

doc-id  
7705719

STORMVLOEDKEERING  
BIESBOSCH.



C 752  
(D)



Waterloopkundig Laboratorium.



Verslag inzake het onderzoek van een automatisch  
werkende stormvloedkeering ten behoeve  
van de Brabantsche Biesbosch.

Modelmeting nr. 89.

I N H O U D.

Deel I.

1. Inleiding .....	1.
2. Eischen .....	2.
3. Typen van in aanmerking komende construc- ties .....	2.
4. Plaats en afmetingen van het kunstwerk, bene- vens de omstandigheden, waaronder het sluiten zal moeten geschieden .....	4.
5. Doel en resultaten van het modelonderzoek .....	8.

Deel II.

6. Het model en de metingen.....	1.
7. Het onderzoek van het type A 1 .....	5.
8. " " " " " A 2 .....	16.
9. " " " " " B 1 .....	20.
10. Slotopmerkingen , , , .....	23.

F I G U R E N.

Deel I.

1. Schetskaartje Biesbosch.
2. Getijkrommen.
- 2a. Berekende standen Biesbosch.
3. Typen afsluitorganen.

Deel II.

4. Model type A 1.
5. Voorbeeld drukdiagram.
6. Voorbeeld diagram langskracht.
7. Zinksnelheden.
8. Voorbeelden drukverloop type A 2.
9. Drukvermindering type A 2.
10. Model type B 1.
11. Momenten bij type B 1.

F O T O ' S.

1. Overzicht model.
2. Details bij type A 1.
3. Details bij type A 2 en B 1.

o-o-o-o-o

Verslag inzake het onderzoek van een automatisch  
werkende stormvloedkeering ten behoeve van de  
Brabantsche Biesbosch, uitgevoerd door het Water-  
loopkundig Laboratorium te Delft.

Deel I.

1. Inleiding.

Tengevolge van de in de laatste decennia uitgevoerde en nog uit te voeren werken voor de afwatering en droogmaking van Noord-Westelijk Noord-Brabant worden de, op de Amer en in de Biesbosch, voorkomende hoogste waterstanden in aanmerkelijke mate verhoogd. Deze toestand is voor de belangen van de Biesbosch ongewenscht.

Om de bezwaren te ondervangen is een oplossing voorgesteld, welke omvat het maken van een waterkeerende dijk voor de geheele Biesbosch, waarin op een geschikte plaats een opening wordt gelaten. Deze opening is ruim genoeg om de dagelijksche beweging van eb en vloed normaal of nagenoeg normaal te laten voortbestaan. De hoge stormvloeden, b.v. die welke tot boven 2,00 m + N.A.P. reiken, worden daarentegen buiten de Biesbosch gehouden door het sluiten van de opening. De afsluiting moet automatisch tot stand komen.

Het onderhavige onderzoek heeft ten doel om in het algemeen de technische uitvoerbaarheid van de voor een dergelijke afsluiting in aanmerking komende constructies, na te gaan, en in het bijzonder, in hoeverre zij aan de hieronder genoemde voor dit geval te stellen eischen voldoen.

## 2. Eischen.

De aan de stormvloedkeerende constructie te stellen eischen zijn de volgende:

1<sup>e</sup>. De opening moet bij het overschrijden van een bepaalde, voor de Biesbosch hoogst toelaatbare, stand automatisch worden gesloten, en als regel ook alleen dan. Deze stand is voor het onderzoek vastgesteld op 2,00 m + N.A.P.

2<sup>e</sup>. Zij moet nog veilig werken bij het grootst mogelijke verval dat kan optreden.

3<sup>e</sup>. Het sluiten moet in korten tijd, nadat bedoeld peil is bereikt zijn voltooid, zoodat dit peil slechts weinig kan worden overschreden.

4<sup>e</sup>. De goede werking van de constructie mag niet door wind, golfslag, sneeuw, vorst, ijsgang, of andere invloeden worden belemmerd.

Dat de afsluiting, nadat het buitenwater weer beneden de boven bedoelde stand is gedaald, automatisch wordt opgeheven, is uit het oogpunt van veiligheid onnoodig; doch wel is het gewenscht dat dit openen zonder groote kosten in korten tijd kan worden bewerkstelligd.

## 3. Typen van in aanmerking komende constructies.

De organen welke in aanmerking komen voor de automatische afsluiting kunnen in twee hoofdtypen worden onderscheiden n.l.

A. die in werking worden gesteld door het bereiken van een bepaald peil, kortweg "niveautypen" genoemd.

B. die welke voor het sluiten bovendien een bepaald drukverschil, dus verval in de opening vereischen; aangeduid met "verval typen".

Tot de eerste groep kunnen worden gerekend

de volgende voorgestelde constructies (fig.3):

A<sub>1</sub>. Drijvende bakken, welke door geleide-  
rollen in sponningen, in pijlers of tegen conterforten  
slechts bewegingen in verticale zin kunnen uitvoeren;  
met het gewone getij op en neer bewegen en bij over-  
schrijden van een bepaald niveau volloopen, zinken  
en aldus de afsluiting tot stand brengen.

A<sub>2</sub>. Als A<sub>1</sub>, doch met deze wijziging dat  
het drijvend lichaam aan de bovenzijde door een dek is  
afgesloten, de hoogte en daarmee de inhoud zoover  
verminderd is als toelaatbaar is met het oog op het  
benoedig<sup>d</sup>e drijfvermogen, terwijl de verdere afsluiting  
gevormd wordt door één enkel schot. Dit schot kan zoo-  
wel middenop, als aan een der zijkanten van de bak  
zijn geplaatst.

A<sub>3</sub>. Klep draaibaar om een horizontale, bo-  
ven water gelegen as en voorzien van een luchtkist,  
welke drijft op het water, welke kist bij het bereiken  
van een bepaald peil volloopt, waardoor de klep dicht-  
valt.

Tot de tweede groep behooren:

B<sub>1</sub>. Een klep draaibaar om een horizontale, boven water  
gelegen as, in normale stand door een contragewicht  
geheel vrij van het water tegen een aanslag gedrukt;  
en die bij het bereiken van een bepaald peil met het  
ondereinde in het water komt. Hierdoor ontstaat een  
drukverschil tusschen vóór-en achterzijde van de klep,  
welk drukverschil de klep doet sluiten.

B<sub>2</sub>. Als B<sub>1</sub>, doch met deze variatie, dat bij het berei-  
ken van een bepaald peil de neerwaartsche beweging van  
de klep wordt ingeleid door de druk van een of meer  
vlotters, terwijl het verval de klep verder geheel  
sluit.

Andere oplossingen, zooals deuren draaiend  
om verticale assen, hebben zoo groote constructieve

of financiële bezwaren, dat ze niet voor nadere beschouwingen in aanmerking komen.

Het is niet de bedoeling om aan de hand van dit onderzoek een gedetailleerde oplossing aan te bevelen, doch slechts om de hydraulische eigenschappen der verschillende grondvormen te belichten.

Zeer wel mogelijk is dat ten slotte de best aan de gestelde eischen beantwoordende constructie in meer of mindere mate een compromis tusschen de verschillende onderzochte typen zal blijken te zijn.

4. Plaats en afmetingen van het kunstwerk, benevens de omstandigheden waaronder het sluiten zal moeten kunnen geschieden.

Als meest geschikte plaats voor het kunstwerk komt in aanmerking het Gat van de Visschen, een breede, vrij diepe geul, welke van uit de Amer de Biesbosch in de Zuidwestelijke hoek binnedringt, waar door een zeer groot deel van het vloedwater naar binnen stroomt en bij eb weer afvloeit (fig.1).

De waterkeerende dijk hierin is gedacht loopende van de Zuidpunt van de Vischplaat in Noord-Westelijke richting over de plaat, genaamd de jonge Deen, naar de polder Hooge Hof.

De in het ontwerp voorziene opening heeft een totale lengte van 120 m en een doorstromingsprofiel bij N.A.P. groot  $600 \text{ m}^2$ . De vloer van het kunstwerk komt hierdoor, afhankelijk van het te kiezen type van afsluitorganen te liggen op 6,00 m-N.A.P., respectievelijk 5,00 m-N.A.P.

Om verschillende redenen is het noodig te weten met welke ter plaatse te verwachten waterstanden en vervallen rekening zal moeten worden gehouden.



De normale getijden zijn van overwegend belang voor het benooid doorstroomingsprofiel en de aantasting van de bodem in de naaste omgeving van het kunstwerk, terwijl het verloop der stormvloed en voornamelijk van invloed zal zijn op de omstandigheden waaronder de afsluitorganen zullen moeten werken. In figuur 2 zijn vereenigd eenige belangrijke getijkrommen en waterstanden, n.l.:

a. de kromme voor het normale getij bij Deeneplaat.

b. die van de stormvloed van 1877 opgenomen aan de peilschaal te Moerdijk, welke kan gelden als type met zeer snelle rijzing.

c. een kromme, afgeleid uit de te Dordrecht in 1881 waargenomen getijlijn zooals die zou kunnen zijn bij verschuiving van het oogenblik van maximale windsterkte. Deze kromme kan gelden als voorbeeld van een stormvloed met langzame rijzing.

d. de hoogst bekende stand bij de Deeneplaat.

e. de tengevolge van de in § 1 genoemde omstandigheden te verwachten hoogste stand.

In fig. 2a is mede voorgesteld het waterbergend oppervlak van het binnen de keering gelegen gebied bij de verschillende waterstanden. Berekent men aan de hand van deze gegevens de in de opening te verwachten vervallen en stroomsterkten, dan komt men voor een stationnaire toestand tot onderstaande resultaten.

Laat men ter vereenvoudiging de invloed van de vorm van het gebied op het waterbergend vermogen buiten beschouwing en zij:

$z$  = het verval in de opening in cm.

$y$  = de stijging of daling van de Biesbosch in cm per uur.

$F$  = het waterbergend oppervlak van de Biesbosch bij de betreffende waterstand in ha.

$f$  = het doorstroomingsprofiel van de opening eveneens

bij deze stand in  $m^2$ , dan is, wanneer de doorstroo-  
mingscoëfficiënt van het kunstwerk gelijk aan één wordt  
gesteld:

$$z = \frac{1}{254,5} \left( \frac{yF}{f} \right)^2, \text{ of rond } 4 \times 10^{-3} \frac{y^2 F^2}{f^2},$$

of in cijfers:

stij- daling in cm/h:y ging	5	10	15	20	25	50	175	105	125
N.A.P.	0,045	0,18	0,40	0,72	1,1	4,5	10,1	18,0	28,0
Verval z bij een peil van +1,00 m	0,19	0,77	1,74	3,1	4,8	19,3	43,3	77,0	120,0
+2,00 m	2,35	9,4	21,2	37,8	59,0	236,0			

Het blijkt, dat bij de hooge standen, dus bij  
groot waterbergend vermogen van de Biesbosch, reeds  
voor een matige rijzing een groot verval noodig is,  
terwijl bij lage standen een zeer veel kleiner verval  
optreedt.

Als voorbeeld zijn in fig. 2a opgenomen de be-  
rekende getijlijnen met de vervallen voor de in fig.  
2 onder a en b gegeven gevallen.

Bij het normale getij blijkt de Biesbosch  
slechts enkele centimeters achter te blijven bij het  
getij buiten, terwijl de peilen van hoog en laag water  
binnen de afsluiting nagenoeg gelijk zijn aan die er-  
buiten.

Bij een stormvloed als van het type in 1877  
zou een maximaal verval optreden van 70 cm, terwijl  
dit op het oogenblik van sluiten, dus bij een stand  
van de Biesbosch van 2,00 m + N.A.P., nog 58 cm zou  
bedragen.

In verband met deze groote vervallen rijst de  
vraag of ook zonder dat de opening wordt afgesloten,

de stormvloedstand in de Biesbosch in beteekende <sup>en</sup> mate zou worden verlaagd. Een eenvoudige berekening doet zien, dat dit niet het geval is. Voor deze berekening, die als voorbeeld is bedoeld, is gebruik gemaakt van de stormvloed van 1877 (fig.2a). Er is ondersteld, dat van het oogenblik af, dat het peil in de Biesbosch tot + 200 cm is opgelopen, het oppervlak daarvan ( $F = 5000$  ha) en de grootte van de opening ( $f = 720$  m<sup>2</sup>) niet meer verandert. Dit wil zeggen, dat men het gebied, dat anders door het sluiten van de opening voor inloopen wordt behoed, beveiligt door de kaden op te hoogen.

Men wint hiermede slechts  $333 - 306 = 27$  cm ten opzichte van de toestand met geheel open Biesbosch. Wel zou de winst wat grooter zijn, wanneer de opening beperkt zou zijn tot  $600$  m<sup>2</sup>, die voor het doorlaten van het dagelijksche getij noodig is, doch daartegenover staat dat door het belemmeren van de instrooming naar de Biesbosch, in de Amer een hooger peil zou ontstaan, dan in 1877 het geval was.

Om een verlaging van beteekenis te bereiken is het dus wel degelijk noodig om de opening geheel, of nagenoeg geheel te sluiten.

Tijdens het sluiten zal het reeds aanwezige verval in belangrijke mate kunnen oploopen en wel door twee oorzaken:

In de eerste plaats zal de opening om constructieve redenen moeten zijn onderverdeeld in verscheidene kleinere. De afsluitorganen in die openingen zullen onafhankelijk van elkander werken. Hierdoor zal het waarschijnlijk zijn, dat niet alle organen gelijktijdig sluiten, waardoor het verval in de opening, die het laatste wordt gesloten, grooter wordt. Zoolang ten minste het buiten-water nog voldoende stijgt.

De tweede <sup>en</sup> belangrijkste oorzaak is gelegen in het feit dat de in het stroomende water aanwezige kinetische energie, bij plotseling afremmen van de stroomsnelheid, het peil van de buitenzijde van de zich sluitende constructie doet oploopen en aan de binnenzijde doet dalen. Het hierdoor teweeggebrachte verval kan het oorspronkelijke, vóór het sluiten bestaande, zelfs eenige malen overtreffen. De intensiteit van dit verschijnsel, dat onder andere bij proefnemingen aan de uitwateringsluizen bij den Oever werd geconstateerd, is afhankelijk van de snelheid van sluiten en van de vorm van de toeleiding<sup>en</sup>kanalen van het kunstwerk zelf.

Nog een reden voor het voorkomen van grootere vervallen in de opening is gelegen in het juist genoemde verschijnsel, dat de stormvloedden hooger komen dan vroeger, wanneer de Biesbosch niet meer geheel voor waterberging beschikbaar is. Daarmee gaat een snellere rijzing en dus ook een grooter verval bij het kunstwerk gepaard.

Er dient dus rekening mede te worden gehouden dat, althans gedurende een gedeelte van de beweging, het sluiten onder een verval van een tot twee meter zal moeten kunnen geschieden.

#### 5. Doel en resultaten van het modelonderzoek.

Het doel van het aan het Waterloopkundig Laboratorium opgedragen onderzoek, was om voor enkele der in aanmerking komende constructies (§ 3) na te gaan of zij voldoen aan de in § 2 gestelde eischen, en hoe zij zich onder de in § 4 besproken omstandigheden zullen gedragen.

De gestelde vragen kunnen aldus worden geformuleerd:

onder welke omstandigheden (verval en stroom)

1 -

de constructie al dan niet werkt en

of bij de ongunstigste omstandigheden het sluiten zonder schade voor de constructie mogelijk is.

Om deze vragen te kunnen beantwoorden is het noodig gegevens te verkrijgen omtrent de bewegingen van de afsluitorganen en de krachten die hierop werken. Deze grootheden kunnen in een model worden gemeten.

Dit model werd, nadat in de nazomer de opdracht voor het onderzoek was gegeven, in het Waterloopkundig Laboratorium gebouwd in October 1934. Het onderzoek duurde met eenige korte onderbrekingen tot October 1935 en werd uitgevoerd door den ingenieur bij het Waterloopkundig Laboratorium, ir. A. Blok.

Een volledige beschrijving van het onderzoek en van de gevonden resultaten is in de § 6 - 9 gegeven. Hier volgt allereerst een overzicht van de conclusies, waartoe het onderzoek heeft geleid.

#### Type A<sub>1</sub>.

Deze oplossing werkt onder alle mogelijke omstandigheden van verval en stroom. De grootste krachten op de constructie treden op bij het grootste verval; het onderzoek heeft zich dan ook in het bijzonder beziggehouden met het sluiten onder deze omstandigheden. Het heeft aangetoond, dat de horizontale krachten tengevolge van het verval en de verticale veroorzaakt door de drukvermindering onder de bodem als gevolg van de snelheid van het doorstroomende water, vrij groot kunnen zijn. De horizontale krachten zijn echter niet groter dan die, waaraan de constructie in gesloten toestand, weerstand zal moeten kunnen bieden. De verticale krachten hebben de neiging de beweging

van de bak te versnellen. Deze snelheid wordt bij dit type gelimiteerd door de snelheid waarmede de zinken <sup>de</sup> bak kan worden gevuld. Deze snelheid kan men naar willekeur beperken door de inloopopeningen te verkleinen. Gevaar voor beschadiging van de constructie, doordat de bak met te groote snelheid op de bodem komt, is dan ook niet te duchten.

De krachten, welke een gevolg zijn van mogelijke onsymmetrische verdeeling van het stroomingsbeeld zijn niet grooter dan die welke worden veroorzaakt door een geringe golfbeweging bij drijvende bak.

Het vastloopen van een of meer der geleidewielen veroorzaakt in het ongunstigste geval krachten welke belangrijk kleiner zijn dan die waarop wellicht zal moeten worden gerekend voor het geval zich onder de sluitende bak een hindernis (steen, e.d.) bevindt waardoor de constructie niet over de volle lengte op de aanslag steunt.

#### Type A<sub>2</sub>

Het voornaamste verschil met de vorige constructie is dat, tengevolge van het feit dat de waterverplaatsing gedurende het zinken niet toeneemt; de bij het type A<sub>1</sub> aanwezige factor, die het mogelijk maakt de snelheid van zinken binnen willekeurig te bepalen grenzen te houden, ontbreekt. Daardoor kan deze snelheid zoo groot worden dat gevaar voor beschadiging, zoowel van de caisson als van de vloer, bij het op de grond komen groot is. Zonder extra hulpmiddelen om dit gevaar te ondervangen (b.v. buffers) staat dit type dan ook zeker bij het vorige ten achter.

#### Type A<sub>3</sub>

Van dit type is geen model gemaakt, omdat ook zonder dat blijkt dat er de volgende nadeelen

aan kleven.

Om <sup>te</sup> voorkomen te sluiten tegen hoog buitenwater zal de klep het benedeneinde moeten richten naar dien kant, wat tengevolge heeft dat door een betrekkelijk geringe horizontale druk, b.v. tengevolge van ijs, de klep ontijdig sluit en dan gesloten blijft. Verder bestaat, evenals bij type A<sub>2</sub>, gevaar van te groote snelheid bij sluiten. Om evengoed regelbaar te zijn als type A<sub>1</sub>, zou men het eind van de klep, dat het verst van het draaipunt is verwijderd, moeten uitvoeren als een bak, die door regelbare openingen kan vollopen. In wezen komt dit neer op het type A<sub>1</sub> zelf. De geleiding geschiedt dan niet door wielen, doch door een as, die op eenige afstand zijdelings van het sluitende lichaam is geplaatst. Als voordeel van deze constructie zou men wellicht kunnen beschouwen het feit, dat deze wijze van bevestiging meer zekerheid geeft tegen onregelmatige beweging in langsrichting (stampen). Ook zou men de diepgang kunnen verminderen door de constructie ten deele uit te balanceeren; de vloer van het kunstwerk kan dan op een minder laag peil liggen.

#### Type B<sub>1</sub>.

Het aantrekkelijke van deze groep in het algemeen is dat zij de eigenschappen bezitten vol automatisch te werken, m.a.w. dat zij na sluiten zoodra zich een omgekeerd verval instelt, weder opengaan en hun normale stand innemen. Een ander voordeel is dat zij gedurende het grootste gedeelte van de getijperiode vrij hangen van de waterspiegel en dus het doorstroomingsprofiel niet, zooals dat bij drijvende lichamen het geval is, verkleinen; waardoor de <sup>de</sup> vloer minder diep behoeft te worden gelegd om eenzelfde nuttig profiel te verkrijgen.

Eventueel kan bij dit systeem de laagste waterstand waarbij sluiten reeds mogelijk is zonder bezwaar aanmerkelijk lager worden gesteld, omdat het openen bij eb toch automatisch geschiedt, in tegenstelling met de constructies van type A, waarbij het sluiten tot de werkelijke noodzakelijke gevallen dient te worden beperkt.

Het was dus zeer zeker gemotiveerd om in het model na te gaan of een dergelijke constructie aan de in § 2 genoemde eischen kan voldoen en of de uitvoering praktisch uitvoerbaar is.

Hierbij is op te <sup>merken</sup> ~~maken~~, dat afsluitorganen van het type B<sub>1</sub> in principe niet voldoen aan de gestelde eisch dat het sluiten alléén afhankelijk is van het peil aan de Biesboschzijde van de opening. De kracht, noodig om de klep in beweging te brengen, moet namelijk worden geleverd door het ter plaatse optredend verval, terwijl die kracht bovendien afhankelijk is van het aan dit verval blootgestelde oppervlak van de klep d.w.z. van de waterstand.

Het onderzoek in kwestie concentreert zich dus op de vraag: "Bij welke combinaties van waterstand en verval zal de klep sluiten en hoe hoog kan de waterstand in de Biesbosch oplopen, indien het hiervoor benodigde verval niet wordt bereikt en de klep niet sluit!"

Het resultaat van het modelonderzoek is als volgt samen te vatten.

Indien de klep in open stand, vrij boven het waterhangend, slechts met zeer geringe kracht tegen de aanslag steunt, dus nagenoeg uitgebalanceerd is, en het water de klep raakt bij een peil van + 70 cm moet er bij een peil van + 200 cm een verval van minstens 8 cm tusschen buiten- en binnenwater aanwezig zijn om de klep vrij te maken van de aanslag. Dat dit vrij groote verval noodig is laat zich als volgt ver-



klaren. Doordat bij het stijgen van het water een gedeelte van de klepconstructie onder water komt ondervindt dit gedeelte opdrijvende kracht welke op 4 à 5 cm waterdruk is te stellen. Bovendien zal het drukverschil tusschen boven- en onderzijde van de klep niet gelijk behoeven te zijn aan het verval tusschen buiten- en binnenwater; er is reden om aan te nemen dat het belangrijk minder is.

Pogingen om dit noodige verval te reduceeren door gunstiger vormgeving aan de onderzijde van de klep, hadden geen noemenswaardige verbetering tengevolge, terwijl van nog verder gaande hulpmiddelen, zooals schoepen, hetzij vast of draaibaar aan de klep, weinig effect is te verwachten.

Uit het staatje in § 4 blijkt, dat bij het peil van + 2,00  $\phi$ m een verval van 8 à 9 cm ontstaat, wanneer de Biesbosch met een snelheid van 10 cm per uur oploopt. Doordat in praktijk met het oog op wind- en sneeuwbelasting en om hinderlijk kleppen in open stand te voorkomen, het contragewicht en dus het tegenwerkend moment belangrijk grooter zal moeten zijn, wordt het benodigde verval nog grooter, wellisht 10 à 12 cm, en de daarbij behorende stijgsnelheid ongeveer 11 cm/uur. Dit beteekent dus dat in ongunstige omstandigheden de klep bij een stormvloed, welke boven het peil van + 200 met minder dan 11 cm/uur oploopt, het verval niet groot genoeg is om de klep te sluiten. Een dergelijke stormvloed komt wel niet veel voor, doch is toch niet uitgesloten. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de — + — + — + — lijn van figuur 2.

Doordat de klep met groote snelheid tegen de aanslagen zal botsen is het noodig ter voorkoming van schadeode beweging, althans tegen het einde sterk af te remmen; bijvoorbeeld door middel van hydraulische buffers.

Wat de in § 2 onder 4 gestelde eisch betreft, is het duidelijk dat bij deze constructie die normaal steeds in rust is, de kans op vastvriezen veel grooter is dan bij de, tengevolge van getijbeweging en eventueele golfslag voortdurend in beweging zijnde constructie's van het type A, terwijl bovendien de krachten, beschikbaar om de eenmaal vastgeraakte constructie weer vrij te maken, bij het type A vele malen grooter zijn dan bij de klep.

Resumeerende kan worden gezegd, dat de voor het sluiten van de klep beschikbare krachten, geleverd door een verval - klein genoeg om bij eventueel niet sluiten van de kleppen een toelaatbare stijging van de Biesbosch, te waarborgen - gering zijn in verhouding tot storende invloeden. Dit maakt, dat alleen hiermede geen, onder alle omstandigheden bedrijfszekere, oplossing is te verkrijgen.

#### Type B<sub>2</sub>.

Om het bezwaar dat, aan het vorige type kleeft, namelijk, dat het verval alleen een sluiten op het juiste tijdstip niet steeds kan waarborgen, te ontgaan, zou gebruik kunnen worden gemaakt van hulpmiddelen die de beweging inleiden en welke werken onafhankelijk van het verval. In aanmerking komen allereerst vlotters, zooals schematisch in fig.3 is aangegeven.

Bij nadere beschouwing blijkt dat, indien men slechts geringe vervallen wil toelaten, deze vlotters zeer groote afmetingen zullen moeten verkrijgen. Om bij 2,00 + N.A.P. de klep te bewegen tegen de hier voor genoemde krachten in, zullen de vlotters bij een nuttig drukverschil aan de klep groot respectie-

velijk 0 - 3 en 5 cm, een moment moeten leveren van  
35,2 - 18 en 9 tm (§ 9).

De praktische uitvoering hiervan wordt daar-  
door bezwaarlijk.

o-o-o-o-o-o-o-o

## DEEL II.

### 6. Het model en de metingen.

Om de toestanden te bestudeeren, die bij de afsluitorganen voorkomen, is het noodig in het model de onmiddellijke omgeving van die organen, dus de vloer, pijlers en landhoofden, na te bootsen. Het stond van te voren niet vast, of de stroom door de scheepvaartopening invloed zou hebben en, zoo ja, welke. Daarom werd het gewenscht geacht om ook deze opening in het model op te nemen.

Een andere vraag is, tot hoever het model zich in de stroomrichting moest uitstrekken. Er moet uiteraard voor worden gezorgd, dat de wijze waarop het water de afsluitorganen nadert, overeenkomt met de werkelijkheid. Daarvan is weinig bekend: de details van eventuele leidwerken, de ligging van de bodem en dergelijke zullen eerst later moeten worden vastgesteld. Het model is daarom eenvoudig gehouden: het water stroomt door een recht kanaal, dat een wat grootere breedte heeft dan het kunstwerk, naar dit laatste en vervolgt zijn weg aan de Biesboschzijde door een dergelijke waterloop.

De lengte van deze beide aansluitende stroomvakken mag niet te gering worden. Eenerzijds is het moeilijk de waterspiegel in korte vakken op het juiste peil te houden, voorts zouden korte vakken in te korte tijd door golven worden doorlopen. Tengevolge van het sluiten van het kunstwerk ontstaat immers in de waterbeweging een storing, die zich naar weerszijden voortplant. Dit kan in de werkelijkheid vrijwel ongehinderd geschieden, doch in het model worden de storingsgolven tegen de uiteinden teruggekaatst, zoodat zij na eenige tijd weder bij het kunstwerk terugkeeren. Wanneer dit plaats vindt, gaat de toestand in het model van de werkelijk voorkomende afwijken en het is dus noodig te zorgen, dat de beweging van de afsluitorganen reeds eenige oogenblikken tevoren is voltooid.

Op grond van een en ander is het model uitgestrekt tot 230m aan de Amerzijde en tot 250m aan de kant van de Biesbosch.

In de richting loodrecht op die van de stroom omvat het model slechts de helft van het kunstwerk. Wanneer de symmetriewand, die het model begrenst, glad is, stoort de wrijving langs die wand de stroom slechts in zeer geringe mate. De gladheid is zeker voldoende, wanneer het belangrijkste deel van de wand uit glasruiten bestaat. Daardoor wordt ook de gelegenheid geschapen om de strooming van het water van terzijde te bezien, zoodat bijzonderheden kunnen worden opgespoord. Ook is het uiteraard een voordeel, dat een half model kleiner en dus minder kostbaar is, dan een heel en dat de benodigde waterhoeveelheid geringer is.

Dit laatste is vooral van belang, wanneer het model op een betrekkelijk groote schaal moet worden gemaakt.

De keus van de modelschaal wordt in hoofdzaak beheerscht door twee overwegingen: de turbulentie van de modelstroomen en de nauwkeurigheid van de metingen. De eisch van voldoende turbulentie moet worden gesteld, omdat in een model met niet voldoende turbulente stroomen de stroomverdeeling in belangrijke mate kan afwijken van de werkelijke. Voor de turbulentie is het criterium het getal van Reynolds  $R$ , afhankelijk van viscositeit, stroomsnelheid en diepte. Naarmate een kleinere schaal wordt gekozen, neemt  $R$  af; het mag niet kleiner worden dan een critische waarde van omstreeks 2000. Dit zou hier het geval zijn, wanneer een kleinere modelschaal zou worden gekozen dan omstreeks 1:100.

Bij een zoo kleine schaal zouden echter verschillende metingen niet meer met voldoende nauwkeurigheid kunnen worden verricht. In het bijzonder geldt dit voor het meten van krachten. Met het oog daarop is het model gebouwd op een grootere schaal en wel op 1:36

(n = 36).

Deze schaal is zoowel voor de verticale als voor de horizontale afmetingen aangehouden. Samentrekken van het model was niet noodig en zou in dit geval ook niet geoorloofd zijn geweest.

De volgende tabel geeft aan de verhouding van de grootheden in de werkelijkheid (hoofdletters) en die in het model (kleine letters).

		werkelijkheid	model
Lengte	$L = n \cdot l$	1 m.	2,8 cm.
Oppervlak	$F = n^2 \cdot f$	1 m <sup>2</sup>	7,7 cm <sup>2</sup>
Volume	$W = n^3 \cdot w$	1 m <sup>3</sup>	21,4 cm <sup>3</sup>
Snelheid	$V = n^{\frac{1}{2}} \cdot v$	1 m/sec	16,7 cm/sec
Tijd	$T = n^{\frac{1}{2}} \cdot t$	1 min	10 sec
Kracht	$P = n^3 \cdot p$	1 ton	21,4 gram
Moment	$M = n^4 \cdot m$	1 ton.m	59,4 g.cm
Arbeid	$A = n^4 \cdot a$		
Energie	$E = n^{7/2} \cdot e$	1 p.k.	4,45 g cm/sec
Volume stroomend water per tijdseenheid	$Q = n^{5/2} \cdot q$	1 m <sup>3</sup> /sec	0,129 liter/sec

Het model is gebouwd op eenige afstand boven de vloer. Dit vergemakkelijkt de waarnemingen en bevordert de goede afstroming van het door het model gevoerde water. Foto 1 geeft een overzicht. Het model bevindt zich in het midden, links en rechts zijn modellen voor andere onderzoekingen opgesteld. In het midden van het model bevindt zich een gedeelte van het ontworpen kunstwerk, op de voorgrond de Biesbosch, daarachter de Amer. Het model heeft een totale lengte van 14 m (500 m werkelijkheid) en een breedte van 2,5 m (90 m werkelijkheid). De linker wand op de foto is die in het symmetrievlak

van het kunstwerk. De glazen ruiten in deze wand bevinden zich bij de afsluitorganen.

Geheel vooraan is nog juist gedeeltelijk zichtbaar een beweegbare overstortklep waarmede het peil in het model nauwkeurig is te regelen. Op de achtergrond links bevindt zich de inlaat, het water stort daar over een verhoogde meetstuw, waardoor de hoeveelheid bekend is. Tusschen deze stuw en het eigenlijke model is nog een, op de foto niet zichtbare, uitwoelbak gebouwd, waardoor de stroom over de geheele breedte van het model wordt verdeeld en het oppervlak rustig is.

Later, op de foto nog niet aanwezig, is in het Amergebied nog een verstelbare overstort gemaakt, waardoor het toegevoerde water ook gedeeltelijk zijwaarts kan afstromen, waardoor voorkomen wordt, dat het peil van dat pand bij het sluiten van het kunstwerk te veel oploopt.

Voor de meting van de waterhoogten is een aantal peilschaaltjes langs de wanden van het model opgesteld. Bovendien is in het buitenwater, zoowel als aan de Biesboschzijde een vlotter geplaatst. Deze zijn verbonden aan een schrijfpenn, die op een registreertrommel, aangedreven door een synchroonmotortje, het verloop van de waterhoogte opteekent.

Op dezelfde registreertrommel wordt ook de beweging van de afsluitorganen met behulp van een stelsel van draden en schijffjes door een schrijfpenn aangegeven. Bij verscheidene metingen was dit ook het geval met de kracht waarmede de caissons tegen hun opleggingen drukten. Daartoe waren deze een weinig veerend gemaakt; de elastische verplaatsing kon vergroot op de trommel worden geregistreerd.

De waterhoeveelheid, die door het kunstwerk stroomt, wordt gevonden, door de aanwijziging van de meetstuw te corrigeeren met de berging in of de onttrekking aan het bovenstroomsche modelgedeelte. De zijdelingsche overstort mag uiteraard niet in werking zijn.

In het debiet van de meetstuw is slechts een zeer geringe onzekerheid aanwezig; de nauwkeurigheid, waarmede de stroom door het kunstwerk bepaald wordt, is dus afhankelijk van de registratie van het peil in het bovenpand.

De nauwkeurigheid van de registraties is goed nagegaan; men kan rekenen, dat de fouten hoogstens zullen zijn:

in de tijd:	0,2 sec	in het model	dus	1,2	in de werkelijkheid.
in de peilen en verplaatsingen	0,35 mm	"	"	1,3 cm	"
in krachten	27 gram	"	"	1250 kg	"

Er is in het algemeen als volgt gemeten:

Bij een constante hoeveelheid water (Q) werd met de uitlaatklep het peil van de Biesbosch langzaam opgezet tot dit zoo hoog was dat de afsluitorganen in werking kwamen. Door dit met verschillende Q, dus met verschillend verval te herhalen, verkreeg men een serie waarnemingen, die te samen een volledig beeld geven van het gedrag der constructies onder alle mogelijke omstandigheden.

Bij enkele metingen is een andere methode gevolgd waarop later (par. 8) wordt teruggekomen.

## 7. Het onderzoek van het type A1.

### a. Inrichting van het model.

In figuur 4 is voorgesteld de hiervoor ontworpen bak, De lengte hiervan bedraagt  $30 \text{ m}^{\text{x}}$ , zoodat in het geheel vier van dergelijke bakken, tesamen lang 120 m

---

x). Indien niet uitdrukkelijk anders vermeld, hebben de in het vervolg gegeven waarden steeds betrekking op de werkelijkheid.



noodig zouden zijn. Bovendien is daarnaast nog een scheepvaartopening, wijd 8 m gedacht, die niet automatisch behoeft te worden gesloten. In het model zijn voorgesteld 2 openingen van 30 m benevens de scheepvaartopening, deze laatste met het oog op een eventueele invloed hiervan op de stroomverdeeling. Een der beide openingen kon worden afgesloten met een nauwkeurig volgens op schaal gemaakt model van aluminium. De andere was voorzien van een verplaatsbaar paraffinemodel, waarvan de uitwendige afmetingen met de eerste caisson overeenstemden, zoodat het stroombeeld in die opening juist werd weergegeven. De metingen werden uitgevoerd aan het metalen model.

Aan de hand van figuur 4 en de foto's 1 en 2 is de werking van de inrichting te verklaren.

De bak heeft een breedte van 10 m. Om in gesloten stand tot N.A.P. + 4 m te keeren moet, daar de vloer op N.A.P. - 6 m ligt, de hoogte eveneens 10 meter bedragen. Het eigen gewicht van de bak is geschat op rond 300 ton, zoodat de diepgang een meter is. De bak wordt geleid door rollen in sponningen van conterforten, welke vóór en achter de bak zijn opgesteld. Later is dit gewijzigd in geleiding door wielen in sponningen van tusschen de bakken geplaatste pijlers omdat hiermede beter krachten in langsrichting van de bak kunnen worden opgenomen en het in- en uitvaren wordt vereenvoudigd. Dit heeft op het resultaat van de meting geen invloed. In de hoogste stand bevindt de bodem van de bak zich 6 m boven de vloer; deze stand wordt dus bereikt bij een peil (van de Biesbosch) van N.A.P. + 1,- m. De bak stuit dan met nokken tegen vaste aanslagen. In het model wordt dit verwezenlijkt door over de conterforten op de juiste hoogte klampen te leggen, die verder opdrijven van de bak verhinderen.

Stijgt het water nog hooger dan neemt de diepgang van de bak toe en is deze 2,00 m geworden, dus de waterstand N.A.P. + 2,00 m, dan komen de inloopope-

ningen in werking, waardoor de bak volloopt, zijn drijfvermogen verliest en zinkt. Het model was voorzien van zes openingen, tezamen  $10,5 \text{ m}^2$  groot. Deze oppervlakte kan willekeurig worden verminderd door een aantal der openingen geheel of gedeeltelijk af te sluiten. De diepgang van de bak, dus het eigen gewicht, werd met ballast geregeld.

De horizontale druk van de wielen tegen de conterforten werd aan één zijde geregistreerd. Men mag met groote zekerheid verwachten, dat het verschil links en rechts gering zou zijn.

Om de invloed van de stroom op de meetveeren uit te schakelen waren deze ongeveer door stroomlijn-vormige schermen. Hierdoor werd tevens de storing, die de meetinrichting in het stroombeeld veroorzaakt, tot een minimum beperkt. Een en ander is op de foto's te zien.

De tweede (paraffine-) bak kon op willekeurige hoogte worden gesteld. Tusschen beide caissons was een ruimte van 0,20 cm opengehouden. De scheepvaart-opening, waarvan de vloer op N.A.P.-3,- m ligt, kon met een schuif geheel of gedeeltelijk worden gesloten.

In het oorspronkelijk ontwerp waren de inloopopeningen naar de Amerzijde gekeerd.

Hiertegen bleken bezwaren te bestaan. Het oogenblik van in werking treden wordt in dit geval bepaald door de waterstand aan de Amerzijde, die zich tijdens de eene stormvloed meer, bij de andere minder, boven het peil in de Biesbosch bevindt. Om te bereiken dat de afsluiting bij een geleidelijk opkomende stormvloed tijdig tot stand zal komen, mogen de openingen niet hoog liggen. Daardoor zal echter de kans bestaan, dat een snelle verheffing van de waterspiegel, die in de Amer het peil van + 2 m overschrijdt, in de Biesbosch echter niet, de sluiting zal bewerkstelligen, al was dat niet noodig geweest.

Op een andere moeilijkheid wordt bij de bespreking van type A 2 (par. 8) teruggekomen. Door het inwendige van de bak in gemeenschap te brengen met buitenwater van de hoge zijde, kan in de bak ten opzichte van het water onder de bodem daarvan een overdruk ontstaan, waardoor de sluitende krachten veel te groot worden. Men kan dit bezwaar echter ondervangen door de gaten klein te maken.

Wellicht is nog als een nadeel te beschouwen, dat de gaten aan de Zuidwestzijde meer aan golfslag zijn blootgesteld, dan aan de Noordoostkant het geval is.

Hoe dit zij, spoedig na het begin van de proeven is de caisson omgedraaid, zoodat de openingen aan de Biesboschzijde kwamen.

#### b. de Metingen.

Allereerst was het noodig het registreerapparaat te ijken. De omtreksnelheid van de trommel is 1,38 mm per seconde, wat overeen komt met een tijdschaal  $1 \text{ mm} = 4,35 \text{ seconden}$  werkelijkheid.

Om geen noodeloos groote diagrammen te verkrijgen werden de overbrengingen zoodanig ingericht dat lengtematen op kleinere schaal, dan die van het model werden geregistreerd.

De schaal der vlotteraanwijzingen blijkt te zijn  $1 \text{ mm} = 5,12 \text{ cm}$  werkelijkheid en de schaal der verticale bewegingen van de bak  $1 \text{ mm} = 5,25 \text{ cm}$ . De schaal der krachtaanwijzingen is beneden en boven verschillend en komt voor in figuur 5. Deze laatste schaal is herhaaldelijk gecontroleerd; met de kleine wijzigingen die werden gevonden is zoo noodig rekening gehouden.

Zooals in par. 6 is opgemerkt, werd de proef steeds onder wisselende omstandigheden van verval en stroom herhaald. Een voorbeeld van de daarbij verkregen grafieken geeft figuur 5. Het proces verloopt van rechts naar links.

Men ziet dat het verval in het begin 35 cm is en constant blijft tot de bak begint te zinken.

Bij het Biesboschpeil 2,00 m + N.A.P. begint de bak vol te lopen. Het duurt dan nog ongeveer 4 minuten, voor de neerwaartsche beweging van de bak een aanvang neemt. In deze tijd stijgt het peil nog geregeld.

De beweging van de bak is eerst versneld, tot de toeneming van de waterverplaatsing van de zinkende bak evenwicht maakt met de hoeveelheid instroomend water. De beweging verloopt dan eerst nagenoeg eenparig en neemt daarna nog een weinig toe. Dit laatste staat waarschijnlijk in verband met een afneming van de doorstroo-  
mingssnelheid aldaar. Dicht bij de bodem treedt een sterke vertraging op. Hierop wordt later teruggekomen. In het voorbeeld is de snelheid van de eenparige beweging 6,8 cm/sec.

Wanneer de bak ongeveer een meter gezonken is, begint door profielvermindering het buitenwater sterk op te lopen en het peil van de Biesbosch te dalen. Bij het kunstwerk zal dit iets vroeger gebeuren, dan uit de grafiek valt af te leiden, omdat de vlotters op eenige afstand van het kunstwerk zijn geplaatst en de storing (translatiegolf) zich vandaar naar beide zijden voortplant. Om de stand bij het kunst<sup>w</sup>erk te vinden moet de aanwijz~~ing~~ing van de vlotter dus een weinig (ongeveer 10 sec) worden vervroegd. Het blijkt dat de stand op het oogenblik van sluiten + 300 cm resp. 205 cm bedraagt; het verval is dus 95 cm of bijna drie maal het oorspronkelijke. Nadat de opening gesloten is, treedt een afwijking op tusschen model en werkelijkheid, vooral ten aanzien van het peil van het buitenwater. In de werkelijkheid zou in dit geval ongeveer het gestippelde verloop zijn voorgekomen.

Ten aanzien van de druk op de wielen leert het diagram het volgende: Zoolang de bak tegen de aanslagnokken stuit dus in hoogste stand drijft, is er geen druk op het benedenwiel; terwijl de horizontale kracht

op het bovenwiel 25 ton bedraagt. Dit is een gevolg van ongelijke drukverdeling in het stroomende water onder de bak. (Deze verdeling is later, bij het onderzoek van type A 2, par. 8, rechtstreeks gemeten). Zoodra de bak begint vol te loopen, neemt het totale gewicht toe, de druk tegen de stuitnokken neemt af en het kantelend moment verandert. Het gevolg is, dat het onderste wiel de druk overneemt en het bovenste wordt ontlast. Doordat de bak steeds dieper inzinkt, neemt de horizontale druk, mede doordat het verval groter wordt, steeds toe. Nadat de bak ongeveer 2,50 m is gedaald, neemt ook het bovenste wiel weer snel een gedeelte der druk op, zoodat wanneer de bak de bodem bereikt, de druk boven groter is dan onder, en wel resp. 75 en 53 ton. Deze ongelijke verdeling is een gevolg van de plaatsing der wielen.

Samen moeten deze drukken gelijk zijn aan de statische druk, welke bij een verval van 95 cm en een buitenwaterstand + 3,00 m voor de halve bak 127,5 ton bedraagt. Uiteraard is de overeenstemming niet in alle diagrammen zoo goed als hier het geval is, doch de afwijking is toch nimmer groter dan enkele procenten.

Wanneer de bak eenmaal op de grond staat, zal de wrijving een gedeelte van de druk overnemen, en zal voornamelijk het onderste wiel hierdoor ontlast worden. Dit verklaart, waarom dan de druk op dat wiel weinig meer toeneemt, niettegenstaande in het model het verval nog wel groter wordt.

Bij dit voorbeeld dient nog te worden opgemerkt, dat het peil van Biesbosch en Amer vóór het sluiten, sneller toeneemt dan in de werkelijkheid het geval zou zijn, n.l. met ongeveer 23 cm in 230 sec of 3,6 m per uur. Daar echter deze stijgsnelheid zelf niet van invloed is op de werking van de bak, kan dit geen moeilijkheden opleveren of tot verkeerde conclusies aanleiding geven.

Uit deze en dergelijke metingen bij verschillend verval volgt dat de druk op elk der wielen tijdens

het zinken van de bak niet veel groter wordt dan uit de berekening van de statische druk zou volgen indien de bak in de achtereenvolgens bereikte standen in rust zou zijn. De constructie zal na het sluiten groote vervallen moeten keeren, waarbij de horizontale kracht veel groter is, zelfs wanneer daarvan een deel door de wrijving op de bodem wordt opgenomen. De wielen kunnen de drukken gedurende het zinken, dus zonder bezwaar opnemen.

Een tweede te onderzoeken vraag betrof de krachten in langsrichting van de bak, welke door een mogelijke onsymmetrische stroomverdeling kunnen ontstaan. De bak werd hiertoe, voorzien van een soort rechtgeleiding (figuur 6). De spanning in de draad is een maat voor het op de bak werkend langsmoment en geeft na yking een middel om dit laatste te meten. Daardoor werd weer een schrijfpenn gebruikt, die deze spanning tijdens de beweging van de bak vastlegde. Dezelfde figuur geeft een voorbeeld van een meting van het langsmoment, benevens de erbij behorende ykkromme. Men ziet weer onderaan de lijn voor de verticale beweging van de bak, daarboven achtereenvolgens de lijnen voor de stand van binnen- en buitenwater en tenslotte de lijn voor het langsmoment. De ykkromme is een rechte lijn. Gedurende het zinken blijkt het moment te wisselen; het bereikt in dit geval een absolute waarde van 60 tonmeter.

Ter beoordeeling van deze waarde zijn (rechts op het blad) terwijl de bak nog drijft, golven in het bovenpand opgewekt, die de bak in schuine richting treffen. De hierdoor opgewekte momenten zijn veel groter. Men vindt deze golfbeweging terug in de lijnen van boven- en benedenwater, als ook in de beweging van de bak zelf. De golfhoogte is echter niet af te leiden uit de beweging van de vlotters, daar deze hiervoor veel te groot zijn. De hier gebruikte golven zijn vrij groot (golfhoogte ongeveer 30 cm). Om eenig inzicht te krij-

gen in de kracht op de bak uitgeoefend door schuin uitkomende golven, kan men aannemen, dat de stand horizontaal blijft. Dit is te motiveeren, door de omstandigheid dat de bak in de geleidingen zeer weinig speling heeft. Een golf van 20 meter lengte en 20 cm hoogte met de kamlijn evenwijdig aan een der diagonalen van de bakbodem geeft een moment in langsrichting van 252 en in dwarsrichting van 6,5, tonmeter.

Hieruit blijkt, dat de momenten tengevolge van de golfbeweging zeer veel grooter zijn dan die, welke een gevolg zijn van ongelijkmatige stroomverdeeling gedurende het zinken.

Een oorzaak voor het ontstaan van een langsmoment kan ook zijn het vastloopen van één der wielen. Numerieke waarden hieromtrent volgen uit de wrijvingscoëfficiënt tusschen wiel en leibaan en de reeds behandelde horizontale druk die een wiel moet opnemen. Neemt men voor deze laatste een groote waarde van 80 ton aan, dan zou bij een wrijvingscoëfficiënt van 0,3 de caisson aan één zijde worden tegengehouden met een kracht van 24 ton. Ten opzichte van het midden van de caisson, waar zich het aangrijpingspunt bevindt van de compenserende kracht (de verandering in opdrijvende kracht), geeft dit het grootste moment van 360 tonmeter.

Het belangrijkste punt betreft de snelheid, waarmede de bak zinkt, in het bijzonder die, waarmede de bodem wordt geraakt.

In figuur 7 is voorgesteld het verloop van de beweging onder verschillende omstandigheden. De bak was hier reeds voorzien van geleiderollen in sponningen van tusschen de bakken geplaatste pijlers. Bij deze wijze van geleiding heeft de bak zeer weinig speling, terwijl de wrijving verwaarsloosbaar klein is. Het verval heeft binnen wijde grenzen slechts weinig invloed op de snelheid van de beweging. De grafieken zijn opgenomen bij een verval van 15 cm, behalve de nummers 10, 11 en 12,

welke zonder meetbaar verval zijn uitgevoerd. Zooals verwacht kon worden blijkt, dat het gezamenlijke profiel der instroomopeningen van overwegende invloed is; (1 - 3 - 5, 2 - 4 - 6, en 10 - 12). Vergelijking der nummers 4 - 7 en 6 - 8 toont de grootere snelheid, wanneer de openingen naar het hooge water gekeerd zijn, tengevolge van het oploopen van het water aan dien kant.

- De invloed van het grootere eigen gewicht (ballast) blijkt uit de vergelijking van 1 - 2, 3 - 4, 5 - 6, en 11 - 12. Bij de laatste twee is het verschil sprekender dan bij de vorige. Dit is te verklaren doordat in deze gevallen de drukvermindering tengevolge van het stroomende water ontbreekt, waardoor het verschil in ballast relatief grootere invloed heeft. Een soortgelijke invloed als vermeerdering der ballast heeft het vergrooten van het verval, zooals blijkt uit de in par. 8 beschreven drukmetingen. Een verval van 150 cm komt bijvoorbeeld overeen met een extra ballast van 225 à 280 ton, afhankelijk van de <sup>hoogte van de</sup> bak boven de bodem. Een sterke vergroting van de zinksnelheid kan dientengevolge niet optreden; dit blijkt ook uit de metingen, waarvan figuur 5 een voorbeeld is.

Het afremmen van de beweging nabij de bodem is bij de nummers 1 en 2 zeer sterk; bij 3 en 4 nog duidelijk, bij de overige gering of geheel afwezig.

Tevens is bij 1 en 2 waar te nemen eenige snelheidsvermeerdering gedurende de beweging als gevolg van het toenemen van het verval en de drukafname onder de bodem.

In de overige gevallen is dit nauwelijks merkbaar.

Vervolgens is nagegaan het gedrag van de bak bij het vlotbrengen. Dit zal in praktijk kunnen geschieden door leegpompen met een op een boot, of op het sluisgebouw opgestelde pomp. Het is ook mogelijk de



bak van een dubbele bodem te voorzien en deze zoo in te richten dat door het inblazen van lucht het water hieruit wordt gedreven. Daardoor verkrijgt de bak voldoende drijfvermogen om het water boven de dubbele bodem tengevolge van het, bij het opdrijven ontstane, verval, door de inloopopeningen te doen wégstroomen.

In het model is de eerste methode nagebootst door, nadat de inloopopeningen zijn afgesloten, met een hevelslang het water uit de bak te verwijderen.

Het blijkt, dat bij de grootst mogelijke vervallen het opdrijven zonder groote sprongen of kleppen geschiedt.

Tenslotte is nog onderzocht of de afronding van de hoeken, zooals in het model is toegepast, voordeel geeft. Laat men de afronding achterwege, dan wordt de waterverplaatsing bij gelijke diepgang grooter of bij gelijk eigen gewicht wordt de diepgang minder. Hierdoor wordt het overblijvende doorstromingsprofiel in de sluisopening groeter<sup>of</sup>, bij gelijk profiel zou de vloer minder diep behoeven te liggen. Daartegenover staat, dat de doorstromingscoëfficiënt bij hoekige kanten van de caisson zeer zeker kleiner zal zijn. Ook bestaat de mogelijkheid dat een minder gunstig stroombeeld met een grootere drukvermindering onder de bakbodem ontstaat, waardoor de caisson dieper in het water wordt getrokken.

De afronding bestaat uit een kwart ellips met halve assen van resp. 1,60 m en 0,80 m. De oppervlakte van het grootspant wordt hierdoor met  $0,55 \text{ m}^2$  verminderd, de waterverplaatsing met  $16,5 \text{ m}^3$ . Dit komt overeen met een meerdere diepgang van 5,5 cm.

De invloed op de inzinking bij stroomen, werd als volgt bepaald. Bij verschillende boven- en benedenwaterstanden werd de ligging van de, vrij in de geleidingen op en neer beweegbare bak vastgelegd door middel van vier op de hoeken van de bak opgestelde peilschaaltjes, welke nauwkeurig konden worden afgelezen. Als

juiste stand werd het gemiddelde van deze vier waarden aangenomen.

Hetzelfde werd herhaald nadat de bak was voorzien van opgezette rechte hoekstukjes. De aldus verkregen meerdere ruimte stond met het buitenwater in verbinding, zoodat het drijfvermogen niet toenam. Het meerdere eigengewicht werd door ballastvermindering gecompenseerd. Een eventueel optredend verschil in diepgang kwam dus uitsluitend op rekening van het gewijzigde stroombeeld.

Deze metingen vertoonen nog al wat spreiding, men kan echter wel zeggen dat inderdaad bij rechte hoeken de inzinking grooter is dan bij afgeronde hoeken, en wel bij een verval van 20 cm ongeveer 5 cm en bij een verval van 40 cm omtrent 9 cm. Bij de, voor de praktijk meest van belang zijnde vervallen kleiner dan 20 cm wordt het verschil spoedig onbelangrijk.

Belangrijker dan de invloed op het beschikbare profiel is de verandering van de doorstromingscoëfficiënt ( $\mu$ ).

Dit is nagegaan met behulp van het paraffine model, dat aan één zijde van een rechte, aan de andere zijde van een afgeronde hoek was voorzien. Door het model beurtelings met de rechte en de afgeronde hoek, naar de zijde van het hoge water te plaatsen kon de invloed hiervan worden nagegaan. Het resultaat was, dat de capaciteit bij ronde hoeken 4 á 5 % grooter is dan bij rechte hoeken. Bij de grootste vervallen bedroeg het verschil nog iets meer.

Hieruit blijkt dus dat het wegnemen der ronde hoeken geen voordeel oplevert ten aanzien van de capaciteit van het kunstwerk, doch integendeel, dat de verkleining van het effectieve profiel dan tengevolge van de achteruitgang van  $\mu$  de vergrooting tengevolge van de verminderde diepgang met eenige malen overtreft.

### 8. Het onderzoek van het type A 2.

Om de in par. 5 genoemde redenen staat dit type, wat regelbaarheid betreft, achter bij het vorige. Echter bezit het constructief voordeelen, die aanleiding gegeven hebben een onderzoek in te stellen naar de verticale krachten, die er gedurende het zinken op werken. Mede als aanvulling van de voor type A 1 uitgevoerde proeven is dit onderzoek gedaan met behulp van drukmetingen.

De inrichting hiervoor was als volgt.

De caisson zelf, waarvan de breedte (in verband met het geringer gewicht) op 8 meter is gebracht, is van paraffine, het waterkeerend schot van hout gemaakt. In de bodem van de caisson waren, in het middelloodvlak van de lengteas, 6 zuiver ronde openingen van 6 mm diameter (model) gemaakt, die door glazen buisjes en rubber slangetjes waren aangesloten met een batterij van piëzometerbuizen. Deze stonden aan het bovineinde in verbinding met een gemeenschappelijke wijde horizontale buis, waarop een luchtpomp kon worden aangesloten. Hiermede was een drukvermindering te verkrijgen, waardoor de waterspiegels in alle buizen evenveel werden verhoogd tot het peil, waarop de aflezing goed kon geschieden.

Bovendien werden nog buizen aangesloten met punten een weinig boven het dek van de caisson voor en achter het schot, en tenslotte met twee punten, gelegen op 100 m vóór, resp. achter de sluis. Achter de piëzometerbuis is een blad millimeterpapier bevestigd, waarop de stand in de buizen tot op tienden van millimeters kon worden geschat. Met veel zorg moest ervoor worden gewaakt, dat geen lucht in de rubberslangetjes achterbleef. Foto 3 geeft een overzicht van de opstelling. Er is hier geen stroom in het model, zoodat het piëzometrisch niveau in alle punten even hoog ligt en alle buisjes dezelfde aflezing geven. Van de caisson zelf is weinig te zien. Deze is opgesteld tusschen de voorste, volgens het

symmetrievlak doorgesneden, pijler en de eerstvolgende. (in de tweede sluisopening is opgesteld de klep van type B 1).

De metingen werden uitgevoerd bij stilstaande caisson, waartoe deze in de gewenschte stand werd vastgezet. Door de hoeveelheid toegevoerd water, de stand van de caisson en het peil van het benedenwater systematisch te varieeren, werden gegevens verkregen voor alle voorkomende omstandigheden. In figuur 8 zijn de uitkomsten van enkele metingen uitgezet.

De druk onder de ponton moet in verband met de groote snelheid, die het water daar heeft, laag zijn. Zelfs is de druk er kleiner dan de statische druk, overeenkomend met het peil van het water benedenstroomsvan het kunstwerk. Het verschil hiermede, dat onderdruk kan worden genoemd, staat in verband met het omzetten van kinetische energie van het onder de ponton doorgestroomde water in potentieele. Het neemt, zocals uit figuur 9 volgt, vrijwel lineair toe met het verval. Bovendien is de onderdruk afhankelijk van de hoogte  $H$ , waarop de onderzijde van de ponton zich boven de vloer van het kunstwerk bevindt.

De kleinste waarde van  $H$ , waarbij metingen zijn verricht, is 25 cm. Bij het grooter worden van  $H$ , neemt de onderdruk aanvankelijk toe; wanneer  $H$  ongeveer 250 cm overschrijdt schijnt de onderdruk verder niet veel meer te veranderen.

De spreiding van de waarnemingen is gering, ongeveer tien procent. Alleen bij een gering verval, wanneer de krachten klein zijn, loopen de uitkomsten meer uiteen.

Wanneer een aanslagbalk onder de ponton aanwezig is, wordt een drukverdeeling gevonden, die van die bij gladde bodem in belangrijke mate afwijkt. Ook de invloed van  $H$  schijnt dan grooter te zijn.

Bij een ponton met scherpe kinnen is de onderdruk niet bepaald. Men kan veilig aannemen, dat hij

grooter is dan bij de onderzochte ponton. In figuur 9 is nog ingeteekend de lijn die de drukvermindering op het dek aangeeft, wanneer het schot aan de zijde van het hoge water zou zijn geplaatst. Daardoor zou over het halve oppervlak deze druk met een bedrag gelijk aan het verval afnemen. Dit bedraagt 1,2 ton per cm verval. Daar in dat geval het stroombeeld, dus ook het drukverloop, onder de bak niet verandert, zou het mogelijk zijn dat de resulterende extra kracht naar boven is gericht. Bij de caisson met aanslagbalk is dit het sterkst. Daar zou de grens, onafhankelijk van het verval, liggen bij een hefhoogte van ongeveer 95 cm, en bereikt deze opwaartsche kracht bij een kleinere H zelfs groote waarden.

Berekent men de totale kracht, die op de caisson in verticale zin werkt bij een verval van bijvoorbeeld 150 cm, een hoogte  $H = 25$  cm, met het schot aan de voorzijde en een aanslagbalk in het midden met de gegevens van figuur 9, dan verkrijgt men de volgende waarden:

Eigen gewicht	+ 195 ton
Vulwater	+ 312 "
Waterverplaatsing	- 335 "
Extra opwaartsche kracht	- 74 "
	<hr/>
Totaal	+ 98 ton.

Om de versnelling te berekenen die hiervan het gevolg is, zou men moeten weten hoe de toestrooming boven, en de wijziging van het stroombeeld onder de bak verloopt. Rekent men hiervoor dat de helft van de waterkolom boven en onder de caisson mede gelijkelijk moet worden versneld (wat waarschijnlijk te veel is) dan verkrijgt men een totale schijnbare massa van 1150 ton. De versnelling wordt dan nog bijna  $85 \text{ cm/sec}^2$ . Bij grootere hoogte is de versnelling belangrijk meer, omdat de extra opwaartsche kracht dan kleiner is, of zelfs vervangen wordt door een onderdruk. Hieruit volgt, dat zelfs in een gunstigste geval de snelheid

groot wordt.

Met de gegevens van figuur 9 zou men het verloop van de beweging bij een gegeven verval vóór het sluiten kunnen berekenen, wanneer bekend was, op welke wijze het verval tijdens de beweging van de caissons toeneemt. Hieromtrent is echter geen zekerheid te verkrijgen. Wel mag een sterk oplopen van het verval worden verwacht. Ten den Oever werd dienaangaande een proef genomen: bij een aanvankelijk verval van omstreeks een meter werden twee groepen van de uitwateringsluizen aldaar tegelijkertijd op de normale wijze gesloten. Vóór de schuiven op de sluisvloer stonden was het verval tot  $3\frac{1}{2}$  m gestegen. Wanneer iets dergelijks ook in de Biesbosch voorkomt, zal de verticale kracht gedurende de geheele beweging groot blijven, want wanneer H klein wordt, neemt het verval toe. Een versnelling van enkele meters per  $\text{sec}^2$  behoort dan niet tot de onmogelijkheden: de hefsnelheid op de vloer zou dan even groot worden, alsof de caisson van een hoogte van een meter of meer vrij zou vallen ( $4\frac{1}{2}$  of  $5\text{m/sec}$ ).

In het model zijn enkele diagrammen opgenomen van de beweging van de ponton. Het werd echter niet noodig geacht omvangrijke maatregelen te treffen om de wrijving bij de beweging gering te maken, zoodat de uitkomsten geen absolute waarde hebben en te kleine snelheden geven. Bij een verval van 15 cm was de zinksnelheid reeds het dubbele van die in stilstaand water; bij een grooter verval maakte de wrijving de meting geheel waardeloos.

In tegenstelling met wat bij type A 1 werd waargenomen, was de botsing van de ponton op de vloer duidelijk waar te nemen.

### 9. Het onderzoek van het type B 1.

Bij deze constructie is de afstand tusschen de pijlers om constructieve redenen op 20 m gesteld.

Het model van de klep is in koper uitgevoerd. Hierdoor is het eigen gewicht in verhouding iets te groot geworden, omdat het niet goed mogelijk bleek de constructie bij de juiste materiaaldikten, voldoende stijfheid te geven. Het traagheidsmoment om de draaiingsas was dus ook te groot, evenals de waterverplaatsing. Beide invloeden spelen een ondergeschikte rol en zijn voor zoover noodig in rekening gebracht.

Om de wrijving in de lagering gering te houden is deze uitgevoerd op de wijze, die in het valtoestel van Atwood gebruikelijk is. De as rust op zuiver afgedraaide wielen (figuur 10 en foto 3).

De beweging van de klep wordt geregistreerd door een schrijfpen, waarvan de trekdraad geslagen is om een centriscch op de as van de klep aangebrachte schijf. Het moment dat hierdoor op de as wordt uitgeoefend is constant en gering en bovendien in rekening te brengen.

De klep wordt in normale (open) stand door een contragewicht tegen een nok gedrukt. Dit contragewicht is in het model zoodanig geplaatst, dat het zwaartepunt van het geheel slechts weinig buiten de draaiingsas is gelegen, zoodat het moment dat de klep in geopenen stand houdt, slechts klein is. Aanvankelijk werd de klep geplaatst met de beplating naar boven.

Bij de eerste metingen bleek dat bij een waterstand van + 200 cm en de onderzijde van de klep op + 100 cm aan de vlotters een verval noodig was van 15 cm. Dit verval was grooter dan verwacht was. Gemeten werden daarom de momenten tengevolge van het contragewicht (en trekdraad met schrijfpen) en de opdrijvende kracht tengevolge van de onderdompeling van een deel van de klep. Het eerste bleek te zijn 7,5 tonmeter in de hoogste stand, bij sluiten van de klep geleidelijk

aangroeiend tot 18,5 tonmeter, wanneer het ondereinde van de klep 250 cm is gedaald. Dit moment werd door verplaatsing van het contragewicht verminderd tot ongeveer 3 tonmeter, bij alle standen van de klep.

De waterverplaatsing bij de hoogste stand en een peil van +200 cm bleek een moment te geven van 54,5 tonmeter, overeenkomende met een waterdruk op het ondergedompelde deel van de beplating, groot 8,5 cm. Dit werd verminderd door de klep om te keeren, zoodat de beplating aan de onderzijde kwam te liggen. Op het oogenblik waarop de beweging moet beginnen bevindt zich dan een veel kleiner deel van de verstijvingsestructie onder water. Bovendien werd de hoogste stand van de klep verlaagd tot + 70 cm.

Bij herhaalde meting bleek dat thans het drukverschil, noodig om de opdrijvende kracht en het eigen gewicht te overwinnen, was teruggebracht tot 5,5 cm. De metingen werden nu voortgezet, en gaven 8 cm als minimum benoodigd verval tusschen de vlotters, waarbij de klep sloot. Hieruit blijkt, dat een gedeelte van het verval op andere plaatsen verloren gaat. Is bijvoorbeeld het profiel vóór de sluis in de toeleidingsgeulen F, in de sluis tusschen de pijlers  $\frac{1}{3}$  F en ter plaatse van de klep  $\frac{1}{4}$  F; en bedraagt de stroomsterkte resp. 30 cm, 90 cm en 120 cm, dan is de snelheidshoogte achtereenvolgens 0,5 cm, 4 cm en 7,4 cm.

Uit dit voorbeeld blijkt dat een belangrijk deel van het verval tusschen de koppen van de pijlers verloren gaat. Door de klep zoover mogelijk naar voren te plaatsen wordt het nuttig gebruikte deel van het verval grooter. In het model zal dit deel op ruim de helft van het totale verval tusschen de peilschalen kunnen worden gesteld. Aangenomen mag wel worden, dat voor dit laatste verval de gevonden waarde van 8 cm bij deze opstelling het uiterste minimum is.

Om te kunnen beoordeelen of door het geven van een geschikte vorm aan het ondereinde van de klep eenig voordeel zou zijn te verwachten, was het gewenscht het stroombeeld te leeren kennen.



Hiertoe werd een gedeeltelijk model tegen de glasruit gemonteerd, waardoor het mogelijk was het stroombeeld door middel van ingebrachte kleurstof zichtbaar te maken. Het bleek dat, zoals verwacht werd, onder de klep een vrij groote neer aanwezig was (figuur 10). Getracht werd om door een vloeiend verloop aan het profiel te geven de stroom beter langs de klep te leiden en tevens door de sterkere kromming van de stroomdraden de druk onder de klep te doen afnemen. Inderdaad volgde bij het in figuur 10 geschetste vleugelprofiel, de stroom langer de klep en werd de neer teruggedrongen.

Daarna werd het beweegbare model van dit profiel voorzien en wederom het benodigde verval nagegaan. De winst bleek echter in het gunstigste geval niet meer dan 0,5 cm te bedragen. Aangenomen moet dus worden, dat van een goede vormgeving van de klep weinig verbetering is te verwachten.

Het is derhalve hoogstwaarschijnlijk dat een verval van 8 cm noodig is om de klep te sluiten.

Hierbij is dus zoals reeds werd opgemerkt de klep bijna volkomen uitgebalanceerd.

In verband met wind- en sneeuwbelasting en dergelijke, zal een grootter openend moment noodig zijn. In figuur 11 is dit tot uitdrukking gebracht. Daarin zijn bij een waterstand van + 200 cm, als functie van de klepstand uitgezet de volgende grootheden:

1. Het moment van het contragewicht,
2. dat tengevolge van de opdrijvende kracht; deze is op  $30 \text{ kg/m}^2$  ondergedompeld plaatoppervlak gesteld,
3. het moment, uitgeoefend door een verschil in waterdruk tusschen boven- en onderzijde van de beplating, groot resp. 1, 3, 5 en 7 cm.

Het blijkt dat een drukverschil van bijna 7 cm noodig is om de klep onder alle omstandigheden te doen sluiten. Daar, zoals hiervoor is opgemerkt, het verval tusschen boven- en benedenwater belangrijk

grooter is dan het aan de klep beschikbare drukverschil, zal met een benoodigd verval van 10 à 12 cm zijn rekening te houden.

Wanneer de klep eenmaal in beweging is, geschiedt het sluiten verder snel. De tegenwerkende momenten nemen af, terwijl het drukverschil tusschen voor- en achterzijde van de beplating steeds grooter wordt. De aanslag wordt dan ook met een groote snelheid bereikt.

Nog zijn metingen gedaan van de capaciteit van de sluis bij deze constructie. Het blijkt dat de doorstromingscoëfficiënt  $\mu$ , behoudens kleine afwijkingen, te stellen op 0,85 voor die waterstanden, waarbij de klep het water niet raakt op 0,95 wanneer de klep een gedeelte van het profiel afsluit. Het verval is hierbij gedefinieerd als het verschil tusschen de vlotters, dus op eenige afstand vóór en achter de sluis en hierin is dan ook de verklaring te vinden van het, op het eerste gezicht vreemde feit, dat  $\mu$  grooter wordt, wanneer de stroom door de aanwezigheid van de klep wordt gestoord. Ten opzichte van de kleinere opening die dan overblijft, hebben de verliezen, die niet onmiddellijk bij het kunstwerk plaats grijpen, relatief een kleinere invloed.

Intusschen is daarin nog een bezwaar van het type B gelegen. Bij de gewone getijden, wanneer het gewenscht is, dat bij een klein verval een sterke stroom door het kunstwerk gaat, is  $\mu$  kleiner, dan tijdens storm, wanneer de afsluiting tot stand moet komen. Dan moet zoo weinig mogelijk water door het kunstwerk de Biesbosch binnentreden.

#### 10. Slotopmerkingen.

Het onderzoek heeft zich uitsluitend beziggehouden met de verschijnselen bij de afsluitorganen. De conclusies, die uit de metingen dienaangaande konden worden getrokken, zijn neergelegd in paragraaf 5.

Niet is onderzocht de scheepvaartopening, noch is aandacht gewijd aan een mogelijke aantasting van de bodem ter weerszijden van het kunstwerk. Deze laatste zal niet uitsluitend zijn te vreezen bij stormvloed, ook de dagelijksche stroomsnelheden zijn groot genoeg om uitschuring te veroorzaken, wanneer daartegen geen afdoende maatregelen worden genomen.

Delft, Januari - Maart 1936.

FIG. 1.

SCHETSKAARTJE  
BIESBOSCH.

--- ONTWORPEN AFSLUITDYK.  
— BESTAANDE DYKEN.  
— KADEN --- N.A.P.

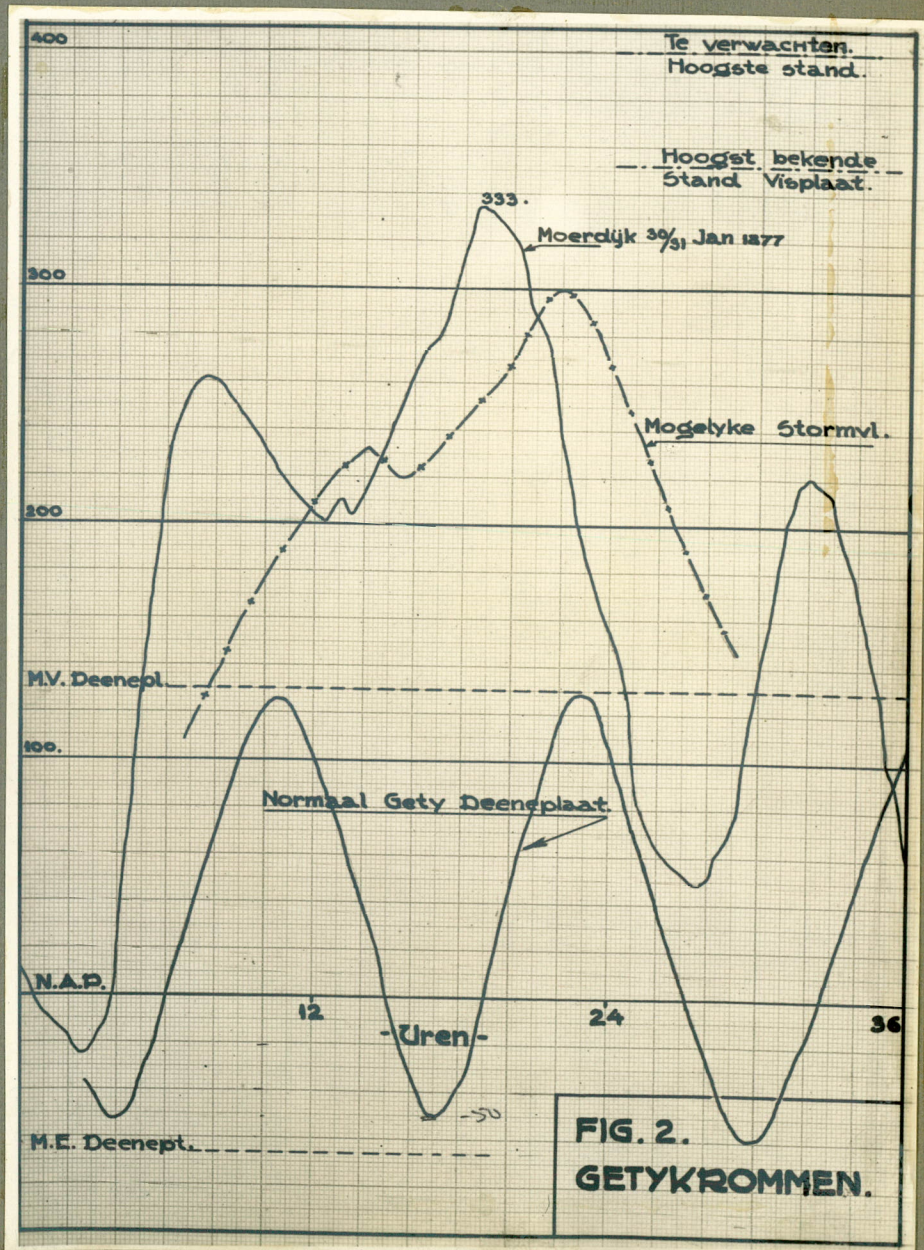
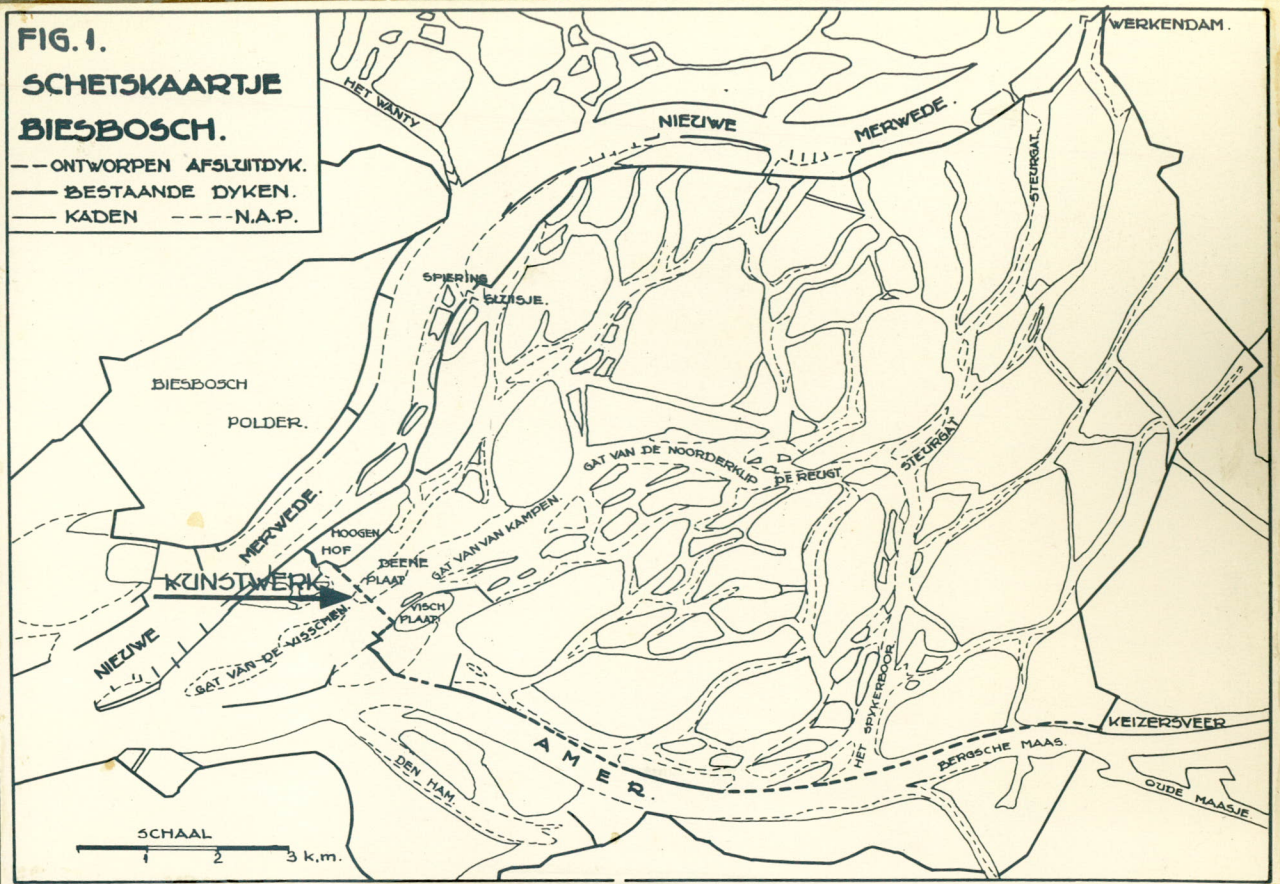
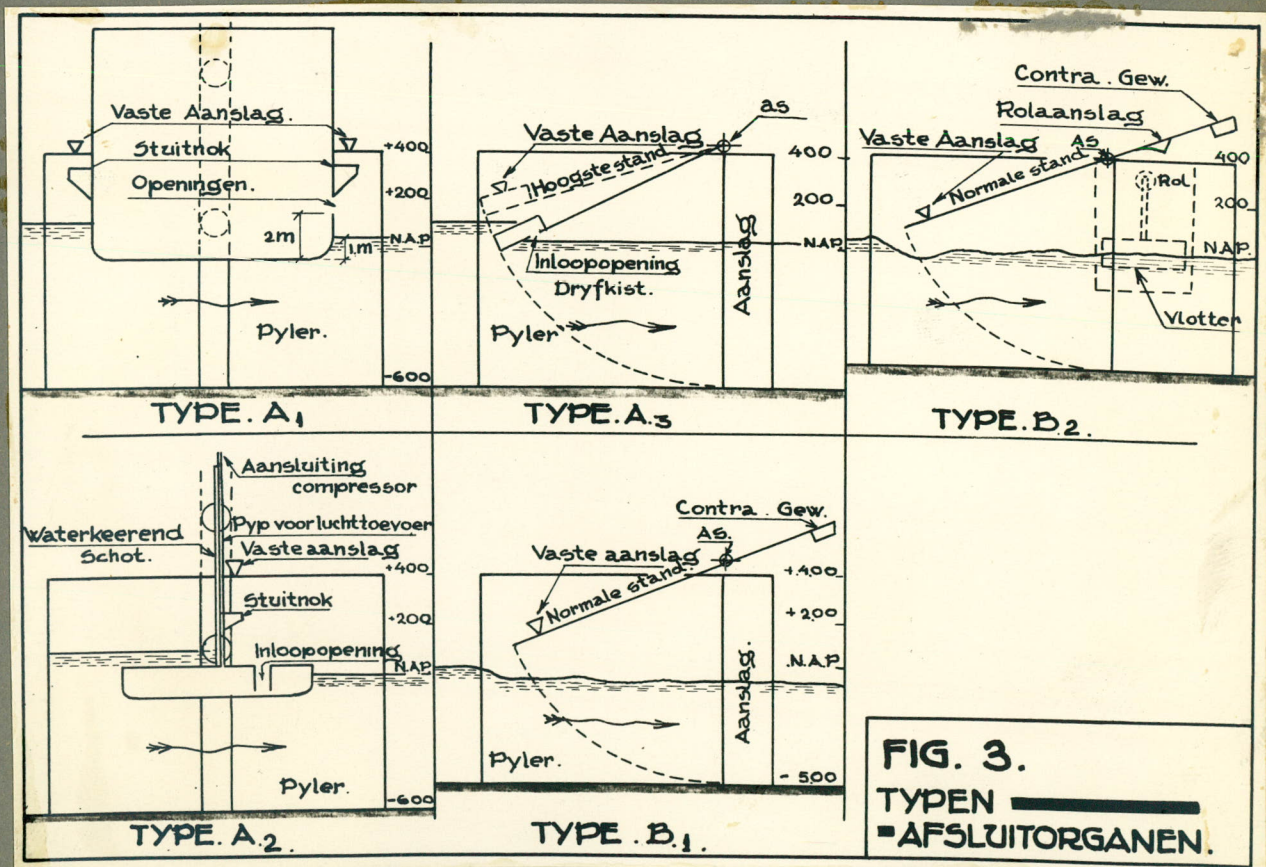
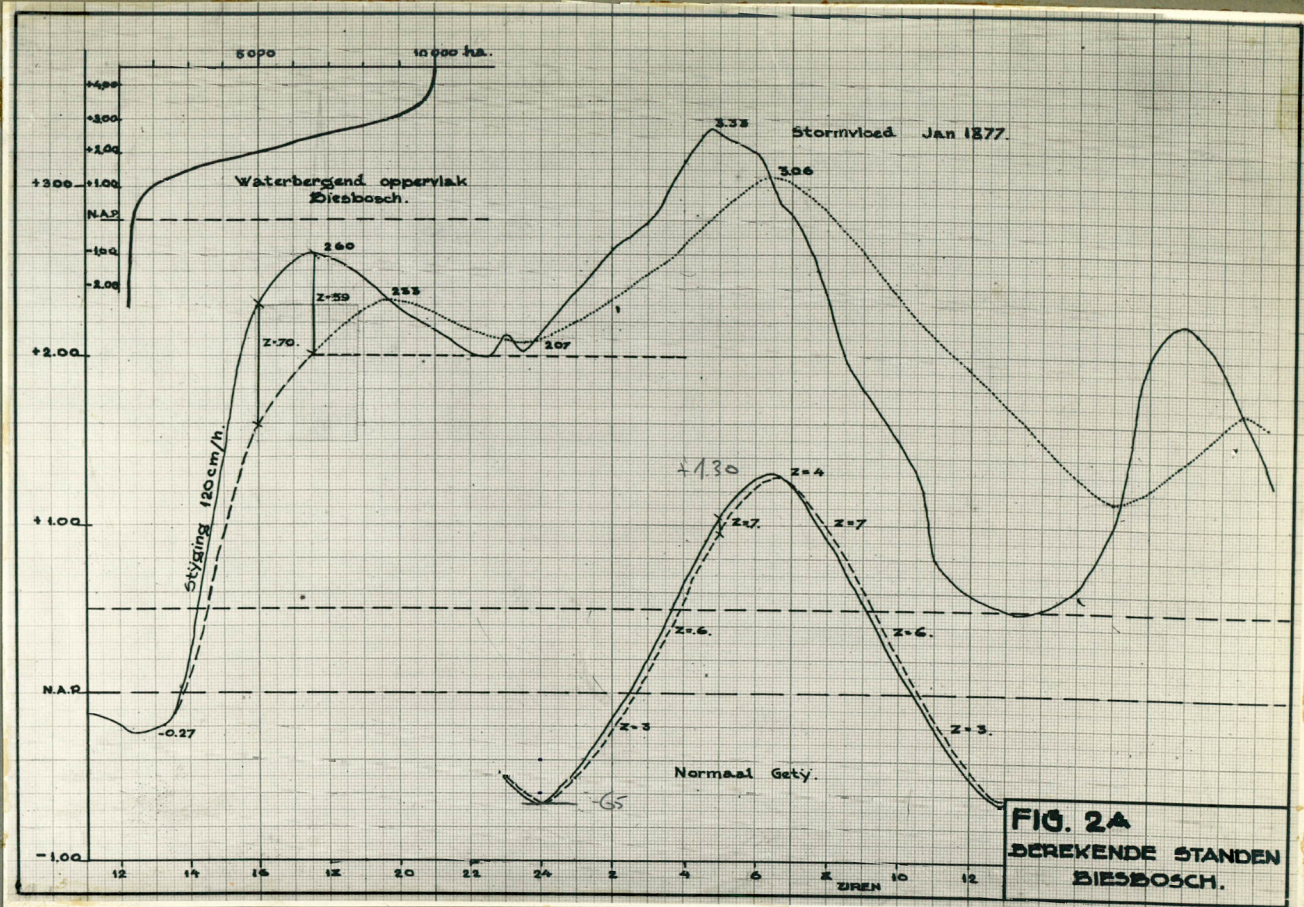
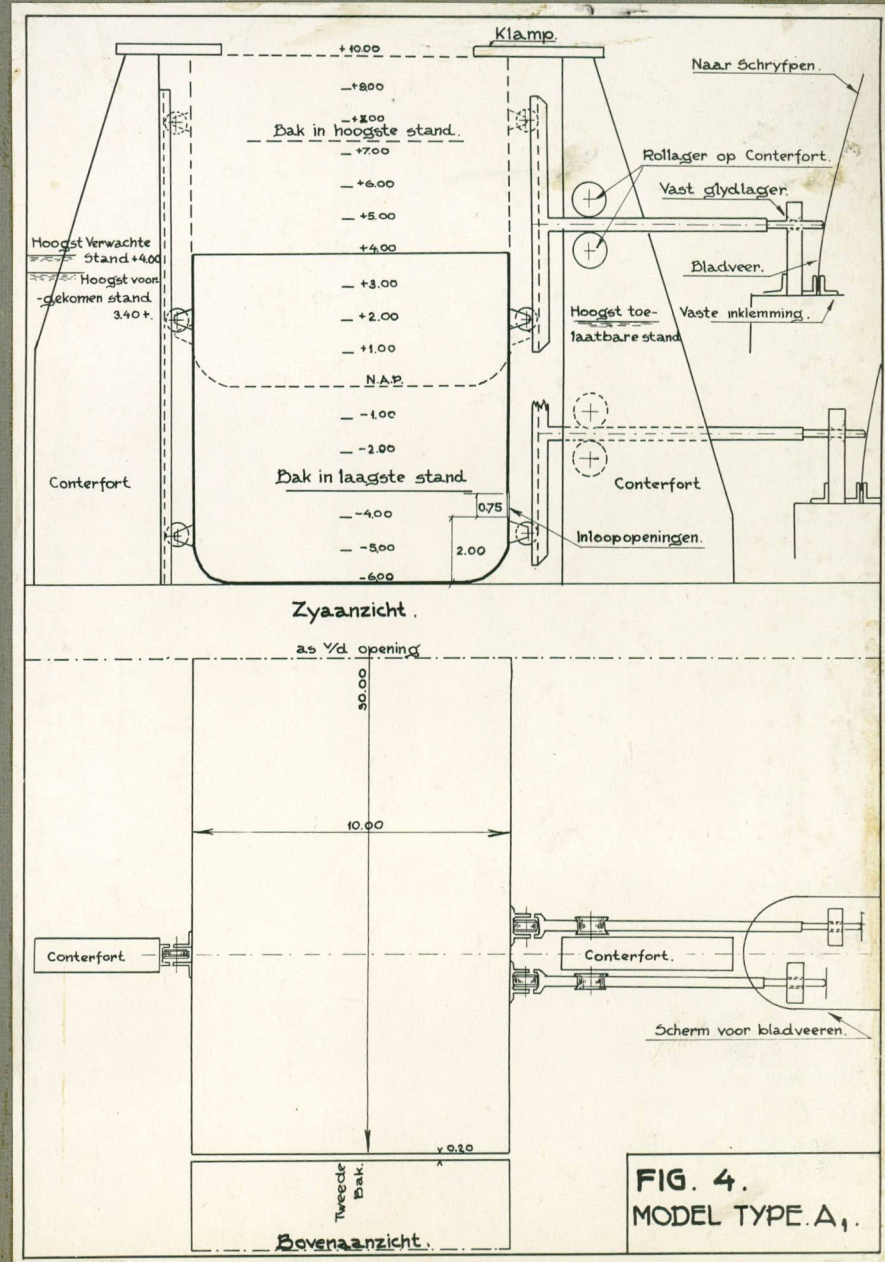
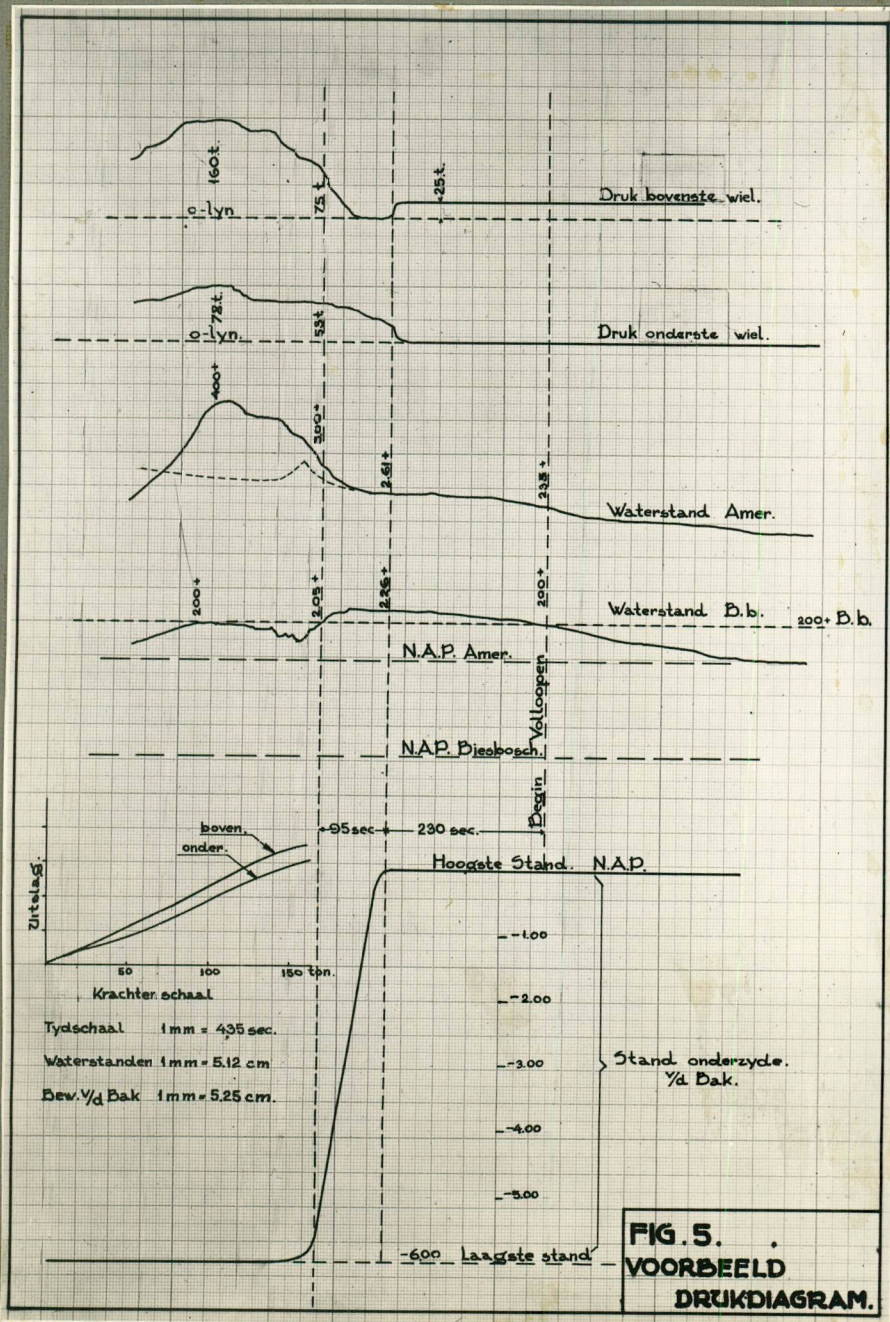
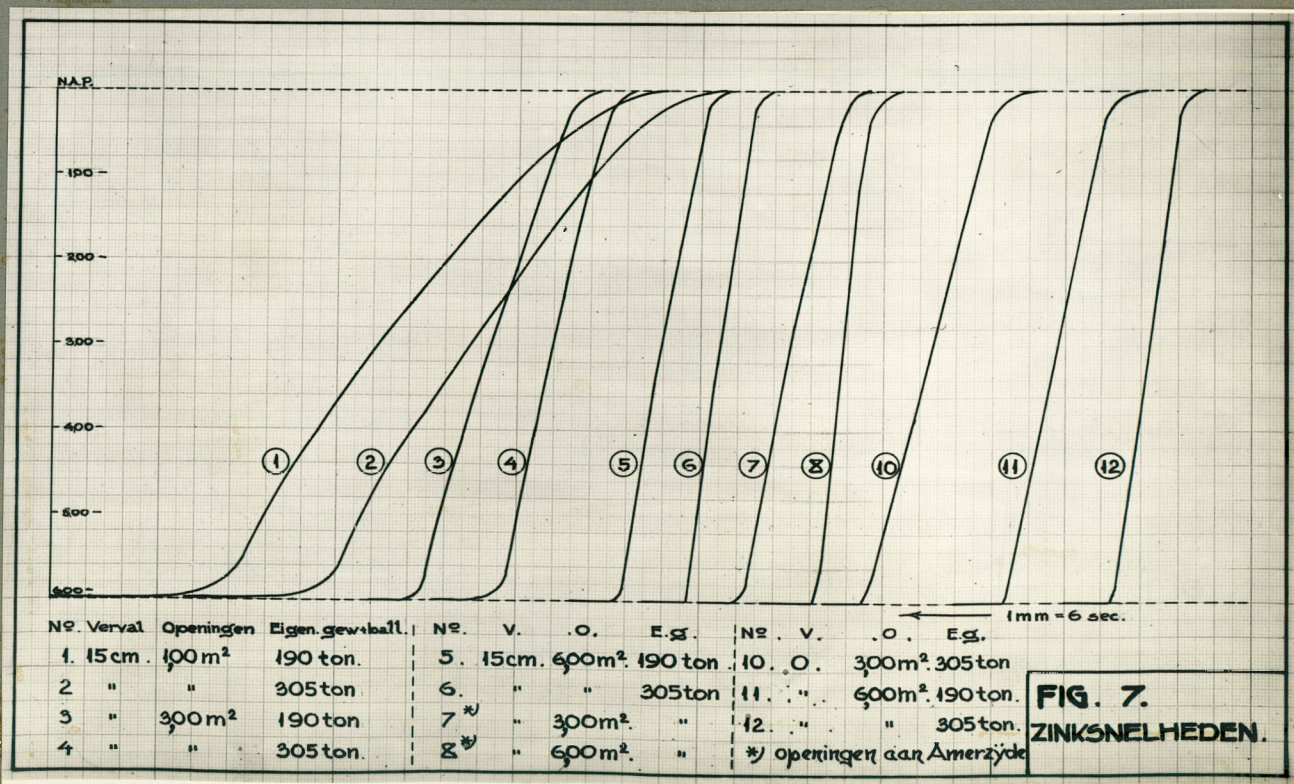
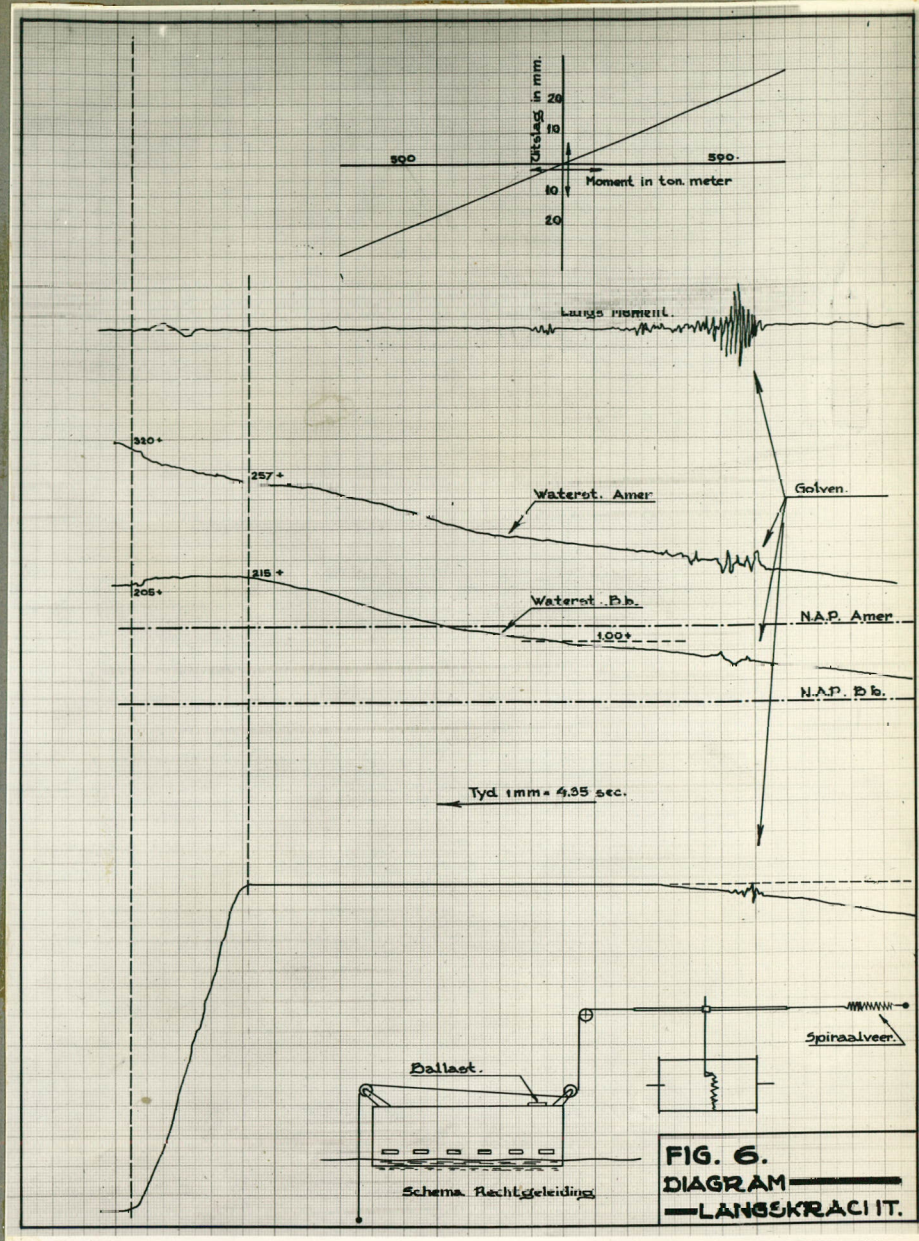
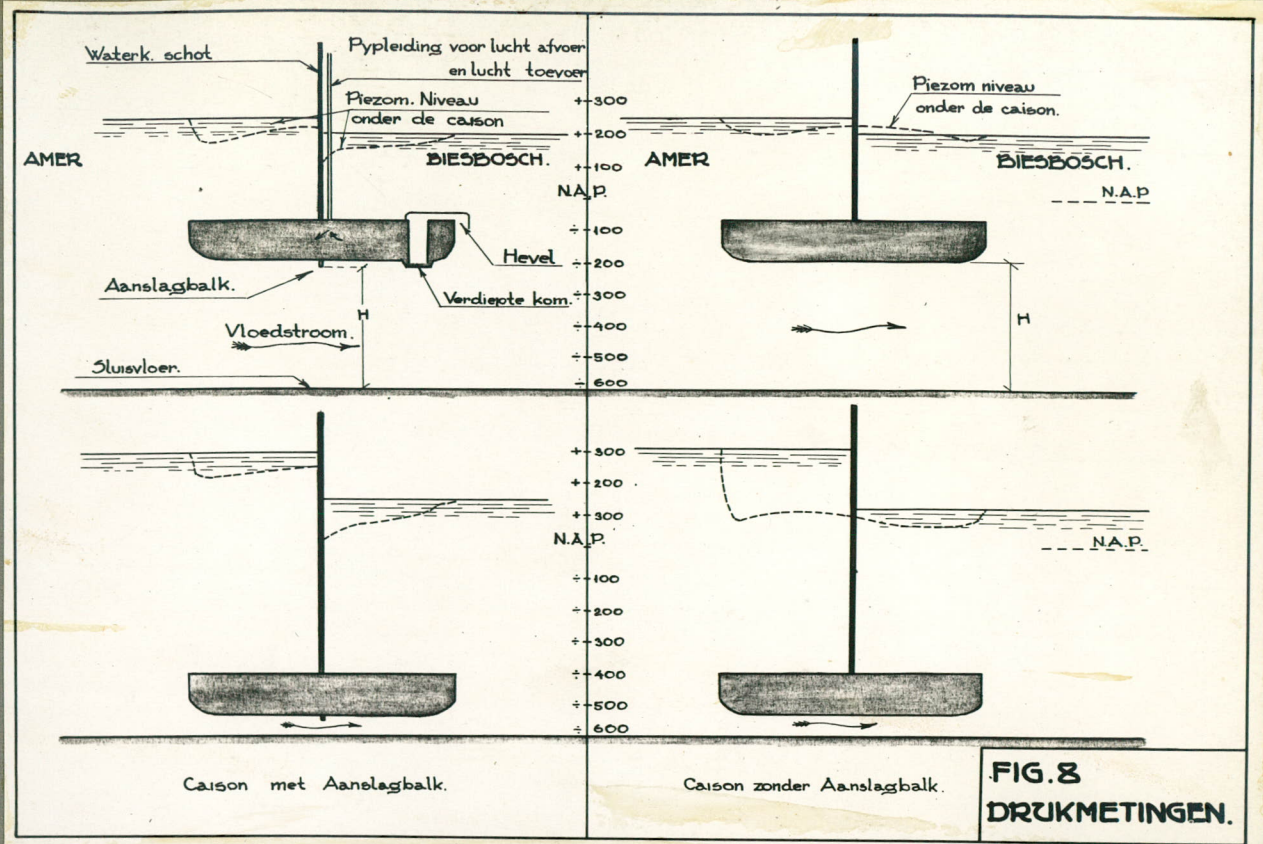


FIG. 2.  
GETYKROMMEN.

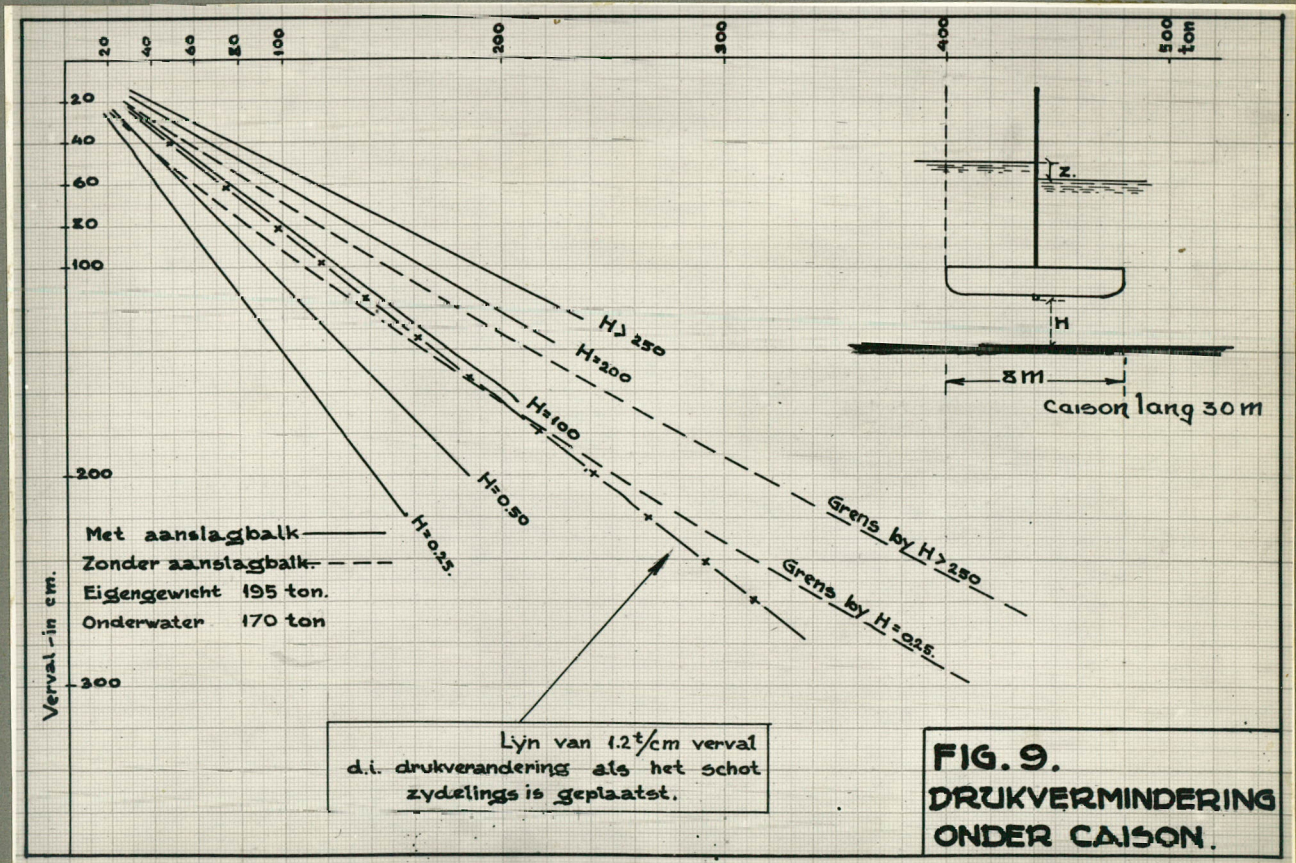








**FIG. 8**  
**DRUKMETINGEN.**



**FIG. 9.**  
**DRUKVERMINDERING**  
**ONDER CAISON.**



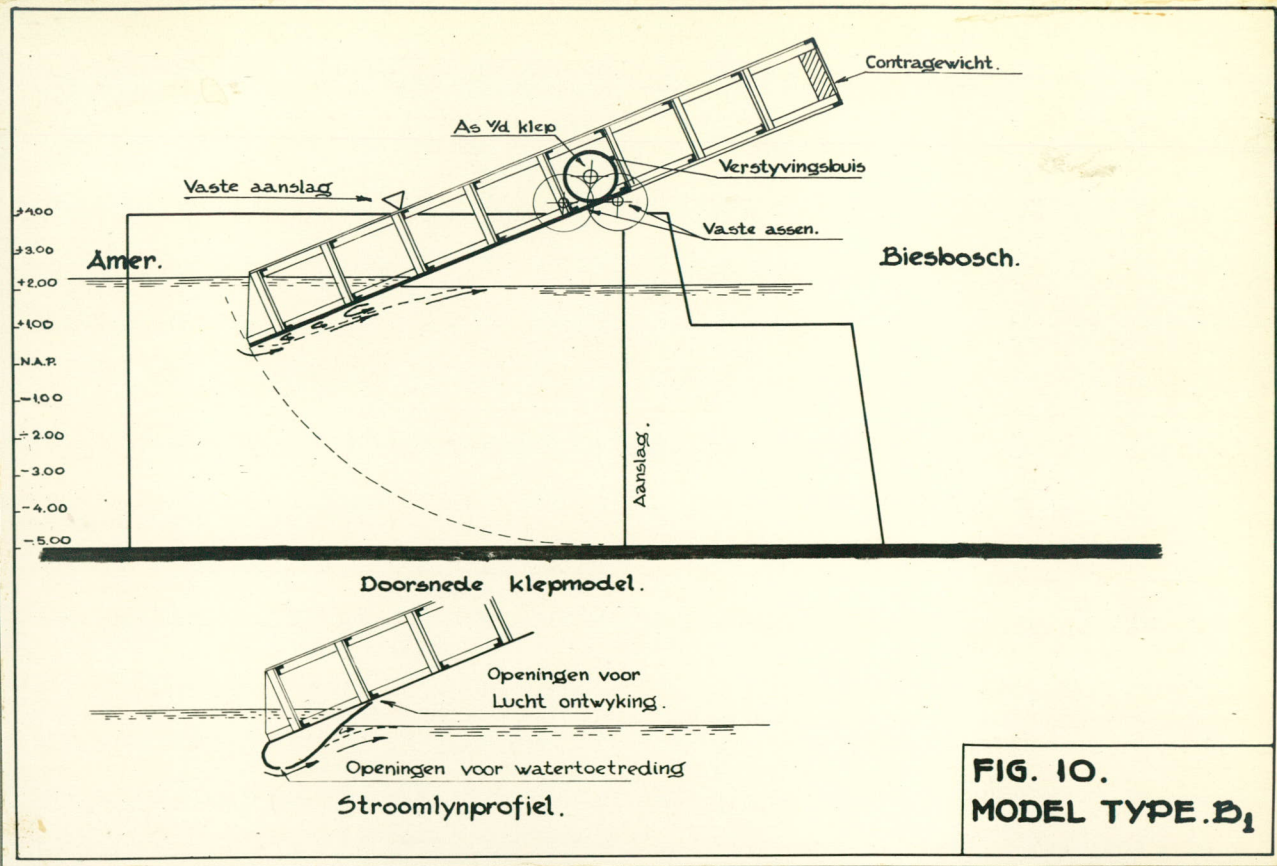


FIG. 10.  
MODEL TYPE B<sub>1</sub>

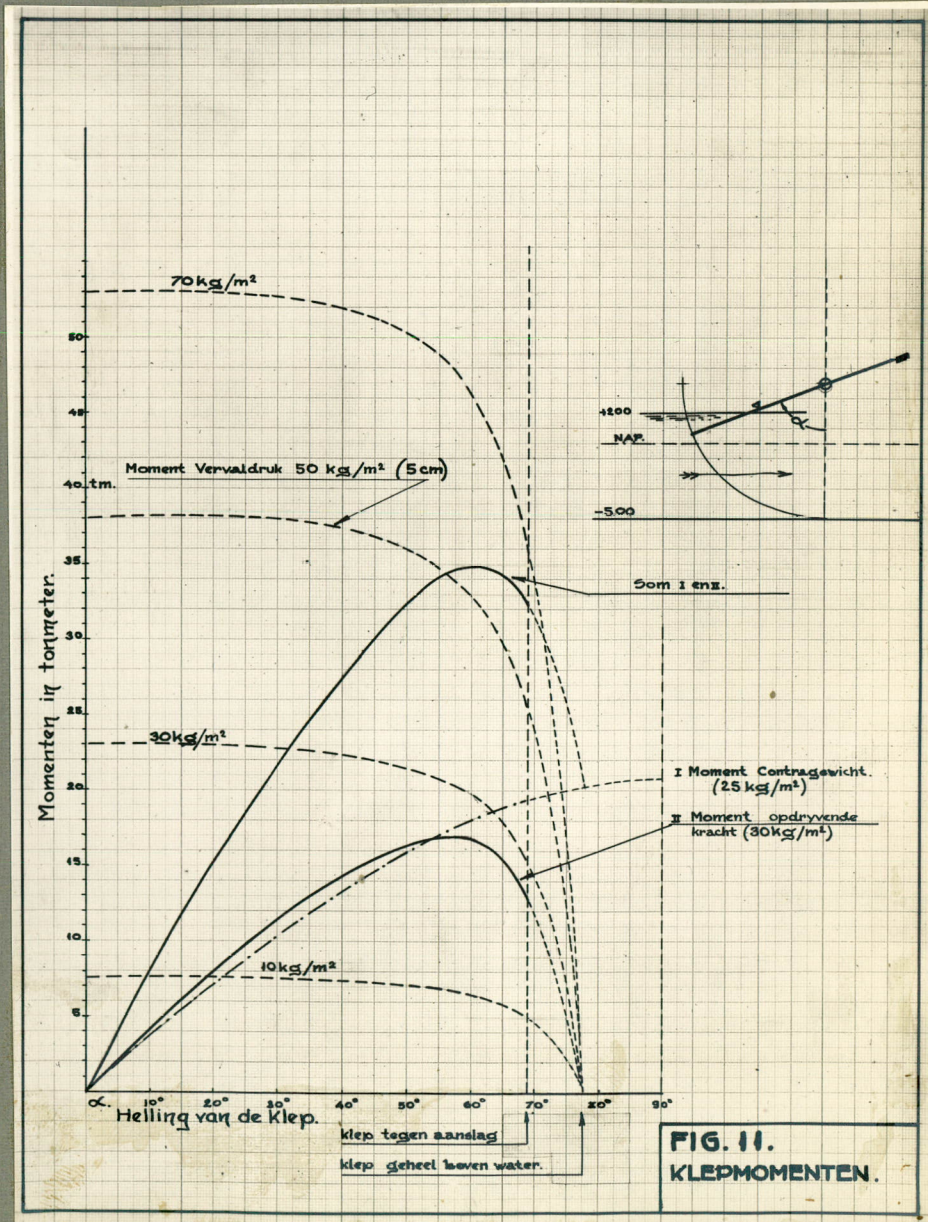


FIG. 11.  
KLEPMOMENTEN.

