

rijkswaterstaat
diensr getidewateren
bibliotheek
gronadiersweg 31 -
4338 PG middelburg

voorhavens Baalhoeksluis

stroombeeld- en scheepvaartonderzoek

verslag modelonderzoek

M 1142

juni 1973

INHOUD

| | blz. |
|--|------|
| <u>1</u> <u>Algemeen</u> | 1 |
| 1.1 Inleiding..... | 1 |
| 1.2 Doel van het onderzoek..... | 1 |
| 1.3 Gegevens..... | 2 |
| 1.4 Overzicht van de belangrijkste conclusies..... | 3 |
| <u>2</u> <u>Model</u> | 3 |
| 2.1 Schalen | 3 |
| 2.2 Constructie en inrichting | 3 |
| 2.3 Randvoorwaarden en meetprogramma | 5 |
| <u>3</u> <u>Resultaten van het onderzoek</u> | 6 |
| 3.1 Uitstroming spuidebiet uit de vloer van de sluis (T1)..... | 6 |
| 3.2 Uitstroming spuidebiet uit de vloer en het front van de sluis (T2)..... | 9 |
| 3.3 Uitstroming spuidebiet uit het front van de sluis (T3)..... | 10 |
| 3.4 Uitstroming spuidebiet uit de dag en het front van de sluis (T4)..... | 11 |
| 3.5 Uitstroming spuidebiet uit het front met stroomverdeler voor het front van de sluis (T5) | 13 |
| 3.6 Uitstroming spuidebiet en stroomverdeler uit het front van de sluis (T6 ... T8) | 14 |
| 3.7 Sluiskolklediging in de voorhaven van het Baalhoekkanaal in de aanbevolen situatie (T6) | 18 |
| 3.8 Sluiskolklediging in de voorhaven aan de Westerschelde (T9)..... | 20 |
| 3.9 Invaarproeven bij sluiskolklediging op de Westerschelde- voorhaven (T10) | 23 |
| 3.10 Aanvullend stroombeeldonderzoek met verkort model (T6A)..... | 25 |
| <u>4</u> <u>Samenvatting van de meetresultaten en conclusies</u> | 26 |

FIGUREN

- 1A Situatie modelgebied in het prototype
- 1B Overzicht van het model
- 2 T1. Situatie en detail uitstroomopeningen

Stroombeeld en -snelheden

- 3 T1-1
- 4 T1-1A
- 5 T1-2
- 6 T1-3
- 7 T1-4
- 8 T1-5
- 9 T1-6
- 10 T1-7
- 11 T1-7A

- 12 T2. Situatie en detail uitstroomopeningen

Stroombeeld en -snelheden

- 13 T2-1
- 14 T2-2
- 15 T2-3
- 16 T2-4
- 17 T2-5

- 18 T3. Situatie en detail uitstroomopeningen

Stroombeeld en -snelheden

- 19 T3-1
- 20 T3-1A

- 21 T4. Situatie en detail uitstroomopeningen

Stroombeeld en -snelheden

- 22 T4-1
- 23 T4-2
- 24 T4-3

FIGUREN (vervolg)

25 T4-4

26 T4-5

27 T4-6

Situatie en detail uitstroomopeningen

28 T5-1

29 T5-2, T5-3

Stroombeeld en -snelheden

30 T5-1

31 T5-2

32 T5-3

33 T6. Situatie en detail uitstroomopeningen

Stroombeeld en -snelheden

34 T6-1

35 T6-2

36 T7. Situatie en detail uitstroomopeningen

Stroombeeld en -snelheden

37 T7-1

38 T7-2

39 T8. Situatie en detail uitstroomopeningen

Stroombeeld en -snelheden

40 T8-1

41 T8-2

42 T8-3

43 T6-1, T6-2. Afvoerverdeling door uitstroomopeningen bij sluiscolkediging

FIGUREN (vervolg)

- 44A...44C T6-1. Stroombeeld en -snelheden bij sluislediging in voorhaven Baalhoekkanaal
- 45 T6-3. Afvoerverdeling door uitstroomopeningen bij sluiscolklediging
- 46A...46C T6-3. Stroombeeld en -snelheden bij sluislediging in voorhaven Baalhoekkanaal
- 47 T6-4. Afvoerverdeling door uitstroomopeningen bij sluiscolklediging
- 48A...48C T6-4. Stroombeeld en -snelheden bij sluislediging in voorhaven Baalhoekkanaal
- 49 T9. Situatie en detail uitstroomopeningen in voorhaven Westerschelde
- 50 T9-1, T9-3. Gemiddelde afvoerverdeling door uitstroomopeningen bij sluiscolklediging
- 51A...51C T9-1. Stroombeeld en -snelheden bij sluislediging in voorhaven Westerschelde
- 52 T9-2. Afvoerverdeling door uitstroomopeningen bij sluiscolklediging
- 53A...53C T9-2. Stroombeeld en -snelheden bij sluislediging in voorhaven Westerschelde
- 54A...54C T9-3. Stroombeeld en -snelheden bij sluislediging in voorhaven Westerschelde
- 55 T9-3. Gedrag van het invarende schip (Resultaten oriënterende berekening)
- 56 T9-3. Gedrag van het uitvarende schip (Resultaten oriënterende berekening)
- 57 T9-3. Stroomsnelheidsverdeling en bijbehorende dwars- en koershoeknelheid gemiddeld over de lengte van het in- en uitvarende schip
- 58 T10. Situatie en detail uitstroomopeningen in voorhaven Westerschelde
- 59 T10-1. Gedrag invarende tanker tijdens sluiscolklediging in voorhaven Westerschelde
- 60A...60C T10-1. Stroombeeld en -snelheden bij sluislediging in voorhaven Westerschelde
- 61A...61C T10-2. Stroombeeld en -snelheden bij sluislediging in voorhaven Westerschelde
- 62 T10-2. Gedrag invarende tanker tijdens sluiscolklediging in voorhaven Westerschelde

FIGUREN (vervolg)

- 63A ... 63C T10-3. Stroombeeld en -snelheden bij sluislediging in
voorhaven Westerschelde
- 64 T10-3. Gedrag invarende tanker tijdens sluisolklediging in
voorhaven Westerschelde
- 65 T10-4. Gedrag invarende tanker tijdens sluisolklediging in
voorhaven Westerschelde
- 66 T6A-1. Stroombeeld en -snelheden
- 67 T6A-2. Stroombeeld en -snelheden

FOTO'S

Oppervlakte-stroombeeld

- 1 T1-1
- 2 T1-1A
- 3 T1-2
- 4 T1-3
- 5 T1-4
- 6 T1-5
- 7 T1-6
- 8 T1-7
- 9 T1-7A
- 10 T2-1
- 11 T2-2
- 12 T2-3
- 13 T2-4
- 14 T2-5
- 15 T3-1
- 16 T3-1A
- 17 T4-1
- 18 T4-2
- 19 T4-3
- 20 T4-4
- 21 T4-5
- 22 T4-6
- 23 T5-1
- 24 T5-2
- 25 T5-3
- 26 T6-1
- 27 T6-2

- 28 Stroombeeldreportage van het permanente stroombeeld in T6-1

FOTO'S (vervolg)

Oppervlakte-stroombeeld

- 29 T7-1
- 30 T7-2
- 31 T8-1
- 32 T8-2
- 33 T8-3

Stroombeeldreportage van de sluiscollediging

- 34 T6-3
- 35 T6-4
- 36 T9-2
- 37 T9-3

Gedrag invarende tanker

- 38 T10-1
- 39 T10-2
- 40 T10-3
- 41 T10-4

Oppervlakte-stroombeeld

- 42 T6A-1
- 43 T6A-2
- 44 Stroombeeldreportage van het permanente stroombeeld in T6A-1

Drijverstroombeeld

- 45 T6-1
- 46 T6A-1
- 47 T6A-2

STROOMBEELDONDERZOEK VOORHAVENS BAALHOEKSLUIS

1 Algemeen

1.1 Inleiding

Het Bouwbureau Schelde-Rijnverbinding van de Rijkswaterstaat, verleende op 6 juli 1971, in vervolg op het voorstel vermeld in brief no. 975/R642 d.d. 16 februari 1971 van het Waterloopkundig Laboratorium, mondeling opdracht voor een modelonderzoek naar de situering van de riooluitmonding van de zeevaartsuis bij Baalhoek.

Het onderzoek vond plaats in het Laboratorium De Voorst en werd uitgevoerd in de periode juli 1971 tot september 1972. Gedurende het onderzoek werd met betrekking tot de resultaten en het programma van het onderzoek regelmatig overleg gepleegd met het Bouwbureau Schelde-Rijnverbinding, de Directie Sluizen en Stuwen, de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst en de Studiedienst Vlissingen. Het onderzoek stond onder leiding van ing. J.F. van der Werff, die tevens dit verslag samenstelde.

1.2 Doel van het onderzoek

In het kader van de onttrekking van water uit de Westerschelde ter verversing van het Baalhoekkanaal werden in het model de mogelijkheden onderzocht om de uitmonding van het inlaatwerk zodanig te dimensioneren dat de schepen tijdens het spuien zonder hinder de sluis¹ in of uit kunnen varen. Hoewel er van wordt uitgegaan, dat de industrieën geen ongezuiverd afvalwater op het Baalhoekkanaal zullen lozen, betekent dit echter wel dat het stilstaande water het restant van de vervuiling moet kunnen verwerken door de zelfreinigende werking van het water. In verband daarmee en mede met het oog op mogelijke kalamiteiten zal een ruime verversing met water uit de Westerschelde mogelijk moeten worden gemaakt. Dit water zal derhalve aan bepaalde kwaliteitseisen, met name wat betreft het gehalte aan opgeloste zuurstof, moeten voldoen. Voor het bepalen van het maximale inlaatdebiet zijn ook de gevolgen van de bochtafsnijding bij Bath in combinatie met het regiem van de Schelde, aan een nadere beschouwing onderworpen. Uit berekeningen, die betrekking hebben op de bovenvermelde primaire eisen, volgde dat een maximaal inlaatdebiet van $500 \text{ m}^3/\text{s}$ voldoende is.

Teneinde het verversen van het Baalhoekkanaal op een nautisch verantwoorde wijze te doen plaatsvinden, werden de drie volgende alternatieve spuissystemen in overweging genomen:

- 1 Inlaatwerk door riolen in de sluiswand
- 2 Inlaatwerk door lateraalkanaal
- 3 Inlaatwerk door de sluis.

Bij het onderzoek is alleen het inlaatwerk door riolen in de sluiswand in model onderzocht. De resultaten van dit onderzoek waren mede bepalend voor de beslissing het inlaten door een lateraalkanaal of door de sluis niet in het onderzoek te betrekken.

1.3 Gegevens

Het Bouwbureau Schelde-Rijnverbinding en de Directie Sluizen en Stuwen verstrekten ten behoeve van het modelonderzoek de volgende gegevens:

- 1 Voorstel geleidewerk kanaalzijde. Tekening no. SU 3292
- 2 Uitstroomopeningen spui- en vulriolen met aansluitende taluds van het Baalhoekkanaal. Tekening no. 71.10455
- 3 Voorontwerp uitstroomopeningen volgens plan A. Tekening no. SU 3268
- 4 Voorontwerp uitstroomopeningen volgens plan B. Tekening no. SU 3269
- 5 Voorontwerp uitstroomopeningen volgens plan C. Tekening no. SU 3270
- 6 Gegevens met betrekking tot het ledigingsdebiet van de sluiscolk
- 7 Gegevens met betrekking tot de waterstanden en bodemligging in de voorhaven aan de Westerschelde-zijde
- 8 Gegevens met betrekking tot de vloer- en plafondhoogte van de in- en uitstroomopeningen aan de Westerschelde-zijde van het inlaatwerk.

1.4 Overzicht van de belangrijkste conclusies

Op grond van de resultaten van het onderzoek kan worden geconcludeerd dat de oplossing volgens toestand T6 (uitstroming van het spuidebiet door riolen in de sluiswand en de uitstroomopeningen in het front van de sluis) het meest gunstige stroombeeld in de voorhaven van het Baalhoekkanaal tot gevolg heeft. In de frontopeningen is daarbij een stroomverdeling tot stand gebracht, die in een model met een grotere schaal als die van het onderhavige model verder in detail zal moeten worden uitgewerkt. De sluiskolkleding geeft noch in de voorhaven van het Baalhoekkanaal noch in de voorhaven aan de kant van de Westerschelde een stroombeeld dat hinder voor de scheepvaart oplevert. Het scheepsgedrag is bij een stroombeeld na sluiskolkleding voor een aantal gevallen mathematisch en fysisch bepaald.

2 Model

2.1 Schalen

De lengteschaal voor het model bedroeg 1 : 80. Alle andere schaalfactoren kunnen hieruit worden afgeleid. Zo volgde uit de schaalwet van Froude voor de stroomsnelheden en de vaarsnelheid van het modelschip de schaalfactor $(80)^{\frac{1}{2}}$. De keuze van de lengteschaal werd in belangrijke mate bepaald door de beschikbare ruimte, waarbij werd voldaan aan de voorwaarde dat schaaffecten tengevolge van viscositeit, oppervlaktespanning en dynamische krachten geen invloed op de meetresultaten mogen uitoefenen.

2.2 Constructie en inrichting

Het model is ondergebracht in een van de onderzoekhallen op het terrein van het Laboratorium De Voorst. Deze hal is uitermate geschikt voor dit soort onderzoeken en wel om de volgende redenen:

- 1 Het in de hal aanwezige kanaalprofiel kon vrij eenvoudig worden omgebouwd tot het profiel van het Baalhoekkanaal

- 2 De voor dit onderzoek noodzakelijke voorzieningen waren nagenoeg bedrijfsklaar.

In figuur 1B is een overzicht gegeven van het model, terwijl in figuur 1A de situatie van het modelgebied in het prototype is weergegeven. Door middel van een pomp, druktoeren met constante statische hoogte, afsluiters, toevoeringen, afvoerverdeelbakjes en flexibele leidingen (die op de rioolkokers werden aangesloten) kon elke gewenste situatie van de uitmonding van het inlaatwerk en de verdeling van het debiet over de diverse kokers, binnen de vooraf vastgestelde speling, worden gerealiseerd. Met een regelklep aan de benedenstroomse rand van het model werd de vereiste waterstand ingesteld. Deze waterstand werd gemeten met een peilnaald, die een meetnauwkeurigheid bezit van 0,1 mm.

De waarnemingen in het model geschieden door aan het water een bepaalde kleurstof toe te voegen, waarmee de waterbeweging visueel zeer goed kan worden gevolgd. Vaak werden deze waarnemingen fotografisch vastgelegd (bijvoorbeeld 1 foto per 30 seconden). Voor het bepalen van de stroombanen en gemiddelde stroomsnelheden in de verticalen werd gebruik gemaakt van drijvers waarvan de lengte overeenkwam met de diepgang van een tanker van 70.000 dwt. Boven de taluds werden in verband met de aldaar aanwezige waterdiepten van 0 tot 18 m, korte drijvers toegepast. Tevens werd van bijna alle toestanden het oppervlakte-stroombeeld fotografisch vastgelegd door middel van drijvende papiersnippers die een aantal seconden werden belicht. Hieruit kan de stroomsnelheid aan het wateroppervlak worden afgeleid. Op dezelfde wijze werd in een aantal situaties het drijverstroombeeld gefotografeerd met een bepaald tijdsinterval tussen de opnamen.

Als hulpmiddel bij de plaatsbepaling van drijvers en snippers werd het model voorzien van een aantal meetraaien met maatverdeling.

2.3 Randvoorwaarden en meetprogramma

Alle toestanden met betrekking tot de stroombeeldmeting in de voorhavens van het Baalhoekkanaal werden in het model onderzocht met een waterstand overeenkomend met N.A.P. + 1,10 m. Zoals in paragraaf 1.2 reeds werd vermeld, bedroeg het spuidebiet $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Teneinde het model te onderzoeken op mogelijke schaafeffecten, en om na te gaan in hoeverre het stroombeeld gevoelig is voor de afvoer, werden voor een aantal gevallen ook andere waarden van het spuidebiet onderzocht. Ook bij asymmetrisch spuien werd het stroombeeld in de belangrijkste situaties vastgelegd. Aangezien ook de sluiscolkleding in de voorhavens een stroombeeld kan veroorzaken met nautisch ontoelaatbare gevolgen, werd ook hierbij met een aantal verschillende randvoorwaarden het stroombeeld bepaald. Ook in de voorhaven aan de Westerschelde-zijde (bodemhoogte N.A.P. - 19,00 m en waterstand N.A.P. - 2,90 m) werd het stroombeeld ten gevolge van de sluisleiding vastgelegd. Het nautisch gedrag bij het binnenvaren van de schepen in de sluis direct na de sluisleiding werd zowel wiskundig (benaderingsberekening) als fysisch bepaald.

In het model werden de volgende uitmondingsystemen van het inlaatwerk onderzocht:

- 1 Uitmonding in de bodem van de sluis, volgens plan C van Rijkswaterstaat, Directie Sluizen en Stuwen (T1-1 ... T1-7A).
- 2 Uitmonding in de bodem en het front van de sluis (T2-1 ... T2-5).
- 3 Uitmonding in het front van de sluis, volgens plan B van Rijkswaterstaat, Directie Sluizen en Stuwen (T3-1 en T3-1A).
- 4 Uitmonding in de dag en het front van de sluis (T4-1 ... T4-6).
- 5 Uitmonding in het front met paalroosterwerk als stroomverdeler voor het front van de sluis (T5-1 ... T5-3).
- 6 Uitmonding en verdeelwerk in het front van de sluis (T6-1 ... T10-4).

De toestanden T9 en T10 hebben betrekking op het hiervoor vermelde onderzoek naar het stroombeeld bij sluiscolkleding in de beide voorhavens en de nautische gevolgen hiervan.

Tenslotte is in de aanbevolen situatie T6 met een verkort model (toestand T6A) nagegaan in hoeverre het stroombeeld van T6-1 en T6-2 gevoelig is voor verkorting van het model. Deze metingen hebben tot doel het vaststellen van de modelgrens voor het detailmodel M 1210 en het vastleggen van het stroombeeld dat in dat model moet worden gereproduceerd.

3 Resultaten van het onderzoek

3.1 Uitstroming spuidebiet uit de vloer van de sluis (T1)

Het spuidebiet werd in de toestand T1 via een vloerriool met gatenstramien ter plaatse van het sluishoofd aan de kanaalzijde op het Baalhoekkanaal gebracht. In figuur 2 zijn de situatie en details van de uitstroomopeningen gegeven, waarbij is uitgegaan van het ontwerp van Rijkswaterstaat, Directie Sluizen en Stuwen, volgens plan C. In alle stromingstoestanden was de debietverdeling over het gatenstramien gelijkmatig.

T1-1

Het stroombeeld bij een spuidebiet van $2 \times 250 \text{ m}^3/\text{s}$ was niet ideaal. Zoals uit figuur 3 en foto 1 kan worden afgeleid, werd het spuidebiet eerst langs de rechter kanaalhelft afgevoerd. Pas na de verwijding van de kanaaltaluds (1 : 8) vond een geleidelijke invoeging van de stroom over het gehele dwarsprofiel plaats. Dit stroombeeld bleef stabiel door een grote neer in de linker kanaalhelft ter plaatse van de verwijding en een kleine neer direct benedenstrooms van de rechter frontmuur. De afbuigende stroom onmiddellijk na de sluis bereikte onder 30° met de kanaalas maximale stroomsnelheden van 0,50 m/s.

T1-1A

Met dezelfde randvoorwaarden als in T1-1 leidde een bewuste verstoring in het stroombeeldpatroon van deze toestand tot een ander stroombeeld waarvan het resultaat is gegeven in figuur 4 en foto 2. Ook dit stroombeeld (T1-1A) bleef stabiel. In de kanaalverwijding ontstond een nagenoeg gespiegeld stroombeeld ten opzichte van dat in T1-1. Het stroombeeld na de verwijding

was echter in beide toestanden ongeveer gelijk. Voor de scheepvaart is dit stroombeeld nog ongunstiger dan dat van T1-1 omdat hier sprake is van een extra richtingsverandering van de stroomsnelheid in dwarsrichting.

T1-2

Ten gevolge van herstelwerkzaamheden aan schuiven of storingsen van andere aard, kan het voorkomen dat door één rigolleiding moet worden gespuid. Het maximale debiet zal dan ongeveer $250 \text{ m}^3/\text{s}$ bedragen en werd in deze toestand door het achterste gatenstramien aangevoerd. Het stroombeeld, waarvan het resultaat wordt getoond in figuur 5 en foto 3, was zeer gelijkmatig. Het meanderende effect zoals geconstateerd in de toestanden T1-1 en T1-1A was hier volledig verdwenen.

Hoewel dit stroombeeld zonder uitwendige invloeden als stabiel mag worden verondersteld, ontstond door een ingrijpende tijdelijke verstoring een geheel ander stroombeeld en wel een stroombeeld ongeveer vergelijkbaar met dat van T1-4 (zie figuur 7).

T1-3

Om dezelfde reden als in T1-2 vond in deze toestand de uitstroming van het spuidebiet plaats door het voorste gatenstramien. Ook hier ontstond een acceptabel stroombeeld waarbij de stroom gesplitst werd in twee delen langs de beide taluds (figuur 6 en foto 4). In het midden van het kanaal was nagenoeg geen stroming. Ook dit stroombeeld kon door een verstoring in ongunstige zin worden beïnvloed (ongeveer te vergelijken met dat in toestand T1-5, zie figuur 8).

T1-4

Teneinde de eventuele gevolgen van de schaaleffecten door de viscositeit, die afhankelijk zijn van het getal van Reynolds, in het model te leren kennen, werden in de toestanden T1-4 en T1-5 de spuidebieten met een factor 2 vergroot ten opzichte van die gebruikt in de toestanden T1-2 en T1-3. Het stroombeeld van T1-4 zou zonder deze schaaleffecten overeen moeten komen met dat van T1-2. Het in figuur 7 en foto 5 vastgelegde stroombeeld toonde echter in geen enkel opzicht overeenkomst. Ook door een doelgerichte verstoring kon het stroombeeld van toestand T1-2 niet worden bereikt. Omdat echter het

verstoorde stroombeeld van toestand T1-2 wel met dat van T1-4 kan worden vergeleken, bestaat achteraf het vermoeden dat de verstoring in toestand T1-4 niet lang genoeg is doorgezet.

T1-5

Ook hier ontstond een stroombeeld dat aanvankelijk weinig overeenkomst met het stroombeeld van T1-3 vertoont (zie figuur 8 en foto 6). Alleen het verstoorde stroombeeld van T1-3 was nagenoeg gelijk aan het vastgelegde stroombeeld van T1-5, terwijl hetzelfde kan worden opgemerkt voor het verstoorde stroombeeld T1-5 en het gemeten stroombeeld T1-3.

T1-6

Ten opzichte van toestand T1-1 werd in deze toestand het spuidebiet gehalveerd. Het stroombeeld zoals gegeven in figuur 9 en foto 7 was ongeveer gelijk aan dat van T1-1. Een gerichte verstoring van het stroombeeld had tot gevolg dat het spuidebiet langs de beide taluds werd afgevoerd met een stroomloos gebied in het midden van het kanaal, zoals in toestand T1-3 (zie figuur 6).

T1-7

Om dezelfde reden als in de toestanden T1-4 en T1-5 werd in toestand T1-7 met een overdreven spuidebiet gestroomd ($Q = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$). Het stroombeeld, waarvan de resultaten zijn gegeven in figuur 10 en foto 8, was goed vergelijkbaar met het stroombeeld zoals geconstateerd in toestand T1-1A (figuur 4, foto 2).

T1-7A

Ook in toestand T1-7 werd na een verstoring een ander stabiel stroombeeld verkregen (T1-7A; figuur 11 en foto 9). Vooral in het verwijdingsgebied kwam het stroombeeldresultaat overeen met dat van T1-1 (figuur 3, foto 1).

Uit deze resultaten kan de conclusie worden getrokken dat eventuele schaal-effecten ten gevolge van de viscositeit geen significante invloed op het stroombeeld uitoefenen.

3.2 Uitstroming spuidebiet uit de vloer en het front van de sluis (T2)

Met de uitstroomopeningen in de vloer en het front van de sluis werden in toestand T2 (zie figuur 12) een aantal stroombeelden vastgelegd waarbij de debietverdeling over de openingen in vloer en sluisfront werd gevarieerd.

T2-1

In deze toestand bedroeg de debietverdeling $250 \text{ m}^3/\text{s}$ door de vloer en $250 \text{ m}^3/\text{s}$ door het front van de sluis. Uit figuur 13 en foto 10 kan worden geconcludeerd dat het stroombeeld voor de scheepvaart weinig problemen zal opleveren. Het spuidebiet werd over de beide taluds afgevoerd met een stroomloos middengebied, zoals in T1-3 (figuur 6, foto 4). De verbetering van toestand T2-1 ten opzichte van bijvoorbeeld T1-3 ligt in het feit dat het stroombeeld na verstoring op de uitgangspositie terug komt.

T2-2

Het spuidebiet werd in toestand T2-2 in de volgende verhouding over de uitstroomopeningen verdeeld: vloer $375 \text{ m}^3/\text{s}$ en sluisfront $125 \text{ m}^3/\text{s}$.

In figuur 14 en foto 11 is het bijbehorende stroombeeld gegeven. Hieruit blijkt dat het stroombeeld duidelijk slechter was dan dat van T2-1, terwijl ten gevolge van een verstoring een ten opzichte van de kanaalas gespiegeld stroombeeld werd waargenomen.

T2-3

Door de vloer en het front van de sluis bedroeg het spuidebiet in deze toestand respectievelijk 125 en $375 \text{ m}^3/\text{s}$. Uit figuur 15 en foto 12 blijkt duidelijk dat deze verdeling een nautisch onaanvaardbaar stroombeeld tot gevolg heeft. Ook hier kon na verstoring de hoofdstroom langs het andere talud worden geleid.

T2-4

Teneinde ook in de T2-situaties de invloed van schaafeffecten door de viscositeit te onderzoeken, werd in toestand T2-4 met een overdreven spuidebiet gestroomd. De verdeling bedroeg $500 \text{ m}^3/\text{s}$ door de vloer en

500 m³/s door het front van de sluis. Evenals in toestand T2-1 ontstond een symmetrisch, niet te verstoren, stroombeeld waarbij het spuidebiet langs de taluds werd afgevoerd met een stroomloos gebied in het midden van het kanaal (zie figuur 16 en foto 13 en vergelijk met figuur 13 en foto 10 van T2-1).

T2-5

Om dezelfde reden als in de vorige toestand, en omdat er in deze fase van het onderzoek sprake was van een vermindering van het noodzakelijke doorspoelingsdebiet, werd in toestand T2-5 met een spuidebiet van 250 m³/s het stroombeeld (figuur 17 en foto 14) vastgelegd. Door zowel de vloer als het front van de sluis werd 125 m³/s op het Baalhoekkanaal gebracht. Ook hier was het stroombeeld symmetrisch en niet te verstoren (vergelijk met de figuren 13 en 16 met betrekking tot respectievelijk T2-1 en T2-4).

Met uitzondering van de toestanden T2-2 en T2-3 blijken alle onderzochte stromingsomstandigheden van T2 een nautisch aanvaardbaar stroombeeld op te leveren. Het zijn bovendien stroombeelden die na een verstoring tot het oorspronkelijke beeld terugkomen. Een duidelijke verbetering ten opzichte van de stroombeelden bij T1 kan worden waargenomen. Overigens dient wel te worden opgemerkt dat de oplossing bij een gecombineerde uitstroming door vloer en front constructief niet aantrekkelijk is, zodat toepassing slechts in uiterste noodzaak in overweging moet worden genomen.

3.3 Uitstroming spuidebiet uit het front van de sluis (T3)

Na de uitstroming van het spuidebiet uit de vloer (T1) en de gecombineerde uitstroming uit de vloer en het front van de sluis (T2) werd in de toestanden T3 het ontwerp van Rijkswaterstaat, Directie Sluizen en Stuwen, plan B (met uitstroming uit het front van de sluis) in het model onderzocht. Details van deze situaties zijn gegeven in figuur 18.

T3-1

Bij een spuidebiet van 500 m³/s, gelijkmatig over het uitstroomoppervlak verdeeld, werd een stroombeeld waargenomen als gegeven in figuur 19 en

foto 15. Uit de figuur kan worden geconcludeerd dat het stroombeeld voor de scheepvaart ongetwijfeld moeilijkheden zal opleveren. Daarbij komt dat na verstoring een geheel ander stroombeeld ontstond (T3-1A).

T3-1A

Het stroombeeld dat na verstoring van T3-1 ontstond is gegeven in figuur 20 en foto 16. Aangezien dit stroombeeld nog slechter is dan dat in T3-1A werd besloten bij dit uitmondingsstelsel van het inlaatwerk geen andere debietvariaties te onderzoeken, althans niet zonder een stroomverdelende constructie.

3.4 Uitstroming spuidebiet uit de dag en het front van de sluis (T4)

Aan de uitstroming van het spuidebiet uit de dag en het front van de sluis is uitgebreid aandacht geschonken omdat, gezien de resultaten van het voorgaande onderzoek, deze oplossing werd beschouwd als een reële mogelijkheid om het stroombeeld nautisch acceptabel te maken en omdat deze oplossing constructief goed uitvoerbaar is. Met een gevarieerde debietverdeling over de dag- en frontopeningen is getracht tot een optimaal stroombeeld in de voorhaven te komen. De situatie en de details van de uitstroomopeningen zijn gegeven in figuur 21.

T4-1

De debietverdeling over de dag- en frontopeningen was in toestand T4-1 gelijk, namelijk $250 \text{ m}^3/\text{s}$. Het stroombeeld in de voorhaven is afgebeeld in figuur 22 en foto 17. Op dezelfde wijze als bij de uitstroming uit de vloer en het front van de sluis, werd in deze toestand de hoofdstroom langs de taluds gevoerd (tot ongeveer 1000 m vanaf de frontmuur van de sluis). Het stroombeeld in het middengebied is echter veel ongunstiger dan in de T2-situaties. Een aantal grote neren vlak voor de sluisgang zullen het rustig binnenvaren van de schepen in de sluis niet bevorderen.

T4-2

De vermindering van het debiet door de dagopeningen tot $125 \text{ m}^3/\text{s}$ tesamen met een vermeerdering van het debiet door de frontopeningen tot $375 \text{ m}^3/\text{s}$ veroorzaakte een slecht stroombeeld in de voorhaven, waarvan figuur 23 en

foto 18 het resultaat tonen. Het behoeft weinig betoog dat dit stroombeeld voor de scheepvaart als ontoelaatbaar moet worden beschouwd.

T4-3

Een verbetering ten opzichte van T4-2 leverde het stroombeeld bij een debietverdeling door de dag- en frontopeningen van respectievelijk 375 en $125 \text{ m}^3/\text{s}$ zoals onderzocht in toestand T4-3. Dit stroombeeld, gegeven in figuur 24 en foto 19, zal in mindere mate dan in T4-2 hinder voor de naar-binnen varende schepen opleveren hoewel het stroombeeld in de voorhaven niet symmetrisch is en vlak voor de sluisingang stroomsnelheden voorkomen van maximaal $0,27 \text{ m/s}$ onder 45° met de sluisas.

In de toestanden T4-4 ... T4-6 is het stroombeeld vastgelegd in die gevallen waarbij door herstelwerkzaamheden of onverwachte storingen in het prototype de symmetrische verdeling over de uitstroomopeningen verloren is gegaan.

T4-4

De afvoerverdeling in toestand T4-4 was als volgt:

- door de frontopeningen $250 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2 \times 125 \text{ m}^3/\text{s}$)
- door de dagopeningen $187,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (rechts $62,5 \text{ m}^3/\text{s}$ en links $125 \text{ m}^3/\text{s}$)

Deze debietverdeling had een stroombeeld in de voorhaven tot gevolg ongeveer overeenkomend met dat van toestand T4-1 (zie figuur 25 en foto 20 en vergelijk met figuur 22). In de sluismond ontstond echter, ten gevolge van het asymmetrisch spuien door de dagopeningen, een dwarsstroom onder 60° met de sluisas met snelheden ongeveer $0,6 \text{ m/s}$.

T4-5

In deze toestand werd door de frontopeningen met $2 \times 125 \text{ m}^3/\text{s}$ en in de dag alleen door de linker openingen met $125 \text{ m}^3/\text{s}$ gespuid. Zoals uit figuur 26 en foto 21 blijkt werd de hoofdstroom langs het rechtertalud van de voorhaven afgevoerd. De dwarsstroom in de sluismond bereikte waarden van $0,6 \text{ m/s}$ onder ongeveer 75° met de sluisas. Aangezien tevens in de voorhaven een aantal hinderlijke neren ontstonden, is deze stromingsconditie evenals de voorgaande (T4-4) nautisch ontoelaatbaar.

T4-6

Het spuidebiet was in deze toestand als volgt verdeeld:

- door de frontopening links $125 \text{ m}^3/\text{s}$
- door de dagopeningen $250 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2 \times 125 \text{ m}^3/\text{s}$)

De dwarsstroom in de mond van de sluis, zoals geconstateerd in T4-4 en T4-5, is in toestand T4-6 geheel verdwenen. Het spuidebiet werd langs het linker talud van de voorhaven afgevoerd, terwijl een geleidelijke invoeging van de stroom over het gehele dwarsprofiel plaatsvond (zie figuur 27 en foto 22).

Gezien de geringe dwarscomponent van de stroomsnelheid voor de sluisingang zal het asymmetrische stroombeeld weinig hinder voor de scheepvaart opleveren. Gesteld kan worden dat deze stroomconditie van alle onderzochte T4-situaties het nautisch meest gunstige stroombeeld tot gevolg heeft.

3.5 Uitstroming uit het front met stroomverdeler voor het front van de sluis (T5)

Uit de tot nu toe onderzochte toestanden blijkt dat een oplossing, waarbij de stroomsnelheden over het gehele dwarsprofiel nagenoeg gelijk zijn, moeilijk is te realiseren. Een benadering van deze ideale stromingsomstandigheid leidde steeds tot een instabiel, en daarom voor de scheepvaart ongunstig, stroombeeld. De beste stroombeeldresultaten werden bereikt in het geval dat het spuidebiet langs de taluds werd afgevoerd en waarbij een geleidelijke invoeging van de twee hoofdstromen over het gehele dwarsprofiel plaatsvond. In het vervolg van het onderzoek is daarom doelbewust gestreefd naar een oplossing waarbij het spuidebiet langs de taluds wordt afgevoerd.

In de T5-situaties werd getracht dit stroombeeld te bereiken door een stroomverdelende constructie voor de frontopeningen te plaatsen.

T5-1

Met de situatie van de uitstroomopeningen zoals onderzocht in toestand T3, werd in toestand T5-1 een stroomverdeelwerk, in de vorm van een gebogen paalroosterwerk, aangebracht voor de frontopeningen van de spuiroelen. Figuur 28 geeft de situatie en een detail van de stroomverdeler, die werd samengesteld uit 45 palen (afmetingen $0,60 \times 0,60 \text{ m}^2$) met variërende

onderlinge afstand en gegroepeerd in de vorm van een cirkelboog met een straal van 20 m. De stroomverdelers waren elkaars spiegelbeeld ten opzichte van de sluisas.

In figuur 30 en foto 23 is het resulterende stroombeeld gegeven. Op een aantal secundaire dwarsstromen in de sluismond na werd het beoogde stroombeeldpatroon gerealiseerd.

T5-2

In dese situatie werd het stroomverdeelwerk, zoals ontworpen voor toestand T5-1, over een afstand van 22,70 m vanaf de frontmuur als dicht scherm uitgevoerd. Het detail en de situatie van de beide uitstroomopeningen is gegeven in figuur 29. Het stroombeeld, waarvan de resultaten worden getoond in figuur 31 en foto 24, geeft nagenoeg hetzelfde resultaat als dat van toestand T5-1 met uitzondering van de secundaire dwarsstromen in de sluismond.

T5-3

In de toestanden T5-1 en T5-2 bedroeg het spuidebiet $2 \times 250 \text{ m}^3/\text{s}$. Teneinde de stroomverdeler te toetsen op mogelijke schaafeffecten werd het stroombeeld eveneens vastgelegd met een gehalveerd spuidebiet ($2 \times 125 \text{ m}^3/\text{s}$). Het ontwerp van de stroomverdelingsconstructie werd in toestand T5-3 niet gewijzigd ten opzichte van dat in T5-2. Uit de resultaten van het stroombeeld, gegeven in figuur 32 en foto 25, valt af te leiden dat dit nagenoeg overeenkomt met dat van T5-2.

3.6 Uitstroming spuidebiet en stroomverdeler uit het front van de sluis

(T6 ... T8)

T6

In toestand T6 werd getracht, door verbreding van de in T3 ... T5 toegepaste openingen in het sluisfront, het spuidebiet zonder hinder voor de scheepvaart op het Baalhoekkanaal te brengen. Constructief ging hierbij de voorkeur uit naar een verbreding van deze openingen in de richting van de dagzijde van de sluis. Eveneens om constructieve redenen moest de scheidingswand tussen de dag van de sluis en het aangrenzende riool tenminste 3 m bedragen en

verdiende het de voorkeur de vloerhoogte van alle openingen gelijk te nemen en wel op N.A.P. - 13,00 m zoals in T3 ... T5 (zie figuur 33). Met inachtnaam van deze beperkingen is het mogelijk het doorstromingsprofiel in het front met een factor 2 te vergroten ten opzichte van dat van T3 ... T5. In de richting van de opvolgende kokers zat een gering verloop. De dichtst bij het talud gelegen eindwand had een richting van 1 : 8 ten opzichte van de sluisas, de daarop volgende tussenwanden 1 : 8,5, 1 : 9 en 1 : 9,5 en de scheidingswand tussen riool en sluis 1 : 10.

In dit soort stroomverdelingsconstructies speelt de vormgeving van de riolen een belangrijke rol. Met een modelschaal 1 : 80, zoals bij dit onderzoek is toegepast, zal een gedetailleerde vormgeving geen betrouwbare resultaten opleveren. Het is daarom gewenst in dit model een aantal karakteristieke randvoorwaarden te verzamelen die, in een detailmodel gereproduceerd, tot een gedetailleerd ontwerp van de stroomverdelingsconstructie moeten leiden. De volgende randvoorwaarden zijn van belang:

- 1 De grootte van het spuidebiet en de waterstand in de voorhaven
- 2 De vloer- en plafondhoogte van de riooluitmonding
- 3 De plaats en de breedte van de riooluitmonding
- 4 Richting en stroomsnelheid van het spuidebiet ter plaatse van de rioolmond
- 5 Het stroombeeld en de stroomsnelheden in de voorhaven

Deze beschouwing geldt uiteraard ook voor de alternatieve oplossingen van dit stroomverdelingssysteem, zoals onderzocht in de toestanden T7 en T8 en voor het onderzoek met betrekking tot de uitmonding aan de Westerschelde-zijde (toestand T9).

T6-1

Uitgaande van een gemiddeld spuidebiet per uitstroomopening van $62,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (totale spuidebiet $2 \times 250 \text{ m}^3/\text{s}$) leverde de volgende afvoerverdeling, gerekend vanaf de dag van de sluis, het meest optimale stroombeeld in de voorhaven:

- 50 % van het gemiddelde spuidebiet ($31,25 \text{ m}^3/\text{s}$);
- 75 % van het gemiddelde spuidebiet ($46,75 \text{ m}^3/\text{s}$);
- 125 % van het gemiddelde spuidebiet ($78 \text{ m}^3/\text{s}$);
- 150 % van het gemiddelde spuidebiet ($94 \text{ m}^3/\text{s}$).

De resultaten van het bijbehorende stroombeeld worden getoond in figuur 34 en foto 26. Foto 28 geeft een reportage van het stroombeeld dat werd vastgelegd door een bepaalde kleurstof aan het water toe te voegen. Het tijdsinterval van de opnamen bedroeg in het model 30 seconden. Ook is in het model nagegaan in hoeverre een onderbreking van het spuien (bijvoorbeeld tijdens het vullen van de sluiscolk) het stroombeeld in de voorhaven wijzigt. Direct na de onderbreking ontstond een stroombeeldontwikkeling overeenkomend met die als in de reportage van foto 28 staat afgebeeld. Het stroombeeld is nagenoeg gelijk aan dat van toestand T5-2, zodat ook hier sprake is van een nautisch verantwoorde oplossing.

T6-2

Met dezelfde procentuele afvoerverdeling als vermeld onder T6-1 werd in toestand T6-2 met een spuidebiet van $2 \times 125 \text{ m}^3/\text{s}$ gestroomd. Figuur 35 en foto 27 geven hiervan het stroombeeldresultaat. De geleidelijke invoeging van de twee hoofdstromen vond iets eerder plaats dan in toestand T6-1, maar ook dit stroombeeld zal weinig hinder voor de scheepvaart opleveren.

T7

Een variant op de oplossing van toestand T6 werd onderzocht in toestand T7 (figuur 36). In deze toestand werd de breedte van de uitstroomkokers zodanig gewijzigd dat de onderlinge verhouding van de stroomsnelheden in de kokers overeenkwam met die van T6 (dus de breedte van de kokers in T7 was omgekeerd evenredig met de debietverdeling van T6). De absolute stroomsnelheden waren nu in alle kokers 20 % hoger dan in de overeenkomstige kokers van T6.

T7-1

De grootte van het spuidebiet was in deze toestand $2 \times 250 \text{ m}^3/\text{s}$. Het stroombeeld is vastgelegd in figuur 37 en foto 29. Evenals in de toestanden T5 en T6 werd het spuidebiet ook in deze toestand langs de taluds van de voorhaven afgevoerd. De retourstroom in het midden van de voorhaven is echter sterker dan in de voorgaande situaties. Dit verschijnsel is waarschijnlijk te wijten aan de hogere uitstroomsnelheden bij de rioolmond.

T7-2

In figuur 38 en foto 30 wordt het stroombeeld gegeven bij een spuidebiet van $2 \times 125 \text{ m}^3/\text{s}$. Ook hier was sprake van verhoogde stroomsnelheden in het middengebied van de voorhaven ten opzichte van die in de situaties T5 en T6. Overigens kunnen ook de stroombeelden van T7-1 en T7-2 als nautisch aanvaardbaar worden beschouwd.

T8

Teneinde het bezwaar van toestand T7 met betrekking tot de relatief hoge stroomsnelheden in het middengebied van de voorhaven zoveel mogelijk te verminderen, werd in T8 een andere breedteverhouding van de kokers ter plaatse van de uitmonding in het model onderzocht. Deze gewijzigde breedteverhouding had stroomsnelheden tot gevolg die in absolute grootte beter overeenstemden met die van T6 dan in de vorige situatie (T7). Voor de situatie en details van toestand T8 wordt verwezen naar figuur 39.

T8-1

Figuur 40 en foto 31 geven het stroombeeld in toestand T8-1. Het spuidebiet bedroeg in deze toestand $2 \times 250 \text{ m}^3/\text{s}$. Het beoogde doel ten aanzien van een reductie van de retourstroom in het midden van de voorhaven werd niet bereikt. De symmetrie van het stroombeeld was in toestand T8-1 echter beter dan in de vergelijkbare vorige situatie. Om die reden verdient nautisch gezien toestand T8-1 de voorkeur.

T8-2

Het stroombeeld van deze toestand is gegeven in figuur 41 en foto 32. Vergeleken met toestand T7-2, waar ook het spuidebiet $2 \times 125 \text{ m}^3/\text{s}$ bedroeg, was in toestand T8-2 een duidelijke vermindering waar te nemen van de stroomsnelheden in het midden van de voorhaven.

T8-3

Uitgaande van een spuidebiet zoals in toestand T8-1, werd aan de linker zijde van de sluis de afvoer door het riolenstelsel gereduceerd tot 60 %. Dit asymmetrisch spuien met afvoeren van 250 en $150 \text{ m}^3/\text{s}$ leverde een symmetrisch

patroon van stroombanen op, waarbij uiteraard de stroomsnelheden langs de rechter oever van de voorhaven groter waren dan langs de linker oever. Een retourstroom in het middengebied van de voorhaven, zoals in de vorige stromingsomstandigheden, werd in deze toestand niet waargenomen. Het stroombeeldresultaat van toestand T8-3 wordt gegeven in figuur 42 en foto 33.

3.7 Sluiskolklediging in de voorhaven van het Baalhoekkanaal in de aanbevolen situatie (T6)

De voorkeur van de Directie Sluizen en Stuwen ging uit naar een stroomverdeelwerk in het front van de sluis. Van de in dit kader onderzochte toestanden T6 ... T8 kan daarom de nautisch verantwoorde en constructief aantrekkelijke oplossing van toestand T6 als aanbevolen situatie worden gezien (zie ook hoofdstuk 4). Met de geometrie van de riooluitmonding, zoals in deze toestand onderzocht (figuur 33), werd het stroombeeld in de voorhaven vastgelegd tijdens en na een sluiskolklediging.

T6-1 en T6-2

In eerste instantie werd gedurende 18 minuten met een constant debiet de sluiskolklediging nagebootst. De afvoerverdeling door de openingen was gelijk aan die van T6-1 en T6-2 waarbij het totale spuidebiet respectievelijk 2×250 en $2 \times 125 \text{ m}^3/\text{s}$ bedroeg. De schematische weergave van de bloklozing in de toestanden T6-1 en T6-2 wordt gegeven in figuur 43. Met een tijdsinterval van 4,5 minuut (prototype) werd het stroombeeld in de voorhaven vastgelegd tot en met 45 minuten na het begin van de sluislediging. In figuren 44A ... 44C is deze stroombeeldreportage gegeven (voor de randvoorwaarden van toestand T6-1). Het voor de scheepvaart ongunstigste stroombeeld werd waargenomen 27 minuten na het begin van de sluislediging (opname 6). Op dat tijdstip kunnen reeds schepen de sluis binnenvaren zodat enige gereserveerdheid ten aanzien van de nautische toelaatbaarheid van dit stroombeeld op zijn plaats is. Het effect van deze stroomsnelheden op de koers van in- en uitvarende schepen valt echter moeilijk te voorspellen. Vooral voor de invarende schepen zijn, door de geringe vaarsnelheid, koerscorrecties moeilijk uit te voeren. De oorzaak van dit minder gunstige stroombeeld kan worden gezocht in het feit dat in het model de lediging van de sluiskolk gedurende 2 minuten (is circa 18 minuten

prototype) met constant debiet heeft plaatsgevonden (bloklozing), terwijl in werkelijkheid die lozing in een bepaalde tijd van $Q = 0$ tot $Q = 2 \times 125 \text{ m}^3/\text{s}$ toeneemt en daarna weer afneemt naar $Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$ (driehoeklozing).

T6-3

Nadat in het model hiervoor enkele voorzieningen waren getroffen, kon de volgende driehoeklozing in toestand T6-3 zo goed mogelijk worden gereproduceerd:

- Tijd van $Q = 0$ naar $Q_{\text{max}} = 2 \times 125 \text{ m}^3/\text{s}$ overeenkomend met 4 minuten prototype en
- tijd van $Q_{\text{max}} = 2 \times 125 \text{ m}^3/\text{s}$ naar $Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$ overeenkomend met 14 minuten prototype.

Het resultaat van deze reproductie is gegeven in figuur 45. Het stroombeeld in de voorhaven werd op dezelfde wijze gemeten als in de situatie met bloklozing. De resultaten met betrekking tot de stroomsnelheden in de voorhaven in toestand T6-3 waren echter aanzienlijk beter dan die van T6-1. Met een tijdsinterval van 4,5 minuut werd het stroombeeld in de voorhaven vastgelegd tot en met 45 minuten na het begin van de sluislediging (figuren 46A ... 46C), terwijl foto 34 op dezelfde tijdstippen een momentopname geeft van de vermenging van het met kleurstof voorziene lozingsdebiet met het water in de voorhaven.

T6-4

Herstellingswerkzaamheden aan de schuiven van het riolenstelsel of andere noodzakelijke onderbrekingen in het spuitproces kunnen een situatie doen ontstaan waarbij het lozingsdebiet aan één zijde tot bijvoorbeeld 60 % vermindert. Q_{max} bedraagt dus in dat geval $75 \text{ m}^3/\text{s}$ in plaats van $125 \text{ m}^3/\text{s}$. In figuur 47 is grafisch het verloop van de driehoeklozing van een daarop gebaseerde toestand (T6-4) gegeven. De stroomsnelheden in de voorhaven vertonen weinig verschil ten opzichte van die bij de symmetrische lozing (vergelijk de figuren 48A ... 48C van toestand T6-4 met de figuren 46A ... 46C van toestand T6-3). Ook uit de reportage van foto 35, waar het vermengingsbeeld wordt getoond, kan worden geconcludeerd dat er geen

noemenswaardige verschillen ten opzichte van de vorige toestand bestaan.

3.8 Sluiskolklediging in de voorhaven aan de Westerschelde (T9)

Ook in de voorhaven aan de kant van de Westerschelde is het stroombeeld tengevolge van een sluislediging in het model onderzocht. Voor dit onderzoek werd de voorhaven van het Baalhoekkanaal gebruikt. Aan de hand van voorlopige gegevens kon het bodemniveau van de voorhaven op N.A.P. - 16,90 m worden gehandhaafd, terwijl ook de rioolbodem op N.A.P. - 13,00 m bleef. De plafondhoogte van de riooluitmonding werd gewijzigd in N.A.P. - 8,50 m en de waterstand in N.A.P. - 2,90 m. Alle andere maten, bepalend voor de vormgeving van de riooluitmonding en de voorhaven, bleven ten opzichte van toestand T6 ongewijzigd. In figuur 49 zijn de situatie en details van de uitmonding van toestand T9 gegeven.

T9-1

De lediging van de sluiskolk vond in toestand T9-1 (figuur 50) door middel van bloklozing plaats. In tegenstelling tot de ongelijke afvoerverdeling door de openingen in T6 werd nu door alle uitstroomopeningen dezelfde hoeveelheid water afgevoerd, namelijk $31,25 \text{ m}^3/\text{s}$ gedurende circa 18 minuten.

Het stroombeeld in de voorhaven was, evenals in de voorhaven van het Baalhoekkanaal (T6-2), nautisch geen succes. De stroomsnelheden bereikten waarden die nog hoger waren dan in T6-1. (In T6-1 bedroeg het ledigingsdebiet $2 \times 250 \text{ m}^3/\text{s}$). In figuren 51A ... 51C zijn een tiental momentopnamen van het stromingspatroon in de voorhaven gegeven waarvan de eerste opname 4,5 minuut en de laatste opname (opname 10) 45 minuten na het begin van de sluislediging genomen werd.

T9-2

Bij de driehoeklozing (T9-2) was de afvoerverdeling over de uitstroomopeningen zoals in toestand T6-3 (zie figuur 52). De stroomsnelheden in de voorhaven tot 45 minuten na het begin van de sluislediging zijn gegeven in figuren 53A ... 53C. Dat deze stroomsnelheden bij een driehoeklozing in vergelijking met T9-1 toch nog hoge waarden bereiken (dit in tegenstelling tot de vergelijking tussen

T6-2 en T6-3) is waarschijnlijk het gevolg van het feit dat de stroomsnelheden in de riooluitmonding een factor 2 à 3 hoger zijn dan in de vergelijkbare T6-situaties. Ook de waterdiepte in de voorhaven is ruim 20 % minder dan in de voorhaven van het Baalhoekkanaal. De reportage met betrekking tot de vermenging van het sluiskolkwater met het water van de Westerschelde-voorhaven (foto 36) geeft eveneens een veel turbulenter beeld van de waterbeweging voor de sluismond dan in toestand T6-3.

T9-3

In toestand T9-3 werd aan één zijde van de sluis het ledigingsdebiet tot 60 % verminderd terwijl het debiet gelijkmatig over de kokers van de beide riooluitmondningen werd verdeeld (respectievelijk $4 \times 31,25$ en $4 \times 18,75 \text{ m}^3/\text{s}$). In figuren 54A ... 54C wordt een beeld gegeven van het verloop van de stroomsnelheden in de voorhaven van 4,5 minuut tot 45 minuten na het begin van de sluislediging. De asymmetrische sluiskolklediging geeft vooral in het tijdsgebied waarin de wachtende schepen na het omzetten van de sluis naar binnen kunnen varen een slechter beeld dan tijdens de symmetrische sluiskolkledigingen van T9-1 en T9-2. Het stroombeeld van opname 6 zal waarschijnlijk het gedrag van de binnenvarende schepen het meest beïnvloeden. Ook de stroombeeldreportage van foto 37 bevestigt de conclusie dat het stroombeeld in toestand T9-3 slechter is dan dat bij alle voorgaande wijzen van sluislediging.

Teneinde een indruk te krijgen van de orde van grootte van de scheepsbewegingen van een in- of uitvarend schip in een stroombeeld zoals dat van toestand T9-3, opname 6, is een oriënterende, vereenvoudigde berekening gemaakt. De resultaten van deze berekening zijn gegeven in de tabellen 1 en 2 en de figuren 55 en 56.

| x | \bar{v} | $\bar{\psi}$ | $\psi = \sum \bar{\psi} \cdot \Delta t$ | $\Delta y = \bar{v} \cdot \Delta t + u \cdot \Delta t \cdot \psi$ | $y = \sum \Delta y$ |
|------|-----------|--------------|---|---|---------------------|
| -100 | 0,00 | 0,00000 | 0,0000 | 0,000 | 0,000 |
| - 50 | +0,02 | +0,00065 | +0,0325 | +2,625 | + 2,625 |
| 0 | +0,03 | +0,00030 | +0,0475 | +3,875 | + 6,500 |
| 50 | 0,00 | -0,00070 | +0,0125 | +0,625 | + 7,125 |
| 100 | -0,04 | -0,00125 | -0,0500 | -4,500 | + 2,625 |
| 150 | -0,04 | 0,00000 | -0,0500 | -4,500 | - 1,875 |
| 200 | +0,02 | +0,00220 | +0,0600 | +4,000 | + 2,125 |
| 250 | +0,02 | +0,00180 | +0,1500 | +8,500 | +10,625 |
| 300 | +0,05 | -0,00025 | +0,1375 | +9,375 | +20,000 |
| 350 | +0,07 | -0,00110 | +0,0825 | +7,625 | +27,625 |
| 400 | 0,00 | 0,00000 | +0,0825 | +4,125 | +31,750 |

Tabel 1 Gedrag van uitvarend schip

| x | \bar{v} | $\bar{\psi}$ | $\psi = \sum \bar{\psi} \cdot \Delta t$ | $\Delta y = \bar{v} \cdot \Delta t + u \cdot \Delta t \cdot \psi$ | $y = \sum \Delta y$ |
|------|-----------|--------------|---|---|---------------------|
| 400 | 0,00 | 0,00000 | 0,0000 | 0,000 | 0,000 |
| 350 | +0,07 | +0,00110 | +0,0550 | +6,250 | + 6,250 |
| 300 | +0,05 | +0,00025 | +0,0675 | +5,875 | +12,125 |
| 250 | +0,02 | -0,00180 | -0,0225 | -0,125 | +12,000 |
| 200 | +0,02 | -0,00220 | -0,1325 | -5,625 | + 6,375 |
| 150 | -0,04 | 0,00000 | -0,1325 | -4,625 | - 1,750 |
| 100 | -0,04 | +0,00125 | -0,0700 | -5,500 | - 7,250 |
| 50 | 0,00 | +0,00070 | -0,0350 | -1,750 | - 9,000 |
| 0 | +0,03 | -0,00030 | -0,0500 | -1,000 | -10,000 |
| - 50 | +0,02 | -0,00065 | -0,0825 | -3,125 | -13,125 |
| -100 | 0,00 | 0,00000 | -0,0825 | -4,125 | -17,250 |

verklaring van de gebruikte symbolen (tabellen 1 en 2)

x = afstand zwaartepunt schip tot sluisfront in m

y = afstand zwaartepunt schip tot sluisas in m

\bar{v} = stroomsnelheid in y-richting gemiddeld over de lengte van het schip in m/s

$\bar{\psi}$ = koershoeknelheid gemiddeld over de lengte van het schip in rad/s

ψ = hoek tussen de scheepsas en de sluisas in rad

u = vaarsnelheid = 1 m/s

Δt = tijdsinterval = 50 s

Tabel 2 Gedrag van invarende schip

Bij de berekening is aangenomen dat het schip een lengte heeft van 200 m en een constante vaarsnelheid houdt van $u = 1$ m/s. In verband met deze lage vaarsnelheid wordt de massatraagheid van het schip ten opzichte van de dwarsscheepse versnellingen en hoekversnellingen verwaarloosd. Hierdoor worden de berekende afwijkingen uit de sluisas groter dan in het geval waarin de massatraagheid niet zou zijn verwaarloosd. Bovendien wordt aangenomen dat tijdens de vaart het roer in de middenstand blijft staan. De gedachtengang hierbij is dat wanneer aangetoond zou kunnen worden dat in het ongunstigste stroombeeld en bij de ongunstigste aanname de afwijkingen uit de sluisas klein blijven, alle in dit onderzoek beschouwde situaties in de praktijk aanvaardbaar zijn.

De berekening is uitgevoerd met tijdsintervallen van $\Delta t = 50$ sec en met afstandsstappen van $\Delta x = u \cdot \Delta t = 1 \times 50 = 50$ m. In iedere plaats is de stroomsnelheid, loodrecht op de sluisas en gemiddeld over de scheepslengte, grafisch bepaald. Op dezelfde wijze is de gemiddelde koersnelheid bepaald uit de snelheidsgradiënt (zie figuur 57). Eenvoudigheidshalve is aan een lineair verband tussen de stroomsnelheid en de scheepsbewegingen de voorkeur gegeven boven een kwadratisch verband.

Uit de resultaten blijkt dat de maximale afwijkingen uit de sluisas op 20 à 30 m worden geschat. Aangezien deze waarden niet zonder meer kunnen worden genegeerd, werd een scheepvaartonderzoek bij sluiscollekleding uitgevoerd.

3.9 Invaarprouven bij sluiscollekleding op de Westerschelde-voorhaven (T10)

Teneinde het gedrag van een de sluis invarend schip te bepalen bij het meest ongunstige stroombeeld na een sluiscollekleding, werd het effect van een aantal randvoorwaarden in de situatie T10 onderzocht. Met betrekking tot de geometrie van de uitmonding en de voorhaven moet worden opgemerkt dat ten opzichte van T9 een geringe wijziging is aangebracht. Nieuwe gegevens werden verwerkt hetgeen tot gevolg had dat het bodemniveau vlak voor de sluis op N.A.P. - 20,10 m werd gebracht. In de voorhaven wordt dan het niveau N.A.P. - 19,00 m, zodat de waterdiepte 16,10 m bedraagt. Het talud

van 1 : 4 kon nu zonder "zeeg" worden uitgevoerd. De situatie en details van de uitstroomopeningen in toestand T10 zijn gegeven in figuur 58.

De vaarproeven zijn verricht met een modelschip waarvan de belangrijkste gegevens, omgerekend naar het prototype, de volgende zijn:

- lengte 243,20 m
- breedte 34,50 m
- diepgang 12,50 m
- tonnage 70.000 dwt
- vermogen 24.000 pk (bij een maximum toerental van 120 omw/min).

T10-1

In toestand T10-1 werd gevaren door het meest ongunstige stroombeeld dat ten gevolge van een symmetrische driehoeklozing van de sluiskolk in de voorhaven werd gevormd. Het maximum debiet bedroeg $2 \times 125 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2 \times 4 \times 31,25 \text{ m}^3/\text{s}$). Het gedrag van de invarende tanker is vastgelegd in figuur 59 en foto 38. Bij een toerental van 50 omw/min werd een vaarsnelheid bereikt van 2 m/s. Tot in de sluismond werd nauwelijks verzet waargenomen, hetgeen betekent dat het stroombeeld geen nadelige invloed op het scheepsgedrag uitoefent. De weergave van de gedragingen van de tanker in de sluis tijdens het afstoppen is minder realistisch dan die tijdens het binnenvaren in de sluis. Aan het afstoppen is daarom geen optimale aandacht besteed. In figuren 60A ... 60C wordt het stroombeeld gegeven vanaf 22,5 minuut na het begin van de sluislediging. In tegenstelling tot vergelijkbare reportages in de vorige toestanden, bedroeg hier het tijdsinterval $2 \frac{1}{4}$ minuut. Ook de positie van de tanker werd in deze figurensérie afgebeeld (dat wil zeggen de positie aan het begin en aan het eind van de 6 sec durende sluiteropening van de camera).

T10-2

Een asymmetrische driehoeklozing met maximum debieten van 75 en $125 \text{ m}^3/\text{s}$ en een ongelijkmatige debietverdeling over de kokers (zie toestand T6-4) werd onderzocht in toestand T10-2. Het stroombeeld ten gevolge van de sluiskolklediging wordt gegeven in figuren 61A ... 61C. In figuur 62 en foto 39 is het gedrag van de invarende tanker gegeven. De positie van het schip is in foto 39 als volgt aangegeven:

- no. 1 ... 9 boeg van het schip
- no. 10 ... 17 hek van het schip

De resultaten van deze meting rechtvaardigen de conclusie dat ook dit stroombeeld voor de scheepvaart weinig moeilijkheden zal opleveren. Vergeleken met de vorige toestand (vergelijk figuur 62 met figuur 59) was in deze toestand de benodigde roerbeweging groter om geen groter verzet te verkrijgen.

T10-3

In toestand T10-3 werd het scheepvaartonderzoek voortgezet met een asymmetrische driehoeklozing van de sluiskolk (maximum debieten van 75 en 125 m³/s) maar nu werd, in tegenstelling tot de randvoorwaarden van toestand T10-2, de afvoer per riool gelijkmatig over de kokers verdeeld (zoals in toestand T9-3). Het stroombeeld van deze sluiskolklediging is gegeven in figuren 63A ... 63C. Het gedrag van de tanker bij het binnenvaren van de sluis was nagenoeg gelijk aan dat van het schip in toestand T10-2. Figuur 64 en foto 40 tonen dit, in vergelijking met figuur 62 en foto 39, aan.

T10-4

Tenslotte werd ook in stilstaand water het gedrag van een binnenvarende tanker vastgelegd (T10-4). De resultaten hiervan zijn gegeven in figuur 65 en foto 41. Duidelijke verschillen in het gedrag van de tanker ten opzichte van dat in de vorige situaties werden niet waargenomen.

3.10 Aanvullend stroombeeldonderzoek met verkort model (T6A)

In de aanbevolen situatie T6 werd met een verkort model (afstand sluisfront tot modelrand overeenkomend met een prototypewaarde van 1000 m) nagegaan in hoeverre het stroombeeld van T6-1 en T6-2 gevoelig is voor deze verkorting. Zoals in hoofdstuk 2.3 reeds werd opgemerkt hebben deze metingen tot doel het vaststellen van de modelgrens voor het detailmodel M 1210 en het vastleggen van het stroombeeld dat door dit model moet worden gereproduceerd.

T6A-1

Met een ongelijkmatig verdeelde afvoer over de kokers van de beide rioolstelsels (totale debiet 2 x 250 m³/s) ontstond een stroombeeld in de voorhaven zoals gegeven in figuur 66, foto 42 en de stroombeeldreportage foto 44. Bij voorgaande

proeven werden alle stroombeeldfoto's genomen van drijvende papiersnippers (oppervlaktestroombeeld). Teneinde een beeld te krijgen van de gemiddelde stroomsnelheid in de verticaal, werd thans ook met drijvers (stokdrijvertjes) een opname gemaakt (foto 46). Teneinde de vergelijking met toestand T6-1 zo compleet mogelijk te maken, werd ook in deze toestand een drijverfoto genomen (foto 45). Het stroombeeld van toestand T6-1 werd in toestand T6A-1 redelijk goed gereproduceerd. Waarschijnlijk ten gevolge van randinvloeden werd in toestand T6A-1 een geringe retourstroom in het middengebied van de voorhaven waargenomen. Deze retourstroom was in toestand T6-1 niet aanwezig.

T6A-2

In deze toestand werd ten opzichte van toestand T6A-1 het spuidebiet gehalveerd. Door beide rioolstelsels werd nu $125 \text{ m}^3/\text{s}$ gevoerd. Het stroombeeld in de voorhaven is gegeven in figuur 67 en foto's 43 en 47. De verschillen met het stroombeeld van toestand T6-2 waren verwaarloosbaar klein.

4 Samenvatting van de meetresultaten en conclusies

In tabel 3 is een overzicht gegeven van de onderzochte toestanden, de randvoorwaarden en een korte samenvatting van de meetresultaten bij permanent spuidebiet.

| toestand | plaats uitstroming | debietverdeling in m^3/s | samenvatting meetresultaten |
|----------|--------------------|---|--|
| T1-1 | bodem | 500 | geen ideaal stroombeeld stroombeeld wel te verstoren; zie T1-1A |
| T1-1A | bodem | 500 | nagenoeg gespiegeld stroombeeld ten opzichte van T1-1 stroombeeld nog slechter dan T1-1 |

| | | | |
|------|-------|-----|---|
| T1-2 | bodem | 250 | spuidebiet door achterste helft van het gatenstramien. gelijkmatig stroombeeld. het meanderend effect zoals geconstateerd in T1-1 en T1-1A is hier volledig verdwenen. stroombeeld wel te verstoren; zie T1-4 |
| T1-3 | bodem | 250 | spuidebiet door voorste helft van het gatenstramien. acceptabel stroombeeld, gesplitst in twee delen langs de beide taluds. stroombeeld wel te verstoren; zie T1-5 |
| T1-4 | bodem | 500 | spuidebiet door achterste helft van het gatenstramien. onderzoek naar gevolgen van mogelijke schaaffecten. stabiel stroombeeld, niet te verstoren |
| T1-5 | bodem | 500 | spuidebiet voor voorste helft van het gatenstramien. doel onderzoek als bij T1-4. stroombeeld wel te verstoren; zie T1-3 |
| T1-6 | bodem | 250 | ten opzichte van T1-1 is het spuidebiet gehalveerd. stroombeeld stemt redelijk goed overeen met dat van T1-1. stroombeeld wel te verstoren; zie T1-3 |

| | | | | | |
|-------|-------|-------|------|-----|---|
| T1-7 | bodem | | 1000 | | ten opzichte van T1-1 is het spuidebiet verdubbeld. doel onderzoek als bij T1-4. stroombeeld wel te verstoren; zie T1-7A |
| T1-7A | bodem | | 1000 | | randvoorwaarden en doel als bij T1-7. stroombeeld wel te verstoren; zie T1-7 |
| T2-1 | bodem | front | 250 | 250 | symmetrisch stroombeeld, niet te verstoren. vergelijkbaar met T1-3 |
| T2-2 | bodem | front | 375 | 125 | asymmetrisch stroombeeld, wel te verstoren |
| T2-3 | bodem | front | 125 | 375 | asymmetrisch stroombeeld, wel te verstoren |
| T2-4 | bodem | front | 500 | 500 | overdreven spuidebiet, stroombeeld niet te verstoren. redelijk goed vergelijkbaar met T2-1 |
| T2-5 | bodem | front | 125 | 125 | gehalveerd spuidebiet ten opzichte van T2-1. stroombeeld niet te verstoren. goed vergelijkbaar met T2-1 |
| T3-1 | | front | | 500 | nautisch niet aanvaardbaar stroombeeld. stroombeeld wel te verstoren; zie T3-1A |
| T3-1A | | front | | 500 | nautisch niet aanvaardbaar stroombeeld. stroombeeld wel te verstoren; zie T3-1 |

| | | | | | |
|------|-----|-------|-------|-----|--|
| T4-1 | dag | front | 250 | 250 | <p>alle stroombeelden min of meer ontoelaatbaar.</p> <p>asymmetrisch stroombeeld in de dag en eerste gedeelte voorhaven (plm. 1000 m).</p> <p>dit gedeelte was niet te verstoren. na 1000 m min of meer instabiel stroombeeld.</p> <p>plaats hoofdstroom wijzigde voortdurend</p> |
| T4-2 | dag | front | 125 | 375 | |
| T4-3 | dag | front | 375 | 125 | |
| T4-4 | dag | front | 187,5 | 250 | |
| T4-5 | dag | front | 125 | 250 | |
| T4-6 | dag | front | 250 | 125 | |
| T5-1 | | front | | 500 | <p>paalroosterwerk als stroomverdeler. stroombeeld tamelijk stabiel, niet te verstoren.</p> <p>in sluismond dwarsstroom met geringe snelheden</p> <p>paalroosterwerk als stroomverdeler met dicht scherm over 45° vanaf de dag van de sluis.</p> <p>stroombeeld stabiel, niet te verstoren.</p> <p>geen dwarsstroom zoals in T5-1 als T5-2</p> |
| T5-2 | | front | | 500 | |
| T5-3 | | front | | 250 | |
| T6-1 | | front | | 500 | <p>spuidebiet over 2 x 4 kokers ongelijk doch symmetrisch verdeeld.</p> <p>stroombeeld nagenoeg gelijk aan dat in T5-2</p> <p>spuidebiet in zelfde verhouding over de kokers verdeeld als in T6-1.</p> <p>stroombeeld te vergelijken met dat in T5-3</p> |
| T6-2 | | front | | 250 | |

| | | | |
|------|-------|-----|---|
| T7-1 | front | 500 | spuidebiet over 2 x 4 kokers gelijk verdeeld. de breedte van de kokers omgekeerd evenredig met debietverdeling van T6. stroombeeld stabiel en niet te verstoren. spuistroom volgt het talud zoals in T5 en T6, met iets sterkere neren in het midden- gebied van de voorhaven als T7-1 |
| T7-2 | front | 250 | |
| T8-1 | front | 500 | spuidebiet over 2 x 4 kokers gelijk verdeeld. verdeling kokerbreedte iets gewijzigd ten opzichte van T7. stroombeeld stabiel; niet te verstoren. nagenoeg zelfde stroombeeld als in T7 |
| T8-2 | front | 250 | als T8-1 |
| T8-3 | front | 400 | asymmetrische uitstroming. spuidebiet in 1 x 4 kokers 60 % verminderd ten opzichte van T8-1. stroombeeld als in T8-1 met inachtname van een stroomsnel- heidsreductie aan één zijde |

| | | | |
|-------|-------|-----|---|
| T6A-1 | front | 500 | verkort model; lengte 1000 m vanaf frontsluis. stroombeeld en randvoorwaarden als T6-1 |
| T6A-2 | front | 250 | verkort model; lengte 1000 m vanaf frontsluis. stroombeeld en randvoorwaarden als T6-2 |

Tabel 3 Overzicht onderzochte toestanden voorhaven kanaalzijde (T1 ... T8)

Uit bovenvermelde resultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- 1 De oorzaak van de onstabiele stroombeelden in de toestanden T1 moet worden gezocht in het feit dat de spuistroom over onvoldoende breedte in de voorhaven wordt gebracht.
- 2 Het onderzoek naar de mogelijke schaalears effecten (T1-7 en T1-7A; overdreven spuidebiet) levert een tweetal stroombeelden op die vergelijkbaar zijn met de overeenkomstige situatie met een lager spuidebiet. Schaalears effecten zijn dus niet aanwezig.
- 3 Met de uitstroming door bodem en front is in de toestanden T2 een voor de scheepvaart aanvaardbaar stroombeeld bereikt, met de hoofdstroom langs de taluds en daar tussen een stabiel middengebied met zeer lage stroomsnelheden. Constructief is deze oplossing echter niet aantrekkelijk.
- 4 Bij de uitstroming uit de frontopeningen (T3) ontstaat een nautisch onaanvaardbaar stroombeeld.
- 5 Aan de uitstroming uit de dag- en frontopeningen (T4) kleven nautische bezwaren, omdat in het sluishoofd en het eerste gedeelte van de voorhaven een asymmetrisch stroombeeld wordt waargenomen.
- 6 De toestand met een stroomverdeelwerk vóór de frontopeningen, zoals onderzocht in de toestanden T5, levert een aantrekkelijk stroombeeld op met de hoofdstromen langs de taluds en een vrijwel stroomloos middengebied van de voorhaven.

- 7 Met een geschematiseerd stroomverdeelwerk in het front van de sluis (T6 en de varianten T7 en T8) ontstaat een stroombeeld in de voorhaven zoals in T5-2 en T5-3 met een paalroosterwerk vóór de uitstroomopeningen.
- 8 Aangezien de voorkeur van Directie Sluizen en Stuwen uitgaat naar een stroomverdeelwerk in het front van de sluis, kan van de onderzochte varianten de nautisch verantwoorde en constructief aantrekkelijke oplossing T6 worden aanbevolen. Deze oplossing kan in het prototype worden gerealiseerd door een verdeelwerk in de kokermund aan te brengen.
- 9 De juiste vormgeving van het onder punt 8 vermelde verdeelwerk zal in een detailmodel moeten worden onderzocht, omdat de schalen van het model M 1142 (1 : 80) geen betrouwbare detaillering toelaten.
- 10 De in het detailmodel te reproduceren stroombeelden zijn in de toestanden T6A vastgelegd. Deze stroombeelden komen goed overeen met die van T6.

De randvoorwaarden en de meetresultaten van het stroombeeldonderzoek in de voorhavens van het Baalhoekkanaal (T6) en aan de zijde van de Westerschelde (T9) bij sluiskolklediging zijn samengevat in tabel 4. Als uitgangspunt bij de vormgeving van de uitstroomopeningen diende de oplossing van toestand T6. De totale tijd voor het ledigen van de sluiskolk bedroeg in alle toestanden circa 18 minuten.

Uit de resultaten van dit stroombeeldonderzoek in de voorhavens tijdens en na lediging van de sluiskolk kan vergelijkenderwijs worden geconcludeerd dat de kolklediging met variabel debiet (overeenkomstig de praktijk) een gunstiger stroombeeld oplevert dan een kolklediging met constant debiet. Voorts blijkt dat een asymmetrische kolklediging ongunstiger is dan een symmetrische kolklediging. Tenslotte kan worden opgemerkt dat de kolklediging in de voorhaven aan de zijde van de Westerschelde (T9) een ongunstiger stroombeeld tot gevolg heeft dan de kolklediging in de voorhaven van het Baalhoekkanaal (T6). Het meest ongunstige stroombeeld werd in het model waargenomen in T9-3, opname 6 (ongeveer 27 minuten na het begin van de sluislediging). Met dit stroombeeld als gegeven werd een vereenvoudigde koersberekening van een in- en uitvarend schip uitgevoerd. Volgens deze berekening kunnen de afwijkingen uit de sluisas maximaal 20 à 30 m bedragen. Aangezien verwacht mag worden dat deze vereenvoudigde berekeningen de ongunstigste scheepsbeweging aangeven, maar geen voorspelling toelaten in hoeverre de reële waarden worden overtroffen,

| toestand | debietverdeling (maximum waarden) in m ³ /s door de uitstroomopeningen | | | | | | | | samenvatting meetresultaten |
|----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | a | b | c | d | e | f | g | h | |
| T6-1 | 94 | 78 | 46,75 | 31,25 | 31,25 | 46,75 | 78 | 94 | sluislediging met constant debiet (bloklozing). nautisch ongunstigste stroombeeld circa 27 minuten na begin van de sluislediging. sluisledigingsdebiet gehalveerd ten opzichte van T6-1. meer dan gehalveerde stroomsnelheden in de voorhaven. desondanks nautisch nog twijfelachtig. sluislediging met niet-constant debiet (driehoeklozing). stroomsnelheden in de voorhaven aanzienlijk gereduceerd ten opzichte van T6-1. asymmetrische sluislediging met niet-constant debiet (driehoeklozing). stroombeeld redelijk goed vergelijkbaar met T6-3. |
| T6-2 | 47 | 39 | 23,4 | 15,6 | 15,6 | 23,4 | 39 | 47 | |
| T6-3 | 47 | 39 | 23,4 | 15,6 | 15,6 | 23,4 | 39 | 47 | |
| T6-4 | 28 | 23,5 | 14 | 9,5 | 15,6 | 23,4 | 39 | 47 | |
| T9-1 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | sluislediging met constant debiet (bloklozing). totale ledigingsdebiet gelijk aan T6-2, doch de stroomsnelheden in de voorhaven bereiken nog hogere waarden dan in T6-1. sluislediging met niet-constant debiet (driehoeklozing). stroomsnelheden in de voorhaven hoger dan in T6-3. asymmetrische sluislokkleding met niet-constant debiet (driehoeklozing). gemiddeld stroombeeld iets slechter dan bij de symmetrische sluislokkleding T9-1 en T9-2. |
| T9-2 | 47 | 39 | 23,4 | 15,6 | 15,6 | 23,4 | 39 | 47 | |
| T9-3 | 18,75 | 18,75 | 18,75 | 18,75 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | |

Tabel 4 Overzicht randvoorwaarden en meetresultaten T6 en T9

werd hierna nog een aanvullend scheepvaartonderzoek met een invarend schip uitgevoerd.

Teneinde de berekening en de resultaten van de modelproeven op de juiste wijze te kunnen vergelijken, zijn hieronder in tabel 5 de verschillen nog eens duidelijk samengevat.

| gegevens en randvoorwaarden | berekening (T9) | modelproeven (T10) |
|---|--|--|
| lengte van het schip | 200 m | 243,20 m |
| vaarsnelheid | 1 m/s | circa 2 m/s |
| massatraagheid ten opzichte van de dwarsscheepse versnellingen en hoekversnellingen | verwaarloosd in verband met de lage vaarsnelheid | reële modelvoorwaarden |
| verband tussen stroomsnelheid en scheepsbeweging | lineair aangenomen | kwadratisch |
| positie van het schip | tot in de sluiscolk | in verband met afstoppen alleen tot aan het sluisfront; vergelijking reëel |
| roerbewegingen | constant in middenstand | beweging door "normaal" stuurgebruik bij automatische besturing |
| drifthoek | 0° | reële modelwaarden |
| stroombeeld in voorhaven | volgens T9-3, opname 6 | zo goed mogelijk in T10 gereproduceerd |

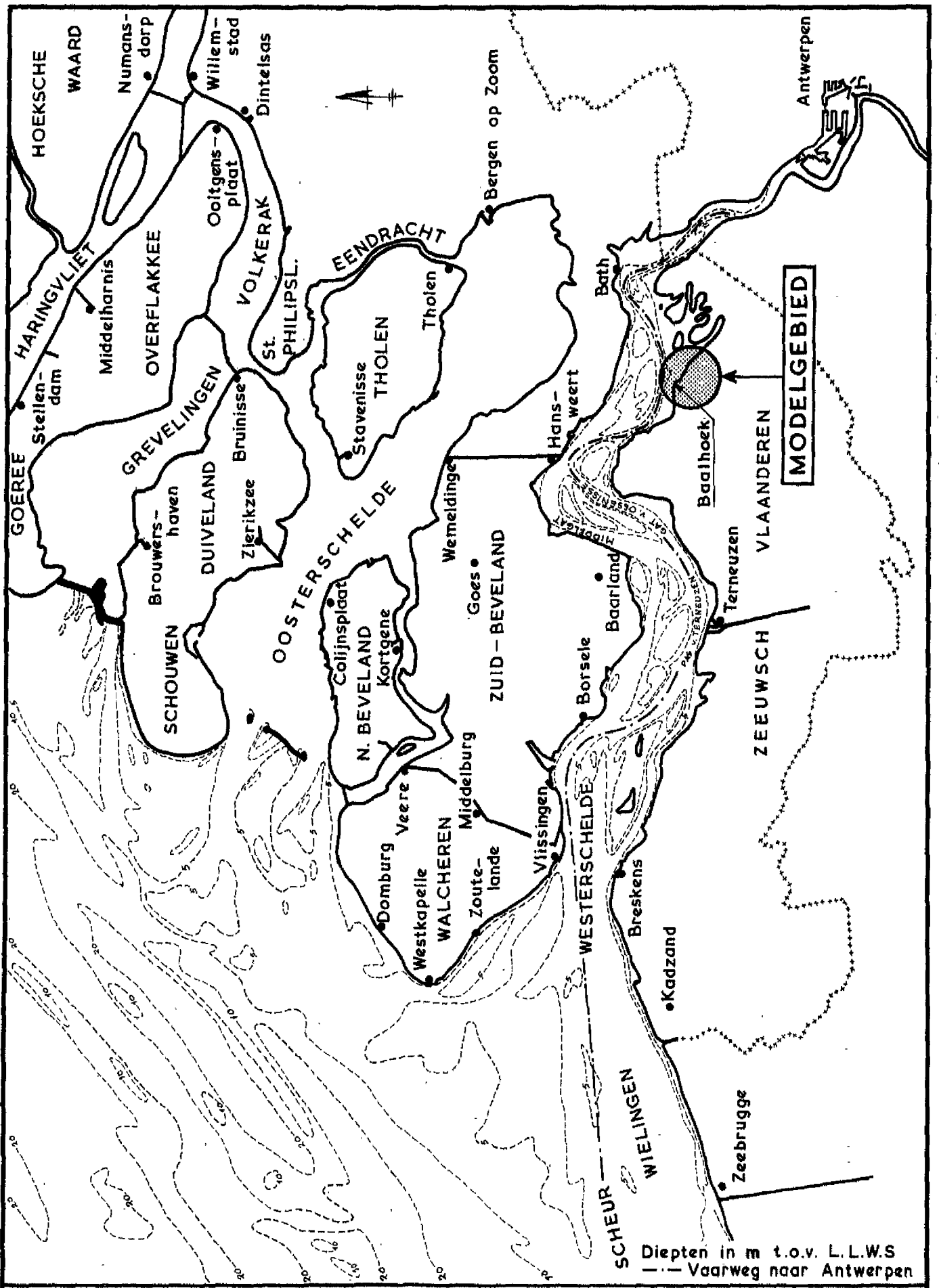
Tabel 5 Samenvatting van resultaten berekeningen en vaarproeven (respectievelijk T9 en T10)

In tabel 6 zijn de in T10 gebruikte randvoorwaarden en de meetresultaten gegeven. De waarden voor het verzet, roerhoek en koershoek hebben betrekking op de positie van het schip tot aan het front van de sluis.

| toestand | debletverdeling (max. waarden) in m ³ /s door de uitstroomopeningen | | | | | | | | maximum waarden van: | | | | | |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-----|------------------|----|-------------------|-----|
| | | | | | | | | | verzet in m | | roerhoek in ° | | koershoek in ° | |
| | a | b | c | d | e | f | g | h | SB | BB | SB | BB | SB | BB |
| T10-1 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | 0,5 | 1,0 | 13 | 14 | 0,2 | 0,4 |
| T10-2 | 28 | 23,5 | 14 | 9,5 | 15,6 | 23,4 | 39 | 47 | 1,0 | 1,5 | 24 | 16 | 1,2 | 0,9 |
| T10-3 | 18,75 | 18,75 | 18,75 | 18,75 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | 31,25 | 0 | 2,0 | 12 | 13 | 0,1 | 0,8 |
| T10-4 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,0 | 1,5 | 0 | 10 | 0,1 | 0,7 |

Tabel 6 Samenvatting randvoorwaarden en resultaten T10

Tot aan het sluisfront werd in de vereenvoudigde berekening voor een invarend schip (tabel 2) een maximale afwijking uit de sluisas bepaald van 12,1 m (voor de posities buiten de sluis). Uit het modelonderzoek T10 blijkt het maximale verzet 2,0 m te bedragen. Hieruit kan de conclusie worden getrokken dat de koersafwijkingen in eerste instantie door een vereenvoudigde berekening kunnen worden benaderd. Met het scheepvaartonderzoek is evenwel de vrees, dat het stroombeeld in de voorhaven ten gevolge van een sluiscolkliding nautisch ontoelaatbaar zou zijn, weggenomen.



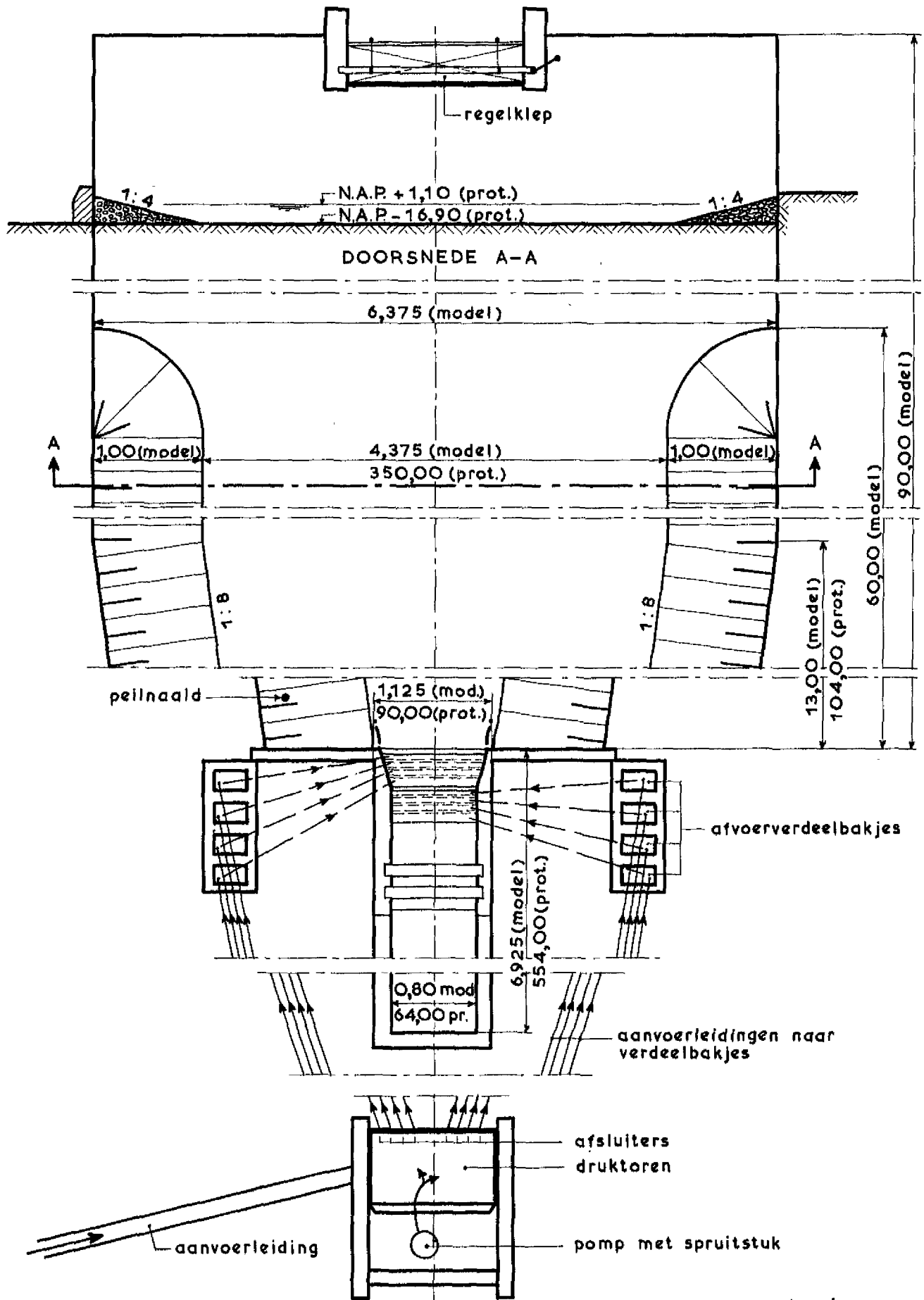
SITUATIE MODELGEBIED IN HET PROTOTYPE

SCHAAL 1:375.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 1 A



maten in m.

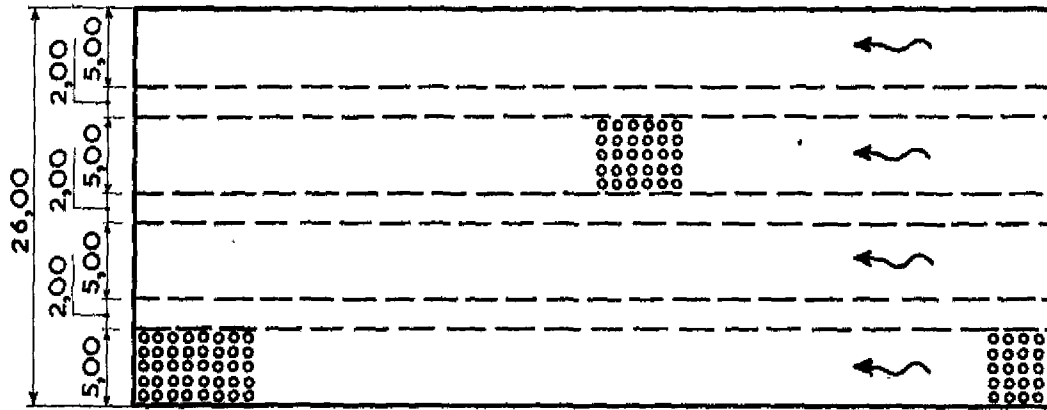
OVERZICHT VAN HET MODEL

SCHAAL 1:50
T.O.V. MODEL

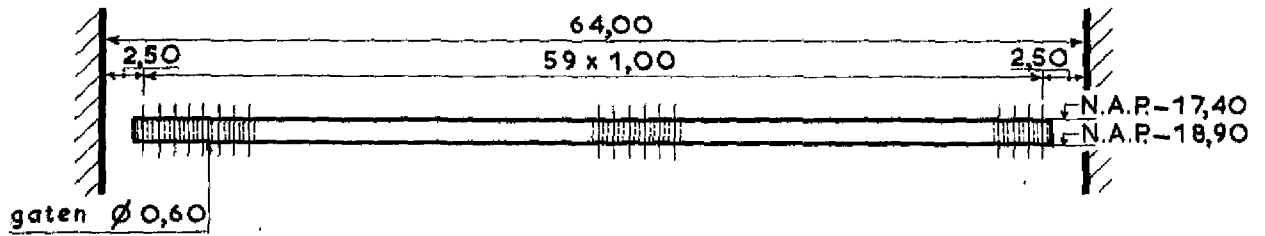
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

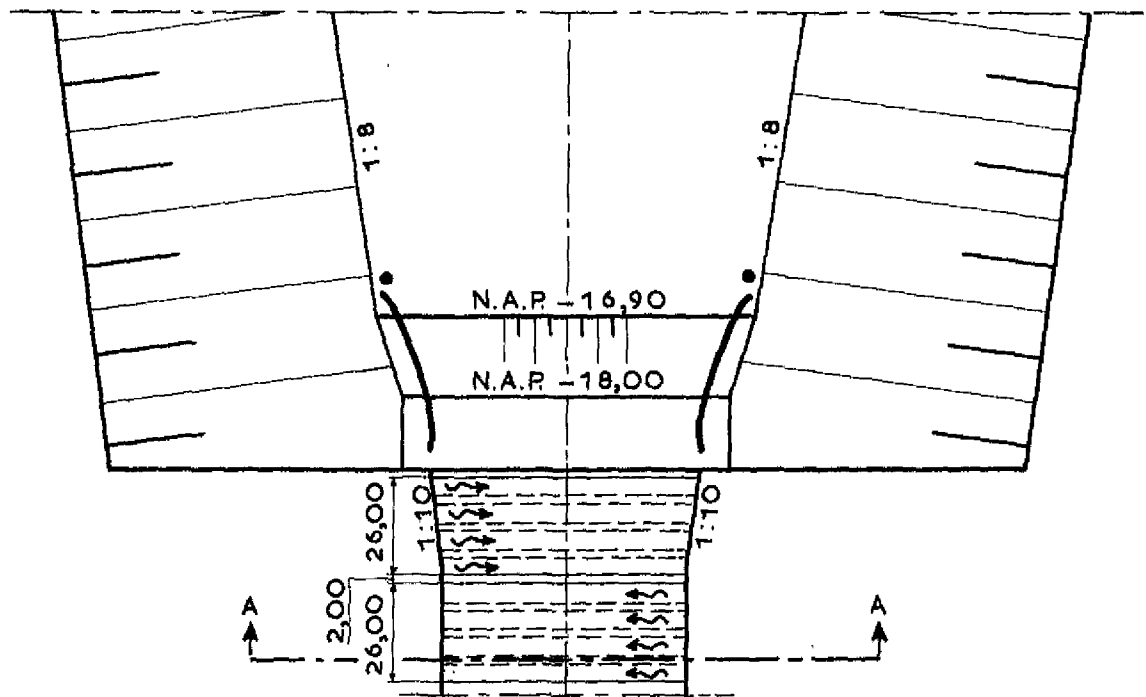
FIG. 1 B



GEDEELTELUK BOVENAANZICHT



DOORSNEDE A-A OVER GATENSTRAMIEN
SCHAAL 1:500



SITUATIE UITSTROOMOPENINGEN
SCHAAL 1:2000

maten in m prototype

SITUATIE EN DETAIL UITSTROOMOPENINGEN

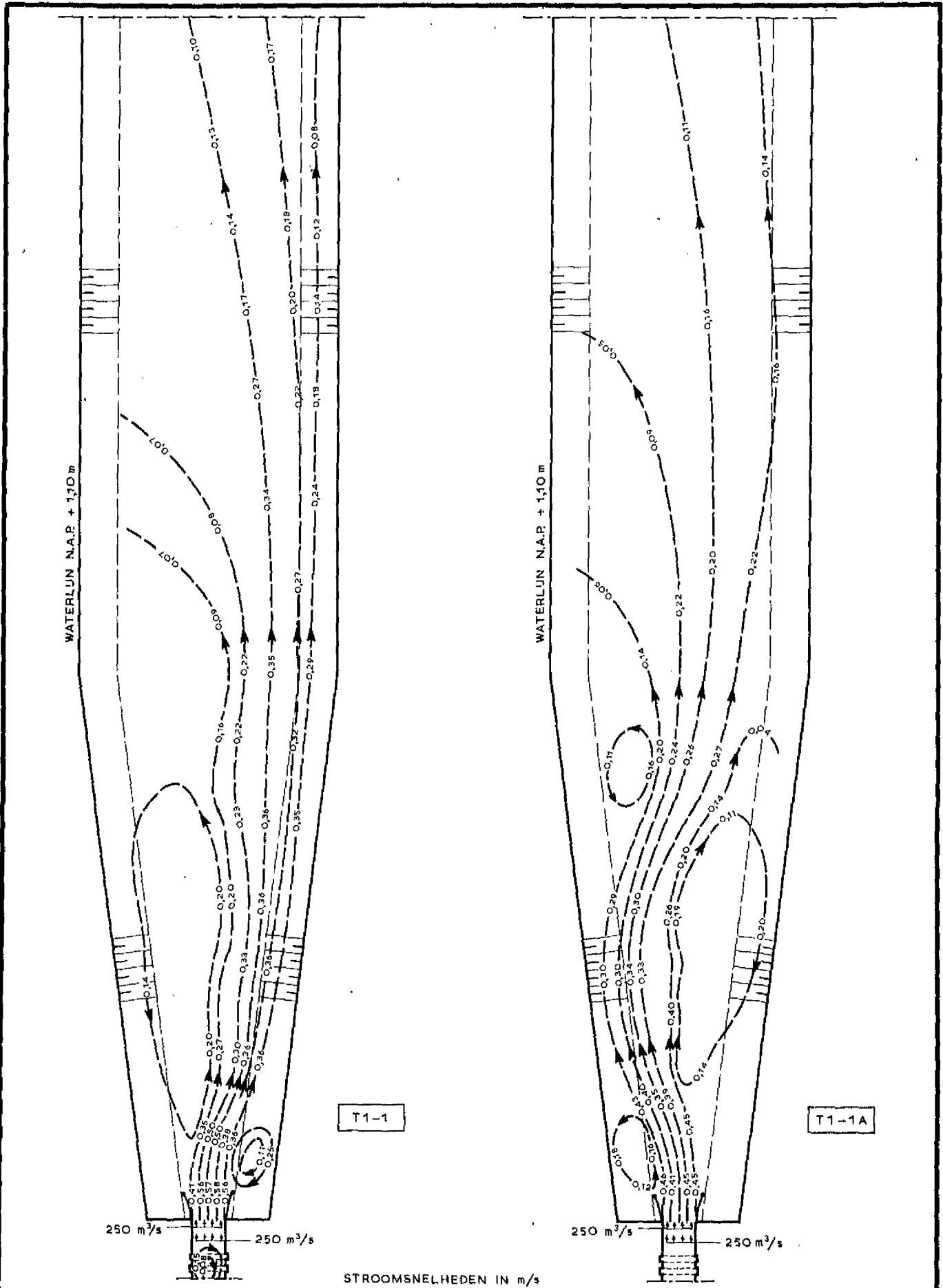
T1

SCHALEN 1:2000
1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 2



STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

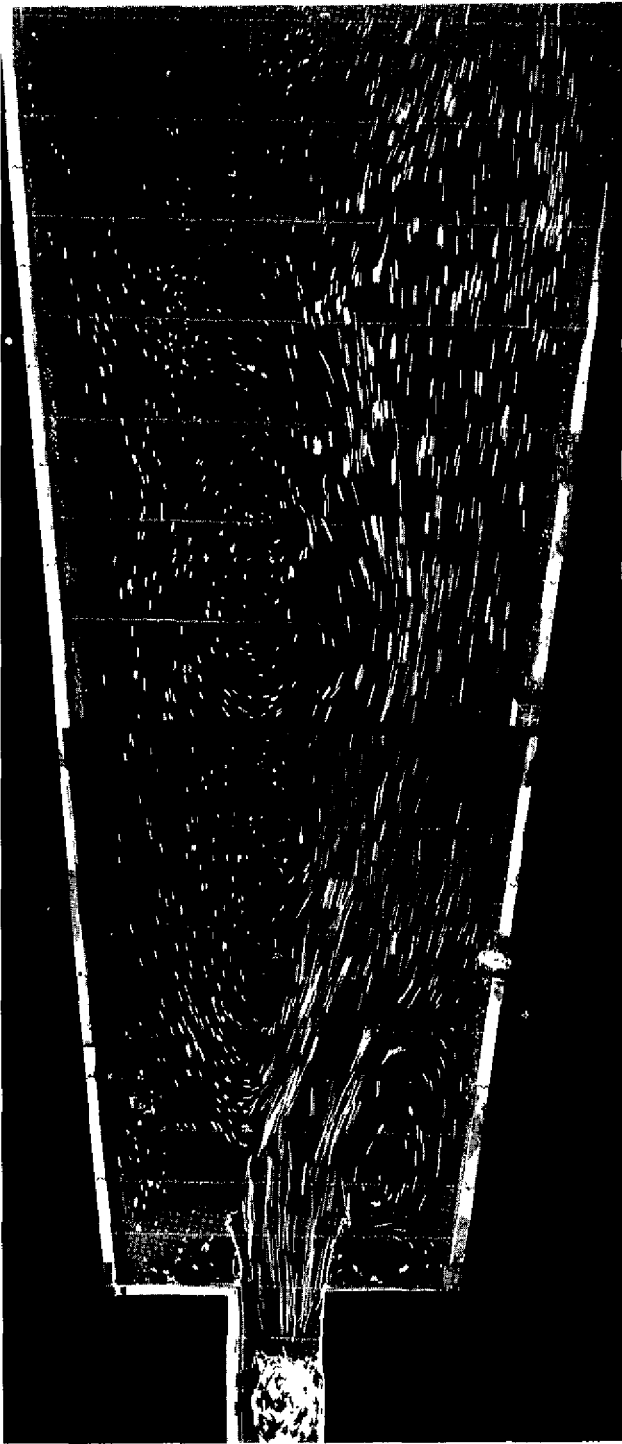
T1-1, T1-1A

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 3,4

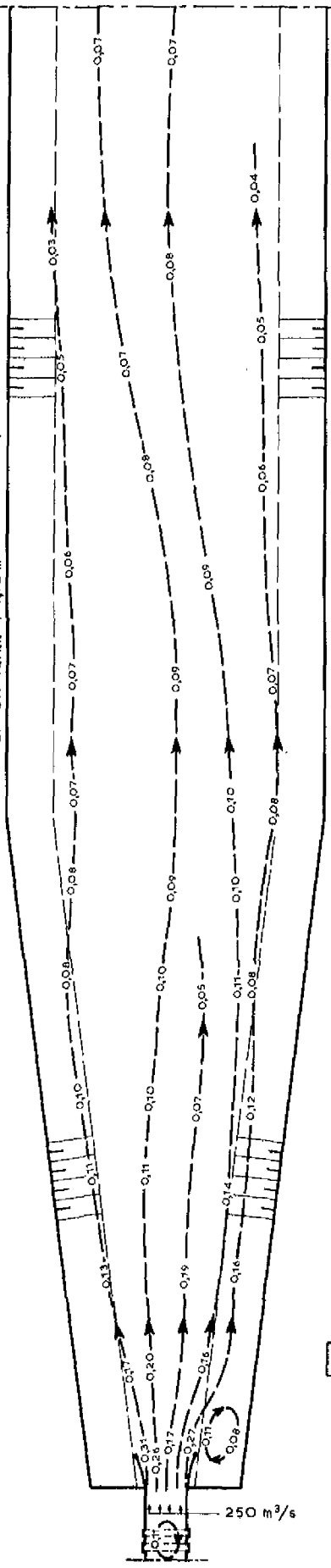


1 TI-1. Oppervlakte-stroombeeld



2 TI-1A. Oppervlakte-stroombeeld

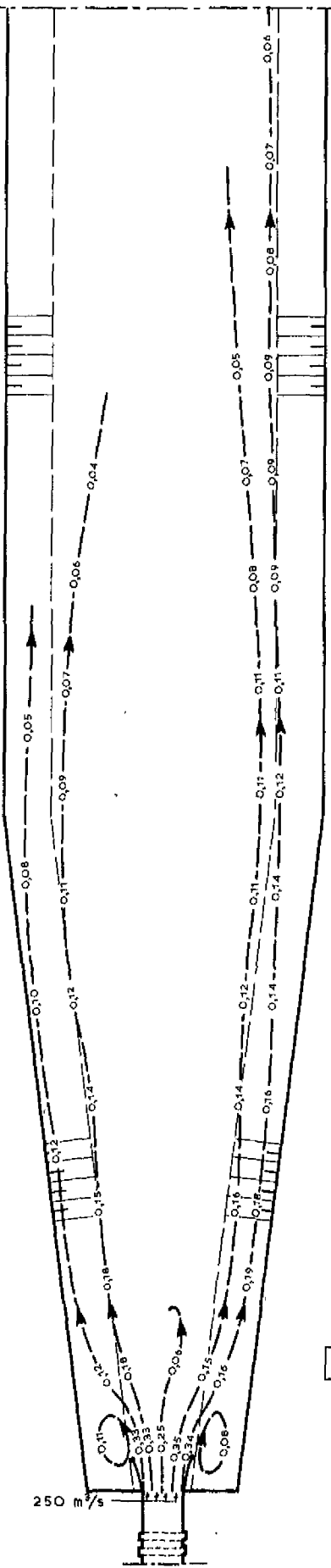
WATERLUN N.A.P. + 1,10 m



T1-2

STROOMSNELHEDEN IN m/s

WATERLUN N.A.P. + 1,10 m



T1-3

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

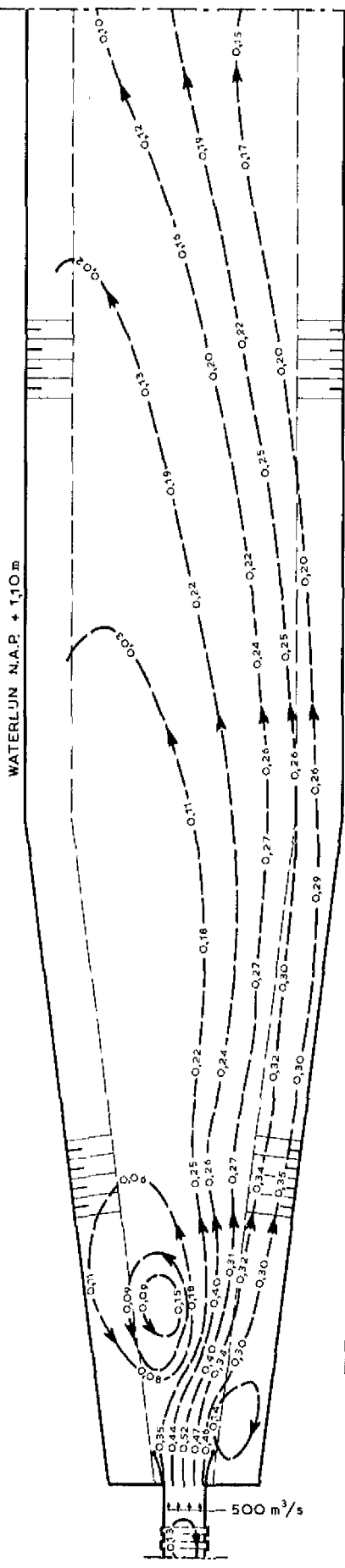
| | |
|-----------------|----------|
| T1-2, T1-3 | |
| SCHAAL 1:10.000 | |
| M. 1142 | FIG. 5,6 |



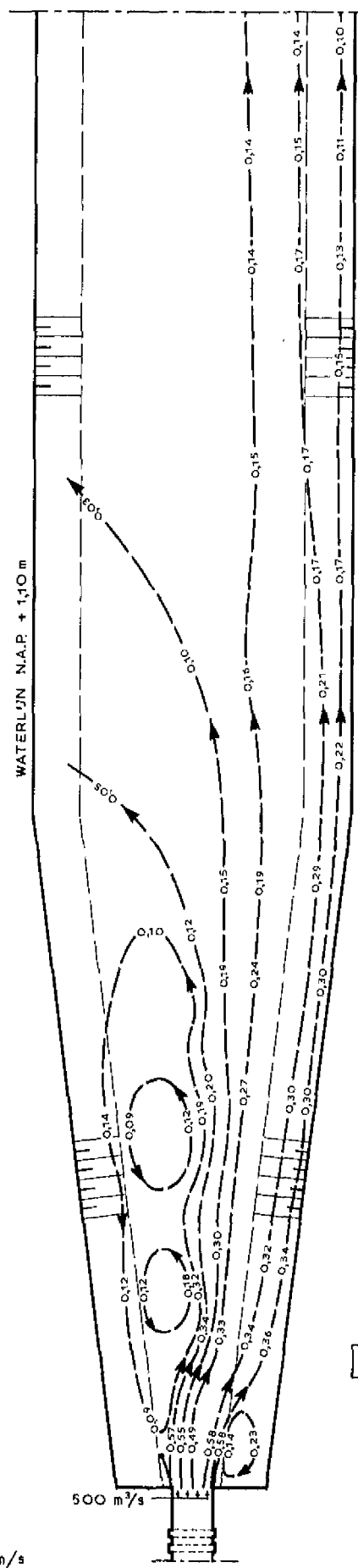
3 T1-2. Oppervlakte-stroombeeld



4 T1-3. Oppervlakte-stroombeeld



T1-4



T1-5

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

T1-4, T1-5

SCHAAL 1:10,000

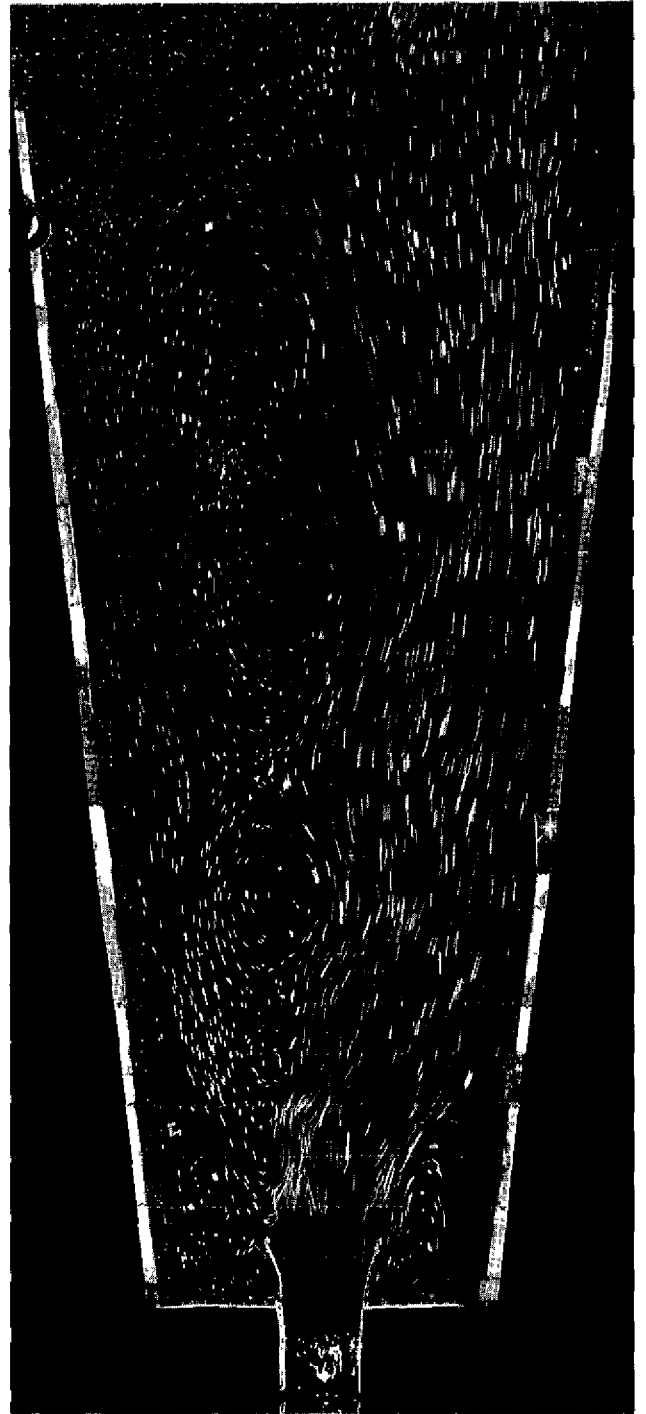
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

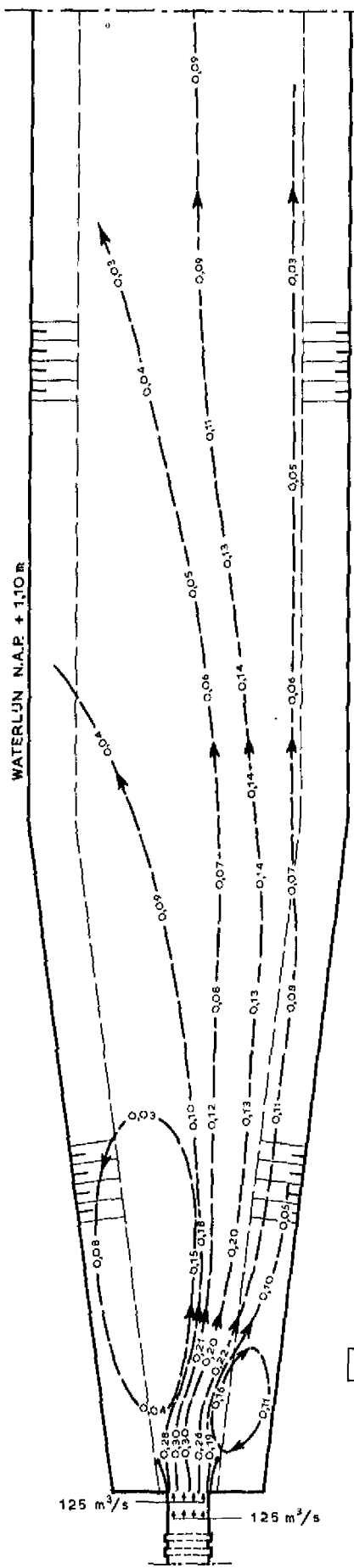
FIG. 7, 8



5 T1-4. Oppervlakte-stroombeeld



6 T1-5. Oppervlakte-stroombeeld



T 1-6

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

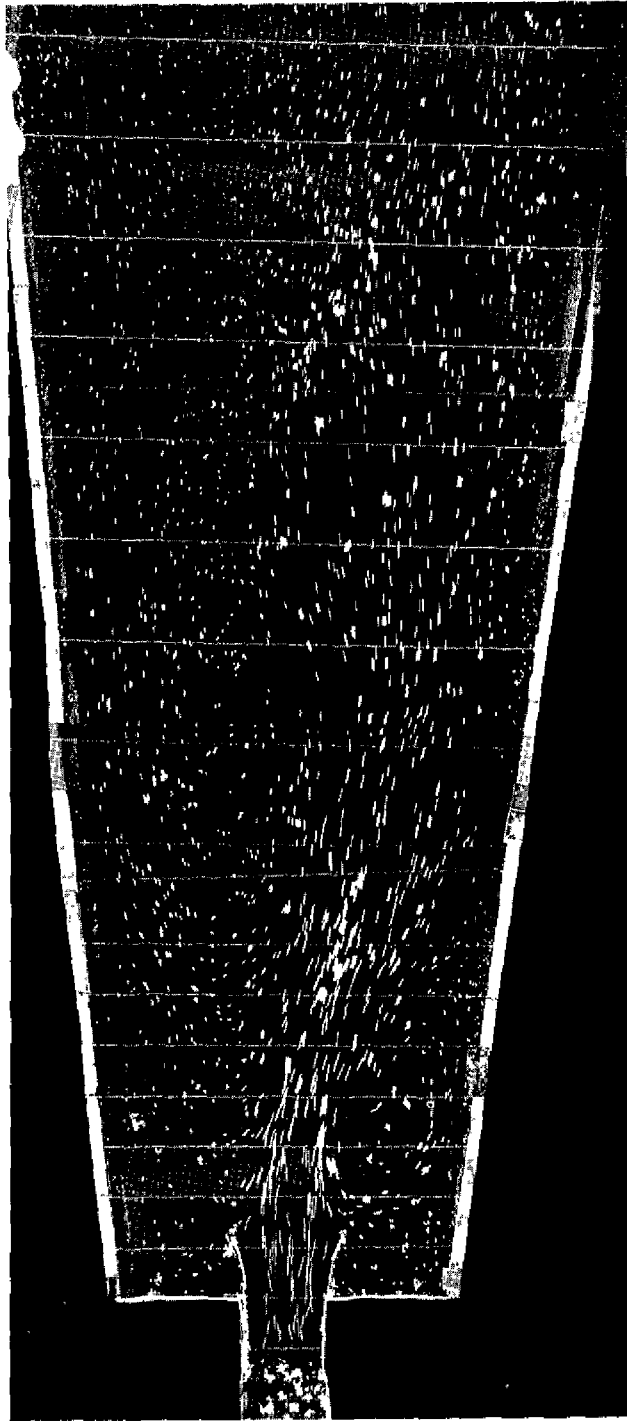
T 1-6

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

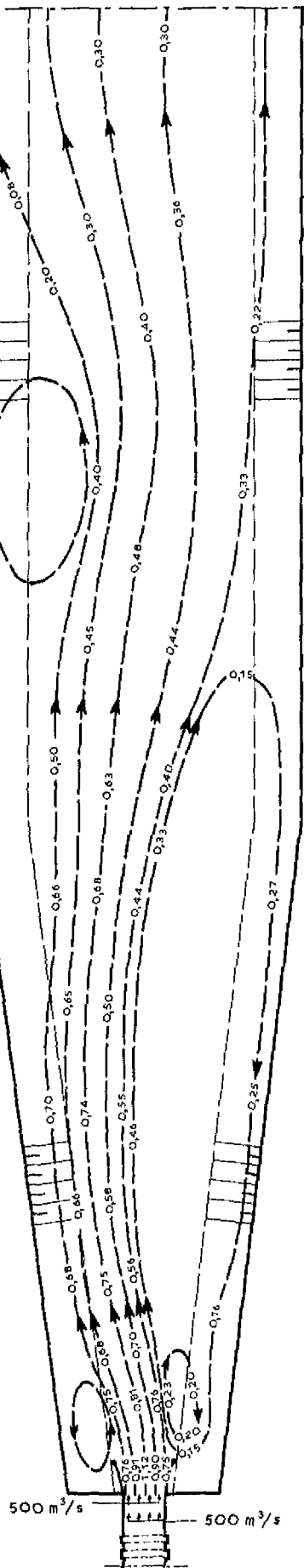
M. 1142

FIG. 9



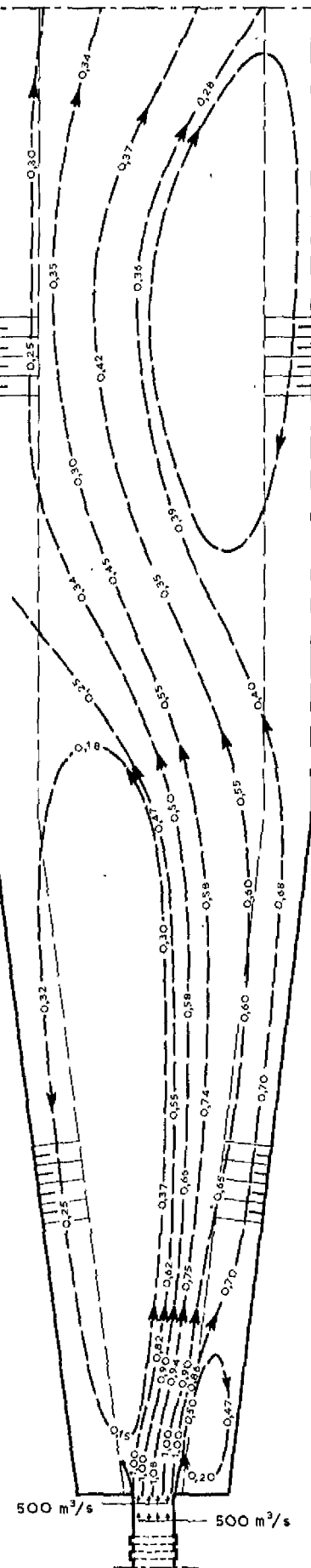
7 T1-6. Oppervlakte-stroombeeld

WATERLUN N.A.P. + 1,10 m



T1-7

WATERLUN N.A.P. + 1,10 m



T1-7A

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

T1-7, T1-7A

SCHAAL 1:10.000

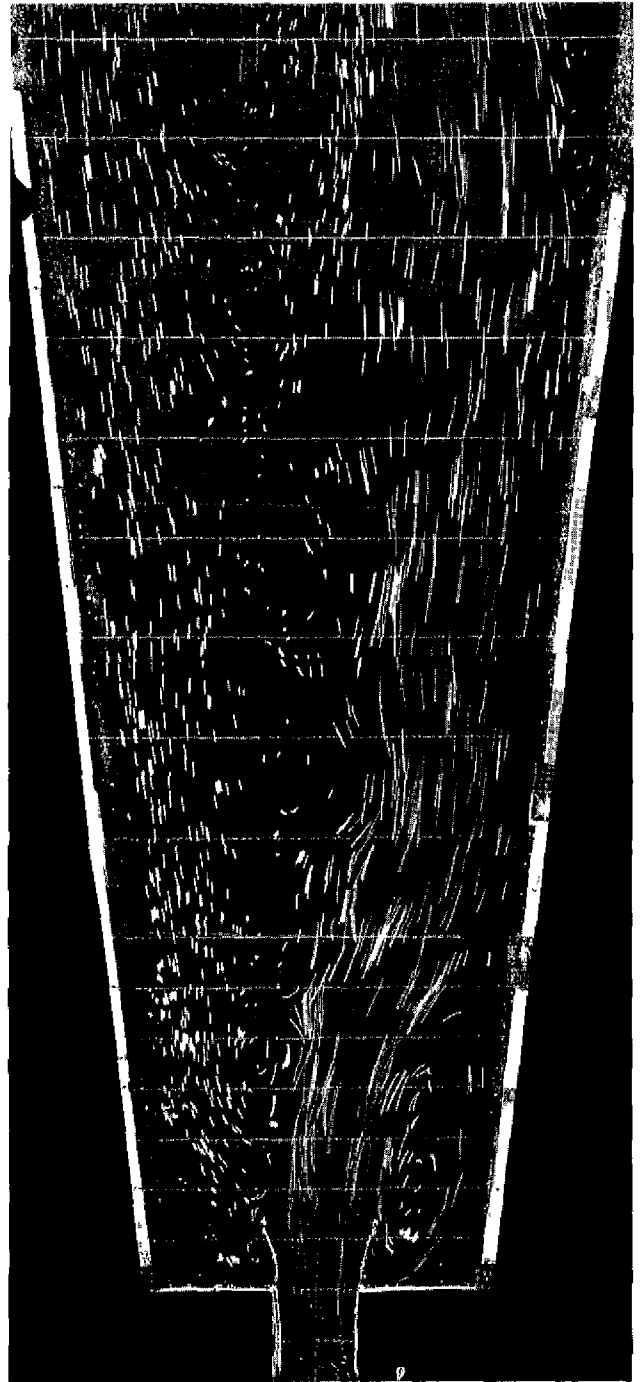
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

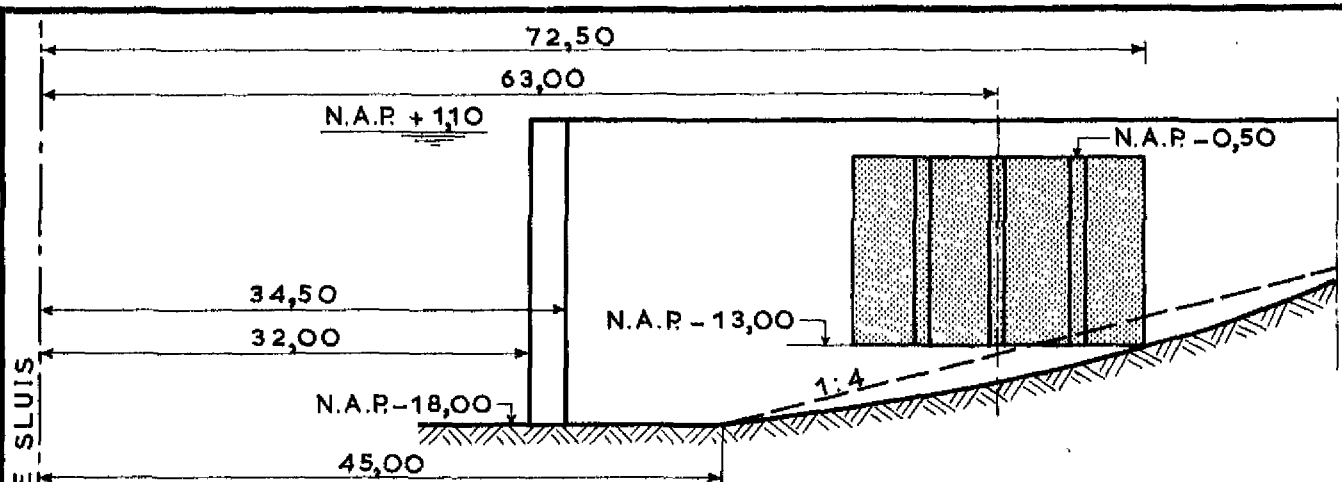
FIG. 10, 11



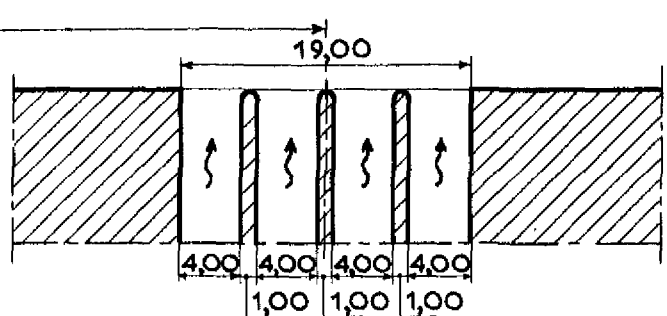
8 T1-7. Oppervlakte-stroombeeld



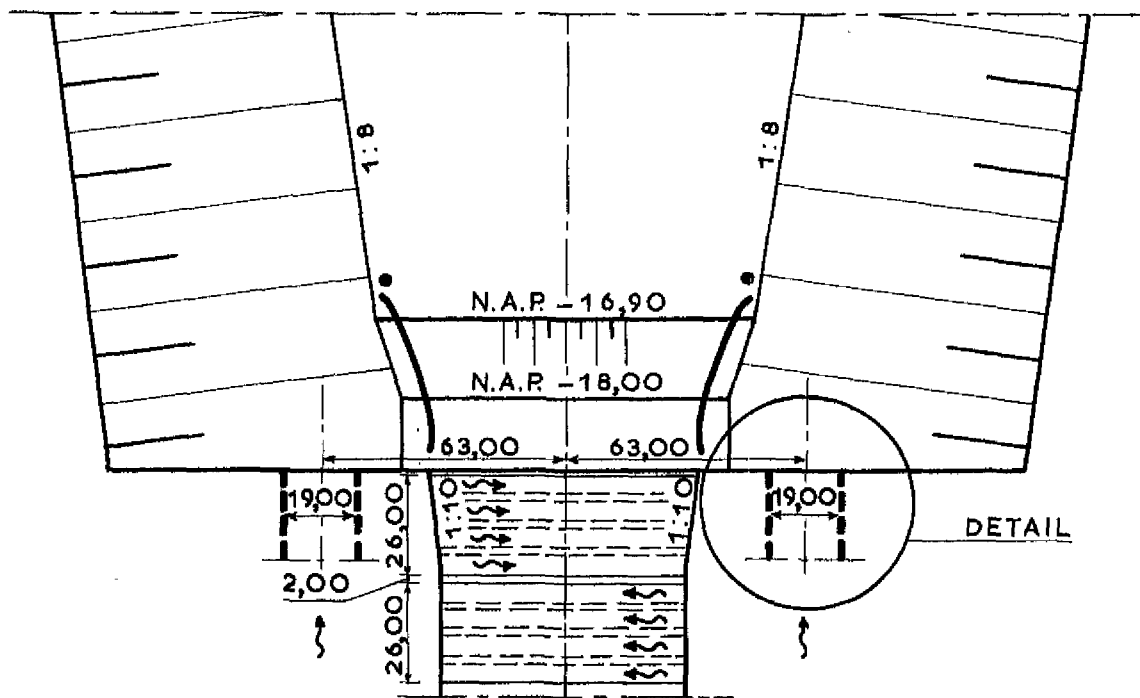
9 T1-7A. Oppervlakte-stroombeeld



AANZICHT UITSTROOMOPENINGEN



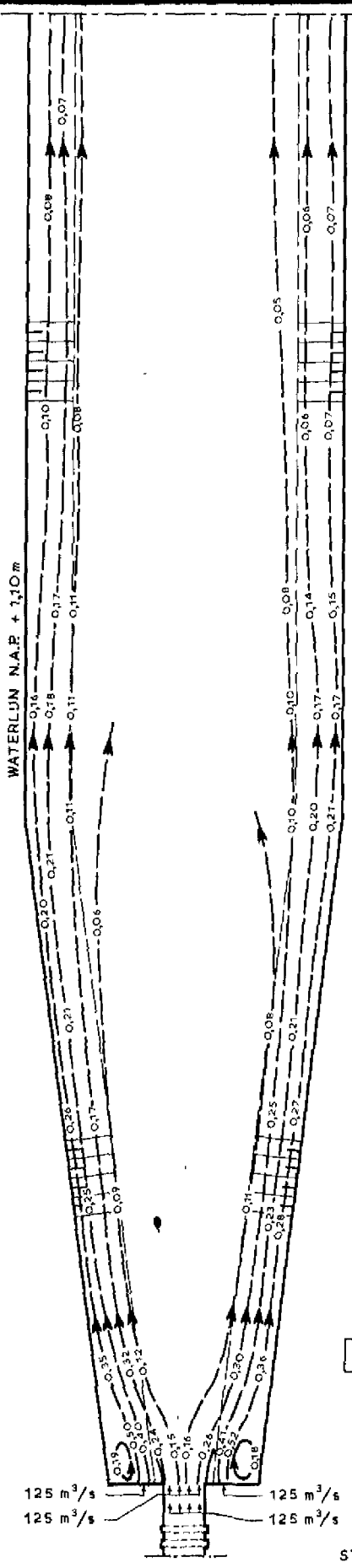
DOORSNEDE OVER UITSTROOMOPENINGEN
DETAIL SCHAAL 1:500



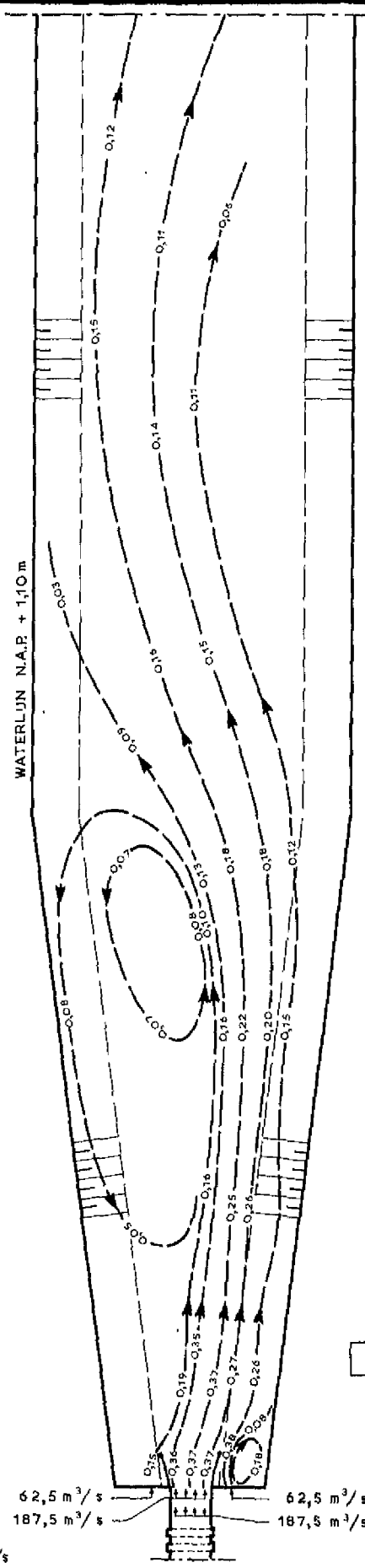
SITUATIE UITSTROOMOPENINGEN
SCHAAL 1:2000

maten in m prototype

| | | |
|---------------------------------------|---------|-----------------|
| SITUATIE EN DETAIL UITSTROOMOPENINGEN | T 2 | |
| | SCHALEN | 1:2000 1:500 |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 12 |



T2-1



T2-2

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

T2-1, T2-2

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

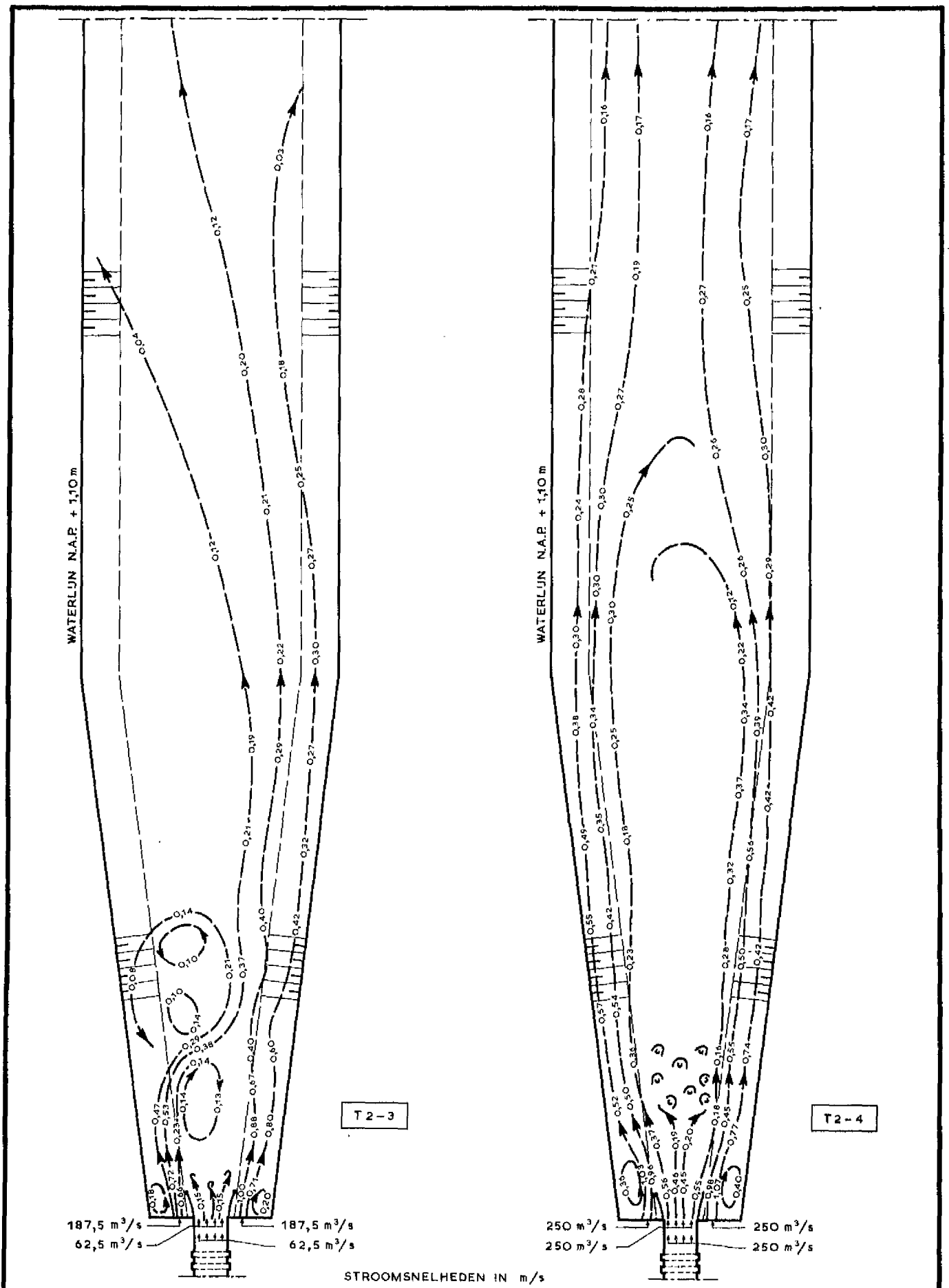
FIG. 13,14



10 T2-1. Oppervlakte-stroombeeld



11 T2-2. Oppervlakte-stroombeeld



STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

T2-3, T2-4

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

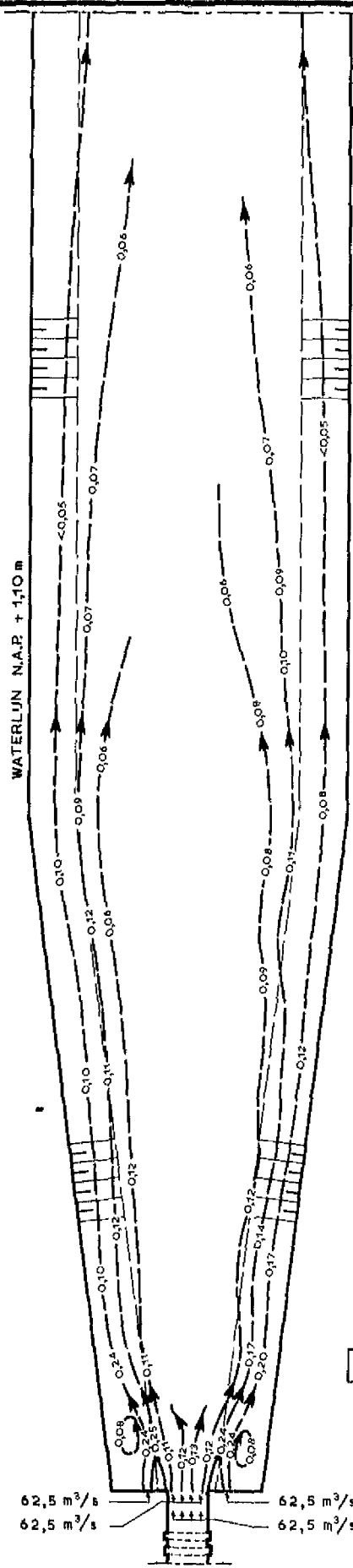
FIG. 15,16



12 T2-3. Oppervlakte-stroombeeld



13 T2-4. Oppervlakte-stroombeeld



62,5 m³/s
62,5 m³/s
62,5 m³/s
62,5 m³/s

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

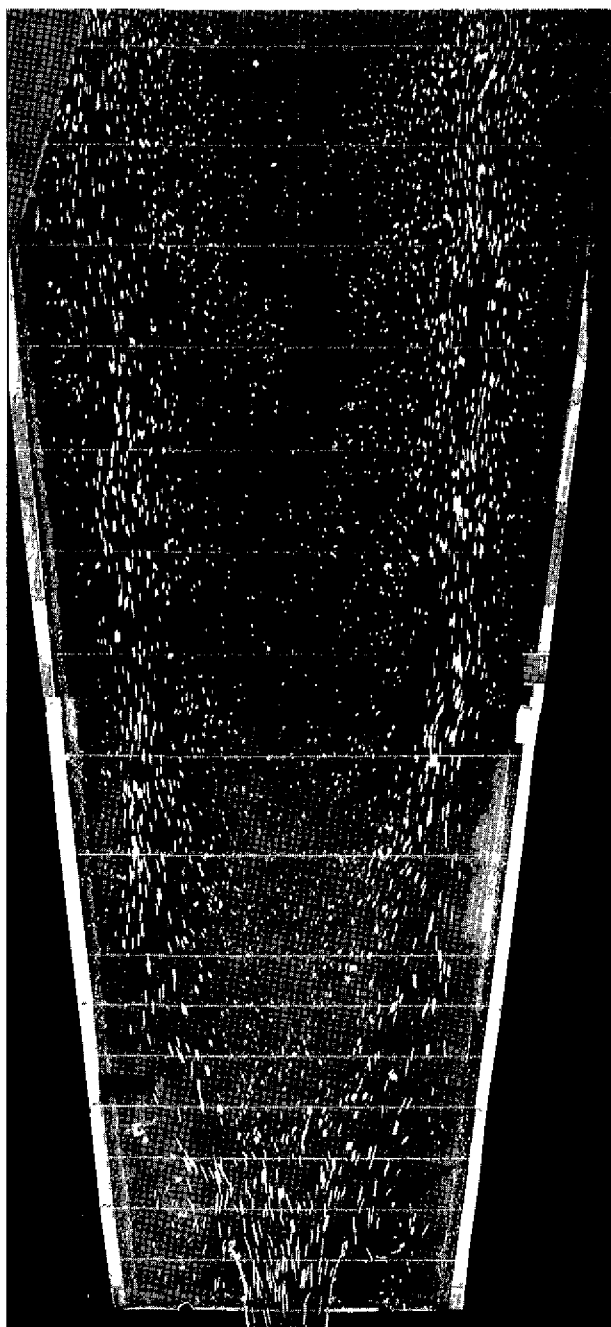
T2-5

SCHAAL 1:10.000

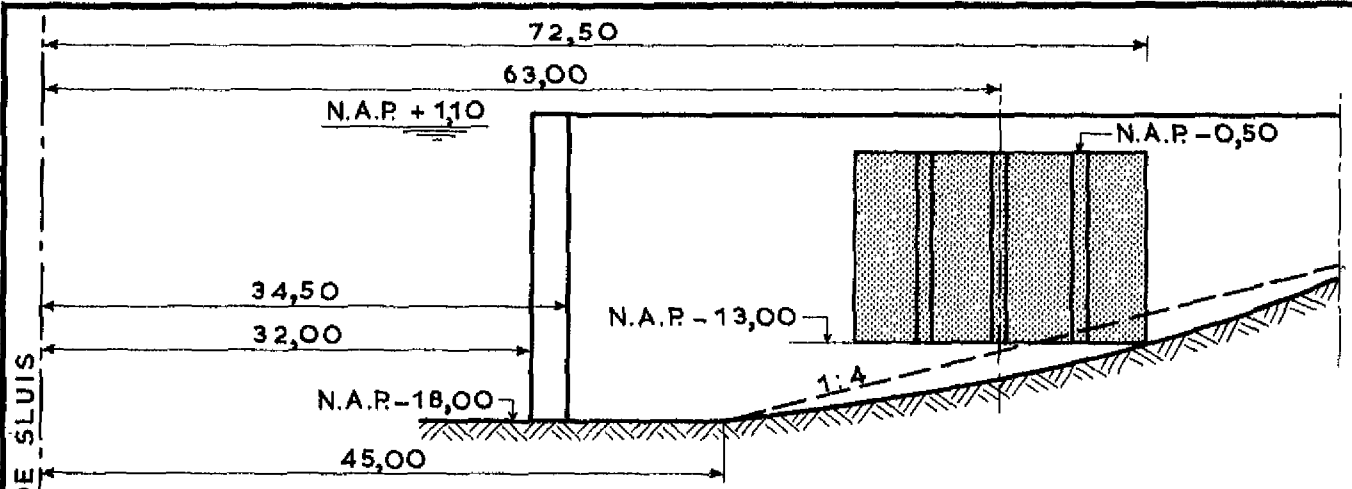
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

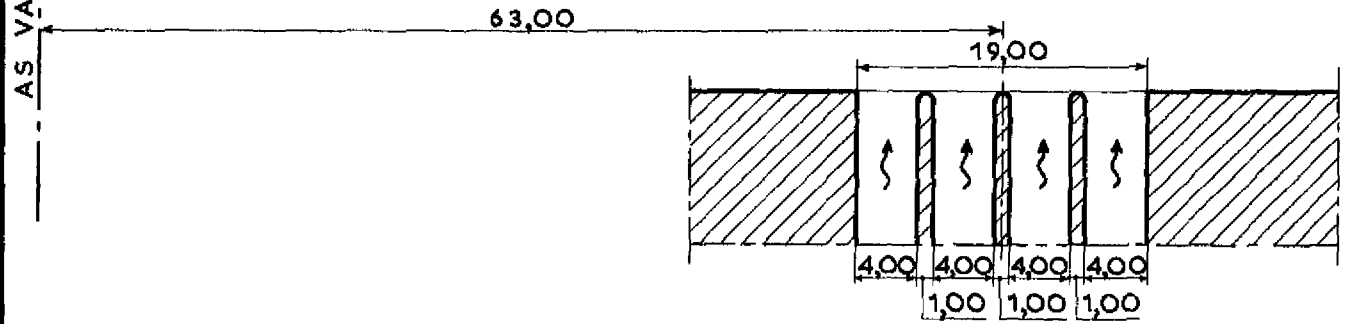
FIG. 17



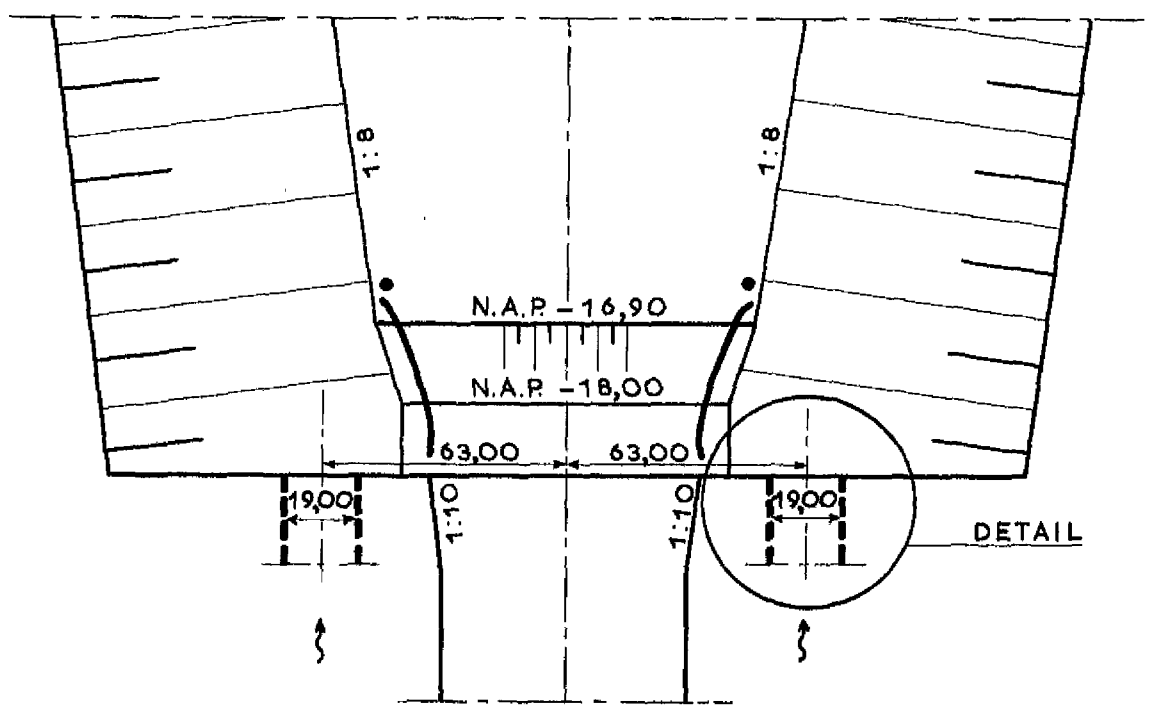
14 T2-5. Oppervlakte-stroombeeld



AANZICHT UITSTROOMOPENINGEN



**DOORSNEDE OVER UITSTROOMOPENINGEN
DETAIL SCHAAL 1:500**

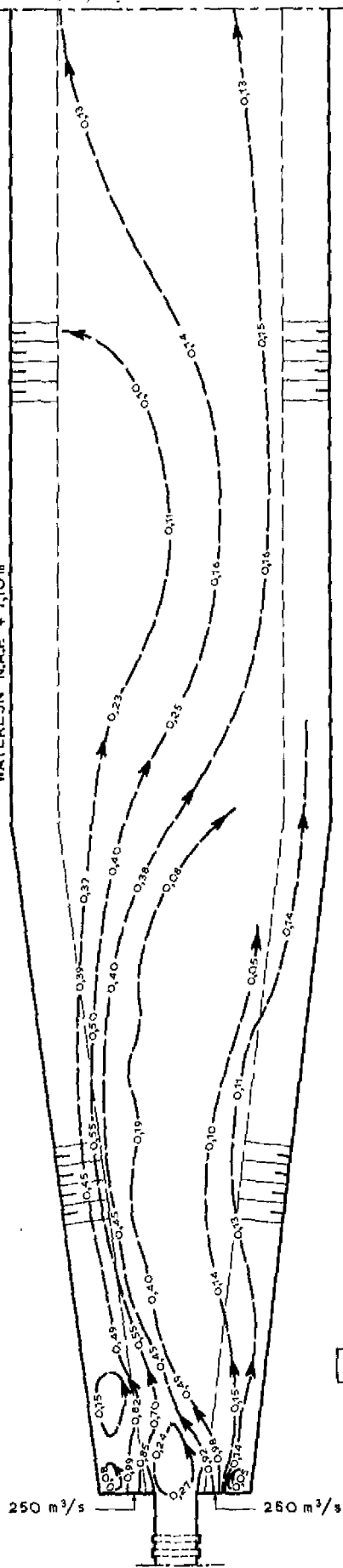


**SITUATIE UITSTROOMOPENINGEN
SCHAAL 1:2000**

maten in m prototype.

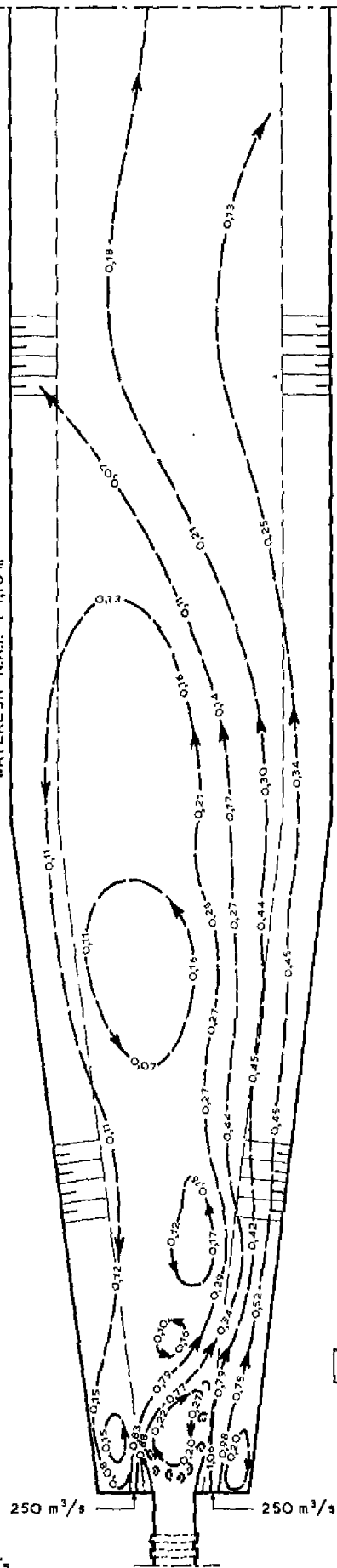
| | | |
|---------------------------------------|---------|-----------------|
| SITUATIE EN DETAIL UITSTROOMOPENINGEN | T 3 | |
| | SCHALEN | 1:2000 1:500 |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 18 |

WATERLJN N.A.P. + 1,10 m



T3-1

WATERLJN N.A.P. + 1,10 m



T3-1A

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

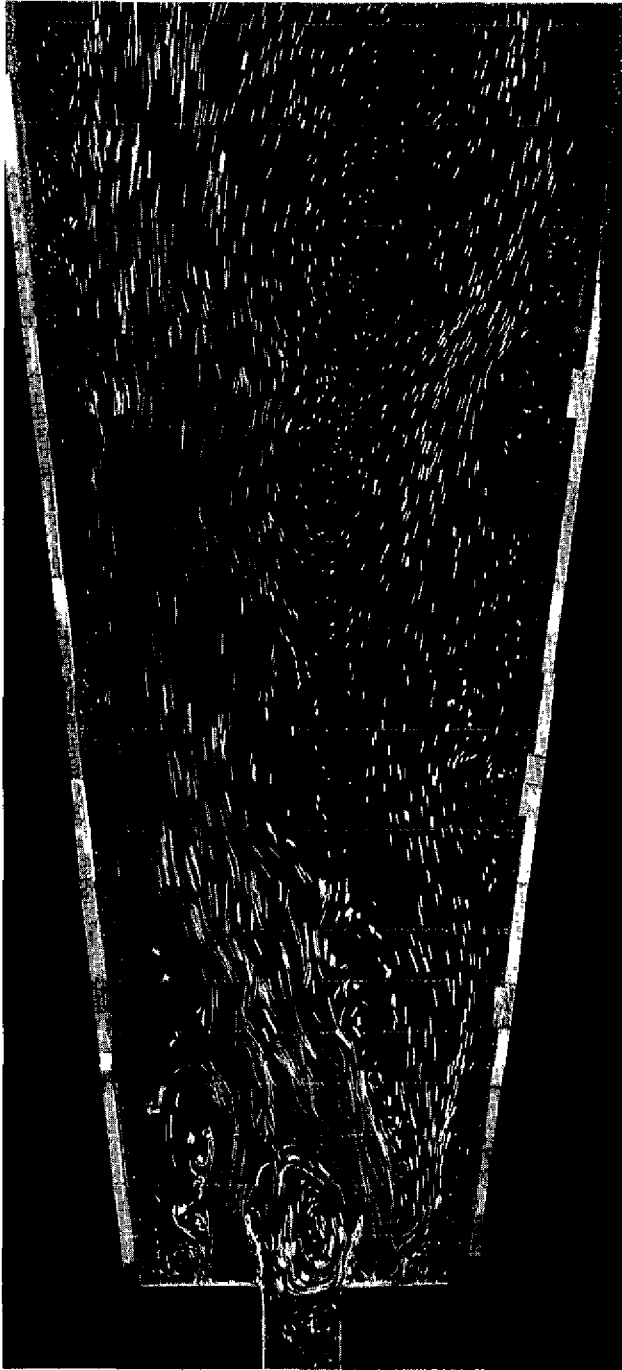
T3-1, T3-1A

SCHAAL 1:10,000

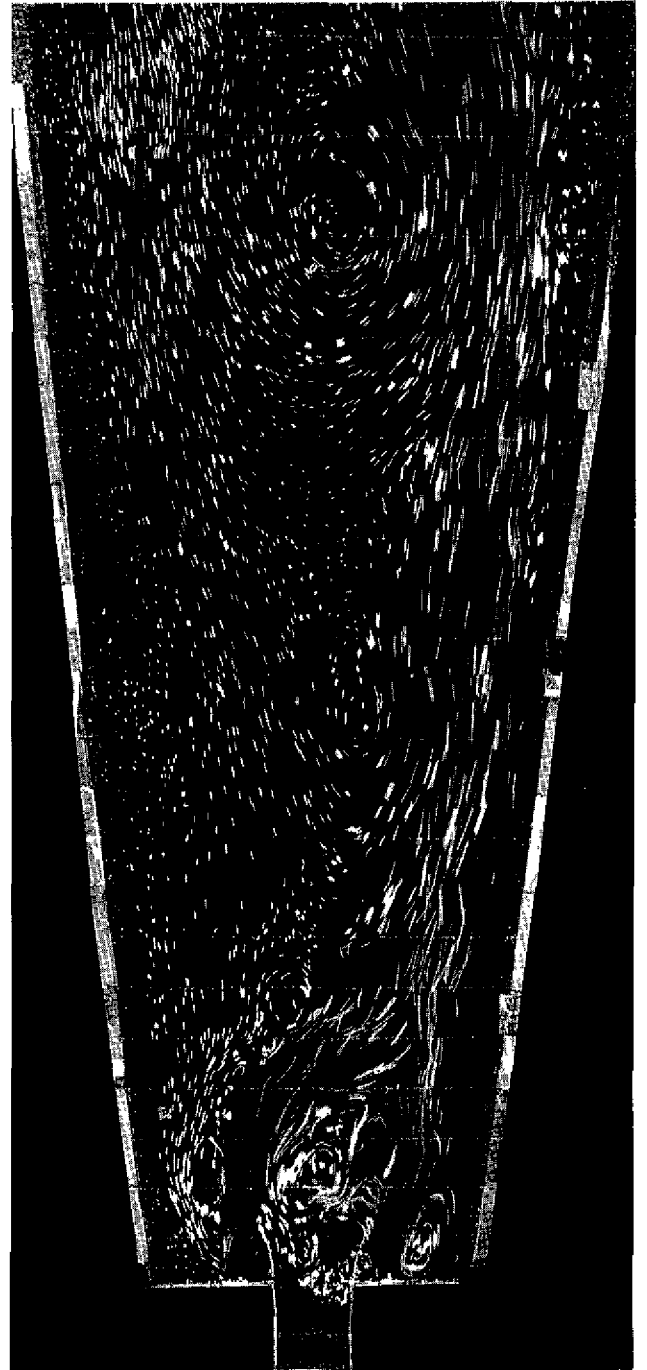
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

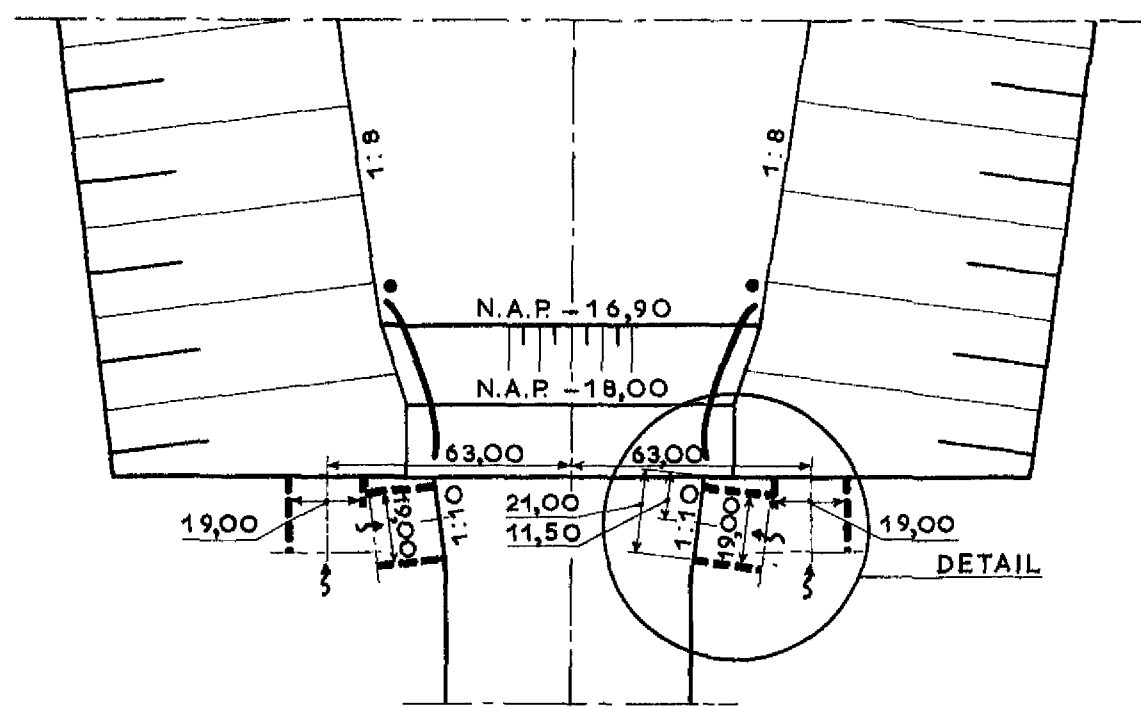
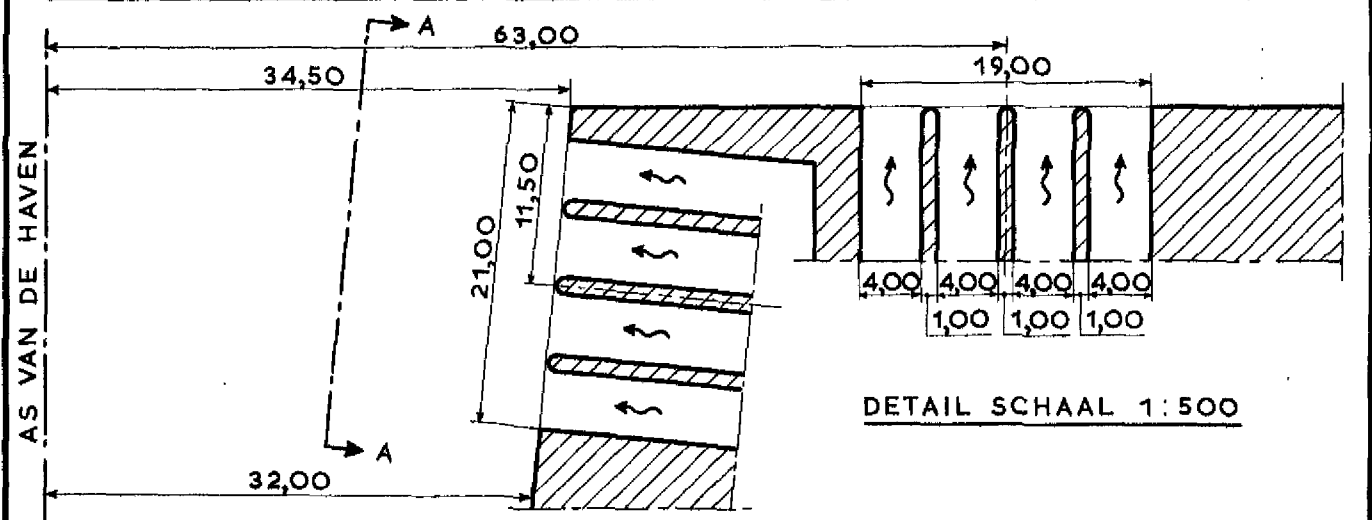
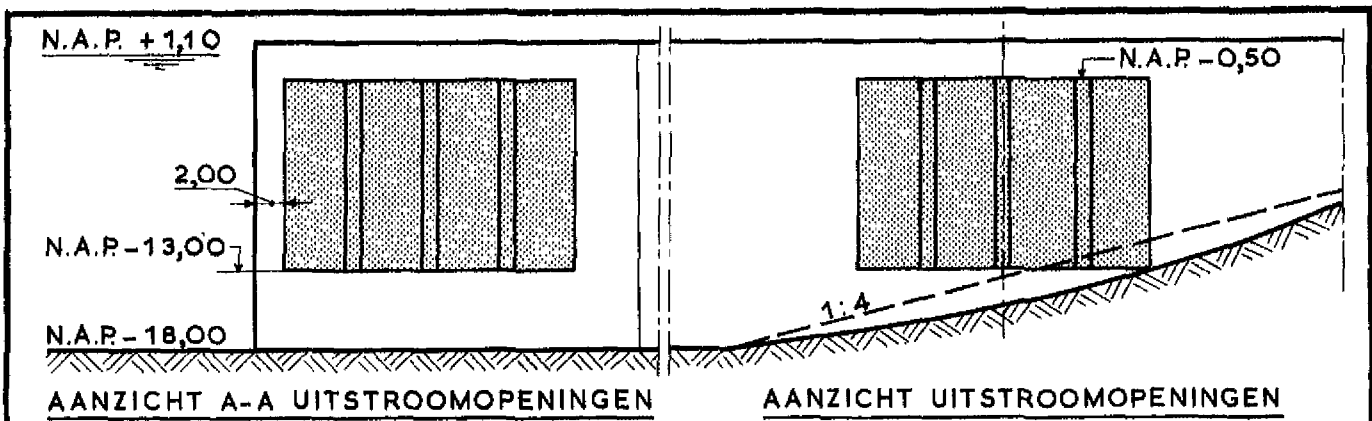
FIG. 19,20



15 T3-1. Oppervlakte-stroombeeld



16 T3-1A. Oppervlakte-stroombeeld

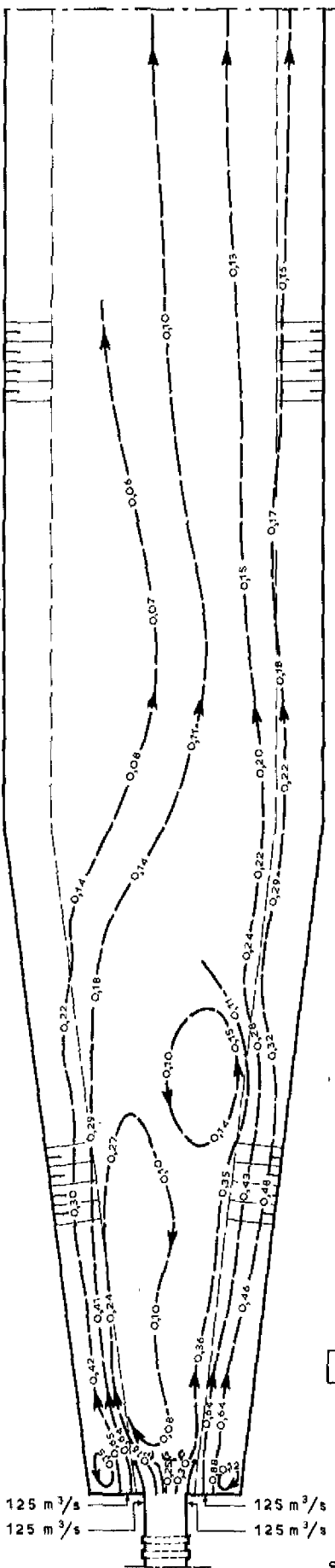


SITUATIE UITSTROOMOPENINGEN
SCHAAL 1:2000

maten in m prototype

| | | |
|---------------------------------------|---------|-----------------|
| SITUATIE EN DETAIL UITSTROOMOPENINGEN | T 4 | |
| | SCHALEN | 1:2000 1:500 |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 21 |

WATERLUN N.A.P. + 1,10 m

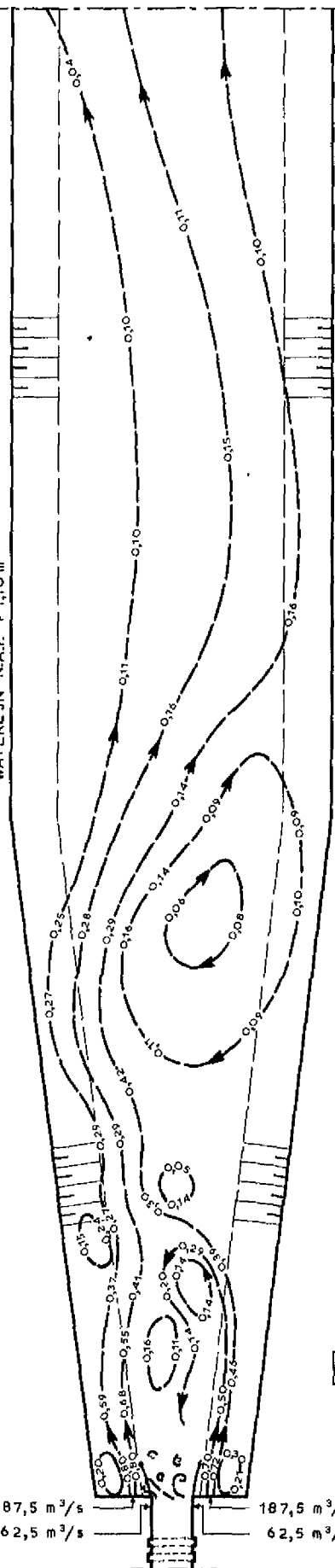


T4-1

125 m³/s
125 m³/s

STROOMSNELHEDEN IN m/s

WATERLUN N.A.P. + 1,10 m



T4-2

187,5 m³/s
62,5 m³/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

T4-1, T4-2

SCHAAL 1:10.000

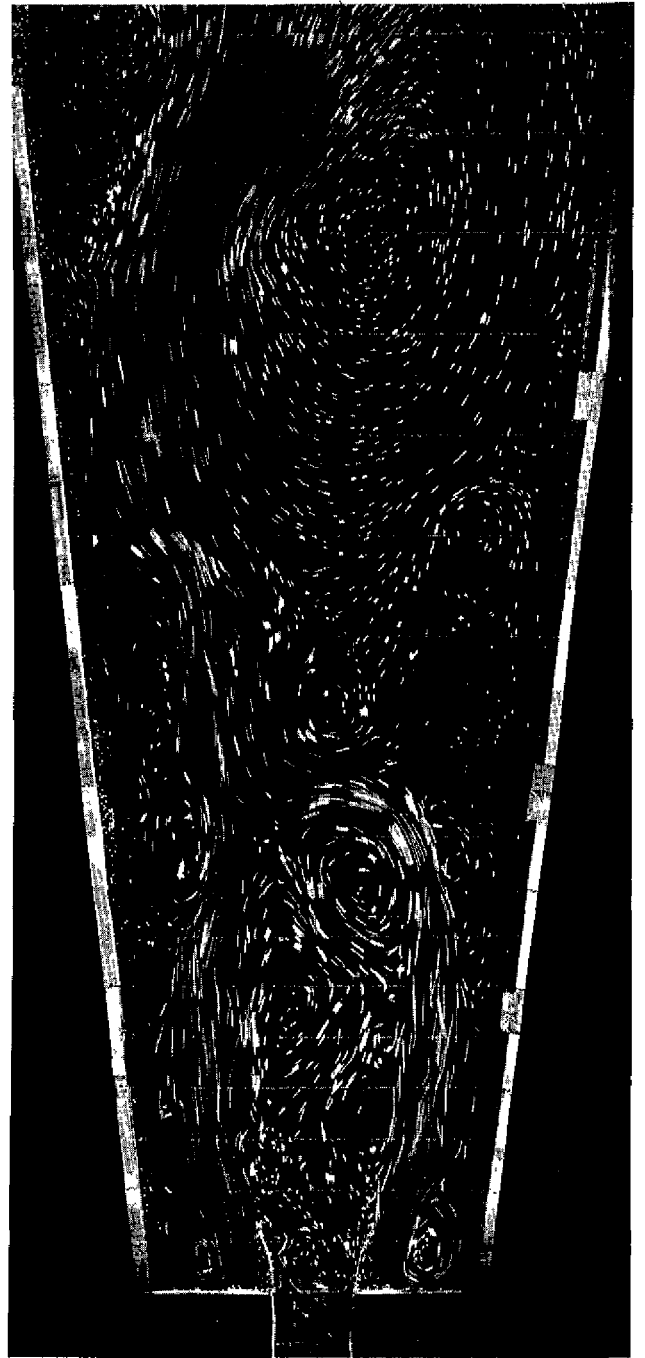
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

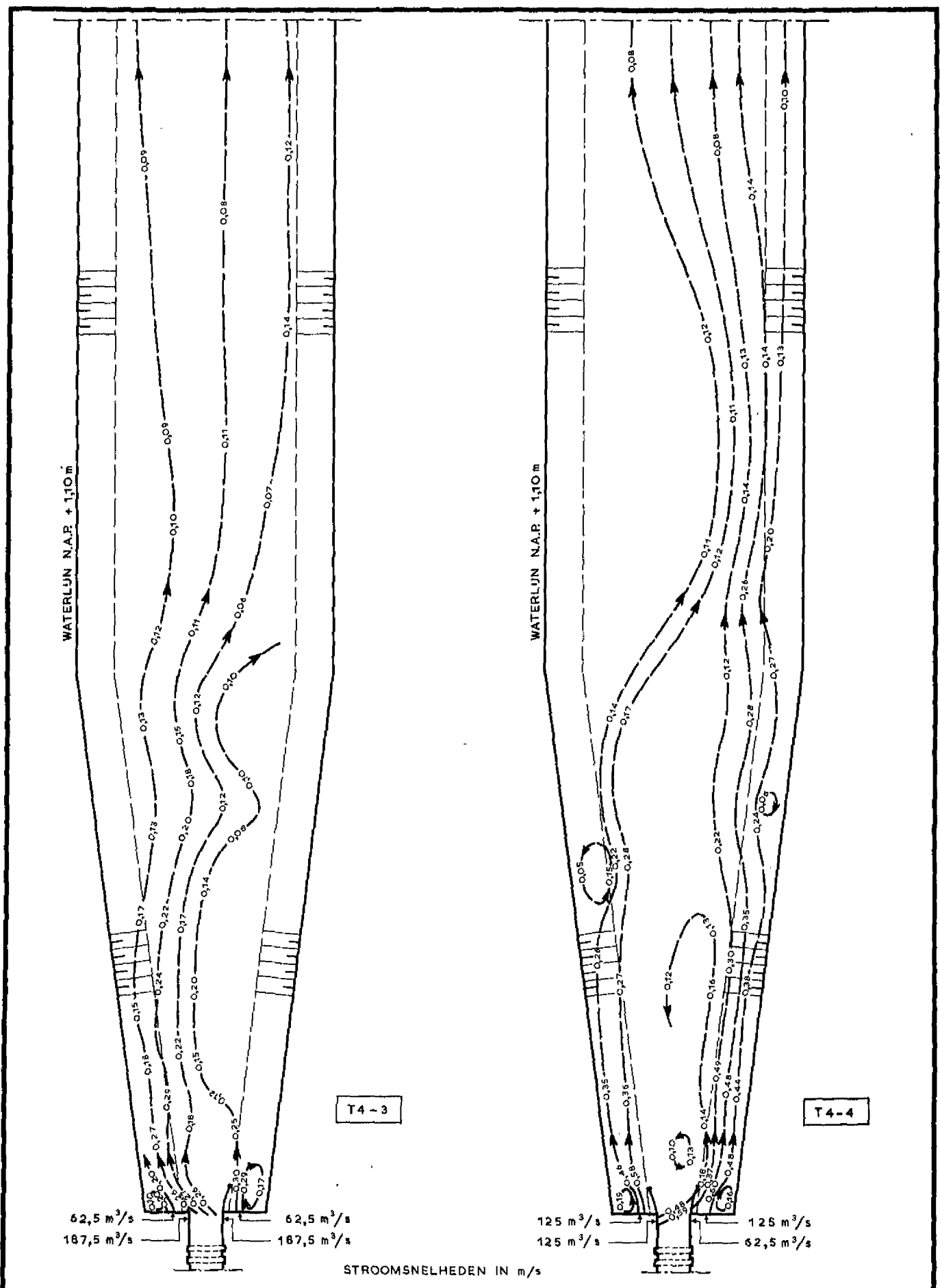
FIG. 22,23



17 T4-1. Oppervlakte-stroombeeld



18 T4-2. Oppervlakte-stroombeeld



STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

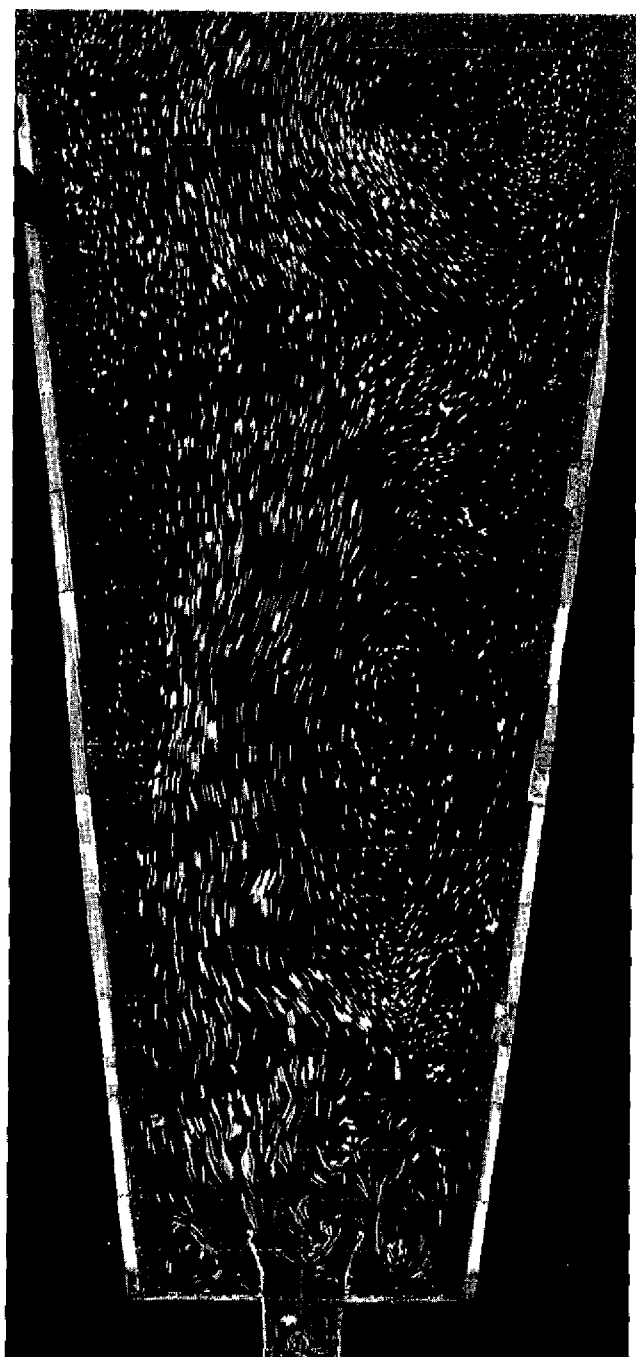
T4-3, T4-4

SCHAAL 1:10.000

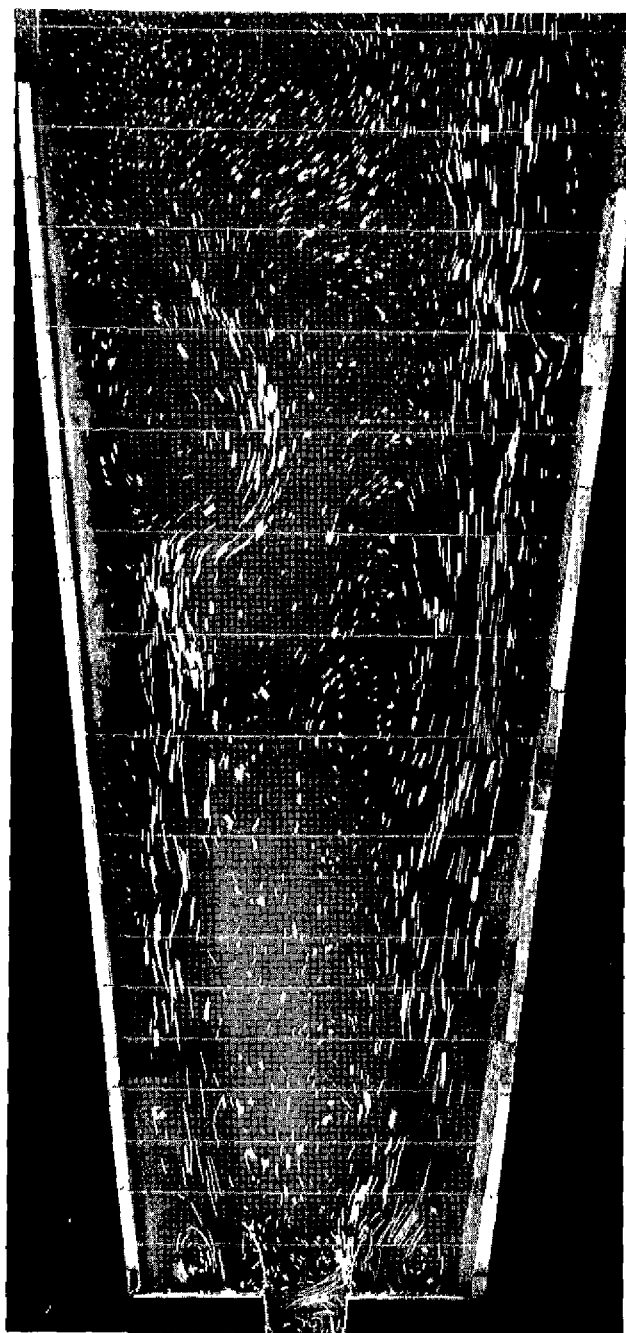
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

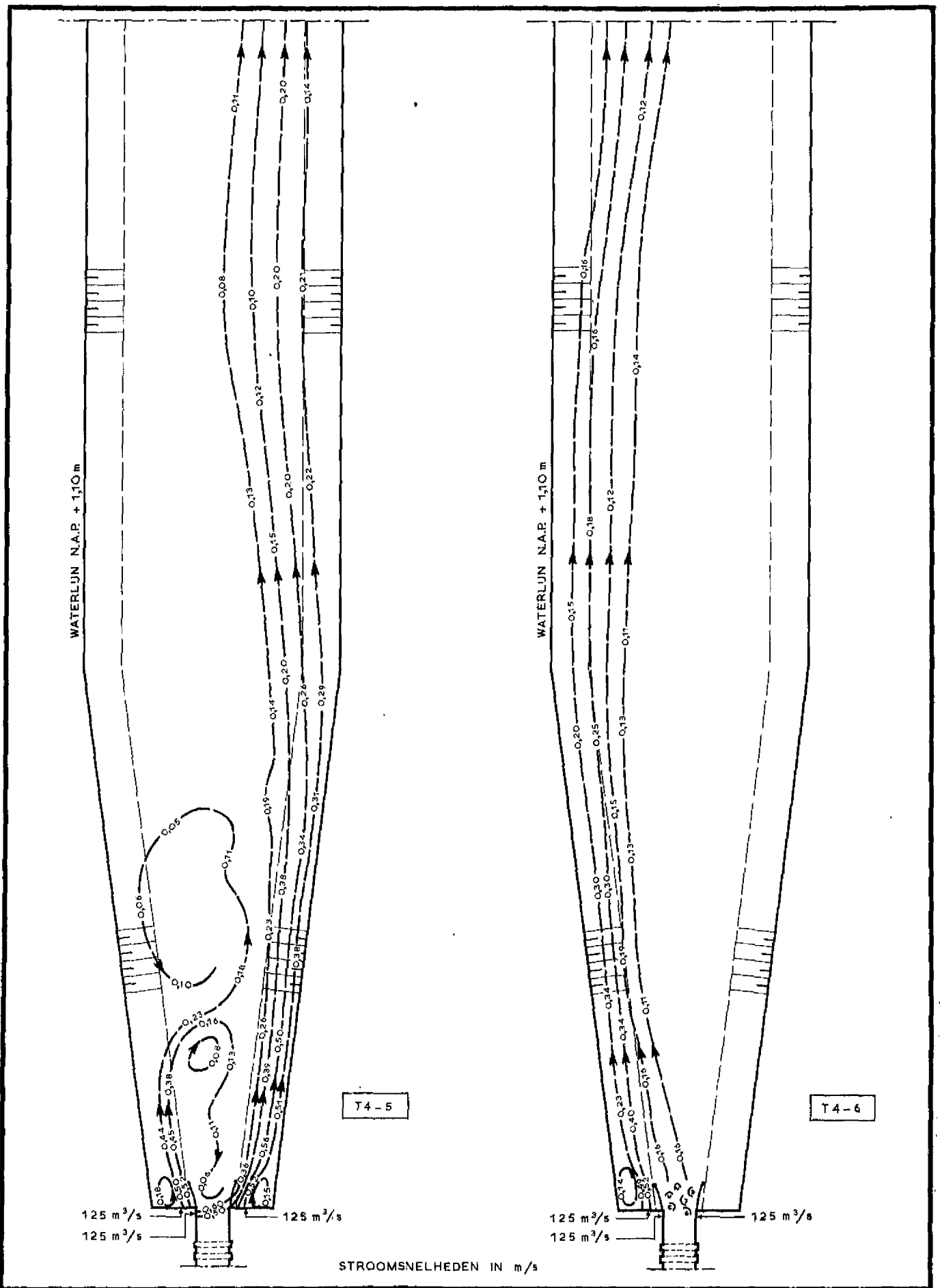
FIG. 24,25



19 T4-3. Oppervlakte-stroombeeld



20 T4-4. Oppervlakte-stroombeeld



STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

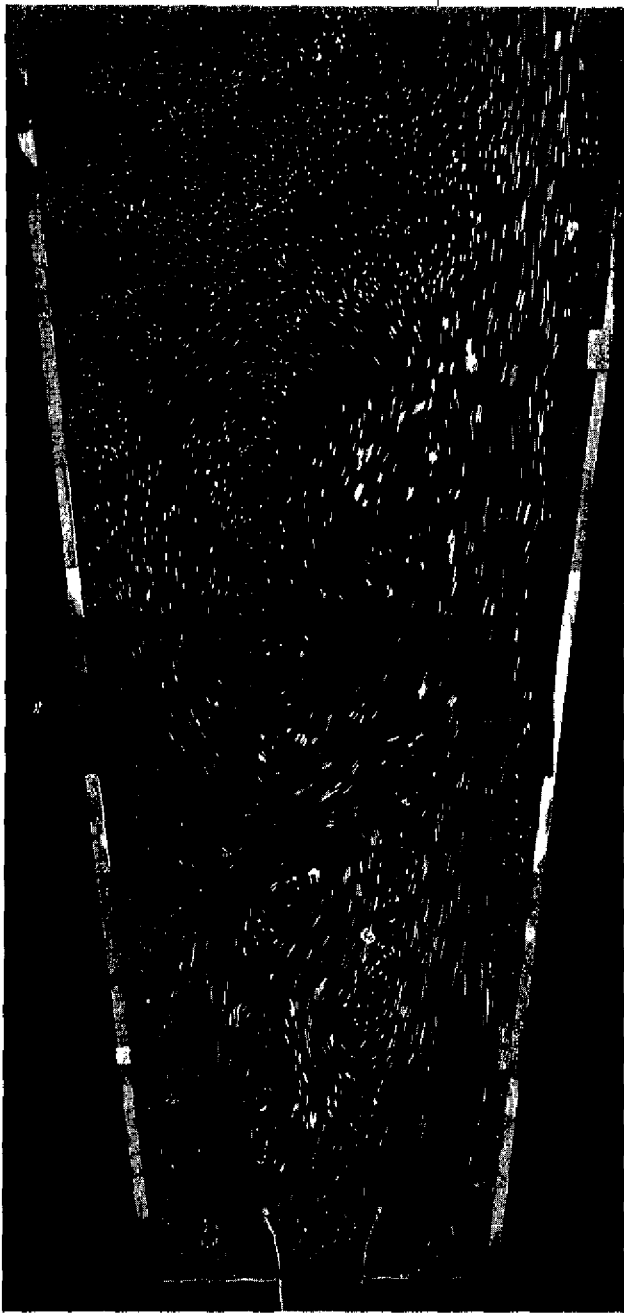
T4-5, T4-6

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

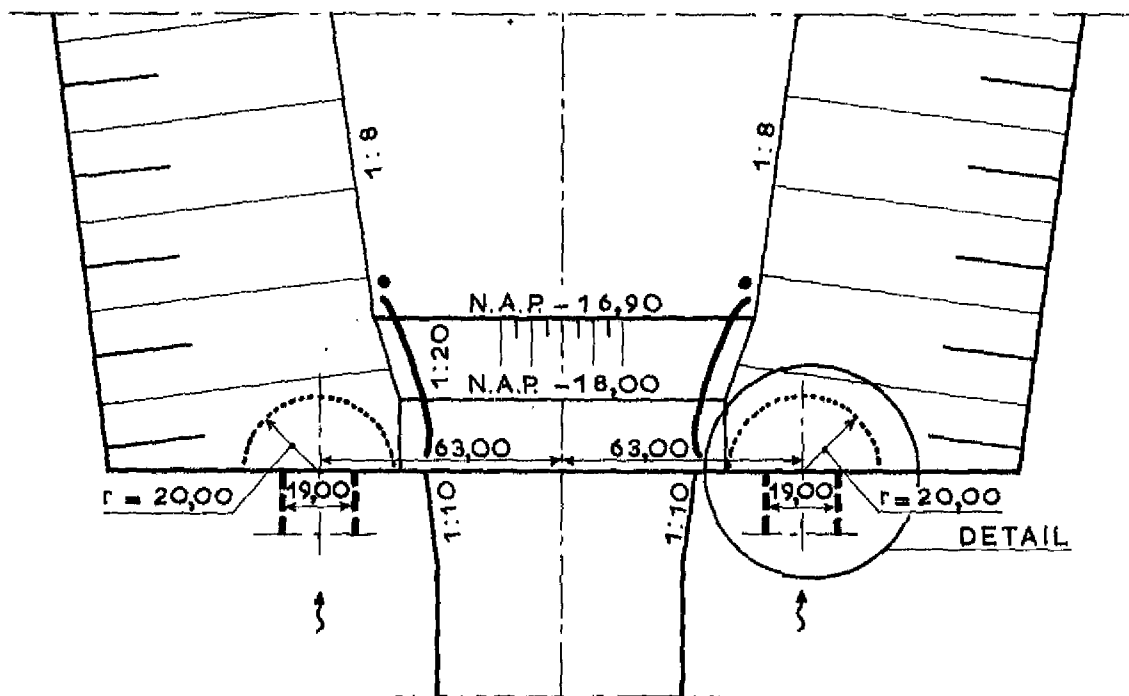
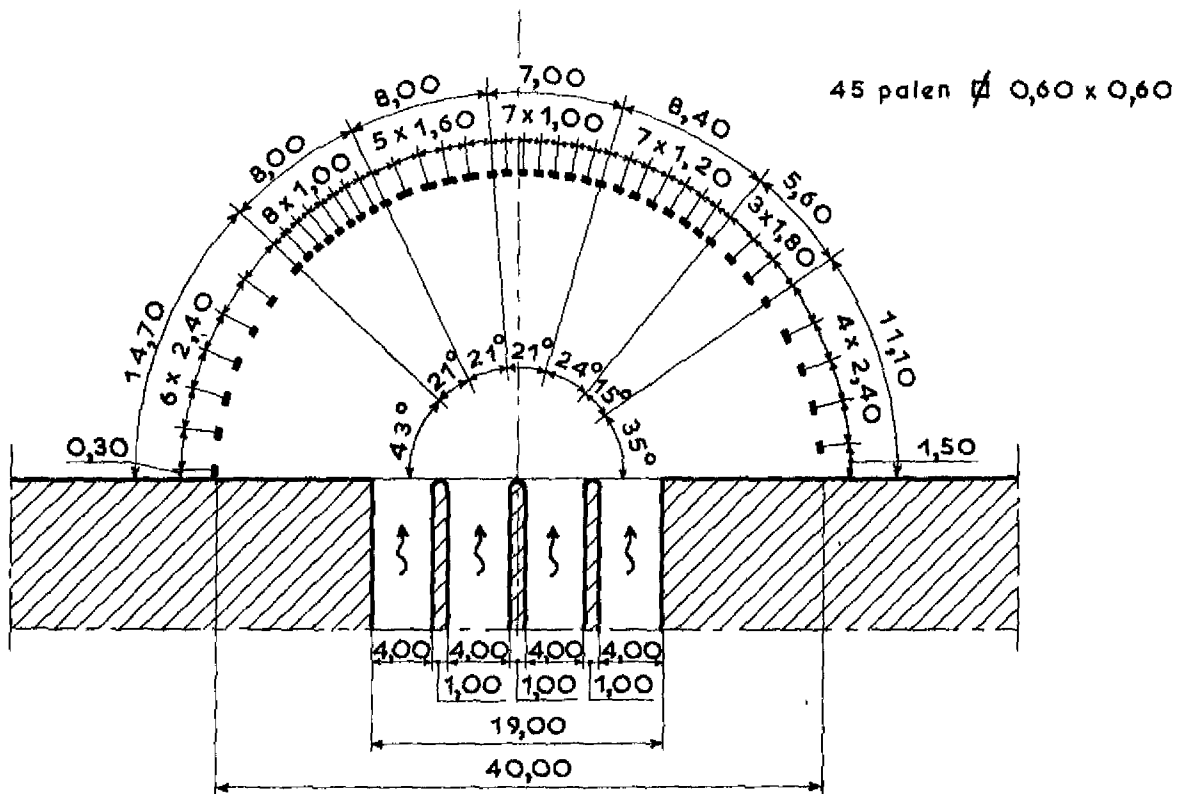
FIG. 26,27



21 T4-5. Oppervlakte-stroombeeld



22 T4-6. Oppervlakte-stroombeeld



maten in m prototype

SITUATIE EN DETAIL UITSTROOMOPENINGEN

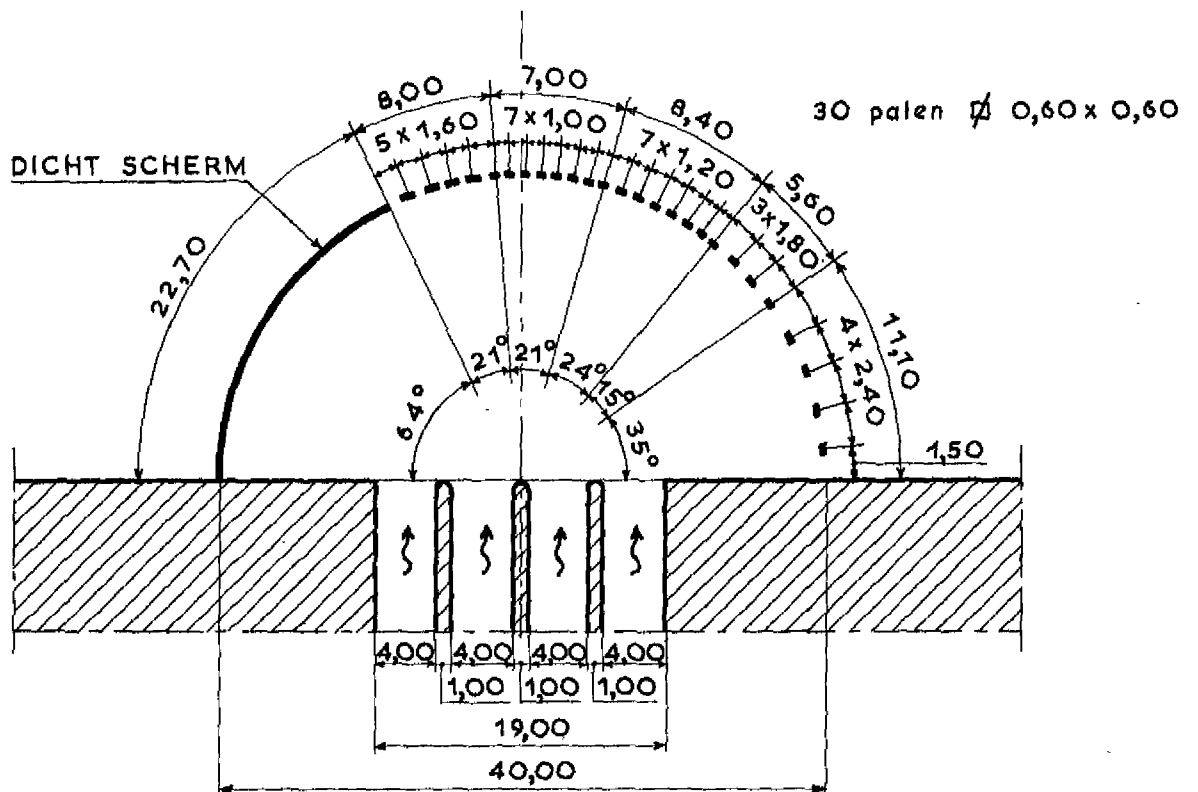
T5-1

SCHALEN 1:2000
1:500

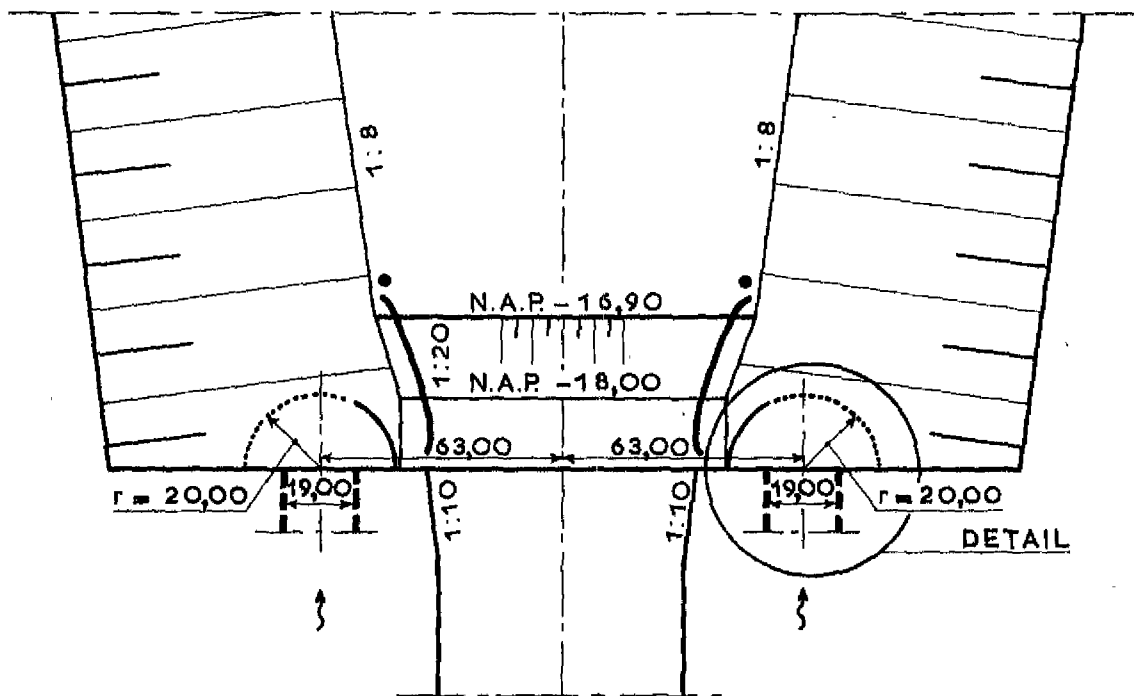
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 28



DETAIL SCHAAL 1:500



SITUATIE UITSTROOMOPENINGEN
SCHAAL 1:2000

maten in m prototype

SITUATIE EN DETAIL UITSTROOMOPENINGEN

T 5-2, T 5-3

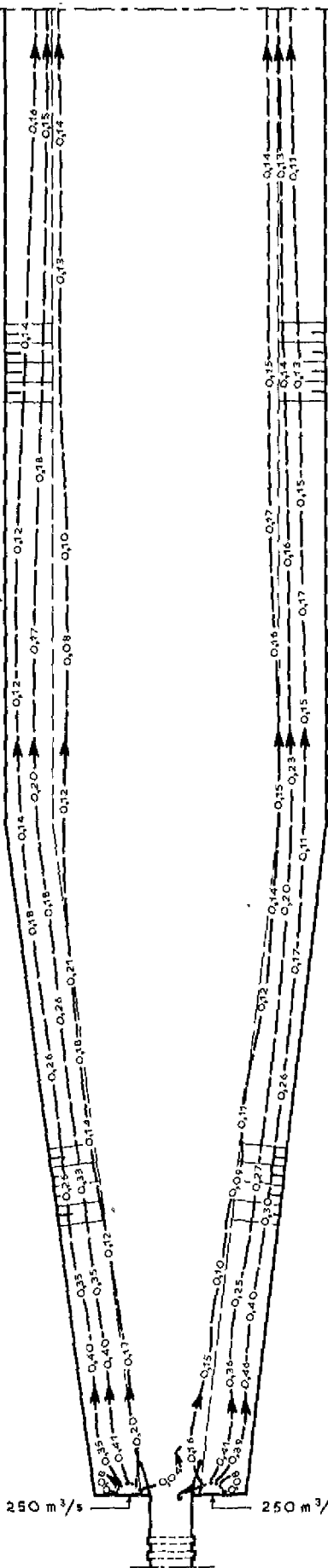
SCHALEN 1:2000
1:500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

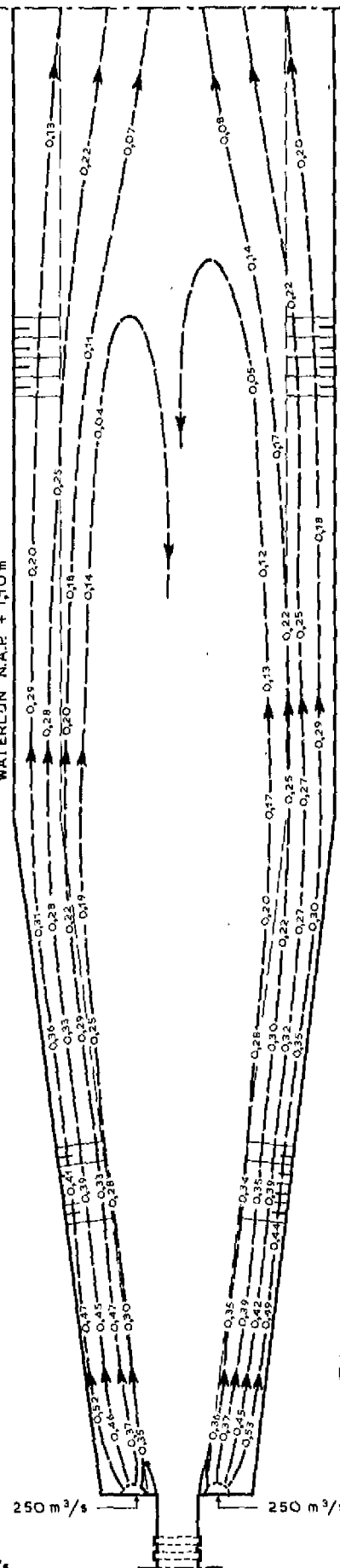
FIG. 29

WATERLÛJN N.A.P. + 1,10 m



T5-1

WATERLÛJN N.A.P. + 1,10 m



T5-2

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

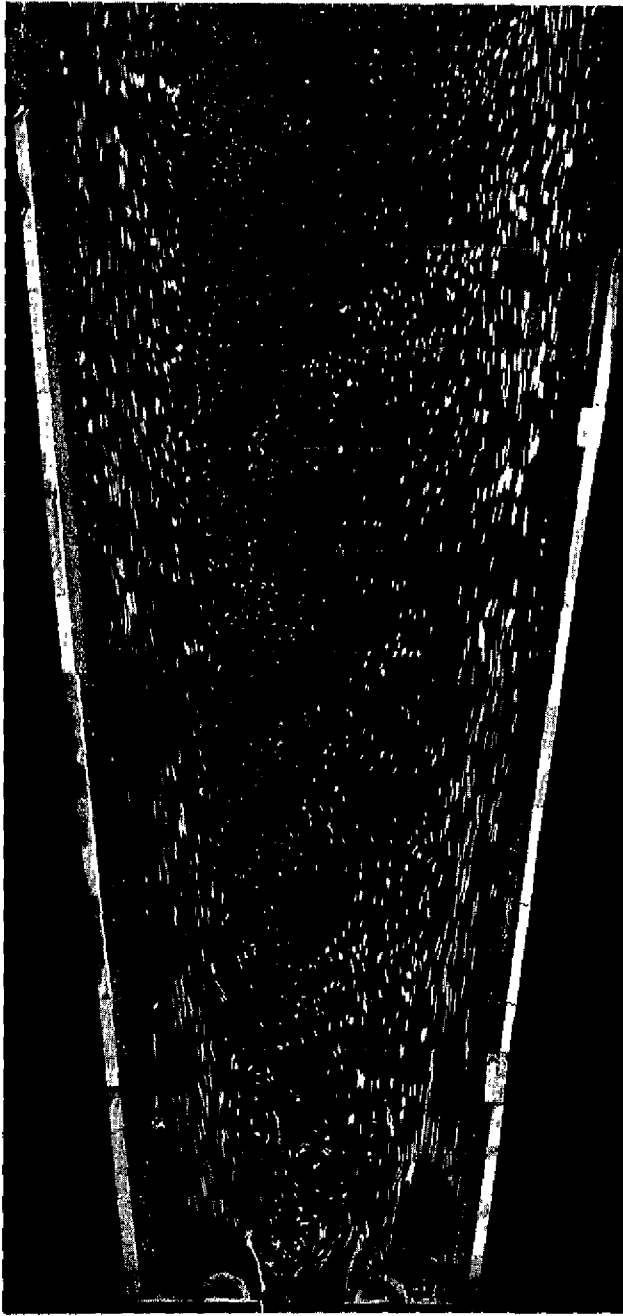
T5-1, T5-2

SCHAAL 1:10.000

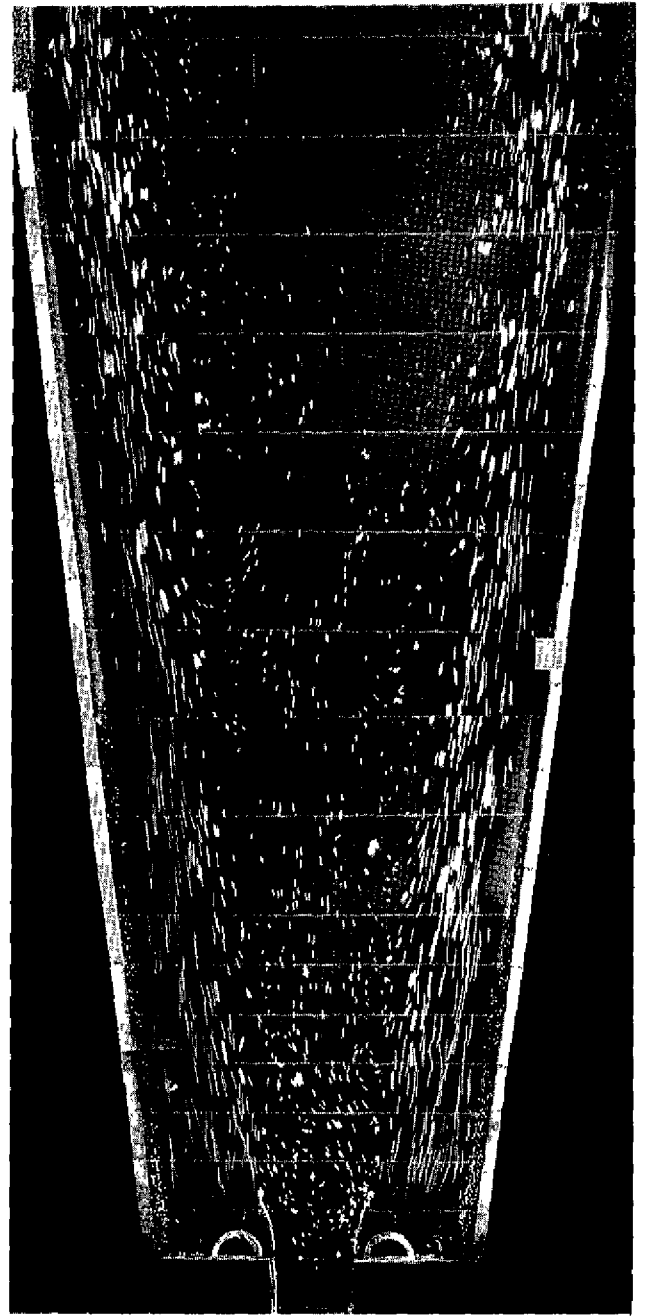
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

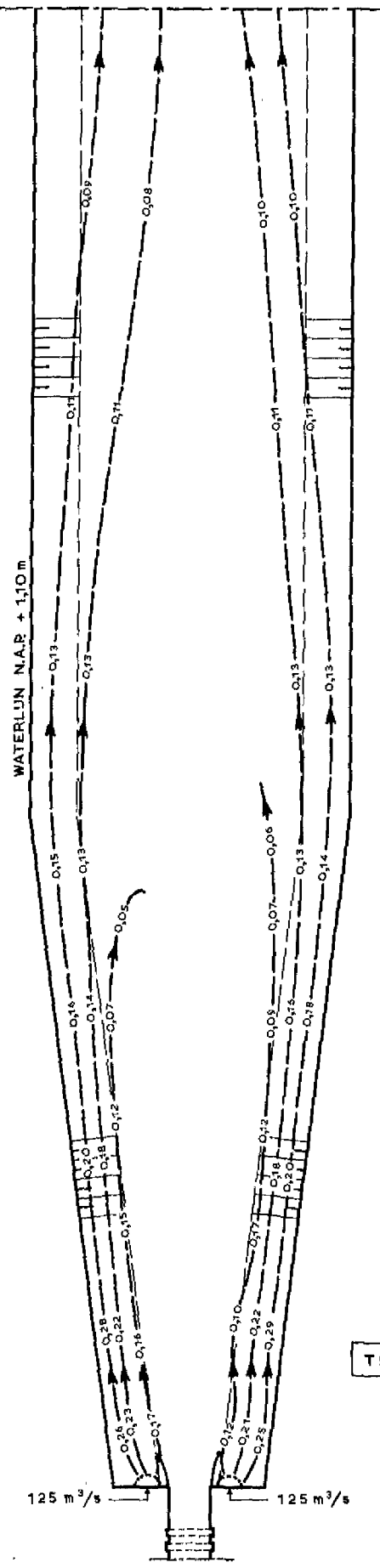
FIG. 30,31



23 T5-1. Oppervlakte-stroombeeld



24 T5-2. Oppervlakte-stroombeeld



125 m³/s

125 m³/s

T5-3

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

T5-3

SCHAAL 1:10.000

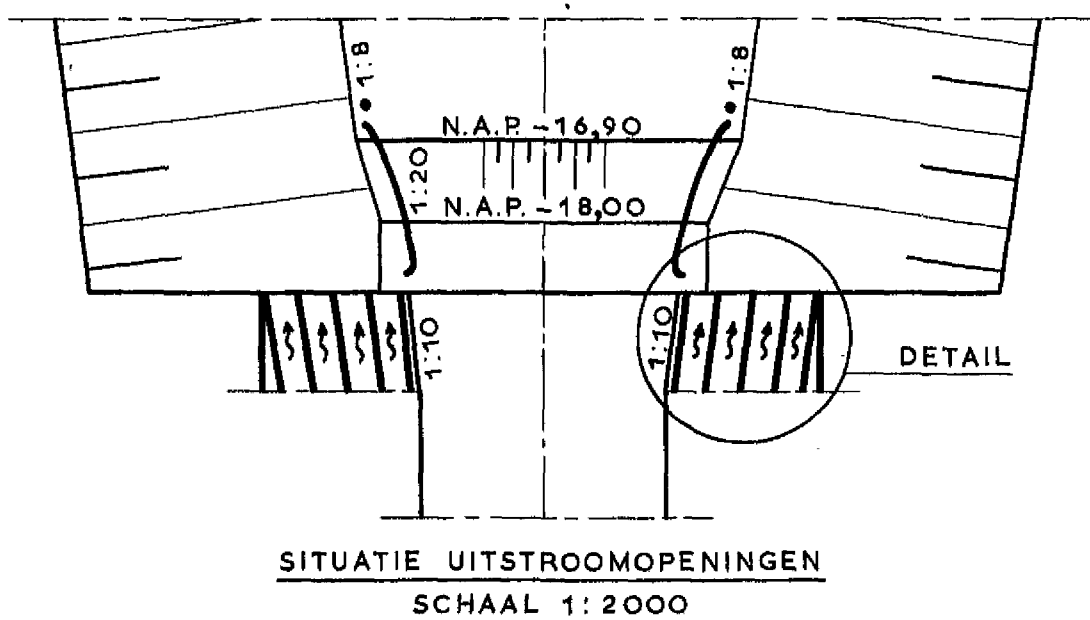
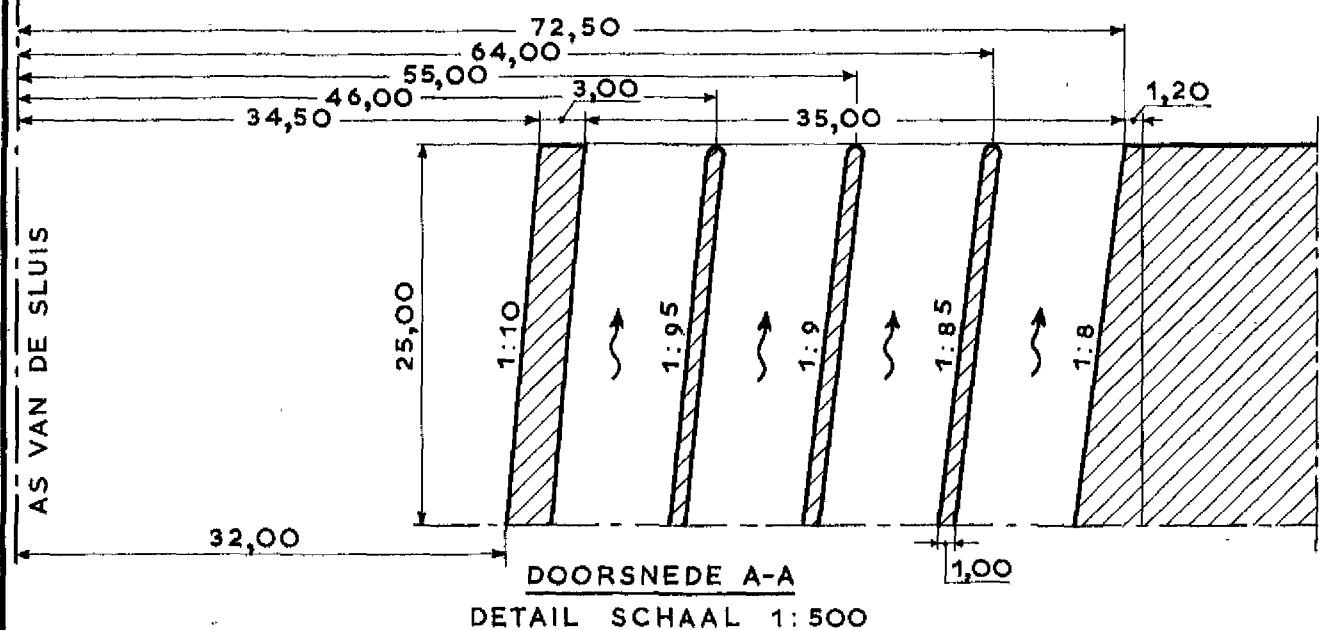
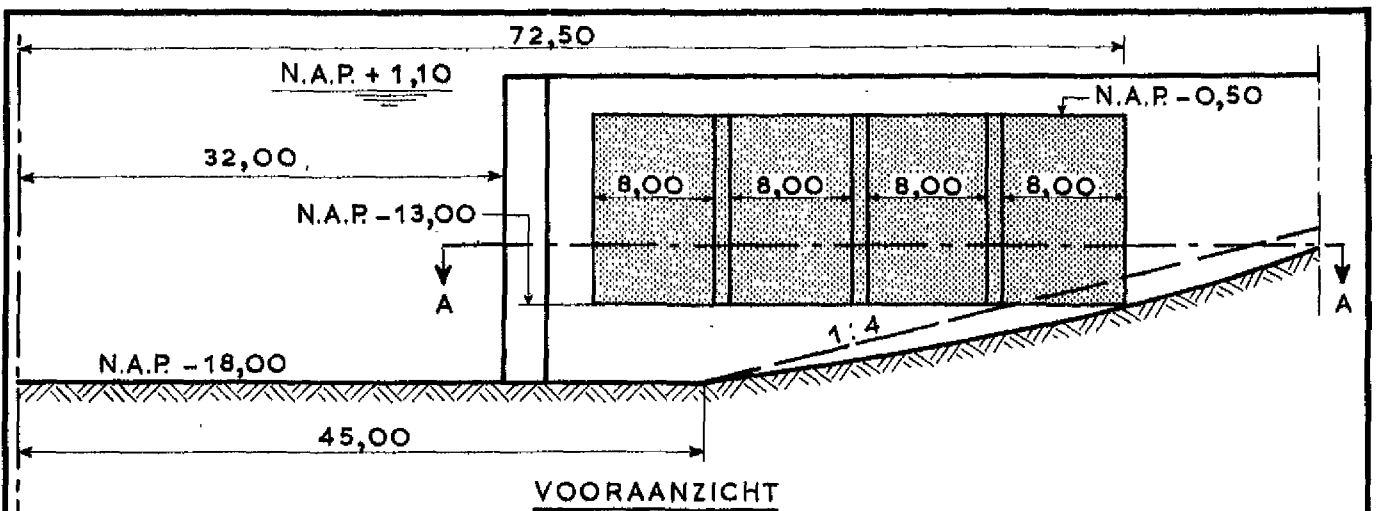
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 32

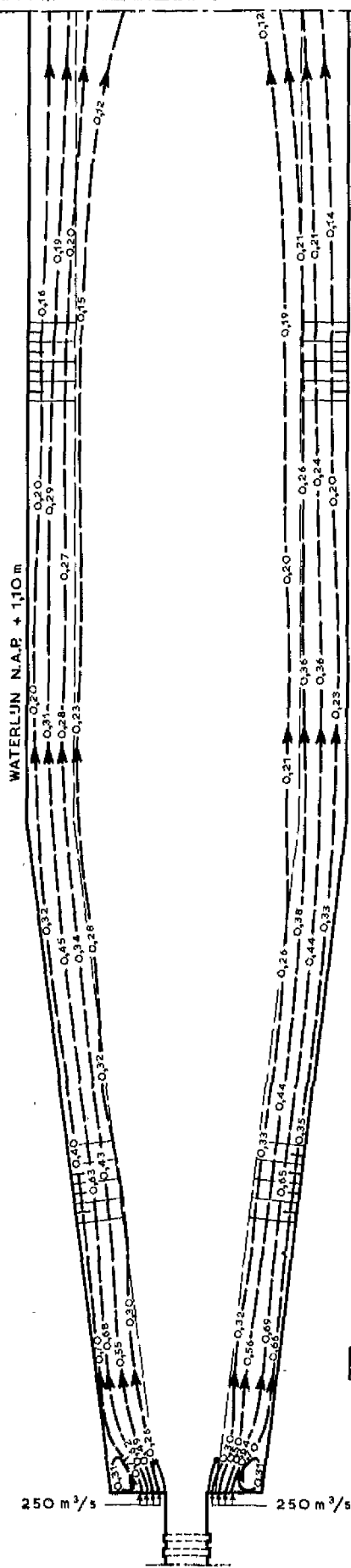


25 T5-3. Oppervlakte-stroombeeld

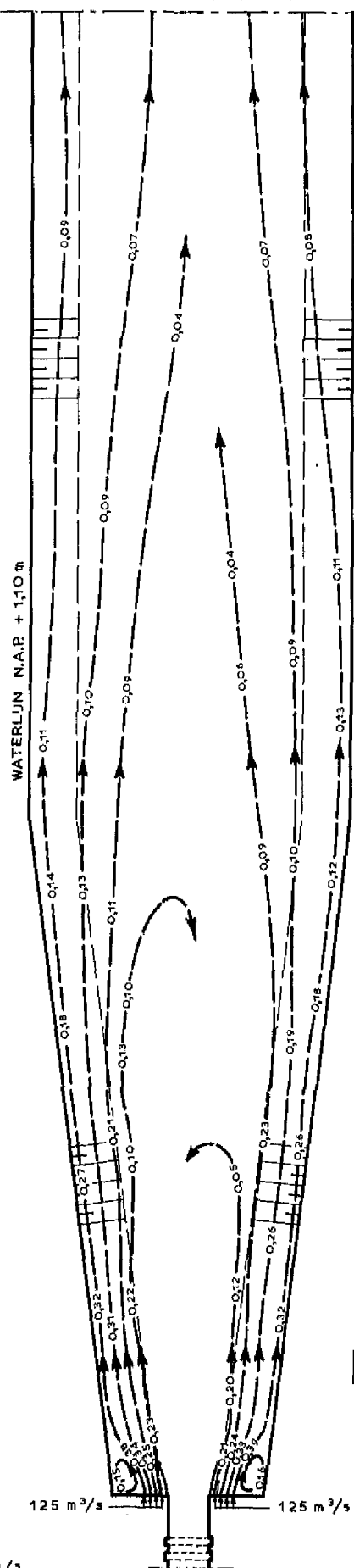


maten in m. prototype

| | | |
|---------------------------------------|---------|-----------------|
| SITUATIE EN DETAIL UITSTROOMOPENINGEN | T 6 | |
| | SCHALEN | 1:2000 1:500 |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 33 |



T6-1



T6-2

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

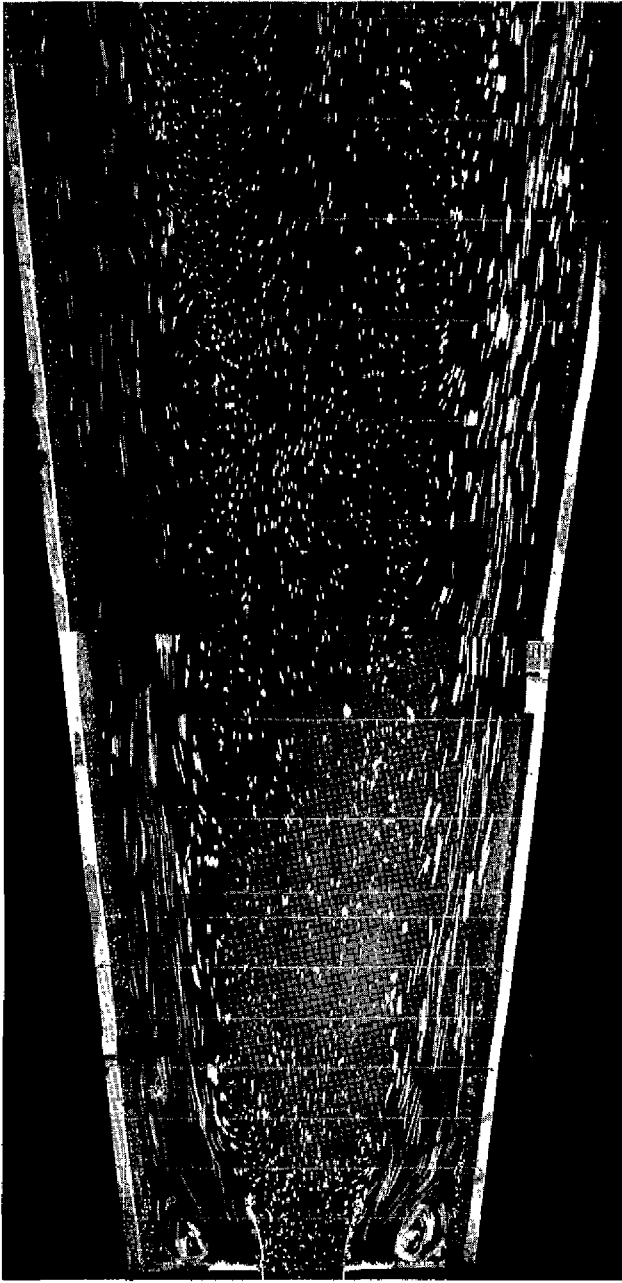
T6-1, T6-2

SCHAAL 1:10,000

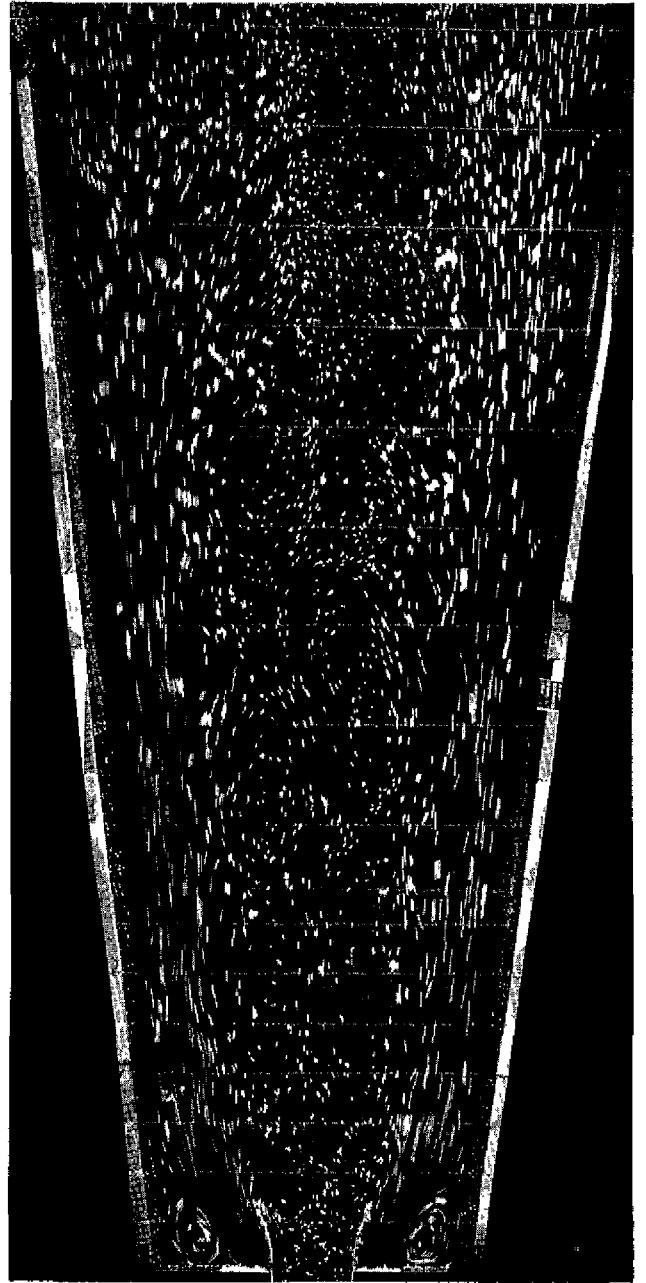
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

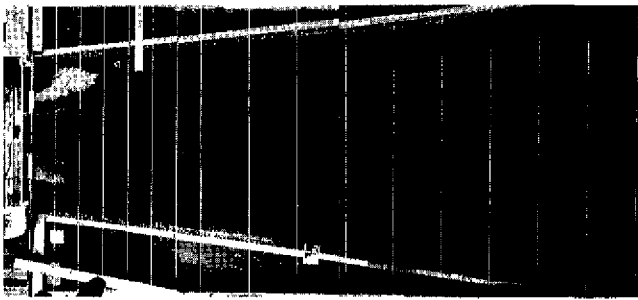
FIG. 34,35



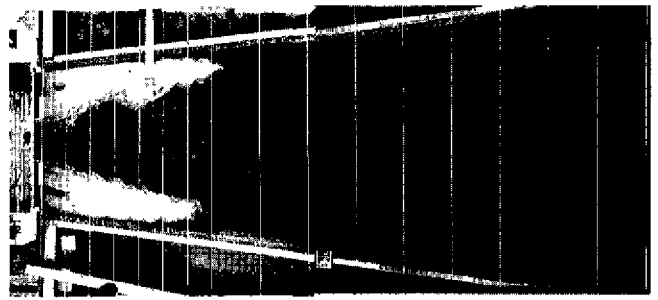
26 T6-1. Oppervlakte-stroombeeld



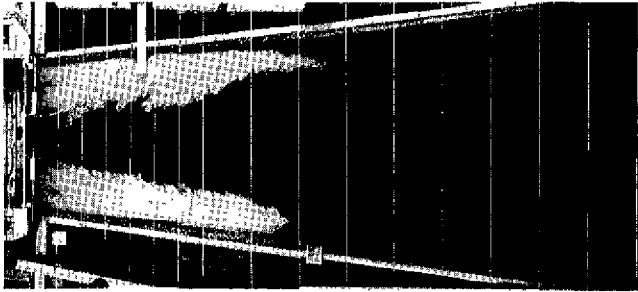
27 T6-2. Oppervlakte-stroombeeld



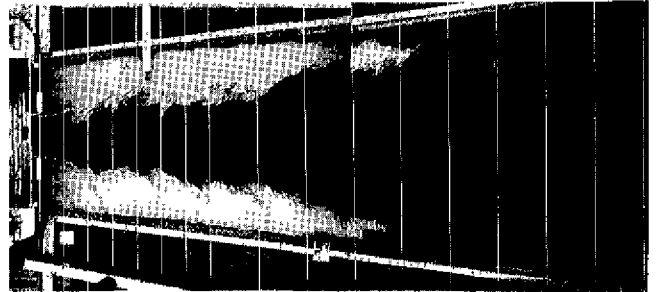
opname 1



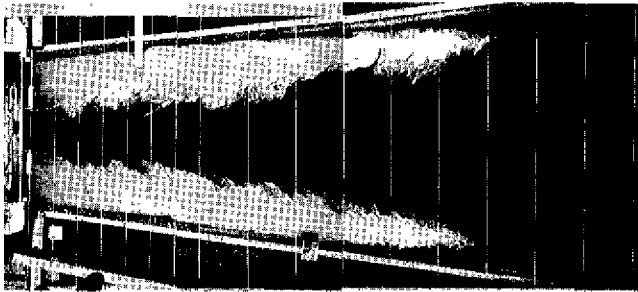
opname 2



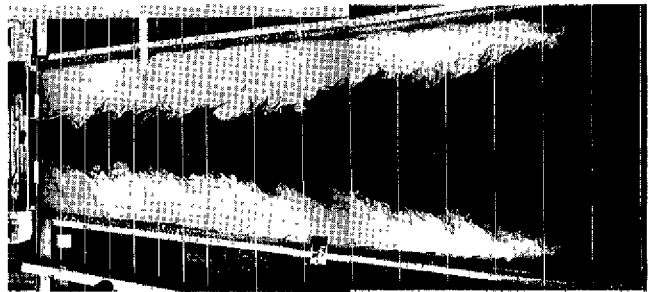
opname 3



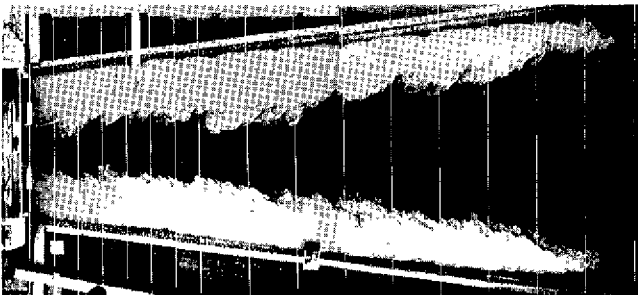
opname 4



opname 5



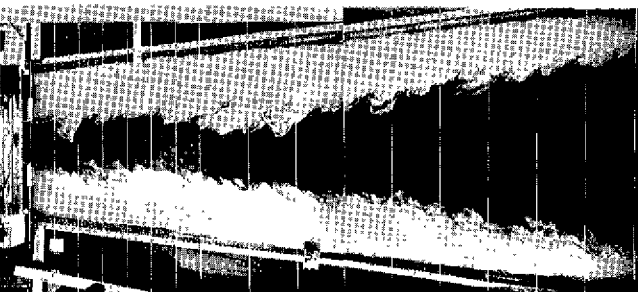
opname 6



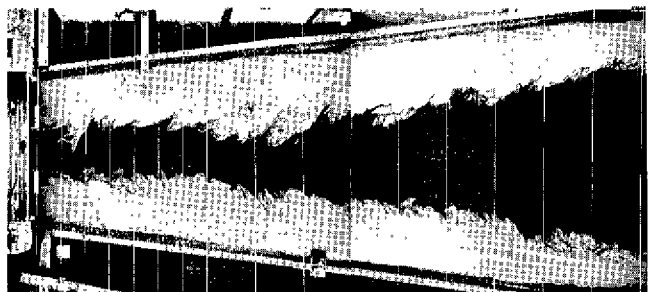
opname 7



opname 8

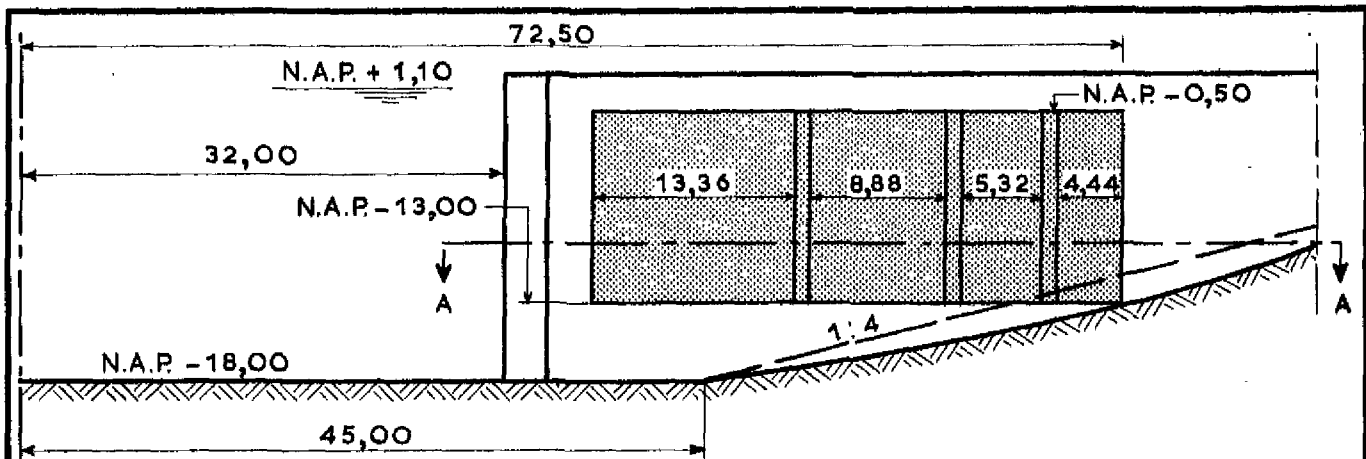


opname 9

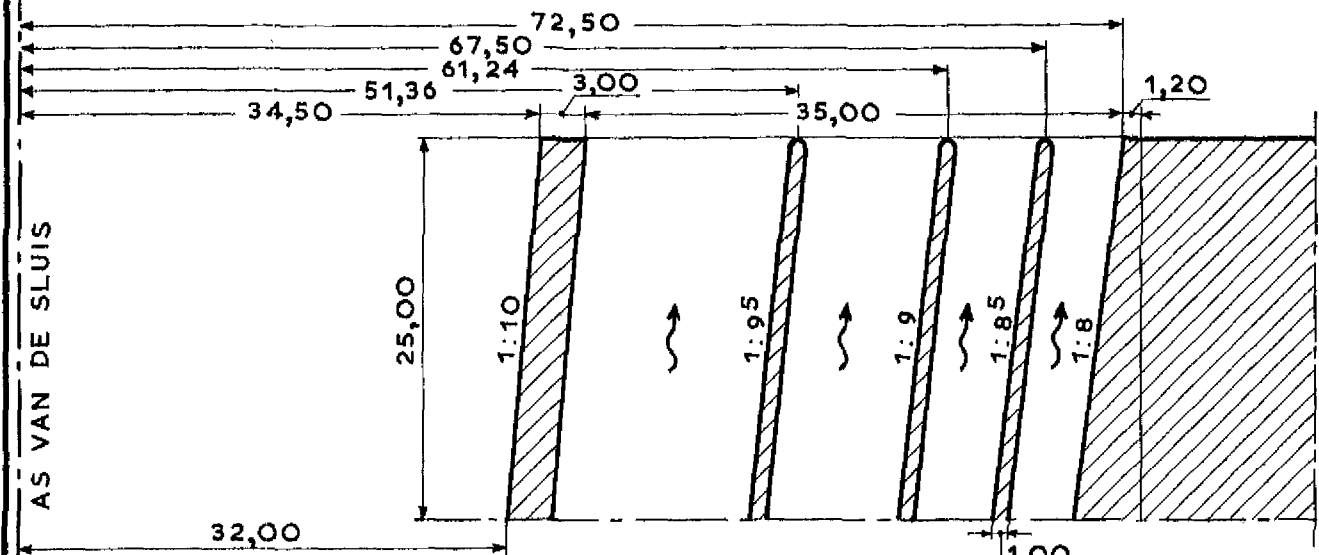


opname 10

Tijdsinterval van de opnamen 30 seconden (model)

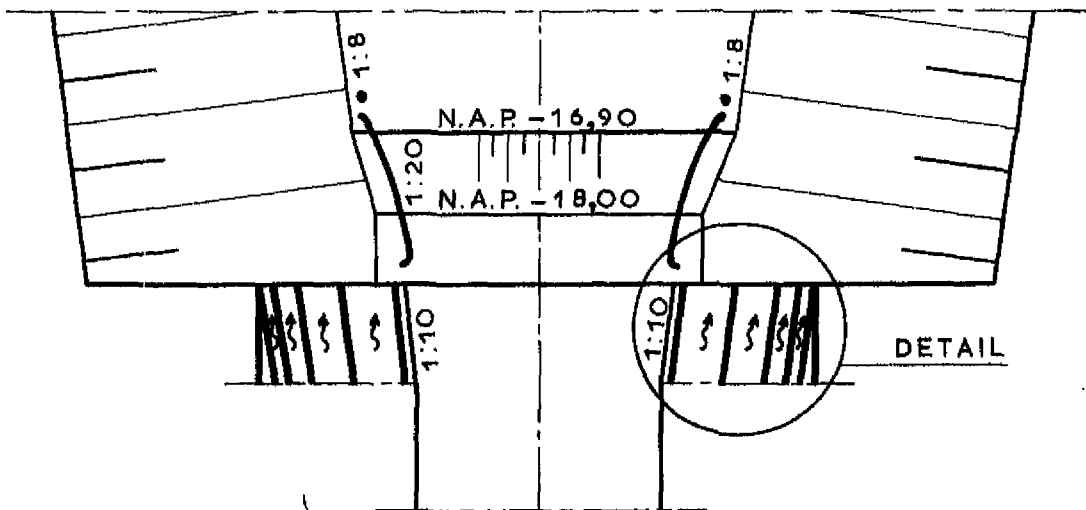


VOORAANZICHT



DOORSNEDE A-A

DETAIL SCHAAL 1: 500



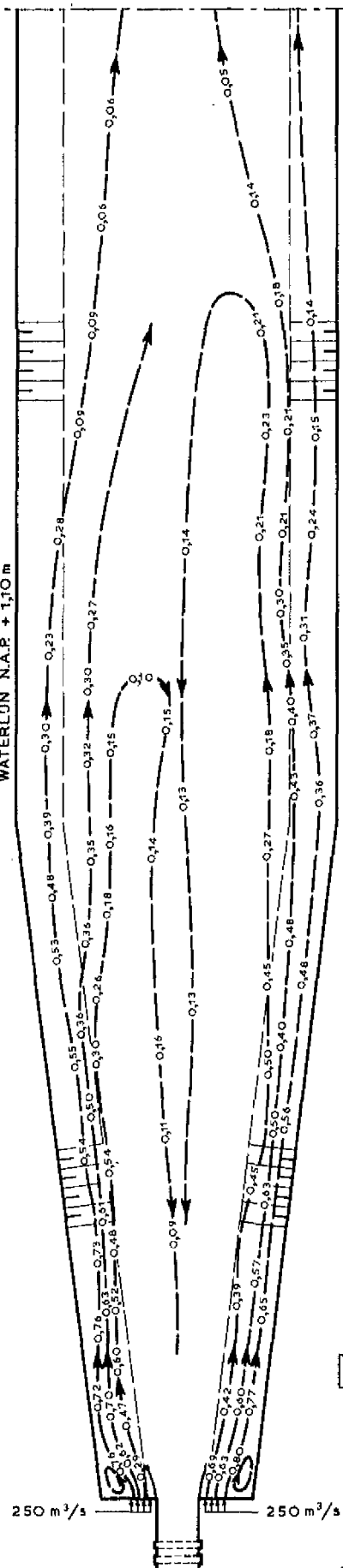
SITUATIE UITSTROOMOPENINGEN

SCHAAL 1: 2000

maten in m. prototype

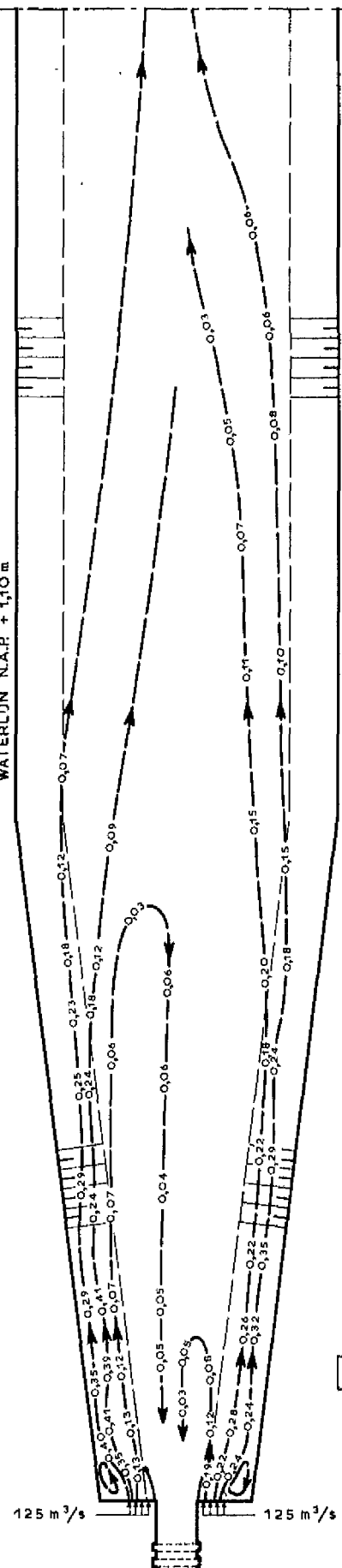
| | | |
|---------------------------------------|---------|-------------------|
| SITUATIE EN DETAIL UITSTROOMOPENINGEN | T 7 | |
| | SCHALEN | 1: 2000 1: 500 |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 36 |

WATERLJN N.A.P. + 1,10 m



T7-1

WATERLJN N.A.P. + 1,10 m



T7-2

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

T7-1, T7-2

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

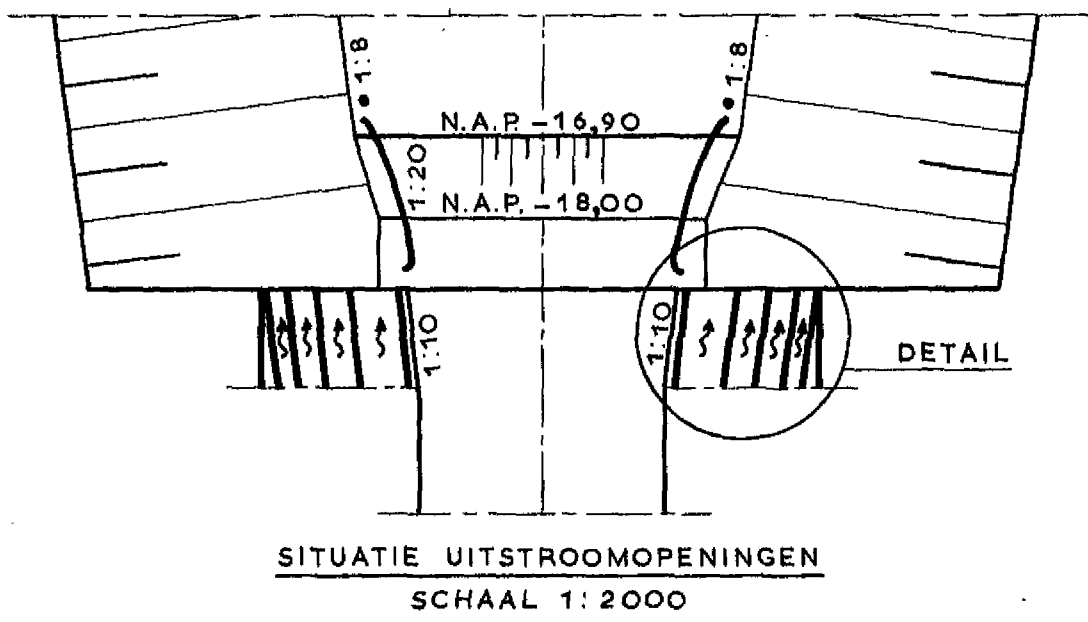
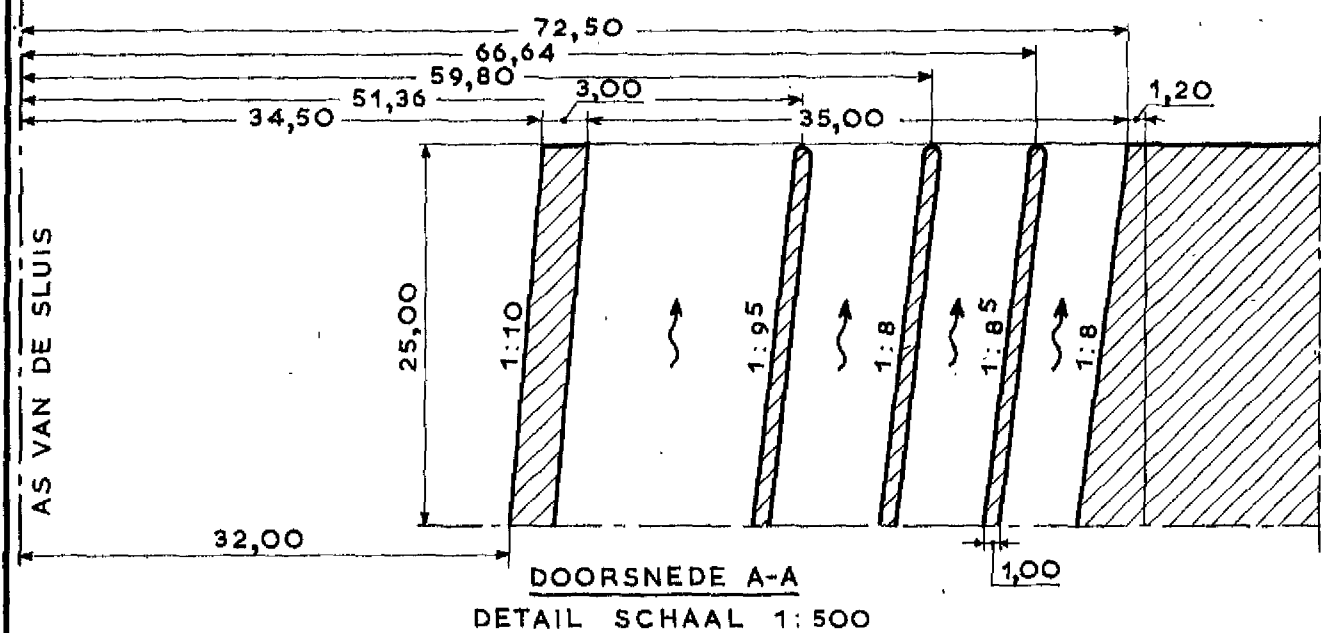
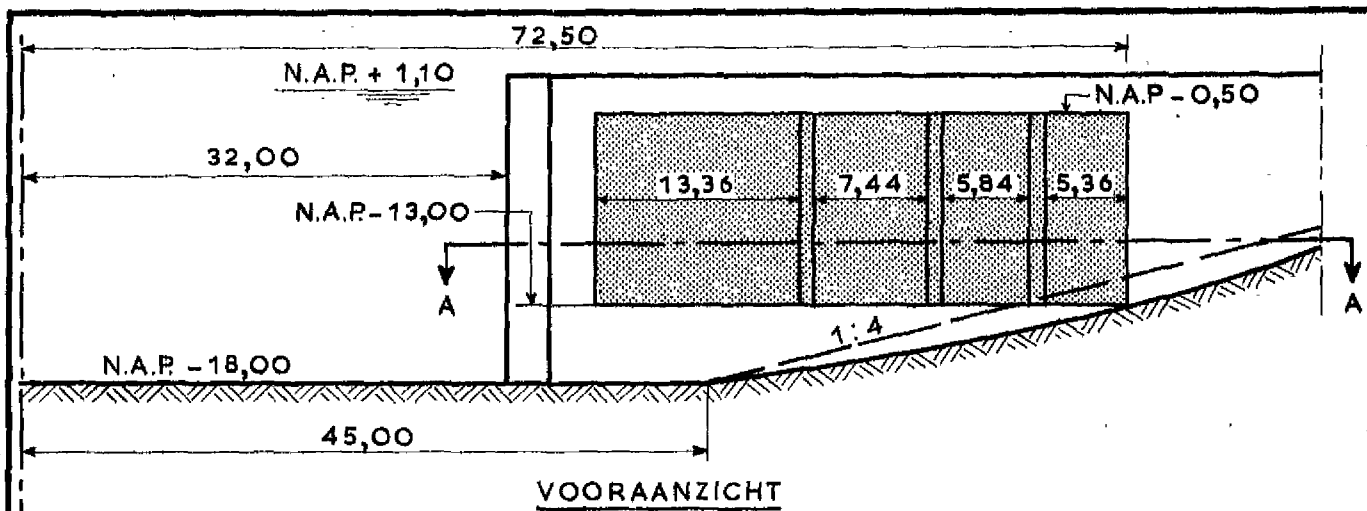
FIG. 37,38



29 T7-1. Oppervlakte-stroombeeld



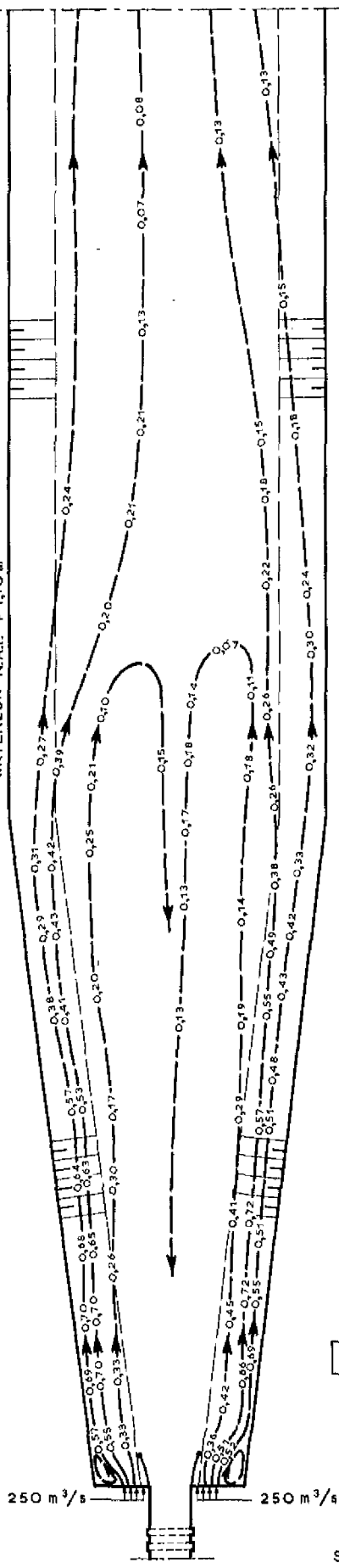
30 T7-2. Oppervlakte-stroombeeld



maten in m. prototype

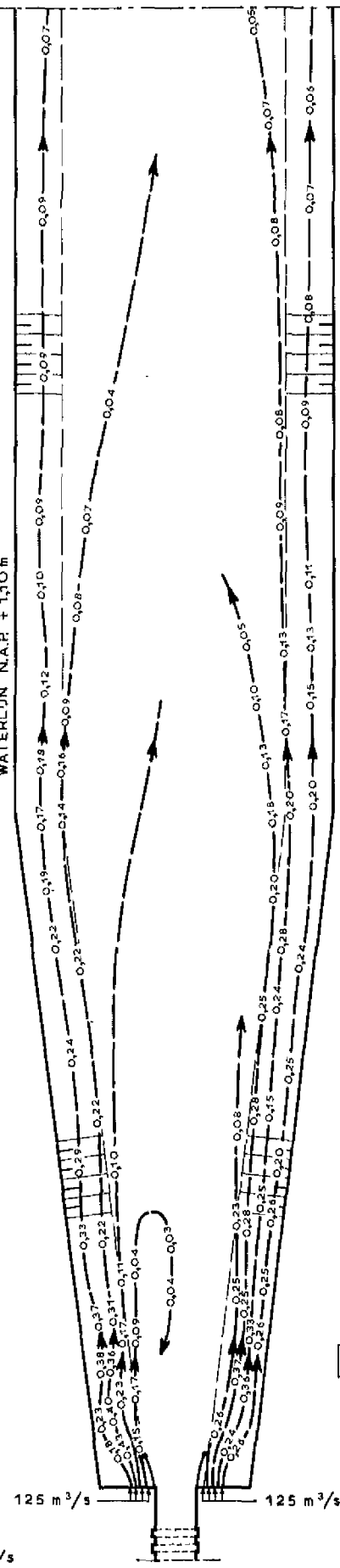
| | | |
|---------------------------------------|---------|-----------------|
| SITUATIE EN DETAIL UITSTROOMOPENINGEN | T 8 | |
| | SCHALEN | 1:2000 1:500 |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 39 |

WATERLIJN N.A.P. + 1,10 m



T B - 1

WATERLIJN N.A.P. + 1,10 m



T B - 2

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

T B - 1, T B - 2

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

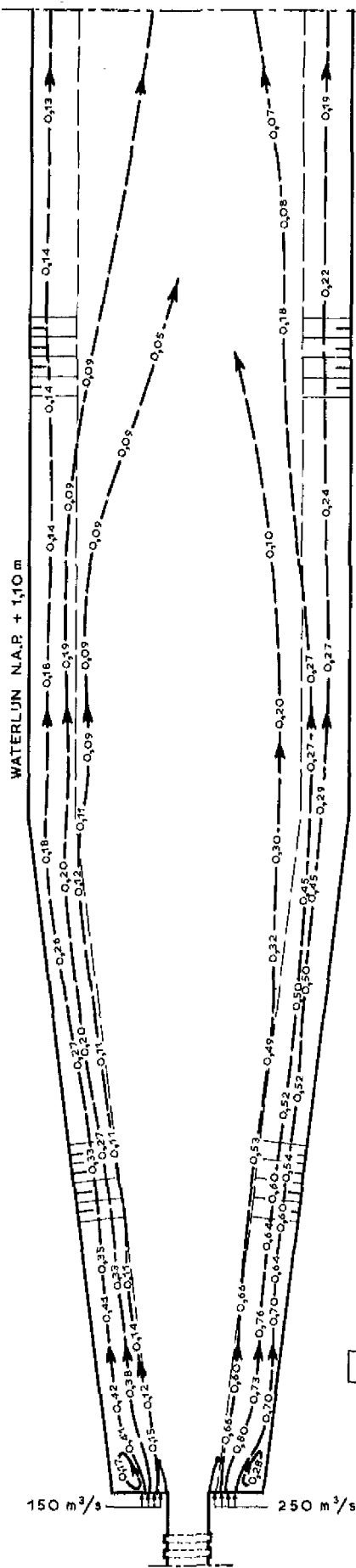
FIG. 40,41



31 T8-1. Oppervlakte-stroombeeld



32 T8-2. Oppervlakte-stroombeeld



STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN - SNELHEDEN

TB-3

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

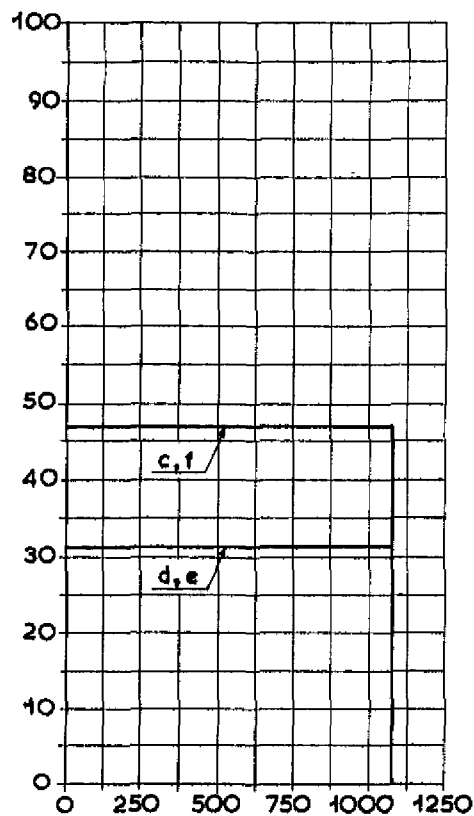
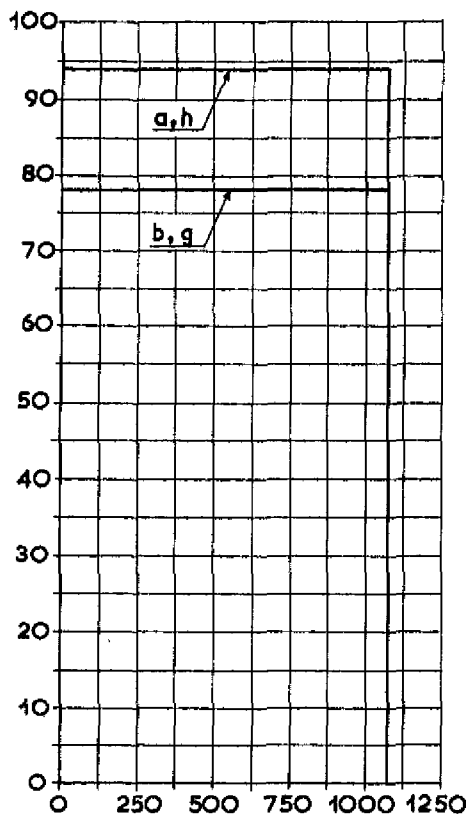
M. 1142

FIG. 42

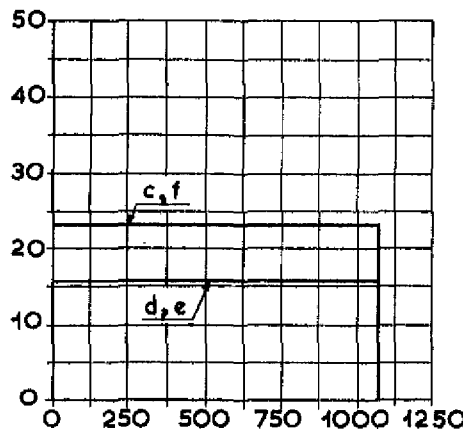
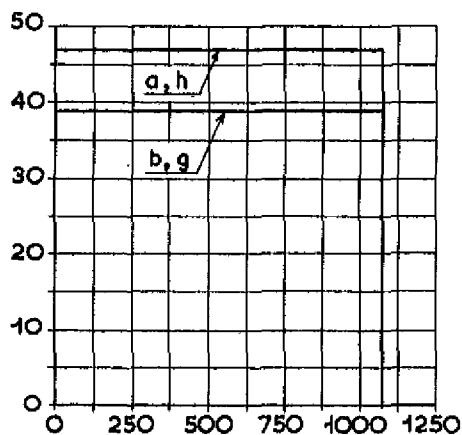


33 T8-3. Oppervlakte-stroombeeld

AFVOER DOOR UITSTROOMOPENINGEN IN m³/s

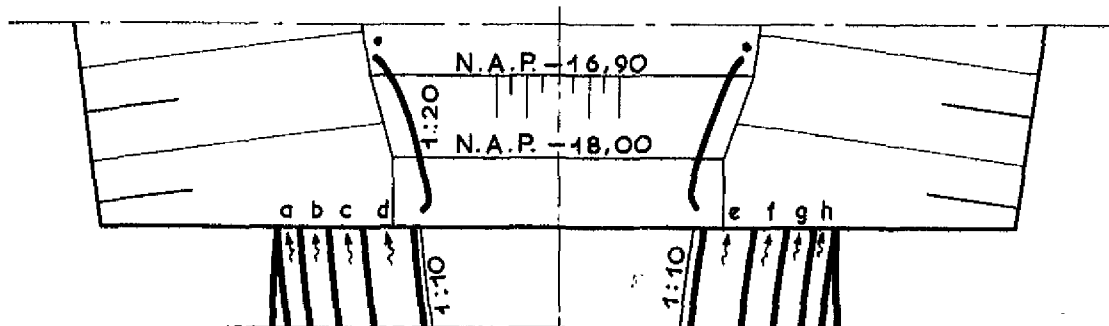


BLOKLOZING SLUISKOLK T 6-1



TIJD IN s

BLOKLOZING SLUISKOLK T 6-2



125 m³/s (T6-2) of
250 m³/s (T6-1)

SITUATIE

125 m³/s (T6-2) of
250 m³/s (T6-1)
maten in m prototype

AFVOERVERDELING DOOR UITSTROOM-
OPENINGEN BIJ SLUISKOLKLEDIGING

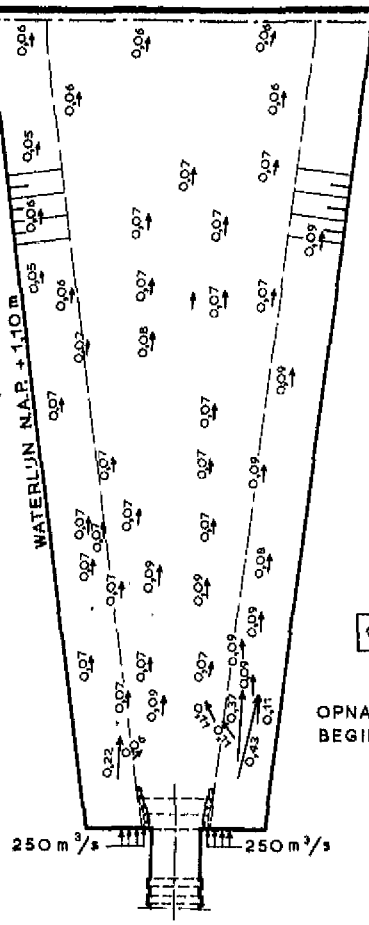
T 6-1, T 6-2

SCHAAL 1:2000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

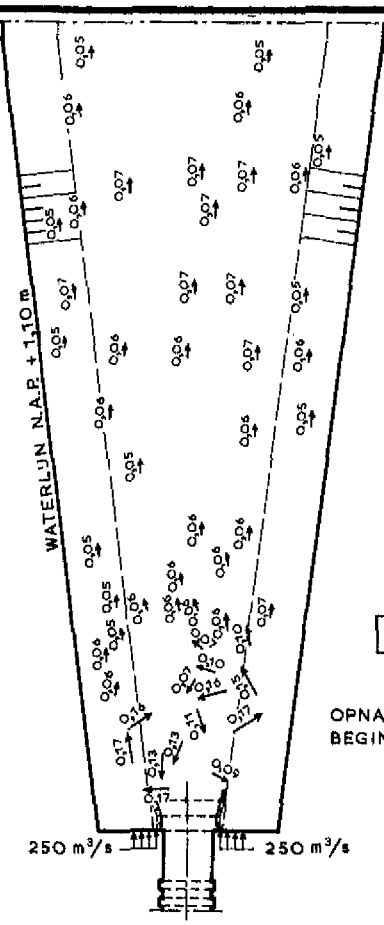
M. 1142

FIG. 43



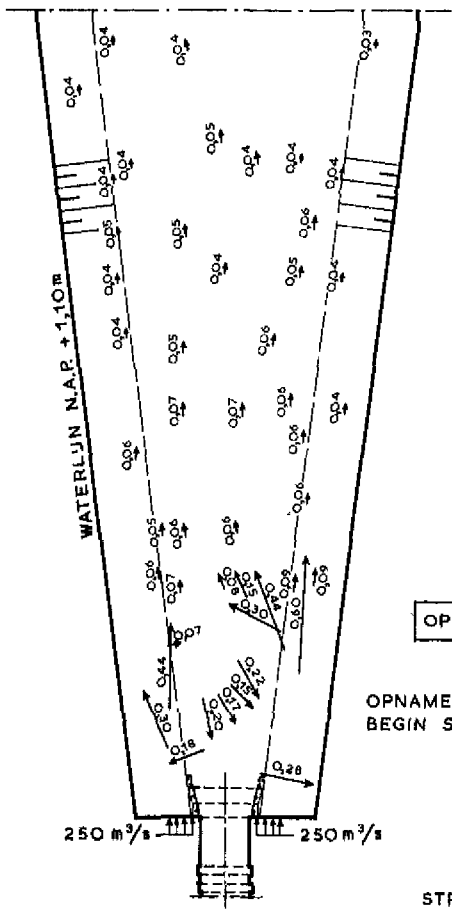
OPNAME 1

OPNAME 4.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



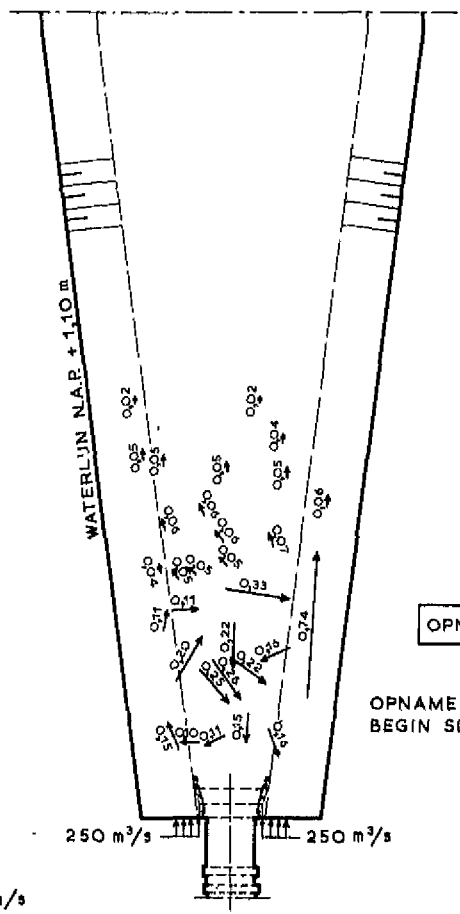
OPNAME 2

OPNAME 9.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 3

OPNAME 13.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 4

OPNAME 18.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS-
LEDIGING IN VOORHAVEN BAALHOEKKANAAL

T6-1 opnamen
1, 2, 3 en 4

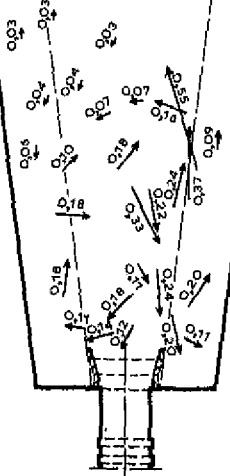
SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 44 A

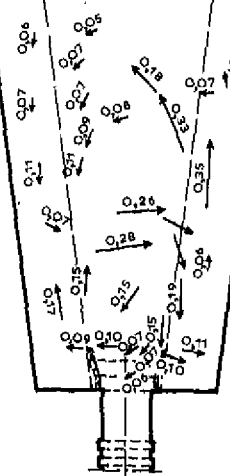
WATERLJN N.A.P. + 1,10 m



OPNAME 5

OPNAME 22.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

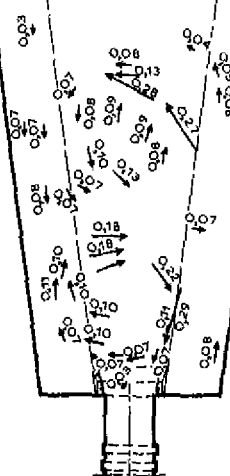
WATERLJN N.A.P. + 1,10 m



OPNAME 6

OPNAME 27.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

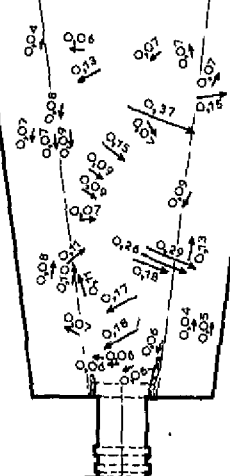
WATERLJN N.A.P. + 1,10 m



OPNAME 7

OPNAME 31.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

WATERLJN N.A.P. + 1,10 m



OPNAME 8

OPNAME 36.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

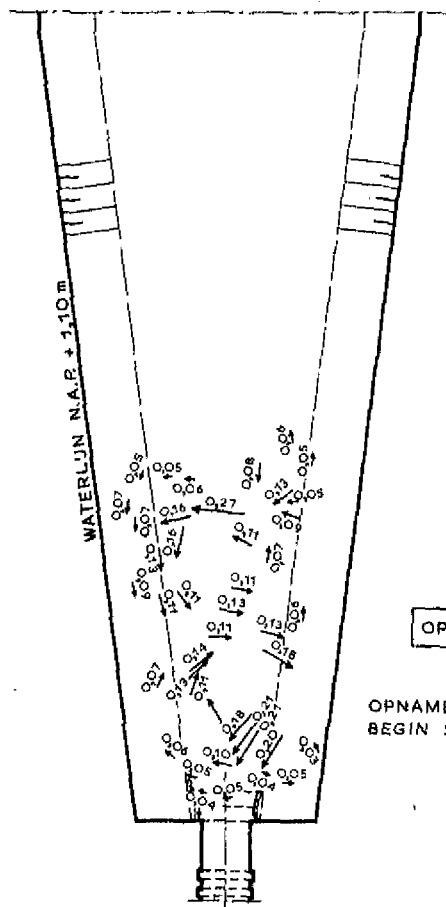
STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS-
LEDIGING IN VOORHAVEN BAALHOEKKANAAL

T6-1 opnamen
5,6,7 en 8
SCHAAL 1 : 10.000

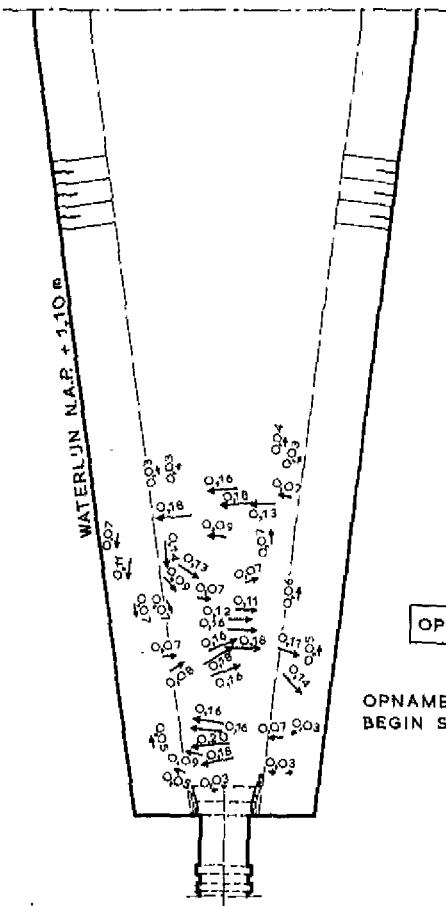
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142 FIG. 44 B



OPNAME 9

OPNAME 40.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 10

OPNAME 45.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS-
LEDIGING IN VOORHAVEN BAALHOEKKANAAL

T 6 - 1

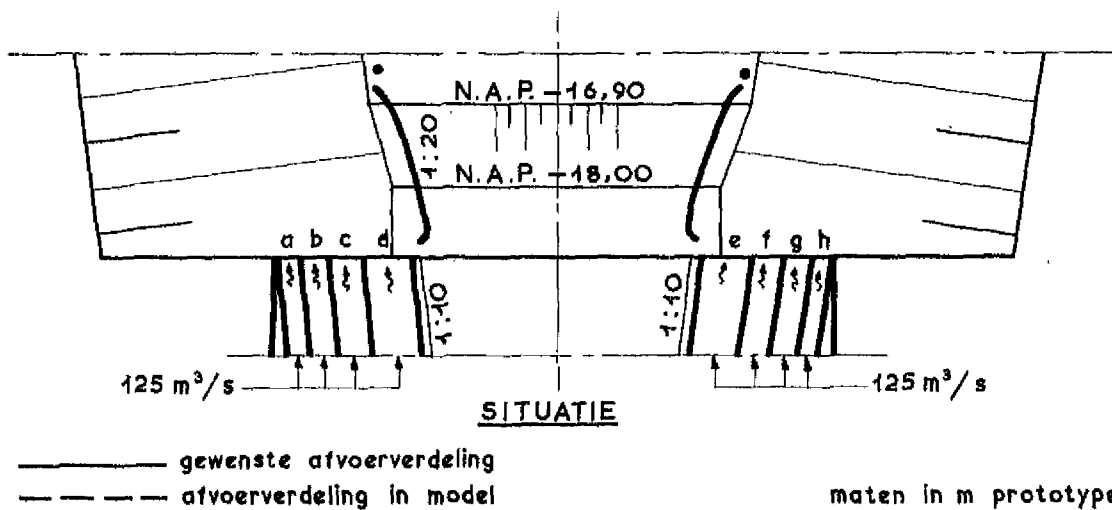
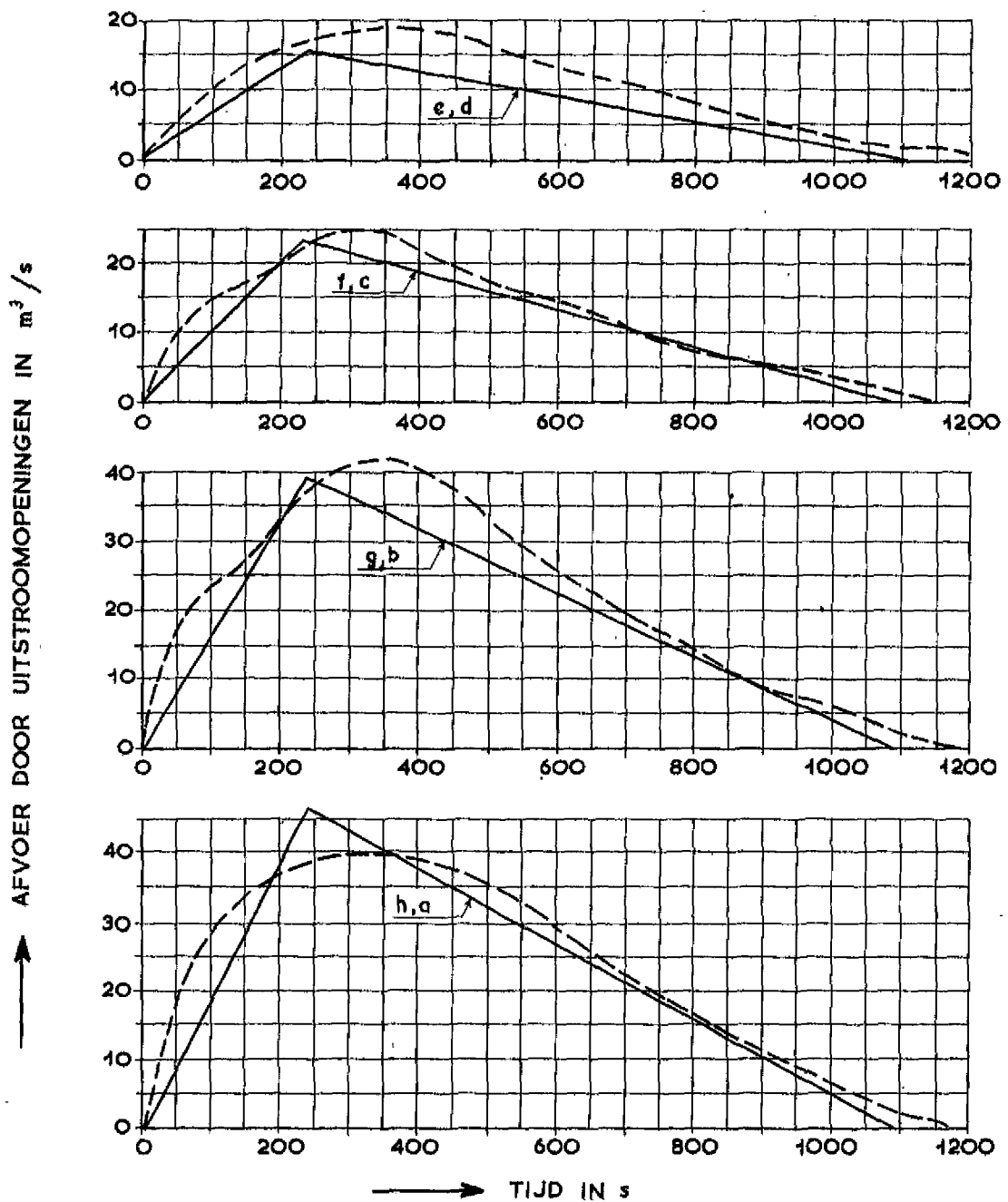
opnamen
9 en 10

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 44C



AFVOERVERDELING DOOR UITSTROOM-
 OPENINGEN BIJ SLUISKOLKLEDIGING

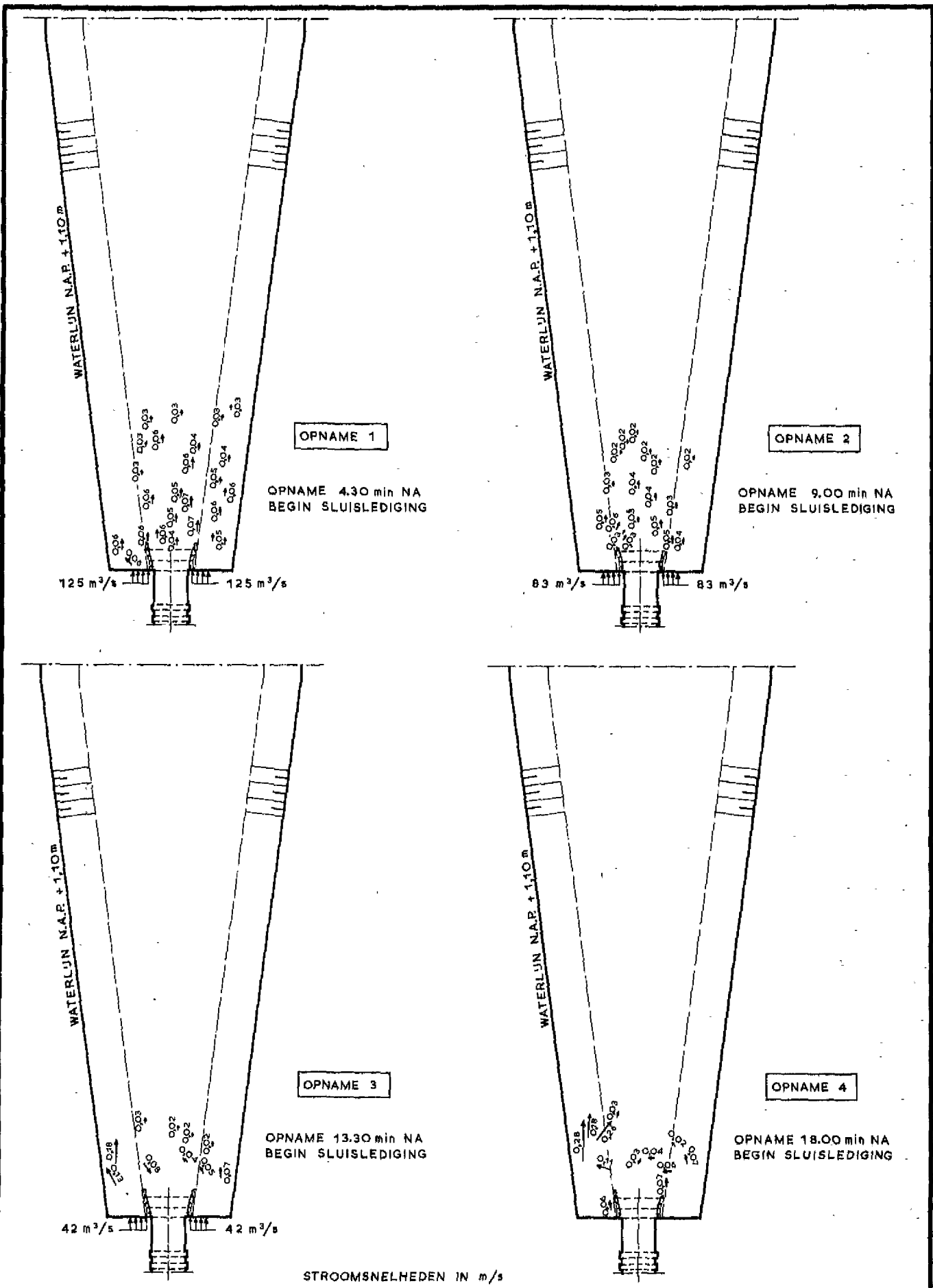
T 6-3

SCHAAL 1:2000

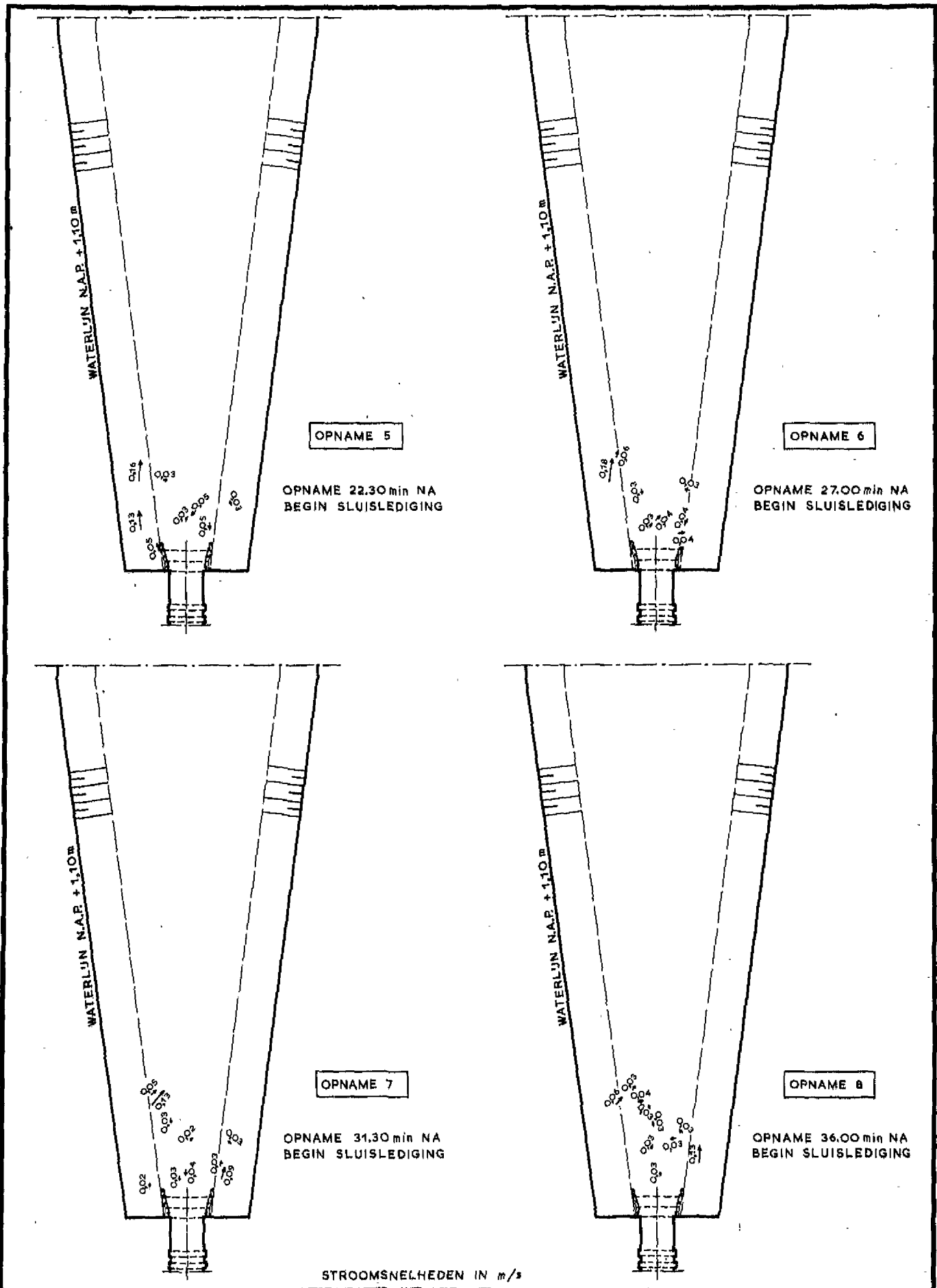
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

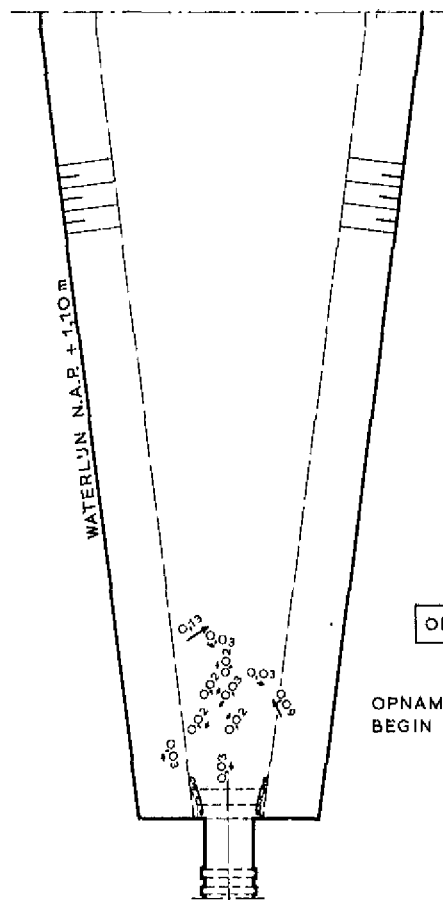
FIG. 45



| | | |
|---|-----------------|--------------------|
| STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUISLEDIGING IN VOORHAVEN BAALHOEKKANAAL | T6-3 | opnamen 1,2,3 en 4 |
| | SCHAAL 1:10.000 | |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 46 A |

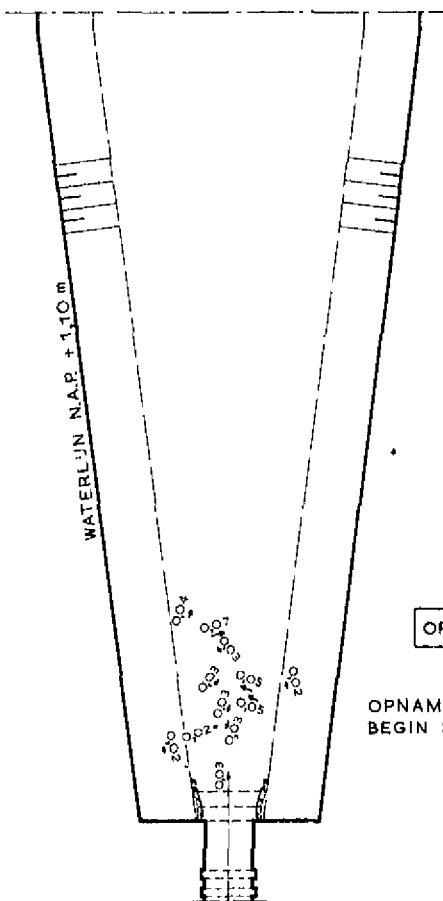


| | | |
|---|-----------------|--------------------|
| STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUISLEDIGING IN VOORHAVEN BAALHOEKKANAAL | T6-3 | opnamen 5,6,7 en 8 |
| | SCHAAL 1:10.000 | |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 46 B |



OPNAME 9

OPNAME 40,30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

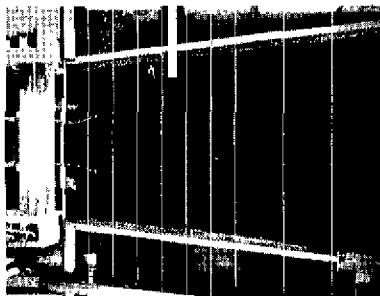


OPNAME 10

OPNAME 45,00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

STROOMSNELHEDEN IN m/s

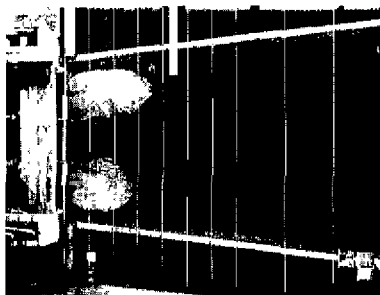
| | | |
|---|------------------|--------------------|
| STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS - LEDIGING IN VOORHAVEN BAALHOEKKANAAL | T 6-3 | opnamen 9 en 10 |
| | SCHAAL 1: 10.000 | |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 46 C |



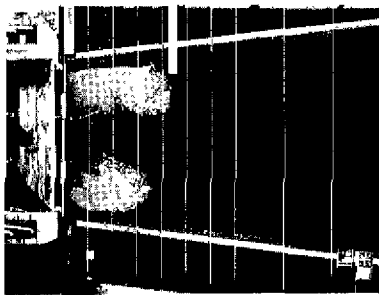
opname 1



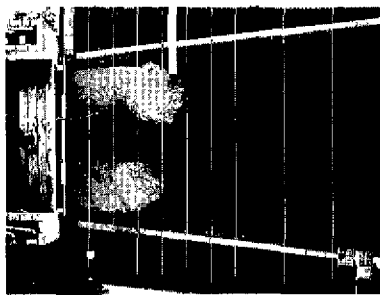
opname 2



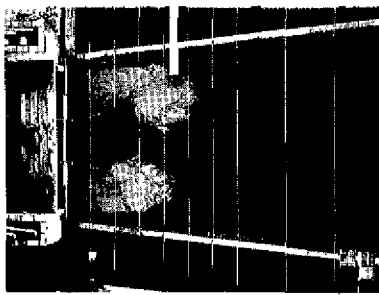
opname 3



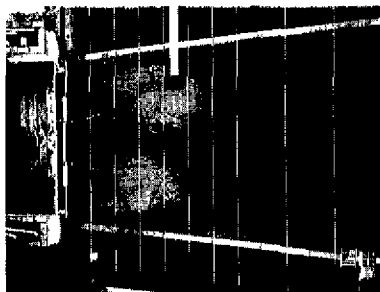
opname 4



opname 5



opname 6



opname 7



opname 8

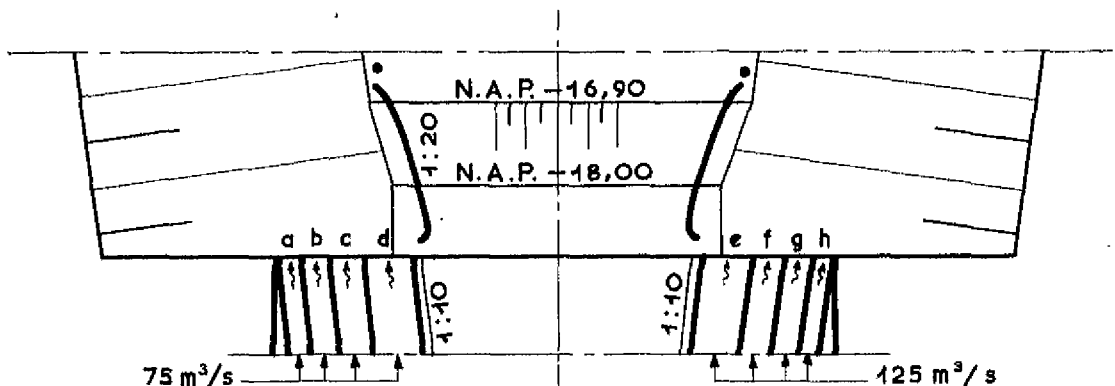
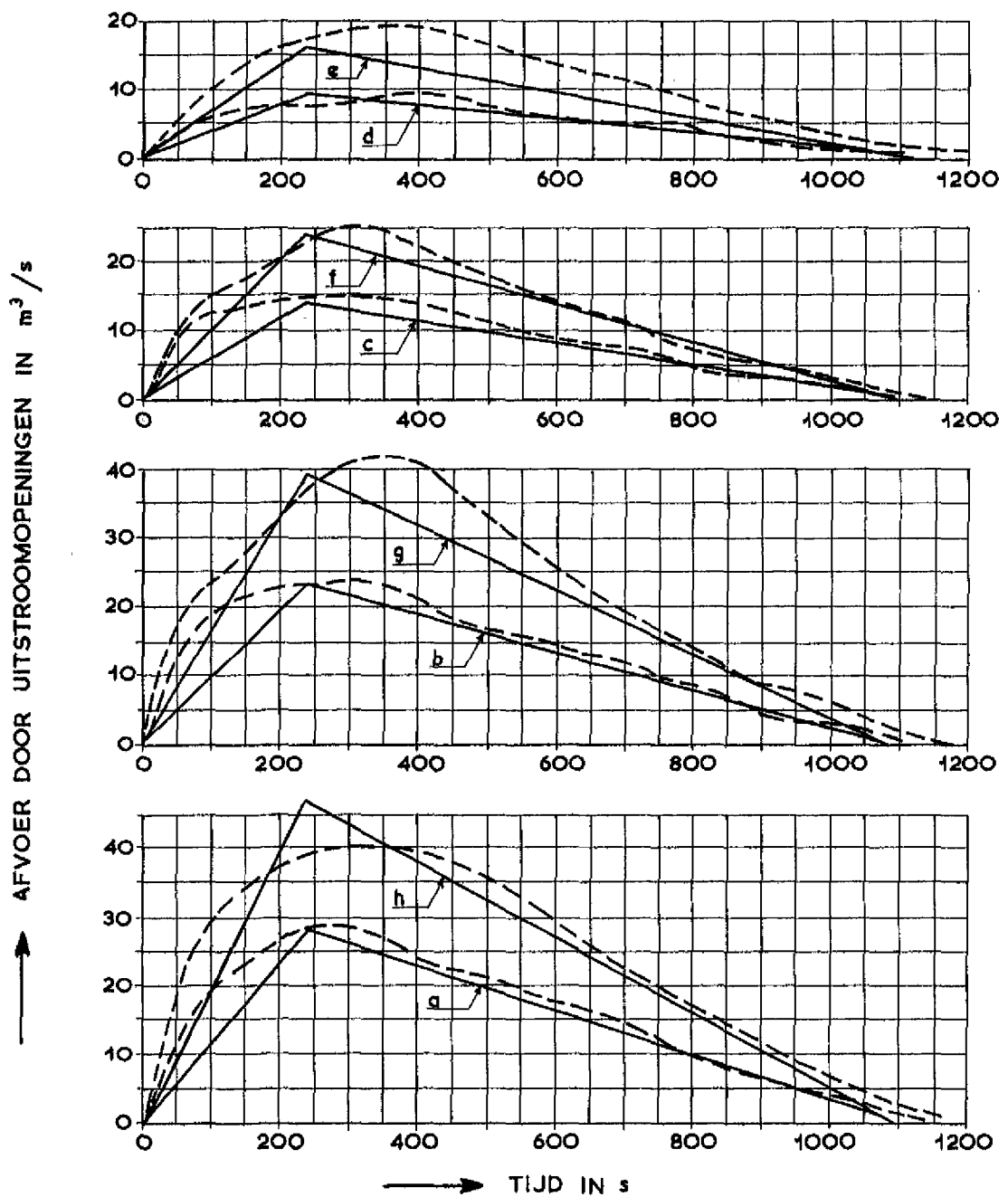


opname 9



opname 10

Tijdsinterval van de opnamen 30 seconden (model)



————— gewenste afvoerverdeling
 - - - - - afvoerverdeling in model

maten in m prototype

**AFVOERVERDELING DOOR UITSTROOM-
OPENINGEN BIJ SLUISKOLKLEDIGING**

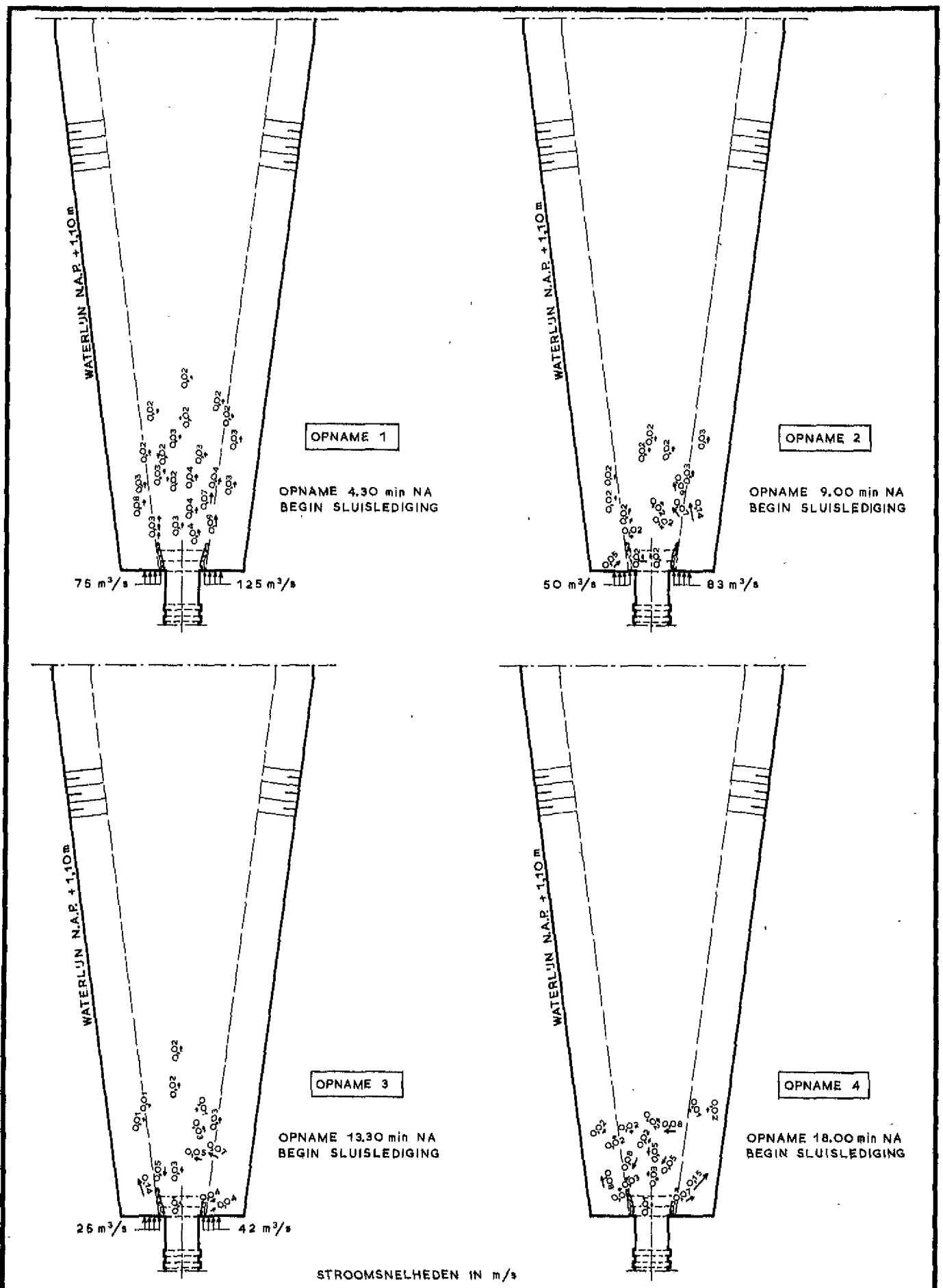
T 6-4

SCHAAL 1:2000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

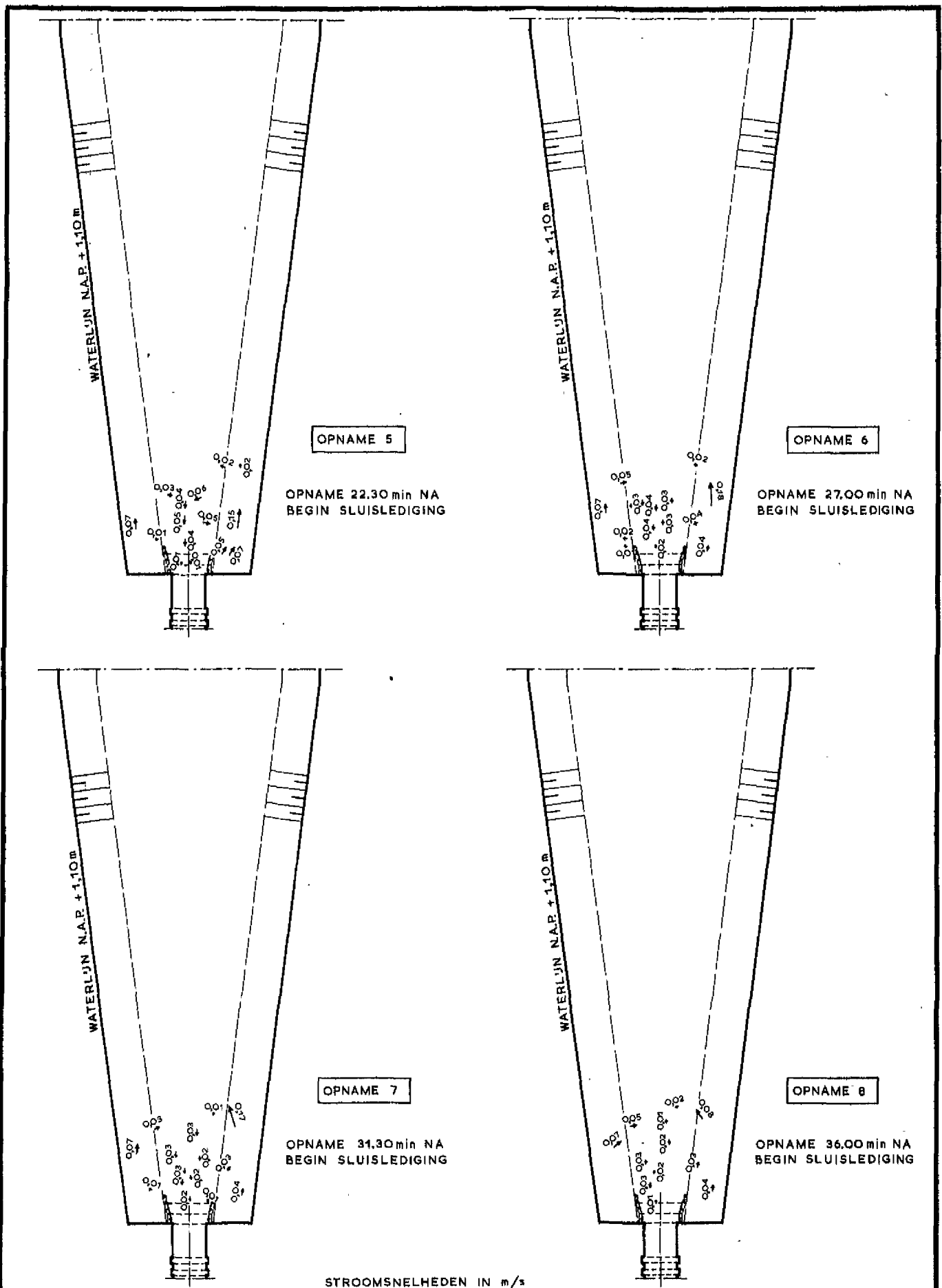
FIG. 47



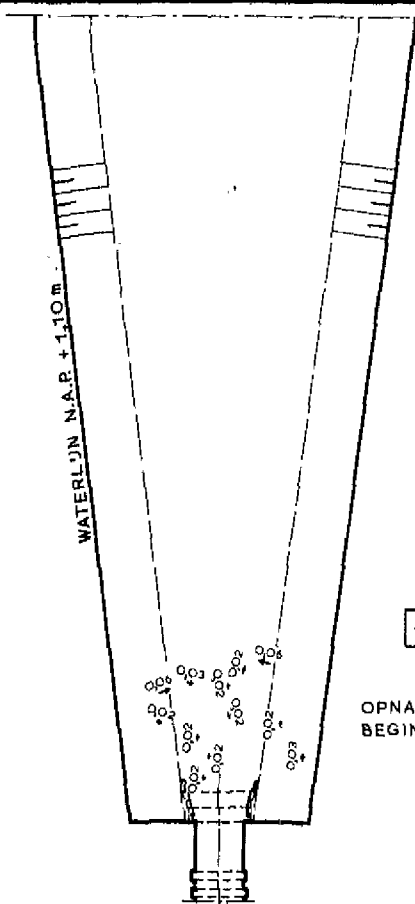
STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS-
LEDIGING IN VOORHAVEN BAALHOEKKANAAL

| | |
|-----------------|-----------------------|
| T6-4 | opnamen 1,2,3 en 4 |
| SCHAAL 1:10.000 | |
| M. 1142 | FIG. 48 A |

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

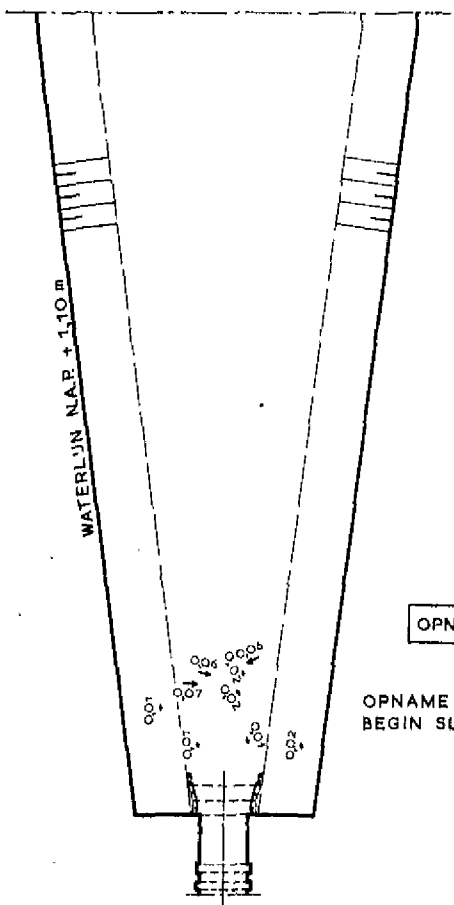


| | | |
|---|-----------------|--------------------|
| STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUISLEDIGING IN VOORHAVEN BAALHOEKKANAAL | T6-4 | opnamen 5,6,7 en 8 |
| | SCHAAL 1:10.000 | |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 48 B |



OPNAME 9

OPNAME 40.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 10

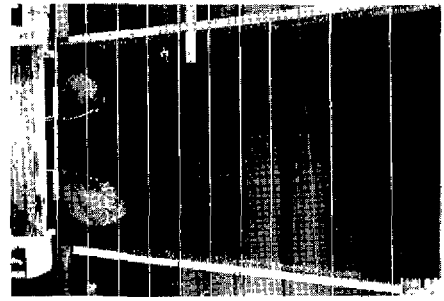
OPNAME 45.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

STROOMSNELHEDEN IN m/s

| | | |
|---|-----------------|-----------------|
| STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUISLEDIGING IN VOORHAVEN BAALHOEKKANAAL | T 6-4 | opnamen 9 en 10 |
| | SCHAAL 1:10.000 | |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 48 C |



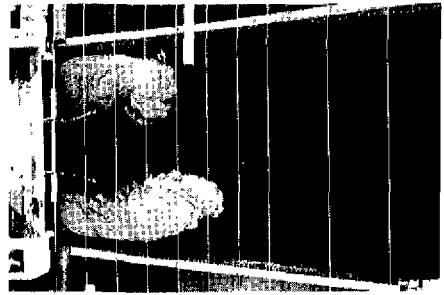
opname 1



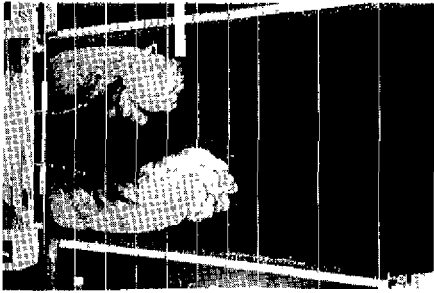
opname 3



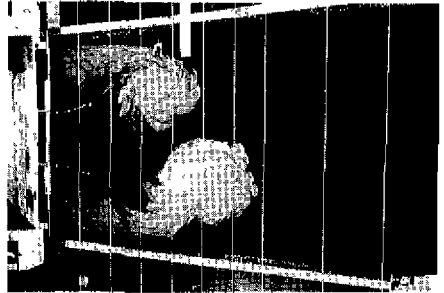
opname 5



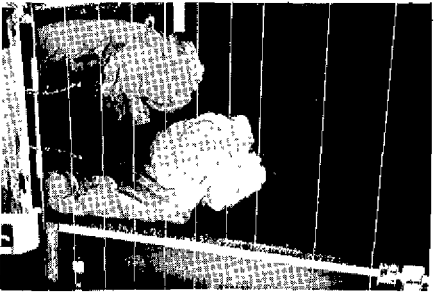
opname 7



opname 8



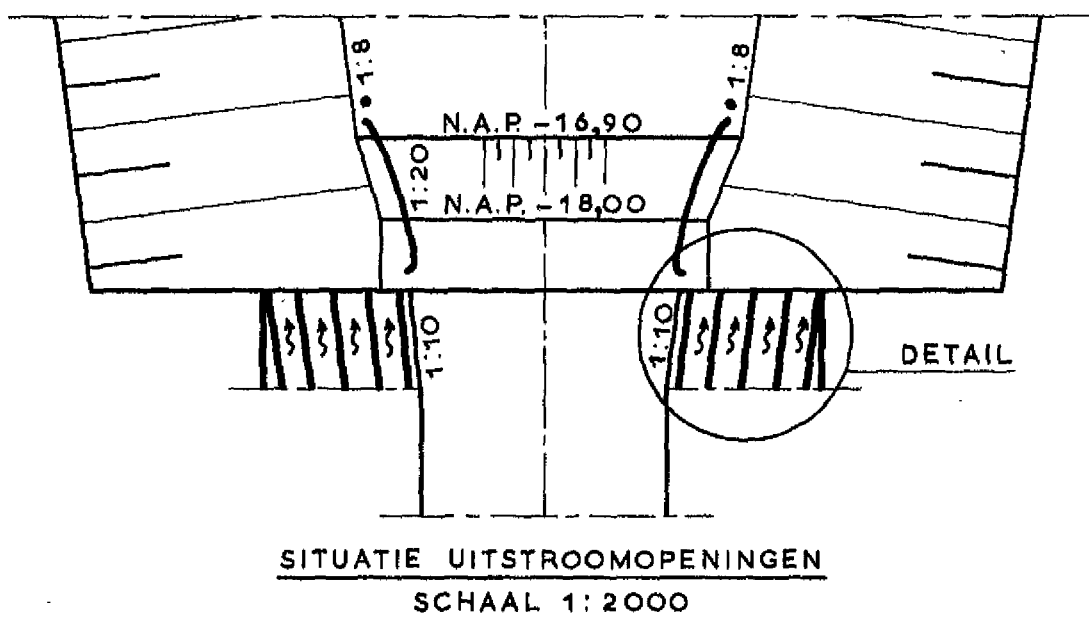
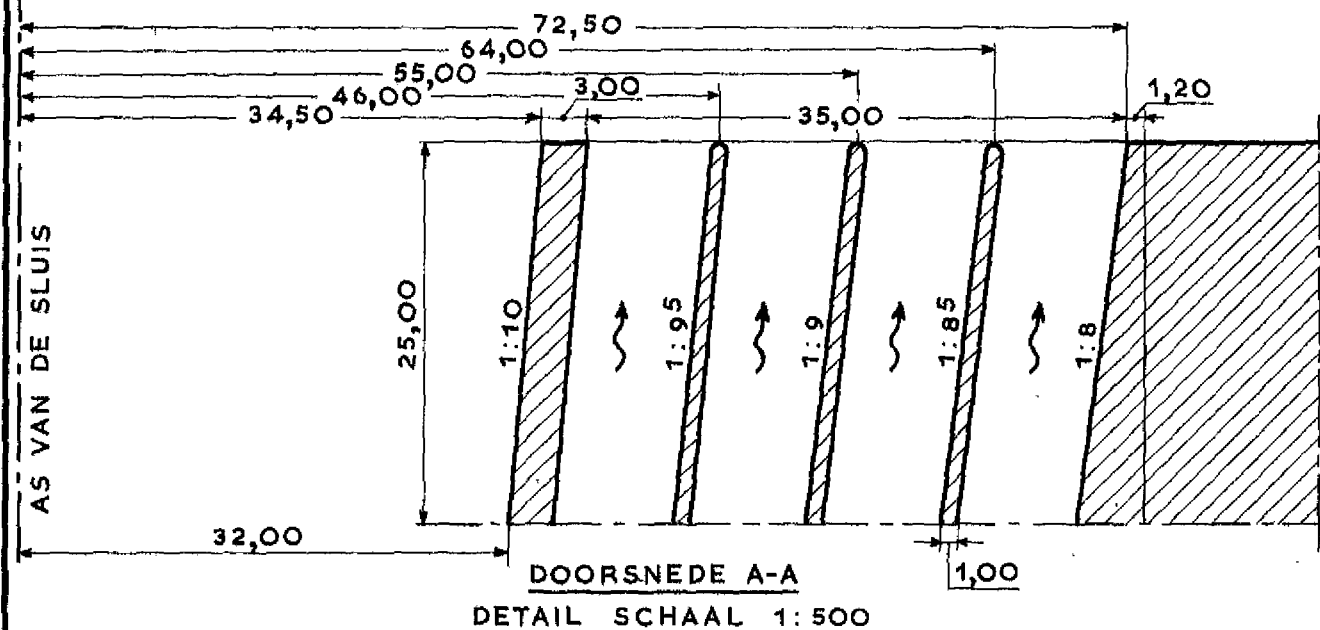
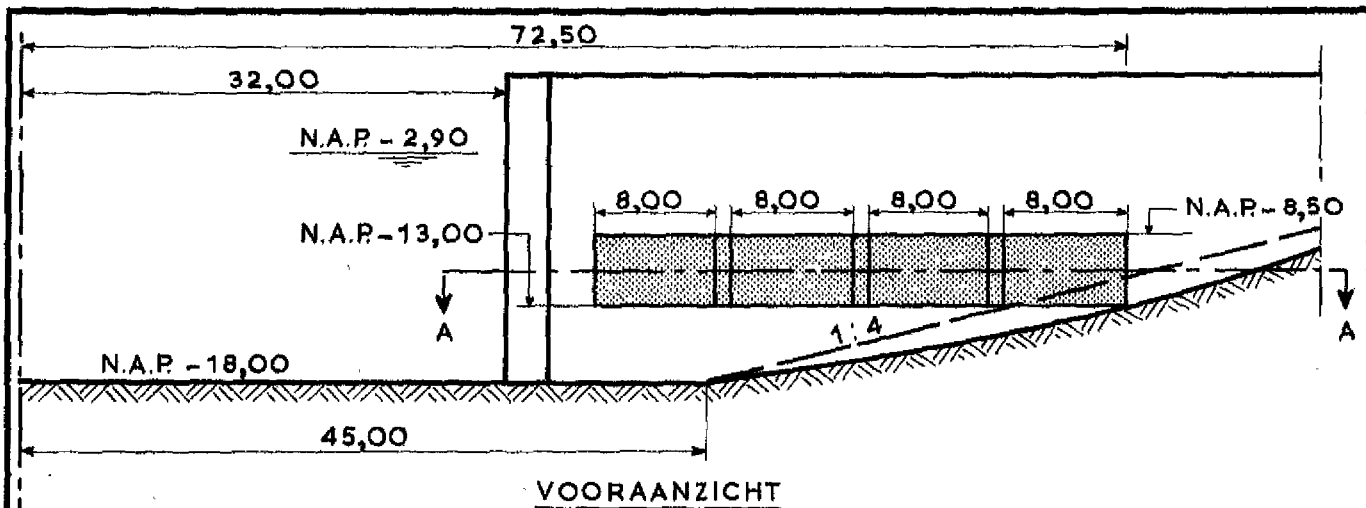
opname 9



opname 10

Tijdsinterval van de opnamen 30 seconden (model)

35 T6-4. stroombeeldreportage van de sluiscolkleding



maten in m. prototype

**SITUATIE EN DETAIL UITSTROOMOPENINGEN
IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE**

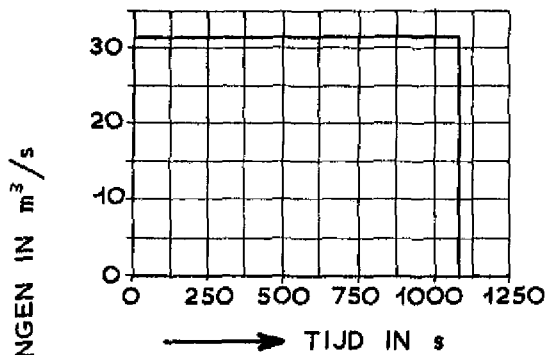
T 9

SCHALEN 1: 2000
1: 500

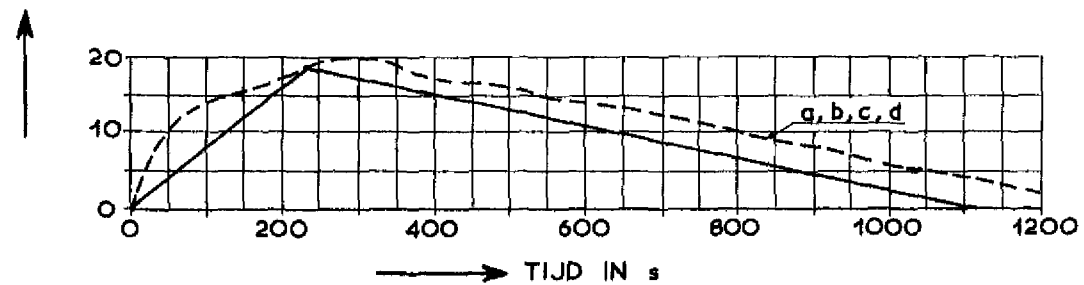
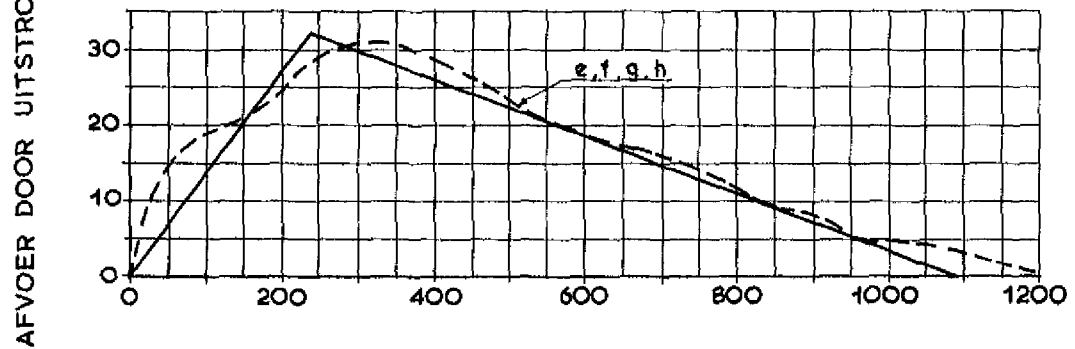
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

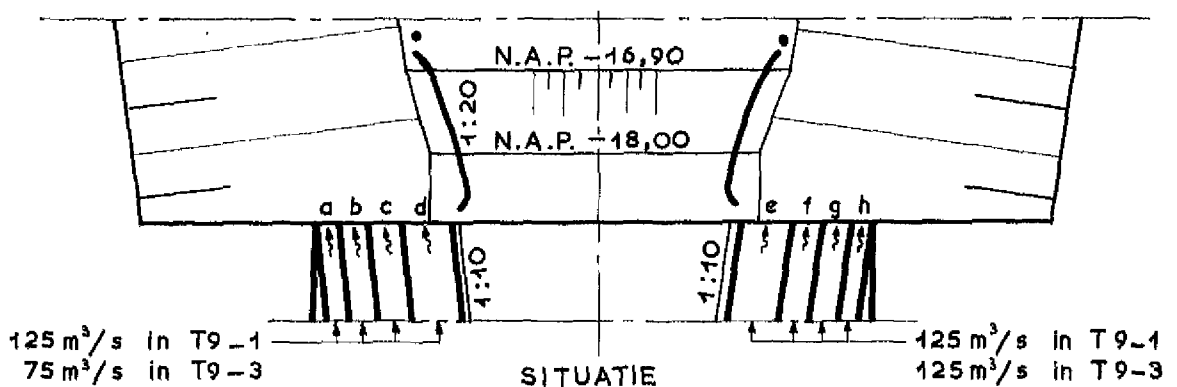
FIG. 49



BLOKLOZING SLUISKOLK T9-1



DRIEHOEKLOZING SLUISKOLK T9-3



———— gewenste afvoerverdeling
----- afvoerverdeling in model

maten in m prototype

GEMIDDELDE AFVOERVERDELING DOOR
UITSTROOMOPENINGEN BIJ SLUIS-
KOLKLEDIGING

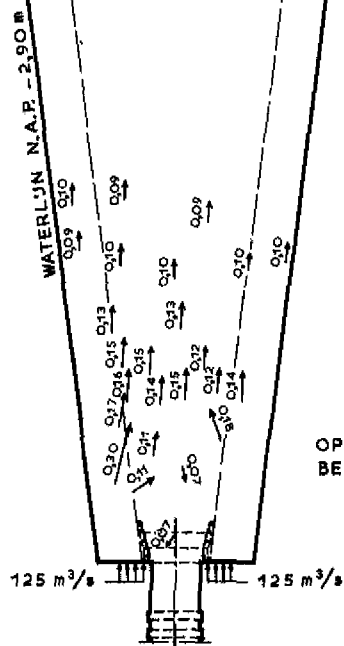
T9-1, T9-3

SCHAAL 1:2000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

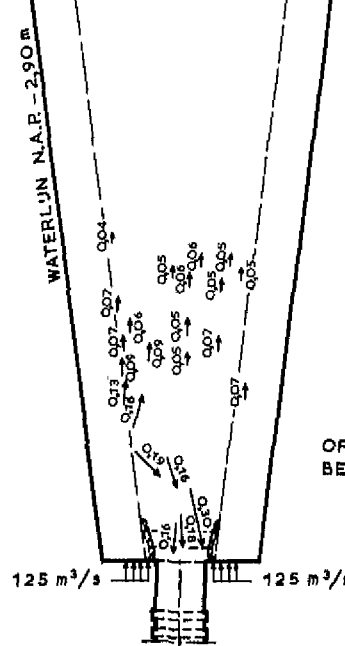
M. 1142

FIG. 50



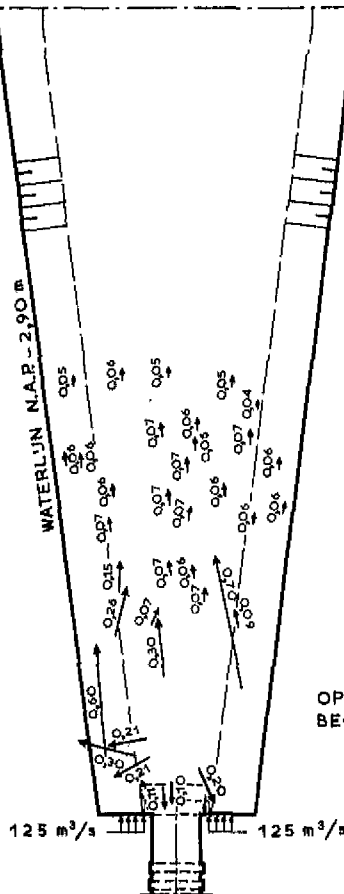
OPNAME 1

OPNAME 4.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



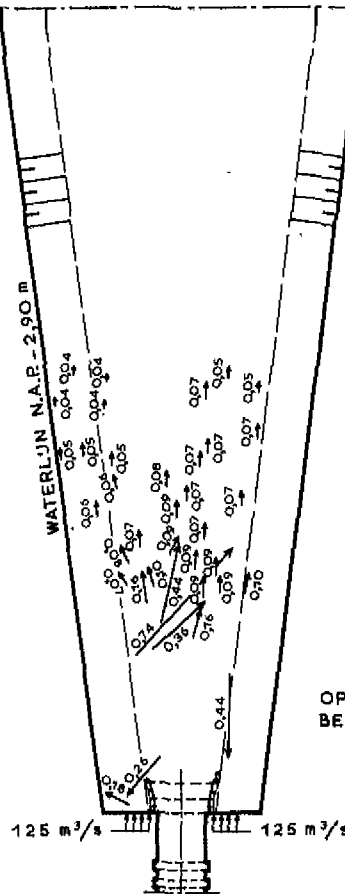
OPNAME 2

OPNAME 9.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 3

OPNAME 13.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 4

OPNAME 18.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS -
LEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE

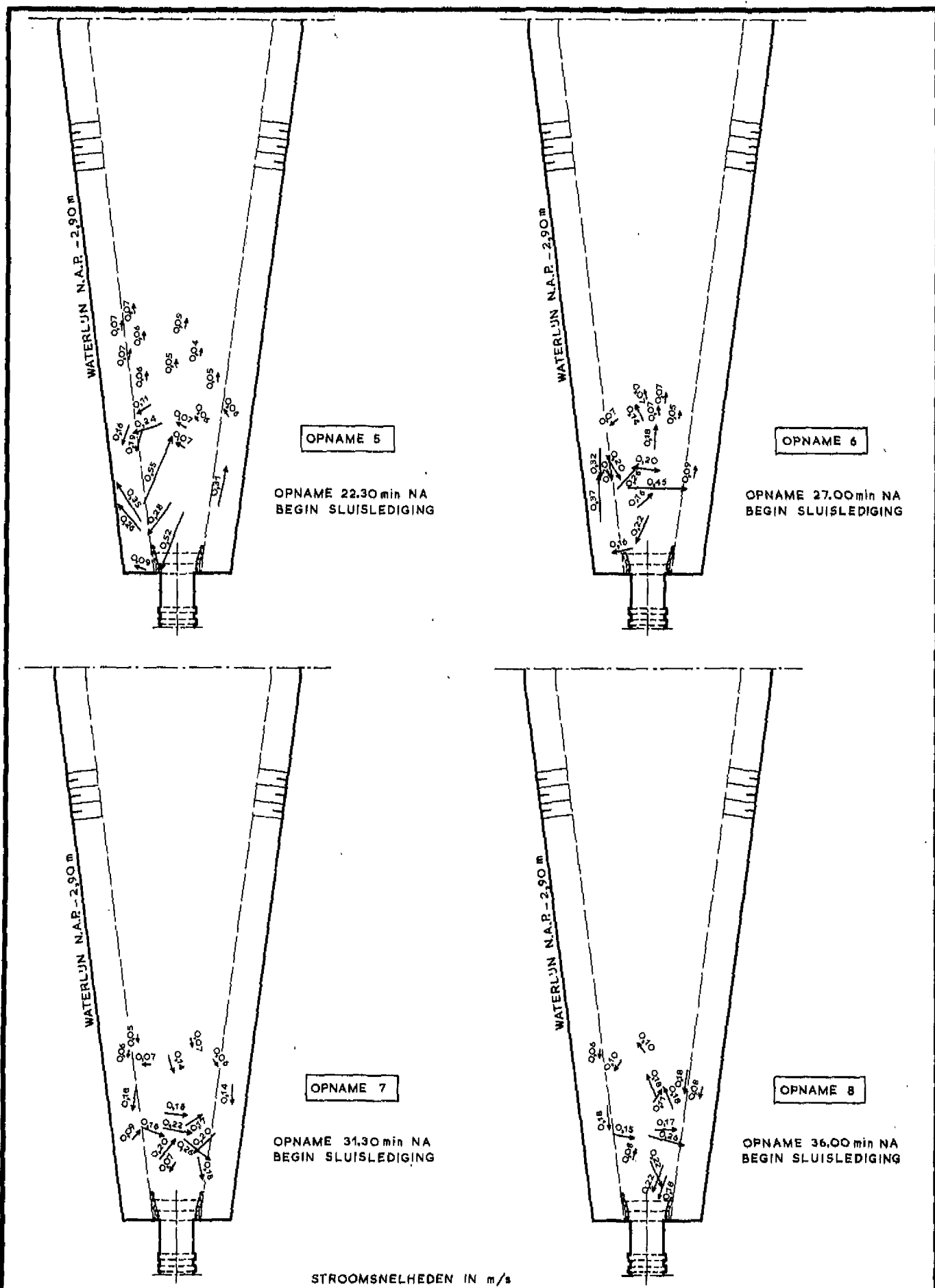
T9-1 opnamen
1,2,3 en 4

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 51 A



STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUISLEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE

T 9-1

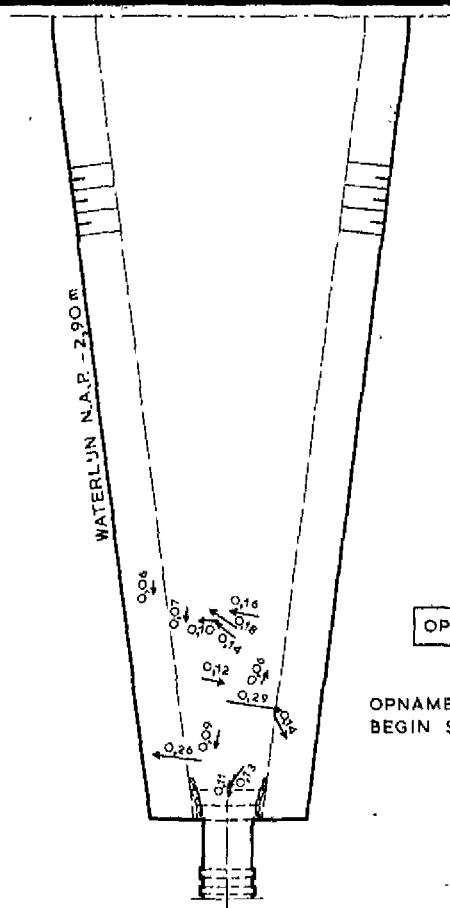
opnamen
5, 6, 7 en 8

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

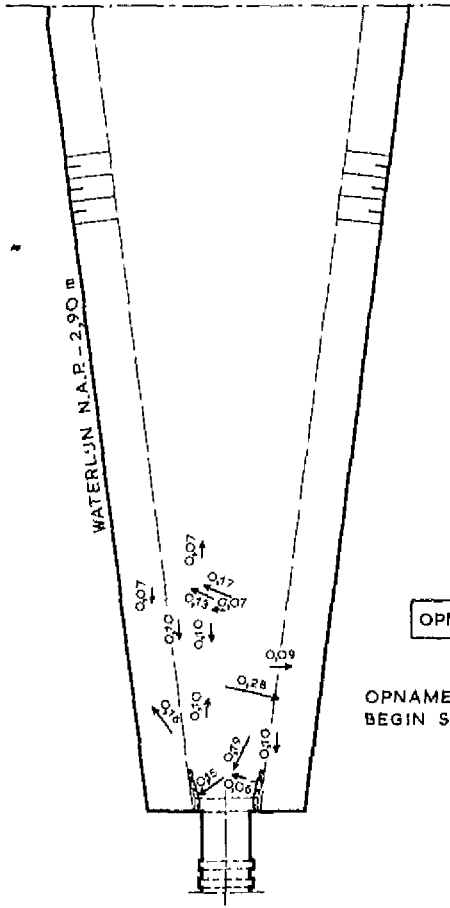
M. 1142

FIG. 51 B



OPNAME 9

OPNAME 40.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 10

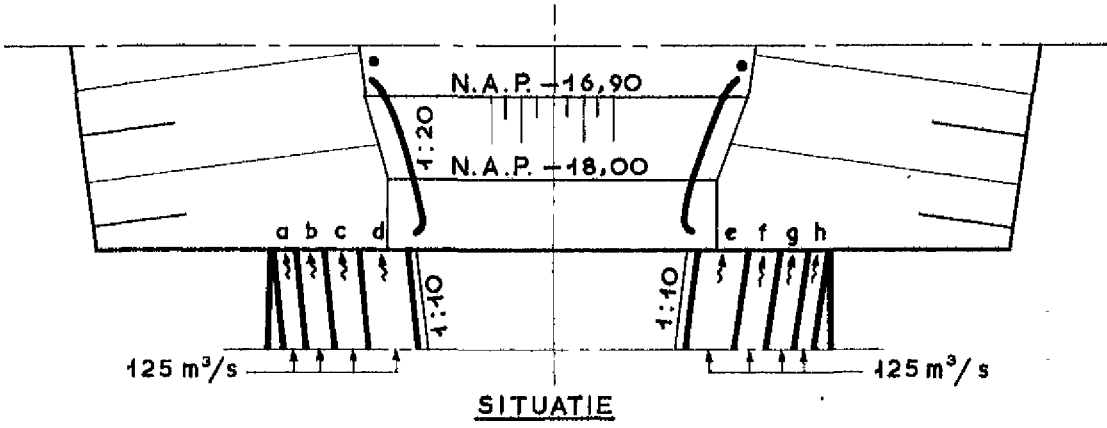
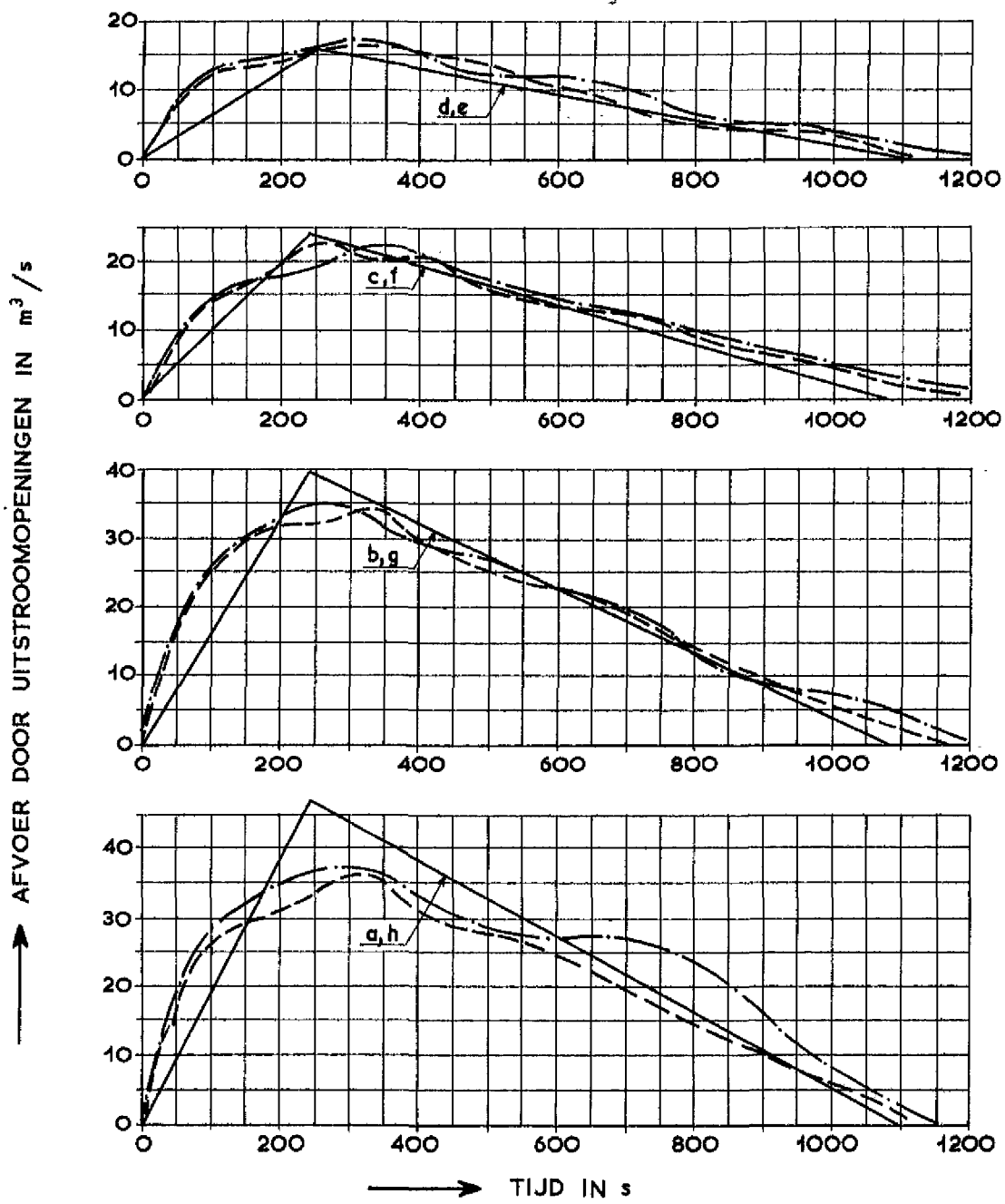
OPNAME 45.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUISLEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE

| | |
|-----------------|--------------------|
| T 9-1 | opnamen 9 en 10 |
| SCHAAL 1:10.000 | |
| M. 1142 | FIG. 51 C |

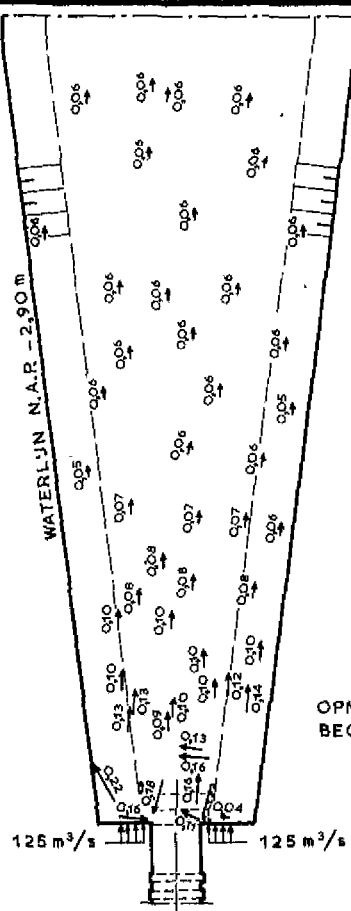
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM



————— gewenste afvoerverdeling
 - - - - - afvoerverdeling in model

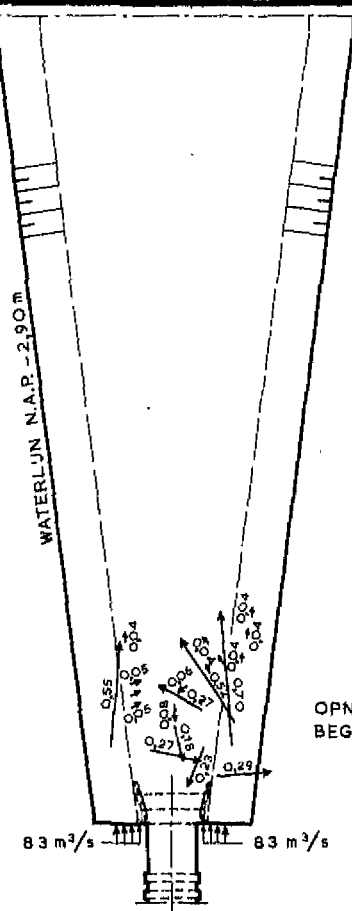
maten in m. prototype

| | | |
|--|---------------|---------|
| AFVOERVERDELING DOOR UITSTROOM- OPENINGEN BIJ SLUISKOLKLEDIGING | T 9-2 | |
| | SCHAAL 1:2000 | |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 52 |



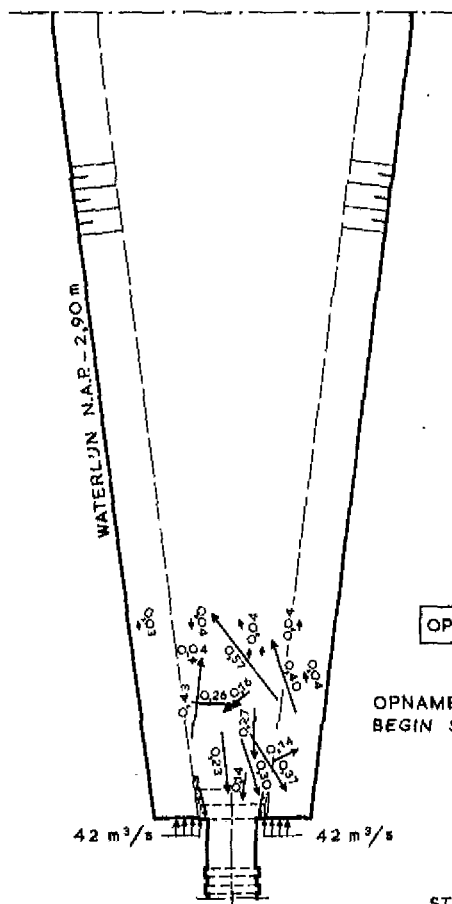
OPNAME 1

OPNAME 4.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



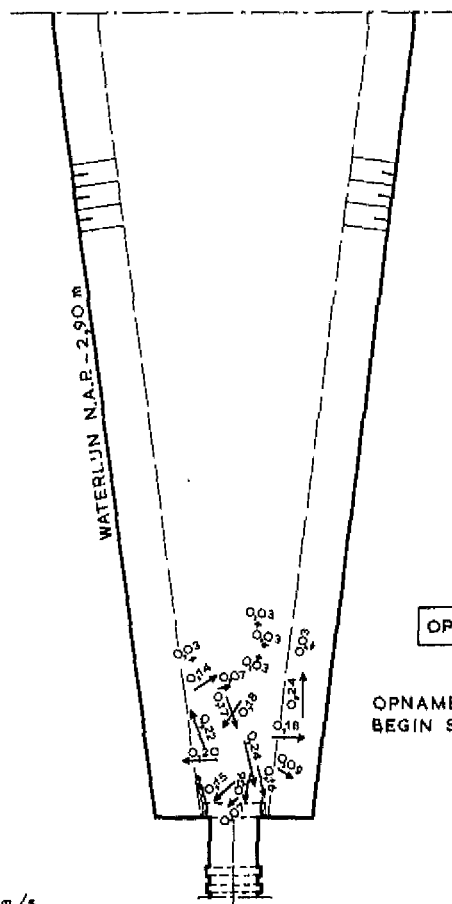
OPNAME 2

OPNAME 9.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 3

OPNAME 13.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 4

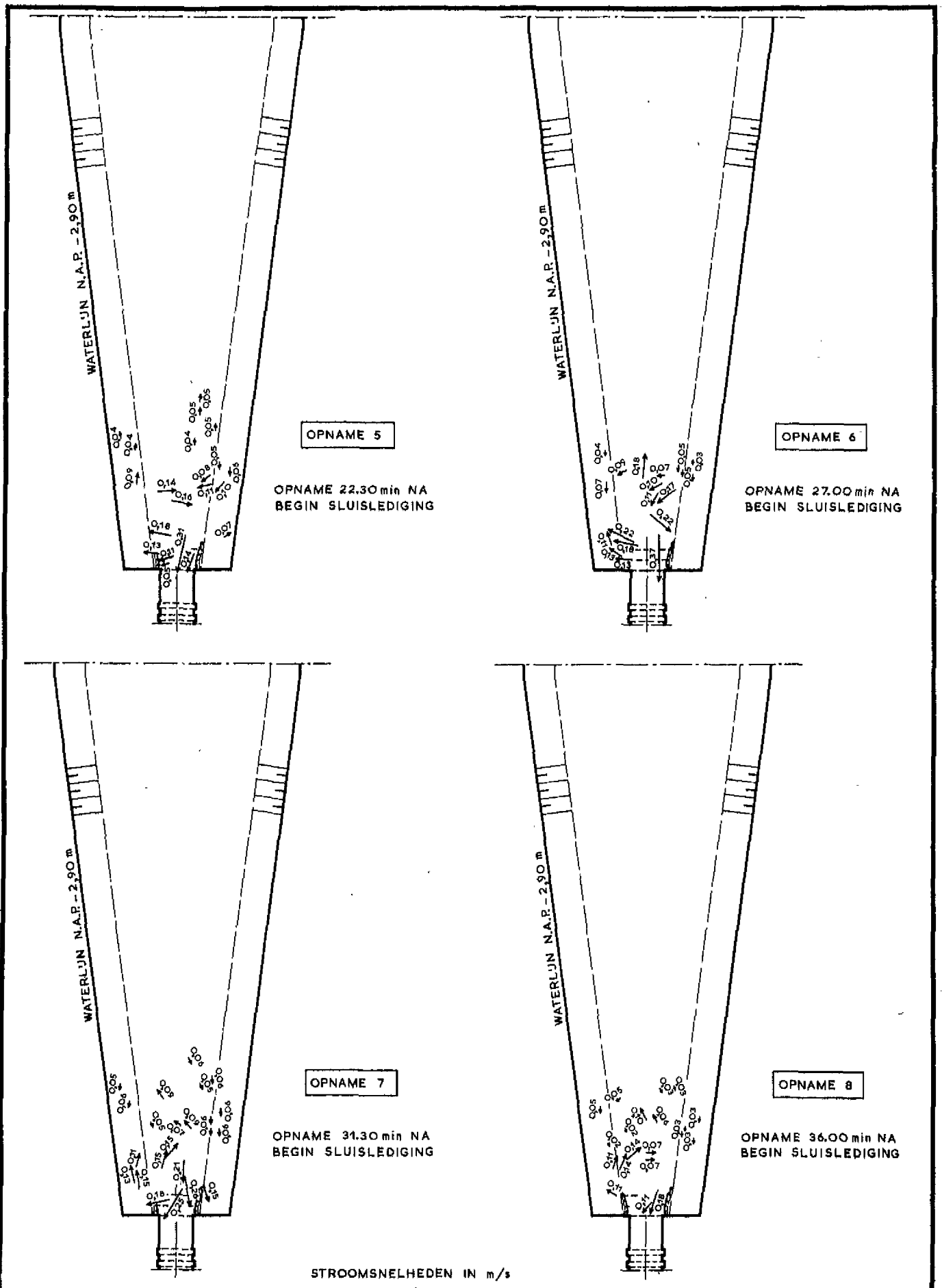
OPNAME 18.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS-
LEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE

| | |
|-----------------|-------------------------|
| T9-2 | opnamen 1, 2, 3 en 4 |
| SCHAAL 1:10.000 | |
| M. 1142 | FIG. 53 A |

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM



STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS-
LEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE

T 9-2

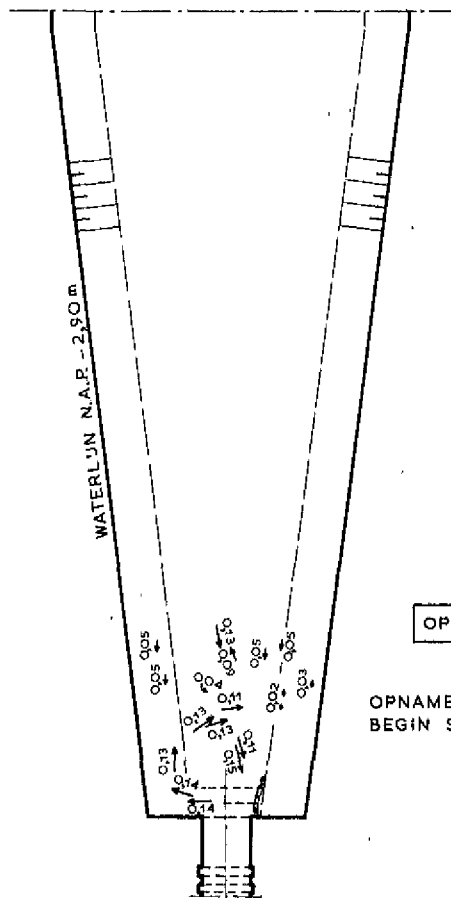
opnamen
5,6,7 en 8

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

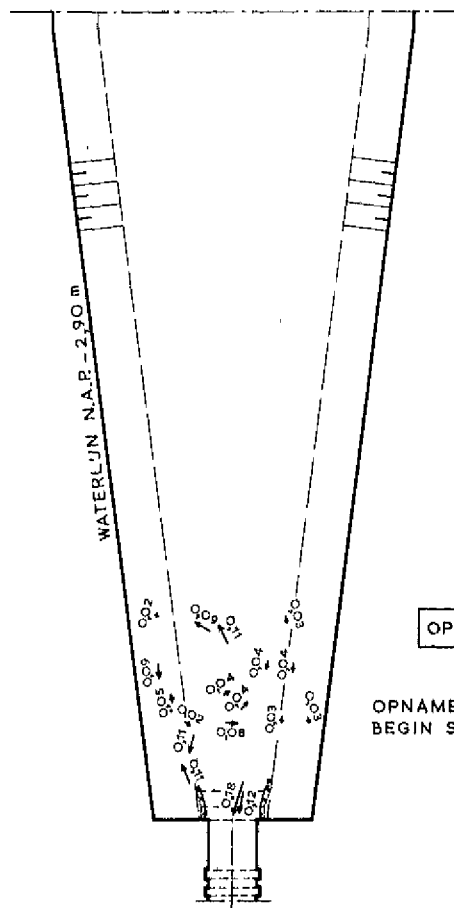
M. 1142

FIG. 53 B



OPNAME 9

OPNAME 40.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 10

OPNAME 46.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS-
LEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE

T9-2

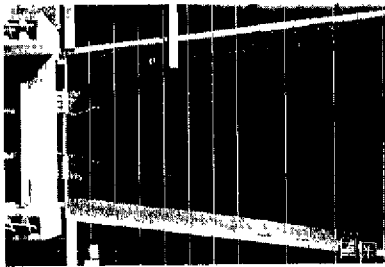
opnamen
9 en 10

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

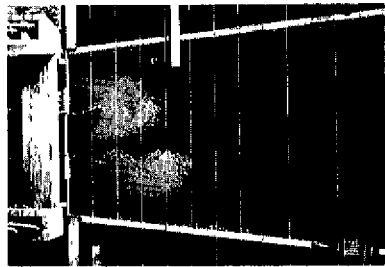
FIG. 53 C



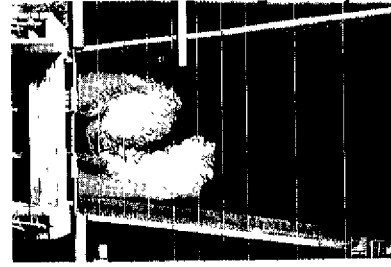
opname 1



opname 2



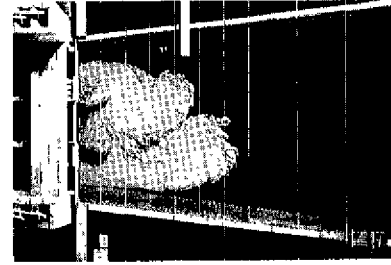
opname 3



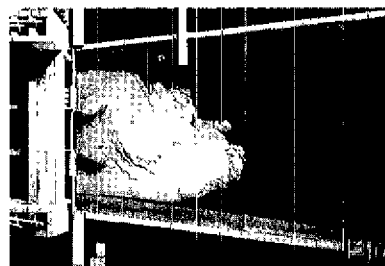
opname 4



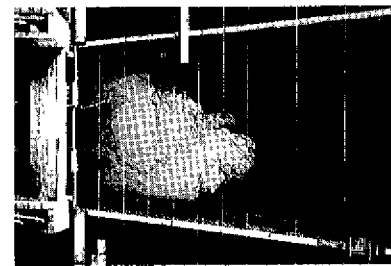
opname 5



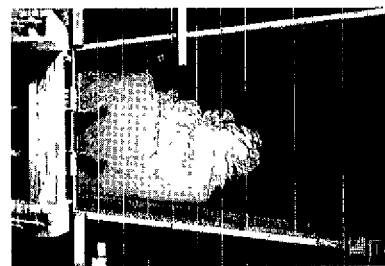
opname 6



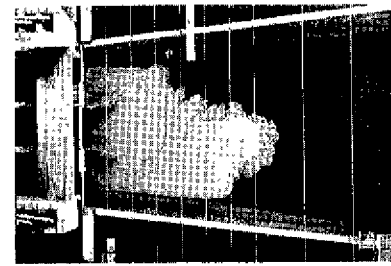
opname 7



opname 8

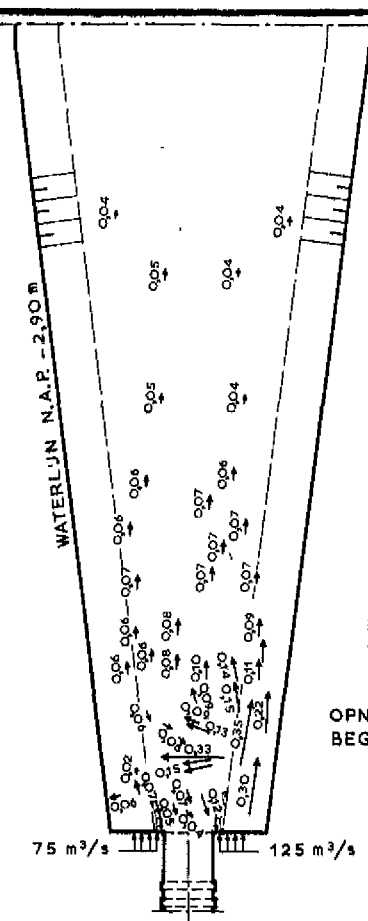


opname 9



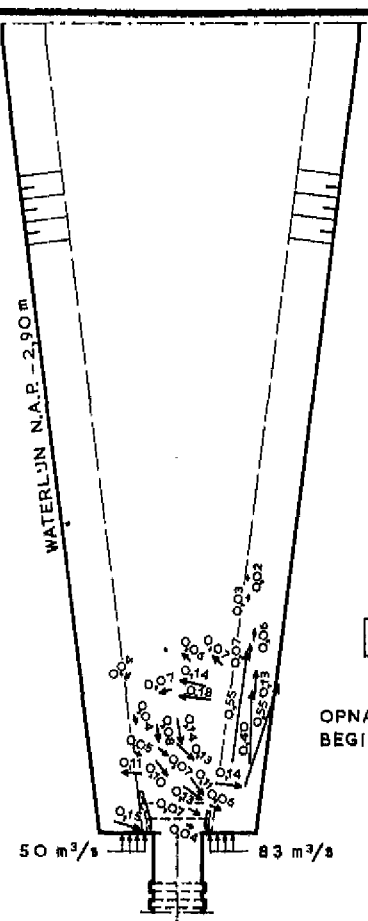
opname 10

Tijdsinterval van de opnamen 30 seconden (model)



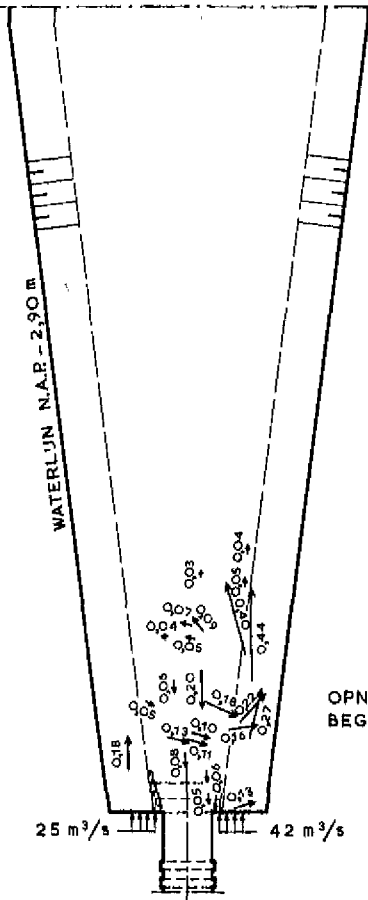
OPNAME 1

OPNAME 4.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



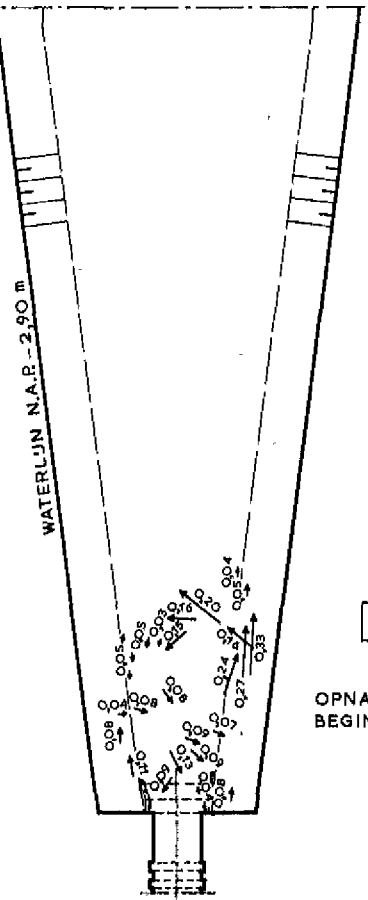
OPNAME 2

OPNAME 9.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 3

OPNAME 13.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



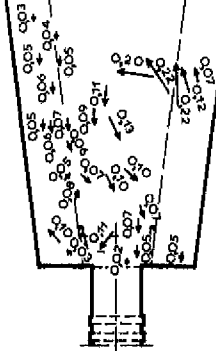
OPNAME 4

OPNAME 18.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

STROOMSNELHEDEN IN m/s

| | | |
|--|-----------------|--------------------|
| STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUISLEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE | T 9-3 | opnamen 1,2,3 en 4 |
| | SCHAAL 1:10.000 | |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 54 A |

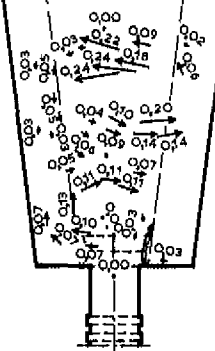
WATERLJN N.A.P. - 2,90 m



OPNAME 5

OPNAME 22,30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

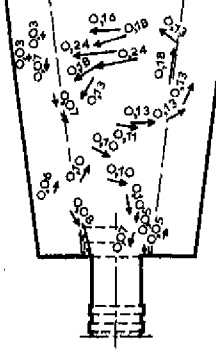
WATERLJN N.A.P. - 2,90 m



OPNAME 6

OPNAME 27,00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

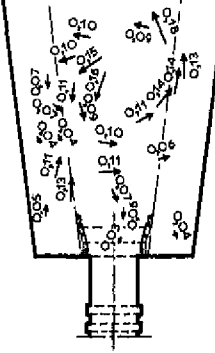
WATERLJN N.A.P. - 2,90 m



OPNAME 7

OPNAME 31,30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

WATERLJN N.A.P. - 2,90 m



OPNAME 8

OPNAME 36,00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS-
LEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE

T 9-3

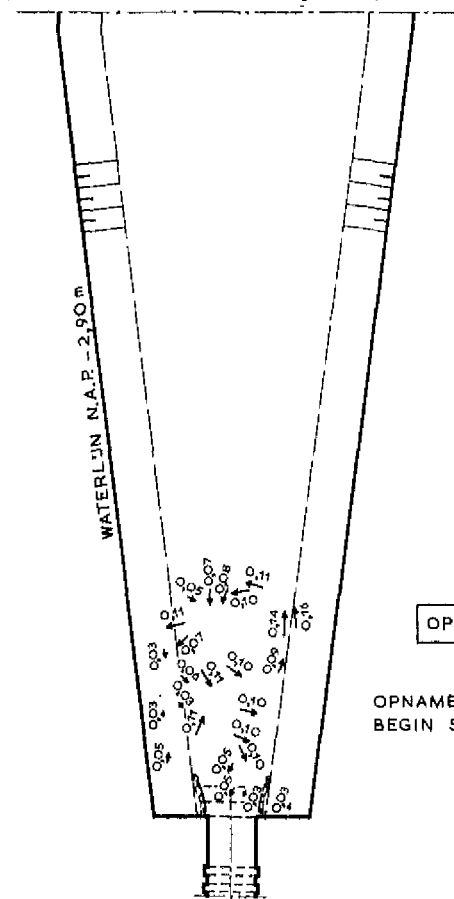
opnamen
5,6,7 en 8

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

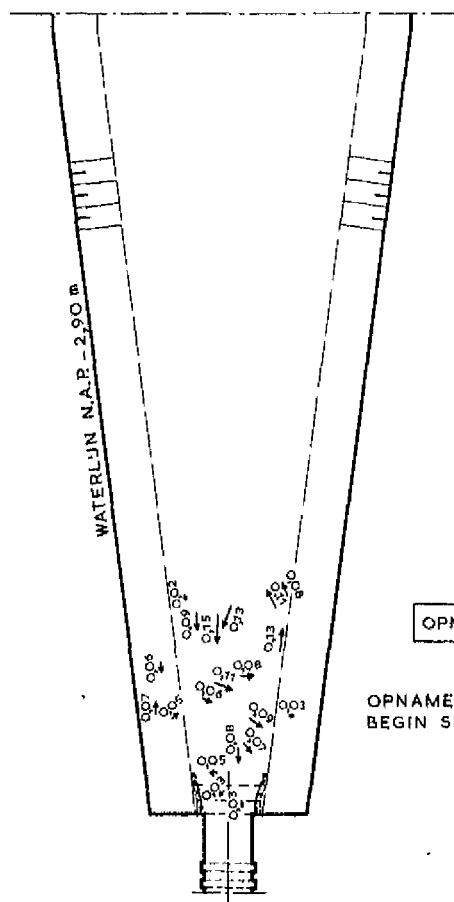
M. 1142

FIG. 54 B



OPNAME 9

OPNAME 40,30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 10

OPNAME 45,00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUISLEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE

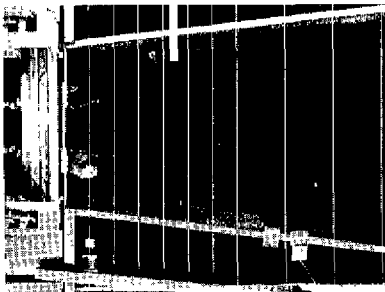
T9-3 opnamen 9 en 10

SCHAAL 1:10.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

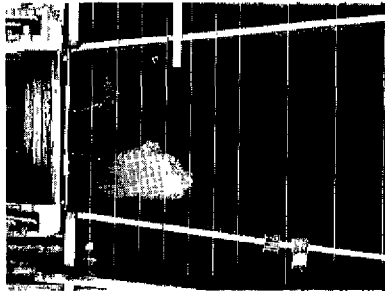
FIG. 54 C



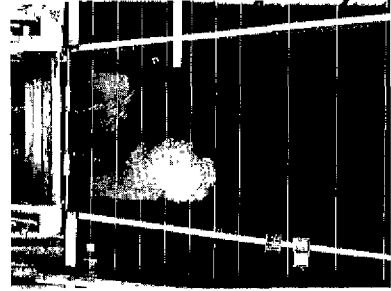
opname 1



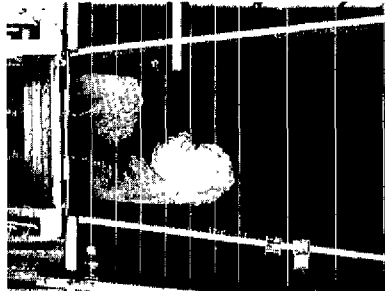
opname 2



opname 3



opname 4



opname 5



opname 6



opname 7



opname 8

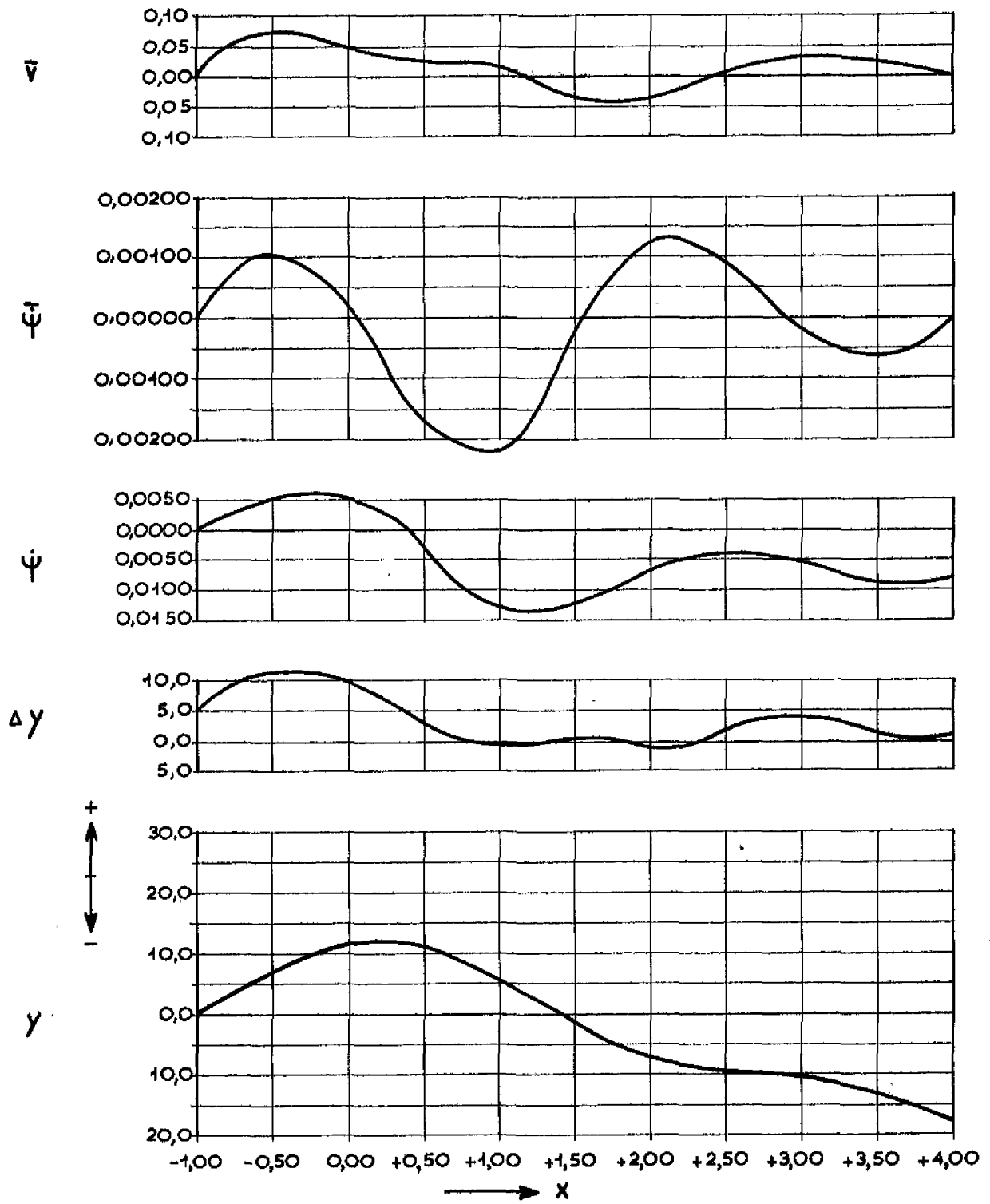


opname 9



opname 10

Tijdsinterval van de opnamen op 30 seconden (model)



x = afstand zwaartepunt schip tot sluisfront in m.
 y = afstand zwaartepunt schip tot sluisas in m.
 \bar{v} = stroomsnelheid in y -richting gemiddeld over de lengte van het schip in m/s.
 $\dot{\Psi}$ = koershoeknelheid gemiddeld over de lengte van het schip in rad./s.
 Ψ = hoek tussen de scheepsas en de sluisas in rad.

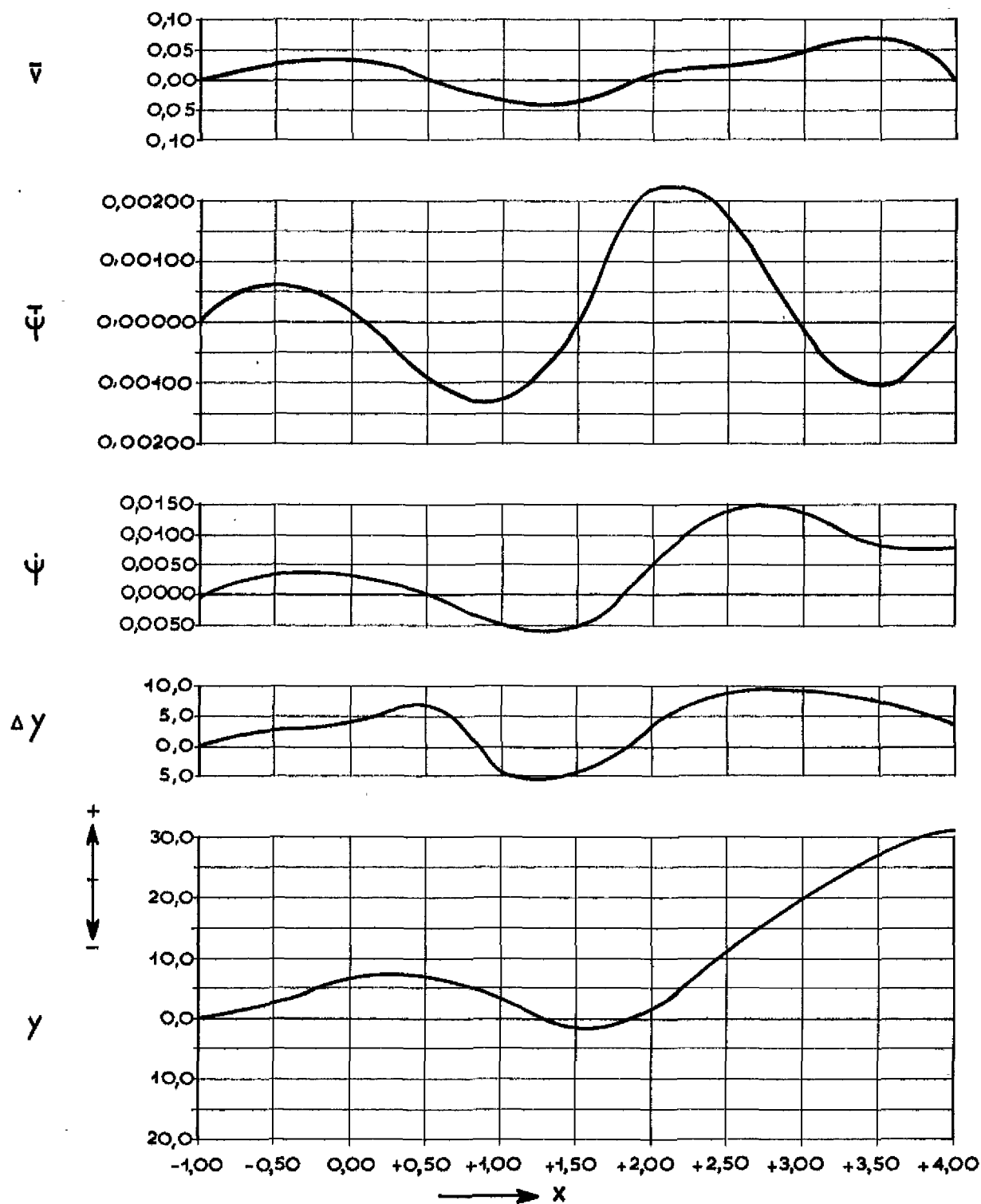
**GEDRAG VAN HET INVARENDE SCHIP
 (RESULTATEN ORIENTERENDE BEREKENING)**

T 9-3 opname 6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 55



x = afstand zwaartepunt schip tot sluisfront in m.

y = afstand zwaartepunt schip tot sluisas in m.

\bar{v} = stroomsnelheid in y -richting gemiddeld over de lengte van het schip in m/s.

$\bar{\Psi}$ = koershoeknelheid gemiddeld over de lengte van het schip in rad./s.

Ψ = hoek tussen de scheepsas en de sluisas in rad.

GEDRAG VAN HET UITVARENDE SCHIP
(RESULTATEN ORIENTERENDE BEREKENING)

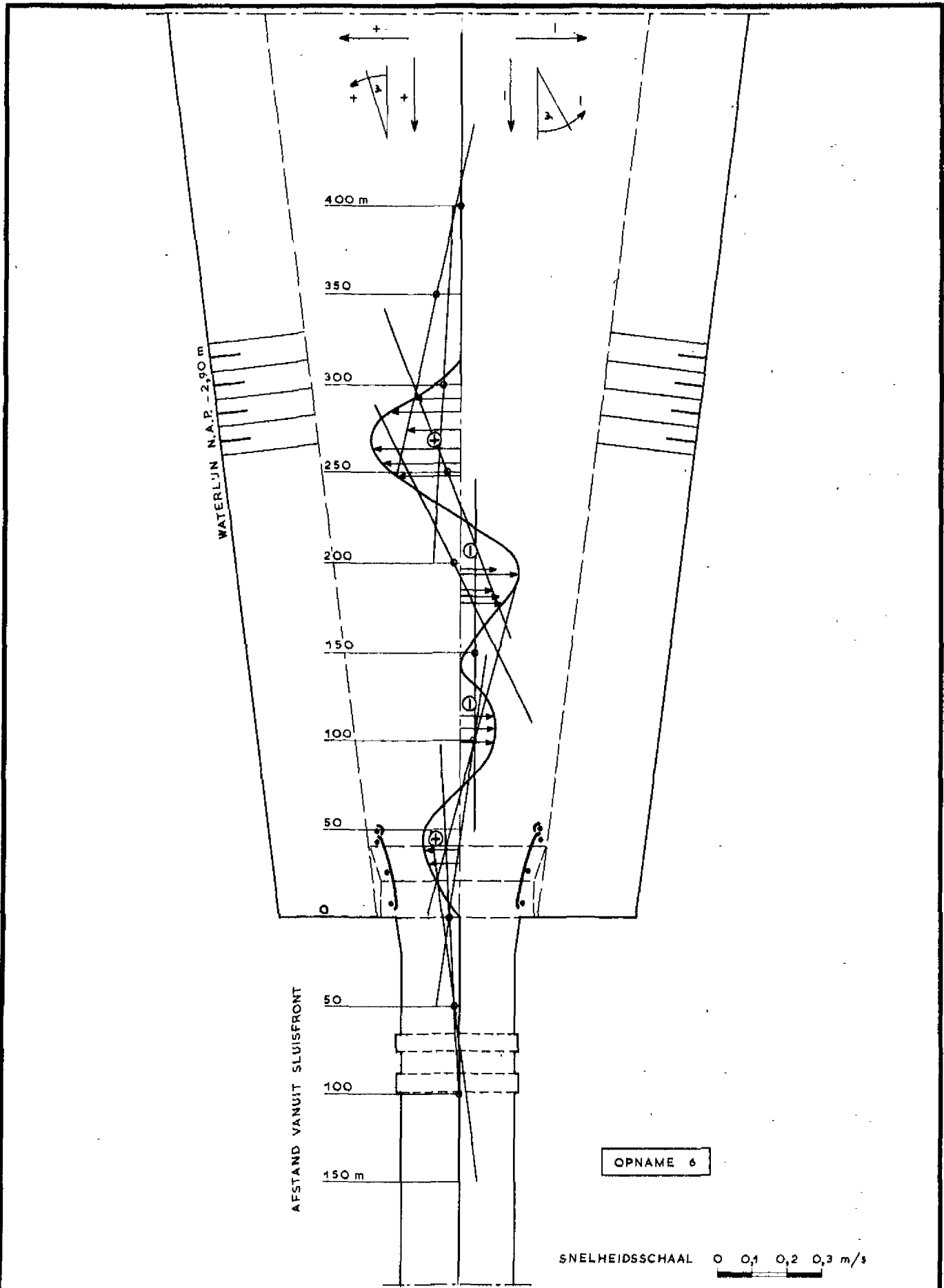
T 9-3

opname 6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 56



STROOMSNELHEIDSVERDELING EN BUDE -
 HORENDE DWARS- EN KOERSHOEKSNELHEID
 VAN HET IN- EN UITVARENDE SCHIP

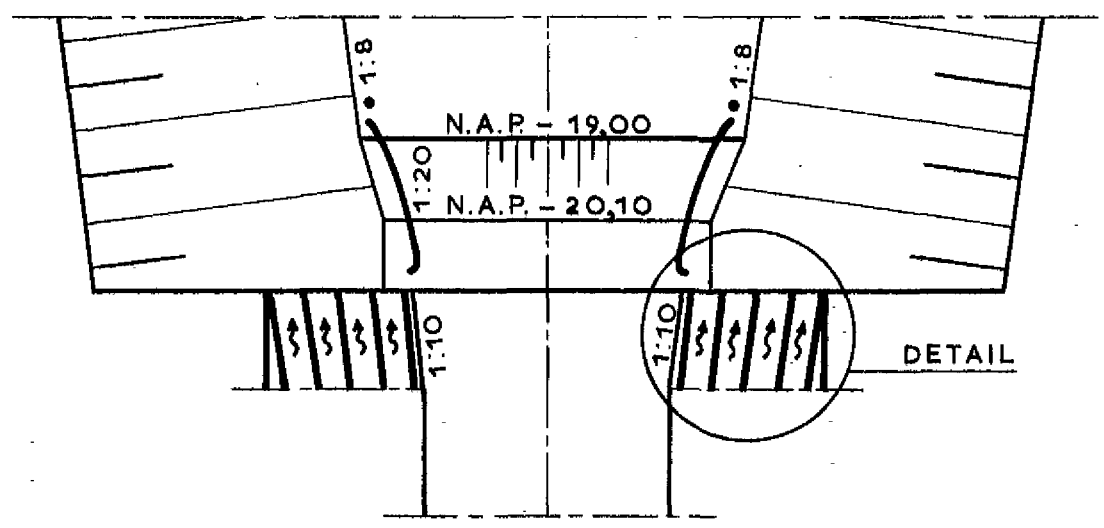
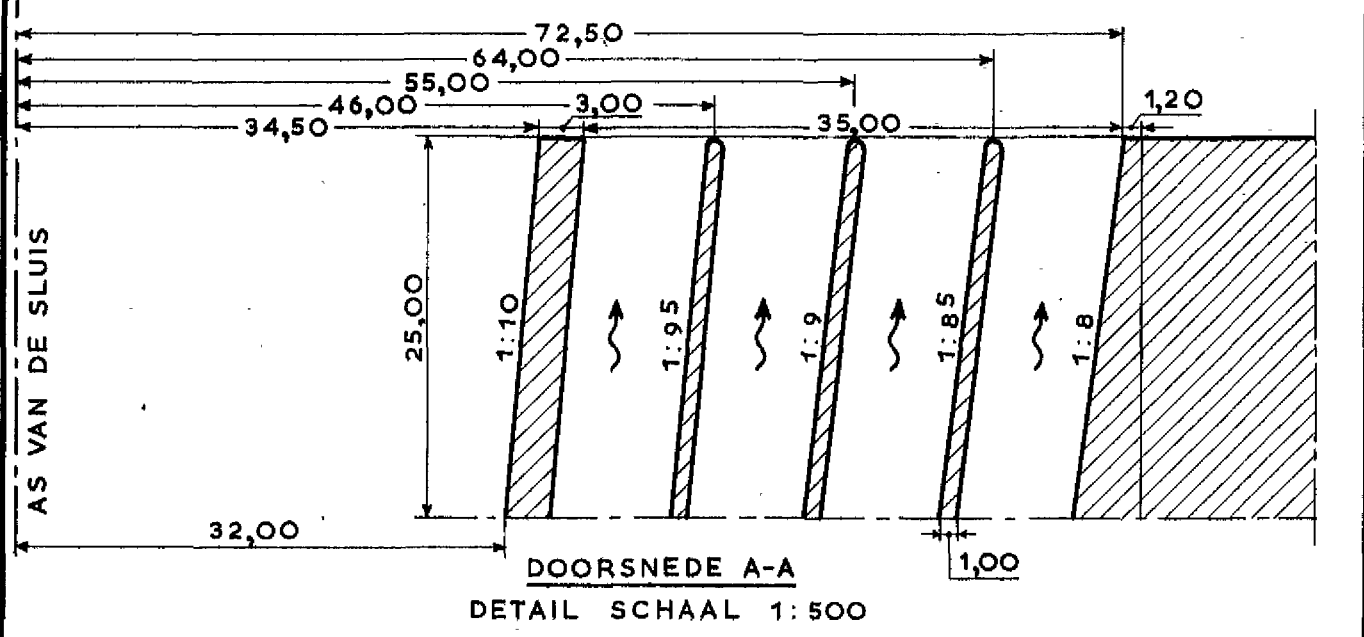
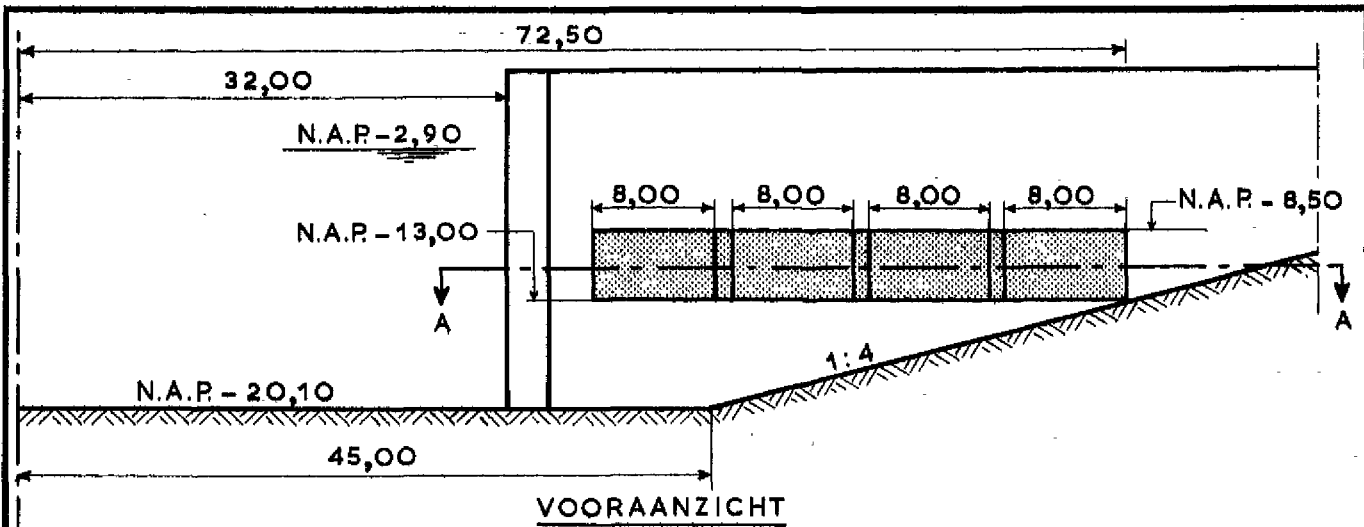
T9-3

opname 6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 57



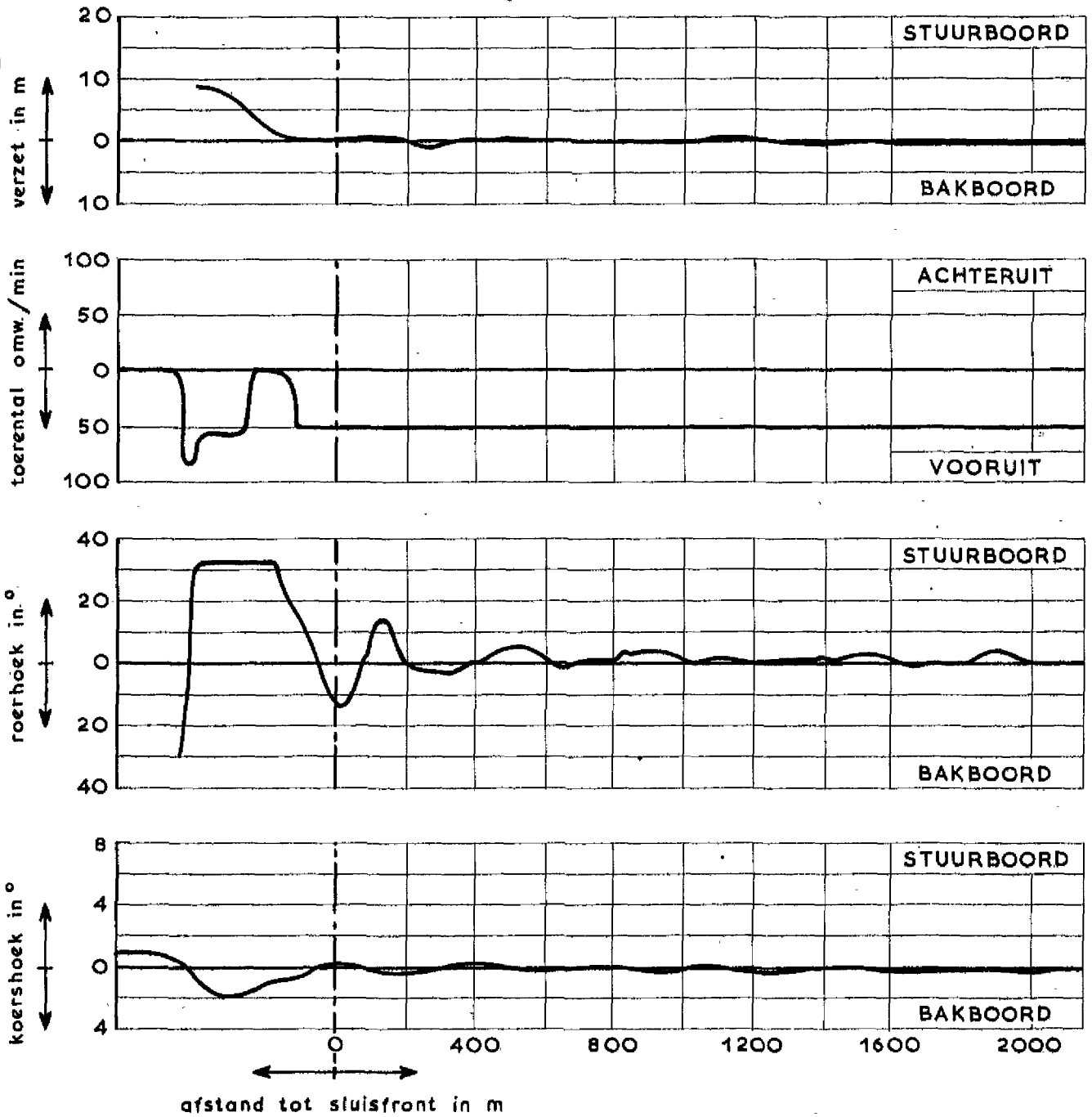
SITUATIE UITSTROOMOPENINGEN
SCHAAL 1:2000

maten in m. prototype

| | | |
|---|---------|-----------------|
| SITUATIE EN DETAIL UITSTROOMOPENINGEN IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE | T 10 | |
| | SCHALEN | 1:2000 1:500 |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 58 |

randvoorwaarden: met maximum debieten van $2 \times 125 \text{ m}^3/\text{s}$
 symmetrische driehoeklozing sluiskolk
 debietverdeling gelijkmatig
 snelheid tanker 2,00 m/s

vaarrichting



opname no. zie foto 38

12 9 6 3 1

tijdstip na begin sluislediging

31.30 min

boeg schip

22.30 min

boeg schip

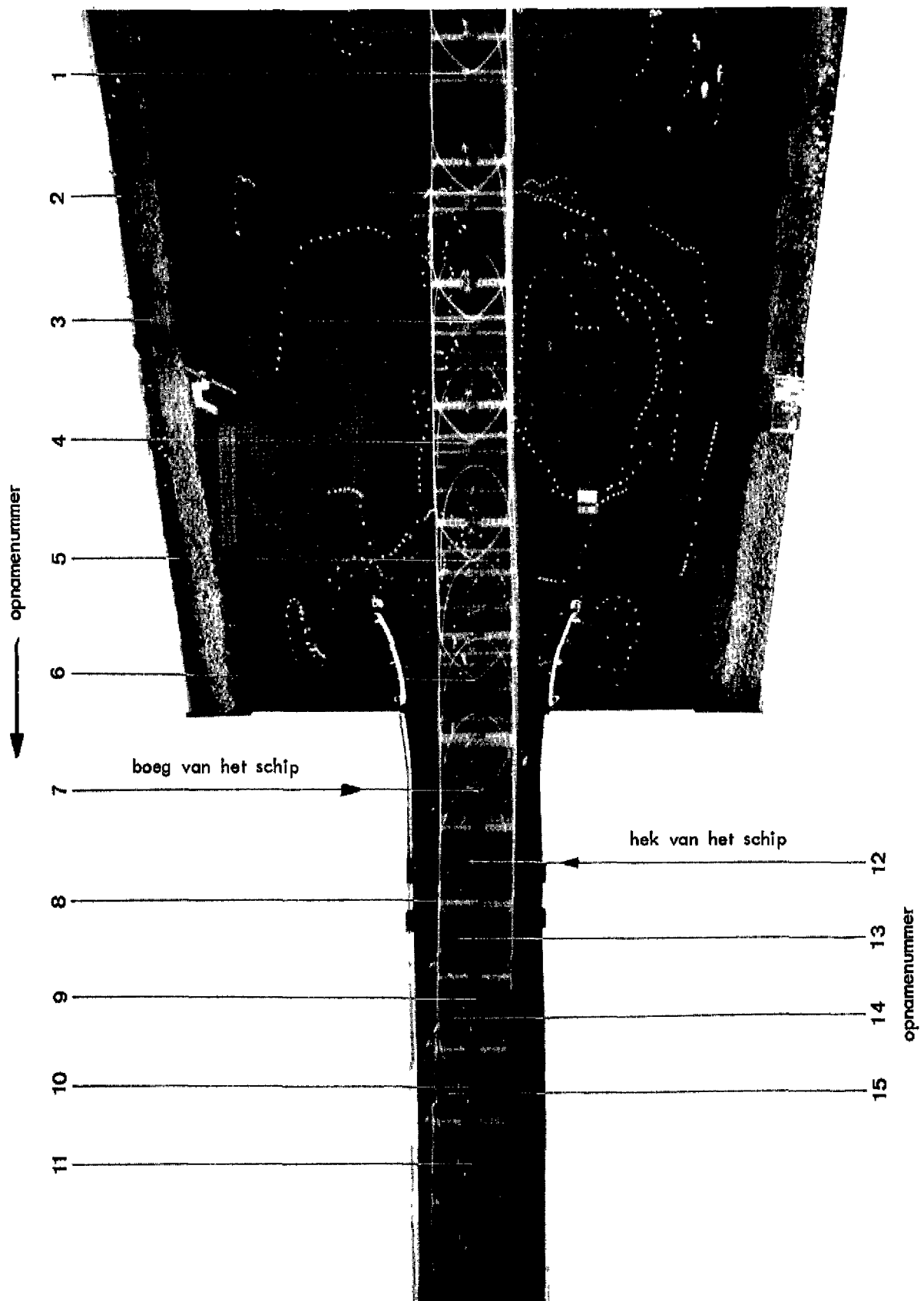
GEDRAG INVARENDE TANKER TUDENS
 SLUISKOLKLEDIGING IN VOORHAVEN
 WESTERSCHELDE

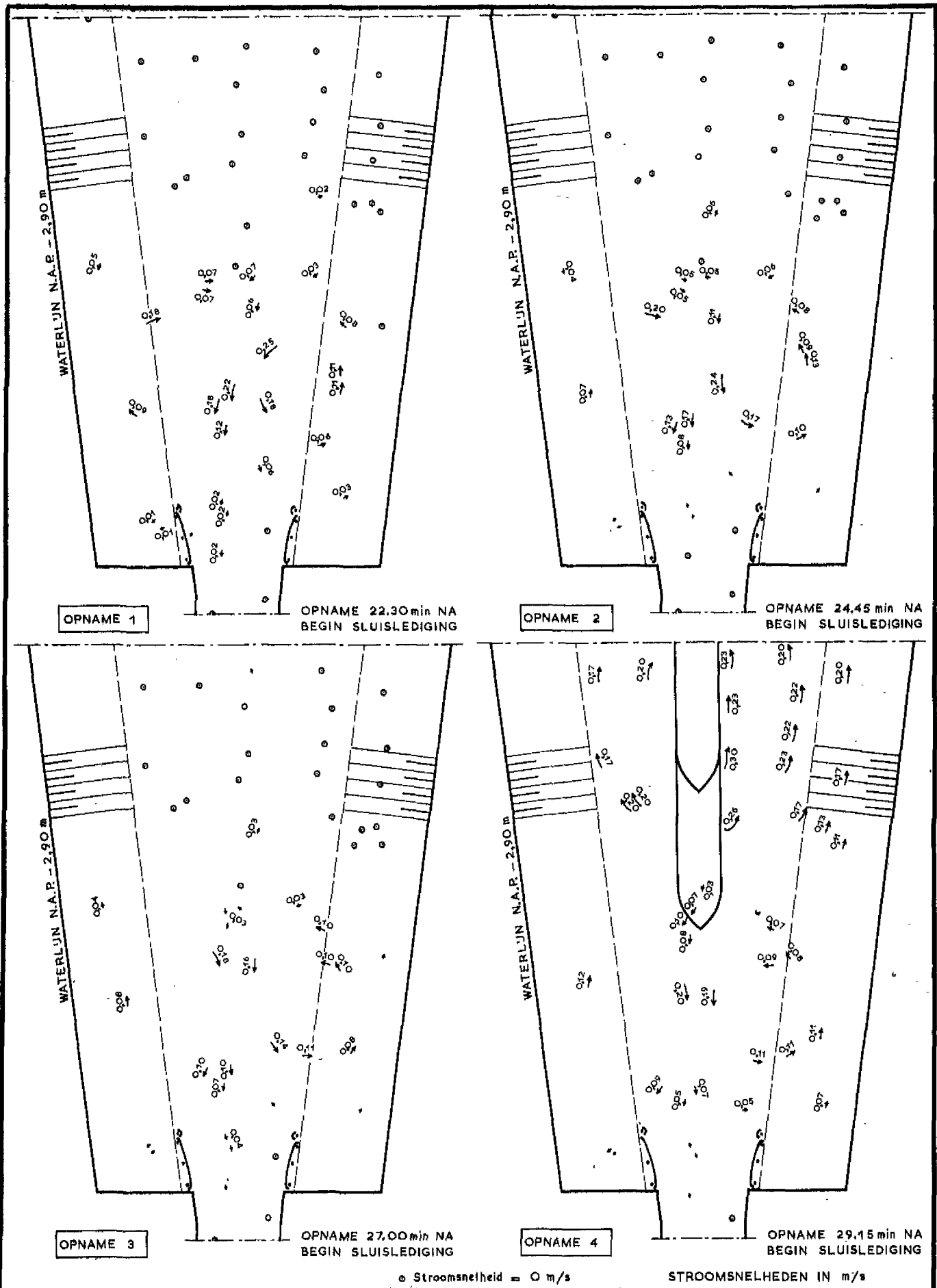
T10-1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 59





STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS-
LEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE

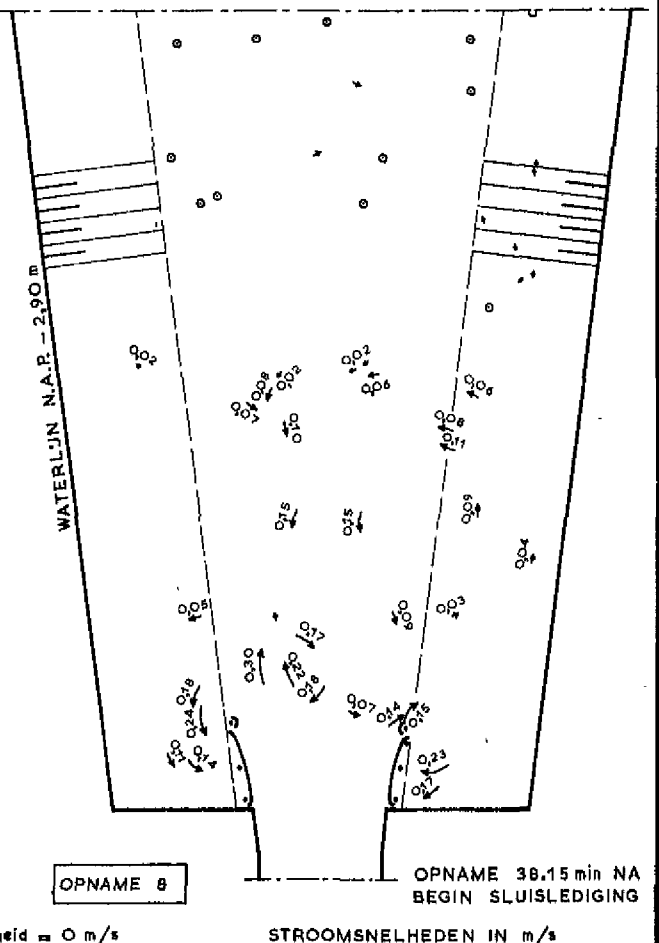
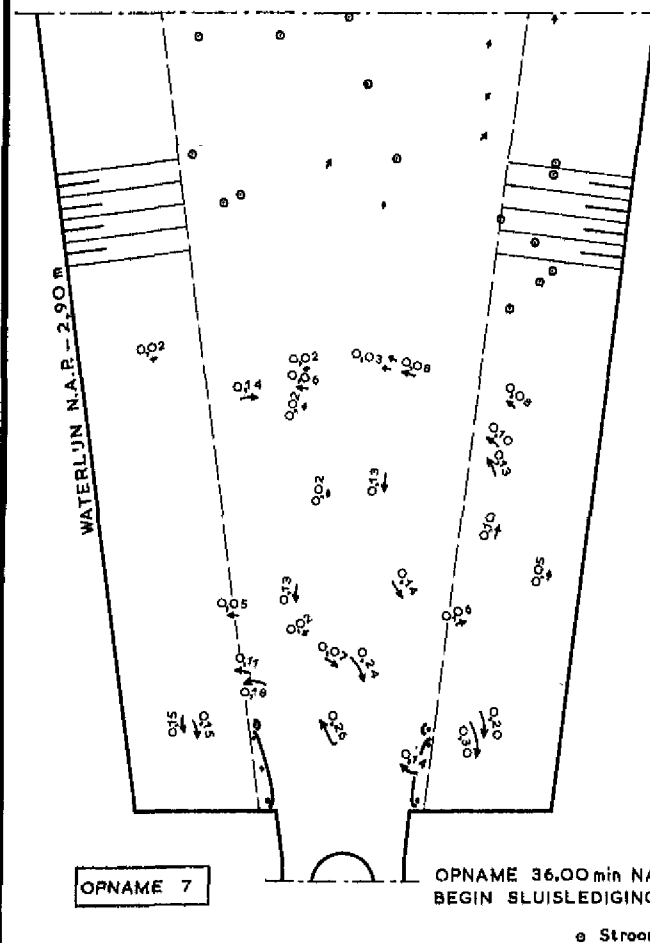
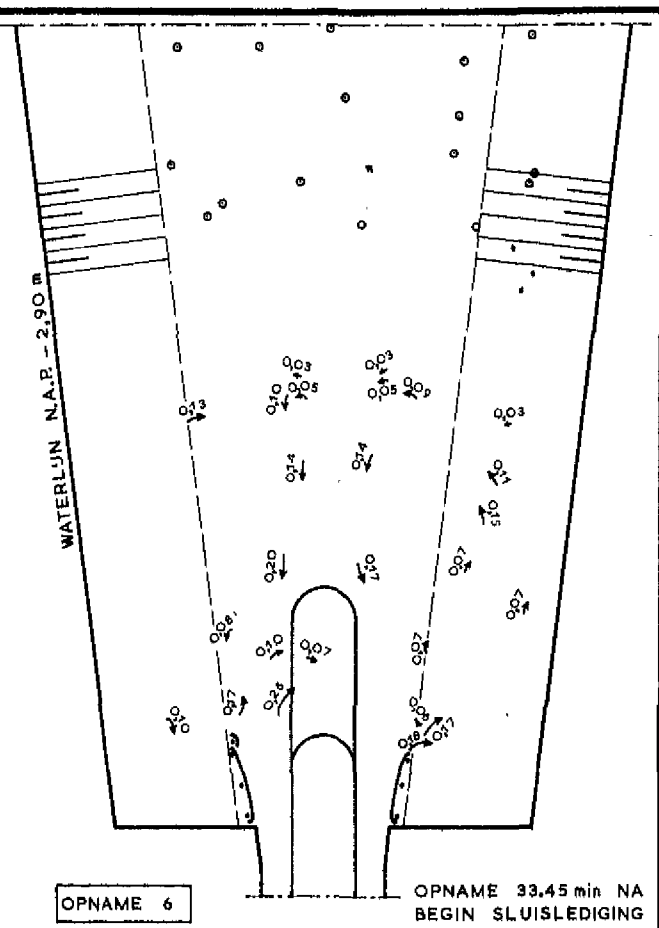
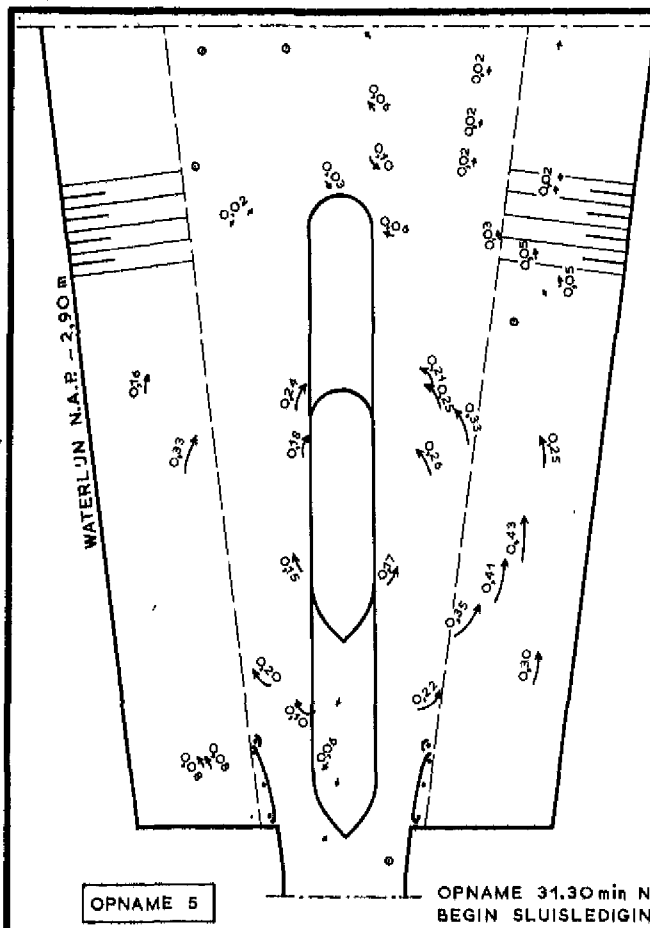
T10-1 opnamen
1,2,3 en 4

SCHAAL 1:4.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 60A



o Stroomsnelheid = 0 m/s

STROOMSNELHEDEN IN m/s

**STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS-
LEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHDELDE**

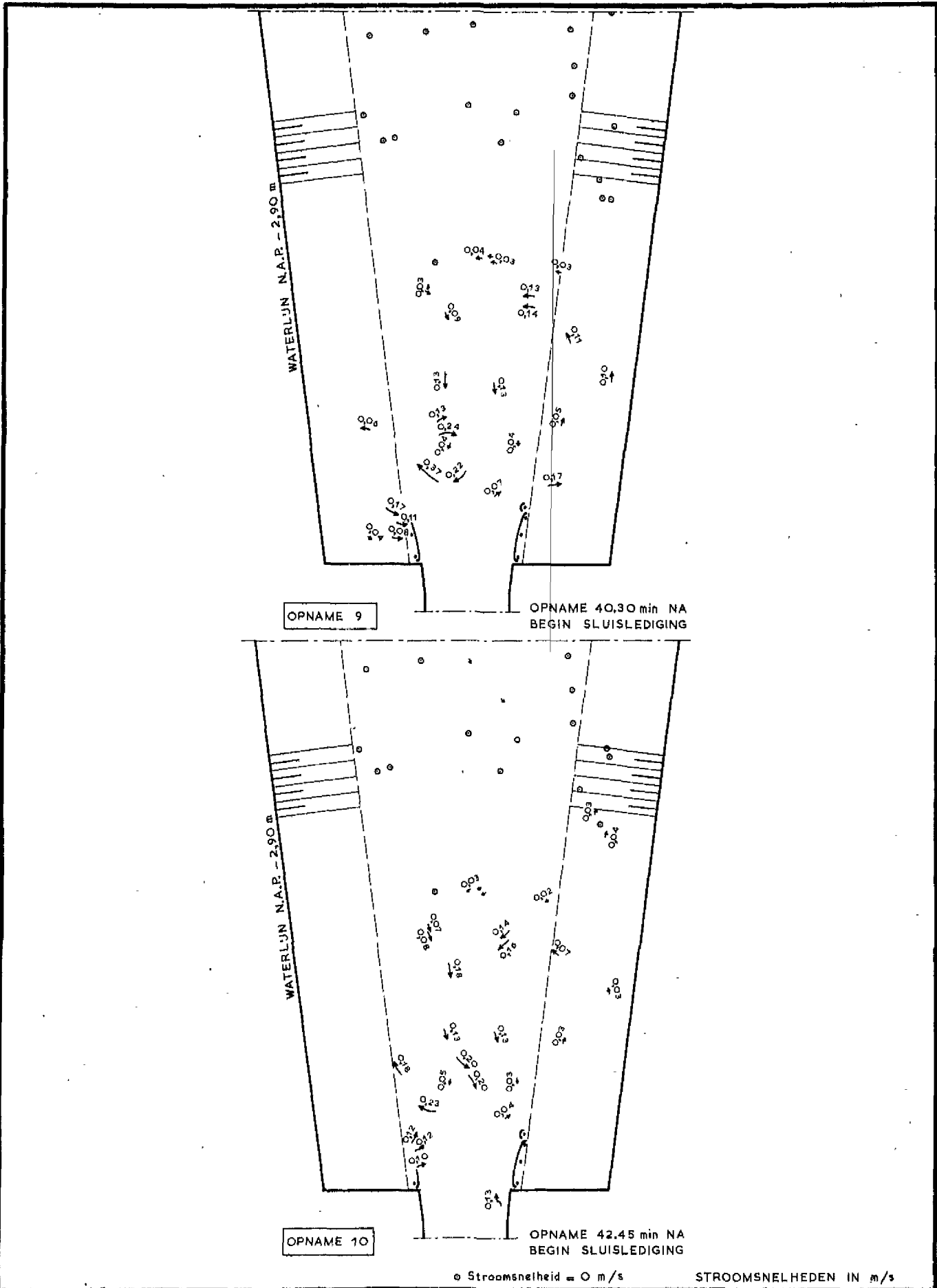
**T 10-1 opnamen
5, 6, 7 en 8**

SCHAAL 1:4.000

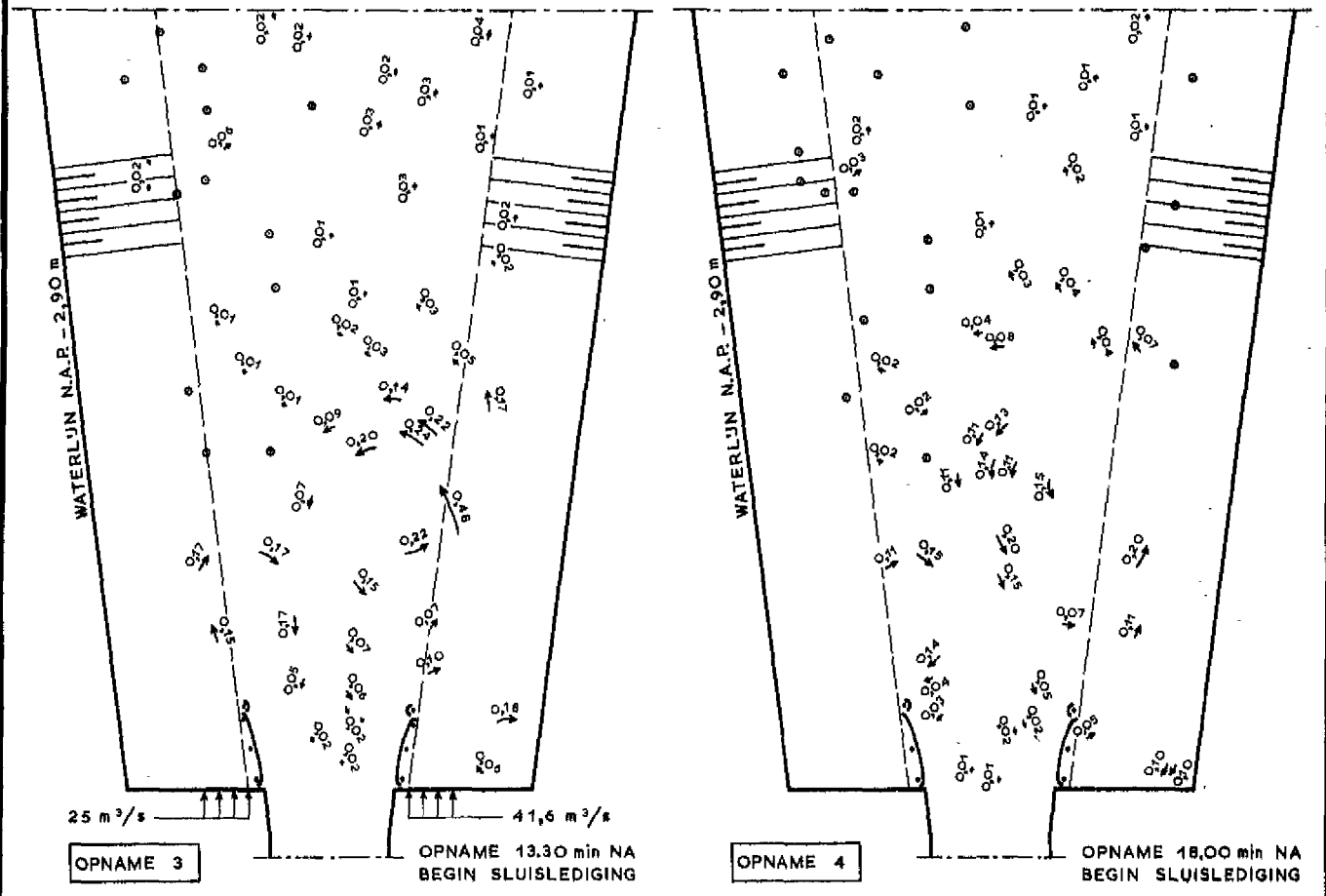
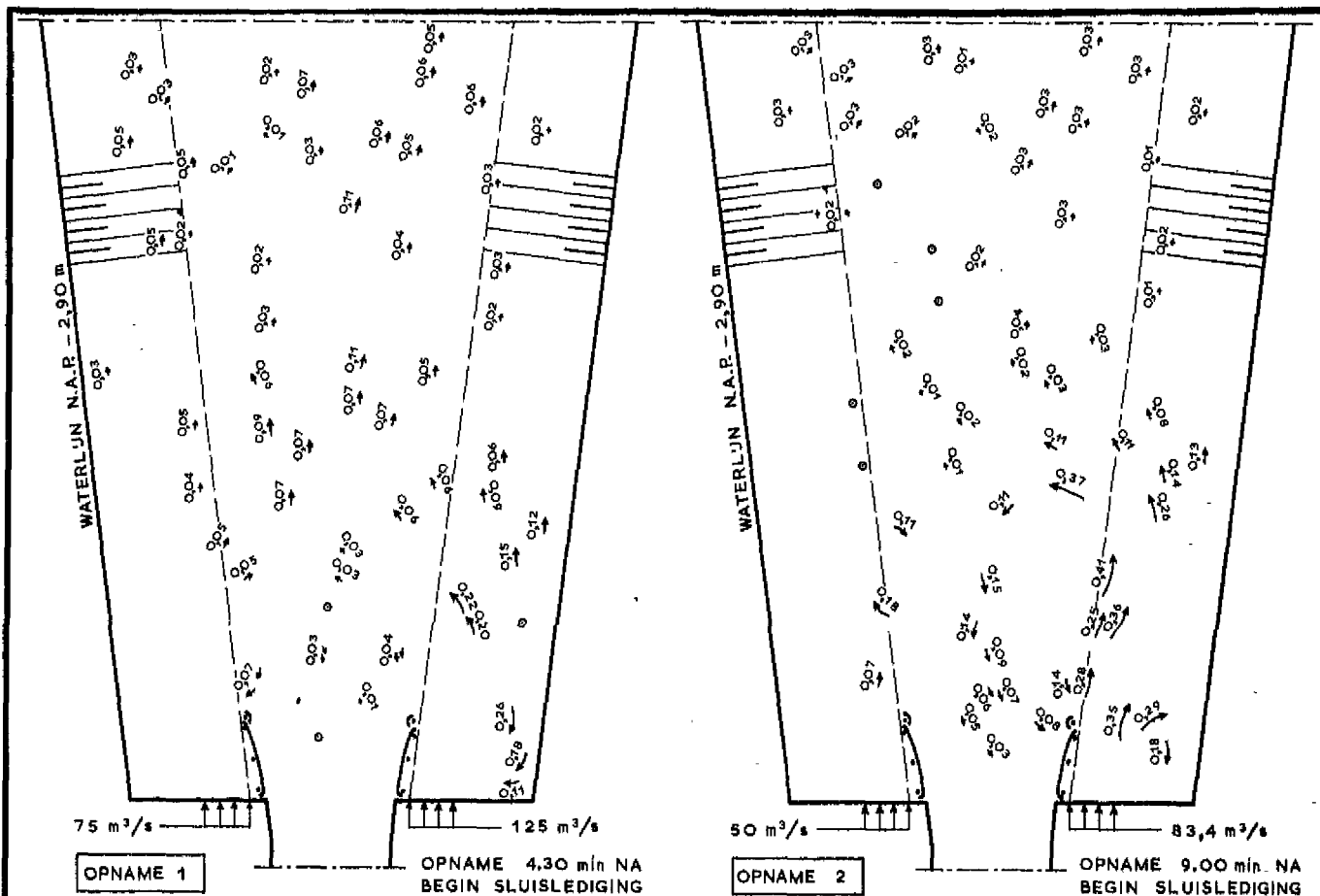
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 60B



| | | |
|---|------------------|-------------------|
| STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS- LEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE | T 10-1 | opname 9 en 10 |
| | SCHAAL 1 : 4.000 | |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 60 C |



o Stroomsnelheid = 0 m/s

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUISLEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHDELDE

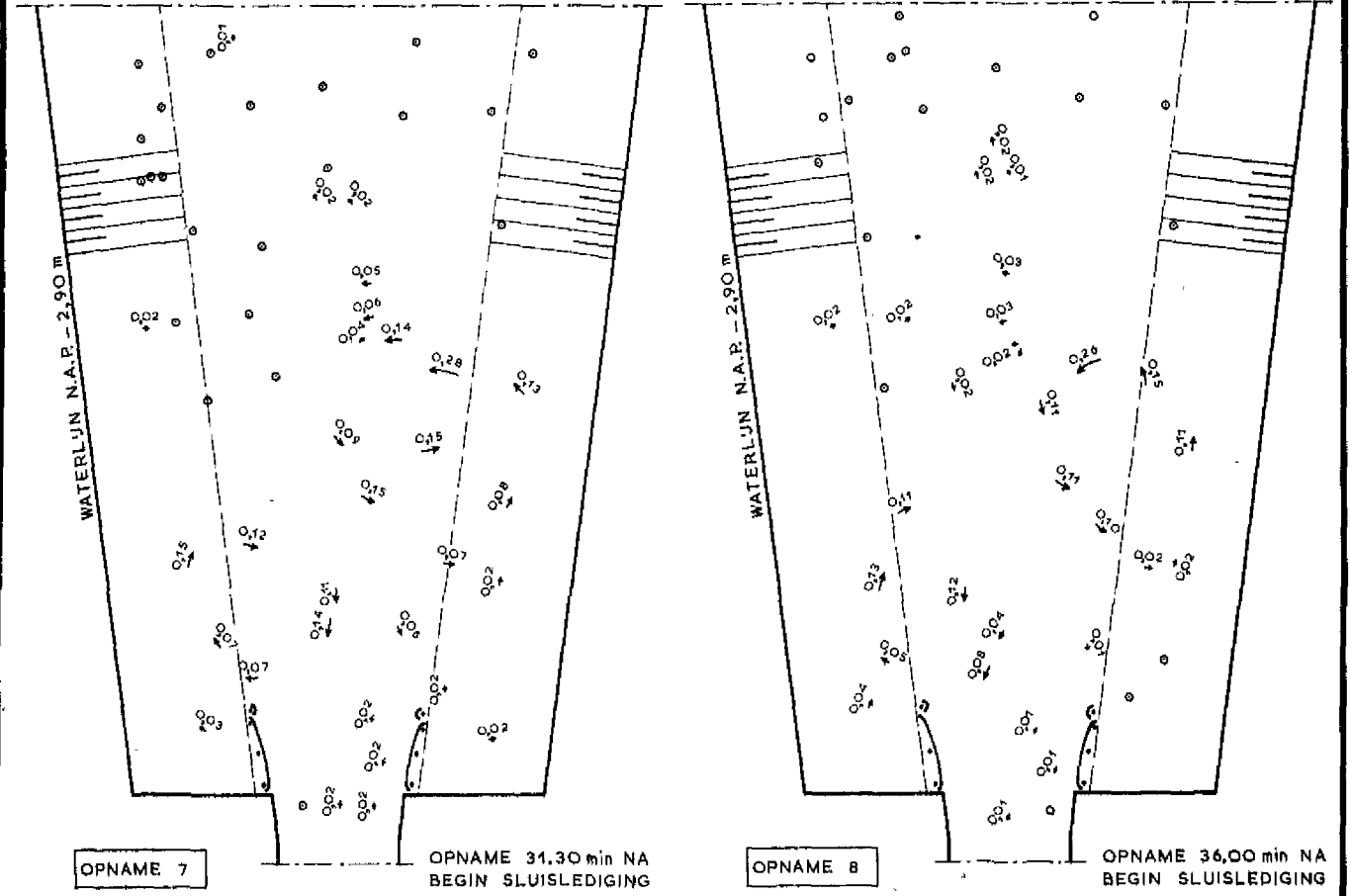
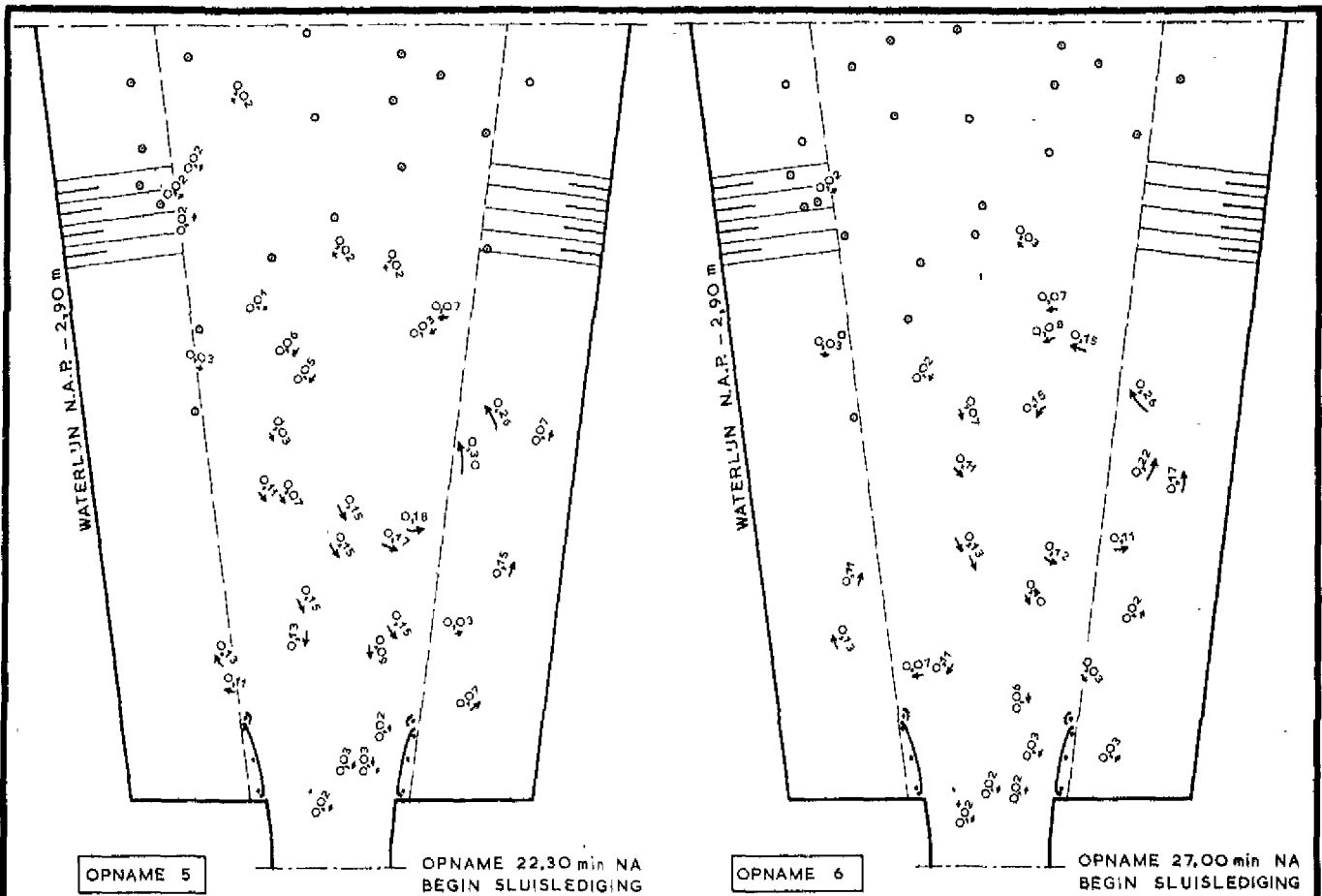
T10-2 opname 1,2,3 en 4

SCHAAL 1:4.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

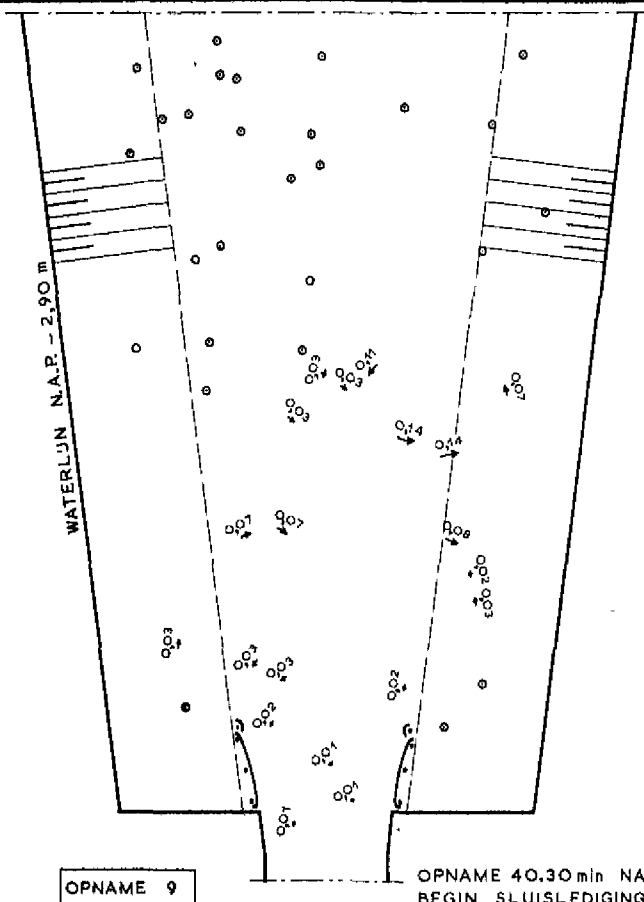
FIG. 61 A



o Stroomsnelheid = 0 m/s

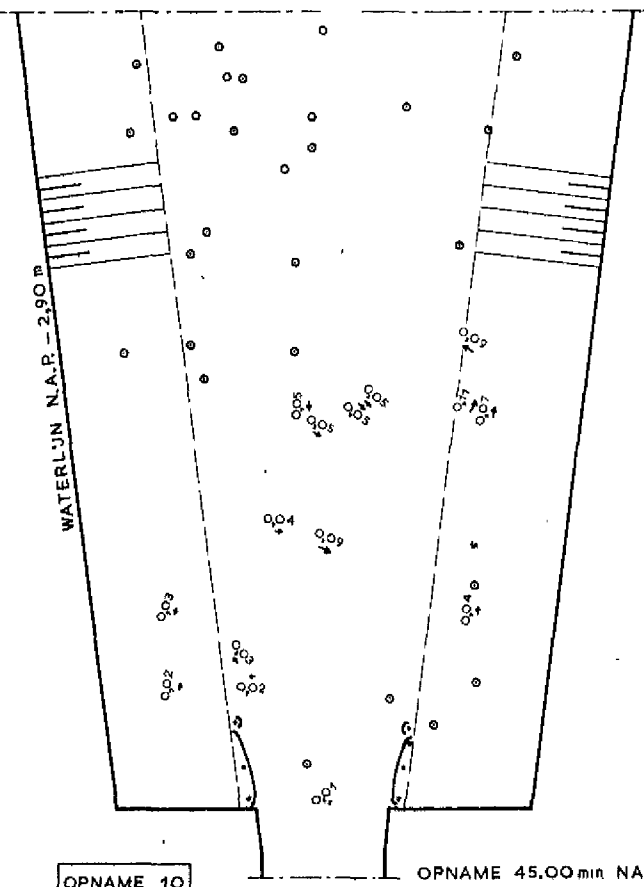
STROOMSNELHEDEN IN m/s

| | | |
|---|-----------------|----------------------|
| STROOMBEELD EN SNELHEDEN BU SLUISLEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE | T10-2 | opname 5,6,7 en 8 |
| | SCHAAL 1: 4.000 | |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 61 B |



OPNAME 9

OPNAME 40.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 10

OPNAME 45.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

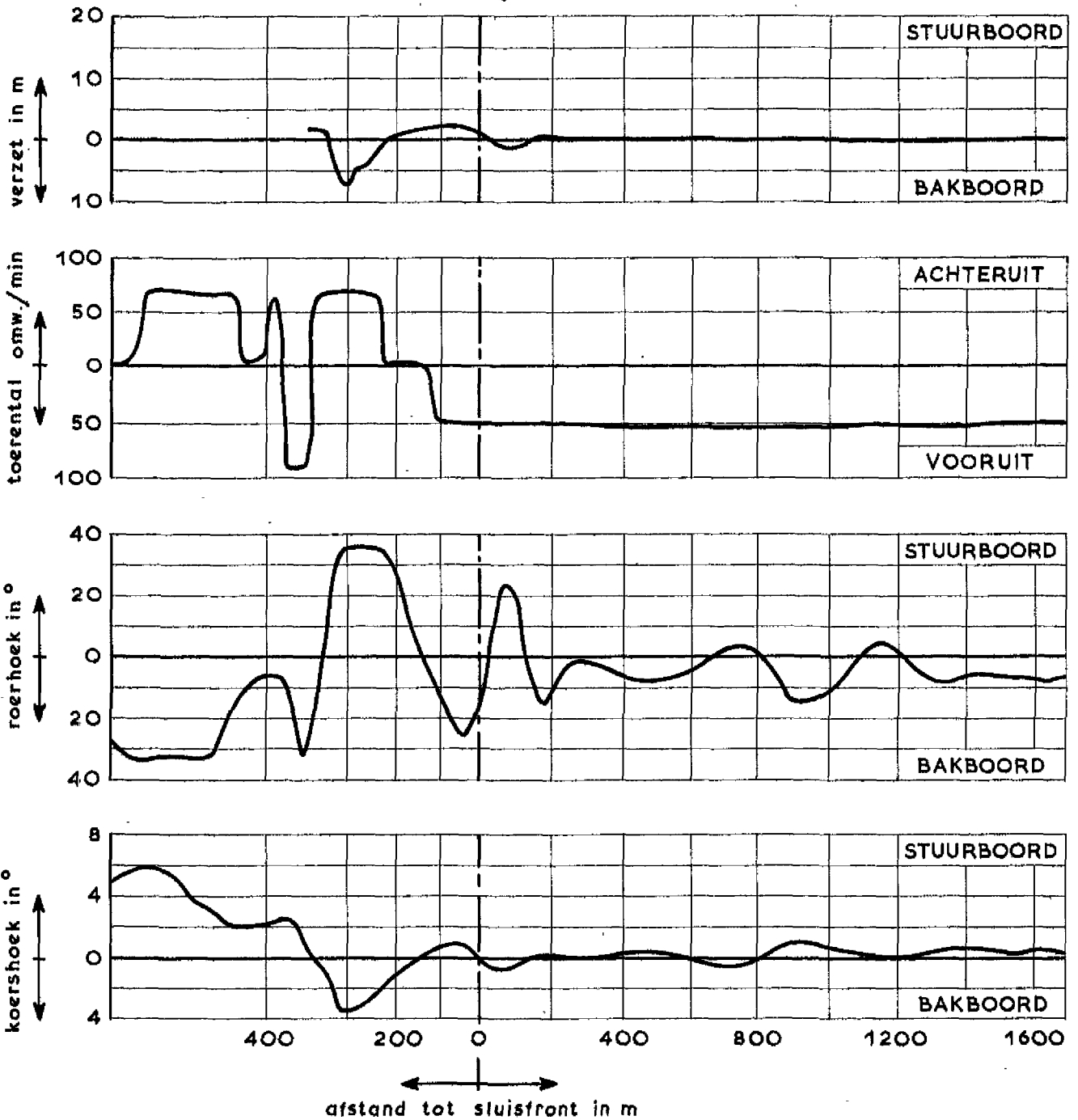
o Stroomsnelheid = 0 m/s

STROOMSNELHEDEN IN m/s

| | | |
|---|------------------|-------------------|
| STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUISLEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHELDE | T10-2 | opname 9 en 10 |
| | SCHAAL 1 : 4.000 | |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 61C |

randvoorwaarden: met maximum debieten van 75 en 125 m³/s
 asymmetrische driehoeklozing sluiscolk
 debietverdeling ongelijkmatig
 snelheid tanker 2.04 m/s

vaarrichting



opname no. 17 12 6 1
 zie foto 39

tijdstip na begin sluislediging

31.30 min ← boeg schip

22.30 min ← boeg schip

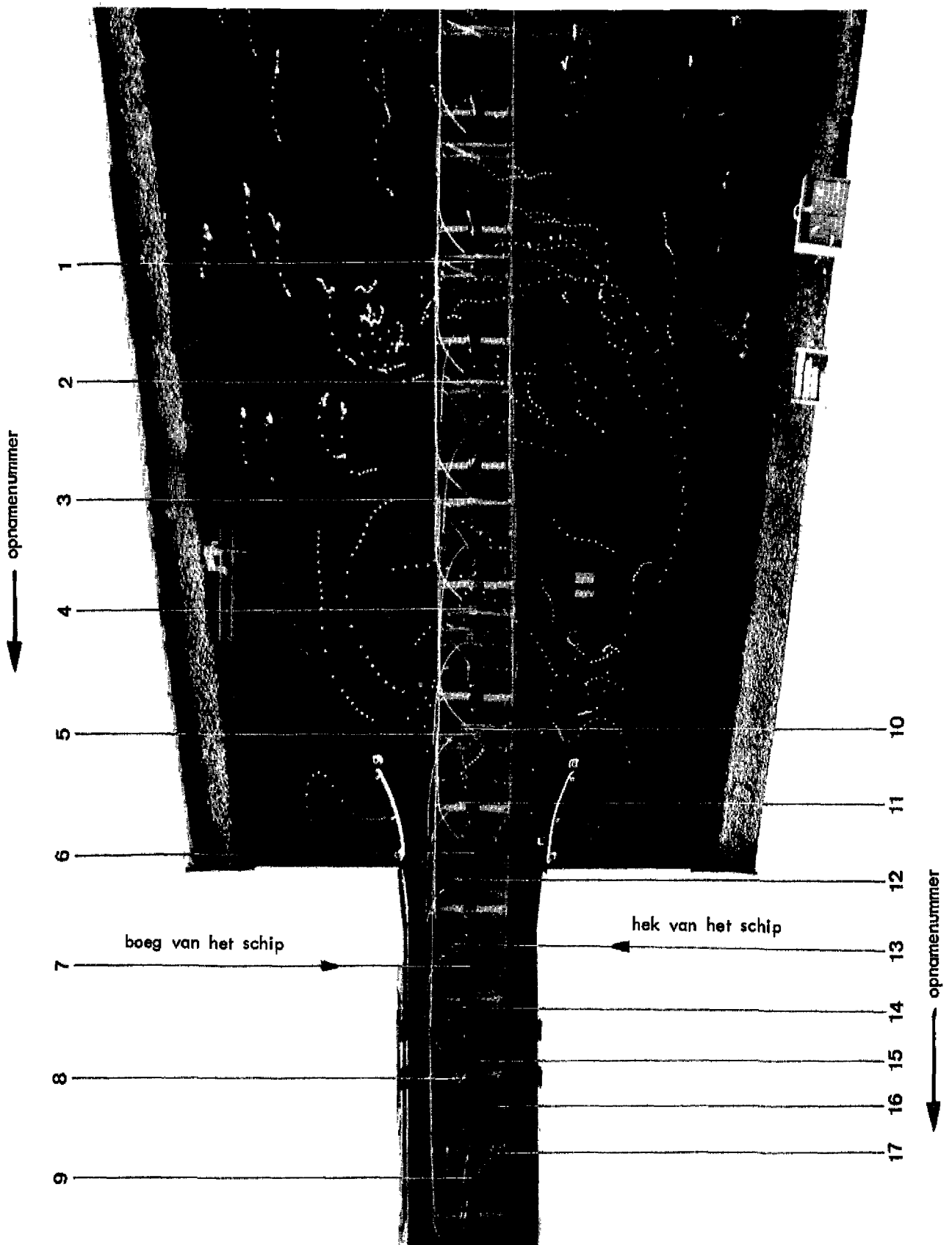
**GEDRAG INVARENDE TANKER TIJDENS
 SLUISKOLKLEDIGING IN VOORHAVEN
 WESTERSCHELDE**

T10 - 2

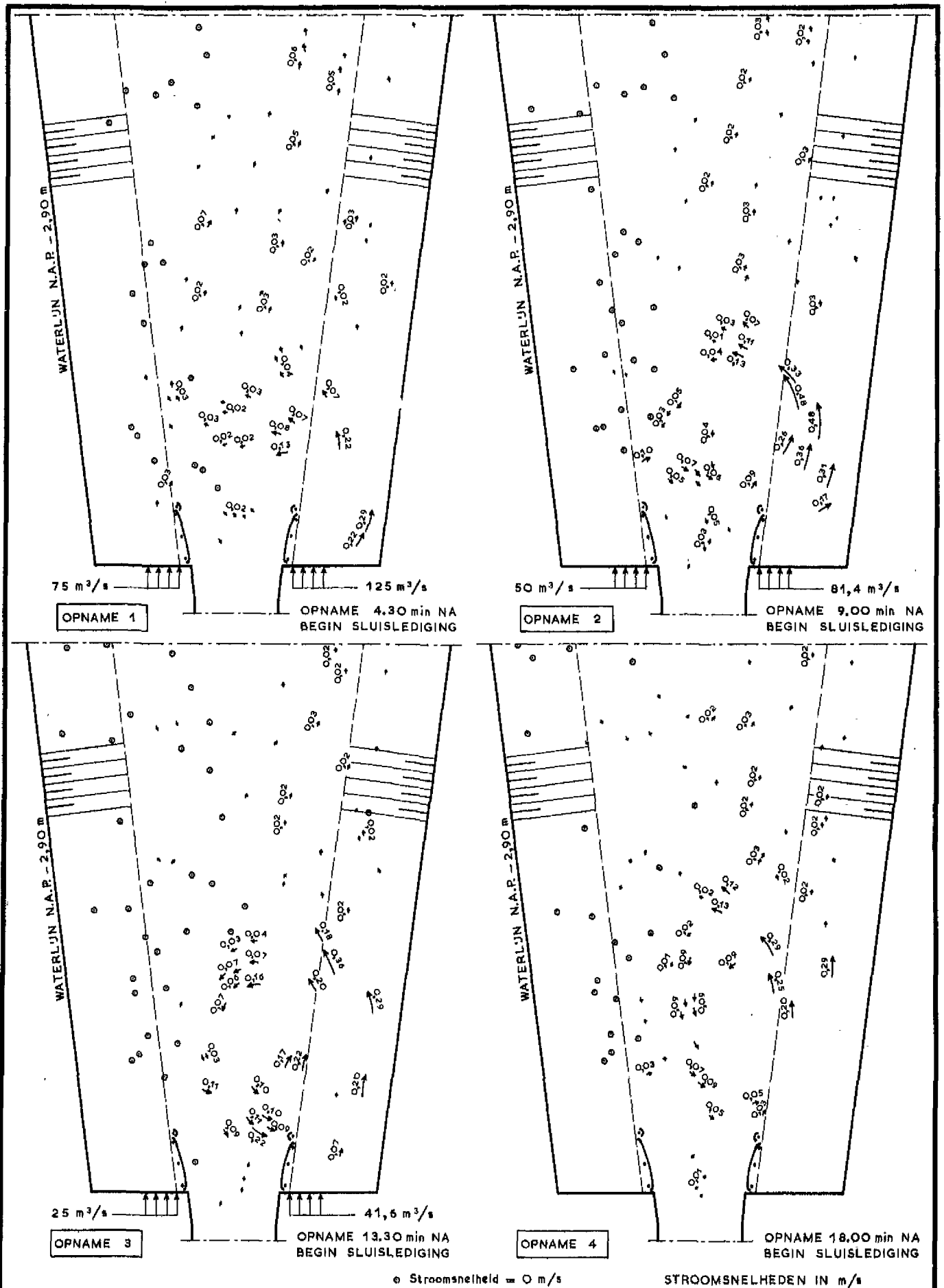
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 62



39 T10-2. Gedrag invarende tanker



STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUISLEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHDELDE

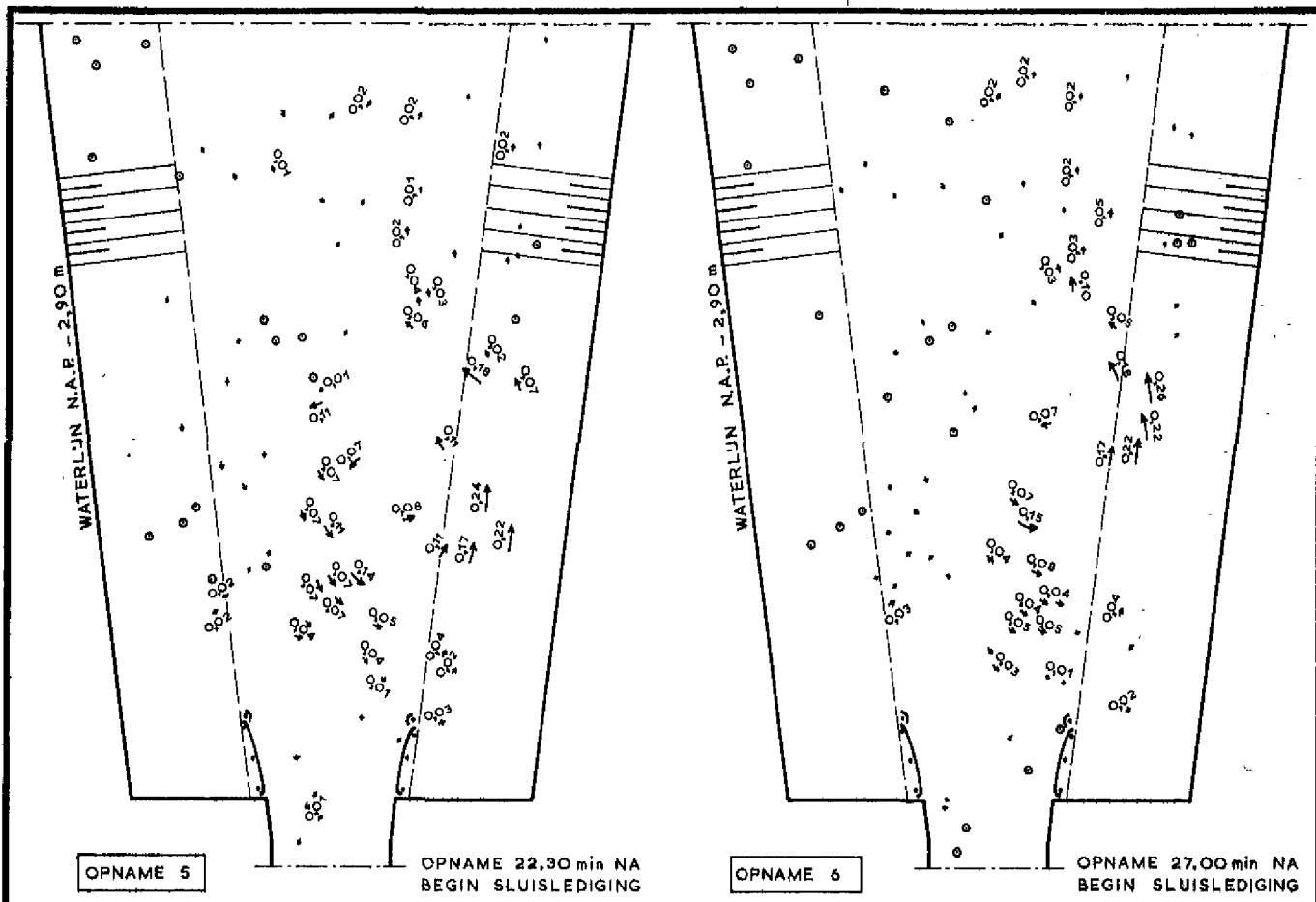
T 10-3 opname 1,2,3 en 4

SCHAAL 1: 4.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

FIG. 63 A

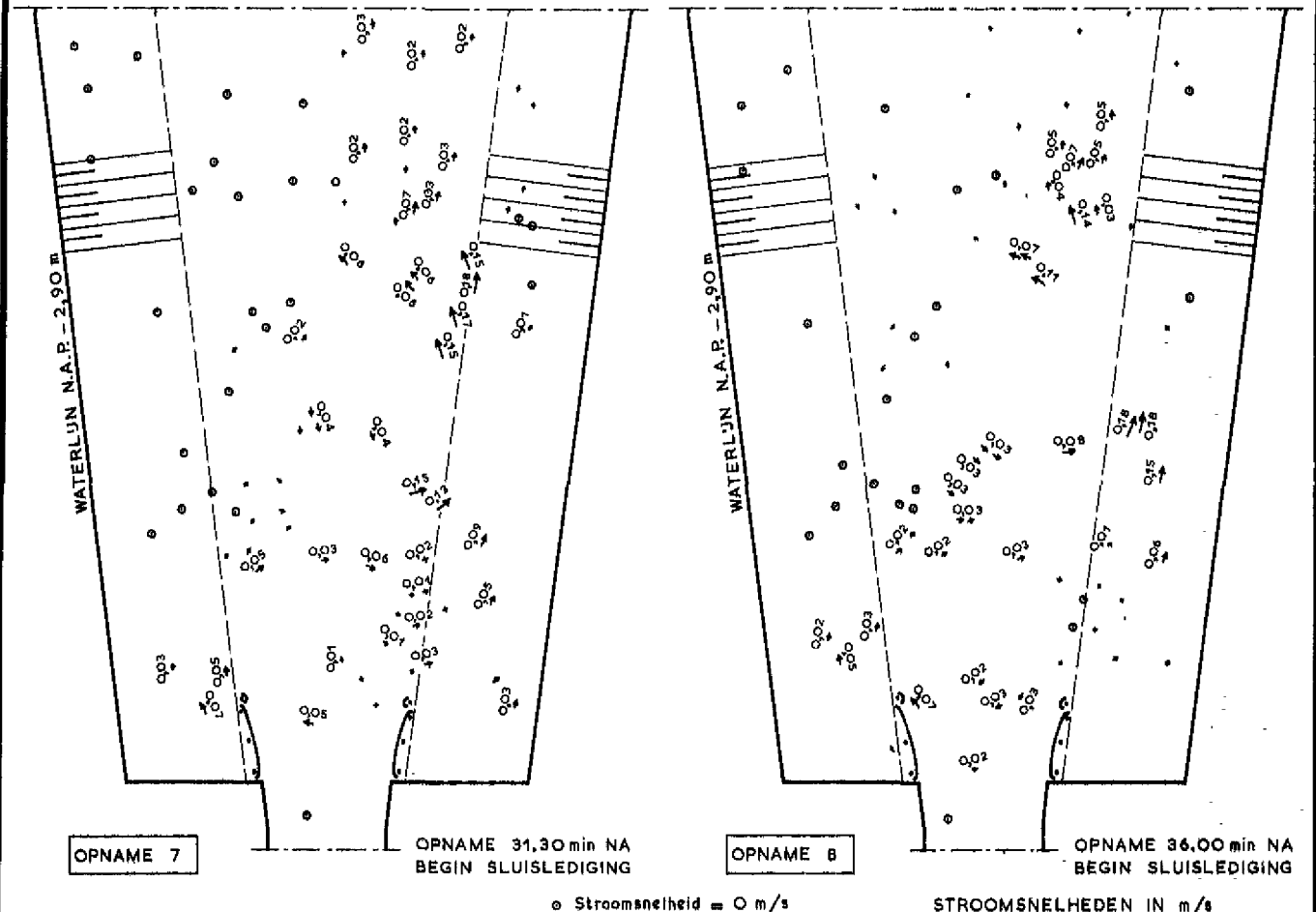


OPNAME 5

OPNAME 22,30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

OPNAME 6

OPNAME 27,00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 7

OPNAME 31,30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

OPNAME 8

OPNAME 36,00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

o Stroomsnelheid = 0 m/s

STROOMSNELHEDEN IN m/s

**STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS-
LEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHDELDE**

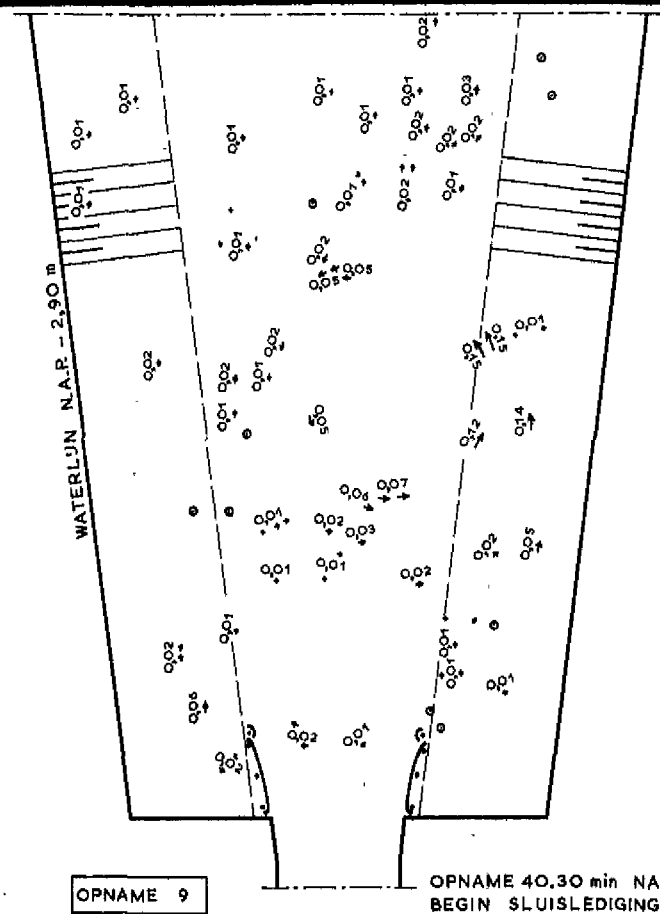
T 10-3 opname
5,6,7 en 8

SCHAAL 1 : 4.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

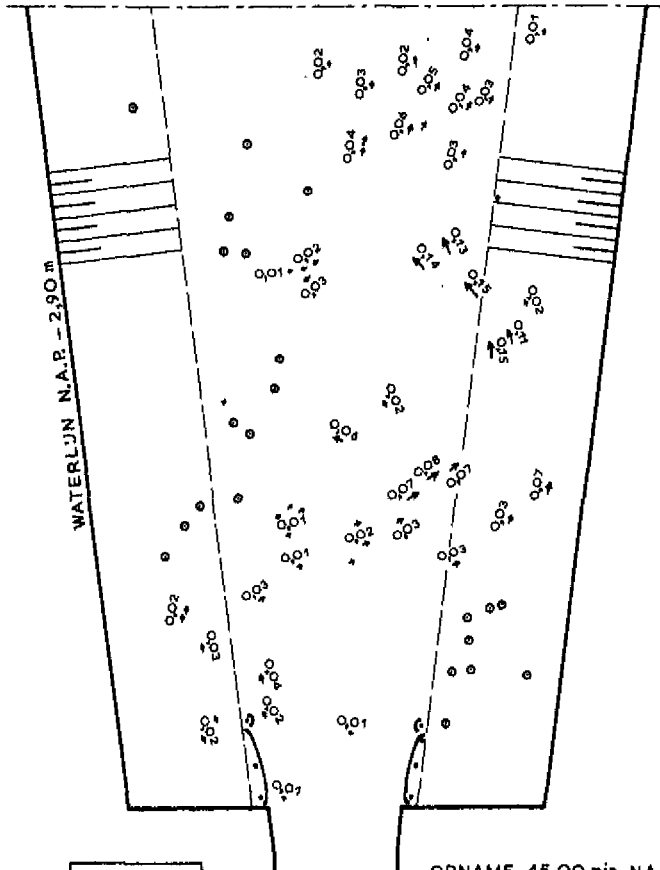
M. 1142

FIG. 63 B



OPNAME 9

OPNAME 40.30 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING



OPNAME 10

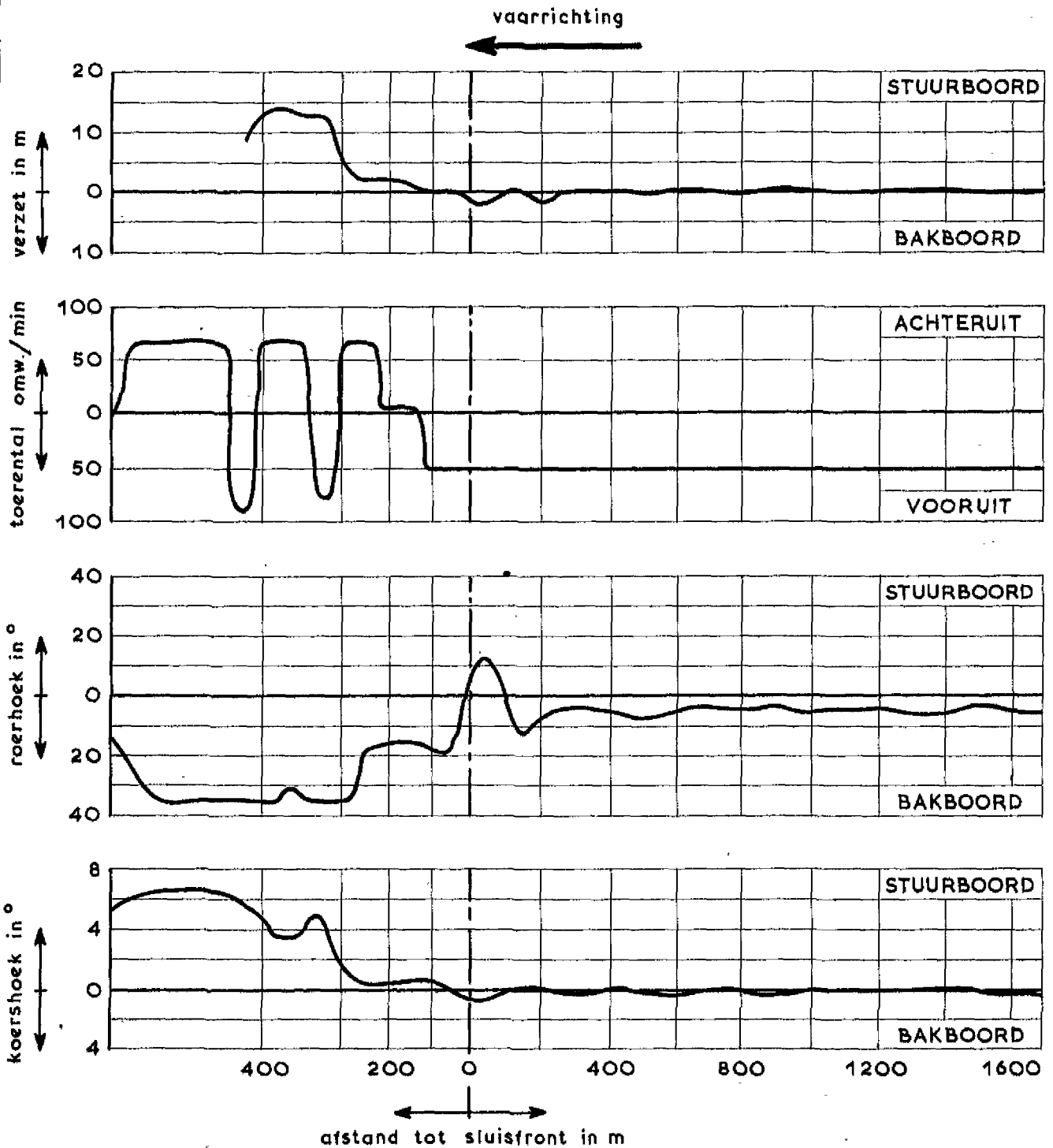
OPNAME 45.00 min NA
BEGIN SLUISLEDIGING

o Stroomsnelheid = 0 m/s

STROOMSNELHEDEN IN m/s

| | | |
|---|----------------|-------------------|
| STROOMBEELD EN -SNELHEDEN BIJ SLUIS - LEDIGING IN VOORHAVEN WESTERSCHDELDE | T10-3 | opname 9 en 10 |
| | SCHAAL 1:4.000 | |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M. 1142 | FIG. 63C |

randvoorwaarden: met maximum debieten van 75 en 125 m³/s
 asymmetrische driehoeklozing sluiskolk
 debietverdeling gelijkmatig
 snelheid tanker 2,08 m/s



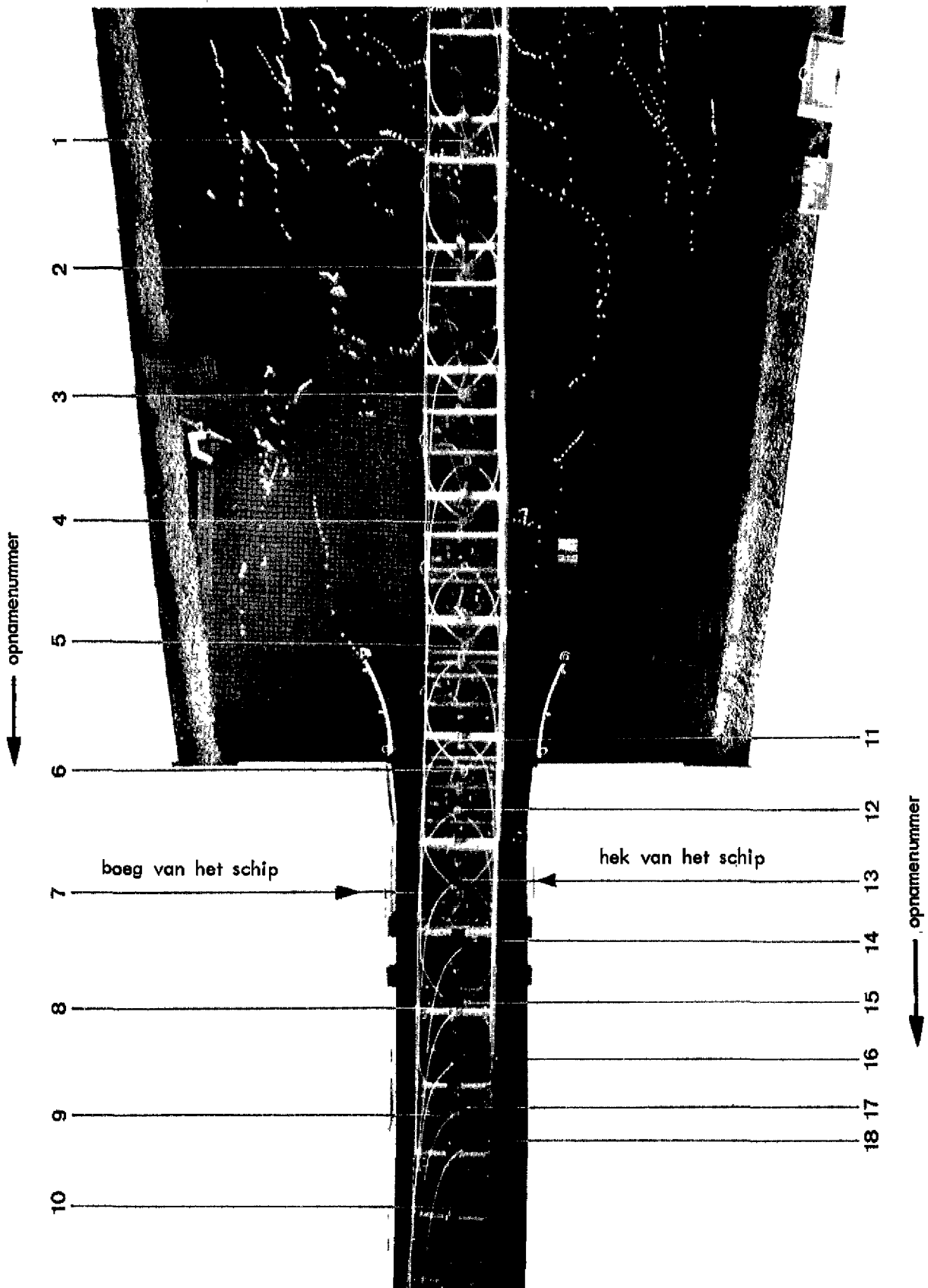
**GEDRAG INVARENDE TANKER TIJDENS
 SLUISKOLKLEDIGING IN VOORHAVEN
 WESTERSCHELDE**

T10 - 3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

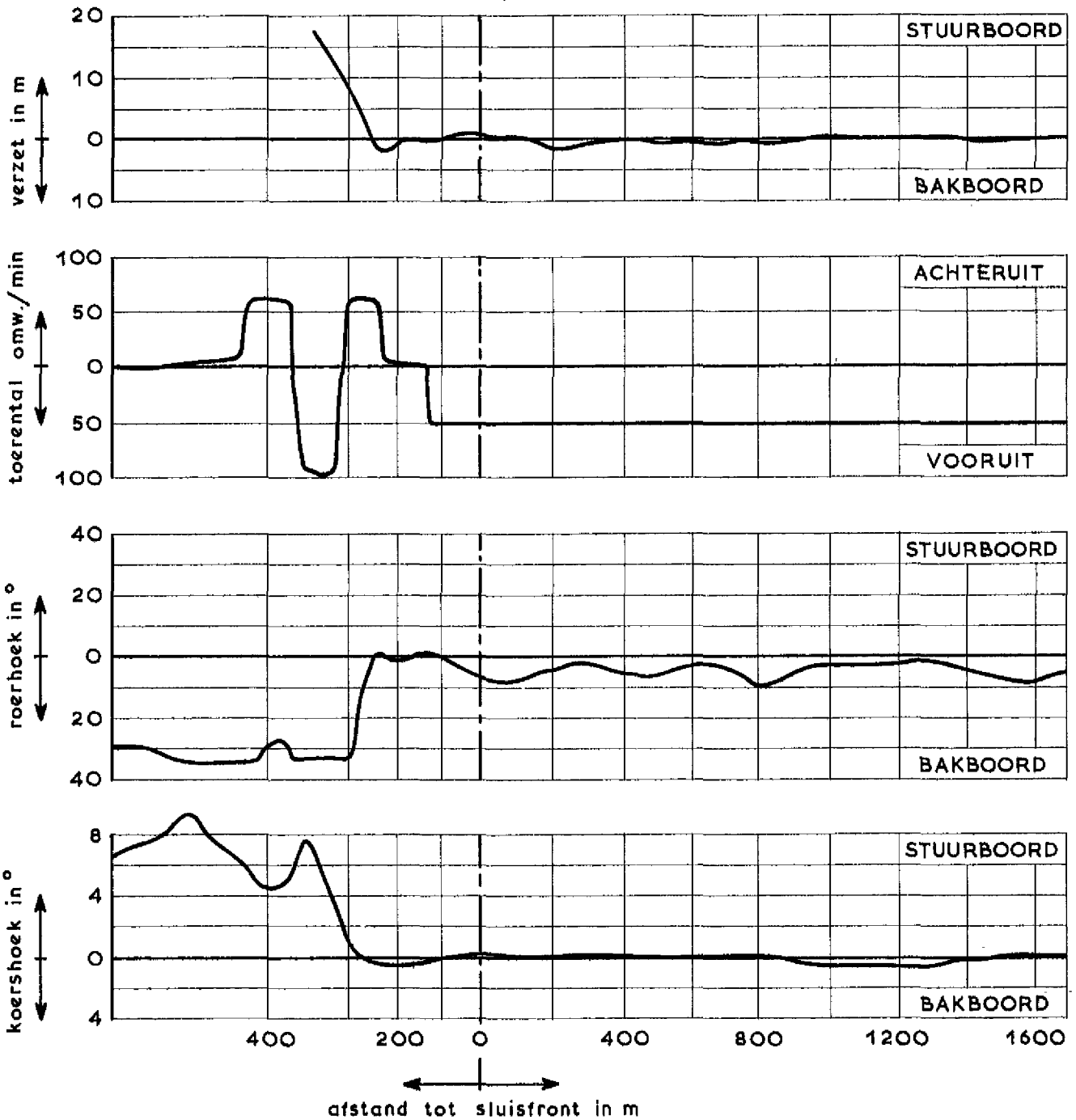
FIG. 64



40 T10-3. Gedrag invarende tanker

randvoorwaarden: stilstaand water
 snelheid tanker 1,95 m/s

vaarrichting



opname no. 19 16 12 6 1
 zie foto 41

tijdstip na begin
 sluislediging

31.30 min



boeg schip

22.30 min



boeg schip

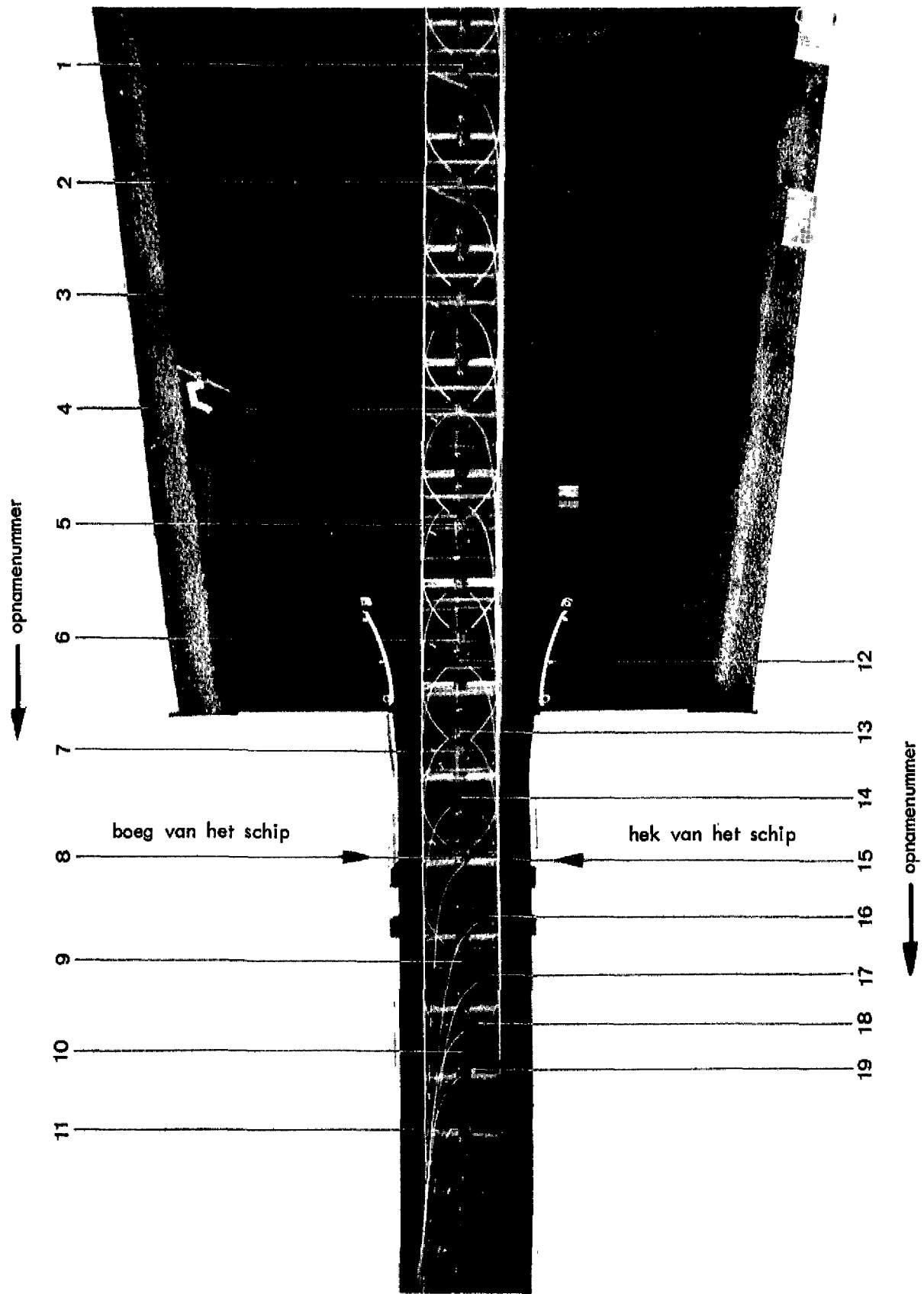
**GEDRAG INVARENDE TANKER TIJDENS
 SLUISKOLKLEDIGING IN VOORHAVEN
 WESTERSCHELDE**

T10 - 4

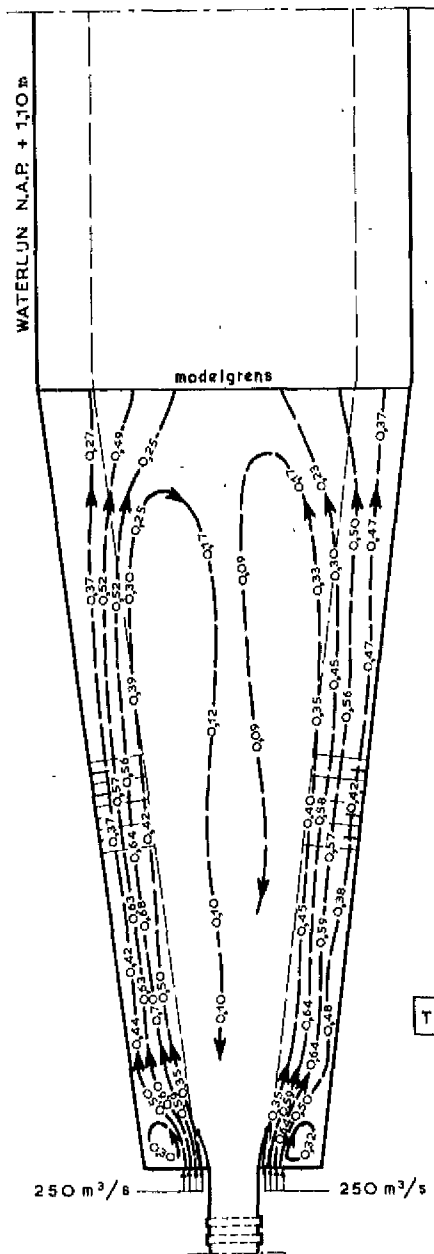
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

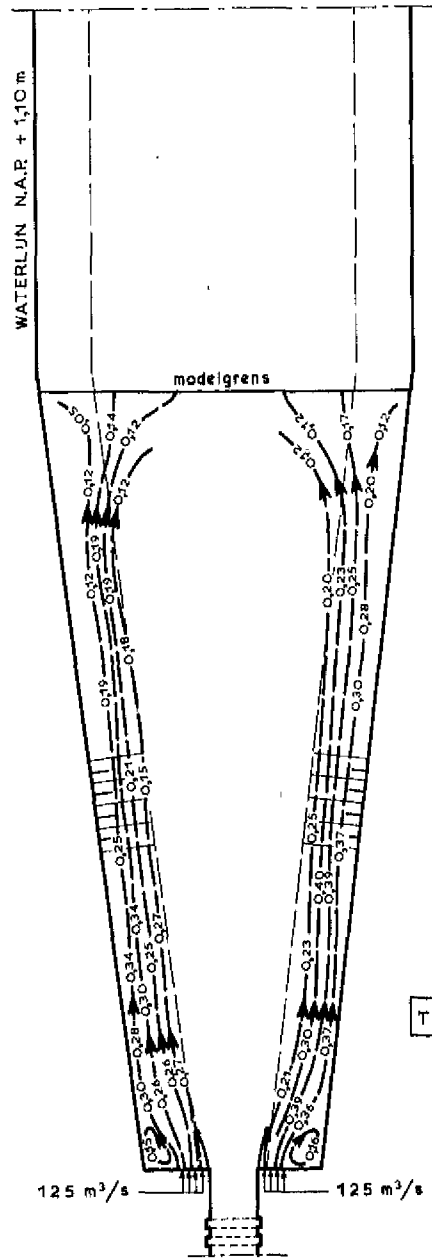
FIG. 65



41 T10-4. Gedrag invarende tanker



T6A-1



T6A-2

STROOMSNELHEDEN IN m/s

STROOMBEELD EN -SNELHEDEN

T6A-1, T6A-2

SCHAAL 1:10,000

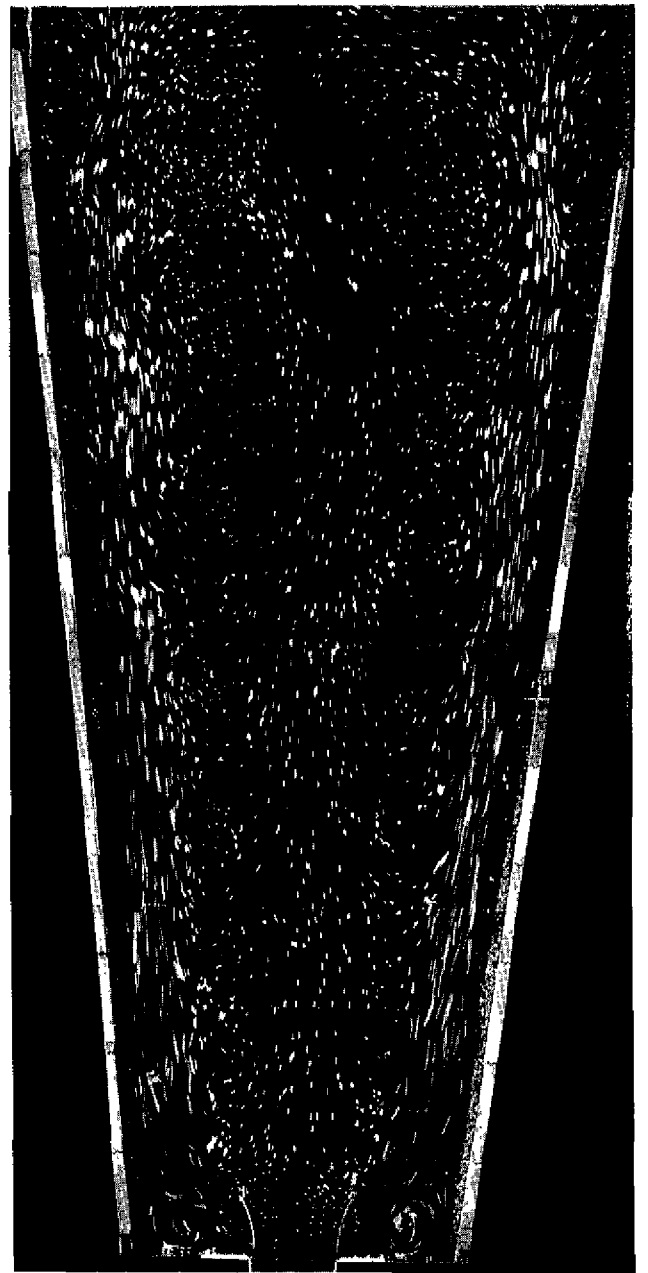
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1142

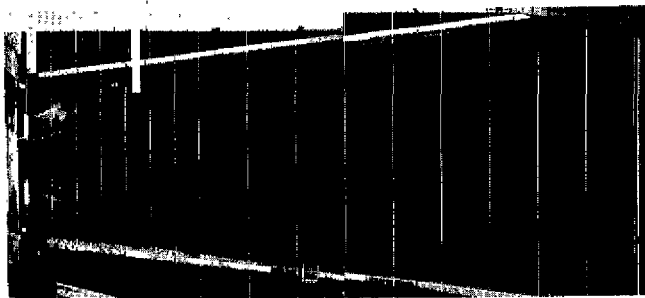
FIG. 66,67



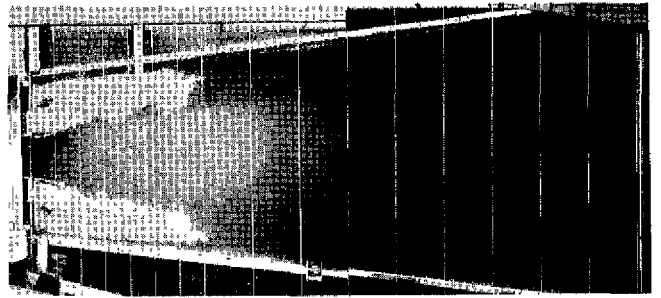
42 T6A-1. Oppervlakte-stroombeeld



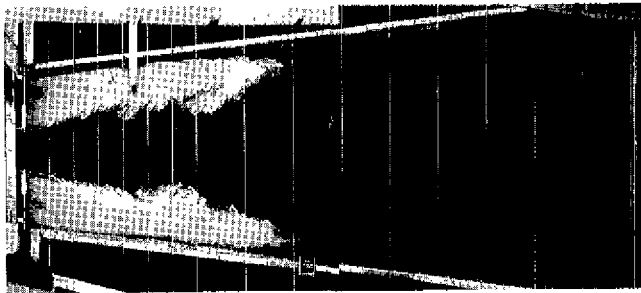
43 T6A-2. Oppervlakte-stroombeeld



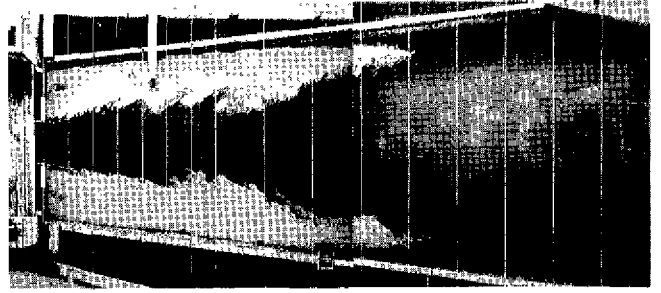
opname 1



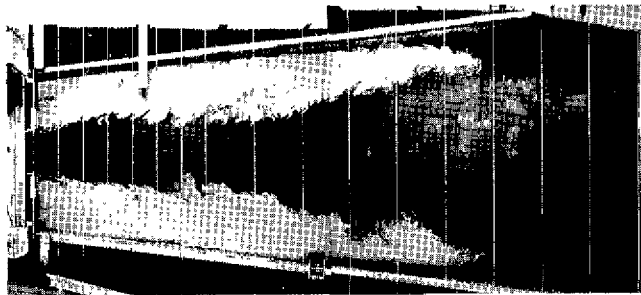
opname 2



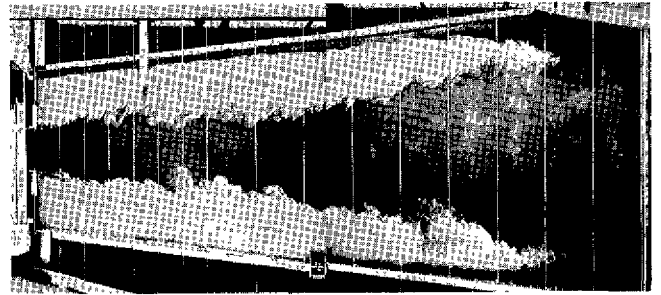
opname 3



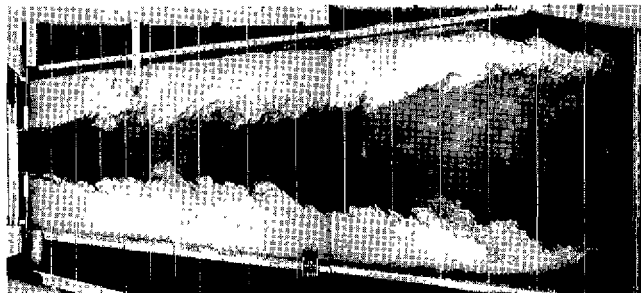
opname 4



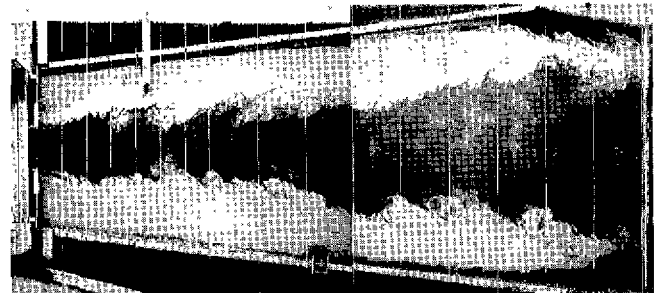
opname 5



opname 6

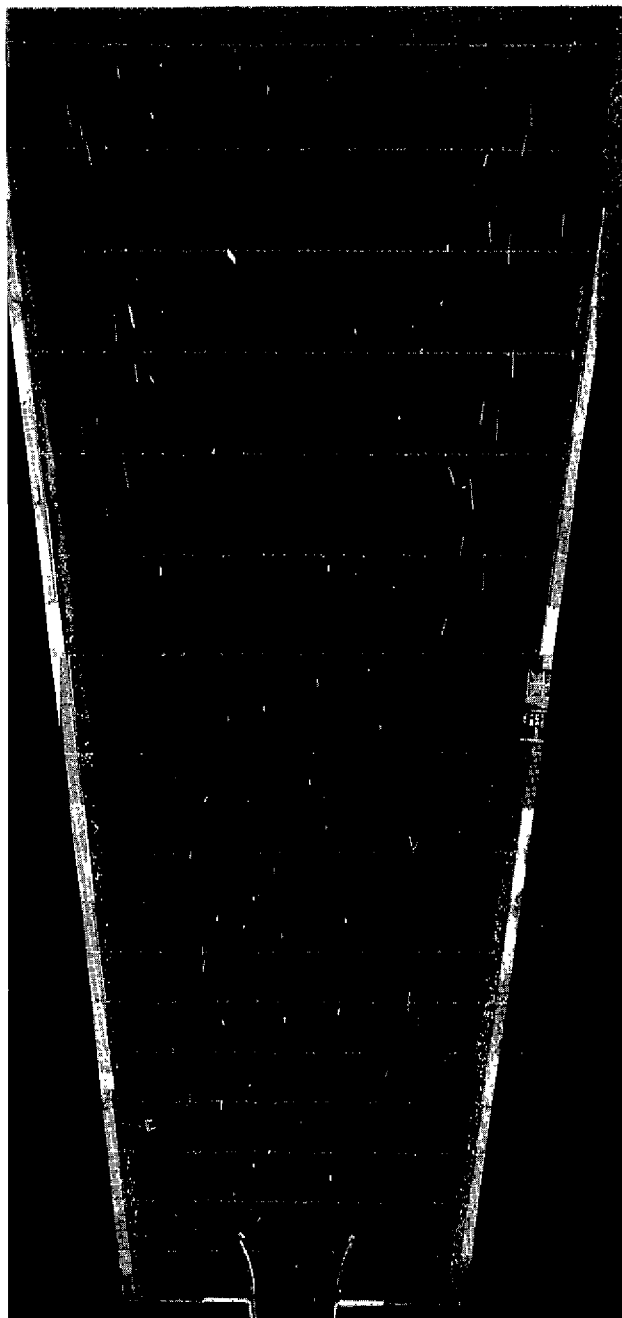


opname 7

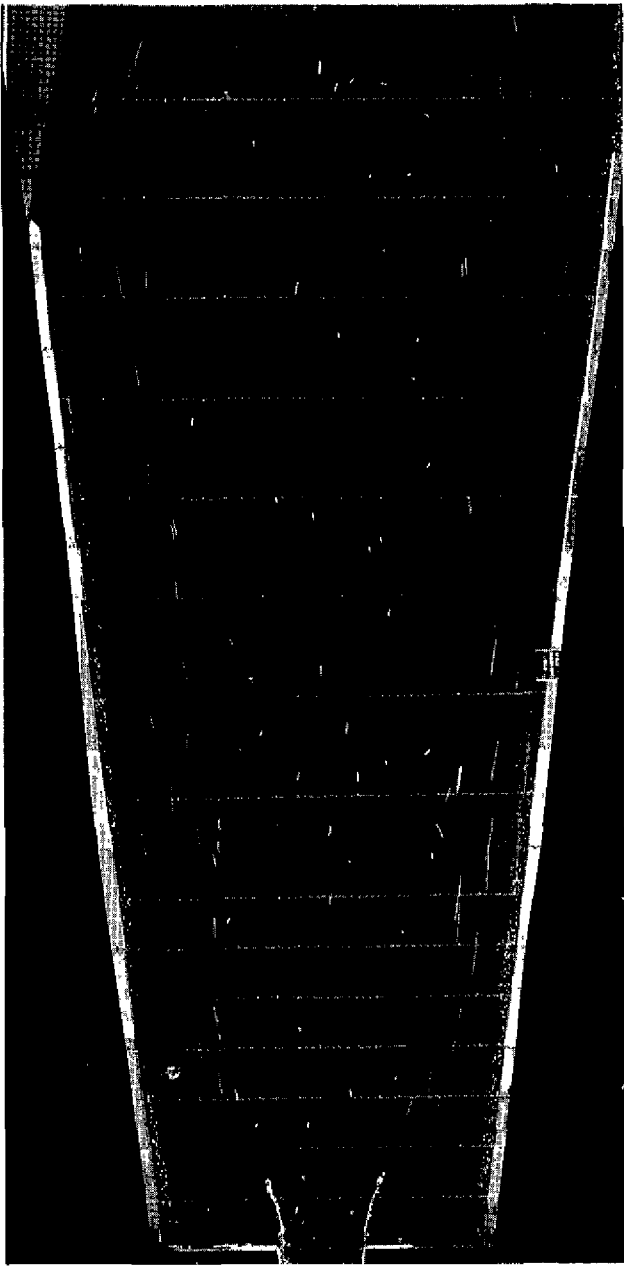


opname 8

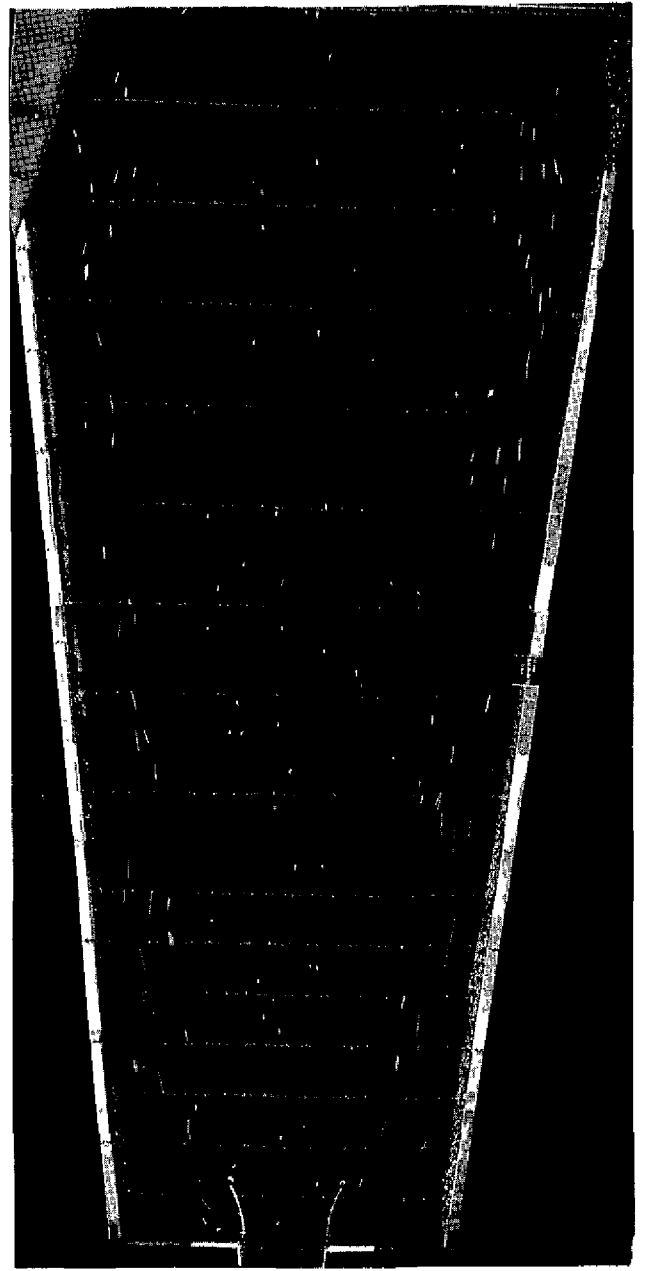
Tijdsinterval van de opnamen 30 seconden (model)



45 T6-1. Drijverstroombeeld



46 T6A-1. Drijverstroombeeld



47 T6A-2. Drijverstroombeeld