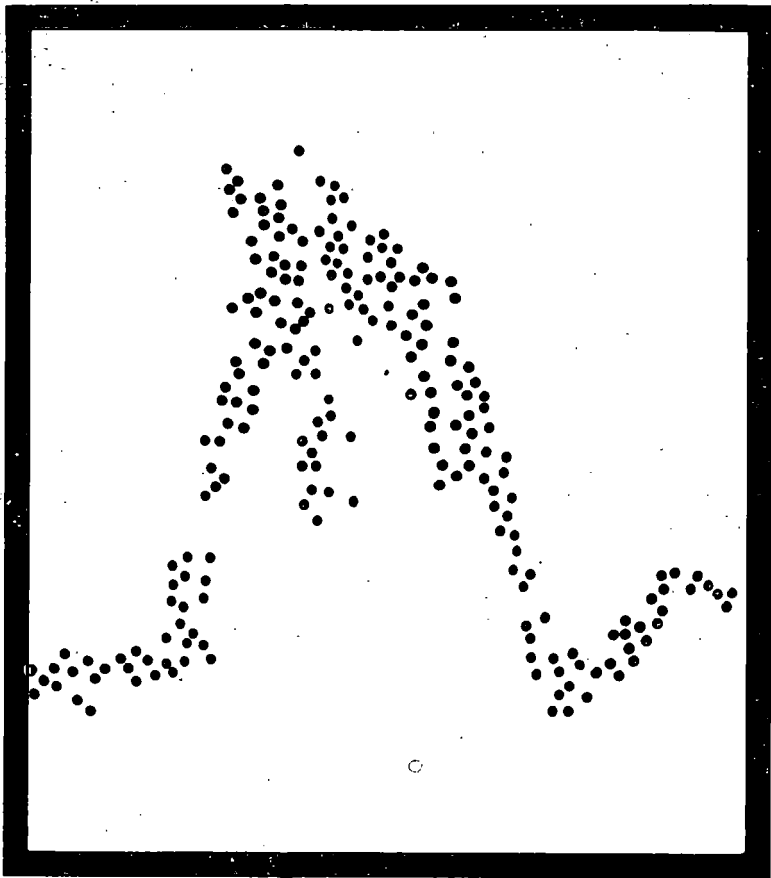
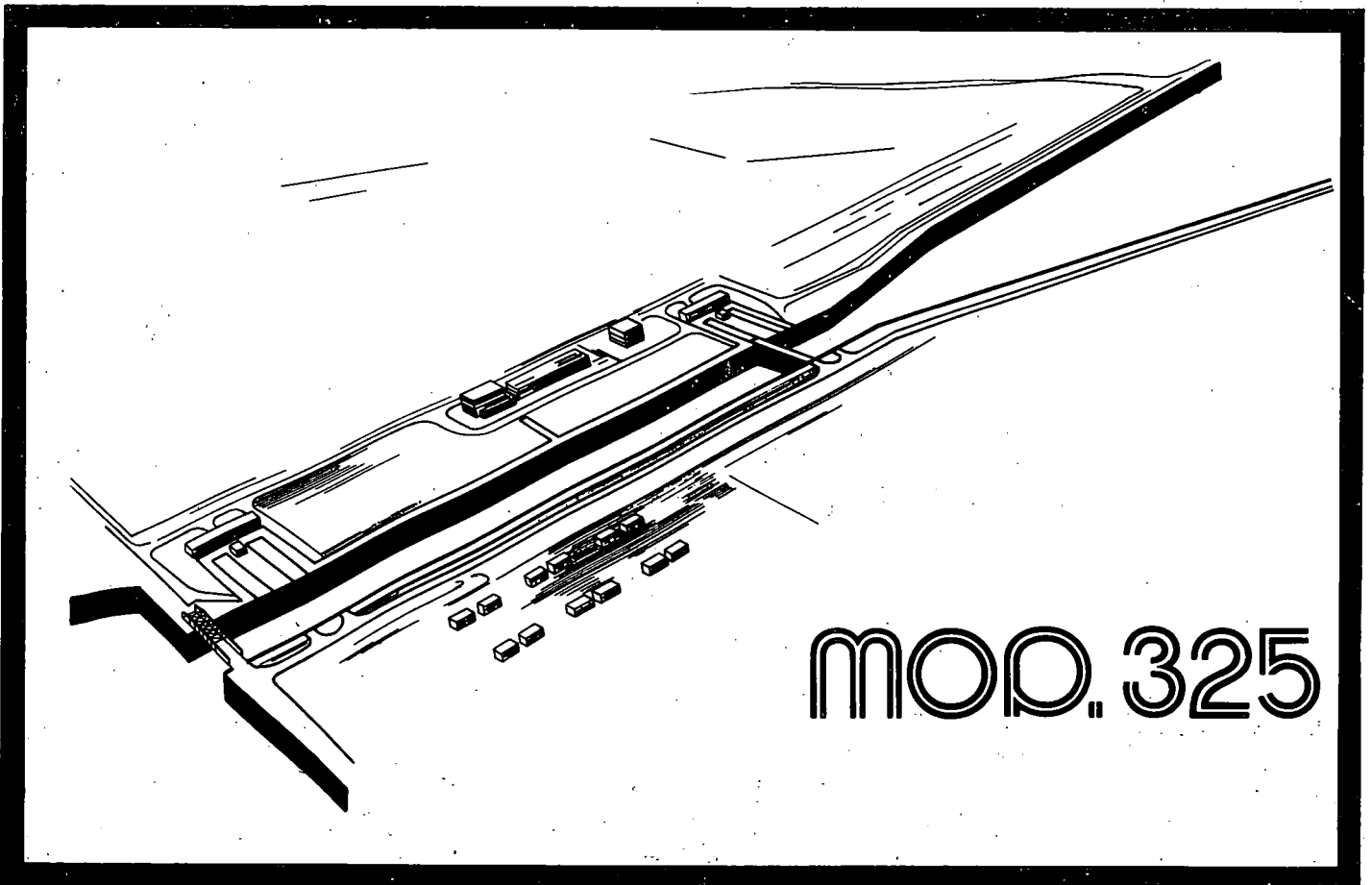
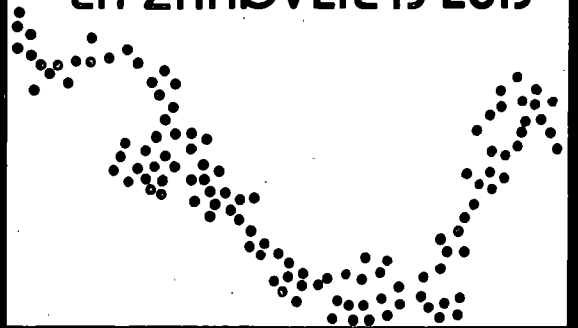


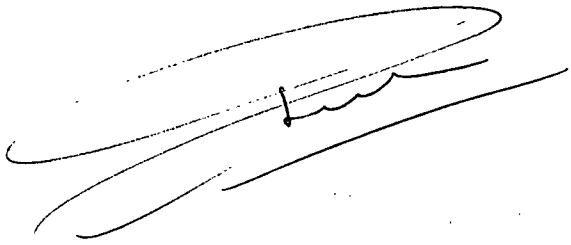
WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM 1974



METINGEN
IN DE SPIRIOLEN
BOUDEWIJN-
EN ZANDVLIETSLUIS



MOO. 325



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
borgerhout - antwerpen

MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN
BRUGGEN EN WEGEN
BESTUUR DER WATERWEGEN



METINGEN SPUIRIOLEN ZANDVLIET-EN
BOUDEWIJNSLUIZEN.

MODEL 325

INHOUDSTABEL.

	<u>blz.</u>
INLEIDING	1
1. DOEL VAN DE METINGEN	2
2. BESCHRIJVING VAN DE MEETPLAATSEN	2
3. BESCHRIJVING MEETAPPARATUUR	3
4. MEETRESULTATEN	4
a) Metingen uitgevoerd in de spuiroelen bij spring- of doodtij	4
b) Kontinumeting in de spuirool te Zandvliet,	5
c) De meting bij een versassing in de Zandvlietssluis	5
5. INTERPRETATIE VAN DE RESULTATEN	5
A. Beschrijving van de toevoermechanismen door de spuiroelen en door de sluis	5
B. Bespreking van de bekomen resultaten	8
6. BEREKENING SLIBTOEVOER LANGS DE SPUIROLEN	10
7. AANDEEL SLIBTOEVOER DOOR DE OMLOOPROLEN	13
8. SLIBTOEVOER IN DE TOEGANGSGEUL	13
9. AANDEEL VAN DE SLIBTOEVOER DOOR VERSASSING	15
10. SAMENVATTEND OVERZICHT VAN DE MOGELIJKE OORZAKEN VAN DE AANSLIBBING	17
11. ALGEMENE CONCLUSIE	21

INLEIDING.

In mei 1973 werd door de Technische Dienst van het Havenbedrijf van de stad Antwerpen een verzoek gericht aan het Waterbouwkundig Laboratorium en de Antwerpse Zeediensten, om metingen te verrichten aan de Zandvliet- en Boudewijnsluizen, ten einde een bilan te kunnen opmaken van de volumen water en vaste stof die in de havendokken binnenstromen vanuit de Schelde.

Onderhavig rapport is een weergave van de metingen die, aanvullend aan deze van de Antwerpse Zeediensten, door de afdeling natuurmetingen van het Laboratorium werden verricht ter bestudering van het slibtransport naar de dokken toe. Voor de metingen die door de Antwerpse Zeediensten werden uitgevoerd verwijzen we naar het rapport : "Verslag metingen spuiriol aan Zandvliet- en Boudewijnslus" (april 1974).

Er kan overwogen worden om eventueel aan de hand van boringen de hoeveelheid slib te schatten die zich reeds in de havendokken bevindt.

Het past hier een woord van dank te uiten tegenover de Technische Dienst van het Havenbedrijf en de Antwerpse Zeediensten voor de vlotte samenwerking.

De metingen door het Laboratorium verricht geschieden onder de dagelijkse leiding van de Heer Techn. ing. J. Engels.

1. DOEL VAN DE METINGEN.

a) Metingen uitgevoerd in samenwerking met de Antwerpse Zeediensten :

Zandvlietsluis : 02. 07. 73 (springtij)

13. 07. 73 (doodtij)

28. 08. 73 (springtij)

Boudewijnsluis : 29. 10. 73 (springtij)

12. 11. 73 (springtij)

Het doel van deze metingen was vooral aan de hand van troebelheids-
meters de hoeveelheid suspensiemateriaal te bepalen die via de spui-
riolen de havendokken binnendringt.

b) Een kontinumeting van vijf weken (09. 01. 74 tot 07. 02. 74) in de
spuiriol van de Zandvlietsluis.

De bedoeling hiervan was de variatie van het binnenstromen van het
suspensiemateriaal van springtij tot springtij te bepalen evenals de
factoren te onderkennen waarvan deze variatie afhankelijk is.

c) Een meting in de dokken in de onmiddellijke nabijheid van de Zand-
vlietsluis tijdens een versassing op 06. 02. 74 in samenwerking met
de Antwerpse Zeediensten.

Hierbij was het de bedoeling een eerste inzicht te verwerven over de
uitwisseling van slib tussen de sluis en de dokken

2. BESCHRIJVING VAN DE MEETPLAATSEN.

Bij de eerste reeks metingen werd door het Laboratorium aan de spui-
riolen op twee plaatsen gemeten. Namelijk in de toegangseul voor de
inlaat van de spuiriolen en op een meetplaats in de spuiriol zelf (zie
figuren 1 en 5).

In de spuiroelen werd de apparatuur bevestigd aan een metalen raam dat in een sponning van de spuirool werd neergelaten. De situatie van de apparatuur op dit raam is weergegeven op de figuren 1 en 5.

Voor meer details over de positie van dit raam in de riool ter plaatse kan verwezen worden naar het hogervermeld rapport van de Antwerpse Zeediensten.

De meetplaatsen tijdens de versassing zijn weergegeven op de situatieschets van figuur 18.

3. BESCHRIJVING MEETAPPARATUUR.

De meetapparatuur bestond uit :

- turbiditeitsmeters :
type : Strainstall-Davall siltmeter. Deze zijn uitgerust met een fotoelektrische cel die de absorptie van het licht door het suspensiemateriaal meet.
- snelheidsmolen :
Tijdens twee metingen (13.07 en 28.08.73) werd gebruik gemaakt van een elektrische snelheidsmolen van het merk Ott bestemd voor kontinumetingen. Deze molen heeft een ingebouwde spanningsgenerator die een gelijkspanning voortbrengt evenredig met de omwentelingsnelheid van de schoep.
- filterinstallatie :
Aan de ingang van de spuirool werden de suspensieconcentraties gemeten van watermonsters die genomen werden bij middel van een dompelpomp ACEC type SP/0967C. Deze monsters werden gefilterd met een millipore filter type GSWP 04700 met poriën van $0,22 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$.

Voor de kontinumeting werd gebruik gemaakt van 2 Strainstall meters uitgerust met in totaal 4 fotoëlektrische cellen en werd de turbiditeit geregistreerd op een Leeds & Northrup zeskanaalschrijver.

Bij de versassing werden de snelheid en de richting van het water gemeten met een snelheidsmolen merk Bendix type Savonius Q 9. De geleidbaarheid werd gemeten met zoutmeters ECR van het type P4EN.

4. MEETRESULTATEN.

a) Metingen uitgevoerd in de spuiroliën bij spring- of doodtij.

De voornaamste meetresultaten zijn weergegeven op enkele figuren zoals in volgende tabel is vermeld. Als symbolen voor de troebelheid en snelheid werden respectievelijk ψ en V genomen.

ZANDVLIETSLUIS			
Datum	Meetplaats Koker	Meetplaats Inlaat	Nummer v. d. figuur
02. 07. 73	ψ	ψ	2
13. 07. 73	ψ en V	-	3
28. 08. 73	ψ en V	ψ	4
BOUDEWIJNSLUIS			
29. 10. 73	ψ	ψ	6
12. 11. 73	ψ	ψ	7

b) Kontinuumeting in de spuirool te Zandvliet.

Meting van γ met 4 fotoëlektrische cellen.

Enkele voorbeelden van de gemeten troebelheden telkens de schuif werd geopend zijn weergegeven in de figuren 8 tot 12.

c) De meting bij een versassing in de Zandvlietssluis.

Hier werd de geleidbaarheid en snelheid gemeten tegen de kaaimuur van de sluis aan de oppervlakte en nabij de bodem. Tevens werd vanop de Zandvlietbrug door de Antwerpse Zeediensten een verticaal profiel gemeten in de as van de sluis (zie fig. 18).

5. INTERPRETATIE VAN DE RESULTATEN.

A. Beschrijving van de toevoermechanismen door de spuiroelen en door de sluis.

De toevoer van slib uit de Schelde naar de dokken wordt bepaald door verschillende oorzaken waarvan de voornaamste in grote lijnen als volgt kunnen samengevat worden :

- natuurlijke :
- 1) het gehalte aan zwevende stoffen gekarakteriseerd door de troebelheid van het Scheldewater ;
 - 2) de uitwisselingsmechanismen tussen de Schelde en de toegangsgeul ;
 - 3) voor de spuirool : het niveauverschil tussen de toegangsgeul en het dokpeil ;
- kunstmatige :
- 4) de versassingen ;
 - 5) de scheepvaartbewegingen in de toegangsgeul ;
 - 6) voor de spuirool : het ogenblik van openen en sluiten van de schuif.

Vooraleer deze punten nader te beschouwen dient hier opgemerkt dat de aanslibbingen in de havens gelegen in de brakwaterzones van estuaria een gewoon en gekend verschijnsel zijn. Het zal zich in versterkte mate voordoen wanneer de havens gevestigd worden in de natuurlijke aanslibbingszone van deze estuaria, zoals het ook ondermeer voor Antwerpen het geval is. De hoeveelheden vaste stoffen afgevoerd naar de dokken zijn, op een bepaalde plaats, funktie van de afmetingen van de sluizen en het aantal versassingen. Als belangrijke bekende voorbeelden hiervan kunnen we vermelden de havens van Nantes, Liverpool, Londen.

Betreffende de haven van Nantes verwijzen we naar de studies van L. Berthois (o. a. Recherches sur la sédimentation en Loire, Bull. d'information C. O. E. C. n° 9, november 1954). Er kan hier ook verwezen worden naar de belangrijke studies hieromtrent uitgevoerd in de Verenigde Staten op het Delaware estuarium en in de Charleston en Savannah havens (Schultz and Simmons, Fresh water - salt water density currents, a major cause of siltation in estuaries, 14e Congres A. I. P. C. N. - Londen 1957, Section II, Communication 3).

Het lijkt ons onnodig hier uitgebreid op deze kwestie in te gaan. Hieronder zullen we niettemin de natuurlijke en kunstmatige factoren, vermeld bij de aanhef van deze paragraaf, nader beschouwen.

- 1) De troebelheid van het Scheldewater varieert in de eerste plaats met de tijamplitude. Deze variatie wordt echter eveneens beïnvloed door hydraulische en sedimentologische verschijnselen zoals de menging van zoet- en zoutwater welke de oorzaak zijn van het ontstaan van slibvelden in het gebied van de Schelde waar de Antwerpse haven zich bevindt.
- 2) De uitwisselingsmechanismen tussen de toegangsgeul en de Schelde zijn voornamelijk afhankelijk van het zoutgehalte in de Schelde en de variatie hiervan gedurende het getij. Deze mechanismen geven aanleiding tot een regelmatige toevoer van slib in de toegangsgeul. Voor de verdere beschrijving van dit verschijnsel kan verwezen worden naar het rapport van het Waterbouwkundig Laboratorium, mod. 277 "Aanslibbing en aanzanding van de toegangsgeul tot de Zeesluis van Zandvliet" (januari 1971).
- 3) Het niveauverschil tussen de toegangsgeul en de dokken beïnvloedt rechtstreeks de stromingssnelheid en dus het debiet in de spuirool. Deze snelheid is meestal voldoende groot om het transport van de vaste stoffen doorheen de koker mogelijk te maken. Er kan hier tevens op gewezen worden dat, zoals uit de kontinumeting blijkt (fig. 8 tot 12), er na het sluiten van de schuif in de spuirool een sedimentatie plaatsgrijpt in de koker. Dit gesedimenteerde materiaal wordt bij het erop volgende waterinlaten door de voldoende hoge snelheden, ten minste gedeeltelijk, terug in suspensie gebracht en naar de dokken afgevoerd.
- 4) Er moet hier ook gewezen worden op de invloed van de versassing op de toevoer. Bij elke versassing grijpt er een water- en slibuitwisseling plaats tussen de toegangsgeul en de sluis en tussen de sluis en de dokken.

Men heeft hier te maken met een aanvoer en afvoer door de vulling en de lediging van de sluis door de omloopriolen. Daarenboven doen er zich belangrijke uitwisselingsverschijnselen voor na het beëindigen van vulling of lediging, namelijk bij het openen van de sluisdeuren. Deze uitwisseling hangt uiteindelijk af van de dichtheidsverschillen tussen de Schelde en de havendokken en gehoorzaamt aan dezelfde mechanismen als in de toegangseul (zie hierboven vermeld rapport - mod. 277).

- 5) Door de scheepvaartbewegingen en het onderhoud van de toegangseul nl. door het omwoelen van het slib door middel van het voortslepen over de bodem van een eg (het zogenaamde krabben), wordt een gedeelte van het daar aanwezige slib in suspensie gehouden. Deze scheepvaartbewegingen zijn het drukst rond de periode van H. W. wanneer de versassingen en het waterinlaten plaatsgrijpen (zie fig. 9).
- 6) De beginsnelheid van het water in de spuirool hangt sterk af van het ogenblik van openen van de schuif ten opzichte van het tijdstip van gelijke waterstanden in toegangseul en dokken. Gebeurt dit te laat dan krijgt men een hoge beginsnelheid met een dynamisch effect of impuls die de erosie van het gesedimenteerde slib in de hand werkt. Zoals in punt 3 reeds werd aangehaald zal er een geleidelijke aanslibbing op de bodem van de koker plaatsgrijpen tussen springtij en doottij omwille van het dalend vermogen en dus dalende transportcapaciteit. Tussen doottij en springtij zal er omgekeerd een geleidelijke erosie plaatsgrijpen.

B. Bespreking van de bekomen resultaten.

1) Dagelijkse metingen :

- snelheid.

Voor de snelheidsmetingen en de bepaling van de debieten kan verwezen worden naar het hogervermeld rapport van de Antwerpse Zeediensten.

De door het Laboratorium gebruikte snelheidsmolen was hier slechts bedoeld als aanvullend meetapparaat.

- Troebelheid.

De troebelheden vertonen grote schommelingen inherent aan het mechanisme van het transport in een turbulente stroming. Het was dus noodzakelijk twee belangrijke bruikbare kenmerken te bepalen :

- het algemeen verloop
- de grootteorde van de troebelheid.

Hiervoor werden twee technieken gebruikt :

- a) Meten van de doorlaatbaarheid voor licht bij middel van fotocellen ; welke niet zeer nauwkeurig zijn doch een goed idee geven van het verloop.
- b) Ogenblikkelijke puntmetingen door het nemen van watermonsters en filtreren; wat een nauwkeurige bepaling van de vaste stoffen mogelijk maakt, doch waarvan de resultaten een grote spreiding vertonen.

De grootteorde van de troebelheden lag gewoonlijk tussen 0-1000mg/l met als meest voorkomende waarden 200 à 500 mg/l.

Zandvlietsluis :

Hier vertoont de troebelheid een vrij regelmatig verloop, uitgenomen enkele pieken te wijten aan de scheepvaart en het krabben in de toegangsgeul. (zie ook voormeld rapport van de Antwerpse Zeediensten).

Boudewijnsluis :

Beide metingen vertonen een gelijkaardig verloop in de koker. Na een aanvankelijk hoge beginwaarde (impuls) heeft men een regelmatige afname. De eindwaarden bij het sluiten liggen lager dan 200 mg/l. In absolute waarde heeft men echter wel hogere troebelheden gemeten dan aan de Zandvlietsluis. Men heeft er ongeveer twee maal hogere waarden zowel aan de ingang als in de koker.

2) Kontinumeting :

De figuren 8 tot 12 geven voorbeelden van het verloop van de troebelheid in een spuirool van de Zandvlietsluis met verschillende tijamplituden en duur van het waterinlaten. De verlopen gemeten met de vier fotocellen zijn onderling zeer vergelijkbaar. Hetzelfde kan gezegd worden voor het verloop bij verschillende tijen.

Na het openen van de schuif stijgt de troebelheid zeer snel van nul naar de maximum waarde, overeenkomend met het getij. Dit gaat gepaard met zeer sterke schommelingen. Hierna heeft men een vrij regelmatige afname in functie van de tijd volgens een exponentiële wet. Deze exponentiële afname verloopt ook verder na het sluiten van de schuif. Deze sluiting is overigens niet merkbaar op de registraties. Dit wijst erop dat tijdens de laatste fase van het waterinlaten het suspensiemateriaal bezinkt in de koker. Verschillende pieken doen zich voor als gevolg van variatie van de troebelheid in de toegangseul (scheepvaart en krabben).

6. BEREKENING SLIBTOEVOER LANGS DE SPUIRIOLEN.

Uit de kontinumeting kan men de slibtoevoer per tij Q_s berekenen door integratie van de troebelheid φ en de snelheid V over de tijd t en de dwarssektie Ω :

$$\int_t Q_s \cdot dt = \int_t \int_{\Omega} V(\omega, t) \cdot \varphi(\omega, t) d\omega \cdot dt \quad (1)$$

De in aanmerking genomen tijd is deze tussen het openen der schuif (t_0) en het sluiten der schuif (t_d). In het geval van een rechthoekige dwarssectie zoals in de koker te Zandvliet met hoogte H en breedte B kan men schrijven (zie figuur 1).

$$\int_{t_0}^{t_d} Q_s \cdot dt = \int_{t_0}^{t_d} \int_0^H \int_0^B V(y, z, t) \cdot \varphi(y, z, t) dy \cdot dz \cdot dt \quad (2)$$

Een nauwkeurige berekening hiervan is zeer omslachtig. Uit de metingen van de Antwerpse Zeediensten is gebleken dat de snelheids- en troebelheidsverdeling in de dwarssectie een vrij homogeen karakter vertoont. We kunnen dus volgende vereenvoudiging toepassen :

$$\int_{t_0}^{t_d} Q_s \cdot dt = \int_{t_0}^{t_d} Q_w(t) \cdot \varphi_g(t) \cdot dt \quad (3)$$

$$\text{of} \quad = \sum_{i=0}^{i=d} Q_{wi} \varphi_{gi} \Delta t \quad (4)$$

= gewicht toegevoerde vastestof.

Voor deze berekening gebruiken we volgende metingen :

Q_w : gekend als functie van Δh (zie rapport A. Z. fig. 17),
dus ook als functie van t met behulp van de tijkromme.

φ_g : als functie van t uit de kontinumeting (is de gemiddelde troebelheid over de dwarssectie op het ogenblik t).

Een voorbeeld van deze berekening met de formule (4) wordt weergegeven op de figuur 13. Enkele voorbeelden van de water- en vastestoftoevoer

tonen aan dat deze sterk variëren (fig. 14).

We kunnen de integraal (3) toepassen over een volledig getij door het invoeren van volgende grootheden :

W : totaal volume water verplaatst tijdens het waterinlaten.

\mathcal{Y}_{gg} : gemiddelde van de troebelheden over de dwarssectie en gedurende de tijd van het waterinlaten.

Berekeningen welke in dit rapport niet weerhouden werden toonden aan dat deze methode in dit geval niet bruikbaar is omdat de debieten en troebelheden geen gelijkaardig verloop tonen (zie fig. 14).

Aan de hand van de volgens formule (3) berekende waarden werd getracht een korrelatie te vinden tussen de slibtoevoer Q_s en het niveauverschil Δh tussen het Scheldepeil bij H. W. en het dokpeil.

Nu hangt \mathcal{Y}_g af van de troebelheid in de Schelde, welke op haar beurt afhangt van de tijamplitude (zie beschrijving toevoermechanisme), terwijl W afhangt van het maximum H. W. peil.

Om de vergelijkbaarheid van de resultaten te verbeteren werd rekening gehouden met een tijfaktor (F) gedefinieerd door :

$$F = \text{tijfaktor} = \frac{\text{tijamplitude}}{\text{gemiddelde tijamplitude}}$$

De aldus verkregen korrelatie tussen Q_s , tijfaktor en Δh wordt weergegeven op de figuur 15.

De totale slibtoevoer door één koker stijgt gelijkmatig met het verschil (Δh) tussen het H. W. peil en dokpeil. De gemiddelde toevoer overeenstemmend met een gemiddelde Δh van 0,80 m bedraagt ongeveer 30 Ton/tij. Dit betekent een totale toevoer door de spuirollen van gemiddeld 60 Ton/tij.

7. AANDEEL SLIBTOEVOER DOOR DE OMLOOPRIOLEN.

Bij ontstentenis van metingen kan de grootteorde van de toevoer door de omloopriolen geschat worden.

Eerst moet er opgemerkt worden dat de versassingen niet alleen gebeuren bij H. W. en dat dus de waterverplaatsingen door de omloopriolen niet alleen van Schelde naar dok, doch ook omgekeerd gebeuren.

Veronderstellen we een versassing bij een gemiddelde H. W. Het totaal volume water dat in de sluis door de omloopriolen toegevoerd wordt is $w = A \cdot \Delta h$. A zijnde de oppervlakte in plattegrond van de sluis. Het gemiddelde niveauverschil Δh bij H. W. tussen Schelde en dok bedraagt $\pm 0,80$ m. Dit vertegenwoordigt dus ongeveer een totaal volume water van 20.000 m³. Met een troebelheid van ± 500 mg/l zou de slibtoevoer dan 1 ton bedragen.

Het totaal volume water is tamelijk nauwkeurig gekend. Zelfs indien de troebelheid zeer hoog zou liggen bijv. 5000 mg/l dan nog zou de toevoer slechts 10 Ton/tij bedragen.

Gezien de versassingen verspreid zijn over het getij, zijn de slibverplaatsingen door de omloopriolen gering, ze geschieden bovendien in beide richtingen.

8. SLIBTOEVOER IN DE TOEGANGSGEUL.

Van 1969 tot 1971 werd door het Waterbouwkundig Laboratorium een studie verricht betreffende de oorzaak van de verzanding en de aanslibbing van de toegangsgeul te Zandvliet (Mod. 277 rapporten nr 1 tot 6).

Door deze studie werd aangetoond dat de grote aanslibbingen van de toegangsgeul veroorzaakt worden door wateruitwisselingen tussen de toegangsgeul en de Schelde die gemiddeld acht maal het volume van de toegangsgeul bedragen.

Als oorzaken van deze uitwisselingen werden gevonden :

- a) vulling en lediging door het verticale getij ($\pm 12 \%$) ;
- b) de horizontale neer verwekt door de stromingen in de Schelde ($\pm 18 \%$) ;
- c) de dichtheitsstroming veroorzaakt door de zoutvariaties van de Schelde gedurende het getij ($\pm 70 \%$).

Er werd ook vastgesteld dat de belangrijkste uitwisseling ongeveer één uur voor H. W. plaatsgrijpt wanneer de vloedstromingen en dus de troebelheid een maximum vertonen.

De slibtoevoer per getij door raai 20 (zie fig. 16) werd geschat op ± 1200 Ton bij een tijamplitude van 5 m en ± 600 Ton bij een tijamplitude van 3,80 m. Gezien de tijamplituden te Prosperpolder (tijpost in de Schelde ter hoogte van Zandvliet), namelijk : 3,85 m bij doottij, 4,65 m bij gemiddeld tij en 5,20 m bij springtij, mag men stellen dat de gemiddelde toevoer een grootteorde heeft van ± 1000 Ton/ tij.

Door boringen werd de dichtheid van de aanslibbingen gemeten en werd aangetoond dat de maximale aanslibbingen in de toegangsgeul onmiddellijk na de baggerwerken plaatsgrijpen waarna ze geleidelijk afnemen (fig. 16).

Boring 2 mag beschouwd worden als representatief voor de gemiddelde aanslibbing tijdens vermelde meetperiode.

Uit de totale hoeveelheid slib bezonken per maand kan men afleiden (zie fig. 17) welke hoeveelheid slib zich in de toegangsgeul heeft neergezet. Deze bedroeg voor de eerste maand 930 Ton, voor de tweede ± 620 Ton, voor de derde 490 Ton en de vierde 415 Ton en verliep daarna regelmatig naar zero ton.

Men concludeerde hieruit dat onmiddellijk na het baggeren praktisch al het uit de Schelde toegevoerde slib in de toegangsgeul bezinkt waarna een geleidelijke vermindering van de aanslibbingen plaatsgrijpt zoals hierboven vermeld. De huidige onderhoudstechniek van het krabben daarentegen in de toegangsgeul heeft als gevolg dat de bovenste

laag een geringe densiteit behoudt waardoor het vanuit de Schelde toegevoerde slib hetzij naar de Schelde teruggevoerd wordt, hetzij zich naar de dokken kan verplaatsen. Hieruit blijkt hoe belangrijk het is deze onderhoudstechniek enkel toe te passen tijdens perioden waarbij de bodemstromingen in de toegangsgeul voornamelijk naar de Schelde gericht zijn, t. t. z. tijdens de ebperioden van het getij.

Ook moet hier overwogen worden of de voordelen van de huidige onderhoudstechniek opwegen tegen de mogelijke nadelen, namelijk een merkelijke verhoging van de slibbeweging naar de dokken toe.

De grootteorde van deze verhoging is door middel van de reeds verrichte metingen niet kwantitatief te bepalen.

9. AANDEEL VAN DE SLIBTOEVOER DOOR VERSASSING.

Zoals in hoofdstuk 5 beschreven, treedt een uitwisseling op tussen het water van de sluis en het water uit de toegangsgeul, wanneer de sluisdeur aan de Scheldezijde open is. Wanneer de sluisdeur aan de dokzijde geopend is zal er een uitwisseling optreden tussen sluis- en dokwater. Het zoute Scheldewater dringt omwille van de hogere densiteit de dokken binnen langs de bodem. Dit mechanisme wordt echter min of meer verstoord door het openen van de sluisdeur wat horizontale neerbewegingen veroorzaakt.

De meting bij een versassing op 06. 02. 74 werd uitgevoerd met twee snelheidsmolens en twee zoutmeters op één plaats en kan dus uiteraars slechts richtinggevend zijn. De meting begon bij het openen

van de sluisdeur om 16h50 en werd stop gezet om 17h20 omwille van de scheepvaart. Tevens kan aangestipt worden dat tijdens de meting de meteorologische omstandigheden zeer ongunstig waren.

Het zoutgehalte aan de dokzijde bedroeg op dat ogenblik $\pm 3,7$ g Cl/l

In het kort kunnen de resultaten als volgt beschreven worden :

Onmiddellijk na het openen van de sluisdeur ontstaat er een vlugge toename van de snelheid bij de oppervlakte in de richting van het dok. Dit kan verklaard worden doordat een iets hoger waterpeil in de sluis (t. o. v. het dokpeil) een verhang veroorzaakt en dus een stroming. Bij de bodem zijn de snelheden zeer klein. Na ± 10 min. treedt een versnelling op van de beweging der onderste zoutwatermassa in de richting van de dokken.

De snelheid steeg tijdens de meting tot 0,51 m/s en het zoutgehalte tot 7,4 g Cl/l. Hierna scheen deze beweging vrij permanent te verlopen met bij de bodem een sterke stroming van een zoutwaterlaag, terwijl aan de oppervlakte het dokwater met een constant zoutgehalte traag de sluis binnenstroomt (zie fig. 18). De laagdikte van deze dichtheidsstroming bedroeg ± 6 m.

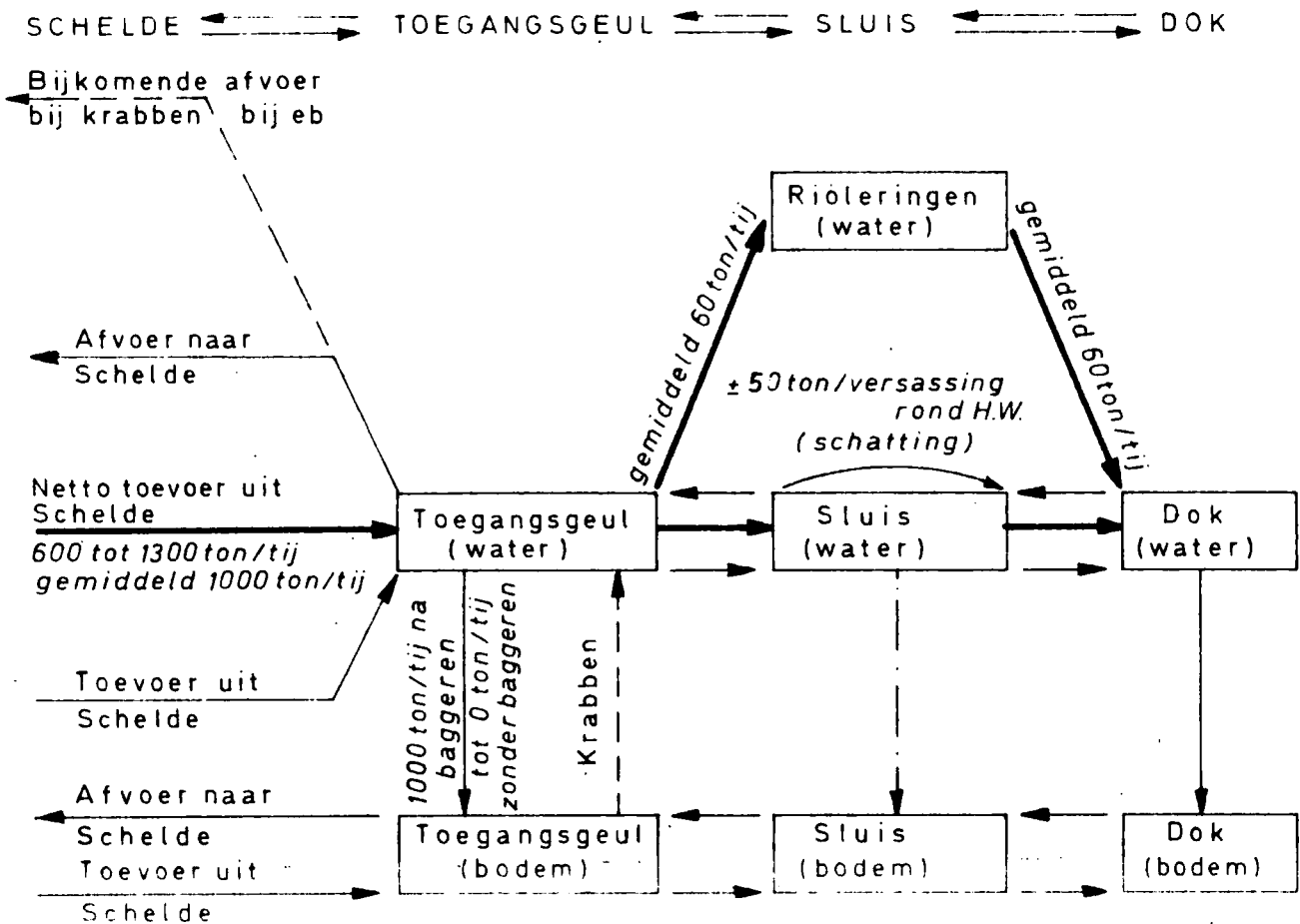
Indien men nu het toevoermecanisme beschouwt kan men, gezien de relatief lange duur waarbij de sluisdeuren geopend zijn, aannemen dat het totaal volume water van de sluis door deze dichtheidsstroming uitgewisseld wordt met het water van de dokken.

Laten we veronderstellen dat het volume verplaatste water van de sluis tijdens een versassing 350.000 m³ bedraagt, hetzij 80% van het totaal volume van de sluis, rekening houdend met de aanwezigheid in de sluis van overwegend schepen van gemiddelde tonnemaat. De metingen vóór de inlaat van de spuirool hebben aangetoond dat de troebelheid rond

II. W. op deze plaats gewoonlijk tussen de 100 à 200 mg/l bedraagt. Tijdens de metingen door het Laboratorium uitgevoerd in de toegangsgoel in 1968-1969 en 1970 werden uitzonderlijk nabij de sluisdeuren troebelheden opgemeten van meer dan 500 mg/l. Indien we voor de troebelheid van het water dat bij een versassing de sluis binnenstroomt, een gemiddelde waarde van 150 mg/l aannemen, dan komt men tot een grootteorde van toevoer van slib per versassing van 50 ton in suspensie. Hierbij moet rekening gehouden worden met verschillende versassingen per getij.

10. SAMENVATTEND OVERZICHT VAN DE MOGELIJKE OORZAKEN VAN DE AANSLIBBING.

Het aanslibben van de dokken nabij de sluizen, en voornamelijk nabij de Zandvlietsluis is, zoals uit de metingen gebleken is, slechts gedeeltelijk te wijten aan het waterinlaten via de spuiroelen. Ons insziens komen grote hoeveelheden slib in de dokken via de sluizen. Men kan de uitwisseling zelf tussen sluis en dok schatten door snelheden en gehalte aan zwevende stoffen te meten. Men kan ook de totale hoeveelheid bezonken slib in de dokken opmeten door monsternamen of door in situ bepaling van de densiteit van het slib. Herinneren we hier aan het werkschema gebruikt voor de studie van de aanslibbingen van de toegangsgoel uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium (Mod. 277). Dit alles vergt echter een uitgebreid en langdurig meetprogramma. Er werden in dit opzicht reeds enkele metingen verricht. Aan de hand van metingen en berekeningen van het slibtransport in de toegangsgoel (Mod. 277) en in de sluis en de spuiroelen zou men dit slibtransport volgens het hiernavolgend schema kunnen weergeven. De in dit schema opgenomen cijfers zijn uitsluitend richtinggevend bedoeld en hebben uiteraard geen absolute betekenis.



Dit schema illustreert tevens dat de toevoer van slib in de dokken op drie manieren gebeurt :

- 1) Toevoer als massatransport van suspensiemateriaal door de spui-riolen (en de omloopriolen).
- 2) Toevoer onder de vorm van suspensiemateriaal door wateruitwisseling tussen Schelde, toegangsgeul, sluis en dokken.
- 3) Toevoer als bodemtransport door de sluis.

In suspensie kwam er in de periode 1969-1970 een hoeveelheid slib van 500 ton (bij dood tij) à 1.300 ton (bij springtij) uit de Schelde de toegangsgeul binnen. Gedurende dezelfde periode verliep de aanslibbing van 1.000 ton per tij, onmiddellijk na het baggeren, tot 200 ton per tij, 11 maanden na het baggeren.

De grootteorde van de huidige toevoer is 60 ton/tij door de spuirolen en bedroeg volgens raming 50 ton per versassing door de sluis als suspensietransport. Deze laatste toevoer kan dus, afhankelijk van het aantal versassingen hiervan een veelvoud bedragen, wanneer de densiteit van het water in de toegangsgeul hoger is dan in de dokken.

Het is duidelijk dat de aanslibbingen van de dokken bij de Zandvliet-sluis door de versassingen direct funktie zijn van de afmetingen van de sluis. Inderdaad zijn ze aan de Boudewijnsluis minder intens, niettegenstaande de hogere gehalten aan zwevend materiaal in de Schelde ter plaatse van deze sluis.

Sinds mei 1972 worden de diepten in de toegangsgeul orderhouden door de techniek van het krabben, waar voorheen gebaggerd werd. Onmiddellijk na het baggeren was er toen een dikke losse sliblaag die zich vlug verdichtte wat plaats liet voor het nieuwe slib dat uit de Schelde werd toegevoerd.

Het regelmatig opmeten van densiteitsprofielen in de sliblagen in de dokken zou een schatting kunnen geven van de totale gemiddelde toevoer.

Er werd reeds vermeld dat het krabben eveneens als gevolg kan hebben dat er een groter gedeelte van het slib, in de toegangsgeul in suspensie aanwezig, terug naar de Schelde stroomt bij eb.

Hier moet nogmaals duidelijk gesteld worden dat het krabben enkel mag geschieden tijdens de ebperiode van de getijden.

De hoeveelheid toegevoerd slib door de sluis als bodemtransport kan uit de tot op heden verrichte metingen niet afgeleid worden.

Zoals hoger vermeld kan men zich terecht afvragen of het vervangen van het baggeren door het krabben in de toegangsgeul wel een doeltreffende methode is, daar we van oordeel zijn dat het krabben, zelfs

als het enkel tijdens de ebperioden toegepast wordt, een merkelijke verhoging van de aanslibbingen in de dokken veroorzaakt. Hierbij spelen echter ook economische en technische problemen (baggeren en storten van slib) een rol die enigszins buiten het bestek van deze studie vallen.

11. ALGEMENE CONCLUSIES.

De toegangsgeulen tot de sluizen van de haven van Antwerpen zijn gelegen in de natuurlijke aanslibbingszone van het Schelde-estuarium. Het is dus onvermijdelijk dat er zich in de nabijheid van deze sluizen (zowel aan de Schelde - als aan de dokzijde) aanslibbingsverschijnselen voordoen.

De vastestoftoevoer van Schelde naar dokken gebeurt op verschillende manieren, namelijk via de spuirollen, de omlooprollen en de sluizen. De belangrijkste toevoer geschiedt door de sluizen tijdens de versassingen.

De afmetingen van de sluizen en het aantal versassingen spelen derhalve een grote rol. De aanslibbingen aan de dokzijde van de Zandvlietluis zijn om deze redenen merkkelijk hoger dan aan de Boudewijnsluis, ondanks het feit dat deze laatste ongunstiger gelegen is wat betreft de gehalten aan zwevende stoffen in de Schelde.

De onderhoudstechnieken van de toegangsgeulen stellen een specifiek probleem. Het zogenaamde krabben brengt een verhoging mee van het slibgehalte in de toegangsgeul, met het risico dat hierdoor de aanslibbingen in de dokken verhogen. Deze methode mag dus in ieder geval slechts toegepast worden tijdens de ebperioden in de Schelde, namelijk na stroomkentering hoogwater. Zé is in verband met de versassingen niet aangewezen wanneer de buitendeuren openstaan, en zeker niet bij hoogwater.

Het onderhouden van de diepten in de toegangsgeul te Zandvliet door baggerwerken zou nader moeten bestudeerd worden, daar een aangepaste techniek naar onze mening de toevoer van slib naar de dokken sterk zou kunnen doen verminderen.

Borgerhout, juli 1974.

De e. a. Ingenieur
van Bruggen en Wegen
belast met de studie.

De Hoofdingenieur-Directeur
van Bruggen en Wegen,

De Hoofdingenieur-Directeur
van Bruggen en Wegen.
Directeur van het Waterbouw-
kundig Laboratorium,

J. J. PETERS.

I. COEN.

A. STERLING.

LIJST DER FIGUREN

- Fig. 1 Situatie meetpunten Zandvlietsluis.
- Fig. 2 Zandvlietsluis 2. 7. 1973 - Meting troebelheid.
- Fig. 3 Zandvlietsluis 13. 7. 1973 - Meting troebelheid-snelheid.
- Fig. 4 Zandvlietsluis 28. 8. 1973 - Meting troebelheid-snelheid.
- Fig. 5 Situatie meetpunten Boudewijnsluis.
- Fig. 6 Boudewijnsluis 29. 10. 1973 - Meting troebelheid.
- Fig. 7 Boudewijnsluis 12. 11. 1973 - Meting troebelheid.
- Fig. 8 Zandvlietsluis-Kontinumeting 9. 1. 1974-7. 2. 1974 - Meting troebelheid 10. 1. 1974.
- Fig. 9 Zandvlietsluis-Konitnumeting 9. 1. 1974-7. 2. 1974 - Meting troebelheid 13. 1. 1974.
- Fig. 10 Zandvlietsluis-Kontinumeting 9. 1. 1974-7. 2. 1974 - Meting troebelheid 24. 1. 1974.
- Fig. 11 Zandvlietsluis-Kontinumeting 9. 1. 1974-7. 2. 1974 - Meting troebelheid 28. 1. 1974.
- Fig. 12 Zandvlietsluis-Kontinumeting 9. 1. 1974-7. 2. 1974 - Meting troebelheid 5. 2. 1974.
- Fig. 13 Zandvlietsluis 27. 1. 1974 - Voorbeeld berekening vastestoftransport.
- Fig. 14 Voorbeelden van water- en vastestoftransport.
- Fig. 15 Zandvlietsluis-Korrelatie toevoer vaste stoffen - Peilverschil H. W. Schelde-Dok.
- Fig. 16 Toegangsgeul Zandvlietsluis 1969 - Aanslibbingsnelheid.
- Fig. 17 Toegangsgeul Zandvlietsluis 1969 - Evolutie gewicht vaste stoffen afgezet.
- Fig. 18 Zandvlietsluis 6. 2. 1974 - Snelheids- en zoutmetingen gedurende een versassing.
-

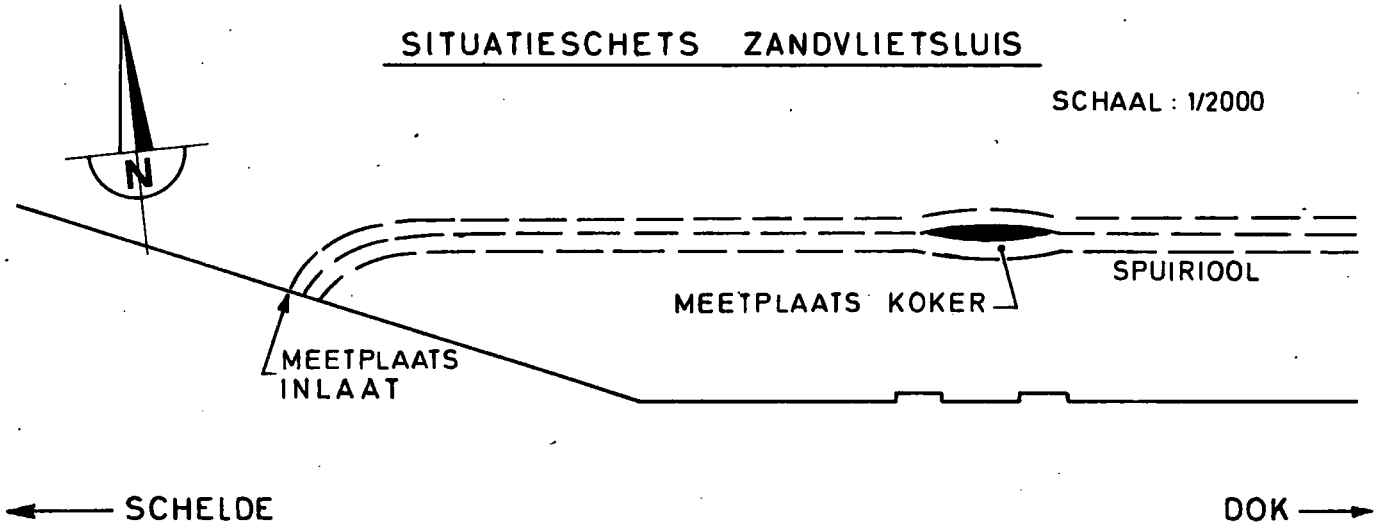
GERAADPLEEGDE RAPPORTEN.

<u>Model nr.</u>	<u>Onderwerp</u>
<u>Rapporten W. L.</u>	
(1) 277	- De aanslibbingen en de verzanding van de toegangsgeul tot de zeesluizen van de haven van Antwerpen. Rapport en gedeelte bijlagen. November 1968.
(2)	- De invloed van de densiteitsstromingen op de aanslibbingen in de toegangsgeul tot de zeesluis van Zandvliet. Rapport : juni 1969.
(3)	- Slib- en zandafzettingen in toegangsgeul tot de zeesluis van Zandvliet. Rapport : januari 1971.
(4)	- Sedimenten uit de toegangsgeul te Zandvliet. Rapport : 1971.
(5) 286	- Slib- en zandafzettingen in toegangsgeul tot de zeesluis Zandvliet. Invloed van de koelwaterafname door BASF. Rapport : februari 1970.
(6) 186	- Proeven aangaande de inlaatconstructie der spuirool voor brakwater. Rapport : december 1962.
<u>Rapport A. Z.</u>	
	- Verslag metingen spuiroelen aan Zandvliet en Bouwdewijnsluis (April 1974) .

SITUATIE MEETPUNTEN ZANDVLIETSLUIS

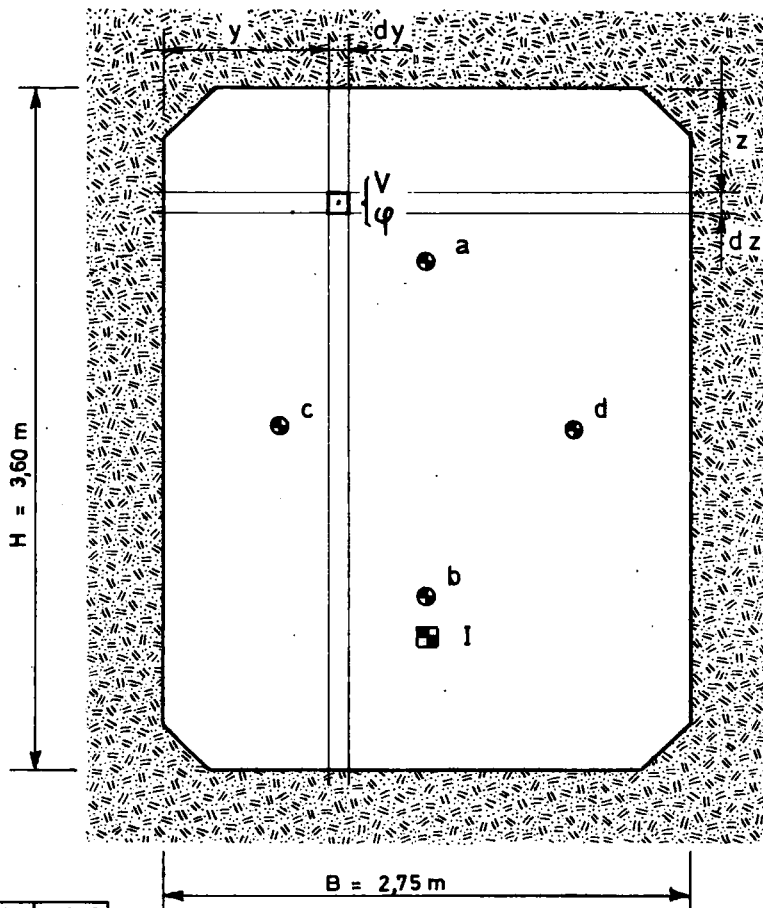
SITUATIESCHETS ZANDVLIETSLUIS

SCHAAL : 1/2000



DWARSEKTE KOKER ZANDVLIETSLUIS

SCHAAL : 1/40

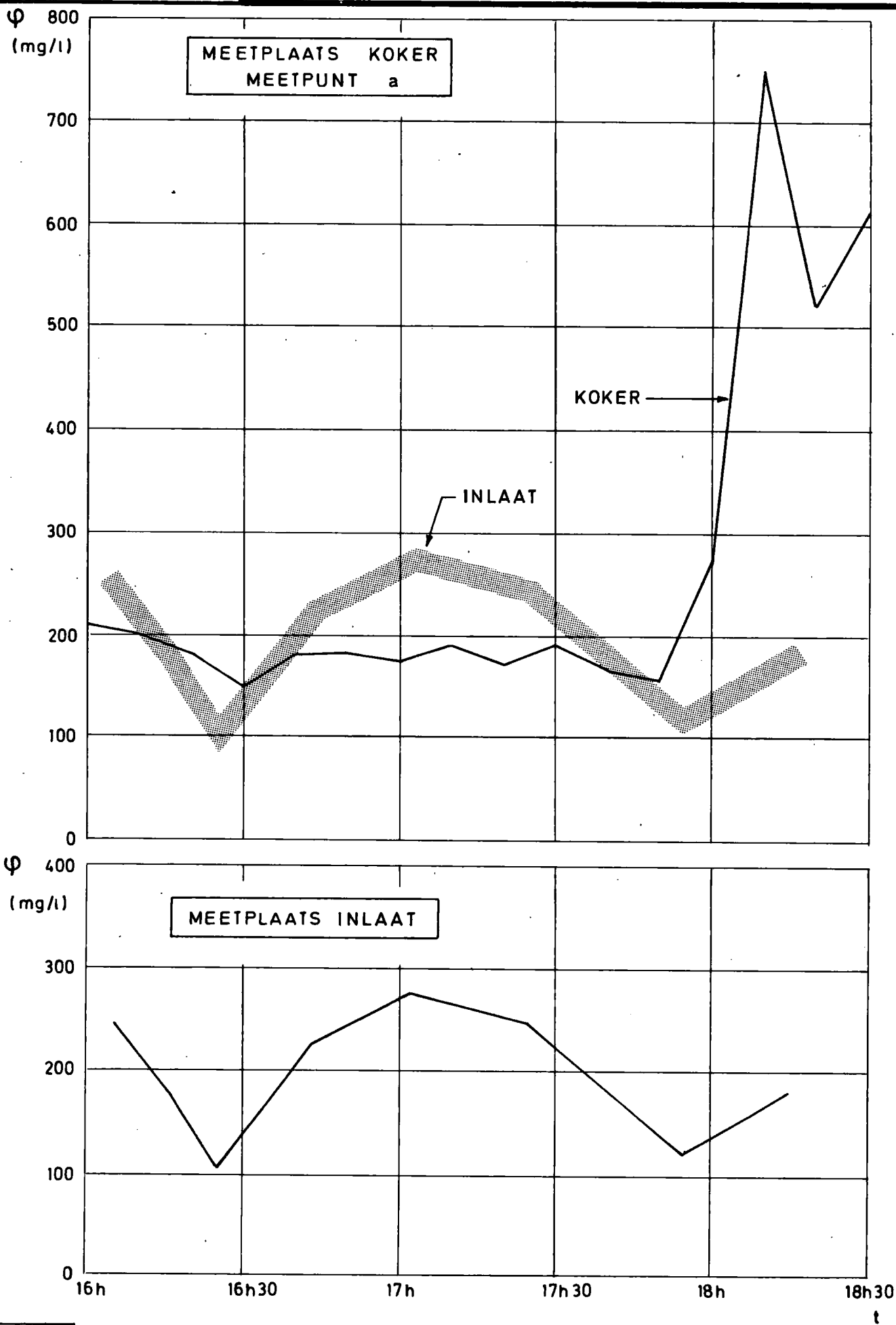


a,b,c,d : FOTOLEKTRISCHE CELLEN
I : ELEKTR. SNELHEIDSMOLEN

OPMERKING DWARSEKTE GEZIEN
VAN DOK NAAR SCHELDE

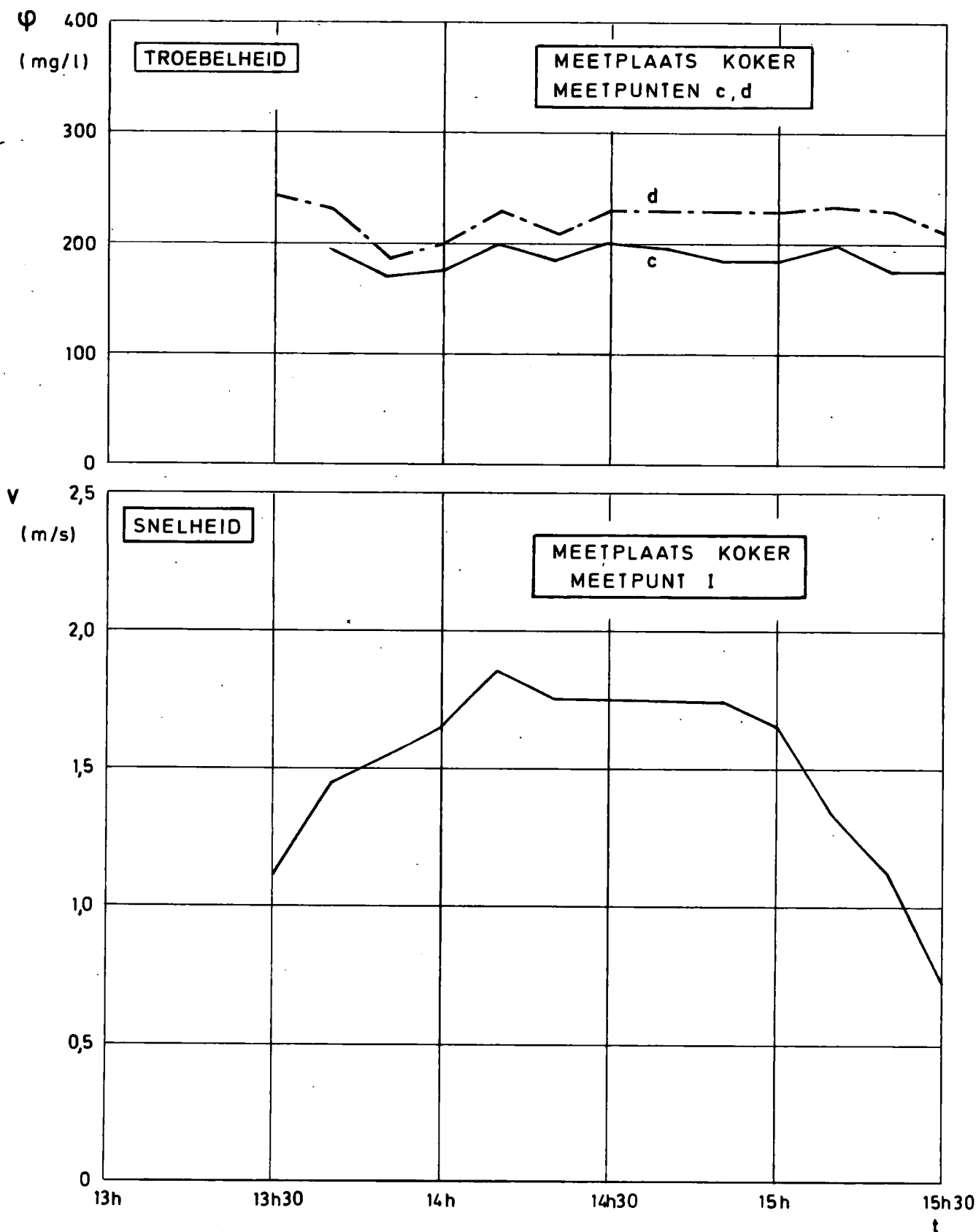
SPRINGTIJ

ZANDVLIETSLUIS - 2 / 7 / 1973
METING TROEBELHEID



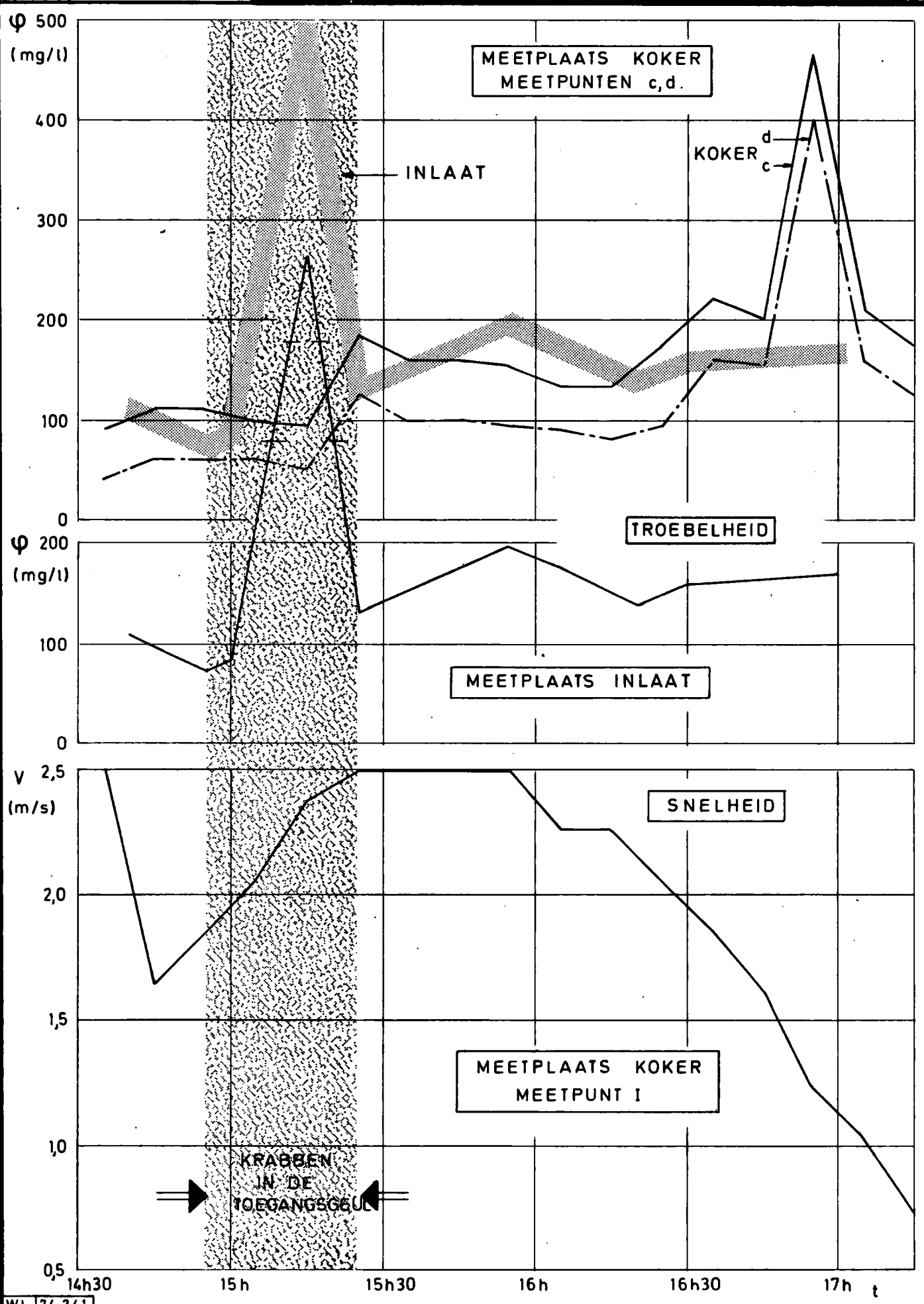
DOODTIJ

ZANDVLIETSLUIS - 13 / 7 / 1973
METING TROEBELHEID - SNELHEID



SPRINGTIJ

ZANDVLIETSLUIS 28/8/1973
METING TROEBELHEID - SNELHEID

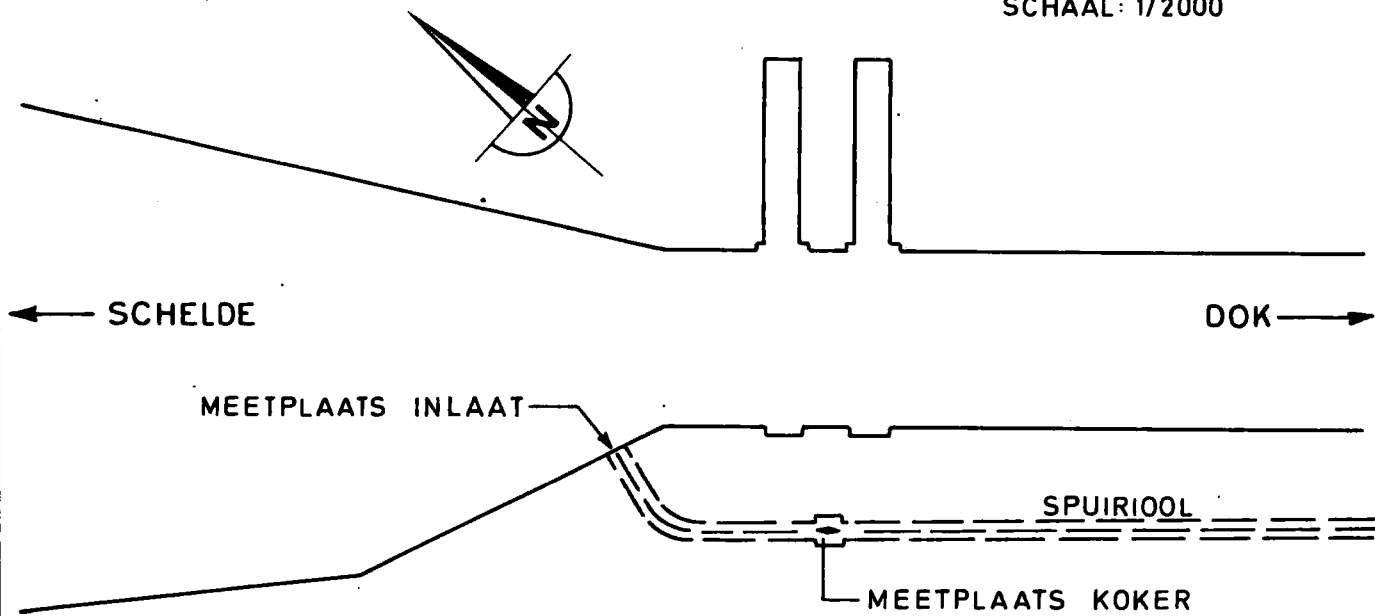




SITUATIE MEETPUNTEN BOUDEWIJNSLUIS

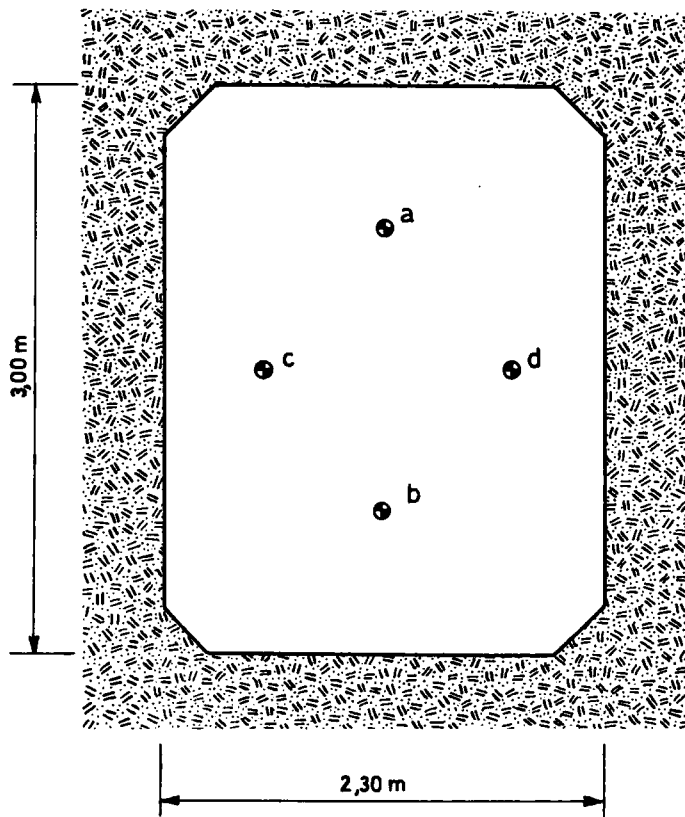
SITUATIESCHETS BOUDEWIJNSLUIS

SCHAAL: 1/2000



DWARSSEKTIE KOKER BOUDEWIJNSLUIS

SCHAAL: 1/40



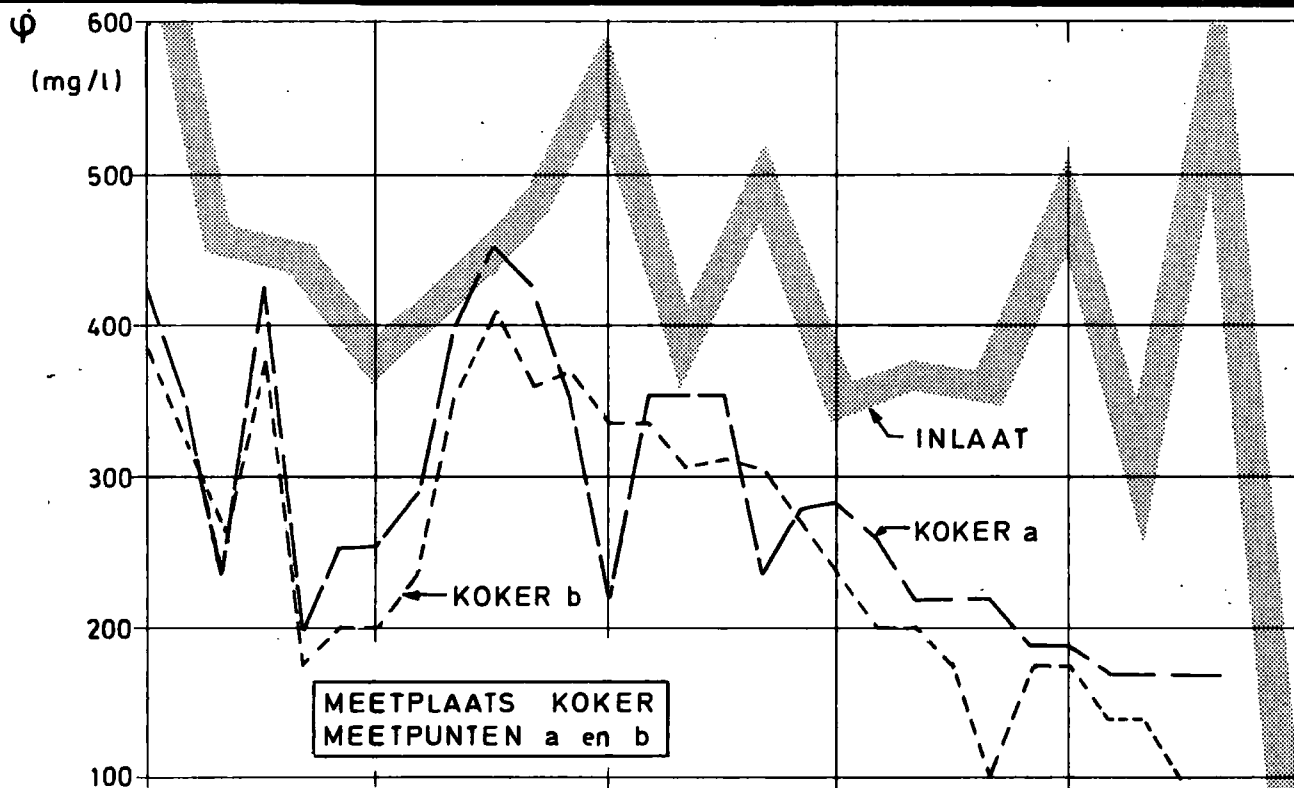
a,b,c,d: FOTOLEKTRISCHE CELLEN

OPMERKING: DWARSSEKTIE GEZIEN VAN
DOK NAAR SCHELDE

SPRINGTIJ

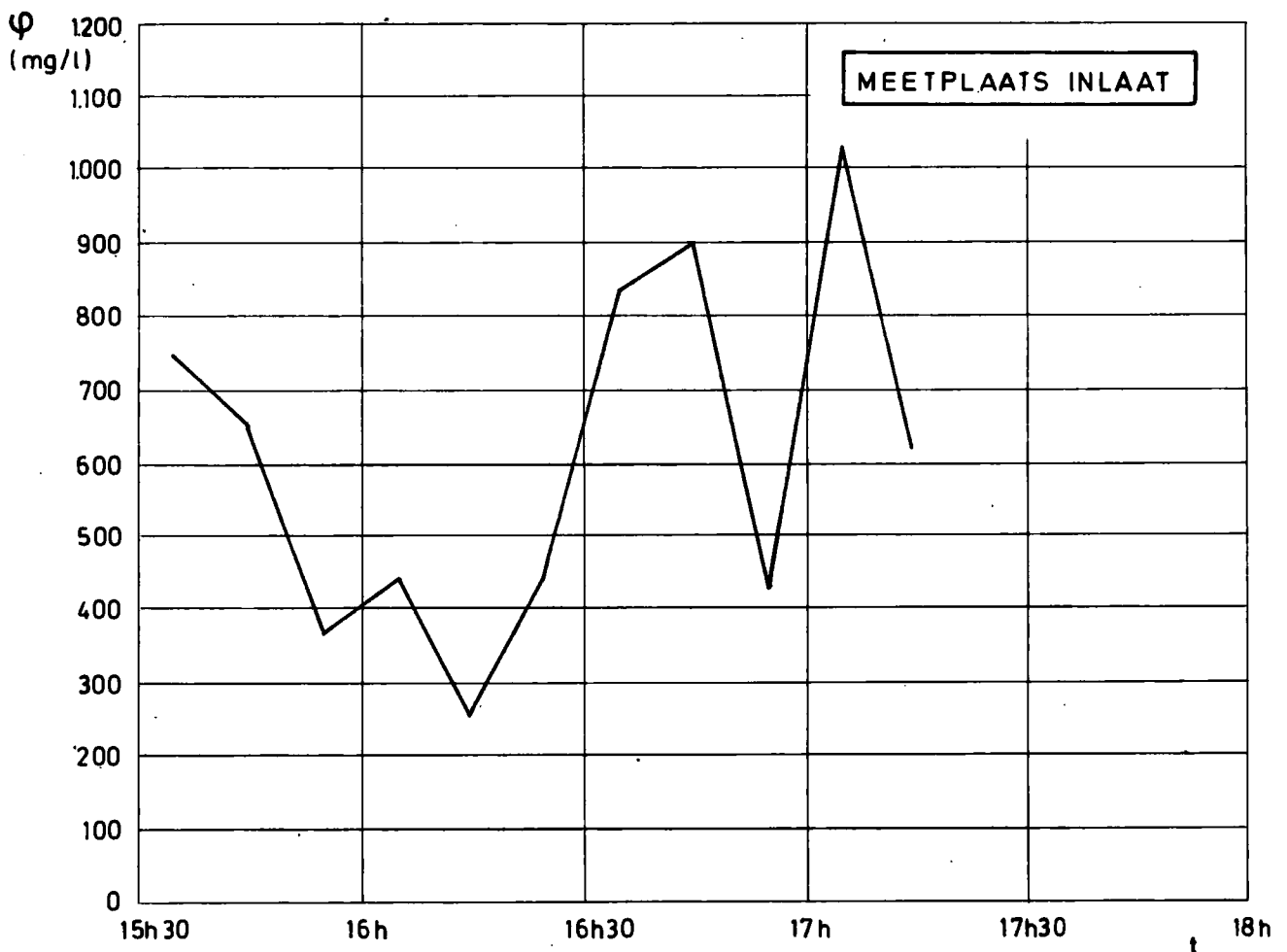
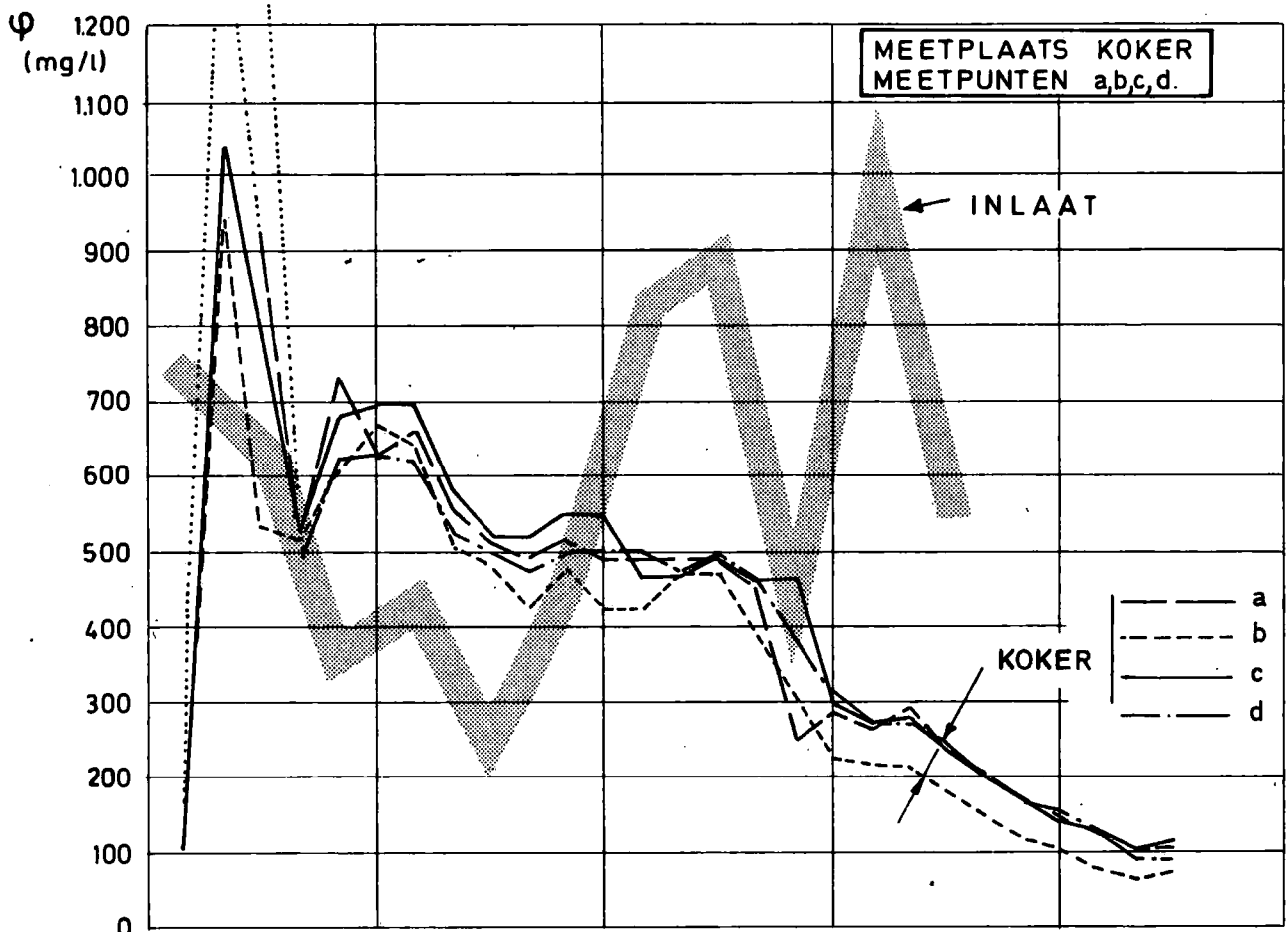
BOUDEWIJNSLUIS 29 / 10 / 1973

METING TROEBELHEID



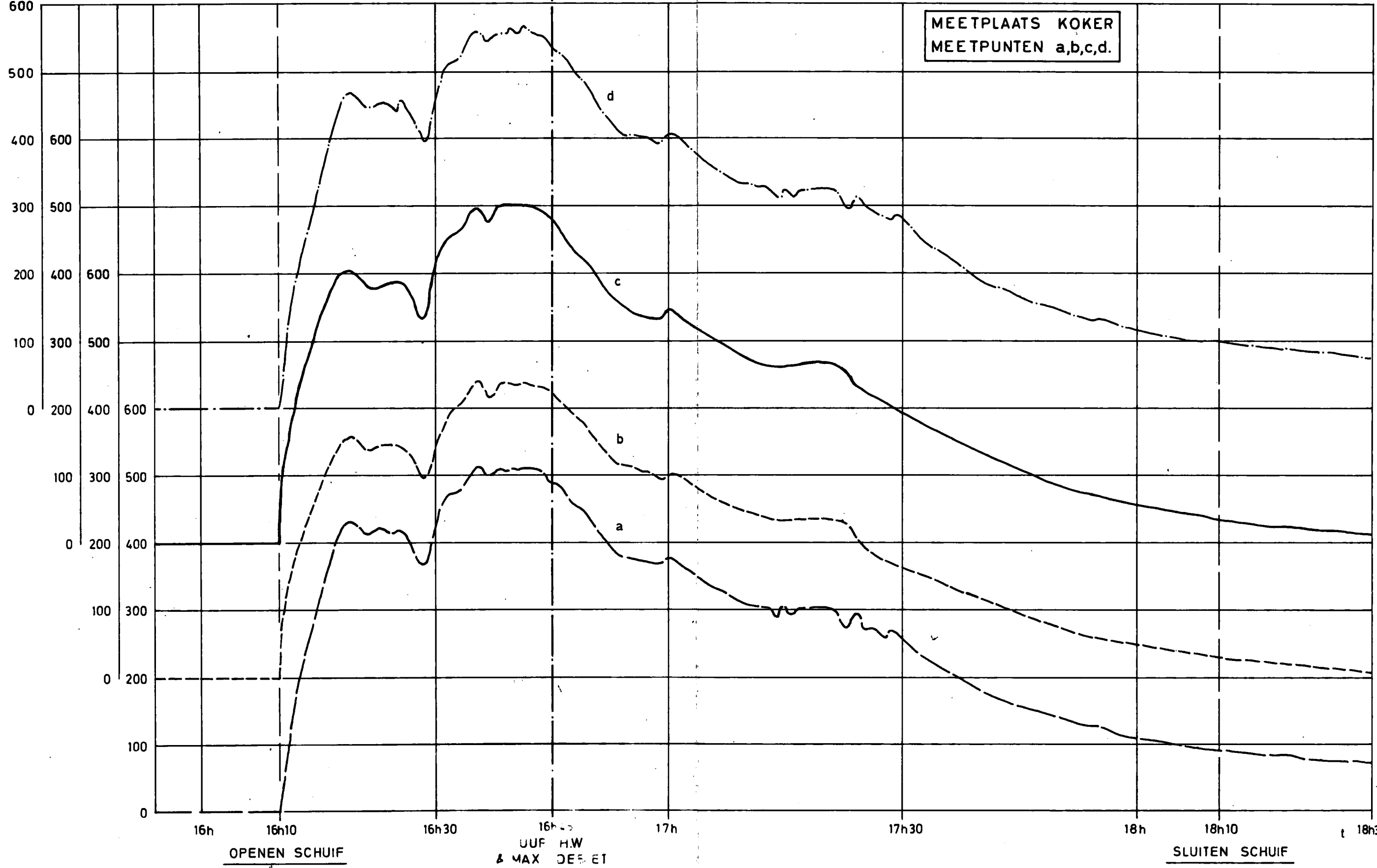
SPRINGTIJ

BOUDEWIJNSLUIS 12 / 11 / 1973
METING TROEBELHEID



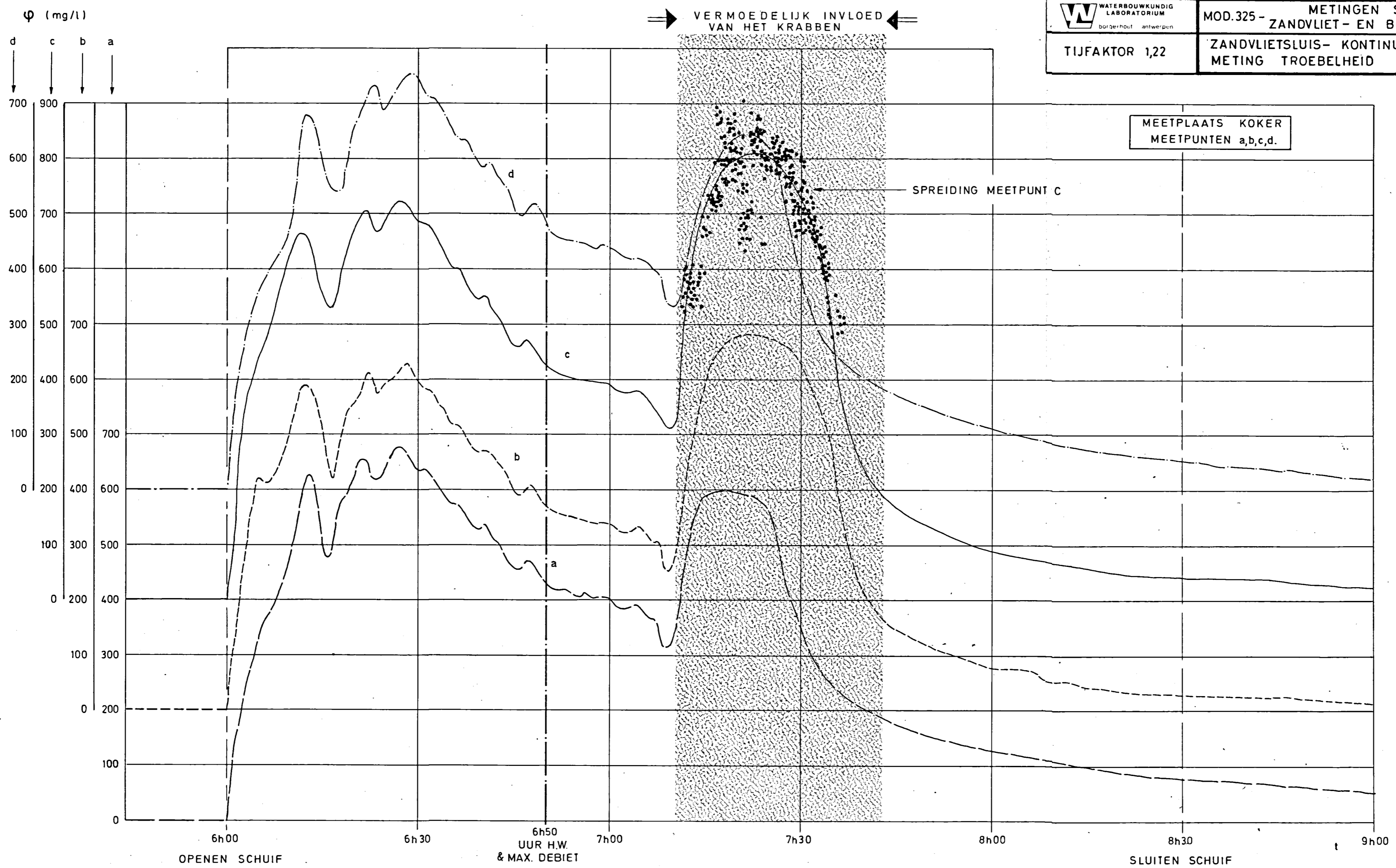
φ (mg/l)

d
↓
c
↓
b
↓
a
↓

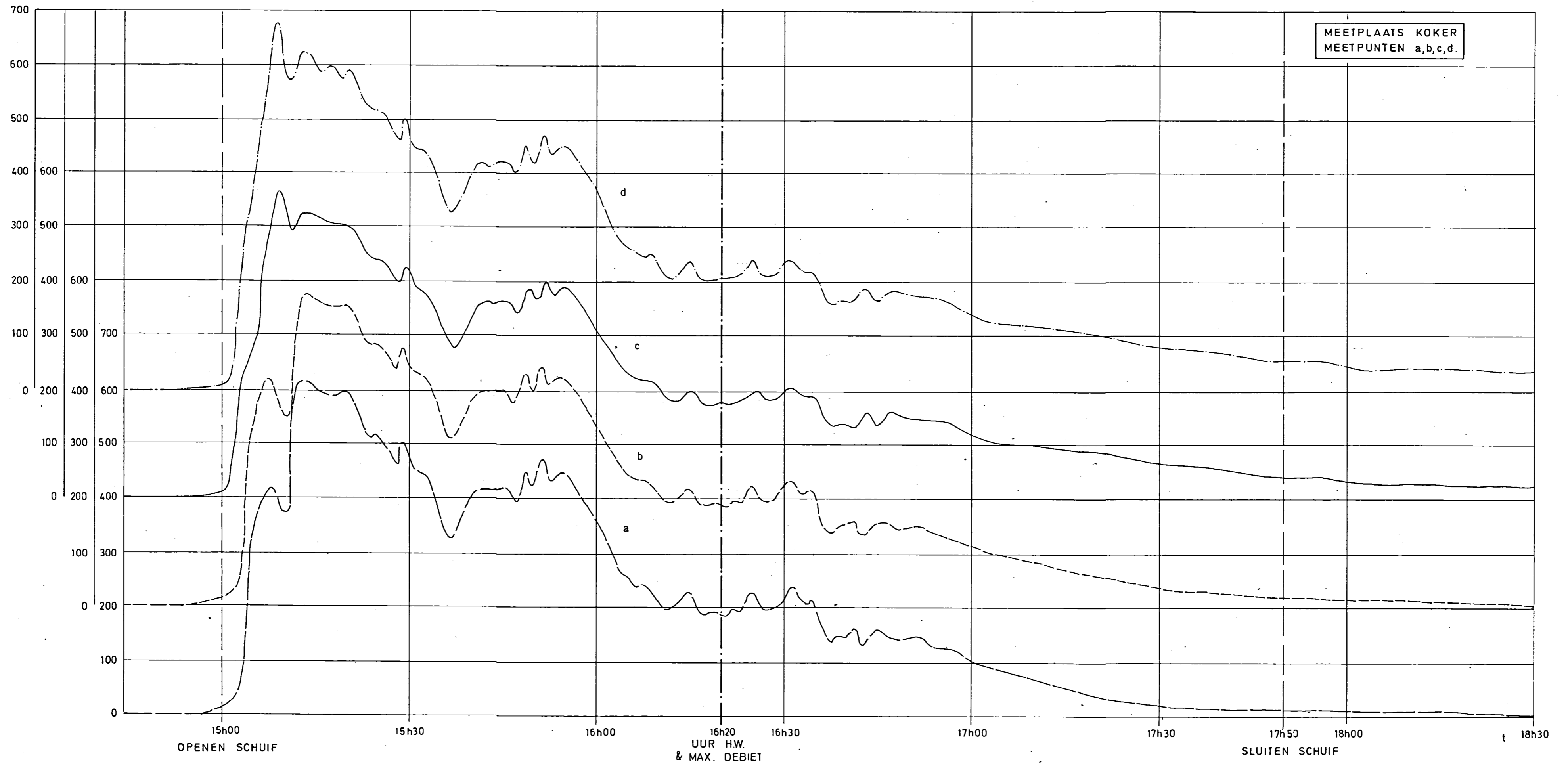


TIJFAKTOR 1,22

ZANDVLIETSLUIS- KONTINUMETING 09/1/74 - 07/2/74
METING TROEBELHEID 13/1/1974

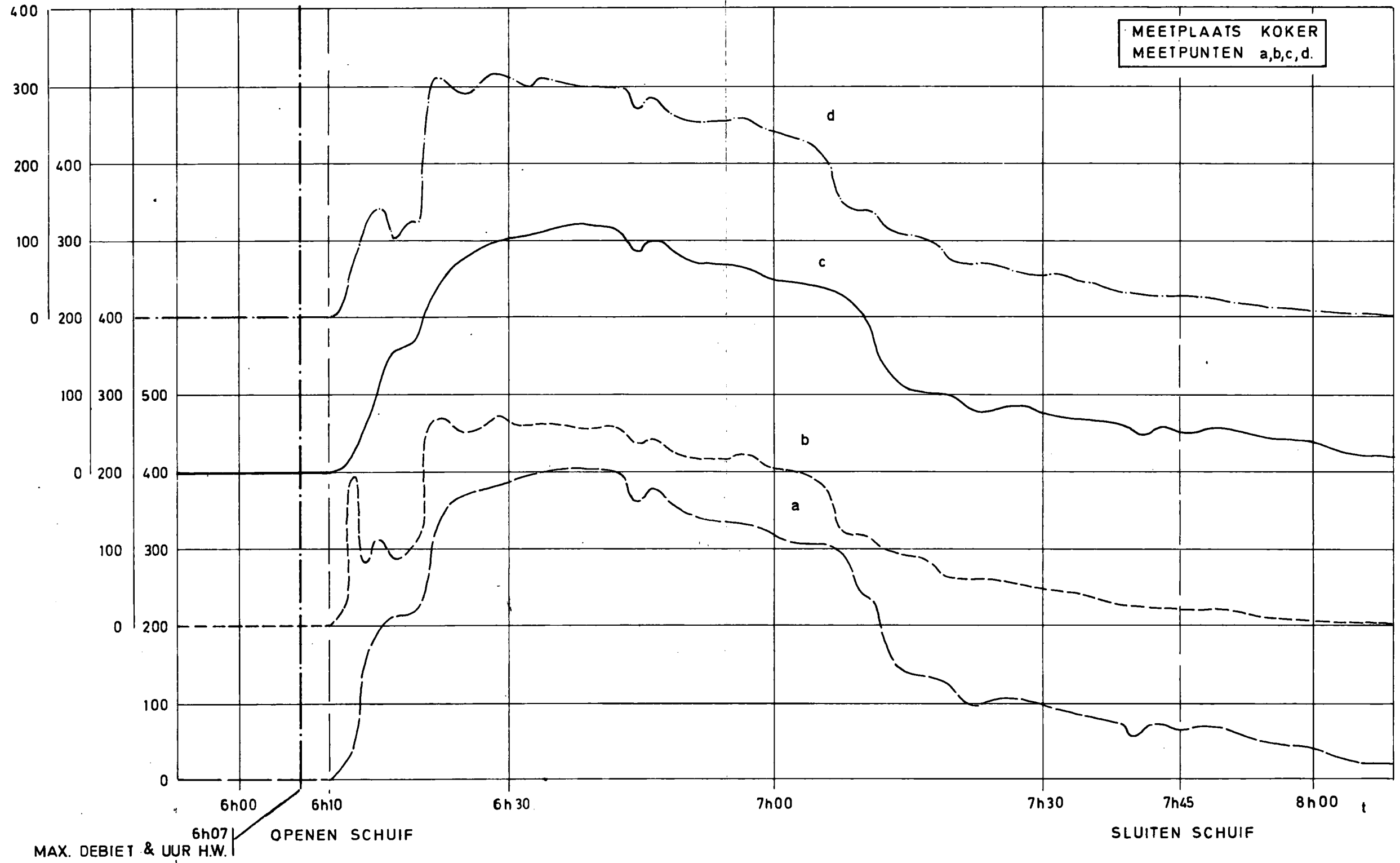


ϕ (mg/l)
d c b a
↓ ↓ ↓ ↓



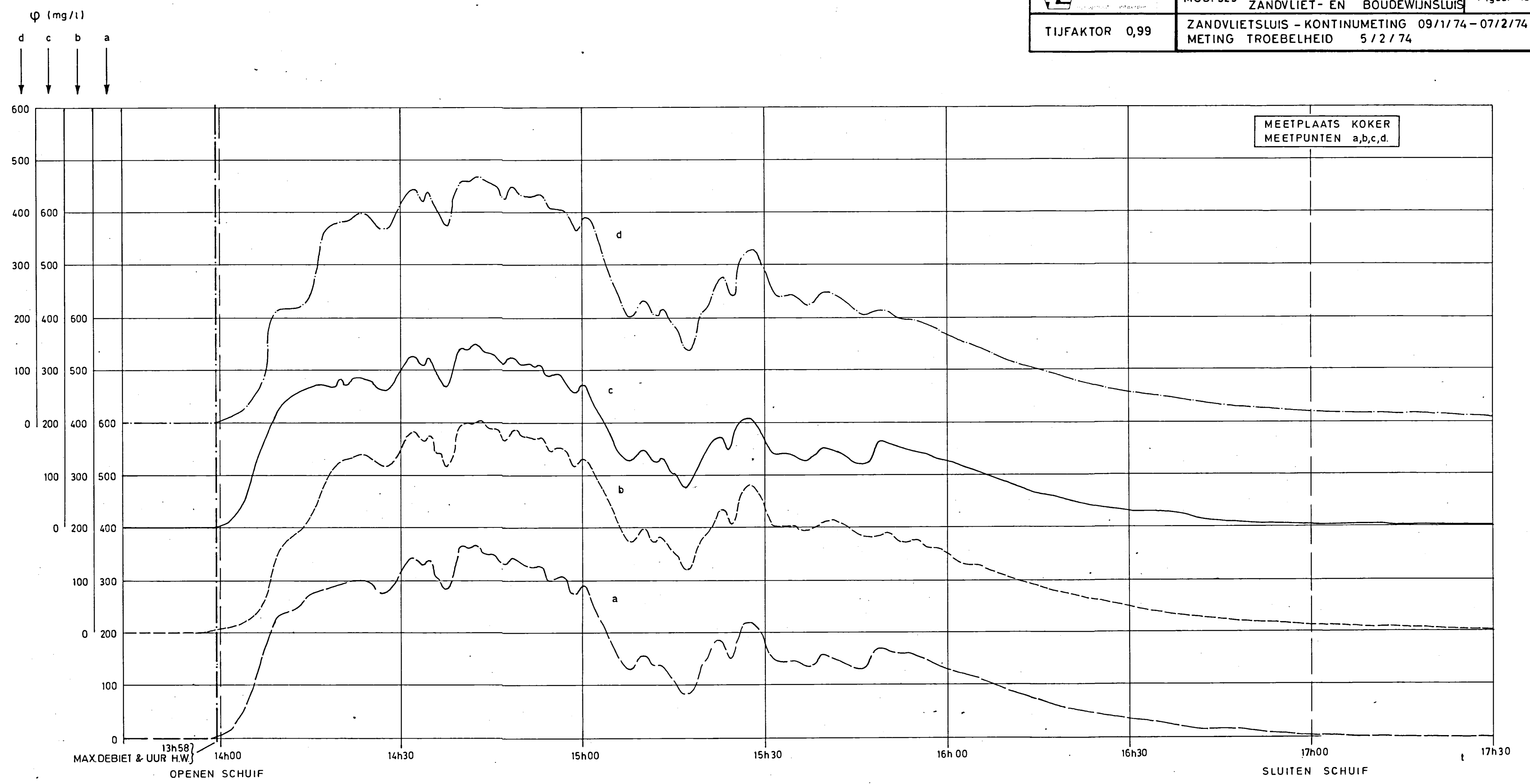
φ (mg/l)

d
c
b
a



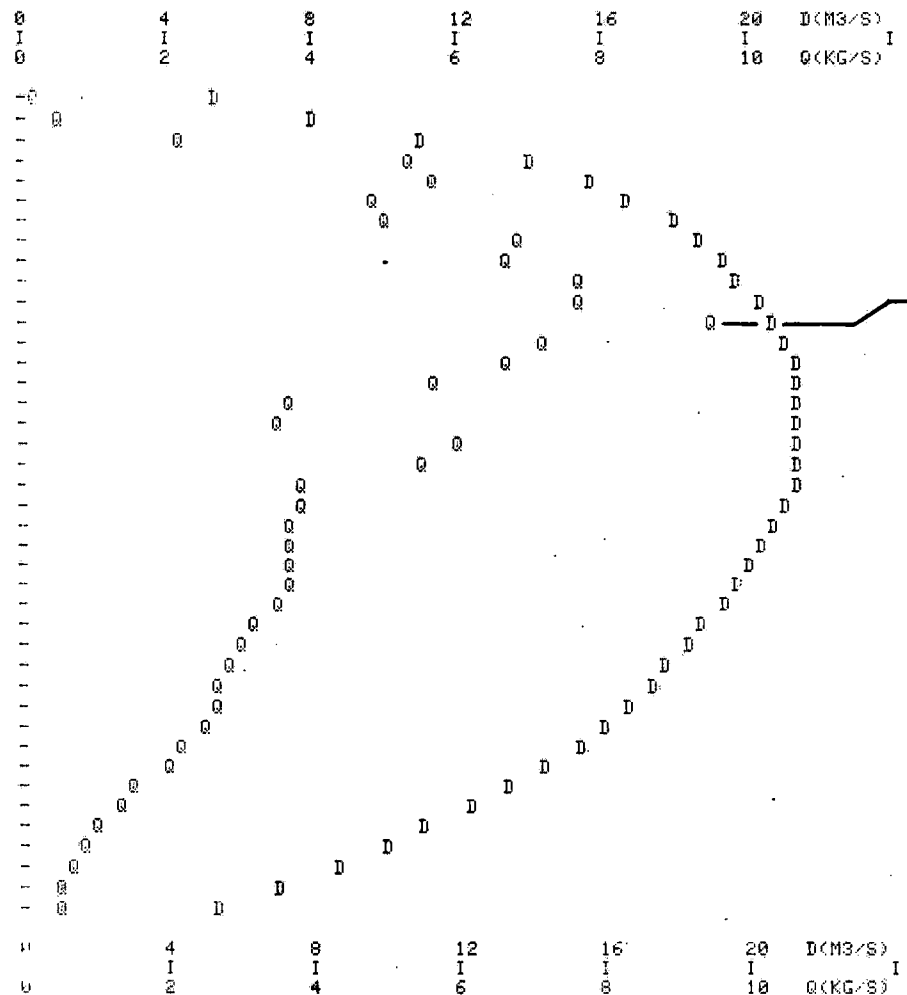
TIJFAKTOR 0,99

ZANDVLIETSLUIS - KONTINUMETING 09/1/74 - 07/2/74
METING TROEBELHEID 5/2/74



NETING ZANDVLIET 27/01/1974

HET DEBIET WORDT VOORGESTELD DOOR DE LETTER D EN HET VASTESTOFTRANSPORT DOOR DE LETTER Q



BEREKENING VAN VASTESTOFTOEVOER

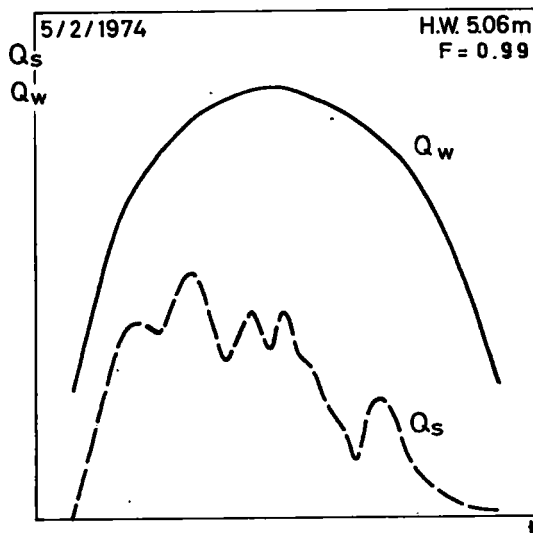
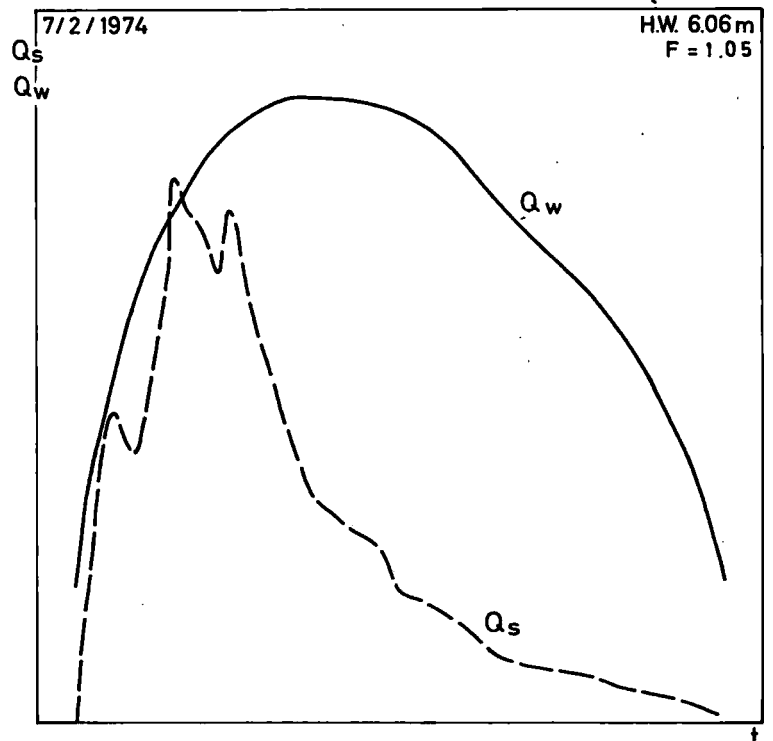
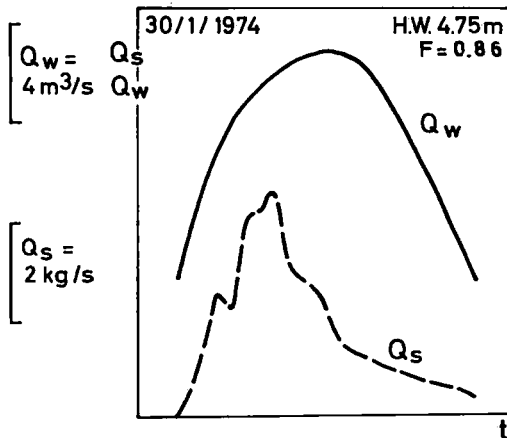
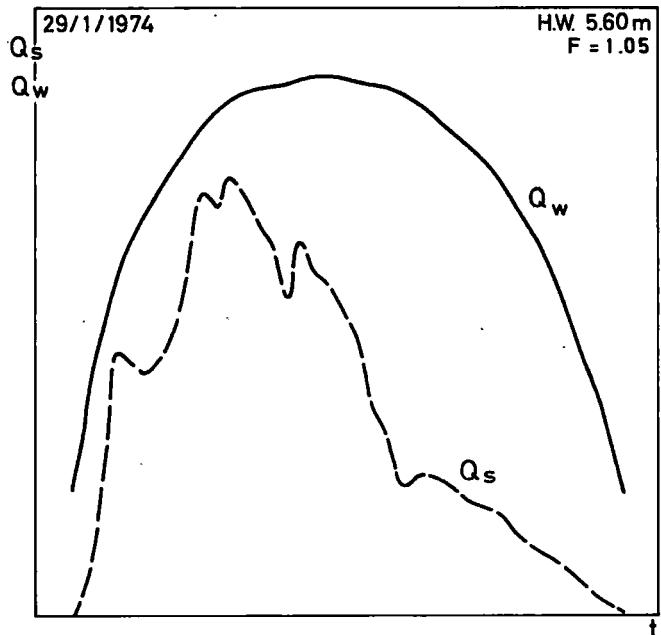
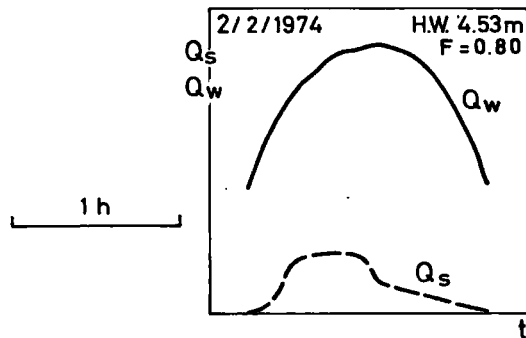
UUR (H)	HOOGTE (M)	DEL H (M)	DEBIET (M ³ /S)	TROEB (MG/L)	D*T (G/S)
16.25	4.30	0.00	5.39	0.0	0.0
16.30	4.40	0.10	7.85	61.0	479.4
16.35	4.56	0.26	11.03	194.0	2139.9
16.40	4.76	0.46	13.99	383.0	5359.4
16.45	4.90	0.60	15.60	367.0	5728.1
16.50	5.00	0.70	16.60	294.0	4881.5
16.55	5.14	0.84	17.85	278.0	4962.3
17.00	5.26	0.96	18.82	367.0	6910.5
17.05	5.32	1.02	19.30	344.0	6639.5
17.10	5.38	1.08	19.76	392.0	7747.3
17.15	5.45	1.15	20.29	378.0	7671.9
17.20	5.50	1.20	20.67	456.0	9426.7
17.25	5.54	1.24	20.97	342.0	7172.4
17.30	5.57	1.27	21.19	317.0	6718.9
17.35	5.58	1.28	21.26	267.0	5679.0
17.40	5.59	1.29	21.34	175.0	3735.1
17.45	5.60	1.30	21.41	161.0	3448.3
17.50	5.59	1.29	21.34	278.0	5933.6
17.55	5.58	1.28	21.26	256.0	5445.0
18.00	5.57	1.27	21.19	178.0	3772.8
18.05	5.54	1.24	20.97	183.0	3837.8
18.10	5.50	1.20	20.67	181.0	3741.7
18.15	5.46	1.16	20.37	183.0	3728.0
18.20	5.42	1.12	20.06	186.0	3732.8
18.25	5.37	1.07	19.68	183.0	3602.7
18.30	5.32	1.02	19.30	181.0	3493.4
18.35	5.26	0.96	18.82	172.0	3238.7
18.40	5.20	0.90	18.34	167.0	3064.0
18.45	5.13	0.83	17.76	161.0	2868.2
18.50	5.07	0.77	17.24	158.0	2724.6
18.55	5.01	0.71	16.69	158.0	2638.2
19.00	4.94	0.64	16.01	156.0	2499.0
19.05	4.87	0.57	15.28	144.0	2201.2
19.10	4.80	0.50	14.48	133.0	1926.6
19.15	4.72	0.42	13.47	114.0	1535.7
19.20	4.64	0.34	12.32	103.0	1269.7
19.25	4.55	0.25	10.85	97.0	1053.0
19.30	4.50	0.20	9.93	83.0	824.9
19.35	4.43	0.13	8.52	83.0	707.2
19.40	4.36	0.06	6.92	83.0	574.7
19.45	4.30	0.00	5.39	80.0	431.8

DE SOM VAN DE VASTESTOFTOEVOEREN VAN DE 41 METINGEN IS 46061.89 KG
HET TOTAAL VOLUME WATER IS 204121.98 M³

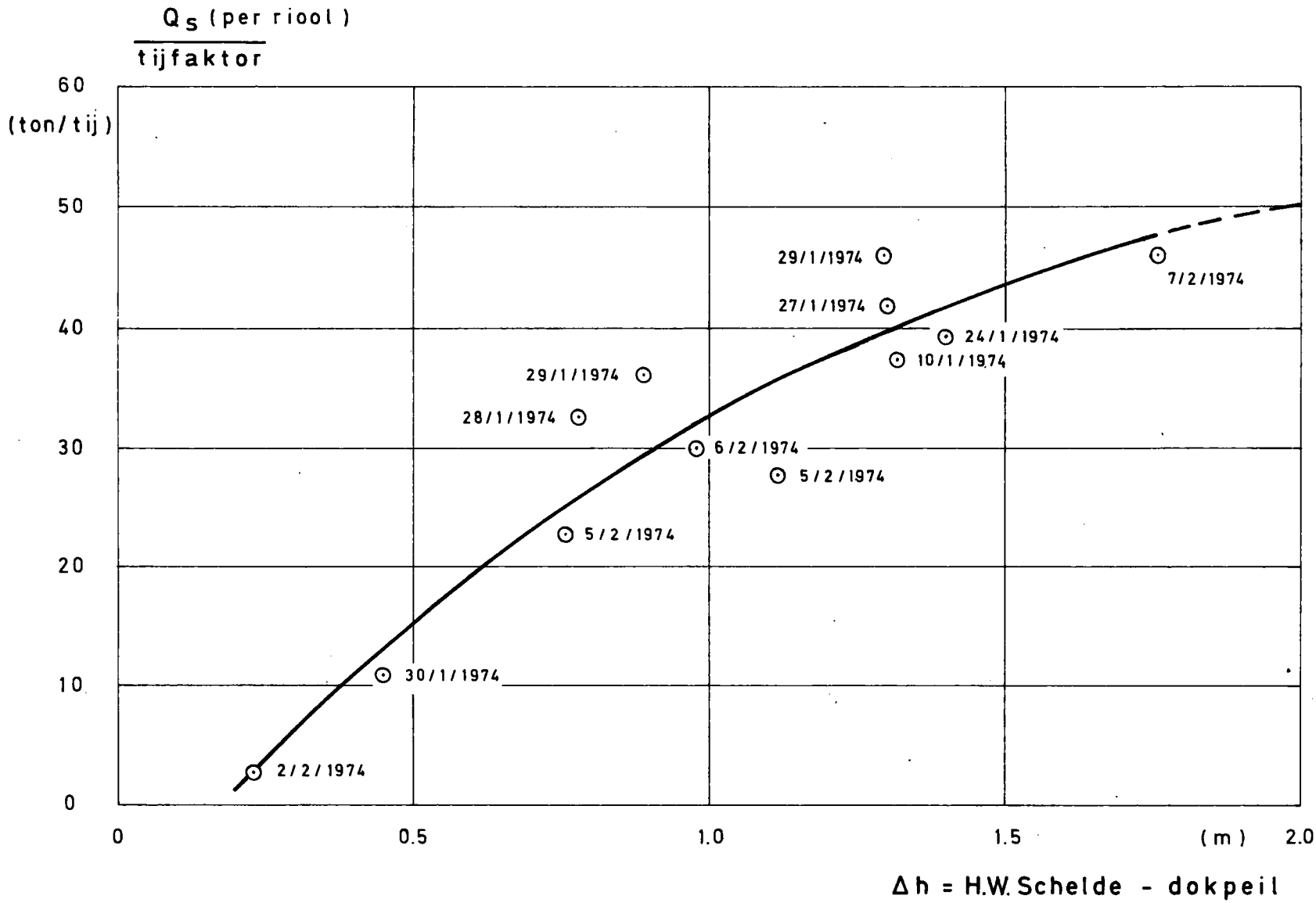
W.L. 74350

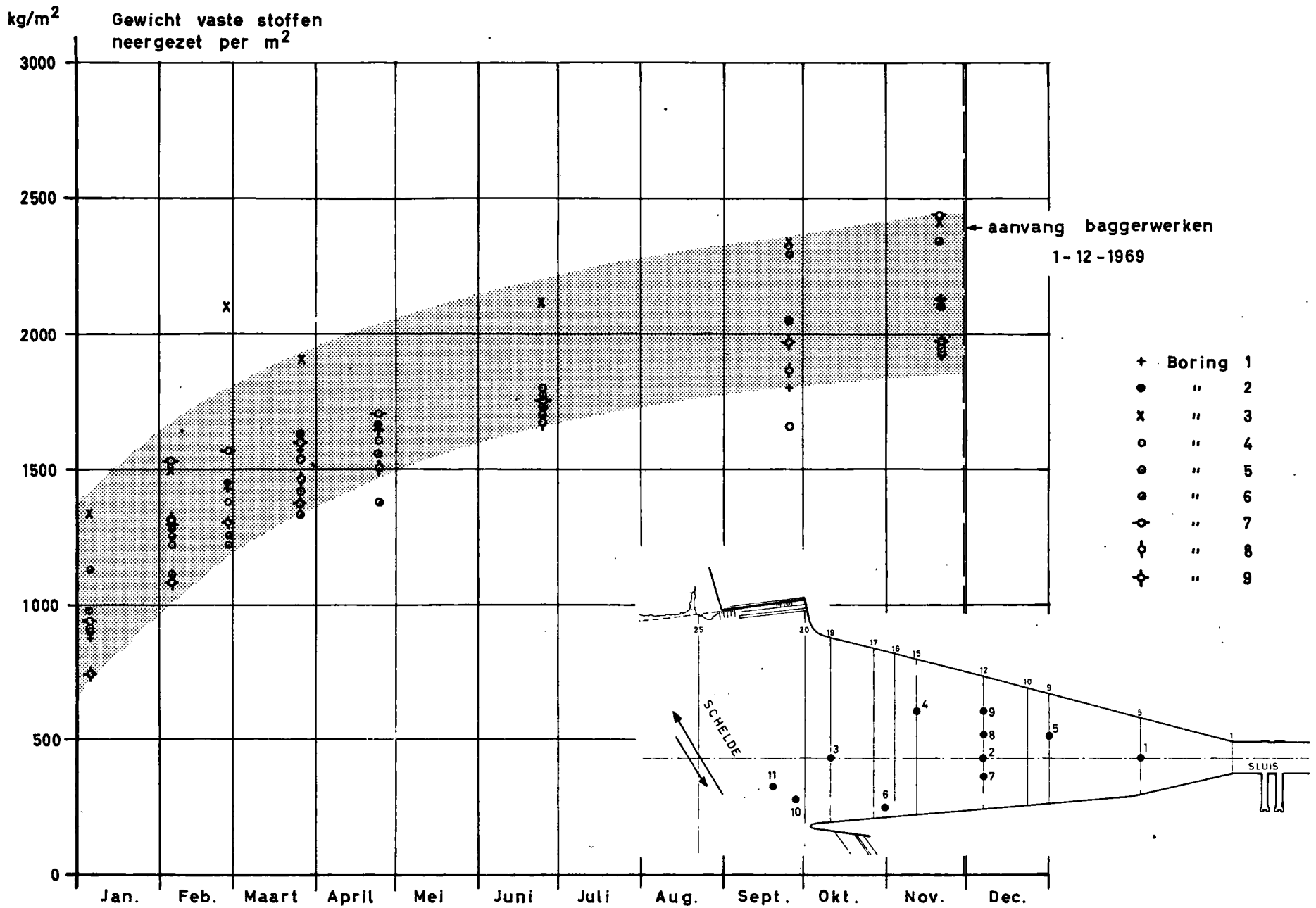
VOORBEELDEN VAN WATER-EN VASTESTOFTRANSPORT

Q_w : DEBIET WATER ($Q_w = D$ op figuur 13)
 Q_s : VASTESTOFTRANSPORT



W.L. 74.352

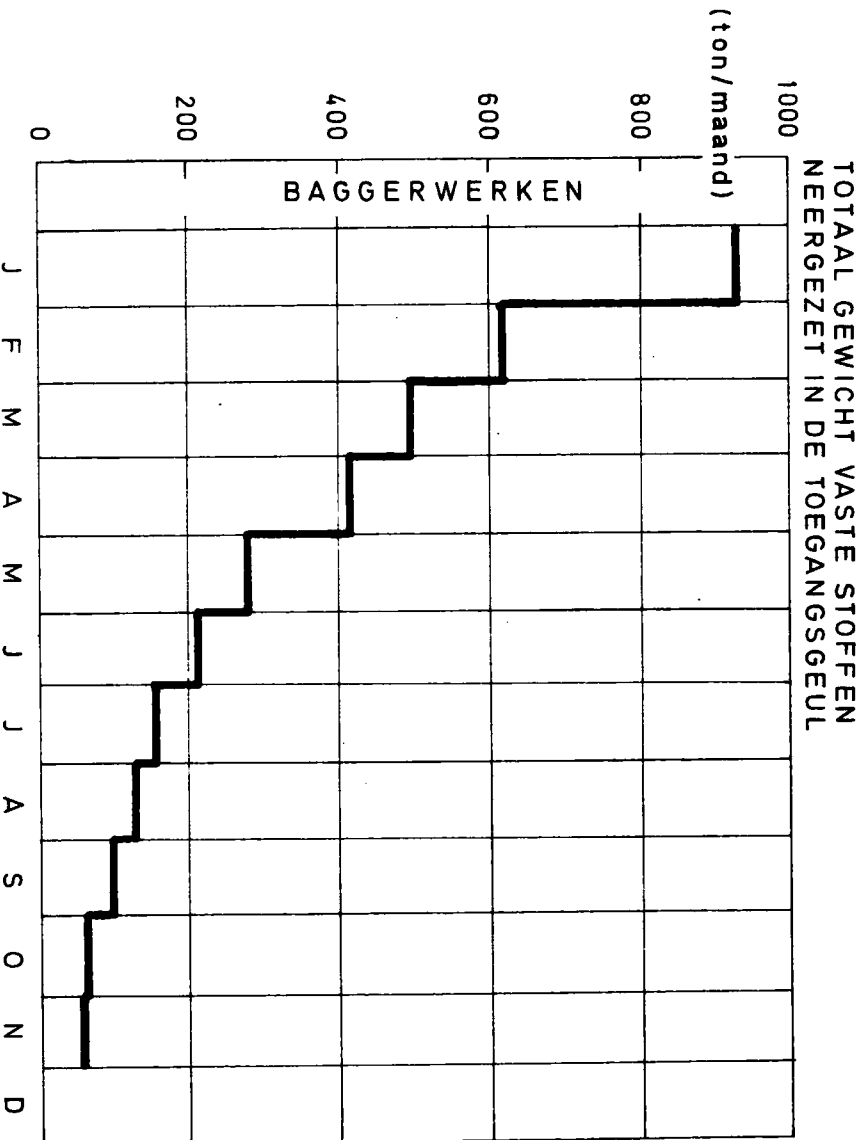
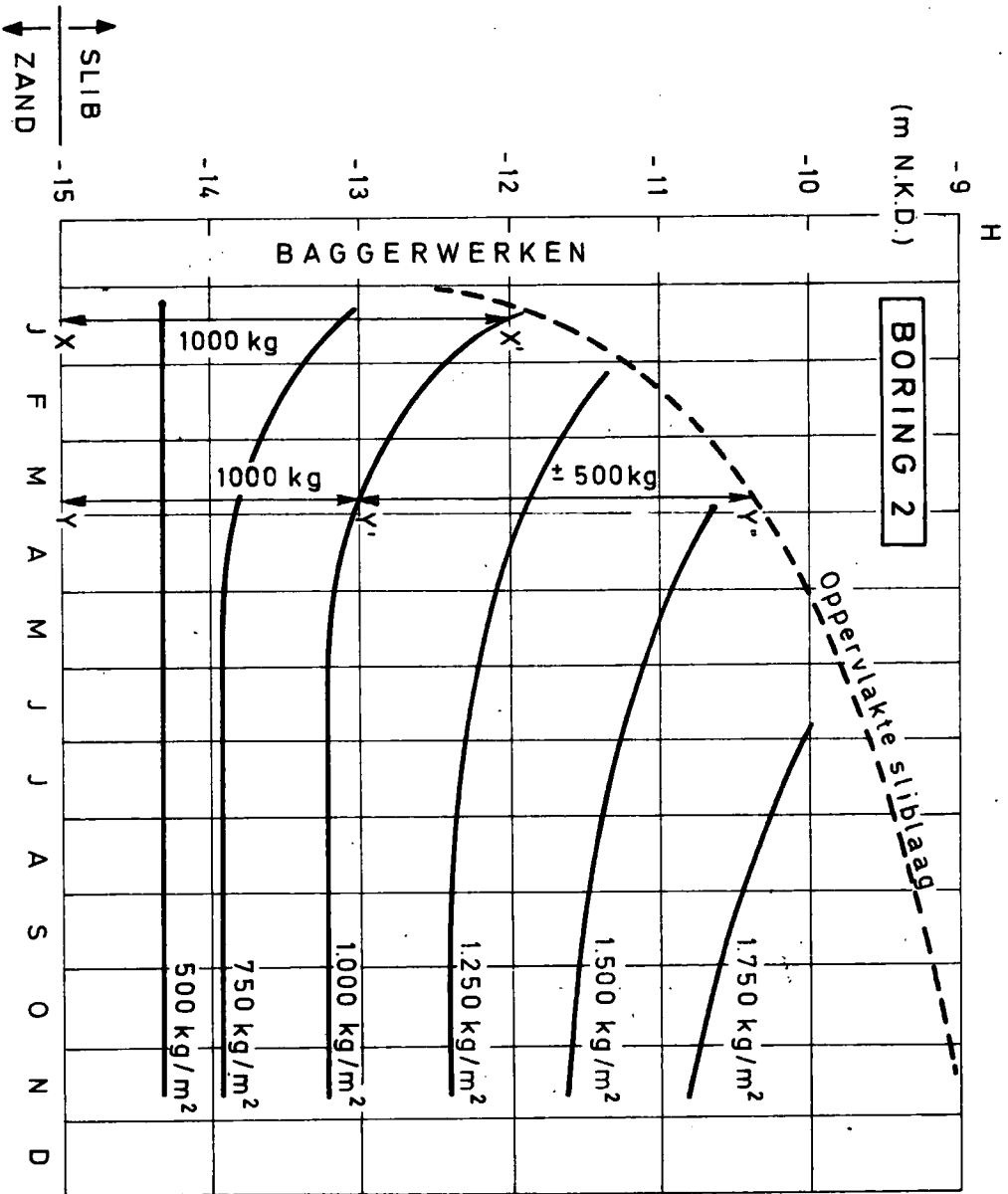




1969

W.L. 74.353

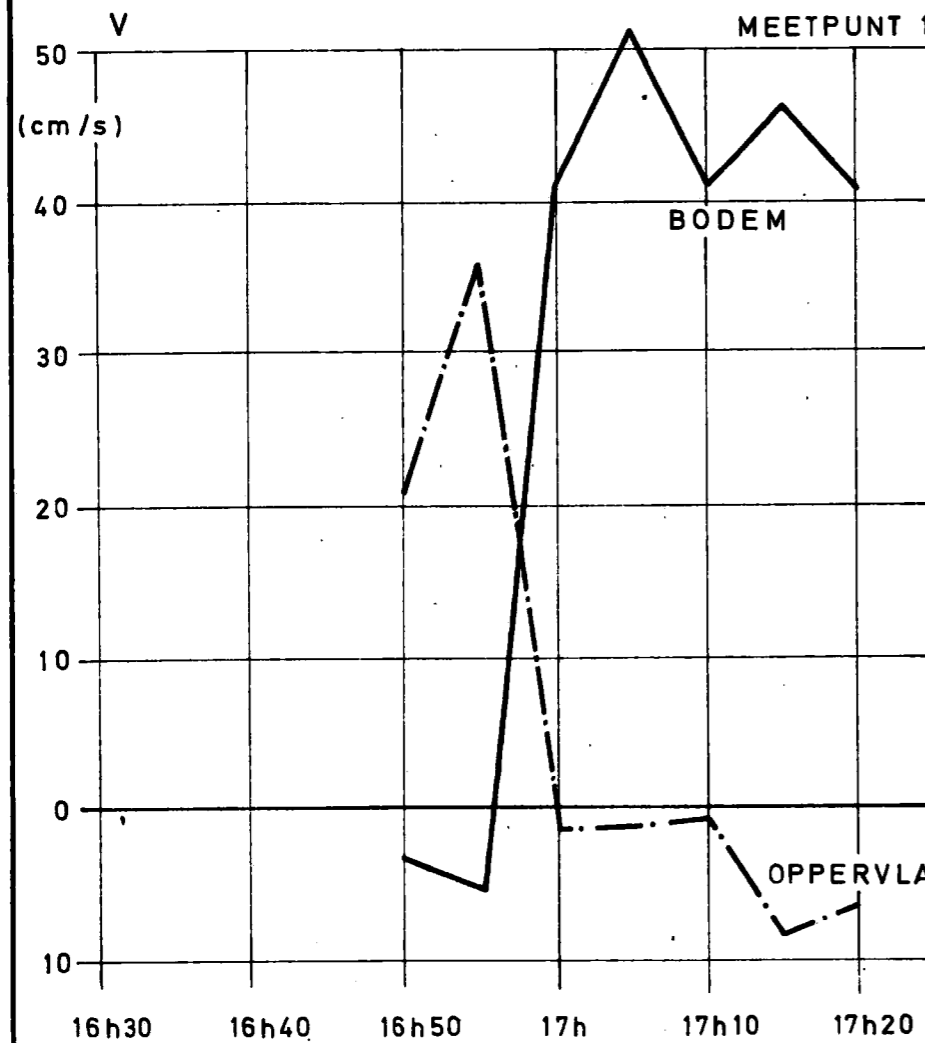
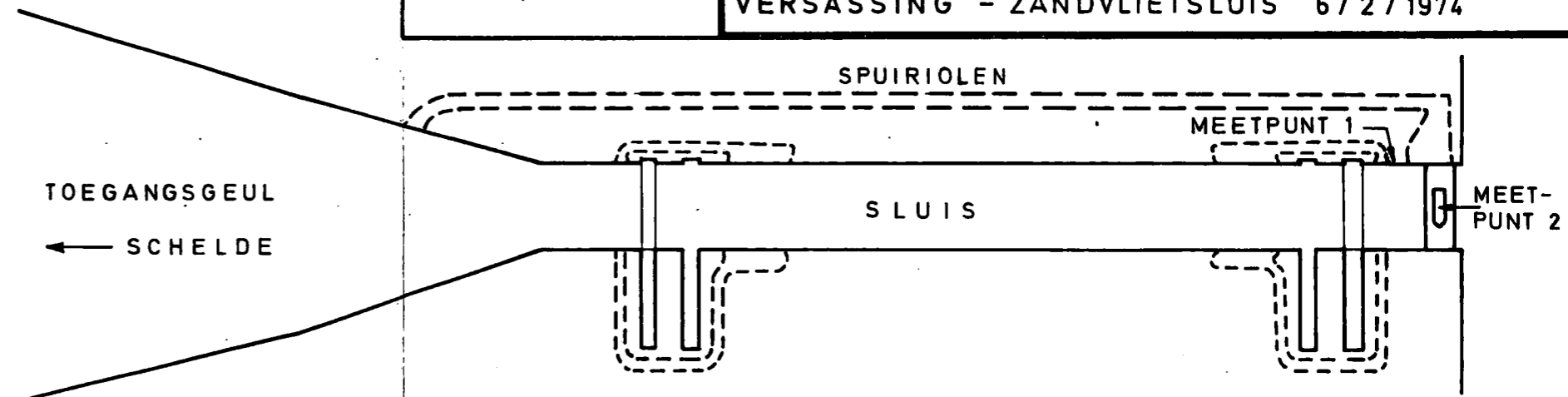
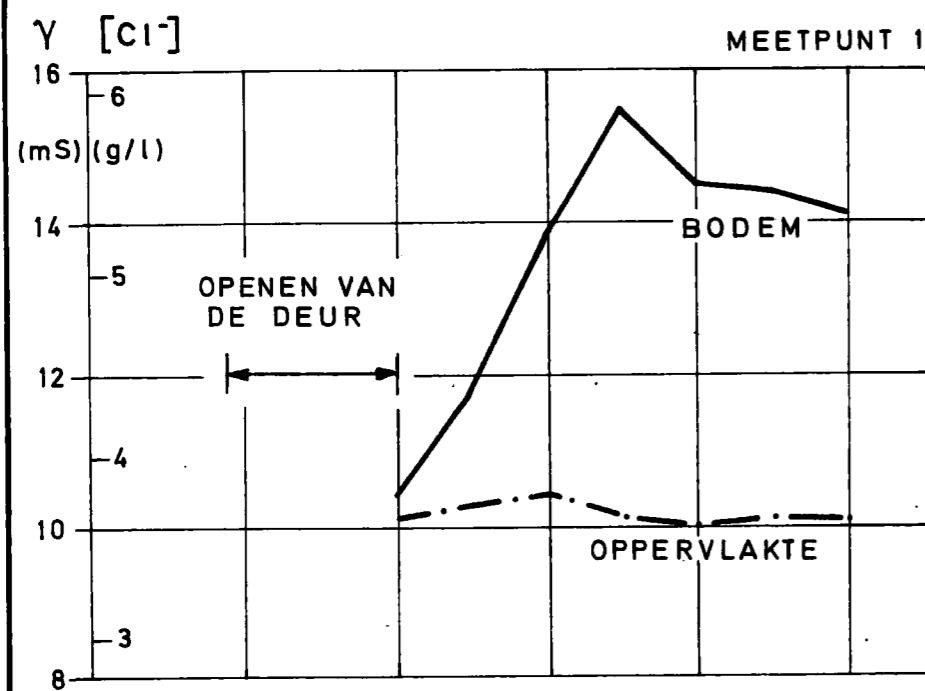
TOEGANGSGEUL ZANDVLIETSLUIS - 1969
EVOLUTIE GEWICHT VASTE STOFFEN AFGEZET



VOORBEELD : - Op 12 januari lag er 1000 kg. droog slib in een drie meter dikke sliblaag boven de zandbodem (XX').

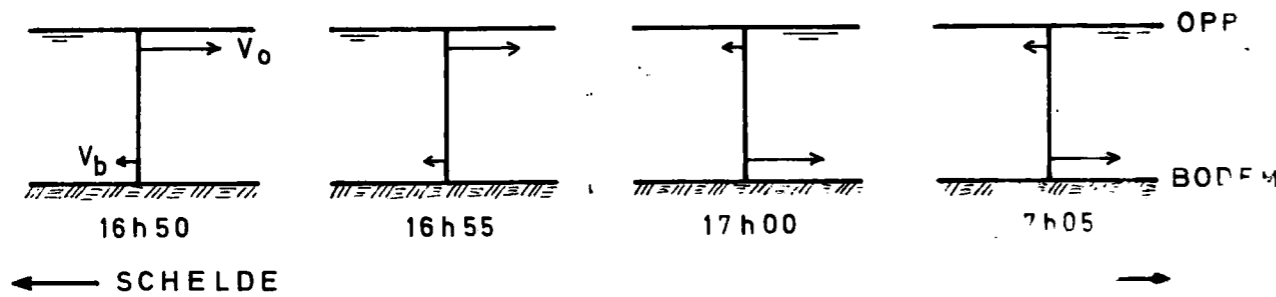
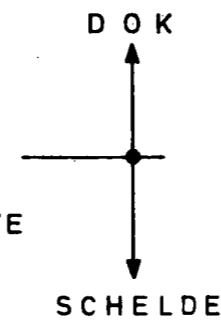
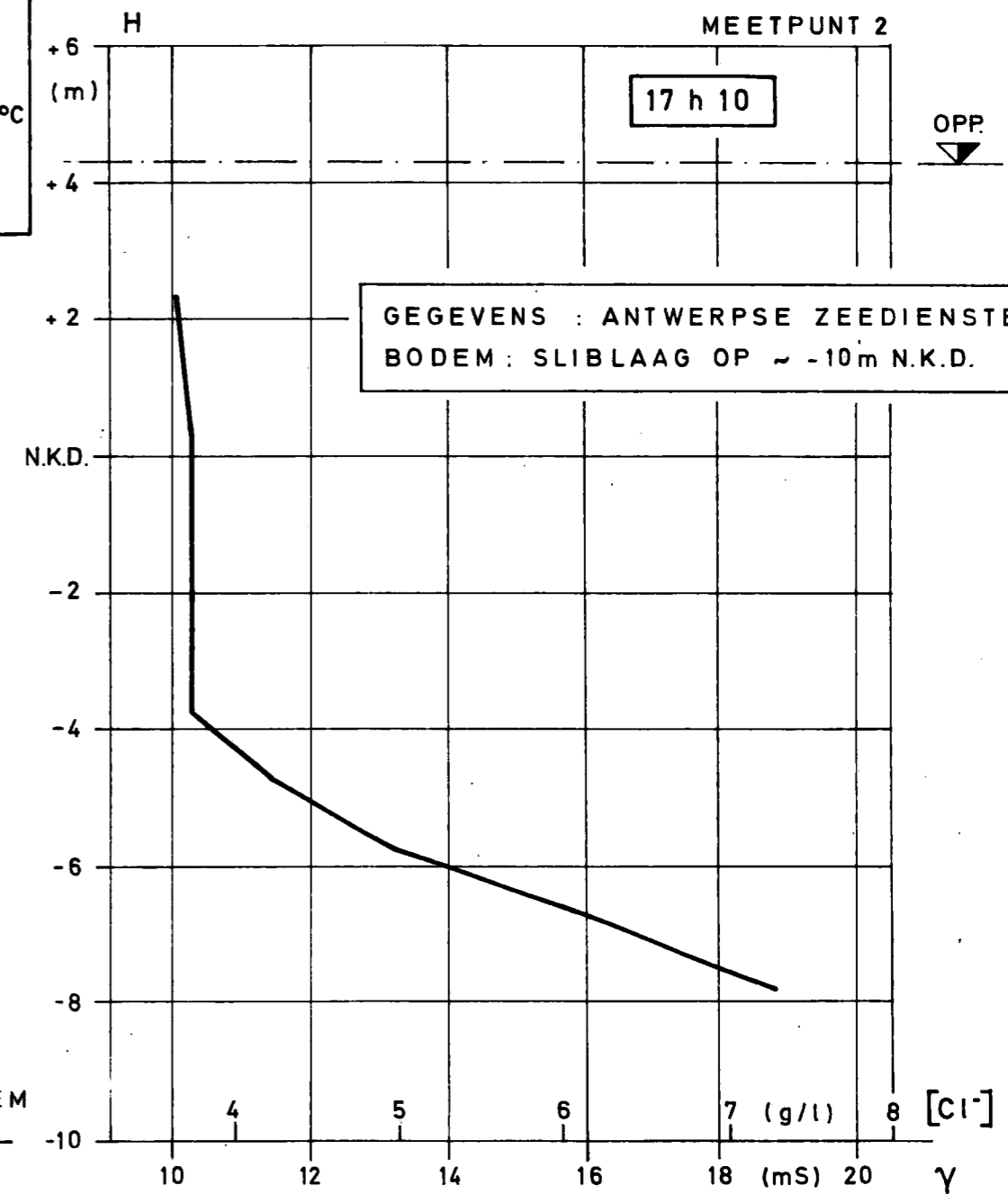
- Op 24 maart was deze sliblaag vaster geworden en slechts twee meter dik (YY').

Gedurende deze periode bezonk er ongeveer 500 kg. droog slib boven deze zich consoliderende sliblaag (Y'Y'').



Standaard zeewater :
zoutgehalte 35‰ (of g/l)
chloorgehalte 19.38‰ (of g/l)
geleidbaarheid 44.75 mS (of mmho) bij 18°C

1mS = 1mmho
= 1milliohm / cm



EDITIE:

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

BERCHEMLEI 115
2200 BORGERHOUT
BELGIE
TELEFOON 03/36.18.50

