



# waterloopkundig laboratorium delft hydraulics laboratory

---

stormvloedkering Oosterschelde

oriënterende stabiliteitsproef en  
turbulentiemeting negatieve overlap

notitie modelonderzoek

---

M 1916

februari 1984

## INHOUD

	blz.
1. <u>Samenvatting en konklusies</u> .....	1
2. <u>Opzet van de stabiliteitsproef</u> .....	3
2.1 Algemeen.....	3
2.2 Proefopstelling.....	3
2.3 Meetmethoden.....	5
3. <u>Resultaat van de stabiliteitsproef</u> .....	7
3.1 Schadegedrag (kwalitatief).....	7
3.2 Bepaling invloedsfactoren.....	8
3.3 Stroombeeldmeting.....	10
4. <u>Turbulentiemeting</u> .....	12
4.1 Algemeen.....	12
4.2 Metingen.....	13
4.3 Resultaten.....	14

TABELLEN

FIGUREN

FOTO'S

## FIGUREN

- 1 Overzicht bouwfront Hammen
- 2...7 Overzicht aantasting negatieve overlap
- 2 Stap 2
- 3 Stap 3
- 4 Stap 4
- 5 Stap 5
- 6 Stap 6
- 7 Stap 7
- 8 Materiaalinvoer bij M 1524, aantasting langs de pijlerflanken
- 9 Stroomsnelheden en -richtingen
- 10 Genormeerde snelheidsverdeling
- 11 Gemiddelde stroomsnelheden tussen de pijlers (M 1768)
- 12 Genormeerde snelheidsverdeling tussen de pijlers (M 1768)
- 13 Genormeerde snelheidsverdeling relatief ten opzichte van genormeerde snelheidsverdeling M 1768
- 14...18 Stroomsnelheidsvertikalen
- 14 meetpunten 1...4
- 15 meetpunten 5...8
- 16 meetpunten 9...12
- 17 meetpunten 13...16
- 18 meetpunt 17
- 19 Meetlocaties turbulentiemetingen
- 20 Voorbeeld stroomregistratie prototype
- 21 Stroomregistraties M 1000, geen pijlers
- 22 Stroomregistraties M 1000, buiten het pijlerfront
- 23 Stroomregistraties M 1000, ter hoogte van het pijlerfront
- 24 Turbulentiespectra A en B, geen pijlers
- 25 Turbulentiespectra A en B, buiten het pijlerfront
- 26 Turbulentiespectra A'' en B'', ter hoogte van het pijlerfront
- 27 Stroomregistraties M 1001
- 28 Turbulentiespectra, buiten het pijlerfront
- 29 Turbulentiespectra, naast het pijlerfront
- 30 Turbulentiespectra, ter hoogte van het pijlerfront

STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE

ORIENTERENDE STABILITEITSPROEF EN TURBULENTIEMETING NEGATIEVE OVERLAP

1. Samenvatting en konklusies

Tijdens het stroombeeldonderzoek M 1898 in het detailmodel M 1001 in de zomer van 1982 [1], deed zich de mogelijkheid voor om een oriënterende proef uit te voeren naar de stabiliteit van de afdeklaag van de negatieve overlappen in de nabijheid van de pijlers van een pijlerfront. Ondanks de (te) kleinschalige representatie in het model werd besloten deze mogelijkheid te benutten, mede in verband met de kritieke uitkomsten van de stabiliteitsberekeningen welke inmiddels met behulp van de FAALKANS-aanpak waren verkregen ([2]).

Het doel van de stabiliteitsproef was tweeledig:

- i toetsen van de bij de FAALKANS-berekeningen aangenomen invloedsfaktor van 1,5 (par. 3.2)
- ii verkrijgen van inzicht in het schadegedrag c.q. bezwijkmechanisme, bij toenemende stroomsnelheden

Ongeveer tezelfdertijd werd de niet onbelangrijke invloed van de sterk fluktuerende stroomsnelheden op de stabiliteit van loskorrelige materialen gesignaleerd (EKOR-studie, [3]). In verband hiermee werd op provisorische wijze tijdens het lopende onderzoek in het overzichtsmodel M 1000 ([4]) een meting van deze "macro-turbulentie" verricht voor een drietal bouwfrontsituaties. Ook in het detailmodel M 1001 werd, tijdens de stabiliteitsproef, nagegaan of dit model een dergelijk type laagfrequentie turbulentie al dan niet reproduceerde.

Uit het oriënterend onderzoek kunnen de volgende konklusies worden getrokken.

- i De stroombestendigheid van de afdeklaag van breuksteen 40/250 mm valt tegen. Dit kan niet direkt worden afgeleid uit de gemeten absolute stroomsnelheden in verband met verschalingsonzekerheden (par. 2.2 en 3.1), maar wel via de vaststelling van de invloedsfaktor (lees: een meetwaarde voor de stabiliteitsverslechtering). Voor het criterium van begin van aantasting wordt als maatgevende waarde van de invloedsfaktor voor het pijlerfront in de Hammen circa 1,6 gevonden (tabel 4).

In verband met onzekerheden ten aanzien van de proefopstelling is het wenselijk een hogere waarde te hanteren, bijvoorbeeld 1,7 à 1,8. Daarenboven is uit een stroombeeldvergelijking met een scheef aangestroomd bouwfront (M 1768 [13]) gebleken dat de stroomaanval in dat geval nog aanzienlijk ongunstiger zou kunnen zijn (par. 3.3). Er wordt derhalve geadviseerd vooralsnog een invloedsfaktor van minimaal 2,0 aan te houden, in plaats van de tot nu toe gehanteerde (aangenomen) waarde van 1,5.

- ii De aantasting van de negatieve overlap treedt verrassenderwijs voornamelijk op aan de teen van de overlap, ter plaatse van de aansluiting met de fundatiemat (figuren 2...7). Dit betekent dat de aantasting plaatsvindt op een gevoelige plaats in de algehele konstruktie, namelijk op de discontinuïteit tussen de vaste (mat) konstruktie en de flexibele overlapkonstruktie, waarbij slechts een geringe "erosiebuffer" aanwezig is. Bovendien is een dergelijk schademechanisme moeilijk te kwantificeren. De onderhavige proefopstelling in M 1001 was zeker niet optimaal in dit opzicht. De voornoemde invloedsfactoren moeten uit dat oogpunt ook als enigszins indikatief worden opgevat.
- iii De kenmerkende, zeer laagfrequentie turbulentie in de Oosterschelde (macro-turbulentie of microgetij) blijkt ook in de modellen M 1000 (getijmodel) en M 1001 (detailmodel) voor te komen met globaal dezelfde karakteristieken (par. 4). Deze turbulentie treedt ook op in het kale sluitgat en lijkt bovendien niet sterk te worden beïnvloed door een aanwezig pijlerfront. Kennelijk wordt deze turbulentie gegenereerd door de configuratie van de vooroever en wordt ook in M 1001 nog een voldoende groot gebied weergegeven om het kenmerkende turbulentiebeeld te reproduceren.

De late verschijning van deze notitie is een gevolg van capaciteitstekort ten tijde van de afronding van het onderzoek.

De onderzoeksresultaten hebben, ondanks het oriënterende karakter ervan, medegeleid tot een (h)erkenning van de ernst van de problematiek en het achtereenvolgens opstarten van een aantal vervolgonderzoeken naar de stabiliteit van de negatieve overlappen (Stroomgoot te Lith [5], Grote Stroomgoot [6] en Tussenspadoot [7]), alsmede tot de instelling van een werkgroep met de aanduiding ENEG (evaluatie negatieve overlap).

De onderhavige proeven werden uitgevoerd onder leiding van ir. G.J. Akkerman, die ook deze notitie opstelde. Ook de coördinatie van de genoemde vervolgonderzoeken werd door hem verzorgd.

## 2. Opzet van de stabiliteitsproef

### 2.1 Algemeen

Tot aan het onderhavige onderzoek had nog geen beproeving in een schaalmodel van de stabiliteit van de afdeklaag van de negatieve overlap plaatsgevonden. Uitgegaan was tot dusver van het onderzoek naar de stabiliteit van de in aanbouw zijnde drempel (M 1524 [8]), aangevuld met een beknopte bureaustudie (LV 1460 [9]). Het gecompliceerde en sterk variërende stoombeeld rond de pijlerkoppen maakte de extrapolatie van de aantasting direct naast de pijlerkoppen voor de drempel opbouwfasen naar die van de negatieve overlappen, tussen de pijlers in, echter nogal onzeker.

Daarbij kwam, dat de inmiddels verkregen berekeningsresultaten met het programma FAALKANS, met de hierin aangenomen invloedsfaktor, een kans op falen van enige tientallen % aangaven [2]\*). Met name in het noorden van de Roompot was sprake van een kritieke situatie.

Ook was tot dan toe geen nadere aandacht geschonken aan de (relatief) gladde ondermatten waarover de afdekklagen van de negatieve overlappen zouden worden gestort. Dit was met name niet gebeurd, omdat was aangenomen dat ter plaatse van de aansluiting enige beschutting tegen stroomaanval aanwezig zou zijn.

Het uitvoeren van een stabiliteitsproef in M 1001 bood de mogelijkheid om op korte termijn meer inzicht in de ernst van de problematiek te verkrijgen. Hierbij werden de beperkingen ten aanzien van de proefopstelling en dergelijke op de koop toe genomen.

### 2.2 Proefopstelling

Het beschikbare pijler-bouwfront in M 1001 was die van alle pijlers geplaatst, op de pijlers H3 en H4 na (figuur 1 en foto 1 van het fotoblad). Dit was bij benadering wel de meest kritieke bouwphase in de Hammen, maar niet over alle sluitgaten gerekend, aangezien een bouwfront in het noorden van de Roompot volgens de FAALKANS-berekeningen aanzienlijk ongunstiger zou zijn.

\*) 1 x per jaar stroomsnelheid

Na een zorgvuldige verkenning bleek het in te stellen debiet bij vloed, met enige concessie aan de debietverdeling, juist toereikend om extreme condities op Froudeschaal te kunnen reproduceren. Daarbij werd uitgegaan van globaal 2 maal het debiet bij gemiddeld getij. (Vergelijk: 1 x per jaar stroomsnelheid komt overeen met circa 1,5 maal de snelheid bij gemiddelde getij. Daarenboven was nog een marge nodig voor het vaststellen van het schadeverloop c.q. bezwijkgebeuren).

De concessie aan de debietverdeling maakte het nodig om eventuele afwijkingen in het stroombeeld te toesten (par. 2.3).

De kleinschaligheid van de proefopstelling (lengteschaal 1:80) hield echter voor het afdek materiaal van de negatieve overlappen in, dat er van grote schaalafwijkingen ten aanzien van de stroombestendigheid sprake zou kunnen zijn. In verband hiermee werd naarstig gezocht naar materiaal met een kleinere dichtheid ( $\Delta \approx 0,7 - 1,0$ ). Diverse pogingen (gebroken baksteen, plastic-granulaat etc.) leverden echter om uiteenlopende redenen (te scherp, te gegradieerd, te fijn) niet het gewenste materiaal, met een diameter van tussen de 3 en 5 mm, op. Opgemerkt moet worden dat de gebruikelijke, zeer lichte materialen, zoals polystyreen en bakeliet, niet konden worden toegepast zonder een nader, tijdrovend schaalserie-onderzoek. Gekozen werd derhalve voor materiaal met een normale dichtheid ( $\Delta \approx 1,6$ ) en een zo klein mogelijke, praktisch nog hanteerbare, diameter: split 1,7-2,4 mm.

Ten opzichte van de prototype breuksteen 40/250 mm betekent dit, omgeschaald op lengteschaal, een te zware afdeklaag:

[ $\Delta D$ ] model  $\approx 1,6 \times 0,16 = 0,26$  m, tegenover

[ $\Delta D$ ] prototype  $\approx 1,6 \times 0,12 = 0,19$  m

Dit betekent een overdrijving van de steenparameter met ruim 1/3, ofwel uitgedrukt in kritieke stroomsnelheid met circa 1/6.

Anders gezegd: er dient een reductie op de stroomsnelheden te worden toegepast van circa 1/6 bij de beoordeling van de stabiliteit van de 40/250 mm sortering. Bij benadering kan het afdek materiaal ook worden opgevat als breuksteen van zware basalt in plaats van porfier. Vergelijk: met  $\Delta = 2,2$  en  $D = 0,12$  m wordt  $\Delta D = 0,26$  m.

Deze overdrijving van de steenzwaarte van de afdeklaag staat los van schaalafwijkingen als gevolg van de te kleine afmetingen van het modelmateriaal (viskeuze effecten). Deze zouden kunnen worden geschat met de Shields curve [10]. Volgens meer recent onderzoek door Yalin [11] zou de invloed van de



viskositeit kleiner zijn dan de door Shields aangegeven invloed. De grote moeilijkheid is echter vooral gelegen in de invloed van de pijlers (Shields en Yalin hebben betrekking op eenparige stroming). Bij het onderzoek M 1524 werden schaalafwijkingen gekonstateerd bij materialen fijner dan zo'n 5 mm, die ver uitgingen boven de viskeuze invloed volgens Shields (figuur 8). Vermoedelijk spelen stroombeeldafwijkingen (reproductie van de wervelsystemen etc) hierbij dus tevens een rol. Een onderzoek van Qadar [12] naar de reproductie van het wervelsysteem rond een cilindervormige, verticale pijler, wijst op dergelijke stroombeeldafwijkingen. Anderzijds zijn bij lokale erosie van zandachtig materiaal geen noemenswaardige afwijkingen bij schaalonderzoeken gekonstateerd. Het voorgaande introduceert onzekerheid bij het vertalen van de modelmetingen naar het prototype. Deze onzekerheid werkt door naar de bepaling van de absolute grootheden als ook naar de grootte van de invloedsfactoren. Bij onderlinge vergelijking, bijvoorbeeld marges in stroomsnelheden ten aanzien van het schadeverloop en dergelijke, zijn deze afwijkingen niet of althans minder belangrijk. Bij het bepalen van de invloedsfactoren wordt voorts nog uitgegaan van figuur 8 uit M 1524; de waarden van deze factoren zijn derhalve indicatief.

### 2.3 Meetmethoden

#### Stabiliteit

Uitgaande van het instelgetij van 11 september 1968 ( $Q = 22.750 \text{ m}^3/\text{s}$ ) werd doorgaand, dus zonder tussentijds herstellen van de schade, het debiet in een aantal stappen opgevoerd. Globaal werden onderstaande debieten ingesteld.

stap	t.o.v. het instelgetij ( $Q = 22.750 \text{ m}^3/\text{s}$ )	t.o.v. gemiddeld getij ( $Q = 19.000 \text{ m}^3/\text{s}$ )
0	+ 0%	+ 20%
1	+ 10%	+ 32%
2	+ 20%	+ 44%
3	+ 30%	+ 56%
4	+ 40%	+ 68%
5	+ 50%	+ 80%
6	+ 60%	+ 92%
7	+ 70%	+ 104%

2.1

Elke stap werd gedurende circa 4,5 uur (prototype) gehandhaafd. Bij elke stap werd de schade tijdens het stromen visueel, vanaf de waterspiegel, met behulp van een drijvend inspektiebakje waargenomen en vastgelegd.

De in beschouwing genomen negatieve overlappen waren H1-2 tot H5-6. Hiervan waren H1-2 en H2-3 echter niet representatief in verband met de grove schematisatie van de pijlerkoppen van H1 en H2 en blijven daarom verder buiten beschouwing.

De visuele meetmethode stond slechts een kwalitatieve vaststelling van de schade aan de afdeklaag van de negatieve overlappen toe, wat in het oriënterende kader van het onderzoek als voldoende werd beschouwd.

### Stroombeeld

Ter controle van de aanstroming bij het opvoeren van het debiet werd bij de stappen 0, 3, 5 en 7 de stroomsnelheid in een punt in de as van elk poortje gemeten (tabel 1). De snelheden bovenstrooms van elk poortje zijn bij elke stap gemeten (tabel 1). De verhouding tussen stroomsnelheid bovenstrooms en in de as is voor elk poortje in tabel 2 weergegeven. In tabel 3 is aangegeven in welke mate de stroomverdeling veranderde bij de opeenvolgende debietstappen; de afwijking in de verhouding van de stroomsnelheden bij de opeenvolgende debietstappen voor de relevante lokaties bleef beperkt tot circa 10%, wat als alleszins acceptabel kan worden beschouwd.

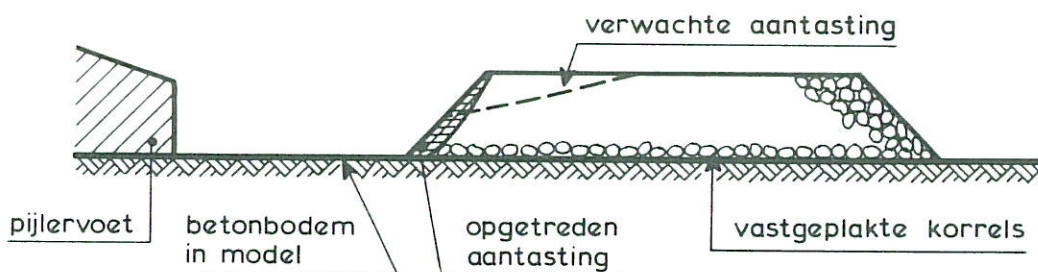
Bij het poortje waar het eerst schade ontstond (H4-5, naast de laatstgeplaatste pijler H5) werd een uitgebreide stroommeting gedaan op hetzelfde stramien als in M 1768 [13] is toegepast voor de situatie van scheef aangestroomde pijlers (figuur 11). Per lokatie werd een stroomvertikaal gemeten. Deze stroommeting werd uitgevoerd bij stap 5 (getij 11.09.1968 + 50%). Voor de resultaten zie paragraaf 3.3.

### 3. Resultaat van de stabiliteitsproef

#### 3.1 Schadegedrag (kwalitatief)

De resultaten van de stroombestendigheid van de afdeklaag van de negatieve overlappen zijn in figuren 2...7 weergegeven.

De aard van de aantasting is dusdanig dat het schadebeeld beïnvloed kan zijn door afwijkingen als gevolg van de kleinschalige proefopstelling. Verwacht was namelijk dat de schade zou insnijden in de kruin van de afdeklaag (zie onderstaande schets), terwijl daarentegen voornamelijk afslijpen van de rand werd geconstateerd. Dit afslijpen vond plaats over de smalle zone aan de rand



van de vastgeplakte korrels en kon worden geconstateerd door het juist zichtbaar worden van de witgespoten strook ter plaatse van de vastgeplakte korrels. Omdat een verdere insnijding van de teen in het model werd bemoeilijkt door de ruwe ondergrond van de geplakte korrels, zou in het prototype op de gladde ondermat een dergelijke afslijping wellicht nog versterkt kunnen optreden. Anderszins, omdat de betonbodem, waarover de korrels bij afslijping van de teen rollen mogelijk te glad was in vergelijking met de fundatiematten, zou de stroomaanval ter plaatse van de rand in het model mogelijk wat te sterk zijn geweest. Het is daarom niet aan te geven of het model voor wat betreft de ontwikkeling van de aantasting al dan niet te conservatief was.

Tegenover het onverwachte verschijnsel van de aantasting van de teen van de overlappen staat, dat de schade-ontwikkeling niet erg explosief was. Tussen het begin van beweging naast de laatstgeplaatste pijler H5 en een toestand van doorgaand transport ligt een snelheidstoename van circa 25% (figuren 2 en 5). In hoeverre de boven geschetste omstandigheden in de proefopstelling een afwijkende rol ten opzichte van het prototype hebben gespeeld, kan echter evenmin worden aangegeven.

Aanvankelijk is de negatieve overlap tussen de pijlers H5 en H6 stroombestendiger dan negatieve overlap H4-5 (figuren 2 en 3). Bij een stroomsnelheid van circa 20% boven die waarbij het begin van beweging op H4-5 optrad, begint H5-6 ook te eroderen (figuur 4). Vervolgens gaat de aantasting (vanaf stap 5) redelijk gelijk op (figuren 5, 6 en 7). Voor een beeld van de uiteindelijke aantasting, na stap 7 en na aflaten van het water, wordt verwezen naar figuur 7 en het fotoblad (foto's 2 en 3).

Aangezien de stroomsnelheden niet rechtstreeks kunnen worden vertaald naar het prototype, is het niet geoorloofd hieruit zonder meer een vergelijking te maken met mogelijk optredende getijsituaties in het prototype. Daarom is een verdere analyse beperkt tot het vaststellen van de invloedsfactoren, waarbij ook de schaalafwijkingen voortvloeiend uit de te kleine materiaaldiameter (zo goed mogelijk) in beschouwing zijn genomen.

### 3.2 Bepaling invloedsfactoren

De stabiliteitsverslechtering als gevolg van de aanwezigheid van constructies en dergelijke ten opzichte van de ongestoorde situatie kan worden uitgedrukt met behulp van een invloedsfaktor.

De invloedsfaktor wordt gedefinieerd als

$$k = \frac{\bar{u}_{ok}}{\bar{u}_k}$$

waarin

$\bar{u}_{ok}$  = kritieke (aan)stroomsnelheid in de ongestoorde situatie bij een gedefinieerd transportstadium

$\bar{u}_k$  = optredende kritieke aanstroomsnelheid bij een eenduidig gedefinieerd schadekriterium

Uit praktische overwegingen is  $\bar{u}_k$  normaliter gedefinieerd buiten de lokale beïnvloedingszone van de constructie(s). In het onderhavige geval is dat moeilijk, vanwege de grootschalige beïnvloeding van het algehele stroombeeld door het bouwfront tot ver bovenstrooms ervan. De gemeten stroomsnelheden op 100 m bovenstrooms van de as zijn derhalve niet bruikbaar. Bij de stroomvoorspelling wordt uitgaande van een gemiddelde stroomsnelheid  $Q/A$  per poortje, verkregen uit de gemeten stroomsnelheid in de as, en verhoudingsgetallen welke als

grootste gemene deler uit de bouwfrontmetingen [1] naar voren kwamen. Deze factoren waren bij de stand van het onderzoek tot dat moment:

1,10 voor H4-5 (lokatie naast laatstgeplaatste pijler)

1,15 voor H5-6 (lokatie tussen laatstgeplaatste pijlers in)

Met deze factoren kan echter ook in omgekeerde zin worden gewerkt, waarbij uit de gemeten stroomsnelheden in de as de gemiddelde stroomsnelheden per poortje worden verkregen, die vervolgens worden aangemerkt als optredende aanstroom-snelheden.

Dus:

$$H4-5 \quad \bar{u} = \bar{u}_{as}/1,10$$

$$H5-6 \quad \bar{u} = \bar{u}_{as}/1,15$$

Een ander moeilijkheid is de bepaling van de ongestoorde kritieke aanstroom-snelheid in verband met het genoemde (onbekende) schaafeffect. Immers, deze is niet rechtstreeks gemeten in het model. Wel is een schatting mogelijk aan de hand van de gekonstateerde verplaatsing bovenop de negatieve overlap H3-4. Aannemende dat deze buiten de invloedssfeer van beide pijlerfronten ligt, kan de lokale optredende stroomsnelheid als ongestoorde kritieke stroomsnelheid (voor het begin van beweging) worden opgevat. Dus  $\bar{u}_{ok}$  (begin beweging)  $\approx$  2,9 m/s (prototype, op Froudeschaal). Gebruikelijk is  $\bar{u}_{ok}$  te relateren aan een zwaarder schadekriterium, bijvoorbeeld "enige verplaatsing". Die  $\bar{u}_{ok}$  kan 10 à 20% groter worden geschat, dus

$$\bar{u}_{ok} = 3,0 - 3,5 \text{ m/s.}$$

Via Shields met  $\psi = 0,035$  en  $0,045$  wordt, zonder stroombeeld/viskositeitskorrektie gevonden (op Froudeschaal):

$$\psi = 0,035 : \quad \bar{u}_{ok} = 5,0 \text{ m/s (enige verplaatsing)}$$

$$\psi = 0,045 : \quad \bar{u}_{ok} = 5,7 \text{ m/s (doorgaande verplaatsing)}$$

Volgens de resultaten van het schaalonderzoek voor de drempel uit M 1524, zou de korrektiefactor voor materiaal van 2 mm circa 1,5 bedragen (ruwe schatting, zie figuur 8). Voor  $\psi = 0,035$  wordt nu dus gevonden:

$$\bar{u}_{ok} \approx 5,0 \text{ m/s} \div 1,5 = 3,3 \text{ m/s}$$

Dit is in overeenstemming met de waarnemingen van H3-4, zodat voor  $\bar{u}_{ok}$  bij benadering 3,5 m/s kan worden aangehouden. De invloed van de verschillende waterdiepten bij de afzonderlijke poortjes kan hierbij worden verwaarloosd.

De aldus verkregen invloedsfactoren, echter nog per debietstap en dus niet gerelateerd aan een bepaald schadekriterium, zijn in tabel 4 verzameld. Als het begin van het afslijpen van de teen (mate van aantasting (2)) als schadekriterium wordt gehanteerd, wordt dus gevonden:

$k = 1,6$  naast laatstgeplaatste pijler

$k = 1,4$  tussen de laatstgeplaatste pijlers

Op grond van de bureaustudie [9] was voorlopig een  $k$  van 1,5 in de FAALKANS berekeningen aangehouden als redelijk pessimistische waarde. De thans gevonden waarden geven de indicatie dat een  $k$  van 1,6 zeker als realistisch moet worden beschouwd, en, met het oog op de onzekerheden bij de bepaling ervan, deze veeleer zou moeten worden verhoogd tot 1,7 à 1,8. Ook moet worden bedacht dat de voorliggende resultaten slechts één pijlerfront-situatie betreffen, welke niet als maatgevend of representatief voor alle pijlerfront-situaties mag worden beschouwd. Zo komt bij scheve aanstroming de indicatie naar voren, uit een vergelijking met de resultaten van M 1768 (zie par. 3.3), dat de stroombestendigheid dan nog aanzienlijk slechter zou kunnen zijn.

Bovendien moet worden benadrukt dat in het model, hoewel mogelijk niet op juiste wijze gereproduceerd, een onverwachte aantasting werd geconstateerd namelijk aantasting van de teen van de overlappen. Tegenover de mogelijk iets te gladde bodem (ongunstig in model), staat de vastgeplakte onderlaag van de korrels (te gunstig in model), welke beider invloed een kwalitatieve vertaling naar het schadegedrag in het prototype niet toelaat. Intuïtief kan wel worden opgemerkt, dat dit type aantasting in het prototype zeker zo ernstig zou kunnen zijn.

### 3.3 Stroombeeldmeting

Figuur 9 geeft de resultaten van de gedetailleerde stroombeeldmeting bij stap 5 weer, voor zowel gemiddelde als bodemsnelheden. In figuren 14...18 zijn de vertikalen gepresenteerd. Hieruit blijkt het volgende:

- Er is sprake van een sterke stroomuitwerping door de pijlers aan de bodem in de nabijheid van de zwaarst aangevallen lokatie (punt 4); bovendien treden relatief grote stroomsnelheden aan de bodem op (zie extra meetpunt in figuur 9), welke de gemiddelde stroomsnelheid benaderen.
- De gelijkmatige stroomverdeling ter hoogte van de benedenstroomse zijde van de pijler is opvallend; vanwege de afwezigheid van pijler H4 was veeleer verwacht dat de stroomuitwerping zich tot daar toe zeker zou manifesteren.

- De zware stroomaanval op de negatieve overlap is niet geheel te verklaren uit de lokale stroomsnelheden (voor zover hier gemeten). Een k-faktor van 1,6 betekent dat zonder extra turbulentie-invloed de bodemsnelheid ter plaatse (voor een vlak bed) boven de 3 m/s had moeten liggen (1,6 maal, bij benadering, de gemiddelde bodemsnelheid van de meetpunten naast de pijler omdat k is betrokken op  $Q/A$ , dus  $1,6 \times 2 \text{ m/s} = 3,2 \text{ m/s}$ ).

In figuur 10 zijn de gemiddelde stroomsnelheden genormeerd naar het bovenstroomse meetpunt 1. Naar de slechte stroombestendigheid toe geredeneerd, is de snelheidstoename gering: slechts orde 20% ten opzichte van punt 1. Gekonkludeerd kan derhalve worden dat de stabiliteit van de negatieve overlap door dusdanig lokale gebeurtenissen bepaald wordt, dat deze niet uit een stroombeeldmeting als hier uitgevoerd, kan worden afgeleid. Als oorzaak voor de lokale gebeurtenissen kunnen zowel de lokale geometrie van de overlap (fundatiemat/detailgeometrie negatieve overlap) als het lokale stroombeeld (bodemsnelheid, turbulentie, spiraalstroming) verantwoordelijk worden gesteld.

#### Vergelijking met het stroombeeld bij scheef aangestroomde pijlers (M 1768)

In figuur 12 is het ten opzichte van punt 1 genormeerde stroombeeld uit M 1768 weergegeven (gemiddeld per vertikaal) aan de hand van de metingen uit figuur 11. Opvallend is daarbij het sterk aanliggen tegen de tegenoverliggende pijler en de sterke snelheidstoename daar ter plaatse. Ondanks de situatie "tussen de pijlers in" is de gelijkrichtende werking kennelijk ondergeschikt aan de invloed van de scheve aanstroming ( $20^\circ$ ).

In figuur 13 zijn de afzonderlijke, genormeerde verdelingen met elkaar vergeleken. Hieruit blijkt dan ook dat de stroomsnelheidstoename tussen de pijlers bij scheve aanstroming tot zo'n 30% groter is dan die bij een meer recht aangestroomd pijlerfront naast de laatstgeplaatste pijler.

Dit geeft aan dat bij relatief scheve aanstroming de negatieve overlappen tussen de pijlers in, een wellicht aanzienlijk ongunstiger stroomaanval kunnen ondervinden dan de k van 1,4 tussen de laatstgeplaatste pijlers van het bouwfront uit het onderhavige onderzoek doet vermoeden.

#### 4. Turbulentiemeting

##### 4.1 Algemeen

Op provisorische wijze (vakantieperiode, zeer korte voorbereidingstijd) werden zowel in M 1001 als ook in M 1000 enkele turbulentiemetingen verricht. Zoals in paragraaf 1 reeds is gesteld, kwam de wenselijkheid van deze metingen voort uit de tussentijdse resultaten van de EKOR-studie (evaluatie korrelstabiliteit SVKO [3]). Deze duiden op een mogelijk niet onbelangrijke invloed van zeer laagfrequentie snelheidsfluctuaties welke mede bij de in het kader van die studie uitgevoerde metingen in de Oosterschelde waren geconstateerd. De kenmerkende periode van die grootschalige turbulentie lag in de orde van enige minuten prototype. De prototypemetingen, uitgevoerd met behulp van Ott-molens die aan een op de bodem geplaatst meetstation waren bevestigd, gaven een spectrum te zien met veel energie bij die lage frequenties (zie bijvoorbeeld R 1437 [14]). De ongunstige invloed die van dergelijke "turbulentiestoten" op de stabiliteit van loskorrelige materialen werd verondersteld uit te gaan, deed de vraag opkomen of bij de stabiliteitsproef voor de negatieve overlap in M 1001 een dergelijke grootschalige turbulentie wel aanwezig zou zijn.

Bovendien rees de vraag of een dergelijke turbulentie ook sterk afhankelijk zou zijn van de momentane bouwphase van de stormvloedkering, met andere woorden of deze turbulentie al dan niet in belangrijke mate door de werken zelf zou worden gegenereerd dan wel beïnvloed.

Het lopende onderzoek in M 1000 in de zomer van 1982 met verschillende bouwstadia van de kering in de Roompot ([4]) bood de mogelijkheid om via een aantal turbulentiemetingen enig inzicht te verkrijgen, vooropgesteld dat M 1000 een dergelijke grootschalige turbulentie zou kunnen reproduceren.

De geïmproviseerde metingen hebben echter niet in alle opzichten voldaan: zo bleek bij één situatie in M 1000 in het geheel niets te zijn geregistreerd, terwijl in een andere situatie een deel van de registratie eveneens is weggevallen. Bij de verwerking van de signalen bleek het achteraf niet goed mogelijk te zijn om de verticale schaal van de frequentiespectra vast te stellen; het alsnog reconstrueren van een en ander zou - zo dit al mogelijk zou zijn - veel tijd vergen. Hier is dan ook van afgezien, mede in verband met de nadien meer uitgebreide en zorgvuldiger uitgevoerde turbulentiemetingen in M 1001 ([1]).



Wel hebben de metingen een eerste bruikbare indruk van de laagfrequentie turbulentie in M 1000 en M 1001 verschaft.

#### 4.2 Metingen

De resterende, bruikbare registraties uit M 1000 hebben betrekking op een tweetal bouwfase-situaties in de Roompot:

- kaal sluitgat: meetraai in het midden van de Roompot
- 14 pijlers geplaatst (in de figuren met pijlerfront aangeduid): één meetraai buiten de direkte invloed van het pijlerfront (A-B) en één meetraai tussen de laatstgeplaatste pijlers (A''-B'')

Per meetraai werd steeds een punt (bij benadering) in de as en een punt 200 m zeewaarts ervan simultaan gemeten op een zo gering mogelijke hoogte boven de bodem van 2,5 m prototype (figuur 19).

In M 1001 werd op overeenkomstige wijze een drietal raaien gemeten voor een pijlerfrontsituatie in het zuiden van de Hammen. Bij dit pijlerfront waren de pijlers H3 en H4 nog niet geplaatst. De raaien waren gelegen buiten de direkte pijlerinvloed (A-B), naast de laatstgeplaatste pijler (A'-B') en tussen de laatstgeplaatste pijlers (A''-B'').

De meethoogte boven de bodem was circa 2 m.

De ongefilterde signalen werden op magneetband opgenomen en na filtering over een frequentie van circa  $10^{-3}$  Hz prototype, in verband met elimineren van de getij-invloed, door analyse-apparatuur verwerkt. Voor het elimineren van ruis werden de M 1000-metingen tevens door een laagdoorlaatfilter van 0,13 Hz prototype gestuurd. Dit is bij de M 1001-metingen niet meer gedaan (inmiddels was uit de prototypemetingen gebleken dat een dergelijke filtering niet belangrijk was). Zoals eerder gesteld, zijn de energiedichtheden van de door de analyse apparatuur verkregen spectra niet op schaal. Anderzijds zou een direkte vergelijking tussen M 1000 en M 1001 zowiezo niet mogelijk zijn geweest in verband met onvergelijkbare situaties (sluitgat, bouwfront, stroomintensiteit, etc.).

#### 4.3 Resultaten

Een kenmerkende stroomregistratie in de Oosterschelde, op 0,5 m en 1,0 m boven de bodem met een plaatsvaste Ott-molen gemeten, is in figuur 20 weergegeven. Er is duidelijk een op het gemiddelde getij signaal gesuperponeerd "micro-getij" te zien met een kenmerkende periode van orde enige minuten. Ook in het spectrum komt dit tot uiting (voorbeelden van spectra worden in R 1437 [14] gegeven) via een scherpe piek bij orde 0,005 Hz.

Eenzelfde beeld treedt op in M 1000, zowel voor de stroomregistraties zelf (figuren 21, 22 en 23) als voor de turbulentiespectra bij eb zowel als vloed (figuren 24, 25 en 26). Ook in M 1001 is dit beeld overeenkomstig, getuige de stroomregistraties (figuur 27) en spectra (figuren 28, 29 en 30).

Globaal bezien reproduceren dus zowel M 1000 als M 1001 aan de bodem eenzelfde type laagfrequentie turbulentie als in de Oosterschelde voorkomt. Dit is voor het detailmodel M 1001 des te opmerkelijker, omdat hierin slechts een beperkt deel van de totale vooroever-geometrie wordt weergegeven.

Dat de laagfrequentie turbulentie anderzijds voornamelijk zou worden gegenereerd door de Oosterscheldewerken in uitvoering, is niet waarschijnlijk. Zo zijn de prototypemetingen van R 1437 in een vrijwel kaal sluitgat uitgevoerd (de werkeilanden waren wel reeds aanwezig), terwijl toch het kenmerkende spectrum werd gemeten. Dit wordt nu ook bevestigd door de metingen in M 1000 en M 1001. Door de in aanbouw zijnde kering wordt in de nabijheid van de pijlers, veeleer extra hoogfrequentie turbulentie gegenereerd dan laagfrequentie. In elk geval zijn de verschillen in spectrumvorm tussen meetlocaties 200 m buiten de as (A, A' en A'') niet significant met die voor locaties tussen of naast de pijlers (B', B'').

Konkluderend kan worden gesteld dat zowel M 1000 als M 1001 eenzelfde type laagfrequentie turbulentie aan de bodem genereren als in de Oosterschelde voorkomt, zodat voor korrelstabiliteit dit mechanisme (afgezien van traagheidsinvloeden, zie RWS nota [3]) representatief is in beide modellen. Over de reproductie van de grootte van deze turbulentie kan niet zonder meer een uitspraak worden gedaan. De gemeten turbulentie-intensiteiten in M 1001 van circa 10 à 20% welke ook bij de prototypemetingen in 1982 werden gevonden [3], wijzen wel op een realistische weergave van de grootte van deze turbulentie.

## REFERENTIES

- 1 Driegen, J., SVKO, detailmodel stroomgeulen, systematisch stroombeeldonderzoek rond bouwfronten,  
Verslag modelonderzoek M 1898, Waterloopkundig Laboratorium, april 1983
- 2 Notitie stand van zaken onderzoek stabiliteit grind per 31-12-1981,  
Rijkswaterstaat, 24 EGRO-M-82001, januari 1982
- 3 Nota onderzoek korrelstabiliteit,  
Rijkswaterstaat, 21 EKOR-N-82025, december 1982
- 4 Driegen, J., SVKO, vervolgonderzoek bouwfasen stormvloedkering,  
Verslag modelonder M 1889 delen I, II en III, Waterloopkundig Laboratorium, oktober 1982
- 5 Taat, J.J., SVKO, stabiliteit negatieve overlap, oriënterend onderzoek in de stroomgoot te Lith,  
Verslag modelonderzoek R 1852, Waterloopkundig Laboratorium, november 1982
- 6 Hartsuiker, G., Akkerman, G.J., SVKO, stabiliteit negatieve overlap voor situaties met pijlerinvloed,  
Verslag modelonderzoek M 1934, Waterloopkundig Laboratorium, september 1983
- 7 Taat, J.J., Akkerman, G.J., SVKO, stabiliteit rand negatieve overlap voor situaties zonder pijlerinvloed,  
Verslag modelonderzoek M 1940, Waterloopkundig Laboratorium, november 1983
- 8 Akkerman, G.J., SVKO, stroombestendigheid van de drempel tijdens de bouw-fase,  
Verslag modelonderzoek M 1524 delen I, II en III, Waterloopkundig Laboratorium, augustus 1983
- 9 Akkerman, G.J., SVKO, stabiliteit afdeklaag negatieve overlap,  
Verslag bureaustudie LV 1460, Waterloopkundig Laboratorium, augustus 1981

- 10 Shields, A.,  
Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik der Turbulenz forschung auf die  
Geschiebebewegung,  
Mitt. der Preuz. Verzuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin,  
Heft 26, 1936
  
- 11 Yalin, Karahan,  
Inception of sediment transport,  
Proc. ASCE, Vol. 105, HY 11, 1979
  
- 12 Qadar, A.,  
The vortex mechanism at bridge piers,  
Proc. Instr. Civ. Engrs., Part 2, 71, September 1981
  
- 13 Konter, J.L.M., SVKO, storten van de drempel en overgangskonstruktie,  
Verslag modelonderzoek M 1768, Waterloopkundig Laboratorium, september  
1983
  
- 14 Deelen, C., SVKO, turbulentiemetingen in de monding van de Oosterschelde,  
verslag uitvoering en verwerking prototypemetingen,  
Verslag modelonderzoek R 1437, Waterloopkundig Laboratorium, augustus 1980

lokatie	faktor t.o.v. getij 11.09.68							
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
..-H1	1,18	1,33	1,49	1,64	1,83	2,02	2,03	2,29
H1-H2	1,25	1,41	1,56	1,72	1,93	2,13	2,23	2,33
H2-H3	1,36	1,50	1,65	1,79	1,95	2,11	2,36	2,40
H3-H4	1,43	1,60	1,76	1,93	2,16	2,38	2,55	2,59
H4-H5	1,42	1,59	1,75	1,92	2,15	2,37	2,48	2,53
H5-H6	1,43	1,59	1,76	1,92	2,08	2,23	2,41	2,54

Tabel 1 Overzicht gemeten stroomsnelheden 100 m bovenstrooms van de as (in m/s)

lokatie	faktor t.o.v. getij 11.09.68							
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
..-H1	1,25	1,28	1,28	1,30	1,32	1,33	1,38	1,27
H1-H2	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,10	1,11	1,12
H2-H3	1,17	1,19	1,20	1,22	1,22	1,23	1,15	1,18
H3-H4	1,14	1,11	1,10	1,08	1,05	1,03	1,04	1,10
H4-H5	1,32	1,29	1,26	1,24	1,22	1,21	1,24	1,29
H5-H6	1,47	1,44	1,40	1,39	1,41	1,43	1,39	1,39

- gepresenteerd zijn de volgende verhoudingsgetallen:

$$\frac{\bar{u}_{as}}{\bar{u}_{bov.str.}}$$

- de verhoudingsgetallen voor factoren 1,1, 1,2, 1,4 en 1,6 zijn geïnterpoleerd tussen de corresponderende gemeten waarden bij factoren 1,0, 1,3, 1,5 en 1,7

Tabel 2 Overzicht verhoudingsgetallen stroomsnelheid in de as en bovenstrooms

lokatie	faktor t.o.v. getij 11.09.68							
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
..-H1	1,00	1,02	1,05	1,07	1,11	1,14	1,07	1,14
H1-H2	1,00	1,03	1,04	1,06	1,10	1,14	1,12	1,10
H2-H3	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,03	1,08	1,04
H3-H4	1,00	1,02	1,03	1,04	1,08	1,11	1,11	1,07
H4-H5	1,00	1,02	1,03	1,04	1,08	1,11	1,09	1,05
H5-H6	1,00	1,01	1,03	1,03	1,04	1,04	1,05	1,04

- gepresenteerd zijn de volgende verhoudingsgetallen:

$$\frac{\bar{u}_{\text{bov.str.}} \text{ (zie tabel 1)}}{(\bar{u}_{\text{bov.str. faktor} = 1,0}) * \text{faktor betreffende kolom}}$$

Tabel 3 Overzicht evenredige toename snelheidsverdeling bij toename ingesteld debiet

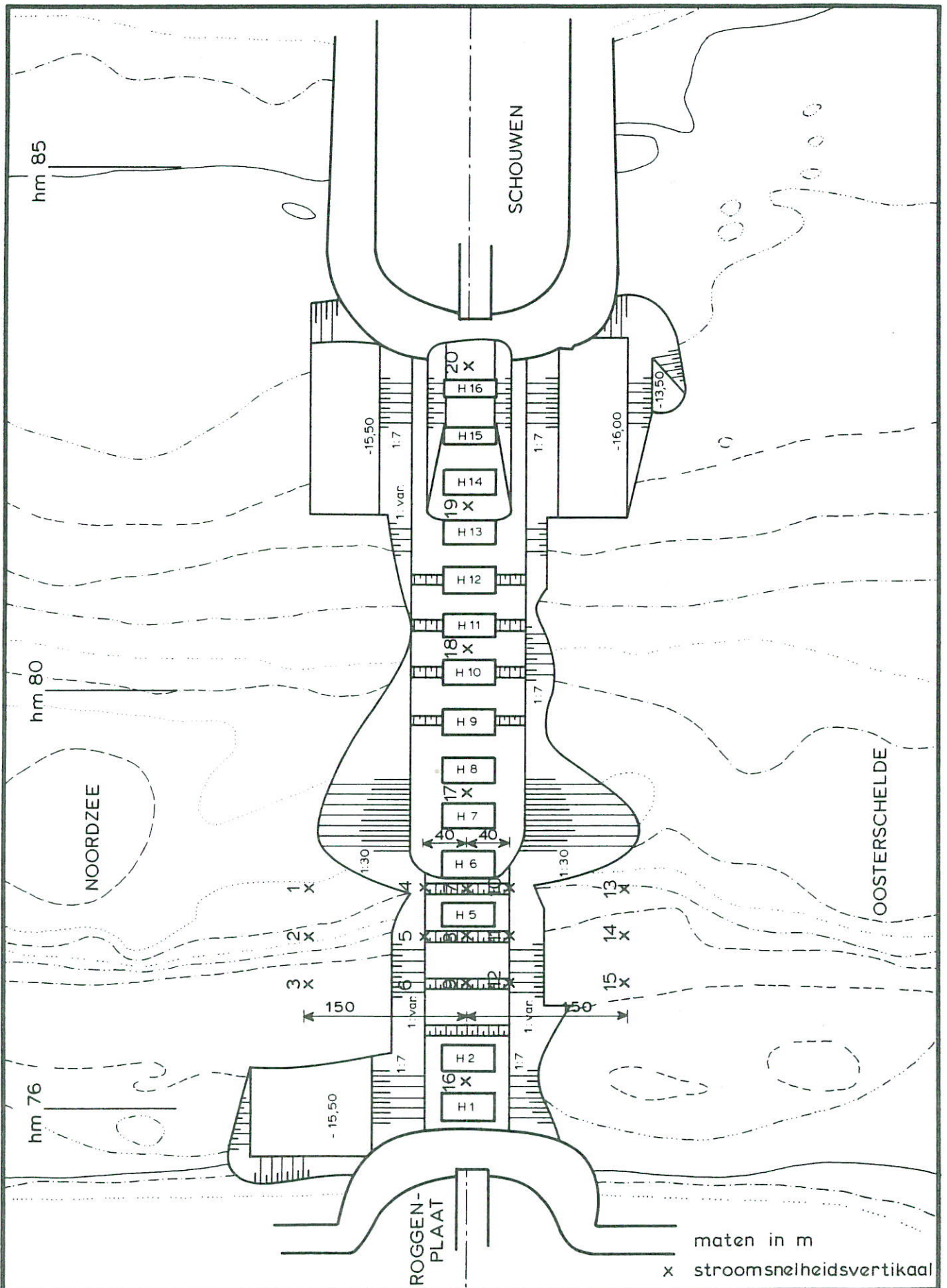
lokatie	stap	(instelgetij + ..%)	$\bar{u}_{as}$	$\bar{u} = Q/A$	$k = \bar{u}_{ok}/\bar{u}$	mate van aantasting
H4-5	0	( 0%)	1,88	1,71	2,0	-
	1	(10%)	2,05	1,86	1,9	-
	2	(20%)	2,21	2,01	1,7	(1)
	3	(30%)	2,38	2,16	1,6	(2)
	4	(40%)	2,62	2,38	1,5	(3)
	5	(50%)	2,86	2,55	1,4	
	6	(60%)	3,07	2,79	1,3	
	7	(70%)	3,27	2,97	1,2	
H5-6	0	( 0%)	2,10	1,83	1,9	-
	1	(10%)	2,29	1,99	1,8	-
	2	(20%)	2,48	2,16	1,6	-
	3	(30%)	2,67	2,32	1,5	-
	4	(40%)	2,93	2,55	1,4	(2)
	5	(50%)	3,19	2,77	1,3	(3)
	6	(60%)	3,36	2,92	1,2	
	7	(70%)	3,52	3,06	1,1	

$$H4-5: \bar{u} = \frac{\bar{u}_{as}}{1,10}$$

$$H5-6: \bar{u} = \frac{\bar{u}_{as}}{1,15}$$

- (1) begin beweging korrels bij de teen
- (2) begin afslijping teen
- (3) verplaatsing over groter deel van de negatieve overlap

Tabel 4 Invloedsfaktor negatieve overlap (indikatief)



maten in m  
 x stroomsnelheidsvertikaal

OVERZICHT BOUWFRONT HAMMEN

HAMMEN UIT [1]

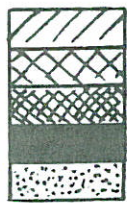
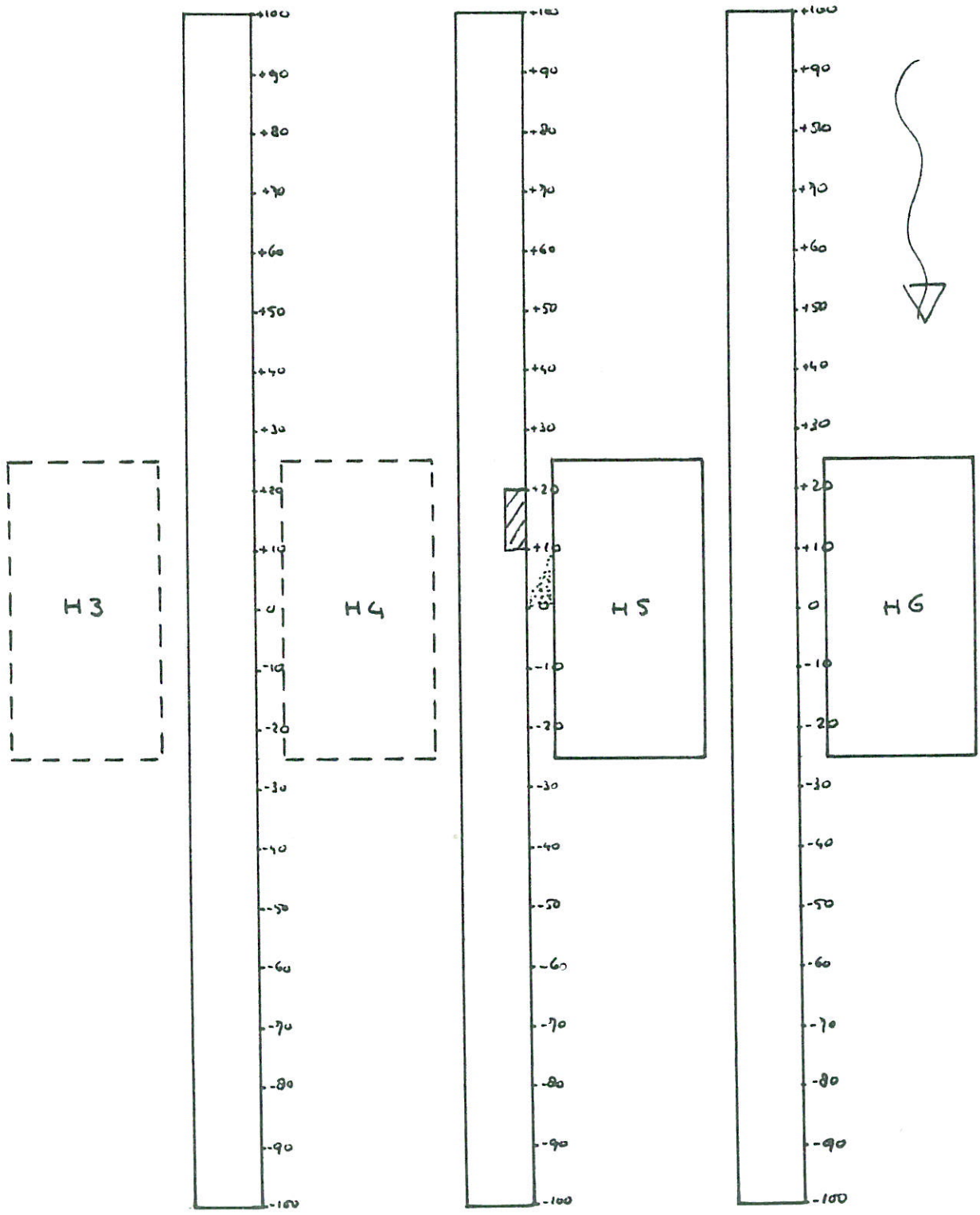
SCHAAL 1: 5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 1





begin van beweging  
 meer beweging  
 doorgaand transport  
 volledige aantasting (= onderlaag bloot)  
 afzetting van materiaal

OVERZICHT AANTASTING NEGATIEVE OVERLAP  
 STAP 2

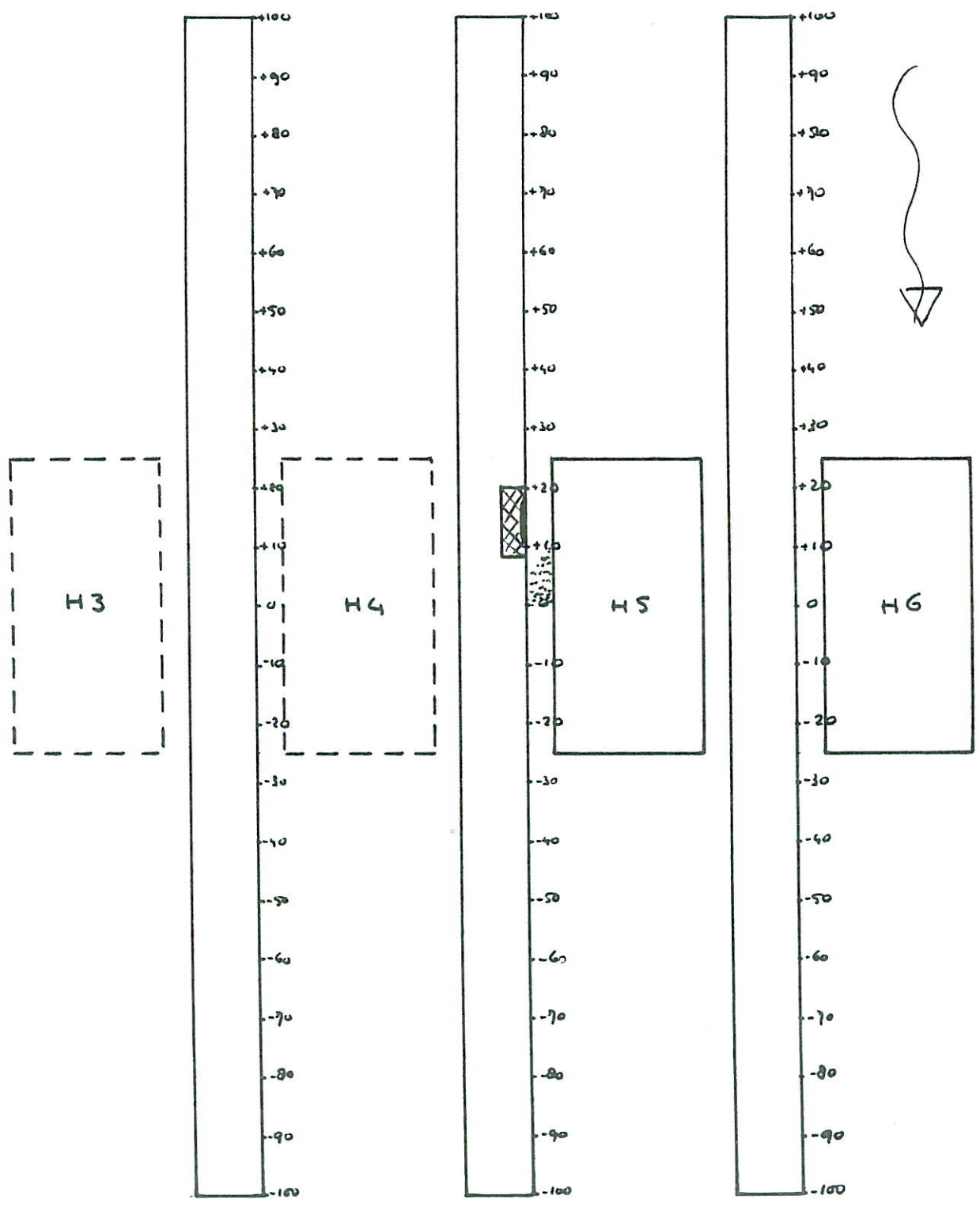
HAMMEN

INSELGETIJ x 1,2

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 2



begin van beweging  
 meer beweging  
 doorgaand transport  
 volledige aantasting (= onderlaag bloot)  
 afzetting van materiaal

OVERZICHT AANTASTING NEGATIEVE OVERLAP  
 STAP 3

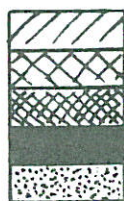
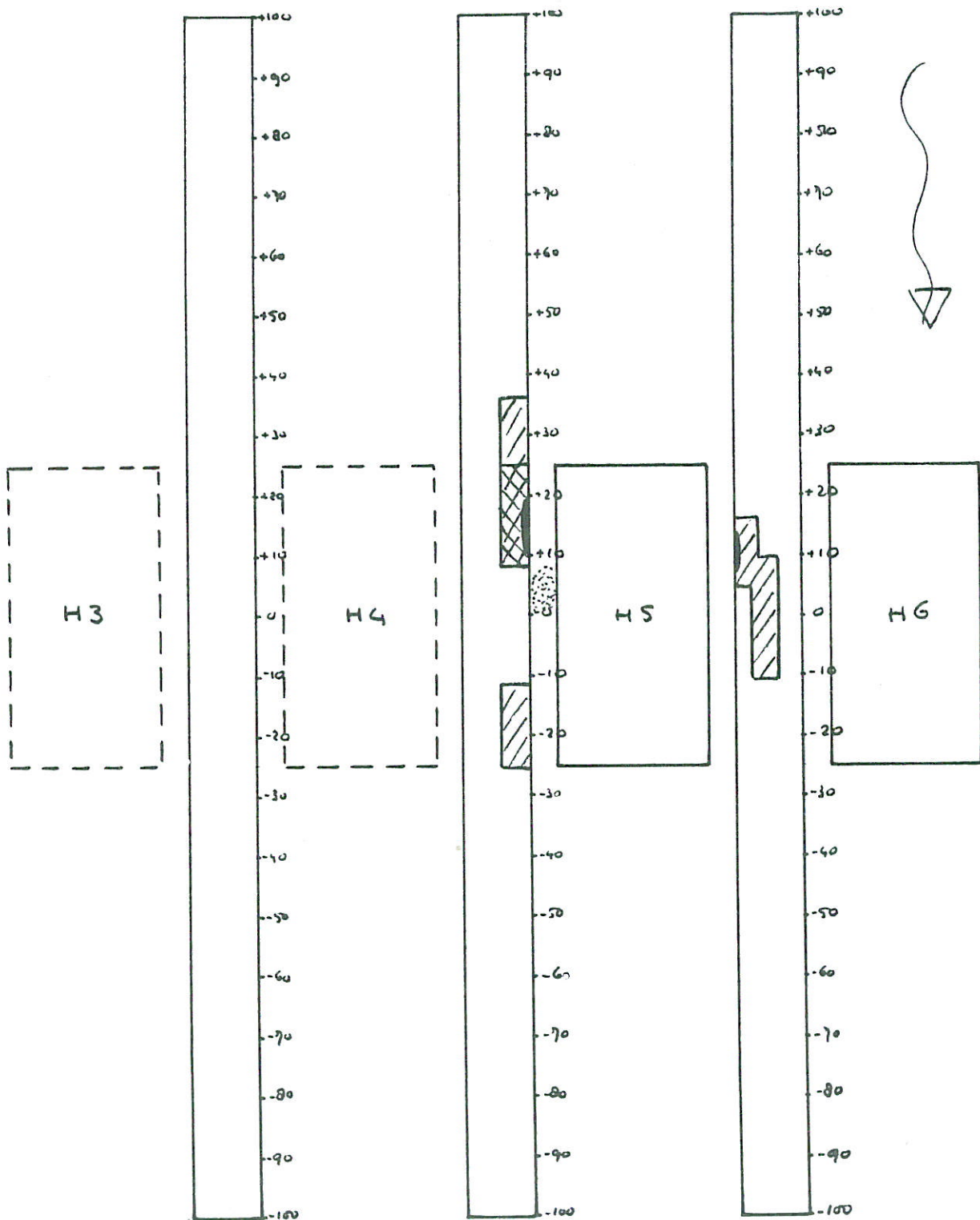
HAMMEN

INSELGETIJ x 1,3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 3



begin van beweging  
 meer beweging  
 doorgaand transport  
 volledige aantasting (= onderlaag bloot)  
 afzetting van materiaal

OVERZICHT AANTASTING NEGATIEVE OVERLAP  
STAP 4

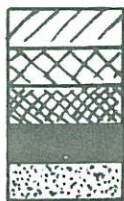
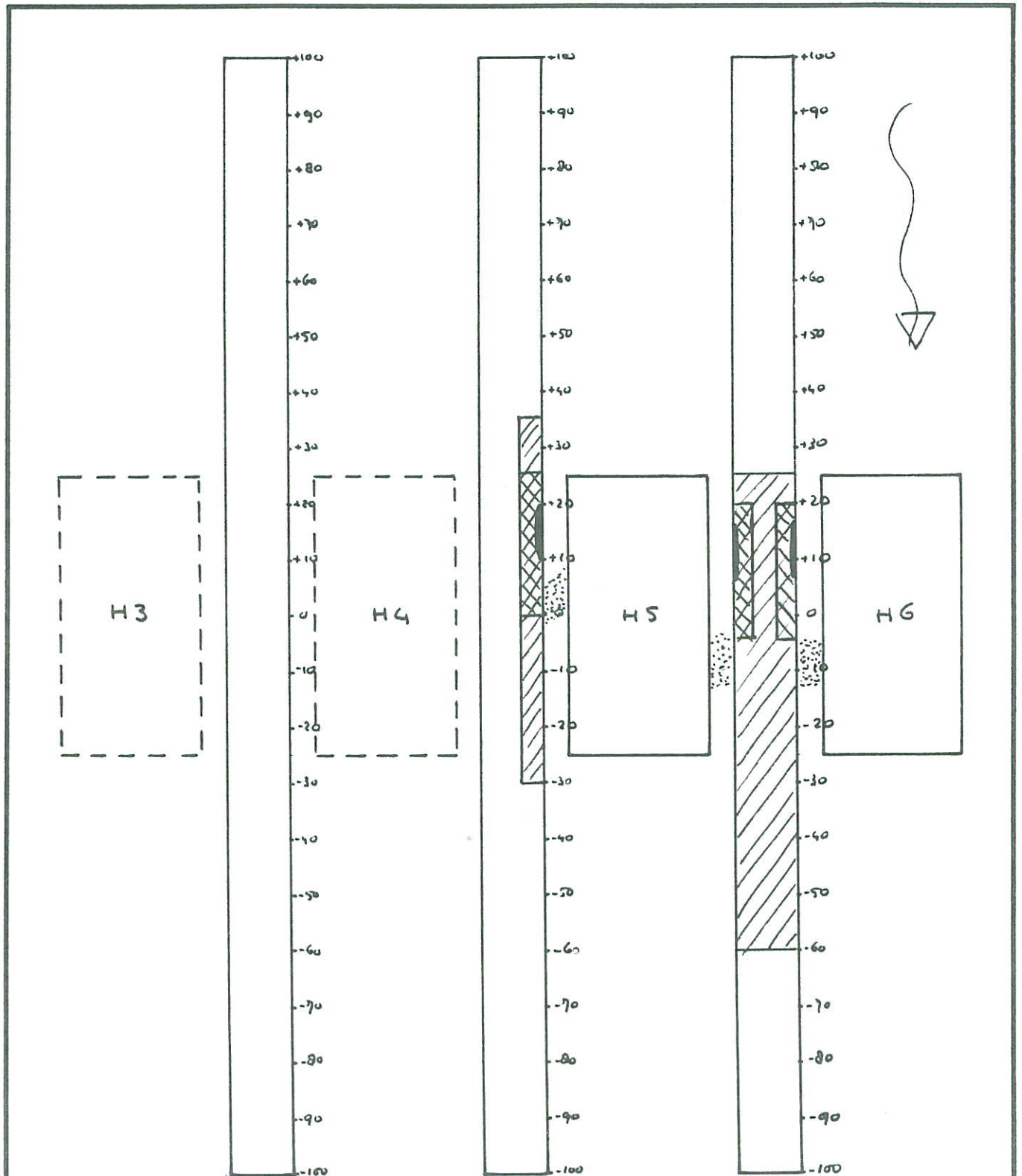
HAMMEN

INSELGETIJ x 1,4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 4



begin van beweging  
 meer beweging  
 doorgaand transport  
 volledige aantasting (= onderlaag bloot)  
 afzetting van materiaal

OVERZICHT AANTASTING NEGATIEVE OVERLAP  
 STAP 5

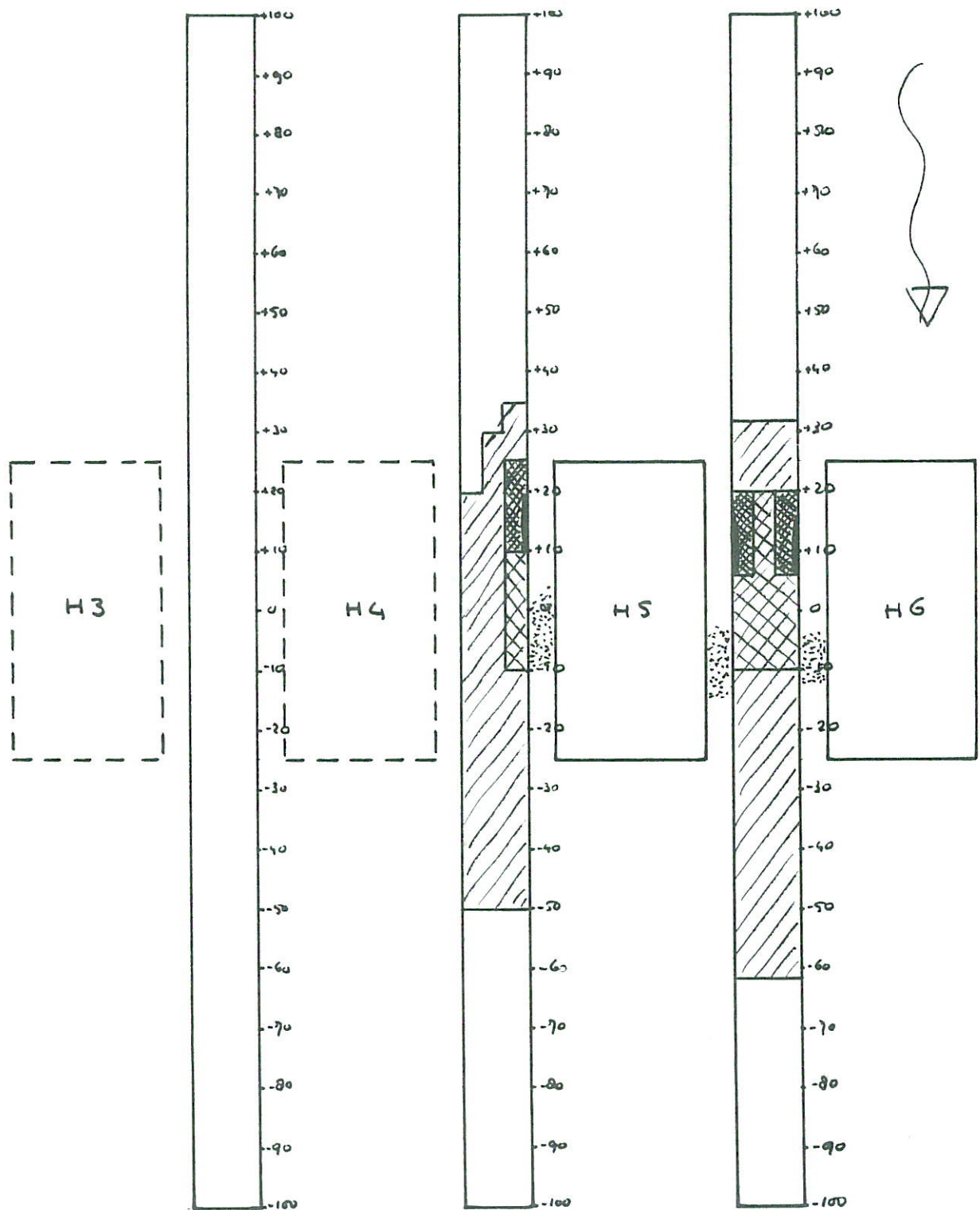
HAMMEN

INTELGETIJ x 1,5

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 5



begin van beweging  
 meer beweging  
 doorgaand transport  
 volledige aantasting (= onderlaag bloot)  
 afzetting van materiaal

OVERZICHT AANTASTING NEGATIEVE OVERLAP  
 STAP 6

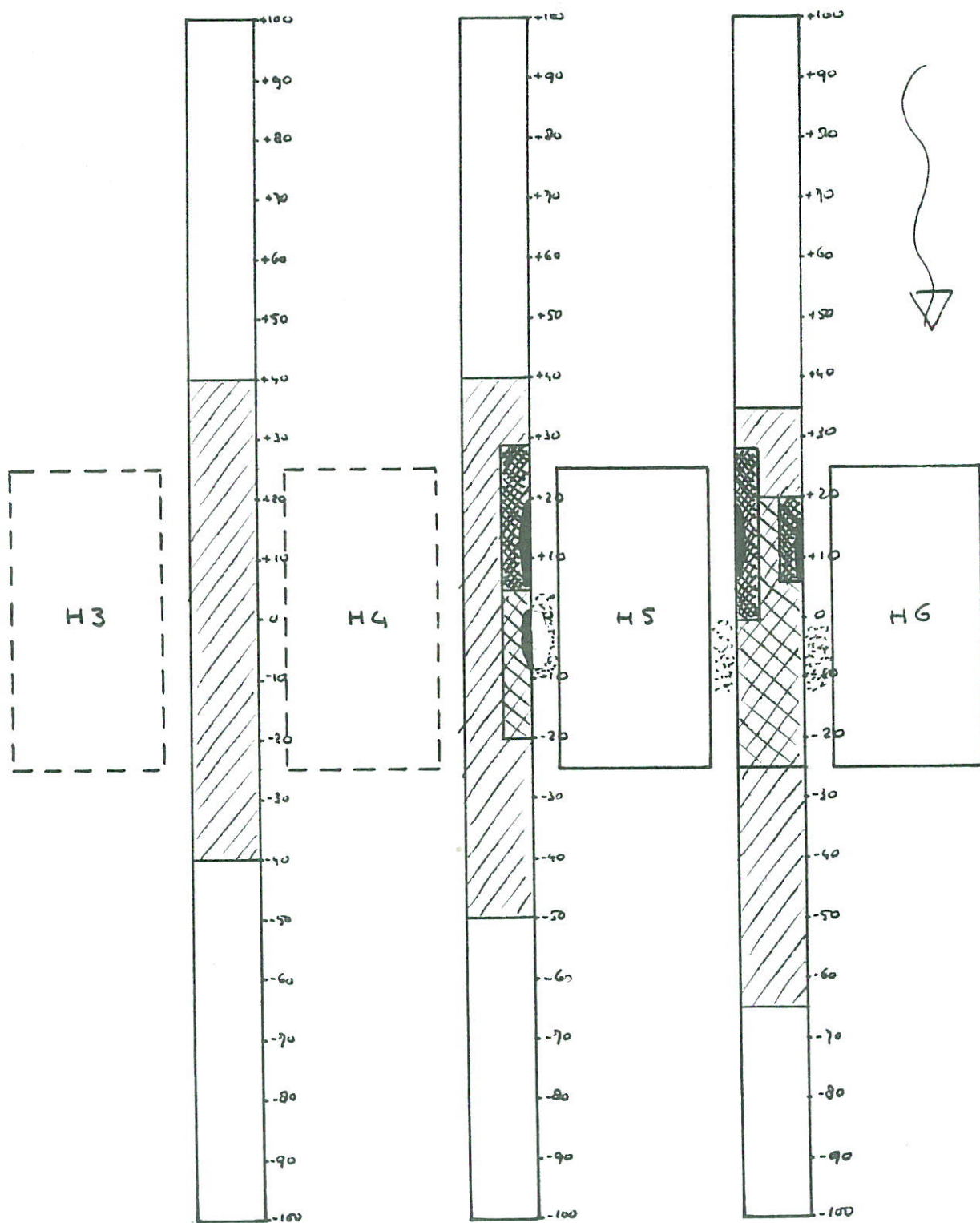
HAMMEN

INTELGETIJ x 1,6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 6



begin van beweging  
 meer beweging  
 doorgaand transport  
 volledige aantasting (= onderlaag bloot)  
 afzetting van materiaal

OVERZICHT AANTASTING NEGATIEVE OVERLAP  
 STAP 7

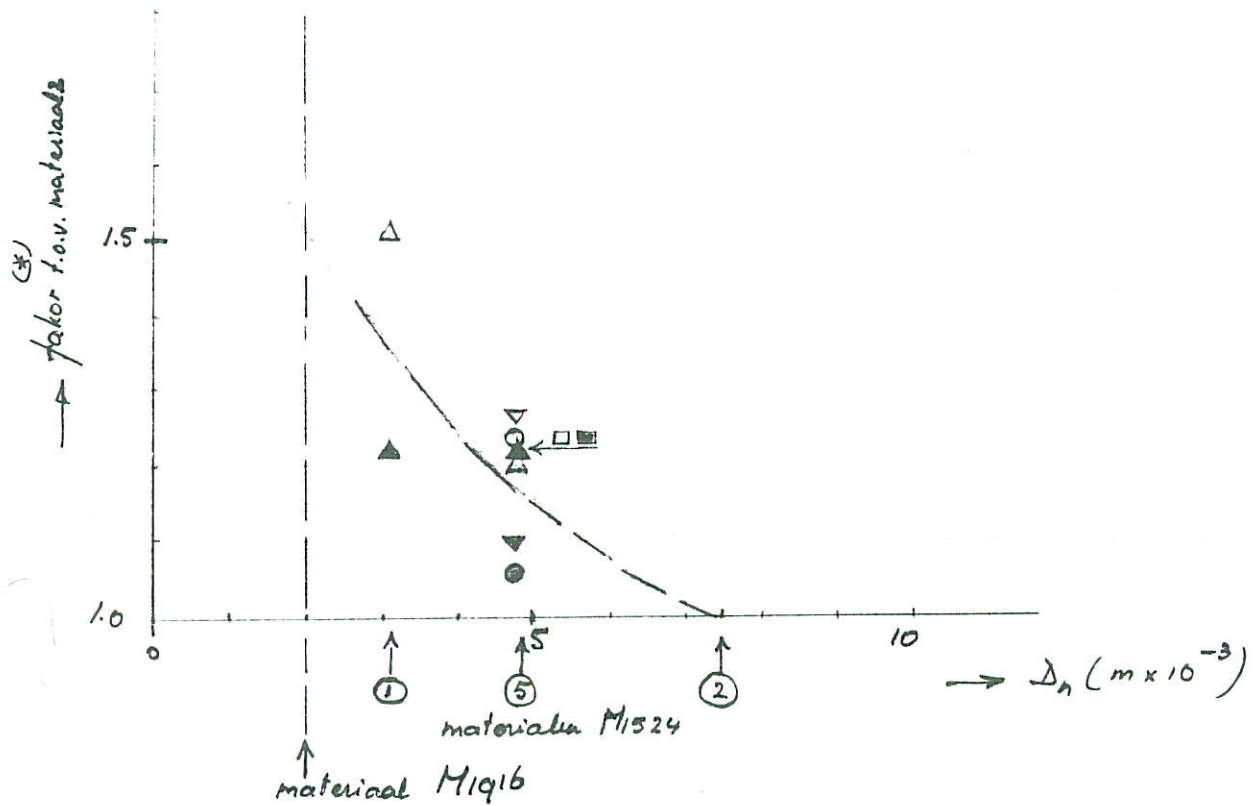
HAMMEN

INSELGETIJ x1,7

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

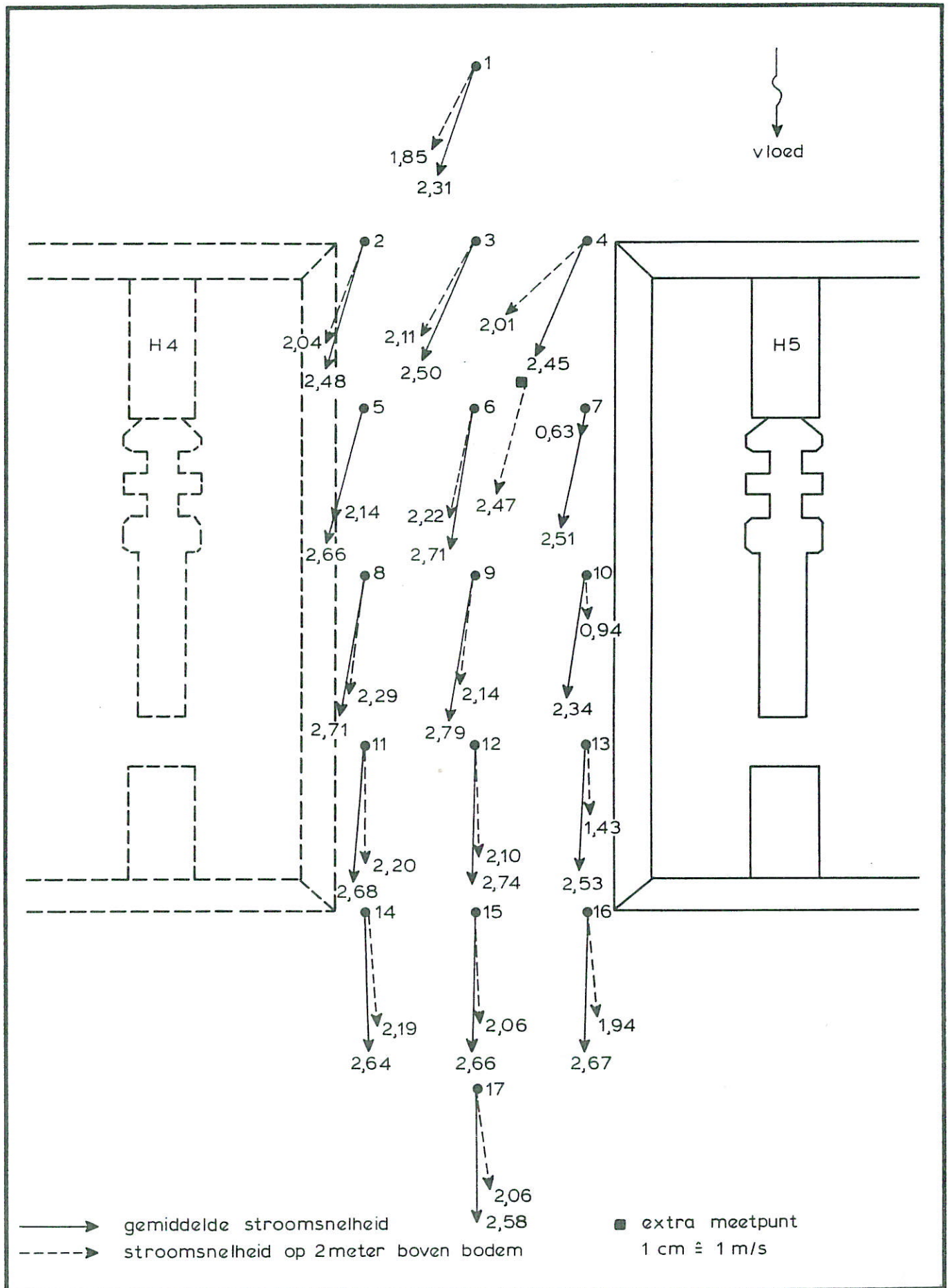
FIG. 7



	materiaal	opbouwfase	waterdiepte (m)
△	1,5	a	20,0
▲	1,5	a	38,0
○	5	b	18,5
●	5	b	36,5
□	5	c	16,5
■	5	c	34,5
▽	5	d	14,0
▼	5	d	32,0

(\*) faktor =  $\frac{\text{kritieke snelheid, uitgaande van } k\text{-factoren, gemeten bij materiaal 2}}{\text{optredende kritieke snelheid}}$   
 snelheden genormeerd naar  $\Delta = 1,65$  bron: M1524 [8]

MATERIAALINVLOED BIJ M1524  
 AANTASTING LANGS DE PIJLERFLANKEN



STROOMSNELHEDEN EN RICHTINGEN

HAMMEN

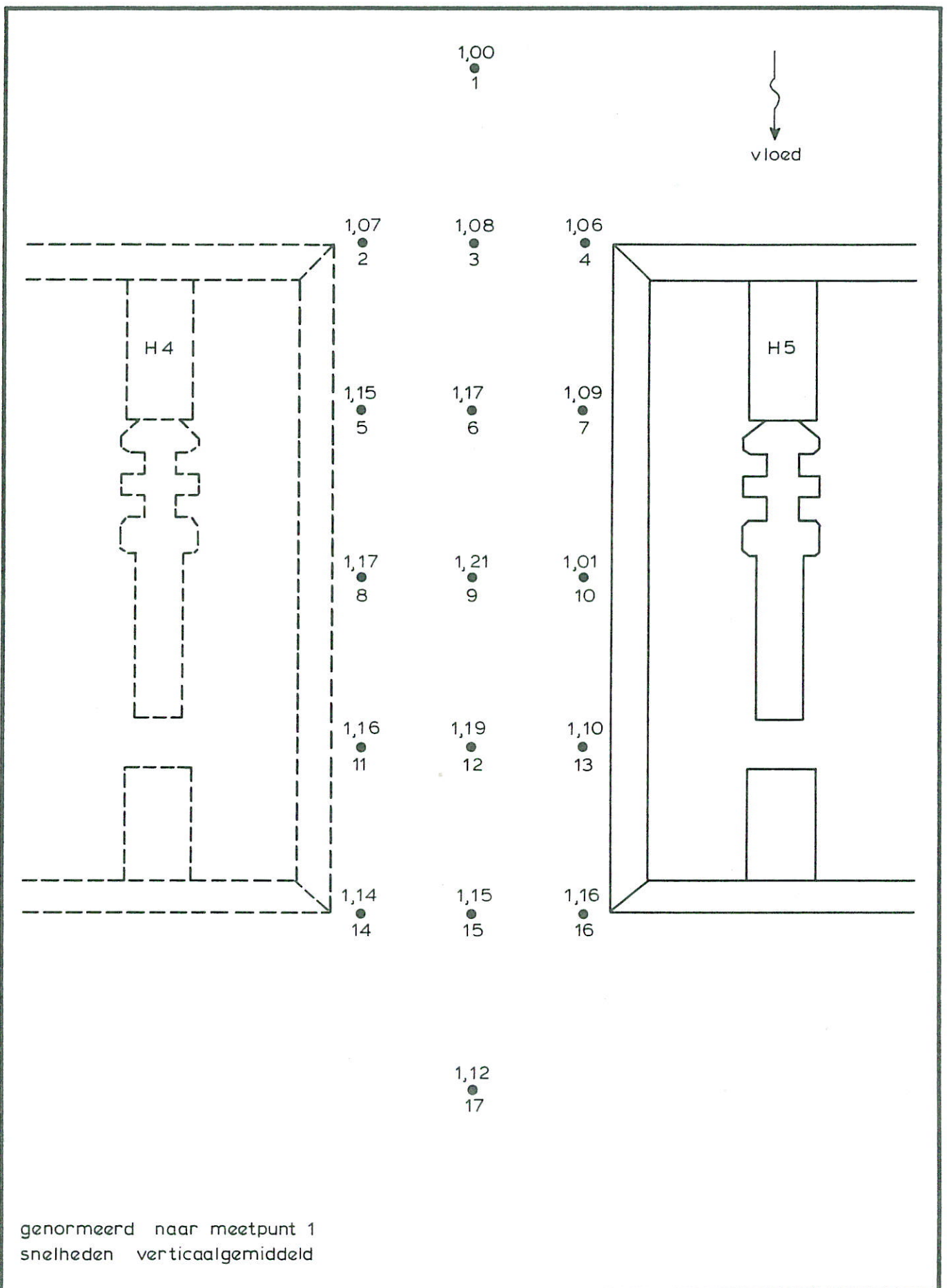
INSELGETIJ  $\times 1,5$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

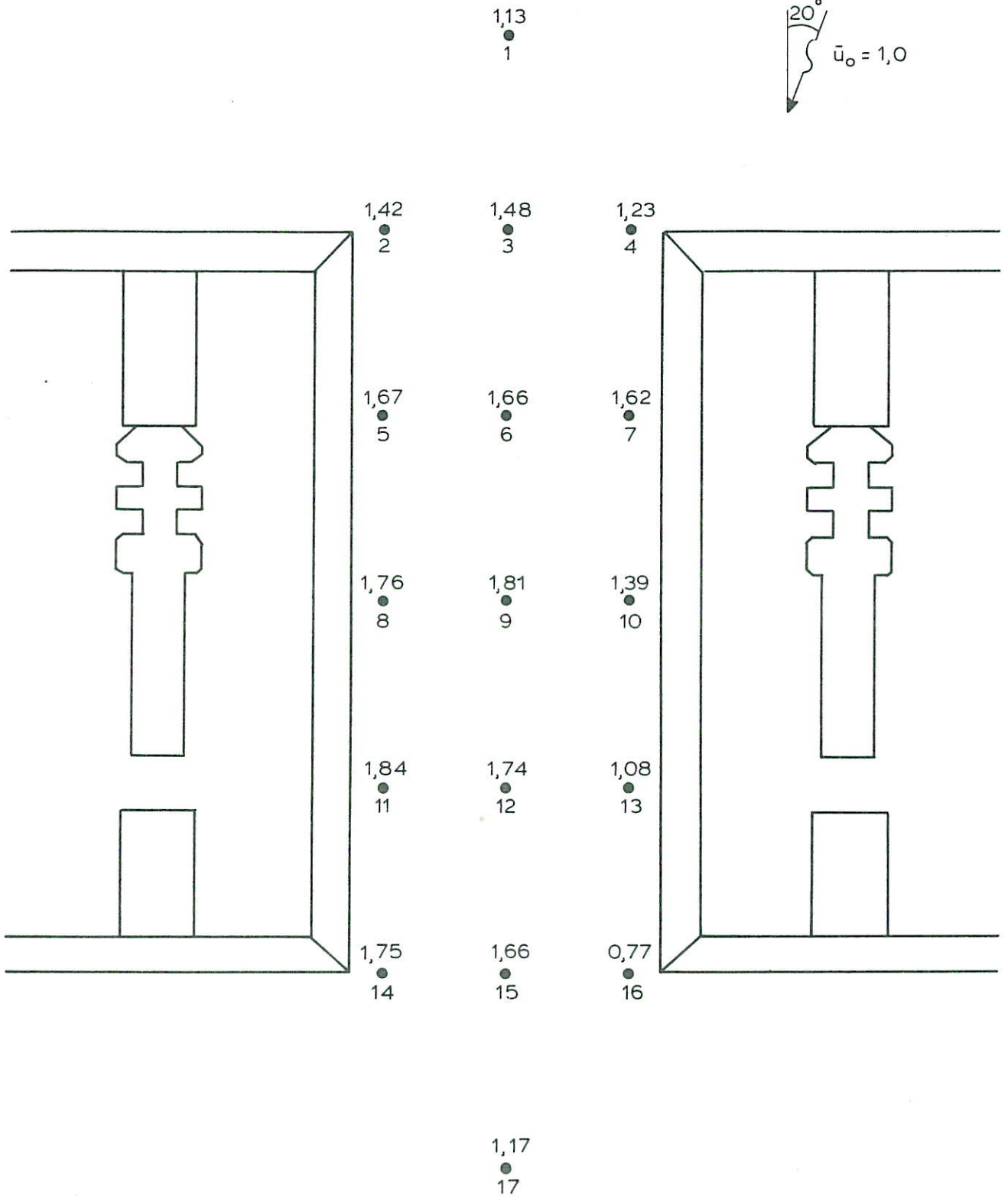
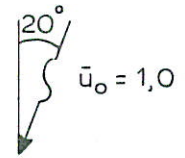
M 1916

FIG. 9





GENORMEERDE SNELHEIDSVERDELING	HAMMEN	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1916	FIG. 10



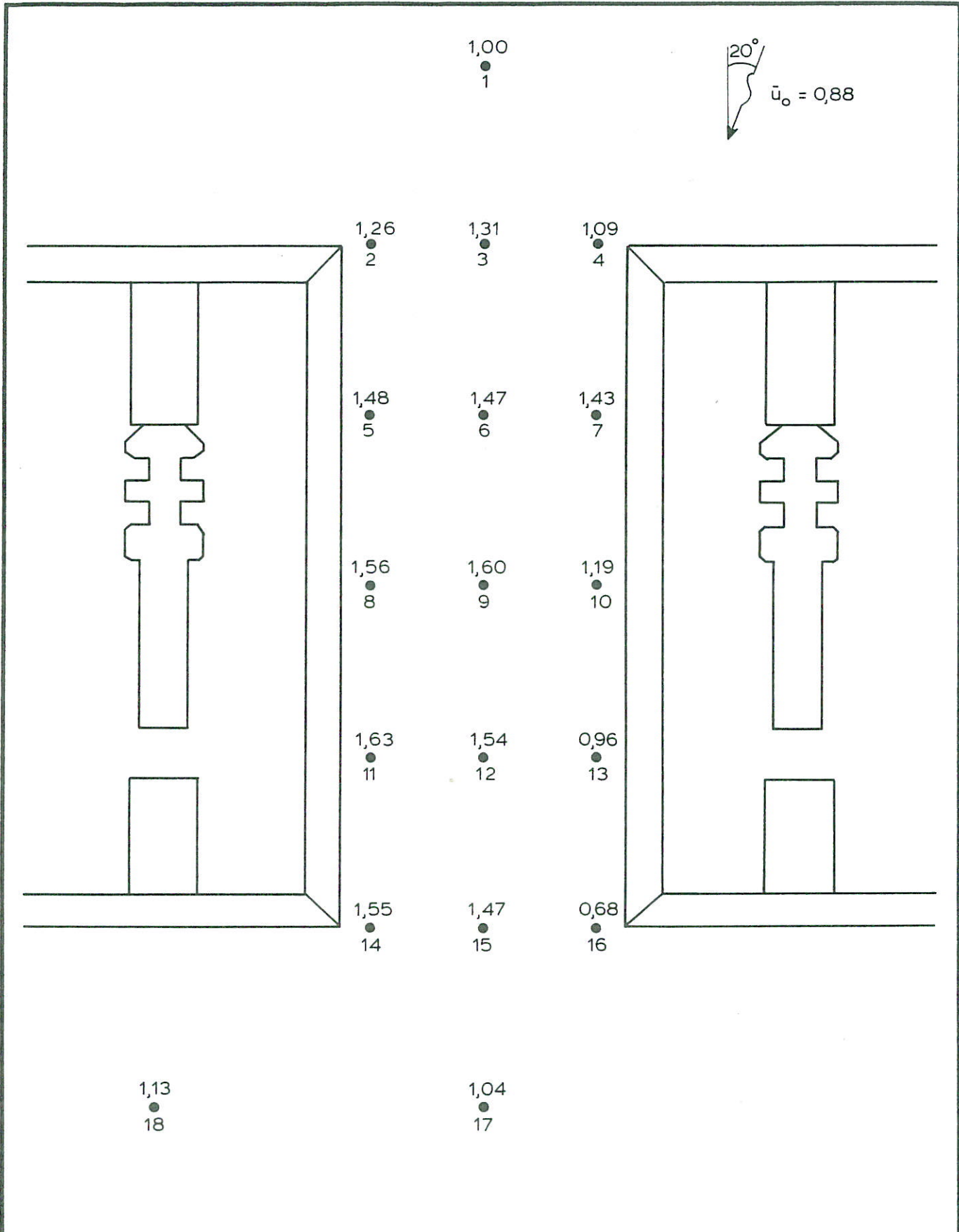
(m/s prototype)

GEMIDDELDE STROOMSNELHEDEN TUSSEN  
 DE PIJLERS (M 1768)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

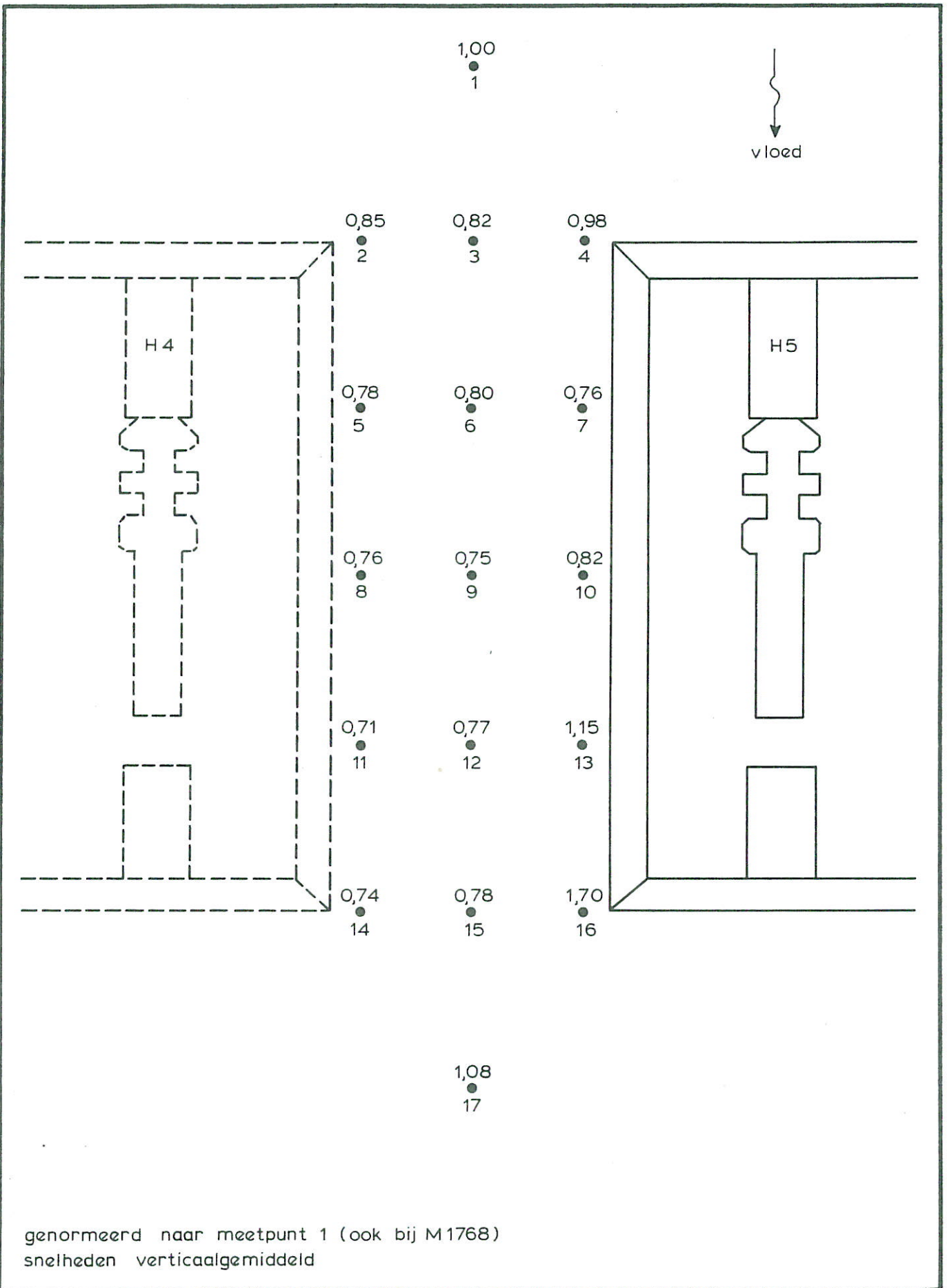
FIG. 11



genormeerd naar meetpunt 1  
snelheden verticaalgemiddeld

lokatie : geen inbaggering / verdieping

GENORMEERDE SNELHEIDSVERDELING TUSSEN DE PIJLERS (M1768)		
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1916	FIG. 12



genormeerd naar meetpunt 1 (ook bij M1768)  
snelheden verticaalgemiddeld

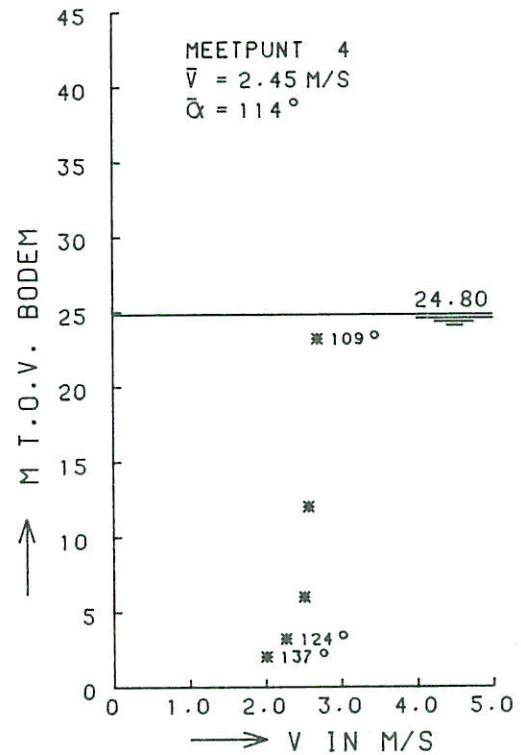
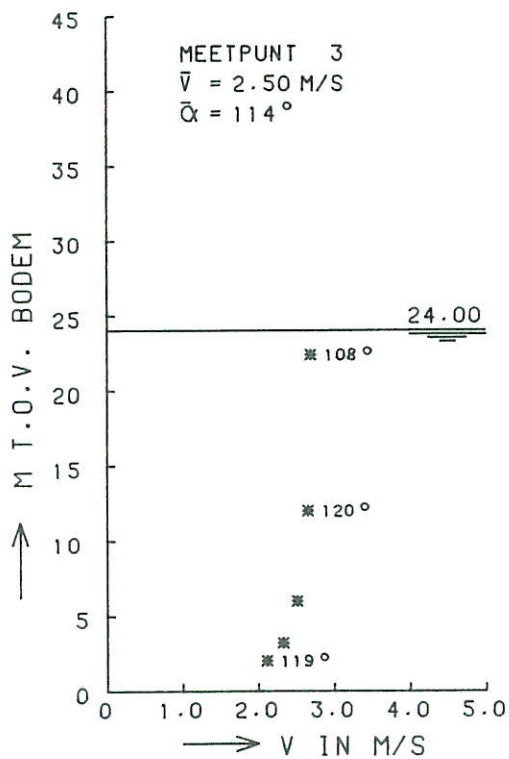
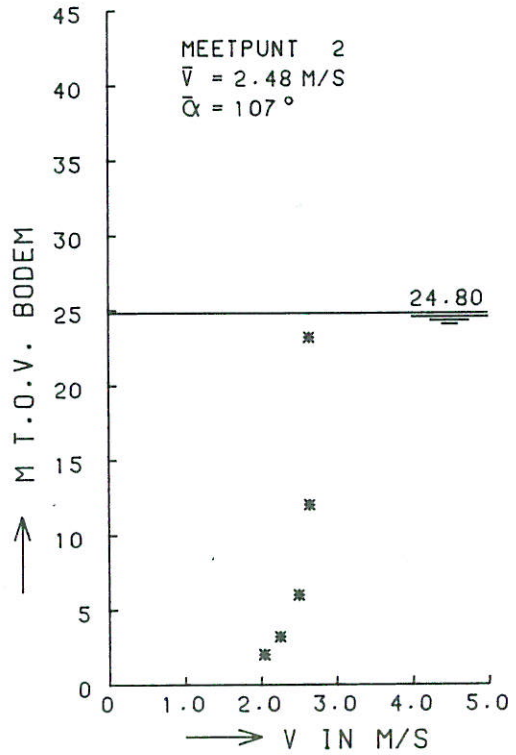
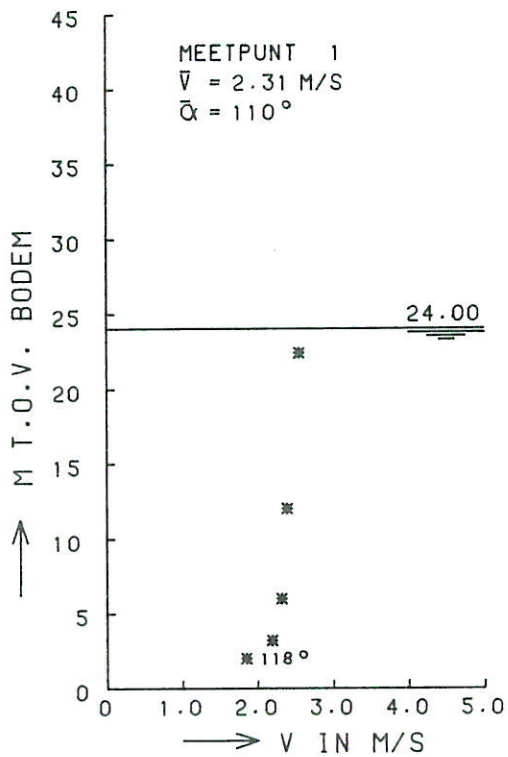
GENORMEERDE SNELHEIDSVERDELING RELATIEF  
TEN OPZICHTE VAN GENORMEERDE SNELHEIDS -  
VERDELING M 1768

HAMMEN

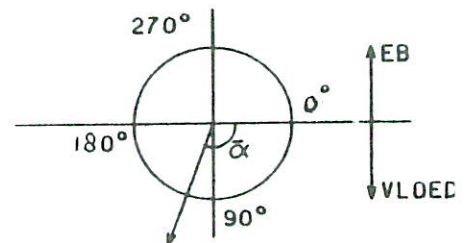
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 13



\* STROOMSNELHEID



STROOMSNELHEIDSVERTIKALEN  
 MEETPUNTEN 1...4

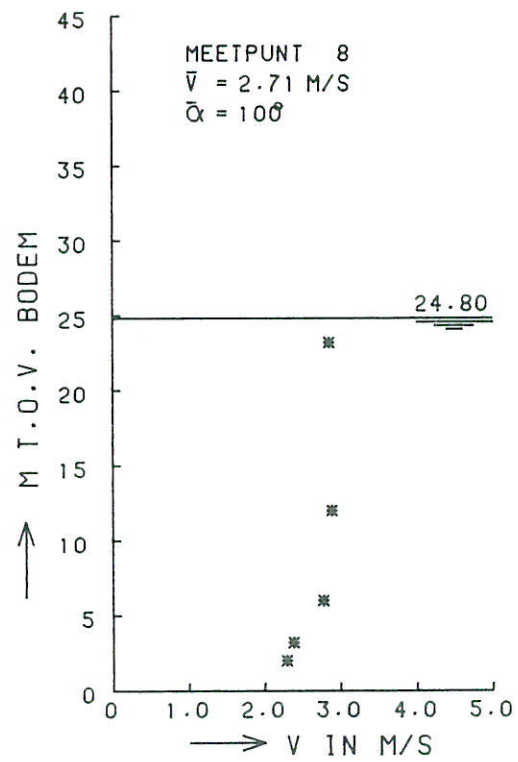
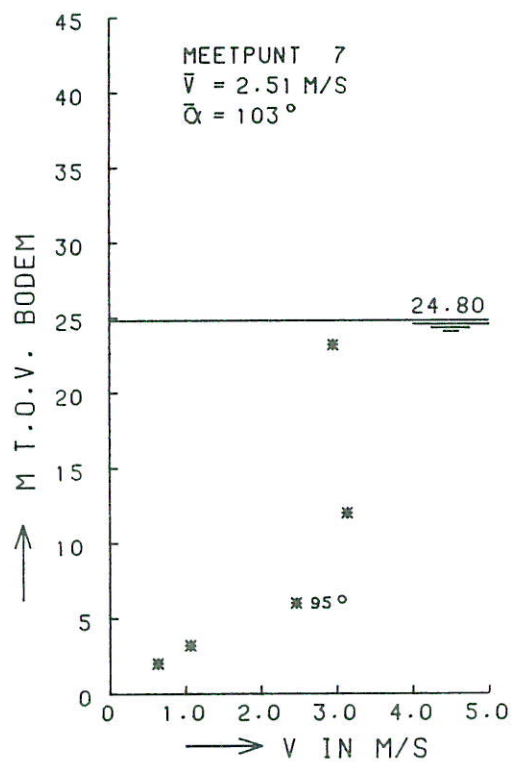
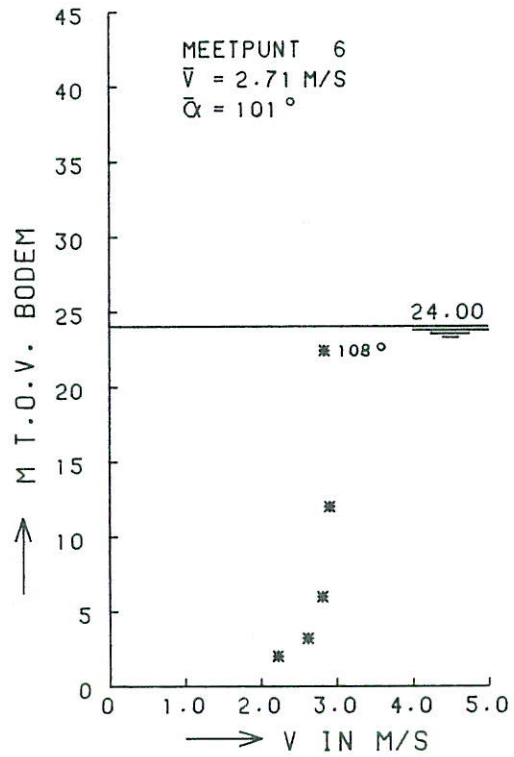
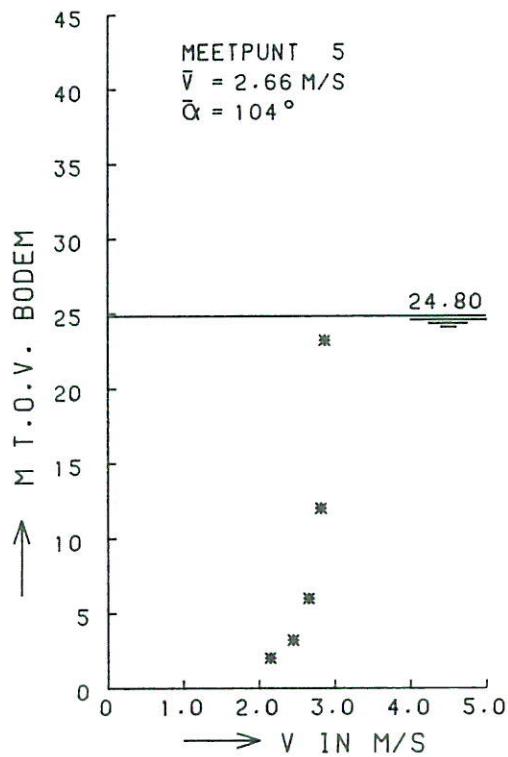
HAMMEN

VLOED

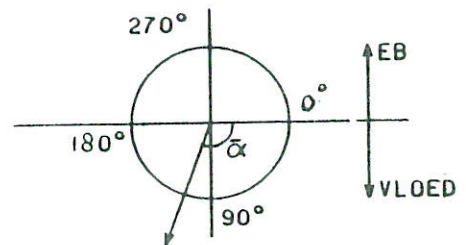
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 14



\* STROOMSNELHEID



STROOMSNELHEIDSVERTIKALEN  
 MEETPUNTEN 5...8

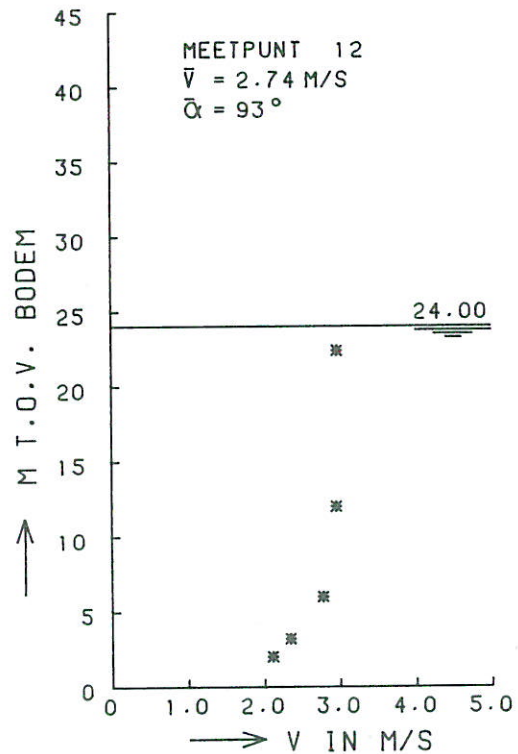
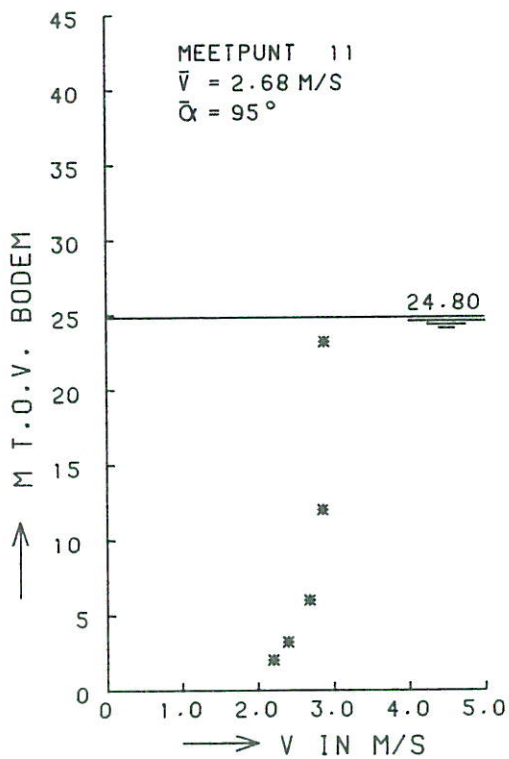
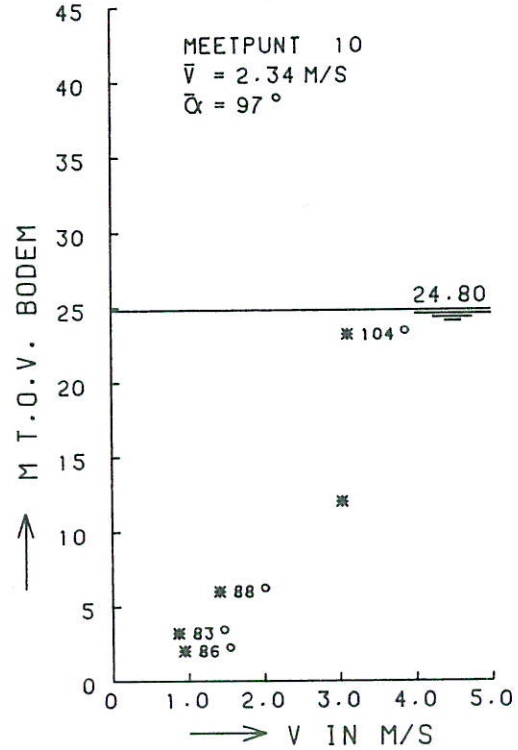
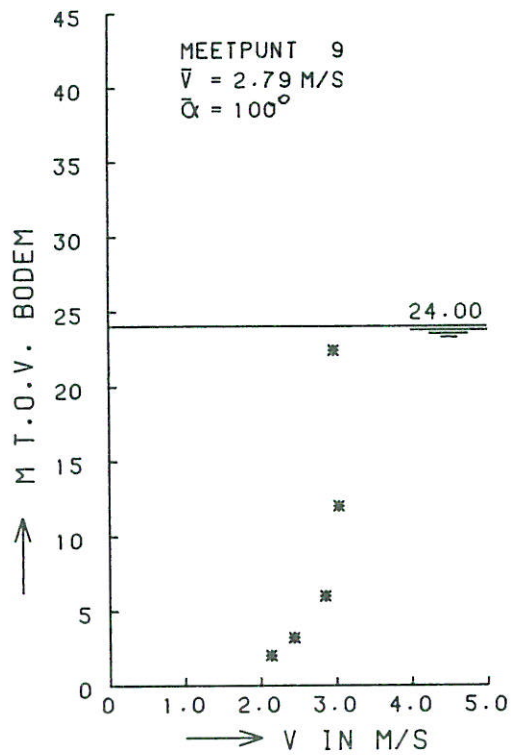
HAMMEN

VLOED

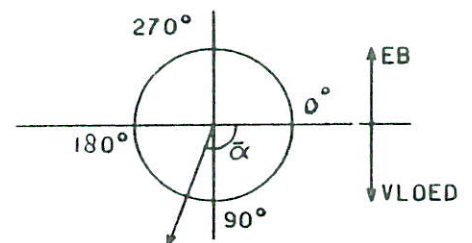
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 15



\* STROOMSNELHEID



STROOMSNELHEIDSVERTIKALEN  
 MEETPUNTEN 9...12

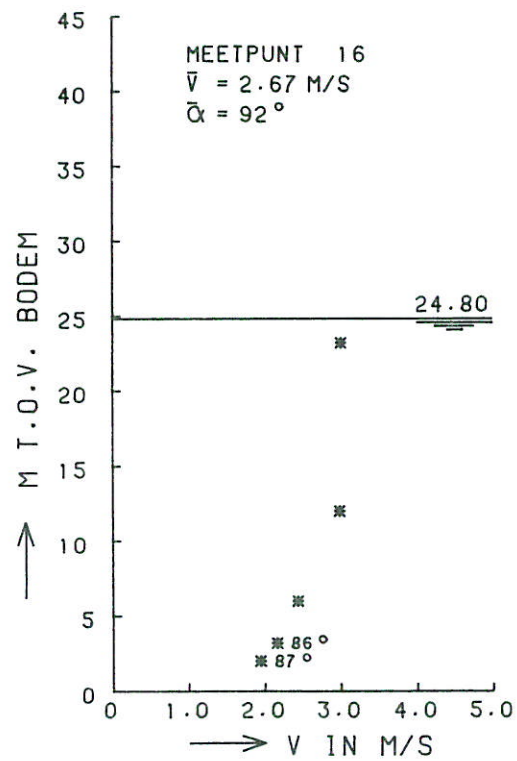
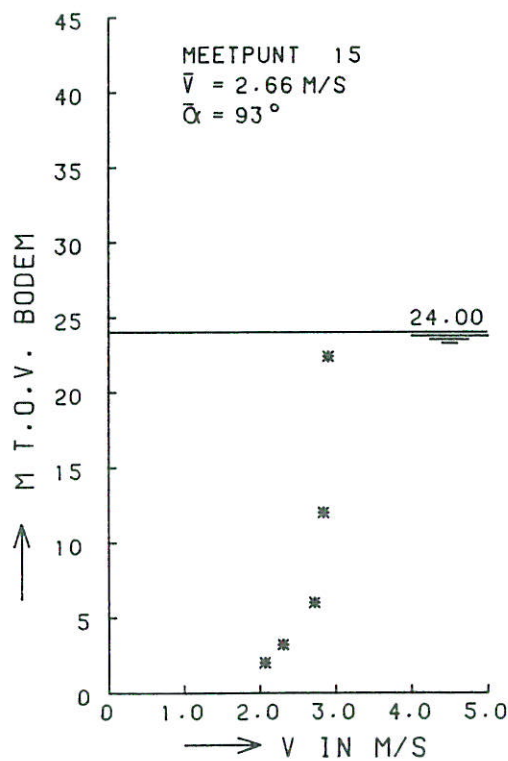
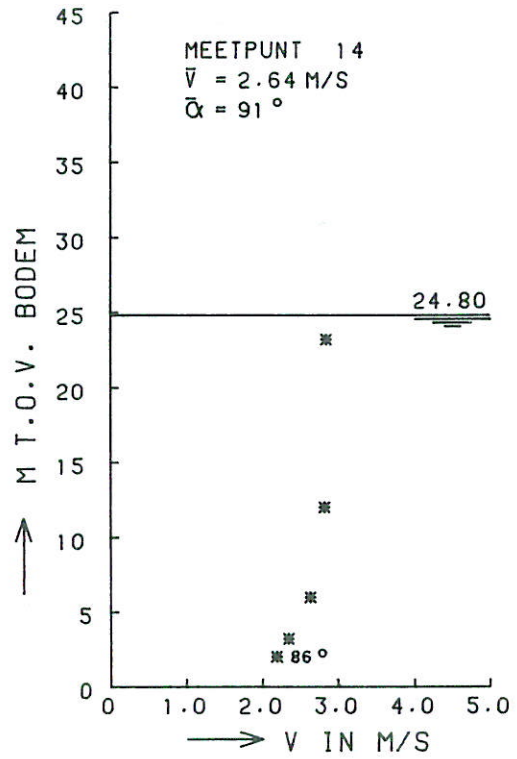
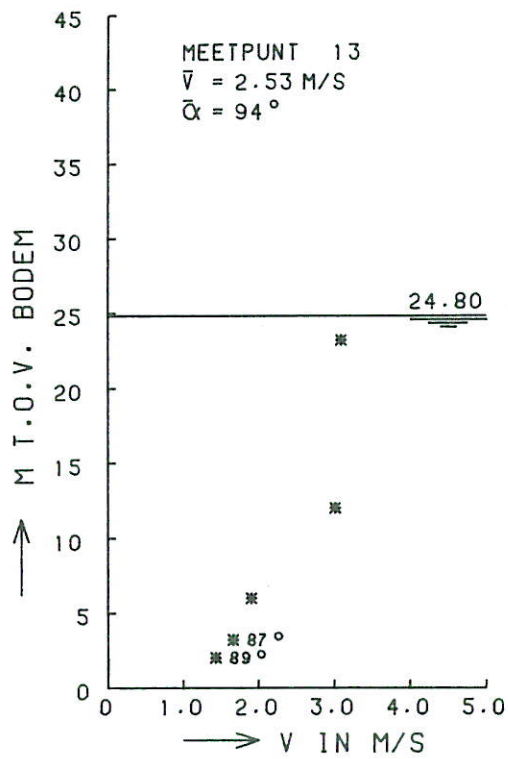
HAMMEN

VLOED

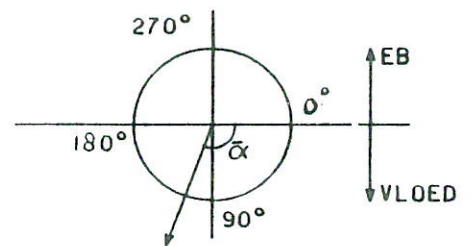
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 16



\* STROOMSNELHEID



STROOMSNELHEIDSVERTIKALEN  
 MEETPUNTEN 13...16

HAMMEN

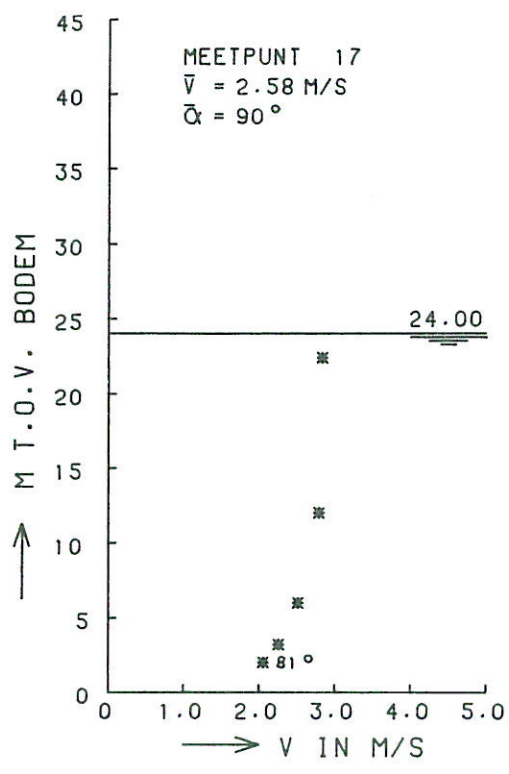
VLOED

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

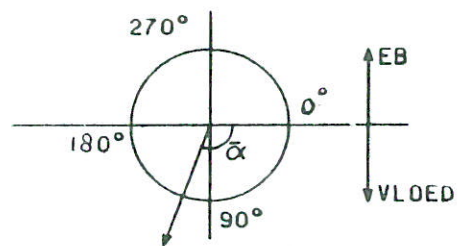
M 1916

FIG. 17



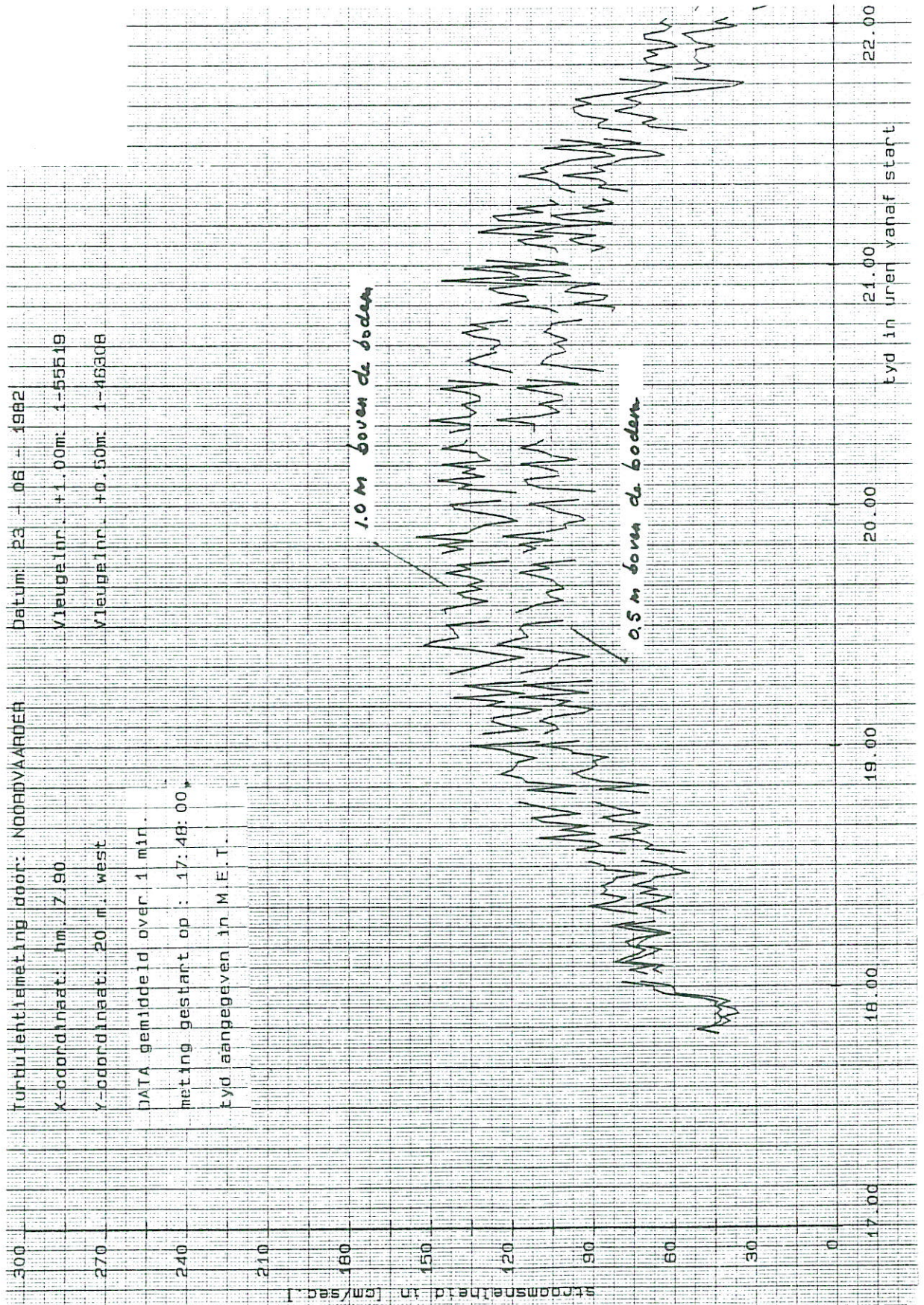


\* STROOMSNELHEID



STROOMSNELHEIDSVERTIKALEN MEETPUNT 17	HAMMEN	VLOED
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1916	FIG. 18





Datum: 23 06 1982  
 Vleugelnr.: +1.00m: 1-55519  
 Vleugelnr.: +0.50m: 1-46308

Turbulentie meting door: NOORDVAARDEH  
 X-oorrdinaat: hm. 7.90  
 Y-oorrdinaat: 20 m. west  
 DATA gemiddeld over 1 min.  
 meting gestart op: 17:48:00  
 tijd aangegeven in M.E.T.

VOORBEELD STROOMREGISTRATIE PROTOTYPE

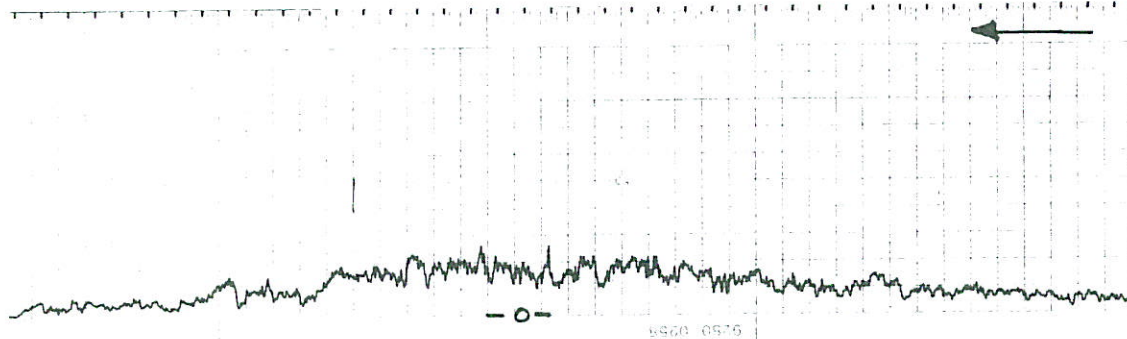
ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

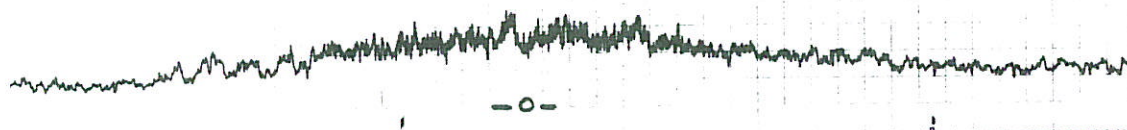
M 1916

FIG. 20

A

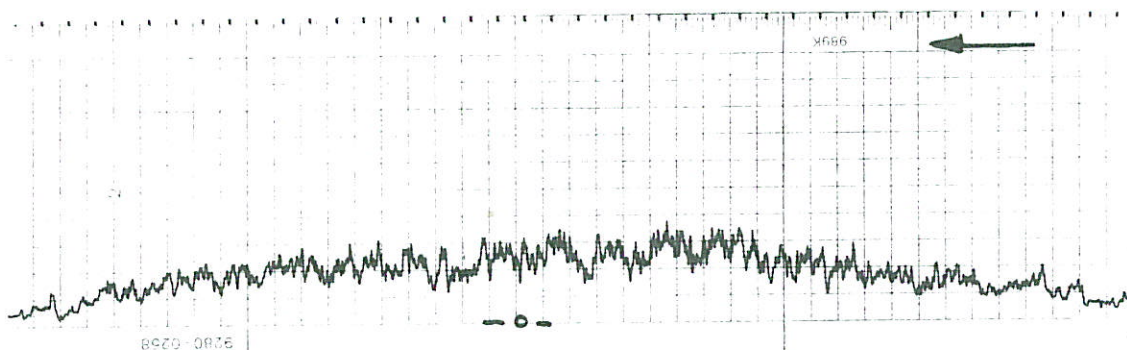


B

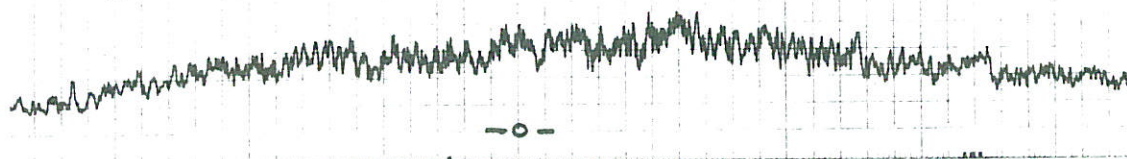


E3

A



B



VLOED

1cm  $\hat{=}$  1.5 m/s (prototype)



→ 1cm  $\hat{=}$  15 min (prototype)

STROOMREGISTRATIES M1000  
 GEEN PIJLERS

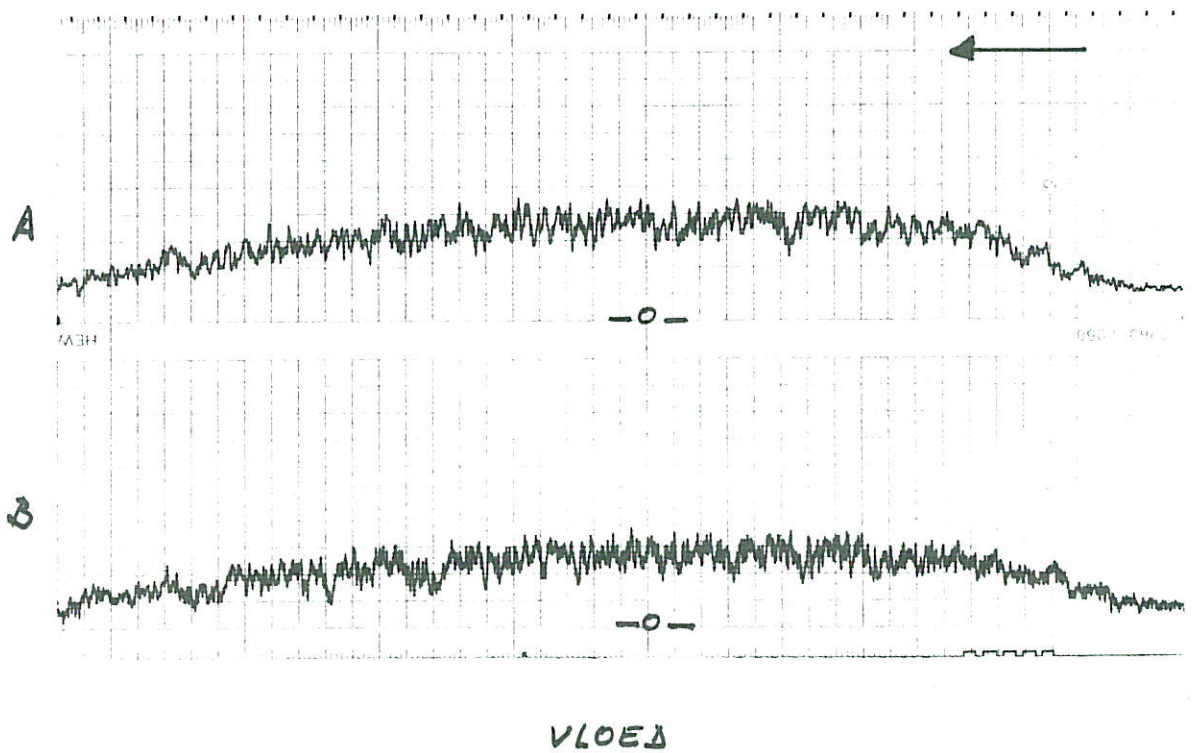
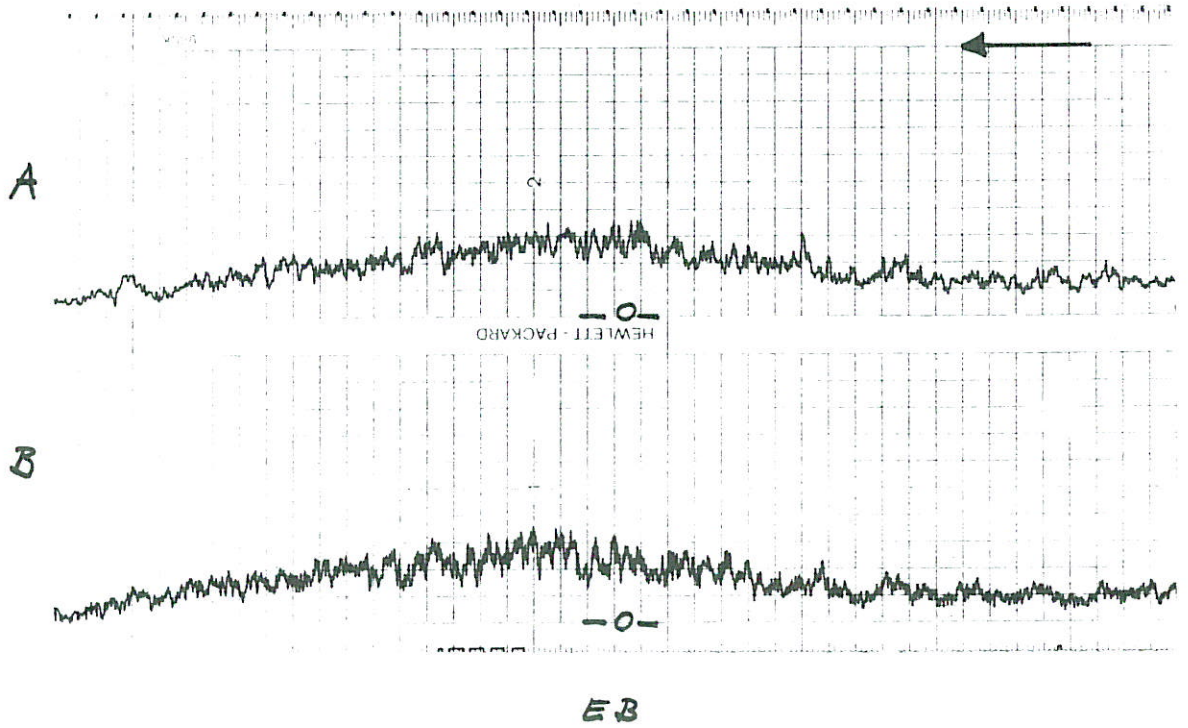
T 348

ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 21



1 cm  $\hat{=}$  1.5 m/s (prototype)



→ 1 cm  $\hat{=}$  15 min. (prototype)

STROOMREGISTRATIES M 1000  
 BUITEN HET PIJLERFRONT

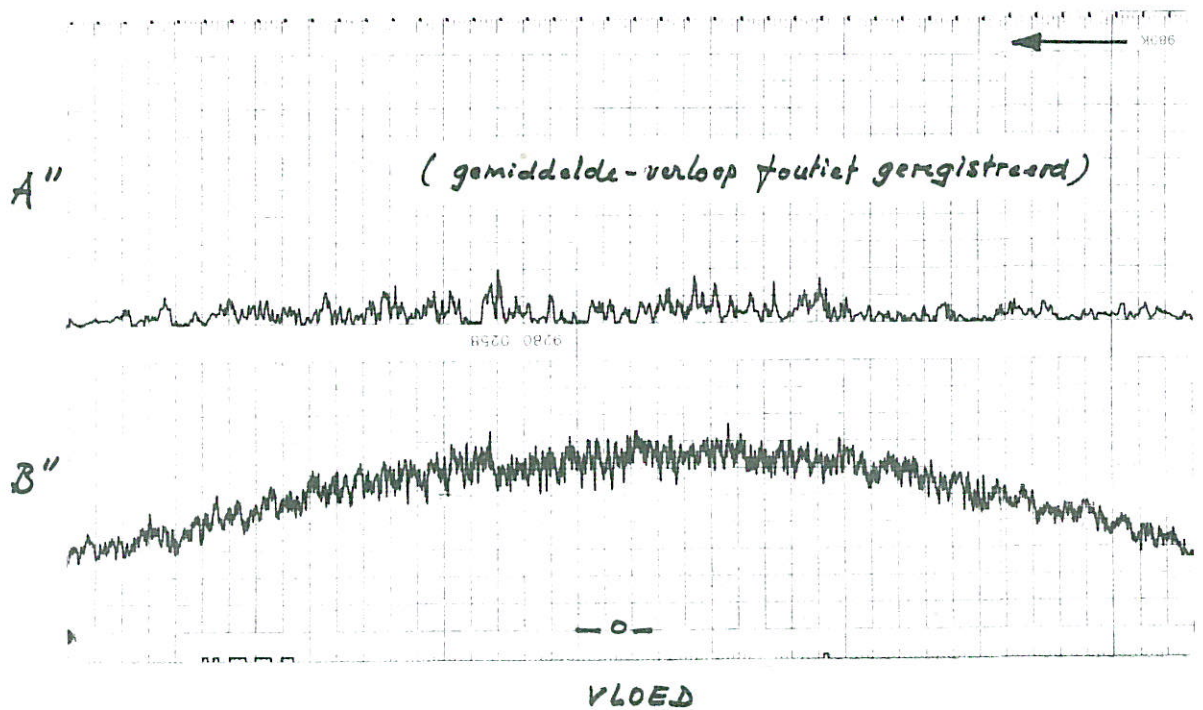
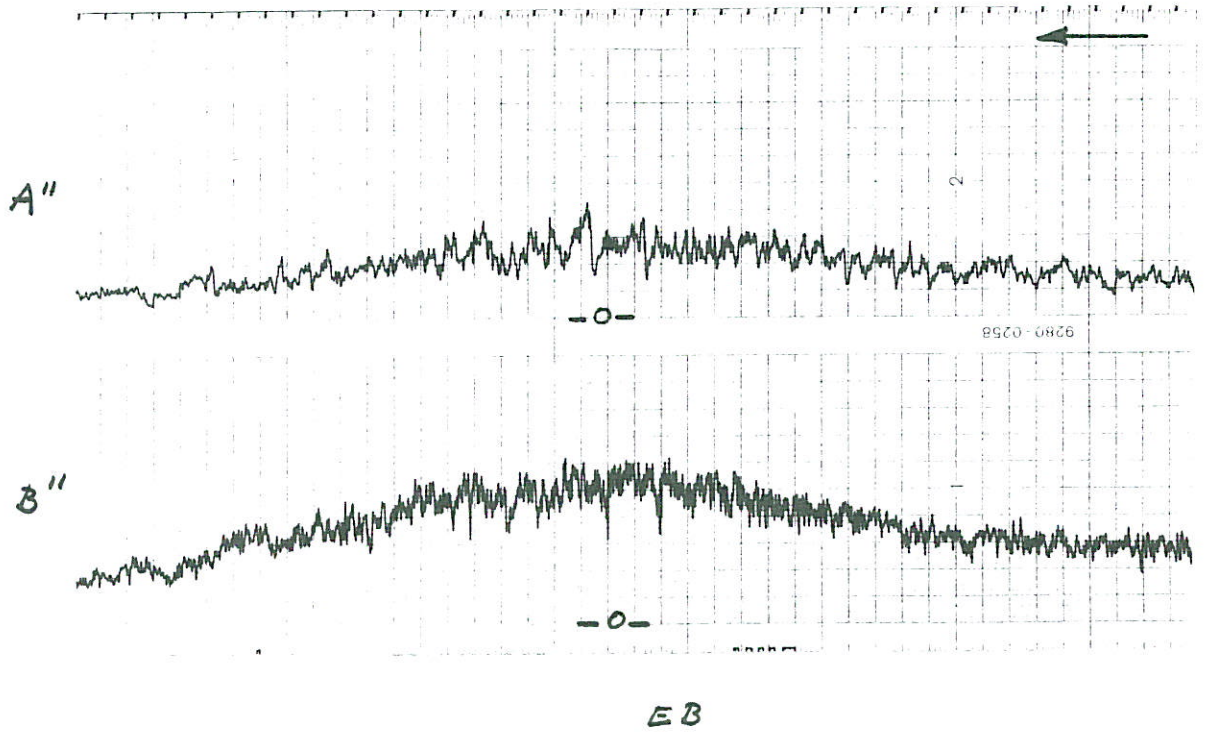
T 349

ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 22



1 cm  $\hat{=}$  1.5 m/s (prototype)



→ 1 cm  $\hat{=}$  15 min. (prototype)

STROOMREGISTRATIES M 1000  
TER HOOGTE VAN HET PIJLERFRONT

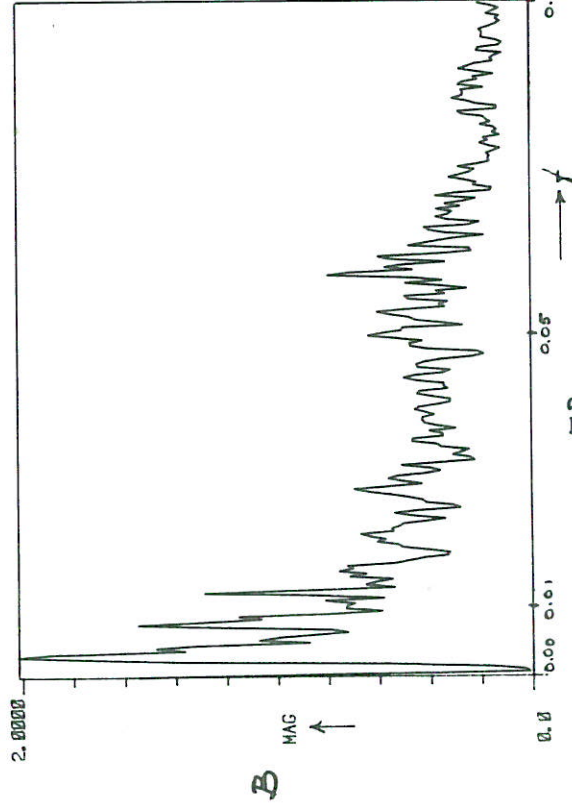
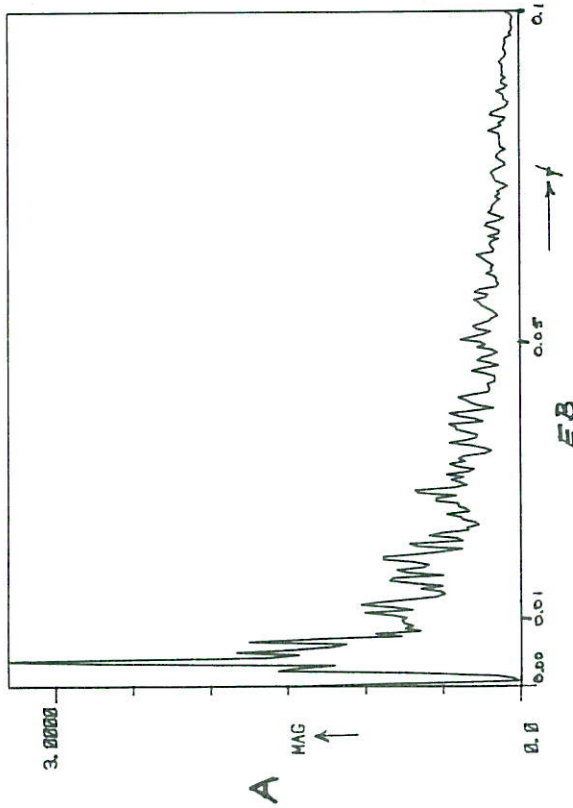
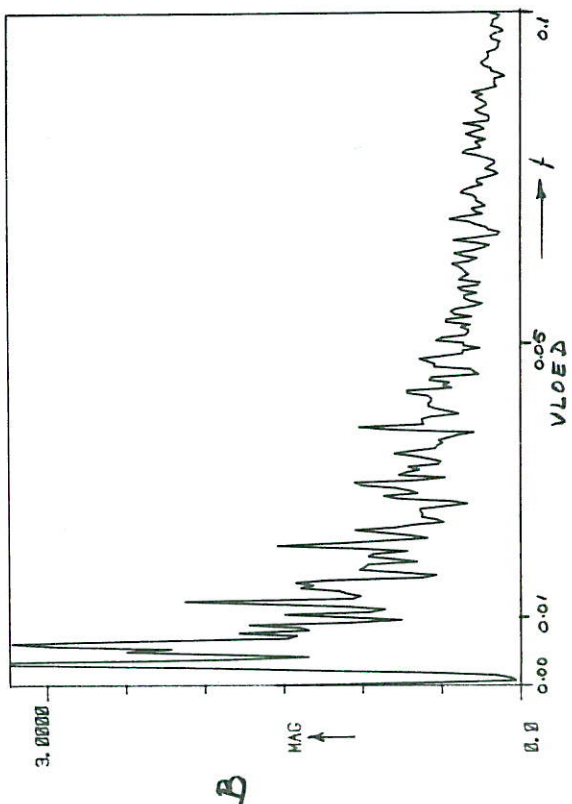
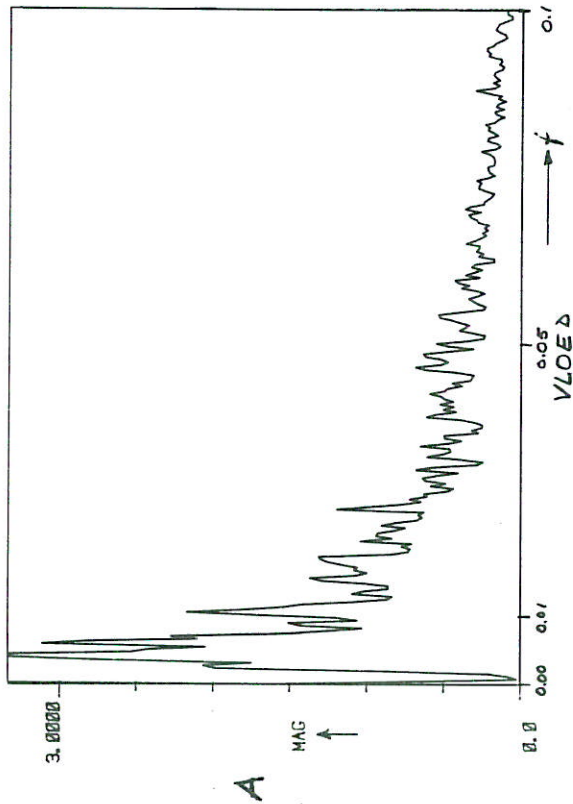
T 349

ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 23



MAG = (spectrale dichtheid)<sup>0.5</sup> (niet op schaal)  
 $f$  in  $s^{-1}$  prototype

TURBULENTIESPECTRA A EN B  
 GEEN PIJLERS

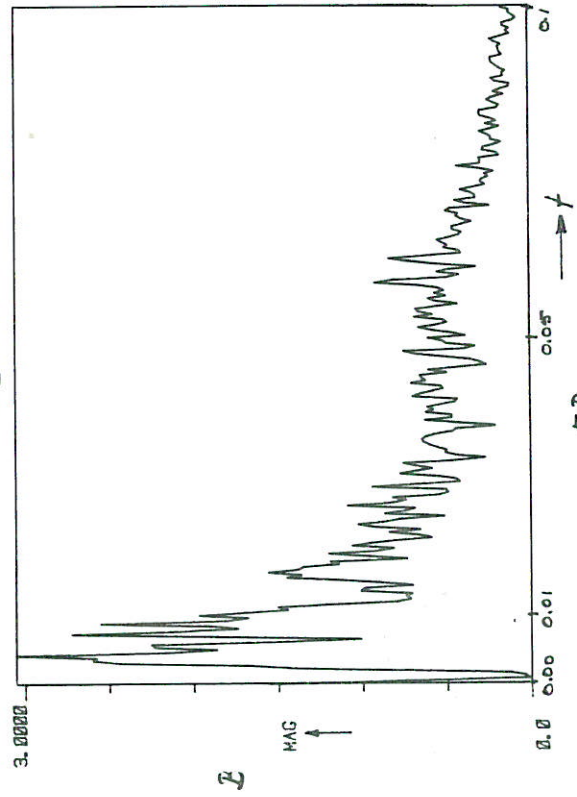
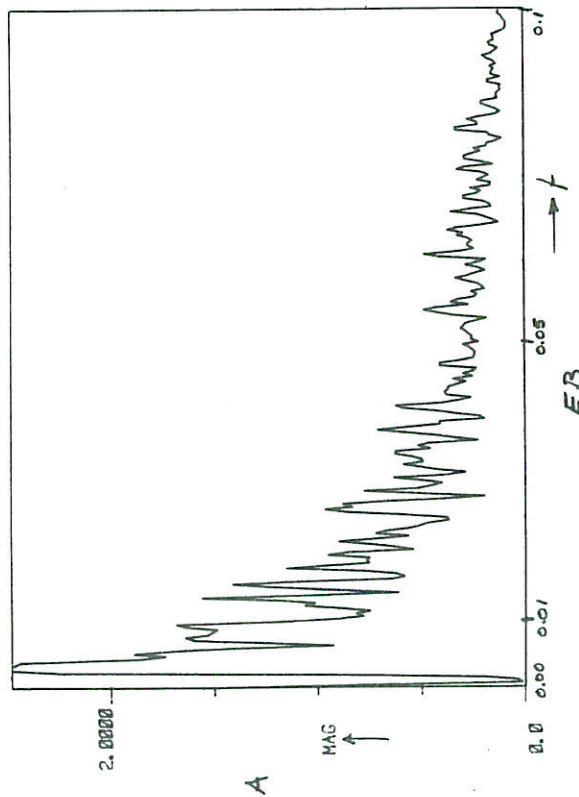
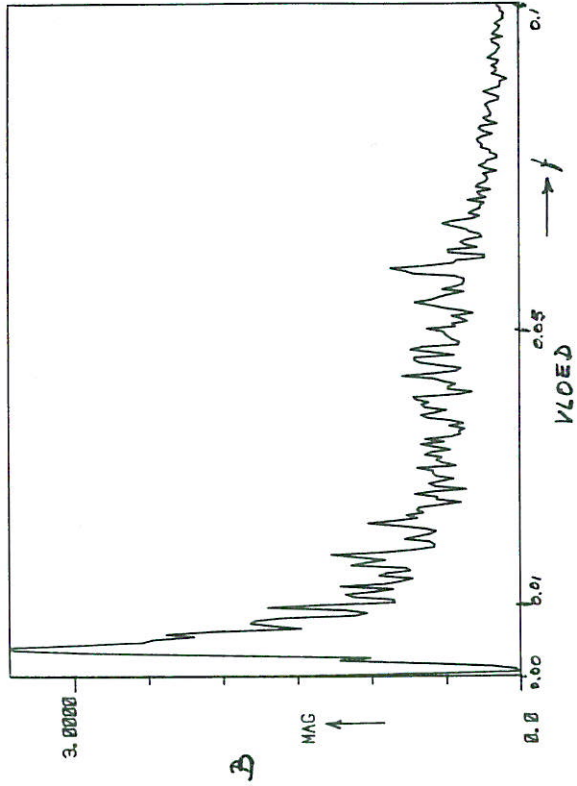
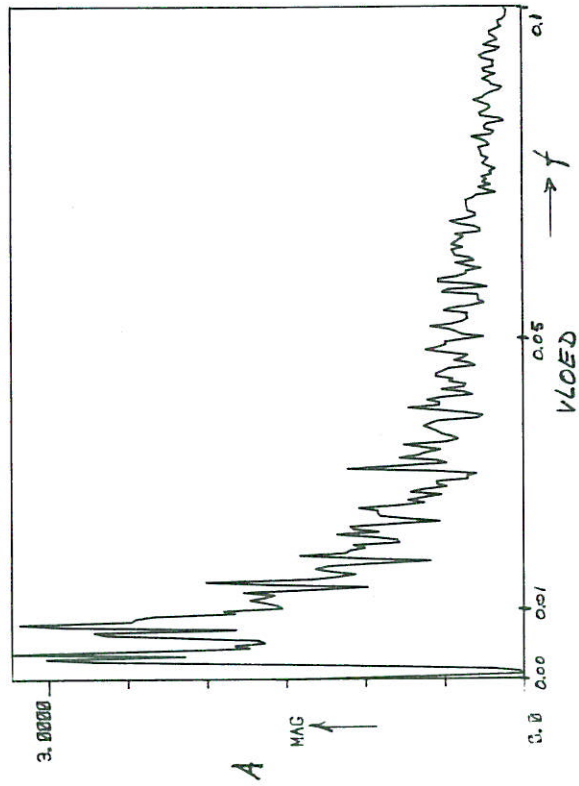
T 348 M 1000

ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1916

FIG. 24



MAG = (speciale dichtheid) 0.5 (niet op schaal)  
 $f$  in  $s^{-1}$  prototype

TURBULENTIESPECTRA A EN B  
 BUITEN HET PIJLERFRONT

T 349

M 1000

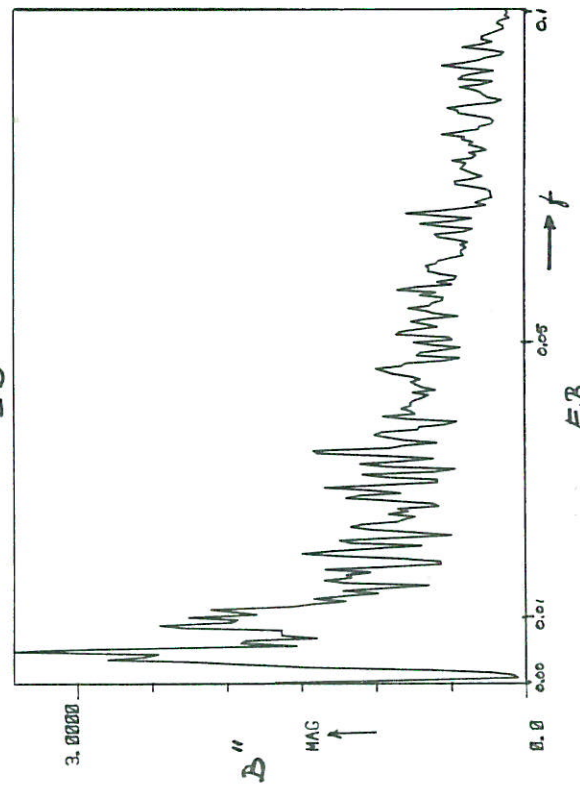
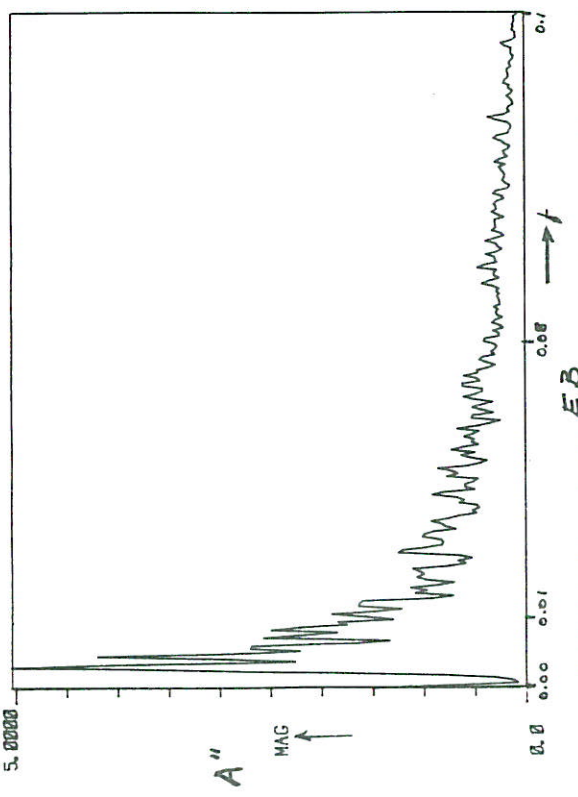
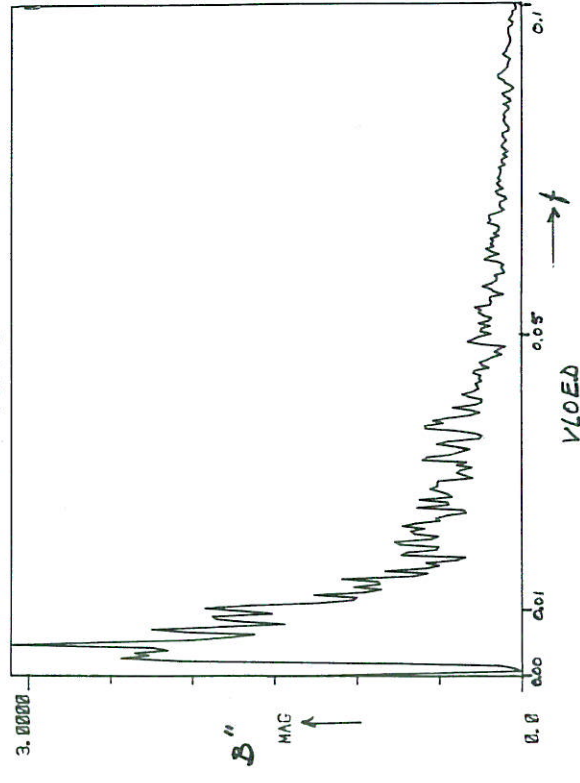
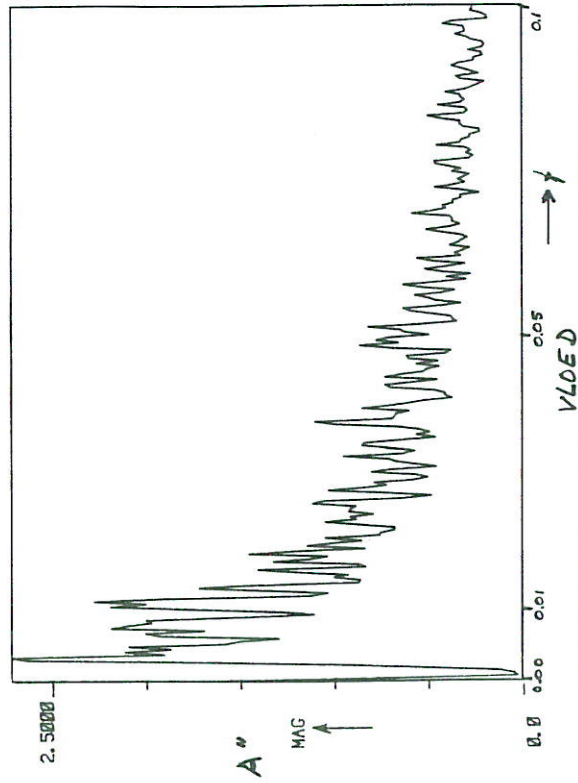
ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 25





MAG = (spectral. dichtheid) / 0.5 (niet op schaal)  
 $\gamma$  in s<sup>-1</sup> prototype

TURBULENTIESPECTRA A'' EN B''  
 TER HOOGTE VAN HET PIJLERFRONT

T 349 M 1000

ROOMPOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 26

A



HEWLETT - PACKARD

- 0 -

B

- 0 -

959K

A'



HEWLETT - PACKARD

- 0 -

B'

- 0 -

A''



9280 - 0258

B''

- 0 -

↑ 1cm ≙ 1.3 m/s (prototype)

→ 1cm ≙ 1.7 min. (prototype)

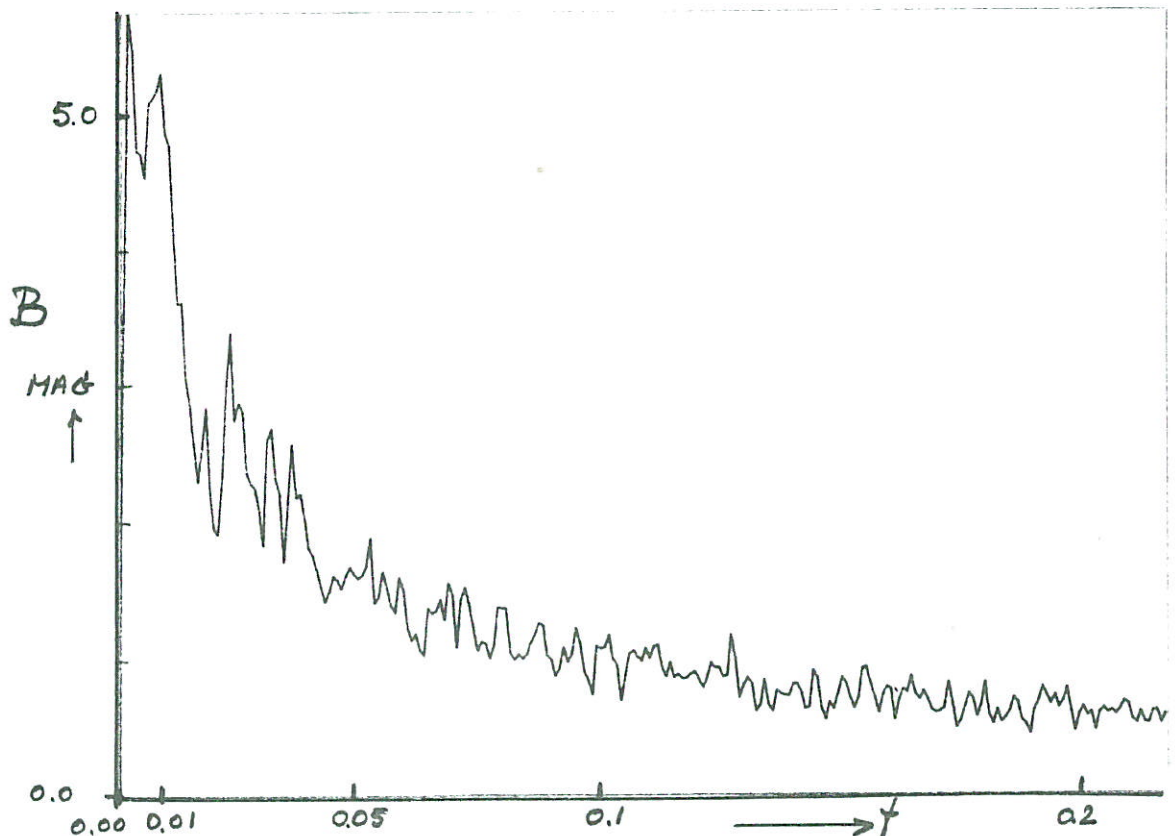
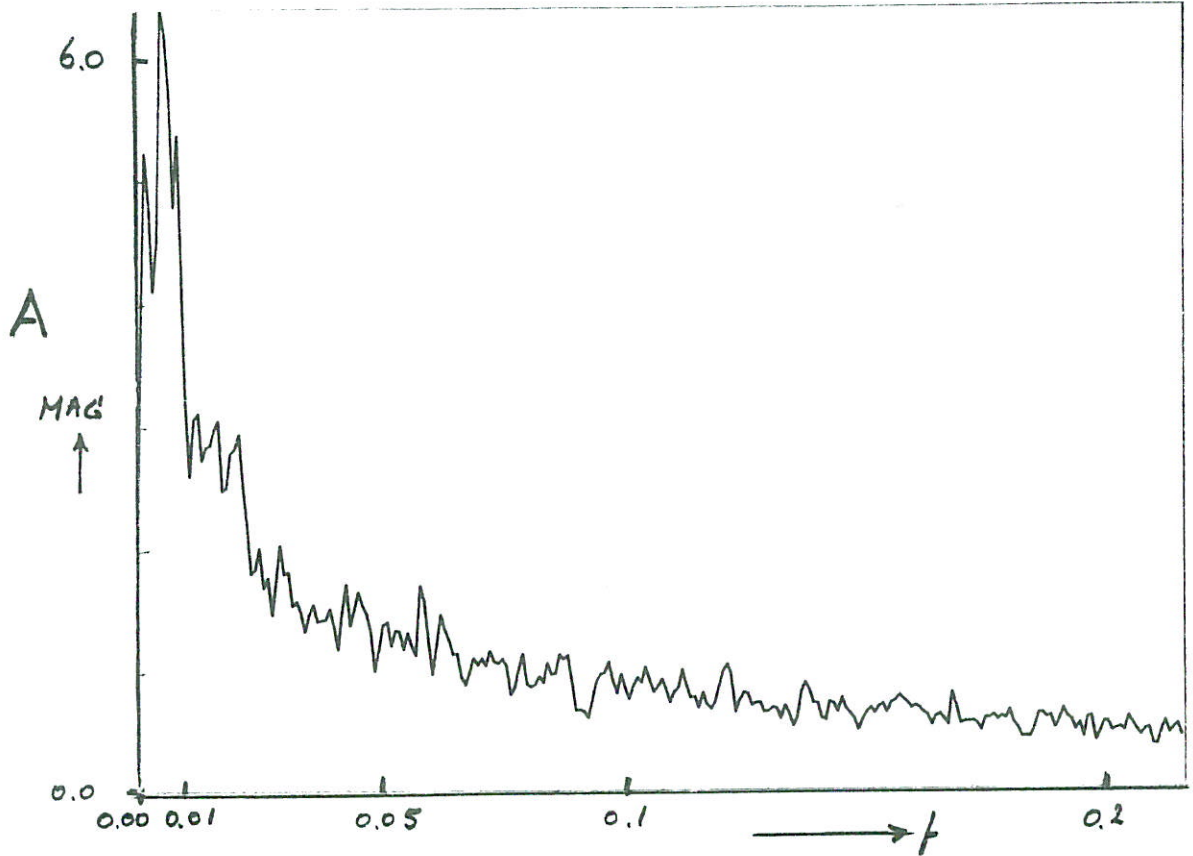
STROOMREGISTRATIES M 1001

HAMMEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

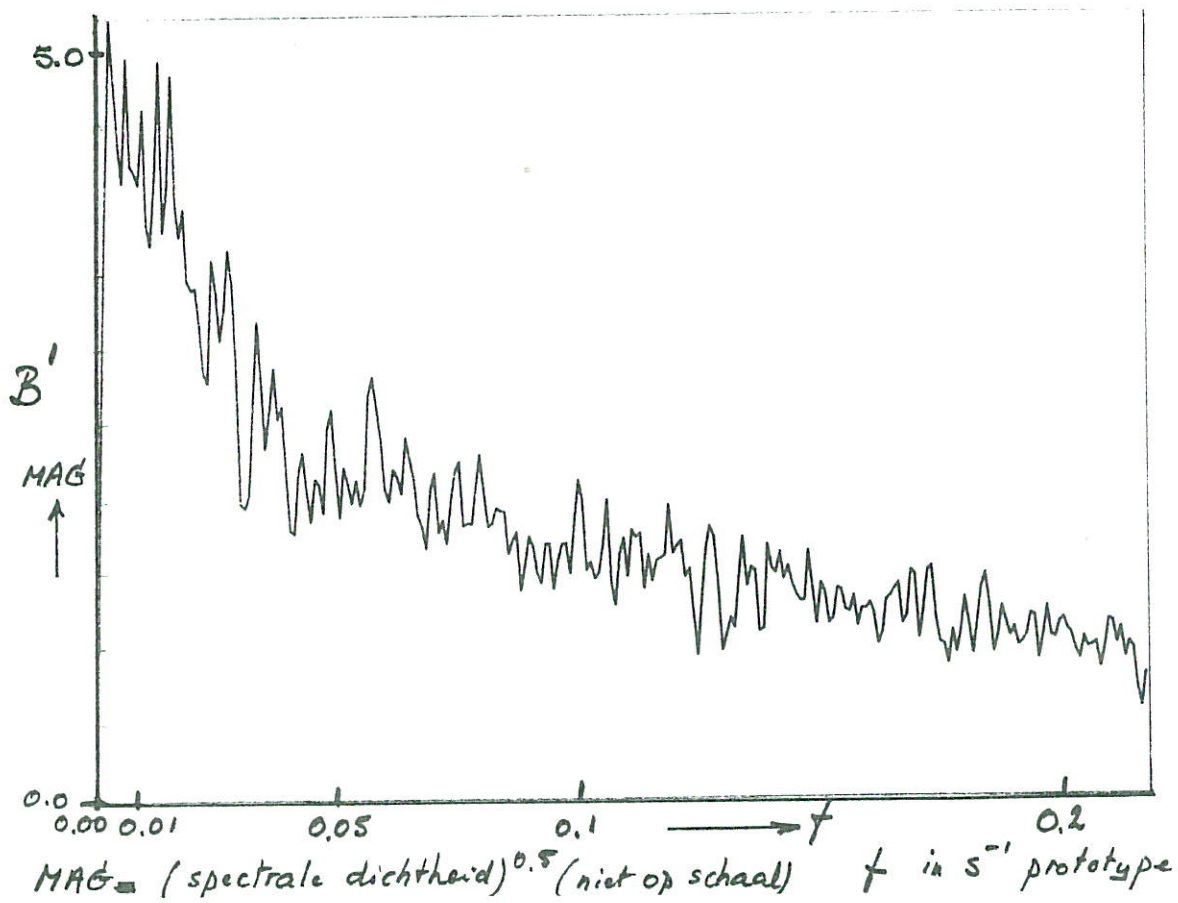
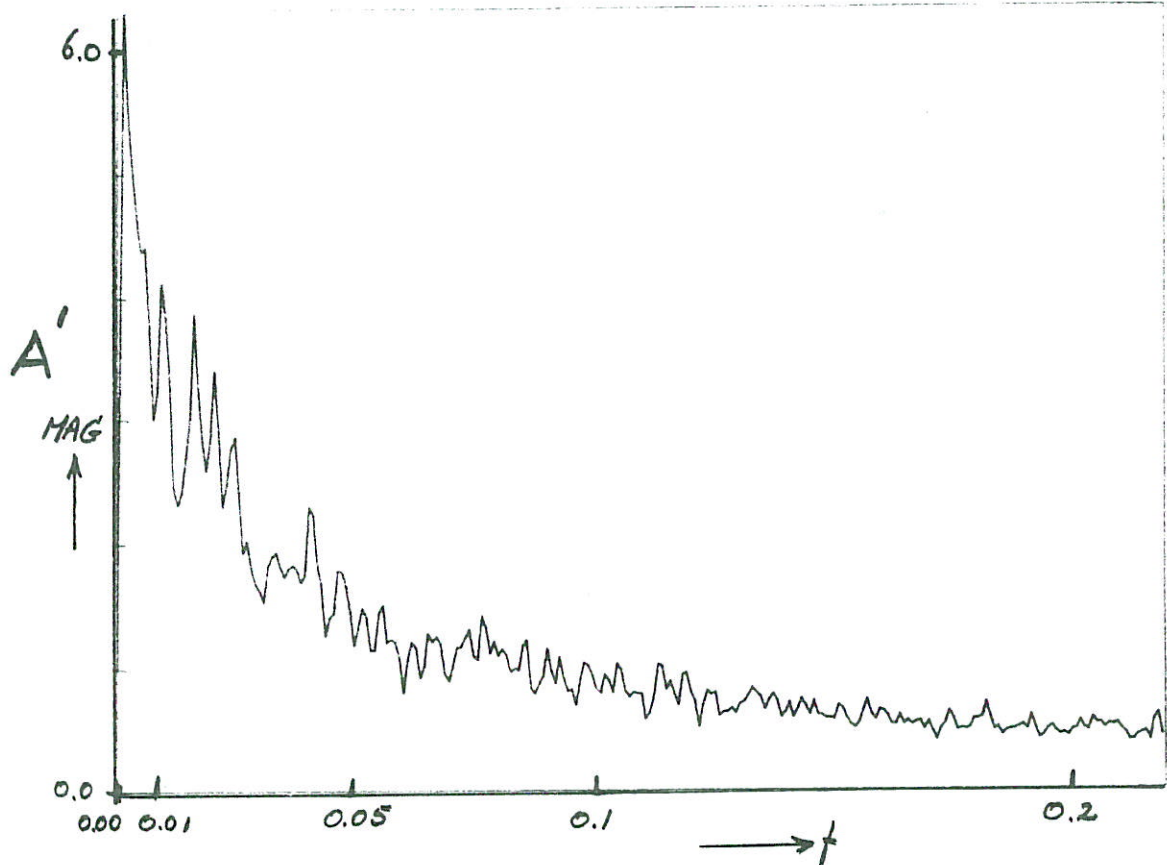
FIG. 27



$MAG = (\text{Spectrale dichtheid})^{0.5}$  (niet op schaal)  $f$  in  $s^{-1}$  prototype

TURBULENTIESPECTRA BUITEN HET PIJLERFRONT	M 1001
	HAMMEN
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M 1916 FIG. 28

20. 1. 1



TURBULENTIESPECTRA NAAST PIJLERFRONT

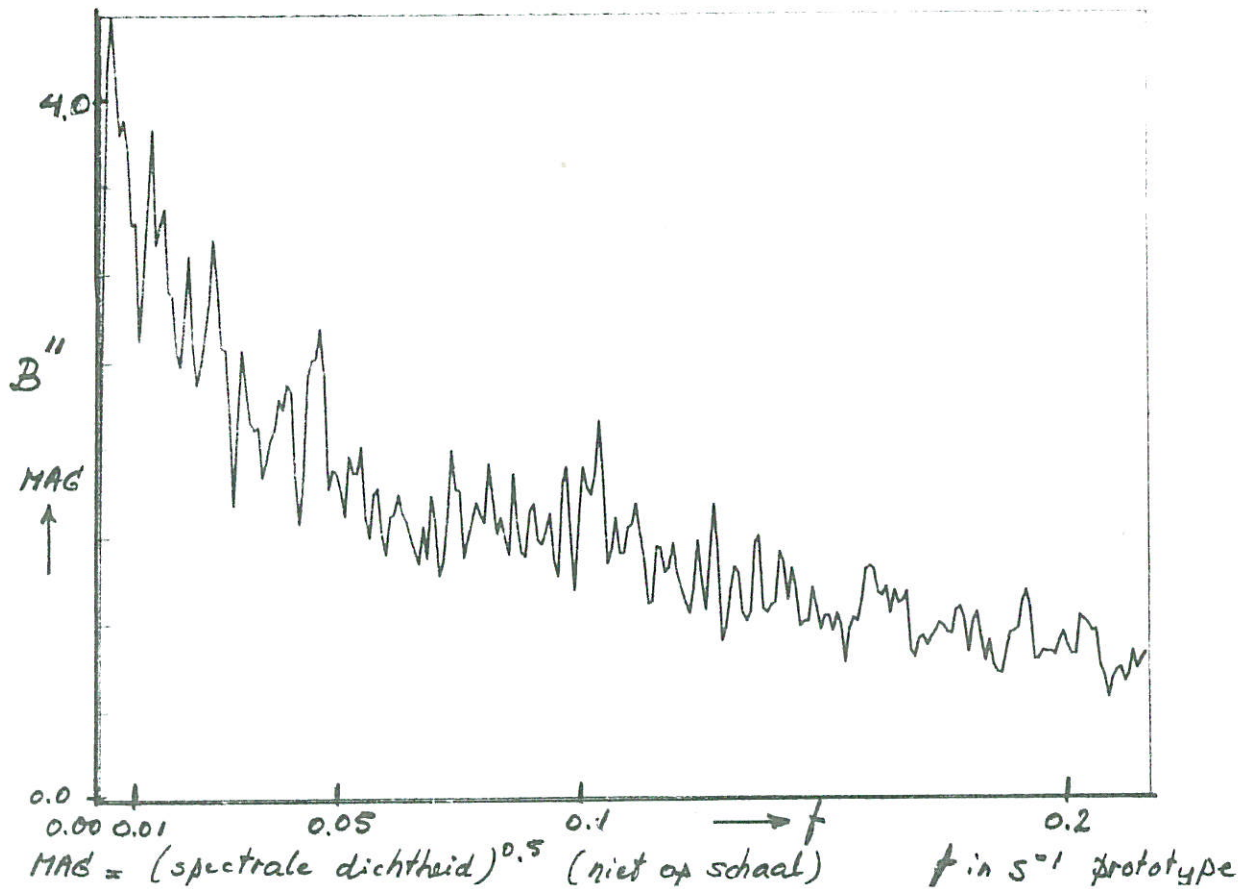
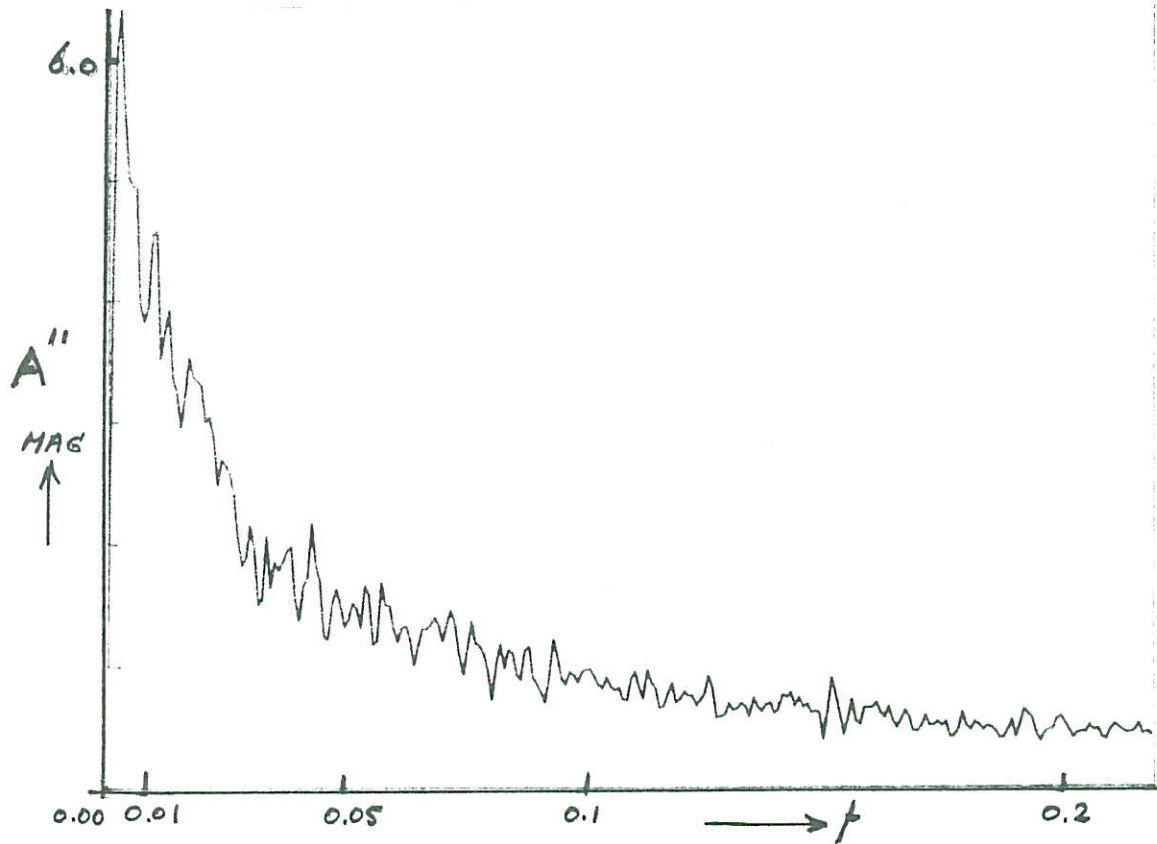
M 1001

HAMMEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 29



TURBULENTIESPECTRA TER HOOGTE VAN HET  
PIJLERFRONT

M1001

HAMMEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1916

FIG. 30

Foto 1: Bouwfront in de Hammen vanaf zeezijde

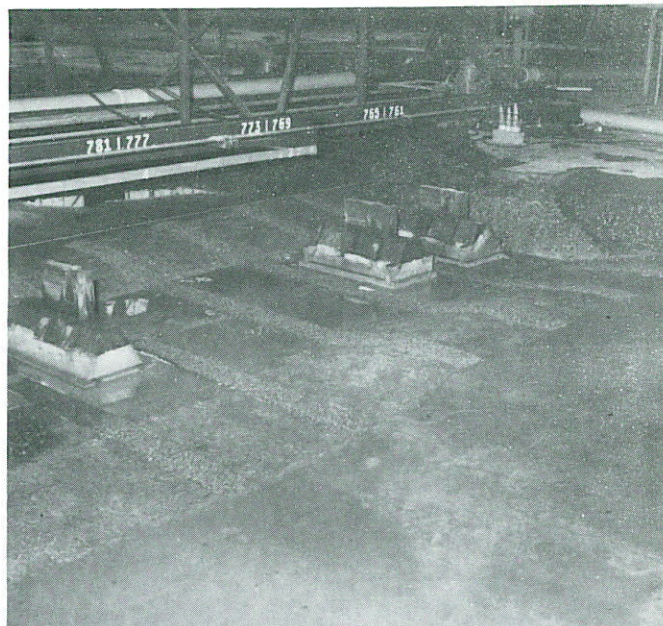


Foto 2: Aantasting negatieve overlappen vanuit stroomrichting gezien, stap 7

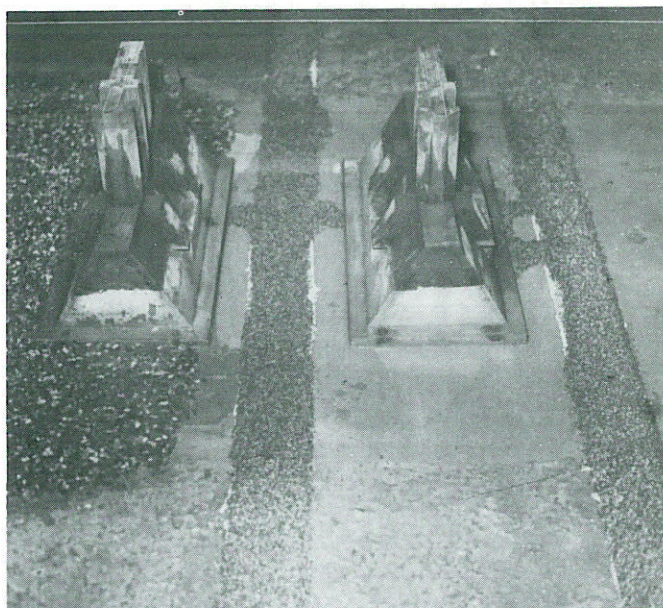


Foto 3: Aantasting negatieve overlappen tegen de stroomrichting in gezien, stap 7

