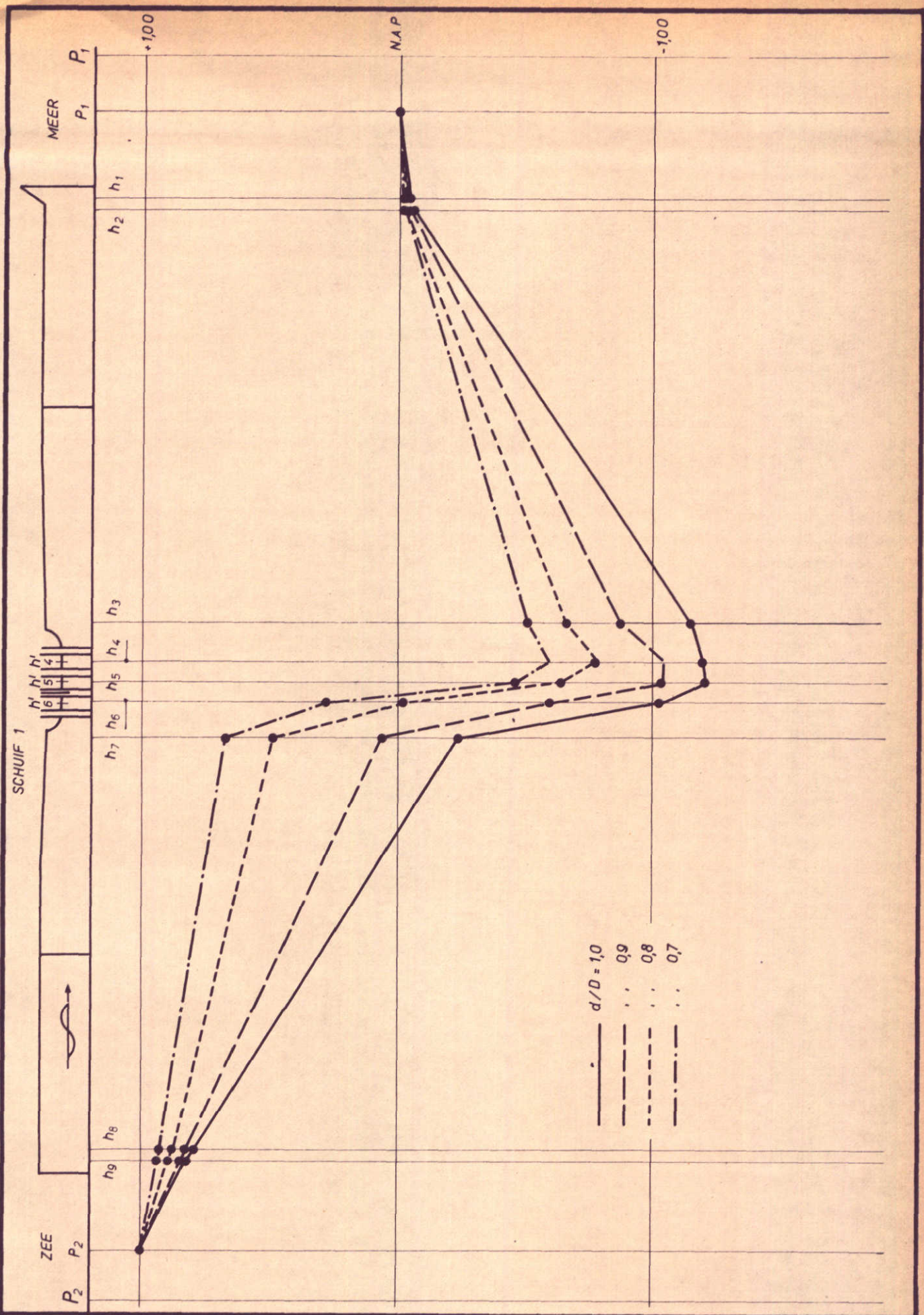
A4



DRUKLIJNEN LOZEN BIJ GEKNEPEN TWEEDE SCHUIF $\Delta H = 1m$

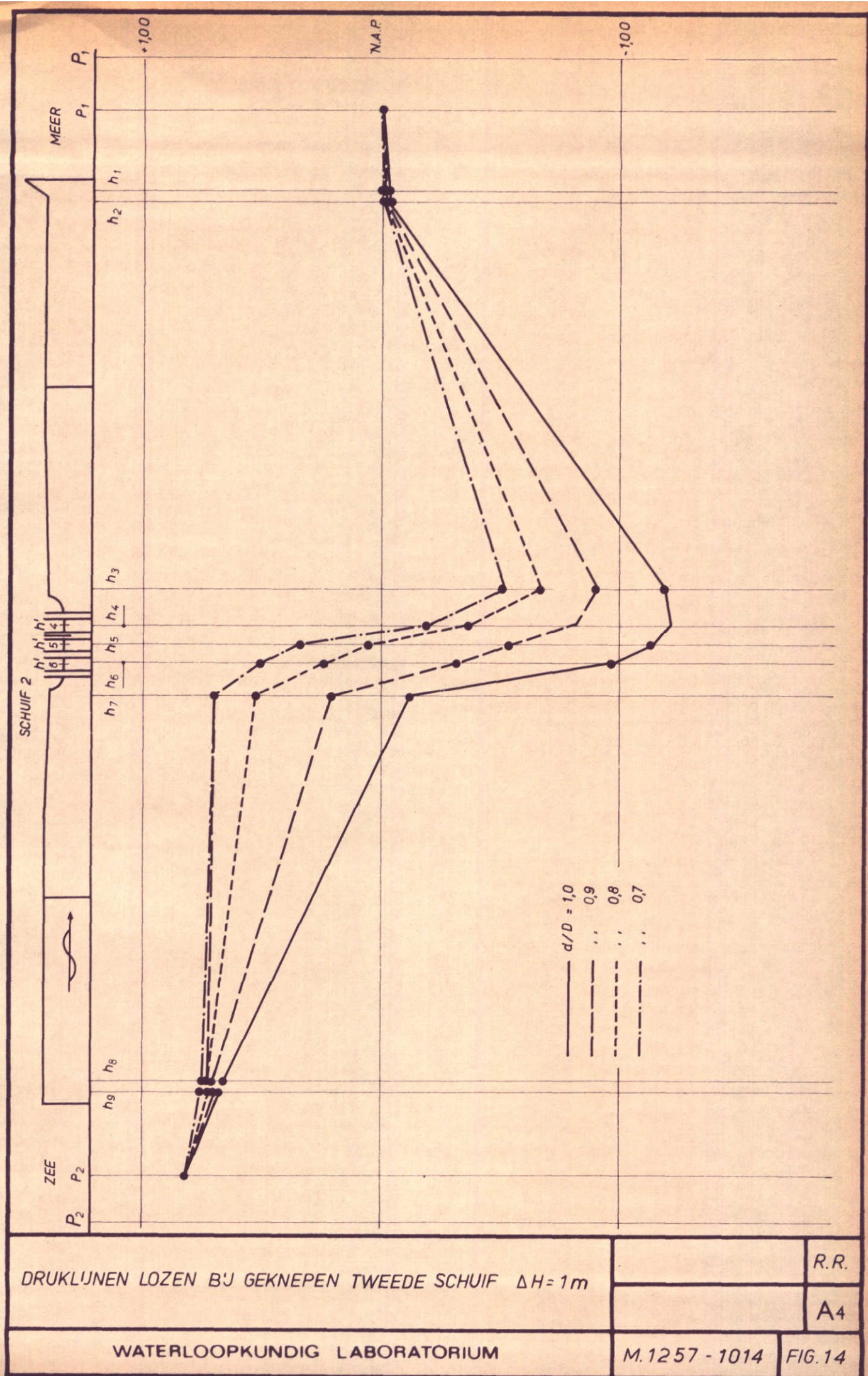
R.R.

A4



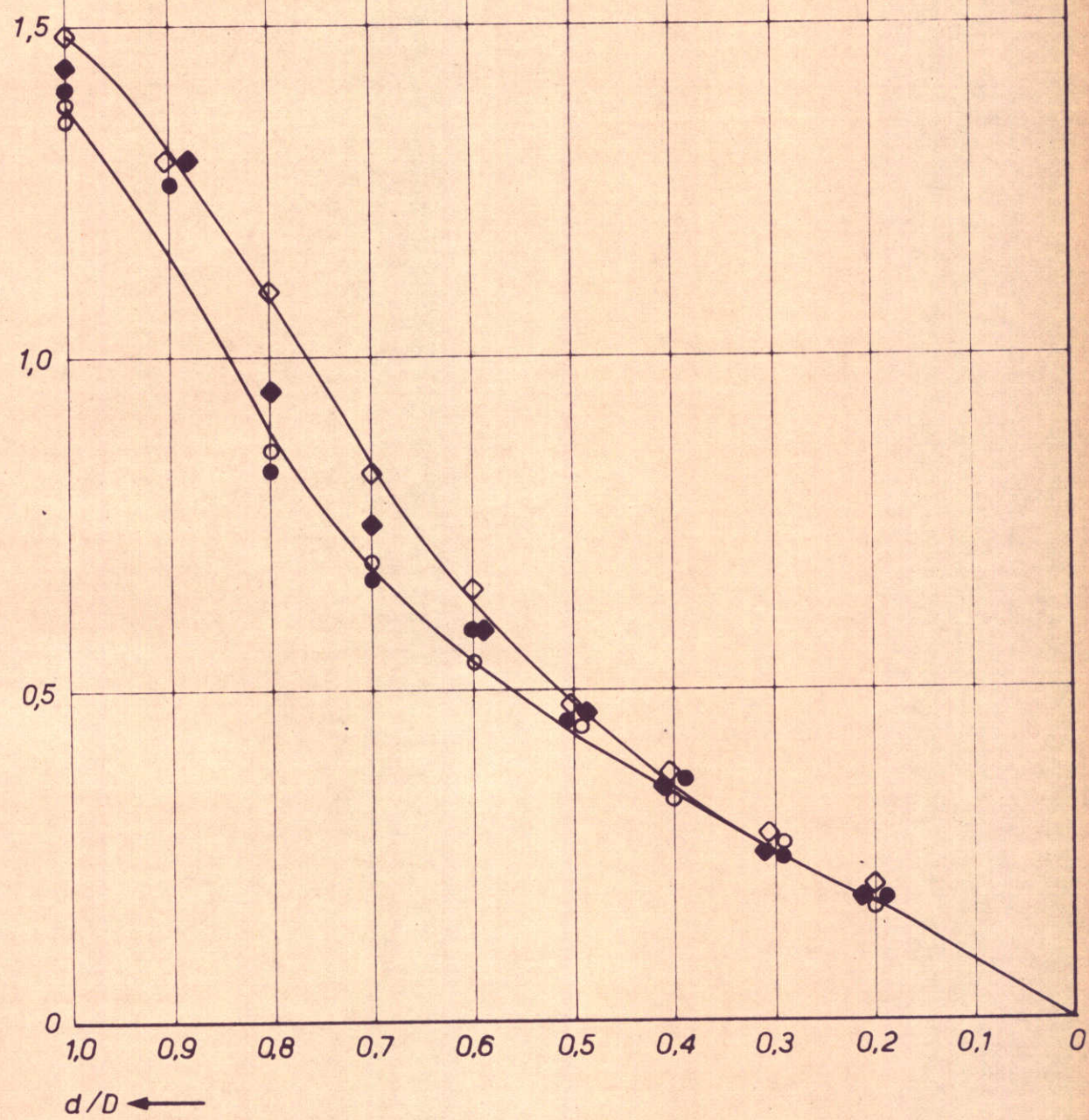
DRUKLIJNEN INLATEN BIJ GEKNEPEN
 EERSTE SCHUIF $\Delta H = 1\text{ m}$

R.R.
 A4



μ ↑

ORIENTATIE	SCHUIF 1	SCHUIF 2
CORRECT	○	●
INCORRECT	◇	◆



AFVOERCOEFFICIENT VOOR LOZEN

ORIENTATIE SCHUIVEN 1 EN 2 CORRECT EN INCORRECT

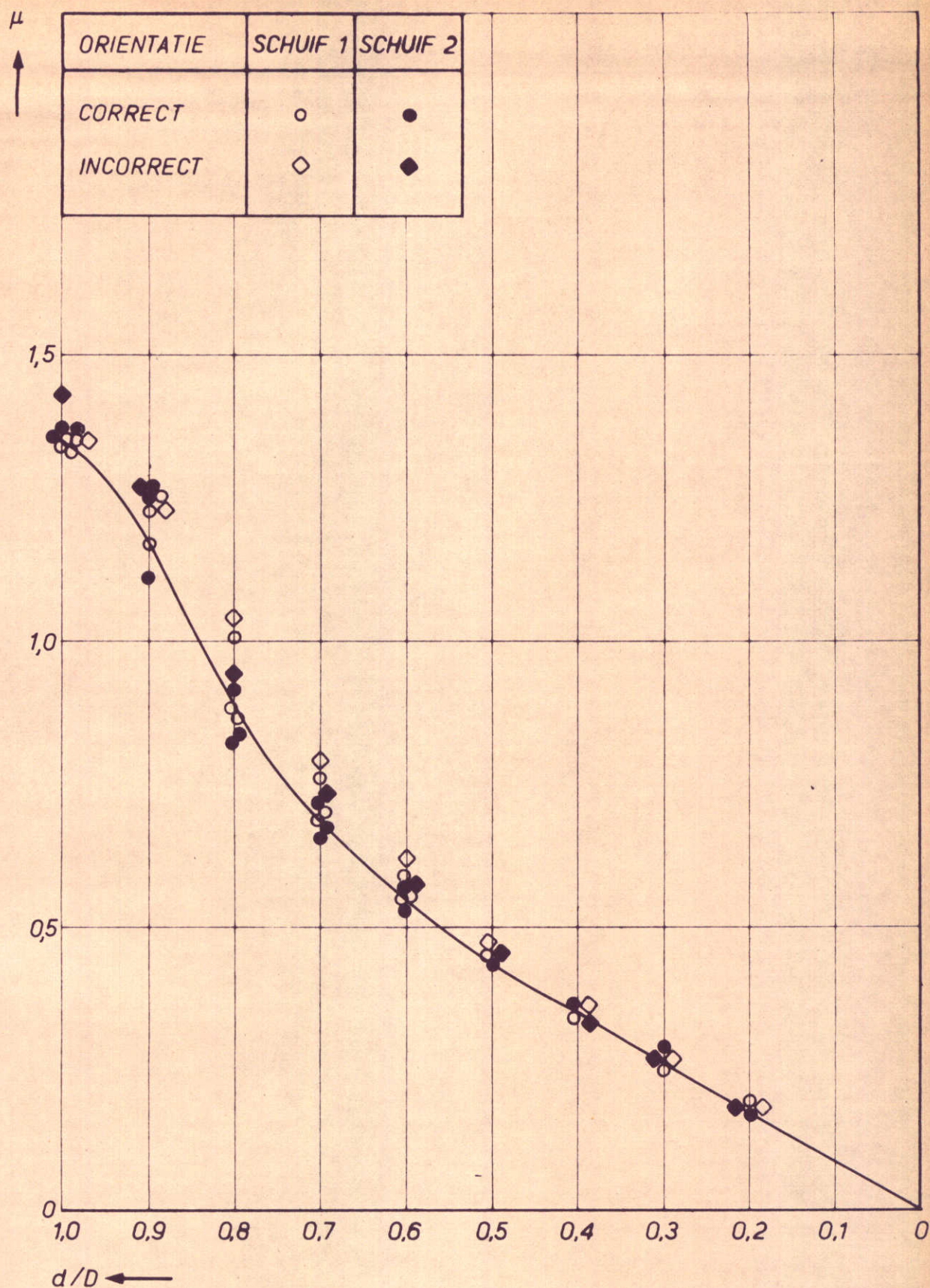
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R.R.

A4

M.1257 - 1015

FIG.15



AFVOERCOEFFICIENT VOOR INLATEN

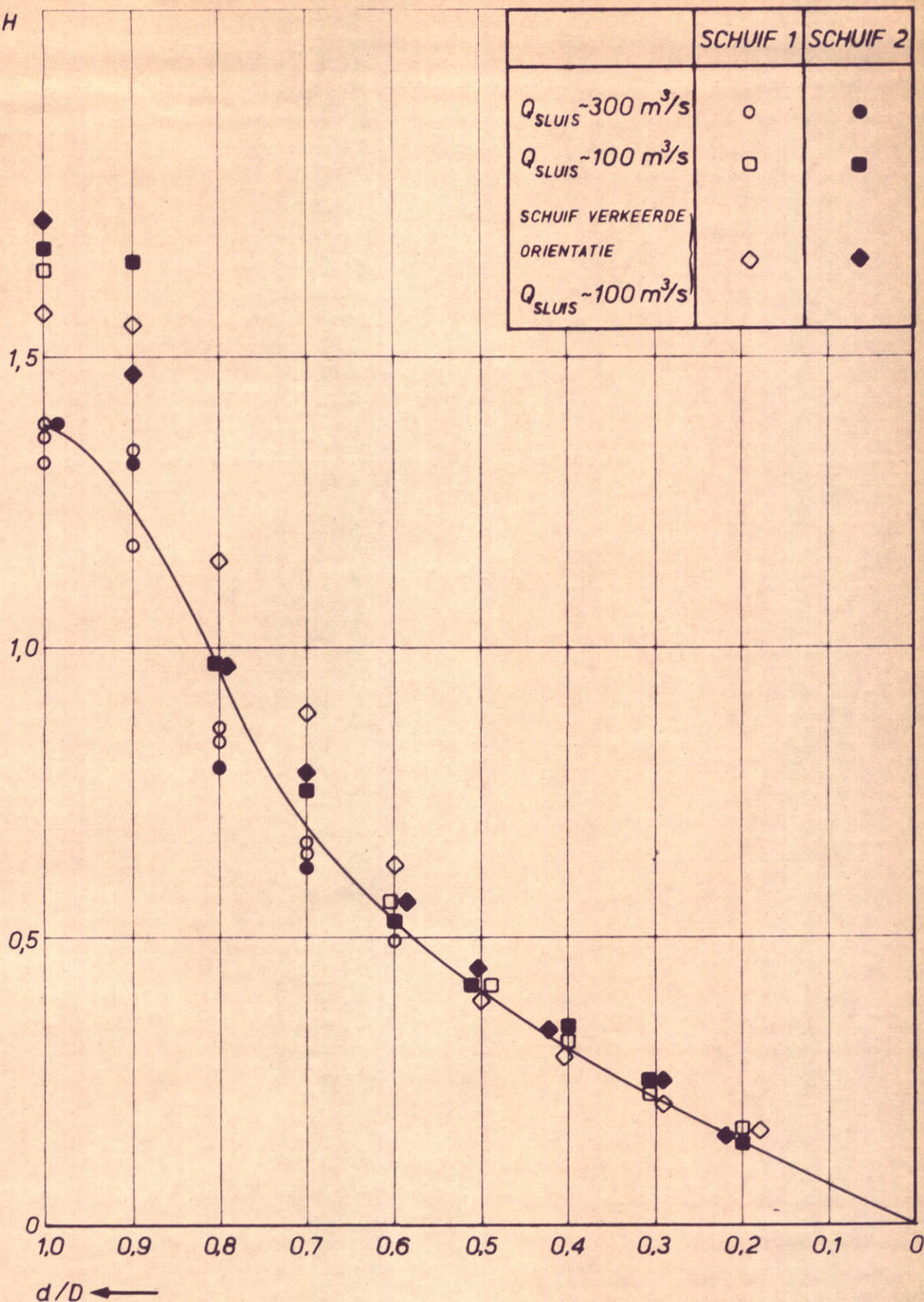
ORIENTATIE SCHUIVEN 1 EN 2 CORRECT EN INCORRECT

R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1257 - 1016 FIG.16

$h_s / \Delta H$


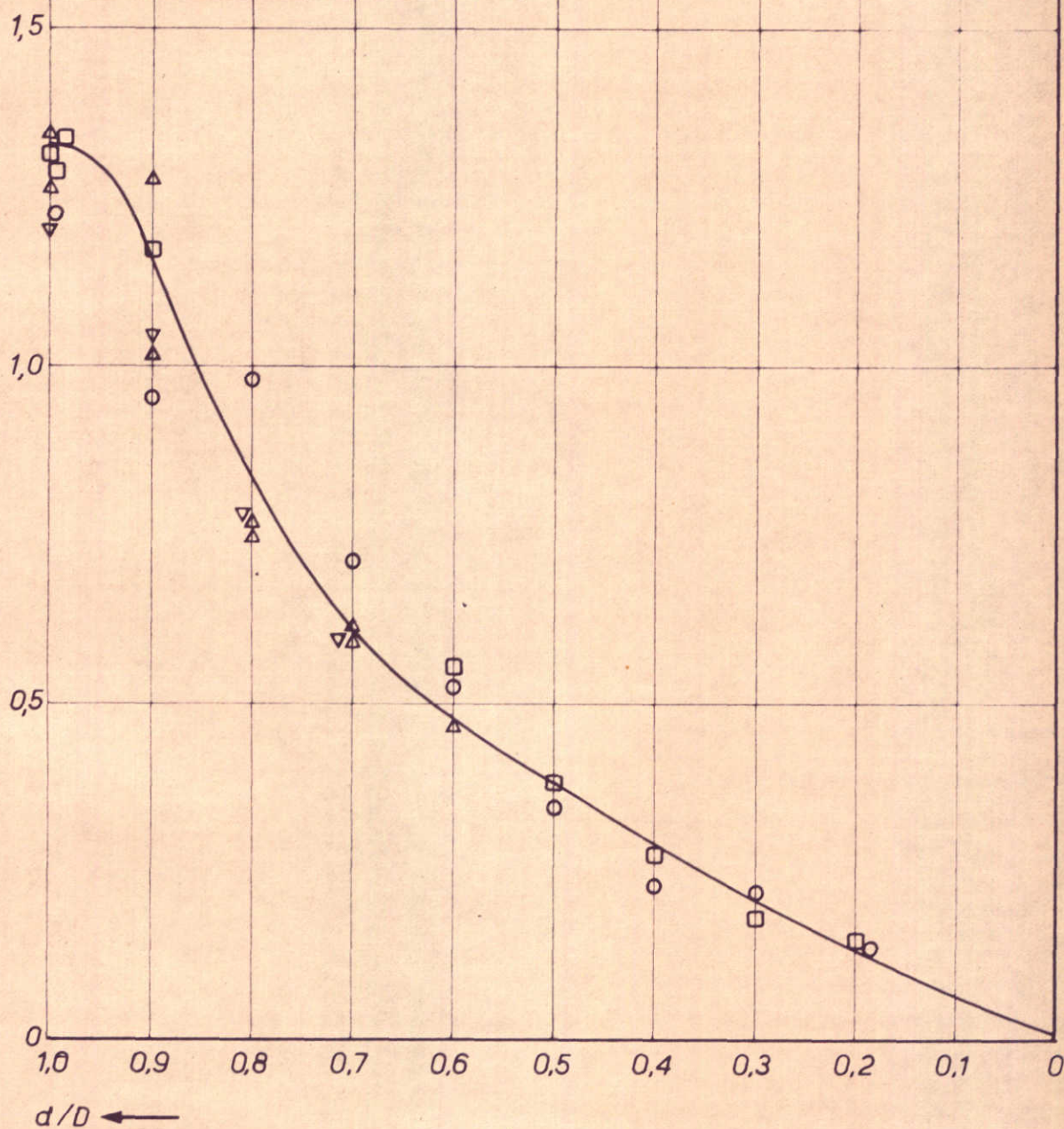
DRUKWINST ACHTER DE SCHUIF ALS FUNKTIE VAN
HET VERVAL. LOZEN SCHUIVEN 1 EN 2

R.R.

A4

$h_s / \Delta H$ 

	SERIE	VORMGEVING INLAAT
Δ	A	
$\square$	B	
∇	C	
$\circ$	D	
(SCHUIF VER- KEERD OM)		



DRUKWINST ACHTER DE SCHUIF ALS FUNKTIE VAN
HET VERVAL. INLATEN SCHUIF 1

R.R.

A4

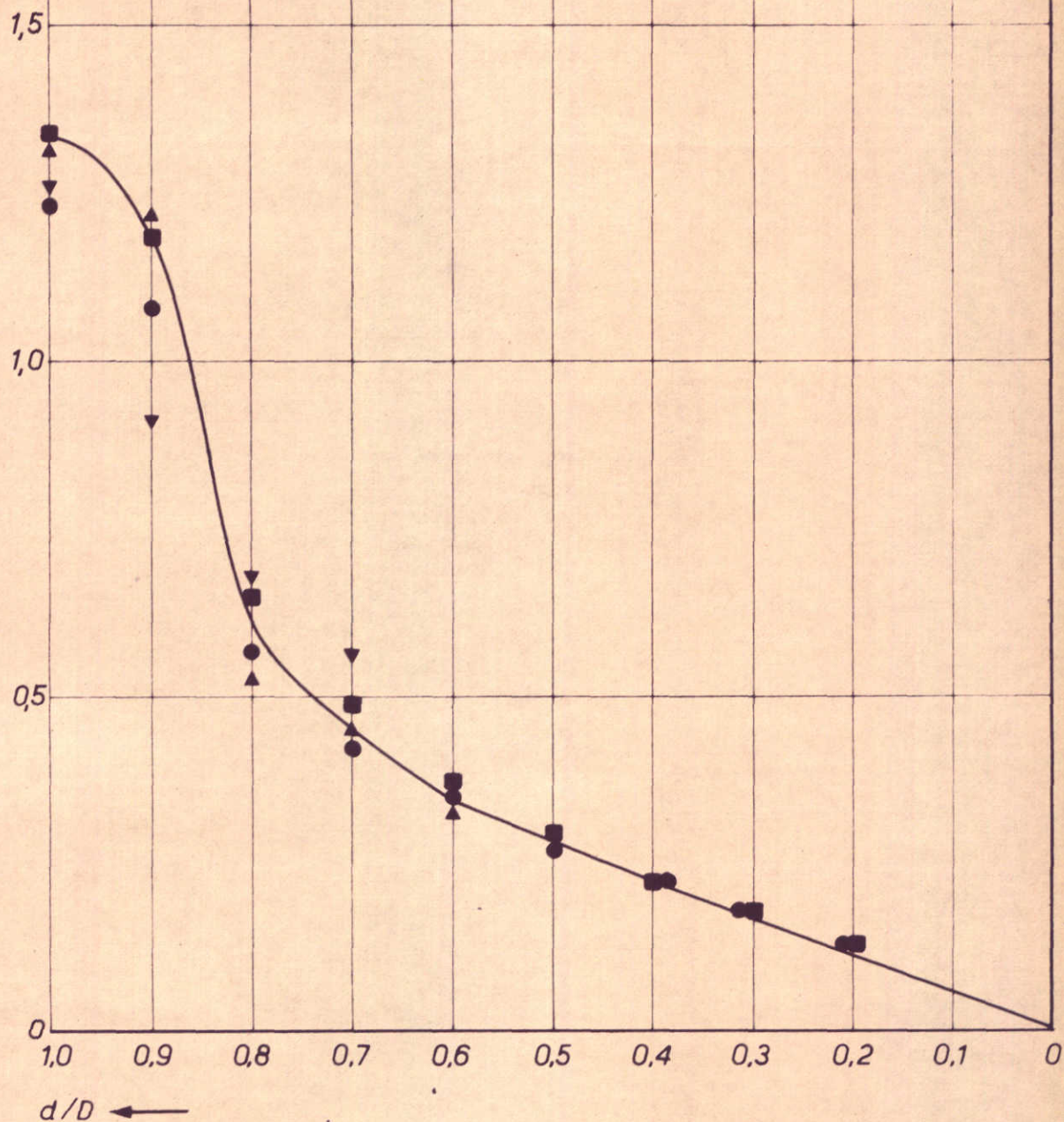
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1257 - 1018

FIG.18

$h_s / \Delta H$ 

	SERIE	VORMGEVING INLAAT
▲	A	
■	B	
▼	C	
●	D	



DRUKWINST ACHTER DE SCHUIF ALS FUNKTIE VAN
HET VERVAL. INLATEN SCHUIF 2

R.R.

A4

$h_s / \Delta H$ 

SCHUIF 1

SCHUIF 2

○

●

1,5

1,0

0,5

0

 d/D 

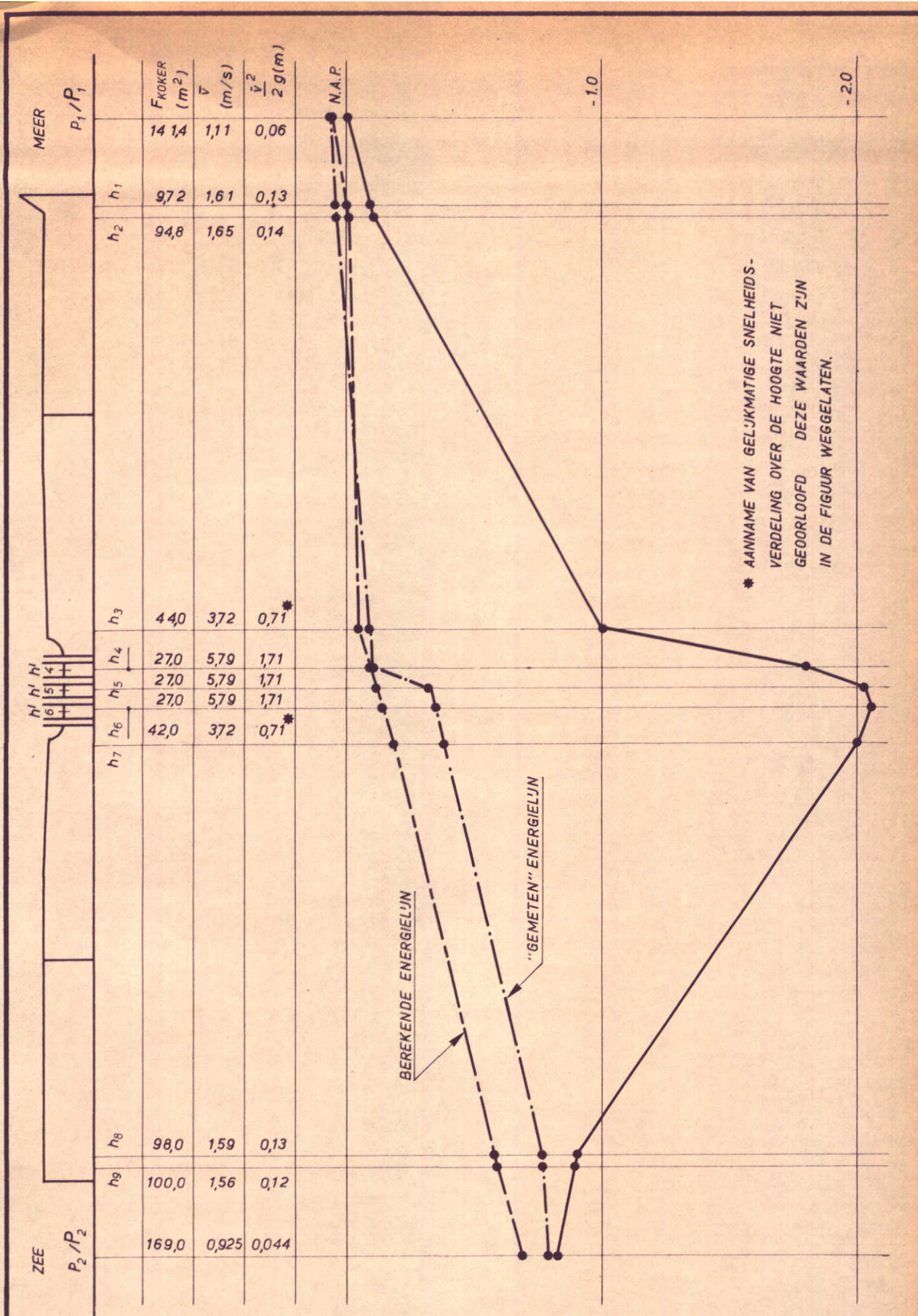
VERGELIJKING VAN DE RELATIE $h_s / \Delta H$
VOOR SCHUIF 1 EN 2 INLATEN

R.R.

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1257 - 1020 FIG. 20



VERGELIJKING VAN DE "GEMETEN" EN BEREKENDE
ENERGIELIJN VOOR LOZEN. ONTWERP A - 1

R.R.

A4

REFERENTIES

- 1 Waterloopkundig Laboratorium, ir. P. van Groen. Hevels in het Deltagebied. Verslag onderzoek R 806, maart 1973
- 2 Waterloopkundig Laboratorium, ir. H. Ligteringen. Stroomsluis Noordland in de Oosterscheldedam. Afvoercharacteristieken sluisontwerp. M 1089, augustus 1974

Appendix

Vervallen over en krachten op visnetten

Verslag van modelonderzoek M 1306

LIJST VAN FIGUREN

- | | | |
|---|--|-------------|
| 1 | Visnet | |
| 2 | Maasvormen | |
| 3 | Verband stroomsnelheid en verval bij vierkante mazen. | (net I) |
| 4 | Verband stroomsnelheid en verval bij vierkante mazen | (net II) |
| 5 | Verband stroomsnelheid en verval bij vierkante mazen | (net III) |
| 6 | Verband stroomsnelheid en verval bij ruitvormige mazen | (net 2) |
| 7 | Verband kracht en stroomsnelheid bij $\alpha = 0$ | (net I, II) |

NOTATIE

A_d	het $\perp$ op het netvlak geproj. opp. van de netdraden	m^2
A_f	het totale netoppervlak van de fuik	m^2
A_n	bruto netoppervlak	m^2
C_w	weerstandscoefficiënt	-
C_o	$(C_w)_{\alpha=0}$	-
C_{90}	$(C_w)_{\alpha=90^\circ}$	-
Δh	verval	m
N	vermogensverlies	W
v	stroomsnelheid	m/s
W	stroomweerstand van het net	N
α	hoek tussen stroomrichting en netvlak	gr.
ρ	dichtheid van het water	kg/m^3

VERVALLEN OVER EN KRACHTEN OP VISNETTEN

1 Inleiding en gegevens

Aan de landzijde van de spuisluis in de Brouwersdam zullen in de voorhaven een aantal fuiken worden opgesteld om te voorkomen dat de op het Grevelingenmeer aanwezige vis tijdens het spuien naar zee verdwijnt. Op circa 30 m afstand van de rand van het stortebed van de sluis worden een aantal palen opgesteld waaraan de fuiken bevestigd zullen worden.

Het verval over de fuiken is van belang omdat bij het toepassen van de fuiken het verval over de sluis vermindert met het verval over de fuiken. Het spuidebiet zou daardoor bij te groot verval over de fuiken te veel kunnen afnemen. Behalve de vraag naar de vervallen over de fuiken werd in verband met het dimensioneren van de bevestigingsconstructie van de fuiken aan de palen, de vraag gesteld hoe groot de trekkracht van de fuiken op de palen zou zijn. Op figuur 1 is de toe te passen fuik getekend.

De fuiken zijn samengesteld uit drie delen (figuren 1 en 2).

2 Theorie

Bij het opstellen van een net loodrecht op de stroom zal over het net een verval Δh ontstaan. Het vermogensverlies door de waterspiegeldaling is gelijk aan

$$N = \Delta h \cdot \rho \cdot g \cdot v \cdot A_n \quad (1)$$

waarin

N	= vermogensverlies	(W)
Δh	= verval	(m)
ρ	= dichtheid van het water	(kf/m ³)
g	= versnelling van de zwaartekracht	(m/s ²)
v	= stroomsnelheid	(m/s)
A_n	= bruto net oppervlak	(m ²)

Het vermogen dat geleverd moet worden om het net in de stroom te houden is gelijk aan

$$N = W \cdot v \quad (2)$$

waarin

$$W = \text{stroomweerstand van het net} \quad (N)$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A_d \cdot C_w \quad (3)$$

waarin

$$A_d = \text{het loodrecht op het netvlak geprojecteerde oppervlak van de draden van het net} \quad (m^2)$$

$$C_w = \text{weerstandscoefficiënt} \quad (-)$$

Uit (1), (2) en (3) volgt

$$\Delta h = \frac{v^2}{2g} \cdot C_w \cdot \frac{A_d}{A_n} \quad (4)$$

Door experimenteel een relatie tussen Δh en v op te stellen kan na opmeting van A_d en A_n de grootte van C_w worden berekend.

Volgens Tauti e.a. (Tauti, M., Miura, T. en Sugii, K. "Resistance of plane nets in water") verloopt de stroomkracht bij draaiing van de aanstroomrichting van $\alpha = 90^\circ$ tot $\alpha = 0^\circ$ lineair met de hoek α .

De stroomkracht bij een aanstroomhoek α tussen de stroomrichting en het vlak van het net is dan:

$$W = \frac{1}{2} \rho v^2 A_n \cdot C_o + \frac{\alpha}{90} \left(\frac{1}{2} \rho v^2 A_d \cdot C_{90} - \frac{1}{2} \rho v^2 A_n \cdot C_o \right) \dots \dots \dots (5)$$

of

$$W = \frac{1}{2} \rho v^2 A_n \left\{ C_o + \frac{\alpha}{90} \left(C_{90} \cdot \frac{A_d}{A_n} - C_o \right) \right\} \dots \dots \dots (6)$$

waarin

$$\alpha = \text{hoek tussen stroomrichting en vlak van het net} \quad (gr)$$

$$C_o = \text{weerstandscoefficiënt als de stroomrichting evenwijdig is aan het vlak van het net} = (C_w)_{\alpha=0^\circ} \quad (-)$$

$$C_{90} = (C_w)_{\alpha=90^\circ} \quad (-)$$

Volgens Tauti e.a. is C_o constant en niet afhankelijk van het type net en van de maasvorm.

3 Onderzoek

Van de drie onderzochte netten werd de grootte van C_{90} bepaald door het opstellen van een relatie tussen Δh en v en het toepassen van betrekking (4). Het verband tussen Δh en v voor rechthoekige mazen is gegeven op de figuren 3, 4 en 5.

De gevonden waarden voor C_{90} zijn voor de netten I, II en III respectievelijk:

$$C_{90} = 3,7, C_{90} = 3,6, C_{90} = 3,6, \text{ ofwel gemiddeld: } C_{90} = 3,6 \dots \dots \dots (7)$$

Omdat de C_{90} - waarden onafhankelijk van het type net waren, werd besloten alleen net II te onderzoeken met ruitvormige mazen, geknoopt volgens het 2 op 5 systeem (figuur 6). Uit de figuur 6 wordt met betrekking (4) afgeleid: $C_{90} = 3,6$.

De grootte van C_o werd bepaald door met twee netten, de typen I en II, een krachtmeting uit te voeren. De rechthoekige stukken net werden aan een korte zijde voorzien van een dunne staaf van staal ($\emptyset$ 3 mm). In het midden van de staaf was een unster bevestigd. Het net werd nu aan de unster in de stroom gehouden. De meetresultaten zijn gegeven op figuur 7.

Uit figuur 7 kan met behulp van de betrekking

$$W_o = \frac{1}{2} \rho v^2 A_n \cdot C_o \quad (8)$$

worden afgeleid

$$C_o = 0,054 \quad (9)$$

4 Resultaten

Vervallen over de fuik

De vervallen in het model bleken niet gevoelig voor de hoek α te zijn (zie figuren 3, 4, 5 en 6).

De relaties tussen v en Δh van de figuren 3, 4, 5 en 6 kunnen daarom direct worden toegepast voor de prototype-fuiken. Het extra verval dat ontstaat als

net III geheel gevuld is met vis is bij $v = 1$ m/s enkele millimeters en dus verwaarloosbaar.

Bij een stroomsnelheid v is het verval over de fuik gelijk aan de som van de vervallen veroorzaakt door de afzonderlijke netten.

$$\Delta h = \frac{v^2}{2g} \cdot C_{90} \left\{ \left(\frac{A_d}{A_n} \right)_I \frac{A_{nI}}{A_f} + \left(\frac{A_d}{A_n} \right)_{II} \frac{A_{nII}}{A_f} + \left(\frac{A_d}{A_n} \right)_{III} \frac{A_{nIII}}{A_f} \right\} \dots \quad (10)$$

waarin:

$$\left(\frac{A_d}{A_n} \right)_I = A_d/A_n \text{ voor net I, enz.} \quad (-)$$

$$A_{nI} = \text{netoppervlak van net I, enz.} \quad (m^2)$$

$$A_f = \text{het totale netoppervlak van de fuik} \quad (m^2)$$

Met de gegevens:

C_{90}	$= 3,6$		
$\left(\frac{A_d}{A_n} \right)_I$	$= 0,16$	(2 op 5 geknoopt)	
$\left(\frac{A_d}{A_n} \right)_{II}$	$= 0,17$	(2 op 5 geknoopt)	
$\left(\frac{A_d}{A_n} \right)_{III}$	$= 0,23$	(2 op 5 geknoopt)	(11)
A_{nI}	$= 510 \text{ m}^2$		
A_{nII}	$= 196 \text{ m}^2$		
A_{nIII}	$= 46 \text{ m}^2$		
A_f	$= 752 \text{ m}^2$		

wordt berekend met (10):

$\Delta h = v^2 \cdot 0,03 \text{ m.}$

(12)

Krachten op de fuiken

Voor de kracht door de stroom op de fuik uitgeoefend mag de stroomkracht van de afzonderlijke netten worden gesommeerd.

Voor net I in de fuik geldt volgens (6), (9) en (11):

$$W_I = \frac{1}{2} \rho v^2 510 \left\{ 0,054 + \frac{9}{90} (3,6 \cdot 0,16 - 0,054) \right\} = 27081 v^2 \text{ N}$$

voor net II volgt

$$W_{II} = \frac{1}{2} \rho v^2 196 \left\{ 0,054 + \frac{9}{90} (3,6 \cdot 0,17 - 0,054) \right\} = 10760 v^2 \text{ N}$$

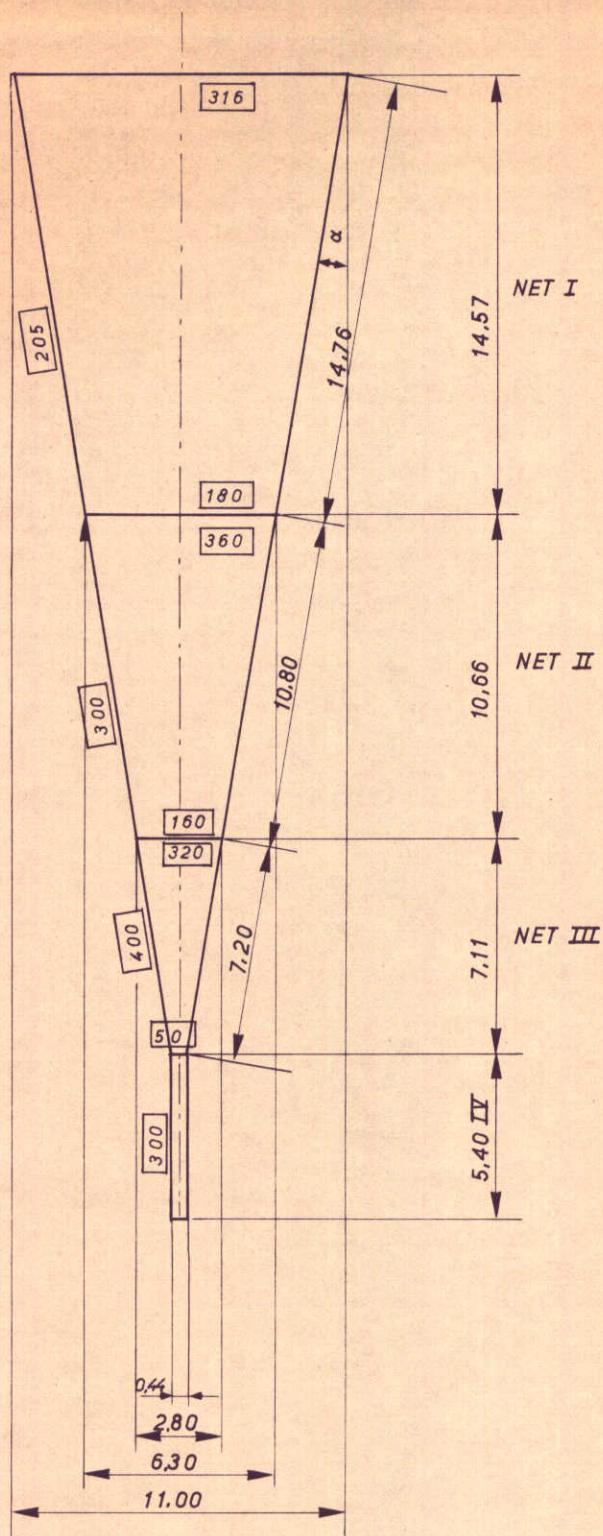
en

$$W_{III} = \frac{1}{2} \rho v^2 46 \left\{ 0,054 + \frac{9}{90} (3,6 \cdot 0,23 - 0,054) \right\} = 3022 v^2 \text{ N}$$

$W_I + W_{II} + W_{III} = 40860 \cdot v^2 \text{ N} \quad (\hat{=} 4,08 \text{ t})$

BOVEN-, ONDER- EN ZIJAANZICHT

VOORAANZICHT



316 AANTAL MAZEN

VISNET

MATEN IN meters

JM

schaal 1:25

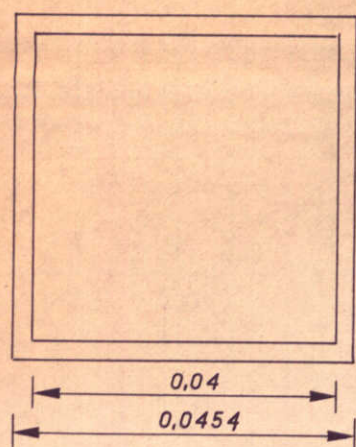
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1306 - 1001

FIG. 1

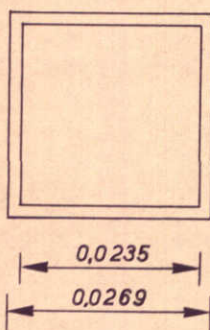
RECHTHOEKIGE MAASVORM



NET I

$$d = 0,0027$$

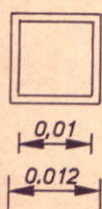
$$\frac{A_d}{A_n} = 0,126$$



NET II

$$d = 0,0017$$

$$\frac{A_d}{A_n} = 0,135$$

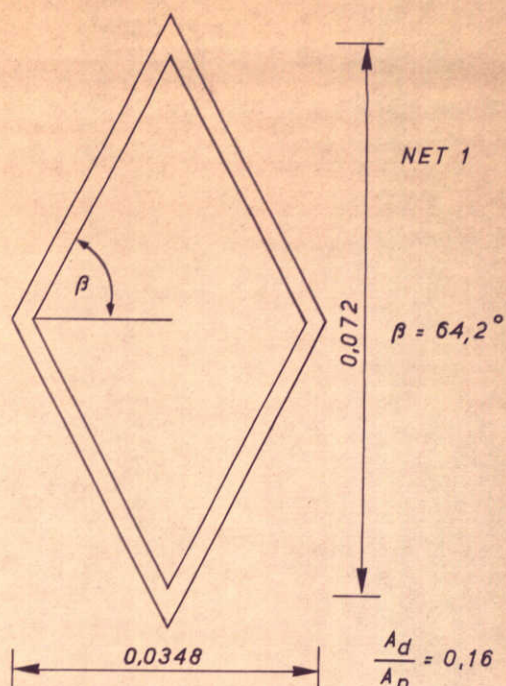


NET III

$$d = 0,001$$

$$\frac{A_d}{A_n} = 0,182$$

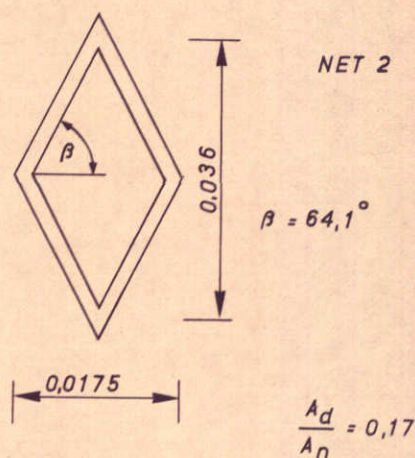
2 OP 5 GEKNOOPTTE MAASVORM



NET 1

$$\beta = 64,2^\circ$$

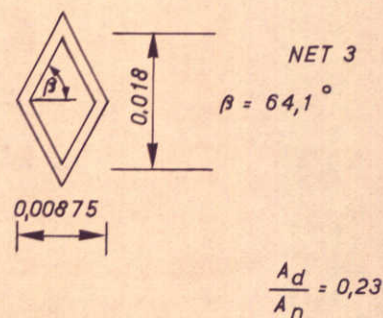
$$\frac{A_d}{A_n} = 0,16$$



NET 2

$$\beta = 64,1^\circ$$

$$\frac{A_d}{A_n} = 0,17$$



NET 3

$$\beta = 64,1^\circ$$

$$\frac{A_d}{A_n} = 0,23$$

MAASVORMEN

MATEN IN meters

JM

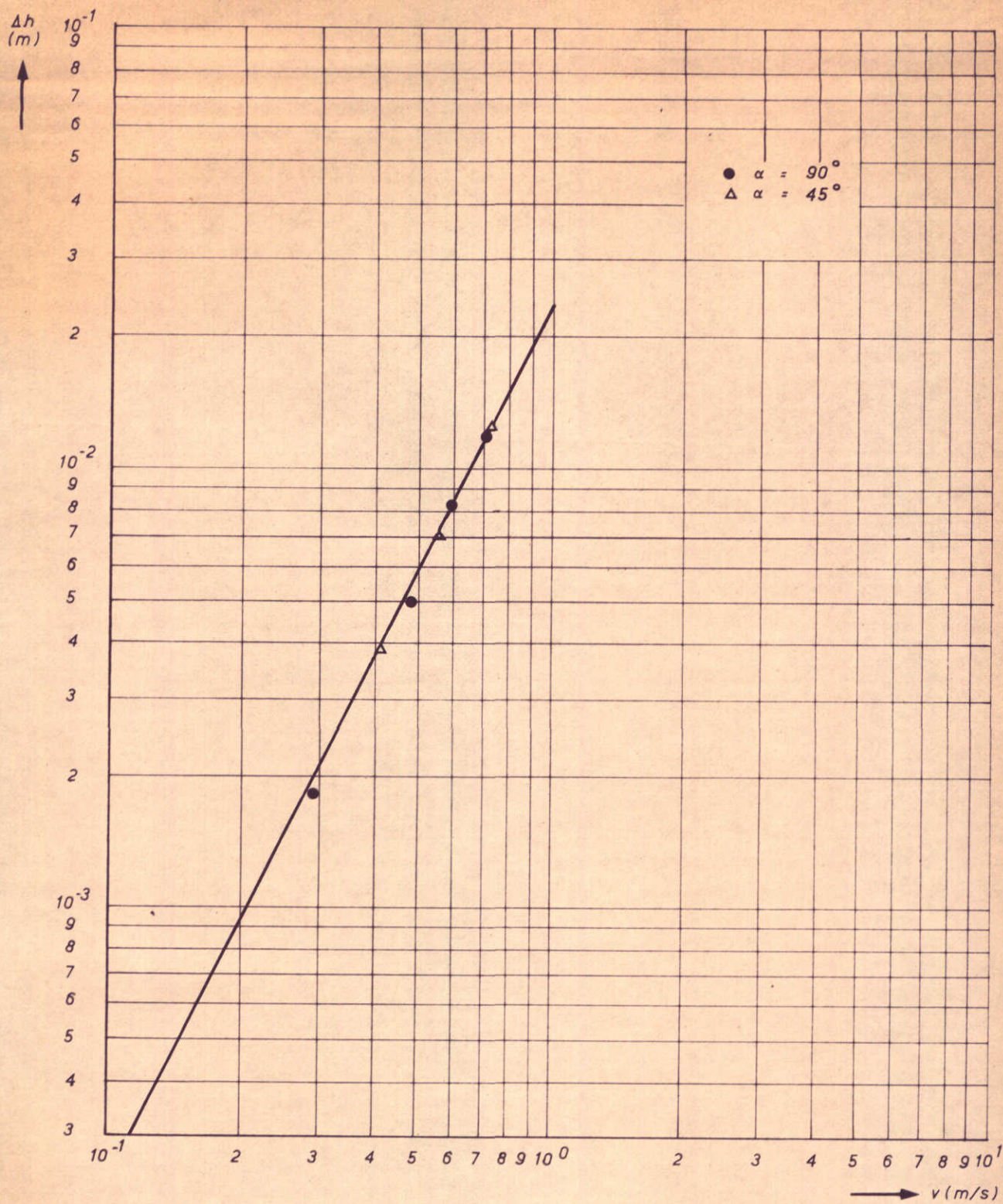
SCHAAL 1:1

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1306-1002

FIG. 2



VERBAND STROOMSNELHEID EN VERVAL
BIJ VIERKANTE MAZEN

NET I

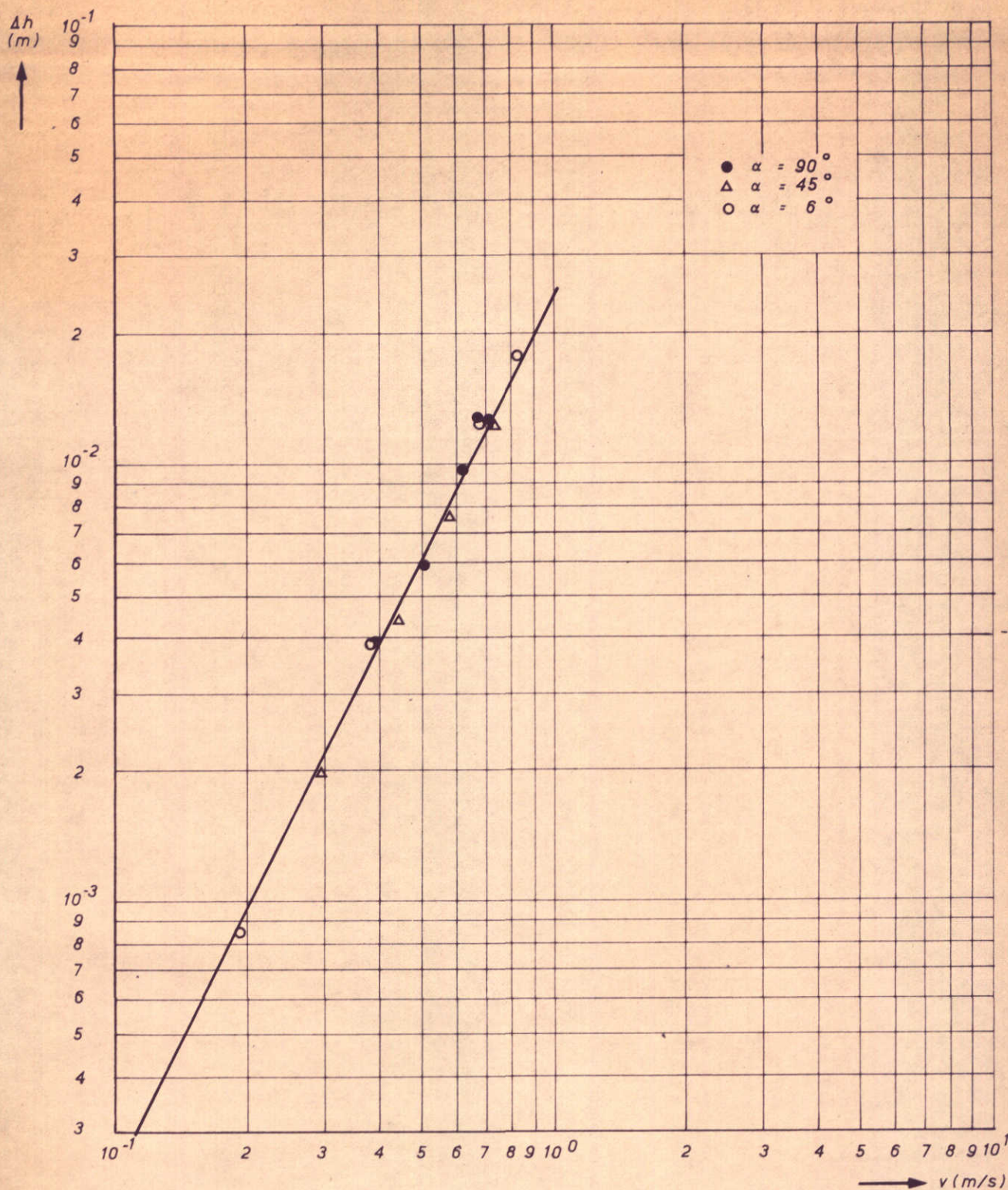
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1306 - 1003

FIG. 3



VERBAND STROOMSNELHEID EN VERVAL
BIJ VIERKANTE MAZEN

NET II

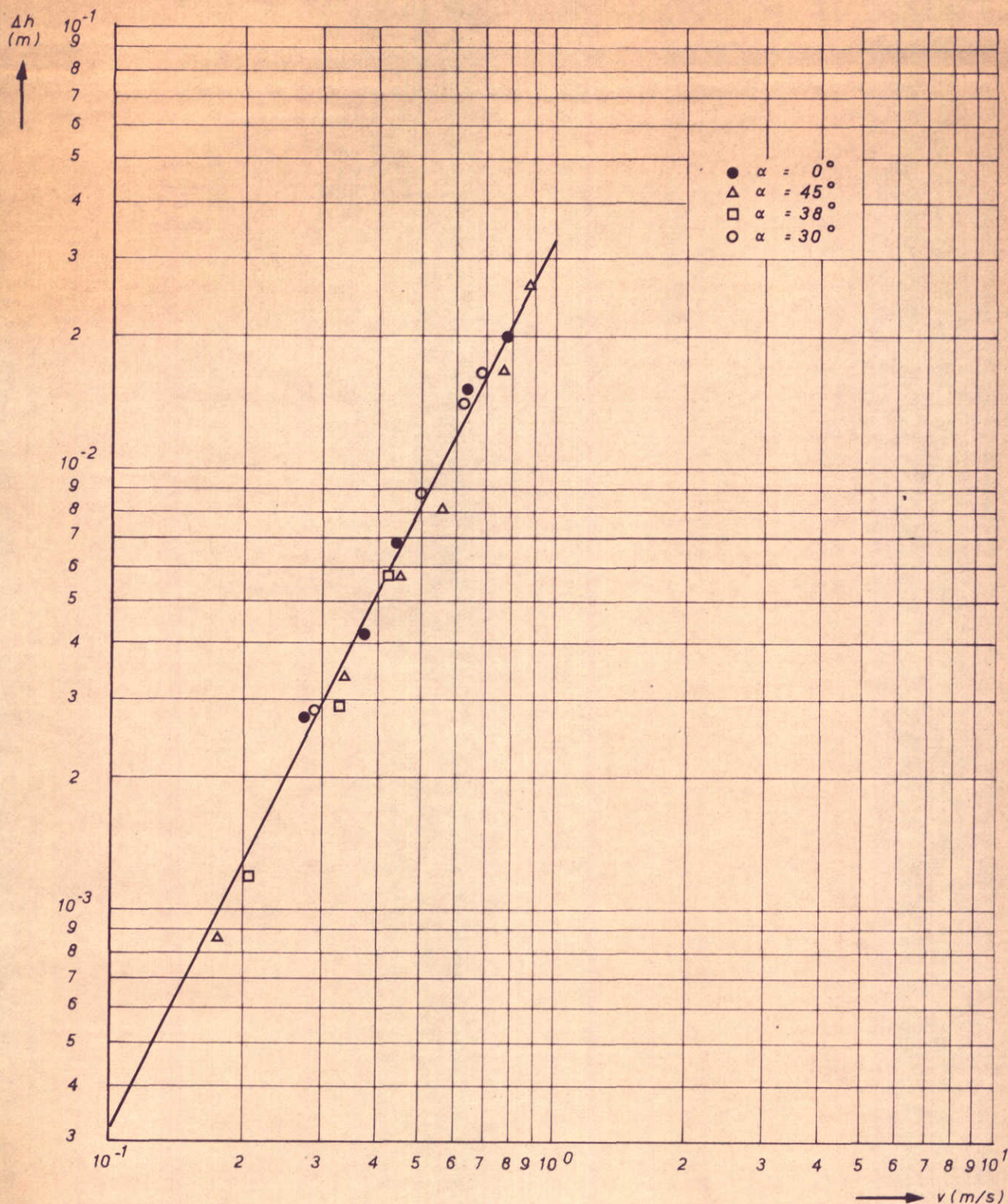
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1306 - 1004

FIG. 4



VERBAND STROOMSNELHEID EN VERVAL
BIJ VIERKANTE MAZEN

NET III

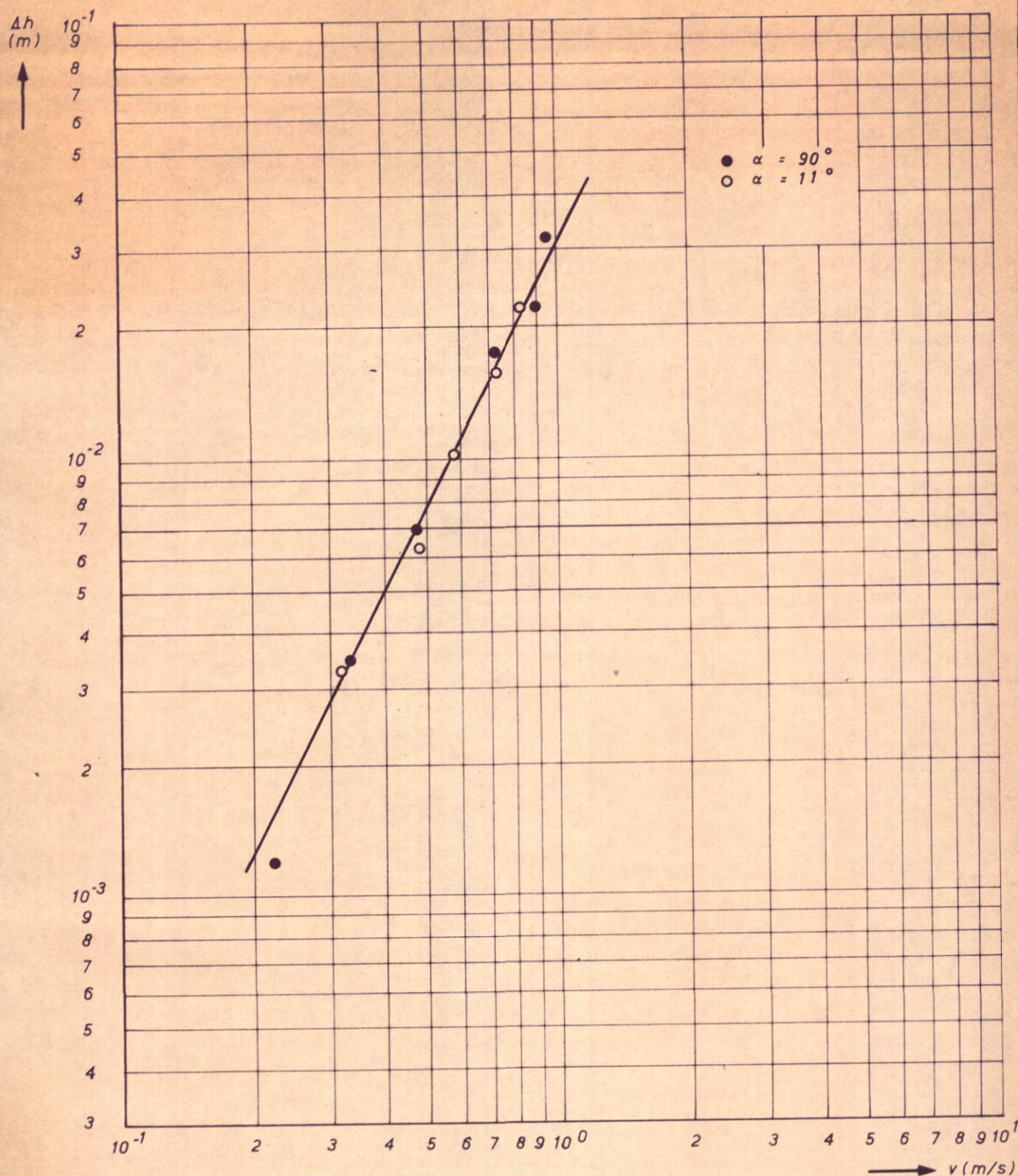
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1306 - 1005

FIG. 5



VERBAND STROOMSNELHEID EN Verval
 BIJ RUITVORMIGE MAZEN (2 OP 5 GEKNOOPT)

NET 2

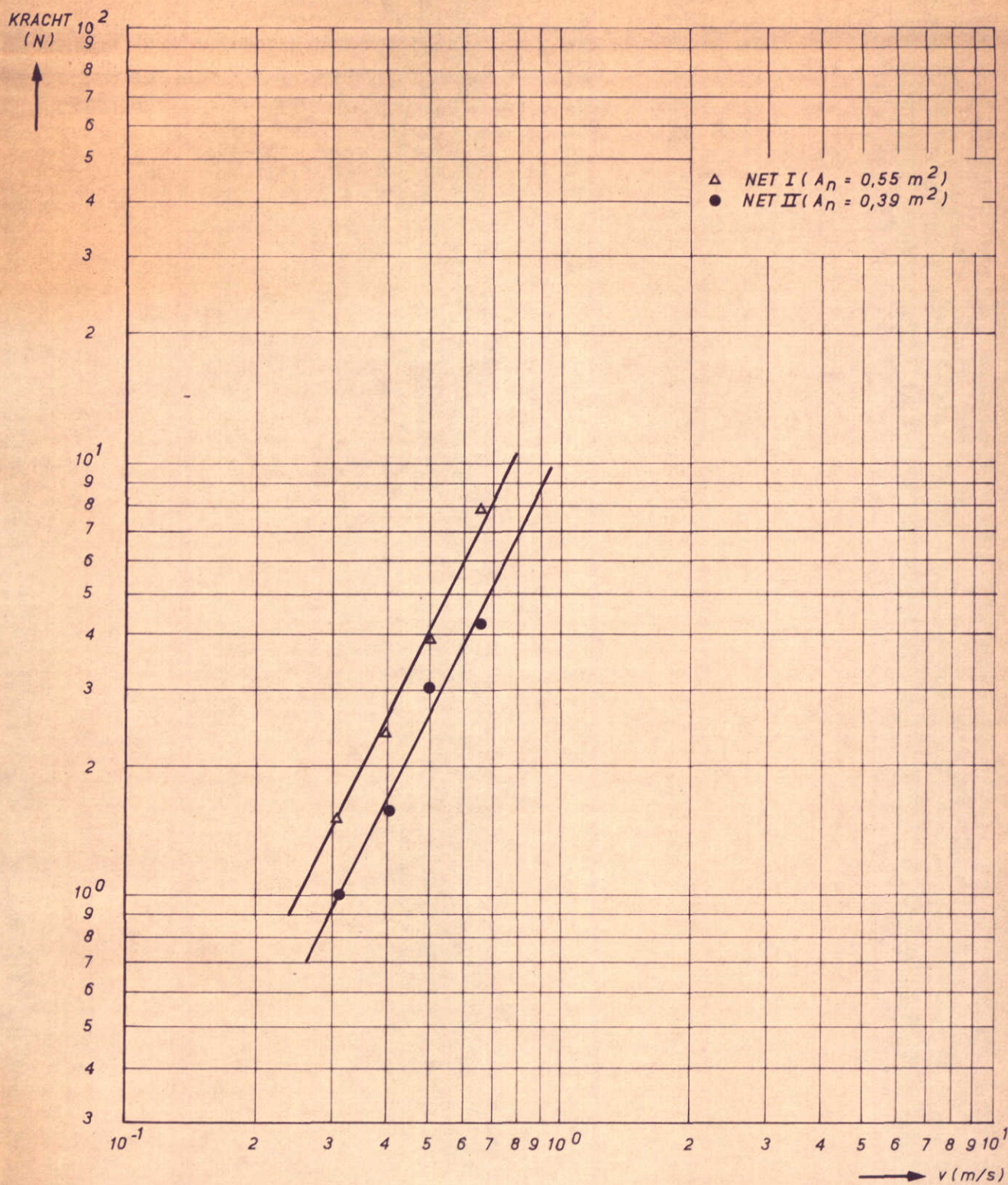
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1306 - 1006

FIG. 6



VERBAND KRACHT EN STROOMSNELHEID
 BIJ $\alpha = 0^\circ$

NET I, II

JM

$n_l = 1$

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1306 - 1007

FIG. 7

