B796

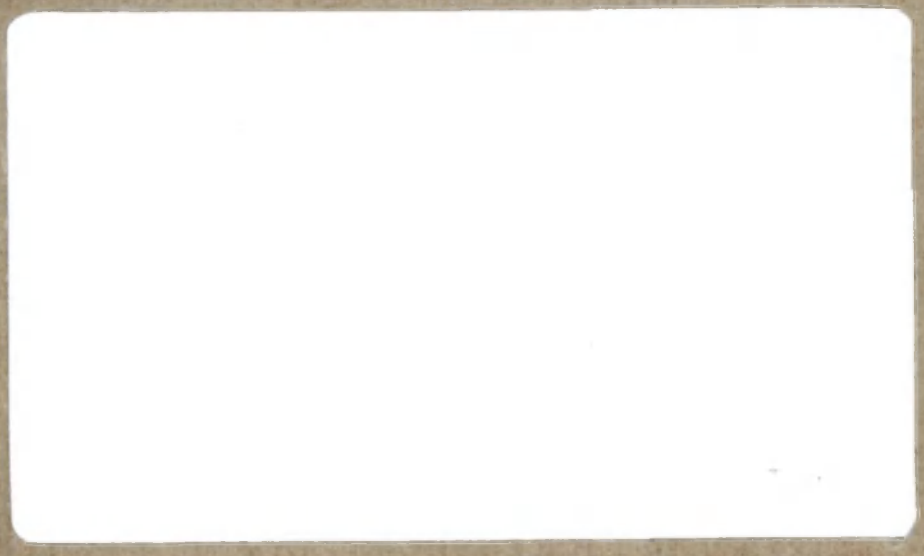
D. van Maldegem

20

Ministerie van Openbare Werken

Bruggen en Wegen

Bestuur der Waterwegen



Waterbouwkundig Laboratorium

Borgerhout-Antwerpen

P

B 796
76498

DE AANSLIBBING EN DE VERZANDING VAN DE TOEGANGSGEULEN TOT DE ZEESLUIZEN VAN DE HAVEN VAN ANTWERPEN.

November 1968

INHOUD

	blz.
Voorwoord	1
Inleiding	2
1e deel : opbouw en transformatie van de slib-afzettingen	5
2e deel : Methoden om de aanslibbing te meten. Resultaten	11
3e deel : Enkele oorzaken van het aanslibben van de toegangsgeul tot de zeesluis van Zandvliet en het bouwdok van de E3 tunnel	18
4e deel : Vergelijking van de aanslibbing in het bouwdok van de E3 tunnel met deze in de toegangsgeulen tot de sluizen van de haven van Antwerpen	26
Besluit	28
Lijst der symbolen	
Bibliografie	
Figuren	

VOORWOORD.

De haven van Antwerpen heeft de laatste jaren een zeer voorname uitbreiding gekend. Verschillende nieuwe dokken zijn gebouwd op de rechteroever. Dank zij de grote zeesluis van Zandvliet werd de af te leggen weg voor de grote schepen, van de monding tot de haven, met ongeveer 10 kilometer verkort.

Ontwerpen voor de uitbreiding van de haven op de linkeroever zijn heden ter studie.

De plaats en het type van de nieuw te bouwen kunstwerken moet nog gekozen worden. Deze keuze moet , onder andere, gebaseerd zijn op de belangrijkheid van de onderhoudswerken die moeten gedaan worden voor het vrijhouden van de diepgang in de toegangsgeulen van de haven.

De aanslibbing vastgesteld in de toegangsgeulen van de sluizen en voornamelijk in de nieuwe zeesluis van Zandvliet hebben een studie van het mechanisme van de aanslibbing gevergd.

De studie van de verzanding en de aanslibbing van de toegangsgeulen tot de sluizen kunnen op verkleind model geschieden. Het Waterbouwkundig Laboratorium heeft reeds dat genre bestudeerd; De laatste studie handelde over de aanslibbing en de verzanding van de toegangsgeul tot de sluis van Wintham, die de verbinding vormt van het Kanaal van Willebroek met de Schelde.

Een studie over het vermanden van de ingang van de toegangsgeul tot de zeesluis van Zandvliet werd uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium.

De aanslibbing van de toegangsgeulen tot de sluizen van de haven van Antwerpen wordt beïnvloed door het zoutgehalte (zie derde deel). Indien men de voornaamste particuliere verschijnselen

./..

van deze omgeving tracht te verwezenlijken, komt men tot het besluit dat het gemakkelijker is de aanslibbing in de natuur te bestuderen dan op een model. Op dit ogenblik trachten Laboratoria in Engeland en in de Verenigde Staten zulke problemen op te lossen bij middel van modelstudies.

Om meer zekerheid te hebben nopens de betrouwbaarheid van de resultaten, werd besloten een studie van de aanslibbing in de natuur te doen, hetgeen trouwens in de meeste landen gebeurt.

INLEIDING.

Op 8 augustus 1967 werd het dok, waarin de vijf elementen van de toekomstige E3 tunnel vervaardigd werden, in verbinding gesteld met de Schelde langs een opening in de dijk. De bodem van deze droogdok bestaat uit een laag grint waarop de elementen rusten. Op 18 augustus 1967 wezen de peilingen op een aanslibbing van 2m aan het binnenuiteinde van de kom, terwijl de sliblaag op 2 november 1967 aangegroeid was tot een dikte van 5m (fig.1).

In mei 1967 waren de baggerwerken in de toegangsgeul tot de zeesluis van Zandvliet beëindigd. Op 9 juni 1967 toonden de peilingen een sliblaag van 3m. Deze sliblaag zou in september 1967 een dikte bereiken van 5 meter op sommige plaatsen.
In oktober 1967 werden opnieuw baggerwerken uitgevoerd.

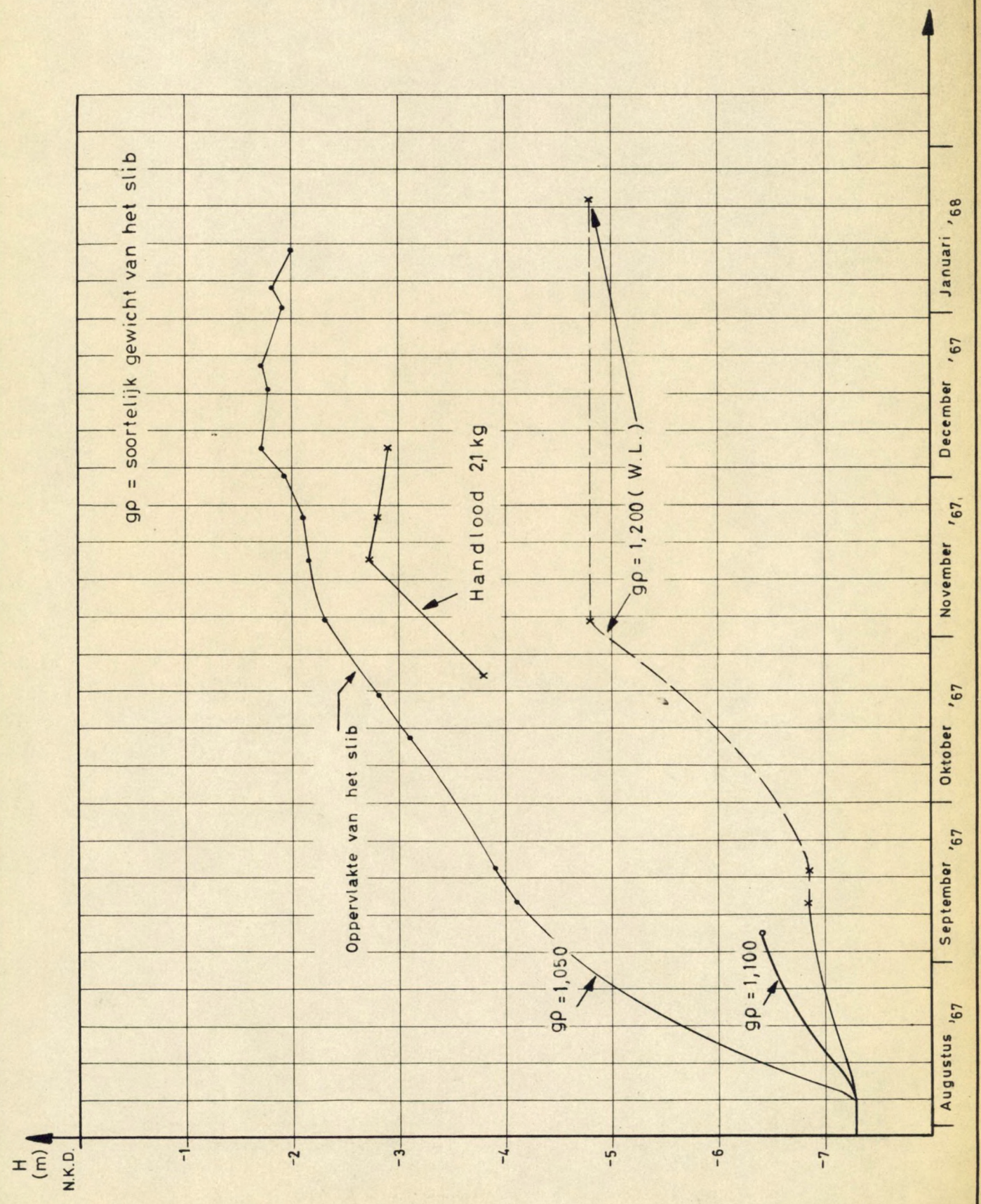
Op 18 december 1967 was er terug 4 m slib; op 16 februari 1968 bereikte de sliblaag op bepaalde punten een dikte van 5, 5m (fig.2). Deze twee voorbeelden tonen aan hoe spectaculair de verschijnselen van de aanslibbing in de haven van Antwerpen zijn.

./..

DOK E3

BORING ELEMENT V
(prim. Burcht)

Fig. 1

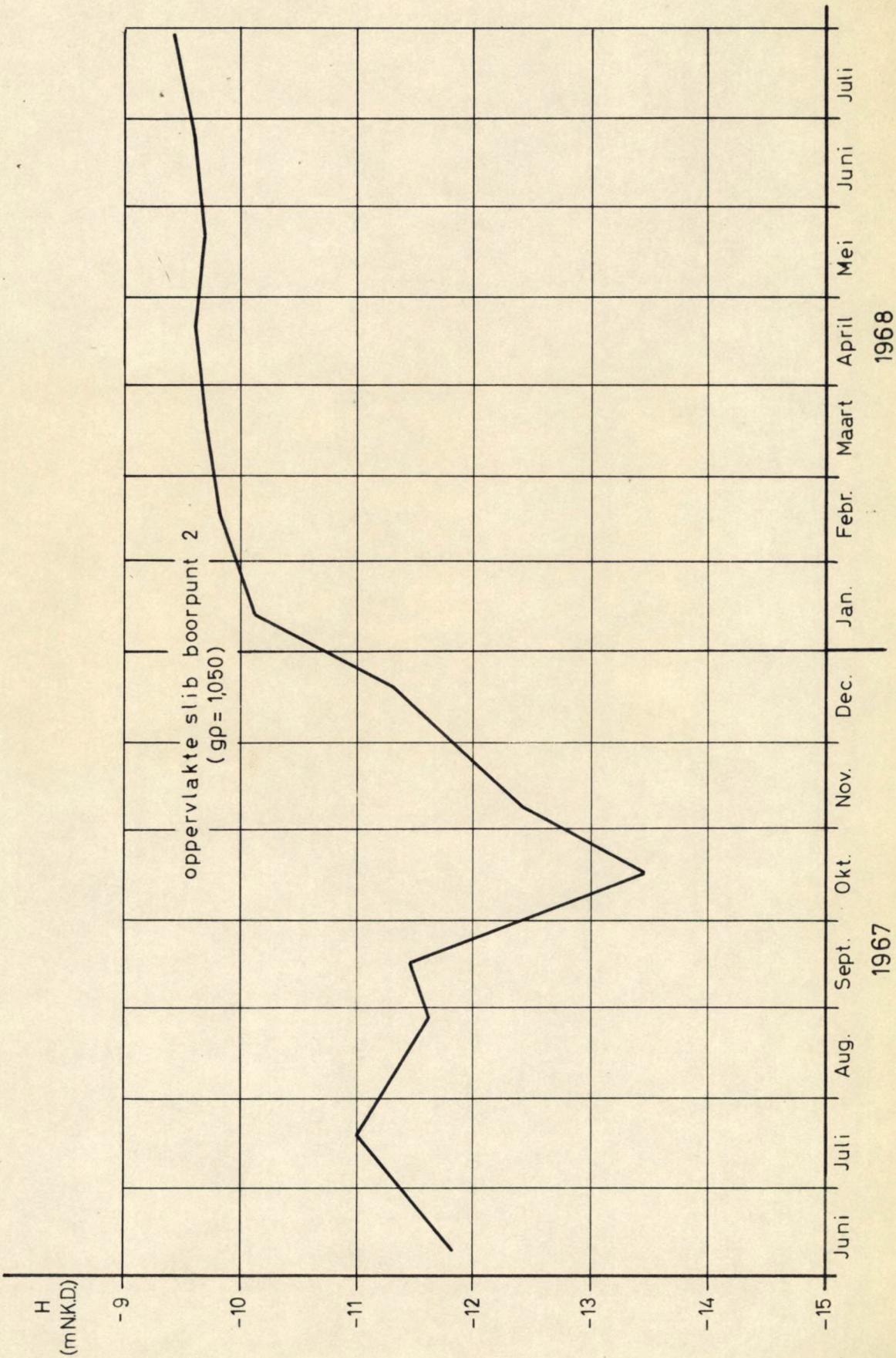


W.L. 68.070

TOEGANGSGEUL
ZEESLUIS ZANDVLIET

AANSLIBBING
BOORPUNT 2

Fig. 2



W.L. 68.568

Het grote volume slib dat zich in het begin neerzet bestaat uit zeer los, vloeibaar slib waardoor schepen gemakkelijk kunnen varen.

In juni 1967 is het Waterbouwkundig Laboratorium begonnen met een studie, ten einde de oorzaken en het mechanisme van de aanslibbing in de dokken die rechtstreeks in verbinding staan met een tijrivier, zoals de Schelde, te kunnen verklaren.

Het doel van dit rapport is het probleem van de aanslibbing en de aanzanding van de toegangsgeulen tot de haven van Antwerpen in het raam van de geplande werken op de linkeroever in de omgeving van Antwerpen te benaderen.

Het eerste deel zal gewijd zijn aan het proces van de opbouw en de transformatie van de slibafzettingen, terwijl het tweede deel zal handelen over de meettechniek van de aanslibbing.

In een derde deel zullen we de mogelijke oorzaken van de aanslibbing in de toegangsgeul tot de zeesluis van Zandvliet en in de constructiekom van de E3 tunnel ontleden.

Wij kozen twee modellen : de toegangsgeul van de zeesluis van Zandvliet en het droogdok van de nieuwe tunnel onder de Schelde.

Naast het Beheer van de Waterwegen hebben het Instituut voor Industriële Scheikunde van de Vrije Universiteit van Brussel en het Laboratorium voor Recente Sedimenten van de Katholieke Universiteit van Leuven hun medewerking verzekerd voor het onderzoek van zekere particuliere aspecten.

Het bestuur van het Loodswezen heeft de boeienlegger "Lillo" ter onzer beschikking gesteld.

./..

De Antwerpse Zeediensten en de Technische Dienst van de Intercommunale E3 hebben deelgenomen aan de opzoekingen.

De Belgische Zeemacht heeft een vedette met bemanning ter beschikking gesteld voor de meetcampagne.

Het onderzoek is begonnen in 1967 en wordt op het huidig ogenblik nog steeds voortgezet.

De tekst die volgt behandelt de resultaten van het eerste jaar.

./..

EERSTE DEEL.

OPBOUW EN TRANSFORMATIE VAN DE SLIBAFZETTINGEN.

In de Schelde heeft men sedimenttransport onder vorm van de bodemtransport,voornamelijk zand,en transport van kleinere deeltjes in suspensie in het Scheldewater. Deze kleinere deeltjes bestaan uit kwarts, kleimineralen, $CaCO_3$ en organische bestanddelen. De gemiddelde diameter van de suspensie is zeer klein ongeveer 10 à 20 µ (réf. Université libre de Bruxelles, Laboratoire de Chimie des solides, Contribution à l'étude de l'envasement de l'Escaut- Rapport n°2, Détermination de la répartition granulométrique des matières solides en suspension par R. Wollast). Alleen de deeltjes in suspensie kunnen meegevoerd worden in de toegangsgeul , daar de snelheid er zeer klein is. Om dezelfde reden bezinken ze op de bodem. Deze afzettingen noemt men slib.

Samenstelling van het slib - De floculatie.

In de omgeving van de haven van Antwerpen is het slib voornamelijk samengesteld uit kwarts, kleimineralen, calciumcarbonaat en organische bestanddelen.

De ontledingen van de suspensies en van het slib werden verricht door het Laboratorium van de scheikunde der vaste stoffen van de V.U.B.

De mineralen hebben een maximum diameter van 100 micron en een gemiddelde diameter van enkele microns. De vaste bestanddelen die samen het slib vormen hebben een specifiek gewicht van 2,500 t/m3. De vaste stoffen in suspensie in het Scheldewater vormen vlokken in de omgeving van Antwerpen volgens een proces dat wij

./..

zullen beschouwen in het derde deel. De vlokken die aldus gevormd worden kunnen belangrijke afmetingen aannemen. (Men vindt vlokken die een diameter hebben van meer dan één millimeter). Het volume van een vlok wordt ingenomen door minerale bestanddelen, organische stoffen, en zeer veel water. Dit water zit gevangen in een cel gevormd door vaste bestanddelen.

De sedimentatiesnelheid van een vlok hangt onder andere af van haar diameter en haar specifiek gewicht. De aanwezigheid van water in de structuur van een vlok heeft voor gevolg dat haar specifiek gewicht kleiner is dan dit van de vaste stoffen (ongeveer 1,050 t/m3).

Het specifiek gewicht wordt bepaald door de verhouding van het gewicht op het volume.

Het specifiek gewicht van een vlok is gelijk aan het gewicht van de vaste bestanddelen + het gewicht van het institiële water gedeeld door het volume van de vlok.

De floculatie bevordert over 't algemeen de sedimentatiesnelheid , want het effect van de vermeerdering van diameter is groter dan het effect van de vermindering van het specifiek gewicht.

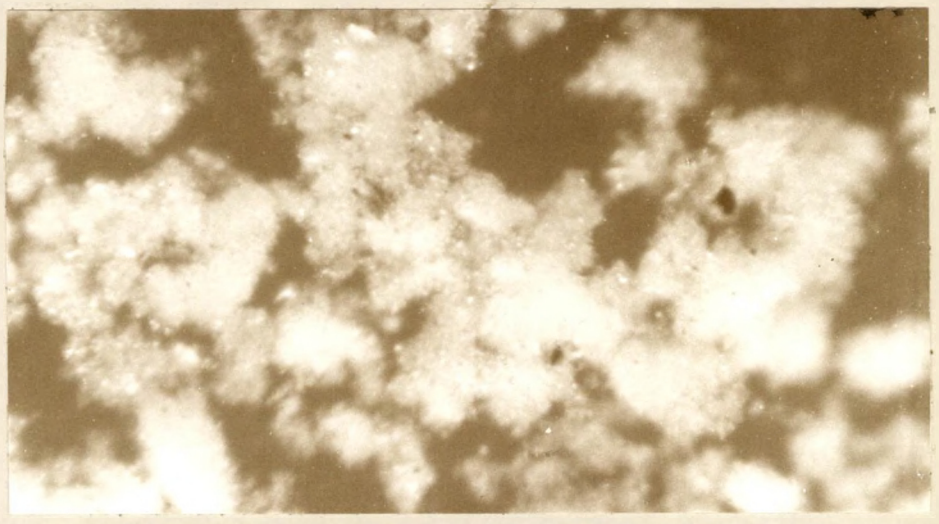
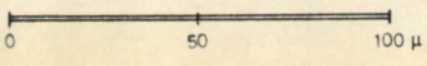


Foto vlokken genomen met microscoop.



./..

Slib met een specifiek gewicht van 1,050 t/m3 dat pas is afgezet, bevat 82,5 kgr vaste stoffen en 967 kgr water per kubieke meter. Fig.3 stelt voor : het gewicht vaste stoffen per kubieke meter slib in functie van het specifiek gewicht van het slib, terwijl fig.4 een voorbeeld geeft van het verloop van het soortelijk gewicht en het watergehalte in functie van de diepte. De waarden van het specifiek gewicht van de bovenste laag van het slib, zowel van de nieuwe tunnel onder de Schelde als van de toegangsgeul te Zandvliet, variëren rond de 1,050 t/m3. In het estuarium van de Delaware heeft Mohr voor dezelfde laag een specifiek gewicht gemeten van 1,055 t/m3 (ref.: Adolph W. Mohr 5e Int. Havenkongres . New dredging developments for the Delaware River).

Structuurveranderingen van het slib.

Na zijn afzetting gaat het slib een structuurverandering ondergaan voornamelijk onder invloed van de druk. Deze structuurverandering kan men best vergelijken met de consolidatie van klei.

Slib en klei bestaan uit deeltjes van dezelfde grootte maar met een verschillende minerale samenstelling. Merken we hierbij op dat de ingenieur en de geoloog een verschillende classificatie gebruiken voor sedimenten. De classificatie van de ingenieur is uitsluitend gesteund op de fysische karakteristieken zoals korrelgrootte en plasticiteit, terwijl de classificatie van de geoloog meer berust op de chemische karakteristieken.

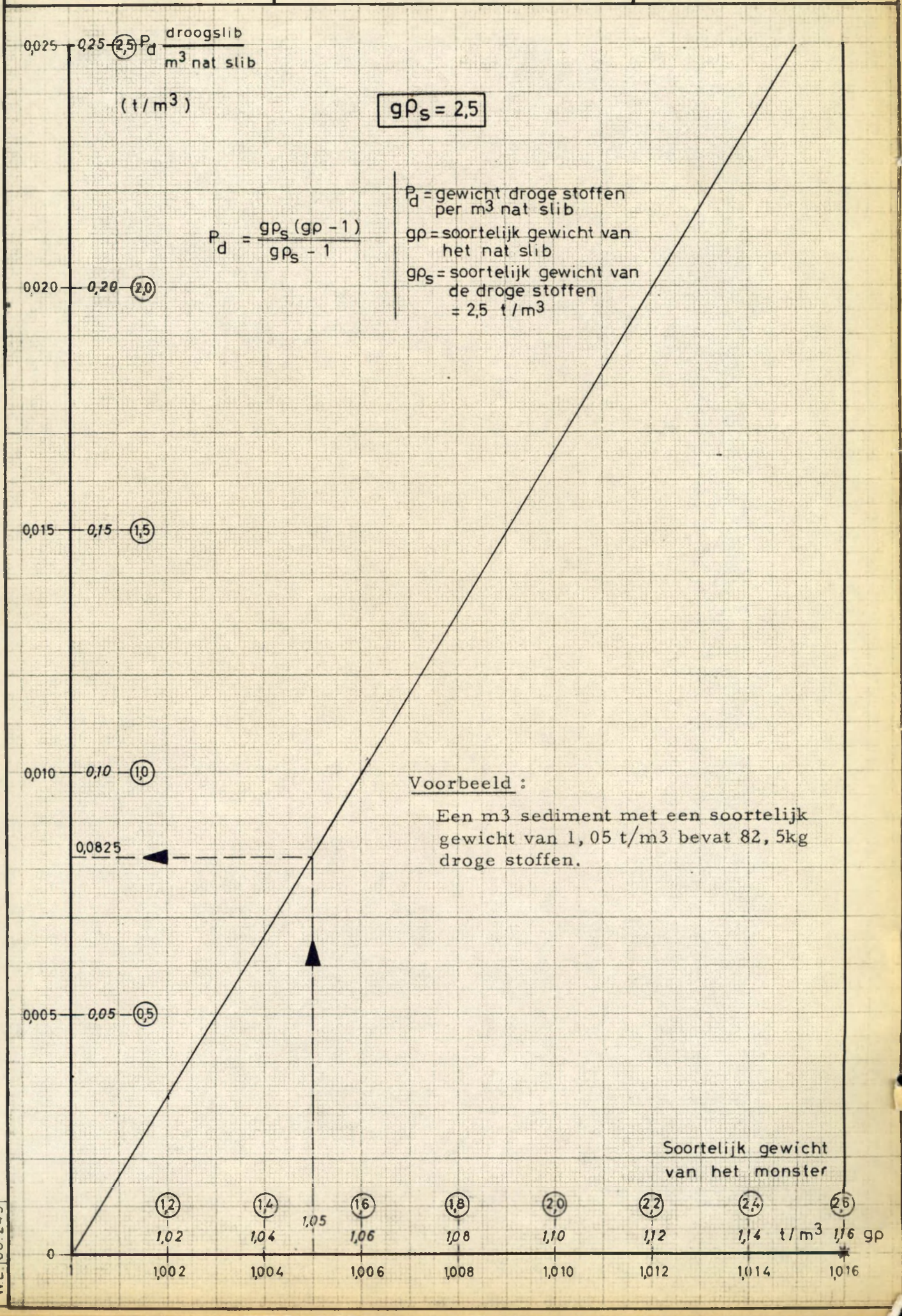
Het is belangrijk deze opmerking te maken, want men verwart dikwijls de begrippen slib, klei of slijk. Slijk is een natuurlijk of kunstmatig mengsel van grond en water. Bentoniet, gebruikt bij constructies, is een kleisoort die, gemengd met water , een zwaar slijk vormt. De geoloog of de scheikundige noemt klei een geheel van deeltjes gevormd door sillico-aluminium mineralen.

./..

TOEGANGSGEUL
ZEESLUIS ZANDVLIET

Hoeveelheid vaste stoffen in functie van het soortelijk gewicht

Fig. 3

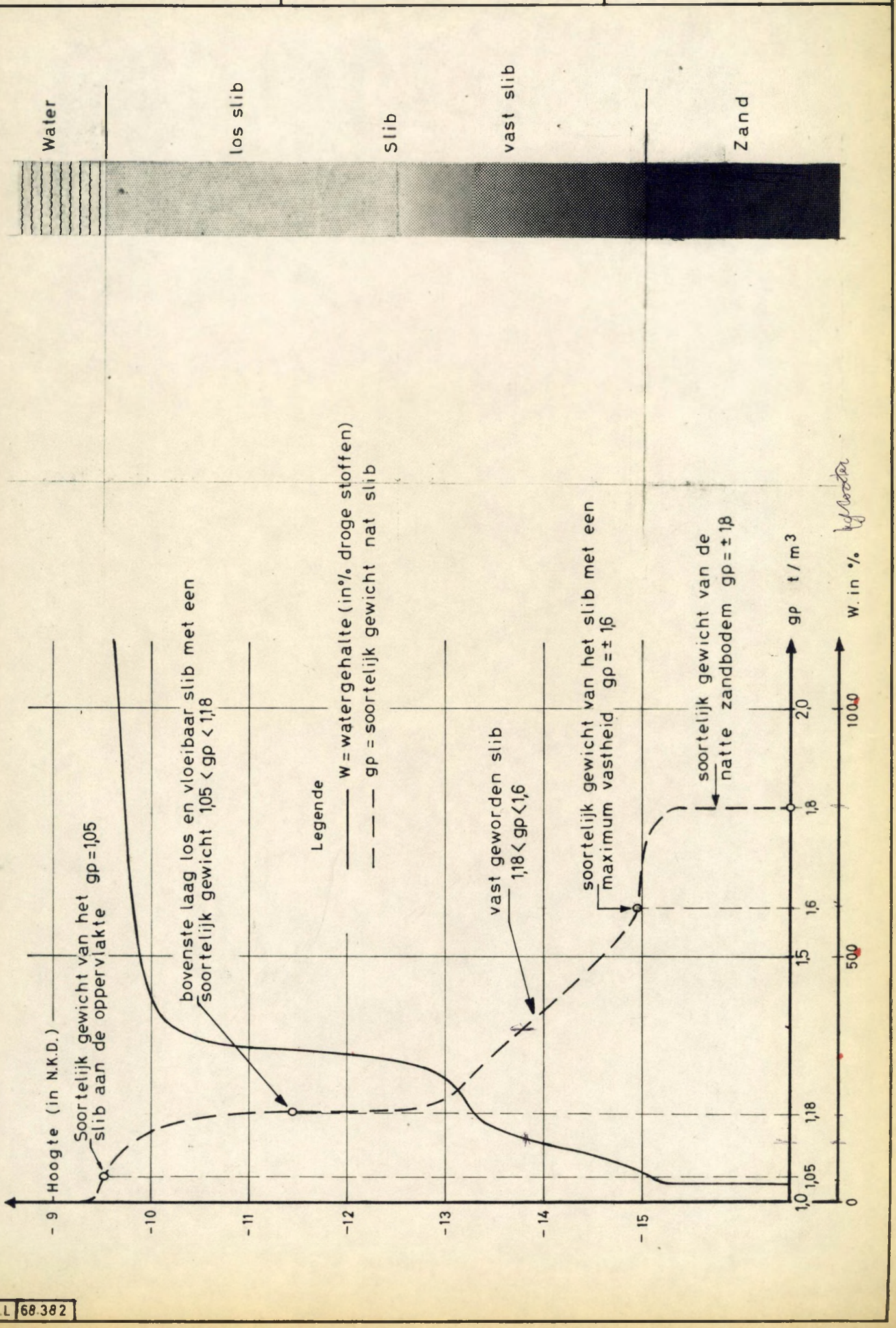


WL 68.245

Voorbeeld van boring 3
na 7 maanden aanslibbing

VERLOOP VAN HET SOORTELIJK GEWICHT EN WATERGEHALTE IN FUNCTIE VAN DE DIEPTE

Fig. 4



W.L 68.382

Indien het sediment slechts een klein gedeelte van deze mineralen bevat, maar vele uitermate kleine deeltjes kwarts, calciet en organische stoffen, spreekt men niet meer van klei maar van slib. De ingenieur zal deze twee sedimenten klei noemen omdat ze beiden dezelfde fysische karakteristieken hebben. Merken we hierbij op dat sommige slibsoorten van het Scheldebekken, onder andere die van een oude arm van deze rivier, nl. de Grote Geul, minder dan 15% silico-aluminium mineralen bevatten.

Het slib wordt vaster naarmate er meer water uit verdwijnt. Dit water moet ontsnappen langs capilaire openingen. Het proces dat zeer traag verloopt kan versneld worden wanneer men de toestand van de sliblaag verandert, vb. wanneer het slib wordt bedekt met een nieuwe afzetting.

In het geval dat wij nu bestuderen rust het slib op een zandbed waarvan we veronderstellen dat het ondoordringbaar is. Inderdaad, de ruimten tussen de zandkorrels zijn vlug gevuld met slibdeeltjes; anderzijds is de sliblaag, die zich bevindt onmiddellijk op het doordringbaar zand, vlug vast geworden.

Men kan dus zeggen dat het slib begrensd wordt langs de onderkant door een ondoordringbare laag en langs de bovenkant door het Scheldewater. Het slib kan aldus slechts vast worden door uitstorting van het interstitiële water naar boven; een traag stijgende waterstroom doorloopt het sediment. De onderste lagen worden alzo zeer vlug vast en bereiken in minder dan een maand hun maximum dichtheid. Hoe dichter de laag bij de oppervlakte ligt, des te trager gebeurt de consolidatie.
In het begin wordt de druk , veroorzaakt door een uitwendige kracht, opgevangen door het insterstitiële water. Wanneer er voldoende water uitgestoten is, liggen de korrels op mekaar en vangen elk een deel op van de druk (fig. 4).

./..

De figuren 5 en 6 stellen de evolutie voor in de loop van de tijd van het specifiek gewicht van het slib op verschillende hoogten in twee boringen die gedaan werden in de toegangsgeul te Zandvliet. Merken we hierbij op dat deze curven niet de evolutie van dezelfde vlokken voorstellen. Inderdaad, de consolidatie heeft een vermindering van volume voor gevolg. De vlok die men in boring 2 vond op het niveau - 12 m in januari 1968, ligt in mei 1968 op niveau -13m. Figuren 7 en 8 tonen deze evolutie in dezelfde boringen 2 en 3 te Zandvliet.

Het punt x van fig. 7 komt op de curve overeen met 1000kgr/m2 op niveau -12 m. Er bevindt zich dus 1000 kgr slib per m2 oppervlakte tussen het niveau -12m en de zandbodem die gelegen is op -15m. Wanneer nu deze laag van 3 m dikte en van 1000 kgr/m2 vaster wordt, gaat ze verminderen in hoogte. Zo bereikte ze in mei 1968 een dikte van 2m, wat overeenkomt met een verplaatsing van punt x op fig. 7 naar punt y langs de curve gemerkt 1000kgr/m2.

Andere grafieken laten toe zich een goed idee te vormen van dit proces. Op de curven van fig. 9 wordt de samendrukking van het slib voorgesteld door een verplaatsing van punt A, groot watergehalte en klein specifiek gewicht, naar punt B, klein watergehalte en groot specifiek gewicht. Fig. 10 toont de evolutie van het watergehalte en het specifiek gewicht in functie van de diepte in een boring gedaan aan de nieuwe tunnel onder de Schelde, terwijl fig. 11 de relatie voorstelt tussen het specifiek gewicht en het watergehalte in dezelfde boring. De voorgestelde punten van de verschillende lagen bevinden zich op de curve getekend voor een specifiek gewicht van de droge stof van 2,500 t/m3.

./..

Volgende uitdrukking geeft de relatie tussen het specifiek gewicht van het slib, het specifiek gewicht van de droge stoffen en het watergehalte :

$$g\rho = \frac{g\rho_s(100+w)}{100+g\rho_s \cdot w}$$

$g\rho$ = spec. gewicht slib

$g\rho_s$ = spec. gewicht droge stoffen

w = watergehalte (uitgedrukt in % t.o.v. gewicht droge stof).

Fig. 12 ten slotte stelt de vermindering in dikte voor van de sliblagen met een gegeven gewicht in functie van het specifiek gewicht.

* * *

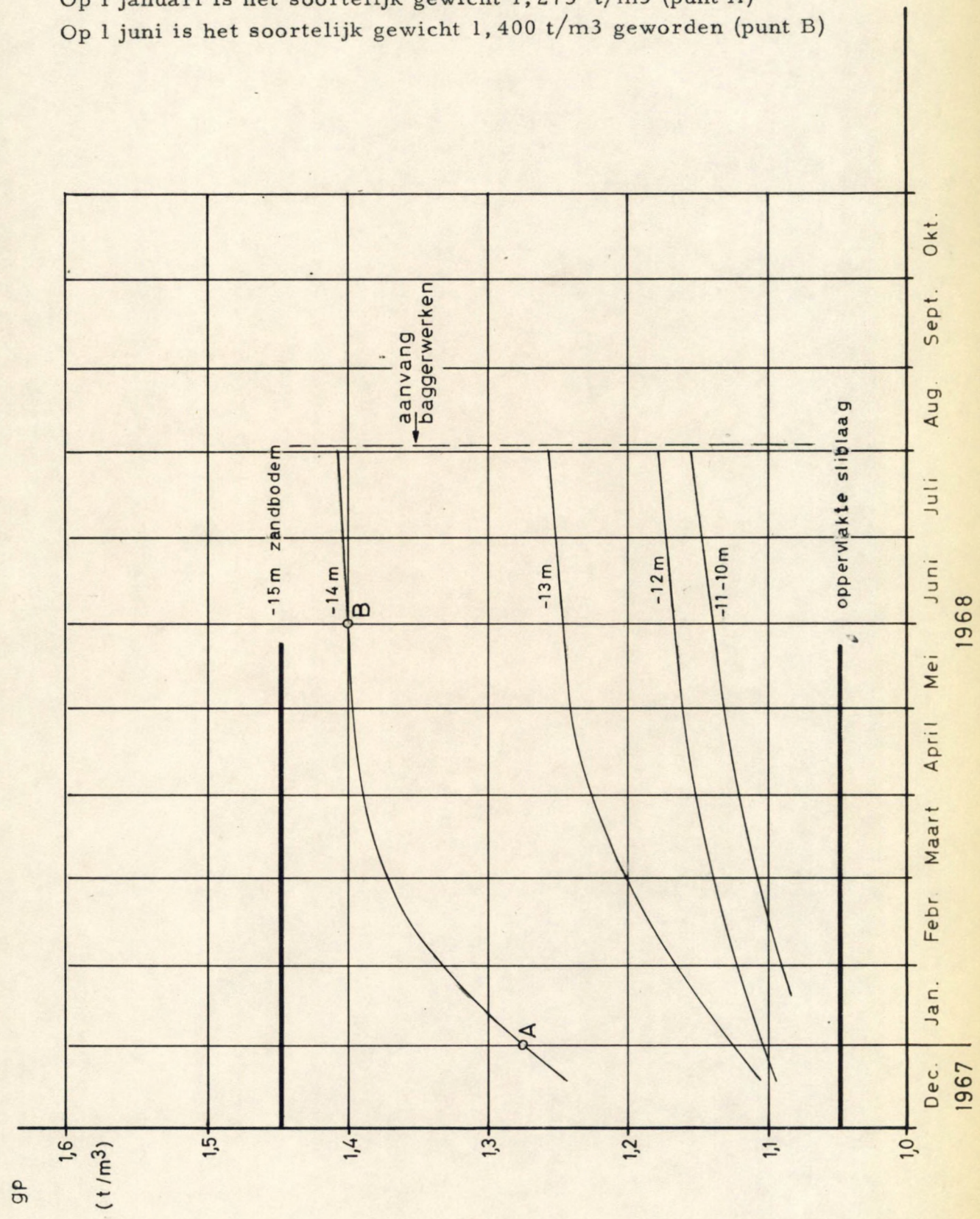
		w=60	w=100	w=200
$g\rho_s = 2,5 \rightarrow$	$g\rho = \frac{100+w}{40+w} = 1 + \frac{60}{40+w}$	1,60	1,43	1,25
$g\rho_s = 2,0 \rightarrow$	$g\rho = \frac{100+w}{50+w} = 1 + \frac{50}{50+w}$	1,45	1,33	1,20

./..

TOEGANGSGEUL ZEESLUIS ZANDVLIET	Evolutie van het soortelijk - gewicht op verschillende diepten — BORING 3 —	Fig. 5

Voorbeeld : Soortelijk gewicht van het slib 1 m boven de zandbodem.

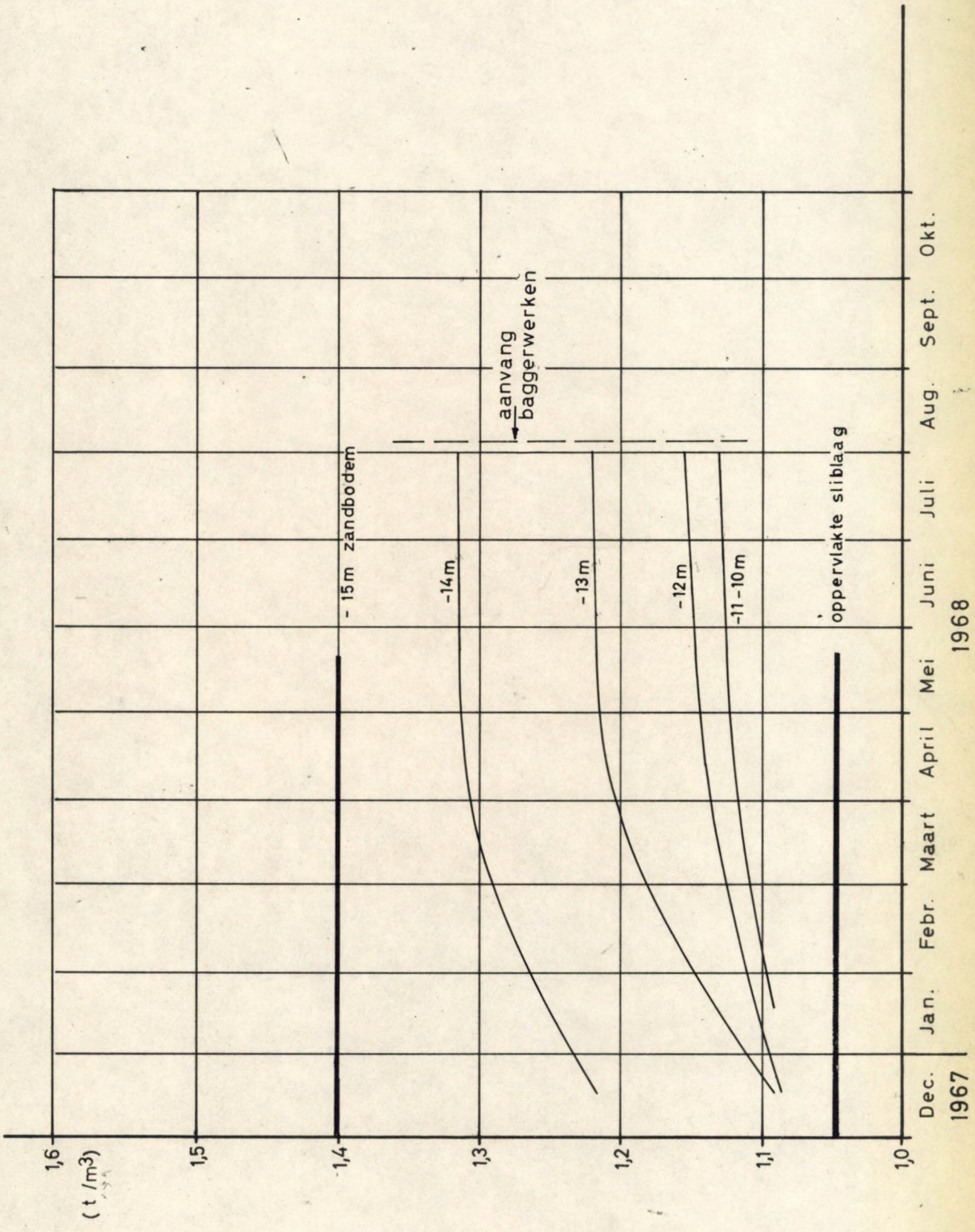
Op 1 januari is het soortelijk gewicht 1,275 t/m3 (punt A)
Op 1 juni is het soortelijk gewicht 1,400 t/m3 geworden (punt B)



TOEGANGSGEUL
ZEESLUIS ZANDVLIET

Evolutie van het soortelijk - gewicht op verschillende diepten — BORING 2 —

Fig.6

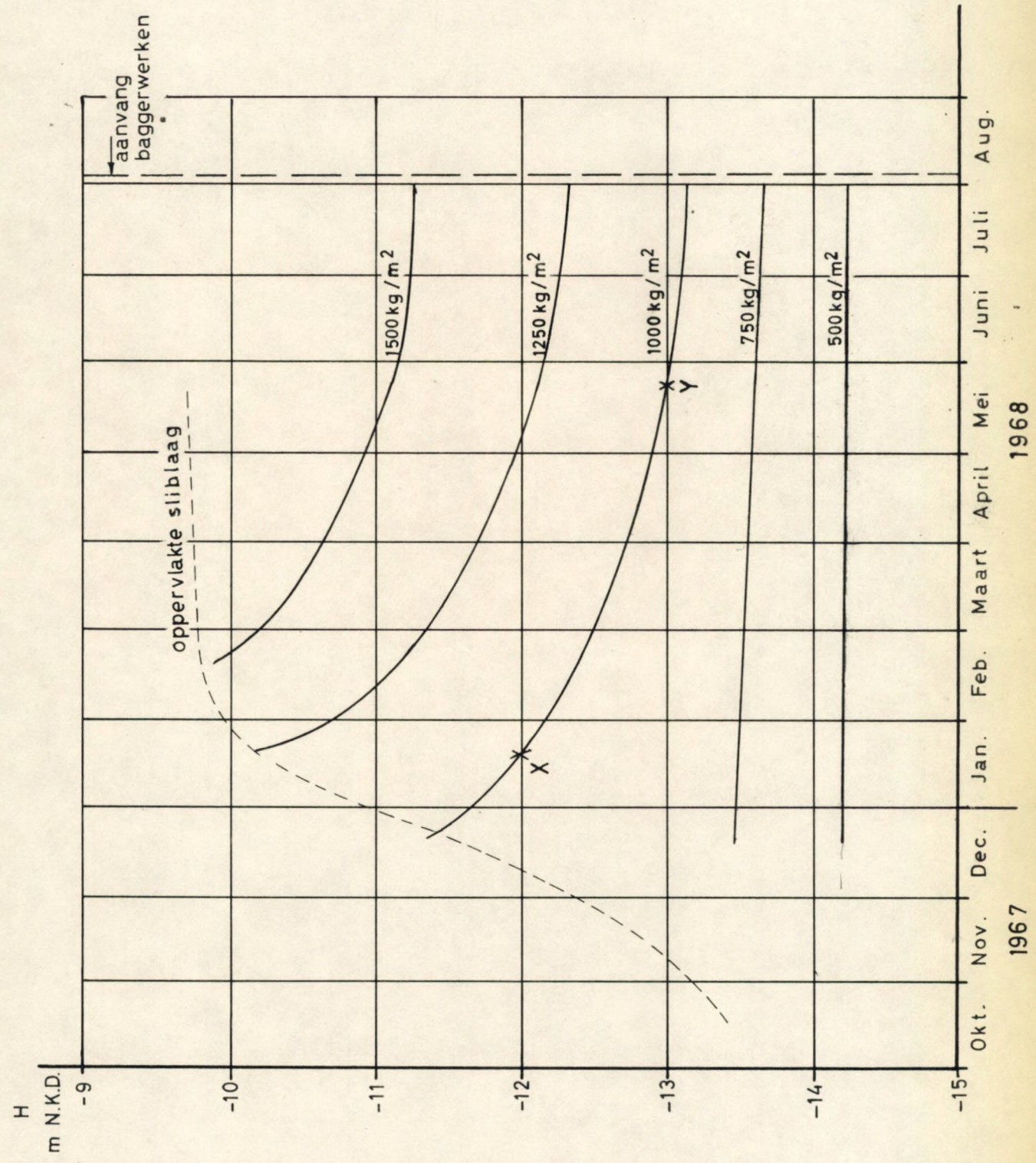


W.L. 68.242

TOEGANGSGEUL ZEESLUIS ZANDVLIET	Evolutie gewicht vaste stoffen afgezet per m^2 —BORING 2—	Fig.7

Voorbeeld : Op 17 januari lag er 1000 kg droog slib in een drie meter dikke sliblaag boven de zandbodem (punt X)

Op 26 mei was deze sliblaag vaster geworden en slechts twee meter dik (punt Y).

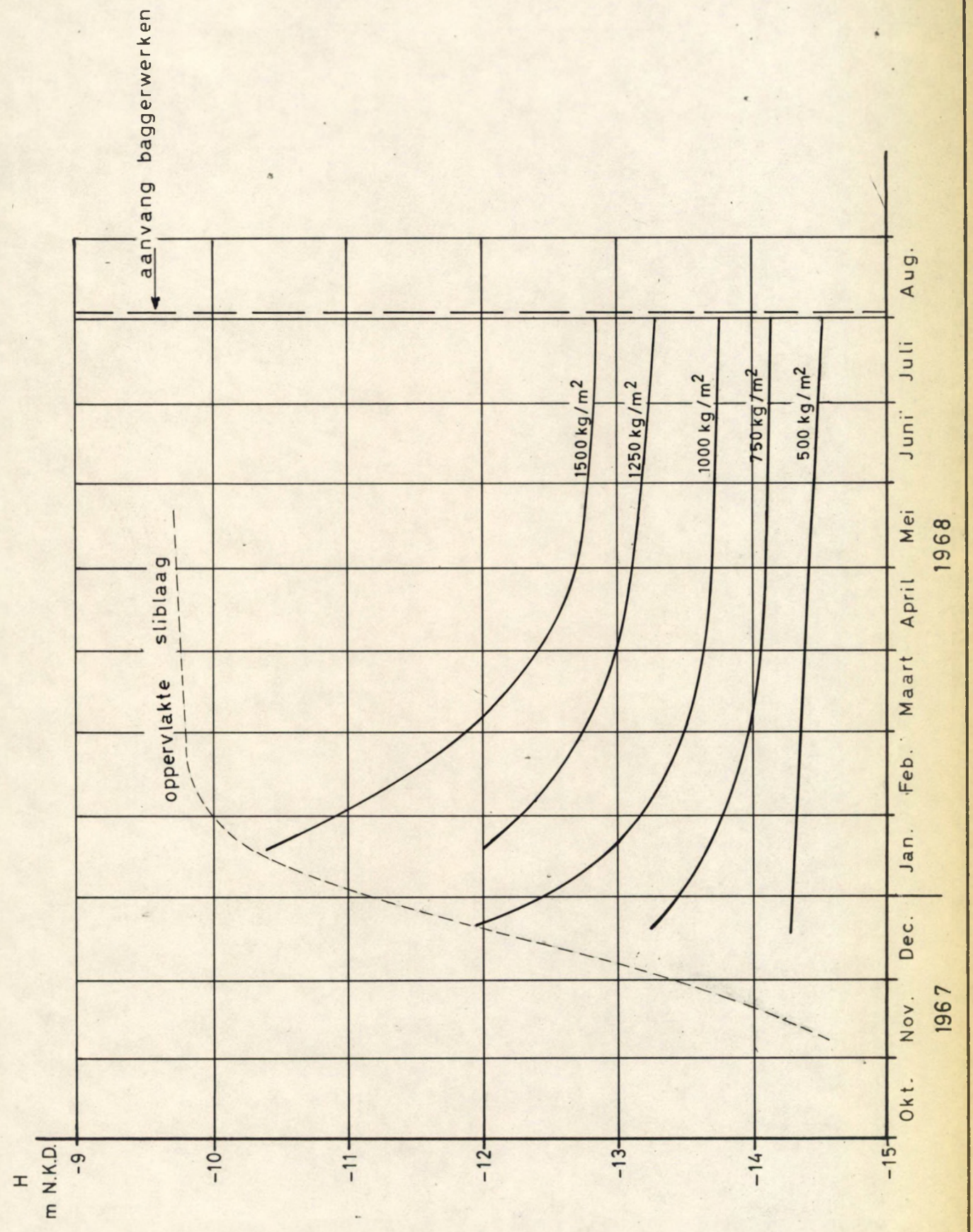


W.L. 68.241

TOEGANGSGEUL
ZEESLUIS ZANDVLIET

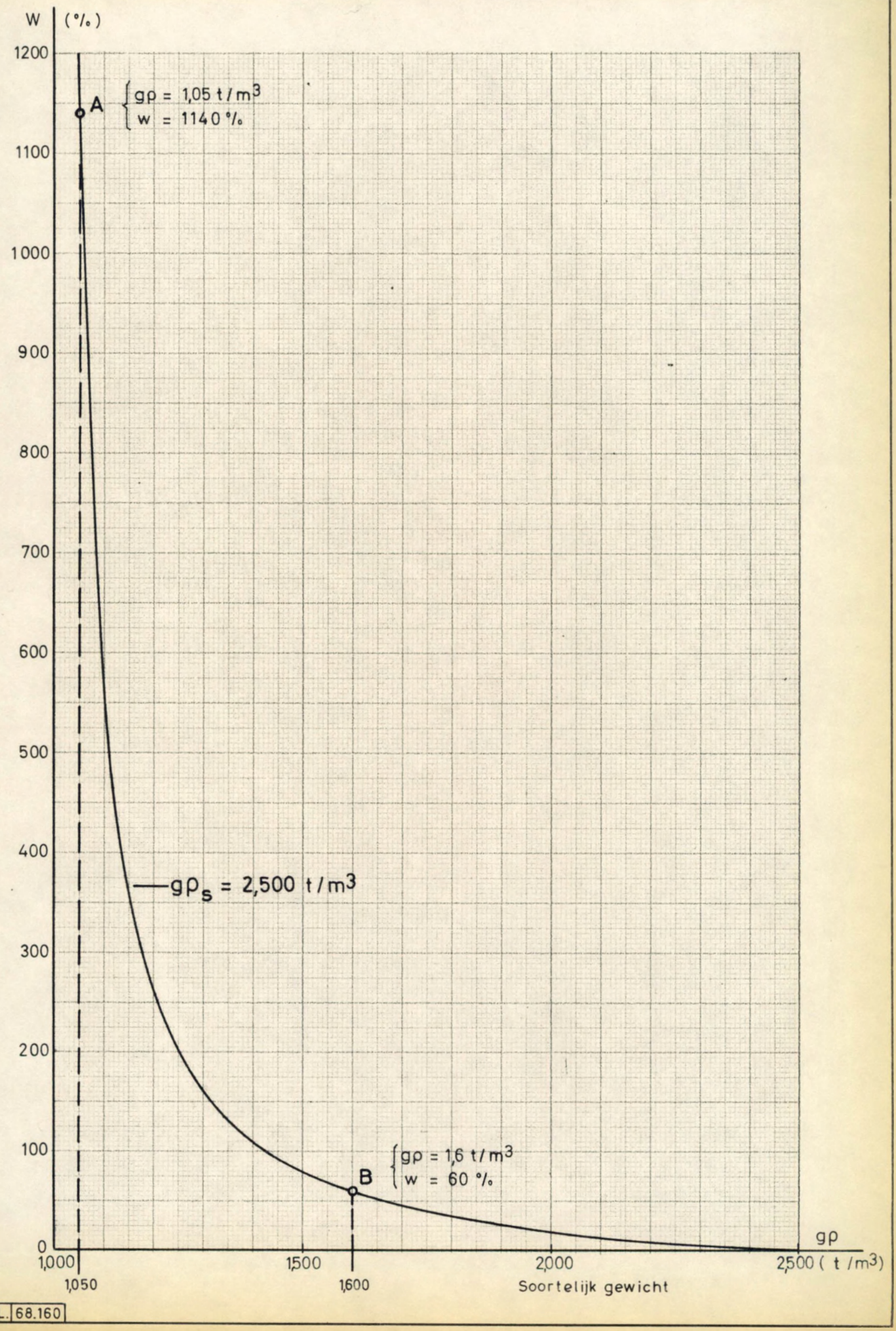
Evolutie gewicht vaste stoffen afgezet per m^2
—BORING 3—

Fig. 8



W.L. 68.240

SLIB SCHELDE	Betrekking tussen soortelijk gewicht en watergehalte	Fig. 9



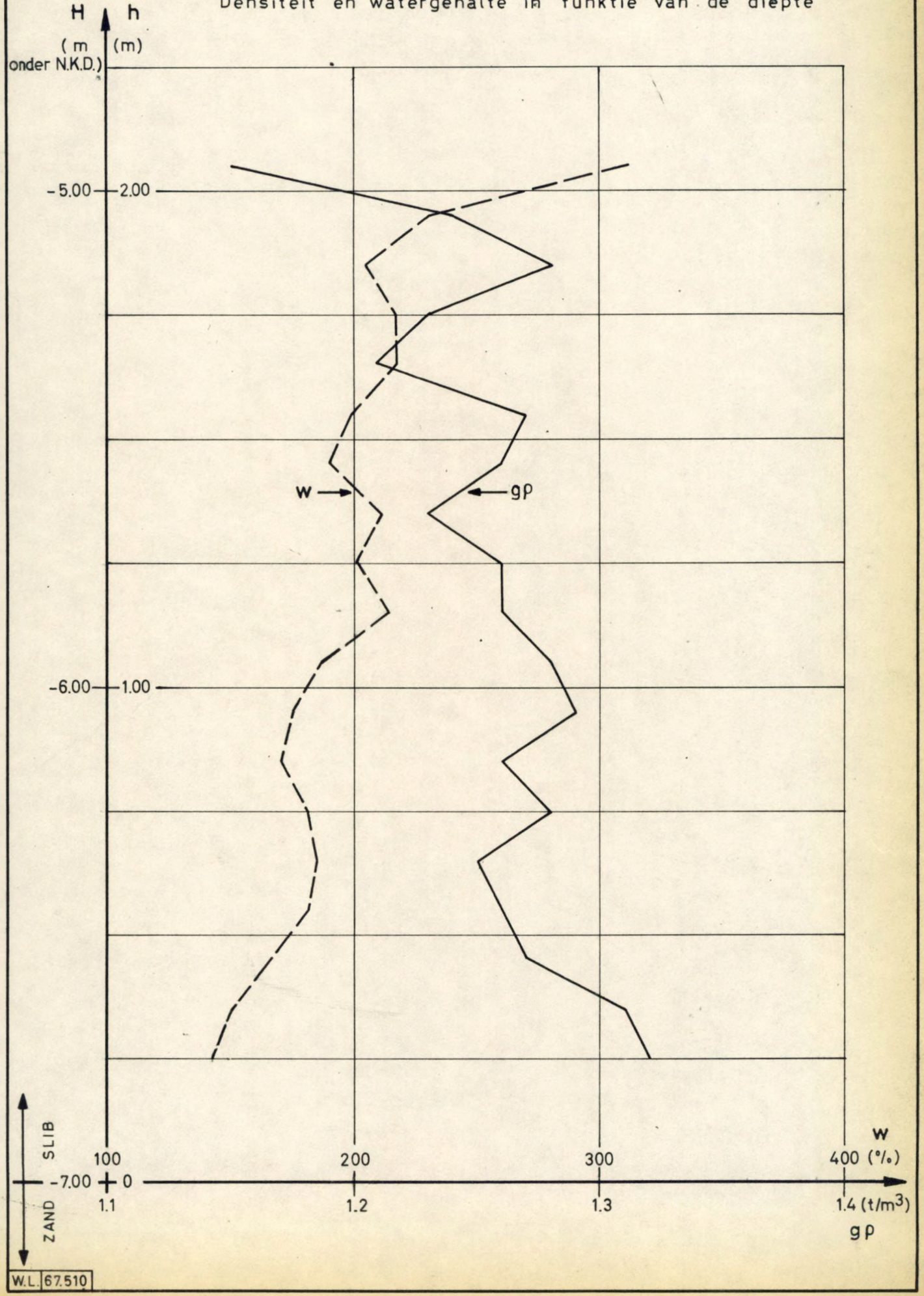
W.L. 68.160

DOK E3

BORING ELEMENT V
2 / 11 / 67

Fig. 10

Densiteit en watergehalte in funktie van de diepte

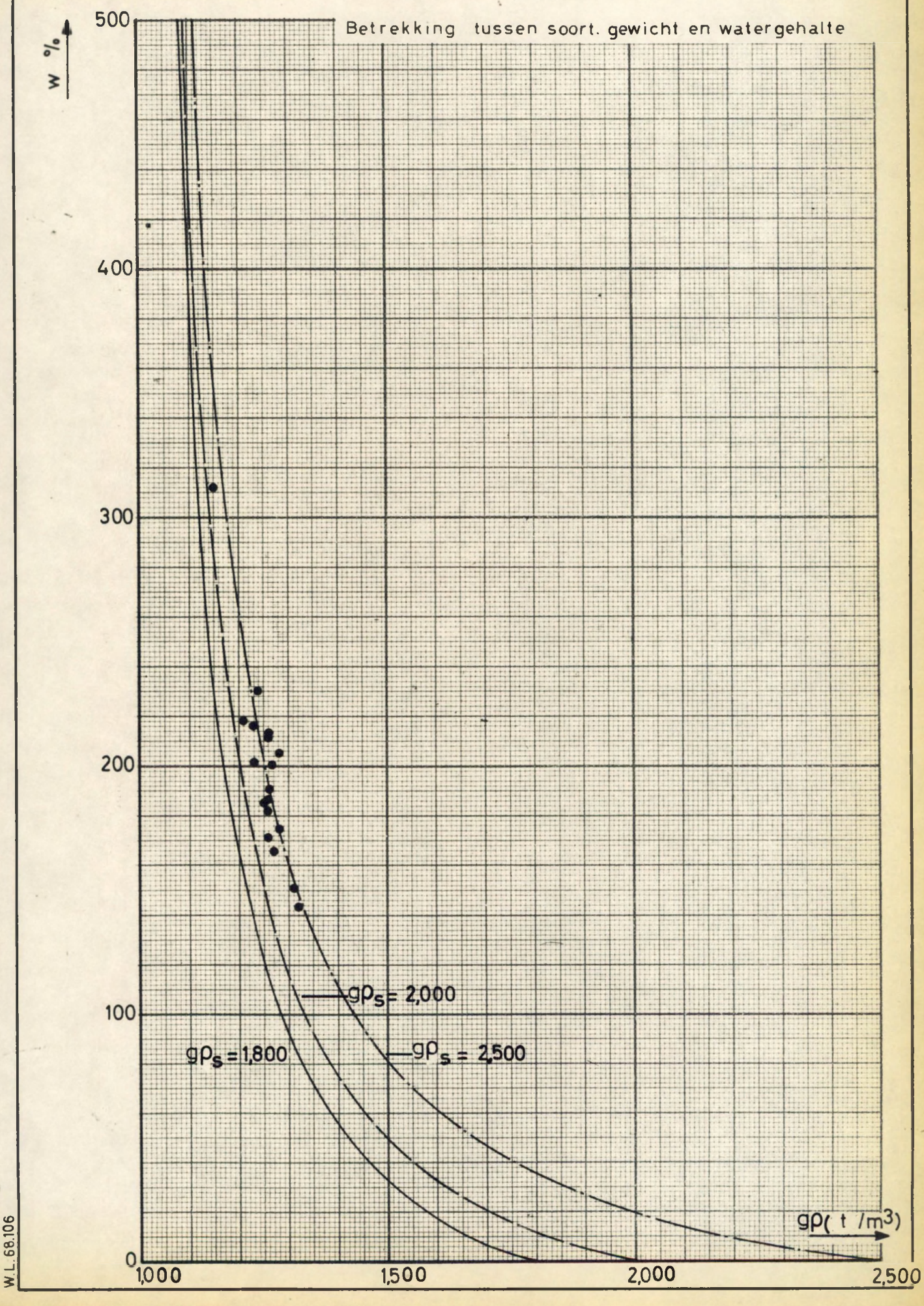


W.L. 67.510

DOK E3

BORING ELEMENT V
2/11/67

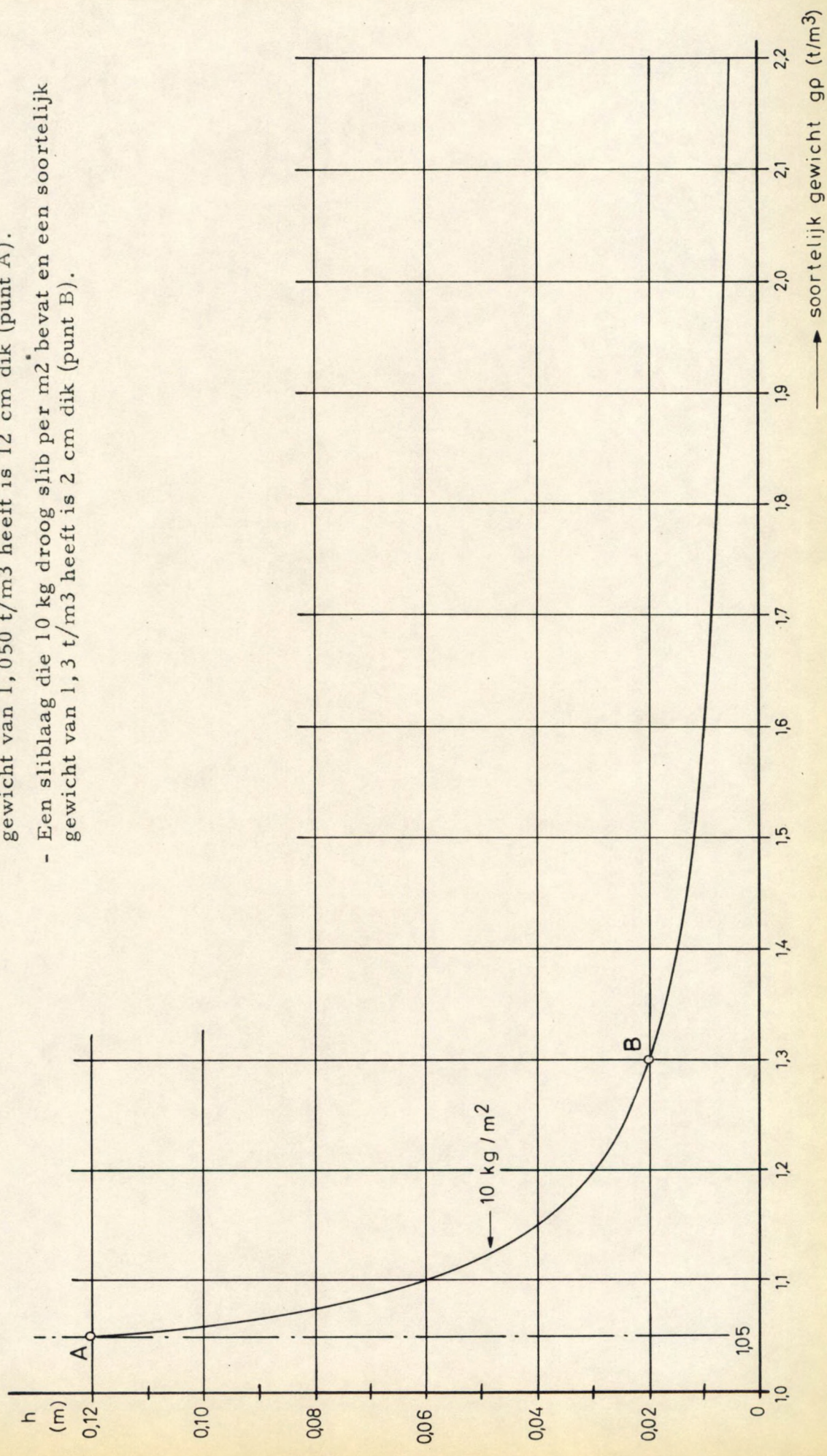
Fig. 11



W.L. 68.106

Hoogte van de sliblaag in funktie van het soortelijk gewicht

Fig. 12



Voorbeeld :

- Een sliblaag die 10 kg droog slib per m2 bevat en een soortelijk gewicht van 1,050 t/m3 heeft is 12 cm dik (punt A).
- Een sliblaag die 10 kg droog slib per m2 bevat en een soortelijk gewicht van 1,3 t/m3 heeft is 2 cm dik (punt B).

W.L. 68.716

TWEEDE DEEL.

METHODEN OM DE AANSLIBBING TE METEN-RESULTATEN.

A. Boringen.

Als gevolg van het in gebruik nemen van de Zandvlietsluis en het openen van het droogdok van de nieuwe Scheldetunnel zijn de metingen in verband met aanslibbing zeer interessant. Te Zandvliet is het ook van belang om te weten vanaf welk specifiek gewicht het slib de scheepvaart zou hinderen. In het begin kon men door peilingen met de echosounder op de beide genoemde plaatsen een uiterst snelle verhoging van de sliblaag waarnemen. Maar de echosounder laat niet toe de samenstelling te bepalen van het sediment van het oppervlak dat de ultrasonen terugkaatst.

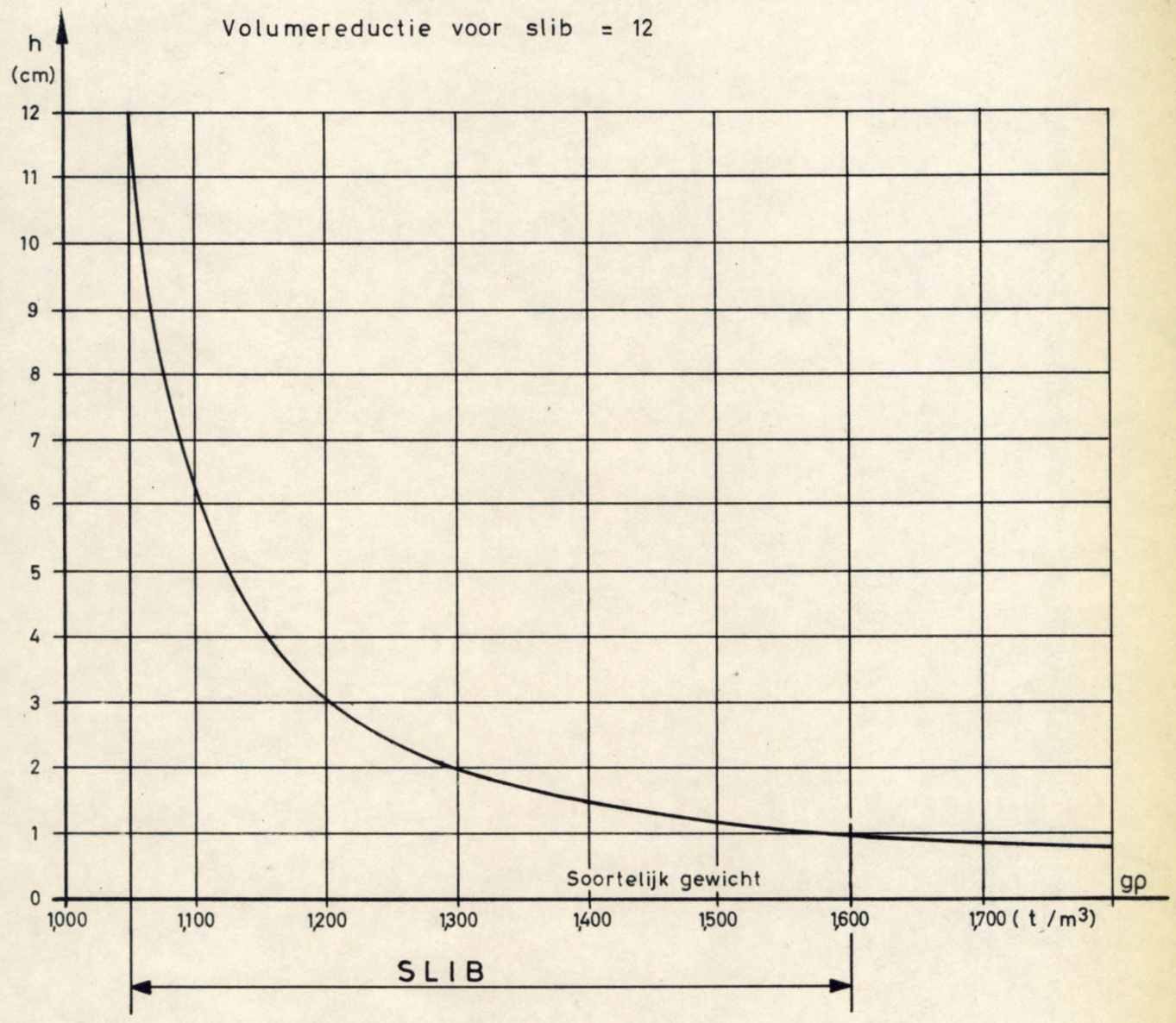
Voor een zandachtige afzetting is het mogelijk met de echosounder het gewicht te schatten van het geërodeerd of neergezet sediment. Inderdaad, de samendrukking van zand na zijn neerzetting is over 't algemeen zeer klein. Het specifiek gewicht schommelt ongeveer tussen de 1,600 à 2,000 t/m3 en het watergehalte tussen de 60 à 25%. Een gemiddelde waarde van g_ρ is 1,800 t/m3 met een watergehalte van 36%.

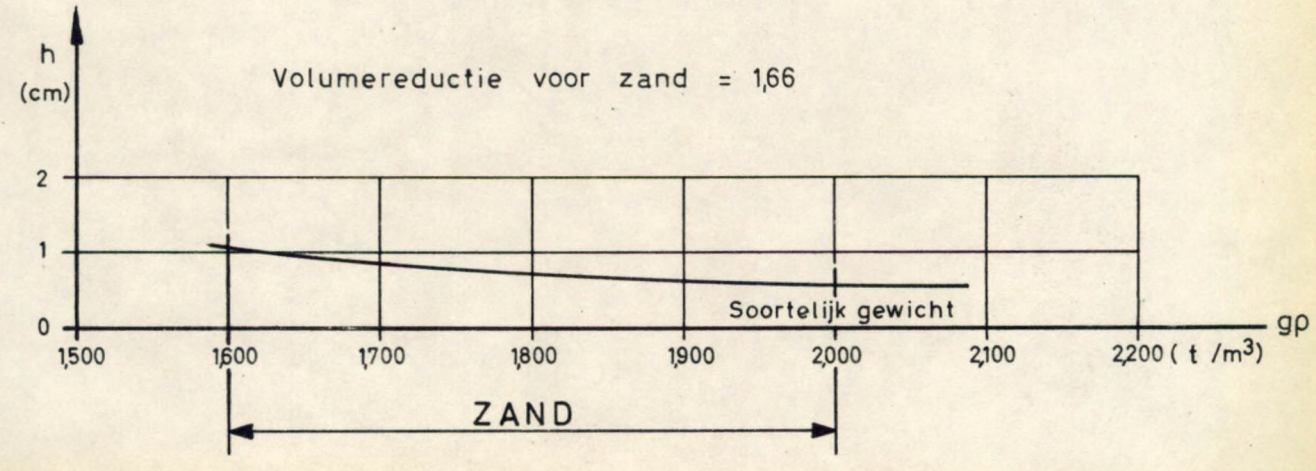
Indien de zandlaag oorspronkelijk een dikte van 1 m heeft dan zal de samendrukking deze maximaal herleiden tot 60 cm.

Het slib daarentegen zet zich neer met een specifiek gewicht van 1,050 t/m3 en wordt samengedrukt tot 1,600 t/m3. Indien de sliblaag oorspronkelijk een dikte van 1 meter had, zal deze zich herleiden tot $\pm$ 8 cm (fig. 13).

./..

Neerzetting van : 10 kg / m^2 / dag	Hoogte van de sedimentlaag in funktie van het soortelijk gewicht	Fig. 13





W.L. 68.159

De dikte van de sliblaag volstaat niet om hieruit het gewicht van het sediment af te leiden. Men moet ook nog de verandering van het specifiek gewicht in functie van de diepte kennen. We hebben dan gepoogd slibmonsters te nemen over heel de hoogte van de laag. Een prototype van een boorbuis werd ontworpen en gebouwd door het Waterbouwkundig Laboratorium in oktober 1967. De definitieve boorbuis, gebouwd in februari l.l. is momenteel in gebruik (fig. 14). Dit eenvoudig en gemakkelijk te hanteren toestel heeft onmiddellijk goede resultaten opgeleverd. De boorbuis zelf bestaat uit een vijf meter lange buis in roestvrij staal. Deze bevat een tweede buis in P.V.C. en is aan het bovenein de uitgerust met een klepsysteem en een gewicht.

De boring gebeurt vanaf de boeienlegger "Lillo", dewelke voorzien is van de nodige kraan. Bij ideale omstandigheden kan men 3 tot 4 boringen per uur verrichten. Fig. 15 duidt de plaatsen aan waar men gewoonlijk boort te Zandvliet.

Wanneer de densiteit groter is dan 1,150 t/m3 werkt het toestel volmaakt; eens beneden deze waarde gedraagt het slib zich als een vloeistof. De boot, waaraan de boorbuis wordt opgehangen, moet volkomen onbeweeglijk blijven op het ogenblik dat de buis in het sediment dringt. Dit is praktisch onmogelijk daar de boot niet mag ankeren voor de scheepvaart. De monsters van de bovenste sliblaag , met een specifiek gewicht lager dan 1,150 t/m3, worden genomen met behulp van een slib-pomp.

B. Meten van het specifiek gewicht.

Het specifiek gewicht van het sediment wordt gegeven door de formule :

$$g_\rho = \frac{P}{V}$$

g_ρ = specifiek gewicht sediment.

P = gewicht van het sediment.

V = volume van het sediment.

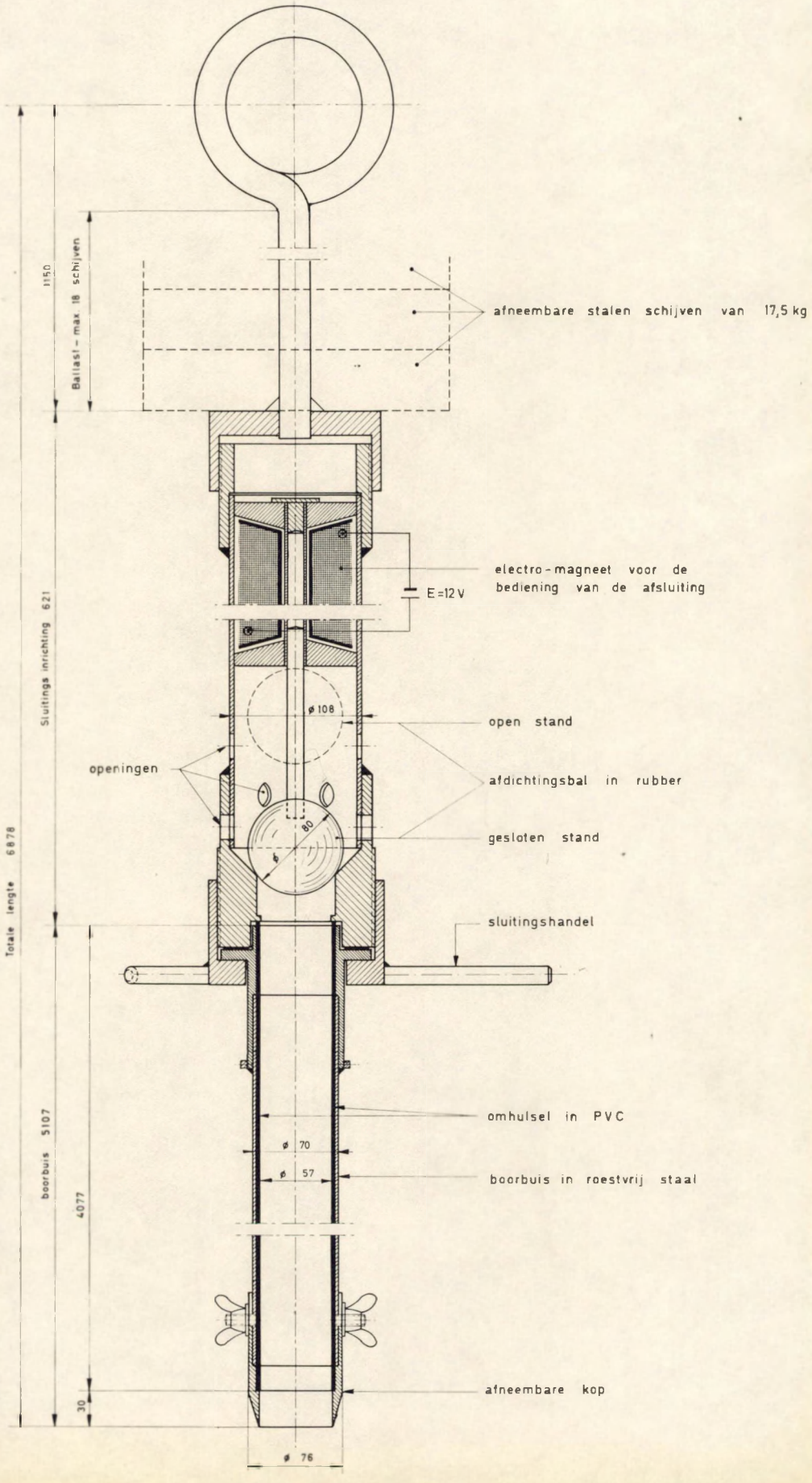
./..

Schaal
0 10 20 cm

BOORBUIS

Fig. 14

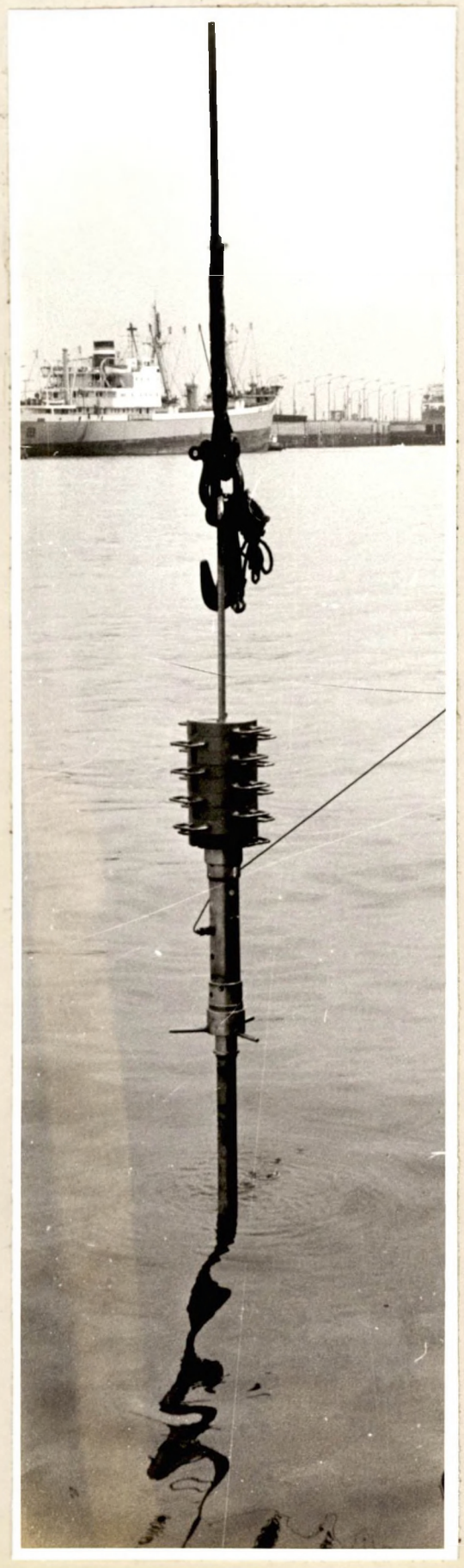
Afmetingen in mm



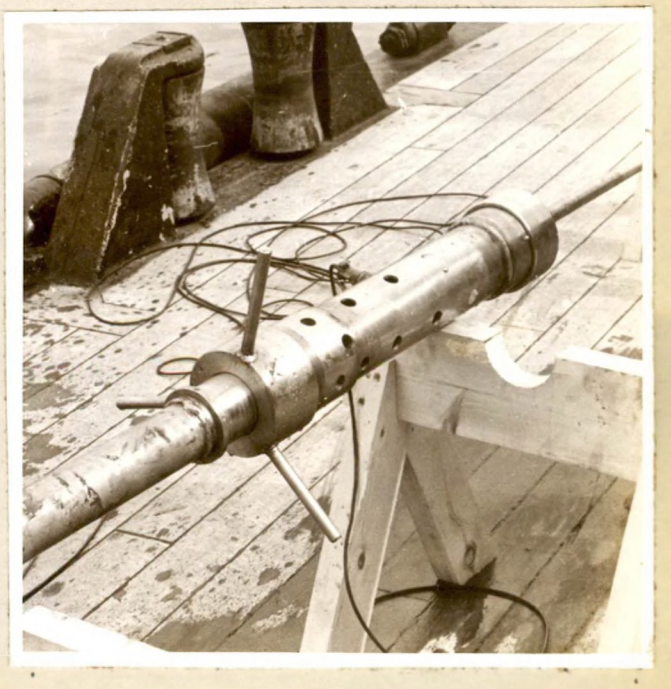
WL 68.166

BOORBUIS

Foto's



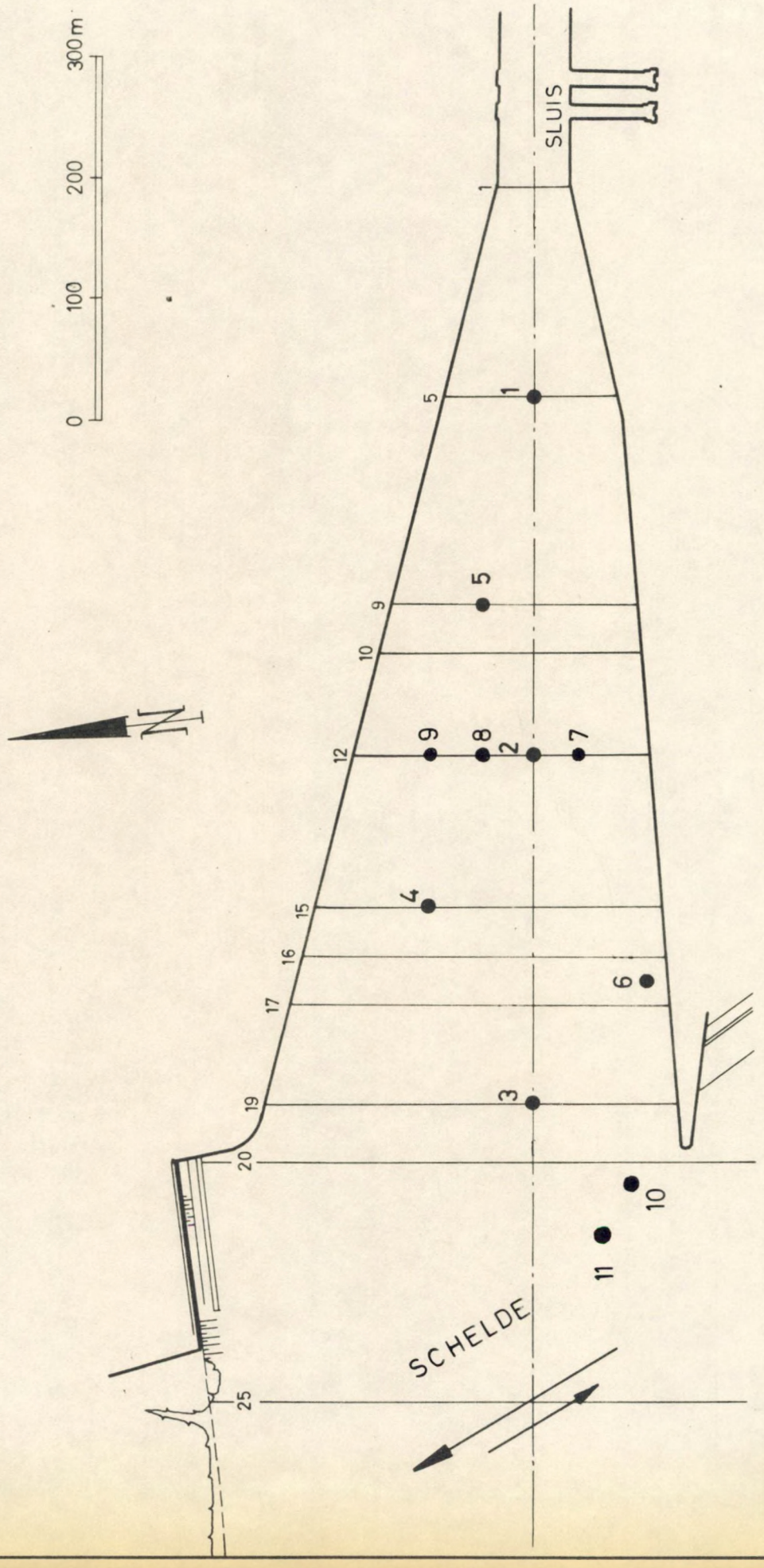




TOEGANGSGEUL
ZEESLUIS ZANDVLIET

LIGGINGSPLAN

Fig. 15



W.L. 68.051



volume droge stof = V gewicht droge stof = $V.\rho_{sg}$

watergehalte w (%) gewicht water = $V.\rho_{sg} \times \frac{w}{100}$

Volume water = $V.\rho_{sg} \times \frac{w}{100}$

Volume natte slib: $V\left(1+\rho_{sg}\times\frac{w}{100}\right) = \frac{V}{100}(100+\rho_{sg}w)$

Gewicht natte slib: $V.\rho_{sg}\left(1+\frac{w}{100}\right) = \frac{V}{100}\rho_{sg}(100+w)$

specefiek gewicht natte slib: $\rho_g = \frac{\rho_{sg}(100+w)}{100+\rho_{sg}w}$

Zoals wij reeds zagen is het specifiek gewicht verbonden met het watergehalte volgens de formule :

$$g\rho = \frac{g\rho_s\,(100+w)}{100 + g\rho_s w}$$

$g\rho_s$ = specifiek gewicht droge stoffen = 2500 kg/m3

w = watergehalte (uitgedrukt in % t.o.v. gewicht droge stof)

Het specifiek gewicht wordt dus bepaald hetzij door het wegen van een gekend volume sediment, hetzij door het watergehalte te bepalen. Wij gebruiken de twee methoden. De tweede methode leent zich veel beter tot routine-onderzoek omdat de behandeling eenvoudig is.

Slibmonsters worden om de 10 cm uit de boorbuis gehaald, in een hermetisch gesloten plastieke doos gedaan en naar het laboratorium gebracht. Het watergehalte wordt berekend na drogen in ovens op 110°C, tot het gewicht constant blijft. De berekeningen worden verricht door de computer.

C. Resultaten.

Voor elke boring berekenen wij het totaal gewicht van de vaste stof afgezet per m2 horizontaal. Figuur 16 toont de evolutie van dit gewicht in functie van de tijd.

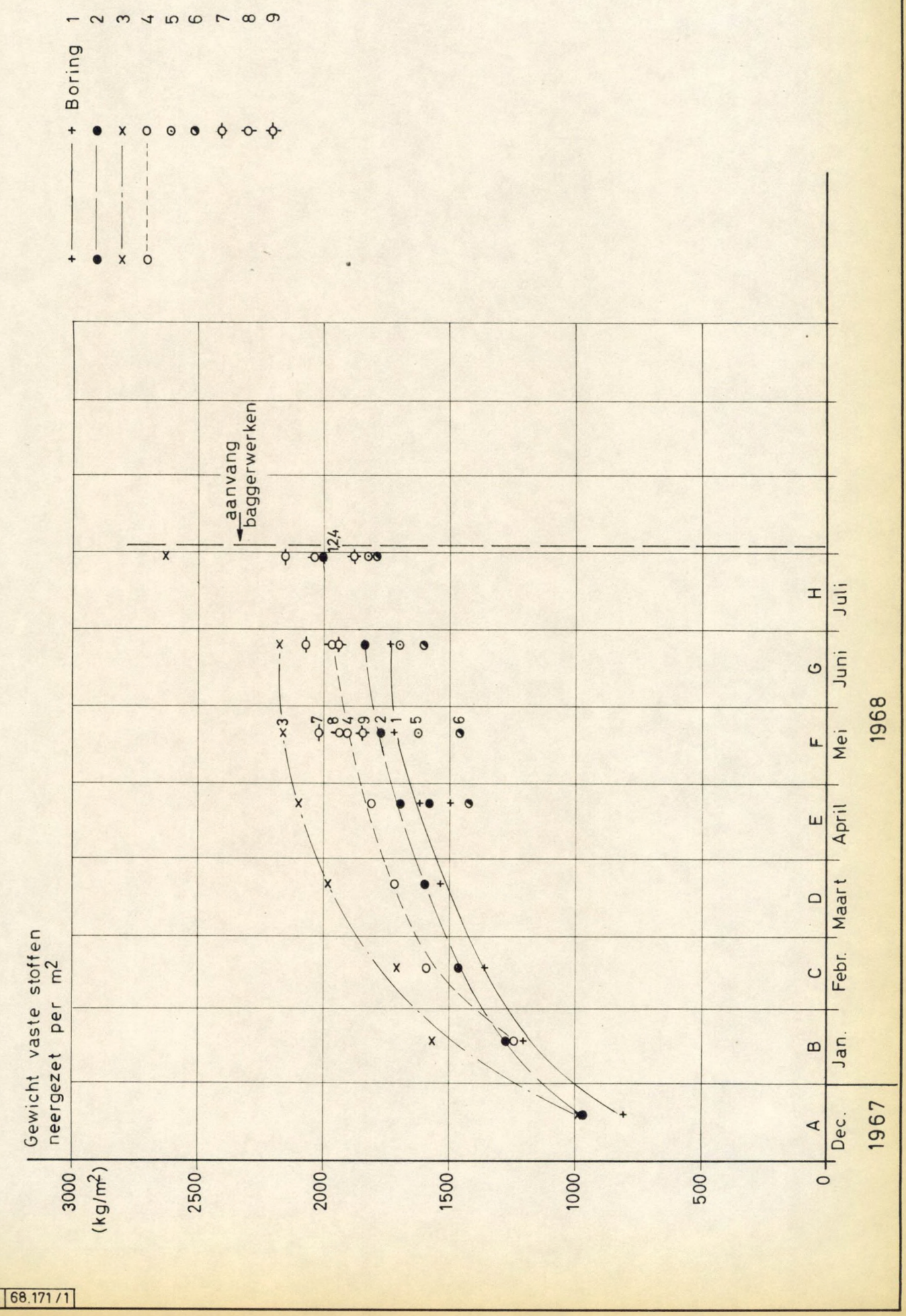
De figuren 1 tot 51 in bijlage I stellen de evolutie voor van het specifiek gewicht van de droge stof per m3 in functie van de diepte. Herinneren wij ons dat de zandbodem zich bevindt op -15m bij boringen 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 en 9 en op cota -13,5 m voor boring 6. Op de figuren 52 tot 83 van dezelfde bijlage vergelijken wij de boringen genomen met een tussentijd van een maand.

./..

TOEGANGSGEUL
ZEESLUIS ZANDVLIET

Aanslibbingssnelheid van de toegangsgeul

Fig. 16

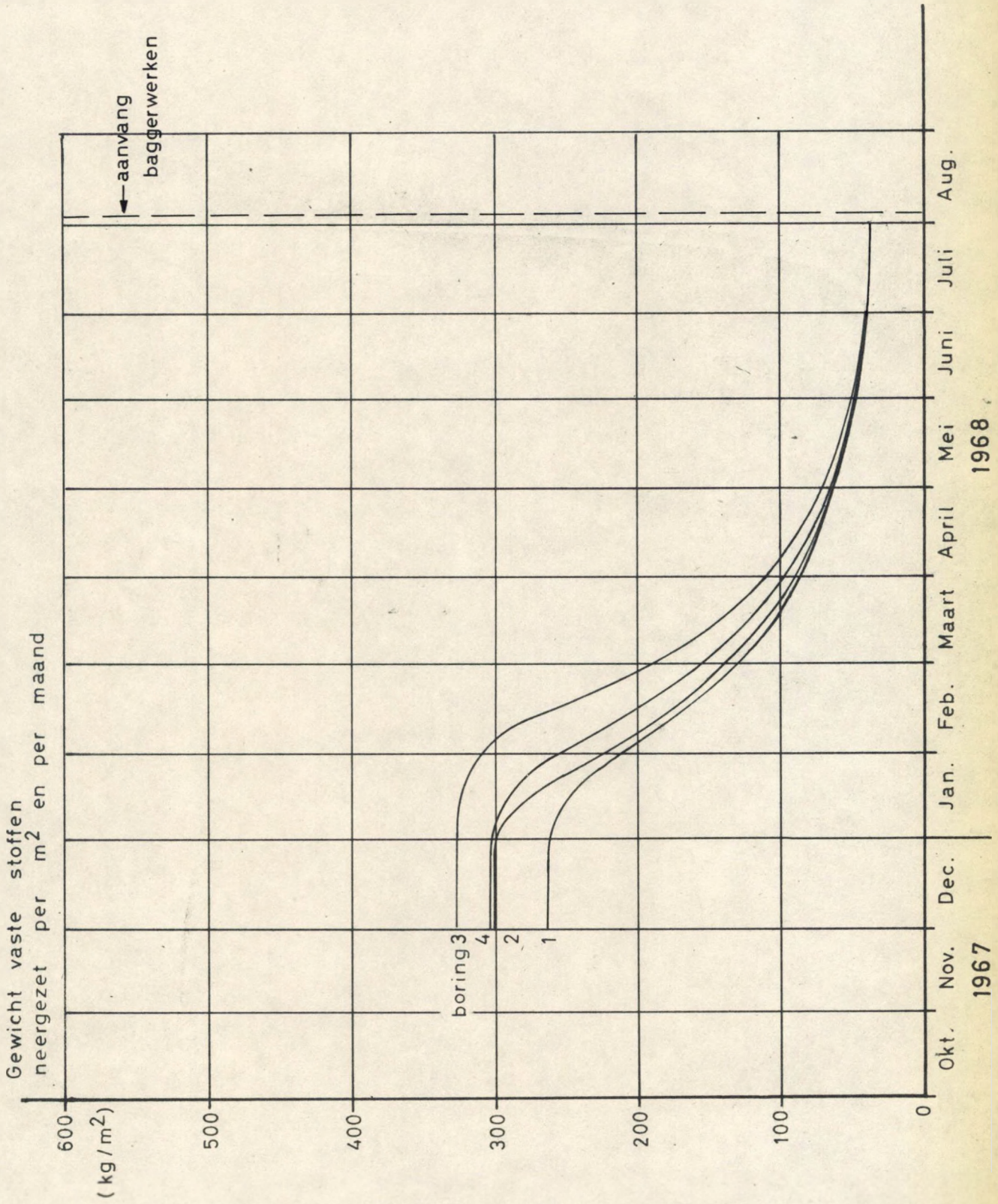


W.L. 68.171/1

TOEGANGSGEUL
ZEESLUIS ZANDVLIET

Hystogram van de aanslibbing

Fig. 16 bis



W.L 68.244-1

Ook hebben wij het gewichtsverlies bepaald bij 450°C. De waarden dienen enkel om de hoeveelheid organische stoffen te kennen. (fig. 84 tot 165).

De grafieken van figuur 16 tonen aan dat de aanslibbing, zeer snel tijdens de vier eerste maanden, daarna vertraagd is.

Figuur 16bis stelt de evolutie vast van de maandelijkse aanslibbing in de loop van de tijd. Deze beliep 300 kg/m2 per maand tot januari en verminderde geleidelijk tot 45 kg/m2 in de maand juni. Vanaf mei 1968 hebben de diensten belast met de peilingen een belangrijke vermeerdering van sediment vastgesteld bij de ingang van de vaargeul van de Zandvlietsluis. Op deze bank deden wij twee boringen. Deze boringen , nrs. 10 en 11, leverden ons een sediment bestaande uit een mengsel fijn zand en slib.

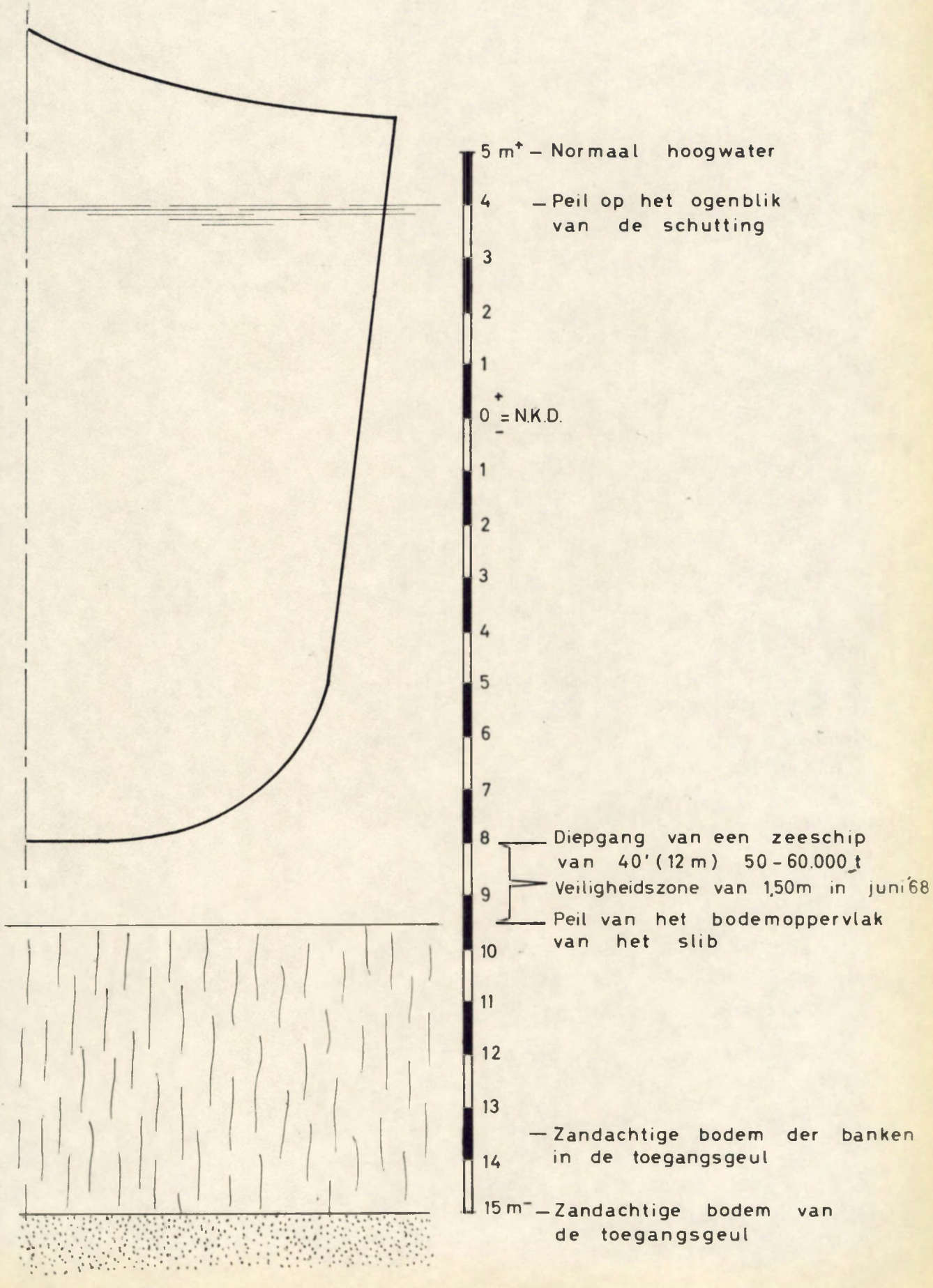
C. Invloed van de aanslibbing op de scheepvaart.

Vooreerst zullen wij nagaan of in juni 1968 in de toegangsgeul te Zandvliet het slib de romp van een schip kon raken.

Sedert februari 1968 vermeerdert de dikte van de sliblaag niet meer. De hoogste punten bevinden zich tussen de -9,00 en de -9,50 meter N.K.D. De grootste schepen die momenteel te Zandvliet aanleggen hebben een diepgang van ± 40 voet, hetzij 12 meter. Zij varen de sluis binnen met een getijniveau van ten minste +4,00m N.K.D. Het laagste punt van de scheepsromp bevindt zich dus op -8,00 N.K.D. hetzij ten minste 1 meter boven de sliblaag (fig. 17).

./..

TOEGANGSGEUL ZEESLUIS ZANDVLIET	Dwarsprofiel in de Toegangsgeul	Fig. 17



WL 68.246

Veronderstellen wij dat wij een zeer snelle aanslibbing hebben en dat de hoogte van het slib de -8 m Z.D.G. overschrijdt; zelfs dan is de situatie niet gevaarlijk want het slib zet zich neer met een specifiek gewicht van 1,050 t/m3 en heeft verschillende weken nodig om aan de oppervlakte te consolideren en een specifiek gewicht te bereiken van 1,150 t/m3 (zie de curven 10, 11 en 12 m van de figuren 5 en 6).

Het slib met een specifiek gewicht van 1,050 t/m3 gedraagt zich als een vloeistof. Het slib met een specifiek gewicht van 1,300 t/m3 gedraagt zich als een vaste stof.

Wij hebben oriëntatieproeven gedaan om te zien vanaf welk specifiek gewicht het slib overgaat van een vloeibare naar een vaste toestand.

De proef bestaat er in de demping te meten van een slinger in het slib. Dit is een dynamische proef.

Fig. 18 toont het schema van de slinger.
Fig. 19 en 20 geven de evolutie van de eerste en tweede slingerhoek in functie van het specifiek gewicht.
Bij deze proef gedraagt het slib zich ongeveer op dezelfde manier als water tot een specifiek gewicht van 1,100 t/m3.
Slib met een specifiek gewicht van 1,150 t/m3 is nog min of meer vloeibaar, de vastheid van het slib is nog niet zeer groot.
Vanaf 1,150 t/m3 tot 1,250 t/m3 stijgt de demping zeer snel en is oneindig voor $g\rho$ = 1,250 t/m3. Het slib is dan kneedbaar.

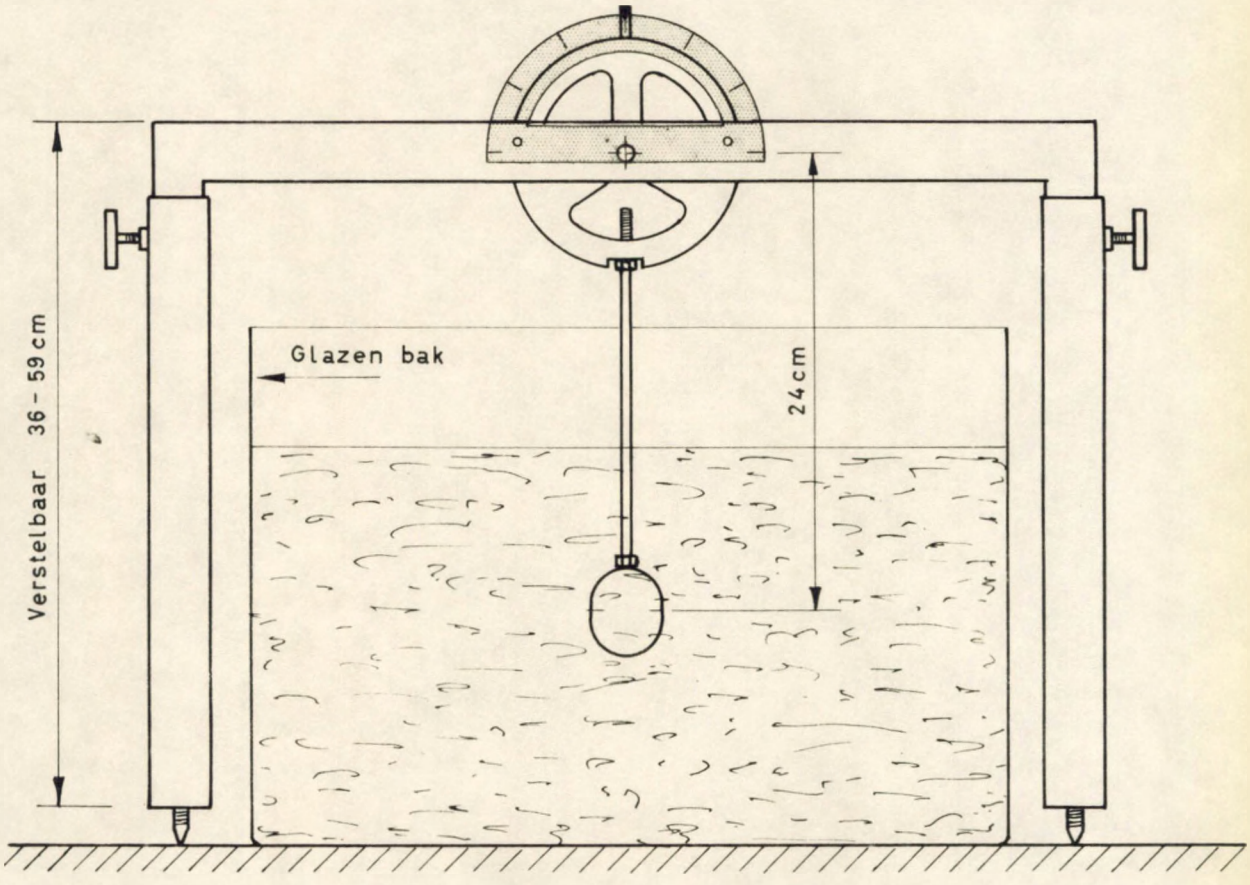
Laten we nu veronderstellen dat een schip met 40 voet-diepgang de sluis niet kan binnenvaren en verplicht is in de toegangsgeul te blijven te blijven tot na het laagwater. Nemen we de toestand van Augustus 1968. De oppervlakte van het slib ligt op -9,50mNKD.

./..

ONDERZOEK SCHELDEWATER

SCHEMA SLINGER

Fig. 18



W.L. 68.429

Bij laagwater zal de romp in het slib indringen. Moest het slib hetzelfde specifiek gewicht hebben als het water, dan zou het schip 2,5m in het slib doordringen.

Veronderstellen we nu dat het gemiddeld specifiek gewicht van de sliblaag van 2,5m dik 1,2 t/m3 bedraagt. Een tanker van 40 voet diepgang (± 12 m) is ongeveer 240m lang en 33 m breed.

$$v_b \times g\rho_w - h_1 S g\rho_w = h_2 g \rho_s S$$

waarin : s = oppervlakte bodem van het schip = 6820m2

v_b = volume schip in het water = 6820 x 12 = 81.840 m3

g = versnelling van de zwaartekracht

ρ_w = soortelijke massa van het water = 1

ρ_s = soortelijke massa van het slib = [illegible]

h_1 = hoogte van het water = 9,5 m

h_2 = hoogte van het schip in het slib

geeft :

$$h_2 = \frac{v_b \cdot \rho_w - h_1 S \rho_w}{\rho_s \cdot S}$$

$$h_2 = \frac{81.840 - 9,5 \times 6820}{1,20 \times 6820} = 2,08m$$

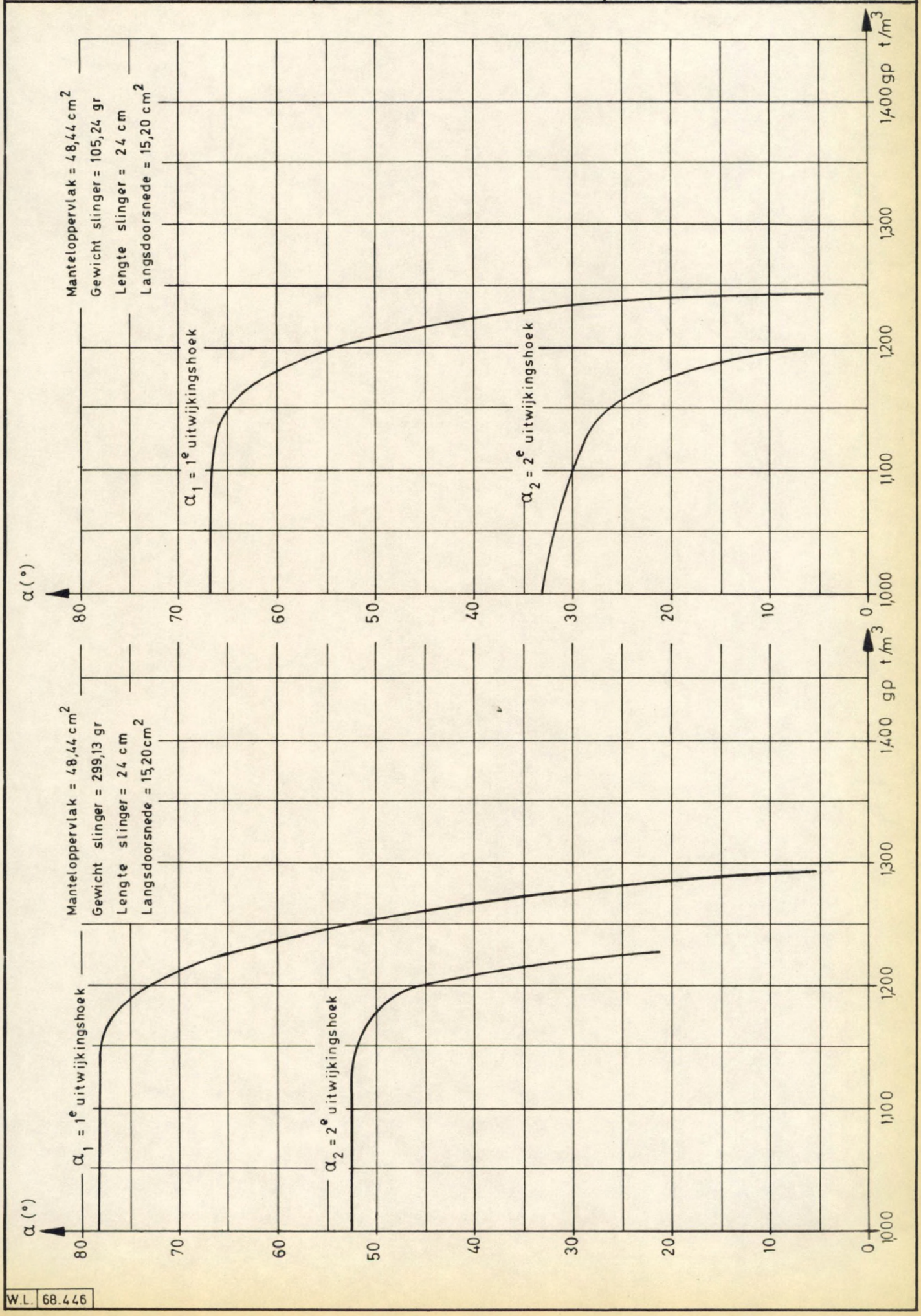
Het schip zal dus 2,08m in het slib doordringen in plaats van 2,50 m.

./..

TOEGANGSGEUL
ZEESLUIS ZANDVLIET
Metingen van 21/8 tot 3/9/68

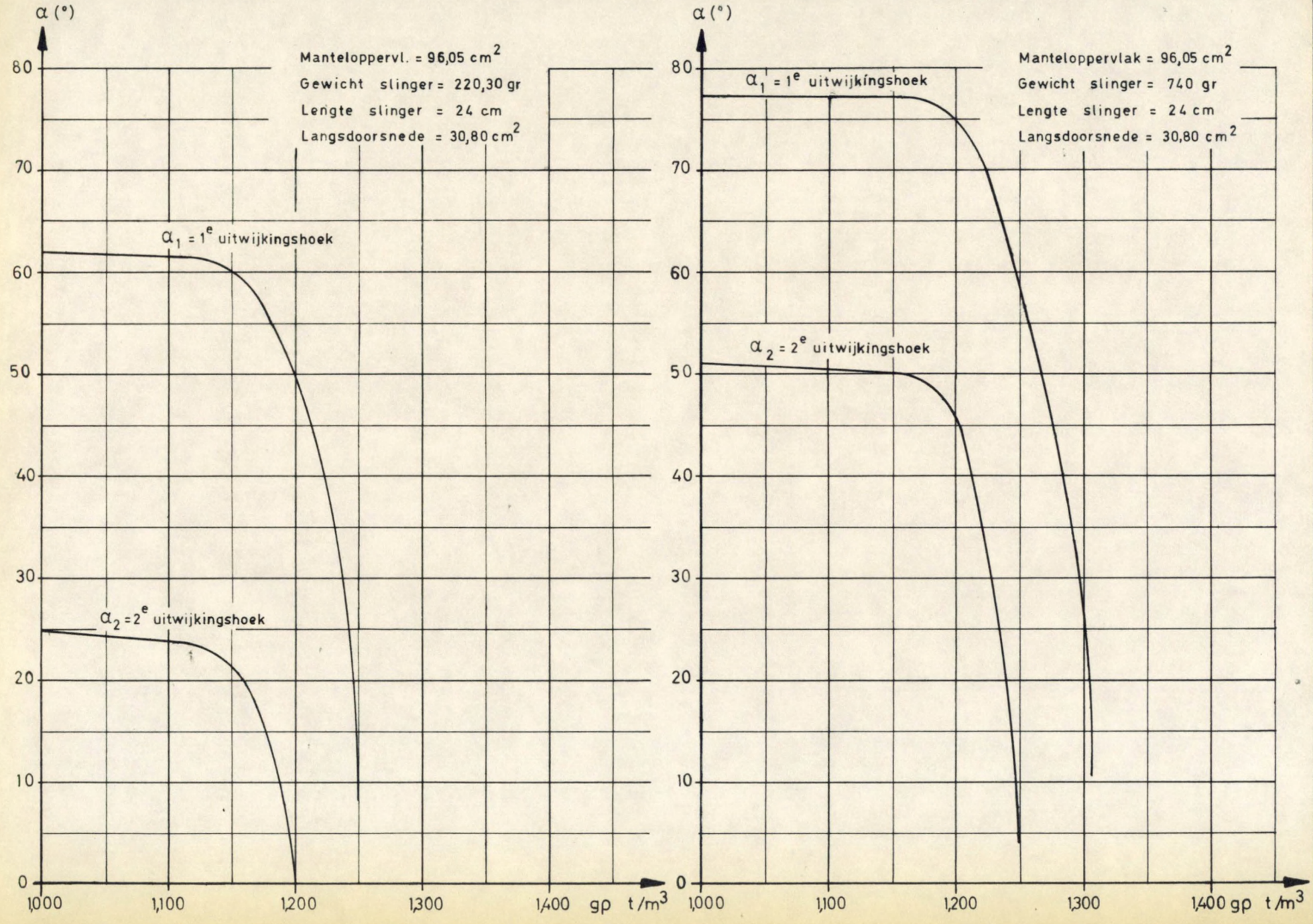
SLINGERPROEVEN

Fig. 20



W.L. 68.446

W.L. 68.445



TOEGANGSGEUL
ZEESLUIS ZANDVLIET
Metingen van 21/8 tot 3/9/68

SLINGERPROEVEN

Fig. 19

Daar het stijgen van het water bij opkomende tij traag gebeurt, mag men aannemen dat een schip onderworpen is aan statische krachten.

We hebben daarom oriëntatieproeven gedaan om te zien vanaf welk specifiek gewicht van het slib de zuigkrachten zeer belangrijk worden.

De proef bestaat er in de zuigkracht (z) te meten van slib met een specifiek gewicht (g_ρ) op een voorwerp met een gewicht (g) bij middel van een dynamometer.

De zuigkracht (z) is gelijk aan de kracht (k) nodig om het voorwerp uit het slib te trekken en gemeten met de dynamometer, verminderd met het gewicht (g) van het voorwerp

$$\text{of} \quad z = k - b$$

Fig.21 toont het schema van de opstelling.
Fig.22 geeft de evolutie van de zuigkracht in functie van het specifiek gewicht.

De zuigkrachten zijn zeer klein tot een specifiek gewicht van 1,15 t/m3. Vanaf 1,15 t/m3 tot 1,20 t/m3 stijgt de zuigkracht geleidelijk. Vanaf 1,20 t/m3 wordt de zuigkracht zeer belangrijk.

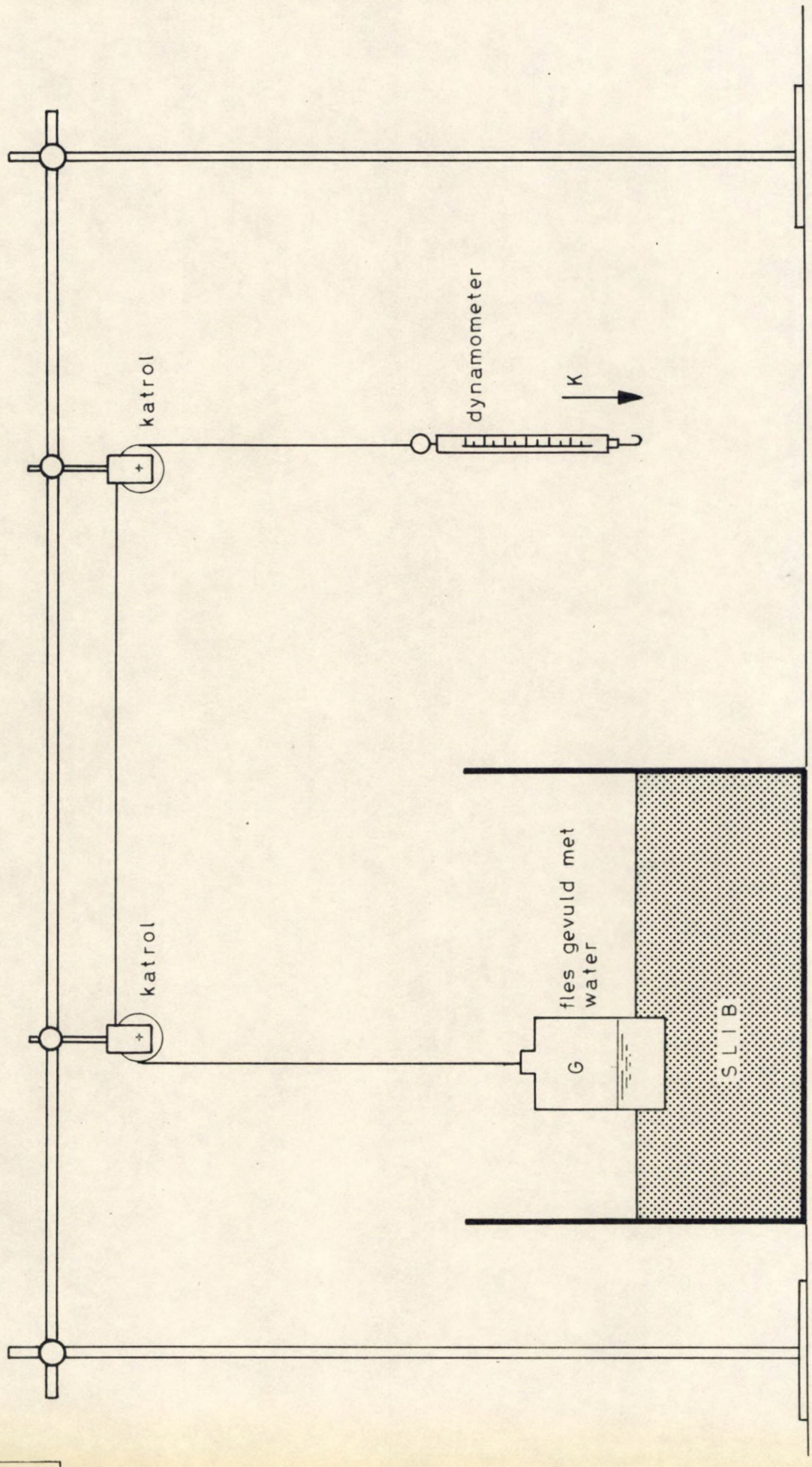
De grafiek geeft hetzelfde beeld als de grafieke van de slingerproeven. We mogen dus aannemen dat de fysiche eigenschappen van het slib volledig veranderen vanaf een specifiek gewicht begrepen tussen 1,20 t/m3.

Laten we de nadruk leggen op het feit dat deze proeven alleen kwalitatieve gegevens verschaffen en dat ze niet mogen gebruikt worden om zuigkrachten in de natuur te ramen.

./..

Opstelling voor het meten van de zuigkracht van slib met een bepaald soortelijk gewicht

Fig. 21

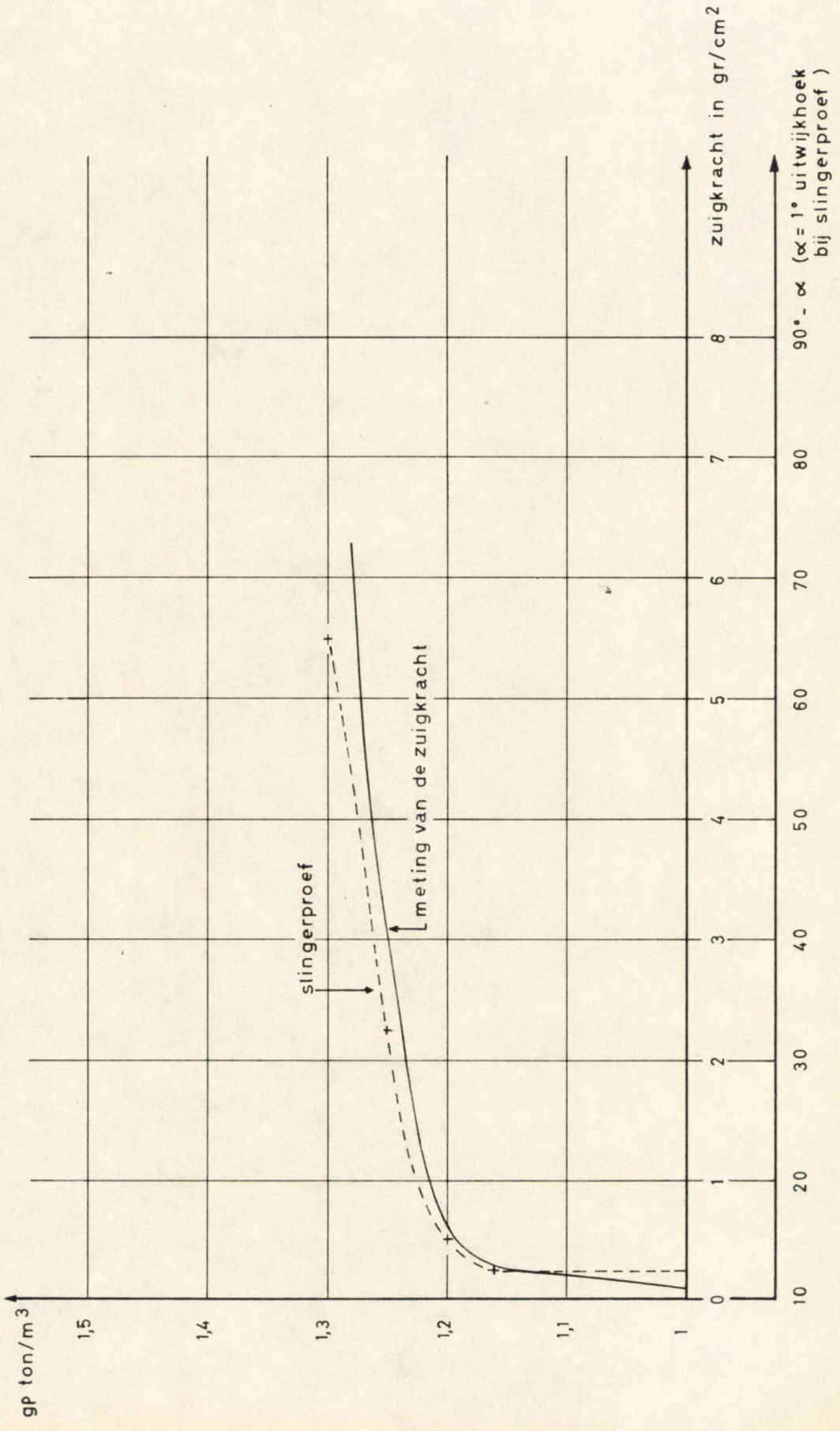


Z = zuigkracht (gram)
G = gewicht fles + water
K = trekkracht nodig om de fles los te trekken uit het slib

Z = K − G

W.L. 68.726

TOEGANGSGEUL ZEESLUIS ZANDVLIET	Zuigkracht in functie van het soortelijk gewicht Metingen van 21/8 tot 3/9/68	Fig. 22



W.L. 68.727

DERDE DEEL

ENKELE OORZAKEN VAN HET AANSLIBBEN VAN DE TOEGANGSGEUL TOT DE ZEESLUIS VAN ZANDVLIET EN HET BOUWDOK VAN DE NIEUWE TUNNEL E3.

In de huidige stand van de studie schijnt het zoutgehalte van het water een van de meest voorname oorzaken van de aanslibbing te zijn. Het is zeker dat de factoren gemiddelde troebelheid, temperatuur en bovendebiet de aanslibbing beïnvloeden. Nochtans speelt het zoutgehalte nog een bijzondere rol in twee mechanismen.

Het doet vooreerst zijn invloed gelden op de floculatie van de fijne deeltjes. Vervolgens verwekt het zoutgehalte, in de toegangsgeulen tot de sluizen en dokken, densiteitsstromingen die de hoeveelheid vaste stoffen, meegevoerd door de stroom, doen toenemen.

Invloed van het zoutgehalte op de floculatie van de suspensies.

Mechanisme van de floculatie.

De kleisoorten bestaande uit colloïdale deeltjes hebben een elektrische lading die het rechtstreeks gevolg is van de structuur van deze stoffen. In oplossing vormt deze lading rond de deeltjes lagen anionen of kationen. Samen vormen zij wat men noemt " de dubbellaag ".

Het uitvlokken van de kleisoorten kan vele oorzaken hebben.

De floculatie is onderworpen aan het betrekkelijk belang van de aantrekkings- en de afstootkrachten tussen de stofdeeltjes onderling.

./..

Er zijn drie soorten afstotingskrachten.

- elektrostatische afstoting = wanneer de twee dubbellagen hetzelfde teken hebben ;
- de afstotingskracht van Born, die belet dat twee kristalroosters in mekaar dringen;
- de afstoting ten gevolge van de absorptie van oplosmiddelen.

Er zijn eveneens drie soorten aantrekkingskrachten.

- de aantrekkingskrachten van Van der Waals, weinig krachtig maar aanvullend.
- de elektrostatische krachten, ingeval de twee "dubbellagen" van tegengesteld teken zijn.
- de overbruggingskrachten , in het geval van polyelektrolyten.

Laten wij de invloed nagaan van de hoeveelheid elektrolyten in oplossing op de floculatie.

De krachten van Born en van Van der Waals worden niet gewijzigd door de aanwezigheid van het elektrolyt.

In zuiver water verhindert de elektrostatische afstoting, die een gevolg is van de "dubbellagen", in grote mate de floculatie.

Een kleine hoeveelheid elektrolyt vormt een samendrukking van "dubbellagen". De afstotingskrachten blijven overheersend. De elektrostatische aantrekkingskracht vermindert, hetgeen de wederzijdse floculatie verhindert.

Wanneer de hoeveelheid elektrolyten vermeerdert, worden de afstotingskrachten minder en minder afdoende tegenover de aantrekkingskrachten. Alzo bekomt men een verhoging van floculatie.

./..

Het ontvlokken of peptisatie kan drie oorzaken hebben.

- zekere elektrolyten, in zeer kleine hoeveelheden aanwezig, kunnen een omkering van teken verwekken van een van de "dubbellagen" en alzo de floculatie verhinderen.

- de toevoeging van alcalische stoffen kan een omkering doen ontstaan in het teken van de "dubbellaag" door het veranderen van de pH.

- de organische stoffen ontbonden onder de vorm van anionen of kationen kunnen ook de suspensie peptiseren.

De organische macromoleculen kunnen eveneens de floculatie beïnvloeden. Een zeer kleine hoeveelheid hiervan zal in aanwezigheid van een zout de floculatie verwekken. Daarentegen zal een grote hoeveelheid van deze macromoleculen de floculatie verhinderen.

Proeven gedaan in het laboratorium voor scheikunde van de vaste stoffen van de Vrije Universiteit van Brussel (W1) tonen duidelijk de invloed van het zoutgehalte op de floculatie van de suspensies in het Scheldewater.

De hierbijgevoegde foto's illustreren deze verschijnselen. Iedere foto toont ons tien maatglazen gevuld met dezelfde suspensie maar gemengd met water van een verschillend zoutgehalte. Het maatglas uiterst rechts (10) bevat water genomen in de Schelde dicht bij de zee. Het maatglas uiterst links (1) bevat gedistilleerd water.

De reeks foto's tonen ons de evolutie aan van de sedimentatie in functie van de tijd.

./..

De floculatie is zeer klein wanneer het zoutgehalte kleiner is dan 1‰. Vanaf dit zoutgehalte vermeerdert de floculatie en wordt praktisch volledig bij een zoutgehalte van 5‰.

De fijne suspensies in de Schelde en bijrivieren bevinden zich in een toestand van zwakke floculatie zolang het zoutgehalte kleiner is dan 1‰. De valsnelheid van de deeltjes is zeer klein.

In de streek van Antwerpen varieert het zoutgehalte in de loop van het jaar van iets minder dan 1 ‰, in de natte vochtige periode, tot 15‰ tijdens de droge periode. Dat wil zeggen dat er zich in de omgeving van Antwerpen een zoutmuur bevindt die de fijne deeltjes, komende van de opwaartse kant, doet floculeren.

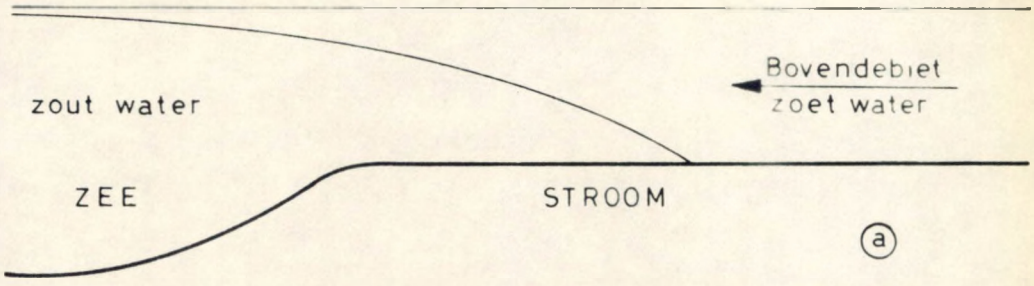
De sedimentatie van een gefloculeerde suspensie gebeurt sneller dan die van een suspensie zonder floculatie. Wij mogen zeggen dat bij gelijke troebelheid de aanslijking veel groter is, in de omgeving van Antwerpen, in een droge dan in een natte vochtige periode.

<u>Invloed van het zoutgehalte op wateruitwisselingen tussen de Schelde en de toegangsgeul tot de sluizen of open dokken</u> :

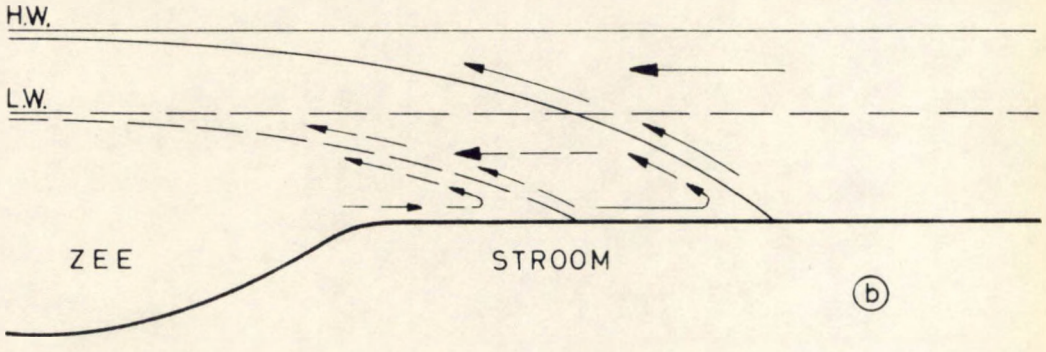
Om meer klaarheid te scheppen gaan wij deze fenomenen zoveel mogelijk trachten te vereenvoudigen.

In estuaria heeft men een bovendebiet (zoetwater) en een tijdebiet. Bij de vloed dringt het zeewater de stroom binnen en trekt zich terug met de eb. In estuaria met een groot bovendebiet en een klein tijverschil zal het zoet bovenwater zich in zeer geringe mate mengen met het zeewater. Men bekomt aldus wat " een zoutwig" wordt genoemd ; het zoetwater stroomt boven het zoutwater naar de zee(fig. a).

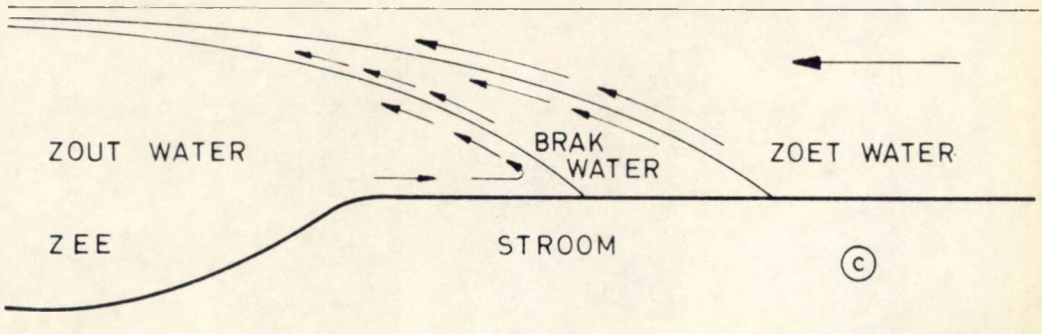
./..



Het zeewater ligt stil als er geen menging gebeurt aan het scheidingsoppervlak. Dit is echter nooit het geval. Een gedeelte van het zeewater wordt teruggestuurd naar de zee als brakwater in de bovenlaag en wordt vervangen door zeewater dat in de onderlaag opwaarts stroomt. Men bekomt aldus twee boven elkaar liggende lagen zout- en zoetwater die in tegengestelde richting stromen. Dit gebeurt tot op een zeker punt stroomopwaarts dat zich horizontaal verplaatst met het tij (fig. b).



Hoe groter het tij, hoe kleiner het bovendebiet en hoe ingewikkelder de vorm van de stroom, des te beter gebeurt de menging (fig. c).



In het Scheldeëstuarium heeft men een goede woeling. Het tijverschil is groot, het bovendebiet klein. Het water wordt geleidelijk zouter naarmate men de zee nadert. De verticale zoutgradiënt varieert zonder sprongen en is zeer klein. Het water stroomt over de hele diepte naar de zee. Naarmate men zich van zee verwijdert wordt het zoutgehalte kleiner. In een droge periode is de zoutgradiënt veel steiler dan in een vochtige periode. Deze zoutgradiënt verplaatst zich horizontaal met het tij, stroomopwaarts met de vloed , stroomafwaarts met de eb.

Het horizontaal getij vormt dus in de Schelde, bij de ingang van de dokken en de sluizen , een verandering van het zoutgehalte in de loop van het getij.

Het verticaal getij volgt een periodieke wet die mag vergeleken worden met een sinusoïde.

De verandering van het zoutgehalte volgt eveneens een wet die overeenkomt met de getijcurve. Zij wijkt lichtjes van deze laatste af in de tijd. Stijging van het zoutgehalte = vloed. Vermindering van het zoutgehalte = eb.

Wij gaan vereenvoudigen en voorlopig veronderstellen dat de afwijking in de tijd tussen de extrema van de curve van het zoutgehalte en deze van het getij nul is, terwijl de vloed en de opwaartse beweging van het getij gelijktijdig gebeurt.

Bij vloed stijgt het zoutwater in de Schelde. Op zeker ogenblik zal het water van de stroom meer zout bevatten, dus zwaarder zijn, dan het water dat zich in de dokken bevindt. Dit zoutwater zal neiging vertonen om binnen te dringen in de dokken onder het zoetere water dat wordt teruggestuwd in de stroom.

./..

Daar op dit ogenblik het water stijgt moeten wij bij de densiteitsstromingen de stroomsnelheden veroorzaakt door het getij bijvoegen. Bij eb hebben wij hetzelfde verschijnsel maar dan omgekeerd.

Wij bemerken dat het zoutgehalte densiteitsstromingen doet ontstaan die het uitwisselen van water tussen de rivier en het dok doen toenemen.

In werkelijkheid zijn deze natuurverschijnselen veel ingewikkelder maar het resultaat is hetzelfde.

Bij de berekening van de hoeveelheid vaste stoffen in suspensie die zich neerzetten in het dok of de toegangsgeul moet men als factor het werkelijke volume, dat uitgewisseld wordt, laten tussenkomen en niet het oppervlak van het dok vermenigvuldigd met de hoogte van het getij.

De figuren in bijlage II tonen de opmetingen gedaan in het droogdok van de tunnel E3.

De densiteitsstromingen komen tot uiting in de grafieken van de snelheid en van het zoutgehalte in functie van de diepte. Laten we hierbij nog vermelden dat bij de vloed het zoutwater dat het dok langs de bodem binnendringt gewoonlijk zeer geladen is met vlokken. Monsters genomen op een verticale tonen aan dat de turbiditeit van het binnenstromend water veel hoger ligt dan die van het buitenstromend water. Het openen en sluiten van de sluisdeuren schijnt weinig invloed te hebben op dit verschijnsel.

De snelheid van de zoutwig wordt gegeven door volgende formule :

$$v = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\Delta d}{d}\, gh}$$

./..

Δd = densiteitsverschil

d = densiteit zoutwater

g = versnelling van de zwaartekracht

h = hoogte

De belangrijkste factor is de amplitude van de zoutvariatie over een getij. Deze verschilt volgens de plaats in de Schelde en de periode van het jaar.

In een natte periode is deze amplitude praktisch nul aan de E3 tunnelwerken en het zoutgehalte is ongeveer nul. In Zandvliet daarentegen kan op dat ogenblik het zoutgehalte een belangrijke variatie ondergaan met het tij, niettegenstaande de lage absolute waarden.

In Breskens is het zoutgehalte zeer hoog, maar de zoutvariatie zeer klein.

In een droge periode zullen het zoutgehalte en de amplitude van de zoutvariatie stijgen aan de tunnelwerken E3. Aldaar zal de wateruitwisseling tussen bouwdok en Schelde voor eenzelfde tij groter zijn in de zomer dan in de winter.

*

* *

./..

VIERDE DEEL

VERGELIJKING VAN DE AANSLIBBING IN HET BOUWDOK VAN DE E3 TUNNEL, MET DEZE IN DE TOEGANGSGEULEN TOT DE SLUIZEN VAN DE HAVEN VAN ANTWERPEN.

De evolutie van de aanslibbing in het bouwdok van de tunnelelementen van de nieuwe E3 tunnel geeft ons alleen kwalitatieve aanduidingen. Inderdaad werd de toestand er voortdurend gewijzigd door baggerwerken.

In het bouwdok hebben we voor de eerste maal de densiteitstromingen kunnen meten. Er werden toen geen suspensiemetingen verricht daar deze geen zin hadden, gezien de baggerwerken.

De aanslibbing in de toegangsgeul tot de Zandvlietsluis is een natuurlijk verschijnsel dat voorzien werd en mag vergeleken worden met de aanslibbingen die reeds werden opgemerkt in de andere toegangsgeulen, zowel in de haven van Antwerpen als in buitenlandse havens.

We hebben twee mogelijke oorzaken van de aanslibbing onderzocht, namelijk de floculatie van het suspensiema en de densiteitstromingen.

Men heeft echter nog niet kunnen uitmaken waarom de aanslibbing zich stabiliseert op een cota (die ongeveer 9,50 m onder laagwater ligt (ongeveer 14 m onder hoogwater). Sommigen beweren dat de drempel tussen de Schelde en de toegangsgeul de oorzaak is.

./..

Men heeft wel vastgesteld dat de scheepvaart de aanslibbing in de as van de toegangsgeul tegenwerkt. Dit is te wijten aan het feit dat een schip een woeling veroorzaakt die het slib terug in suspensie brengt.

In het vervolg van deze studie zal dit probleem worden onderzocht.

We hebben het peil van het slib bij de sluisdeur opgemeten. Sonderingen werden gedaan met een pomp en met een echosounder . De oppervlakte van het slib daalt naar de sluisdeur met een helling van 4 % . Bij de deur zelf ligt geen slib op de betonhodem. Deze verdieping wordt veroorzaakt door de grote woeling teweeggebracht door elke schutting. Fig.23 toont een langsprofiel genomen in de as van de toegangsgeul op 24.6.68 . De aanslibbing wordt dus beïnvloed door de schuttingen, door de scheepvaart, door de drempel in de Schelde, door de afmetingen van de toegangsgeul enz.

*

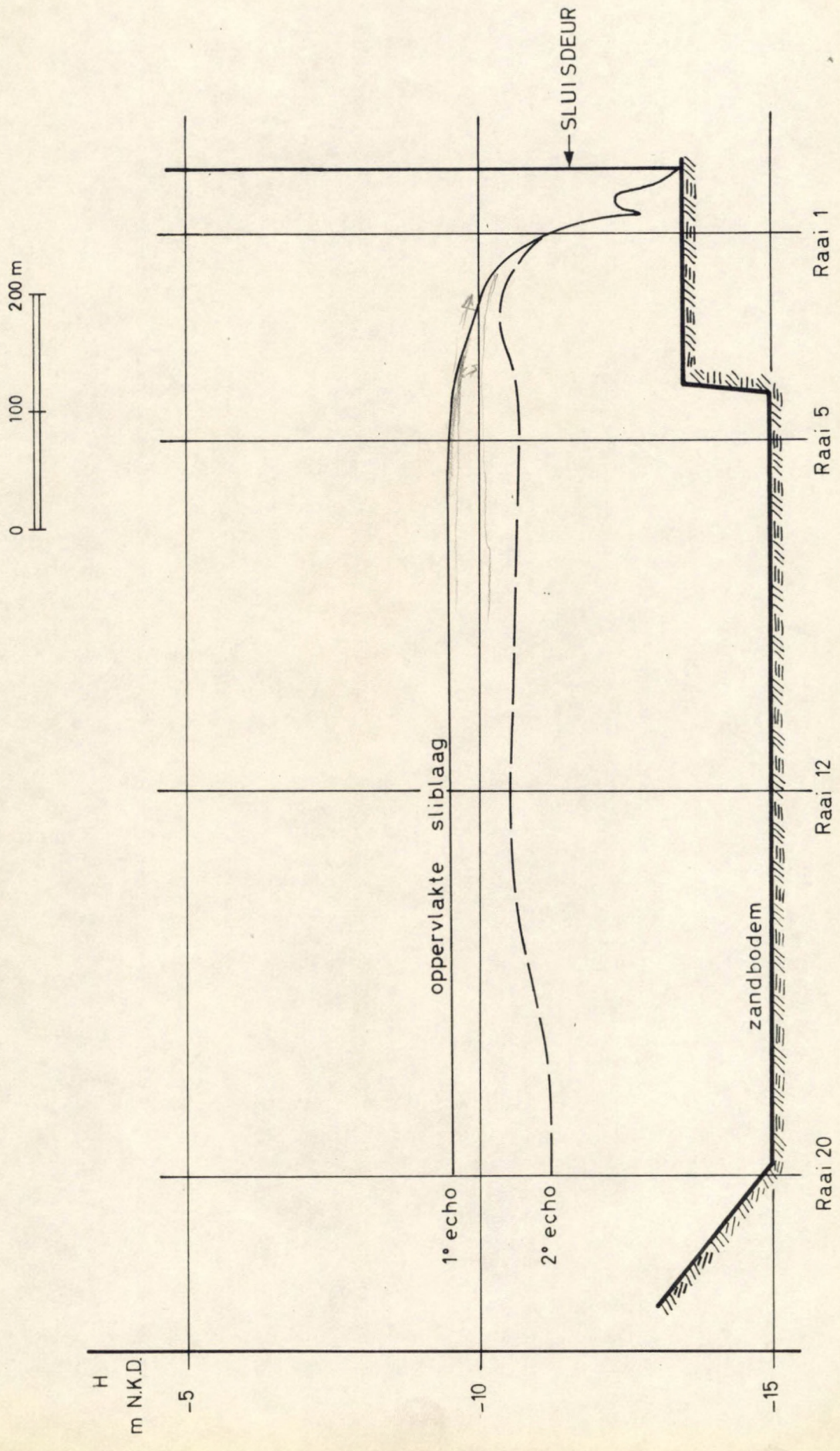
* *

./..

TOEGANGSGEUL
ZEESLUIS ZANDVLIET

Langsprofiel in de as van de toegangsgeul
Toestand op 24/6/68

Fig. 23

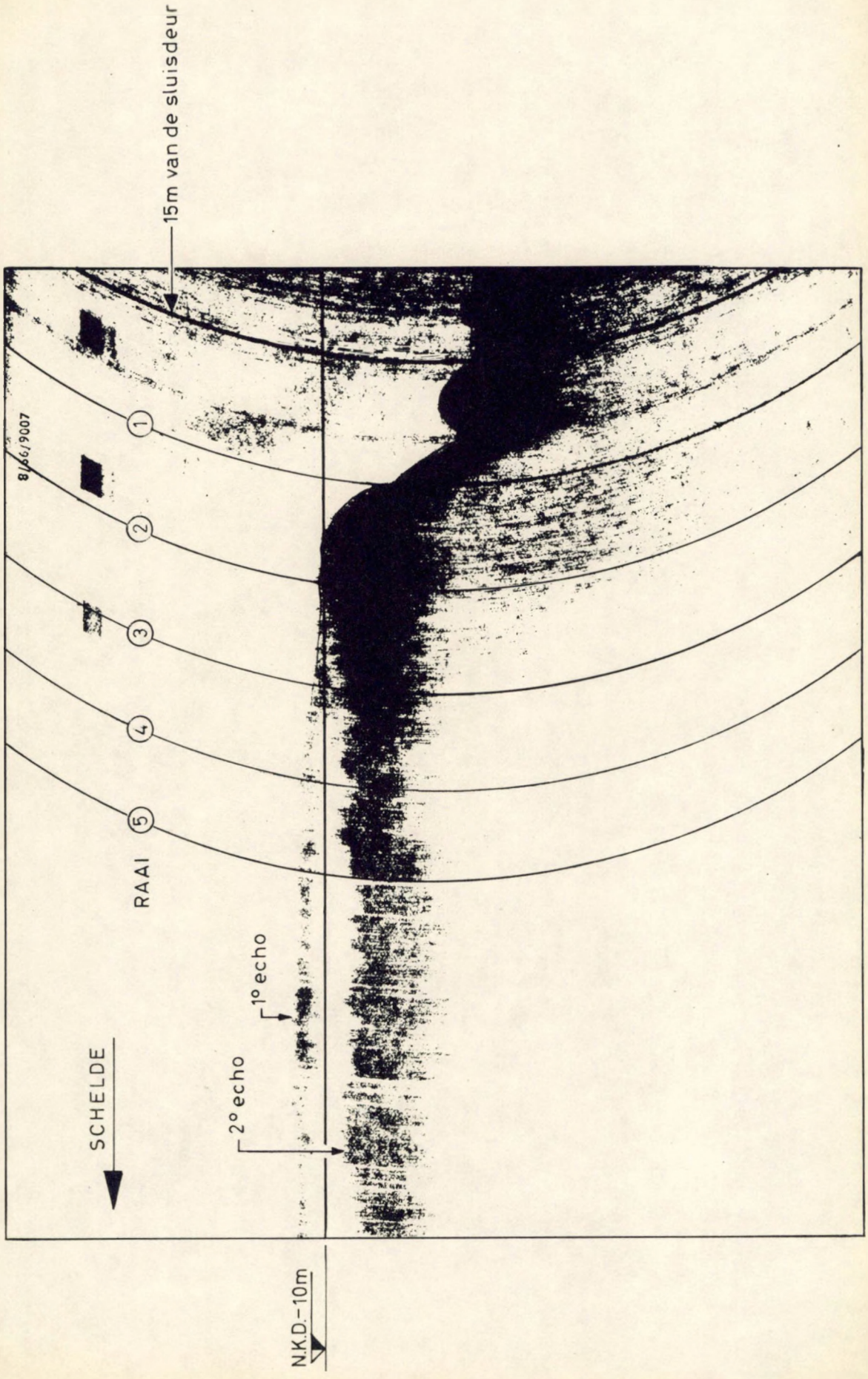


W.L. 68.714

TOEGANGSGEUL
ZEESLUIS ZANDVLIET

Langsprofiel in de as van de toegangsgeul
gemeten met de echosounder
Toestand op 24/6/68

Fig. 24



W.L. 68.731

BESLUIT.

De studie van de sedimentologie van de Westerschelde die door het Waterbouwkundig Laboratorium gedaan werd, bracht reeds enkele aspecten van het sedimentatiemechanisme in toegangsgeulen aan het licht.

Het belang van het zoutgehalte op het aanslibbingsmechanisme (floculatie en densiteitstromingen) werd aangetoond.
In de praktijk is het echter onmogelijk het zoutgehalte te beïnvloeden. Men kan immers moeilijk beletten dat de gefloculeerde suspensie, die bepaald wordt door de zoutlimiet die zich verplaatst in de streek van de haven van Antwerpen, in deze zone sedimenteert.

De densiteitsstromingen in grote toegangsgeulen kunnen gewijzigd worden door de afmetingen van de toegangsgeulen te veranderen; zij kunnen echter niet uitgeschakeld worden.

Peilingen met een echosounder geven slechts weinig inlichtingen, de aanslibbing kan tot nu toe slechts gemeten worden door op regelmatige tijdstippen boringen (monstername) te verrichten.

Voor de scheepvaart is het belangrijk te weten op welke diepte het slib een soortelijk gewicht groter dan 1,10 ton/m3 en 1,15 ton/m3 bereikt. Een schip wordt reeds sterk in zijn bewegingen gehinderd wanneer het vaart door een slib met soortelijk gewicht 1,10 ton/m3; indien het soortelijk gewicht van het slib een waarde van 1,15 ton/m3 zou bereiken worden de zuigkrachten uitgeoefend op de romp ontoelaatbaar groot.

Het slib zet zich neer met een soortelijk gewicht van 1,05 ton/m3 en gedraagt zich zoals een vloeistof. Na konsolidatie bekomt men een soortelijk gewicht van 1,5 tot 1,6 ton/m3. Het slib kan dan vergeleken worden met klei.

./..

Het slib is samengesteld uit vaste stoffen en veel water. Deze vaste stoffen bestaan uit ± 85% mineralen en ± 15% organische stoffen. De Mineralen zijn voornamelijk kwarts, kleimineralen, calciumcarbonaat en ijzerhydroxiden. De korrelverdeling van het slib is zeer fijn. De meeste korrels zijn kleiner dan 30 micron . De mineralogische samenstelling van het slib in de toegangsgeul is homogeen. De korrelverdeling is wel wat grover bij de Schelde dan bij de sluisdeuren.

De intensiteit van de aanslibbing is groter bij de Schelde dan bij de sluisdeuren. In de as van de sluis is de aanslibbing kleiner omdat de scheepvaart het slib van de bovenste lagen terug in suspensie brengt .

Tegen de sluisdeur wordt de sedimentatie tegengewerkt door de waterlozingen bij de schuttingen.

VOORGESTELD PROGRAMMA VOOR 1969.

Vanaf december 1968, na de baggerwerken, zal men opnieuw de evolutie van de aanslibbing zeer nauwkeurig volgen. Er zal ook getracht worden een bilan op te maken van de wateruitwisseling tussen de Schelde en de toegangsgeul te Zandvliet en de hoeveelheid vaste stoffen die zich neerzetten in de toegangsgeul.

Borgerhout , November 1968

De Ingenieur van Bruggen en Wegen,
belast met de studie,

J.J.PETERS.

De Hoofdingenieur-Directeur van
Bruggen en Wegen,
Directeur van het Waterbouwkundig
Laboratorium,

A.STERLING.

LIJST DER SYMBOLEN

$g\ \rho_s$ = specifiek gewicht droge stoffen t/m3

$g\ \rho$ = specifiek gewicht nat slib t/m3

w = watergehalte in % droge stoffen

P_α = gewicht droge stoffen per m3 met slib t/m3

h = hoogte van de sliblaag in m t.o.v. de zandbodem

H = hoogte in m N.K.D.

P = gewicht sediment

V = volume sediment

α = uitwijkingshoek van de slinger (slingerproeven)

d = densiteit

BIBLIOGRAFIE

B 1 BERTHOIS L. 1958. Sédimentation dans l'estuaire de la Loire pendant la crue de mars 1957.
C.R. Académie des Sciences . 19 mai.

B 2 BERTHOIS L. 1958. Les modalités d'envasement dans l'estuaire de la Loire.
C.R. Académie des Sciences . 6janvier.

B 3 BERTHOIS L. 1956. Comportement du bouchon vaseux dans l'estuaire de la Loire.
Communication aux IVe Journées de l'Hydraulique.
Société Hydrotechnique de France. juin.

B 4 BERTHOIS L. CHATELIN-MARCOU. Influence de la salinité et de la température sur la vitesse de sédimentation dans les eaux de l'estuaire de la Loire.
C.R. Académie des Sciences . 17 août .

B 5 BOURCART J. - FRANCIS-BOEUF C. 1942. La vase.

B 6 BOWDEN K.F. 1967. Circulation and Diffusion.
Estuaries. American Association for Advancement of Science.

C 1 CODDE R. 1958. Het verloop van het zoutgehalte in de Zeeschelde.
Revue Génie Civil. Construction . Vol. I, n° 6.

H 1 HANSEN D.V. 1967. Salt balance and circulation in partially mixed estuaries.
Estuaries. AAAS.

./..

H 2 HORRER P.L. 1967. Methods and Devices for Measuring Currents. Estuaries . AAAS.

L 1 LARRAS J. 1964. Embouchures estuaires et deltas. Eyrolles.

M 1 MANGELSDORF P.C. 1967. Salinity measurements in Estuaries. AAAS.

P 1 PETERS J.J. 1965. Les vases d'anciens bras de l'Escaut. Rapport du Laboratoire de Recherches Hydrauliques-Borgerhout -Anvers. Etude faite à l'Université Libre de Bruxelles.

P 2 PETERS J.J. 1965. Les sédiments et suspensions de l'Escaut. Rapport du Laboratoire de Recherches Hydrauliques-Borgerhout-Anvers. Etude faite à l'Université Libre de Bruxelles.

P 3 POSTMA H. 1967. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. Estuaries. AAAS.

P 4 PRITCHARD D.W. 1967. Observations of circulation in coastal plain estuaries. Estuaries AAAS.

R 1 RILEY J.P.-SKIRROW G. 1966. Chemical Oceanography. Tome I & II. Academic Press. London and New-York.

./..

S 1 SANTEMA P. 1953. Coagulatie van rivierslib bij ontmoeting met zeewater.
De Ingenieur. 17 april , n° 16.

S2 SCHULTZ E.A. & SIMMONS H.B. 1957. Fresh water-salt water density currents, a major cause of siltation in estuaries. Communication au XIXe Congrès International de Navigation. Londres.

T 1 TERZAGHI K.V. 1939. Théorie du tassement des couches argileuses DUNOD.

W 2 WILSON G.A., ALLEN F.H. , STEPHENS N.D.E. 1957. The Conservancy of the River Thames.
Communication au XIXe Congrès International de Navigation. Londres.

W 3 WOLLAST -1967. Contribution à l'étude de l'envasement de l'Escaut. Rapport Interne. Laboratoire de Chimie des solides. Université Libre de Bruxelles.