

Nel. N. 317 H 25 AUG 1932

RAPPORTEN EN MEDEDEELINGEN BE-
TREFFENDE DE ZUIDERZEEWERKEN.

N^o. 4.

**MODELPROEVEN
IN HET WATERBOUWKUNDIG
LABORATORIUM TE DELFT BE-
TREFFENDE SLUIZEN EN
ANDERE KUNSTWERKEN.**



RIJKSUITGEVERIJ
DIENST VAN DE
NEDERLANDSCHE
STAATSCOURANT

I · 9 · 3 · 2



UITGEGEVEN OP LAST VAN HET MINISTERIE VAN WATERSTAAT
ALGEMEENE LANDSDRUKKERIJ — 'S-GRAVENHAGE.

B1224
①

B 1224 ①
BIBLIOTHEEK
Directie Waterstaat

RAPPORTEN EN MEDEDEELINGEN BE-
TREFFENDE DE ZUIDERZEEWERKEN.



N^o. 4.



539

**MODELPROEVEN
IN HET WATERBOUWKUNDIG
LABORATORIUM TE DELFT BE-
TREFFENDE SLUIZEN EN
ANDERE KUNSTWERKEN.**



UITGEGEVEN OP LAST VAN HET MINISTERIE VAN WATERSTAAT
ALGEMEENE LANDSDRUKKERIJ — 'S-GRAVENHAGE — 1932.

ALGEMEENE INHOUD.

1. VOORBERICHT EN ALGEMEENE INLEIDING.
2. STORTEBEDDEN, ONTVANGBEDDEN EN VERMOGEN VAN DE UITWATERINGSSLUIZEN IN DE AFSLUITDIJK VAN DE ZUIDERZEE (M. 17).
3. DETAILMETINGEN VOOR DE UITWATERINGSSLUIZEN IN DE AFSLUITDIJK VAN DE ZUIDERZEE (M. 40).
4. STORTEBED VAN DE OOSTOEVERSLUIS (M. 24).
5. SCHUTKOLKVULLING VAN DE WIERINGERMEERSLUIZEN BEWESTEN MEDEMBLIK (M. 4).
6. SCHUTKOLKVULLING EN -LEDIGING VAN DE WIERINGERMEERSLUIZEN BIJ DE HAUKE, KOLHORN EN DEN OEVER (M. 8).
7. VERMEERDERING VAN HET VERMOGEN VAN DE SYPHON BIJ ZEEBURG (M. 42).

INLEIDINGEN.

UITKOMSTEN VAN MODELONDERZOEKINGEN VAN VERSCHILLENDE AARD, VERRICHT IN HET WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM TE DELFT MET BETREKKING TOT UITWATERINGS- EN SCHUTSLUIZEN VAN DE ZUIDERZEEWERKEN.

In het derde deel van de „Rapporten en Mededeelingen betreffende de Zuiderzeewerken” is opgenomen het verslag van de modelproeven, die in het laboratorium van Prof. REHBOCK te Karlsruhe zijn uitgevoerd.

Deze proeven zijn in twee groepen te verdeelen, namelijk die voor de uitwateringssluizen (sluisproeven) en die voor de toestanden op de in aanbouw zijnde afsluitdijk (damproeven).

Geen van deze beide onderwerpen zijn door de metingen te Karlsruhe volledig onderzocht. Bij de damproeven was dat niet mogelijk, doordat gedurende het tijdvak, waarin zij werden genomen (1922—1925), nog niet kon worden beschikt over de volledige uitkomsten van het onderzoek van de Staatscommissie-LORENTZ.

Bij de uitvoering van de sluisen en van de dijk deden zich verder nog verschillende nadere vragen voor, waarbij de wenschelijkheid bleek de modelmetingen voort te zetten. De opdrachten daartoe werden gegeven aan het nieuwe waterbouwkundig laboratorium te Delft, dat in 1927 in bedrijf werd genomen.

In deze aflevering zijn de resultaten van het deel der te Delft verrichte metingen, welke op sluisen betrekking hebben, opgenomen. Het ligt in de bedoeling de uitkomsten der damproeven, die nog worden voortgezet, wanneer de omstandigheden op het werk daartoe aanleiding geven, met de bijbehorende berekeningen en waarnemingen nader te publiceeren.

De te Karlsruhe verrichte sluisproeven hebben geleid tot de vaststelling van het vermogen van de sluisen. Zooals in „Rapporten en Mededeelingen betreffende de Zuiderzeewerken” n°. 3 is vermeld, was dit vermogen belangrijk grooter dan werd verwacht, waardoor de mogelijkheid ontstond het aantal van de sluisen te verminderen.

Over het stortebed werden aldaar slechts eenige oriënteerende metingen gedaan; het onderzoek hiervan is verder te Delft verricht (model 17).

Later werden nog eenige details in een model van een gedeelte van de sluisgroep gemeten (model 40). Het ging hier in de eerste plaats om de vraag,

in hoeverre het vermogen van de sluisen zou worden beïnvloed door het toepassen van puntdeuren van damwandijzer met een zeer ongelijk oppervlak. Verder werden in dit model eenige grootheden bepaald (krachten, afvoer-
vermindering) bij de automatische werking van de deuren in de uitwaterings-
sluisen. In hetzelfde model werd nog nagegaan of de deuren hinder kunnen
ondervinden van zand, dat met de spuistroom door de sluisen zal worden
gevoerd, en ten slotte of de deuren tijdelijk kunnen dienen voor het keeren
van een klein verval van de IJsselmeerzijde naar de kant van de Waddenzee,
wat tijdens het opruimen van de sluisputten kan voorkomen.

In aansluiting met de proeven over de stortebedden der uitwaterings-
sluisen in de afsluiting van de Zuiderzee is een onderzoek verricht voor de
Oostoeversluis, de uitwateringssluis van het Balgzandkanaal (model 24).
Gedurende het bedrijf van deze sluis ontstond een begin van beschadiging
van het stortebed. De proeven hadden het doel de middelen te vinden om
uitbreiding van de beschadiging te voorkomen, zonder de sluis buiten werking
te stellen, wat hoogst ongewenscht was, daar de sluis juist werd gebruikt
om de afgesloten Wieringermeer vóór het droogmalen zoo ver mogelijk af
te spuien.

Bovendien moesten de metingen de gegevens verschaffen om een be-
dieningsvoorschrift voor de sluis te kunnen samenstellen.

Ook voor de schutsluisen, die toegang geven tot de Wieringermeerpolder,
zijn modelproeven genomen. Het doel is daarbij het verwezenlijken van een
snelle vulling van de schutkolk, waarbij de ligging van de geschutte schepen
niet onrustig mag worden.

Een eerste onderzoek ging over de sluis ten westen van Medemblik (model 4),
terwijl later een model werd gemaakt om de sluisen bij Kolhorn, de Haukes
en den Oever te beproeven (model 8).

Ten slotte is in deze bundel nog behandeld een serie metingen, verricht
voor de vergrooting van de capaciteit van de syphon onder het Merwedekanaal
bij Zeeburg (model 42).

De rapporten omtrent de aangegeven proefnemingen, verricht in het
waterbouwkundig laboratorium te Delft, samengesteld onder leiding van
Ir. J. TH. THIJSSÉ, volgen hierachter.

's-Gravenhage, Juli 1931.

De Directeur-Generaal der Zuiderzeewerken,
V. I. P. DE BLOCQ VAN KUFFELER.

INLEIDING.

Gedurende het tijdvak van bijna vier jaren, waarin het laboratorium bestaat, is een vrij groot aantal onderzoekingen van verschillende aard gedaan voor de Zuiderzeewerken. Daarbij behoort ook de modelmeting, waarmede nog vóór de geheele voltooiing het bedrijf werd aangevangen, namelijk het onderzoek van de schutsluis bij Medemblik (model 4).

De metingen, in dit eerste model, geschieden nog op zeer primitieve wijze. Vóór het maken van definitieve regel-, meet- en registreertoestellen moest eerst ondervinding worden opgedaan met tijdelijke inrichtingen. In het verslag over deze proef is deze omstandigheid duidelijk op te merken.

Dit is ook nog in sterke mate het geval bij de andere metingen, die op schutkolkvullingen betrekking hebben, namelijk die van de sluisen bij de Haukes, Kolhorn en den Oever (model 8). De regeling van het peil van het bovenwater, die tegenwoordig bij dergelijke modellen automatisch geschiedt, moest met de hand gebeuren, terwijl de middelen om de schuiven te bewegen en de uitgeoefende krachten af te lezen en vast te leggen tamelijk gebrekkig waren.

Toch zijn de resultaten van de proeven goed geweest: de sindsdien uitgevoerde sluisen geven, niettegenstaande de snelle vulling, een rustige ligging van de geschutte schepen.

Bij de proeven voor de uitwateringssluizen in de afsluitdijk (modellen 17 en 40) kan de overeenkomst tusschen model en werkelijkheid nog niet worden nagegaan, omdat deze kunstwerken eerst na de voltooiing van de afsluitdijk in gebruik worden genomen.

Het werk voor het stortebed van de Oostoeversluis daarentegen leverde een zeer belangrijke contróle op de juistheid van de modelmetingen. De verdiepingen, die in het model ontstonden, kwamen namelijk nauwkeurig overeen met die bij de werkelijke sluis waren opgepeild en die de aanleiding voor het onderzoek hadden gegeven.

Het laatste verslag van deze serie heeft betrekking op een meting (vergrooting van het vermogen van de syphon te Zeeburg, model 42), die geheel anders verliep dan men zich had voorgesteld. In het model bleek namelijk, dat het vermogen wordt bepaald door de neiging van de toldeuren om zich gedurende het stroomen gedeeltelijk te sluiten. De eigenaardige vorm van de afvoerkromme, die aan het kunstwerk was gemeten, werd hierdoor ver-

klaard, terwijl tevens bleek, dat door deze eigenschap de verbetering op veel gemakkelijker wijze kon worden verkregen dan door het wijzigen van de vorm van in- en uittree van de zinkers, zooals was voorzien.

De afmetingen en andere grootheden, die in de verslagen worden genoemd, hebben in de regel betrekking op de werkelijkheid. Alleen in sommige gevallen worden de maten van model en van werkelijkheid beide opgegeven: de eerste zijn dan aangeduid met kleine letters, de laatste met hoofdletters.

Zooals bekend is, wordt het verband tusschen de modelgrootheden en die van de werkelijkheid bepaald door de modelschaal $1 : k$. Om de in het model gemeten waarden over te brengen tot de werkelijkheid, moeten ze met een macht van het verhoudingsgetal k worden vermenigvuldigd.

De belangrijkste factoren zijn de volgende (zie ook Rapporten, enz. n^o. 3, bladz. 5):

Versnelling, verhang, soortelijk gewicht	k^0
Tijd, versnelling	$k^{\frac{1}{2}}$
Lengtematen, snelheidshoogte, druk per eenheid van oppervlak, materiaalspanning	k^1
Afvoer per eenheid van breedte	$k^{\frac{3}{2}}$
Oppervlakte, dwarsprofiel	k^2
Afvoer (waterhoeveelheid per seconde)	$k^{\frac{5}{2}}$
Inhoud, gewicht, kraecht	k^3
Moment	k^4

De metingen zijn alle uitgevoerd door jonge civiel-ingenieurs, die na hun afstudeeren langer of korter tijd in het laboratorium werkzaam zijn of waren, namelijk de Irs. Mr. W. N. DINGER, J. L. KLEIN, A. E. J. NAP en A. J. VAN WALRAVEN. Zij hebben allen gewerkt met enthousiasme, gepaard aan de ernstige wil om een goed resultaat te bereiken. De bedrijfsingenieur van het laboratorium, Ir. N. A. VAN DEN HEUVEL, heeft de noodige hulp verleend, niet alleen bij de metingen, doch ook bij de vervaardiging van de modellen, die geschiedde door personeel van het laboratorium, waarvan de modelmakers W. VAN DRIMMELLEN en M. ZAAYER in het bijzonder kunnen worden genoemd.

Het zal nauwelijks noodig zijn te vermelden, dat door mijn collega's van de Zuiderzeewerken, die als opdrachtgevers fungeerden, steeds met groote welwillendheid, is gezorgd voor de noodige gegevens. De nauwe samen-

werking met de uitvoerende ingenieurs is vooral van belang, doordat hierdoor wordt vermeden het aanbevelen van constructies, die, uit hydraulisch oogpunt bezien, misschien goed zijn, maar bij de uitvoering moeilijkheden zouden opleveren. Het contact met de mannen van de practijk kan door een waterbouwkundig laboratorium moeilijk worden overschat.

Bij het maken van de verslagen is gebruik gemaakt van de zg. spelling-TERPSTRA, waardoor, zoowel bij het schrijven als bij het corrigeeren, een belangrijke tijdsbesparing is verkregen.

Delft, Juli 1931.

J. TH. THIJSSSE,

*Directeur van het Waterbouwkundig Laboratorium
van de Technische Hoogeschool,*

Eerstaanwezend-Ingenieur bij de Zuiderzeewerken.

**STORTEBEDDEN, ONTVANGBEDDEN EN VER-
MOGEN VAN DE UITWATERINGSSLUIZEN BIJ
DEN OEVER EN OP HET KORNWERDERZAND
IN DE AFSLUITDIJK VAN DE ZUIDERZEE.**

(MODELPROEF No. 17.)

INHOUD.

	Bladz.
I. Aanleiding tot en uitkomsten van het onderzoek	5
1. Opdracht en uitvoering	5
2. De uitkomsten van de metingen	6
II. Inrichting van de metingen aan het model 1929	6
3. Het model	6
4. Volgorde der modelmetingen	8
5. Voorloopige capaciteitsmetingen bij spuien	9
III. Het stortebed	12
6. Opzet van het onderzoek van het stortebed	12
7. Overeenstemming van model en werkelijkheid	14
8. Voorloopige aannamen'	15
9. Vorm en afmetingen van de drempel	16
10. Lengte van het stortebed	19
11. Hoogteligging van het stortebed	20
12. Aan de zijkanten verhoogde drempel	21
13. Stortebed aan de zijkanten verlengd	22
14. Stortebed met afgeschuinde hoeken	22
15. Begrenzing van de taludkegels aan de benedenzijde	24
16. Volledige beproeving van de aanbevolen constructie	26
17. Capaciteitsmetingen bij de aanbevolen constructie	27
IV. Het ontvangbed	27
18. Toestand bij spuien aan de IJsselmeerzijde	27
19. Onderzochte ontvangbedden	28
V. Inlaten van water door de sluizen	30
20. Het vermogen	30
21. Ontgronding	32
VI. Vergrooiting van de sluisplateaux	33
22. Gevolgen van het vooruit bouwen	33
23. Nieuw model	34
24. De metingen	35
25. Toestand 0	36
26. Toestanden I—IV	37

27. De invloed van de vorm van de plateaux op het vermogen	42
28. De invloed op de ontgronding	42
29. Bodemsnelheden bovenstrooms van de sluizen	43
VII. Spuien met een gedeelte van de sluisopeningen	44
30. Metingen in het model van 1929	44
31. Metingen in het model van 1931	45
VIII. Slotopmerking	46
32. De invloed van zoet en zout water	46

FIGURENLIJST.

	Bladz.
1. Overzicht model 1929	8
2. Model 1929, gezien van de Waddenzeezijde	foto
3. Voorloopige capaciteitsmetingen bij spuien	11
4. Voorloopig stortebed	16
5. Drempelvormen in doorsnede	17
6. Ontgroning drempel n°. 1	17
7. Ontgroning drempel n°. 2	18
8. Ontgroning drempel n°. 3	18
9. Ontgroning drempel n°. 4	18
10. Ontgroning geen drempel (n°. 5)	19
11. Drempel met verhoogde zijkanten	21
12. Drempel met loodrecht omgezette einden	22
13. Stortebed met verlengde zijkanten	22
14. Stortebed met teruggetrokken einden	23
15. Aanbevolen stortebed	24
16. Toelichting van de tabellen 2 en 3	25
17. Ontvangbed oud ontwerp	29
18. Ontvangbed nieuw ontwerp	29
19. Bodemsnelheden bij hooggelegen ontvangbed	29
20. Bodemsnelheden bij laaggelegen ontvangbed	29
21. Capaciteitsmetingen bij waterinlaten	32
22. Plattegrond en doorsnede model 1931	34
23. Overzicht model 1931	foto
24. Gezicht op het doorstroomende water	foto
25. Bovenaanzicht op de stroom in de sluizen	foto
26. Jacobsenstroommeter	foto
27. Ontgroning bij toestand 0	foto
28. Stroomrichting boven de sluizen bij toestand 0	foto
29. Toestand I	38
30. Ontgroning bij toestand I	foto
31. Bodemsnelheden bij toestand I	38
32. Toestand II	39
33. Ontgroning bij toestand II	foto
34. Verdieping bij taludkegel (toestand II)	foto
35. Bodemsnelheden bij toestand II	40

36. Toestand III	40
37. Bodemsnelheden bij toestand III	41
38. Verdieping na zeer krachtig spuien	foto
39. Toestand IV ,	41
40. Ontgronding bij toestand IV	foto
41. Bodemsnelheden bij toestand IV	42
42. Ontgronding na een week spuien bij toestand IV	foto
43. Zijdelings wegspoelen van bodem door laterale neeren	44
44. Luchtfoto sluizen den Oever	foto
45. Stortebed sluizen Kornwerderzand	foto

I. AANLEIDING TOT EN UITKOMSTEN VAN HET ONDERZOEK.

1. *Opdracht en uitvoering.*

De eerste modelmetingen voor de uitwateringssluizen tusschen het IJsselmeer en de Waddenzee zijn reeds in 1922 geschied in het Flussbaulaboratorium der Technischen Hochschule te Karlsruhe. Het door de leider van dat laboratorium, Prof. REHBOCK, uitgebrachte verslag van deze en andere metingen is gepubliceerd in de Rapporten en Mededeelingen betreffende de Zuiderzeewerken n°. 3: Wasserbauliche Modellversuche.

De metingen te Karlsruhe hadden grootendeels betrekking op het vermogen van de sluisen, waardoor na afloop van de proeven de benodigde afmetingen konden worden vastgesteld. Over de ontgroning werd alleen een oriënteerend onderzoek verricht, dat tot resultaat had de zekerheid, dat een zeer goed stortebed noodzakelijk zou zijn om de verdieping tegen het kunstwerk binnen toelaatbare grenzen te houden.

De bouw van de sluisen kon nu beginnen; voor de aansluitende stortebedden en ontvangbedden werd een definitief ontwerp eerst noodig, nadat die bouw een eindweegs was gevorderd. In December 1928 werd aan het inmiddels opgerichte waterbouwkundig laboratorium te Delft opgedragen de juiste vorm van stortebed en ontvangbed te bepalen.

Tevens werd de vraag gesteld welk vermogen de sluisen bezitten voor het stroomen in de omgekeerde richting, dus inlaten van water uit de Waddenzee in het IJsselmeer.

In October 1930 volgde een nieuwe opdracht. Ditmaal moest worden nagegaan de invloed, die het vermogen en de ontgroning zouden ondervinden van wijziging van de sluisen begrenzende grondwerken. Deze wijziging zou bestaan uit: vergrooten van de plateaux tusschen de sluisgroepen en uitbouwen van de leidam tusschen de spuigeul en de scheepvaartweg.

De eerste opdracht werd uitgevoerd aan een model, dat kort na nieuwjaar 1929 werd vervaardigd (model 1929). De metingen geschieden in Februari tot en met Mei 1929. Voor het tweede onderzoek werd in November 1930 een, grootendeels nieuw, model gebouwd, waarin van December 1930 tot half Januari 1931 werd gemeten (model 1931).

Het onderzoek van model 1929 stond onder leiding van den ingenieur Mr. W. N. DINGEB, dat in het model 1931 werd verricht door den ingenieur J. L. KLEIN.

2. De uitkomsten van de metingen.

De bereikte resultaten kunnen als volgt worden samengevat:

- a. De ontgroning aan de zijde van de Waddenzee kan worden voorkomen door een horizontaal stortbed, lang 18 m, voorzien van vooruitstekende hoeken en begrensd door een rechthoekige drempel. De aansluitende deelen van de teen van de taludkegels ter weerszijden van de sluisgroepen moeten tot 7,50 m — N.A.P. worden doorgetrokken (par. 15).
- b. Om hinderlijke verdieping van de bodem aan de zijde van het IJsselmeer te voorkomen, is een diep gelegen ontvangbed noodig, lang ongeveer 40 m en aan beide zijden aansluitend aan verdedigde taludkegels (par. 18 en 19).
- c. Het vermogen bij inlaten van water is ongeveer 10 percent kleiner dan bij werking met de normale stroomrichting (spuien) (par. 20). Contrôle-proeven geven voor het vermogen bij spuien ongeveer het gemiddelde tusschen de grenzen, die na de metingen te Karlsruhe waren opgesteld (par. 5 en 17).
- d. Gevaarlijke ontgroning bij inlaten wordt op voldoende wijze verhinderd door de voor het spuien ontworpen stortbedden en ontvangbedden. Speciale voorzieningen voor dit zelden voorkomende geval behoeven dus niet te worden getroffen (par. 21).
- e. Uitbreiding van de sluisplateaux vermindert het vermogen zeer weinig (par. 27), maar heeft aantasting van de teen van die plateaux aan de Waddenzeezijde ten gevolge (par. 28). De ontvangbedden zouden sterk moeten worden vergroot (par. 29).
- f. Stroomen met een deel van de openingen van een sluisgroep veroorzaakt gevaarlijke ontgroning vóór het stortbed (par. 30—31).
- g. De plaatsen van de sluizen, die het zwaarst worden aangevallen, zijn de aansluitingen van de leidam tusschen scheepvaartweg en spuigeul tegen de eerste sluisgroep, vooral bij de sluizen op het Kornwerderzand (par. 25—29).
- h. Het feit, dat bij de sluizen menging van zoet en zout water zal voorkomen, wat in het model niet het geval is, kan geen groote verschillen tusschen model en werkelijkheid veroorzaken (Slotopmerking).

II. INRICHTING VAN DE METINGEN AAN HET MODEL 1929.

3. Het model.

Van de uitwateringsluizen bij den Oever is een model gemaakt op

$\frac{1}{100}$ der ware grootte, in dier voege, dat het geheele sluizencomplex is doorsneden volgens de lengte-symmetrie-as. De linker (zuidwestelijke) helft is in model gebracht, waarbij op de plaats van de genoemde symmetrie-as in het model een lange spiegelruit is geplaatst.

Het sluizencomplex bij den Oever bestaat uit 3 sluzengroepen, bevattende elk 5 sluizen van 12 m breedte. In het model is dus de glazen ruit gezet in de as van de middelste sluis van de middelste groep. De ruit vergemakkelijkt het waarnemen van de stroomen in deze sluis en brengt wegens zijn plaatsing in de as van het heele complex geen verandering in de waterbeweging, daar zij geen noemenswaardige wrijving veroorzaakt.

Als modelschaal is gekozen $\frac{1}{100}$, zoowel in lengte, breedte als diepte. Op deze schaal past het model goed in de beschikbare ruimte; de benodigde waterhoeveelheid per seconde in het model is niet te groot; de waarde der constante van Reynolds ($R = \frac{v d}{\nu}$) is hoog genoeg om de in het model optredende stroomen gelijkvormig aan die uit de werkelijkheid te maken.

Het model is opgetrokken tot eenige centimeters boven de hoogste waterstand. De overbruggingen der sluizen, die geen invloed op de waterbeweging uitoefenen, zijn weggelaten.

De sluizen zelf zijn uit paraffine vervaardigd. Deze grondstof onderscheidt zich van hout, o. a. door zijn vormbestendigheid bij de aanraking met water. Hij leent zich bij uitstek tot het aanbrengen van sponningen en drempels, die in overeenstemming met de werkelijkheid zijn gemaakt op $\frac{1}{2}$ mm nauwkeurig.

Het stortebed, dat telkens moet worden verbouwd, is gemaakt van gips, de drempel hierop van hout.

Het verdere model (gedeelte IJsselmeer, gedeelte Waddenzee, plateau tusschen de sluisgroepen met taluds en aansluitende grondwerken aan de zuidwestzijde) is van beton opgetrokken.

Als bewegelijk bodemmateriaal benedenstrooms van het stortebed zijn puimsteenkorrels gebezigd. Deze puimsteenkorrels komen reeds bij kleine snelheden, in de buurt van 10 cm per seconde, in beweging, zoodat zij in het model, waar de snelheden het tiende deel zijn van die in de werkelijkheid, wat minder bewegelijk zijn dan het zeezand in de werkelijkheid is. Een volledige overeenstemming is dus niet aanwezig, waarop bij de interpretatie van de modelmetingen moet worden gelet.

De waterhoeveelheden per tijdseenheid worden gemeten in een der tot de vaste inventaris van het laboratorium behorende meetinrichtingen (meetstuw met scherpe horizontale kruin), waarmede een nauwkeurigheid tot binnen 1 percent wordt bereikt.

De benedenwaterstand in het model wordt geregeld door een uitlaatklep. De waterstanden worden waargenomen tot in tienden van mm (in werkelijkheid cm) aan peilnaalden, die opgesteld zijn:

in het IJsselmeer 150 cm (150 m) bovenstrooms van de pijlerkoppen;
in de Waddenzee ruim 700 cm (700 m) benedenstrooms van de zeewaarts gerichte uiteinden der pijlers.

Het geheele model beslaat een oppervlakte van ongeveer 250 bij 1500 cm. Het is gebouwd in Januari en de eerste helft van Februari 1929.

Fig. 1 geeft een schetsmatig overzicht er van in plattegrond.

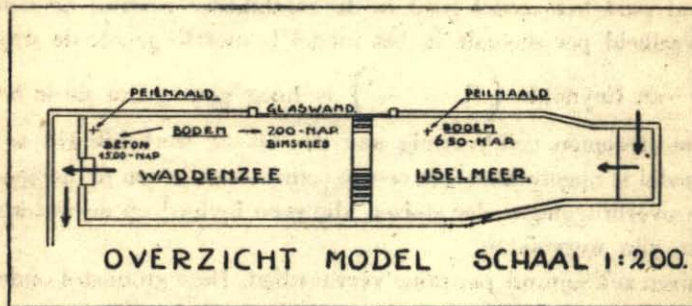


Fig. 1.

Fig. 2 is een foto, tijdens het spuien genomen, gezien van de Waddenzee naar het IJsselmeer. De glazen wand, die het model aan de eene zijde begrenst, is links te zien. De peilnaald geeft het peil van het IJsselmeer aan.

4. Volgorde der modelmetingen.

Allereerst zijn eenige capaciteitsmetingen bij spuien verricht (par. 5). Het doel hiervan was om aansluiting te verkrijgen bij de afvoermetingen aan het model in het „Flussbaulaboratorium” te Karlsruhe (Rapporten, enz. n°. 3).

Vervolgens is de ontgronding bepaald, die door de spuiroom kan optreden bij verschillende stortebedconstructies. Daarbij zijn achtereenvolgens nagegaan de vorm en afmetingen van de drempel, die het stortebed afsluit, de lengte van het stortebed en de hoogteligging daarvan (par. 9—11). Een aantal details is hierna nog nagegaan (par. 12—15).

De definitief gekozen constructie is uitvoerig beproefd, ook wat de capaciteit betreft (par. 16 en 17).

Het nu volgende onderzoek naar de noodzakelijke afmetingen van het ontvangbed aan de IJsselmeerszijde is geschied door het meten van de snelheid van het naar de sluizen stroomende water op verschillende punten (par. 18 en 19).

Ten slotte is de capaciteit van de sluizen onderzocht bij de tegengestelde richting van doorstroming, dus bij inlaten van water uit de Waddenzee in het IJsselmeer (par. 20 en 21).

Hiermede was het eerst opgedragen onderzoek afgelopen.

Later, in 1931, zijn de metingen gedaan omtrent de invloed van de vorm van de plateaux tusschen de sluisgroepen op de afvoer (par. 22—29).

5. Voorloopige capaciteitsmetingen bij spuien.

Begonnen is met het meten van de waterafvoer bij verschillende waterstanden in het model zonder stortebed, om de resultaten te vergelijken met metingen in modellen van dezelfde uitwateringssluizen in het laboratorium van Prof. REHBOCK te Karlsruhe gedaan.

Telkens, wanneer een bepaalde waterhoeveelheid Q in de meetgoot is ingesteld, worden boven- en benedenwaterstand afgelezen. Bij onveranderde Q , maar met een gewijzigde stand van de uitlaatklep, wordt de hoogte van de waterspiegels wederom bepaald en, door dit bij een aantal standen van de uitlaatklep te herhalen, verkrijgt men een serie boven- en benedenwaterstanden, die, voor de ingestelde waterhoeveelheid, paarsgewijs bij elkander behooren.

In een diagram, waarin op de coördinaatassen de boven- en benedenwaterstanden zijn uitgezet, wordt elk paar door een punt voorgesteld. De verbindingslijn van dergelijke punten kan worden aangeduid als Q -kromme.

In het diagram kunnen meer van deze krommen worden geteekend, die ieder gelden voor een bepaalde afvoer.

Bij deze voorloopige capaciteitsbepaling is gemeten met een viertal waarden van de afvoer Q , zoodat ook vier Q -krommen kunnen worden geteekend.

De resultaten zijn weergegeven in fig. 3 en in tabel 1, waarin tevens zijn opgenomen de berekende waarden van μ uit de afvoerformule

$$Q = \mu F \sqrt{2gz}.$$

De peilen in fig. 3 geven de gemeten waterstanden aan, niet de energiehoogten. De μ -waarden van tabel 1 daarentegen zijn berekend uit de energie-

verschillen, die de grootte hebben van enkele percenten van het geheele verval bij de sluis.

De gevonden waarden van μ moeten nu worden vergeleken met de te Karlsruhe bepaalde. In het verslag van de metingen te Karlsruhe (Rapporten, enz. n^o. 3) zijn de uitkomsten opgegeven voor de twee aannamen in het benedenwater, namelijk de levende kracht van het langs de peilschaal „Waddenzee” stroomende water wordt volledig in drukhoogte omgezet of deze energie gaat geheel verloren. Voor het eerste geval is de formule (43) (bladz. 46) opgesteld, voor het andere geldt de formule (46) (bladz. 49).

Door een andere inrichting van het model is het verschil in vermogen bij de twee onderstellingen te Karlsruhe veel grooter dan bij de nu besproken metingen. De daarbij behorende waarden van μ liggen ongeveer midden tusschen de „hooge” en „lage” waarde van Karlsruhe, die eveneens in tabel I zijn opgenomen en die zich onderling ongeveer verhouden als 3 tot 2. Dit komt er op neer, dat bijna de helft van de beschikbare kinetische energie in druk en de andere helft in warmte wordt omgezet, wat een plausible uitkomst is.

De twee belangrijkste verschillen tusschen de beide modellen zijn de grotere afstand tusschen benedenpeilschaal en sluis en de kleinere pijlerlengte in het model te Delft. Het eerste zou een 1 à 2 percent kleinere μ moeten veroorzaken, maar door een pijlerlengte van 50 in plaats van 56 m wordt dit verschil weer vrijwel ongedaan gemaakt. Uit de op bladz. 13 van Rapporten, enz. n^o. 3 gegeven verhoudingen valt een verschil van rond 1 percent ten gunste van de pijler van 50 m af te leiden.

De gevolgtrekking uit de vergelijking kan deze zijn, dat de metingen in de modellen behoorlijk met elkander overeenstemmen. Het vermogen van de sluizen is volgens de metingen in Delft vrijwel gelijk aan dat waarop bij de berekeningen over het peil in het IJsselmeer is gerekend.

III. HET STORTEBED.

6. Opzet van het onderzoek van het stortebed.

Het uit de sluis tredende water is in hooge mate turbulent. Daardoor wordt reeds bij een betrekkelijk klein verval het zand, waaruit de onverdedigde zeebodem bestaat, in beweging gebracht, waardoor plaatselijk verdieping

ontstaat. Door een goede keus van het stortebed moet worden bereikt, dat de verdiepingen zich niet onmiddellijk tegen het kunstwerk vormen, zoodat gevaar voor ontgronding wordt vermeden.

Door de metingen te Karlsruhe was reeds vastgesteld, dat een goede toestand slechts kan worden verkregen, wanneer het stortebed is afgesloten met een drempel. Is dit niet het geval, dan kan, zelfs bij de zeer groote lengte van het stortebed van 70 m, ontgronding daarvan optreden (Rapporten, enz. n°. 3, Dritter Teil, 6).

Behalve de vorm en afmetingen van de drempel zijn ook breedte en hoogteligging van het stortebed zelf veranderlijk. Hierdoor zijn zooveel combinaties mogelijk, dat het ondoenlijk is, ze alle te beproeven. Eerst is de gunstigste drempel gezocht, daarna kwam het stortebed zelf aan de beurt. Toch is op deze wijze een groot aantal vormen onderzocht.

Telkens nadat een van die vormen in het model was ingebouwd, werd het model voorzichtig met water gevuld en daarna de bodem benedenstrooms van de sluizen onder profiel gebracht. Daartoe worden de puimsteenkorrels, die de zeebodem voorstellen, over een oppervlakte van ongeveer 2,5 bij 2,5 m (in werkelijkheid 250 × 250 m) vlak gestreken. Bij dit vlak strijken wordt er voor gezorgd, dat de puimsteenkorrels bij het stortebed op gelijke hoogte als de drempel komen te liggen, terwijl de bodem over een afstand van 250 cm (250 m) geleidelijk afdaalt tot een peil van 7 m — N.A.P. Uitkolkingsen over de volle afstand van 250 m zijn in het model nooit waargenomen.

Vervolgens wordt de vereischte waterhoeveelheid nauwkeurig ingesteld. In den regel was dit 184 m³ per seconde voor elke sluisopening, dus 1380 m³ per seconde (in het model 13,8 liter per seconde) voor de 7½ opening, die door het model wordt voorgesteld. De waterstanden komen overeen met een bovenwaterstand van N.A.P. (IJsselmeer) en een benedenwaterstand van 2,25 m — N.A.P. (Waddenzee). De gekozen benedenwaterstand is de laagste, die zal kunnen voorkomen, en een binnenwaterstand van N.A.P. de hoogste, die men tegelijkertijd redelijkerwijs kan verwachten. Bij deze benedenwaterstand is de capaciteit der sluizen gelijk aan de bij de bovenwaterstand behoorende maximum afvoer.

Met deze ongunstige waterstanden is voortdurend gewerkt om zoo diep mogelijke ontgrondingen te verkrijgen en daardoor de verschillen tusschen de onderzochte constructies zoo sterk mogelijk te doen spreken.

De waterstroom van 13,8 liter per seconde wordt bij elke proef onderhouden

bodem der sluisopeningen 4,65 m — N.A.P.,
drempels in de sluisopeningen 4,50 m en 4,40 m — N.A.P.

Bij de aangenomen hoogteligging van het stortebed op 5,50 m — N.A.P. kan dus geëxperimenteerd worden met een drempel op het stortebed, hoog 1 m, zonder dat deze boven de hoogste drempel in de sluisopeningen uitsteekt, waardoor kans zou ontstaan op vermindering van het vermogen van de sluisen (fig. 4).

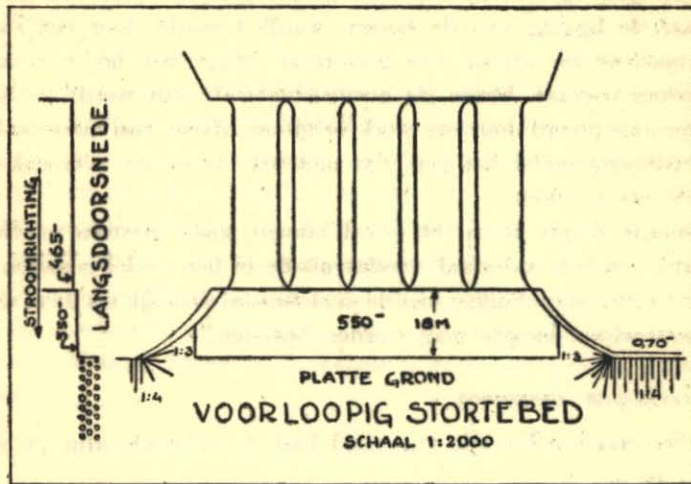


Fig. 4.

Opgemerkt dient nog te worden, dat het aanwenden van „chicanes” (d. z. op het stortvlak aangebrachte hindernissen) in het onderhavige geval niet wenschelijk wordt geoordeeld. De houdbaarheid van deze constructie-deelen bij zware ijsgang op zee wordt in twijfel getrokken, terwijl ook deze constructie kans oplevert op verkleining van de afvoer, vooral bij de geringe vervallen, waarmede de sluisen gewoonlijk moeten werken.

9. *Vorm en afmetingen van de drempel.*

Op het stortebed van de voorloopige afmetingen, zoals deze in de vorige paragraaf zijn aangegeven, zijn achtereenvolgens aangebracht drempels van rechthoekige en driehoekige doorsnede en een tanddrempel volgens REHBOCK (fig. 5). Bovendien is een proef gedaan zonder drempel.

De uitkomst is, dat in het onderhavige geval de rechthoekige drempel (1) en de getande drempel (4) de beste resultaten opleveren. Stroomafwaarts

van de drempel vormt zich een bodemneer met horizontale as, die het bewegelijke bodemmateriaal naar de drempel toevoert. Het verschijnsel kan door de glaswand, die in de as van de middelste sluisopening is aangebracht, duidelijk worden waargenomen.

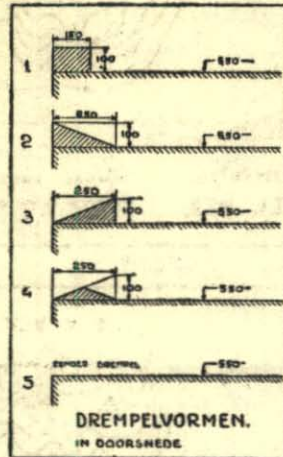


Fig. 5.

Waar de getande drempel in dit geval geen voordeelen biedt boven de zooveel eenvoudiger rechthoekige drempel, is op deze laatste de keuze bepaald.

De fig. 6 tot en met 10 geven de uitschuring van de bodem bij de verschillende drempelvormen en bij het geval zonder drempel. De proeven zijn genomen onder overigens gelijke omstandigheden (IJsselmeer N.A.P., Wadden-

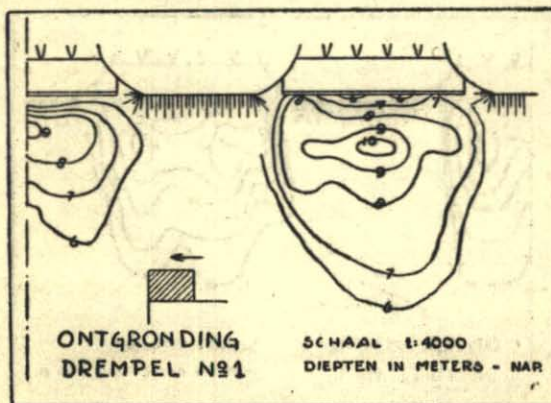


Fig. 6.

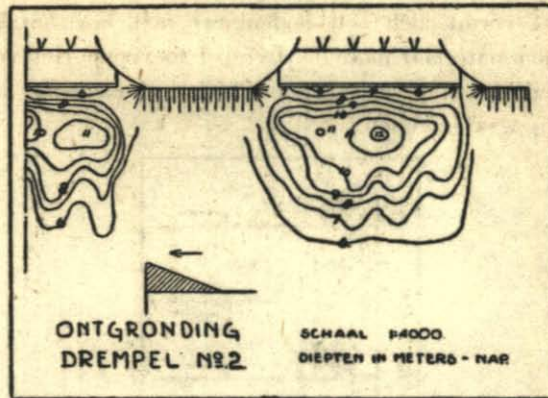


Fig. 7.

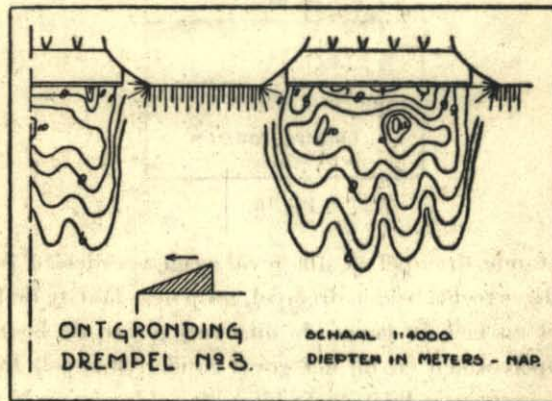


Fig. 8.

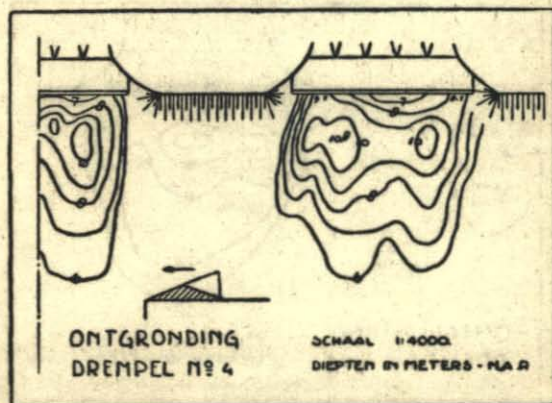


Fig. 9.

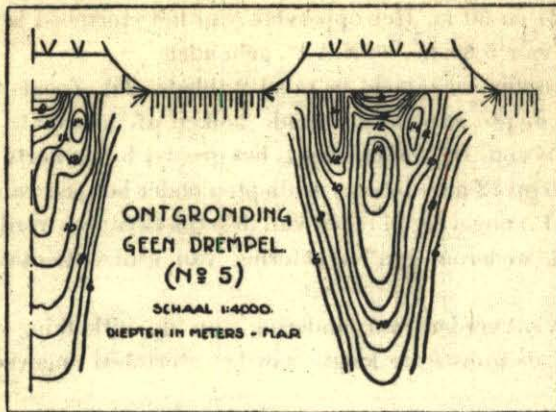


Fig. 10.

zee 2,25 — N.A.P., afvoer 184 m³ per seconde per opening, spuien gedurende 15 uur).

De sterkere ontgroning in het geval zonder drempel valt dadelijk op. De diepste kuil voor het midden van de sluzengroep strekt zich over zeer groote lengte uit en bereikt een grootste diepte van 14,50 m — N.A.P. op een afstand van 30 m van het stortebed. Opvallend is, dat vlak tegen het stortebed aan, in het midden, de ontgroning vrijwel nihil is, zelfs in dit ongunstige geval. Des te sprekender zijn de uitkolkingen aan de zijkanten tot een diepte van 14,00 m — N.A.P. vlak tegen het stortebed. Zij zijn een gevolg van neeren naast de hoofdstroom. Op dit verschijnsel wordt herhaaldelijk teruggekomen.

Als maatgevend voor de kwaliteit van een constructie zijn daarom aangehouden niet de ontgroning in het midden vlak tegen het stortebed, die bij geen der constructies gevaarlijk is, maar wel de uitkolking aan de zijkanten tegen het stortebed, die zooveel dieper gaat, en de diepste kuil in zee ver van het stortebed af en de afstand daarvan tot het stortebed.

In de tabel der ontgroningen (tabel 2, bladz. 25), zijn onder de letters B, C, A en a respectievelijk deze waarden voor de onderzochte constructies elk afzonderlijk vermeld. De bijbehorende fig. 16 geeft voorlichting.

10. *Lengte van het stortebed.*

Met de gekozen rechthoekige drempel is een serie waarnemingen gedaan om de gunstigste lengte (gemeten in de richting van de sluisas) van het stortebed te bepalen. Achtereenvolgens is gewerkt met een stortebedlengte

van 6, 12, 18, 24 en 30 m. Het oppervlak van het stortebed is daarbij steeds op het niveau van 5,50 m — N.A.P. gehouden.

De resultaten zijn verzameld in tabel 2 (bladz. 25). Zooals te verwachten was, neemt de diepte van de gevormde kolken af, naarmate het stortebed langer wordt gekozen. De verbetering is het grootst bij de korte stortebedden: verlenging van 6 op 12 m reduceert de diepten onder het peil van het stortebed (5,50 m — N.A.P.) ongeveer in reden van drie tot twee; een verdere verlenging tot 18 m heeft wederom een verbetering van eenige tientallen procenten ten gevolge.

Daarna is van verdere vermindering van de uitkolking weinig te bespeuren, zoodat de gunstigste lengte van het stortebed ongeveer 18 m blijkt te bedragen.

De voorloopig op grond van de vorm van de waterstraal gekozen lengte van 18 m is dus inderdaad goed geweest en is voor het verdere onderzoek aangehouden.

Opmerkelijk is het weer, dat bij het midden van de drempel de aansluitende zeebodem steeds op het peil van 6,00 tot 6,80 m — N.A.P. ligt. Blijkbaar treedt een evenwichtstoestand op, waarbij het materiaal voortdurend in beweging is, maar het verlies wordt gecompenseerd door toevoer met een onderstroom, die naar deze plek toe is gericht. Blijkbaar is dit evenwicht onafhankelijk van de lengte van het stortebed.

11. *Hoogteligging van het stortebed.*

De maat van 5,50 m onder N.A.P. voor het stortebed kan niet veel worden verkleind. Het oppervlak ligt dan slechts 50 cm onder de aansluitende sluisvloer en bij een hogere ligging zou al spoedig kans gaan ontstaan op vermindering van de afvoer, vooral bij matige vervallen, door de aanwezigheid van stortebed en drempel. In verband hiermede is een hooger liggend stortebed niet onderzocht.

Wel zijn metingen gedaan met een stortebed, dat een meter lager ligt, namelijk op 6,50 m onder N.A.P. Men zou kunnen verwachten, dat in dit geval meer ruimte beschikbaar is voor het uitwoelen van het water, zoodat dit rustiger stroomend het stortebed verlaat en dan minder bodemmateriaal verplaatst.

Dit diepere stortebed levert echter geen voordeelen op. De ontgroning wordt er niet door verminderd en een gunstige invloed op het vermogen kan door de capaciteitsmetingen niet worden aangetoond.

Het peil van 5,50 m — N.A.P., waarvoor de ontgraving en bemaling bij de uitvoering zeer veel minder kostbaar zijn, is daarom aangehouden.

12. Aan de zijkanten verhoogde drempel.

Om de ontgraving aan weerszijden van de hoofdstroom te verminderen, is een drempel toegepast, die aan de zijkanten hoger is dan in het midden. Het doel van deze constructie is het belemmeren van de ontwikkeling van de neeren tusschen hoofdstroom en vleugelmuren, die de oorzaak zijn van de verdiepingen.

Daartoe is de hoogte van de drempel aan de zijkanten gebracht op 150 cm, zoodat het bovenvlak op 4,00 m — N.A.P. komt te liggen. Het midden-gedeelte daarentegen, waar de aantasting van de bodem veel minder is, is lager gehouden dan vroeger, namelijk 50 cm (bovenvlak dus op 5,00 m — N.A.P.) (fig. 11).

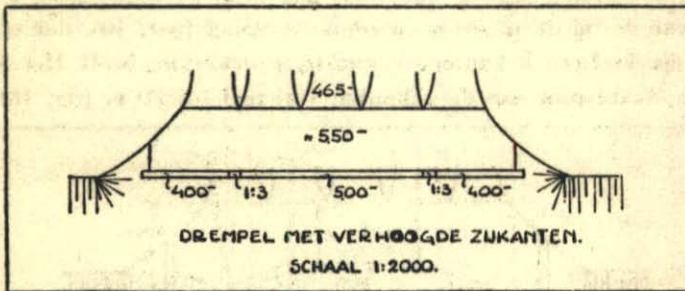


Fig. 11.

Deze constructie heeft inderdaad eenige verbetering ten gevolge (tabel 2). De toestand ligt nu in tusschen die, welke bij een stortebedlengte van 24 en 30 m optreden. De verbetering, die door deze drempel wordt verkregen, komt dus overeen met die door een verlenging van het stortebed van omstreeks 10 m.

Afvoermetingen geven geen verandering van het vermogen der sluisen aan.

De overgang tusschen het lage en het hoge deel van de drempel stond bij de eerste metingen onder 1 op 3. Later is deze overgang geleidelijker gemaakt, namelijk 1 op 16, zoodanig, dat het lage deel juist reikt van het hart van de tweede tot dat van de vierde opening. Verder is, om constructieve redenen, de drempel bij de taluds rechthoekig omgezet tot tegen de vleugelmuren (fig. 12). Door deze wijzigingen wordt de toestand nog iets

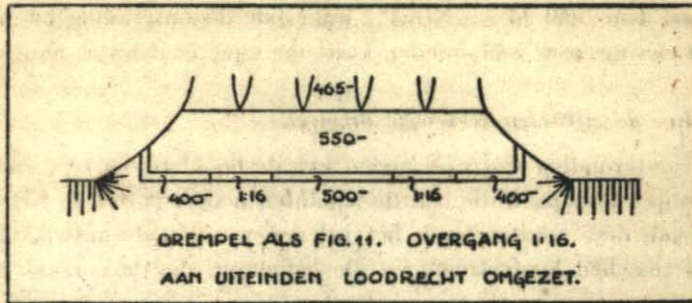


Fig. 12.

gunstiger. De cijfers van tabel 2 hebben op deze laatstgenoemde drempelvorm betrekking.

13. Stortebed aan de zijkanten verlengd.

Om de uitkolkling aan de zijkanten nog meer te reduceeren, is gebruik gemaakt van de bij de proeven opgedane ervaring (par. 10), dat een langer stortebed speciaal aan de kanten een gunstiger uitwerking heeft. Het stortebed, lang 18 m, is daarom aan de zijkanten verlengd tot 30 m (fig. 13).

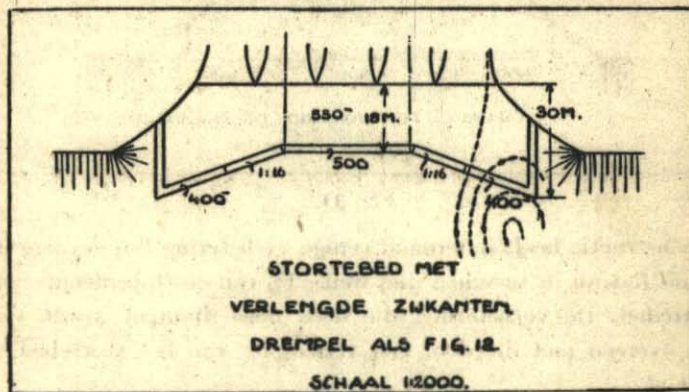


Fig. 13.

De resultaten zijn wederom gunstig. Vooral wanneer op dit stortebed de aan de zijkanten verhoogde drempel wordt toegepast, wordt de ontgronding door de laterale neeren eenigszins verminderd (tabel 2).

14. Stortebedden met afgeschuinde hoeken.

Ondanks al deze verbeteringen blijven de hoeken van het stortebed de zwakke plekken van de constructie. In deze hoeken is nog steeds een duidelijke

ontgroning aanwezig, die een diepte heeft van ruim 2 tot 3 m onder de bovenkant van de drempel. Deze ontgroning staat in verband met de stroom in de zijdelingsche neeren, die hier plaatselijk langs de voorkant loopt en daardoor materiaal evenwijdig aan de drempel naar het midden verplaatst. De stippellijnen in fig. 13, die volgens de stroomlijnen loopen, demonstreeren deze gang van zaken. Deze materiaalaanvoer is in het midden niet noodzakelijk, omdat de bodemstroom, die hier van de Waddensee recht naar de sluizen is gericht (bodemneer), voldoende hoeveelheden meebrengt.

Het is dus gewenscht, de vorm van het stortebed zoodanig te kiezen, dat de voorkant nergens evenwijdig aan de stroomdraden is. Dit kan bijna geheel worden bereikt door de uiterste hoeken af te schuiven. Er ontstaat dan een uitstekende punt (fig. 14) tegenover het midden van de zijneeren en de stroomlijnen kruisen nu overal de begrenzing van het stortebed. Buiten de uitstekende punt loopen zij tegen het stortebed op, aan de binnenzijde is

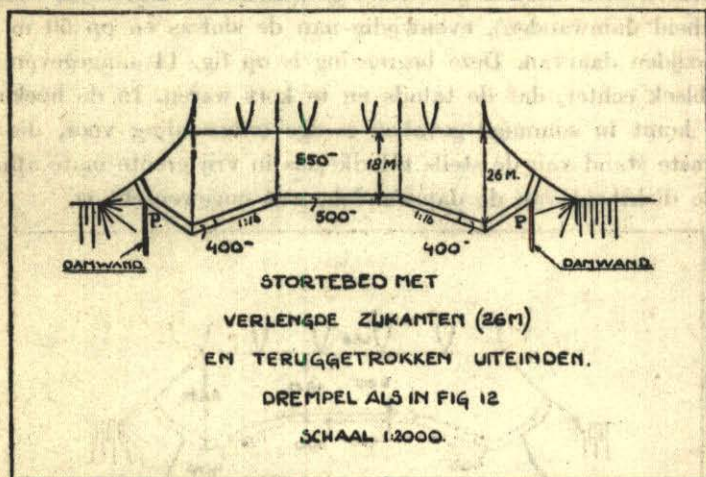


Fig. 14.

de stroom van het stortebed naar het onverdedigde bodemgedeelte gericht. Geen van beide gevallen is gevaarlijk: in het eerste geval zorgt de stroom zelf voor aanvoer van zand, in het tweede geschiedt dit door de bodemneer, die steeds na het passeeren van de drempel optreedt.

Zoals op grond van de voorafgaande redeneering kon worden verwacht, is weder een verbetering verkregen (tabel 2). Van een duidelijk ontwikkelde ontgroning tegen het stortebed is geen sprake meer; er ontstaat nu ook hier een evenwicht tusschen aan- en afgevoerd bodemmateriaal bij een

hoogte van 6,5 m onder N.A.P., die geheel zonder bezwaar kan worden toegelaten.

15. *Begrenzing van de taludkegels aan de benedenzijde.*

Behalve de voorkant van het stortebed kan ook de onderzijde van de taludkegels ter weerszijden door ontgroning worden aangetast. Oorspronkelijk waren in het model die kegels, van cementmortel vervaardigd, doorgetrokken tot de vaste bodem van het model, die op 15 m onder N.A.P. lag. Er was dus ondersteld, dat de taluds, die door hun bekleeding met een steenglooiing onaantastbaar zijn voor het stroomende water, tot een zoodanige diepte zijn verlengd, dat de teen zich steeds onder de daar ter plaatse voorkomende kolk bevindt.

Al spoedig rees de vraag, tot hoever men met de taluds moet gaan. Om dit te onderzoeken werden ze eerst afgesneden door verticale vlakken (in werkelijkheid damwanden), evenwijdig aan de sluisas en op 50 m afstand ter weerszijden daarvan. Deze begrenzing is op fig. 14 aangegeven.

Het bleek echter, dat de taluds nu te kort waren. In de hoeken bij P (fig. 14) komt in sommige gevallen eenige ontgroning voor, die maakt, dat de vaste stand van de steile taludkegels in vrij groote mate afhankelijk is van de dichtheid van de damwanden, wat ongewenscht is.

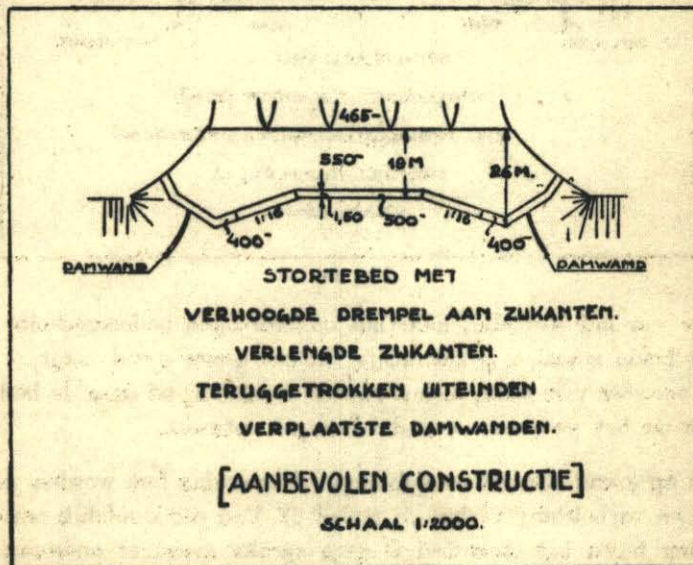


Fig. 15.

TABEL 2.
Ontgrondingen bij waterstanden N.A.P. en — 225.

Vorm en afmetingen van stortebed en drempel.	Ontgraving.			
	Grootste diepte.	Op afstand van stortebed.	Diepte tegen stortebed	
			In het midden.	aan de zijanten.
	A	a	B	C
m — N.A.P.	m	m — N.A.P.	m — N.A.P.	
Voorloopig stortebed met drempel:				
n°. 1 (fig. 6)	10	25	6,5	8,0
„ 2 („ 7)	12	28	6,5	7,8
„ 3 („ 8)	12	30	7,5	9,2
„ 4 („ 9)	10,8	28	6,5	9,2
Voorl. stortebed z. drempel (fig. 10)	14,5	30	6,2	14
Drempel n°. 1. Stortebed lang 6 m	13	34	6,5	12,2
„ „ 1. „ „ 12 „	11	23	6,8	9,8
„ „ 1. „ „ 18 „	10	25	6,5	8,0
„ „ 1. „ „ 24 „	10	24	6,8	7,5
„ „ 1. „ „ 30 „	9,8	20	6,0	7,2
Stortebed met aan de zijanten verhoogde drempel (fig. 12)	10,2	22	6,0	7,5
1°. Stortebed a/d zijk. verlengd .	12	32	6,2	7,2
2°. Dito met bovendien aan de zijanten verhoogde drempel (fig. 13)	11,8	32	6,5	7,0
Stortebed als par. 14, teruggetrokken uiteinden (fig. 14)	10	22	6,2	6,5
Stortebed als par. 15, met beschermde taluds, die 5 m zijn verlengd (aanbevolen constructie) (fig. 15) .	10,5	24	6,2	6,0

De beteekenis van de letters A, a, B, en C is aangegeven in figuur 16.

De dun omlinjde cijfers hebben betrekking op de constructie, waarvan is uitgegaan

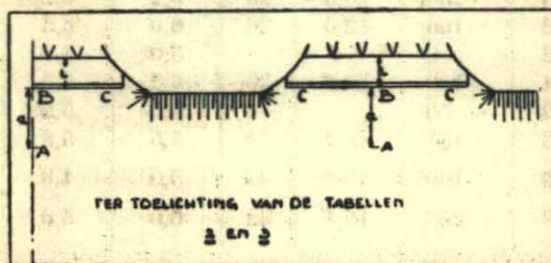


Fig. 16.

Na eenig probeeren bleek, dat het noodig is met de bekleede taluds te gaan tot het peil van 7,50 m — N.A.P. Wordt de teen op dit niveau gemaakt, dan treedt daarvoor geen ontgroning meer op.

Bij de zodoende verkregen vorm van stortebed met aangrenzende constructiedeelen, weergegeven in fig. 15, treedt geen enkele gevaarlijke ontgroning meer op, zoodat hij in aanmerking komt voor uitvoering. De constructie moet daarvoor eerst nog worden beproefd bij andere combinaties van waterstanden.

Tabel 2 geeft een overzicht van de gemeten ontgroningen bij de besproken constructies. Behalve deze zijn nog verscheidene andere vormen van het stortebed c. s. onderzocht, bijvoorbeeld verschillende hoogten van de drempel bij laaggelegen stortebed. Deze vormen gaven echter geen verbetering ten opzichte van hun voorgangers en zijn daarom in dit verslag weggelaten.

16. Volledige beproeving van de aanbevolen constructie.

Zoals reeds meermalen is gezegd, hebben de tot nog toe genoemde ontgroningen betrekking op waterstanden van N.A.P. in het IJsselmeer en

TABEL 3.
Ontgroning bij de aanbevolen constructie.

Afvoer per sluis- opening Q	Waterstand		Ontgroning.				Opmerkingen.
	IJssel- meer	Wadden- zee	Grootste diepte	Op af- stand van storte- bed.	Diepte tegen stortebed		
					in het midden	aan de zijanten	
			A	a	B	C	
m ³ per sec.	cm + N.A.P.	cm + N.A.P.	m — N.A.P.	m	m — N.A.P.	m — N.A.P.	
217	51	—200	10,8	32	6,2	6,0	
216	48	—200	10,6	30	6,2	6,2	
216	52	—100	12,0	30	6,0	6,5	
180	52	0	—	—	5,0	4,0	geen ontgroning.
197	24	—150	10,4	30	6,2	6,0	
158	2	— 50	—	—	5,0	5,2	A en B geen ontgroning.
168	—23	—151	10,2	32	5,5	5,8	
135	—49	—100	—	—	5,0	4,0	geen ontgroning; vrijwel normale waterstanden.
154	—48	—200	10,4	32	6,0	5,0	

De beteekenis van de letters A, a, B en C is aangegeven in figuur 16.

2,25 m — N.A.P. in de Waddenzee, terwijl de waterstroom in het model gedurende $1\frac{1}{2}$ uur (in werkelijkheid 15 uur) onderhouden wordt. Dit verteenwoordigt wel een uitermate ongunstige toestand.

De gekozen constructie is daarna bij vele andere peilen en waterhoeveelheden onderzocht, steeds bij spuien gedurende dezelfde lange tijdsduur, om de zekerheid te verkrijgen, dat niet een andere combinatie van boven- en benedenwaterstanden een ontoelaatbare ontgroning zou veroorzaken (tabel 3).

Slechts bij twee combinaties is een iets diepere uitkolking geconstateerd. Beide betreffen gevallen, waarin de IJsselmeerstand zeer hoog is (48 tot 52 cm + N.A.P.) en dientengevolge de afvoer door de sluisen buitengewoon groot (meer dan 215 m³ door elke sluisopening). De ontgroning bij het stortebed is hier 20 tot 50 cm dieper dan bij spuien met een IJsselmeerstand van N.A.P. Alle overige combinaties van waterstanden leveren gunstiger resultaten. Bij normale waterstanden treedt in het model in het geheel geen ontgroning op. Eenige gegevens zijn verzameld in tabel 3.

De conclusie is gewettigd, dat de aanbevolen constructie van het stortebed een voldoende waarborg tegen ontgroning bij spuien aanbiedt.

Fig. 44 en 45 toonen het uitgevoerde stortebed.

17. Capaciteitsmetingen bij de aanbevolen constructie.

Van de sluisen met aanbevolen stortebedconstructie is opnieuw de spui-capaciteit bepaald. Deze blijkt vrijwel gelijk te zijn aan de voorloopig gevonden capaciteit, vermeld in par. 5. De verschillen blijven binnen de grootte der meetfouten. De metingen van fig. 3 en tabel 1 gelden dus ook voor de gekozen constructie.

IV. HET ONTVANGBED.

18. Toestand bij spuien aan de IJsselmeerzijde.

Bij het onderzoek van het stortebed is niet getracht elke verplaatsing van bodemmateriaal te voorkomen. Dit zou ook niet mogelijk zijn. Na het passeeren van de sluisen is het water in zoo hooge mate turbulent, dat het vermogen om zand op te woelen veel grooter is dan bij een normale stroom van dezelfde snelheid. Daarom is de oplossing gezocht in het leiden van de zandtransporten op een zoodanige wijze, dat op de plaatsen, waar het vormen van diepe kuilen niet kan worden toegelaten, voortdurend aanvoer van bodemmateriaal plaats vindt.

Deze werkwijze geeft echter in de versnelde stroom aan de IJsselmeerzijde van de sluisen moeilijkheden. Het is niet te verhinderen, dat het zand, dat

daar in beweging geraakt, grootendeels door de sluizen wordt afgevoerd. Dit zandverlies kan niet worden goedge maakt door aanvoer van elders, omdat niet, zooals aan de Waddenzeezijde, de ontstane kuilen in de perioden tusschen de sluisgangen door de zeestroomen weder worden opgevuld.

Bovenstrooms van de sluizen zal dus in het gebied, waar de stroom het zand kan verplaatsen, de bodem moeten worden verdedigd. Het toepassen van drempels of van andere stroombrekende middelen heeft hier geen zin: men kan volstaan met een vlak ontvangbed.

Om na te gaan tot hoever dit ontvangbed zich moet uitstrekken, zijn in het model metingen van de stroomsnelheden dicht boven de bodem verricht. Immers in deze versnelde stroom met zeer weinig wervelsterkte is de snelheid maatgevend voor de aantasting van de bodem en de grens van de bekleeding moet dus samenvallen met een lijn van gelijke bodemsnelheid.

Hoe groot die grenssnelheid is, hangt van de soort van het bodemmateriaal af. Bij de arm aan wervels zijnde gladde stroom, die hier optreedt, zal het ter plaatse voorkomende fijne zand waarschijnlijk eerst worden meegevoerd, wanneer de watersnelheid dicht bij de bodem de waarde van 1 m per seconde gaat overschrijden. Het modelonderzoek moet hier dus bestaan uit het door stroommetingen vaststellen van de lijnen van gelijke bodemsnelheid.

Het ligt voor de hand, dat de ontgroning hier niet kan worden vastgesteld met behulp van de puimsteenkorrels. Hier is namelijk, in tegenstelling van wat bij het onderzoek van het stortebed het geval is, een verschil van relatieve bewegelijkheid tusschen het modelmateriaal en het zeezand, van belang, omdat de toestand geheel afhankelijk is van de grenssnelheid, waarbij het materiaal juist in beweging gaat komen (verg. par. 3 en 7).

19. Onderzochte ontvangbedden.

Het eerst onderzochte ontvangbed heeft het in fig. 17 geteekend lengteprofiel. Bij de bepaling daarvan is getracht aan het toestroomende water zooveel mogelijk ruimte te geven, zonder dat de kosten van ontgraven en drooghouden van de bouwput te sterk stijgen.

Om de ongunstigste toestand op dat stortebed te verkrijgen, is een IJsselmeerstand gekozen, die kan worden beschouwd als de hoogst denkbare, waarbij ooit zal worden gespuid, namelijk 70 cm + N.A.P. Door bij dit peil de Waddenzee zoo ver te laten dalen, dat de stand daar geen invloed meer op de afvoer heeft (ongeveer 50 cm — N.A.P.), bereikt de stroom op het ontvangbed een waarde, die als het uiterste is te beschouwen van wat mogelijk is. De afvoer is onder deze omstandigheden 222 m³ per seconde per sluisopening.

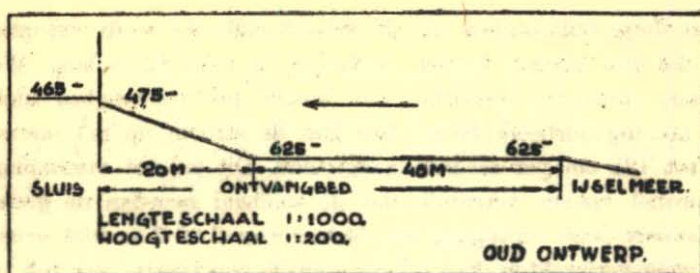


Fig. 17.

Bij deze toestand zijn de snelheden gemeten met een buis van Pitot, waarvan de hartlijn zich ongeveer 0,5 cm (werkelijkheid $\frac{1}{2}$ m) van de bodem bevond. De uitkomsten van deze metingen zijn aangegeven in fig. 19, die de plattgrond van een halve sluisgroep voorstelt.

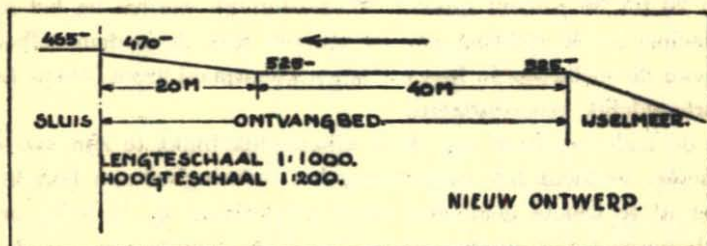


Fig. 18.

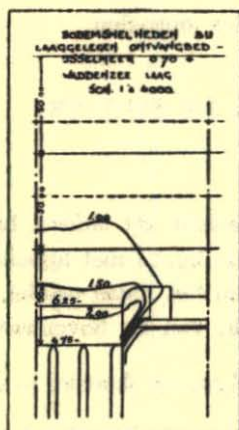


Fig. 19.

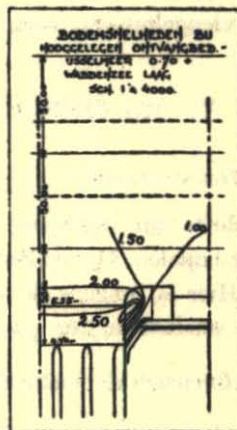


Fig. 20.

Deze metingen zijn herhaald met een ontvangbed, dat 1 m hoger ligt (fig. 18, resultaten fig. 20).

Het waterverzet blijkt iets kleiner te zijn dan bij spuien, maar toch nog zoo hoog, dat bij niet al te groote vervallen in de formule $Q = \mu F \sqrt{2gH}$ een waarde van $\mu =$ bijna 1 bereikt wordt.

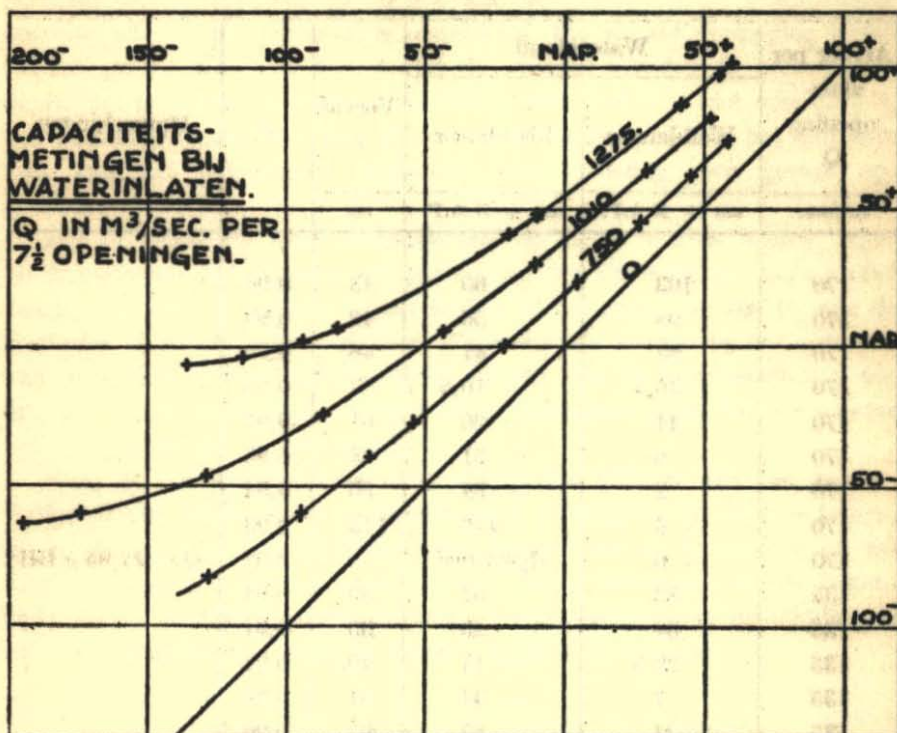


Fig. 21.

21. Ontgronding.

Inlaten van water door de sluizen uit de Waddenzee naar het IJsselmeer zal zeer zelden gebeuren. De eischen, die aan de constructie moeten worden gesteld, in verband met ontgronding in dit geval, behoeven niet zóó hoog te zijn als bij spuien. De toestand is trouwens veel minder ongunstig.

Aan de benedenstromsche zijde is het breede ontvangbed aanwezig, dat blijkens de metingen in Karlsruhe (Rapporten, enz. n°. 3, Zusammenstellung VI) in staat is om ontgronding binnen toelaatbare grenzen te houden, wanneer de waterstand niet zeer laag is.

Lage waterstanden zullen niet voorkomen: slechts bij een hooge uitzondering zou de stand tijdens inlaten aan de IJsselmeerzijde onder het

peil van 50 cm — N.A.P. kunnen liggen. Eenige verdieping zal daarbij wellicht optreden; deze kan echter niet tot groote bezwaren aanleiding geven. De verst van de sluizen verwijderde strook van het ontvangbed, die met het oog op de bij spuien te verwachten verdieping toch uit rijswerk moet bestaan, zal meezakken, zoodat de kuil behoorlijk afgedekt blijft.

De ontgronding zou zijn te verhinderen door het maken van een drempel, die voor het normale bedrijf onnoodig en zelfs schadelijk zou zijn, daar het toestroomen van het water naar de sluizen door de aanwezigheid van de drempel eenigszins wordt belemmerd. Het bezwaar van de hieruit voorkomende vermindering van het vermogen van de sluizen, in hoe geringe mate ook, is voldoende om in het uitzonderingsgeval van inlaten de kans op de mogelijkheid van eenige verdieping op de koop toe te nemen.

Ook aan de zijde van de Waddenzee is verdieping door het toestroomende water mogelijk. Hier doet zich de gunstige omstandigheid voor, dat ontstane kuilen door de zeestroomen weer zullen verondiepen, zoodat zij ook op den duur geen groote afmetingen kunnen verkrijgen. Daar de normale diepte van de bodem hier grooter is dan aan de binnenzijde, namelijk 6,5 tot 7,5 m onder N.A.P., is een vrij ruim profiel aanwezig, waardoor de bodemsnelheden in alle gevallen lager dan 150 cm per seconde blijven. De door die stroomen veroorzaakte verdieping zal daardoor niet zoo sterk zijn, dat gevaar voor beschadiging van kunstwerk en daartegen aansluitende belooopen kan ontstaan.

De met het oog op de bij spuien optredende toestanden ontworpen ontvang- en stortebedden zijn dus ook bij inlaten van water voldoende.

VI. VERGROOTING VAN DE SLUISPLATEAUX.

22. *Gevolgen van het vooruit bouwen.*

De in par. 1 aangeduide verlenging van de plateaux tusschen de sluis-groepen (gemeten loodrecht op de richting van de afsluitdijk) vernauwt het gebied, dat voor de strooming naar en van de sluizen beschikbaar is. Door die vernauwing kunnen drie minder gewenschte verschijnselen optreden, namelijk:

- a. vermindering van het vermogen van de sluizen;
- b. vergrooting van de bodemsnelheden bovenstrooms;
- c. meer ontgronding benedenstrooms.

Door de nieuwe modelproeven moest worden onderzocht in hoeverre deze verschijnselen in ontoelaatbare mate optreden.

23. Nieuw model.

Van het vroegere model, dat sinds lang was afgebroken, was nog een sluzengroep van paraffine bewaard gebleven. Een halve groep werd opnieuw vervaardigd; de sluzen werden opgesteld tusschen grondwerken (in het model cementmortel), die een weinig verschillen van die van het vroeger gemaakte model. Men had ditmaal namelijk de beschikking over de gegevens en teekeningen voor de definitieve uitvoering van de sluzen (Bestek M.U.Z. 2), die eerst na het onderzoek van het model 1929 konden worden vastgesteld.

Het model verkreeg dus opnieuw de schaal 1 : 100 en omvatte weer $1\frac{1}{2}$ sluzengroep, of de helft van het geheele complex bij den Oever. De begrenzing in het symmetrievlak was ditmaal niet van glas, omdat het niet noodzakelijk was de stroom van opzij te bekijken en bij andere modellen was gebleken, dat een afgepleisterde cementwand glad genoeg is om geen ontoelaatbare storing door wrijving te veroorzaken.

De begrenzing aan de andere zijde komt overeen met de dammen tusschen scheepvaartweg en spuileiding bij den Oever, eveneens volgens bestek M.U.Z. 2.

Een schets van het model geeft fig. 22.

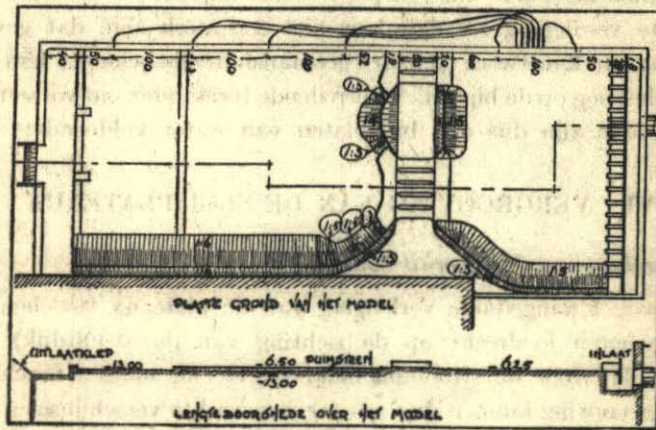


Fig. 22.

Daar het niet nodig was de waterhoogten in het model tot op tiende deelen van millimeters te bepalen, werden geen peilnaalden aangebracht. De vereischte nauwkeurigheid (0,5 mm) is op de volgende wijze bereikt.

In de wand, die de symmetrie-as vormt, zijn op verschillende plaatsen (zie fig. 22) buisjes aangebracht, die door middel van slangen zijn verbonden

met peilbuisjes. Deze zijn op een tafel vereenigd en maken zodoende het aflezen van de waterstanden op zes verschillende plaatsen van het model tegelijk mogelijk. Het nulpunt van deze peilbuisjes werd bepaald ten opzichte van de bodemplaten van de sluisgroepen, die door middel van waterpassing met groote nauwkeurigheid horizontaal en op gelijke hoogte waren gesteld.

De vaste bodem van het model is aan de Waddenzeezijde gelegd op 13,00 m — N.A.P., de belooen en taludkegels zijn tot een diepte van 7,50 m — N.A.P. doorgetrokken, daar van de uitgevoerde taludkegels de onderkant van de steenbezetting tot dat peil reikt; daaronder zijn de wanden verticaal doorgezet tot op de vaste bodem. De bewegelijke bodem van puimsteenkorrels is aangebracht tot op een hoogte van 6,50 m — N.A.P.

Een overzicht van het geheele model is fig. 23, een beeld van de spui-stroom in de sluis, van boven gezien, geeft fig. 25; fig. 24 is een opname tegen de stroom bij de waterstanden N.A.P. en 225 cm — N.A.P.

24. *De metingen.*

Het vermogen is, evenals in het vroegere model, bepaald door het meten van eenige Q-krommen. Door het gebruik van peilbuisjes in plaats van peilnaalden is de nauwkeurigheid niet zoo groot; fouten in waterhoogte van 5 cm (werkelijkheid) zijn mogelijk.

De ontgroning is gemeten met dezelfde waterhoeveelheid (185 m³ per seconde), waterstanden (enkele centimeters boven N.A.P. boven en 225 cm — N.A.P. beneden) en stroomingsduur (15 uur in werkelijkheid) als vroeger. Het vastleggen er van is echter op een andere, vollediger, manier geschied.

Na het einde van de stroomingsduur wordt de watertoevoer gesloten en de uitlaatklep omhoog gehaald, zoodat een stilstaande waterplas in het model blijft staan. Het oppervlak daarvan, dat met de uitlaatklep op elk gewenscht lager niveau kan worden gebracht, laat men nu dalen, tot na het droogvallen van de hoogst gelegen puimsteenkorreltjes een ronde maat wordt bereikt.

De grens tusschen water en droogte vormt dan de dieptelij, die bij deze maat behoort. Hij wordt gemarkeerd door er een witte katoenen draad langs te leggen.

Telkens laat men het water een halve meter (werkelijkheid) dalen, waartoe een serie peilnaaldjes met de punt naar boven, telkens in lengte een halve centimeter verschillend, op een vlak gedeelte van de vaste bodem wordt opgesteld. Bij elk niveau wordt weer een nieuwe draad gelegd.

Nadat het geheele gebied is drooggevallen (de bodem is zóó poreus, dat de waterstand in de kuilen zich snel aanpast aan die bij de uitlaatklep), wordt de lijnenbundel van boven gefotografeerd, zoodat een dieptekaart ontstaat.

De bodemsnelheden zijn niet meer gemeten met de buis van Pitot, maar met een stroommeter, gebaseerd op die van Jacobsen, bestaande uit een bolletje, opgehangen aan een boven water bevestigde draad (fig. 26).

Door de horizontale kracht, die het stroomende water op het bolletje uitoefent, gaat de draad schuin staan; de grootte van de afwijking uit de verticale stand is een maat voor de stroomsnelheid.

De metingen zijn gedaan bij lagere IJsselmeerstand dan vroeger, namelijk N.A.P. Daar het stroombeeld daarbij geheel overeenkomt met dat van 70 cm + N.A.P., is het zonder bezwaar mogelijk, uit de bij N.A.P. gemeten snelheden te besluiten tot de bij 70 + behorende. Deze laatste, die bijna 10 percent groter zijn, hebben gediend bij het maken van de fig. 31, 35, 37 en 41; deze zijn rechtstreeks vergelijkbaar met fig. 19, waarin de vroeger gemeten toestroomsnelheden zijn voorgesteld. De onzekerheid in deze herleiding bedraagt enkele percenten.

25. *Toestand 0.*

Van de verschillende onderzochte vormen van de sluisplateaux is die volgens het bestek (M.U.Z. 2) als toestand 0 aangeduid.

De metingen bij deze toestand vormen een aansluiting bij die van het oude model. Zij geven practisch hetzelfde vermogen als vroeger is gevonden; de verschillen tusschen de beide modellen hebben dus geen waarneembare invloed op de afvoer.

Ook de ontgroning aan de Waddenzeezijde is vrijwel gelijk aan de vroeger bepaalde. Langs de drempel is overal een evenwichtstoestand, die slechts op één plaats onder het oorspronkelijk niveau van de bodem (6,50 m — N.A.P.) ligt. Ook naar dit gedeelte vindt voortdurend transport van materiaal plaats. De drempel blijkt dus weer geheel veilig te zijn. Fig. 27 is samengesteld uit de foto's van het uitgekolkte en van draden voorziene gebied; de dubbele, gedraaide draad ligt op het niveau van de oorspronkelijke bodem.

Het valt bij beschouwing van het figuur op, dat de ontgroning dicht bij de sluis breed is en zich ongeveer tot de taludkegels uitstrekt, juist op de plaats, waar in fig. 15 (aanbevolen constructie) een damwand is aangegeven. Volgens de proef zal deze damwand geen dienst behoeven te doen: aan de eene zijde van het tusschenplateau is zelfs nog eenige ophooging; aan

de andere (rechtsche) juist een begin van uitschuring, die echter zóó ondiep is, dat de teen van de glooiing nog onder het zand zit.

Minder gunstig is de toestand aan de linker (zuidwestelijke) zijde van het model, daar waar het sluisterrein overgaat in de leidam langs de scheepvaartgeul. Dit gedeelte komt wat verder naar voren dan in het oude model, zoodat de stroom van de neer juist langs de teen van het beloop strijkt. Het gevolg is een duidelijke, zij het nog niet verontrustende, verdieping, die in het model tot 7,90 m onder N.A.P. reikt. Hier is dus de damwand wel degelijk voor de veiligheid van het beloop noodzakelijk, te meer, omdat er geen waarborg bestaat, dat de ontgroning in de werkelijkheid niet iets dieper zal zijn dan in het model (verg. par. 7).

Een betrekkelijk geringe wijziging van de constructie heeft dus een waarneembare vermindering van de veiligheid tengevolge. Op het Kornwerderzand, waar de sluizen niet symmetrisch in de spuileiding zijn geplaatst en daardoor de afstand van de westelijke sluisgroep tot de daaraan grenzende leidam gering is, verdient het aanbeveling geregeld te controleeren of op deze plaats geen hinderlijke verdieping optreedt.

De toestroomingsnelheid boven de sluis is niet opnieuw gemeten. De vorm is hier maar weinig gewijzigd en daar de afvoer gelijk is gebleven, is het aannemelijk, dat de vroegere metingen ook voor het nieuwe model gelden. Ter contróle is de richting van de stroom nagegaan door middel van een verticale foto van het model, waarin kristalletjes kaliumpermanganaat zijn gestrooid. De strepen, die van elk kristalletje uitgaan, geven de richting vlak boven de bodem aan (fig. 28).

Daar het beeld met dat van vroeger overeenkomt, is de snelheidsmeting niet herhaald.

26. Toestanden I—IV.

De vorm volgens het eerst gegeven voorstel tot uitbreiding van het sluisplateau is als toestand I in het model gebracht. Het gedeelte, hooger dan de waterbermen (40, resp. 80 cm — N.A.P.), is zonder belang voor de afstroming en in het model verticaal opgetrokken (fig. 29). Het vermogen, de uitkolkning aan de Waddenzeezijde (fig. 30) en de snelheden bovenstrooms (fig. 31) zijn gemeten.

Nadat toestand I was doorgemeten, kwam het definitieve ontwerp binnen van de uitbreiding der plateaux. Hiernaar werd ten tweede

male het model verbouwd, tot toestand II (fig. 32). Zooals uit deze figuur blijkt, blijft de uitbouwung niet meer beperkt tot de plateaux tusschen de sluisgroepen, maar strekt deze zich ook uit tot de scheidingsdam tusschen de spuisluizen en de haven van den Oever.

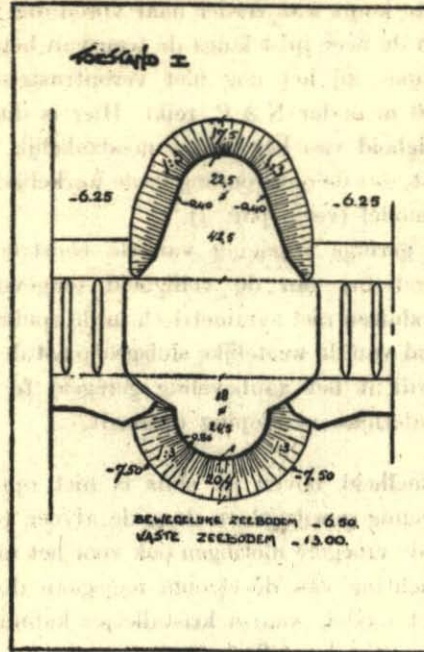


Fig. 29.

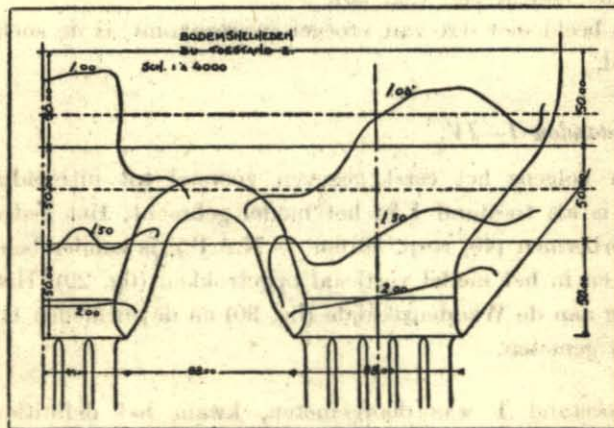


Fig. 31.

Bij deze toestand II werden wederom capaciteit, ontgroning en bodemsnelheden onderzocht. Van de ontgroning wordt een beeld gegeven door fig. 33, terwijl fig. 34 een overzichtsbeeld is van de uitkolking met ingelegde dieptelijnen. De gevonden bodemsnelheden worden gegeven in fig. 35.

Na een bespreking der resultaten der vorige toestanden op 6 Januari 1931 werd de uitbouw aan de IJsselmeerzijde aan de kop aanmerkelijk versmald (zie fig. 36). Het resultaat van het onderzoek bij deze toestand III naar de bodemsnelheden bovenstrooms geeft fig. 37. Volledige capaciteitsmetingen en de nauwkeurige bepaling van de uitkolking (die niet van die bij toestand II zal verschillen) zijn bij deze toestand niet gedaan. Wel werd een overzichts-foto van de uitkolking gemaakt na geruime tijd spuien met benedenwater 2,16 m — N.A.P. en IJsselmeer 0,70 m + N.A.P. (fig. 38).

Naar aanleiding van de uitkomsten der metingen bij toestand III, werd besloten de uitbouw van de plateaux en van de scheidingsdam veel meer te beperken (toestand IV, fig. 39). Ook bij deze toestand werden weer gemeten de capaciteit, de uitkolking (fig. 40) en de bodemsnelheden bovenstrooms (fig. 41). Tevens werd hierbij nog bepaald de uitkolking na ongeveer een week spuien (werkelijkheid), welke wordt gegeven door fig. 42.

27. De invloed van de vorm van de plateaux op het vermogen.

Bij het onderzoek omtrent de capaciteit van de sluisen in de verschillende toestanden is gebleken, dat deze steeds meer vermindert naarmate de bovenstroomsche uitbouwen grooter zijn. De metingen hieromtrent zijn niet met voldoende nauwkeurigheid geschied om het geven van volledige Q-krommen of tabellen te rechtvaardigen; wèl kan echter geconstateerd worden, dat de afvoervermindering bij de toestanden I en IV ongeveer 1 percent en bij toestand II ongeveer 1½ percent zou bedragen, terwijl de afvoervermindering bij toestand III niet veel minder zal zijn dan die bij toestand II.

28. De invloed op de ontgroning.

Ontgroning van de drempel van het stortebed heeft in geen der onderzochte gevallen plaats. Wèl worden aangevallen de benedenzijden van de taludkegels van de plateaux ter weerszijden van de sluzengroepen. Op de foto's is die aanval te zien; maatgevend is de ligging van de niveaulijn 7,50 m — N.A.P., op welke diepte de voet van de steenglooiingen is ge-projecteerd. Deze lijn is gemarkeerd met kleine dwarsstreepjes.

Bij toestand II is de ontgroning zeer gevaarlijk (evenals in de in dit opzicht gelijkwaardige toestand III), bij de toestanden I en IV zouden misschien

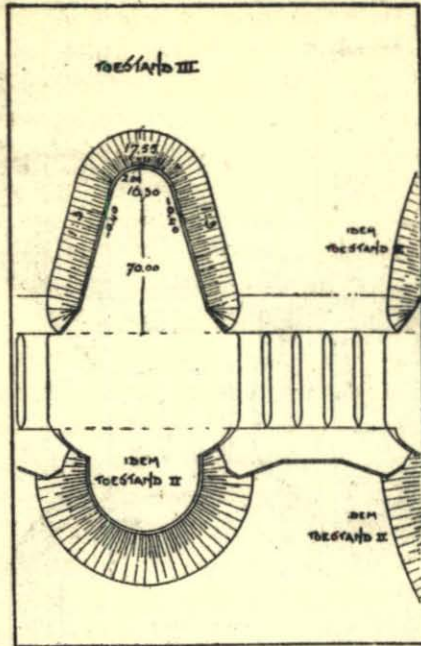


Fig. 36.

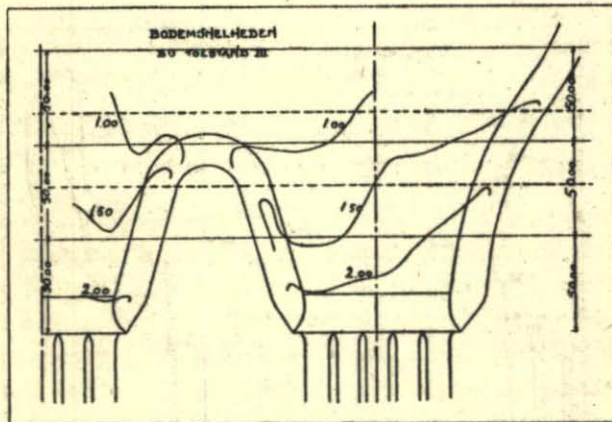


Fig. 37.

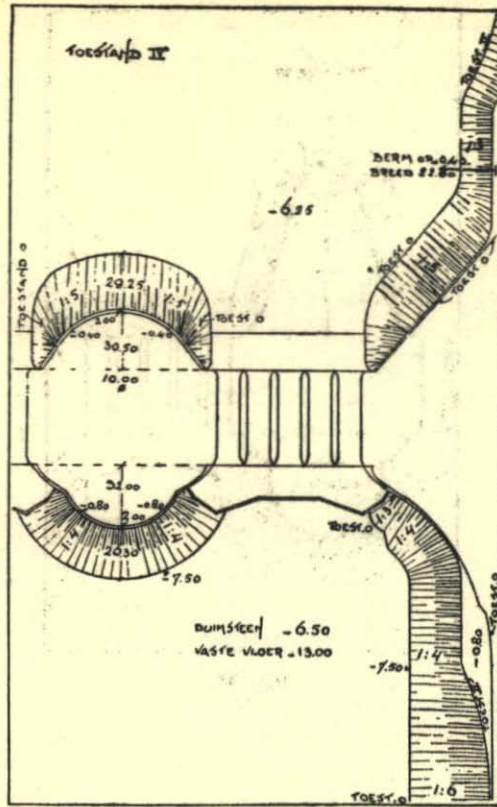


Fig. 39.

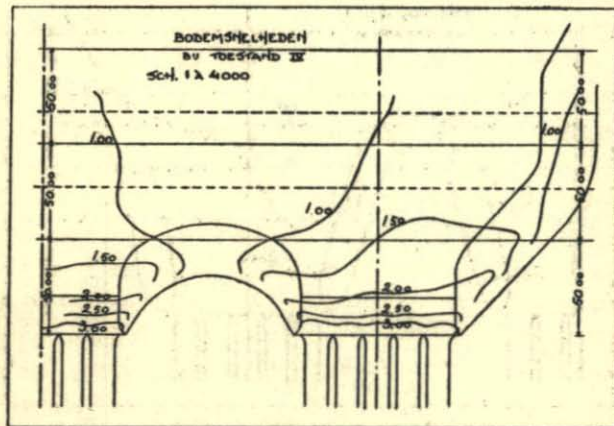


Fig. 41.

nog wel maatregelen zijn te treffen, waarmee voldoende bescherming van de taludvoet kan worden bereikt. Toch is de aanval op de taluds zooveel sterker dan bij de oorspronkelijke toestand (0), dat de verbouwing sterk moet worden afgeraden.

29. Bodemsnelheden bovenstrooms van de sluisen.

Reeds in het model van 1929 was gebleken, dat de toestroomsnelheid naar de sluisen bij de bodem groot kan zijn (fig. 19). De volgens bestek M.U.Z. 2 uitgevoerde ontvangbedden loopen ongeveer tot de lijn, waar volgens de modelmetingen een snelheid van 125 cm per seconde kan voorkomen.

Bij uitbreiding van de sluisplateaux, dus vernauwing van het doorstrotingsprofiel, zullen de snelheden nog grooter worden en de vraag is nu, in hoeverre de bodembescherming dan moet worden uitgebreid.

Het antwoord hierop moet worden gegeven aan de hand van de fig. 31, 35, 37 en 41, die de bodemsnelheden voorstellen, resp. voor de toestanden I, II, III, en IV. Op de figuren is aangegeven de teen van de belooien, die in het algemeen op 6,25 m — N.A.P. ligt, verder de bovenkant van de belooien, op de hoogte van de berm van 0,40 — N.A.P., en bovendien in streeplijnen de teen en de hiel van de ringdijk om de sluisput. Dit laatste om te beoordeelen of een eventueele uitbreiding van het ontvangbed binnen de sluisput in den droge zou kunnen worden gemaakt.

De snelheid blijkt in alle vier de onderzochte toestanden belangrijk grooter te zijn, dan in het oude model het geval was. Vooral de groote snelheden langs de leidam van de scheepvaartweg zijn opvallend. In het bijzonder is dit het geval in toestand II, waar de leidam sterk is uitgebouwd. Tot op de plaats van de ringdijk komen snelheden van 150 à 200 cm per seconde voor.

Door het terugtrekken van het plateau aan de overkant (toestand III) wordt maar weinig verbetering verkregen.

In toestand IV, waarbij de uitbouw van de leidam tot minimale afmetingen is teruggebracht, en ook het plateau tusschen de sluisgroepen sterk is ingekrompen, wordt de snelheid weer veel geringer. De lijn van 125 cm per seconde valt vrijwel geheel binnen de sluisput; de snelheden zijn trouwens maar weinig grooter dan bij toestand 0. Een uitzondering maakt weer de aansluiting van de leidam tegen de eerste sluisgroep. De sterkere stroom hier ter plaatse hangt samen met het feit, dat de teen van de leidam bij de uitvoering volgens het bestek dichter bij de sluisen komt, dan in het model van 1929.

Hier bevindt zich een van de zwakke plekken van de sluisen, vooral op het Kornwerderzand door de asymmetrische ligging (verg. par. 25).

VII. SLOTOPMERKING.

32. *De invloed van zout en zoet water.*

Alle proeven zijn verricht met zoet water. Hierin is een verschil gelegen met de werkelijkheid, waar de sluizen deel uitmaken van de waterkeering, die het zoete IJsselmeerwater van het zoute, dus soortelijk zwaardere, water in de Waddenzee scheidt (Rapporten, enz. n^o. 3, bladz. IX). Welke invloed dit verschil heeft op de onderzochte verschijnselen, valt door modelmetingen niet uit te maken, tenzij ook in het model zou worden gewerkt met zoet en zout water, wat de proeven zeer ingewikkeld en kostbaar zou maken.

Hier moet de berekening te hulp komen.

Deze leert, dat door de aanwezigheid van het zoute water het vermogen bij spuien een weinig afneemt, maar dat de hoeveelheden, die worden ingelaten, iets grooter zijn dan volgens de modelmetingen. Bij kleine vervallen is het verschil het grootst; het verdwijnt geheel en al, wanneer het water aan de benedenstreamsche zijde zoo laag staat, dat het geen invloed op de doorstroming heeft (maximum afvoer).

De aantasting van bodem en taluds bovenstreams ondervindt geen invloed van het verschil in dichtheid, die aan de andere kant daarentegen wel. Bij het spuien werkt deze invloed in gunstige richting: het zware zeewater heeft neiging om zich langs de bodem tegen de spuistroom in te bewegen. Deze onderstroom brengt zand mede, zoodat de kans op ontgronding nog vermindert.

Gedurende het inlaten echter zal het uit de sluizen komende zoutwater onder het IJsselmeerwater trachten te duiken en zodoende een versterkte aanval op de bodem veroorzaken.

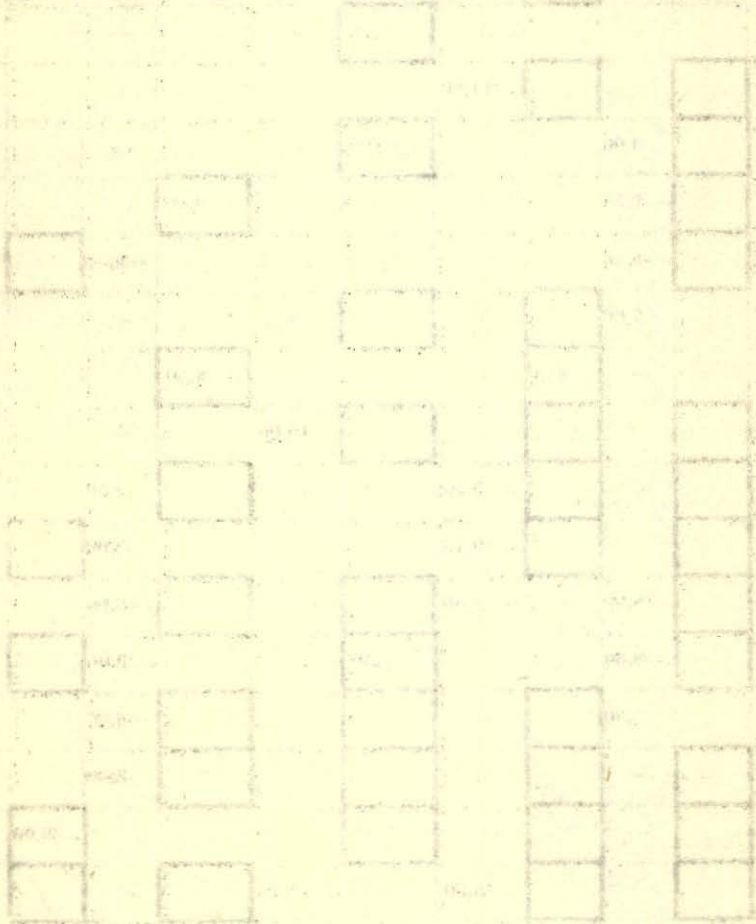
Ook op de ontgronding zal de invloed afnemen, naarmate het verval grooter wordt, om waarschijnlijk bij krachtig spuien of inlaten geheel en al te verdwijnen.

Aan het eind van dit verslag mogen twee foto's een plaats vinden van de uitgevoerde sluizen.

Fig. 44 is een overzicht (luchtfoto van de Marine Luchtvaartdienst) van de sluisput bij den Oever, gezien uit het Zuidwesten, genomen 12 December 1930. De sluisgroepen zijn voltooid, de tusschenliggende plateaux echter nog niet op hoogte gebracht. De bemaling van de kleine bouwputten voor de ontvang- en stortbedden is reeds gestaakt, met uitzondering van die voor

het verst weg gelegen ontvangbed, waar nog wordt gewerkt. De verhoogde hoeken van de drempels der stortebedden, die nog boven water uitsteken, komen juist achter de heftorens van de schuiven uit.

Op de foto van fig. 45, in Juni 1931 bij de sluizen op het Kornwerderzand genomen, is een van de drempels van dichtbij gezien. Op het horizontale deel van het stortebed staat ook hier eenige decimeters water; het reikt nog niet geheel tot het middelste deel van de drempel, die op 5 m — N.A.P. ligt. Ook het deel van de ontgraving buiten het stortebed staat reeds onder water, dat de teen van de aansluitende taludkegels bedekt. Geheel links bevindt zich de oorspronkelijke Zuiderzeebodem, daarboven de ringdijk van de sluisput. De foto is genomen van de top van de linker taludkegel.



TABEL 5.

Ontgronding bij werking van een deel der sluisopeningen (m — N.A.P.).

Nummer van de opening:									
	1.		2.		3.		4.		5.
—		—9,50		—		—		—	—
—		—		— 9,50		—		—	—
—		—		—	— 9,50	—		—	—
—		—		—11,00		—		—	—
—		—9,00		—	—10,00	—		—	—
—		—9,50		—		—	— 9,50	—	—
—		—8,50		—		—		—9,50	—
—		—7,00		—		— 8,50		—	—
—		—	—8,50	—		—	— 8,50	—	—
—		—		—		—10,00		—	—
—		—		— 9,50		—		—9,50	—
—		—		— 9,75				—9,00	—
—		—8,50		— 8,50		—		—8,00	—
—		—8,50		—	— 9,50	—		—9,00	—
—		—8,50		—		—		—8,50	—
—		—		—		—		—8,50	—
—		—		—	— 9,50	—		—	—8,00
—		—		— 8,50		— 8,75		—	—

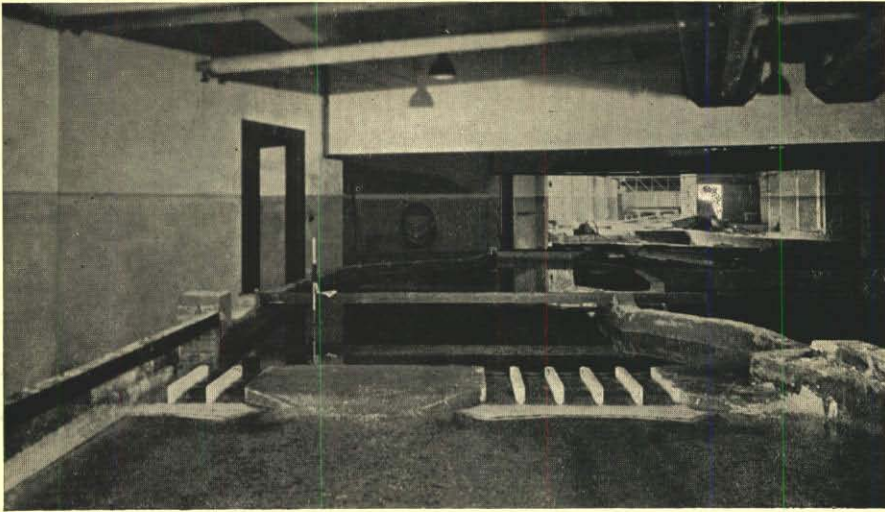


Fig. 2. Model 1929, gezien van de Waddenzeezijde,

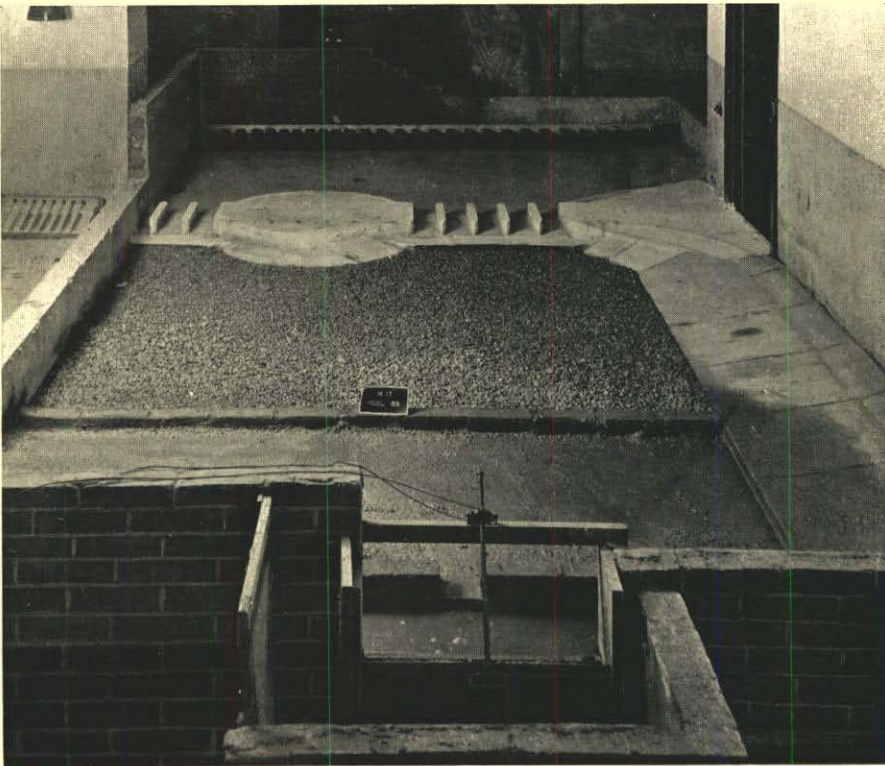


Fig. 23. Overzicht model 1931.

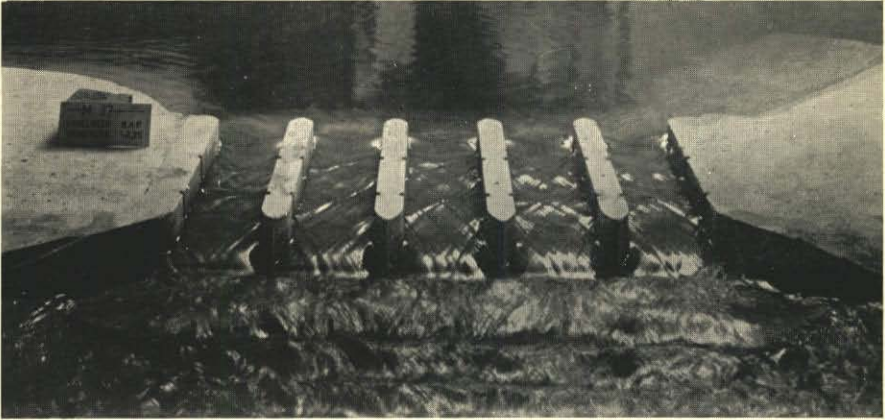


Fig. 24. Gezicht op het doorstroomende water.

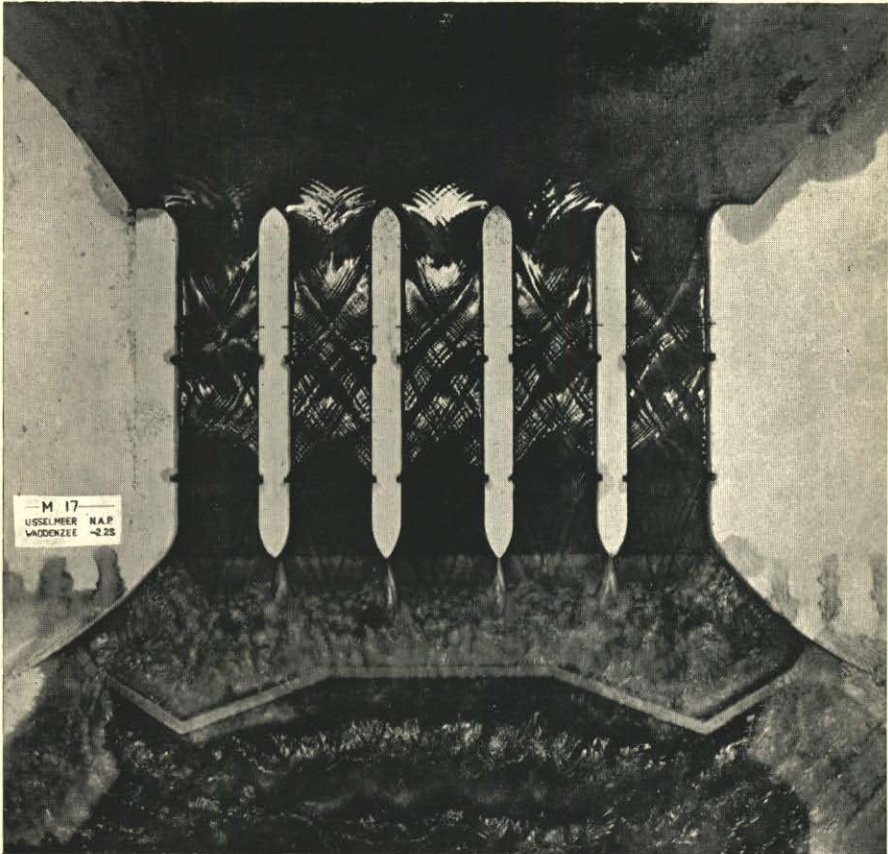


Fig. 25. Bovenaanzicht op de stroom in de sluisen.

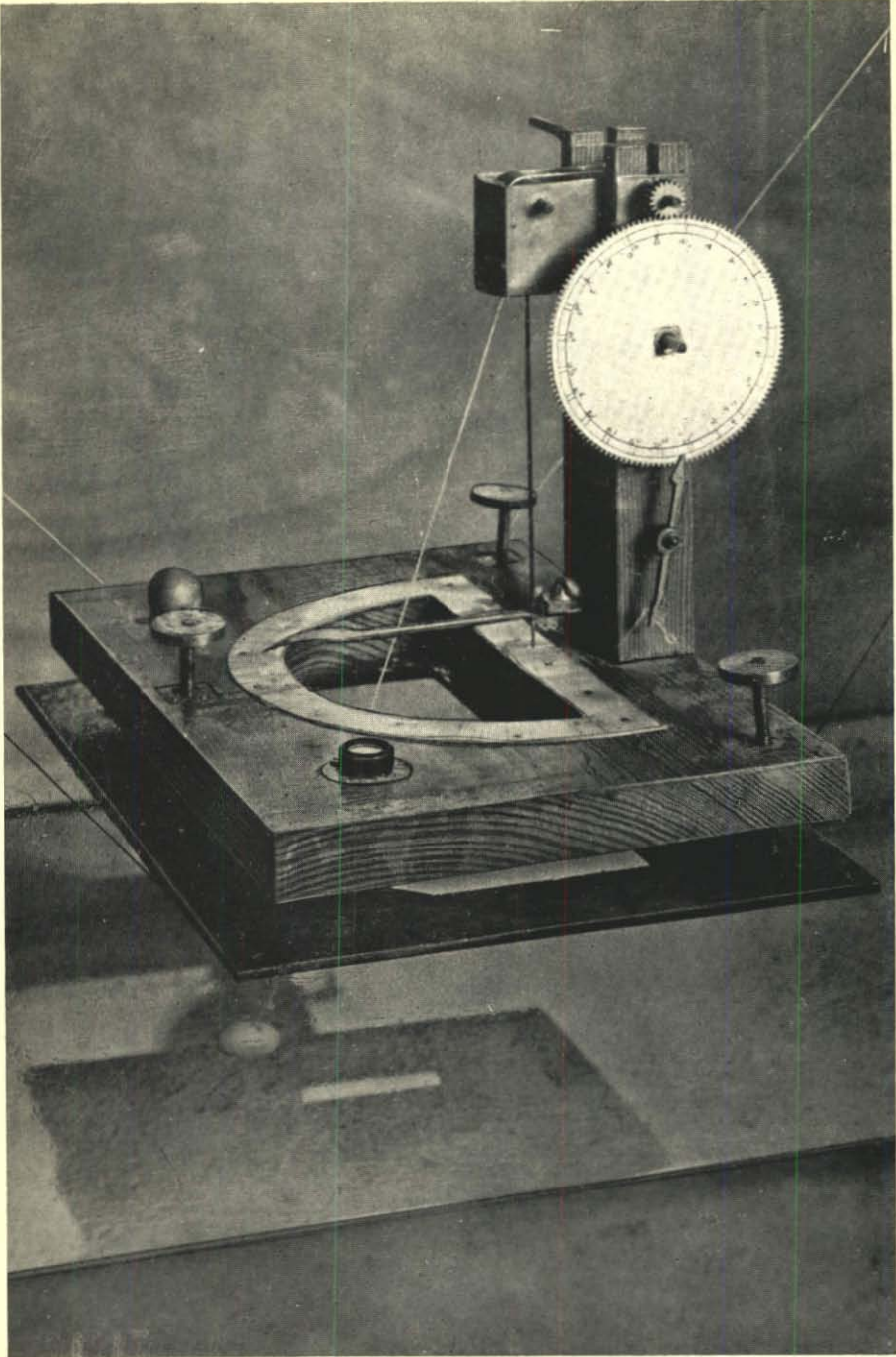


Fig. 26. Jacobsenstrommeter.

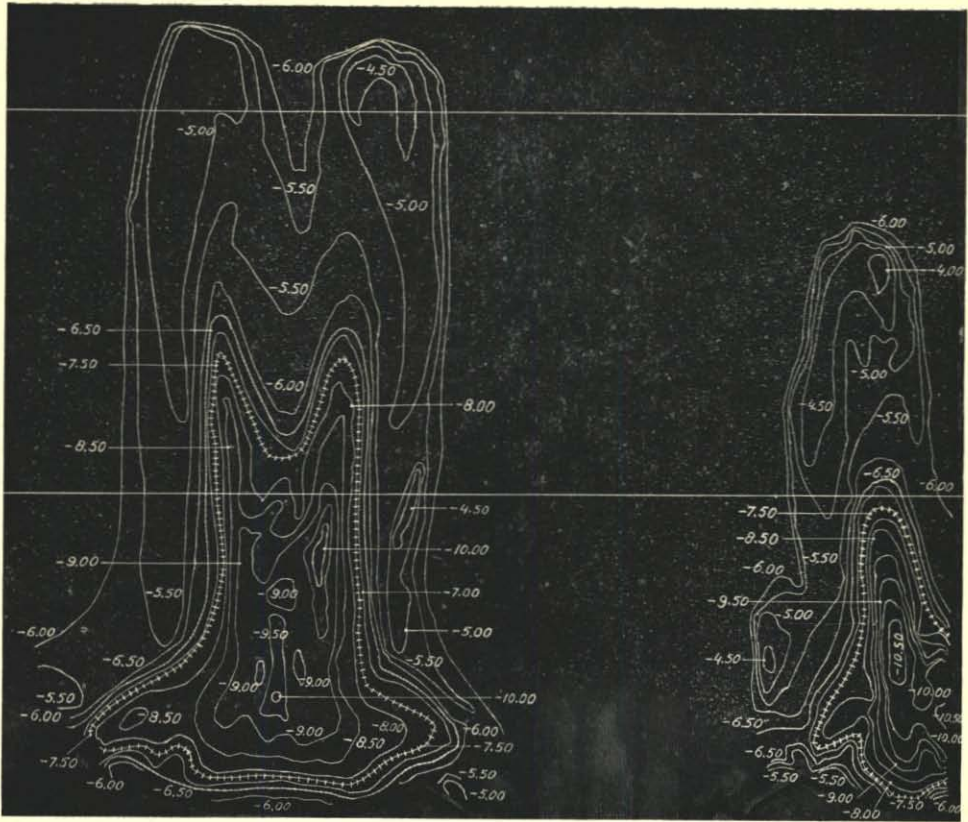


Fig. 27. Ontgroning bij Toestand 0.



Fig. 28. Stroomrichting boven de sluizen bij Toestand 0.

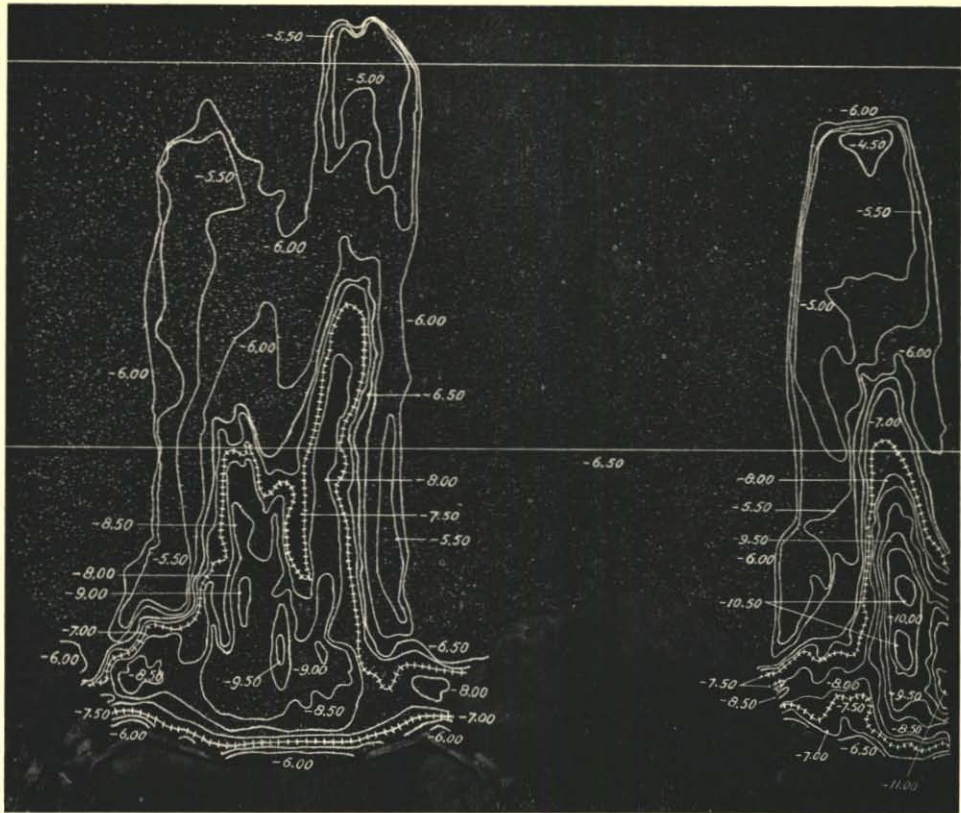


Fig. 30. Ontgording bij Toestand I.

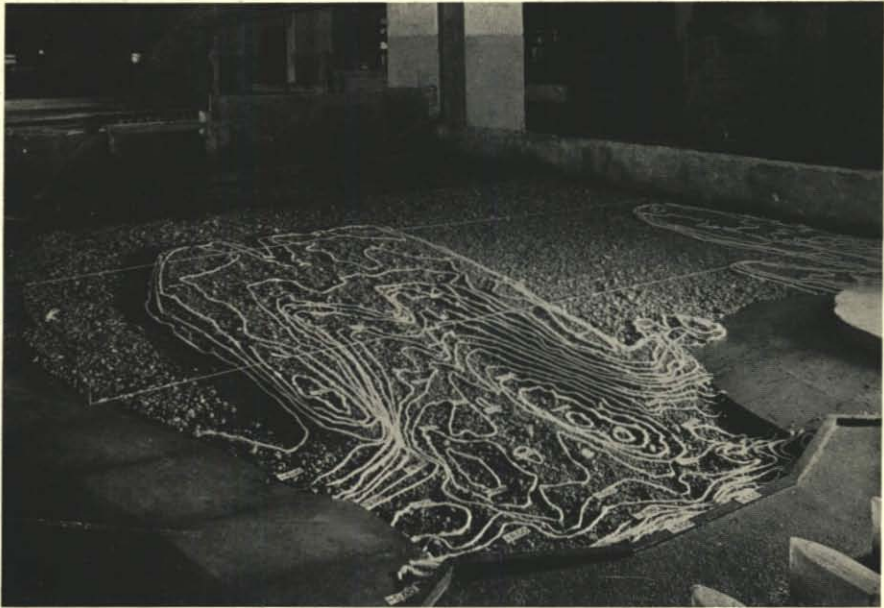


Fig. 34. Verdieping bij taludkegel (Toestand III).

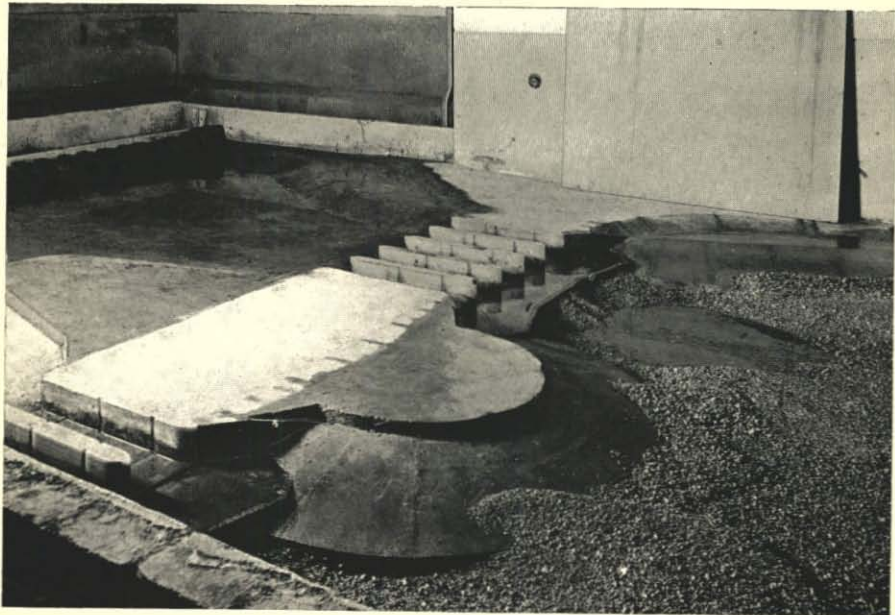


Fig. 38. Verdieping na zeer krachtig spuien.

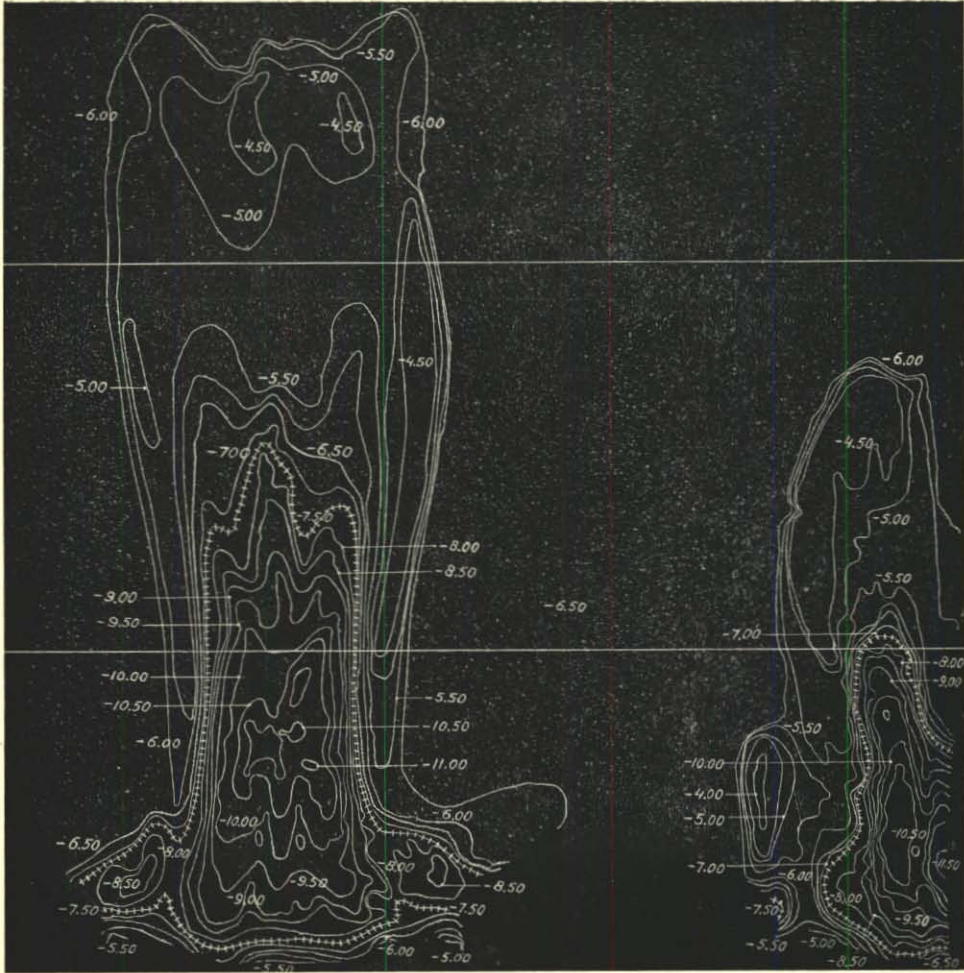


Fig. 40. Ontgroning bij Toestand IV.

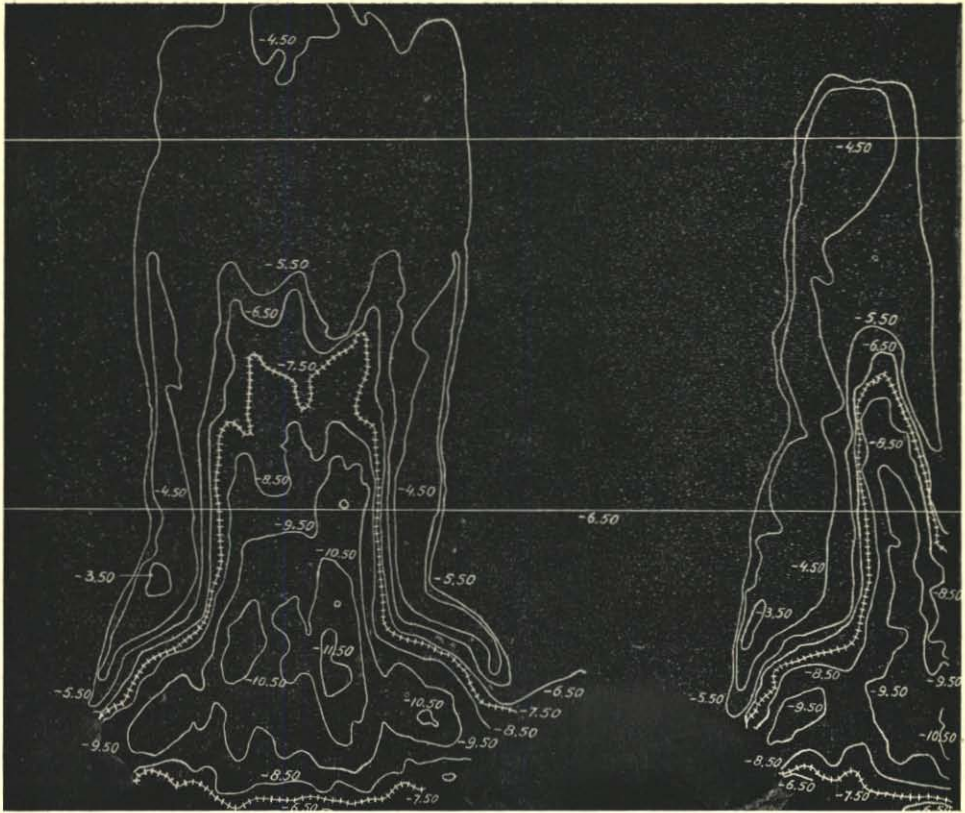


Fig. 42. Ontgroning na een week spuien bij Toestand IV.

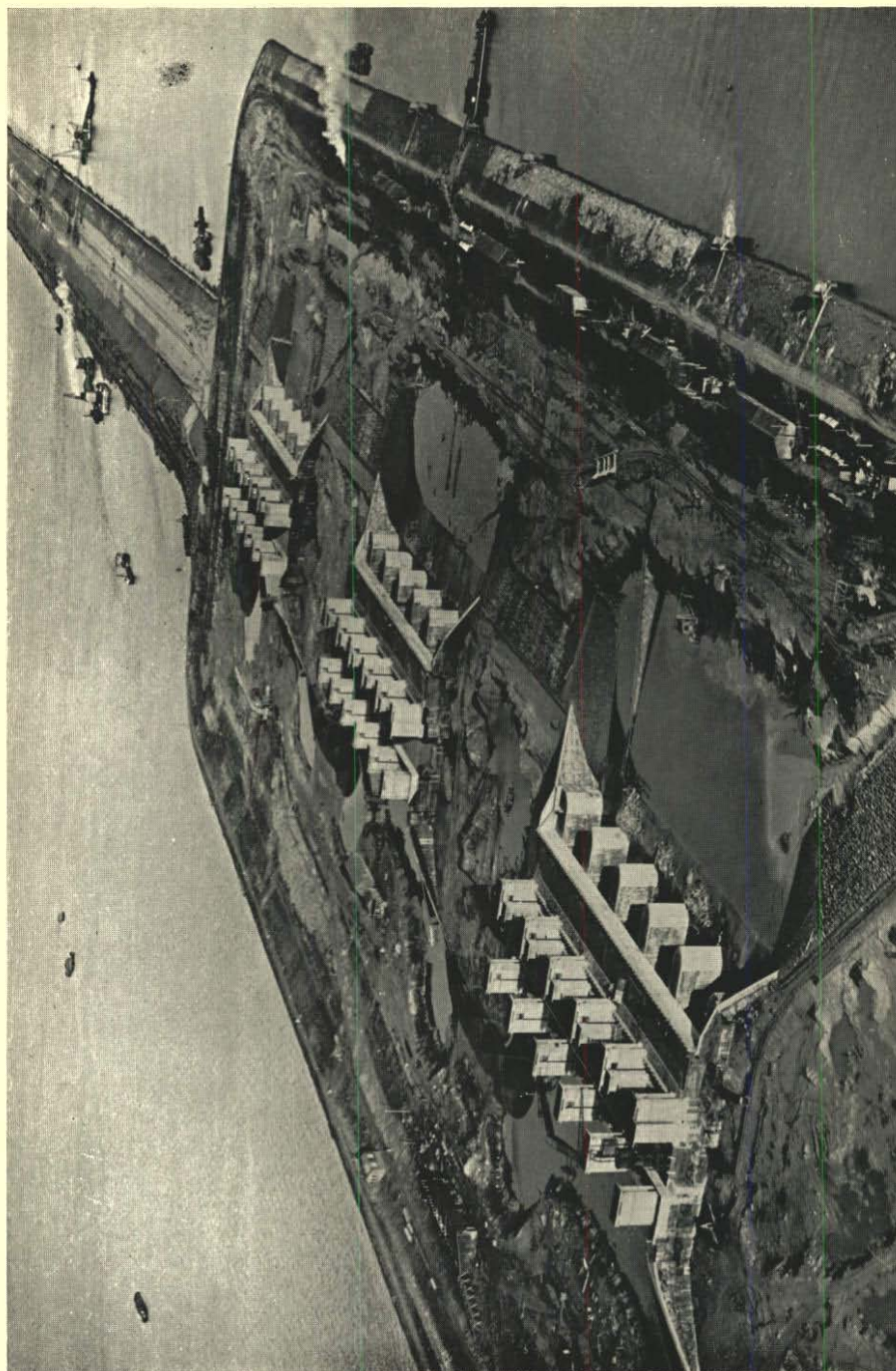


Fig. 44. Luehtfoto stuizen den Oever

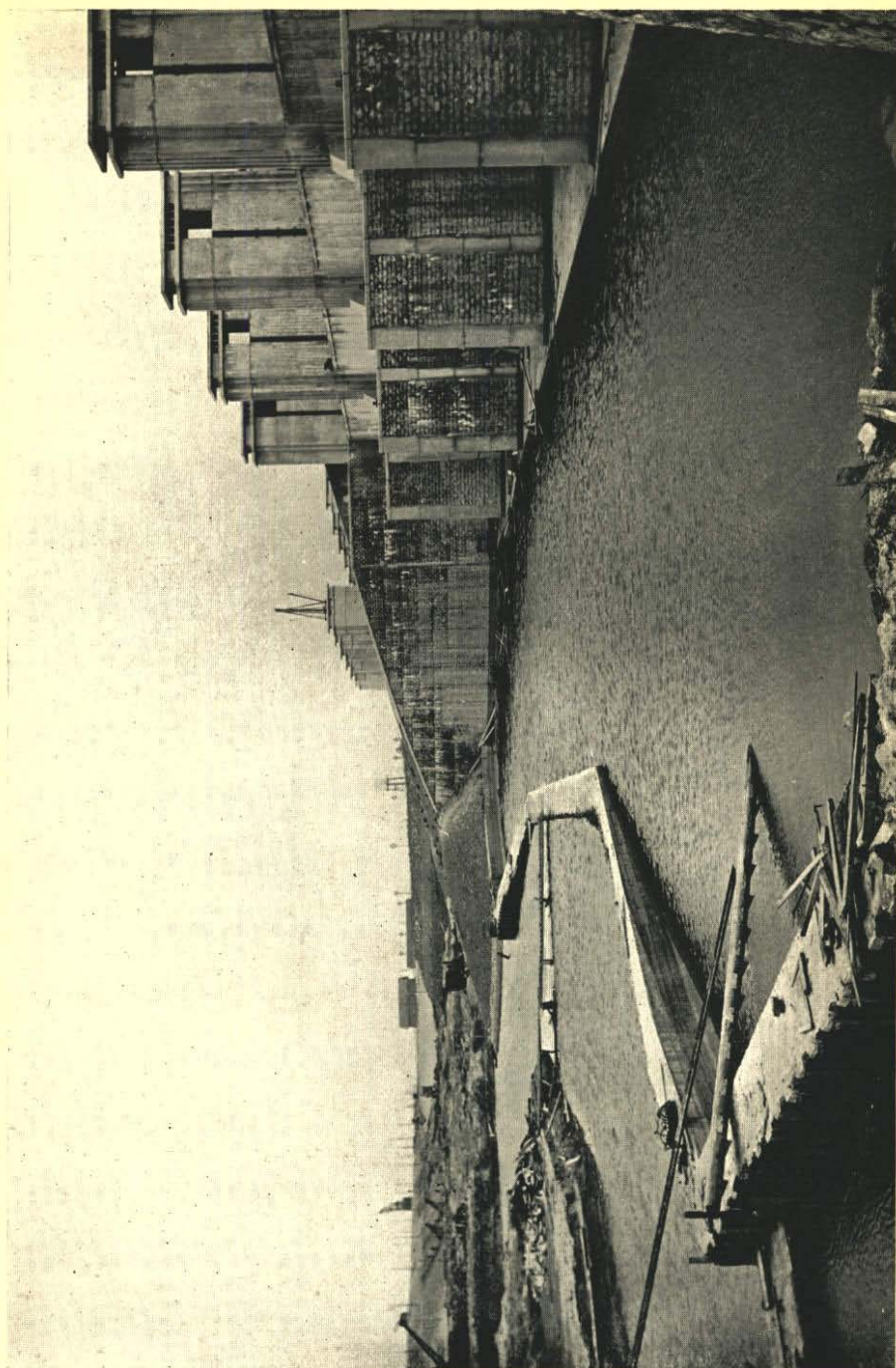


Fig. 45. Stormbed sluizen Kornwerderzand.

**DETAILMETINGEN
VOOR DE UITWATERINGSSLUIZEN IN
DE AFSLUITDIJK VAN DE ZUIDERZEE.**

(MODELPROEF No. 40.)

INHOUD.

	Bladz.
1. Opgaaf	53
2. Samenvatting van de resultaten	53
3. Het model	54
4. Inrichting van de metingen	56
5. De invloed van het ruwe oppervlak van de deur	58
6. De capaciteit bij verschillende standen van de deuren	61
7. De op de deuren werkende waterdruk	65
8. Keeren van water uit de verkeerde richting.	67
9. De afvoer van zand door de sluis	69

FIGURENLIJST.

	Bladz.
1. Situatie	54
2. Overzicht van model A	foto
3. Model B	foto
4. Krachtmeting in model A.	foto
5. Diagram van afvoer bij gladde en ruwe deuren	59
6. Afvoercoëfficiënt bij verschillende deurstanden.	62
7. Verband tusschen moment op de deur en stand van de deur . .	66
8. Door de deuren beperkte ebstroom.	70
9. Neerzetting van zand in model A	foto
10. Neerzetting van zand in model B	foto
11. Stroom bij zeer groot verval.	foto

1. *Opgaaf.*

In de winter van 1930—1931 is door de Directie van de Zuiderzeewerken opgedragen een aantal metingen te verrichten over in de uitwateringsluizen te verwachten verschijnselen. Deze metingen zijn in vier groepen te verdeelen:

- a. Onderzoek naar eventueele vermindering van het vermogen door het toepassen van puntdeuren, vervaardigd uit damwandijzer, die een zeer oneffen oppervlak bezitten.
- b. Invloed van de aanwezigheid van tijwachters: kracht, waarmee de deuren tegen deze constructiedeelen worden gedrukt, en vermindering van het vermogen, doordat de deuren niet geheel in de kassen staan.
- c. Nagaan van het gedrag van zand, dat door de spuistroom door de sluzen wordt gevoerd, vooral met het oog op beschadiging van taatsen en deuren.
- d. Vermindering van de doorstroomende hoeveelheid van IJsselmeer- naar Waddenzeezijde vóór het aanbrengen van de schuiven, door de puntdeuren tegen de stroom in dicht te trekken met een kracht, die zonder bezwaar door deze deuren kan worden opgenomen.

2. *Samenvatting van de resultaten.*

De metingen, die tusschen October 1930 en April 1931 door de ingenieur A. E. J. NAP werden uitgevoerd, leidden tot de volgende uitkomsten:

- a. De vermindering van het vermogen bij damwanddeuren ten opzichte van een met gladde deuren uitgeruste sluis is nauwelijks meetbaar en zeker kleiner dan één percent (par. 5).
- b. De momenten, die op de deuren door het stroomende water worden uitgeoefend, zijn afhankelijk van de afstand, waarover ze uit de kas worden gehouden. Bij een verdraaiing van omstreeks 9° komt het moment overeen met dat, hetwelk door het statische drukverschil tusschen boven- en benedenwater zou worden uitgeoefend. Bij kleinere hoeken neemt het evenredig aan de grootte van de hoek af tot nul in de geheel open stand (par. 7).
- c. Door de sluzen gevoerd zand zet zich niet neer in de omgeving van de draaipunten van de deuren. Het achter de slagdrempel afgezette zand levert in het bedrijf geen moeilijkheden op (par. 9).
- d. Gedurende de periode, waarin de schuiven nog ontbreken, verminderen de door gewichten van 2000 kg belaste deuren de afvoer in belangrijke

waardoor de peilnaalden dichter op de sluis moesten staan (bovenpeilnaald 30 m, benedenpeilnaald slechts enkele meters). Hiertegen was in dit geval slechts weinig bezwaar, daar de geheele toestand wordt beheerscht door de beweging in de onmiddellijke nabijheid van de deuren. Het verschil tusschen de in model A en B afgelezen benedenwaterstanden, dat door de plaats van de benedenpeilnaald in model B ontstaat, is evenredig met de snelheidshoogte daar ter plaatse en dus met het vierkant van de afvoer. Voor de metingen met bijna gesloten sluis, waarvoor model B is gebruikt, kan de fout worden verwaarloosd.

In- en uitloop zijn in overeenstemming met die van model A; onder de beide baksteen en aan het bovenstroomsche einde in fig. 3 bevindt zich de honigraat, die de stroom volkomen regelmatig maakt.

4. Inrichting van de metingen.

Wanneer de waarnemingen over het doorvoeren van zand buiten beschouwing worden gelaten, zijn de volgende grootheden te meten:

- a. Doorstroomende waterhoeveelheid.
 - b. Waterstand boven de sluis.
 - c. Waterstand beneden de sluis.
 - d. Stand van de deuren.
 - e. Op de deur werkende krachten.
- a. Het water werd ontleend aan een hoogreservoir (drukregelaar II van het laboratorium), dat door de pompen voortdurend tot een vast peil wordt gevoed. De regeling van de hoeveelheid had plaats met een schuifafsluiter, gevolgd door een aftapkraantje voor fijnregeling, de meting door middel van een in een meetgoot (fig. 2, achtergrond) geplaatste stuw met horizontale scherpe kruin. De instelling en aflezing van de hoeveelheid zijn nauwkeurig tot op een half percent, behalve bij de zeer kleine hoeveelheden, waarbij de nauwkeurigheid minder is.
- b. De waterhoogte boven de sluis, afgelezen tot in tiende deelen van millimeters met de bovenpeilnaald (h_a), moet, om de IJsselmeerstand voor te stellen, nog worden verhoogd met de snelheidshoogte:

$$s_a = v_a^2 : 2g.$$

Het resultaat,

$$H_a = h_a + s_a,$$

de energiehoopte aan de IJsselmeerzijde, is steeds genomen als bovenwaterstand.

- c. Bij de waterhoogte aan de Waddenzeekant, h_e , eveneens met een peilnaald afgelezen, is de snelheidshoopte s_e niet in rekening gebracht, in verband met de onzekerheid in hoeverre de snelheidsenergie in druk zal worden omgezet (zie de verslagen van de modelproeven 17 en 24 en ook Rapporten, enz. n°. 3).

Voor benedenpeil is dus steeds genomen de afgelezen hoopte h_e aan de peilnaald.

Het verval z voor de sluis is bepaald door:

$$z = H_a - h_e.$$

De meetfouten van de waterstanden kunnen in model A in modelmaat één of twee tiende millimeters bedragen, overeenkomende met een kwart of een halve centimeter in werkelijkheid. Waar bij de resultaten onderdeelen van centimeters zijn vermeld, moet er dus steeds rekening mee worden gehouden, dat fouten kunnen zijn gemaakt van de grootte van enkele eenheden van de laatste decimaal.

In model B is bij grootere afvoeren de nauwkeurigheid van de benedenpeilnaald veel minder.

- d. De stand van de deuren is in bijna open positie bepaald door opmeting van de afstand tusschen de voorhar en de dagzijde van de deurkas, genomen loodrecht op de sluisas. Bij de metingen van par. 6, waarbij het ging om de vermindering van de afvoer door het uit de kas komen van de deuren, werden deze in de verlangde stand vastgezet door middel van twee op een asje bevestigde aanslagen (zichtbaar in fig. 2).

Is de deur bijna dicht, dan bepaalt de loodrechte uitwijking, evenredig met de sinus van de uitwijkingshoek α , de stand niet meer voldoende. In dat geval is een grootheid gebruikt, evenredig aan cotangens α , door de plaats te bepalen, waar het verlengde van de deur de tegenoverliggende pijler snijdt.

Daartoe is in model B (fig. 3) een wijzer op de deuren gemaakt en een verdeling op de bovenvlakken van de pijlerhelften aangebracht.

Bij het uitwerken van de metingen is steeds de hoek α , tusschen het vlak van de deur en de as van de sluis, berekend uit de beschikbare gegevens.

Een tweede meetserie is uitgevoerd bij een debiet Q van $150 \text{ m}^3/\text{s}$ per opening, overeenkomend met de afvoer bij een normale IJsselmeerstand en laagwater buiten. Ook hierbij werd hetzelfde resultaat verkregen.

Metingen met nog kleiner debiet zijn niet uitgevoerd. De vervallen z zouden in dit geval zoo klein zijn, dat onvermijdelijke meetfouten veel grooter zouden worden dan de verschillen, waarom het gaat. Bij de meting van $Q = 150$ en in mindere mate bij die met $Q = 220$ is dit *bij de hoogste waterstanden* ook reeds het geval. De verschillen van twee tot drie percent, waarmee volgens de meting in het eene geval de gladde en in het andere de ruwe deur in het voordeel is en die beide slechts op één waarneming berusten, zouden geheel verdwijnen bij de verschillen in de aflezing der peilnaalden van enkele tiende millimeters.

Het is een algemeen bekend verschijnsel, dat de weerstand, die bewegend water ondervindt bij het stroomen langs neeren, grooter is dan bij het volgen van vaste wanden. De verticale sponningen, die tusschen de damplanken voorkomen — zeven in elke deur —, zijn een uitnemende gelegenheid voor het ontstaan van neeren en deze blijken dan ook aanwezig te zijn. Zelfs dringen deze neeren, ten gevolge van de tapsche vorm van de sponningen, een eindweegs door in het doorstromingsprofiel, dat zij zodoende een weinig vernauwen.

Dat deze vernauwing geen grootere invloed heeft op de afvoer, moet misschien worden verklaard door de omstandigheid, dat juist bovenstrooms van de deuren het profiel nog kleiner is, namelijk door de aanwezigheid van de slagdorpel. Dit profiel bepaalt in hoofdzaak de capaciteit van de sluis, die dus nauwelijks afhangt van de toestanden verderop.

Afdoende is de verklaring allerminst, doch het is een verheugend feit, dat er uit het oogpunt van vermogen van de sluizen geen bezwaar bestond tegen de toepassing van de eenvoudige deuren van damwandijzer.

Opmerkelijk is het, dat reeds te Karlsruhe was gevonden, dat verticale sponningen geen meetbare invloed op de capaciteit hebben (Rapporten, enz. n°. 3, bladz. 25). Ook in andere te Delft onderzochte modellen is geconstateerd de geringe invloed van verticale sponningen, in tegenstelling met horizontale.

In hoeverre hier een algemeen verschijnsel aanwezig is, valt niet te zeggen.

Om een denkbeeld te verkrijgen van de grootte van eventueel nog bestaande verschillen, is voor elke meting berekend de afvoercoefficiënt μ uit de formule

$$Q = \mu Q_0 = \mu F \sqrt{2gz},$$

of bij maximum-afvoer uit

$$Q = \mu Q_0 = \mu B \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g \cdot H^{\frac{3}{2}}}.$$

F is daarin het profiel van de sluisopening, voor zoover het ligt beneden het peil van het benedenwater. B is de breedte van de opening en $H = H_a + 440$, de energiehoogte in het IJsselmeer boven de slagdrempel.

De coëfficiënten μ , die van meetpunt tot meetpunt zeer geleidelijk veranderen, worden voor gladde en geprofileerde deur vergeleken. De conclusie, die daarmee wordt bereikt, is deze, dat verschillen van één percent of meer in μ en dus ook in de afvoer, als uitgesloten kunnen worden beschouwd.

6. De capaciteit bij verschillende standen van de deuren.

Wel wordt vermindering van vermogen bereikt, wanneer de deuren niet geheel en al in de kassen staan, maar, doordat ze tegen de tijwachters steunen, daar een eindweegs uitsteken.

Deze vermindering is bepaald door de deuren vast te zetten in drie standen, waarbij de voorhar resp. 25, 50 en 75 cm buiten de deurkas komt (deurhoeken α van resp. $2^\circ 18'$, $4^\circ 35'$ en $6^\circ 54'$). De metingen werden, evenals vroeger, uitgevoerd bij een afvoer Q van 220 en een van $150 \text{ m}^3/\text{s}$ per opening, zoodat de Q -krommen konden worden geteekend in de grafieken van fig. 5, die in de vorige paragraaf zijn behandeld.

De metingen van de op de deur werkende krachten leveren ook gegevens over de afvoervermindering, zoodat de diagrammen konden worden uitgebreid voor grootere uitwijkingen van de deuren. Ook bij de grootere uitwijkingen van de deuren zijn de afvoeren gemeten.

Om een overzicht te verkrijgen van de invloed van de stand van de deur op de afvoer, is voor elke meting berekend de theoretische afvoer Q_0 , waarbij voor het profiel F (bij maximum-afvoer de breedte B) is genomen de waarde, die bij de geheele sluisopening behoort. De vernauwing bij de deuren is dus niet in rekening gebracht. De coëfficiënt

$$\mu = Q : Q_0$$

wordt dus kleiner naarmate de deuren verder dicht gaan en door deze coëfficiënt te vergelijken met de waarde bij geheel open deuren is de invloed van de afwijkende deurstand te beoordeelen.

Fig. 6 geeft het verloop van μ bij variatie van de deurhoek α . De meetpunten liggen natuurlijk niet op één vloeiende lijn, daar μ , behalve door

Bij een plausible aanname over het oploopen van de waterspiegel tusschen de plaatsen, waar de beide peilschalen staan, wordt de uitkomst van model B tot die van model A teruggebracht.

Hier blijkt weer van hoeveel invloed de plaatsing van de peilschaal is op de uitkomsten. De waterstand beneden de sluisen is van punt tot punt zeer verschillend; het is altijd mogelijk het meetpunt te kiezen op een plaats, waar de waterstand toevallig bijzonder laag of bijzonder hoog is.

Het eerste is geschied bij een van de te Karlsruhe doorgemeten modellen. In fig. 5 van het verslag (Rapporten, enz., n^o. 3) is duidelijk te zien, dat het teeken voor de benedenpeilnaald juist staat in het diepste punt van de verhanglijn beneden de sluis. Zeer waarschijnlijk heeft bij het hier behandelde onderzoek in model A het omgekeerde plaats gehad. Door gezamenlijke werking van de pijlerkop en de drempel van het stortebed ontstaat een gegolfd wateroppervlak, dat in de omgeving van de beide benedenpeilnaalden een verheffing vertoonde.

Vergelijkt men de in de sluismodellen van Karlsruhe en Delft (model 40, A) gemeten afvoercoëfficiënten, dan blijkt een verschil van omstreeks 30 percent te bestaan, waarbij de laagste waarden te Karlsruhe zijn gemeten. Dit verschil is slechts ten deele verklaarbaar, doordat daar de pijlers langer waren (ouder ontwerp), de bovenpeilnaald verder van de sluis was verwijderd en de stroomsnelheid, dus ook de — verwaarloosde — levende kracht van het water bij de benedenpeilnaald grooter was. Overigens moet de plaatsing van deze peilnaald voor het verschil verantwoordelijk zijn.

Bij maximum-afvoer krimpt het verschil tusschen Karlsruhe en Delft in tot twee percent. Dit is ook begrijpelijk, daar bij dit stroomingsgeval de benedenstand geen invloed op de afvoer meer heeft. De pijlerlengte en de plaats van de bovenpeilnaald moeten het geconstateerde verschil juist veroorzaken.

Voor de capaciteit bij maximum-afvoer is tot nu toe in alle van de sluisen gebouwde modellen een overeenstemmende waarde gemeten. Niet alleen werd, zooals reeds is gezegd, in model B dezelfde afvoer gevonden, dit geldt ook voor het in 1929 te Delft gebouwde model voor het onderzoek van het stortebed (model 17).

Dit laatste model was in de beste omstandigheden voor het meten van het benedenpeil, daar het model beneden de sluis zeer uitgebreid was. De peilschaal stond buiten het gebied van de onregelmatige wateroppervlakte en bovendien op een plaats, waar de stroomsnelheid zeer gering was. De

hierin verkregen uitkomsten liggen tusschen die van Karlsruhe en die van model A (40) in.

Ook wanneer na het in bedrijf stellen van de werkelijke sluisen afvoermetingen zullen worden verricht, is de keus van de plaats, waar de buitenwaterstand wordt gemeten, van het hoogste gewicht.

7. De op de deuren werkende waterdruk.

Uit alle krachtmetingen is berekend het moment, dat de resultante van de waterdruk heeft ten opzichte van het draaipunt van de deur. Het is niet gemakkelijk om langs theoretische weg de grootte van dit moment te berekenen. Deze hangt immers af van het verloop van de waterstand rondom de deur en dit verloop is van vele factoren afhankelijk.

Aan de voorzijde van de deur daalt de waterstand in de richting van de voorhar en wanneer de deur een eindweegs uit zijn kas is gebracht, wordt daarbij een groote invloed uitgeoefend door de centrifugaalkrachten, die samenhangen met de gebogen stroomlijnen om de kop van de deur.

Aan de bovenstreamsche zijde is de stand dus lager dan die van het bovenwater. Aan de andere kant van de deur bevindt zich een neer, waarin de stroomsnelheden tamelijk klein zijn en het wateroppervlak vrijwel horizontaal is. Dit oppervlak ligt zeer diep, meestal belangrijk dieper dan het benedenwater. In fig. 4 is te zien, dat het water dadelijk voorbij de deuren laag staat en verder stroomafwaarts weer oploopt: het water komt daar weer achter de pijler te voorschijn. Behalve door dit duiken van de waterspiegel wordt de verlaging van het peil van de neer achter de deur nog in de hand gewerkt door dwars op de sluisas staande centrifugaalkrachten, die maken, dat het water langs de pijlers niet onbelangrijk lager staat dan in het midden van de sluisopeningen.

Door dit alles is het mogelijk, dat het drukverschil tusschen voor- en achterzijde van de deur in sommige gevallen nog grooter is dan dat tusschen boven- en benedenwater.

Bij geheel open deuren is het drukverschil zeer klein en practisch te verwaarloozen; het zal bij onveranderde boven- en benedenwaterstand toenemen naarmate de deur verder uit de kas komt. Zijn de deuren eindelijk geheel gesloten, dan is het drukverschil natuurlijk dat, hetwelk met het niveauverschil tusschen boven- en benedenwater overeenkomt.

Wordt het moment, dat door dit laatste drukverschil wordt veroorzaakt,

M_0 genoemd, dan kan het in een willekeurige stand van de deur optredende moment M , worden uitgedrukt in M_0 :

$$M = \beta M_0 \text{ 1).}$$

De empirische coëfficiënt β is nul bij open en één bij geheel gesloten deuren. Bij andere deurstanden kan β alleen door meting worden bepaald.

De uitkomsten van de metingen zijn verzameld in fig. 7. Zooals wel te verwachten was, is β niet uitsluitend een functie van de deurhoek α : ook de

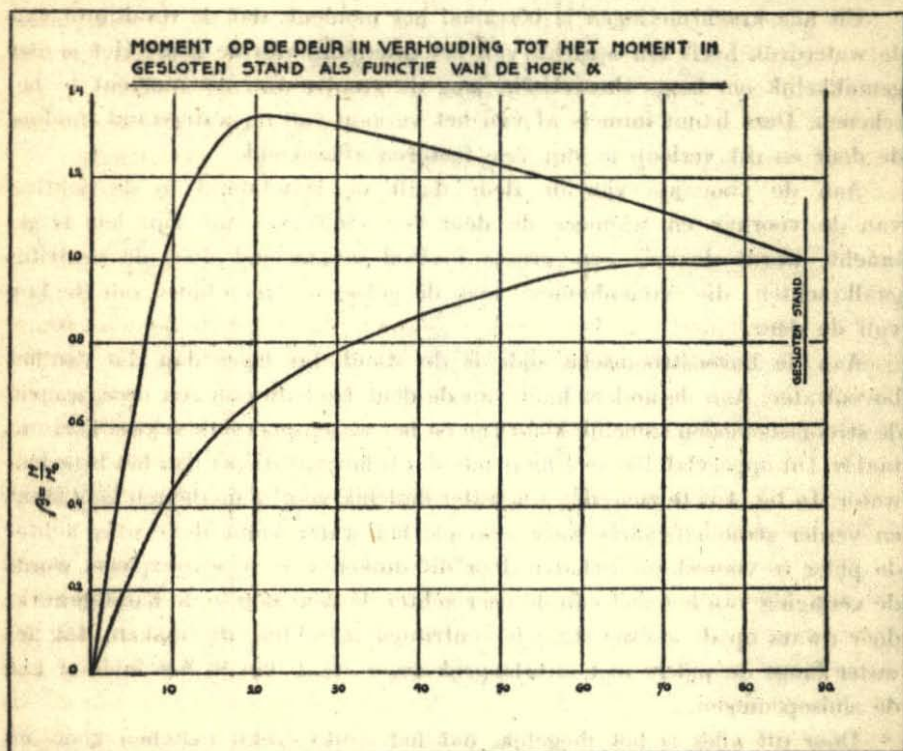


Fig. 7.

$$1) M_0 = \frac{\gamma}{4} l^3 (H_a + h_e + 2d) z,$$

waarin γ = soortelijk gewicht van water

l = lengte (horizontaal) van de deur

H_a = hoogte (energielijn) water boven de sluis boven N. A. P.

h_e = hoogte (spiegel) water beneden de sluis boven N. A. P.

d = diepte onderkant van de deur beneden N. A. P.

z = verval = $H_a - h_e$.

waterhoogten en het debiet oefenen er invloed op uit. In de figuur zijn alleen de grenzen geteekend, waartusschen de ongeveer 200 meetpunten verspreid liggen.

Vooraf bij hooge afvoeren blijkt β groot te zijn, wat ook niet te verwonderen is, daar dan het duiken van de waterspiegel voorbij de deuren het sterkst naar voren komt. Het verschijnsel kan dan zoo sterk spreken, dat β tot 1,34 kan oploopen. Deze grootste gemeten waarde komt bij deurhoeken α van omstreeks 20° voor.

Er moet dus op worden gerekend, dat het moment op de deur onder sommige omstandigheden rond een derde meer kan worden dan dat, hetwelk met het drukverschil tusschen binnen- en buitenwater overeenkomt.

Bij kleiner deurhoeken neemt β sterk af en nadert vrijwel bij het afnemen van α lineair tot nul. Als hoogste waarde kan worden aangenomen:

$\alpha = 2^\circ 18'$	(voorhar 25 cm uit de deurkas)	: $\beta = 0,28$
$\alpha = 4^\circ 35'$	(" 50 " " " ")	: $\beta = 0,56$
$\alpha = 6^\circ 54'$	(" 75 " " " ")	: $\beta = 0,84$

Gaan de deuren verder dicht, dan met $\alpha = 20^\circ$ overeenkomt, dan neemt de druk weer geleidelijk af. De doorstroomende hoeveelheid is dan zooveel kleiner, dat het duiken van het wateroppervlak van minder belang gaat worden. Meer en meer wordt de toestand benaderd, dat aan de eene zijde van de deur de buitenwaterstand en aan de andere zijde het binnenpeil wordt gevonden. In verband daarmee nadert β steeds meer tot de eenheid, die bij geheel gesloten deuren wordt bereikt.

Een deel van de metingen is verricht in model A en een ander deel, vooral die met groote hoeken α , in model B. Om deze metingen met elkander in overeenstemming te brengen, is bij het berekenen van de waarden van M_0 voor de benedenwaterstand steeds die gebruikt, die in model A is of zou zijn waargenomen. Bij de metingen in model B moest daarvoor aan de afgelezen waarde een correctie worden aangebracht ter grootte van $0,9 Q^2 : 2gF^2$, waarin F het natte profiel bij de peilnaald is. Uit de afvoermetingen was gebleken, dat dit het verschil van de gemeten benedenwaterstanden in de modellen A en B is, wanneer de overige omstandigheden gelijk zijn.

8. Keeren van water uit de verkeerde richting.

Het is mogelijk, dat met het opruimen van de omringdijken, waarbinnen de sluizen zijn gebouwd, moet worden begonnen vóór de schuiven, die de eenige ebkeeringen vormen, zijn aangebracht. De getijbeweging zal dan aan

weerszijden van de sluisen reeds groote verschillen vertoonen, zoodat er belangrijke vervallen in beide richtingen zullen optreden. Wanneer het buitenwater (Waddenzee) hooger staat dan het binnenwater (de af te sluiten Zuiderzee), zullen de deuren dicht gaan en het verval keeren. In het tegenovergestelde geval echter gaan de deuren open en er zal een stroom door de sluisen ontstaan, die bij eenigszins belangrijke vervallen zoo sterk zal zijn, dat het wegbaggeren van de resteerende stukken omringdijk ernstig kan worden belemmerd.

Deze stroom zou kunnen worden tegengehouden door de voorharren van de deuren in dichte stand aan elkander te koppelen, maar deze wijze van doen is met het oog op de constructie van de deuren niet toelaatbaar. De deuren, die een boven- en een onderaanslag bezitten, zijn niet stijf tegen schranken, en de grootste belasting, die met het oog op deze stijfheid mag worden aangebracht, wordt gevormd door twee gewichten van elk 2000 kg, die op de in fig. 8 aangegeven wijze over katrollen aan de deuren zijn bevestigd. Het resultaat van deze bevestiging is een kracht van op elke deur 2 ton evenwijdig en een van 4 ton loodrecht op de sluisas, waardoor op de deur een moment wordt uitgeoefend, groot $2000 l (2 \cos \alpha + \sin \alpha)$.

Dit moment zal evenwicht moeten maken met het in par. 7 bepaalde moment: $\beta M_0 = \beta \frac{\gamma}{4} l^3 (H_a + h_e + 2d)z$. Bij een bepaald verval z zal de deur dus in evenwicht zijn bij een hoek α , zoodanig dat:

$$z = \frac{4 \times 2000}{\gamma l (H_a + h_e + 2d)} \times \frac{2 \cos \alpha + \sin \alpha}{\beta}$$

De waarde van β als functie van α kan worden afgeleid uit de gegevens, die gediend hebben bij de samenstelling van fig. 7. Bij de in aanmerking komende waterstanden blijkt het verloop van deze functie niet ver van de in fig. 7 geteekende bovengrens te liggen. Dientengevolge verkrijgt z als functie van α , dus ook als functie van het debiet Q , een eigenaardig verloop, globaal zooals in fig. 8 is weergegeven.

De toestand is nu als volgt. Neemt men een constant Waddenzeepil (bijv. 40 cm — N.A.P.) aan en laat men het binnenwater langzaam stijgen, dan zullen de deuren eerst dicht blijven om nadat het verval de waarde van 17 cm heeft overschreden, te worden opengedrukt. Dit gaat geleidelijk verder tot het verval tot omstreeks 35 cm is gestegen. Bij dit kritische verval behoren twee toestanden; bij de eene is de deur nog half dicht ($\alpha = 31^\circ$, $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$), maar bij het tweede bijna geheel open ($\alpha = 12^\circ$, $Q = 130 \text{ m}^3/\text{s}$).

Tusschen deze beide standen kan slechts een kleiner verval worden gekeerd en het gevolg zal dus zijn, dat de deuren plotseling bijna geheel openslaan. De afvoer verminderende werking van de gewichten is dan vrijwel opgeheven. Het middel doet dus alleen dienst bij vervallen vóór de sluis van hoogstens 35 cm.

Wanneer de in de ringdijk gebaggerde openingen nog een klein profiel bezitten, is daar ook nog enkele centimeters verval, zoodat totaal bijna 40 cm verval kan voorkomen, zonder dat een te hinderlijke stroom bij de baggermolens zal optreden.

Het verschijnsel is in het model gereproduceerd door daarin dezelfde krachtencombinatie aan te brengen. Door het steeds verder openzetten van de toevoerkraan wordt de afvoer vergroot. Er wordt tegelijkertijd met de uitlaatstuw zoodanig gemaneuvreerd, dat het benedenpeil tusschen 30 en 40 cm — N.A.P. blijft, daarbij rijst het bovenpeil en gaan de deuren langzamerhand open. Duidelijk treedt het verschijnsel op. Is het kritieke verval bereikt, dan gaan bij het verder vergrooten van de afvoer de deuren wel meer open, maar het bovenpeil stijgt niet meer, integendeel, het loopt iets terug. Dit zal in de werkelijkheid niet gebeuren; daar is een practisch onbepaalde waterhoeveelheid beschikbaar om ook bij de wijd geopende deuren het eenmaal bereikte verval te handhaven, wat in het model niet mogelijk is. De kromme in fig. 8, die het verband tusschen afvoer Q (per sluisopening) en verval z aangeeft, stelt de opvolging van in het model gemeten toestanden voor. In de werkelijkheid zal deze kromme niet worden gevolgd, maar de toestand verlopen volgens de stippellijnen. Bij grooter worden van het verval wordt de sprong langs de stippellijn c e gemaakt; neemt het later weer af, dan zullen de deuren wijd open blijven tot het punt d is bereikt, waarna door snel bewegen van de deuren de toestand plotseling over gaat naar b.

Fig. 3 is gemaakt tijdens de uitvoering van deze meetserie. Model B is hiervoor gebruikt, aan de gemeten benedenwaterstand moest de meermalen genoemde correctie worden aangebracht.

9. *De afvoer van zand door de sluis.*

Het zal herhaaldelijk gebeuren, dat het door de sluizen tot afstroming komende water zand meevoert, vooral in den Oever. Daar bevindt zich binnen de sluizen een uitgestrekte zandplaat, waarover zich bij het spuien met groot verval zoo groote stroomsnelheden zullen ontwikkelen, dat het zand wordt meegevoerd.

De mogelijkheid is denkbaar, dat dit zand zich in luwe hoeken van de sluisopening op een zoodanige manier neerzet, dat het bedrijf van de sluis

staan dan bij de punt. Zij zullen zich onder invloed van dit drukverschil naar het midden bewegen, wat in het model ook wordt waargenomen. Deze dwarsstroom is zóó sterk, dat zandkorrels, die, met de hoofdstroom meekomende, over de drempel vallen, dadelijk worden weggevoerd in de richting van het midden van de opening. Hierdoor wordt ook zandafzetting in de schuifspinningen belemmerd, daar het eenmaal in het midden van de opening opgehoopte materiaal niet enkele meters verder weer de kanten kan bereiken. De slagdrempel beschermt dus niet alleen de deurkassen, maar ook de schuifspinningen.

Het is nu ook begrijpelijk, dat op het stortebed het materiaal voor de pijlers blijft liggen. Daar is de kromming van de stroomlijnen zoodanig, dat de holle zijde naar de pijler is gekeerd, met gevolg, dat het zand op het stortebed, naar die zijde wordt gevoerd. De foto (fig. 11), die genomen is in model A bij een zeer lage (in de werkelijkheid niet bereikbare) buitenwaterstand, toont de gebogen stroomlijnen. Ook is te zien, dat ter hoogte van de deuren het water tegen de pijler hooger staat dan langs de modelwand.

De niveaoverschillen, waarom het hier gaat, zijn trouwens ook in andere modellen van de sluizen geconstateerd. In fig. 5 van het verslag van de metingen te Karlsruhe (Rapporten, enz. n^o. 3) blijken zij ook uit het verloop van de hoogtelijnen.

De neerzetting achter de drempel is te verwijderen door bovenstrooms een tweede drempeltje op de vloer te maken. Vooral wanneer dit drempeltje een grootere sprong heeft dan de eigenlijke slagdrempel, wordt het materiaal grotendeels opgevangen op het vlak tusschen beide drempels. Zanddeeltjes, die door hun groote snelheid tijdelijk voor de slagdrempel te land komen, springen na eenige tijd op en geraken zodoende op hetzelfde vlak, dus op de slagdrempel.

Het middel werkt natuurlijk echter niet meer, zoodra de opzanding tusschen de drempels zoo hoog is geworden, dat de top van de bovendrempel bereikt is. Daarna gaat zich weer een neerzetting vóór de slagdrempel vormen van het type van fig. 9 en 10. Bovendien vermindert de bovendrempel het afvoerend vermogen van de sluis, zoodat het aanbrengen er van geen aanbeveling verdient.

Dat is ook niet noodig. Zou de zandophooging aan de kanten voorkomen, dan zou bij het dichtslaan van de deuren bij opkomende vloed de onderaanslag dicht bij het draaipunt vastloopen in het zand. Het gevolg daarvan is een onrustige krachtenverdeeling op de slappe deur. Nu het zand voornamelijk in het midden ligt, zal de deur bijna geheel dicht gaan en aanloopen op een

punt, op drie tot vier vijfden van de deurlengte van het draaipunt verwijderd. Niet alleen is dit gunstiger met het oog op de sterkte van de deur, maar bovendien zijn de deuren in deze toestand bijna dicht. De ruimte, die tusschen de voorharren overblijft is dan minder dan een decimeter wijd en het water, dat met verder stijgen van de zeespiegel naar binnen gaat trekken, is gedwongen grootendeels onder de deur door te stroomen, daarbij het zand opwarrelende. Zodoende verdwijnt de zandneerslag spoedig zoo ver, dat de deuren geheel dicht kunnen.

Om dit te controleeren is in de Oostoeversluis, de uitwateringsluis van het Balgzandkanaal, op en voor de slagdrempel een groote hoeveelheid zand gestort. Bij het opkomen van de vloed bleven de deuren aanvankelijk op het zand steken, waarna ze langzaam verder gingen. Na tien minuten was de opruiming van het zand zoover gevorderd, dat de deuren geheel gesloten waren.

Het door de sluizen meevoeren van zand, zelfs in groote hoeveelheden, kan dus zonder vrees voor moeilijkheden worden tegemoetgezien.



Fig. 2. Overzicht Model A.



Fig. 3. Model B.



Fig. 4. Krachtmeting in Model A.



Fig. 9. Neerzetting van zand in Model A.

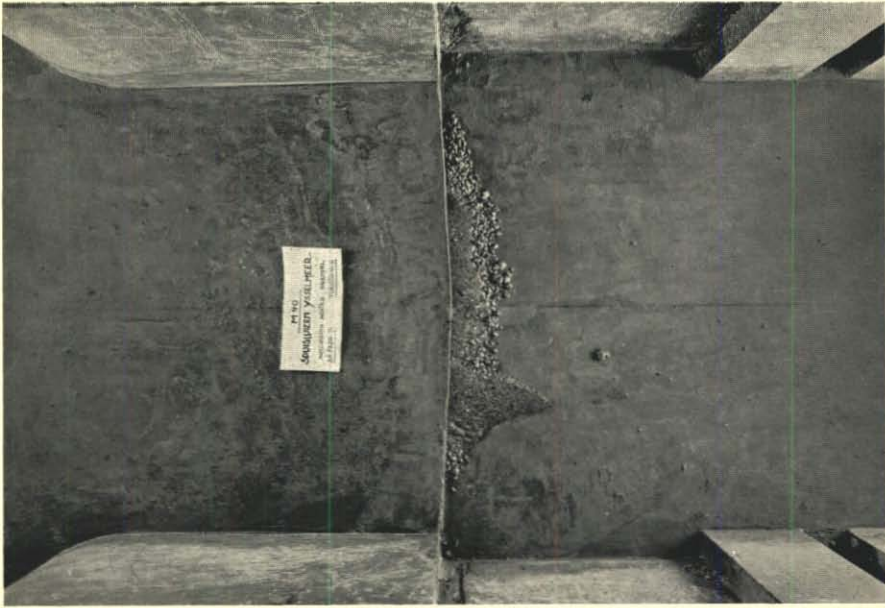


Fig. 10. Neerzetting van zand in Model B.



Fig. 11. Stroom bij zeer groot verval.

STORTEBED VAN DE OOSTOEVERSLUIS.

(MODELPROEF No. 24.)

INHOUD.

	bladz.
1. Opdracht	79
2. Resultaten	80
3. Model	80
4. Gang van de metingen	82
5. Eerste proefnemingen. Overeenkomst met de werkelijkheid . .	82
6. Wijzigen van de spuistroom met schotbalken	85
7. Definitieve voorziening	88
8. Standen van de schuiven bij zeer groot verval	92
9. Vermogen van de sluis	94

FIGURENLIJST.

	bladz.
1. Halve sluzengroep	79
2. Overzicht model	foto
3. Bovenaanzicht model	81
4. Ontgroning na 70 min stroomen	foto
5. Ontgroning na langdurig stroomen	foto
6. Gepeilde verdieping	81
7. Ontgroning na stroomen met alle openingen	foto
8a. Sluisopening. Langsdoorsnede	86
8b. Sluisopening. Bovenaanzicht	86
9. Ontgroning tegen stortebed	88
10. Situatie zinkstuk	89
11. Ontgroning tegen zinkstuk bij vol vermogen	91
12. Ontgroning tegen zinkstuk bij verschillende schuifstanden	93
13. Luchtfoto van het bouwwerk	foto

1. Opdracht.

Midden September 1929 werd door de Directie der Zuiderzeewerken opgedragen een modelonderzoek in te stellen betreffende het stortebed van de uitwateringssluis van het Balgzandkanaal bij het fort Oostoever.

Bij deze sluis waren namelijk juist te voren, na het stroomen, perkoenpalen, die het gezette stortebed begrenzen, komen opdrijven. Hieruit kon worden opgemaakt, dat er tegen het eind van het stortebed een gevaarlijke uitkolking had plaats gevonden, welke veronderstelling door peilingen is bevestigd.

Het stortebed ligt vrijwel horizontaal en wordt niet beëindigd door een drempel (fig. 1).

Een bijkomende bijzonderheid is, dat juist die tijd eenige schuiven in reparatie zouden worden gegeven.

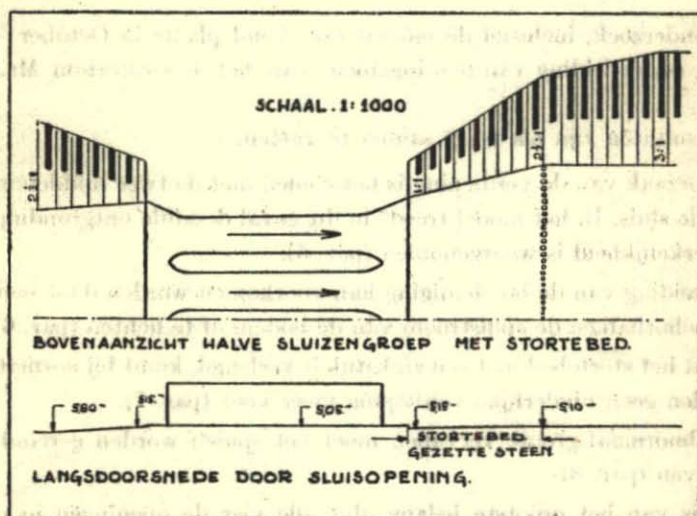


Fig. 1.

Bovendien was kort te voren de sluiting van de Wieringermeerdijk tusschen Medemblik en Den Oever tot stand gekomen; het peil in de Wieringermeer bedroeg omstreeks 0,02 m + N.A.P.

Het spuien door de sluis kon daardoor niet worden stopgezet. Integendeel was het wenschelijk, van elke gelegenheid tot waterafvoer te profiteren, om de Wieringermeer, die gedurende korte tijd nog met het spuikanaal in open communicatie zou staan, zoo diep mogelijk af te laten.

De opgaafluidde, het onderzoek uit te strekken over de volgende beide punten:

1°. door het voorloopig plaatsn van eenige schotbalken in hun sponningen de spuistroom zoodanig te wijzigen, dat bij ongunstige waterstanden geen uitbreiding der ontgronding plaats vindt;

2°. nadat een zinkstuk van na te noemen afmetingen tegen het stortebed zal zijn gezonken, de voorloopige ingeplaatste schotbalken zullen zijn weggenomen en de schuiven hersteld, die schuifstanden aan te geven, waarbij de uitkolking aan de rand van het zinkstuk geen ontoelaatbare uitbreiding verkrijgt.

Er werd op aangedrongen, groote spoed te betrachten.

2. Resultaten.

Het onderzoek, inclusief de modelbouw, vond plaats in October—December 1929, onder leiding van den ingenieur van het laboratorium Mr. W. N. DINGER.

De resultaten zijn als volgt samen te vatten.

- a. De oorzaak van de verdieping is het spuien met de twee middenopeningen van de sluis. In het model treedt in dit geval dezelfde ontgronding op, die in werkelijkheid is waargenomen (par. 5).
- b. Uitbreiding van de beschadiging kan voorkomen worden door met behulp van schotbalken de spuistroom van de bodem af te lichten (par. 6).
- c. Nadat het stortebed met een zinkstuk is verlengd, komt bij normale waterstanden geen hinderlijke verdieping meer voor (par. 7).
- d. Bij abnormaal groote vervallen moet het spuien worden geremd met de schuiven (par. 8).
- e. Het is van het grootste belang, dat alle vier de openingen in ongeveer gelijke mate aan de afvoer deelnemen (par. 5).
- f. Het vermogen van de sluis is iets grooter, dan waarop bij het ontwerp was gerekend.

3. Model.

Terstond na het ontvangen van de opdracht zijn de voorbereidende werkzaamheden ter hand genomen, waartoe behooren: het bouwen van een betonnen goot, om hierin het model te plaatsn; het aansluiten van deze goot door middel

van een buisleiding aan één der in het laboratorium opgestelde meetgoten; het vaststellen van de modelschaal; het maken van het paraffine sluismodel en van raaien, uit triplexhout vervaardigd, om hiernaar de gedeelten van kanaal en zee tusschen de leidammen te bouwen.

Fig. 2 geeft een overzicht (van buitengeul naar kanaal gezien) van het model.

Zooals reeds is medegedeeld, is de sluzengroep van paraffine vervaardigd. De overbrugging der sluizen, die geen invloed heeft op de waterbeweging, is weggelaten.

Voor schotbalken, schuiven en puntdeuren is hout gebezigd.

Het verdere gedeelte is van beton gemaakt. Hiertoe behooren de aansluitende stukken van het Balgzandkanaal en van de buitengeul, het stortebed en de aansluitende grondwerken.

Als beweeglijk bodemmateriaal in de buitengeul benedenstrooms van het stortebed zijn puimsteenkorrels gebezigd.

De modelschaal is 1 op 50.

De vaste betonnen goot, waarin het model gebouwd is, is inwendig lang 8 m, breed 1,88 m, hoog 40 cm. Het water, dat de goot binnenstroomt, is gemeten door middel van een meetstuw met scherpe, horizontale kruin. Het water wordt, na het model doorlopen te hebben, aan het andere uiteinde der betongoot uitgelaten over een beweegbare stuwklep, waarmee de benedenwaterstand in het model wordt geregeld.

De waterstand in het Balgzandkanaal en in de buitengeul, voortaan aangeduid als Waddenzeestand, worden afgelezen op tegen de taluds aangebrachte hellende peilschalen.

Fig. 3 geeft een overzicht van het model in bovenaanzicht.

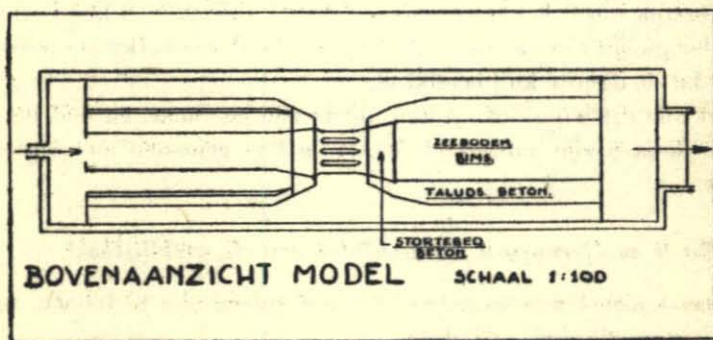


Fig. 3.

4. Gang van de metingen.

Nadat eerst water in het model is gelaten, wordt de bodem, voorzover die uit puimsteenkorrels bestaat, gladgestreken. Daarna wordt geleidelijk de waterstroom vergroot tot de benodigde hoeveelheid. De benedenwaterstand wordt met de stuwklep op peil gebracht.

De afleesnauwkeurigheid der waterstanden bij hellende peilschalen, zoals in dit model zijn gebezigd, is niet zoo groot, als bij het bezigen van peilnaalden. De meniscus van het wateroppervlak krijgt n.l. belangrijke invloed.

Toch behoort hier een afleesfout van 5 cm (in het model 1 mm, in verticale richting) tot de uitzonderingen en doet een van 10 cm (2 mm) zich niet voor.

Dit geldt voor de peilen, genoemd in par. 5 en par. 6 en opgenomen in de grafieken fig. 9, 11 en 12.

Bij het aflezen van de in par. 9 genoemde peilen, waar het verval klein is, werd bijzonder op de nauwkeurigheid gelet en liggen de afleesfouten zeker binnen 1 mm (werkelijkheid 5 cm).

De waterstroom wordt gedurende een zekere tijd, die bij de uitkomsten in de volgende paragrafen telkens wordt vermeld, onderhouden, waarna de verdieping en eventuele aanspoeling van de zeebodem wordt opgemeten.

Bij sommige proeven is de ontgroning gefotografeerd (fig. 4, 5 en 6), waarbij gebruik wordt gemaakt van witte draden, om de lijnen van gelijke hoogte aan te geven.

Deze draden worden op de volgende wijze op hun juiste plaats gelegd. Het water wordt na een proef zoover afgelaten, dat het precies zoo hoog staat als de bovenkant van het stortebed (510 cm — N.A.P.). Nu wordt een draad voorzichtig neergelegd langs de rand, waar het wateroppervlak door de drooggevallen bodem wordt begrensd. Deze rand vormt de eerste hoogtelijn van 510 cm — N.A.P. Daarna wordt het water een centimeter afgelaten en komt op dezelfde wijze de hoogtelijn van 560 cm — N.A.P. tot stand. De werkwijze wordt voortgezet totdat de diepste kuil bereikt is.

Nadat alle draden aldus op hun plaats zijn gebracht, en met de noodige cijfers de diepten zijn aangeduid, wordt de foto genomen met verticale optische as.

5. Eerste proefnemingen. Overeenkomst met de werkelijkheid.

Allereerst moest worden getracht in het model aan te toonen, op welke wijze de ontgroning was ontstaan.

Het bleek, dat onder andere gespuid was met de middenopeningen van de

sluis, terwijl de zijschuiven gesloten waren. De waterstand in het Balgzandkanaal voor de sluis was omstreeks 30 cm — N.A.P., terwijl het laagwater buiten tot 70 à 75 cm — N.A.P. was afgelopen. Deze omstandigheden werden in het model weergegeven. Het kanaalpeil werd op 30 cm — N.A.P. gehouden, het buitenwater op 70 cm — N.A.P. Dit laatste is de gemiddelde stand, die gedurende eenige tijd bij het spuien zal zijn voorgekomen.

De in het model optredende verdieping werd vastgelegd. Fig. 4 geeft het resultaat, dat werd verkregen na 10 minuten stroomen in het model, dus ruim 70 minuten in de werkelijkheid. Er is reeds een kuil gevormd, waarvan het diepste punt op 7,80 m — N.A.P. ligt, dus 2,70 m onder de rand van het stortebed. Tegen het stortebed aan is plaatselijk een diepte van bijna 7,10 m — N.A.P. aanwezig, een verdieping van twee m, voldoende om de perkoenen van de afsluiting van het stortebed los te maken. Deze diepe plek ligt juist op de grens tusschen de stroom en de neer, die deze stroom aan de rechterzijde begrenst. In het gebied van deze neer is een rug van bodemmateriaal opgeworpen, die tot 4,20 m — N.A.P. reikt.

De proef is verscheidene malen herhaald, het resultaat is telkens vrijwel hetzelfde. Steeds begint de kolkvorming asymmetrisch, meestal zooals in fig. 4 is te zien, doch nu en dan ook volgens het spiegelbeeld.

Duurt het stroomen langer dan 10 minuten, dan begint de aantasting ook aan de andere zijde op te treden en gaandeweg neemt de kuil een symmetrische vorm aan, waarbij tegen het stortebed op twee plaatsen verdieping optreedt. Tusschen deze plaatsen is geen gevaar voor ontgronding aanwezig.

Na ruim een half uur stroomen (in werkelijkheid ongeveer 4 uur) is de grootste diepte niet meer toegenomen, evenmin als de diepte tegen het stortebed. De verdieping heeft zich alleen uitgebreid, ook in de breedte (fig. 5).

De in werkelijkheid gepeilde verdieping vertoont eenzelfde beeld (fig. 6). De grootste ontgronding tegen het stortebed valt volkomen op dezelfde plaats als in het model en heeft ook vrijwel dezelfde diepte (6,90 m — N.A.P.). De grootste diepte, 7,90 m — N.A.P., komt uitstekend met die in het model overeen, maar ligt iets verder van de sluis verwijderd. De geheele kuil is trouwens in de stroomrichting wat verder uitgebreid, dan in het model, maar verder is de overeenstemming veel beter, dan mocht worden verwacht. Zelfs de helling van het steile beloop, ongeveer 1 op 2 aan de rechterzijde, is in het model en in de werkelijkheid dezelfde. Ook is de rug aan de rechterzijde aanwezig, de hoogte is vrijwel gelijk aan die in het model (hoogste punt 4,10 m — N.A.P.).

De verdieping van de werkelijkheid is al verder ontwikkeld, dan die van

fig. 4 (70 minuten spuien), maar nog niet zoover als die van fig. 5 (vier uur stroomen), waar ook aan de andere zijde van de stroom de groote diepte tegen het stortebed is ontstaan. Dit geschiedt in het model telkens na 20 tot 30 minuten stroomen ($2\frac{1}{2}$ tot $3\frac{1}{2}$ uur in werkelijkheid).

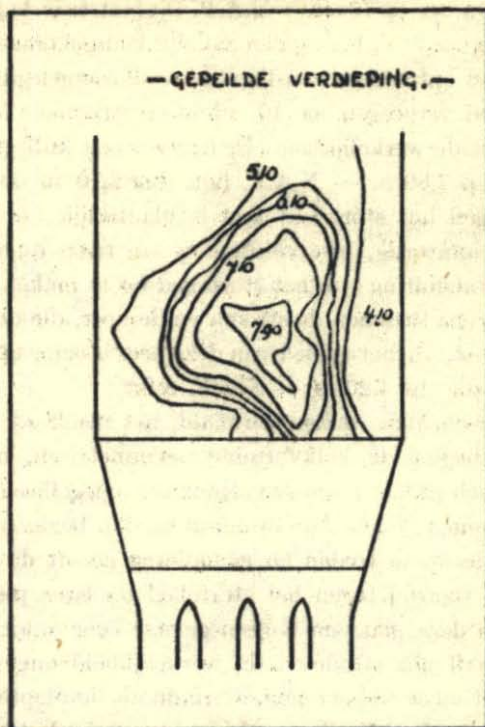


Fig. 6.

Uit een en ander valt te besluiten, dat het stroomen met slechts een gedeelte van de openingen de schuld is van de opgetreden ontgronding. Voorts blijkt, dat het in het model gebruikte bodemmateriaal zich bijna volkomen gedraagt als het zand in de werkelijkheid. Uit het feit, dat die werkelijkheid de kuil zich wat verder uitstrekt, mag de conclusie worden getrokken, dat de relatieve beweeglijkheid van de puimsteenkorrels nog wat te klein is, zoodat ze nog zullen blijven liggen op de plaatsen, waar het zand in de werkelijkheid juist wordt meegevoerd. Dit wordt bevestigd, door de waarneming, dat de modelkorrels zich beginnen te bewegen bij een stroomsnelheid van ongeveer 10 cm per seconde, dus 70 cm per seconde in werkelijkheid, terwijl het zeezand meestal reeds bij snelheden van 40 à 50 cm per seconde in beweging geraakt.

Zoals in par. 7 van het verslag over modelproef 17 in dit rapport is opgemerkt, wordt de ontgroning in eerste instantie bepaald door het stroombeeld, terwijl betrekkelijk kleine verschillen in het bodemmateriaal, zooals hier aanwezig zijn, slechts een ondergeschikte rol spelen. Met vertrouwen mag daarom worden verwacht, dat ook bij andere toestanden, waarin geen metingen uit de werkelijkheid beschikbaar zijn om het model te controleeren, dit betrouwbare aanwijzingen geeft voor de bij de sluis optredende verdiepingen.

De eerste van die andere toestanden is het stroomen met alle vier de openingen tegelijk bij dezelfde waterstanden: binnen 30 en buiten 70 cm onder N.A.P. Het resultaat daarvan is in fig. 7 te zien. Hoewel de doorstroomende hoeveelheid vrijwel tweemaal zoo groot is, als eerst (immers de afvoer per opening verandert niet), is de ontgroning minder geworden. Het middelste deel van het stortebed is veilig, alleen aan de zijkanten, naast de hoofdstroom, is een belangrijke verdieping aanwezig, die echter niet zoo diep zijn, als eerst.

De conclusie voor de uitwateringssluizen in de afsluitdijk (modelproef n°. 17): er moet steeds gespuid worden met alle openingen; de meest aangevallen plaatsen bevinden zich aan de zijkanten, geldt ook hier.

Zelfs bij het betrekkelijk kleine verval van 40 cm zijn de verdiepingen tegen het stortebed reeds zoo groot (rond een m), dat gevaar voor beschadiging niet uitgesloten is. Het stortebed zonder drempel is dus onvoldoende, en er zal naar andere middelen moeten worden omgezien om het mogelijk te maken met de sluis te blijven stroomen.

6. *Wijzigen van de spuistroom met schotbalken.*

Doordat de schuiven voorloopig niet konden worden gebruikt hebben deze middelen allereerst bestaan in het beperken en leiden van de spuistroom door het aanbrengen van schotbalken.

Deze proeven hiervoor zijn genomen in de tijd van 11 tot en met 16 October, waarna de resultaten onmiddellijk aan de opdrachtgeefster zijn verstrekt, om voorloopig als gebruiksaanwijzing bij de werkelijke sluisen te dienen.

Gewerkt is hier steeds met de waterstanden:

Balgzandkanaal	0,40 cm — N.A.P. en
Waddenzee	1,40 cm — N.A.P.,

een combinatie, die kan worden beschouwd als de ongunstigste, die in het na-jaar kan voorkomen.

Bij elke proef is gedurende $\frac{1}{2}$ uur (werkelijkheid ruim $3\frac{1}{2}$ uur) bij deze standen gespuid, om sterk sprekende uitkolkingen te verkrijgen.

Als maatgevend is beschouwd de maximum-ontgroning, die optreedt vlak tegen het stortebed.

Eerst is gemeten de ontgroning, die ontstaat, wanneer de sluisopeningen geheel vrij zijn; daarna zijn proeven genomen, waarbij het doorstrotingsprofiel was beperkt door het inzetten van schotbalken.

De plaatsing van deze schotbalken was bij elke proef in alle vier de openingen gelijk.

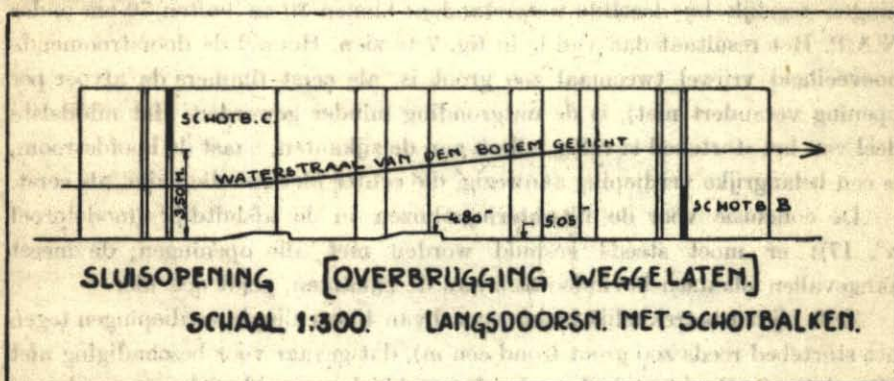


Fig. 8a.

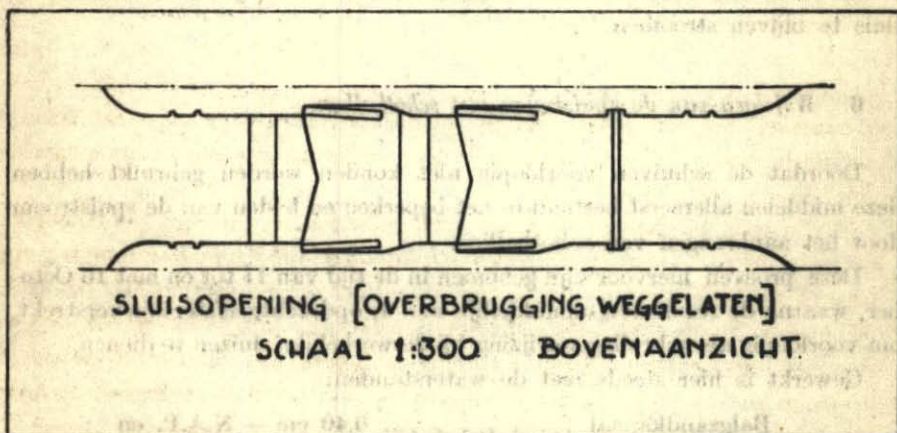


Fig. 8b.

Het resultaat van de metingen (fig. 9) is, zoals kon worden verwacht, dat de verdieping tegen het gezette stortebed het grootst is, wanneer geen

schotbalken aanwezig zijn (geval a). Bij de ingestelde waterstanden stroomt dan 313 m^3 water per seconde door de sluis, doch de ontgroning is $5,5 \text{ m}$ diep. Een bewijs, dat het gemaakte stortebed geheel onvoldoende was.

Bij deze waterstanden moest de sluisgang dus worden geknepen en daar dit tijdelijk niet met de schuiven kon geschieden, moest dit plaats hebben door het vernauwen van het profiel door ingezette schotbalken. Het dicht houden van één of meer van de openingen zou de zaak immers nog erger maken (par. 5).

Voor het plaatsen van schotbalken zijn, behalve de schuifspinningen, nog vier stel spinningen beschikbaar (fig. 8). Er moest nu naar worden gestreefd de schotbalken zoodanig te verdeelen, dat, bij een zoo groot mogelijke afvoer, de verdieping tegen het stortebed geen ontoelaatbare afmetingen verkrijgt.

Als grens van het toelaatbare kan worden beschouwd 80 cm , dat is de helft van de lengte der perkoenen, die het stortebed begrenzen.

Nadat een aantal combinaties van schotbalken waren geprobeerd, bleek, dat het doel het best kon worden bereikt door het opstapelen van een drempel in de spinning, die het meest aan de zeezijde is gelegen (fig. 8, schotbalken b). Door deze drempel wordt de straal van de bodem afgelicht, zoodat de aanval op het stortebed en op de aangrenzende zeebodem vermindert.

De gunstige werking wordt sterker, naarmate de drempel hooger is: bij een stapeling van 100 cm is de verdieping nog 85 cm , bij een hoogte van 105 cm zou de toe te laten toestand worden verkregen. Ten koste van de afvoer, die teruggaat tot 222 m^3 per seconde.

Het opdichten van de straal kan nog worden geprononceerd, door het water kort na het binnentreden in de sluis, onder een scherm door te laten duiken: de opwaartsche component van de snelheid wordt dan grooter. Dit scherm kan het best worden geplaatst in de tweede spinning, gerekend van de kanaalzijde (fig. 8, schotbalken c).

Nu worden verdieping en afvoer beide weer kleiner: bij een „poorthoogte” bij c van 350 cm en een drempelhoogte bij b van 100 cm is de uitkolking nog maar 20 cm diep, bij een afvoer van 208 m^3 per seconde (fig. 9). Het mooie is, dat nu, door het geleidelijk verlagen van de drempel bij b de afvoer zooveel toeneemt, dat, wanneer de grens van de verdieping weer is bereikt, de afvoer grooter is, dan de 222 m^3 van het vorige geval. Dit heeft plaats bij een drempel van 80 cm bij b (fig. 9), de afvoer is dan 227 m^3 per seconde.

Een betere toestand dan deze kon niet worden gevonden, zoodat als tijdelijke voorziening werd aanbevolen: het vormen van een drempel van schotbalken, hoog 80 cm aan de zeezijde en van een poort, hoog 350 cm aan de kanaal-

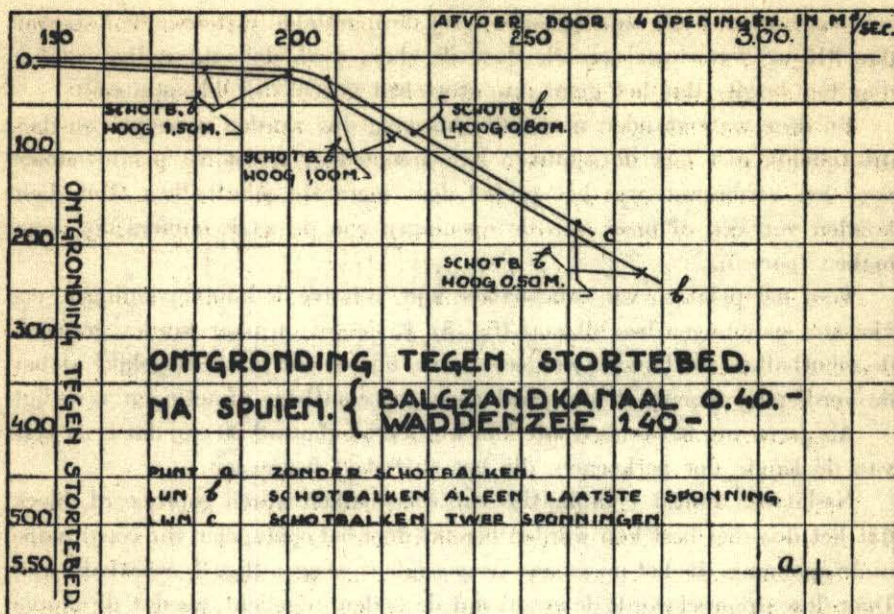


Fig. 9.

zijde. Er kan dan vrij worden gestroomd; zelfs bij de ongunstigste combinatie van waterstanden, die redelijkerwijze kan worden verwacht, treedt geen gevaarlijke verdieping tegen het stortebed op.

7. Definitieve voorziening.

Terwijl de sluis met de tijdelijke voorziening in bedrijf was, is de uitgeschuurde kuil weer volgestort tot ongeveer 6 m — N.A.P. en daarover een zinkstuk aangebracht.

Dit zinkstuk, dat aansluit tegen het gezette stortebed, beslaat de geheele breedte van de bodem van de buitengeul tusschen de leidammen (40 m) en is, in stroomrichting gemeten, 15 m lang (fig. 10). Het oppervlak ligt gemiddeld op 530 cm — N.A.P.

De vraag is nu, of bij het spuien met de volle schuifopeningen, dus na het weder aanbrengen van de schuiven en het verwijderen van de schotbalken, de zeebodem voorbij het zinkstuk niet te sterk wordt aangevallen.

Het zinkstuk met bestorting is zelf bestand tegen de uit de sluis komende stroom, daarom kon het in het model worden voorgesteld door een vast materiaal (houten plankje).

Om het verkrijgen van resultaten te bespoedigen, zonder dat de nauwkeurigheid er onder lijdt, is de volgende weg ingeslagen.

Er wordt in het model een bepaald waterverzet per seconde ingesteld. De uitlaatklep staat op een zekere hoogte, zoodat na betrekkelijk korte tijd een permanente strooming ontstaat, die 8 à 10 minuten (in werkelijkheid omstreeks

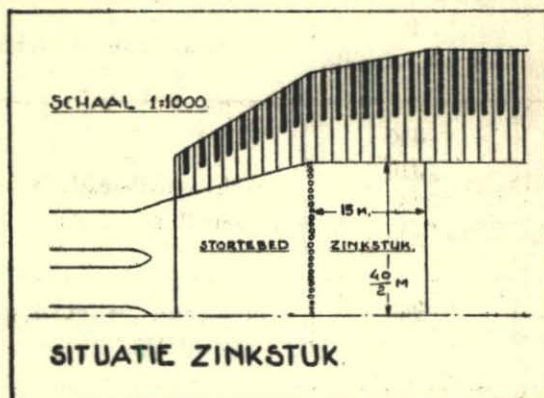


Fig. 10.

1 uur) wordt onderhouden. De waterstanden worden afgelezen en de ontgroning tegen het zinkstuk opgenomen, zonder de watertoevoer te stoppen. Vervolgens wordt de benedenwaterstand zeer geleidelijk iets verlaagd; er wordt weer gewacht tot de strooming permanent is en de toestand weer gedurende dezelfde tijd gecontinueerd, waarna peilen en ontgroning ook hier worden afgelezen. Zoo wordt voortgegaan en er ontstaat, wanneer de waterstanden in een grafiek worden uitgezet, een reeks punten, die alle betrekking hebben op dezelfde afvoer per seconde. Langs de „werklijn”, die deze punten verbindt, worden de afgelezen ontgroningen aangeteekend. Elke werklijn vertoont aldus een reeks getallen, die grooter worden, naarmate de waterstanden lager zijn, en die voor elk gemeten punt (d.i. voor elke boven- en benedenwaterstand, die een uur lang zijn voorgekomen) aangeven, hoe groot de maximum ontgroning tegen het zinkstuk is.

De waterstanden worden aangegeven in centimeters werkelijkheid + of — N.A.P.; de diepte door ontgroning in cm onder de bovenkant van het zinkstuk, dus onder 530 cm — N.A.P.; de afvoer in m³ per seconde door de 4 sluisopeningen tezamen.

Op deze wijze zijn doorgemeten elf werklijnen, ieder omvattende 5 tot 10, soms 12, achtereenvolgende permanente stroomingstoestanden.

De stand der schuiven is gedurende een geheele werklijn dezelfde in alle 4 sluisopeningen. De schuifdrempel ligt enkele cm (in het model nog geen mm) hooger dan de sluisbodem, die op 505 cm — N.A.P. gelegen is.

De volgende gevallen zijn onderzocht:

Werklijn n ^o .	Q m ³ per seconde.	Stand van de schuiven.
1	355	volledig geheven geval I.
2	310	
3	265	
4	220	
5	265	onderkant 300 cm boven de drempel geval II.
6	265	onderkant 250 cm boven de drempel geval III.
7	247	
8	230	
9	211	onderkant 200 cm boven de drempel geval IV.
10	195	
11	177	

Ook de resultaten van deze proefnemingen zijn in grafiekvorm zoo spoedig mogelijk aan de opdrachtgeefster verstrekt.

De vier werklijnen, die bij volledig geheven schuiven werden doorgemeten, zijn in fig. 11 door getrokken lijnen voorgesteld. Bij elk kruisje is een meting verricht; de gemeten verdiepingen tegen het zinkstuk zijn in de figuur niet bijgeschreven. Daarentegen zijn wel aangegeven de uit de metingen afgeleide lijnen van gelijke verdieping (bloklijnen).

Ten opzichte van de vroegere toestand zonder zinkstuk is een belangrijke verbetering opgetreden. Zooals in fig. 5 is te zien, was bij een kanaalpeil van 30 cm — N.A.P. en een zeestand van 70 cm — N.A.P. de grootste verdieping tegen het stortebed ruim 100 cm; thans komt bij dezelfde standen een ontgraving van slechts 30 cm voor.

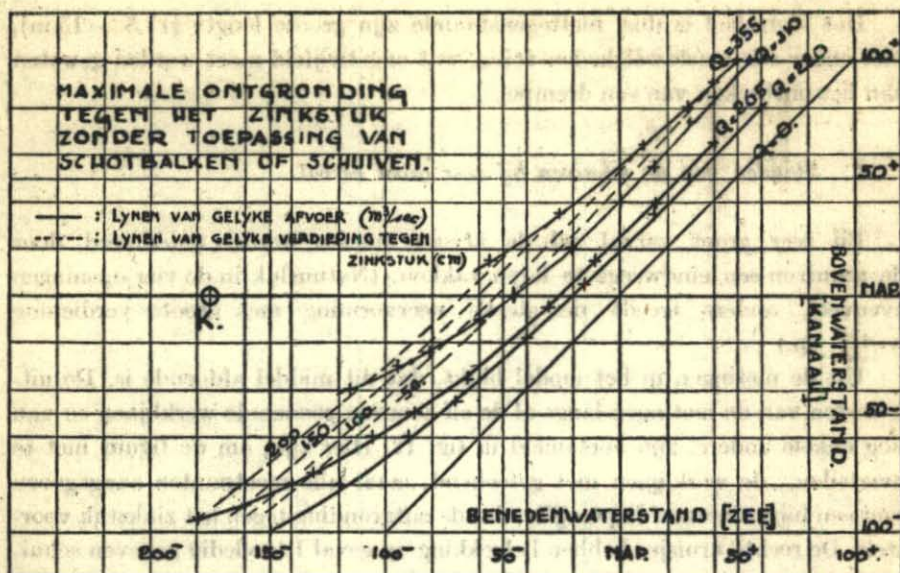


Fig. 11.

De ontgronding treedt steeds in de bodem van de buitengeul op; aantasting van de wederzijdsche belooopen is slechts geconstateerd bij één meting met een verval, grooter dan het grootst mogelijke (het in fig 11 met K aangeduide punt).

Nu moet worden nagegaan of de verdieping langs het zinkstuk niet te groot wordt. Tegen dit beweegbare constructiedeel zal iets meer diepte kunnen worden toegelaten dan langs de perkoenzij, die het gezette stortebed afsluit. Een grens van 100 cm schijnt voorloopig wel aannemelijk.

Bij de normale toestanden (Kanaalpeil Balgzandkanaal 50 cm — N.A.P., gemiddeld laagwater buiten de sluis ongeveer 80 cm — N.A.P.) wordt deze maat niet bereikt. In fig. 11 is te zien, dat dit eerst voorkomt bij een verval van meer dan 50 cm.

Toch is het mogelijk, dat bij zeer lage zeestanden (Oostenwind) waterstanden voorkomen, die een veel grootere verdieping veroorzaken. Een buitenstand van 175 cm — N.A.P., gecombineerd met een peil op het kanaal van 75 cm — N.A.P. bijvoorbeeld, is wel als een zeer groote uitzondering te beschouwen, maar toch volstrekt niet ondenkbaar. Werd bij deze standen met vol vermogen gespuid, dan zou een maatgevende verdieping van meer dan twee m ontstaan.

Het stortebed is dus, niettegenstaande zijn groote lengte (17,5 + 15 m), niet onder alle omstandigheden veilig, wat ongetwijfeld moet worden geweten aan het ontbreken van een drempel.

8. *Standen von de schuiven bij zeer groot verval.*

Bij zeer groot verval zal de afvoer moeten worden getemperd, door de schuiven een eindweegs te laten zakken. (Natuurlijk in de vier openingen evenveel, anders treedt de sterke neervorming met groote verdieping weder op.)

Uit de metingen in het model blijkt, dat dit middel afdoende is. De uitkomsten van de metingen langs al de elf zoeven genoemde werklijnen en van nog enkele andere, zijn verzameld in fig. 12. Hier zijn, om de figuur niet te overladen, de werklijnen niet geteekend, maar alle meetpunten aangegeven met een bijgeschreven diepte cijfer, dat de ontgroning tegen het zinkstuk voorstelt. De rechte kruisjes hebben betrekking op geval I (volledig geheven schuiven), de punten op geval II (schuifhoogte 300 cm), de liggende kruisjes op III (schuifhoogte 250 cm), terwijl eindelijk de omljnde stippen de metingen in geval IV, met slechts 200 cm geheven schuiven, voorstellen.

De bloklijnen zijn weer de lijnen van gelijke verdieping, namelijk van 100 cm, in de vier gevallen.

Zooals verwacht kon worden, is het noodig de schuiven verder te laten zakken, naarmate het verval grooter is. Als regel voor de practische bediening van de sluis zou kunnen gelden, dat de hoogste schuifstand, die mag worden toegelaten, bij normaal kanaalpeil op de volgende wijze van het verval afhangt:

- Verval tot 55 cm, schuiven geheel open;
- Verval tot 85 cm, schuifhoogte 300 cm;
- Verval tot 130 cm, schuifhoogte 250 cm;
- Verval grooter dan 130 cm, schuifhoogte 200 cm.

Bij andere kanaalstanden zouden de vervalgrenzen iets moeten worden gewijzigd, doch hiervan kan wel worden afgezien.

Wanneer de standen zeer laag zijn, wordt de invloed van de schuif kleiner om eindelijk nul te worden, wanneer de waterspiegel de onderkant van de schuif niet meer aanraakt.

9. Vermogen van de sluis.

Hoewel het bepalen van het vermogen van de sluis niet tot de opdracht behoort, zal hierover nog een enkel woord worden gezegd, daar zich in de metingen voldoende gegevens bevinden om een afvoercoëfficiënt te berekenen.

Deze afvoercoëfficiënt is de μ uit de formule

$$Q = \mu.B.h. \sqrt{2gz},$$

waarin voorstelt:

Q = de afvoer;

B = de gezamenlijke breedte van de vier sluisopeningen;

h = de hoogte van het benedenwater boven de sluisdrempel;

z = het verval.

Om z te bepalen, is de hoogte van het binnenwater vermeerderd met de snelheidshoogte

$$a \frac{v^2}{2g},$$

om de invloed van de toestroomsnelheid in rekening te brengen.

Een dergelijke verandering van de benedenstand is niet aangebracht, daar het niet bekend is, welk deel van de bij de benedenpeilschaal nog aanwezige levende kracht verderop in druk wordt omgezet.

Voor een vijftal in het model gemeten toestanden zijn de gegevens verzameld in de hierna volgende tabel (c. g. s. eenheden).

Bovenwater.	Snelheid kanaal.	Snelheids-hoogte.	Gecorr. bovenwater.	Beneden water.	Q	h	z	μ
+63	109	7	+70	+ 10	355×10^6	490	60	1,06
+15	122	8	+23	— 55	355×10^6	425	78	1,07
—35	104	6	—29	— 65	255×10^6	415	36	1,15
—39	119	8	—31	—110	310×10^6	370	79	1,06
—80	99	5	—75	—120	220×10^6	360	45	1,03

De sluis is bepaald gunstig: vooral bij kleine afvoer is μ groot. Daarbij komt nog, dat door het omzetten van een deel van de levende kracht in het buitenkanaal in druk, μ nog iets zal stijgen.

Door de aanwezigheid van zoutwater is de stand van het zoete water in het buitenkanaal eenige cm hooger dan de zeestand. Dit neemt niet weg, dat het vermogen van de sluis grooter is, dan dat, waarop was gerekend bij het ontwerp, dat van een afvoercoëfficiënt $\mu = 0,9$ uitging.

De luchtfoto, fig. 13, is genomen van het noorden. Op de voorgrond is dus de buitengeul; achter de sluis het Balgzandkanaal.

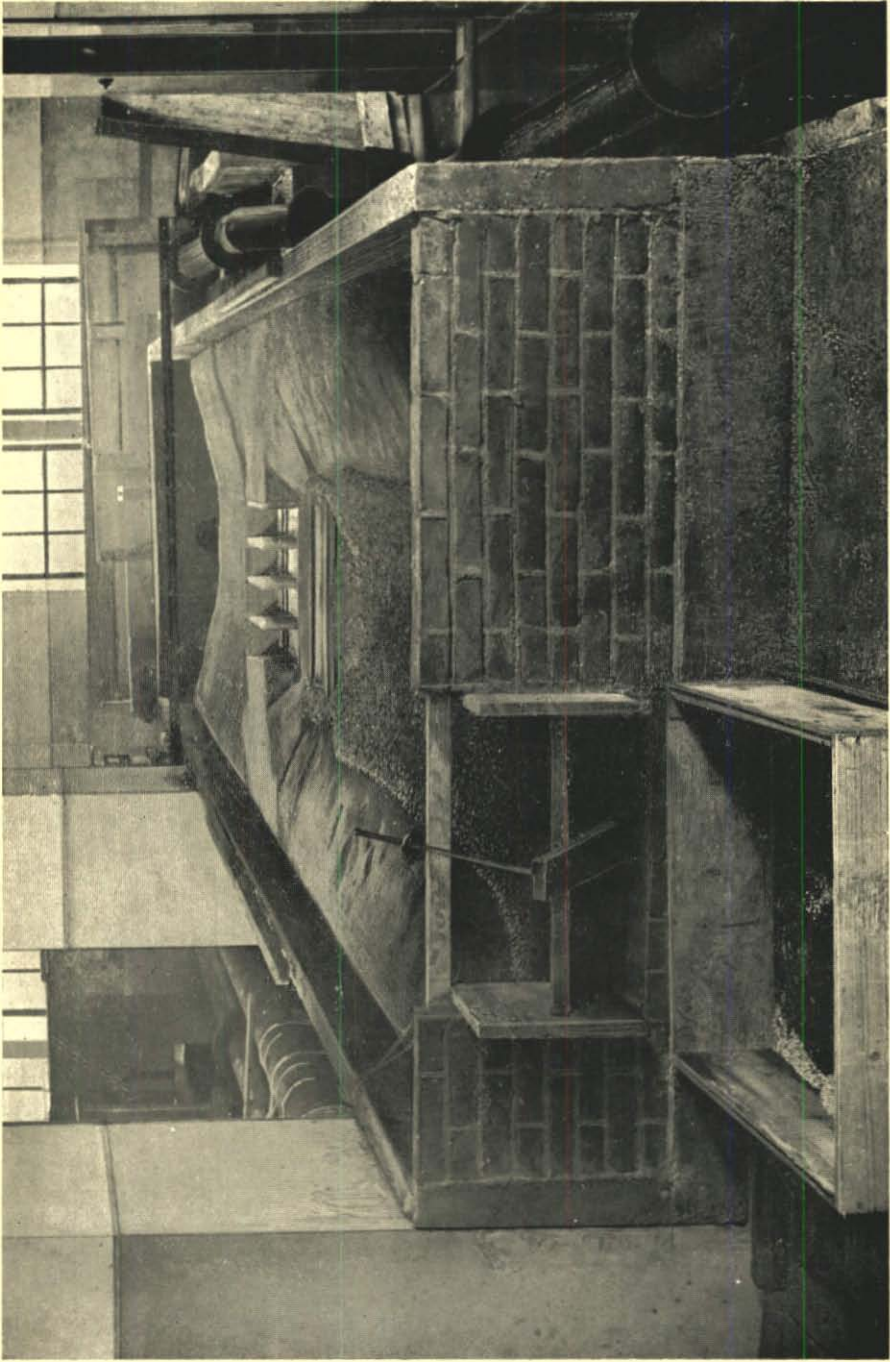


Fig. 2. Overzicht model.



Fig. 4. Ontgronding na 70 min. stroomen.

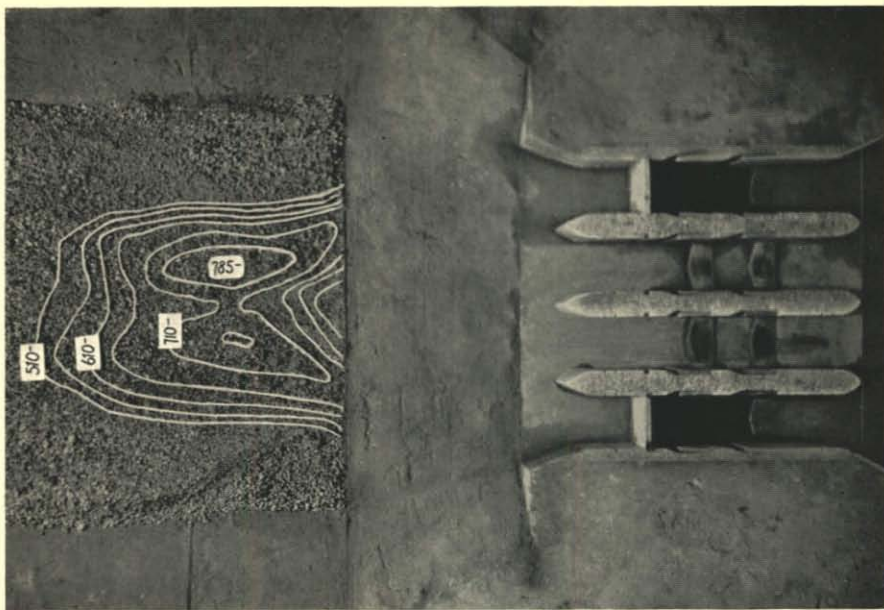


Fig. 5. Ontgronding na langdurig stroomen.

SCHUTKOLKVULLING VAN DE WIERINGER-
MEERSLUIS BEWESTEN MEDEMBLIK
(OVERLEKER SLUIS).

(MODELPROEF No. 4.)

INHOUD.

	bladz.
1. Opdracht	101
2. Antwoord op de gestelde vragen	101
3. Uitvoering	101
4. Inloopconstructie I	103
5. Vullingsstraal	103
6. Ligging vaartuig	104
7. Vullingstijd.	104
8. Maatgevende doorsnede	105
9. Opsporing maatgevende doorsnede	107
10. Onderwateropening A	108
11. Doorsneden B en C.	108
12. Doorstroomende waterhoeveelheid	109
13. Wijziging van de inloop	111
14. Inloopconstructie II	112
15. Model nieuwe inloop	112
16. Meetprogramma	114
17. De vullingstijd	115
18. a. De breedte van de valschacht.	116
19. b. De diepte van de valschacht	117
20. c. De afstand van voorzijde valschacht tot dag schutkolk	117
21. d. De hoogte van de onderwateropening	117
22. e. De breedte van het riool	120
23. f. De plaats van het talud van de groenteveiling	121
24. g. De bezetting van het krooshek	122
25. h. De afdekking van de valschacht	122
26. i. De heffing van de schuif	122
27. Aanbevolen constructie	124
28. De ligging van de schepen in de kolk	126
29. Gelijk gedrag bij verschillende modellen.	127
30. Beweging van niet-gemeerde schepen	127
31. Trossen	129

32. Troskrachten in het oorspronkelijke model	131
33. De krachten bij de gewijzigde constructie	132
34. Langzaam heffen van de schuif	134
35. Kleine schepen	134
36. Conclusies	134
37. Ledigen van de schutkolk	135
38. Metingen in de uitgevoerde sluis	136

101		2
102		3
103		4
104		5
105		6
106		7
107		8
108		9
109		10
110		11
111		12
112		13
113		14
114		15
115		16
116		17
117		18
118		19
119		20
120		21
121		22
122		23
123		24
124		25
125		26
126		27
127		28
128		29
129		30
130		31

FIGURENLIJST.

	bladz.
1. Opstelling van het model	foto
2. Overzicht van het model	foto
3. Oorspronkelijke inloopconstructie	102
4. Gedrag van de vullingsstraal in de kolk	103
4a. Strooming door de onderwateropeningen in de kolkwand	104
5. Horizontale circulatie in de kolk	105
6. Geschematiseerde inloopconstructie	106
7. Strooming door riolen en valschacht	108
8. Vulkrommen bij het oorspronkelijk project	110
9. Grondvorm van de valschacht met inbouw	113
10. Invloed van het peil van de groenteveiling op de vulkromme	116
11. Gezicht op de straalvorm	foto
12. Invloed van de plaats van de valschacht op de vulkromme	118
13. Invloed van de onderwateropening op de vulkromme	119
14. Invloed van rioolverbreeding op de vulkromme	121
15. Invloed van het afsluiten van de valschacht	123
16. Invloed van de heftijd van de schuif op de vulkromme	124
17. Aanbevolen inloopconstructie	125
18. Beweging van één niet-gemeerd schip	128
19. Beweging van twee niet-gemeerde schepen	128
20. Beweging van vier niet-gemeerde schepen	129
21. Gewenschte ligging van vier niet-gemeerde schepen	129
22. Beweging van een klein gemeerd schip	130
23. Gewenschte wijze van meren der schepen	131
24. Troskrachtendiagram volgens oorspronkelijk project	132
25. Troskrachten bij snel heffen van de schuif	133
26. Troskrachten bij langzaam heffen van de schuif	133
27. Troskrachtendiagram voor een klein schip	135
28. Luchtfoto van de uitgevoerde sluis	foto
29. Contrôlemetingen op 9 Juli 1931	137
30. Gedrag van de „Flevo” bij een kolkvulling	139

1. Opdracht.

De sluis, bestemd voor vaartuigen van hoogstens 300 ton, heeft de volgende afmetingen:

schutlengte 38,00 m,

breedte 7,20 m,

diepte van de benedenslagdorpel 8,50 m — N.A.P.

Hij vormt de verbinding tusschen het water van de Vier Noorder Koggen (Overleker kanaal) en de Westfriesche vaart, die het hoofdkanaal is in de tweede afdeeling van de Wieringermeerpolder (het Oude Land). Het voorloopig polderpeil in die afdeeling, 5,30 m — N.A.P., zal later zoo noodig worden verlaagd tot 6,00 m — N.A.P. Met dit laatste peil moest dus bij het ontwerp van de sluis rekening worden gehouden.

Langs de oostelijke schutkolkmuur ligt, gemeen met het bovenwater, waarvan het normale peil 2,08 m — N.A.P. is, een kleine binnenhaven, de „groenteveiling”. Er was op gerekend, dat de vulling van de schutkolk plaats heeft uit deze haven door een riool (inloopconstructie) in de schutkolkmuur.

Aan het laboratorium werden de volgende vragen gesteld:

- 1°. Of het ontworpen riool als voldoende is te beschouwen met het oog op de rustige ligging van in de kolk aanwezige vaartuigen en op de vullingstijd.
- 2°. Wanneer de eerste vraag ontkennend wordt beantwoord, een constructie aan te geven, die wèl voldoende is. Daarbij moet de plaats van het riool zoo min mogelijk worden gewijzigd.

2. Antwoord op de gestelde vragen.

Op deze vragen kan worden geantwoord:

- 1°. Het ontworpen riool is wel gunstig wat betreft de ligging van de geschutte schepen, maar veroorzaakt een zeer langzame kolkvulling.
- 2°. Door betrekkelijk kleine wijzigingen is een inloopconstructie aan te geven, die voor de vaartuigen evengoed is en waarbij de vultijd van de schutkolk tot de gewenschte tijd van omstreeks zes minuten wordt teruggebracht.

3. Uitvoering.

In het volgende zijn aangegeven de berekeningen, beschouwingen en metingen, die tot dit resultaat hebben geleid.

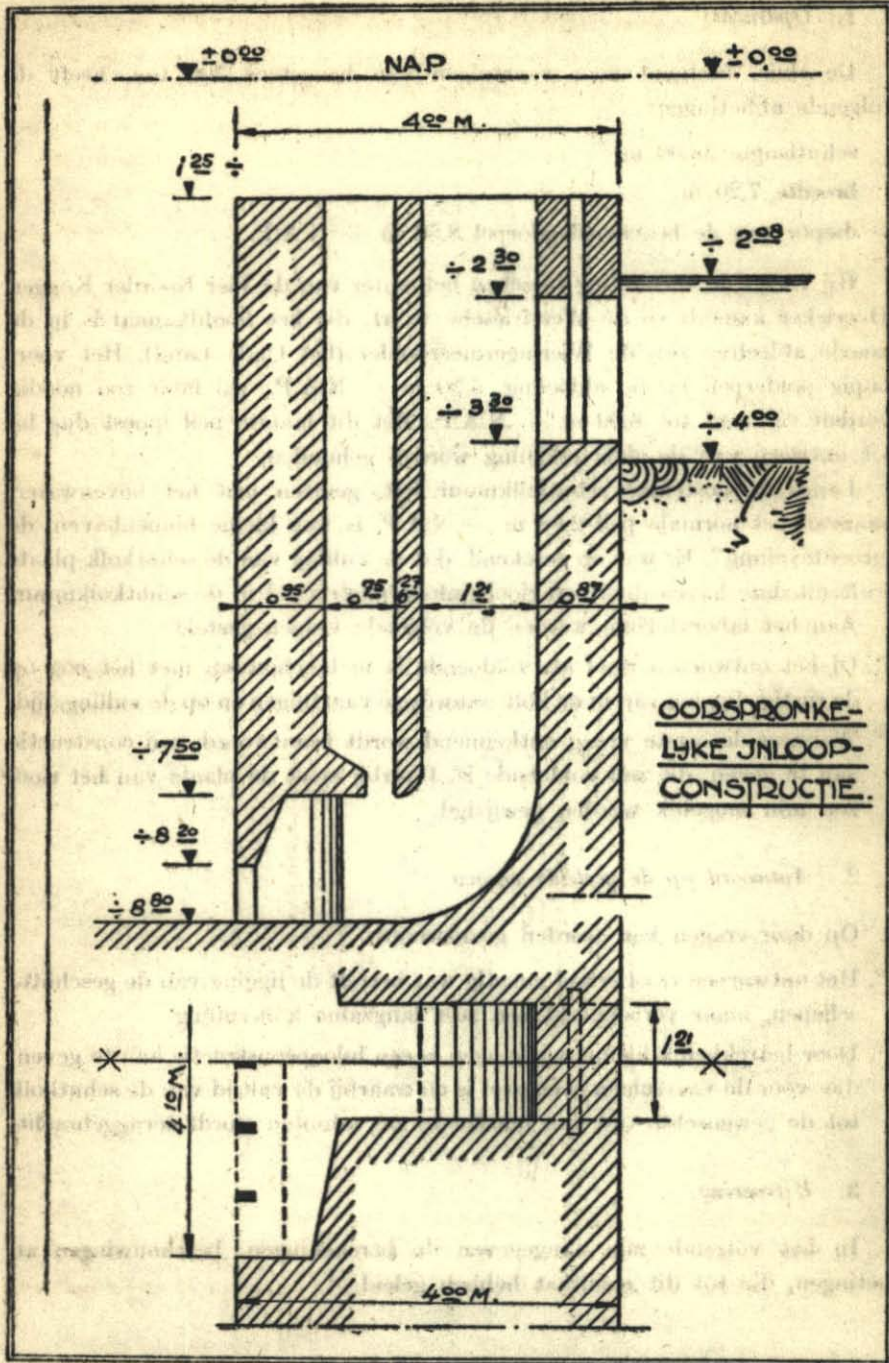


Fig. 3.

Het model is vervaardigd in de loop van September 1927, de metingen zijn verricht in October en in de eerste helft van November, alles onder leiding van den ingenieur bij het laboratorium A. J. VAN WALRAVEN.

De foto's, fig. 1 en 2, geven een indruk van de inrichting van het model, dat op een schaal van 1 : 18 grootendeels van hout werd vervaardigd.

Rechts bevindt zich het bassin (de „groenteveiling”), van waaruit de vulling van de schutkolk plaats vindt; in de kolk ligt het, nader te noemen, groote schip, vervaardigd uit paraffine, terwijl in fig. 2 op het plankje links van de kolk de brievenweger staat, die voor het aflezen van de troskrachten dient.

4. Inloopconstructie I.

Aan de hand van de verstrekte gegevens — afgebeeld in fig. 3 — werd een inloopconstructie in het model geplaatst. Reeds de eerste serie proefnemingen, op 8 October 1927 met dit model verricht, leverde in kwalitatief opzicht belangrijke resultaten op.

5. Vullingsstraal.

Zoo kon door directe waarneming het *gedrag van de vullingsstraal in de kolk* worden vastgesteld. Van de zes geprojecteerde onderwateropeningen

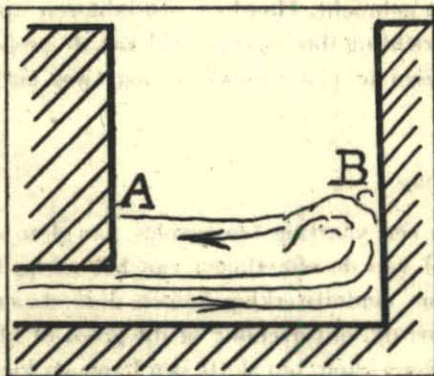


Fig. 4.

bleken alléén de twee middelste, gelegen in het verlengde van de as van de riool-valschacht-constructie sterk in positieve zin werkzaam te zijn. In de flankopeningen ontstond een van de kolk naar de valschacht toe gerichte strooming, terwijl de twee overblijvende openingen voor het grootste gedeelte

met dood water waren gevuld (fig. 4a). Op zijn weg dwars door de kolk ver-
toonde de straal nagenoeg geen divergentie, zoodat een geconcentreerde

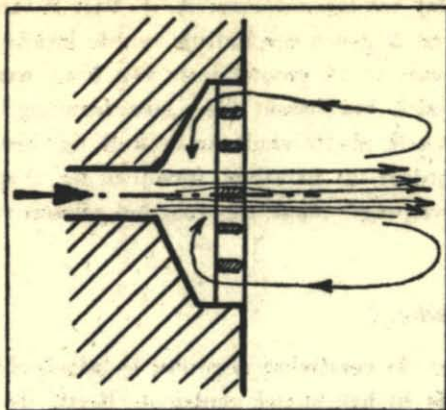


Fig. 4a.

vernietiging van kinetische energie plaats vond door botsing tegen de kolkmuur. Grootendeels wordt deze kinetische energie tijdens de botsing omgezet in warmte en voor de rest in potentieele energie. De waterspiegel in het model, juist boven de plaats, waar de onderwaterstraal de kolkmuur treft, verheft zich ongeveer 30 cm boven het algemeene peil, wanneer dit althans op 600 cm — N.A.P. is gebracht. Hierdoor ontstaat een oppervlactestrooming van B naar A — in richting dus tegengesteld aan de grondstroom (fig. 4) —, verder treden — gezien in plattegrond — nog twee circulatie-stroomingen op (fig. 5).

6. Ligging vaartuig.

De beweging van een vaartuig ten gevolge van deze stroomingen is verschillend en hangt af van de afmetingen van het schip; hierop wordt nader teruggekomen. In hun einduitwerking komen deze stroomingen in zooverre overeen, dat het vaartuig, onverschillig of dit groot of klein is, wanneer het aan zichzelf wordt overgelaten, ten slotte een ligplaats kiest tegen de wand A van de kolk. Eenmaal in deze positie gekomen, is de ligging zeer rustig.

7. Vullingstijd.

Door de metingen kwam aan het licht, dat de vullingstijd ruim tweemaal zoo groot was als door de opdrachtgever werd gewenscht. De vraag kan

worden gesteld om aan de hand van de verrichte waarnemingen en metingen het verschijnsel te verklaren, dat de vullingstijd zoozeer de verwachte over-

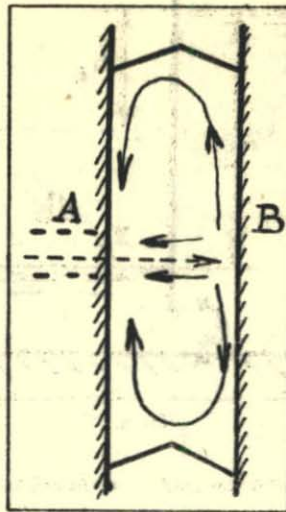


Fig. 5.

schrijdt, ondanks het feit, dat het meetkundig oppervlak van de verschillende dwarsdoorsneden, op zich zelf beschouwd, dit niet zouden doen vermoeden.

8. *Maatgevende doorsnede.*

Voor de opsporing van de maatgevende doorsnede werd uitgegaan van het in achterstaande schets aangegeven denkbeeldige geval. Feitelijk bestaat de geprojecteerde inloopconstructie uit een gecompliceerd stelsel van horizontale rioolgedeelten en een valschacht, maar ten slotte moet één doorsnede in dit geheel kunnen worden aangewezen, die van overwegende invloed is op het meer of minder snel verloop van de kolkvulling.

In de schets (fig. 6) is deze maatgevende doorsnede als opening gedacht in de scheidingswand tusschen buiten- en binnenwater.

Wanneer het tijdsinterval kort genoeg wordt genomen, treedt gedurende het tijdje dt in het geheele stelsel een permanente bewegingstoestand op, met dien verstande, dat per tijdseenheid door iedere doorsnede dezelfde afvoer plaats vindt.

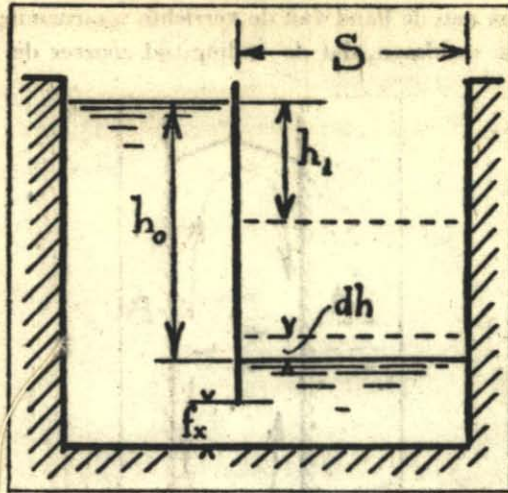


Fig. 6.

Voor een bepaalde doorsnede met een meetkundig doorstromingsprofiel ter grootte van f_x gelden de volgende vergelijkingen:

$$v_x = \varepsilon_x \sqrt{2gh_x},$$

$\Phi_x f_x$ = werkzame doorsnede,

$$Q = \Phi_x f_x \cdot v_x = \Phi_x \varepsilon_x \cdot f_x \sqrt{2gh_x} = m_x \cdot f_x \sqrt{2gh_x},$$

h_x = werkzaam verval,

ε_x = snelheidscoëfficiënt,

Φ_x = contractiecoëfficiënt,

$m_x = \Phi_x \varepsilon_x$ = afvoercóëfficiënt.

Wanneer gedurende een tijdje dt een hoeveelheid water ter grootte van $q \cdot dt$ de kolk binnenvloeit, rijst de spiegel over een hoogte dh :

$$q \cdot dt = m_x f_x \sqrt{2gh_x} \cdot dt = -s \cdot dh,$$

als s het oppervlak van de schutkolk voorstelt.

Door integratie kan hieruit de tijd worden bepaald, die moet verlopen om het water in de kolk van een niveau h_0 te brengen op een niveau h_1 :

$$t_{01} = \frac{2s}{m_x f_x \sqrt{2g}} (\sqrt{h_0} - \sqrt{h_1}).$$

In deze formule zijn t en h_1 de variabelen. Hiertusschen bestaat een parabolisch verband.

Uitgaande van deze betrekking kan de vullingskromme $h = f(t)$ in teekening worden gebracht, hetzij door berekening der punten, dan wel langs grafische weg.

Wanneer binnen- en buitenwater op gelijke hoogte zijn gekomen, wordt

$$h_1 = 0$$

en de vullingstijd

$$t = \frac{2s}{m_x f_x \sqrt{2g}} \sqrt{h_0}$$

Gesteld dat langs proefondervindelijke weg is uitgemaakt welke doorsnede als de maatgevende moet worden beschouwd, dan zijn in het rechterlid alle factoren op m_x na bekend. De vullingstijd t kan worden bepaald, zoodat ten slotte m_x door berekening kan worden gevonden.

Deze afvoercoëfficiënt m is een verhoudingsgetal, dat onafhankelijk is van de modelschaal en dus in het model en in het bouwwerk dezelfde grootte heeft.

Alleen wanneer de relatieve ruwheid in het model anders is dan in het bouwwerk zelf, wordt m door de veranderde wrijving eenigszins gewijzigd.

In dit geval behoeft daar geen vrees voor te bestaan: de ruwheid van de wanden zal vrijwel op dezelfde schaal zijn verkleind als de geheele sluis en, zelfs al zou dit niet het geval zijn, dan was de gemaakte fout nog van zeer geringe beteekenis, omdat de grootte van m in deze rioolconstructie slechts in zeer geringe mate afhankelijk is van de wrijving, maar bijna geheel wordt bepaald door versnellingen en richtingveranderingen van het water.

In het model bepaalde waarden van m gelden dus ook voor het bouwwerk en de vulkrommen, die in het model zijn gemeten, kunnen dientengevolge — met de bij de modelgrootte behorende verandering van hoogte- en tijdschalen — voor de werkelijke sluis worden gebruikt.

9. *Opsporing maatgevende doorsnede.*

De opsporing van de maatgevende doorsnede wordt vergemakkelijkt door het feit, dat uiteraard direct eenige profielen als „verdacht” kunnen worden aangewezen. Als zoodanig komen die doorsneden in aanmerking, waar de

mogelijkheid bestaat, dat de waterstraal loslaat van de wanden. Bij de geprojecteerde inloopconstructie zijn dit de profielen A, B en C (fig. 7).

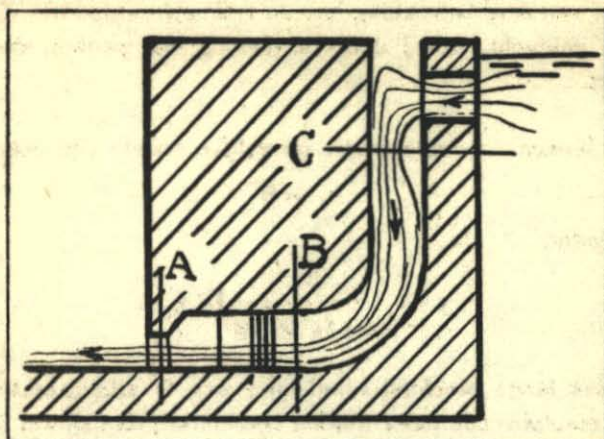


Fig. 7.

10. Onderwateropening A.

Bij de proeven op 12 en 14 October werd de onderwateropening door een afdichting van de twee flankopeningen in de breedterichting vernauwd. Op de vullingstijd had dit geen merkbare invloed. Blijkbaar was de intensiteit van de door deze openingen naar de valschacht toe gerichte stroom gering. Hierna werden de ingebrachte schotjes verwijderd en de onderwateropening door uitzagen zeer aanzienlijk over de volle breedte verhoogd. Hoewel nu in het model de hoogte van de onderwateropening van 3,33 cm tot 6,0 cm was vergroot, had ook deze omstandigheid geen invloed op het verloop van de vulling. Zoowel een vernauwing tot 66 % van het oorspronkelijk voor de doorstroming beschikbare profiel als een verwijding tot ongeveer 200 % hebben dus geen waarneembare invloed, waaruit volgt, dat de onderwateropening *niet* maatgevend is.

11. Doorsneden B en C.

Wanneer de twee doorsneden B en C met elkaar worden vergeleken, dan blijkt het meetkundig voor de doorstroming beschikbare profiel bij beide even groot te zijn. Ook verkeerden B en C beide in de omstandigheid, dat de bewegingsrichting van het water stroomopwaarts juist over een hoek van 90° is gedraaid.

In het laatste gedeelte van de vullingsperiode is de toestand in beide doorsneden nagenoeg gelijk, in het begin bestaat echter dit onderscheid, dat de drukhoogte, die de stroom veroorzaakt, in B grooter is dan in C. In het eerste profiel is deze hoogte steeds gelijk aan het verschil tusschen boven- en benedenwater, in het laatste is dit niet het geval, wanneer het benedenwater zich aanmerkelijk beneden het peil van C (omstreeks 450 cm — N.A.P.) bevindt. Dit is het geval bij het begin van het vullen; de drukhoogte is dan gelijk aan de hoogte van de bovenwaterspiegel boven C, dus ongeveer 240 cm.

C is dus de maatgevende doorsnede, al is de toestand er slechts weinig ongunstiger dan in B.

De vullingskromme kan nu worden geteekend voor het geval in C in het geheel geen contractie plaats had, en $m_c = 1$ (fig. 8). Het eerste deel van deze kromme is geen parabool, maar een raaklijn daaraan, overeenkomende met een watersnelheid in C van $\sqrt{2g \times 240}$ cm per seconde.

Deze afwijking van de paraboolvormige vullingskromme is ondertusschen van weinig belang: de vultijd is slechts vijf seconden langer dan bij de geheele parabool, die zou gelden wanneer de maatgevende doorsnede lager zou liggen dan de benedenwaterstand (bijv. bij B). Het verschil zal daarom in het vervolg worden verwaarloosd, al ziet men duidelijk, dat de gemeten vultijden de beschreven vorm hebben.

In fig. 8 zijn, behalve de „grenskromme” voor $m_c = 1$, ook geteekend de vereischte en de gemeten vullingslijnen. Door de krommen met elkander te vergelijken, kunnen de afvoercoëfficiënten m worden bepaald. Het blijkt, dat de gemeten kromme ongeveer overeenkomt met $m_c = 0,30$, waaruit volgt, dat verreweg het grootste deel van het riool niet voor de doorstroming wordt benut.

Dit wordt bevestigd door directe waarneming door een glazen wand bij B: de stroom concentreert zich daar geheel in het onderste deel van het riool, dat voor het overige met dood water en lucht is gevuld.

De vereischte vullingskromme zou worden gevolgd, wanneer de afvoercoëfficiënt m_c de waarde van 0,64 verkrijgt.

12. *Doorstromende waterhoeveelheid.*

Om een nadere indruk te verkrijgen hoe het met de vulling staat, kunnen de doorstromende waterhoeveelheden kort na het openen der schuif worden berekend.

In het model is

$$q = m_c f \sqrt{2g h_c}$$

en in de werkelijkheid

$$Q = m_c F \sqrt{2g H_c}$$

Voor $m_c = 1$ wordt dit bij $H_c = 240$ cm

$$Q_{m=1} = 10,1 \text{ m}^3 \text{ per seconde.}$$

De vereischte kromme geeft:

$$Q \text{ vereischt} = 0,64 \times 10,1 = 6,5 \text{ m}^3 \text{ per seconde.}$$

Uit de gemeten vultijden volgt, dat in het begin de capaciteit is

$$Q \text{ aanwezig} = 3,2 \text{ m}^3 \text{ per seconde.}$$

Voor de doorsnede B ligt de grenswaarde voor $m = 1$ hooger; daar is

$$Q_{m=1} = 12,9 \text{ m}^3/\text{s.}$$

13. Wijziging van de inloop.

Het is niet mogelijk de strooming zoo ingrijpend te veranderen, dat in C de vereischte afvoercoëfficiënt $m_c = 0,64$ wordt bereikt. Om de benodigde Q te verkrijgen moet dus F, het profiel van de valschacht, worden vergroot. Of deze verruiming in de diepte (loodrecht op de sluisas) of in de breedte (evenwijdig aan die as) moet worden gezocht, is een vraag, die kan worden beantwoord door de onderwateropening bij B te beschouwen.

Bij B wordt, zooals reeds is gezegd, een doodwatervorming aan de bovenzijde van het riool aangetroffen, waaruit volgt, dat, zonder aan de afvoer afbreuk te doen, daar de hoogte van het riool kan worden verminderd. De hoogte van de onderwaterstraal wordt — in de eerste plaats — bepaald door de valselheid, die het water aan het benedeneinde van de valschacht heeft verkregen, terwijl deze snelheid weer afhankelijk is van het niveauverschil tusschen het buiten- en binnenwater. De breedte van de straal komt practisch overeen met de breedte van de valschacht: de divergentie is gering.

Om de capaciteit van de inloopconstructie te vergrooten, moet bij een gegeven watersnelheid, dus bij een bepaald niveauverschil tusschen buiten- en binnenwater, de afmetingen van de straal worden vergroot. Op de hoogteafmeting kan niet veel invloed worden uitgeoefend, dus moet de breedte worden vergroot. Daar de breedte van de straal, binnen zekere grenzen, verband houdt met de breedte van de valschacht, moet worden overgegaan

tot een verbreding van de valschacht om de capaciteit van de inloopconstructie te vergrooten.

14. *Inloopconstructie II.*

Op grond van het voorgaande moet de nieuw te ontwerpen inloopconstructie aan de volgende voorwaarden voldoen:

1. Lage onderwateropeningen in de kolk. Dit is een vereischte met het oog op de rustige ligging van de vaartuigen.
2. Verspreiding van de onderwaterstraal over een groote breedte:
 - a. om de capaciteit van de inloopconstructie te vergrooten;
 - b. om de oplopende golf bij de tegenover de inloop staande kolkmuur af te vlakken.
3. Deze verspreiding van de straal kan blijkbaar niet tot stand worden gebracht in het onderwaterriool, daar door de groote stroomsnelheid de divergentieneiging van de straal gering is, maar moet door verbreding van de valschacht worden gevonden.
4. In overleg met de opdrachtgever werd de keuze tusschen één groot bovenwaterriool of meerdere kleinere beslist ten gunste van het groote riool.

In principe zijn hiermee de veranderingen in de vorm van elk van de constructie-elementen vastgelegd.

15. *Model nieuwe inloop.*

Bij de bouw van de nieuwe inloop voor het model werd van paraffine eerst een zgn. grondvorm vervaardigd (fig. 9). Om de lekverliezen zooveel mogelijk te beperken, werd deze grondvorm als gietstuk uitgevoerd, tevens kon — doordat de afmetingen van deze vaste mantel zeer ruim waren gekozen — hierin probeerenderwijze door de inbouw van losse onderdeelen van hout of paraffine een onderzoek worden ingesteld naar de wenschelijke vorm en afmetingen van de inloopconstructie.

Om de waterbeweging te kunnen volgen, werd de muur tusschen valschacht en schutkolk weergegeven door één of twee glazen platen. Deze platen waren in hoogterichting verstelbaar, waardoor het mogelijk was de hoogte van de onderwateropening te varieeren. Deze opening werd gevormd door houten tusschenstukjes, die tusschen de glazen platen en de schutkolkvloer werden

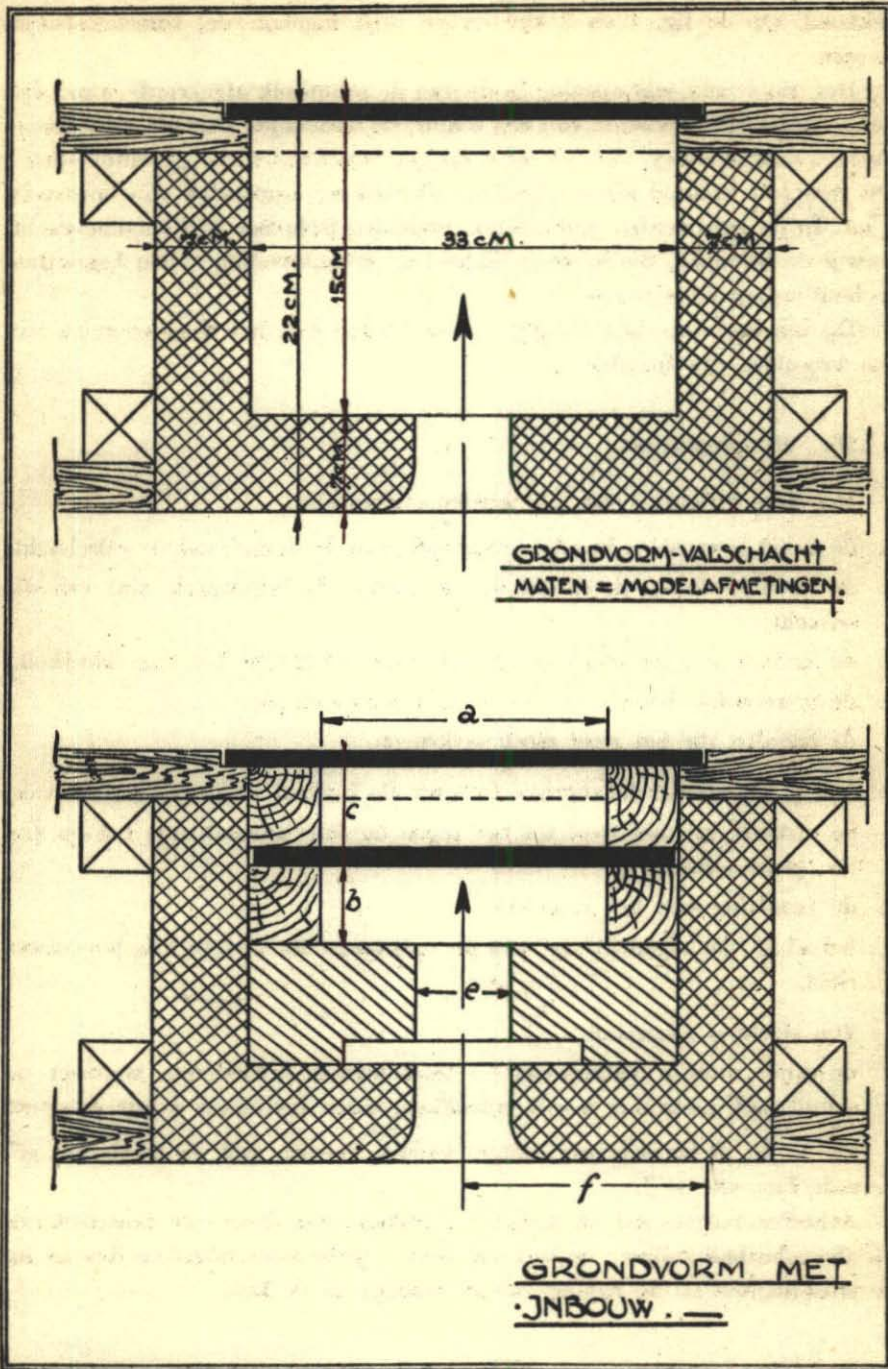


Fig. 9.

geklemd. Op de fig. 1 en 2 zijn eenige (niet ingebouwde) tusschenstukjes te zien.

Het riool was een opening in de van de schutkolk afgekeerde wand van de „grondvorm”, voorzien van een schuif; de onderzijde van het riool kwam overeen met de bodem van het reservoir van bovenwater, de „groenteveiling”. Dit reservoir bestond uit een houten bak met een oppervlak van omstreeks 2 m². In de bak werden golfstillende middelen (schotten e. d.) aangebracht, terwijl de belooopen, die in werkelijkheid de groenteveiling zullen begrenzen, in hout waren nagebootst.

Bij een deel van de metingen was de inloop van het riool voorzien van een krooshek van ijzerdraad.

16. *Meetprogramma.*

Met deze inrichting kon nu worden onderzocht:

- a. de meest gewenschte breedte (evenwijdig aan de sluisas) van de valschacht;
- b. de noodige diepte (loodrecht op de sluisas, in horizontale zin) van die schacht;
- c. de invloed van de afstand van voorzijde valschacht tot dag schutkolk;
- d. de gewenschte hoogte van de onderwateropeningen;
- e. de breedte, die het riool moet verkrijgen,

terwijl als minder belangrijke factoren de invloed werd vastgesteld van:

- f. de afstand van het riool tot het tegen de sluis aansluitende beloop van de „groenteveiling”;
- g. de bezetting van het krooshek;
- h. het al of niet afgedekt zijn van de valschacht ter hoogte van bovenkant riool.

Ten slotte is nagegaan:

- i. de wijze waarop vullingstijd en troskrachten veranderen, wanneer de schuif niet plotseling wordt getrokken, maar langzaam wordt geheven.

De in fig. 9 ingeschreven letters komen overeen met de hierboven genoemde factoren *a—f*.

Achtereenvolgens zal nu worden besproken de invloed van deze factoren op de schutkolkvulling, en wel ten eerste op de vullingstijd en daarna op de troskrachten en de ligging van de schepen in de kolk.

17. De vullingstijd.

Bij het meten van de vullingstijd doet zich de moeilijkheid voor, dat de vullingsparabool bij het eind van de vulling een horizontale raaklijn heeft. Het gevolg daarvan is, dat het niet mogelijk is het juiste oogenblik te bepalen waarop de kolk vol is, m. a. w. het water in de kolk gelijk staat met het bovenwater.

Om dit te ontgaan, is bij de metingen van de vultijd steeds gewerkt met een verhoogde bovenwaterstand. De verhooging bedroeg in het model 2 cm, in de werkelijkheid overeenkomende met 36 cm.

Ten gevolge van deze verhoogde stand geschiedt de vulling in een sneller tempo; ook de kromme, die de „vereischte” vulling aangeeft, moet worden gewijzigd.

Stelt men de verhooging van het bovenwater voor door Δ , dan wordt de vergelijking van de vulkromme:

$$T'_{01} = \frac{2s}{m_x F_x \sqrt{2g}} (\sqrt{H_0 + \Delta} - \sqrt{H_1 + \Delta}) \quad (\text{verg. blz. 6})$$

en de vullingstijd:

$$T' = \frac{2s}{m_x F_x \sqrt{2g}} (\sqrt{H_0 + \Delta} - \sqrt{\Delta})$$

Een inloop, die bij de verhoogde waterstand deze vultijd heeft, zal bij het juiste peil van het bovenwater de vultijd

$$T = \frac{2s}{m_x F_x \sqrt{2g}} \sqrt{H_0}$$

geven. De waarde van T' (of eigenlijk de in het model daarmee overeen-

komende tijd t') is nauwkeurig te meten, zoodat $T = T' \frac{\sqrt{H_0}}{\sqrt{H_0 + \Delta} - \sqrt{\Delta}}$ bekend is.

Fig. 10 geeft de beide vulkrommen, terwijl met het model van de aanbevolen inloopconstructie eenige vulkrommen zijn opgenomen, zoowel bij het verhoogde als bij het juiste peil van het bovenwater ¹⁾.

¹⁾ De beschreven kunstgreep om het oogenblik, waarop de sluis geheel vol is, te bepalen is verre van fraai en bij latere metingen aan schutsluismodellen niet meer toegepast. Het raakpunt kan met behulp van een zeer eenvoudige constructie als top van de vulparabool worden gevonden. Dit is reeds gedaan bij het, in deze bundel opgenomen, onderzoek van de sluizen bij de Haukes, enz. (Modelproef n°. 8, par. 5).

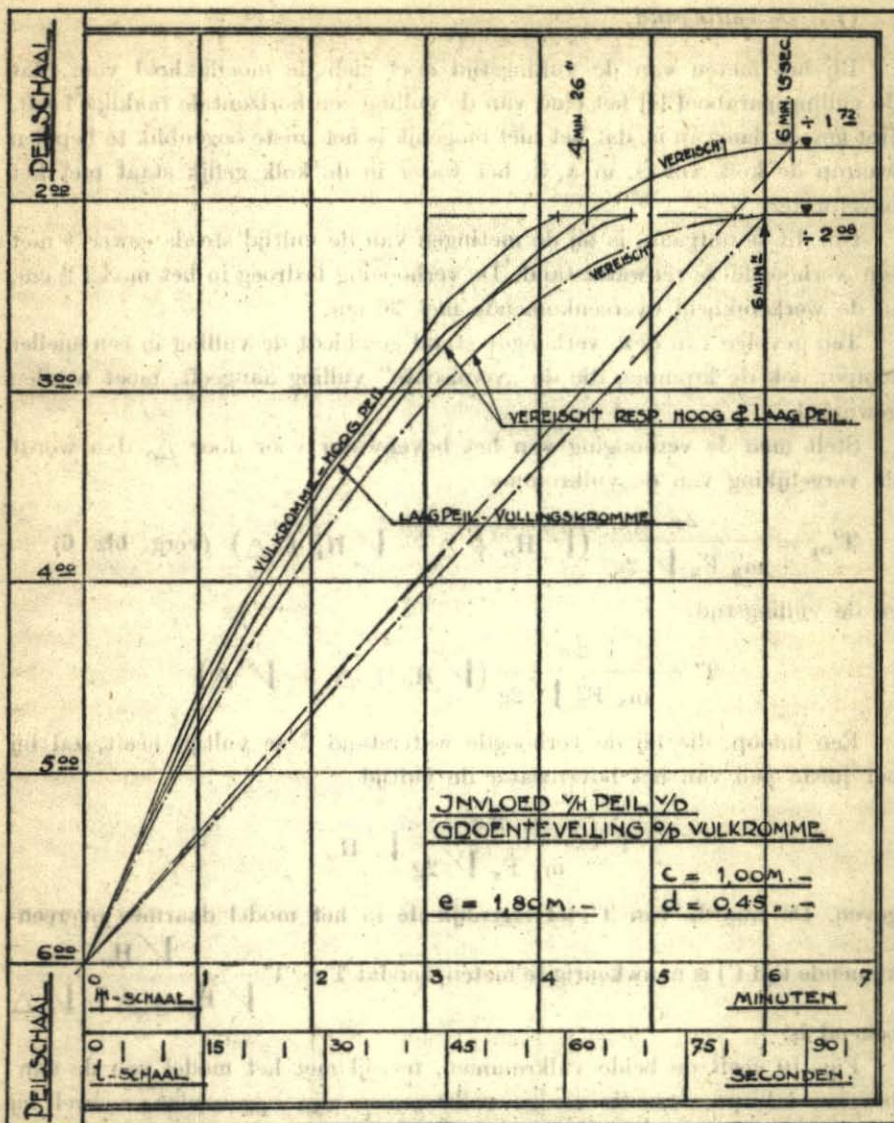


Fig. 10.

18. a. De breedte van de valschacht.

Deze maat is op het oog bepaald. De uit het riool komende waterstraal botst tegen de valschachtwand, die in het model door een glazen plaat is

voorgesteld, en breidt zich daarbij sterk in de breedterichting — in de richting van de sluisas — uit. Dit uitbreiden, dat noodzakelijk is om een voldoende waterhoeveelheid rustig in de sluis te doen treden, wordt hier dus verkregen door de levende kracht van het uit het riool stroomende water.

In de „grondvorm” van het model was de valschacht zóó breed, dat de straal de zijkanten niet raakte; door inbrengen van vulstukken werd de schacht zooveel vernauwd tot de zijwanden ongeveer met de zijdelingsche begrenzing van de straal overeenkwamen. Door de glazen platen kan men zien, dat deze toestand inderdaad is bereikt; op de foto (fig. 11) is de grens van de straal eenigszins te zien.

De op deze wijze verkregen valschachtbreedte van 4 m is de juiste: een grotere breedte wordt toch niet door het water benut, terwijl een smallere schacht een voldoende uitspreiding van de waterstraal zou verhinderen.

19. b. *De diepte van de valschacht.*

Bij de voorloopige metingen bleek, dat de maat b , in de grondvorm 9 cm, overeenkomende met 162 cm in werkelijkheid, veel te groot was. Zij kon tot bijna 4 cm (70 cm in het bouwwerk) worden verminderd zonder dat de vullingstijd op ongunstige wijze wordt beïnvloed. Een nog verder gaande verkleining, bijv. tot 3,5 cm ($B = 63$ cm), veroorzaakt echter langere vultijden: de schacht kan de $8,4 \text{ m}^3$ per seconde, die in het begin van de vulling moet passeeren, niet meer verwerken.

Er wordt daarom aanbevolen de schacht 70 cm diep (loodrecht op de sluisas gemeten) te maken.

20. c. *De afstand van voorzijde valschacht tot dag schutkolk.*

Door eenige metingen, waarbij de afmeting c werd gevarieerd en de overige maten constant waren, kon worden vastgesteld, dat een plaatsing van de valschacht zeer dicht bij de kolk (kleine c) ongunstig is voor de schutkolkvulling. Zoodra c zóó groot is geworden, dat een muur kan worden gebouwd (omstreeks 1 m), wordt de invloed van nog verdere vergrooting zóó gering, dat hij niet meer uit de verrichte modelmetingen is af te leiden (fig. 12).

De plaatsing van de valschacht is dus onverschillig, mits de muur tusschen schacht en kolk niet dunner is dan omstreeks 1 m.

21. d. *De hoogte van de onderwateropening.*

Er zijn metingen verricht met een vijftal houten profielen van de onderwateropeningen. De hoogte d van de opening, gemeten vanaf de sluisvloer,

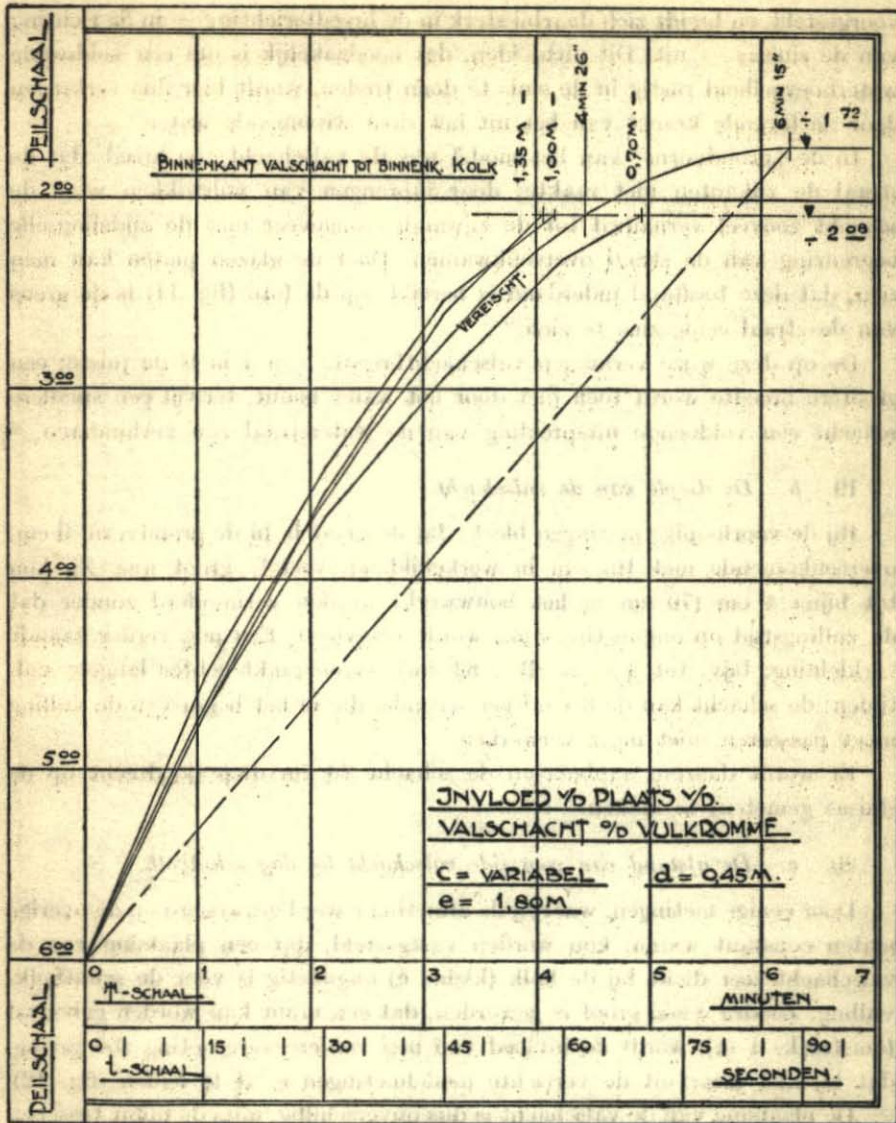


Fig. 12.

bedroeg daarbij 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 en 3,0 cm, overeenkomende met de maat D in het werkelijke bouwwerk van 18, 27, 36, 45 en 54 cm.

Voor elk van de vijf hoogten is een vulkromme van de schutkolk op-

genomen; de resultaten zijn verzameld op het diagram (fig. 13). Het blijkt, dat de hoogte van de openingen een zeer werkzame invloed op de vulling van de schutkolk heeft. De beide laagste openingen (18 en 27 cm) geven te lange vultijden, bij de andere wijkt de vullingskromme weinig van de vereischte af.

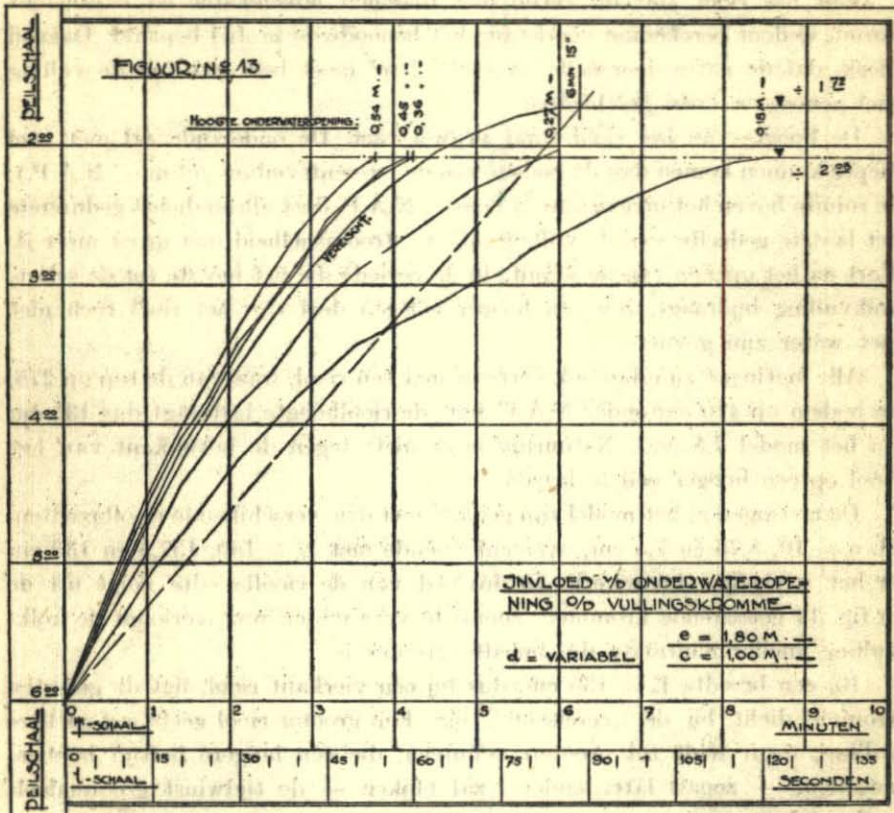


Fig. 13.

Duidelijk blijkt, dat de invloed van de grootte van de onderwateropening afneemt naarmate D groter wordt: een nog meer vergrooten van D dan 54 cm zou de vultijd nog maar weinig verbeteren. Een zoodanige vergrooting zou de mogelijkheid doen ontstaan, dat in de kolk aanwezige diepgaande schepen bij het begin van de vulling rechtstreeks door de instroomende waterstraal worden getroffen, wat tot ontoelaatbare troskrachten aanleiding zou geven.

Als meest gewenschte hoogte van de onderwateropeningen is dus te beschouwen $D = 50$ à 60 cm.

22. e. De breedte van het riool.

Van het riool, dat de verbinding tusschen bovenwater en valschacht vormt, is door berekening voorloopig het benodigde profiel bepaald. Daarbij bleek, dat de natte doorsnede ongeveer 2 m^3 moet bedragen om de vulling snel genoeg te doen geschieden.

De hoogte van het riool staat vrijwel vast. De onderzijde zal niet veel dieper kunnen komen dan de bodem van de „groenteveiling” ($4 \text{ m} - \text{N.A.P.}$); de ruimte boven het niveau van $275 \text{ cm} - \text{N.A.P.}$ doet alleen dienst gedurende het laatste gedeelte van de vulling, als de stroomsnelheid niet groot meer is. Kort na het openen van de schuif, in de periode die het meeste tot de schutkolkvulling bijdraagt, zou een hooger gelegen deel van het riool toch niet met water zijn gevuld.

Alle metingen zijn dan ook verricht met een riool, waarvan de top op 275 , de bodem op 410 cm onder N.A.P. ligt; de rioolhoogte bedraagt dus 135 cm (in het model $7,5 \text{ cm}$). Natuurlijk is er niets tegen de bovenkant van het riool op een hooger peil te leggen.

De metingen in het model zijn gedaan met drie verschillende rioolbreedten, nl. $e = 10, 8,75$ en $7,5 \text{ cm}$, overeenkomende met $E = 180, 157,5$ en 135 cm in het werkelijke bouwwerk. De invloed van de rioolbreedte volgt uit de in fig. 14 geteekende krommen; zooals te verwachten was, verloopt de kolkvulling sneller naarmate die breedte grooter is.

Bij een breedte $E = 135 \text{ cm}$, dus bij een vierkant riool, ligt de gemeten kromme dicht bij de „vereischte” lijn. Een grooter riool geeft wel snellere vulling, maar leidt tot grootere schuiven, die een langere heftijd hebben, waardoor — zooals later onder *i* zal blijken — de tijdwinst grootendeels weder teloor gaat.

Aanbevolen wordt een riool met vierkante doorsnede met een zijde van 135 cm .

Nadrukkelijk wordt er op gewezen, dat de bovenstroomsche zijde van het riool bij al deze metingen was afgerond (straal $R = 60 \text{ cm}$), waardoor geen noemenswaardige contractie plaats vindt. Wanneer deze afronding achterwege blijft en de instroomende straal dus sterk samentrekt, zal de snelheid van vulling belangrijk afnemen.

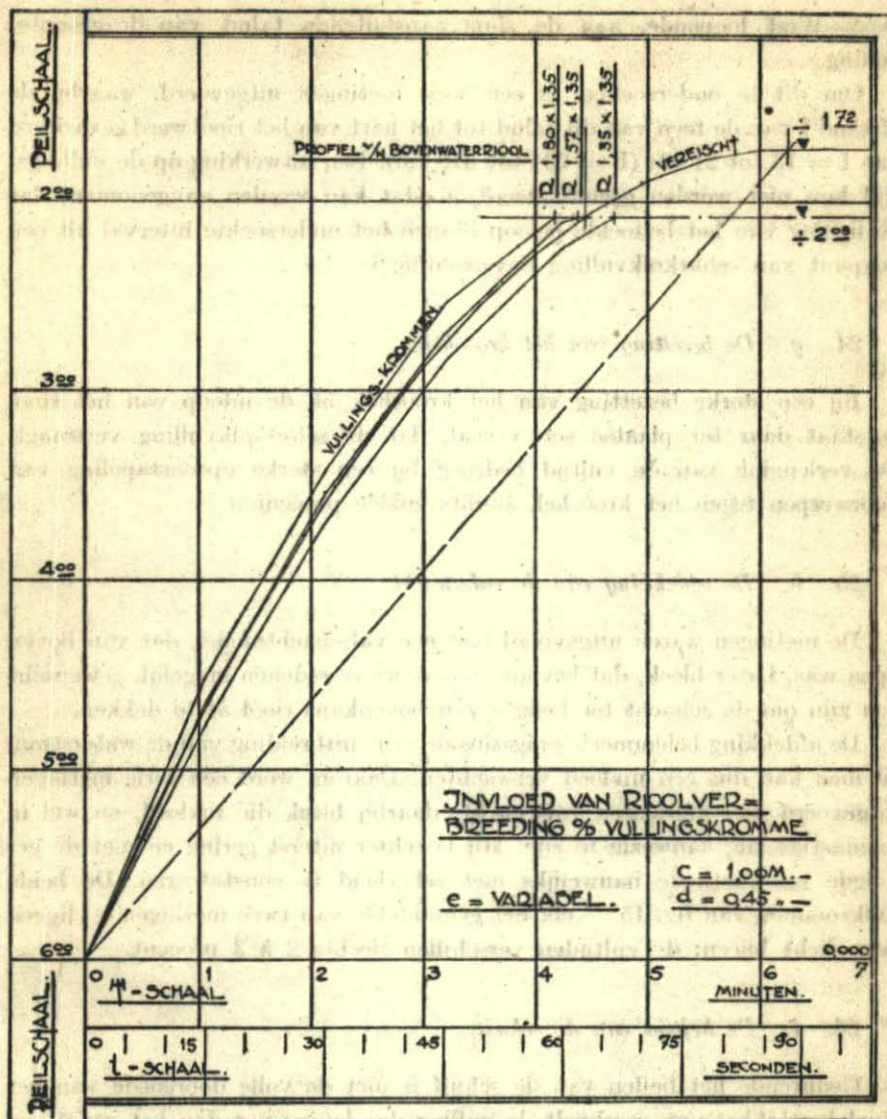


Fig. 14.

23. f. De plaats van het talud van de groenteveiling.

De mogelijkheid was voorzien, dat de instrooming van water in het riool eenigszins beïnvloed zou worden door de nabijheid van het, nagenoeg

Oost—West loopende, aan de sluis aansluitende talud van de groenteveiling.

Om dit te onderzoeken, is een serie metingen uitgevoerd, waarbij de afstand f van de teen van dit talud tot het hart van het riool werd gevarieerd van $f = 13$ tot 21 cm ($F = 234$ tot 378 cm). Een uitwerking op de vullings-tijd kon niet worden geconstateerd, zoodat kan worden aangenomen, dat de ligging van het bedoelde beloop binnen het onderzochte interval uit een oogpunt van schutkolkvulling onverschillig is.

24. g. *De bezetting van het krooshek.*

Bij een sterke bezetting van het krooshek bij de inloop van het riool ontstaat daar ter plaatse een verval, dat de schutkolkvulling vertraagt. De verlenging van de vultijd bedroeg bij een sterke opeenstapeling van voorwerpen tegen het krooshek slechts enkele procenten.

25. h. *De afdekking van de valschacht.*

De metingen waren uitgevoerd met een valschachtmodel, dat van boven open was. Later bleek, dat het uit constructieve redenen mogelijk gewenscht zou zijn om de schacht ter hoogte van bovenkant riool af te dekken.

De afdekking belemmert eenigszins de vrije uitbreiding van de waterstraal en men kan dus een invloed verwachten. Daarom werd een serie metingen uitgevoerd met afgesloten valschacht; daarbij bleek die invloed, en wel in ongunstige zin, aanwezig te zijn. Hij is echter uiterst gering en met de gevolgde meetmethode nauwelijks met zekerheid te constateeren. De beide vulkrommen van fig. 15 — elk het gemiddelde van twee metingen — liggen zeer dicht bijeen: de vultijden verschillen slechts 2 à 3 procent.

26. i. *De heftijd van de schuif.*

Gedurende het heffen van de schuif is niet de volle doorsnede van het riool beschikbaar en geschiedt de vulling dus langzamer dan het geval zou zijn, wanneer — zooals tot dusver bij de metingen is ondersteld — de schuif plotseling zou worden getrokken.

Na de hefperiode is de vulkromme geheel gelijk aan de vroeger gemetene, maar is in tijd een eindweegs verschoven. Deze vertraging is doorgaans iets minder dan de helft van de heftijd van de schuif.

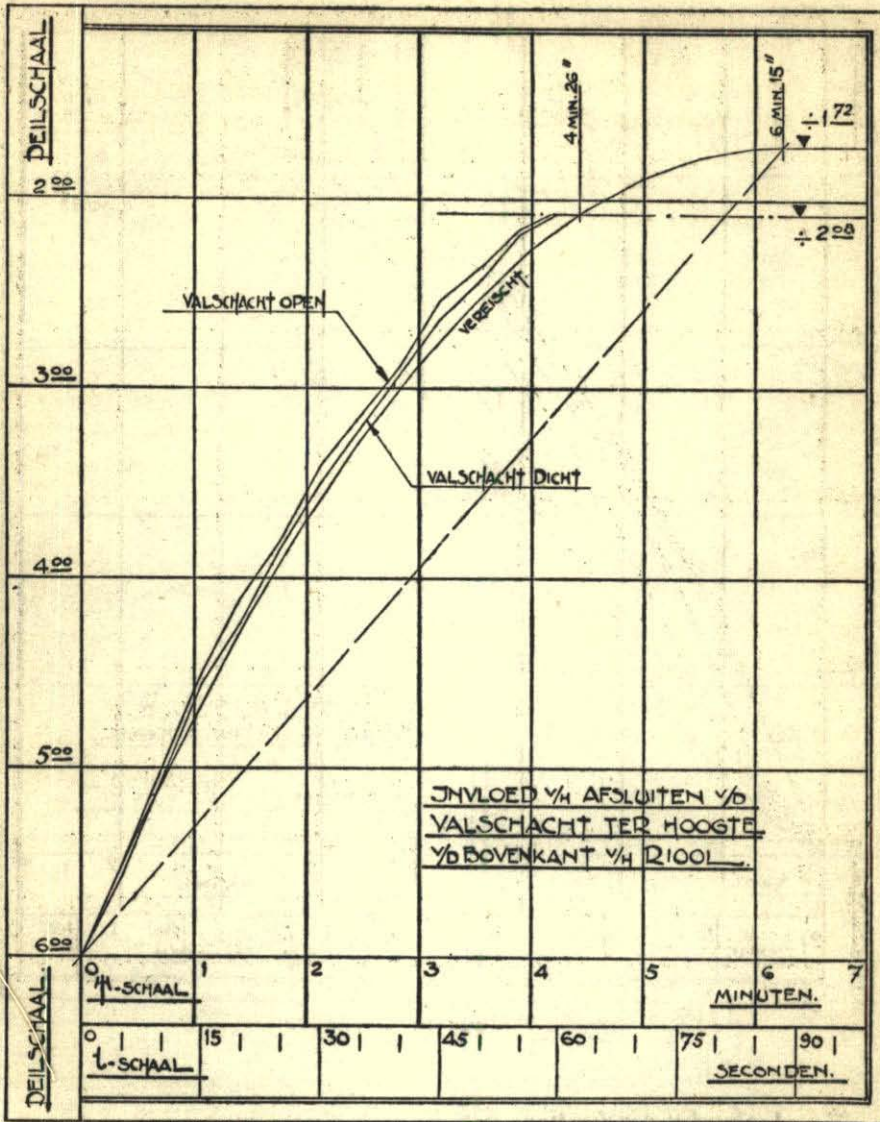


Fig. 15.

In fig. 16 zijn de gemeten vulkrommen voor vier heftijden ($t = 0, 10, 20$ en 40 sec.; $T = 0, 42$ sec., 1 min. 25 sec. en 2 min. 50 sec.) geteekend.

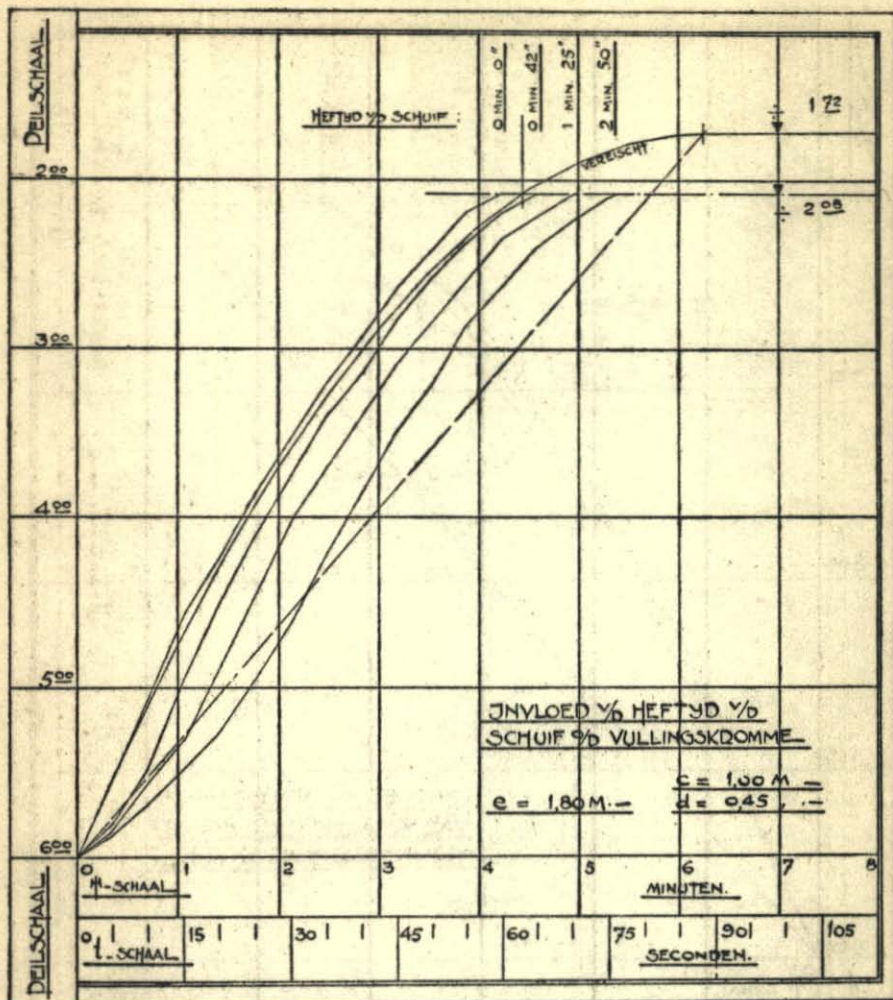


Fig. 16.

27. Aanbevolen constructie.

Op grond van de metingen wordt als voor de schutkolkvulling meest gewenschte constructie aanbevolen een inloop, bestaande uit hooggelegen riool met schuiven, een valschacht en een onmiddellijk boven de sluisvloer gelegen onderwateropening, met de volgende maten (fig. 17):

Riool: lang	230	cm	
breed	135	„	
bovenkant	275	„	— N.A.P.
onderkant	410	„	— N.A.P.
Valschacht: breed (// sluisas)	400	„	
diep (\perp „)	70	„	
Onderwateropening: lang (\perp sluisas)	100	„	
breed (// „)	400	„	
bovenkant	825	„	— N.A.P.
onderkant	880	„	— N.A.P.

De valschacht kan op het peil van 275 cm — N.A.P. worden afgedekt; de onderwateropening kan door pijlertjes in een aantal vakken worden verdeeld (in het model waren steeds vijf vakken; de tusschengelegen pijlertjes hadden een breedte, overeenkomende met 12 cm in het bouwwerk).

Voor dit model met van boven gesloten valschacht zijn nog eenige metingen uitgevoerd; ook met het bovenwater op het juiste peil van 207,8 cm onder N.A.P. Fig. 17 geeft de resultaten van deze metingen. Bij langzame schuifheffingen wordt de vereischte vultijd van zes minuten eenigszins overschreden. Uit de gegeven diagrammen kan men gemakkelijk afleiden welke wijzigingen in de afmetingen noodig zijn om deze overschrijding te voorkomen.

Het is echter de vraag of dit noodzakelijk is. De voor in- en uitvaren benoodigde tijd toch is zóó groot, dat de door de verruiming te verkrijgen tijdwinst slechts een klein onderdeel van de totale schuttijd uitmaakt. Of dit voordeel opweegt tegen de meerdere kosten en vooral tegen de met de snellere vulling gepaard gaande minder rustige ligging van de schepen in de schutkolk, mag worden betwijfeld.

28. De ligging van de schepen in de kolk.

Nagegaan is het gedrag van een enkel groot schip in de kolk en bovendien van twee of vier kleinere schepen, die gelijktijdig worden geschut. De afmetingen van de schepen zijn:

		Groot schip.	Klein schip.
Lengte L		31,50 m	15,80 m
Breedte B		5,00 „	2,50 „
Diepgang D		2,00 „	1,00 „

Het groote en enkele van de kleinere schepen waren vóór en achter voorzien van masten, waaraan de trossen werden bevestigd. In deze trossen kon een krachtmeter (brievenweger of veerbalansje, fig. 2) worden ingeschakeld, die gedurende het vullen van de kolk werd afgelezen.

Op deze wijze was het mogelijk de troskrachten te bepalen.

Van grooten invloed is de ligging van het schip vóór het heffen van de schuif. Wanneer de tros, waarin de kracht zal worden gemeten, aanvankelijk slap is, zal het schip in beweging geraken, wat bij het strak komen van de tros tot groote krachten zal leiden (plotseling vertragen van de groote massa van het vaartuig). Er moet dus op worden gelet, dat de schepen vóór de schutting goed gemeerd zijn.

De krachtmeters vormen steeds een bewegelijke schakel in de trossen, waardoor de bevestiging van de schepen veerkrachtig is. Om de invloed hiervan op de troskrachten zoo gering mogelijk te houden, zijn de meters steeds zoodanig aangebracht, dat zij zoo gering mogelijke bewegingen maken bij sterke variaties in de troskrachten.

29. *Gelijk gedrag bij verschillende modellen.*

Bij de oorspronkelijke inloopconstructie was het gedrag van de vaartuigen bevredigend. Toen het bleek, dat de inloop moest worden gewijzigd, is er naar gestreefd de waterstraal op dezelfde plaats in de kolk te doen treden, om deze gunstige toestand niet verloren te laten gaan. Dientengevolge zijn de bewegingen der schepen ook bij inloopconstructie II geheel gelijk aan die in het oorspronkelijke model; zij kunnen dus gelijktijdig worden besproken.

Alleen de absolute waarden der troskrachten zijn afhankelijk van de snelheid van de vulling en dus van vorm en afmetingen van de inloopconstructie, terwijl ook de heftijd van de schuif een zeer groote invloed op de troskrachten uitoefent.

30. *Beweging van niet-gemeerde schepen.*

Ten gevolge van de in de aanvang van dit verslag geschetste stroomverdeeling in de kolk verplaatst een tegen de wand B gelegen schip zich evenwijdig aan zich zelf naar A. Een klein vaartuig volbrengt dezelfde beweging, wanneer de beginstand symmetrisch is ten opzichte van de inloopconstructie. Had dit kleine vaartuig in het begin een willekeurige andere ligplaats aan de wand B, dan overweegt de invloed van één van de twee circulatiestroomen en volbrengt het een rondgang in de overeenkomstige kolkhelft om ten slotte toch een ligplaats tegen de wand A te kiezen.

In de fig. 18—20 zijn weergegeven de begin- en eindstanden van één, twee en vier kleine vaartuigen. Door een samenwerking van de circulatiestroom en de oppervlakte-stroom boven de onderwateropeningen is het den vaartuigen niet mogelijk om uit eigen beweging van de kolkhelft 1 te komen in de tegenover liggende kolkhelft 2.

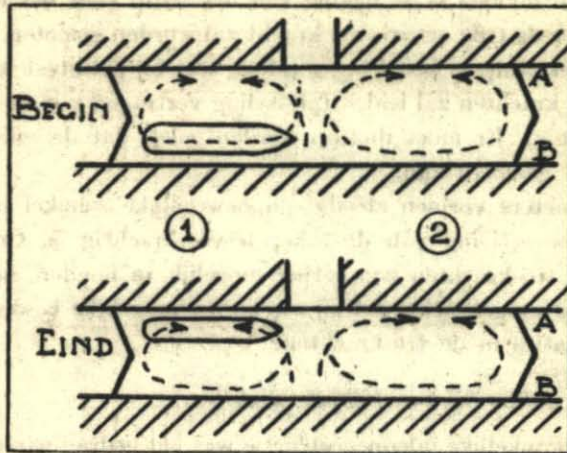


Fig. 18.

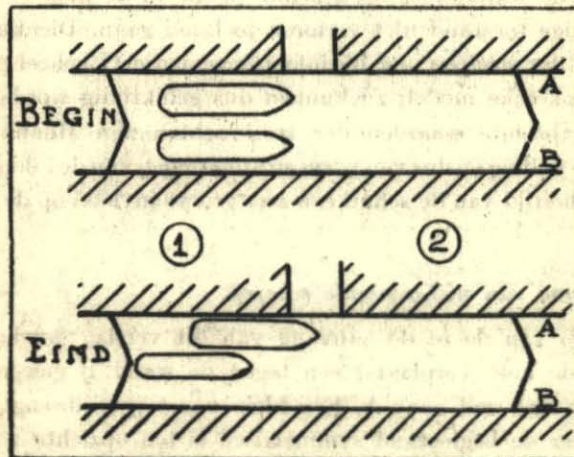


Fig. 19.

De rustigste ligplaats voor schepen is te vinden tegen de wand A met de voor- of achterstevan ongeveer in de as van de inloopconstructie.

Als ongunstigste — en voor schepen met een gering vrijboord zelfs gevaarlijke — meerplaats kan worden aangewezen dat gedeelte van de wand B, dat is gelegen tegenover de onderwateropeningen.

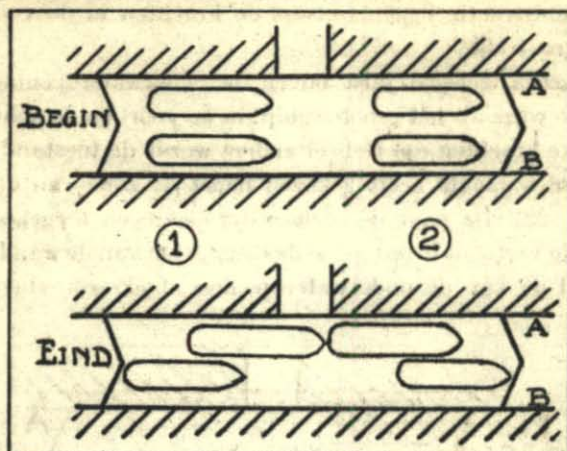


Fig. 20.

De vullingsstraal treft deze muur over een breedte van ongeveer 4 m en veroorzaakt, wanneer het algemeen peil in de kolk ongeveer 6 m — N.A.P. is, daar ter plaatse een opstuwing van de waterspiegel (fig. 4). Naarmate het niveau van de kolk rijst, verdwijnt deze plaatselijke opstuwing. Bevinden zich meerdere vaartuigen in de kolk, dan verdient dus een regeling van de ligplaatsen in de geest van fig. 21 de voorkeur.

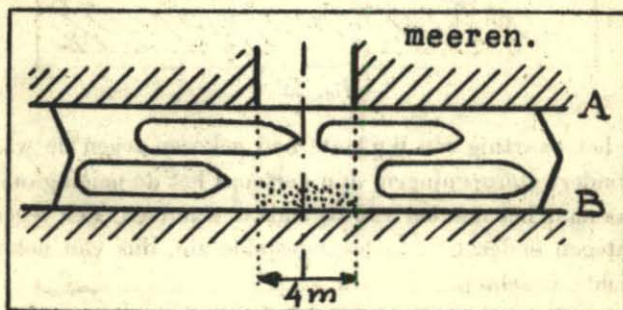


Fig. 21.

31. Trossen.

De troskrachten zijn afhankelijk van de ligging van het schip in de sluis. Als algemeene regel geldt, dat de trossen, die uitgebracht zijn naar de

wand A, de neiging vertoonen om slap neer te hangen, terwijl uitsluitend die naar de wand B dienst doen om het vaartuig op zijn plaats te houden.

Een *groot schip* kan niet anders dan vrijwel symmetrisch ten opzichte van de inloopconstructie liggen, zoodat de krachten in de voor- en achter-trossen even groot zijn.

Een *klein schip*, gelegen juist boven de onderwateropeningen, gedraagt zich op dezelfde wijze als het groote schip: in de vóór- en de achter-trossen treden nagenoeg gelijke krachten op. Geheel anders wordt de toestand, wanneer het kleine schip een ligplaats heeft gekozen naast de zône van de onderwateropeningen (fig. 22). De naar de onderwateropeningen toegekeerde steven *a* van het vaartuig vertoont in dat geval de neiging om van de wand B te zwenken naar A, terwijl de van de onderwateropening afgekeerde steven *b* tegen B steunt.

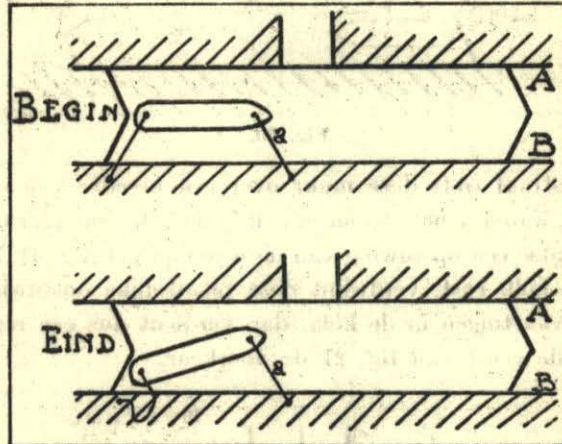


Fig. 22.

Wanneer het vaartuig een ligplaats had gekozen tegen de wand A naast de zône der onderwateropeningen, dan vertoont het de neiging om evenwijdig aan de sluisas naar het midden van de sluis te schuiven. Een tegen B liggend schip daarentegen ondervindt in tegengestelde zin, dus van het midden der sluis af gerichte krachten.

De trossen zullen dus het beste volgens fig. 23 kunnen worden uitgebracht.

Het verdient steeds aanbeveling om tegen het midden van de wand A ligplaats te kiezen. Vast maken van het schip is dan onnoodig: het schip schuift langs de kolkmuur naar boven.

De kracht, waarmee het schip tegen die muur wordt gedrukt, is uit de

aard der zaak gelijk aan het dubbele van de gemeten krachten in de naar B uitgebrachte trossen.

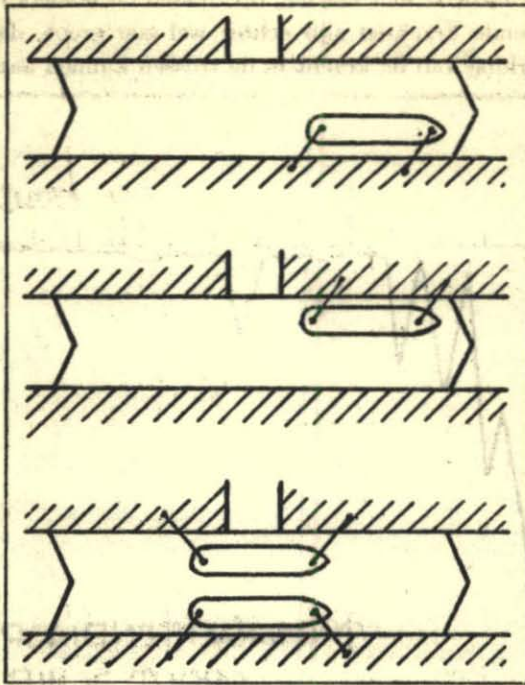


Fig. 23.

De door deze kracht veroorzaakte wrijving levert een kantelmoment om de scheepsas, waardoor het vaartuig eenige slagzij verkrijgt. In geen enkel van de onderzochte gevallen was de gemeten troskracht zoo groot, dat deze slagzij meer dan een enkele graad zou bedragen

32. Troskrachten in het oorspronkelijke model.

In het oorspronkelijke model (inloopconstructie I) is gemeten de kracht in één der naar de wand B uitgebrachte trossen van een midden in de kolk gelegen groot schip. De schuif werd daarbij snel getrokken.

Fig. 24 geeft een der opgenomen diagrammen.

De kracht bereikt dadelijk na het begin een hooge waarde en loopt direct weder sterk terug. De lijn vertoont dan een slingering, waarbij de kracht telkens tot nul, of ten minste een zeer kleine waarde, afneemt. De slingering

wordt gedempt en tegen het einde van de vulling nadert de kromme tot de nullijn.

De grootste waarde is met het oog op trossen en bolders nog goed toe te laten; de optredende krachten zijn echter wel zoo groot, dat de schippers niet tegen de werking van de kracht in de trossen kunnen aanhalen.

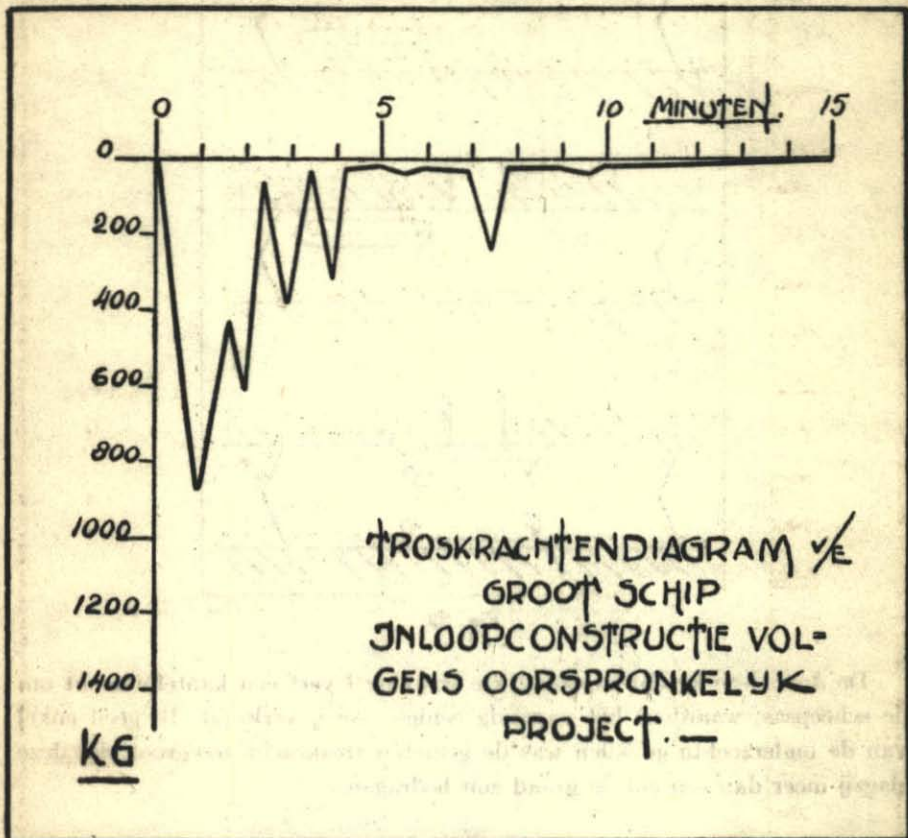


Fig. 24.

33. De krachten bij de gewijzigde constructie.

Bij de inloopconstructie II vertoont het verloop van de troskrachten hetzelfde beeld. In verband met de snellere vulling van de schutkolk is de absolute waarde echter grooter, zonder tot ongewenschte toestanden aanleiding te geven.

Duidelijk komt in fig. 25 uit, dat de krachten gedurende de geheele vullings-

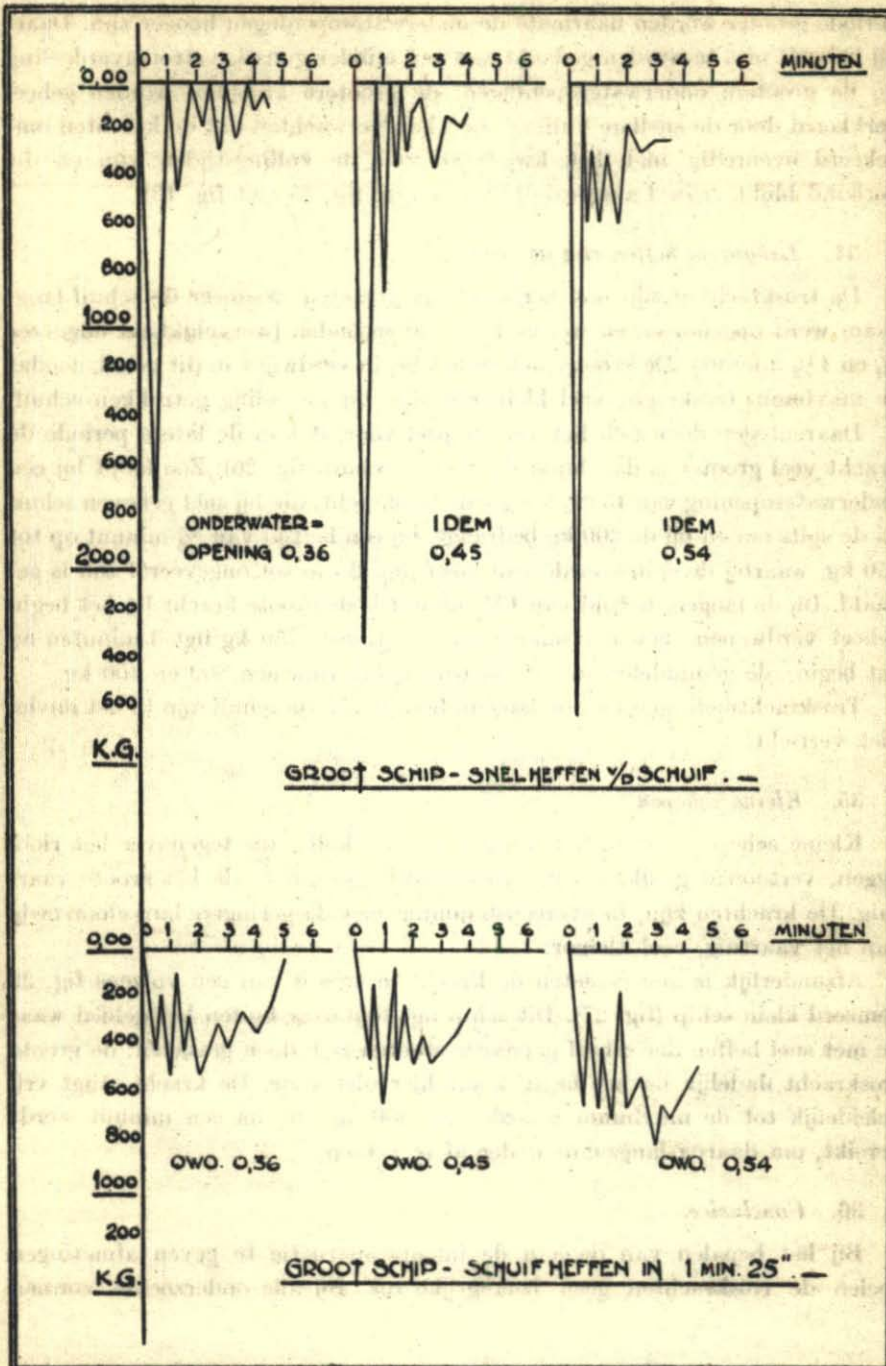


Fig. 25 en 26.

periode grooter worden naarmate de onderwateropeningen hooger zijn. Daarbij behoeft niet te worden gedacht aan een minder gunstige stroomverdeling bij de grootere onderwateropeningen: de grootere krachten worden geheel verklaard door de snellere vulling. Men kan verwachten dat de krachten omgekeerd evenredig met het kwadraat van de vullingstijden zijn en dit verband blijkt vrijwel aanwezig te zijn (verg. fig. 25 met fig. 13).

34. *Langzaam heffen van de schuif.*

De troskrachten zijn ook herhaaldelijk gemeten, wanneer de schuif langzaam werd opgeheven, en wel in 10 en 20 seconden (werkelijkheid ongeveer $\frac{3}{4}$ en $1\frac{1}{2}$ minuut). De groote piek in het begin verdwijnt in dit geval, zoodat de maximum troskracht veel kleiner is dan bij plotseling getrokken schuif.

Daarentegen doet zich het verschijnsel voor, dat in de latere periode de kracht veel grooter is dan bij snel geheven schuif (fig. 26). Zoo loopt bij een onderwateropening van 45 cm hoogte de troskracht, die bij snel geheven schuif na de spits om en bij de 200 kg bedraagt, bij een heftijd van $\frac{3}{4}$ minuut op tot 250 kg, waarbij de spitswaarde van meer dan 2 ton tot ongeveer 1 ton is gedaald. Bij de langere heftijd van $1\frac{1}{2}$ minuut is de groote kracht bij het begin geheel verdwenen: het maximum van omstreeks 750 kg ligt 3 minuten na het begin; de gemiddelde waarde bedraagt dan tusschen 300 en 400 kg.

Troskrachtmetingen bij nog langere heftijd van de schuif zijn in het model niet verricht.

35. *Kleine schepen.*

Kleine schepen, die in het midden van de kolk, dus tegenover het riool liggen, vertoonen gelijksoortige troskrachtdiagrammen als het groote vaartuig. De krachten zijn, in overeenstemming met de geringere langsdorsnede van het vaartuig, veel kleiner.

Afzonderlijk is nog gemeten de kracht in tros *a* van een volgens fig. 22 gemeerd klein schip (fig. 27). Dit schip ligt blijkbaar buiten het gebied waar de met snel heffen der schuif gepaarde stooten zich doen gevoelen: de groote troskracht dadelijk na het begin komt hier niet voor. De kracht stijgt vrij geleidelijk tot de maximum waarde van 350 kg, die na een minuut wordt bereikt, om daarna langzaam weder af te nemen.

36. *Conclusies.*

Bij het bepalen van de aan de inloopconstructie te geven afmetingen spelen de troskrachten geen belangrijke rol. Bij alle onderzochte vormen

blijven die krachten binnen redelijke grenzen; over het algemeen zijn zij des te grooter, naar mate de schutkolkvulling sneller verloopt.

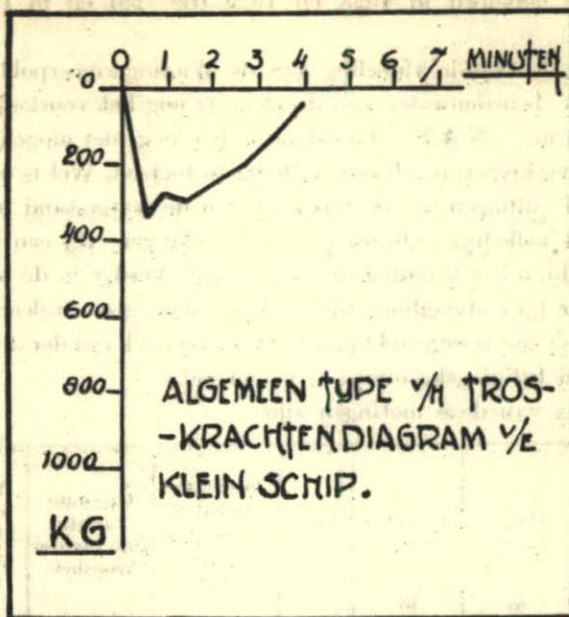


Fig. 27.

Wanneer de schuif niet zeer snel (b.v. binnen een minuut) wordt geheven, zal de horizontale component van de troskracht in geen enkel geval de waarde van een ton bereiken.

Bij geen enkele onderzochte constructie doet zich het geval voor, dat de troskrachten gedurende de vulling één of meermalen van teeken omkeeren, waardoor de schepen nu tegen de eene en dan tegen de andere schutkolkmuur zouden worden geworpen. Steeds heeft men de gunstige omstandigheid dat vaartuigen tegen de muur A kunnen liggen en dat het dan niet noodzakelijk is met de, vooral in de aanvang van de vulling, zeer steil staande trossen te manoeuvreren.

57. Ledigen van de schutkolk.

Het voorgaande geldt uitsluitend voor het vullen van de schutkolk. Bij het ledigen treden geheel andere krachten op; schepen die van het bovenwater naar beneden schutten zullen dan ook wel degelijk moeten worden gemeerd, omdat die krachten voornamelijk in de richting van de sluisas werken.

38. *Metingen in de uitgevoerde sluis.*

De sluis is gebouwd in 1928 en 1929 (fig. 28) en in 1930 in dienst gesteld.

Het peil in de tweede afdeling van de Wieringermeerpolder (het Oude Land), dus het benedenwater van de sluis, is nog het voorloopig polderpeil (V.P.P. = 5,30 m — N.A.P.). Daardoor is het nog niet mogelijk geweest de in het model verkregen resultaten volledig te toetsen. Wel is op 9 Juli 1931 bij een tweetal vullingen om de vijf seconden de waterstand in de kolk afgelezen, zoodat volledige vulkrommen zijn verkregen. Bij een derde vulling is de stand achter het krooshek waargenomen. Verder is de waterstand in het bovenwater (groenteveiling) tijdens het vullen gecontroleerd.

De resultaten zijn voorgesteld in fig. 29, waarin ook één der drie op dezelfde dag opgenomen ledigingskrommen is geteekend.

De gegevens van deze metingen zijn:

Nr.		Boven water.	Beneden water.	Ver- val.	Grootste variatie boven, resp. beneden- pand.	Grootste variatie stand achter krooshek.	Vul- resp. ledi- gings- tijd.	Heftijd van de schuif.
		m —N.A.P.	m —N.A.P.		m	m	m	sec.
1	Vulling	2,12	5,16	3,04	0,02	—	395	108
2	Lediging	2,14	5,33	3,19	0,06	—	287	(63)
3	Vulling	2,13	5,36	3,23	0,02	—	380	50
4	Lediging	2,13	5,37	3,24	0,07	—	291	(63)
5	Vulling	2,14	5,35	3,21	—	0,45	(380)	62
6	Lediging	2,12	5,38	3,26	0,05	—	295	63
	Vulling model	2,08	6,00	3,92	0	—	377	85

Ontegenzeggelijk is de vultijd van de sluis groter dan met de modelproeven overeenkomt. Het beste is dit te zien door vergelijking van vulling 3 met de modelkromme voor een heftijd van de schuif van 85 seconden, die uit fig. 17 is overgenomen. In beide gevallen is het kolkpeil op het oogenblik waarin de schuif geheel geopend is 5,05 m — N.A.P., terwijl het bovenpeil slechts enkele centimeters verschilt (model 2,08, werkelijkheid 2,13 cm — N.A.P.). Voor de vulling over 2,97 m hoogte gebruikt men volgens het model

413, voor die van 2,92 m in de werkelijkheid 450 seconden. Het model gaf dus een vultijd, die 9 percent te klein is.

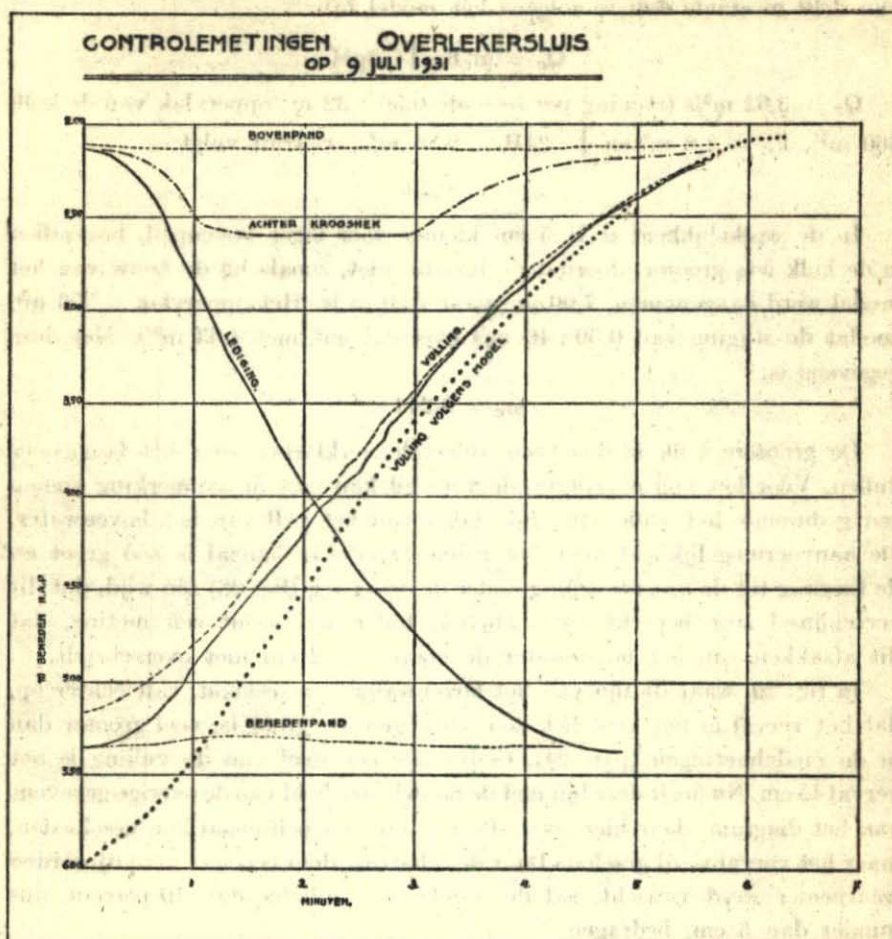


Fig. 29.

Tot het verschil dragen alle fasen van de vulling bij: de modelkromme staat overal steiler dan de werkelijke lijn op het overeenkomstige punt. Het grootste verschil komt voor in het begin van de vulling. Om de kolk van 5,00 tot 4,50 m — N.A.P. te vullen, zijn 40 seconden noodig, terwijl volgens het model 32 seconden voldoende zouden zijn.

Wordt in overeenstemming met par. 11 aangenomen, dat de maatgevende

doorsnede C op een diepte van ongeveer 4,50 m — N.A.P. ligt en de stroom in die doorsnede bij normaal bovenpeil onder invloed van een drukhoogte H van 2,40 m staat, dan is volgens het model in:

$$Q_c = m_c F_c \sqrt{2gH}$$

$Q_c = 5,62 \text{ m}^3/\text{s}$ (stijging per seconde 0,50 : 32 m; oppervlak van de kolk 360 m^2), $F_c = 2,8 \text{ m}^2$ en $\sqrt{2gH} = 6,86 \text{ m/s}$, waaruit volgt:

$$m_c = 0,293.$$

In de werkelijkheid is H 5 cm kleiner door lager bovenpeil, bovendien is de kolk iets groter, doordat de breedte niet, zooals bij de bouw van het model werd aangenomen, 7,00 m, maar 7,20 m is. Het oppervlak is 370 m^2 , zoodat de stijging van 0,50 : 40 m/s overeenkomt met 4,63 m^3/s . Met deze gegevens is:

$$m_c = 0,244.$$

De grootere kolk is dus geen afdoende verklaring voor het langzamer vullen. Voor het nog overblijvende verschil kan niet in aanmerking komen een gedurende het vullen tijdelijk dalen van het peil van het bovenwater. De aanvoermogelijkheid door het ruime Overleker kanaal is zóó groot en de toegang tot de groenteveiling onder de spoorweg (fig. 28) zóó wijd, dat dit verschijnsel zeer beperkt moet blijven. Inderdaad toont een meting, dat dit afzakken van het bovenwater de maat van 2 cm niet overschrijdt.

In fig. 29, waar de lijn van het bovenwater is geteekend, valt echter op, dat het verval in het krooshek zoo buitengewoon groot is, veel grooter dan in de modelmetingen (par. 24). Gedurende een deel van de vulling is het verval 45 cm. Nu heeft deze lijn niet de nauwkeurigheid van de overige gegevens van het diagram, daar hier geen aflezing aan een peilschaal kon geschieden, maar het verval werd geschat. Daar de schatting door een zeer geroutineerden waarnemer werd verricht, zal de onzekerheid minder dan 10 percent, dus minder dan 5 cm, bedragen.

Bij de waardeering van de waterstand achter het krooshek moet er nog rekening mee worden gehouden, dat zoo dicht bij het riool de toestroom-snelheid reeds belangrijk is en daardoor, ook zonder krooshek, het water er reeds lager zou staan. De snelheidshoogte $v^2 : 2g$ in het riool is dadelijk na het openen van de schuif 33 cm, ter plaatse van de waarneming moet zeker op minder dan het vierde deel daarvan, dus hoogstens op 8 cm, worden gerekend.

Op grond hiervan kan worden aangenomen, dat door het krooshek de

drukhoogte bij c met 35 cm wordt verminderd, dus 2,00 m wordt. Dit leidt tot:

$$m_c = 0,264.$$

Dat het krooshek zooveel meer vertraging geeft dan in het model, wordt veroorzaakt door de andere constructie. De zijkanten zijn geheel gesloten, al het water moet intreden tusschen de staven aan de voorzijde.

Er blijft nog een, niet opgehelderd, verschil van omstreeks tien percent gedurende het eerste deel van de vulling over. Later verdwijnt dit verschil geheel en komt de aan de werkelijke sluis waargenomen vulkromme, na de correcties voor schutkolk grootte en krooshek, overeen met de uit modelmetingen afgeleide.

Het verschil in de geheele vultijd wordt door de correctie voor de schutkolk grootte van 9 tot 6 percent teruggebracht. Van deze zes percent zijn er drie of vier te wijten aan de weerstand van het krooshek, zoodat per saldo het verschil tusschen model en werkelijkheid twee tot drie percent is. Al is dit niet veel, het feit kan niet worden weggeredeneerd, dat in het eerste deel van de vulling een systematische fout aanwezig is.

Bij de controlemetingen is ook nagegaan het gedrag van een schip gedurende het schutten. De afmetingen van dit schip (het directievaartuig Flevo) houden het midden tusschen die van het groote en het kleine schip van par. 28; lengte 22 m, breedte 3,75 m, diepgang 1,30 m. De waterverplaatsing is ongeveer 70 m³.

Fig. 30 toont de liggingen, die het schip gedurende het vullen van de

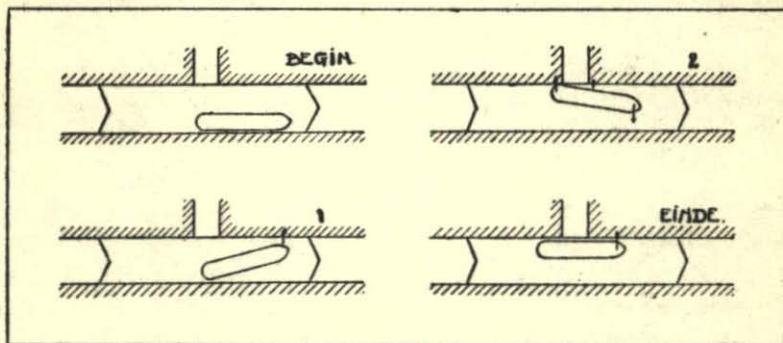


Fig. 30. Gedrag van de „Flevo” bij een kolkvulling.

kolk achtereenvolgens innam. Het gedrag heeft voldoende overeenkomst met dat in het model (zie fig. 18). De beginstand aan de tegenover het riool liggende muur werd verlaten en na eenig gedraai de andere kant bereikt,

waar het schip rustig bleef liggen, met een geringe neiging om zich naar het eind van de schutkolk te verplaatsen.

De krachten, die deze verplaatsingen bewerkstelligen, zijn niet gemeten. Het is alleen mogelijk een schatting van de orde van grootte te maken. Daartoe kon allereerst worden vastgesteld, dat zij grooter waren dan die door de winddruk en ook, dat het schip niet met de hand is tegen te houden. Dit wijst op krachten van meer dan 100 kg. Anderzijds is het zeker, dat geen troskracht van meer dan bijv. 300 à 400 kg optreedt. Een dergelijke kracht zou een grootere versnelling van het schip veroorzaken dan de enkele cm/s^2 , die voorkwam. De krachten zijn dus in overeenstemming met die van de fig. 26 en 27 en zeker niet grooter.

Bij het ledigen van de schutkolk waren de — volgens de as van de sluis gerichte — krachten niet grooter dan de storing door de wind.

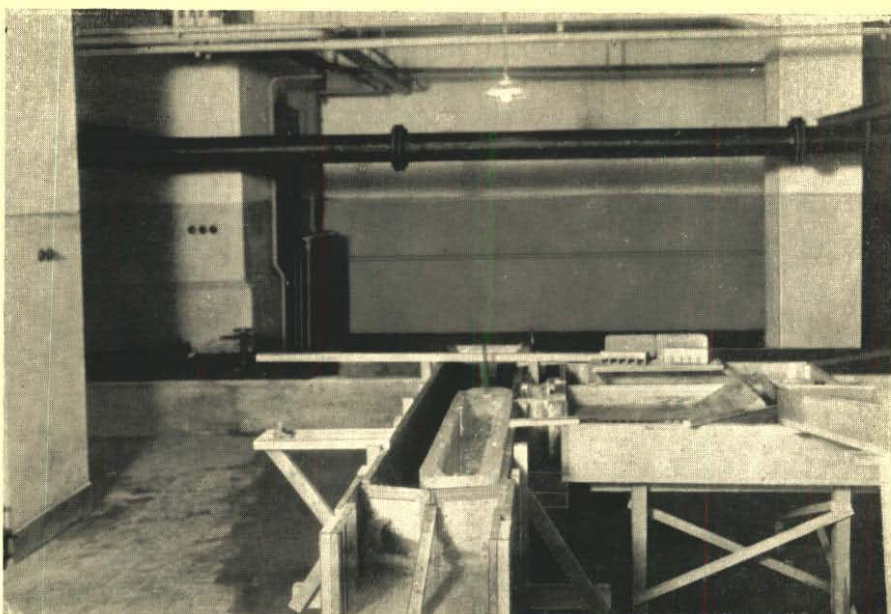


Fig. 1. Model in langsricting gezien.



Fig. 2. Model van sluis en groenteveiling.

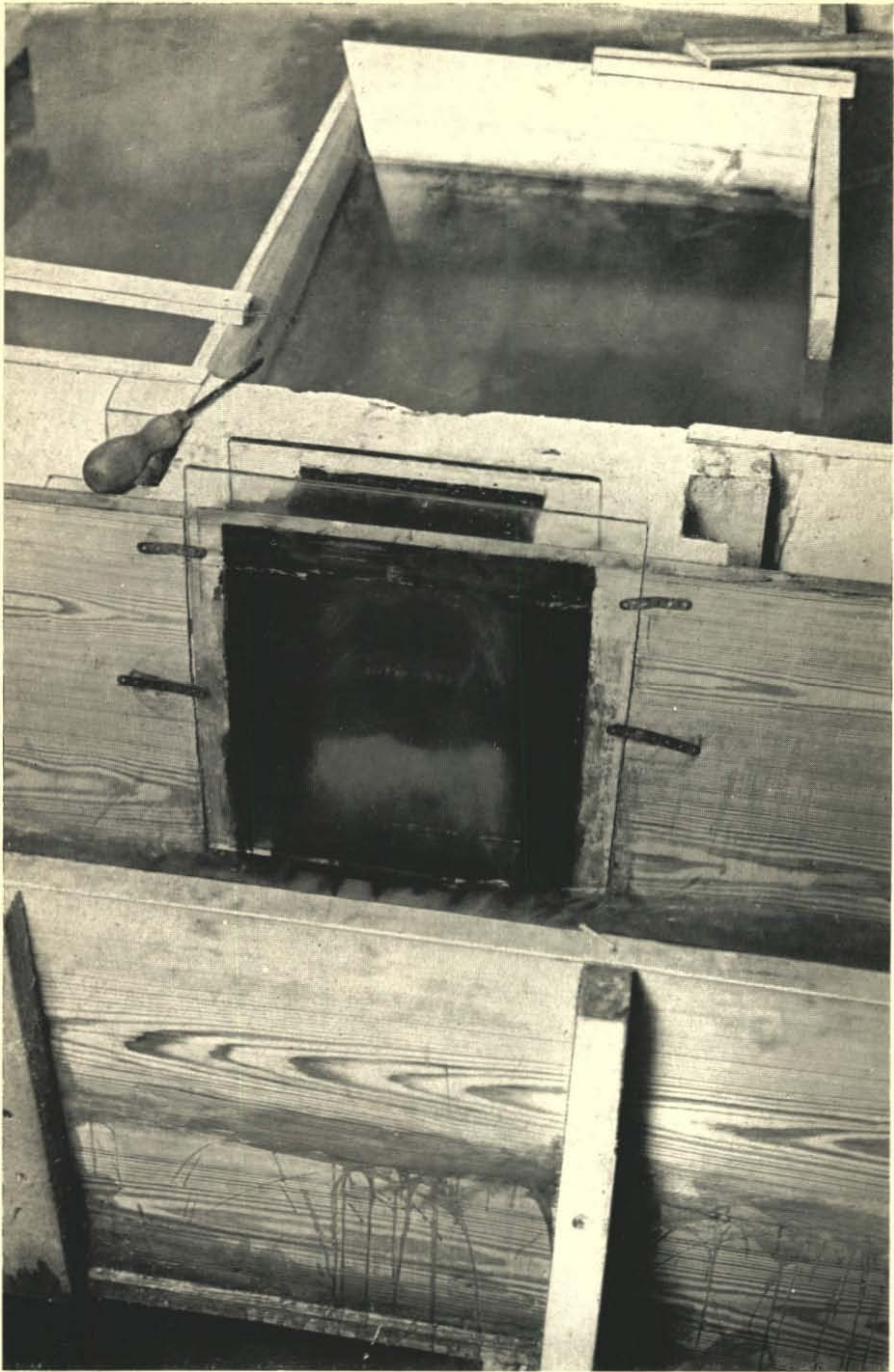


Fig. 11. Vorm van de waterstraal in de valsacht.



Links het polderwater van de Wieringermeer.

Fig. 28. Overleker Sluis, gezien van het Noordwesten.

Rechts het Overleker kanaal, achter de sluis de „groenteveiling”.
Opname M.L.D.

SCHUTKOLKVULLING EN LEDIGING VAN DE
WIERINGERMEERSLUIZEN BIJ DE HAUKES,
KOLHORN EN DEN OEVER.

(HAUKESLUIJ, WESTFRIESCHE SLUIJ
EN STONTELEERSLUIJ).

(MODELPROEF No. 8.)

INHOUD.

	Bladz
1. Beschrijving van de sluizen	145
2. Opdracht	147
3. Het model	147
4. Meten van tijden, hoogten en krachten	149
5. Onderzoek naar de vullingstijd	152
6. Onderzoek naar de troskrachten	154
7. Plaats van het schip	156
8. Eerste pogingen tot verbetering (A—F)	157
9. Inloop door hoog- en laaggelegen openingen.	164
10. Voortrostype en achtertrostype.	166
11. Storingen door luchtbellen	167
12. Waterbeweging onder het bovenhoofd	168
13. Details.	171
14. Invloed van boezem- en polderpeil en van hefsnelheid der schuiven op de troskrachten	173
15. Gunstige voortroskrachten	174
16. Vullingstijd bij de gewijzigde constructies	176
17. Ledigen van de schutkolk	178
18. Aanvullende metingen voor Kolhorn en Den Oever	179
19. Aanbevolen constructies	184
I. Haukessluis	184
II. Westfriesche sluis	186
III. Stontelersluis	187
20. Contrôlemetingen in de uitgevoerde sluizen	189

FIGURENLIJST.

	Bladz.
1. Oorspronkelijk ontwerp sluis De Haukes	146
2. Schema heffing der schuiven in het model	148
3. Schema meting troskrachten	150
4. Sluismodel. Algemeen overzicht	foto
5. Vullingskrommen bij verschillende heftijden der schuiven	153
6. Troskrachtdiagrammen oorspronkelijk ontwerp sluis De Haukes	155
7. Verwijde stortmuuropeningen	157
8. Wijziging hoogteligging der openingen in het „voerste schot”	160
9. Plattegrond caissons met streaming door zijcompartmenten	162
10. Stortmuur met hooggelegen opening	163
11. Stortmuur met spleetvormige onder- en bovenopening	164
12. Troskrachtdiagrammen zonder ontluchting der caissons en met ontluchting (platte zoldering op 3,90—)	168
13. Watertoevoer naar de schutkolk	169
14. Zoldering der caissons, platte zoldering zonder ontluchting, dakvorm met ontluchting	170
15. Vullingskromme met knik	171
16. Troskrachtdiagram De Haukes met minimum troskrachten (neutraal type)	175
17. De Haukes constructie met minimum troskrachten (neutraal type)	176
18. Vullingskrommen voor verschillende peilen	177
19. Troskrachtdiagrammen lediging schutkolk	179
20. Oorspronkelijke besteksconstructie sluis Den Oever	180
21. Troskracht diagrammen oorspronkelijke besteksconstructie sluis Den Oever	181
22. Aanbevolen constructie sluis De Haukes	182
23. Blad troskrachtdiagrammen	foto
24. Bovenopeningen stortmuur als verticale spleten, zonder jalousiebalk	185
25. Troskrachtdiagram aanbevolen constructie sluis De Haukes	186
26. Aanbevolen constructie sluis Kolhorn	187
27. Aanbevolen constructie sluis Den Oever	188

28. Aanzicht stortmuur aanbevolen constructie sluis Den Oever in model De Haukes foto

29. Troskrachtdiagram aanbevolen constructie sluis Den Oever in model De Haukes 189

30. Foto in de sluis bij Kolhorn naar de stortmuur foto

31. Waargenomen vul- en ledigingskrommen in de Westfriesche sluis 191

32. Waargenomen vul- en ledigingskrommen in de Haukessluis . . 192

1. Beschrijving van de sluizen.

De sluizen vormen de verbindingen voor de binnenvaart tusschen de Wieringermeer en de omliggende wateren.

De Westfriesche sluis, ten Oosten van Kolhorn, verbindt het Waardkanaal en het Groetkanaal, waarvan het normale peil 0,40 — N.A.P. is, doch welke gemakkelijk tot N.A.P. kunnen stijgen of tot 0,60 m daaronder kunnen dalen, met de Westfriesche vaart, het hoofdkanaal van de tweede polderafdeeling (het Oude Land). Het voorloopige polderpeil (V.P.P.) in deze afdeeling is 5,30 m — N.A.P., er wordt op gerekend, dat na geruimen tijd het peil zal moeten worden verlaagd, hoogstens met 0,70 m, zoodat de laagste benedenwaterstand, waarbij de sluis nog moet kunnen worden gebruikt (P.P.), 6,00 m — N.A.P. is.

De waterweg Kolhorn—Medemblik, die aan beide zijden op de Westfriesche kanalen zal aansluiten, vormt de voornaamste scheepvaartroute in de Wieringermeer, hij is geschikt voor schepen van 300 ton laadvermogen en in verband daarmee heeft de sluis een schutlengte van 40 m, een wijde in de sluishoofden van 7,15 m en een drempeldiepte van 2,50 m onder de laagste waterstanden. Door de aanwezigheid van een brug is de lengte van de schutkolk veel grooter dan de schutlengte.

De Haukessluis heeft dezelfde hoofdafmetingen (fig. 1). Ook het bovenwater, dat door het Amstelmeer wordt gevormd, waarmee de Waard- en Groetkanalen gemeen liggen, heeft hetzelfde peil van 0,40 m — N.A.P. Het benedenwater, de Slootvaart, ligt echter 0,70 m hooger (V.P.P. = 4,60 m — N.A.P., P.P. = 5,30 m — N.A.P.), daar deze vaart door de eerste polderafdeeling, het Hooge Land, loopt.

Ook de Stontelersluis heeft als benedenwater de eerste polderafdeeling (Den Oeversche Vaart), zoodat op een V.P.P. van 4,60 en een P.P. van 5,30 m — N.A.P. moet worden gerekend. Het normale peil van het IJsselmeer, dat het bovenwater vormt, is wederom 0,40 — N.A.P. Deze sluis is kleiner, dan de beide anderen: schutlengte 31,50 m, wijde in de sluishoofden 5,50 m, drempeldiepte 2,40 m. Schepen van 180 ton laadvermogen kunnen hier worden geschut.

De te onderzoeken sluizen hebben alle dezelfde bijzonderheden, waardoor zij zich van de meeste tot nog toe in Nederland gebouwde schutsluizen onderscheiden:

- 1°. het verval is vrij aanzienlijk, n.l. bij hooge boezemstand en laag polderpeil 5,30 m tot 6,00 m;

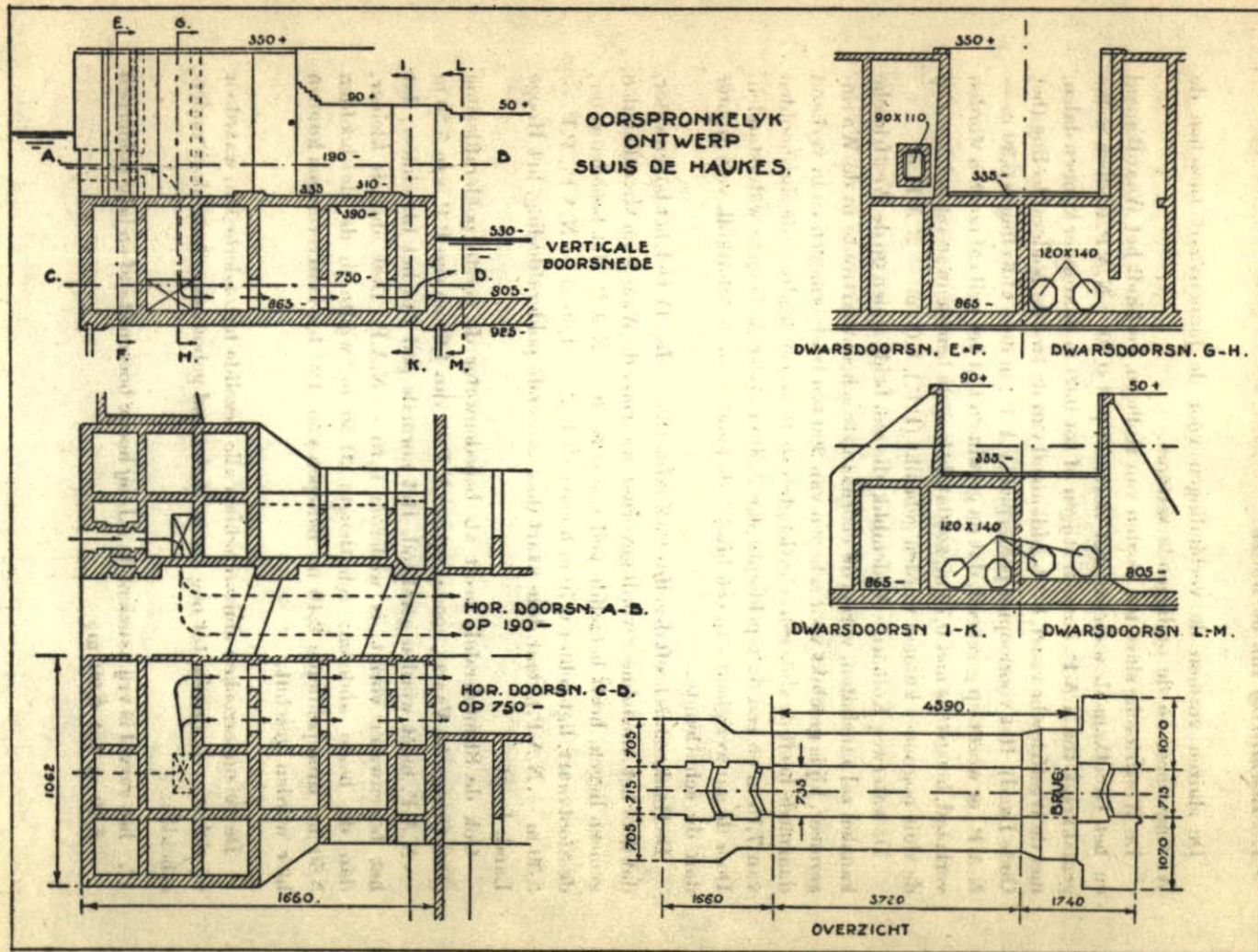


Fig. 1.

- 2°. de vulling van de kolk heeft plaats door openingen in de stortmuur van het bovenhoofd;
- 3°. het water wordt van de schuifopeningen aan het bovenpand naar deze stortmuuropeningen niet geleid door riolen, maar door een soort caissonruimte onder het bovenhoofd, welke ruimte een groot waterbergend vermogen bezit.

Cylinderschuiven mogen niet worden toegepast en het leggen van riolen door de caissonruimte moet zoo mogelijk worden vermeden.

2. Opdracht.

In November 1927 werd door de Dienst der Zuiderzeewerken opgedragen de voorloopige ontwerpen van de drie sluizen te onderzoeken. Nagegaan moesten worden de vullingstijd van de schutkolk en de krachten, die gedurende het vullen op de in de schutkolk aanwezige schepen worden uitgeoefend. Mocht het blijken, dat deze grootheden niet aan de daaraan te stellen eischen voldoen, dan moesten constructiewijzigingen worden aangegeven, die betere resultaten geven.

In December 1927 werd begonnen met het bouwen van een model, dat in Januari 1928 gereed kwam. Het onderzoek duurde tot Augustus van dat jaar. Een en ander stond onder leiding van de ingenieur bij het Waterbouwkundig Laboratorium Mr. Ir. W. N. DINGER.

Het bleek, dat de vultijd goed was, doch dat op de geschutte schepen veel te groote krachten werkten. Na herhaalde vergeefsche pogingen werden ten slotte voor de drie sluizen constructies gevonden, waarbij met behoud van de korte vultijd, deze krachten beneden toelaatbare grenzen blijven en de schepen rustig liggen.

Deze constructies zijn beschreven in par. 19.

3. Het model.

In December 1927 is begonnen met de bouw van een model van één der genoemde sluizen. Hiertoe is die van De Haukes gekozen, terwijl na afloop van het onderzoek aanvullende waarnemingen zijn gedaan voor de ontwerpen der beide andere sluizen.

Het sluismodel is naar de besteksteekening vervaardigd op schaal 1: 18,67 (3: 56). Het is vervaardigd van pitchpine, een houtsoort die betrekkelijk weinig aan „werken” ten gevolge van de aanraking van water onderhevig is. De instroomings-openingen aan het bovenpand zijn wegens hun vorm, die zich

bezwaarlijk tot de uitvoering in hout leende, gemaakt van paraffine, welk materiaal uitstekend heeft voldaan. Als schuiven werden aanvankelijk houten plankjes, later eternietplaatjes, in de gewenschte vorm gezaagd, gebezigd.

Om het heffen van de schuiven in het model naar wensch te kunnen regelen, werd een constructie vervaardigd, bestaande uit wiggen, die door twee, ter weerszijden daarvan geplaatste, draaiende schroefstangen (a, fig. 2) regelmatig over een horizontale baan kunnen worden geschoven. De schroefstangen worden door middel van een tandradoverbrenging met een zwengel met handkracht in draaiende beweging gebracht. Door het voortschuiven der wiggen (b) wordt een daarop rustende draagconstructie (c) gelijkmatig omhoog geheven. Aan deze draagconstructie zijn de schuiven (d) bevestigd.

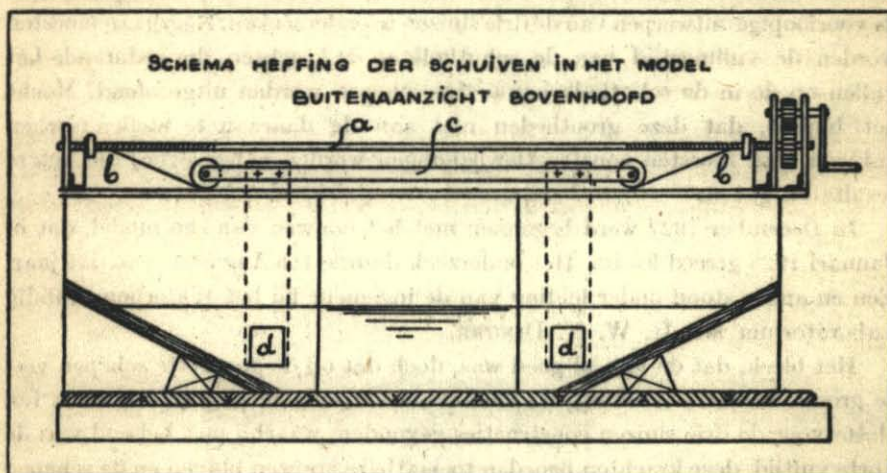


Fig. 2.

Als bovenpand is gebruikt een ruime houten bak, met paraffine gedicht. Gedurende de metingen wordt de bak voortdurend met water gevoed; een breede overlaat zorgt voor het handhaven van het gewenschte peil.

De gebezigde scheepsmodellen hadden reeds bij een vorige proef (Overlekersluis bij Medemblik) dienst gedaan. Ze zijn uit paraffine vervaardigd en stellen voor: één groot schip van 335 ton, alsmede vier kleinere van 40 ton elk.

De afmetingen zijn (in werkelijkheid) ¹⁾:

¹⁾ De schepen hebben oorspronkelijk dienst gedaan in een model op 1 : 18 en stellen, door het veranderen van de modelschaal in 1 : 18,67, dus iets grotere vaartuigen dan vroeger voor.

	Groot schip	Kleine schepen
Lengte	ruim 32 m	ruim 16 m
Breedte	„ 5 „	„ 2,50 „
Diepgang	„ 2 „	„ 1 „

4. Meten van tijden, hoogten en krachten.

Als tijdmeter is in den regel een stophorloge gebruikt. Veelal telt gedurende het tijdsverloop, waarin de kolk gevuld wordt, één van de waarnemers de seconden hardop, zoodat bij het heffen van de schuiven en het aflezen van waterstanden of van troskrachten alle waarnemers voortdurend op de hoogte zijn van de tijd. Een enkele maal is de tijd hoorbaar gemaakt met behulp van een metronoom.

De onnauwkeurigheden in de tijdsbepaling zijn op deze wijze niet grooter dan een halve seconde. Daar de tijdschaal verkleind is evenredig met de vierkantswortel uit die voor de lengten (dus hier $1: \sqrt{18,67} = 1: 4,32$) komt deze onzekerheid neer op 2 à 3 seconden in de werkelijkheid, wat zeker voldoende is.

De waterstand in de schutkolk is afgelezen aan een peilschaal. De geverfde verdeling van deze schaal geeft de peilen in de werkelijke sluis aan. De afstand tusschen de deelstrepen van N.A.P. en 100 cm — N.A.P. bedraagt dus slechts $100: 18,67 = 5,36$ cm. De waarnemingen geschieden meestal in halve, soms in kwart decimeters (werkelijkheid).

Bij het bepalen van de troskrachten is er rekening mede gehouden dat een in de kolk liggend vaarttuig steeds eenige beweeglijkheid heeft, ook wanneer geen enkele tros slap hangt. Door het rekken en doorhangen van de trossen zal een bewegingsvrijheid in langsrichting van eenige decimeters wel steeds aanwezig zijn.

De meetinrichting in het model moet dus ook zulk een veerende bevestiging bezitten.

Bij het schutten zal het nu en dan voorkomen dat de trossen slap komen te hangen. Aan het vaarttuig kan dan door het schutwater een bepaalde snelheid worden medegedeeld en, daar deze snelheid weer door een tros moet worden afgeremd, ontstaan in dit geval hogere troskrachten dan bij de toestand, waarbij de trossen strak worden gehouden.

Bij de modelmetingen is met de krachten, die bij slappe trossen kunnen optreden, geen rekening gehouden. Zij zijn te veel afhankelijk van toevallige omstandigheden, zooals de lengte waarover het schip zich vrij heeft kunnen bewegen, zoodat zij niet bruikbaar zijn voor vergelijking.

Dwarskrachten zijn niet gemeten. Daar de instrooming van het water symmetrisch is, bestaat er geen reden tot het optreden van belangrijke dwarskrachten. Het scheepsmodel vertoont dan ook nummer neiging tot zijdelingse uitwijking.

De langskrachten, die dus moeten worden gemeten, zijn van de orde van grootte van 100 tot 1000 kg. In het model zijn zij evenredig aan de derde macht van de lengteschaal verkleind, dat is in dit geval dus $1 : 18,67^3 = 1 : 6500$.

Een nauwkeurigheid van 5 gram in het meettoestel komt dus overeen met een speling van ruim 30 kg in de werkelijkheid, wat voldoende is te achten.

Deze nauwkeurigheid is bereikt met de in fig. 3 schetsmatig aangegeven inrichting, die gedurende de metingen langzamerhand is ontstaan.

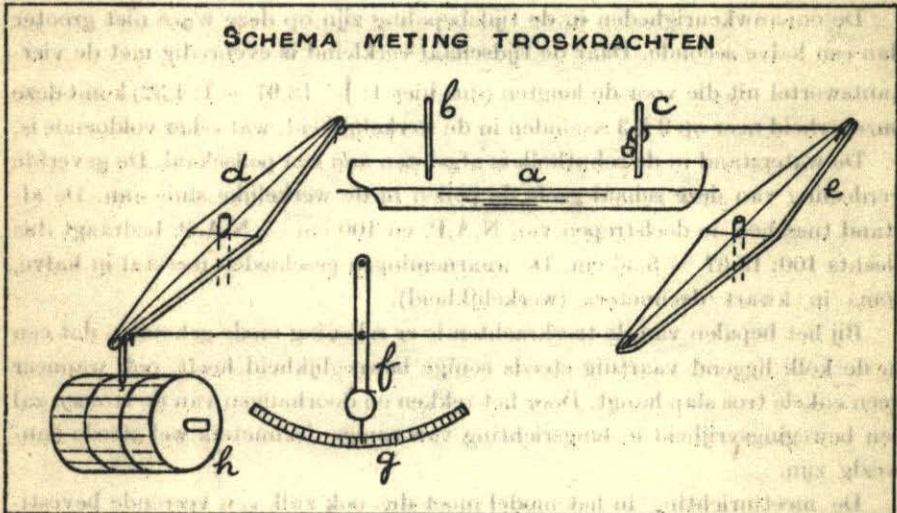


Fig. 3.

Het schip a is voorzien van twee masten b en c. Deze masten zijn door middel van koorden bevestigd aan de uiteinden van balansen d en e, draaibaar om een vaste verticale spil.

De andere uiteinden van deze balansen zijn met elkander verbonden door een koord dat bij zijn beweging een slinger f moet meenemen.

Wanneer op het schip een horizontale kracht werkt, draaien de balansen om hun spil, de slinger meenemende, totdat de door het uitslaan van de slinger geleverde kracht evenwicht maakt met de scheepskracht. De grootte

van de uitslag van de slinger, die op een randverdeling g is af te lezen, is dus een maat voor de te meten langskracht.

De spanning in de koorden wordt constant gehouden doordat het koord tusschen de balans e en de mast c niet rechtstreeks aan deze laatste is bevestigd, maar over een katrol loopt. Het draagt een gewicht (100 g) dat de spanning in het systeem bepaalt. Was deze voorzorg niet genomen dan zou, wanneer het schip zich bij het vullen van de schutkolk in verticale richting verplaatst en de koorden dus onder een helling komen te staan, de spanning en daarmede de wrijving in het toestel te groot worden.

Thans is er geen waarneembare wrijving. Een kracht van een gram is voldoende om het geheel in beweging te brengen.

Het toestel is geijkt door krachten van bekende grootte op het schip te laten werken.

De slinger en de verdeling maken deel uit van een gewone brievenweger; de plaats van bevestiging van het koord is zoodanig gekozen dat op de schaal de troskracht in grammen dadelijk kan worden afgelezen. Alleen voor de groote krachten is, zooals uit de ijking blijkt, een kleine correctie noodig.

De aflezing geschiedt op 5 gram nauwkeurig, bij rustige beweging is het meermalen mogelijk op 2 à 3 gram af te lezen. Het toestel bezit dus een voldoende nauwkeurigheid.

In de loop van de proeven is een inrichting aangebracht om op eenvoudige wijze het verloop van de troskrachten te registreeren. Onder het uiteinde van een der balansen is een potlood veerend bevestigd; dit potlood schrijft op een met millimeterpapier bekleede cylinder h . De cylinder wordt door middel van een wormoverbrenging met de hand bewogen.

De wrijving van het potlood over het papier bedraagt 5 à 10 gram, zoodat de opgenomen diagrammen niet geheel aan de eisch van nauwkeurigheid voldoen. Daarom is in de regel na elke registratie het toestel buiten werking gezet en de meting herhaald, waarbij de grootste positieve en negatieve troskrachten door directe aflezing op de schaal g werden verkregen.

Fig. 4 is een foto waarop het geheele model te zien is. Rechts is het bovenhoofd, links het benedenhoofd.

Aan het bovenhoofd zijn te onderscheiden de hefinrichting der schuiven (zwengel ongeveer in de hoogste stand); rechts daarvan de breede bak, dienstdoende als bovenpand. Achter de hefinrichting der schuiven staat tegen de kolom opgesteld de kwikmanometer, die is aangesloten op de Venturimeter, door welke de hoeveelheid water, naar het bovenpand gevoerd, wordt gecontroleerd.

Ter hoogte van het midden van de schutkolk ongeveer is aangebracht de brievenweger, waarmee de troskrachten worden gemeten. Men ziet de koorden, die naar de balans op het bovenhoofd en naar die op het benedenhoofd voeren. De waterstand in de kolk is zoo hoog, dat het schip van 300 ton (achter de brievenweger) juist met zijn boord boven de schutkolkmuur uitsteekt. Voor- en achtermast zijn duidelijk te onderscheiden.

Aan het benedenhoofd bevindt zich de de registratietrommel en de schrijfstift, die aan de benedenhoofdbalans bevestigd is.

5. Onderzoek naar de vullingstijd.

De eerste proefnemingen betroffen het onderzoek naar de vullingstijd van de schutkolk, de tijd, die verloopt van het begin van het heffen der schuiven tot de kolk geheel vol is. Hiertoe zijn vullingskrommen opgenomen.

Van deze krommen is het laatste deel een parabool, gegeven door de vergelijking

$$T = \frac{2S}{\mu F \sqrt{g}} \sqrt{H},$$

waarin

H: het hoogteverschil tusschen de waterstand in het bovenpand en die in de schutkolk op een willekeurig tijdstip;

T: het deel der vullingstijd tusschen dat tijdstip en het eind van de vulling gelegen;

S: het oppervlak van de schutkolk;

F: de doorsnede der schuifopeningen;

μ : de afvoercoëfficiënt.

Deze parabool raakt met zijn top aan de horizontale lijn, die de bovenwaterstand voorstelt; de ligging van dit raakpunt bepaalt de vullingstijd.

Daar het raakpunt op zichzelf niet is waar te nemen, wordt gebruik gemaakt van een eigenschap van de parabool (de subtangens is de helft van de ordinaat) om het tijdstip van geheel vol zijn te bepalen (fig. 5).

De vullingstijd van de schutkolk bij een bozempeil (B.P.) van N.A.P. en een polderpeil (P.P.) van 5,50 m — N.A.P. bedraagt:

Heftijd der schuiven: Vullingstijd schutkolk:

	0 sec.	5 min. 54 sec.
1 min. 27 "	"	6 " 37 "
2 " 53 "	"	7 " 21 "
4 " 19 "	"	8 " 8 "

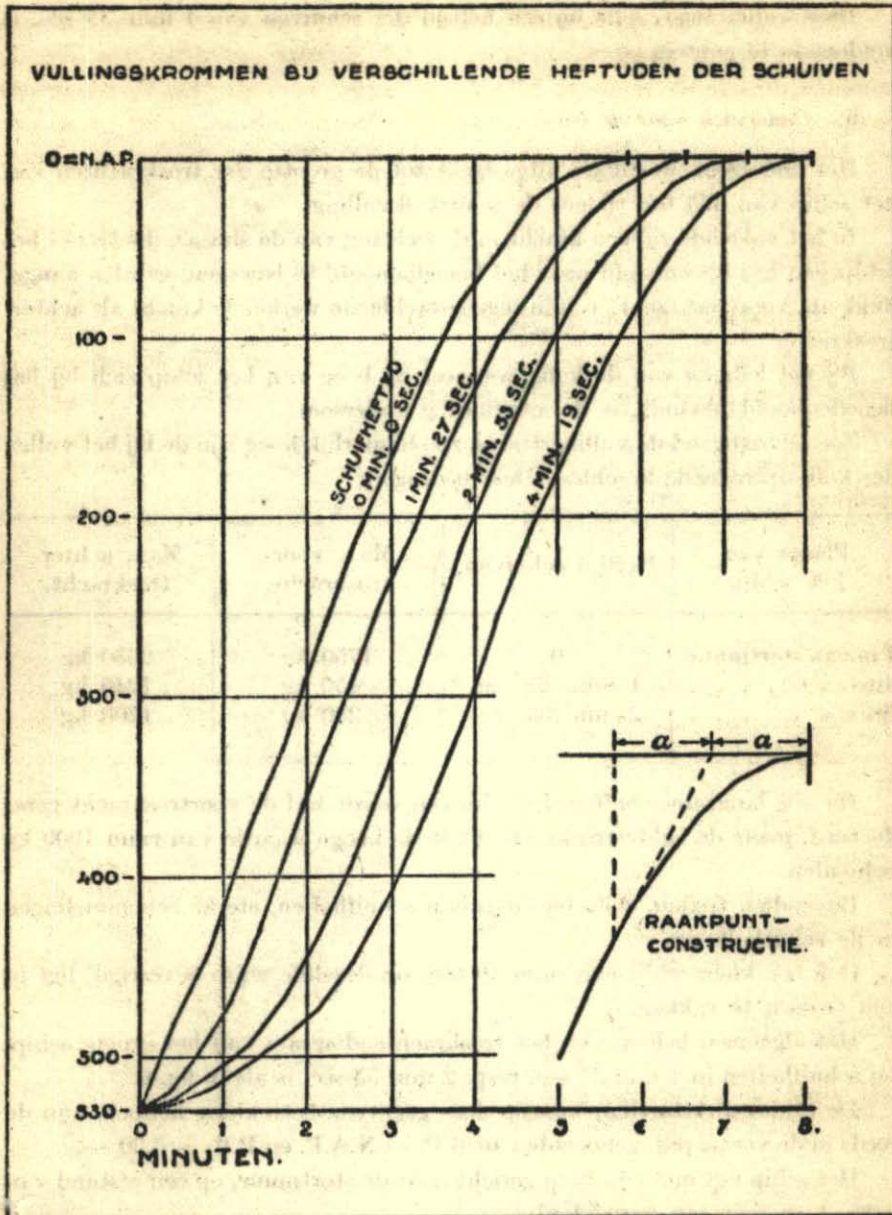


Fig. 5.

Deze vullingstijd, zelfs bij een heftijd der schuiven van 4 min. 19 sec. is voldoende te achten.

6. *Onderzoek naar de troskrachten.*

Het onderzoek wordt nu uitgestrekt tot de grootte der troskrachten van het schip van 335 ton tijdens de schutkolkvulling.

In het volgende zal een kracht in de richting van de sluisas, die tracht het schip van het bovenhoofd naar het benedenhoofd te bewegen, worden aangeduid als voortroskracht; een in tegengestelde zin werkende kracht als achtertroskracht.

Bij het ledigen van de kolk, wanneer de boeg van het schip zich bij het benedenhoofd bevindt, is de aanduiding andersom.

Zoo bevredigend de vullingstijd is, zoo hinderlijk hoog zijn de bij het vullen der kolk optredende krachten. Deze bedragen:

Plaats van het schip.	Heftijd schuiven.	Max. voortroskracht.	Max. achtertroskracht.
1 m van stortmuur	0	1750 kg	2550 kg
dito	1 min. 27 sec.	450 kg	1240 kg
dito	2 min. 53 sec.	240 kg	1200 kg

Bij nog langzamer heffen der schuiven wordt wel de voortroskracht gereduceerd, maar de achtertroskracht blijft de hooge waarde van ruim 1000 kg behouden.

Bovendien treden, zelfs bij langzaam schuifheffen, sterke schommelingen in de schutkolk op.

Ook een klein schip van ruim 40 ton, op dezelfde wijze bevestigd, ligt in zijn trossen te rukken.

Het algemeen beloop van het troskrachtendiagram van het groote schip, bij schuifheffen in 1 min 27 sec, resp. 2 min 53 sec, is als in fig. 6.

De beginwaterstanden, waarop deze gegevens betrekking hebben, zijn de reeds in de vorige par. genoemde van B.P. = N.A.P. en P.P. = 5,30 —.

Het schip ligt met zijn boeg gericht naar de stortmuur, op een afstand van ruim 1 m daarvan verwijderd.

Het in deze diagrammen aangegeven verloop van de troskrachten is typeerend voor alle onderzochte toestanden.

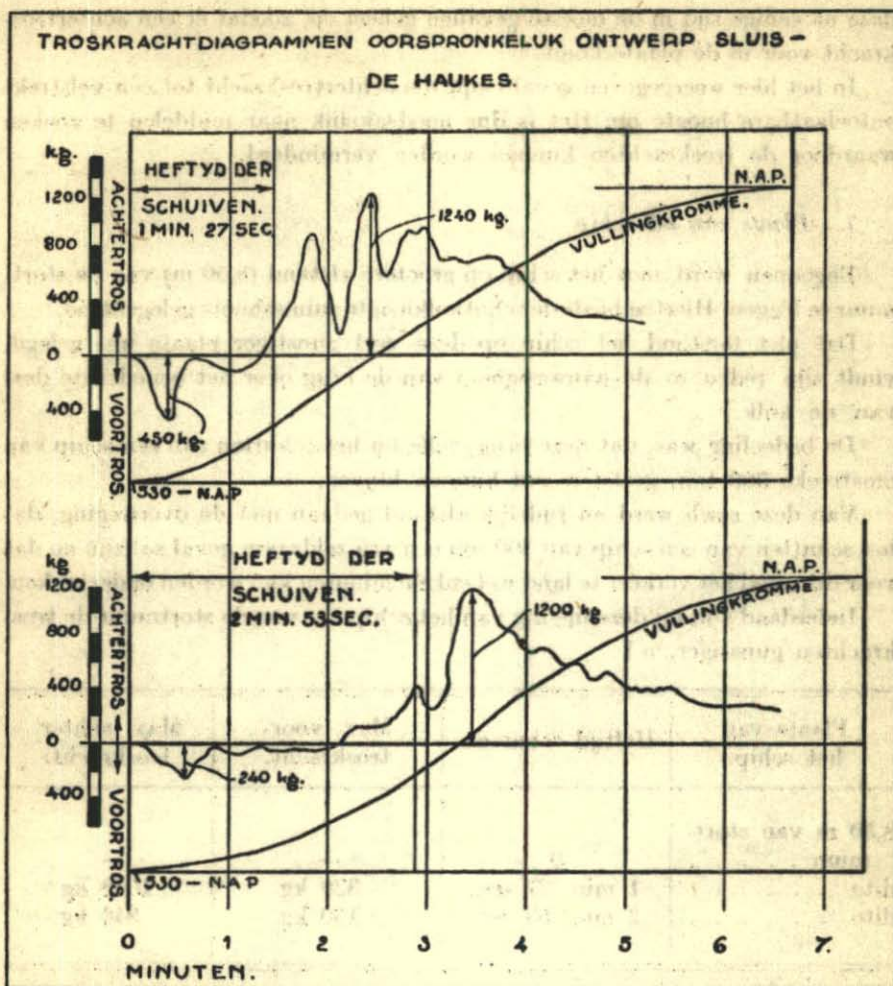


Fig. 6.

Steeds treedt dadelijk, nadat met schuifheffen is begonnen, een voortroskracht op, die des te grooter is, naarmate de schuiven sneller worden geheven.

Later gaat het water, dat onder het schip en tusschen schip en kolk-muren door stroomt, een rol spelen. Dit water wordt door de deuren in het benedenhoofd min of meer opgestuwd, waardoor ook een kracht van beneden naar bovenhoofd optreedt. Deze kracht vermindert de voortroskracht en heft

deze na eenige tijd in de meeste gevallen geheel op, zoodat er een achtertroskracht voor in de plaats komt.

In het hier weergegeven geval loopt die achtertroskracht tot een volstrekt ontoelaatbare hoogte op. Het is dus noodzakelijk naar middelen te zoeken waardoor de troskrachten kunnen worden verminderd.

7. *Plaats van het schip.*

Begonnen werd met het schip op grotere afstand (8,50 m) van de stortmuur te leggen. Hiertoe biedt de schutkolklengte ruimschoots gelegenheid.

Dat niet terstond het schip op deze veel gunstiger plaats was gelegd, vindt zijn reden in de aanwezigheid van de brug over het benedenste deel van de kolk.

De bedoeling was, dat deze brug, zelfs bij het schutten van een schip van omstreeks 300 ton, gesloten zou kunnen blijven.

Van deze eisch werd nu tijdelijk afstand gedaan met de overweging, dat het schutten van een schip van 300 ton een vrij zeldzaam geval zal zijn en dat voor dit geval het verkeer te land wel enkele minuten kan worden onderbroken.

Inderdaad zijn bij deze ligging van het schip ver van de stortmuur de troskrachten gunstiger, n.l.:

Plaats van het schip.	Heftijd schuiven.	Max. voortroskracht.	Max. achtertroskracht.
8,50 m van stortmuur	0	—	—
ditto	1 min. 27 sec.	320 kg	1010 kg
ditto	2 min. 53 sec.	150 kg	940 kg

De achtertroskrachten zijn echter nog veel te groot.

Overgegaan moest dus worden tot wijziging der constructie, waardoor het water de kolk binnentreedt.

Voorloopig werd genoeg genomen met een ligging van het schip op 8,50 m afstand van de stortmuur. De troskrachtenwaarden bij deze eerste, in par. 8 te vermelden, verbouwingen hebben dan ook op deze ligging van het schip betrekking. Daar voldoende verlaging der troskrachten voorloopig niet lukte, is er bij deze verbouwingen zelfs van afgezien de troskrachten bij ligging van het schip op 1 m afstand van de stortmuur nauwkeurig op te nemen.

Eerst toen voldoende verbetering door verbouwing was verkregen, kwam de eisch, dat het schip bij schutting vrij van de brug moet liggen, weer naar voren, en vanaf dat oogenblik zijn weer nauwkeurige en volledige troskrachtmetingen bij ligging van het schip op 1 m van de stortmuur gedaan, die dan ook in de negende en volgende paragrafen worden gegeven.

8. Eerste pogingen tot verbetering.

Achtereenvolgens zullen nu de verschillende uitgevoerde verbouwingen, die ten doel hadden de troskrachten te verminderen de revue passeeren, waarbij de cijfers der troskrachten, zooals reeds ten deele gezegd is, betrekking hebben op het schip van 335 ton, liggende in de kolk op 8,50 m afstand van de stortmuur, vulling van de schutkolk bij een heftijd der schuiven van rond anderhalve minuut (1 min 27 sec), B.P. = N.A.P. en P.P. = 5,30 m — N.A.P.

A. De eerste wijziging in de toestrooming van het water in de kolk werd

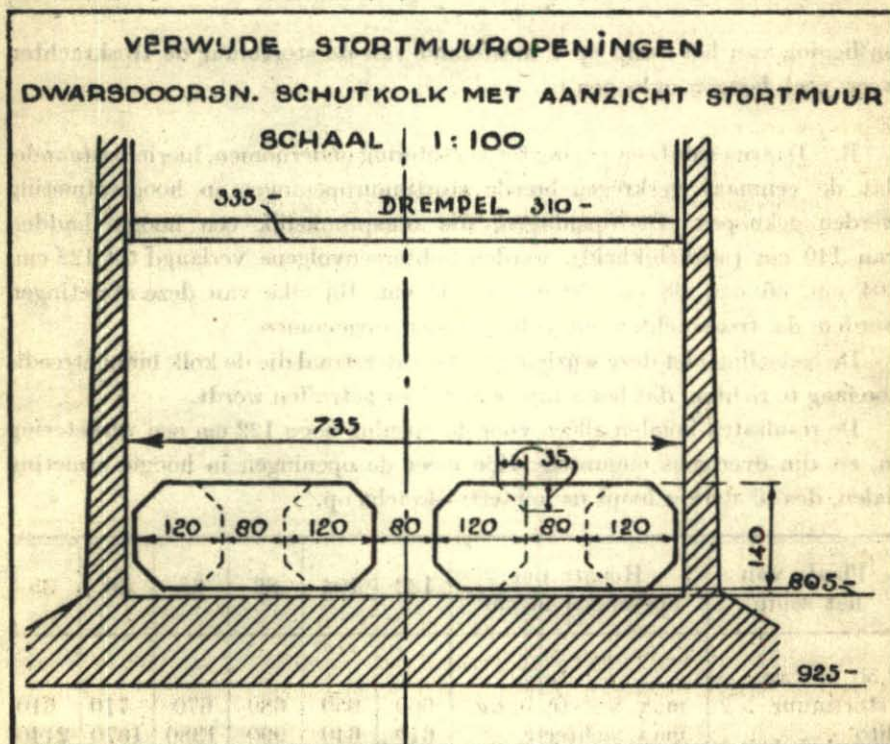


Fig. 7.

gebracht door de openingen in de stortmuur, die betrekkelijk nauw en klein waren, te verruimen. De verruiming werd verkregen door de dam tusschen telkens twee openingen te doen vervallen, een verbouwing die in het houten model al zeer eenvoudig was tot stand te brengen.

De bedoeling van deze wijziging is, de snelheid van het binnenstroomende water te verkleinen.

De resultaten, hiermee bereikt, zijn de volgende. De maximum achtertroskracht wordt verminderd, maar de maximum voortroskracht stijgt, terwijl

Plaats van het schip.	Heftijd schuiven.	Max. voortroskracht.	Max. achtertroskracht.
8,50 m van stortmuur	1 min. 27 sec.	750 kg	700 kg

bij ligging van het schip op 1 m afstand van de stortmuur de troskrachten weer veel hooger oploopen.

B. Daarna werd een poging tot verbetering ondernomen, hierin bestaande, dat de eenmaal verkregen breede stortmuuropeningen in hoogteafmeting werden geknepen. De openingen, die oorspronkelijk een hoogte hadden van 140 cm (werkelijkheid), werden achtereenvolgens verlaagd tot 122 cm, 104 cm, 86 cm, 68 cm, 50 cm, en 35 cm. Bij elke van deze afmetingen werden de troskrachten en vullingstijden opgenomen.

De bedoeling met deze wijziging is, de waterstraal die de kolk binnentreedt, zoo laag te richten, dat het schip er niet door getroffen wordt.

De resultaten houden alleen voor de opening hoog 122 cm een verbetering in, en zijn overigens ongunstig. Hoe meer de openingen in hoogte-afmeting dalen, des te sterker loopt de achtertroskracht op.

Plaats van het schip.	Hoogte der openingen in cm.	122	104	86	68	50	35
8,50 m van stortmuur dito	max. voortr. in kg.	660	950	680	670	710	610
	max. achtertr.	610	640	990	1380	1670	2140

De vullingstijd lijdt onder deze vernauwing der stortmuuropeningen al zeer weinig. Dit is begrijpelijk, waar de schuifopeningen aan het bovenpand hoog boven de caissons liggen. Zij werken gedurende verreweg het grootste deel der vulling als volkomen overlaat. Hun waterafvoer ondervindt geen invloed van wat ver beneden hen gebeurt.

Eerst wanneer de hoogte der stortmuuropeningen tot 50 cm wordt gereduceerd, valt een verlenging der vullingstijd te constateeren.

Hoogte der openingen in cm.	122	104	86	68	50	35	25
gemeten vullingstijd	6 min 37 sec	6 min 54 sec	6 min 59 sec	6 min 46 sec	6 min 59 sec	8 min 40 sec	10 min 8 sec

C. De volgende wijziging bestaat hierin, dat het schot in de caisson-ruimte, dat het dichtst bij de stortmuur is geplaatst (in het vervolg aangeduid met de benaming „voorste schot”), in de verbouwing wordt betrokken.

De openingen in dit schot liggen nl. in het oorspronkelijke ontwerp lager dan die in de stortmuur, ten gevolge waarvan de waterstraal bij het binnentreden van de schutkolk een opwaartsche componente heeft. Deze openingen in het voorste schot worden nu op gelijke hoogte gebracht met die in de stortmuur en van dezelfde breedte gemaakt als deze (fig. 8).

De bedoeling is weer, de waterstraal meer onder het schip te doen doorschieten.

Het effect is ongunstig. De achtertrokkracht wordt verhoogd.

Plaats van het schip.	Heftijd schuiven.	Max. voortrokskracht.	Max. achtertrokskracht.
8,50 m van stortmuur	1 min. 27 sec.	420 kg	1390 kg

D. Verder is een verbouwing uitgevoerd, ten doel hebbende het water door de zijcompartimenten van de caissonruimte naar de schutkolk te leiden, in plaats van door de middencompartimenten.

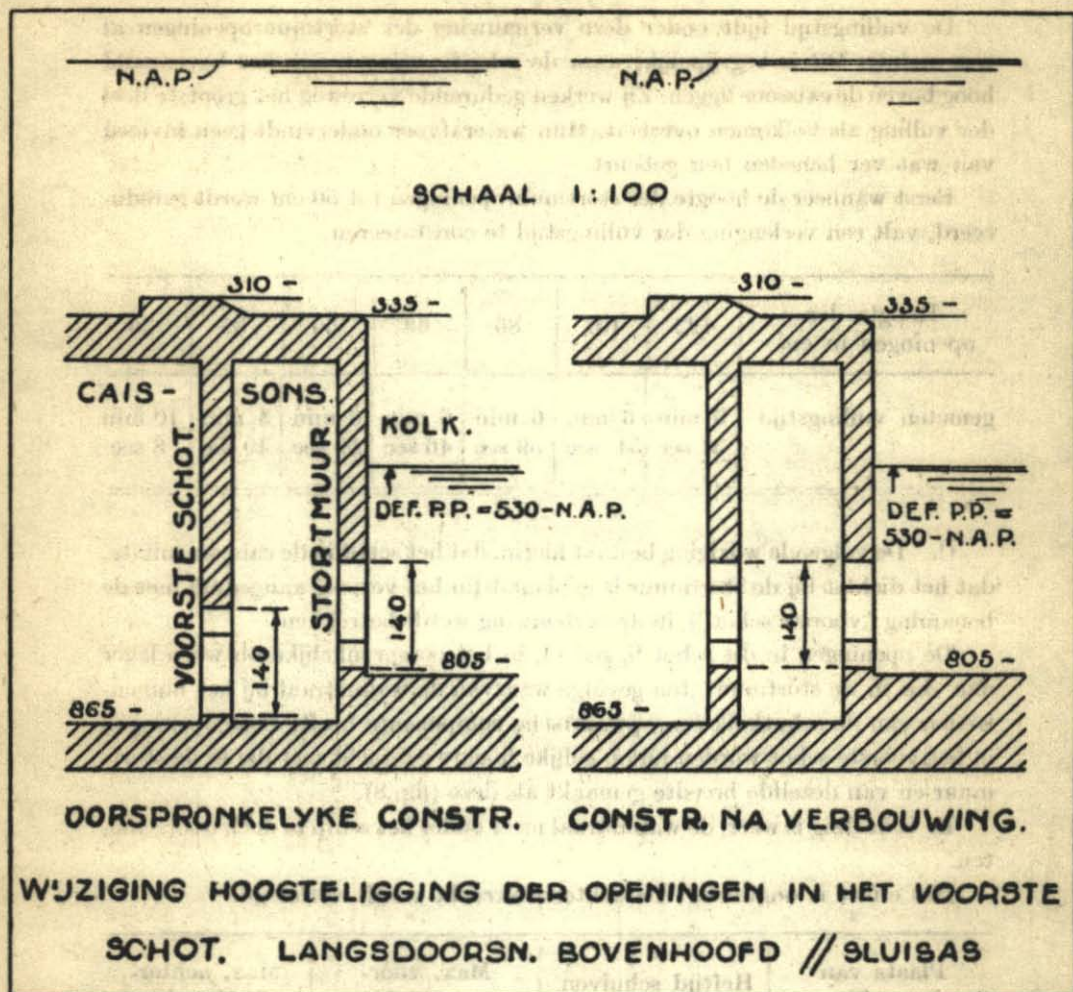


Fig. 8.

De openingen, toegang gevende tot de middencompartimenten, worden gedicht; in de opeenvolgende schotten in de zijcompartimenten werden openingen aangebracht. De stortmuur wordt weggenomen. Het „voorste schot”, nu zonder openingen, vormt hierbij de afscheiding tusschen schutkolk en middencompartimenten (fig. 9).

De bedoeling is, de twee waterstroomen, die door de schuifopeningen vloeien, tot het eind toe gescheiden te houden en bij het binnentreden der

schutkolk centraal te doen botsen om een energievernietiging van het toestroomende water te verkrijgen, ongeveer zooals bij de nieuwe schutsluis te IJmuiden wordt toegepast.

De botsing der beide waterstralen vindt plaats in het compartiment, dat door het wegnemen van de stortmuur bij de schutkolk is getrokken en onder de drempel van het bovenhoofd is gelegen. De openingen I en II strekken zich uit over de volle hoogte van bodem schutkolk tot drempel bovenhoofd.

De gewenschte groote verbetering blijft intusschen uit. Wel valt vermindering der maximum achtertroskracht te constateeren, maar de voortroskracht loopt hooger op.

Plaats van het schip.	Heftijd schuiven.	Max. voortroskracht.	Max. achtertroskracht.
8,50 m van stortmuur	1 min. 27 sec.	910 kg	680 kg

Dit effect wordt nog vergroot, indien het schip op 1 m afstand van de plaats van de (voormalige) stortmuur wordt gelegd.

E. Daarna is nog een oplossing onderzocht, waarbij de onderlinge botsing der waterstralen plaats vindt zoo ver mogelijk van het schip af, in het verat van de schutkolk gelegen compartiment. De stortmuur en de schotten in de middencompartimenten zijn hierbij alle weggenomen en deze geheele ruimte als het ware bij de schutkolk getrokken.

Het water treedt nu door de eigenlijke kolk door een zeer ruime en hooge opening vrij rustig binnen, waardoor de troskrachten iets minder hoog oploopen.

Plaats van het schip.	Heftijd schuiven.	Max. voortroskracht.	Max. achtertroskracht.
8,50 m van stortmuur	1 min. 27 sec.	520 kg	650 kg

Constructieve redenen verzetten zich echter tegen de uitvoering van deze oplossing in het bouwwerk.

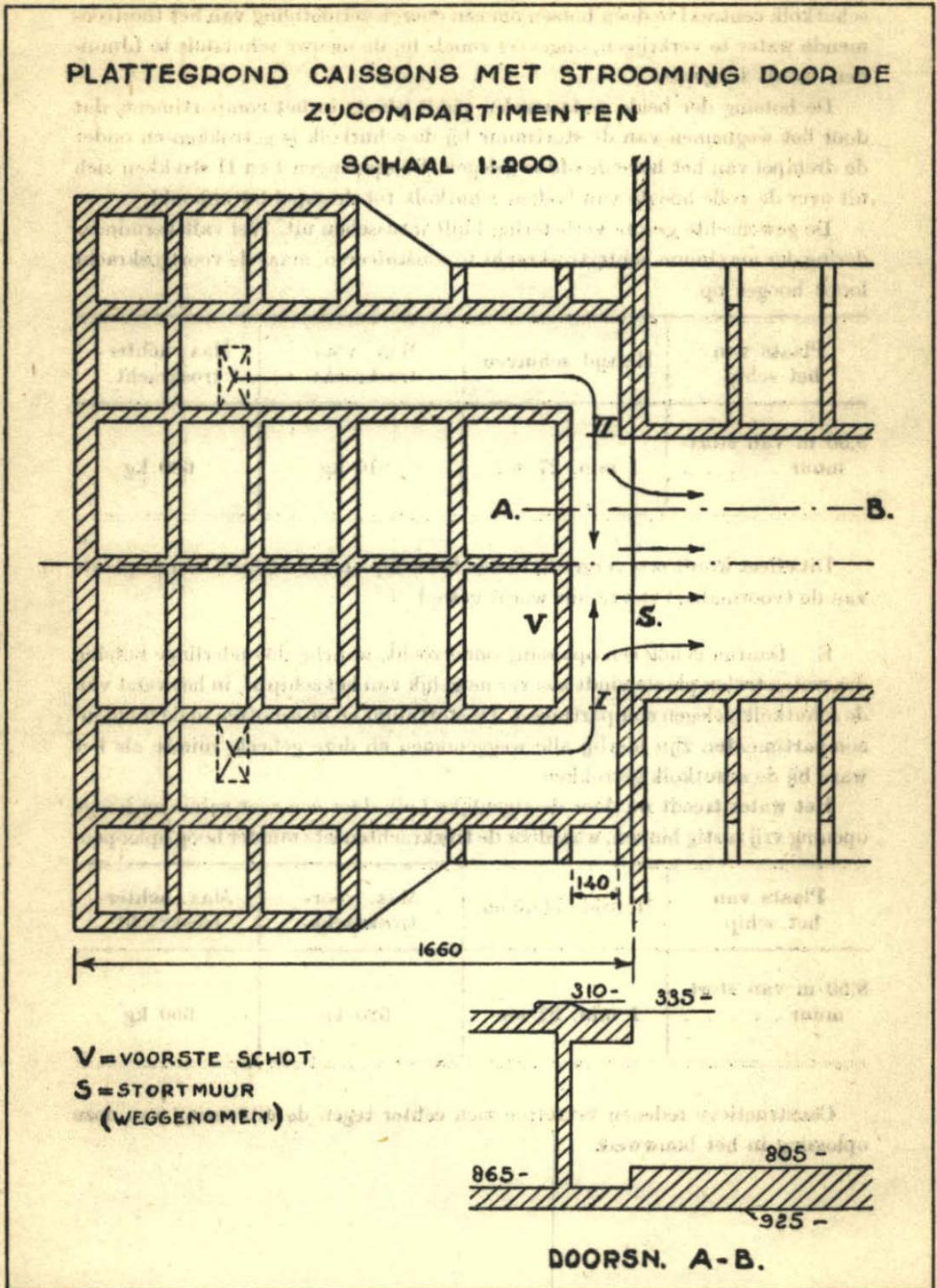


Fig. 9.

F. Eindelijk is nog een poging tot verbetering gedaan, door de oorspronkelijke constructie weer in te bouwen met alleen deze wijziging, dat de stortmuur met laaggelegen openingen vervangen wordt door een muur met hooggelegen openingen in de vorm van een hoog schot, waaroverheen het water de schutkolk binnenstroomt (fig. 10).

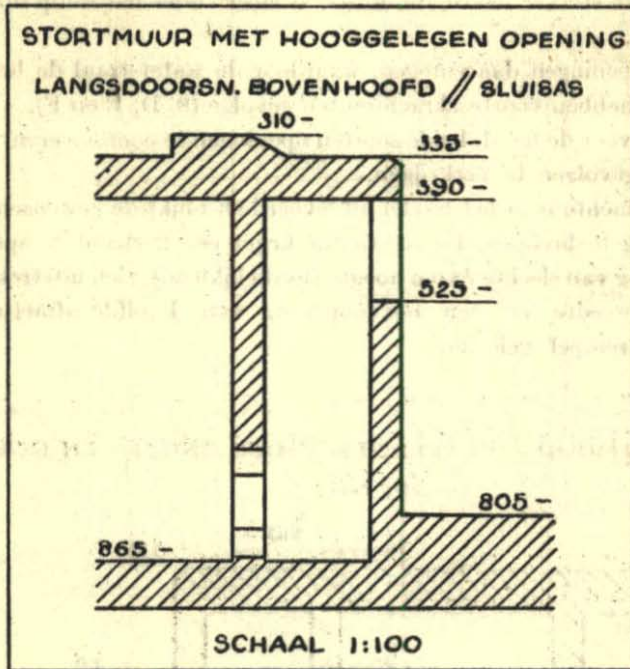


Fig. 10.

De bedoeling is hier, de volle straal op de boeg van 't schip te richten om de achtertrokkracht te verminderen.

Het resultaat is:

Plaats van het schip.	Heftijd schuiven.	Max. voortrokkracht.	Max. achtertrokkracht.
8,50 m van stortmuur	1 min. 27 sec.	130 tot 520 kg	470 kg

Van deze oplossing zijn nog eenige varianten beproefd; deze gaven geen beter resultaat.

9. Inloop door hoog- en laaggelegen openingen.

Uit de pogingen, in de vorige par. beschreven, valt het volgende te concluderen.

Laaggelegen openingen in de stortmuur gaan samen met een sterke achtertrokkracht, te sterker naarmate de straal meer onder het schip doorschiet (8, A, B en C).

Hooge openingen daarentegen, waardoor de waterstraal de boeg van het schip treft, hebben voortrokskrachten ten gevolge (8, D, E en F).

Het ligt voor de hand, beide soorten openingen te combineren, om neutralisatie der gevolgen te verkrijgen.

Deze gedachte is in het model uitgevoerd en blijkt de gewenschte verbetering te weeg te brengen. De stortmuur krijgt een horizontale spleetvormige onderopening van slechts 28 cm hoogte (werkelijkheid), zich uitstrekkende over de volle breedte en een bovenopening van dezelfde afmetingen dicht onder de drempel gelegen.

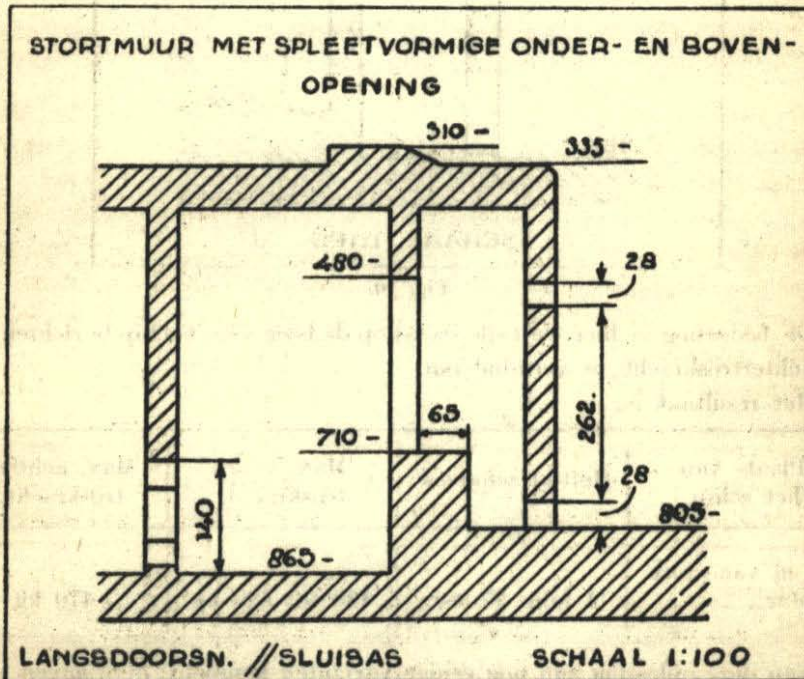


Fig. 11.

Uit de onderopening schiet een straal langs de bodem der schutkolk waarboven zich een oppervlakte neer (Duitsch: Deckwalze) tracht te vormen. De bovenopening laat een straal door, die juist een bodemneer („Grundwalze”) ten gevolge zou hebben. Beide neeren werken elkaar tegen, daar hun draaiingszin tegengesteld is en het resultaat is dat geen van beide tot ontwikkeling komt en er betrekkelijke rust heerscht.

De maximum troskrachten bedragen:

Plaats van het schip.	Heftijd schuiven.	Hoogte der spleten.	Max. voortroskracht.	Max. achtertroskracht.
8,50 m van stortmuur .	1 min 27 sec	s = 28 cm s ₁ = 28 cm;	250 kg	230 kg
dito	1 min 27 sec	s = 37 cm s ₁ = 28 cm;	230 kg	250 kg

s is de hoogte (fig. 11) van de onderopening;

s₁ die van de bovenopening.

Men houde in het oog, dat dit geldt voor ligging van het schip op 8,50 m afstand van de stortmuur, de ligging, waarop ook de troskrachtcijfers van par. 8 betrekking hebben. De schuifheftijd is, als tot dusver, 1 min 27 sec.

Het resultaat blijft gunstig, wanneer het schip op slechts één m afstand van de stortmuur wordt gelegd, mits de stortmuuropeningen wat ruimer worden gekozen. De juiste afmetingen der openingen zijn bepaald door series van metingen te doen, waarbij telkens één afmeting wordt gevarieerd en de overige constant gehouden.

De maximum-troskrachten bedragen bij deze ligging van het schip, B.P. = N.A.P. en P.P. = 5,30 m — N.A.P.:

Plaats van het schip.	Heftijd der schuiven.	Hoogte der spleten.	Max. voortroskracht.	Max. achtertroskracht.
1 m van stortmuur . . .	1 min 27 sec	s = 56 cm s ₁ = 75 cm	340 kg	420 kg
dito	2 min 53 sec	dito	165 kg	390 kg

Daar bij een heftijd der schuiven van rond 3 minuten (2 min 53 sec) de kolkvulling voldoende snel gaat, wordt deze heftijd aangehouden.

Vermeld moet nog worden, dat de gunstige werking van een inloopconstructie met onder- en bovenopening (hoewel op vele punten afwijkende) reeds eerder was gevonden bij modelproeven in de Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau te Berlijn gedaan ten behoeve van de sluisen in het Wesel—Dattelnkanaal.

Deze proeven zijn beschreven door BOCK en NATERMANN in „Die Bau-technik” van 23 Maart 1928; een uittreksel is opgenomen in „De Ingenieur” van 1 September van dat jaar.

10. *Voortroskracht-type en achtertroskracht-type.*

Een stap verder wordt nu gedaan met de waarneming, dat door een kleine wijziging in de verhouding van onder- tot bovenopening een type verkregen kan worden waarbij alleen voortroskracht optreedt (grootere bovenopening) en door een wijziging naar de andere kant een type waarbij, afgezien van de eerste oogenblikken, uitsluitend achtertroskrachten voorkomen (grootere benedenopening).

Dadelijk nadat het feit aan de opdrachtgevers, met wie voortdurend contact werd onderhouden, was medegedeeld, werd door deze een voorkeur uitgesproken, en wel in die zin dat voor de sluisen te De Haukes en te Kolhorn gekozen werd het achtertroskracht-type, terwijl voor de sluis te Den Oever prijs werd gesteld op het voortroskracht-type of een neutraal type.

De keuze hangt samen met de wijze van meren van het schip in de kolk en deze houdt weer verband met de plaats van de brug (par. 7).

Inderdaad is het gelukt aan de uiteenlopende wenschen te voldoen. Echter brengen deze in zooverre een verzwaring van de taak mee, dat nu niet meer kan volstaan worden met het zoo laag mogelijk houden der troskrachten. Het voortros-type eischt, dat geen achtertroskracht hoegenaamd mag optreden (het schip moet alleen op zijn voortrossen te houden zijn); het achtertros-type het omgekeerde. Een kleine schommeling in het water in de kolk, waardoor even de nullijn in het troskrachtendiagram wordt overschreden, is ontoelaatbaar. Dergelijke schommelingen treden geregeld op. Zij geven wel op zichzelf geen groote krachten, maar maken dat de kracht van richting omkeert.

Een opzettelijk onderzoek naar de oorzaak van de grootste dezer schommelingen is daarom ingesteld.

11. *Storingen door luchtbellen.*

Allereerst zijn de slingeringen in verband gebracht met het waarnemen van groote luchtbellen. Deze doen zich voor gedurende het grootste deel van de vullingsperiode en wel op twee plaatsen. Ten eerste komen nu en dan met het binnenstroomende water groote hoeveelheden lucht in de schutkolk, en verder komt ook het oppervlak achter de schuiven boven de valschachten telkenmale in hevige beroering door luchtbellen.

De oorzaak moet worden gezocht in het luchtkussen, dat is opgesloten in de compartimenten van de caisson onder het bovenhoofd. De verbindingen tusschen die compartimenten (fig. 1) bevinden zich geheel en al onder water, zoodat er afgesloten ruimten bestaan, waarin zich lucht kan verzamelen. In hoeverre dit in werkelijkheid het geval zal zijn is niet uit te maken. Veel hangt af van het luchtgehalte van het water en ook van de dichtheid van de betonconstructie. Wanneer de caissonruimte geheel met water is gevuld dan zal er onderdruk heerschen zoo lang de schutkolk met het polderwater gemeen ligt. zoodat het ontstaan van luchtkussens vooral bij het lang voortduren van deze toestand, niet onwaarschijnlijk is.

Bovendien zal gedurende de vulling door het schutwater lucht worden meegezogen door de valschachten, welk verschijnsel zich in het model in sterke mate voordeed.

In het model is het luchtkussen steeds aanwezig geweest, mede in verband met het feit dat de caissonruimte niet hermetisch was afgedicht.

Het verzamelen van lucht zou zijn te verminderen door de ruimte tusschen schuif en valschacht geheel als riool uit te voeren.

In het model is echter een ander middel toegepast: de bovenkant der caissonruimte is door middel van standpijpen in verbinding gebracht met de buitenlucht.

Inderdaad heeft deze maatregel tengevolge dat de luchtbellen in de schutkolk niet meer voorkomen en dit heeft een gunstige invloed op de rust in de kolk. De troskrachtdiagrammen van fig. 12, die resp. met gesloten en open standpijpen zijn opgenomen, doen dit duidelijk zien.

Toch is het onderste diagram nog niet fraai. Wel zijn de slingeringen, die bij gesloten standpijp nog in het eind van de vulling groote achtertroskrachten geven, verdwenen, maar de storing in de derde minuut is meer geprononceerd geworden.

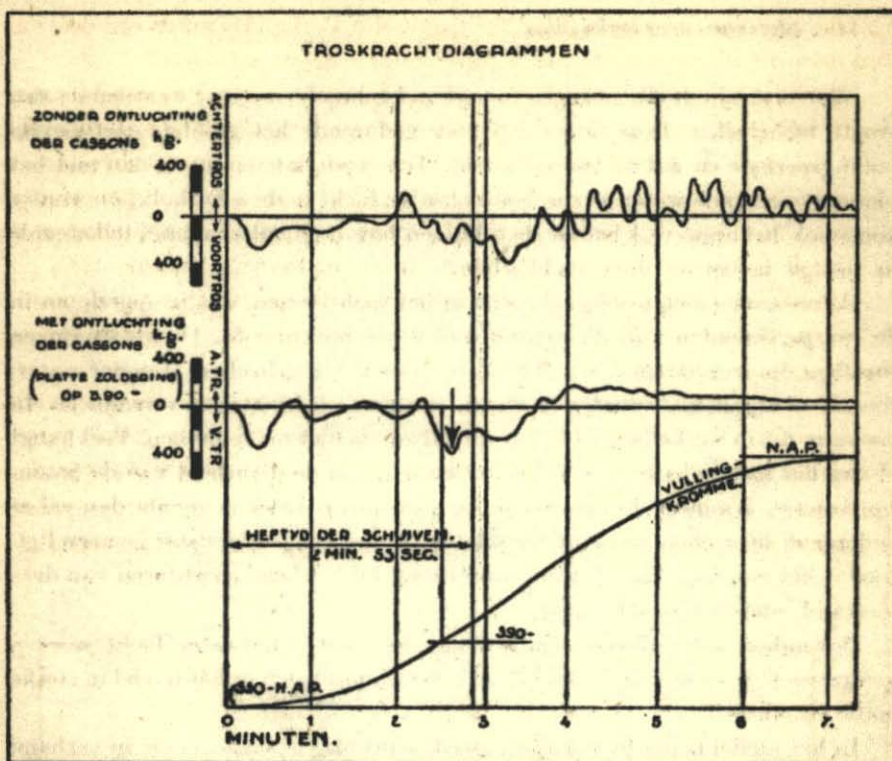


Fig. 12.

12. Waterberging onder het bovenhoofd.

Systematische waarneming leidde ertoe, vast te stellen, dat de sterkste schommeling een aanvang neemt, zoodra de waterstand in de kolk een bepaald peil heeft bereikt. Onverschillig of de schuiven langzaam of snel geheven worden, en onverschillig of de vulling begonnen wordt bij een hoogere of lagere stand van het benedenwater, bij het passeeren van dat peil in de schutkolk krijgt het water een stoot.

De oorzaak van deze evenwichtsverstoring bleek te liggen in de waterberging van de caissonconstructie van het bovenhoofd. Het water valt uit de korte inlaatopeningen bij het bovenpand door een schacht in de caissonruimte, doorloopt deze ruimte en treedt, zooals uit fig. 1 blijkt, eerst daarna de schutkolk binnen.

Zoolang de waterspiegel in de schutkolk lager staat dan het niveau van de

„zoldering” van de caisson, dus 390 cm — N.A.P. (fig. 1), wordt een deel van het door de schuiven gestroomde water in de caisson geborgen.

Daar het oppervlak van dat gedeelte van caisson, waartoe het water toegang heeft, vrij groot is, namelijk 28% van dat van de schutkolk, is de waterhoeveelheid die door de stortmuur in de schutkolk treedt aanzienlijk kleiner dan die door de schuiven gaat. De verhouding is 1: 1,28. Is het peil van 390 eenmaal bereikt, dan bergt de caisson geen water meer en stijgt de instrooming in de schutkolk in zeer korte tijd tot 1,28 maal de oorspronkelijke waarde.

De schuiven zijn op een zoo hoog peil gelegen dat de wijziging van de waterbeweging beneden in de caisson in dit stadium van de vulling nog geen invloed heeft op hun vermogen.

Het verloop van de stroomsterkte door de openingen van de stortmuur, voorgesteld in fig. 13, vertoont dus een plotselinge toename, waardoor de waterbeweging in de schutkolk onrustig wordt en de groote troskrachten optreden.

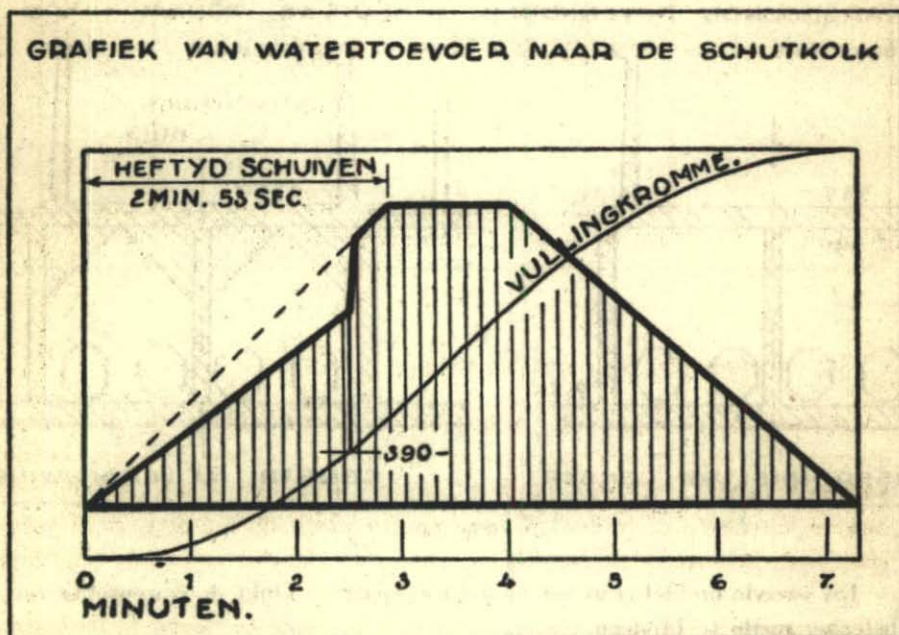


Fig. 13.

Het voordeel van continu toenemen van de in de schutkolk tredende stroom, dat wordt bereikt door het geleidelijk heffen der schuiven (par. 14), gaat dus verloren.

Het peil waarop de storing optreedt is inderdaad 390 cm — N.A.P., zooals blijkt uit het onderste troskrachtendiagram van fig. 12. Na de betrekkelijk groote vóortroskracht in het begin komt een zeer rustige periode, die eindigt wanneer het water tot het peil van de „zoldering” is gerezen. Dan treedt de storing op.

Een voor de hand liggend middel om het gebrek, in deze paragraaf vermeld, te verhelpen, zou zijn het doorvoeren van riolen door de caissonruimte, waardoor het water tot deze ruimten geen toegang heeft.

Een ander middel bestaat in het vervangen van den platten vorm der caisson-zoldering door den dakvorm, samengaande met luchting der caissons (fig. 14). De discontinuïteit, gelegen in het op eenmaal eindigen van de waterberging, is dan veranderd in een geleidelijke overgang.

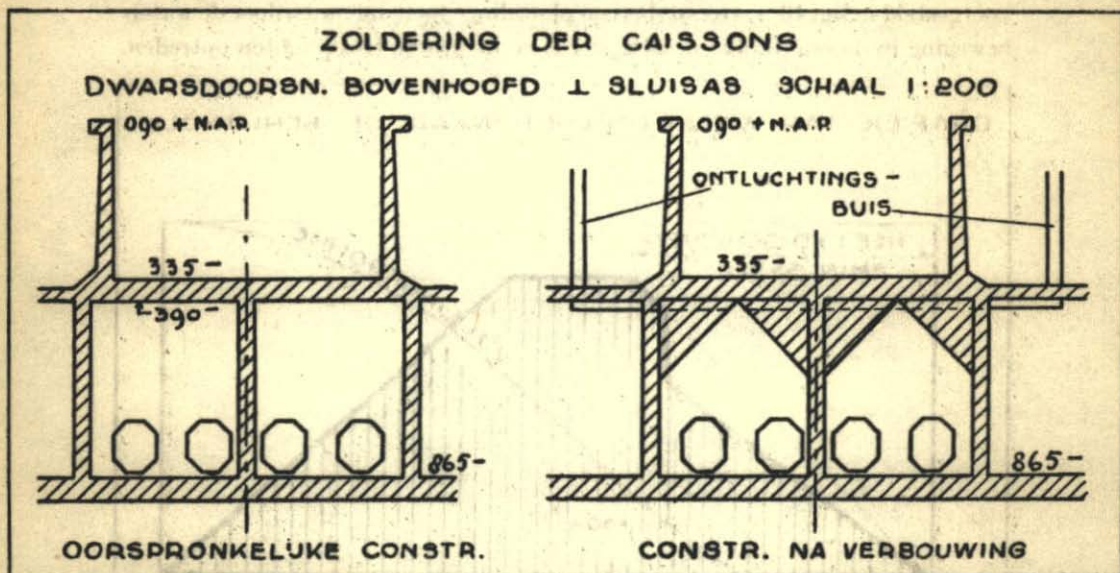


Fig. 14.

Dit tweede middel is in het model toegepast en blijkt de gewenschte verbetering mede te brengen.

Ten overvloede is vóór het aanbrengen van deze verbetering nog nagegaan, of de plotselinge vermeerdering van toevoer van water naar de schutkolk bij botsen van de waterspiegel tegen de zoldering ook uit de vullingskromme zou blijken. Deze laatste moet immers, zoodra het peil der zoldering bereikt is, 28% sneller gaan stijgen.

Opgenomen werden tot dit doel vier vullingskrommen, begonnen bij een zeer laag peil in de kolk, omdat anders het onderste gedeelte van de vullingslijn niet voldoende ontwikkeld is. De knik is goed te zien, zooals blijkt uit fig. 15, waarin het gemiddelde van de vier lijnen is weergegeven. De plaats van de knik komt overeen met het kritieke peil, terwijl $\text{tg } \alpha_2 : \text{tg } \alpha_1 = 1,28 : 1$, zoodat de vermeerdering van de stijgsnelheid overeenkomt met de verhouding der oppervlakken van caisson en kolk.

Het is duidelijk waarom de storing minder sterk is wanneer de standpijpen zijn gesloten (bovenste diagram van fig. 12). Dan neemt door het comprimeeren van het luchtkussen het waterbergend vermogen van de caissonruimte meer geleidelijk af: de schok wordt eenigszins opgevangen. De schommelingen, die

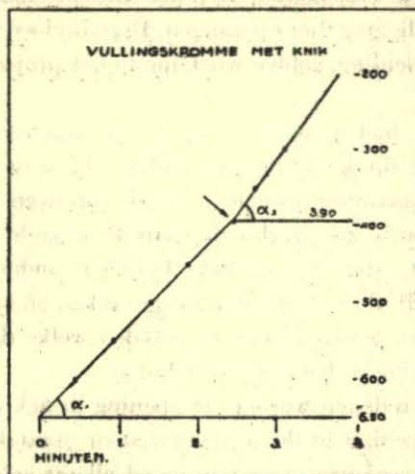


Fig. 15.

in dit geval reeds beginnen vóór het bereiken van het peil van 390 cm — N.A.P., zullen meer worden veroorzaakt door het ontwijken en ontspannen van bellen samengeperste lucht (par. 11), dan door het plotseling versterken van de waterstroom door de openingen in de stortmuur.

13. Details.

A. *Gaten in drempel.* Een geringe discontinuïteit in de vulling van de schutkolk treedt op, wanneer het water zoo hoog gestegen is, dat de drempel begint onder te loopen. Het oppervlak van de kolk wordt dan vergroot met de ruimte boven de drempel tot aan de deuren van het bovenhoofd (circa 3% van de schutkolk-oppervlakte). Deze ruimte wordt in het oorspronkelijke ontwerp

via de schutkolk gevoed. Het schip, dat op 1 m afstand van de drempel ligt, ondervindt hiervan de gevolgen in de vorm van een beweging in de richting van de drempel, zoodra deze onderloopt (achtertroskracht).

Het verschijnsel zou zijn weg te nemen, door de drempel naar de schutkolk hellend te laten afloopen. Beter is geoordeeld, de drempel horizontaal te laten en er openingen in aan te brengen, juist voldoende om de ruimte er boven rechtstreeks uit de caissons, die er vlak onder liggen, te voeden. Deze openingen, vier in getal, beginnen eerst te werken, bij het peil, waarbij de drempel onderloopt. Hun afmetingen zijn 47×47 cm.

B. *Openingen in caissonchotten.* De invloed van de vorm in de afmetingen der openingen in de tusschenschotten der caissonconstructie is onderzocht, ook die van de hoogteligging dier openingen. Deze invloed bleek practisch nihil te zijn. Er is geen aanleiding, eenige wijziging in het project op dit punt aan te bevelen.

Een uitzondering hierop moet gemaakt worden voor de opening in het „voorste schot” (dat op den stortmuur volgt). Door deze opening wordt de waterstraal op de stortmuur gericht. Uit de proeven volgt, dat de plaats van de opening het beste zoo is, dat de eruit schietende straal de stortmuur vrijwel centraal treft, ongeveer midden tusschen onder- en bovenopening. De waterstroom wordt dan door de muur gebroken en splitst zich in tweeën.

Verder zijn proeven genomen, om te bepalen welke de gunstigste hoogte-afmeting van de opening in het voorste schot is.

Om constructieve redenen worden de opening in het voorste schot en ook de onder- en bovenopening in de stortmuur door staande dammetjes onderbroken en aldus elk vervangen door vier naast elkaar gelegen openingen. Het is gewenscht, dat deze onderbreking zoo klein mogelijk zij.

C. *Onderopening in stortmuur.* De onderopening in de stortmuur is gebleken zeer gevoelig te zijn voor afwijkingen van de juiste richting van de straal uit de opening in het voorste schot. Het komt soms voor, dat deze straal even schommelt en de onderopening in de stortmuur tijdelijk sterker voedt. Dadelijk heeft dit tot gevolg, dat de achtertroskracht van het schip hooger oploopt.

Het blijkt daarom gewenscht, de onderopening te beschermen door het aanbrengen van een verbrede voet aan het voorste schot (fig. 17, 22, 24), die aan de straal een geleiding biedt en het schommelen tegengaat. Experimenteel zijn weer de afmetingen van deze vernauwing bepaald, door te varieeren en uit de serie die vernauwing te kiezen welke de gunstigste resultaten geeft.

D. *Bovenopening in stortmuur.* Indien de bovenopening in de stortmuur zeer hoog ligt, zal zij bij het begin van schutkolkvulling niet werken. Daar dit tot ongunstige troskrachten aanleiding geeft, is de onderkant der bovenopening gebonden aan een peil dat ongeveer met P.P. overeenkomt.

De bovenkant van de bovenopening wordt liefst zoo hoog mogelijk gehouden, om tegen het einde der vulling, als de waterstand in de kolk hoog is, een waterstraal te leveren, die niet onder het schip doorschiet. De dikte van de drempel (uit constructieve overwegingen) geeft hier de grens aan.

Zoo liggen onder- en bovenkant van de bovenopening vast.

De oppervlakte van de bovenopening wordt bepaald door de voorwaarde, dat zij tot die van de onderopening in een zekere verhouding moet staan, om een voortros-type (overwegende bovenopening) een achtertros-type (overwegende onderopening) of een neutraal type te verkrijgen. Het blijkt gewenscht de bovenopening door een horizontale balk in tweeën te verdeelen. Deze balk, die wordt uitgevoerd in de vorm van een blad van een jalouzie, bewerkt, dat de straal, die uit de bovenopening stroomt, de gewenschte, opwaartsche, richting verkrijgt. Zoodoende wordt tot het eind van de vulling de boeg van het schip rechtstreeks getroffen en een te groote achtertroskracht tegengewerkt.

Het spreekt vanzelf, dat de jalouziebalk vaststaande is gedacht. Voor de bepaling van zijn afmetingen, zooals trouwens ook bij de overige constructie-deelen, is het overleg met de opdrachtgevers maatgevend geweest.

De jalouziebalk is aanbevolen voor de sluizen te De Haukes (fig. 22 en 30), te Kolhorn (fig. 26) en te Den Oever (fig. 27 en 28).

E. *Helling van de stortmuur.* Dezelfde werking, nl. het water door de bovenopening schuin naar boven te richten, wordt bereikt door de stortmuur onder helling te stellen. In het model leverde dit gunstige resultaten. Constructief wordt dit verwezenlijkt door de schutkolkzijde van de stortmuur verticaal te laten en hem aan de caissonzijde een helling te geven.

De doorsnede van de stortmuur krijgt dan de vorm als is aangegeven in fig. 27.

14. *Invloed van boezem- en polderpeil en van hefsnelheid der schuiven op de troskrachten.*

De grootte der maximum troskrachten, tot nog toe vermeld, gelden voor B.P. = N.A.P. en P.P. = 5,30 m — N.A.P., het grootste verval waarbij met de Haukessluis nog geschut zal worden.

Een geringer sluisverval heeft ten gevolge verminderde troskrachten, zooals voor alle zekerheid nog proefondervindelijk is vastgesteld.

Als heftijd der schuiven is gekozen rond 3 min, sneller heffen is niet noodig. Op het verband tusschen de heftijd der schuiven en de grootte der maximum troskrachten is reeds gewezen in par. 6 in de tabel. Een reeks afzonderlijke metingen, om dit verband te onderzoeken, is nog gedaan bij een willekeurige constructie. De resultaten dezer metingen zijn:

Heftijd.	0	1½	3	4½	min
Max. voortroskracht . . .	2250	460	300	240	kg
Max. achtertroskracht . . .	1800	360	390	330	kg

De voortroskracht, waarvan het maximum dadelijk na het begin van het schuifheffen optreedt, blijkt met het toenemen van de heftijd te verminderen.

Dat dit met de achtertroskracht voor heftijden langer dan anderhalve minuut niet het geval is, vindt zijn oorzaak in de schommelingen, die optreden bij het bereiken van de zoldering van de caisson. Deze metingen zijn namelijk gedaan vóór deze zoldering was opgevuld (par. 12).

De door deze schommelingen veroorzaakte maximum achtertroskrachten zijn grooter, dan die, welke optreden bij het begin van de vulling.

Er is nog overwogen, proeven te nemen met de methode van „schuifheffen bij gedeelten”. De in par. 9 genoemde Deutsche onderzoekers verklaren, dat met deze methode zeer gunstige resultaten verkregen kunnen worden. De schuiven worden eerst langzaam tot een zekere hoogte geheven en, wanneer de kolk dan door de zwakke toestrooming gedeeltelijk is gevuld, worden daarna de schuiven volledig geopend en het volle doorstroombingsprofiel benut. Daar de troskrachten zonder deze toepassing door de aangebrachte verbeteringen reeds voldoende gunstig zijn, is er van afgezien deze methode, die een complicatie in de bediening van de sluis beteekent, toe te passen.

15. *Gunstigste troskrachten.*

Als toelaatbare grens voor de troskrachten is, evenals bij de metingen in de Versuchsanstalt te Berlijn, $\frac{1}{650}$ à $\frac{1}{750}$ van de waterverplaatsing van het

schip aangehouden. Bij een schip van 335 ton komt dit neer op toegelaten troskrachten van 450 tot 515 kg.

De maximum troskrachten, verkregen met toepassing van de bereikte verbeteringen gezamenlijk, zijn nog belangrijk kleiner, zooals blijkt uit de volgende tabel:

Constructie.	Ligging v. h. schip (335 t).	Heftijd der schuiven.	Max. voortroskracht.	Max. achtertroskracht.
Verbeterd . .	1 meter	2 min 53 s	120 kg	160 kg
Oorspronkelijk	id.	id.	240 kg	1200 kg

De achtertroskracht is dus door de aangebrachte wijzigingen tot minder dan een zevende deel van zijn oorspronkelijke waarde teruggebracht.

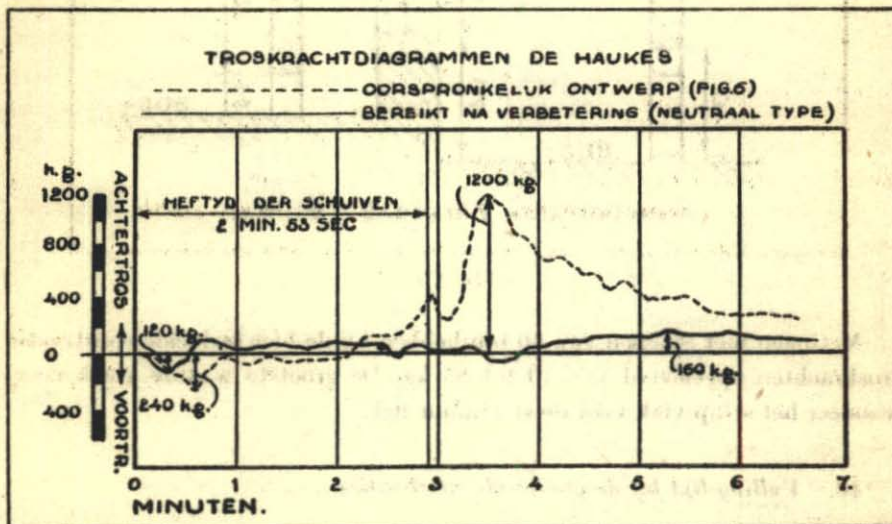


Fig. 16.

Fig. 16 bevat de voor beide constructies opgenomen diagrammen, terwijl in figuur 17 de vorm van de inloop, waarbij deze gunstige troskrachten zijn gemeten, is weergegeven.

Het type met deze allerlaagste troskrachten is een neutraal type, dus noch een uitgesproken voortros-, noch een uitgesproken achtertros-constructie.

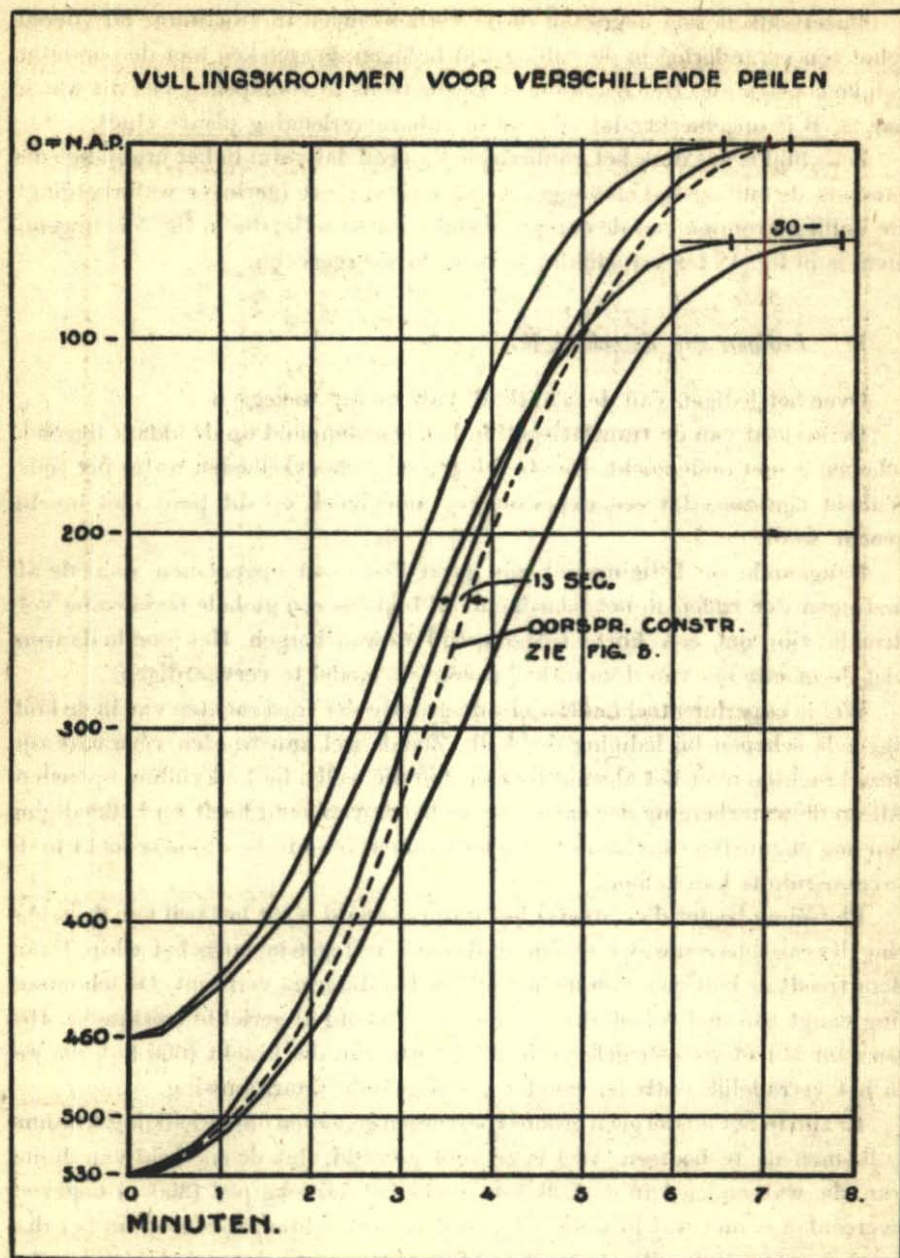


Fig. 18.

Opzettelijk is nog nagegaan of de verbouwingen in stortmuur en voorste schot een verandering in de vullingstijd brengen, vergeleken met de oorspronkelijke constructie. Het resultaat is, zooals reeds te voorspellen viel uit wat in par. 8, B is opgemerkt, dat er geen merkbare verlenging plaats vindt.

Zelfs blijkt, dat door het aanbrengen van een dakvorm in het inwendige der caissons de vullingstijd met ongeveer 13 sec is verkort (geringer waterberging), De vullingskromme van de oorspronkelijke constructie, die in fig. 5 is opgenomen, is in fig. 18 ter vergelijking gestippeld weergegeven.

17. *Ledigen van de schutkolk.*

Over het ledigen van de schutkolk valt weinig te zeggen.

De invloed van de translatiegolf in het benedenpand op de aldaar liggende schepen is niet onderzocht. De afmetingen en de hoeveelheden water per tijds-eenheid zijn zoo, dat een experimenteel onderzoek op dit punt niet noodig geacht werd.

Aangaande de ledigingstijd zijn geen krommen opgenomen, daar de afmetingen der riolen in het benedenhoofd blijkens een globale berekening voldoende zijn om een korte ledigingstijd te waarborgen. Het loonde daarom niet de moeite om van deze uitloopriolen een model te vervaardigen.

Wel is experimenteel onderzocht de grootte der troskrachten van in de kolk liggende schepen bij lediging der kolk. Zooals wel kan worden verwacht zijn deze krachten over het algemeen lager dan die welke bij kolkvulling optreden. Alleen de waterberging der caissons van het bovenhoofd heeft bij kolklediging een nog ongunstiger invloed dan bij kolkvullen; tenminste wanneer lucht in de caissonsruimte kan komen.

Plotseling begint dan, zoodra het water gedaald is tot het peil van de zoldering der caissons een waterstroom uit de caissons tegen en langs het schip. Daardoor treedt de heftige schommeling op, die het diagram vertoont. De schommeling vangt aan met een sterke van het bovenhoofd af gerichte troskracht. Het bezwaar is niet zoozeer gelegen in de grootte van die kracht (660 kg), als wel in het verradelijk optreden zonder voorafgaande waarschuwing.

Er zijn in het model geen groote voorzorgen genomen om de ledigingskromme volkomen na te bootsen. Wel is er voor gezorgd, dat de snelheid van daling van de waterspiegel in de kolk omstreeks het kritieke peil (390—) ongeveer overeenkomt met wat in werkelijkheid is te verwachten, zoodat de in het diagram voorkomende uiterste troskrachten niet ver van de werkelijkheid zullen afwijken.

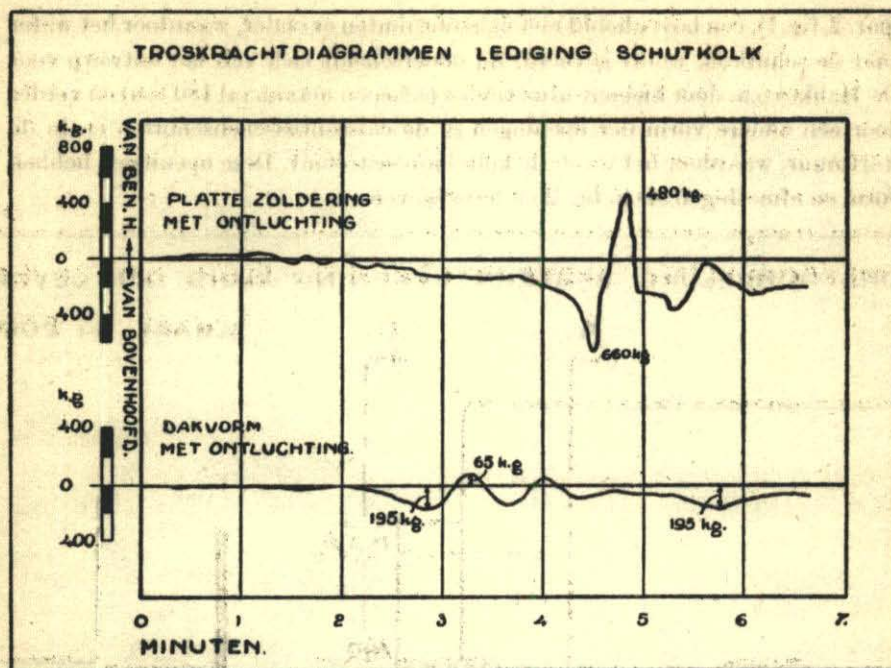


Fig. 19.

Het aanbrengen van de dakvorm in het inwendige der caissons is weer een geschikt middel om de discontinuïteit te vervangen door een geleidelijke vermeerdering van watertoevoer. De dakvorm, in het model aangebracht, levert een troskrachtendiagram, waaruit de piek is verdwenen.

18. Aanvullende metingen voor Kolhorn en Den Oever.

Alle in het voorgaande beschreven metingen gelden voor de sluis bij De Haukes.

Ten behoeve van de ontworpen sluis te Kolhorn zijn aanvullende metingen gedaan, verband houdende met het lagere definitieve polderpeil van deze sluis van 6,00 m — N.A.P., wat uit hydraulisch oogpunt het belangrijkste verschil met de Haukessluis is. Deze aanvullende metingen zijn in het sluismodel van De Haukes uitgevoerd. De resultaten zijn in par. 19 (B) vermeld.

Van de Stontelersluis bij Den Oever was de besteksteekening reeds opgemaakt. Nagegaan moest worden, in hoeverre de constructie, in deze teekening opgenomen, gehandhaafd kon blijven. Zij bevat, evenals het ontwerp voor De Haukes

(par. 2, fig. 1), een bovenhoofd met caissonruimten er onder, waardoor het water naar de schutkolk wordt gevoerd. Zij onderscheidt zich van het ontwerp voor De Haukes o.a. door kleinere afmetingen (schepen maximaal 180 ton) en verder door een andere vorm der openingen in de caissontusschenschotten en in de stortmuur, waardoor het water de kolk binnenstroomt. Deze openingen hebben vorm en afmetingen als in fig. 20 is aangegeven.

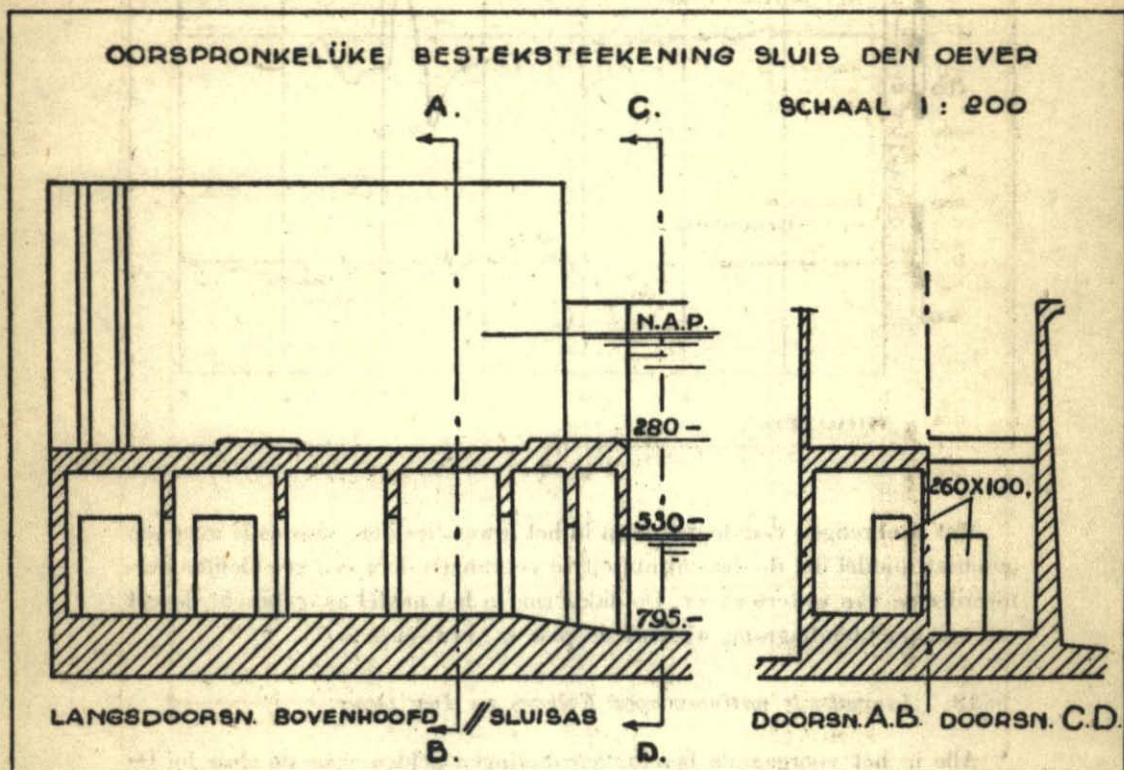


Fig. 20.

Stortmuur en caissonschotten, voorzien van deze openingen, zijn in het sluismodel van De Haukes ingebouwd. Het bleek dat de vullingstijd door deze constructie niet is veranderd. De troskrachten loopen, onder overigens gelijke omstandigheden, minder hoog op dan die welke bij de oorspronkelijke constructie van de sluis te De Haukes zijn geconstrueerd (fig. 21 te vergelijken met fig. 6).

Toch zijn zij nog veel te hoog. Ook voor Den Oever is daarom gezocht naar een, uit hydraulisch oogpunt, betere constructie.

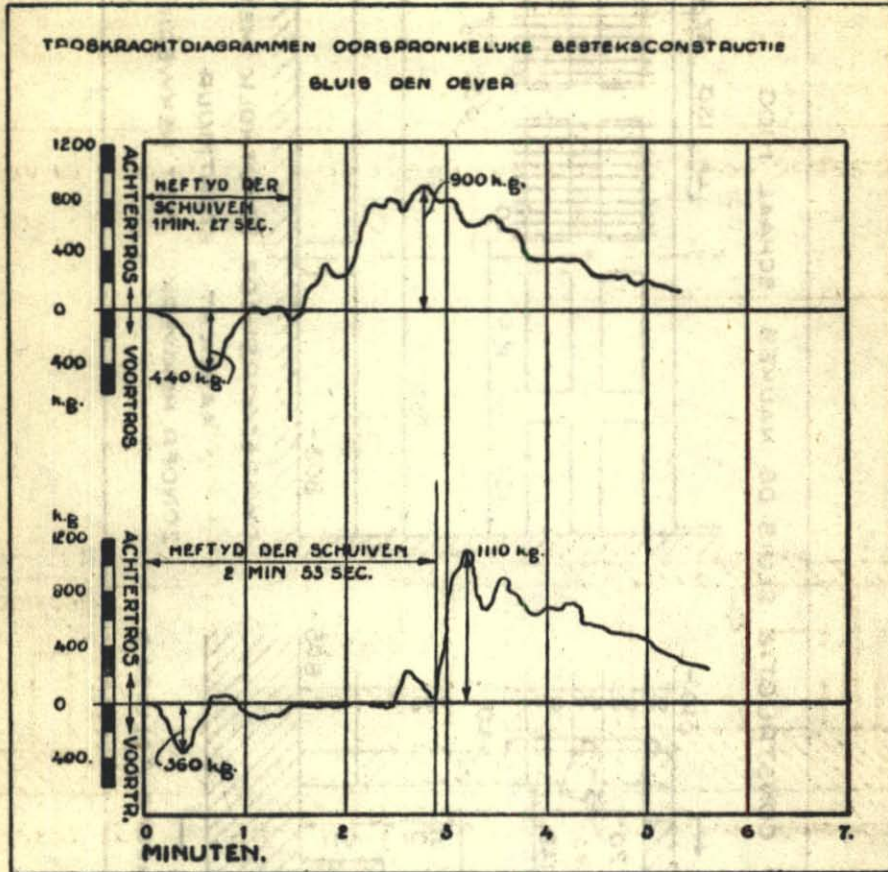


Fig. 21.

Dit onderzoek is eveneens geschied aan het model van de Haukessluis. Er is bij het interpreteren van de uitkomsten rekening gehouden met de omstandigheid, dat afmetingen van sluis en schip bij Den Oever kleiner zijn.

Het verval bij de Stontelersluis is even groot als dat bij De Haukes, nl. 5,30 m maximaal. Daarbij is als hooge stand op het IJsselmeer N.A.P. aangenomen.

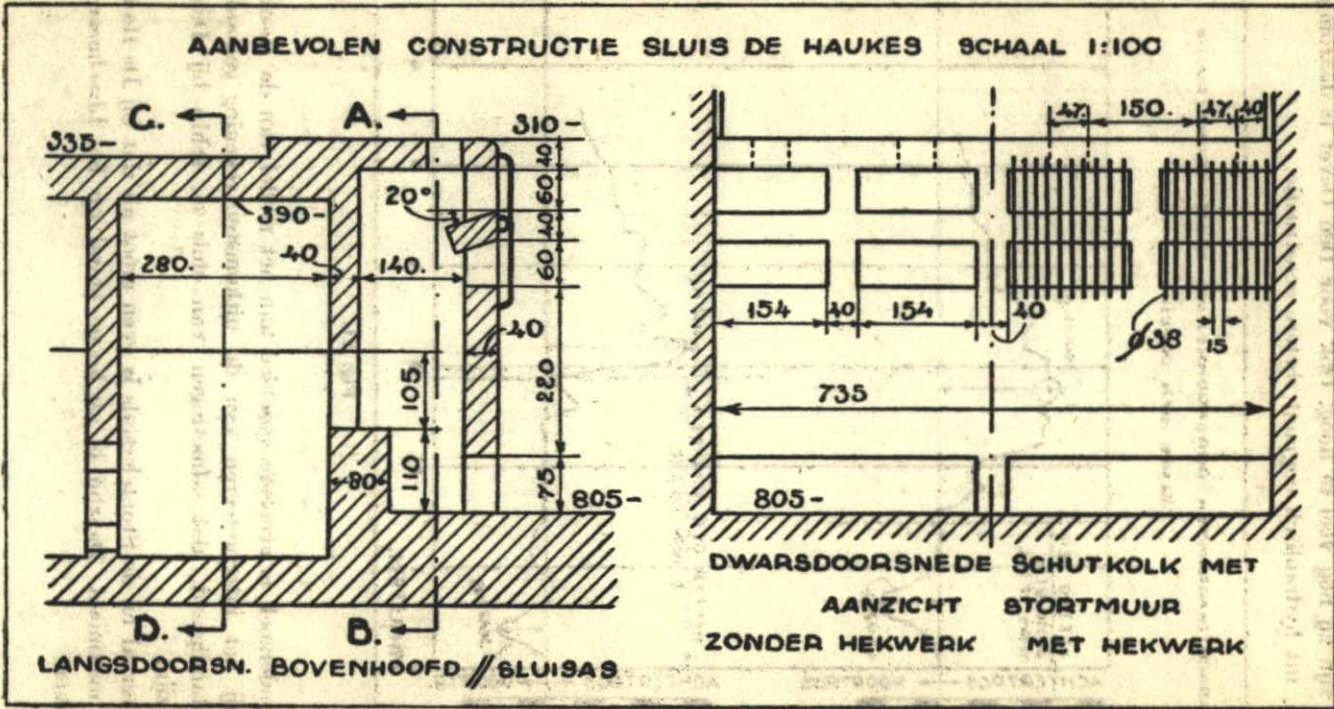


Fig. 22.

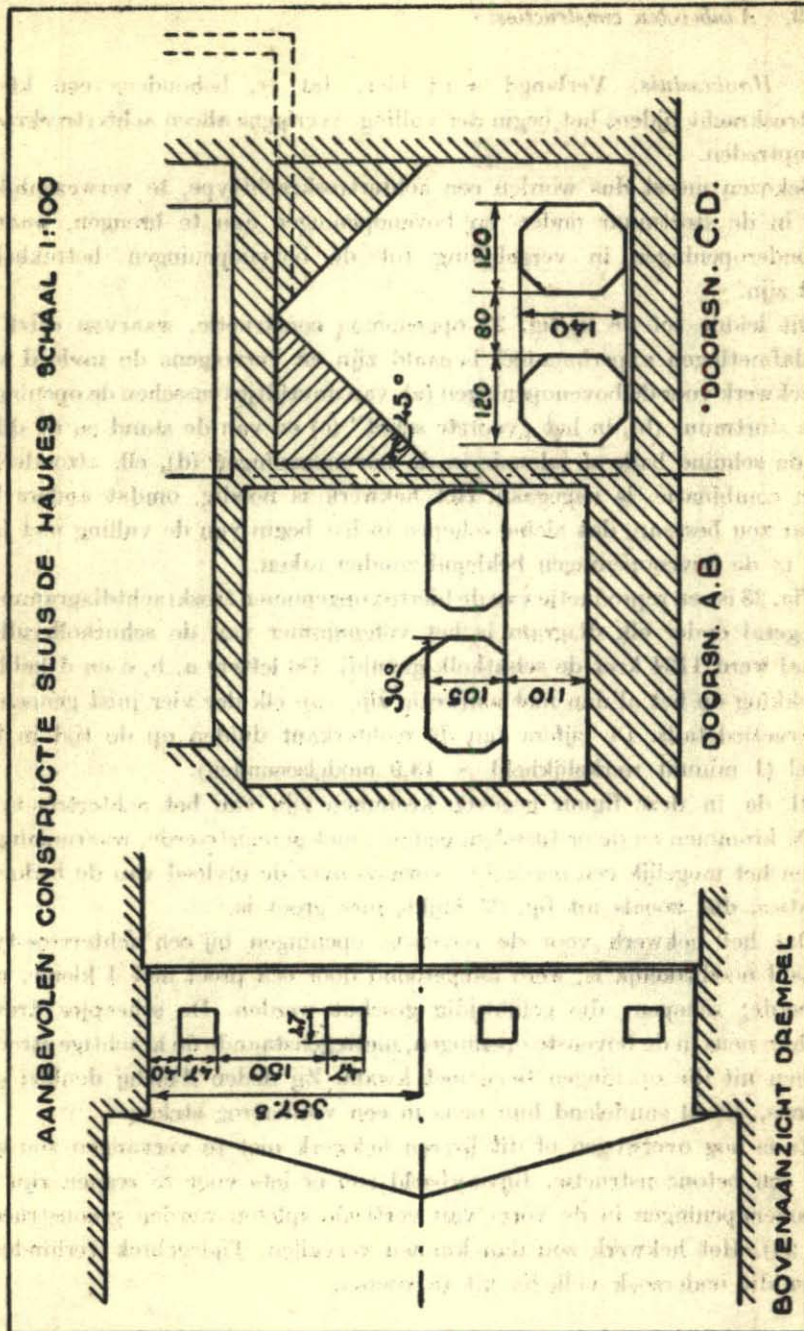


Fig. 28.

19. *Aanbevolen constructies.*

I. *Haukesluis.* Verlangd werd hier, dat er, behoudens een kleine voortroskracht tijdens het begin der vulling, overigens alleen achtertroskracht zou optreden.

Gekozen moest dus worden een achtertroskrachttype, te verwezenlijken door in de stortmuur onder- en bovenopeningen aan te brengen, waarbij de onderopeningen in vergelijking tot de bovenopeningen betrekkelijk groot zijn.

Dit leidde tot de in fig. 22 opgenomen constructie, waarvan eerst de hoofdafmetingen experimenteel bepaald zijn en vervolgens de invloed van het hekwerk voor de bovenopeningen (a), van de stijltjes tusschen de openingen in de stortmuur (b), in het „voorste schot” (c) en van de stand en de dikte van de schuine balk of jalouzie in de bovenopeningen (d), elk afzonderlijk en in combinatie, is nagegaan. Het hekwerk is noodig, omdat anders het gevaar zou bestaan, dat kleine schepen in het begin van de vulling met hun boeg in de bovenopeningen beklemd zouden raken.

Fig. 23 is een reproductie van de hiertoe opgenomen troskrachtdiagrammen. Het getal onder elk diagram is het volgnummer van de schutkolkvulling (totaal werd 1134 keer de schutkolk gevuld). De letters a, b, c en d hebben betrekking op het al dan niet aanwezig zijn van elk der vier juist genoemde constructiedetails. De cijfers aan de rechterkant duiden op de tijd in het model (1 minuut werkelijkheid = 13,9 modelseconden).

Al de in deze figuur gegeven krommen zijn van het achtertros-type.

De krommen en de er tusschen gedane, niet geregistreerde, waarnemingen maken het mogelijk een oordeel te vormen over de invloed van de bedoelde variaties, die, zooals uit fig. 23 blijkt, niet groot is.

Dat het hekwerk voor de bovenste openingen bij een achtertros-type bepaald noodzakelijk is, werd aangetoond door een proef met 4 kleine, niet gemeerde, schepen, die gelijktijdig geschut werden. De scheepjes dreven met hun neus in de bovenste openingen, niettegenstaande de krachtige stroom, die hen uit die openingen te gemoet kwam. Zij deden daarbij denken aan varkens, die al snuffelend hun neus in een voedertrog steken.

Er is nog overwogen of dit ijzeren hekwerk niet te vervangen zou zijn door een betonconstructie. Bijvoorbeeld zou er iets voor te zeggen zijn als de bovenopeningen in de vorm van verticale spleten werden geconstrueerd (fig. 24). Het hekwerk zou dan kunnen vervallen. Tijdsgebrek verhinderde echter dit onderzoek volledig uit te voeren.

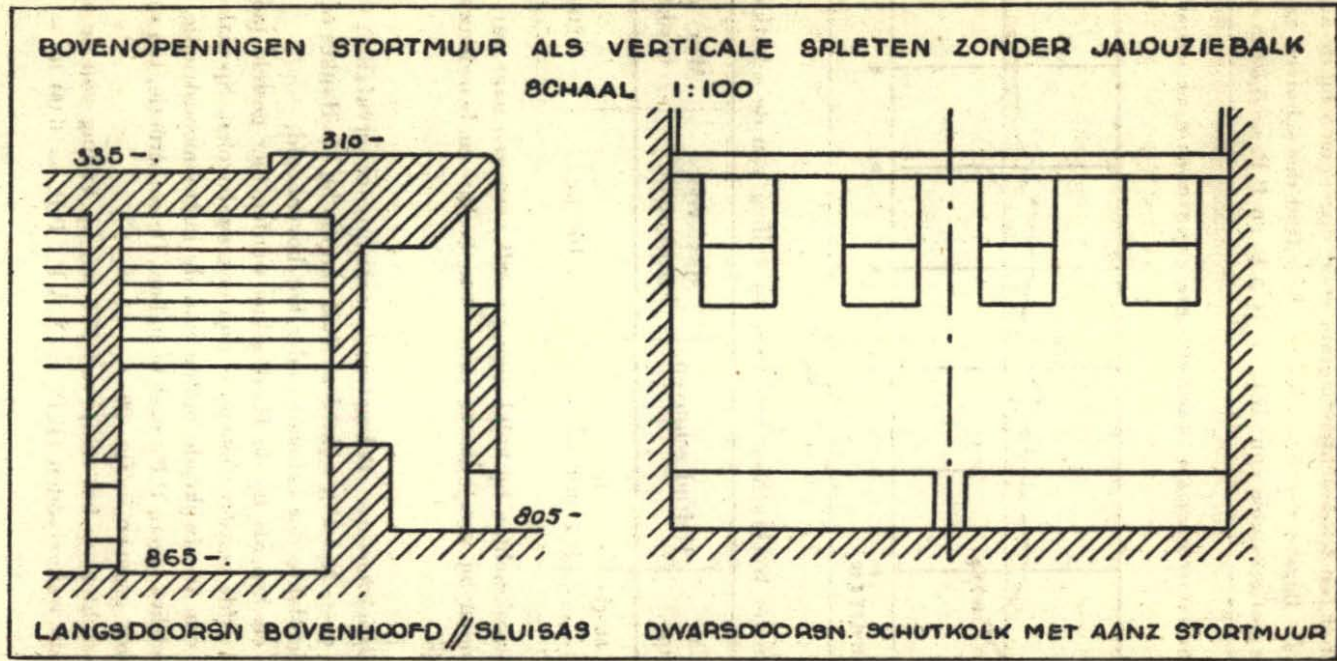
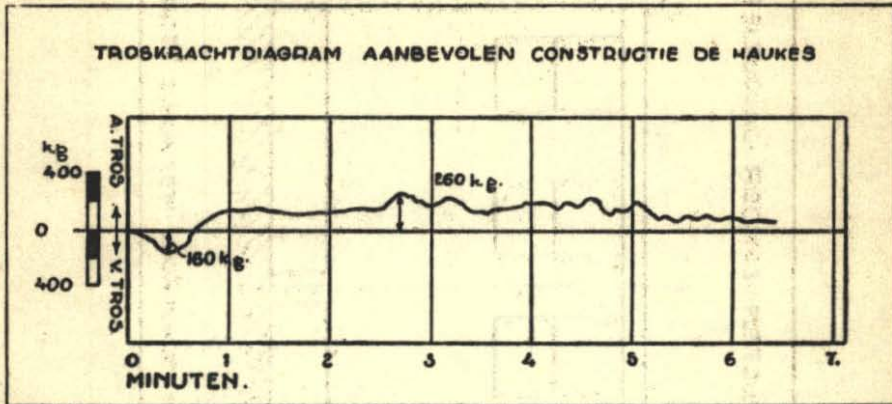


Fig. 24.

Fig. 25 stelt een troskrachtendiagram voor, opgenomen bij de aanbevolen constructie. De ligging van het schip en de heftijd der schuiven zijn als gewoonlijk. De waterstanden zijn: B.P. = N.A.P. en P.P. = 5,30 m — N.A.P.



De maximum troskrachten bedragen bij vulling van de schutkolk:

Plaats van het schip.	Heftijd schuiven.	Max. voortroskracht.	Max. achtertroskracht.
1 m van de stortmuur	2 min 53 sec	160 kg	260 kg

Voor de troskrachten bij kolklediging wordt verwezen naar par. 17, voor de vullingstijden bij verschillende peilen van boven- en benedenwaterstand naar par. 16.

II. *Westfriesche sluis.* Behoudens door een grooter verval (B.P. = N.A.P., P.P. = 6,00 m — N.A.P.), wijkt deze sluis van die bij De Haukes af door een kleinere oppervlakte der caissons onder het bovenhoofd.

Dezelfde eischen als bij de Haukessluis werden hier gesteld (achtertros-type) en hetzelfde constructietype is dan ook aanbevolen. Speciale proeven zijn gedaan om de afwijkende maten van de instroomconstructie, verband houdende met het lagere P.P., vast te stellen. De constructie, ten slotte aanbevolen, wordt gegeven in fig. 26.

De troskrachten op het schip van 335 ton bij vulling van de schutkolk bij de uiterste waterstanden (B.P. = N.A.P., P.P. = 6,00 m — N.A.P.),

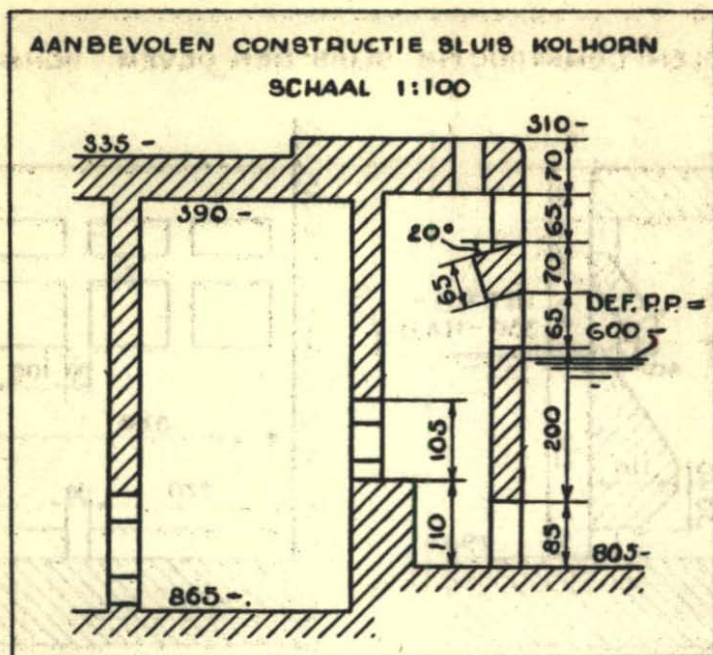


Fig. 26.

heftijd der schuiven 2 min 53 sec, ligging van het schip op 1 m afstand van de stortmuur, bedragen hier:

Plaats van het schip.	Heftijd schuiven.	Max. voortroskracht.	Max. achtertroskracht.
1 m van de stortmuur	2 min 53 sec	160 kg	315 kg

De vullingstijd van de schutkolk is, bij even groote heftijd der schuiven, een halve minuut langer dan bij De Haukes. De oorzaak hiervan is het grootere verval bij vrijwel hetzelfde oppervlak van de schutkolk en gelijke afmetingen van de schuiven.

III. *Stontelersluis*. De voorkeur werd hier gegeven aan een voortros-type of een neutraal type, waarvan ten slotte het laatste is gekozen. De op grond van deze keuze aanbevolen constructie is weergegeven in fig. 27.

reeds was gereed gemaakt, zoo weinig mogelijk wijzigingen aanbevolen. Afgezien is van het aanbrengen van de dakvorm in de caissons en van de gaten in de drempel. Het is gewenscht die caissonruimten, waartoe het water niet noodzakelijk toegang behoeft om van de schuiven aan het bovenpand de schutkolk te bereiken, af te sluiten; overigens kan worden volstaan met de inloopconstructie, die de fig. 27 en 28 te zien geven.

Een met deze constructie opgenomen troskrachtdiagram is gegeven in fig. 29. Zooals reeds is opgemerkt, is deze constructie ingebouwd in het sluis-model van De Haukes en de krachten behooren dus bij deze sluis.

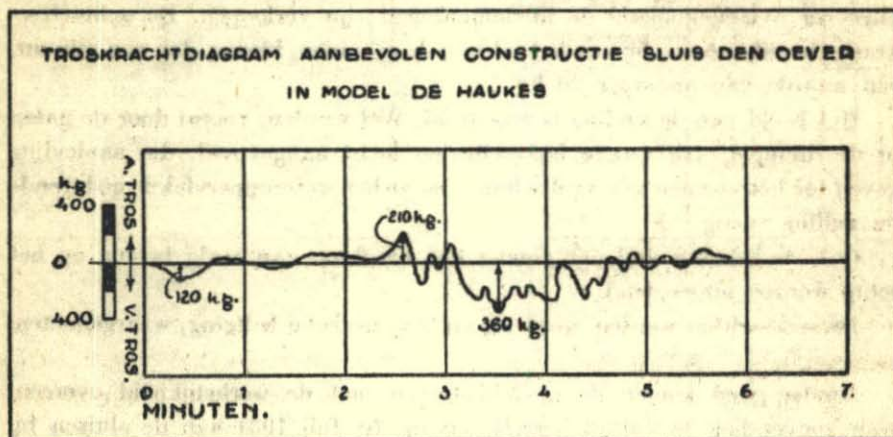


Fig. 29.

In Den Oever, bij een 180-tons schip, zullen de krachten veel kleiner zijn; het algemeene type van het diagram verandert natuurlijk niet. De krachtenkromme slingert om de nullijn.

Het groote schip, dicht bij de stortmuur geheel los gelegd, dus zonder trossen, stijgt bij het vullen van de schutkolk dan ook vrijwel rechtstandig, zooals in het model is gebleken. Het vertoont noch neiging de stortmuur aan te varen, noch zich ver daarvan te verwijderen.

20. *Controlemetingen in de uitgevoerde sluisen.*

Toen na het voltooiën van de sluisen in de loop van 1930 de Wieringermeer werd afgemalen, bleek al dadelijk, dat het doel van de modelmetingen, het zorgen voor een rustige ligging van de schepen gedurende het vullen van de schutkolk, volkomen is bereikt. Zelfs wanneer de schuiven zoo snel mogelijk worden geheven, zijn de troskrachten zoo gering, dat ze niet met nauwkeurigheid zijn te meten. Zelfs bij zwakke wind is de winddruk op het schip van

dezelfde orde van grootte als de door het intredende water uitgeoefende kracht, die daardoor niet valt te meten.

Eenige malen is met het directievaartuig Flevo ($22 \times 3,75 \times 1,30$ m, waterverschuiving ongeveer 70 m^3) getracht een zoo goed mogelijk beeld te verkrijgen. In Juni 1930, bij een benedenstand van $3,10$ m — N.A.P. en een bovenwaterstand van $0,50$ m — N.A.P., trad in de Haukessluis eenige tijd na het begin van de vulling een achtertroskracht van omstreeks 10 kg op.

Op 10 Juli 1931, na het bereiken van het V.P.P., werd zoowel in de Westfriesche sluis als in de Haukessluis geconstateerd, dat de troskrachten ongeveer overeenkomstig de modelmetingen zijn verlopen. De achtertroskracht bereikte toen, bij een heftijd van de schuiven, kleiner dan een minuut, een waarde van ongeveer 20 kg.

Het beeld van de vulling is zeer fraai. Wel worden, vooral door de gaten in de drempel, vrij groote hoeveelheden lucht aangevoerd, die aanleiding geven tot het vormen van veel schuim, maar het wateroppervlak is gedurende de vulling rustig.

Ook de lediging verloopt zonder dat krachten van eenig belang op het schip worden uitgeoefend.

Dwarskrachten worden, noch bij vulling, noch bij lediging, waargenomen.

Minder goed komen de modelmetingen met de werkelijkheid overeen, voor zoover het de vultijd betreft. De op 10 Juli 1931 aan de sluisen bij Kolhorn en De Haukes opgenomen vulkrommen (fig. 31 en 32) vertoonen wel is waar geen langer vultijd dan de overeenkomstige lijnen, die uit de modelmetingen zijn afgeleid (fig. 18), maar dit is alleen te danken aan het feit, dat de schuiven zoo veel sneller zijn geheven. In de modelkromme blijft de vulling gedurende de heftijd van de schuiven (2 minuten en 53 seconden) sterk achter bij die van de werkelijke sluisen, waar voor het openen van de schuiven tijden zijn gebruikt, die tusschen 18 seconden en 1 minuut en 50 seconden varieeren. In de volgende periode wordt de achterstand van bijna een minuut ingehaald. De binnenstroomende hoeveelheid kort na het openen van de schuiven, die volgens de modelproef $7,05 \text{ m}^3/\text{s}$ moet zijn, is in beide sluisen $5,35 \text{ m}^3/\text{s}$, dus slechts 76 percent van de modelwaarde.

Evenmin als bij de Overleker sluis (modelproef 4) is de oorzaak van het verschil gelegen in de afzuiging van het bovenwater. Bij De Haukes, waar het Amstelmeer vrijwel onmiddellijk aan de sluis grenst, is het bovenwater practisch constant (fig. 32) en bij Kolhorn blijft de verandering beperkt tot een halve decimeter (fig. 31). Hier gaat na het begin van de vulling het

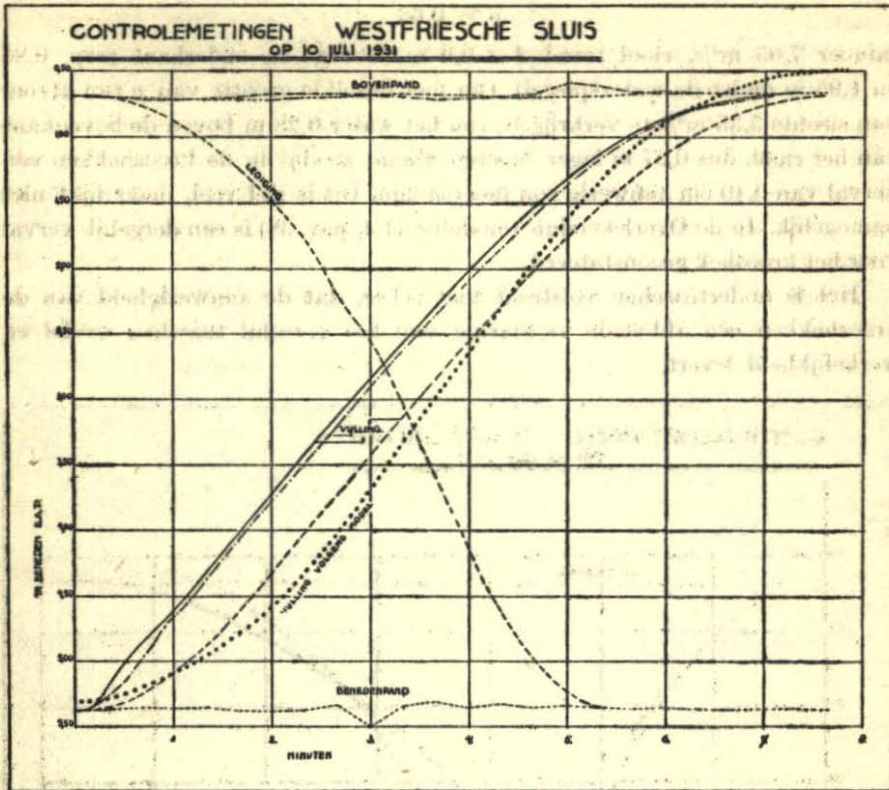


Fig. 31.

bovenwater dalen, de zoodoende gevormde negatieve golf wordt tegen het front van de sluis aan het eind van het Kolhorner diep op een afstand van bijna 400 m teruggekaatst, waardoor tusschen de beide sluisen een slingering ontstaat met een periode van twee en een halve minuut.

Een deel van het verschil in vermogen van de riolen wordt veroorzaakt, doordat de modelkrommen gelden voor een bovenwater op 0,50 m — N.A.P., terwijl gedurende de metingen het Amstelmeer en de daarmee gemeen liggende wateren een veel lager peil, namelijk omstreeks 0,67 m — N.A.P., hadden. Voor het overige zouden misschien de krooshekken een rol kunnen spelen, die in het model niet, doch in werkelijkheid wel aanwezig waren.

Beschouwt men het riool als een opening, waardoor het water vrij uit het bovenpand wegstroomt, dan volgt uit de modelmeting een afvoercoëfficiënt van de opening:

$$\mu = 0,68$$

(afvoer 7,05 m³/s, riool breed 2 × 0,9 m, boven- en onderkant resp. 0,85 en 1,95 m onder de waterspiegel). Om met dezelfde grootte van μ een afvoer van slechts 5,35 m³/s te verkrijgen, zou het water 0,28 m boven de bovenkant van het riool, dus 0,57 m lager moeten staan, zoodat in de krooshekken een verval van 0,40 cm aanwezig zou moeten zijn. Dit is wel veel, maar lijkt niet onmogelijk. In de Overlekersluis (modelproef 4, par. 38) is een dergelijk verval voor het krooshek geconstateerd.

Het is ondertusschen volstrekt niet zeker, dat de aanwezigheid van de krooshekken een afdoende verklaring van het verschil tusschen model en werkelijkheid levert.

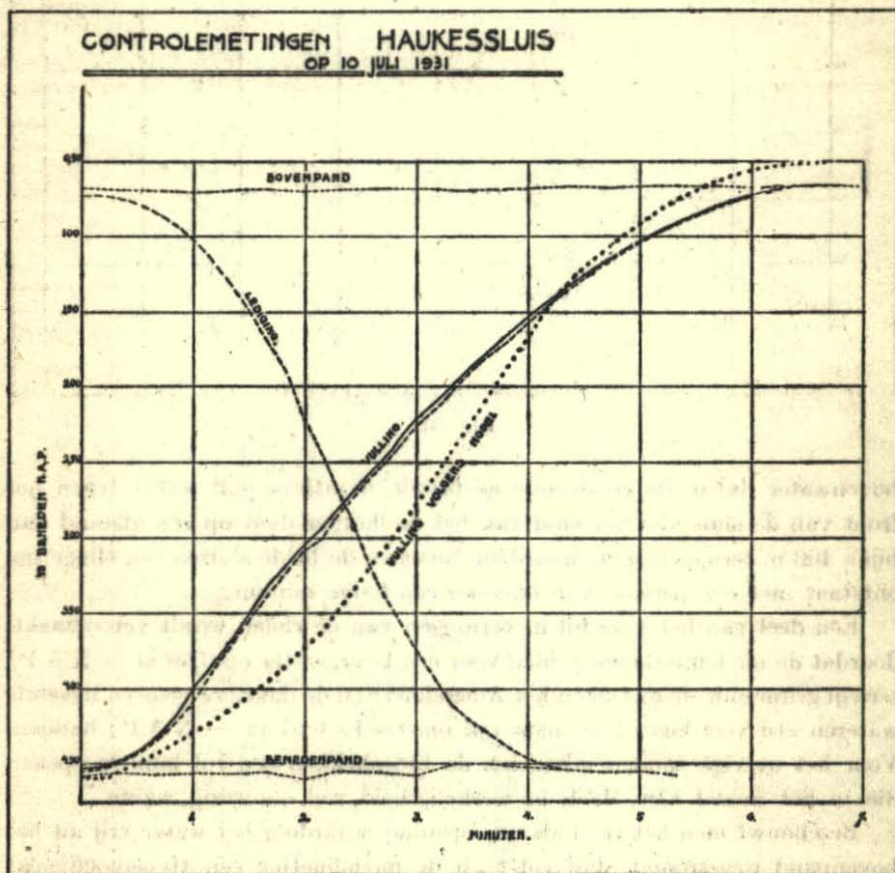


Fig. 32.

De vulkrommen van de Westfriesche sluis vertoonen een zeer regelmatig, onderling evenwijdig, verloop. Bij de Haukessluis dekken de beide opgenomen lijnen elkander volledig; zij vertoonen beide bij een kolkpeil tusschen 3,50 en 3,00 m — N.A.P. een onregelmatigheid, waarvan de oorzaak niet bekend is.

De lediging van de sluisen geeft weinig aanleiding tot opmerkingen. Na het openen van de schuiven, dat meer tijd in beslag neemt dan bij het vullen (grootere waterdruk op de schuiven), zijn de ledigingskrommen zeer fraaie parabolen. Blijkbaar oefent het tijdelijk oploopen van het benedenwater, dat zoowel bij de Haukes als bij Kolhorn in overeenstemming met de geldende formule ongeveer 5 cm is, weinig invloed uit op de door de riolen stroomende hoeveelheid water.

De belangrijkste gegevens van de metingen van 10 Juli 1931 en de daarbij behorende modelmetingen zijn de volgende:

Sluis.	N		Boven- water. cm —N.A.P.	Beneden- water. cm —N.A.P.	Ver- val. cm	Heftijd schui- ven. sec.	Vul-, resp. Ledigings- tijd. sec.	Variatie boven- resp. beneden- water. cm
West- friesche Sluis	1	Vullen	68	536	468	35	424	5½
	2	Ledigen	67	532	465	234	313	(7)
	3	Vullen	67	538	471	110	457	5
	4	Ledigen	68	536	468	240	(320)	(4)
	5	Vullen	66	538	472	18	440	
	6	Ledigen	68	536	468	245	324	
model id.	7	Vullen	50	530	480	173	470	0
Haukes- sluis	8	Vullen	65½	456	390½	60	414	2
	9	Ledigen	68	453	385	135	261	6½
	10	Vullen	65½	456	390½	42	412	1½
	11	Ledigen	67½	454½	387	117	250	3
model id.	12	Vullen	50	460	410	173	398	0

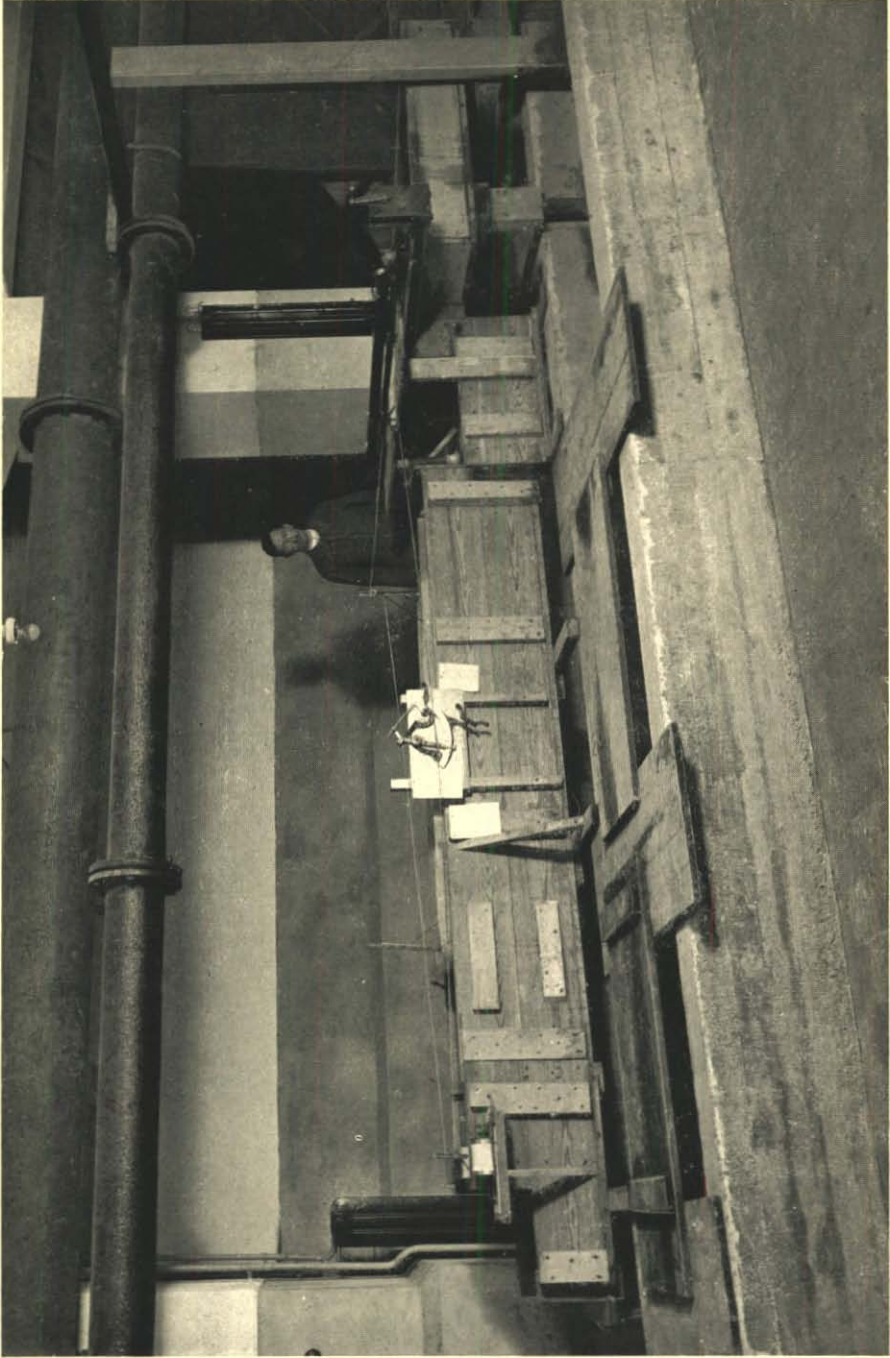
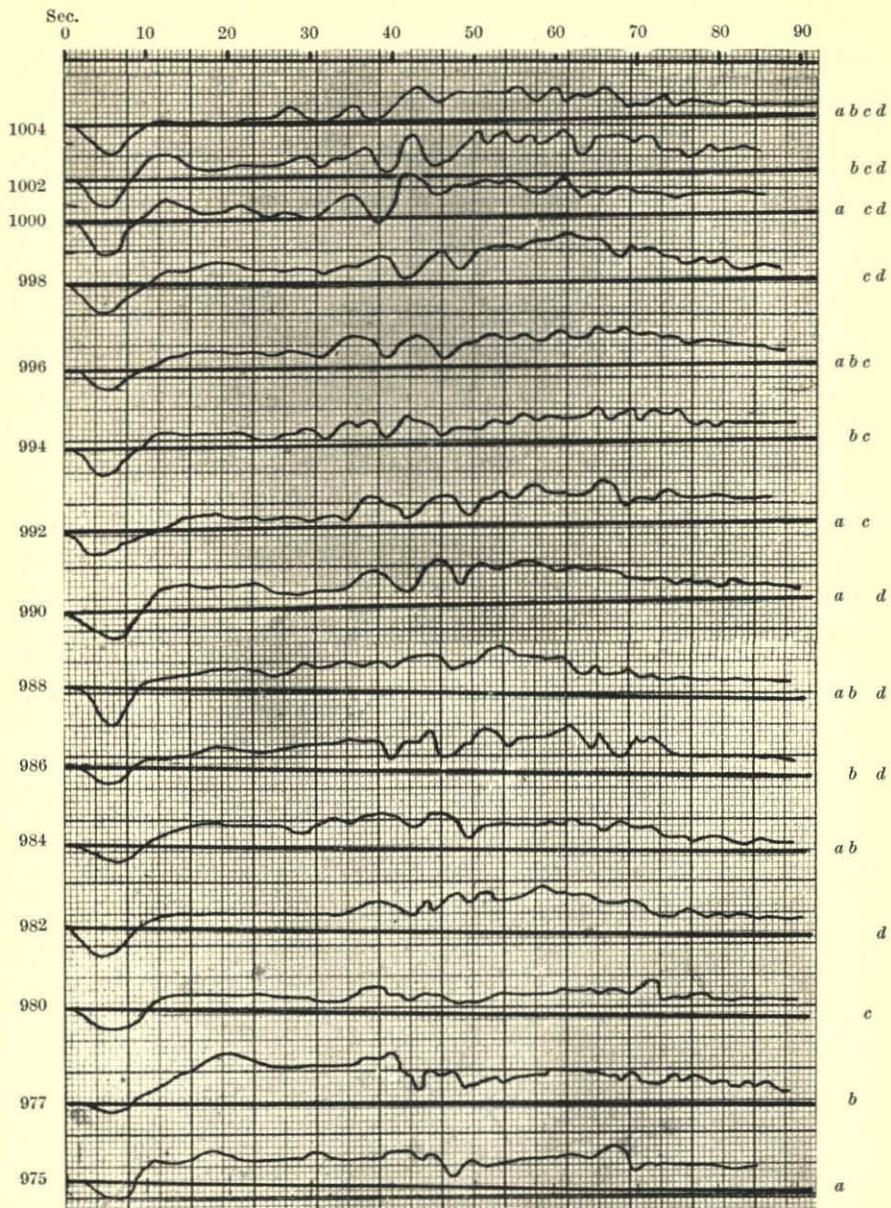


Fig. 4. Overzicht model.



Krachten (werkelijkheid) 2,4 cm = 1000 kg.
 Tijden (werkelijkheid) 1,8 cm = 1 minuut.

Fig. 23. Troskrachtdiagrammen.

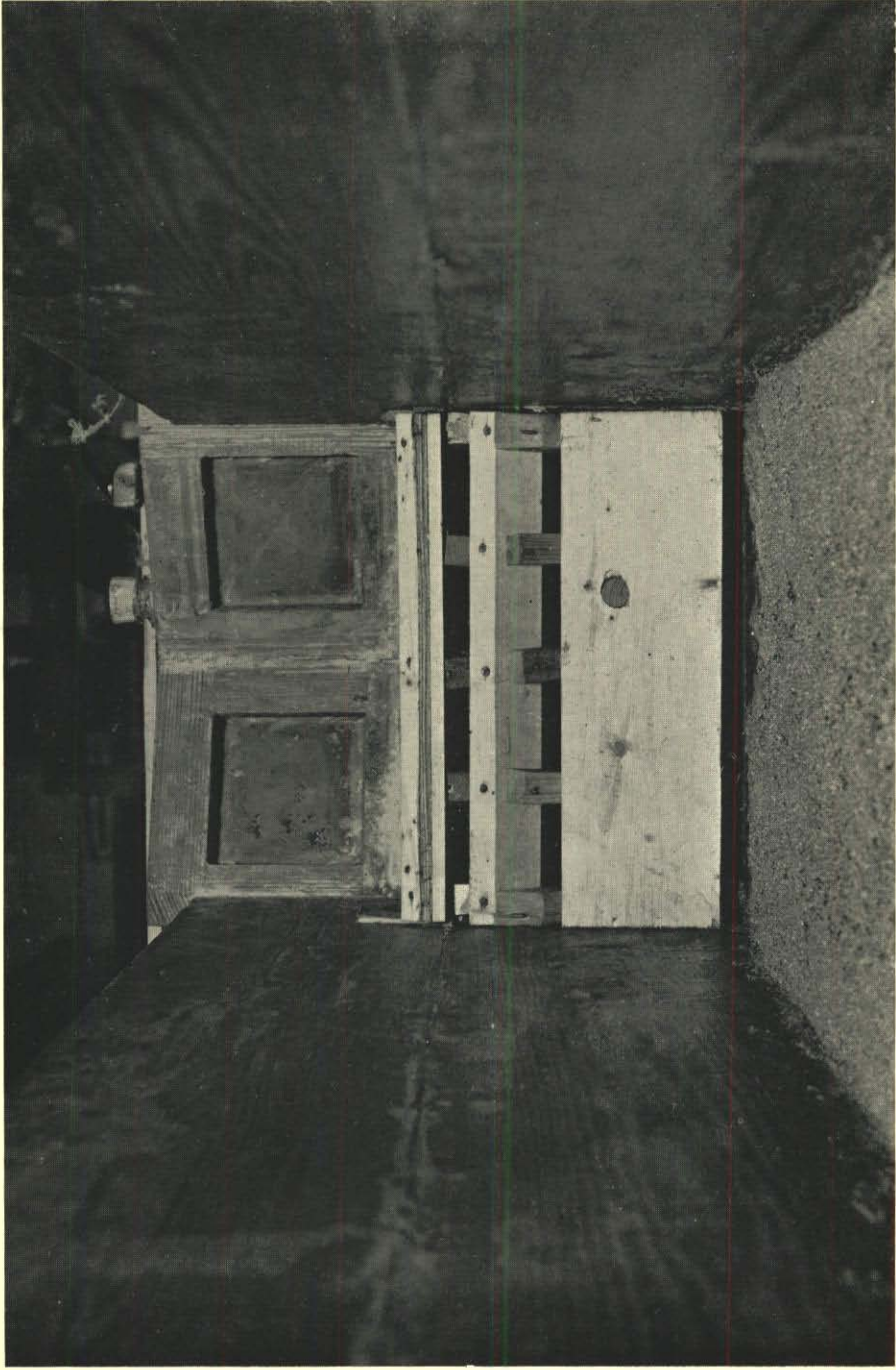


Fig. 28. Model van stormmuur Den Oever.

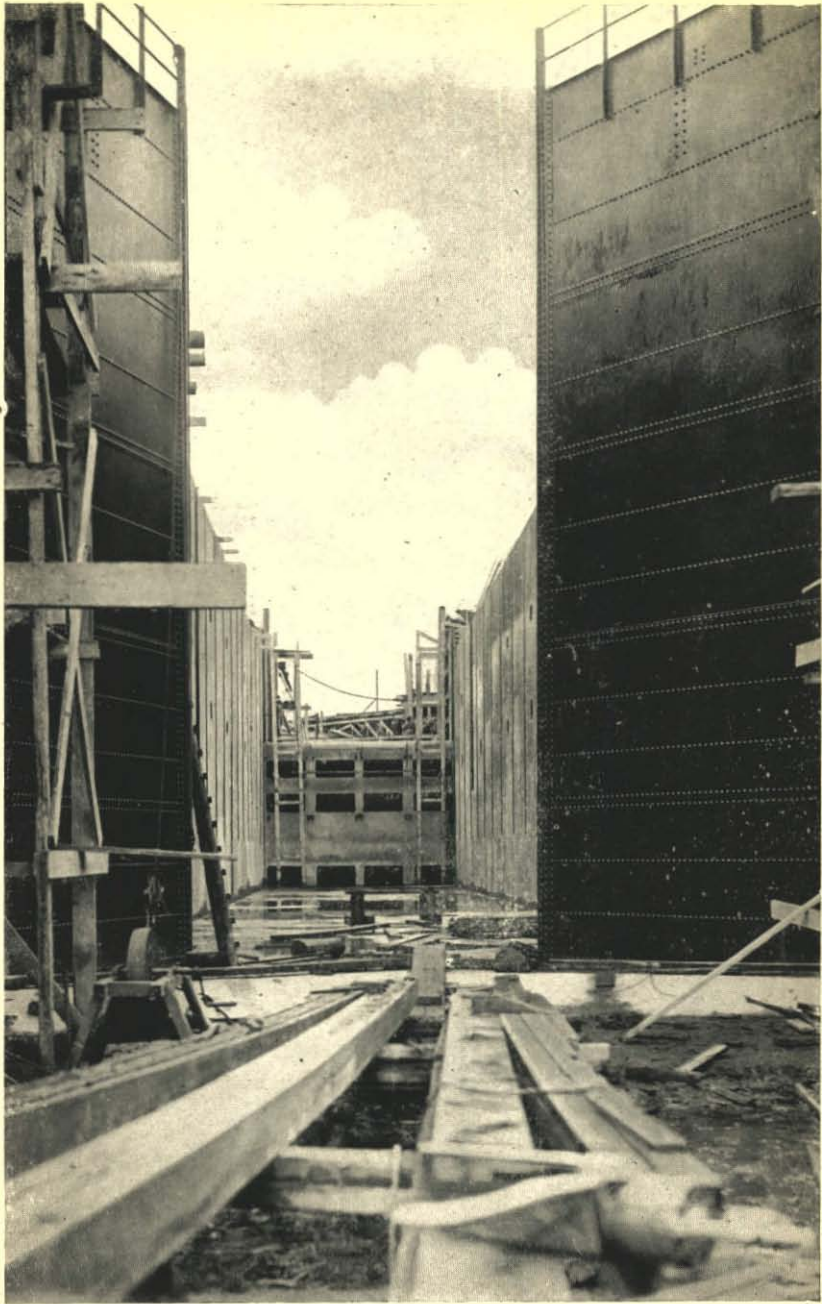


Fig. 30. Schutsluis bij Kolhorn.

Gezicht in de sluis (aanzicht van den stortmuur van het bovenhoofd, waarin de openingen, waardoor de kolk zal worden gevuld tijdens een schutting) kort voor het toelaten van het water in den fundeeringsput.

**VERMEERDERING VAN HET VERMOGEN VAN
DE SYPHON BIJ ZEEBURG.**

(MODELPROEF No. 42.)

INHOUD.

	Bladz.
1. Probleemstelling	199
2. Model	199
3. Metingen	202
4. Uitkomsten	203
5. Slotbeschouwing	208

FIGURENLIJST.

	Bladz.
1. Duiker bij Zeeburg. Overzichtsteekening	200
2. Modeldeelen van paraffine	foto
3. Duiker bij Zeeburg. Detail bovenhoofd	200
4. Overzicht van het model	foto
5. Bovenhoofd van het model bij inlaten door de toldeuren. . . .	foto
6. Bovenhoofd van het model bij inlaten met geopende puntdeuren	foto
7. Q-krommen bij inlaten door de toldeuren.	205
8. Q-krommen bij inlaten met geopende puntdeuren	205
9. Afvoerkrommen voor een binnenwaterstand van 0,50 — N.A.P.	206
10. Afvoerkrommen voor een binnenwaterstand van 0,30 — N.A.P.	206

1. *Probleemstelling.*

Voor de verversching van het grachtwater van Amsterdam wordt door de syphon bij Zeeburg onder het Merwedekanaal 's nachts water uit het Buiten-IJ ingelaten op het stadswater. Dit water doorloopt verschillende grachten en komt ten slotte in het uiterste Noordwesten van de stad op het Noordzeekanaal.

Bij hoogwater in de Zuiderzee (ongeveer 20 cm + N.A.P.) en een normale stand van de Noordzeekanaalboezem (50 cm — N.A.P.) is het beschikbare verval 70 cm. Het grootste deel van dat verval is geconcentreerd in de syphon; in de grachten is 10 cm verval voldoende om 30 m³ per seconde door te laten.

Na de afsluiting van de Zuiderzee zal gedurende de periode, dat de zee op een peil van 13 cm — N.A.P. (te Urk) wordt gehouden, het inlaten van water te Zeeburg nog wel mogelijk zijn, maar het beschikbare verval is dan veel minder: bij een stand van 15 cm — N.A.P., die ongeveer de gemiddelde zal zijn, slechts 35 cm.

De vraag is nu of het mogelijk is op een weinig kostbare wijze de syphon zoodanig te veranderen, dat er bij dit verval ongeveer dezelfde hoeveelheid water doorstroomt als thans omstreeks hoogwater in de Zuiderzee.

De Directie van de Zuiderzeewerken droeg aan het laboratorium op om deze vraag te beantwoorden.

2. *Het model.*

De syphon bestaat uit drie gelijke deelen naast elkander (fig. 1). In elk deel bevinden zich drie ijzeren zinkers met rechthoekige doorsnede, die de gemetselde hoofden aan weerszijden van het kanaal verbinden. Het hoofd aan de zijde van het Buiten-IJ heeft als waterkeering een stel vloeddeuren, waarin toldeuren. Bovendien kan elke zinker worden afgesloten door een met de hand te bewegen schuif.

Het model werd gemaakt van de helft van een der drie groepen. Het bevat dus één deur met toldeur en anderhalve zinker (fig. 3). De eene grens van het model wordt dus gevormd door het verticale symmetrievlak van de groep, gaande door de vooraanslag van de puntdeuren en het midden van de middelste zinker.

Voor de schaal werd 1 : 15 gekozen. Bij deze schaal bestaat de zekerheid, dat de wrijving langs de wanden nog, evenals in de werkelijkheid, een ondergeschikte rol speelt. Ook de wrijving langs het grensvlak, dat met het juist genoemde symmetrievlak overeenkomt, is niet van belang.

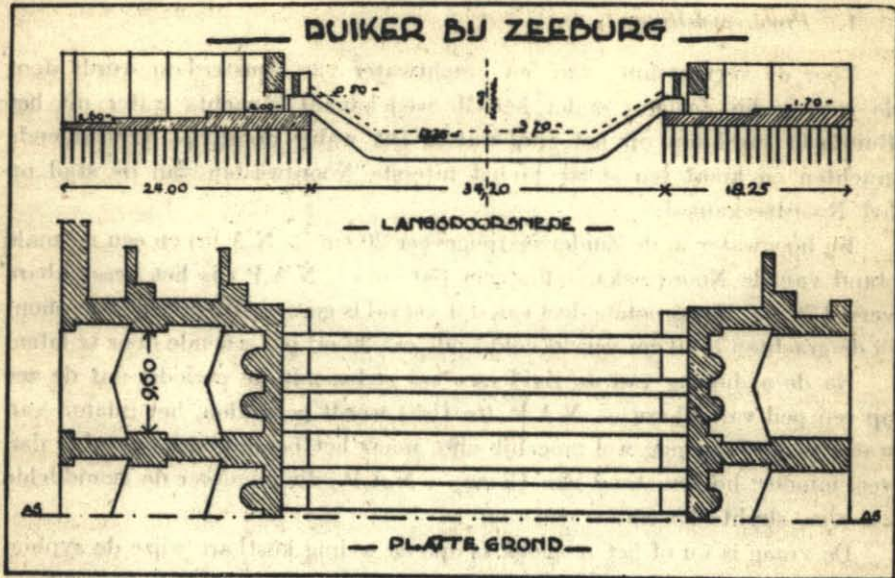


Fig. 1.

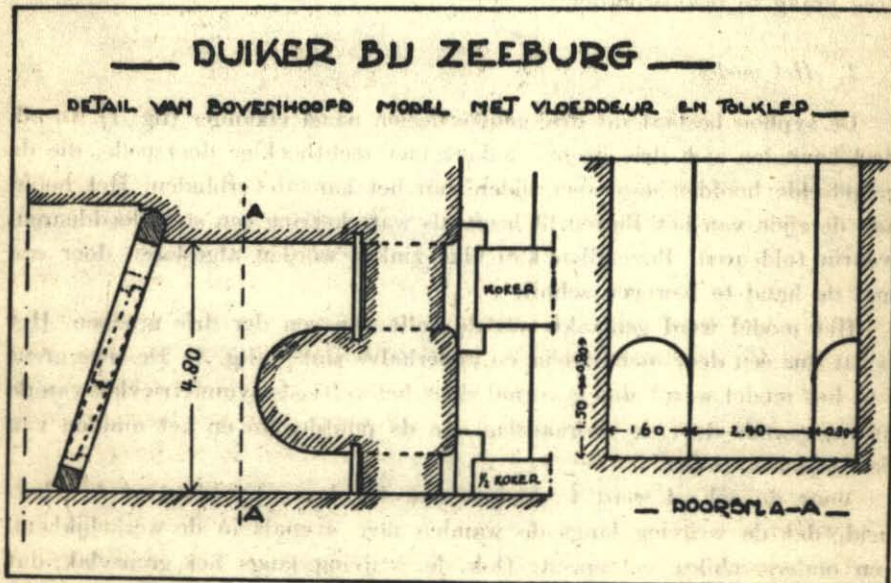


Fig. 3.

Het is zelfs niet noodig zeer hooge eischen aan de gladheid van deze wand te stellen.

Een groot deel van het model is vervaardigd van goed afgepleisterd metselwerk (fig. 4). Uit dit materiaal bestaan de in- en uitloopconstructie en de beide hoofden, met uitzondering van de muren en gewelven vóór de mond van de zinkers. De vorm van deze deelen van het bouwwerk, die vrij ingewikkeld is, heeft een groote invloed op het vermogen van de syphon, zoodat het noodig is paraffine te gebruiken om een voldoende weergave te verkrijgen (fig. 2).

Het materiaal voor de zinkers was hout. De wanddikte daarvan was relatief natuurlijk veel te groot, wat geen enkel bezwaar oplevert, daar de inwendige maten met de werkelijkheid overeenstemden. Alleen aan de in- en uittree, waar de zinkers iets uitsteken buiten de later aangebrachte sluitmuren, is een groote wanddikte niet toe te laten: daar is blik voor de zinkers gebruikt.

De ribben, die in de werkelijkheid in langrichting aan de binnenzijde van de zinkers voorkomen, zijn in het model niet aangebracht. Het maken er van zou een vrij groote complicatie hebben beteekend, wat niet gemotiveerd was, omdat de ribben zeer weinig invloed op de afvoer hebben: naar globale berekening een vermindering van de orde van één percent.

Voor de deur is eveneens hout gebruikt, de houten toldeur draaide om een doorloopend stalen asje, dat van de onderzijde werd ingestoken.

De krooshekken zijn in het model niet aangebracht. Deze afwijking zal, evenals de zoeven genoemde, maken, dat de gevonden afvoeren iets te groot zijn.

Bij de vervaardiging van het model zijn de teekeningen gevolgd van bestek 54 van de Rijkswaterstaat, dienst 1888—1890.

Het naar het model stroomende water wordt gemeten met een stuw met horizontale scherpe kruin. De nauwkeurigheid van deze meting is 1 à 2 percent. Door een buisleiding komt het in een diepe, gemetselde bak, waar de snelheid vrijwel volledig wordt uitgeput en vanwaar het dadelijk in het buitenhoofd van het model terecht komt. De waterhoogte wordt daar bepaald met een peilnaald (aflezing in 0,1 mm, dus 0,15 cm in werkelijkheid; bij sommige toestanden was door schommelingen in het bovenpand deze nauwkeurigheid niet geheel te bereiken).

Ook aan de uitlaatzijde is een peilnaald opgesteld om de hoogte van de waterspiegel binnen de syphon te meten. Voorbij deze peilnaald is een een-

voudige beweegbare stuw aangebracht (klep, draaibaar om een horizontale as in de modelbodem), waarmee het mogelijk is een gewenschte waterhoogte nauwkeurig in te stellen.

De foto van fig. 4 geeft een overzicht van de opstelling van het model.

3. *De metingen.*

De metingen hadden allereerst het doel het vermogen van de syphon in zijn tegenwoordige toestand te leeren kennen.

Deze afvoermetingen werden uitgevoerd als series waarnemingen met constante waterhoeveelheid Q . De gewenschte hoeveelheid werd op de meetstuw ingesteld en bij hoog opgehaalde uitlaatklep werden de beide peilnaalden afgelezen. Daarna werd de uitlaatklep iets lager gesteld en met de volgende aflezing gewacht tot de waterspiegels in hun nieuwe stand tot rust waren gekomen.

Zodoende kan bij een aantal waterstanden het verband worden bepaald tusschen de hoogte van buiten- en binnenwater, geldend bij de ingestelde afvoer Q . Dit verband kan in een diagram worden geteekend: de ordinaten zijn de buiten- en binnenwaterstanden en een kromme lijn — de Q -kromme — is de meetkundige plaats van combinaties van boven- en benedenwaterstand, waarbij de afvoer gelijk aan de ingestelde Q is.

Het lezen van dit diagram wordt vergemakkelijkt, wanneer in plaats van de beide waterstanden worden gekozen één van die standen, bijv. van het buitenwater, en het verschil van de twee, dus het verval H . De Q -kromme krijgt dan een minder langgerekte vorm.

Door een nieuwe afvoer Q in te stellen, kan een tweede Q -kromme worden bepaald en door deze bewerking eenige malen te herhalen wordt een schaar van krommen verkregen, die het verband aangeeft tusschen buitenwaterstand, verval H en afvoer Q .

Er zijn vijf Q -krommen gemeten, en wel voor afvoeren, die overeenkomen met 19,6, 32,5, 41,8, 44,8 en 50,0 m³ per seconde in de werkelijkheid.

De vraag is nu hoe het model moet worden ingericht om de werkelijkheid weer te geven. Er wordt altijd ingelaten met gesloten puntdeuren, dus door de toldeuren. Bij de modelmetingen werd daarom de toldeur opengezet, zoover dat het vlak er van evenwijdig aan de as van de syphon staat (toldeur open, T.O.). Dit is echter niet de stand, die de aan zich zelf overgelaten deur tracht in te nemen.

Wat is namelijk het geval. De as van de toldeur staat vóór het hart van een pijler tusschen de zinkers aan de kant en in het midden van een groep. De afstand tusschen de voorkant van de pijler en de openstaande toldeur is slechts één meter (fig. 3).

De opening van de toldeur, die het dichtst bij de achterhar zit (opening a), levert dus water voor de zinker aan de kant en de opening aan de kant van de voorhar (opening b) voor de middelste zinker. Deze zelfde zinker moet ook het water verwerken, dat door de opening b van de andere toldeur stroomt, zoodat hij overbelast raakt. De verhouding van de grootte van de openingen a en b is namelijk 5 : 4, zoodat de middenzinker 8 : 5 van de andere te verwerken krijgt. Het gevolg is, dat de waterstand voor deze middenzinker hooger wordt dan links en rechts, waardoor de benedenwaarts gerichte vleugels van de toldeuren uit elkander worden gedrukt. Daardoor wordt de juiste waterverdeeling over de drie zinkers van de groep weer hersteld, maar de toldeuren zijn niet geheel meer open, zoodat een groot verval voor die deuren optreedt.

Worden de deuren gemakkelijk draaibaar gemaakt, dan nemen zij de beschreven stand in. Op de foto, fig. 5, is dit te zien.

Door het vrij laten van de toldeuren wordt dus het voordeel bereikt van een betere waterverdeeling over de zinkers, doch daartegenover staat het knijpen van de opening van de deuren zelf, wat de tendenz heeft om het vermogen van de syphon te verkleinen. Door redeneering is niet uit te maken, welke invloed overweegt, waarom behalve een volledig stel metingen met in open stand vastgezette toldeur (T.O.) ook nog een stel met vrij draaiende toldeur (toldeur los: T.L.) is uitgevoerd.

Een derde schaar van Q-krommen is gemeten met geheel geopende puntdeur, waarbij het verval dus uitsluitend wordt veroorzaakt door de zinkers (deur open, D.O., fig. 6).

4. Uitkomsten.

De uitkomsten van deze drie groepen metingen zijn verzameld in de fig. 7 en 8.

Bij in open stand vastgezette toldeur (T.O.) is het verval bij hooge waterstanden tamelijk groot, maar neemt bij het dalen van het water aanvankelijk af. Deze afneming staat voor een zeer klein gedeelte in verband met de grootere snelheid, die het water op de plaats van meting in het buitenwater bij lage standen heeft, maar is lang niet daardoor te verklaren. Het verschijnsel komt bij meer kunstwerken voor.

De kleinste vervallen worden bereikt bij binnenwaterstanden van 30 tot 50 cm onder N.A.P.; bij nog verdere verlaging treedt de zoogenaamde toestand van maximum-afvoer op, waardoor het buitenwater de daling van het binnenpand niet meer volgt en het verval dus sterk gaat toenemen.

Bij losse toldeur (T.L.) is bij hoge standen het verval iets kleiner (ongeveer 10 percent) dan bij T.O. De vrijheid van de deur is dan blijkbaar een voordeel. Naarmate het water lager komt, wordt dit voordeel kleiner. De deur wordt steeds verder uit de geheel open stand gedrukt, omdat voor het zijwaarts stroomen over de deur heen minder ruimte beschikbaar is. De strooming door de toldeuropeningen wordt zeer onrustig en gaat al spoedig zooveel energie kosten, dat het totale verval, dat in het begin, evenals bij het vorige geval, is afgenomen, bij een buitenstand van omstreeks 1 m boven N.A.P. reeds een minimum bereikt en dan weer gaat toenemen. Het voordeel, dat T.L. ten opzichte van T.O. had, is nu geheel verloren gegaan en bij de meest voorkomende waterstanden (buitenpeil lager dan 50 cm + N.A.P.) is het verval bij T.L. verreweg het grootst.

De toestand is in dit geval zeer labiel. Zonder eenige waarneembare oorzaak draait de toldeur soms plotseling over een hoek van tientallen graden in de richting van de dichte stand, waardoor het verval in het model ver stijgt, een enkele maal zelfs tot de dubbele waarde. Dergelijke toestanden met zeer groot verval zijn bij het teekenen van de Q-krommen voor T.L. niet in aanmerking genomen.

De krommen bij open deur (D.O.) geven weinig aanleiding tot opmerkingen. De afneming van het verval bij het overgaan van zeer hoge waterstanden naar beneden is nauwelijks te zien. Al spoedig neemt het verval weer toe om geleidelijk tot de toestand van maximum-afvoer met horizontale Q-krommen over te gaan. De instrooming is nu geheel rustig, zooals in fig. 6 is te zien.

Van het meeste belang is het nu na te gaan, hoe de toestand is bij de waterstanden, die gedurende het bedrijf het meeste voorkomen. De fig. 9 en 10 geven het verband tusschen verval H en afvoer Q (afvoerkromme) bij constante binnenwaterstand, en wel fig. 9 voor een binnenstand van 50 en fig. 10 voor een van 30 cm onder N.A.P. Meestal zal de waterstand aan de stadszijde tusschen deze grenzen in liggen.

In elk van de beide figuren geven drie afvoerkrommen de uitkomsten van de metingen aan: die met het kleinste verval is die met open deur (D.O.), de middelste stelt de toestand met vaste toldeur (T.O.) en de derde die met

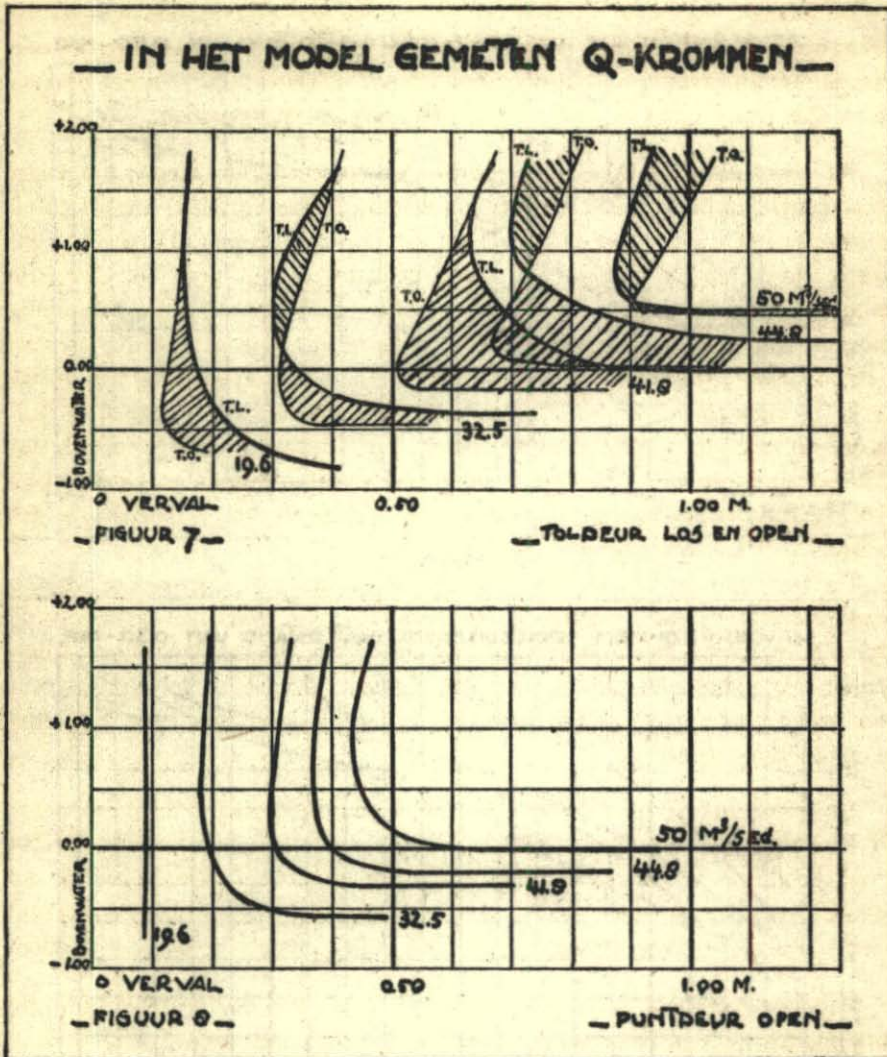


Fig. 7 en 8.

losse toldeur (T.L.) voor. Als vergelijking is de bij de werkelijke syphon gemeten afvoerkromme opgenomen. Van deze kromme is niet bekend voor welke benedenwaterstand hij geldt, zeer waarschijnlijk zijn de metingen met verschillende peilen verricht, die uit de aard der zaak weinig van — 30 of — 50 zullen verschillen.

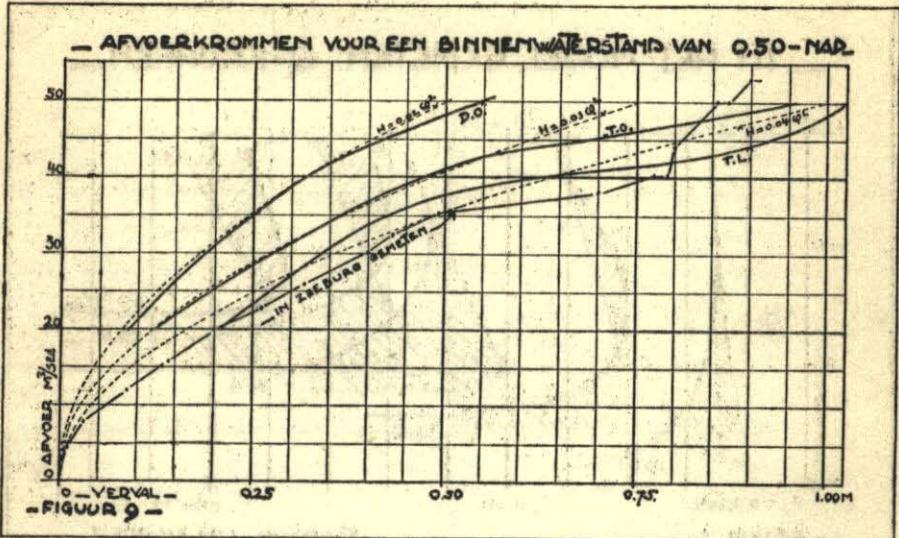


Fig. 9.

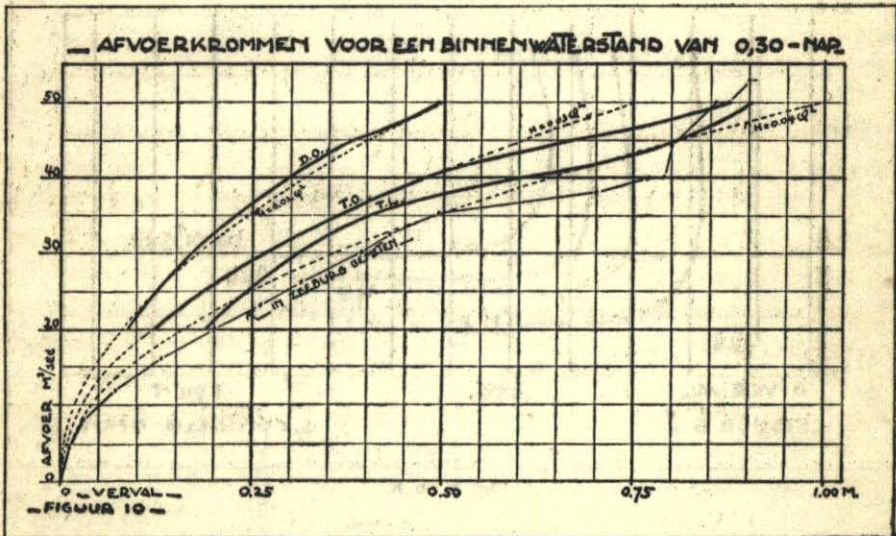


Fig. 10.

De diagrammen geven aanleiding tot de volgende opmerkingen:

- a. Bij het peil van — 50 zijn de vervallen iets grooter dan bij — 30, wat trouwens ook direct uit fig. 7 en 8 volgt.

- b. De krommen D.O. en T.O. vertoonen vrijwel het theoretisch verloop: zij volgen parabolen. Deze parabolen worden weergegeven door de vergelijkingen:

$$H = 0,02 Q^2 \text{ (voor D.O.) en}$$

$$H = 0,03 Q^2 \text{ (voor T.O.)}$$

De parabolen zijn in de figuren ingeteekend.

Alleen bij de groote afvoeren nemen de vervallen sterker toe dan de formules aangeven, in verband met het naderen van de toestand van maximum-afvoer.

Wanneer de toestand T.O. de bestaande toestand zou weergeven, zou het openen van de puntdeuren, dus het manoeuvreeren met de schuiven voor de zinkers in plaats van met de toldeuren, een vermindering van het verval met een derde deel van zijn oorspronkelijke waarde teweegbrengen. Wanneer dus bij een verval van 70 cm (zee + 20, Noordzeekanaal — 50) volgens de te Zeeburg uitgevoerde metingen een afvoer van 36,2 m³ per seconde wordt bereikt, waarbij de grachten 14 cm en de syphon de overige 56 verbruiken, zou door het openzetten van de puntdeuren voor dezelfde afvoer een waterstand in het Buiten-IJ van $-50 + 14 + \frac{2}{3} \times 56 = +2$ noodig zijn, dus nog belangrijk hooger dan de stand van omstreeks — 15, die bij afgesloten Zuiderzee beschikbaar is.

De werkelijkheid is echter anders, zooals blijkt uit:

- c. De gemeten afvoerkromme (W) komt het meest overeen met de kromme met vrij beweegbare toldeuren (T.L.). Niet alleen zijn de verschillen in afvoer het kleinst (ongeveer 10 percent in Q), maar de krommen W. en T.L. wijken op dezelfde manier van de paraboelvorm af. Een bult bij vervallen van 40 tot 50 cm, dan een deuk, waardoor bij stijgen van het verval van 50 tot 80 cm de afvoer maar weinig grooter wordt, gevolgd door sterker stijgen van de afvoer bij de allergrootste vervallen.

Deze laatste stijging is in de kromme W. sterker geprononceerd dan bij T.L. en dat is zeer goed te verklaren. Het verval in de grachten is dan tamelijk groot (bij Q = 50 m³ per sec is het 28 cm), zoodat de binnenwaterstand bij de syphon dan hooger is dan bij de kleine afvoeren. Het bovenste deel van de kromme W. geldt dus niet, zooals het onderste stuk, voor waterstanden van weinig hooger dan — 50, maar voor — 30 en zelfs hooger, nl. omstreeks — 20, en het is zeer goed denkbaar, dat de vier laatste metingen van 50 en 53 m³ per seconde gebeurd zijn bij een boven peil zijnd Noordzeekanaal. De zeestand is minstens 64 tot 72 cm

boven N.A.P. geweest en dat komt alleen voor bij harde wind, die ook onvoldoende loozing van het Noordzeekanaal kan hebben veroorzaakt.

Al is deze laatste onderstelling lang niet zeker, in ieder geval is het gelijke verloop van de krommen W. en T.L. onmiskenbaar. Het feit doet zich hier dus voor, dat de zeer sterk van de theoretische afwijkende vorm van een gemeten kromme wordt bevestigd door de modelproef. Zonder deze bevestiging zou men allicht aan onnauwkeurigheden in de metingen denken, terwijl thans vast staat, dat het wonderlijke verloop geheel wordt veroorzaakt door het gedrag van de toldeur. Bij matige afvoeren vertoont deze sterke neiging tot dichtknijpen, die bij de grootste waarden van Q bij een hooger buitenwater weer minder wordt.

De verbetering, die door het open zetten van de puntdeuren wordt verkregen, wordt dus bepaald door de lijnen D.O. en T.L. Al dadelijk is te zien, dat in het eerste geval het verval slechts ongeveer de helft is, want D.O. volgt de parabool

$$H = 0,02 Q^2,$$

terwijl de lijn van T.L. zich om de parabool

$$H = 0,04 Q^2$$

beweegt.

Weer kan men nagaan, welke zeestand noodig is, om de 36,2 m³ per seconde door te laten. Het is nu niet geoorloofd de helft van het verval te nemen, omdat de kromme van T.L. de parabool $H = 0,04 Q^2$ niet precies volgt. Men kan als volgt redeneeren.

De metingen van de werkelijkheid geven voor de standen buiten + 20, binnen — 36, Noordzeekanaal — 50 een Q van 36,2 m³ per seconde. Volgens de modelmeting zou bij deze standen ter weerszijden van de syphon de afvoer 39 m³ per seconde zijn. Bij deze afvoer heeft de syphon met open deur (D.O.) een verval van 29 cm noodig. De zeestand, waarbij deze afvoer optreedt, is dus 29 cm hooger dan 36 cm — N.A.P., dus 7 cm — N.A.P.

Dit is nog iets hooger dan beschikbaar is, zoodat de normale afvoer niet 36,2 m³ per seconde is, maar minder.

Uit het diagram blijkt, dat een hoeveelheid van 32,0 m³ per sec. in de werkelijkheid, overeenkomende met 35,5 m³ volgens de modelmeting, een verval geeft bij D.O. van 23,5 cm en bij T.L. van 42 cm. Wordt hierbij gevoegd de 11,5 cm verval, die bij deze afvoer in de grachten optreedt, dan wordt de stand in het Buiten-IJ bij open deur (D.O.) juist 15 cm — N.A.P. De

overeenkomstige stand met vrije toldeur is 3,5 cm + N.A.P., dat is hoger dan de gemiddelde zeestand, die te Zeeburg bij open Zuiderzee voorkomt.

Al is dus de normale afvoer bij de nieuw te maken toestand (32,0 m³ per sec) wat kleiner dan de afvoer op het oogenblik van hoog water vóór het begin van de Zuiderzeewerken (36,2 m³ per sec), het eerste geval is toch zeer bevredigend, omdat de volle afvoer gedurende de geheele tijd, die voor ververschen beschikbaar is, kan worden gehandhaafd.

5. Slotbeschouwing.

Door dit gunstige resultaat is het niet noodig te onderzoeken of het mogelijk is een grootere afvoer te bereiken door verbetering van de in- en uittreekanten van de zinkers. Een dergelijke verbetering is in de practijk zeker moeilijker uitvoerbaar dan het geschikt maken van de negen schuiven om er dagelijks mee te manoeuvreeren (aanbrengen van electriche bewegingsinrichtingen).

Het onderzoeken van de verbetering van in- en uittree is ook in het model een tamelijk tijdroovend werk. De gelegenheid om het te ondernemen was niet gemakkelijk te vinden en, daar de practische waarde vervallen was, is het onderzoek achterwege gebleven.

Enkele berekeningen kunnen globaal aangeven wat wellicht zou worden bereikt. Daarvoor moet worden uitgegaan van de natte doorsneden in de syphon.

Deze zijn:

zinkers, horizontaal gedeelte	27,63 m ³ = F ₁ ,
„ , in- en uitloop	20,79 „ = F ₂ ,
bogen tusschen de pijlers	31,08 „ ,
openingen toldeuren	21,6 „ = F ₃ .

Uit deze cijfers blijkt, dat de vernauwing onder de bogen tusschen de pijlers weinig of geen invloed kan hebben. De energieverliezen worden veroorzaakt door:

- a. de vertraging na het stroomen door de toldeur;
- b. „ contractie bij instroomen in de zinkers;
- c. „ bocht boven aan de buitenzijde;
- d. de bocht beneden aan de buitenzijde;
- e. „ „ „ „ „ binnenzijde;
- f. „ „ boven „ „ „ ;

waaruit volgt

$$\varphi_a = 0,94.$$

Dit beteekent, dat nagenoeg alle levende kracht van het door de toldeuren stroomende water verloren gaat in de ruimte tusschen de deuren en de zinkers.

Bij T.L. is het verlies twee maal zoo groot, wat te verklaren is, doordat de waarde van F_2 bij gedeeltelijk dichtgedrukte toldeur met omstreeks 30 percent wordt verkleind. De snelheid wordt daardoor 40 percent grooter en de snelheidshoogte verdubbelt dus ongeveer.

De verliezen b tot en met h treden bij alle toestanden op, ook bij D.O. De hiermee corresponderende verliestermen kunnen worden geschreven

$$\frac{\varphi b}{F_2^2} + \frac{\varphi c}{F_2^2} + \frac{\varphi d}{F_1^2} + \frac{\varphi e}{F_1^2} + \frac{\varphi f}{F_2^2} + \frac{\varphi g}{F_2^2} + \frac{\varphi h}{F_1^2} + \frac{\varphi i}{F_2^2} = 0,004,$$

of

$$\frac{\varphi d + \varphi e + \varphi h}{F_1^2} + \frac{\varphi b + \varphi c + \varphi f + \varphi g + \varphi i}{F_2^2} = 0,004.$$

De coëfficiënten zijn vrij goed uit vroeger uitgevoerde metingen bekend, behalve de in- en uittreeverliezen φb en φi , die zeer sterk van de vorm van de omgeving van in- en uitloop afhangen.

φc en φd = flauwe knik met vertraging rond 0,15,

φe „ φf = „ „ „ „ „ „ 0,05,

φg „ φh = wrijving, voor zoover die niet begrepen is in de verliezen na intree en na bochten, zeer klein, bijv. 0,10.

Dus:

$$\frac{0,15 + 0,05 + 0,10}{27,63^2} + \frac{\varphi b + 0,15 + 0,05 + 0,10 + \varphi i}{20,79^2} = 0,004,$$

waaruit volgt

$$\varphi b + \varphi i = 1,26.$$

Dit is een normale waarde voor de som van in- en uittreeverliezen (bijv. $\varphi b = 0,5$ en $\varphi i = 0,75$).

Van deze verliezen zou een gedeelte kunnen worden vermeden. Aan de bocht- en wrijvingsverliezen is niets te doen, maar de overige zijn te beïnvloeden.

In de eerste plaats zou door de zinkers bovenwaarts tot de toldeuren te verlengen, het vertragen na het passeeren van deze laatste worden ontgaan.

Daarmee vervalt het grootste deel van de verliezen *a* en *b*, wat een zeer belangrijke verbetering zou beteekenen.

Ook het uittreeverlies *i* kan worden verminderd door een betere vormgeving van de uiteinden van de zinkers, wellicht tot de helft van wat het nu is.

Door dergelijke maatregelen zou zeer waarschijnlijk een voldoende toestand kunnen worden verkregen, daar de coëfficiënten φ_a , φ_b en φ_i juist verreweg de grootste zijn. Samen leveren ze vier vijfden van het geheele verval van T.O. Zou φ_a worden teruggebracht tot 0,3, φ_b tot 0,2 en φ_i tot 0,4, dan werd het verval voor de syphon verkleind tot

$$H = 0,015 Q^2,$$

dus nog kleiner dan thans bij open deur geldt.

Toch is het gelukkig, dat het niet noodig zal zijn deze verbeteringen aan te brengen, daar de uitvoering op moeilijkheden zou stuiten.

Delft, April 1931.

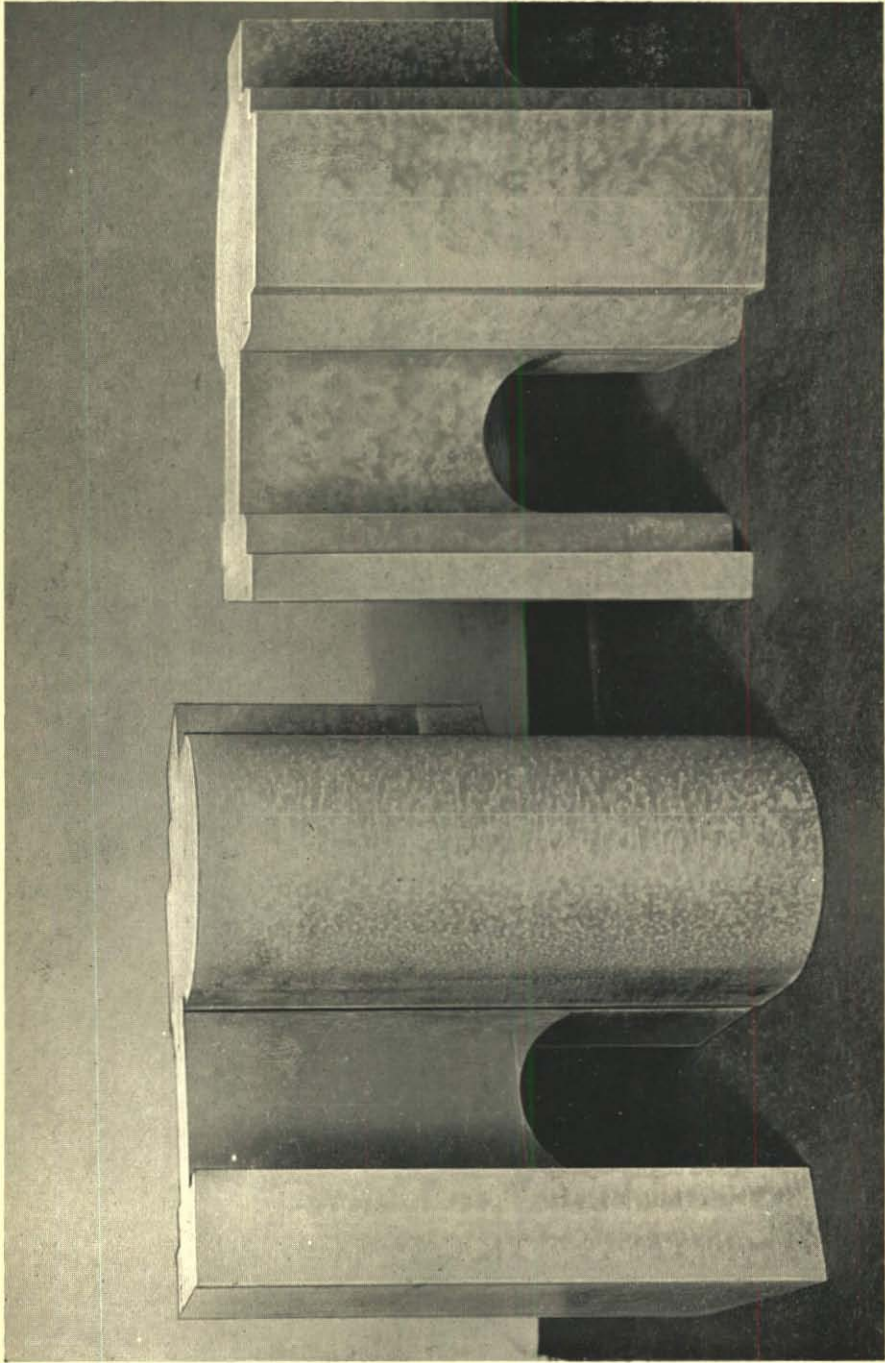


Fig. 2. Modeldeelen van paraffine.

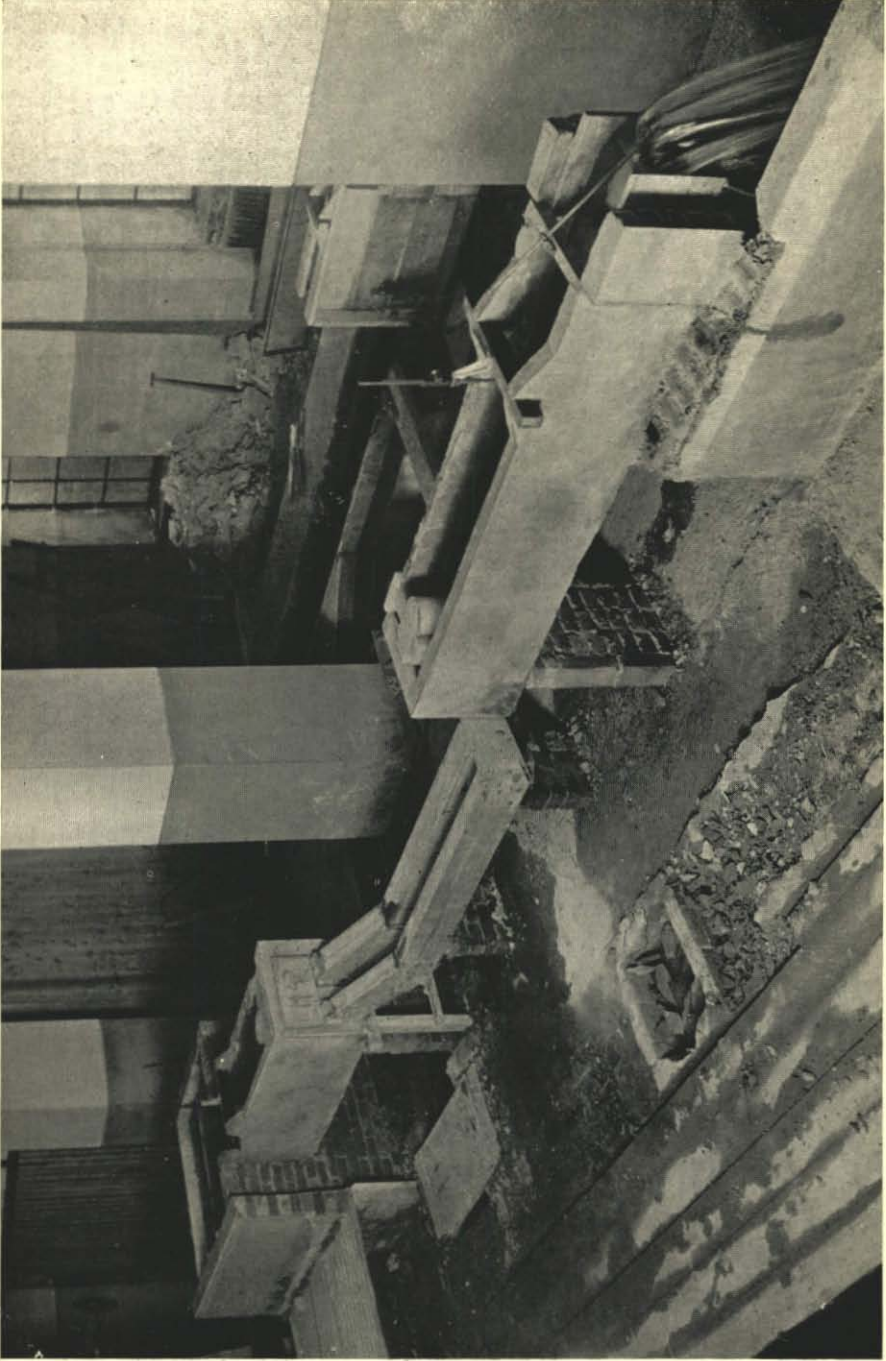


Fig. 4. Overzicht van het model.



Fig. 5. Bovenhoofd model bij inlaten door toldeuren.



Fig. 6. Bovenhoofd model bij inlaten met open puntdeuren.



Bij den dienst van de Nederlandsche Staatscourant (Rijks-uitgeverij) te 's-Gravenhage zijn mede verkrijgbaar gesteld:

Rapporten en mededeelingen betreffende de Zuiderzeewerken:

- N^o. 1. Geschiedenis van de Plannen tot afsluiting en droogmaking van de Zuiderzee, met chronologische lijst van geschriften tot en met het jaar 1922 (Uitverkocht) f 3,50
- „ 2. De uitvoering der Zuiderzeewerken in het tienjarig tijdvak 1919—1929 „ 3,50
- „ 3. Wasserbauliche Modellversuche zur Klärung der Abflussscheinungen beim Abschluss der Zuiderzee, ausgeführt im Flussbaulaboratorium der technischen Hochschule zu Karlsruhe, van Th. Rehbock (2 deelen) „ 5,—

Mededeelingen van de Commissie van advies omtrent de landbouwtechnische aangelegenheden betreffende den proefpolder nabij Andijk:

- N^o. 1. Rapporten met betrekking tot de bodemgesteldheid van de Wieringermeer en van den Andijker proefpolder „ 2,—

Verslag der Commissie tot het instellen van een hernieuwd onderzoek naar de baten inzake de droogmaking der Zuiderzee (Commissie-Lovink) „ 2,50

Verslag Staatscommissie Zuiderzee (Commissie-Lorentz) „ 5,—

Verslag der Commissie voor de uitgifte van Zuiderzeegronden (Commissie-Vissering) „ 1,75

Kaart inzake het plan voor de verkaveling van de Wieringermeer „ 1,—

Driemaandelijksche mededeelingen betreffende de werkzaamheden voor de afsluiting en droogmaking der Zuiderzee per kwartaalnummer „ 0,35