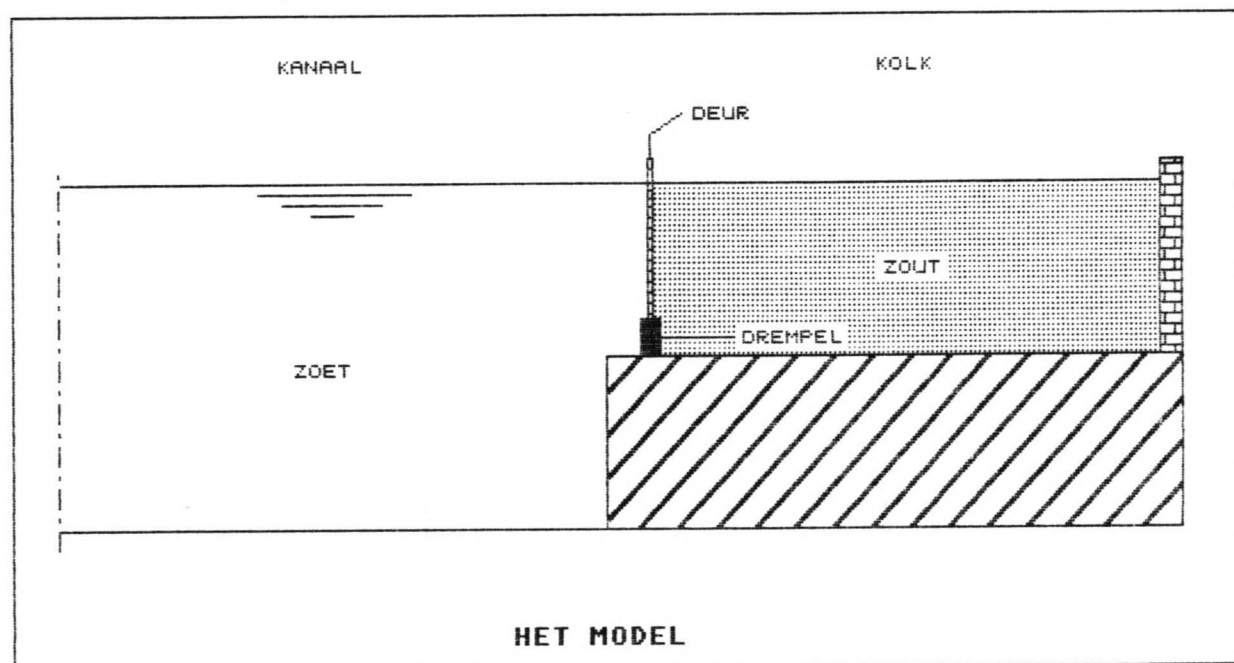


ONDERZOEK NAAR HET FUNKTIONEREN VAN EEN DREMPEL
IN EEN ZEESLUIS





VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
JH Delft

ONDERZOEK NAAR HET FUNKTIONEREN VAN EEN DREMPEL
IN EEN ZEESLUIS

Geschreven door:

J.T. Bresters
J.F. v.d. Velden

Begeleid door:

Ing. K.G. Bezuyen
Dr.Ir. P.A. Kolkman

Delft, 10 maart 1988
Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
vakgroep waterbouwkunde

Voorwoord

Dit is het verslag van het modelonderzoek naar het funktionieren van een drempel in een sluiskolk, dat gedaan is in het Stevin laboratorium van de Technische Universiteit te Delft.

Een woord van dank gaat uit naar het personeel van het laboratorium, dat medewerking verleend heeft bij het bouwen van het model en het beschikbaar stellen van de middelen en de instrumenten om de proeven uit te kunnen voeren. In het bijzonder willen wij daarbij bedanken de heren Fontijn, Kranenburg en den Toom voor hun adviezen voor en tijdens de proeven.

Tevens een woord van dank aan dhr. Buitenhek en dhr. Couman van de faculteit der scheepsbouwkunde, voor het ter beschikking stellen van een scheepsmodel met eigen voortstuwing.

J.T. Bresters
J.F. v.d. Velden

Inhoudsopgave

	pag
Hoofdstuk 1: Inleiding	
§ 1.1 Probleemstelling	1
§ 1.2 Opzet van het rapport	2
§ 1.3 Samenvatting van de resultaten	2
Hoofdstuk 2: Theorievorming	
§ 2.1 Het uitwisselingsproces	3
§ 2.2 De invloedsfactoren	5
§ 2.3 Verwachtingen	6
Hoofdstuk 3: Opzet en uitvoering van de proeven	
§ 3.1 Het schaalmodel	9
§ 3.2 De gebruikte meetinstrumenten	12
§ 3.3 De uitvoering van de proeven	16
Hoofdstuk 4: De proeven	
§ 4.1 Korte beschrijving van de proeven	18
§ 4.2 Overzicht van de proeven	19
§ 4.3 Beschrijving van de proeven	20
Hoofdstuk 5: Konklusies en aanbevelingen	
§ 5.1 Konklusies	32
§ 5.2 Aanbevelingen	34
Figuren en tabel:	
tabel 1 Overzicht van de instelgegevens en voornaamste resultaten van de proeven	36
fig. 4.1 Het uitwisselingsproces tijdens de testproef	38
fig. 4.2a Beweging grenslaag bij uitvarend schip	39
fig. 4.2b Beweging grenslaag bij invarend schip	39
fig. 4.3a Drempel met schot onder 45°	40
fig. 4.3b Drempel met schot onder 30°	40
Bijlage 1 : Tekeningen van de sluis met drempel	41
Bijlage 2 : Gegevens van het scheepsmodel	43
Literatuurlijst	45

Hoofdstuk 1 Inleiding

§ 1.1 Probleemstelling

Bij Terneuzen liggen momenteel drie sluizen, die de Westerschelde met het kanaal van Gent naar Terneuzen verbinden. Eén sluis wordt voor de binnenvaart gebruikt, de andere twee kunnen voor de zeevaart worden ingezet. De grootste zeesluis (de Westsluis) heeft afmetingen van 290 * 40 m.

Om Gent toegankelijk te maken voor grotere schepen, tot 200.000 DWT, is er een plan opgesteld voor de bouw van een sluis met afmetingen van 500 * 68 m. Door de bouw van deze sluis, kan het aantal schepen, dat geschut kan worden, toenemen. Aangezien de Westerschelde een open zee-arm is en omdat elke schutting een zekere uitwisseling met zich brengt, moeten voorzieningen getroffen worden om het binnendringen van zout schutwater zo veel mogelijk te beperken. Langs het kanaal liggen agrarische bedrijven en het kanaalwater wordt tevens gebruikt als proces- en koelwater door verschillende fabrieken. Het kanaalwater kan daarom niet onbeperkt opzouten zonder grote onkosten te veroorzaken. Waar de bovengrens voor het zoutgehalte van het kanaalwater ligt, is niet duidelijk. Er wordt daarom gestreefd naar een optimale zoutbestrijding.

In een voorgaande studie is nagegaan of voor de nieuwe zeesluis een afdoend zoutbestrijdingssysteem toe te passen is, zie hiervoor [1]. In deze studie worden ook enige aanvullende maatregelen aangegeven om de zoutbelasting op het kanaal tegen te gaan.

Eén van deze middelen bestaat uit een in de sluis-kolk gebouwde, in hoogte instelbare, drempel vlak bij de sluisdeur aan de kanaalzijde. De gedachte hierachter is dat bij het schutten van schepen in de richting van het kanaal normaal de gehele sluis-kolk uitgewisseld wordt. Hierbij maakt het nauwelijks verschil of een schip een grote of kleine diepgang heeft, alleen het totaal uit te wisselen volume bij schepen met een kleinere diepgang is groter. De zoutlast op het kanaal is dus niet afhankelijk van de diepgang van het schip, maar van de waterhoogte in de kolk. Hierdoor komt onnodig veel zoutwater op het kanaal. Door nu een drempel in de kolk te bouwen en de hoogte van deze drempel aan te passen aan de diepgang van het schip, kan een gedeelte van het zoute water in de kolk tegengehouden worden.

In deze studie zal geprobeerd worden antwoord te geven op de vraag in hoeverre een verhoogde drempel in de sluis-kolk effectief is bij het tegenhouden van het uitstromende zoute kolkwater tijdens het uitwisselingsproces en tijdens het in- en uitvaren van schepen.

Door middel van modelproeven zal verder gepoogd worden inzicht te krijgen in de invloed van een dergelijke drempel op de stroming van zoet- en zoutwater tijdens het uitwisselingsproces. Dit proces treedt op zodra de sluisdeur, die het zoete kanaalwater en het zoute water in de kolk gescheiden houdt, geopend wordt. Ook zal de invloed van scheepsbewegingen nagegaan worden.

Bij alle proeven is een drempel bij de sluisdeur aan de kanaalzijde aangebracht. De proeven zijn uitgevoerd met een volledig zoute sluis-kolk en zoet kanaal, gescheiden door een sluisdeur.

Opgemerkt wordt dat het hier gaat om een globale studie. De proeven zijn eenvoudig van opzet. Het ging er in eerste instantie om een kwalitatieve indruk te krijgen van de werking van een

drempel op het zoutindringings proces.

§ 1.2 Opzet van het rapport

Voor het doen van proeven is het van belang om te weten, welke processen er optreden. In hoofdstuk 2 wordt daarom eerst een uitgebreide beschouwing gegeven van het uitwisselingsproces dat in het algemeen bij dit type sluizen optreedt. Verder zullen de factoren die van invloed zijn op de uitwisselingssnelheid nader bekeken worden.

In hoofdstuk 3 wordt dan de opzet van het model besproken. Hierbij is eerst een werkelijke situatie gekozen die daarna in een model vertaald is. Ondanks dat het uitwisselingsproces door het kleuren van het water goed te volgen was, waren er toch enige metingen nodig. De meetinstrumenten die hiervoor gebruikt zijn zullen in paragraaf 2 aan de orde komen.

Om de gevolgen van veranderingen in het model te kunnen bepalen werd eerst een zogenaamde standaardproef uitgevoerd. In hoofdstuk 4 zal eerst de standaardproef besproken worden en wordt aangegeven waarin de volgende proeven van de standaardproef verschillen. Vervolgens worden de proeven uitgebreid beschreven. Het vierde hoofdstuk geeft de conclusies die uit de proeven getrokken kunnen worden weer en tevens zullen in dit hoofdstuk enkele aanbevelingen gedaan worden.

§ 1.3 Samenvatting van de resultaten

Tijdens het uitvoeren van de proeven zijn de waarnemingen en de meetgegevens vastgelegd. Na bestudering hiervan zijn enkele conclusies getrokken. De belangrijkste hiervan is dat een drempel in de kolk van een zeesluis de hoeveelheid zout schutwater, die op het kanaal komt, reduceert. De drempel houdt een gedeelte van het zoute water tegen, zodat er een laag zoutwater in de kolk achterblijft. De dikte van die laag is gelijk aan de hoogte van de drempel.

De hoogte van de drempel bepaalt welk volume zoutwater in de kolk achter blijft.

Verder is gebleken dat andere factoren een marginale invloed hebben op de hoeveelheid zoutwater dat tegengehouden wordt. Die factoren zijn de waterhoogte boven de drempel, het dichtheidsverschil tussen zout- en zoetwater, het uit- en invaren van een schip, de schroefwerking van het schip en de hoek die de drempel met de kolkbodem maakt.

De enige faktor die wel grote invloed heeft is de tijdsduur dat de sluisdeur openstaat.

Het uitwisselen van zout- en zoetwater gaat met een bepaalde snelheid, afhankelijk van de waterhoogte boven de drempel en het dichtheidsverschil. Daardoor duurt het een bepaalde tijd voordat het gehele uitwisselingsproces voltooid is. Indien de deur binnen die tijd gesloten kan worden, wordt een gedeelte van het zoute water in de kolk tegengehouden, dat anders de kolk uitgestroomd zou zijn.

Al met al waren de resultaten zodanig dat verder onderzoek naar een drempel in een sluis zinvol is.

Hoodstuk 2 Theorievorming

Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het uitwisselingsproces beschreven, dat in het algemeen optreedt wanneer de sluisdeur, die zoet- en zoutwater gescheiden houdt, geopend wordt.

De factoren, die daarbij een rol spelen, worden nader bekeken en er worden enige verwachtingen uitgesproken over de invloed van een drempel op dit proces.

§ 2.1 Het uitwisselingsproces

Schepen die van zee komen en een zoet kanaal op willen varen, moeten eerst door een sluis heen. Ze varen dan aan de zeezijde de kolk in. De kolk wordt hierbij geheel of gedeeltelijk zout. Als de deur gesloten is kan de kolk genivelleerd worden. Wanneer de waterstand aan de zeezijde hoger is dan aan de kanaalzijde wordt de zoute schuttschijf op het kanaal geloosd. Indien de waterstand aan de kanaalzijde hoger is dan die aan de zeezijde, wordt water vanuit het kanaal ingelaten. In het geval van de nieuwe zeesluis te Terneuzen gebeurt dit nivelleren met behulp van omloopriolen, die hun oorsprong vinden in de zoutvang achter de sluis. Het merendeel van de tijd staat het kanaalwater hoger dan het water aan de zeezijde en wordt er genivelleerd met zoutwater uit de zoutvang. De kolk bevat dan dus zoutwater. Worden de deuren aan de kanaalzijde nu geopend dan komt er water met twee verschillende dichtheden tegen elkaar te staan. Hierdoor komt er een stroming op gang die wordt aangeduid met de term uitwisselingsstroming. Het zout water stroomt onderlangs de kolk uit met een snelheid u_A . Ter compensatie stroomt er bovenlangs een gelijk volume zoetwater de kolk in, eveneens met een snelheid u_A (zie fig. 1). Na een bepaalde tijd is dan het volledige kolkvolume uitgewisseld.

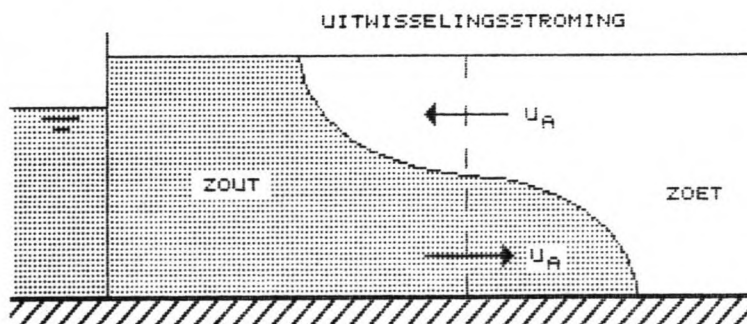


fig. 2.1 De uitwisselingsstroming

Om de maximale zoutlast op het kanaal te bepalen moet bij het kolkvolume de schuttschijf worden opgeteld in geval van een hogere waterstand op zee en worden afgetrokken indien de waterstand op zee lager is dan op het kanaal. Van het dan berekende volume dient nog wel het ingedompeld scheepsvolume te worden afgetrokken.

Het volume zoutwater, dat uitgewisseld wordt, is afhankelijk van de tijdsduur, dat de deur openstaat. Het uitwisselingsproces verloopt in een bepaalde tijd en wanneer deze tijd verstreken is, is het zoute kolkwater vervangen door zoetwater. Na deze tijd maakt het niet meer uit of de deuren al dan niet snel gesloten worden.

Waardoor ontstaat nu deze uitwisselingsstroming?

Deze ontstaat doordat bij gelijke waterstanden over de deur het zoute water een grotere druk levert dan het zoete water, als gevolg van het dichtheidsverschil. Bij de bodem bedraagt dit drukverschil $\Delta p = \Delta \rho g h$. Hierin is $\Delta \rho$ het dichtheidsverschil tussen zout- en zoetwater en is h de waterhoogte (zie fig. 2.2).

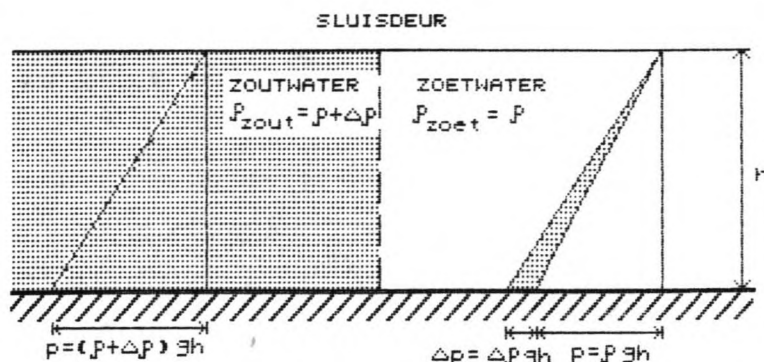


fig. 2.2 Het drukverschil op de bodem

In werkelijkheid stelt zich een symmetrische toestand in met zowel aan de bodem als aan het oppervlak een drukverschil $1/2 \Delta \rho g h$ (zie fig. 2.3).

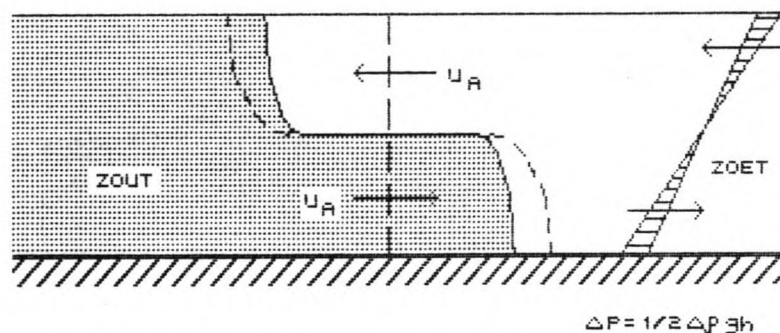


fig. 2.3 Zout-zoetuitwisseling kort na openen deuren in de werkelijke situatie

Als de grafiek ongelijk is ontstaat er gesuperponeerd op de $\Delta \rho$ uitwisseling tevens een translatiegolf die echter met \sqrt{gh} loopt en de uitwisseling zelf verder niet beïnvloedt. De stroming die zo ontstaat kan gekarakteriseerd worden door het zogenaamde interne Froude getal. Hiermee kan een uitdrukking verkregen worden, die de stromingsdruk $\frac{1}{2} \rho v^2$, aan het bovengenoemde drukverschil van een $\frac{1}{2} \Delta \rho g h$ relateert. Dit interne Froude getal, F_1 wordt als volgt gedefinieerd:

$$F_1 = \sqrt{(\text{stromingsdruk/drukverschil})} = \sqrt{(\frac{1}{2} \rho v^2 / \frac{1}{2} \Delta \rho g h)} = u / \sqrt{(\Delta g h)}$$

Volgens Abraham [2 en 3], kan F_1 , bij een blokvormig snelheidsprofiel berekend worden door het verlies in potentiële energie per eenheid van tijd, dat optreedt doordat het zwaardere zoute water voortdurend naar de bodem zakt, te relateren aan de toename van de kinetische energie. Hieruit wordt gevonden dat F_1 gelijk is

aan een $\frac{1}{2}$. Uit bovenstaande formule kan dan de volgende relatie voor de uitwisselingssnelheid worden afgeleid: $u_A = \frac{1}{2}\sqrt{\Delta gh}$. (In deze formule is de reductie van de uitwisselingssnelheid ten gevolge van luchtbellenschermen niet meegenomen.)

In de praktijk wordt een waarde van circa 0.45 gevonden omdat het snelheidsprofiel niet blokvormig is en vanwege de wrijving op het grensvlak tussen zout- en zoetwater. Het uitwisselingsproces gaat door ook nadat het zoete water de gesloten sluisdeur aan de andere kant van de sluiskolk bereikt en daar teruggekaatst wordt. Op deze wijze wordt het volledige zoutwatervolume uit de kolk verwijderd.

Het uitwisselingsdebiet per eenheid van breedte is nu $q_A = \frac{1}{2}h \cdot u_A$. De duur van het uitwisselingsproces is, wanneer L de kolk lengte is, $T_A = 2L/u_A$. De totale hoeveelheid zoutwater, die uitgewisseld wordt, is tenslotte nog afhankelijk van de tijdsduur dat de deur openstaat. In formule vorm: $V = q_A \cdot B \cdot t = \frac{1}{2}h \cdot u_A \cdot B \cdot t$ ofwel

$$V = \frac{1}{2}h \cdot \frac{1}{2}\sqrt{\Delta gh} \cdot B \cdot t$$

met h = de waterstand in de kolk

$$\Delta = \rho_{\text{zout}} - \rho_{\text{zoet}} / \rho_{\text{zoet}}$$

B = de breedte van de kolk

t = tijd dat de deur openstaat

§ 2.2 De invloedsfactoren

Het totale volume zoutwater, dat de kolk verlaat, is dus volgens bovenstaande formule, afhankelijk van de waterhoogte, het dichtheidsverschil, de breedte van de sluiskolk en de tijd dat de deur openstaat. Door deze factoren te reduceren neemt ook de zoutlast af.

De effectieve waterhoogte in de sluiskolk, die de loopsnelheid van de uitwisselingstroming bepaald, is afhankelijk van het waterpeil in het kanaal. De loopsnelheid van de golf wordt nog gereduceerd door de diepgang van de schepen die geschut worden. De waterhoogte kan op de plaats waar de uitwisseling begint verkleind worden door een drempel aan te brengen met een hoogte, zodanig dat de schepen de sluiskolk ongehinderd kunnen verlaten, maar dat toch niet het gehele kolk volume wordt uitgewisseld. Deze drempel kan met een vaste of met een in de hoogte verstelbare constructie worden uitgevoerd.

De waterhoogte komt in de formule twee maal voor ($h^{3/2}$), zodat een verkleining van de waterhoogte grote invloed heeft op het uitwisselingsdebiet, terwijl als er zoutwater achter de drempel zou blijven staan ook bij lang openstaan van de deur een reductie van het volume zoutwater dat binnendringt optreedt.

Het dichtheidsverschil is een gegeven van de natuur. De dichtheid van het kanaalwater is afhankelijk van het kanaaldebiet. Wanneer het debiet groter is kan er meer water worden weggespuid en wordt daardoor de zoutindringing op het kanaal verminderd. Verder is de dichtheid van het kanaalwater nog afhankelijk van de zoutindringing bij de sluizen en de onttrekking en lozingen van kanaalwater door de industrie en agrarische bedrijven. De zoutindringing bij de sluizen is te verminderen door het aantal schuttingen te beperken en door de bovenstaande invloedsfactoren te reduceren.

De dichtheid van het water in de voorhaven wordt bepaald door het zeewater en in het geval van Terneuzen door de afvoer van de rivier de Schelde. Het zoete kanaalwater dat via de sluis

gespuid wordt of dat via schuttingen in de voorhaven komt bepaalt wellicht ook nog de dichtheid van het water in de voorhaven.

De breedte van de sluis ligt vast. Er kunnen konstrukties bedacht worden waarbij de breedte aangepast kan worden. Hierbij zijn de wanden naar binnen te schuiven. Het is ook mogelijk voor kleinere schepen de roldeur slechts gedeeltelijk te openen. Dit geeft een zeer assymetrische stroming en er ontstaat hierbij het gevaar voor het aanvaren van de deur, die dan niet beschermd in de deurkas zit. Deze alternatieven zijn dan ook zeker niet aan te bevelen.

De tijdsduur dat de deur openstaat is afhankelijk van de tijd die de schepen in de kolk nodig hebben om weg te varen en van de tijd die verstrijkt voordat de schepen, die de andere kant op geschut moeten worden, in de kolk afgemeerd zijn. Er kan ook een situatie ontstaan dat er een schip de kolk uitvaart, terwijl het schip dat de andere kant op geschut wil worden de sluis nog niet heeft bereikt. De deuren blijven dan toch geopend omdat de schipper van dat schip anders denkt dat de sluis gesloten is en begint af te remmen. Hierdoor zou de schutcyclus vertraagd worden en daarom hebben de sluismeesters besloten de deuren dan open te laten staan.

Om de tijd van openstaan van de deuren zo klein mogelijk te houden moet er dus een goede communicatie tussen de sluismeester en de schipper zijn. Een beter begrip, bij de schippers, van het uitwisselingsproces dat bij de sluizen optreedt kan een beter beheer van de sluizen ten goede komen.

In deze studie wordt afgezien van eventuele aanpassingen aan de breedte van de sluis kolk. De specifieke mogelijkheid om een drempel toe te passen zal verder bestudeerd worden, waarbij ook de tijdsduur van het openstaan van de deur meegenomen wordt.

§ 2.3 Verwachtingen

De verwachting is, dat de invloed van de drempel op het uitwisselingsproces zodanig is, dat alleen het zoute water dat zich boven de drempel bevindt uitgewisseld wordt. Hierdoor kan de zoutlast op het kanaal gereduceerd worden. Dit is in de figuren 2.4a en 2.4b (op de volgende bladzijde) aangegeven.

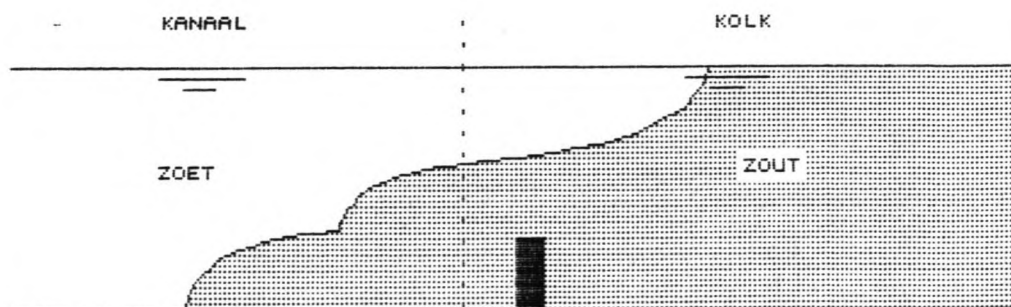


fig 2.4a Het begin van de uitwisseling met drempel

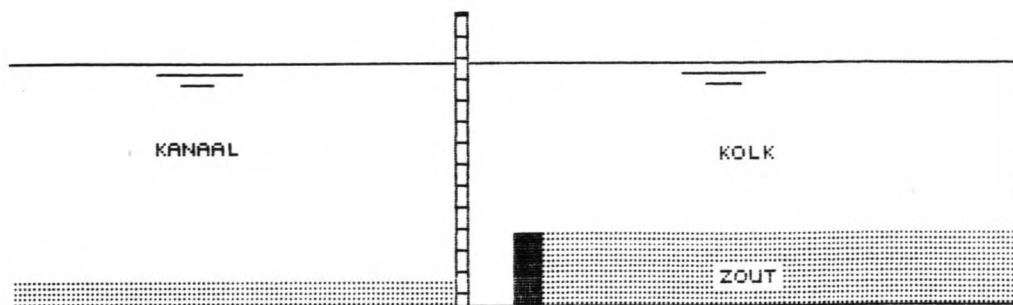


fig. 2.4b De eindsituatie van de uitwisseling met drempel

Het is echter ook denkbaar dat niet al het zoute water, dat achter de drempel staat daar ook tijdens het uitwisselen achterblijft. De zoetwater stroom zou hiervan een gedeelte kunnen mee nemen, zoals in figuur 2.5 is weergegeven.

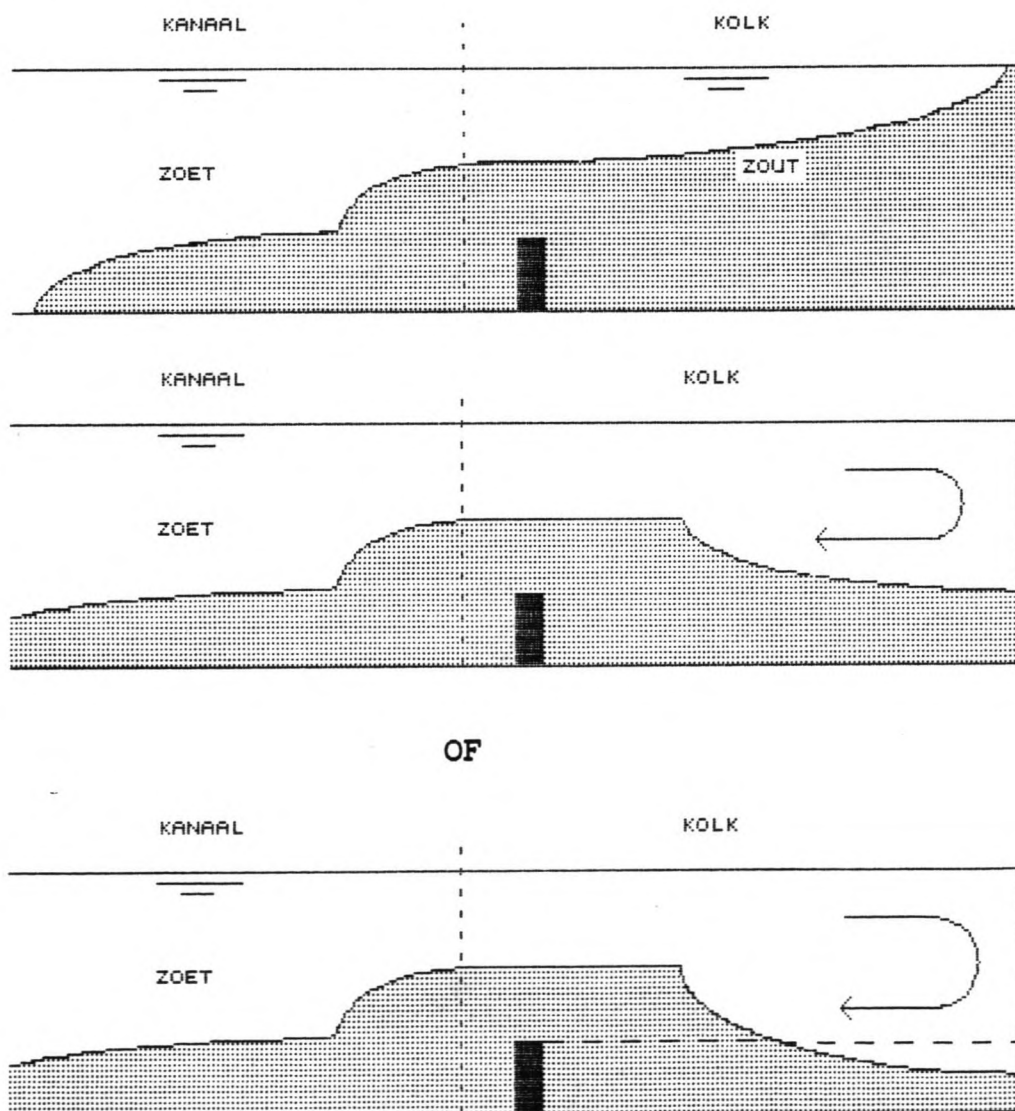


fig 2.5 Mogelijke oplossingen van uitwisseling met een drempel

Verder kan verwacht worden dat de in- en uitvarende schepen van invloed zijn op de hoogte van de laag achter de drempel. Schepen veroorzaken namelijk een zakking van de waterspiegel en ook woelingen in het water. De kuil ontstaat doordat aan de voorkant water wordt weggestuwd en dat water moet aan de achterkant van het schip weer worden aangevuld.

Bovendien wordt bij het opgang komen en afremmen van schepen de schroef flink hard rondgedraaid wat extra turbulentie geeft en wat van invloed kan zijn op de laag zoutwater achter de drempel. Tenslotte kan verwacht worden dat de hoogte van de drempel t.o.v. de waterstand in de kolk van invloed is op de dikte van de laag achter de drempel.

Hoofdstuk 3 Opzet en uitvoering van de proeven

§ 3.1 Het schaalmodel

Een schaalmodel is bedoeld als een simulatie van de werkelijkheid. Het was daarom noodzakelijk eerst de werkelijke situatie goed te beschrijven voordat met de ontwikkeling van het model kon worden begonnen.

Deze werkelijke situatie is de situatie rondom de nieuwe zeesluis te Terneuzen. De afmetingen van deze sluis zijn $500 * 68$ m. Om een sluis van deze breedte af te sluiten worden hef- of roldeuren toegepast. Voor de zeesluis worden dat roldeuren omdat men een onbeperkt vrije doorvaart hoogte wil. Achter de sluis zal een zoutvang worden aangelegd om de zoutbelasting op het kanaal zoveel mogelijk te beperken. Het zoute water dat, uit de kolk, in de zoutvang terecht komt zal via spuiroelen op de Westerschelde terug worden gespuid. Achter de zoutvang bevindt zich het kanaal dat doorloopt naar Gent. De drempel zal, wanneer deze wordt gebouwd, waarschijnlijk aan de binnenzijde van de kolk, vlak voor de deur aan de kanaalzijde worden geplaatst. Naar de beste plaats voor de drempel zal nog een nader onderzoek moeten worden ingesteld.

De hierboven beschreven situatie zal nu vertaald moeten worden naar een schaalmodel. Voor het ontwikkelen van zo'n model dienen de schalen waarop het model wordt weergegeven bepaald te worden. Deze schalen worden bepaald door het afleiden van schaalwetten. Er is gekozen voor een samengetrokken model. Dat wil zeggen dat de lengte schaal groter is dan de diepte schaal.

Voor dichtheidsstromen gelden de volgende schaalwetten:

- 1) schalen van de geometrie (geometrische gelijkvormigheid) $\rightarrow N_L$
Hierin is N_L de verhouding van de lengte in het prototype t.o.v. de lengte in het model.
- 2) schaling van tijd en snelheid (kinematische gelijkvormigheid)
 $\rightarrow N_v = N_L / N_T$
- 3) eenduidige schaling van krachten:
traagheid $\rightarrow p :: g v^2$
wrijving $\rightarrow \tau :: \mu v / L$
oppervlakte spanning \rightarrow blijft buiten beschouwing
zwaartekracht $\rightarrow p :: g g L$ waarin L wordt gerelateerd aan de verticale schaal

Uit de voorwaarde van de traagheid en die van de zwaartekracht volgt $v^2 \approx g L$, dit is de Froude voorwaarde ($N_{Fr} = 1$). Uit de traagheid en de wrijvingsvoorwaarde $\tau / p = \mu v / L g v^2 = \mu / v L$ volgt dat aan de Reynolds voorwaarde moet worden voldaan. Er kan niet aan beide voorwaarden tegelijk worden voldaan en daarom moet een keuze worden gemaakt. Hier wordt gekozen voor de Froude voorwaarde gerelateerd aan de verticale schaal. Dit is alleen toelaatbaar als in zowel het prototype als het model τ voldoende klein is en dus Re voldoende groot. Voor dit model geldt dan dat Re groter moet zijn dan 800. Aan deze eis wordt ruim voldaan zoals blijkt uit onderstaande berekening.

$$Re = vL/\nu = 0.091 * 0.17 / 10^{-6} = 15500 \gg 800^1$$

¹ De gebruikte waarden zijn terug te vinden in tabel 1.

Dichtheidsstromen zijn goed te combineren met de Froudeschaal mits $N_{\Delta g} = 1$. Met $N_{\Delta g}$ wordt bedoeld de verhouding tussen Δg van het prototype en Δg van het model (de schaal). Omdat hier Froude niet nodig is, vanwege de horizontale waterspiegel, moet het interne Froude getal juist worden weergegeven ($N_{Fr_1} = 1$). Het interne Froude getal is gelijk aan: $Fr_1 = u/\sqrt{\Delta gh}$.

Bij het uitwerken en beschrijven van het model zal onderscheid gemaakt worden naar de sluiskolk, het kanaal en de zoutvang en de drempel.

De sluiskolk

Voor deze proeven was alleen de kanaalzijde interessant omdat zich daar de drempel bevindt. Daarom werd aan de andere zijde van de kolk een vast stenen muurtje geplaatst. Aan de zijde van de drempel moest echter wel een deur komen. Omdat de proeven in een stroomgoot plaatsvonden was het toepassen van een roldeur niet mogelijk. Besloten werd dan ook een hefdeur toe te passen, die door een vertikaal profiel, op de stroomgoot, geleid werd. Met behulp van een kraan kon de deur snel getrokken en gesloten worden. Het toepassen van een ander deur type, dan in de werkelijkheid, had, naar verwachting, verder nauwelijks invloed op de stroming. Alleen bij het openen ontstond er enige wrijving langs het deur oppervlak wat een kleine interne golf tot gevolg had. De lengte van de kolk zal in het nu volgende gedeelte worden behandeld.

Het kanaal en de zoutvang

Het kanaal is in verhouding tot de afmetingen van de sluis zeer lang. Om het kanaal goed na te bootsen zou de stroomgoot dan een zeer grote lengte moeten hebben. Dit was niet mogelijk, vandaar dat besloten werd het kanaal gedeelte af te sluiten met een stenen muurtje op enige afstand achter de sluisdeur. De plaats waar zo'n muurtje komt te staan is erg belangrijk omdat de uitwisselingsstroming (in dit geval het over de bodem stromende zoute water) tegen deze muur opbotst en daardoor teruggekaatst wordt. Om de invloed van deze terugkaatsing op de stroming zo veel mogelijk tegen te gaan moest het kanaal verdiept worden aangelegd. Deze eis volgde ook al uit het feit dat achter de echte sluis een zoutvang ligt waarin het zoute water terecht komt. Om dit na te bootsen moest meteen na de deur een verdieping zitten. Omdat de bodem van de stroomgoot niet verdiept kon worden, werd besloten de sluiskolk hoger te leggen. Doordat het kanaal nu dieper werd dan de sluiskolk kon er meer zoutwater geborgen worden en was er meer zoetwater voor de uitwisseling beschikbaar. Door nu tevens het kanaal langer te maken dan de kolk werd dit volume nog verder vergroot. Dit was nodig omdat het zoute water dat uit de kolk komt zich mengt met het zoete water van het kanaal. Door deze menging is er een groter volume nodig voor de berging van het zoute water dan het volume zoutwater in de kolk. De grote vragen die nu overbleven waren:

- 1) hoe lang wordt de kolk
- 2) hoe hoog moet de sluiskolk gelegd worden

Uit de gekozen lengte voor de kolk zou dan de lengte van het kanaal volgen.

Als bedacht wordt dat het model bij elke proef gevuld moest worden met zoetwater en de sluiskolk met zoutwater en na afloop van elke proef het hele model met schoon water gevuld moest

worden, dan dringt de noodzaak zich op de afmetingen van het model zoveel mogelijk te beperken. Omdat het water in het model met zout gemengd werd, kon het water na afloop niet afgevoerd worden in het zoetwater reservoir van het laboratorium maar moest het na elke proef geloosd worden op het riool. Dit betekende dat het model met behulp van een pomp leeggezogen moest worden. Het beperken van de afmetingen van het model was dan ook zeer belangrijk.

De breedte van de goot bedroeg 80 cm. De breedteschaal N_B bedroeg dus $68/0.8 = 85$. Wanneer de lengteschaal gelijk aan de breedteschaal gemaakt zou zijn dan moest de kolk lengte in het model $500/85 = 5.88$ meter worden. Het uitwisselingsproces is echter een twee dimensionaal verschijnsel zodat een kleinere kolk lengte geen invloed had op het stroombeeld. In het model is daarom gekozen voor een lengte van 2 meter. Dit is gebeurd op grond van de uitwisselingssnelheid. De lengte van de kolk heeft invloed op de duur van het uitwisselingsproces maar niet op de snelheid ervan (zie § 2.1). In verband met instelverschijnselen en de uitvoering van bepaalde proeven, waarbij de tijdsduur een rol speelde, kon de sluiskolk niet al te kort worden gemaakt. Van te voren was namelijk bekend dat de goot een hoogte van ruim 50 cm had. Op de plaats van de sluiskolk zou dan een betonnen vloertje worden gestort van 25 cm en daarop kon dan nog een laag water van 25 cm staan. Aangezien de uitwisselingssnelheid afhankelijk is van de waterdiepte, kon, bij een dichtheidsverschil van 20 kg/m^3 , berekend worden hoe lang de kolk moest worden, om het uitwisselingsproces goed te kunnen volgen. Bovendien werd door de keuze van $N_{\Delta} = 1$ voldaan aan de schaalvoorwaarde van het interne Froude getal. Het betrof hier dus een sterk samengetrokken model (de samentrekking $r = N_L/N_A = 250/78 \approx 3$. Met N_L is de lengteschaal en N_A de diepteschaal).

Besloten werd het kanaal tweemaal zolang te maken als de kolk. Het kanaal werd dus 2×2 meter is 4 meter lang.

De drempel

Tenslotte restte nog de vraag hoe de drempel uitgevoerd moest worden en op welke plaats. Om het model eenvoudig te houden werd besloten een vaste drempel te bouwen. Deze drempel bestond in eerste instantie uit een rechte plank over de gehele breedte van de kolk. De zijkanten van de drempel waren waterdicht bevestigd aan de wanden van de goot. Tijdens de proeven kon de drempel aangepast worden door er verschillende schuin afgezaagde plankjes tegen aan te zetten. Hiermee kon de invloed van de vorm van de drempel op de stroming onderzocht worden. De hoogte van de drempel werd vastgesteld op $1/3$ à $1/4$ deel van de waterhoogte. Met een waterhoogte van 25 cm werd dit een hoogte van 8 cm. In de eerste opzet werd de drempel net als in de echte sluis vlak voor de sluisdeur geprojecteerd. Een bezwaar is nu dat bij het openen van de sluisdeur het uitwisselingsproces over de gehele kolkhoogte op gang komt en dan plotseling op een obstakel, in de vorm van de drempel, stuit. De hoogte van het uitwisselingsvlak wordt dan plotseling verkleind wat storingen in de stroming zou veroorzaken. Doordat niet met schaalregels is gewerkt zouden deze storingen niet rechtstreeks naar de werkelijkheid te vertalen zijn. Om een goed inzicht te krijgen in de werking van de drempel op zich zijn deze stromingen dan ook ongewenst. De oplossing werd gevonden door de drempel niet vlak voor maar onder de deur te plaatsen. Het uitwisselingsproces begon hierdoor gelijk met een gereduceerde hoogte. Een en ander is in onderstaande schetsen nader worden uitgewerkt.

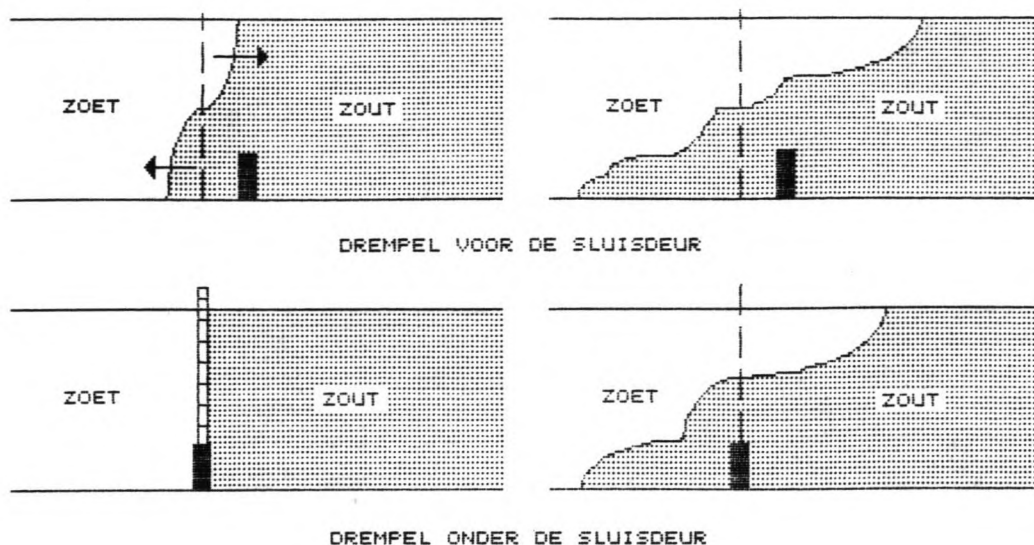


fig. 3.1 Uitwisselingsstroming met de drempel voor en onder de deur

Het gehele model ziet er nu als volgt uit:

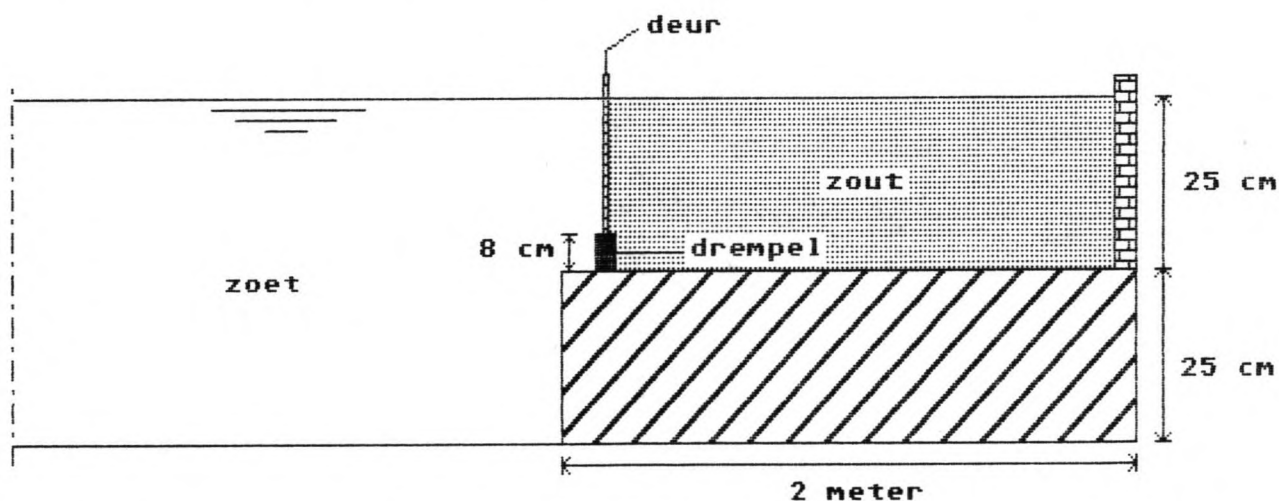


fig. 3.2 Het model

Het zoetwater gedeelte is in het model 4 meter lang en wordt daar door een stenen muurtje begrensd. In de tekening is dit gedeelte door een stippellijntje afgebroken omdat anders de tekening veel te groot zou worden.

§ 3.2 De gebruikte meetinstrumenten

Door met methyleenblauw het zoute water in de kolk blauw te kleuren was het goed mogelijk om het uitwisselingsproces te volgen. Tevens was te zien dat zich in de evenwichtssituatie nog zoutwater achter de drempel bevond, maar voor exacte zoutgehalten moesten metingen worden verricht. Voor het doen van deze metingen werd in eerste instantie een zoutconcentratie meter gebruikt en later een dompelaar. Met deze instrumenten is het mogelijk om globaal inzicht te krijgen in de zoutconcentraties in de

verschillende lagen. De hoogte van de zoutlaag achter de drempel werd zowel visueel gemeten als met de zoutconcentratie meter. Met visueel meten wordt bedoeld dat de dikte van de laag met een peilstok goed met het oog te bepalen is, door de donker blauwe kleur van het water achter de drempel.

Tijdens het uitwisselen werd met behulp van een snelheidsmeter de snelheid in de zoetwater laag geregistreerd. In een later stadium bleek er ook nog behoefte te bestaan om te onderzoeken of er stroomsnelheden achter de drempel ontstonden tijdens het uitwisselen. Hiervoor werd een laser-doppler snelheidsmeter gebruikt.

In het onderstaande zullen de bovengenoemde meetinstrumenten nader besproken worden.

De zoutconcentratie meter

Dit instrument bestaat uit 4 grafiet stiftten, die verbonden zijn met een verticale metalen staaf, waarop een schaal verdeling is aangebracht. Door deze schaalverdeling is het mogelijk om de diepte waarop gemeten wordt vast te stellen. Tussen de vier grafiet stiftten bevindt zich een elektrische veld. Dit elektrisch veld met een constante stroomsterkte wordt door de buitenste twee grafiet stiftten opgewekt, de binnenste twee meten het potentiaalverschil meten. Deze kan omgerekend worden naar een bepaalde zoutconcentratie.

Op de zoutconcentratie meter is een rekorder aangesloten, die het gemeten potentiaalverschil registreert. Door nu verschillende zoutoplossingen te maken, kan de recorder geijkt worden. Dit is gebeurt door het meetinstrument te dompelen in een bak met zoutoplossingen van respectievelijk 1002, 1010 en 1020 kg/m³. De op de recorder afgelezen waarden werden vervolgens geregistreerd. De dichtheden verlopen vrijwel lineair op de schaalverdeling, zodat een goede schatting van de zoutconcentraties gemaakt kon worden. Door de zoutconcentratie meter vertikaal op en neer te bewegen kon het verloop van de zoutconcentratie over de vertikaal gemeten worden. Hieruit werd de ligging en de dikte van de grenslaag bepaald en tevens het zoutgehalte in de grenslaag.

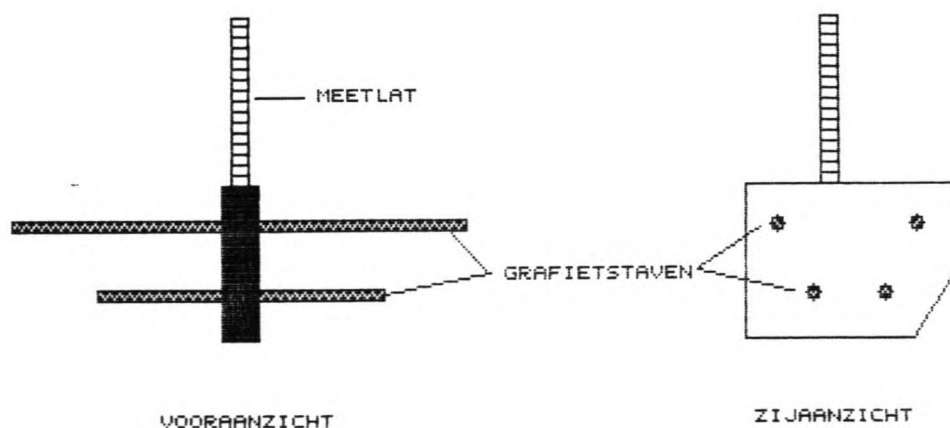


fig. 3.3 De zoutconcentratie meter

Tijdens de proeven bleek dat dicht bij de bodem van het model de zoutconcentratie meter afwijkingen vertoonde. De zoutconcentratie neemt in eerste instantie toe bij het dieper gelegen water, maar

op 4 à 5 cm van de bodem begint de concentratie af te nemen. Het elektrische veld wordt dan waarschijnlijk door de bodem verstoord. Navraag leverde op dat dit apparaat gebruikt wordt om zoutconcentraties te meten in hoge maatbekers, waarbij geen bodem invloed optreedt. De geregistreeerde waarden en ijkpunten werden daardoor nogal twijfelachtig wat nauwkeurigheid betreft. Bij de eerste proeven zijn de metingen met dit apparaat verricht, bij latere proeven is gewerkt met een zogenaamde dompelaar (zie de figuur op de volgende bladzijde).

Een dompelaar is een soort dobber met een schaalverdeling. De dompelaar wordt in een vloeistof met homogene dichtheid gebracht en blijft rechtstandig staan. De dichtheid van de vloeistof bepaald vervolgens hoe diep de dompelaar zakt. De op de dompelaar aangebrachte schaalverdeling geeft dan de dichtheid aan, met een nauwkeurigheid van 1 kg/m^3 . Na ijking bleek de dompelaar inderdaad voldoende nauwkeurig te zijn.

Helaas is het niet mogelijk om met dit instrument metingen over de vertikaal te verrichten. In bepaalde gevallen zijn daarom watermonsters genomen uit verschillende lagen. Dit gebeurde door, met een plastic slang, water uit deze lagen te hevelen en in een reservoirtje op te vangen. Vervolgens kon in een hoog glas met de dompelaar de dichtheid bepaald worden. Op deze manier kon dan toch het zoutgehalte in de verschillende lagen gemeten worden.

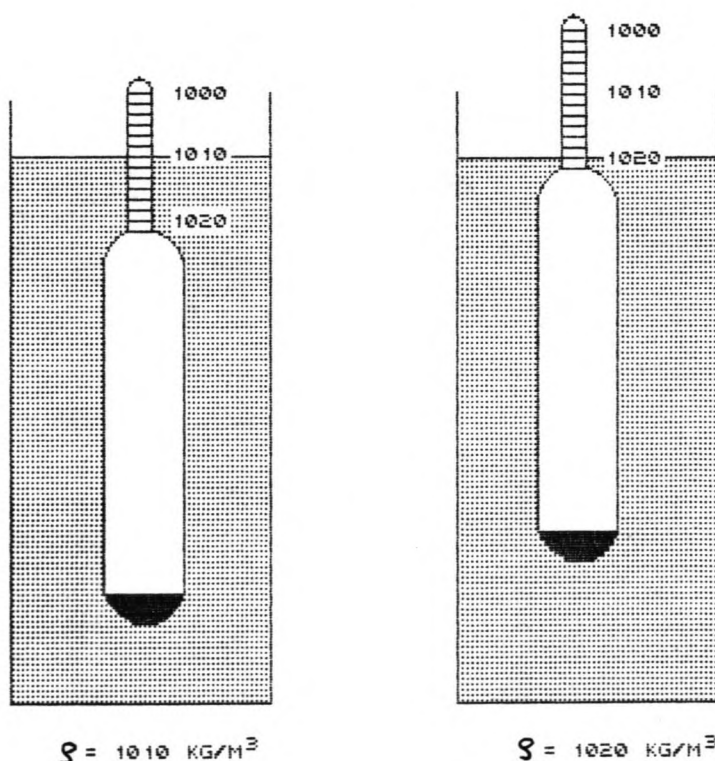


fig. 3.4 De dompelaar

De snelheidsmeter

De snelheidsmeter bestaat uit een molentje dat door de stroming om zijn as gaat draaien. Tussen het molentje en de as bevinden zich wrijvingsarme lagertjes waardoor het molentje reeds bij lage stroomsnelheden in beweging komt. Rondom het molentje bevindt zich

een kunststof ring, met een tweehonderd kleine gaatjes, die met het molentje meedraaien. Aan de bovenzijde van deze ring bevinden zich twee elektroden die een elektrisch spanningsveld opwekken. Dit elektrisch veld ondervindt een lage weerstand wanneer het een gaatje moet passeren maar een hoge weerstand wanneer het door het plastic moet. Zo ontstaat bij het draaien van het molentje en dus van de ring een serie elektrische pulsen, die naarmate het molentje sneller draait korter op elkaar zullen volgen. Op deze wijze kan uit het aantal omwentelingen van het molentje de stroomsnelheid van het water ter plaatse bepaald worden.

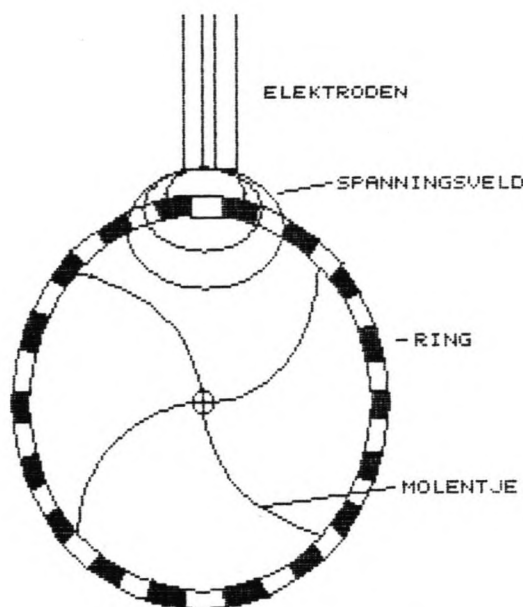


fig 3.5 De micro-molen

Een groot nadeel van dit instrument is dat bij lage stroomsnelheden, beneden 2 à 3 cm/s, het molentje door de wrijving stil valt. Een eenvoudige schets van de snelheidsmeter (ook wel micro-molen genoemd) is hieronder weergegeven.

De laser-doppler

Met dit instrument werd gepoogd de snelheid van het water achter de drempel te meten. De laser-doppler is een zeer nauwkeurig metend instrument, vooral bij lage stroomsnelheden. Echter het instellen van zo'n instrument vereist nogal wat vaardigheid. De laser straal dient goed in de spiegel opgevangen en teruggekaatst te worden. In het begin leverde dit nogal wat problemen op, vooral omdat zoutwater een andere brekingsindex heeft dan zoetwater. Doordat de aansluiting op de recorder, die de gegevens registreert, te wensen overliet en ijking slechts gebrekkig mogelijk was, geven de geregistreerde gegevens slechts een globale indruk van de achter de drempel optredende snelheden.

Het visueel waarnemen

Tot slot van deze paragraaf nog kort iets over de waarden die met het oog gemeten zijn.

De uitwisselingsstroming kon door het blauw kleuren van het water

met het oog gevolgd worden. Met behulp van een stopwatch kon de snelheid van de zoetwater stroming in de kolk dan worden geregistreerd. Aan de hand van deze waarden konden de gebruikte snelheidsformules (zie § 2.1) gecontroleerd worden.

Zoals al aan het begin van deze paragraaf werd vermeld, werd de hoogte van de zoutlaag achter de drempel ook visueel waargenomen. Deze metingen werden verricht met een meetlat die aan de binnenkant van de gootwand werd geplaatst. Door nu op enige afstand te kijken was goed te zien hoe hoog de laag was. De laag werd vaak meerdere malen in één proef opgemeten. Zo werd de laag opgemeten na het uitwisselingsproces en na het uitvaren van het schip. Hierdoor kon goed worden vastgesteld wat de invloed van een schip op de zoutlaag achter de drempel was. Tot slot werd de laag nog een keer gemeten als het schip weer ingevaren was. Dit visueel waarnemen was alleen bedoeld om een eerste indruk te krijgen die naderhand met de echte meting gecontroleerd werd.

§ 3.3 De uitvoering van de proeven

De proeven werden uitgevoerd in het laboratorium voor vloeistofmechanica van de afdeling civiele techniek van de Technische Universiteit Delft.

Vóór de uitvoering van een proef werd de deur geheven en het hele model gevuld met zoetwater. Dit gebeurde door zoetwater uit een ander afgesloten gedeelte van de stroomgoot in het model te pompen. In een afzonderlijke bak werd een zodanig geconcentreerde zout oplossing gemaakt, dat er in de kolk water met de gewenste dichtheid verkregen werd. Om het zout goed en snel op te kunnen lossen werd het zout in warm water door middel van roeren in oplossing gebracht. Per proef moest 11.3 kg zout opgelost worden. Dit gebeurde in kleine porties van 2 à 3 kg die verdeeld werden over 5 emmers. Deze zoutoplossing werd daarna gekleurd met een kleine hoeveelheid methyleen-blauw. Methyleen-blauw is een inkt-achtige oplossing die kleurvast is en dus niet tijdens de proef langzaam verdwijnt.

De nu blauw gekleurde zoutoplossing moest gemengd worden met het zoete water in de kolk. Na het sluiten van de hefdeur werd eerst een hoeveelheid zoetwater uit de kolk geschept die gelijk is aan de toe te voegen hoeveelheid zoutwater. Vervolgens werd het zoute water met het kolkwater gemengd, zodanig dat homogeen en ongelaaagd zoutwater ontstond. Op deze wijze werd de beginsituatie verkregen: een volledig zoute kolk en een volledig zoet kanaal.

De registratie apparatuur van de snelheidsmeter werd ingeschakeld en de deur werd geheven. Dit heffen gebeurde met een kraan, die de deur met een hoge konstante snelheid omhoog trok (± 20 cm/s). Er kwam nu water met twee verschillende dichtheden tegen elkaar aan te staan en daardoor kwam een uitwisselingsstroming opgang. Aan de oppervlakte stroomt ongekleurd zoetwater de kolk in en aan de onderzijde stroomt blauw gekleurd zoutwater de kolk uit. Door dit kleur verschil was goed te zien welke processen er optraden en kon de al eerder genoemde snelheidsmeting en laaghoogte meting verricht worden. Zodra de kolk volledig uitgewisseld was, werden de overige metingen verricht en de resultaten genoteerd. Hierna werd het gehele model weer leeggepompt zodat bij de volgende proeven met een identieke beginsituatie, als hierboven, gestart kon worden.

Bij bepaalde proeven werden wijzigingen in het model aangebracht. Zo werd de uitwisseling onderbroken door de deur eerder te sluiten en werd het zoutgehalte in de kolk lager gekozen dan het

prototype zeewater. Andere wijzigingen die werden doorgevoerd waren een verlaging van de waterstand in het model en veranderingen in de vorm van de drempel. Tot slot zijn er nog verschillende proeven met een scheepsmodel gedaan. Om goed de verschillende effecten te kunnen onderscheiden werden deze wijzigingen één voor één uitgevoerd zodat een goed vergelijk met de standaard proef mogelijk was. Een belangrijk hulpmiddel bij dit vergelijken was de video waarmee verschillende proeven zijn vastgelegd. Op deze proeven en de bijbehorende uitkomsten zal in het volgende hoofdstuk nader worden ingegaan.

Hoofdstuk 4 De proeven

In dit hoofdstuk worden de proefnemingen, die in het Stevinlaboratorium zijn uitgevoerd, beschreven. De geregistreeerde gegevens worden vermeld, evenals opvallende of afwijkende verschijnselen.

Eerst worden de verschillende proeven kort beschreven en wordt een overzicht gegeven van de proeven.

Daarna volgt een uitgebreide beschrijving van de proeven.

De resultaten worden in tabel I op pagina 36 en 37 beknopt weergegeven.

§ 4.1 Korte beschrijving van de proeven

Bij elke proef treedt een uitwisselingsproces op en is er een drempel aangebracht. Er is aan weerszijde van de beweegbare sluisdeur een gelijke waterstand ingesteld.

Eerst is enige malen geëxperimenteerd met het maken van de gewenste zoutoplossing, het mengen in de kolk, het kleuren van het zoute water, de werking van de meetinstrumenten voor de dichtheid en de snelheid, en het uitvoeren van een zogenaamde standaardproef. Dit houdt in dat de proef wordt uitgevoerd met zout water met een dichtheid van 1020 kg/m^3 , een waterhoogte in de kolk van 0.25 cm en een rechte, verticale drempel met een hoogte van 8 cm; het uitwisselingsproces wordt niet onderbroken, totdat tenslotte de rusttoestand bereikt is.

Vervolgens zijn in de volgende proeven variaties aangebracht. Daarbij is steeds één bepaalde conditie veranderd en zijn de verschillen met de vorige proeven bestudeerd.

De proeven 0, 1 en 2 zijn standaardproeven.

Bij proef 3 is de deur eerder gesloten, zodat het uitwisselingsproces onderbroken wordt.

Bij proef 4 en 5 is een niveauverschil tussen zoet en zout water ingesteld. Bij een gelijke waterspiegel is de druk van zout water iets groter dan die van zoet water. Daardoor wordt na het openen van de deur aan de oppervlakte een translatiegolfje opgewekt, die de snelheidsmeting kan verstoren. Door de waterspiegel van het zoete water iets te verhogen is getracht dit verschijnsel te elimineren.

Bij proef 6 is voorkomen dat er zout water uit het kanaalgedeelte terug in de kolk stroomt door tijdig de deur te sluiten. Onderzocht is of dit invloed heeft op de hoeveelheid zout water die in de kolk achterblijft.

Bij proef 7 is er een kleiner dichtheidsverschil ingesteld, om te zien of een lagere uitwisselingssnelheid invloed heeft op het verloop van het uitwisselingsproces.

Bij de volgende proeven is een scheepsmodel gebruikt. Dit model was niet voorzien van een schroef. Alleen bij proef 15 kon gebruik gemaakt worden van een model mét een (draaiende) schroef.

Bij proef 8 is het scheepsmodel in de kolk gelegd en tijdens de proef op zijn plaats gehouden.



Bij proef 9 is dit scheepsmodel met de hand uit de kolk gevaren. Vervolgens is het schip, dat nu in het kanaalgedeelte ligt, omgedraaid en op dezelfde wijze de kolk ingevaren. In de werkelijkheid zullen er ook schepen uit en (andere) schepen invaren. Dit is in het model nagebootst om te zien of er meer zout water uit de kolk stroomt.

Bij proef 10 is het schip uitgevaren terwijl het uitwisselingsproces nog niet afgelopen is. In werkelijkheid kan dit ook gebeuren.

Bij proef 11 is een nieuwe snelheidsmeting uitgevoerd. Dit was nodig omdat eerdere metingen niet nauwkeurig bleken te zijn (zie ook hoofdstuk 2, bij de paragraaf "Gebruikte apparatuur").

Bij proef 12 is uitgewisseld bij een lagere waterstand in de kolk, ofwel met een relatief hogere drempel.

Bij proef 13 is de drempelvorm aangepast. In de werkelijkheid kan de drempel uitgevoerd worden als een scharnierende klep (zie bijlage 1). De drempel heeft dan een schuin aanstroomoppervlak. Bij de proef maakte de drempel een hoek van 45° met de bodem van de kolk. De top bevond zich onder de deur, op gelijke hoogte met de rechte drempel.

Bij proef 14 maakte de drempel een hoek van 30° met de bodem; de hoogte bleef gelijk.

Bij proef 15 is het scheepsmodel voortgestuwd door een draaiende schroef en is er gelet op de woelingen en de eventuele verliezen die dit teweeg bracht.

Opmerking : De snelheid, waarmee het schip uit en in de kolk gevaren wordt, is willekeurig gekozen. Er zijn geen schaalberekeningen gedaan. De afmetingen van het scheepsmodel zijn op schaal, zie bijlage 2; de afmetingen van het scheepsmodel ten opzichte van de afmetingen van de sluis kolk zijn niet op schaal. Het is er in de eerste plaats om te doen een waterverplaatsing te veroorzaken. Daarbij is gedacht aan een enigszins bijgewerkt blok hout; het gebruik van een scheepsmodel lijkt, wat de stroming langs de scheepshuid betreft, realistischer (bovendien was er een scheepsmodel voorhanden en een blok hout niet).

§ 4.2 Overzicht

De volgende proeven zijn uitgevoerd :

- Proef 0. Testproef ; Standaard uitvoering :
 $\rho(\text{kanaal}) = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\rho(\text{kolk}) = 1020 \text{ kg/m}^3$,
rechte verticale drempel, hoogte 8 cm,
waterhoogte = 25 cm,
deur openen, kolk laten uitwisselen, rusttoestand.
- Proef 1. Standaard uitvoering.
- Proef 2. " " ; video opname.
- Proef 3. De deur wordt na 35 seconden gesloten, d.w.z voordat het uitwisselingsproces voltooid is; video opname.

- Proef 4. Er wordt een niveauverschil ingesteld; het zoete water staat 1.7 cm hoger dan het zoute water (misrekening).
- Proef 5. Als proef 4, nu met een niveauverschil van 0.17 cm .
- Proef 6. De deur wordt gesloten voordat de zouttong terug is, d.w.z nádat de uitwisseling voltooid is, maar voordat de zouttong uit de kolk, die tegen het vaste schot aan het einde van het kanaalpand terugkaatst, weer terug is bij de drempel, na 1 min. en 40 sec.
- Proef 7. De dichtheid van het water in de kolk is bij deze proef verlaagd tot 1005 kg/m³. Het dichtheidsverschil is dus kleiner.
- Proef 8. Standaard uitvoering, met een stilliggend scheepsmodel in de kolk.
- Proef 9. Als proef 8 ; het scheepsmodel wordt na de uitwisseling uit de kolk gevaren en weer teruggevaren (met de hand); video opname.
- Proef 10. Het scheepsmodel wordt tijdens het uitwisselingsproces uitgevaren en na de rusttoestand weer teruggevaren.
- Proef 11. Standaard uitvoering; deze proef is uitgevoerd om een snelheidsmeting te doen met een lazer-doppler instrument.
- Proef 12. De waterhoogte in de kolk wordt verlaagd tot 15 cm ; het scheepsmodel wordt uit- en ingevaren.
- Proef 13. De drempelvorm wordt aangepast. Het drempelvlak maakt een hoek van 45° met de bodem; het scheepsmodel wordt uit- en ingevaren; de waterhoogte is standaard, 25 cm .
- Proef 14. De drempel maakt een hoek van 30° met de bodem; het scheepsmodel wordt uit- en ingevaren; video opname.
- Proef 15. Als proef 14; het schip vaart op eigen kracht de kolk uit en in; video opname.

§ 4.3 Beschrijving van de proeven

In deze paragraaf wordt beschreven hoe de proeven zijn uitgevoerd en wat daarbij is waargenomen.

De eerste proef (testproef) wordt uitvoerig beschreven. Bij de volgende proeven wordt aangegeven waarin ze verschillen van de vorige proeven. Indien zich daarbij andere verschijnselen voordoen, dan wordt dit vermeld.

TESTPROEF

Deze proef is uitgevoerd om een indruk te krijgen wat er bij het nemen van een proef komt kijken. Tevens is gelet op het optreden van verschijnselen die niet van te voren werden verwacht. Verder is de meetapparatuur ingesteld en uitgetest.

Het model wordt geheel gevuld met zoet water.

Vervolgens wordt de deur gesloten. De gekoncentreerde zoutoplossing (ca. 50 liter) wordt gekleurd met een methyleen-blauw oplossing. Eerst wordt nu een gelijke hoeveelheid zoet water uit de sluiskolk van het model geschept; vervolgens wordt de gekleurde zoutoplossing aan het water in de kolk toegevoegd. Op deze wijze blijft de waterspiegel gelijk.

Het zoute water wordt nu met het zoete water gemengd, zodat een homogene watermassa ontstaat. Het water in de sluiskolk is nu overal even zout en gelijk van kleur.

De sluisdeur scheidt nu zout en zoet water van elkaar. De proef kan beginnen zodra het wateroppervlak in rust is. De beweging van het water heeft een geringe invloed op het uitwisselingsproces en op de tijd die het kost voordat de bewegingen in het grensvlak tussen zoet en zout water tot

rust komen; dit grensvlak stelt zich in na het uitwisselingsproces.

De sluisdeur wordt snel getrokken; de uitwisselingsstroming stelt zich onmiddellijk in en moet zo weinig mogelijk belemmerd worden. In de werkelijkheid heeft de sluis een roldeur. Deze wordt niet snel en in zijn geheel vertikaal verwijderd, maar met een beperkte snelheid weggerold. Daarbij kan het uitwisselingsproces zich wel over de volledige hoogte instellen. Daarbij wordt de stroomsnelheid niet beïnvloed, omdat deze waarschijnlijk niet sterk afhankelijk is van de breedte van de uitstroomopening. Wat de invloed op het stroombeeld is van het steeds breder worden van de uitstroomopening is niet bekend. Het zal iets langer duren voordat het zoetwaterfront over de gehele breedte de sluiskolk instroomt; of zich dwarsstromingen of andere storingen zullen voordoen is niet bekend.

Het uitwisselingsproces treedt op. Het zoete water stroomt boven het zoute water de kolk in, het zoute water stroomt eruit. Als het zoete water het andere einde van de kolk heeft bereikt, kaatst het terug tegen het vaste, verticale schot in de stroomgoot. De laag van zoet water wordt nu twee maal zo dik achter het front, dat zich in de richting van de drempel beweegt. Het zoute water, dat door dit voortschrijdende front wordt verdrongen, stroomt over de drempel de kolk uit, de zoutvang in.

Het is opvallend, dat het zoete water tijdens en na het terugkaatsen niet onder het hoogste punt van de drempel komt (zie figuur 4.1).

Als al het zoute water, dat zich boven de top van de drempel heeft bevonden, uit de kolk gestroomd is, lopen er in het grensvlak tussen zoet en zout water kleine golfjes heen en weer tussen de drempel en het afgesloten einde van de kolk. Daarbij stromen er nog zeer kleine hoeveelheden zout water over de drempel. Dit verschijnsel duurt geruime tijd voort, totdat het grensvlak tot rust komt; uitwerking van de video-opnamen laat dit zien, zie figuur 4.1.

Het blijkt dat er achter de drempel een laag zout blijft staan, die precies zo dik is als de drempel hoog is. Er stelt zich een messcherp grensvlak in, er is vrijwel geen menging.

Het zoute water, dat de sluiskolk verlaat, wordt opgevangen in het diepere kanaalgedeelte, dat als zoutvang fungeert. Doordat voortdurend zout water over de drempel stroomt, gaat er een zouttong lopen over de bodem van het kanaal naar het andere einde, dat met een vertikaal schot is afgesloten. Deze zouttong is ongeveer 15 cm dik. Vermoedelijk is dit verdund zout water; door het vallen van het zoute water ontstaat "schietsend" water met een soort interne watersprong. Daardoor treedt er menging op.

De zouttong kaatst terug tegen het schot en stroomt weer terug naar de drempel. Daarbij wordt de zoute laag in het kanaal ruim twee maal zo dik, zodat de terugstromende laag boven de drempel uitkomt. Het uitwisselingsproces is echter al afgelopen als het front van het zoute water opnieuw de drempel bereikt. Een kleine hoeveelheid zout water komt over de drempel de kolk in en loopt als een klein golfje langzaam over het grensvlak verder.

Als het water en de grenslaag geheel tot rust zijn gekomen, wordt nogmaals gemeten hoe dik de zoutlaag in de kolk is. Dit gebeurt door de zoutconcentratiemeter vertikaal met konstante snelheid naar beneden te bewegen. De zoutconcentratiemeter geeft aan waar de zoutconcentratie begint toe te nemen en waar de maximumwaarde wordt bereikt; uit de gegeven daalsnelheid van het meetinstrument kan dan de dikte van de grenslaag bepaald worden. Als de maximumwaarde bereikt is, kan de afstand tot de bodem bepaald worden; daarmee ligt de dikte van de zoutlaag vast. Tevens meet dit instrument het zoutgehalte van deze laag. De nauwkeurigheid van dit

instrument is echter gering. Visuele waarneming blijft noodzakelijk. De dikte van de gekleurde laag water wordt zo nauwkeurig mogelijk afgelezen. Bij latere proeven wordt voor het bepalen van de dichtheid van het zoute water een dompelaar gebruikt. Daarmee kan echter niet de dikte van de grenslaag bepaald worden.

De snelheidsmeter, die in het instromende zoete water geplaatst is, heeft gedurende 50 seconden na het openen van de sluisdeur snelheden geregistreerd. Het is opvallend dat de waarden elke 6 seconden wisselend aangroeien en weer tot nul teruglopen; er worden alleen snelheden in de richting van de kolk geregistreerd; het is mogelijk dat deze uitslag veroorzaakt wordt door kleine oppervlaktegolfjes, die optreden door het drukverschil van het zoete en zoute water bij gelijke waterspiegels.

Na afloop van de proef wordt het model zoveel mogelijk leeggepompt; het laatste laagje water wordt verwijderd met behulp van een vacuumpomp. Vervolgens wordt het model weer volgepompt met zoet water. Er wordt een nieuwe gekoncentreerde zoutoplossing gemaakt; het model is klaar voor de volgende proef.

PROEF 1

De proef wordt op dezelfde wijze uitgevoerd als de testproef.

De kolk wordt gevuld met zout water met $\rho = 1020 \text{ kg/m}^3$. De waterstanden zijn gelijk, 25 cm boven de kolkbodem.

De deur wordt snel getrokken.

De instromende zoetong bereikt na ca. 15 seconden het andere einde van de kolk (schatting); het duurt ca. 25 seconden voordat de zoetong terug is bij de drempel.

Er stelt zich een grenslaag in. Na meting blijkt het zoutgehalte over een dikte van 4 cm te verlopen van $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ naar $\rho = 1020 \text{ kg/m}^3$ *).

De grenslaag ligt op een laag zout water met een dikte van 8 cm, die achter de drempel is blijven staan.

Het duurt geruime tijd voordat het grensvlak tot rust is gekomen.

*) De zoutconcentratiemeter daalt met 1.92 mm/sec. De resultaten worden geplot met een snelheid van 1 mm/sec; het verloop van de zoutconcentratie wordt op papier geregistreerd over een afstand van 20 mm, zodat de dikte van de grenslaag $20 \cdot 1.92 = 38.4 \text{ mm}$ bedraagt.

PROEF 2 (video opname)

De proef wordt op dezelfde wijze uitgevoerd als proef 1.

De meetapparatuur wordt opnieuw geijkt met koud water.

Het front van het zoete water bereikt na 18 seconden het einde van de kolk; 25 seconden later is het front weer terug bij de drempel.

De gemiddelde snelheid van

de heengaande golf is dus $2 \text{ m} / 18 \text{ sec} = 0.11 \text{ m/s}$ en van

de teruggaande golf $2 \text{ m} / 25 \text{ sec} = 0.08 \text{ m/s}$.

(De lengte van de sluis is 1.89 meter.)

Deze waarden zijn later vanaf de video-opname gecontroleerd; dit levert waarden op van respectievelijk $1 \text{ m} / 10 \text{ sec} = 0.10 \text{ m/s}$ en $1 \text{ m} / 15 \text{ sec} = 0.07 \text{ m/s}$.

(Op de video-opname is slechts 1 meter van de sluiskolk zichtbaar.)

Het front van de zouttong is na 97 seconden terug bij de drempel. De gemiddelde snelheid van de zouttong bedraagt $(2 * 4 \text{ m})/97 \text{ sec} = 0.08 \text{ m/s}$. Er komt hierbij een kleine hoeveelheid zout water de kolk in.

Het duurt ongeveer 10 minuten voor het water weer geheel in rust is.

Boven de drempel stelt zich tijdens het uitwisselingsproces een stroming in die bestaat uit een ingaande zoetwaterstroom en een uitgaande zoutwaterstroom. Daarbij is het opmerkelijk dat de zoete waterstroom een dikte heeft van ca. $2/5$ van de afstand van de top van de drempel tot de waterspiegel en de zoute waterstroom een dikte van $3/5$ van deze afstand.

De menging is niet groot; de scheiding tussen zoet en zout water blijft vrij strak, zowel tijdens als na het uitwisselen.

Na het uitwisselen ontstaan er kleine golfjes in het grensvlak, die ca. 25.cm lang zijn en een amplitude hebben van 1 cm . Even later ontstaat er een staande golf met een amplitude van 2 cm . Dit verschijnsel verdwijnt ook weer. De golfjes lopen met een snelheid van ca. 10 cm/s . Er gaat nog een aantal malen een kleine hoeveelheid zout water over de drempel uit de kolk.

Als het water tot rust is gekomen, blijkt er nog een laag zout water achter de drempel te staan van 7 cm . (De drempel is 8 cm hoog.)

De grenslaag heeft een dikte van 3 cm ($15 \text{ sec} * 1.92 \text{ mm/sec} = 28.8 \text{ mm}$).

De snelheidsmeter registreert opnieuw waarden gedurende 50 seconden, met om de 6 seconden een nul-stand.

Opmerking : Het wateroppervlak is bij de aanvang van de proef niet geheel in rust. Dit kan invloed hebben op de proef. Met name het verschijnsel van het ontstaan van golfvorming in het grensvlak na de uitwisseling kan hierdoor ontstaan. Tevens blijkt dat het instromende zoete en het uitstromende zoute water ter plaatse van de drempel in zijn geheel enigszins heen en weer beweegt, zoals uit de video-opname blijkt. Het is dus mogelijk dat de zoutlaag achter de drempel slechts 7 cm bedraagt, omdat door het onrustige verloop na de uitwisseling extra veel zout water uit de laag over de drempel de kolk uit stroomt.

PROEF 3 (video opname)

De proef wordt uitgevoerd als proef 1.

Na 35 seconden wordt de deur snel gesloten. Het front van het zoete water is dan teruggekaatst en bevindt zich halverwege de sluiskolk op weg naar de drempel.

Deze proef bootst een situatie na, die in de werkelijkheid zou kunnen optreden. In de werkelijkheid duurt het ongeveer 27 minuten voordat het kolkwater, dat zich boven de drempel bevindt, uitgewisseld is *).

In deze tijdsduur kan een snel schip uitgevaren zijn. Indien er geen schip teruggeschut behoeft te worden of indien het invaren eveneens snel gebeurt, kan de deur gesloten worden voordat de uitwisseling voltooid is. Er komt dan minder zout in het kanaal terecht.

De uitwisseling verloopt zoals bij de vorige proeven, de gemiddelde snelheid in heengaanse richting is 0.083 m/s en in teruggaanse richting bedraagt deze 0.077 m/s .

Met het sluiten van de deur worden de ingaande zoetwaterstroom en de uitgaande zoutwaterstroom abrupt van het kanaalgedeelte afgesloten.

Het front van het zoete water zet eerst door in de richting van de gesloten deur, en stuwt het zoute water tegen de deur op. Vervolgens kruipt het

zoete water over het zoute water heen en weerkaatst tegen de deur. Daarna stelt zich langzaam een grenslaag in; bij de deur treden interne golven in het grensvlak op met amplituden van ca. 5 cm .

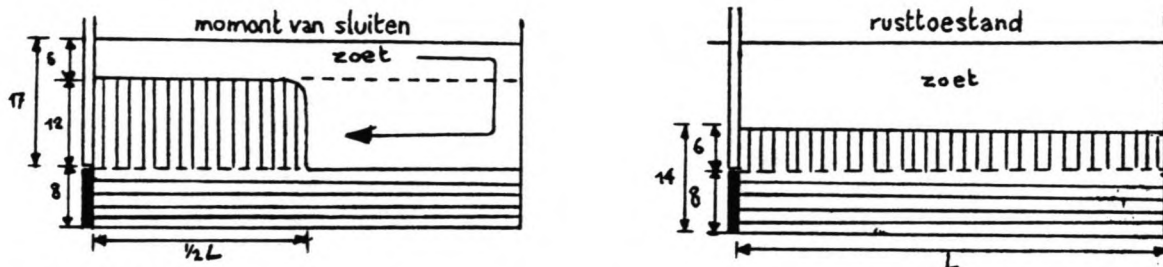
De grenslaag vertoont na het sluiten van de deur veel kleine golfjes, maar later stelt deze zich weer strak in.

Het golfbeeld is woelig; er lopen golven van ca. 50 cm lengte heen en weer. Na afloop blijkt de zoutlaag in de kolk 14 cm te bedragen.

Het verloop van het zoutgehalte over de vertikaal wordt met zoutmonsters uit de verschillende lagen en de pompelaar bepaald.

De dichtheid in de bovenlaag is 1000 kg/m^3 ,
 " " grenslaag 1006 " en
 " " onderlaag 1019 " .

De dikte van de grenslaag is ca. 5 cm ($25 \text{ sec} * 1.92 \text{ mm/sec} = 48 \text{ mm}$).



Opmerking :

Wellicht betekent een zoutlaag van 14 cm dikte dat er op het moment van sluiten van de deur over de halve kolk lengte nog een laag zout van $(14-8) * 2 = 12 \text{ cm}$ aanwezig moet zijn, zie bovenstaande schets; men lette daarbij op het watervolume dat vertikaal gearceerd is. De waterhoogte boven de drempel bedraagt $25 - 8 = 17 \text{ cm}$. Dit betekent dat de ingaande zoetwaterstroom $17 - 12 = 5 \text{ cm}$ dik is.

De verhouding tussen dikte van de zoetwaterstroom en die van de zoutwaterstroom bedraagt dus ongeveer 1 : 2, in plaats van de theoretisch verwachte verhouding van 1 : 1 .

Uit visuele waarneming blijkt een verhouding van $2/5 : 3/5$.

*) Voor Terneuzen geldt : $T_a = 2L/U_a$, $L =$ lengte van de sluis = 500 m .

$$U_a = \sqrt{\Delta gh}$$

$$\Delta = (1018 - 1006)/1006$$

$$h = 13 \text{ m. (2/3 van de kolkdiepte)}$$

$$\text{Hieruit volgt } T_a = 1000/0.69 = 1617 \text{ sec} = 27 \text{ min.}$$

PROEF 4

De proef wordt uitgevoerd als proef 1.

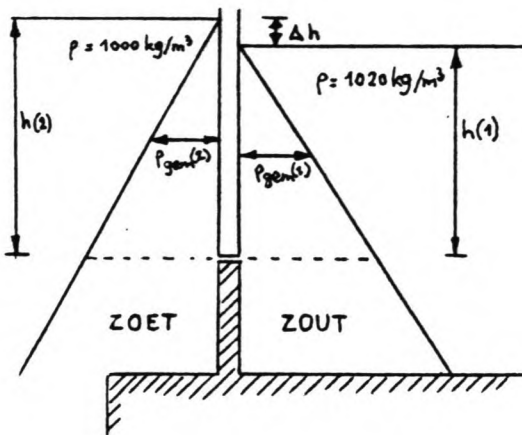
Als gevolg van het verschil in dichtheid van zoet en zout water is de druk aan weerszijden van de sluisdeur niet gelijk.

Wanneer de deur getrokken wordt, ontstaat er behalve een uitwisselingsstroming ook een translatiegolfje aan het oppervlak. Dit golfje beïnvloedt het proces enigszins.

Om inzicht te krijgen in deze invloed wordt een proef uitgevoerd met een verschil in waterhoogte, zodanig dat de kracht van het water aan weerszijden van de deur gelijk is. Dit houdt in dat het water aan de (zoete) kanaalzijde iets hoger moet staan dan het water in de (zoute)

sluiskolk.

De berekening daarvoor verloopt als volgt :



$$p(\text{gem}) = 1/2 * p(\text{onder}) = 1/2 * \rho gh$$

$$F_1 = 1/2 * \rho_1 gh_1 * h_1, \quad F_1 = F_2$$

$$F_2 = 1/2 * \rho_2 gh_2 * h_2$$

$$1020 * h_2^2 = 1000 * h_1^2$$

$$h_2 = \sqrt{1.02} * h_1 = 1.01 * h_1$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 0.01 * h_1$$

$$\text{Stel : } h = 17.00 \text{ cm.} \Rightarrow \Delta h = 0.17 \text{ cm.}$$

$$h = 17.17 \text{ cm.}$$

Per abuis is Δh eerst op 1.7 cm gehouden.

Hierdoor treedt er bij deze proef een spectaculair intern golfverschijnsel op, dat echter geen relevante gegevens oplevert. De snelheidsmeter registreert ook meer gegevens dan bij voorgaande proeven; afgezien van de vele registraties die buiten het bereik van de plotter vallen is het opmerkelijk, dat de snelheidsmeter ook snelheden in de richting van het kanaal (tegengesteld aan de zoete uitwisselingsstroom) heeft geregistreerd gedurende de gehele meetperiode.

PROEF 5

Deze proef wordt uitgevoerd als proef 4. Nu met een $\Delta h = 0.17 \text{ cm}$.

De dichtheid is 1018 kg/m^3 .

Bij deze proef is de snelheidsmeting van belang. Er worden inderdaad snelheden geregistreerd. Ook nu neemt de stroomsnelheid toe en weer af, met om de 6 seconden een minimum (niet een nulpunt). Na 50 seconden stopt de registratie.

Hoewel het verloop niet geheel gelijk is met voorgaande metingen, blijkt ook bij deze proef een instelverschijnsel op te treden.

Het lijkt of er minder zout over de drempel in de kolk terugstroomt als het front van het zoute water terug is bij de drempel.

De grenslaag blijkt ca. 3 cm dik te zijn.

De zoutlaag is achter de drempel is 8 cm dik, de dichtheid ervan bedraagt 1018 kg/m^3 .

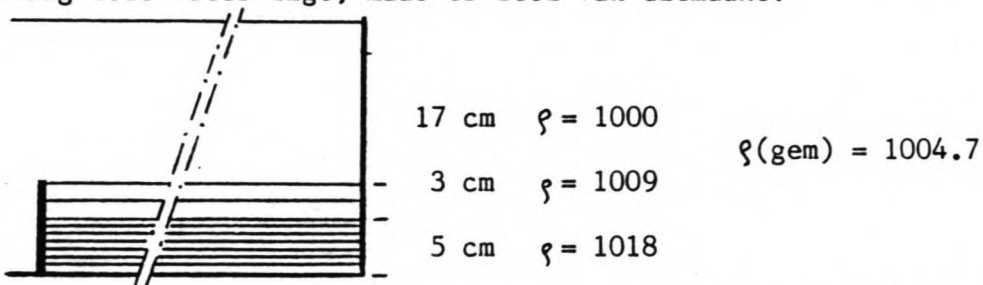
Als de watermassa in de kolk, na sluiten van de deur, homogeen wordt gemengd blijkt de dichtheid $1003 \text{ á } 1004 \text{ kg/m}^3$ te zijn.

De verwachting zou zijn dat de dichtheid van het homogene mengsel

$$\frac{8 * 1018 + (25 - 8) * 1000}{25} = 1005.8 \text{ kg/m}^3.$$

Opmerking : Als verklaring voor dit verschil zou de invloed van de temperatuur van de gekoncentreerde zoutoplossing, die met warm water aangemaakt wordt, aangevoerd kunnen worden.

Het is ook mogelijk dat de grenslaag niet op de 8 cm dikke laag zout water ligt, maar er deel van uitmaakt.



(Indien voor de grenslaag wordt aangehouden $\rho = 1010 \text{ kg/m}^3$, dan wordt de gemiddelde dichtheid $\rho = 1004 \text{ kg/m}^3$.)

Als dit laatste het geval is, dan is de hoeveelheid zout, die achter de drempel blijft staan, minder 'puur'. Dit houdt in dat de drempel minder effectief zou werken.

PROEF 6

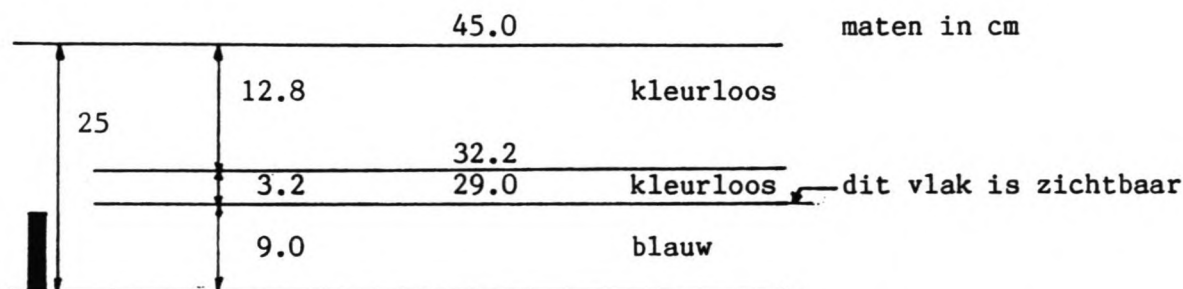
De proef wordt uitgewerkt als proef 1.

Nu wordt de deur gesloten, voordat het front van het zoute water in het kanaalgedeelte, na teruggekaatst te zijn, opnieuw de drempel bereikt en er zout water over de drempel de kolk in stroomt.

Dit betekent dat de deur gedurende 1 minuut en 40 seconden openstaat en dan snel gesloten wordt. Het uitwisselingsproces heeft dan reeds geheel plaatsgevonden (dat duurt ca. 45 seconden).

Het blijkt dat zich achter de drempel een grenslaag instelt op 9 cm boven de bodem. Doordat het proces wordt verkort, is er minder zout water over de drempel 'ontsnapt'.

De dichtheidsmeter geeft aan dat de grenslaag tussen 12.8 en 16.0 cm onder de waterspiegel ligt. Dit betekent dat de grenslaag, die niet goed zichtbaar is, óp de 9 cm dikke zoute laag ligt.



Bij proef 5 blijkt, na homogeen opmengen, dat de grenslaag ónder het niveau van de drempel gelegen moet hebben.

De deur wordt geopend en niet weer gesloten.

Er loopt inderdaad nog zout water over de drempel. Na enige tijd is er achter de drempel nog een laag zout van 8 cm dik waar te nemen.

Er treedt dus een duidelijk verlies van zout water uit de kolk op nádat het uitwisselingsproces afgelopen is.

PROEF 7

De proef wordt uitgevoerd als proef 1, maar met een kleiner dichtheidsverschil. Aangezien de uitwisselingssnelheid afhankelijk is van $\sqrt{\Delta \rho} = \sqrt{(\rho_1 - \rho_2)/\rho_2}$ zal het uitwisselingsproces langzamer verlopen. De dichtheid van het zoute kolkwater is nu 1005 kg/m^3 .

De snelheid van het instromende water bedraagt $2 \text{ m} / 37 \text{ sec} = 0.054 \text{ m/s}$. Na terugkaatsen wordt de snelheid $2 \text{ m} / 43 \text{ sec} = 0.047 \text{ m/s}$ *).

Er stelt zich ook nu een grenslaag in op een afstand van 8 cm van de bodem. De grenslaag ligt tussen 16.0 en 17.5 cm vanaf de waterspiegel, ofwel tussen 7.5 en 8.5 cm vanaf de bodem.

Met de dichtheidsmeter wordt de dikte van de grenslaag vastgesteld op 1.76 cm.

*) Volgens de formule geldt :

$$U_a = 1/2 \sqrt{\Delta \rho g h} = 1/2 * \sqrt{(1005-1000)/1000 * 9.81 * 0.17} = 0.046 \text{ m/s} .$$

PROEF 8

Deze proef wordt uitgevoerd met een scheepsmodel in de sluis kolk.

De afmetingen van het scheepsmodel zijn :

Lengte over alles	= 1.75	m
Lengte waterlijn	= 1.543	m
Breedte	= 0.427	m
Diepgang voor	= 0.130	m
achter	= 0.1765	m
Waterverplaatsing	= 0.04864	m ³ .

Overige gegevens zijn te vinden in bijlage 2.

Het volume van het schip dat zich onder water bevindt wordt bepaald door het schip in de gevulde kolk te plaatsen, de waterstand af te lezen, het schip vervolgens te verwijderen en opnieuw de waterstand af te lezen. Uit het verschil in waterstand volgt dan bij de gegevens kolkafmetingen de waterverplaatsing. Dit levert een waterverplaatsing van 0.0319 m^3 *).

Voordat het schip nu in de kolk wordt geplaatst, wordt eerst een volume water, gelijk aan de waterverplaatsing, uit de kolk gehaald. Zo blijven de waterstanden binnen en buiten de kolk gelijk.

De dichtheid van het zoute water bedraagt 1019 kg/m^3 .

De snelheid van het instromende zoete water bedraagt $2 \text{ m} / 16 \text{ sec} = 0.125 \text{ m/s}$. Het stroomt terug met een snelheid van $2 \text{ m} / 25 \text{ sec} = 0.08 \text{ m/s}$.

Tijdens het uitwisselen wordt het schip vastgehouden.

Ook nu blijkt er een laag zout water achter de drempel te blijven staan met een dikte van 8 cm. Opvallend is dat het golfbeeld na het uitwisselen veel rustiger is en veel sneller tot rust komt.

Het schip heeft kennelijk een dempende werking.

*) Het waterstandsverschil bedraagt 2.1 cm.

De lengte van de kolk is 189.1 cm en de breedte is 80.4 cm.

Dit levert een waterverplaatsing van $2.1 * 189.1 * 80.4 = 31900 \text{ cm}^3$.

Bij een waterdiepte van 25 cm is het kolkvolume 0.380 m^3 . De waterverplaatsing bedraagt dus ca. 8% van het kolkvolume.

PROEF 9 (video opname)

Bij deze proef wordt het schip ná het uitwisselen uit de kolk gevaren. Gekeken wordt of dit uitvaren invloed heeft op de zoutlaag achter de drempel.

Uit de video-opname blijkt dat de gemiddelde snelheid van het instromende zoete water $1 \text{ m} / 13 \text{ sec} = 0.077 \text{ m/s}$ bedraagt; tijdens de proef is een snelheid van $2 \text{ m} / 25 \text{ sec} = 0.080 \text{ m/s}$ geregistreerd. De teruggaande stroom heeft een snelheid van $1 \text{ m} / 17 \text{ sec} = 0.059 \text{ m/s}$.

Het golfbeeld in de grenslaag is rustig, het grensvlak blijft vrij strak; boven de drempel stelt zich weer een verhouding van de dikte van het instromende zoete en het uitstromende zoute water in van $2/5 : 3/5$.

Na 90 seconden is alles weer in rust. De laag achter de drempel is iets dikker dan 8 cm.

Vervolgens wordt het schip met een snelheid van $1.75 \text{ m} / 23 \text{ sec} = 0.076 \text{ m/s}$ uit de kolk gevaren. Dit gebeurt met de hand. De waterverplaatsing bedraagt nu 1.0335 m^3 .

Tijdens het uitvaren loopt er in het grensvlak een golf met het schip mee, ter plaatse van de (denkbeeldige) schroef; deze interne golf slaat over de drempel. Daarna loopt er een klein golfje in de kolk heen en weer, waarbij nog minieme hoeveelheden zout water over de drempel wegstromen.

Zie figuur 4.2a.

Het lijkt een goed idee om het schip weer terug de kolk in te varen, om zo de werkelijkheid verder na te bootsen; schepen verlaten de kolk om plaats te maken voor schepen die de andere kant op geschut moeten worden.

Het schip wordt langzaam achterwaarts de kolk ingevaren.

Hierbij loopt er in de kolk weer een interne golf met de kiel van het schip mee, kaatst tegen het gesloten eind van kolk en loopt terug, slaat dan gedeeltelijk over de drempel en laat nog wat kleine golfjes in het grensvlak na.

De vreemde 'boeg', die door de achterstevan gevormd wordt, veroorzaakt toch een woeliger stroombeeld dan bij vooruit varen het geval zou zijn. Dit blijkt als de deur gesloten wordt en het schip in het kanaalgedeelte gekeerd wordt, zodat het nu vooruit ingevaren kan worden. Als dit gebeurt is, blijkt er inderdaad een iets rustiger stroombeeld op te treden.

Zie figuur 4.2b.

Na afloop van de proef staat er nog een laag zout water achter de drempel met een dikte van 7 cm.

PROEF 10

Bij deze proef wordt het schip al tijdens het uitwisselingsproces de kolk uitgevaren. Dit kan in werkelijkheid ook optreden.

Het blijkt dat er nu na het uitvaren een laag van 8 cm achter de drempel blijft staan.

Bij meting van het zoutgehalte lijkt zich vlak bij de bodem water met een dichtheid van $= 1021 \text{ kg/m}^3$ te bevinden *).

Het schip wordt in het kanaalgedeelte gekeerd en vooruit de kolk ingevaren. De interne golf (zie proef 9) loopt mee en bereikt na weerkaatsing na 19

*) Wellicht wordt dit veroorzaakt door de inmiddels afgekoelde en in het kolkwater verdunde zoutoplossing.

seconden de drempel.

De zoutlaag wordt gereduceerd tot 6.5 á 7 cm .

PROEF 11

Bij deze proef wordt een snelheidsmeting verricht met een laser-doppler snelheidsmeter. De plaats waar gemeten wordt ligt op 2.5 cm vanaf de bodem van de kolk en op 26.5 cm vanaf de drempel.

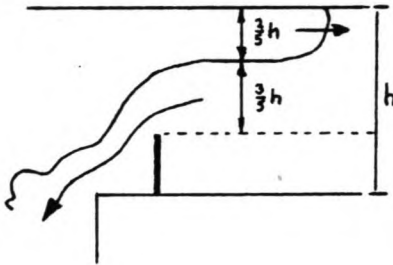
Deze meting wordt verricht om na te gaan of er een stroming ontstaat in de zoutlaag vlak bij de drempel, zodat daardoor wellicht krachten op de drempel werken.

De dichtheid blijkt 1012 kg/m te bedragen. Het zoete water stroomt met een snelheid van 2 m/ 22 sec = 0.091 m/s de kolk in en met een snelheid van 2.m/ 33 sec = 0.061 m/s terug naar de drempel *).

De snelheidsmeting levert geen duidelijke resultaten op. De afstelling van het laser-doppler instrument moet zeer nauwkeurig geschieden; tevens blijkt de recorder, die de meetwaarden registreert en plot, niet op de juiste wijze is ingeregeld. Grofweg lijken er snelheden van ten hoogste 2 a 3 cm/s op te treden.

*) Uit de formule volgt een snelheid van 0.07 m/s .

Uit de dikte van de zoet- en zoutwaterstroom is dit misschien te verklaren. De dikte van de ingaande zoetwaterstroom is 2/5 van de hoogte van de instroomhoogte (= de afstand tussen de top van de drempel en de waterspiegel), terwijl de zoutwaterstroom een dikte heeft van 3/5 van deze hoogte.



Voor de snelheid van het zoete water zou dan volgen : $v = \frac{3}{5} \sqrt{\Delta gh} = 0.085 \text{ m/s}$ en voor de snelheid van het zoute water zou dan volgen : $v = \frac{2}{5} \sqrt{\Delta gh} = 0.057 \text{ m/s}$.

Dit is tevens de snelheid van het teruggekaatste zoete water.

PROEF 12

Deze proef wordt uitgevoerd met een waterhoogte van 15 cm ; er staat boven de top van de drempel dus nog een waterhoogte van 7 cm .

De dichtheid van het kolkwater is 1017 kg/m³ *).

Het duurt 26 seconden voordat het front van het zoete water het andere eind van de kolk bereikt en vervolgens 33 seconden voordat het front de drempel opnieuw bereikt. De snelheden zijn dan gemiddeld 2 m/ 26 sec = 0.077 m/s respectievelijk 2 m/ 33 sec = 0.061 m/s .

De zoutlaag blijkt toch weer 8 cm dik te zijn, met een grenslaag van 1 cm . Het schip wordt vervolgens uit de kolk gevaren en na gekeerd te zijn weer vooruit de kolk ingevaren. Er treedt op het oog weinig verlies op. Na afloop blijkt de laag zout water 7.5 cm dik te zijn.

Het zoutwaterverlies uit de kolk blijkt ook afhankelijk te zijn van de snelheid waarmee het schip de kolk verlaat en weer binnenkomt.

*) Dit wordt veroorzaakt doordat er lekken optreden in de wanden, die de kolk en het kanaal van de rest van de stroomgoot afsluiten; daardoor loopt er voortdurend zoet water in het model; de stroomgoot is aan weerszijden van het model gevuld met zoet water om te voorkomen dat

het zoute water uit het model via de lekken in de andere delen van de stroomgoot terecht komt; deze delen van de stroomgoot zijn aangesloten op het zoetwatersysteem van het laboratorium en daar mag geen zout water in terecht komen. Door de waterstand in die delen van de stroomgoot hoger te laten staan dan in het model stroomt er geen water uit het model weg; daardoor is er echter wel een voortdurende toevoer van zoet water door de lekken heen naar het model, zodat de kolk tijdens het voorbereiden iets zoeter wordt.

PROEF 13

Deze proef wordt uitgevoerd met een drempel, die onder een hoek van 45 graden met de bodem is geplaatst; zie figuur 4.3a .

De reden hiervoor is dat in werkelijkheid de drempel uitgevoerd zou kunnen worden als een scharnierende klep, die plat op de kolkbodem ligt en naar behoefte opgetrokken kan worden.

De verwachting is dat de interne golven op het schuine vlak eerder uit zullen dempen.

De dichtheid van het zoute water in de kolk is 1020 kg/m^3 .

Het uitwisselen vertoont geen ander beeld dan bij de voorgaande proeven. Het zoete water stroomt de kolk in met een snelheid van $2 \text{ m} / 16 \text{ sec} = 0.125 \text{ m/s}$ en stroomt terug met een snelheid van $2 \text{ m} / 28 \text{ sec} = 0.71 \text{ m/s}$.

Na het uitwisselen stelt zich achter de drempel een zoutlaag in met een dikte van 9 cm . Dit begint langzaam terug te lopen naar 8 cm .

Bij het uitvaren neemt het schip weer een golf zout water mee, waardoor de zoutlaag tot 8 cm gereduceerd wordt.

De deur wordt gesloten, het schip gekeerd en na openen van de deur weer ingevaren. Tijdens het passeren van de drempel wordt een kleine hoeveelheid zout water uit de kolk verdrongen. Daarna loopt er een interne golf met het schip mee en na kaatsing loopt deze weer terug en slaat voor een klein gedeelte over de drempel.

De interne golven, die heen en weer lopen, worden sneller uitgedempt dan bij voorgaande proeven. Het gaat hierbij steeds om marginale hoeveelheden.

PROEF 14 (video opname)

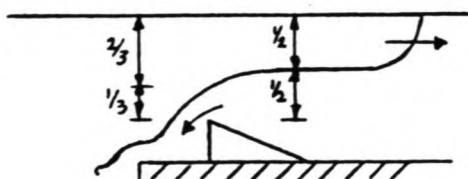
De drempel wordt verder aangepast tot deze een hoek van 30 met de bodem maakt; zie figuur 4.3b .

Het water heeft een dichtheid van 1022 kg/m^3 . Deze hogere waarde wordt veroorzaakt doordat de gekoncentreerde zoutoplossing voor deze proef de dag ervoor reeds gemaakt is en 's nachts geheel afgekoeld is. Het zout wordt opgelost in heet water, waardoor het oplossen sneller gaat, maar tevens de dichtheid iets terugloopt.

Het uitwisselen verloopt nu met een gemiddelde snelheid van $1 \text{ m} / 9 \text{ sec} = 0.11 \text{ m/s}$ voor het instromende zoete water en van $1 \text{ m} / 11 \text{ sec} = 0.091 \text{ m/s}$ voor het terugstromende zoete water. Het golfbeeld is rustig.

Het zoete water duwt het zoute water voor zich uit over de drempel, maar kaatst vrijwel niet terug op de schuine drempel, waardoor het grensvlak snel weer tot rust komt.

Het stroombeeld ziet er uit als in nevenstaande tekening is weergegeven.



Er blijft een laag zout achter de drempel staan van 8.5 cm .

Het schip wordt vervolgens met een snelheid van $1.75 \text{ m} / 12 \text{ sec} = 0.146 \text{ m/s}$ uitgevaren (het schip heeft een lengte van 1.75 meter en passeert de drempel in 12 seconden). De meelopende interne golf blijft echter achter en heeft een snelheid van 0.10 m/s . Deze golf van zout water slaat over de drempel.

De indruk is dat de interne golven niet sneller uitgedempt worden, maar niet zo makkelijk in het geheel over de drempel slaan; er treedt dus minder verlies op.

Het invaren gaat met een snelheid van $1.75 \text{ m} / 9 \text{ sec} = 0.194 \text{ m/s}$. Op deze schaal is dit nogal snel, zodat een woelig beeld ontstaat. Er slaat een kleine hoeveelheid zout water over de drempel uit de kolk; het eindresultaat is een zoutlaag met een dikte van 7 cm .

De grootste dichtheid, onder in de zoutlaag, wordt vastgesteld op 1024 kg/m^3 .

Opmerking : Ná het uitwisselen, uit- en invaren treedt er nog wat golfvorming op in de grenslaag.
Dit beeld kan verstoord zijn doordat het openen en sluiten van de deur ook kleine interne golfjes veroorzaakt.

PROEF 15 (video opname)

Bij deze proef wordt gebruik gemaakt van een scheepsmodel met een eigen voortstuwing, om te zien wat de invloed is van de schroefwerking op het grensvlak.

De dichtheid van het zoute water is 1020 kg/m^3 .

Tijdens de proef wordt de snelheid van het instromende zoete water vastgesteld op $2 \text{ m} / 20 \text{ sec} = 0.10 \text{ m/s}$ en van het terugstromende zoete water op $2 \text{ m} / 41 \text{ sec} = 0.049 \text{ m/s}$.

Uit de video opname blijkt de snelheid $1 \text{ m} / 8 \text{ sec} = 0.125 \text{ m/s}$ respektievelijk $1 \text{ m} / 16 \text{ sec} = 0.0675 \text{ m/s}$ te zijn.

Het golfbeeld is rustig, na de uitwisseling is het grensvlak vrijwel stil en strak. De zoutlaag is iets dikker dan 8 cm .

Vervolgens wordt het schip op eigen kracht de kolk uitgevaren, met een snelheid van $1.75 \text{ m} / 26 \text{ sec} = 0.067 \text{ m/s}$.

Er ontstaat een woelig grensvlak, met veel kleine golfjes, nu ook in de breedterichting. Vlak voor de schroef uit loopt een grotere golf in het grensvlak mee en slaat gedeeltelijk over de drempel. Het resultaat is een laag zout water in de kolk met een dikte van 6.5 cm .

Het invaren gebeurt nogal driest, waardoor het schip abrupt afgestopt moet worden. Dit levert even een woelig beeld op, hoewel het zoutverlies over de drempel beperkt blijft.

Tenslotte blijft er een laag zout water over met een dikte van 6 cm .

Hoofdstuk 5 Konklusies en aanbevelingen

Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de proevenserie nader bekeken en worden konklusies getrokken; enkele aanbevelingen besluiten dit verslag.

Allereerst moet nogmaals benadrukt worden dat dit onderzoek geenszins pretendeert volledig te zijn. Daarvoor is het aantal proeven te gering en het verkregen inzicht te globaal. Het model en ook de beschikbare apparatuur hebben beperkingen. Het model is vrij klein van omvang en er is niet op schaal beproefd. De registratie van meetgegevens met behulp van de beschikbare apparatuur blijkt achteraf niet goed te voldoen. Tevens trad er na enkele dagen lekkage op, zodat het moeilijk was de ingestelde waterpeilen in het model konstant te houden. (Dit laatste heeft waarschijnlijk slechts een geringe invloed op de proeven.)

Tenslotte moet er op gewezen worden dat de beschikbare tijd, waarin dit onderzoek opgezet, uitgevoerd en verwerkt moest worden, beperkt is. Hierdoor was het niet mogelijk een uitvoerig vooronderzoek te doen of bepaalde proeven vaker of nauwkeuriger uit te voeren. Niettemin is de doelstelling bereikt.

§ 5.1 Konklusies

Het blijkt dat een drempel in een kolk van een zeesluis tijdens het uitwisselen van zoet en zout water een gedeelte van het zoute water tegenhoudt. Het uitwisselingsproces speelt zich af in de laag die boven de top van de drempel ligt. Tussen het zoete water, dat de kolk instroomt, en het zoute water, dat in de kolk achter blijft, stelt zich een grensvlak in.

Afhankelijk van de waterstand boven de top van de drempel en het dichtheidsverschil tussen het zoete en zoute water verloopt dit proces met een bepaalde snelheid. Als het uitwisselen snel verloopt, dan vertoont het grensvlak een woeliger beeld. Het duurt ook langer voordat het water weer in rust is. De eind- resultaten zijn echter gelijk (vergelijk de proeven 1, 7 en 12).

De indruk is, dat het zoete water iets sneller de kolk instroomt dan dat het zoute water uit de kolk verdrongen wordt; de verhouding van de snelheden is ongeveer 2 : 3 (zie proef 11). De verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat dit verschijnsel waarschijnlijk veroorzaakt wordt doordat de drempel een diskontinuiteit vormt in de stroming. De drempel fungeert als een soort interne korte overlaat, waardoor de stroming over de drempel enigszins toegeknepen wordt.

Als het uitwisselingsproces afgelopen is, komt het grensvlak tussen het zoete en zoute water in de kolk niet meteen tot rust. De laag zout water, die vlak na het uitwisselen iets dikker is dan de drempel hoog is, wordt nog iets dunner. Uiteindelijk blijft er in de kolk een laag zout water achter de drempel staan met een dikte die gelijk is aan de hoogte van de drempel.

Als de deur gesloten kan worden voordat de uitwisseling voltooid is (d.w.z. dat het front van het instromende zoete water de drempel opnieuw bereikt heeft, nadat het tegen het eindschot van de sluis kolk teruggekaatst is), kan veel meer zout water in de kolk gehouden worden (zie proef 3).

In dit opzicht kan een geringer dichtheidsverschil of een geringere waterhoogte boven de top van de drempel wel winst opleveren.

Als er een schip in de kolk ligt, verloopt het uitwisselen rustiger en komt de golving in het grensvlak snel tot rust.

Bij het uitvaren van het schip stroomt er een fraktie van het zoute water met het schip mee de kolk uit. Ook bij het invaren wordt een kleine hoeveelheid zout water verdrongen. Deze hoeveelheden zijn afhankelijk van de afmetingen en de snelheid van het schip. Het schip verdringt aan de voorzijde water, terwijl er achter het schip water moet toestromen. Als het schip de kolk verlaat, stroomt er ook water uit de zoute laag achter de drempel naar de plaats achter het varende schip, waardoor er een golf in het grensvlak met het schip meeloopt en uiteindelijk over de drempel slaat. Als het schip de kolk invaart, moet er water uit de kolk verdrongen worden; hierbij kan er ook zout water uit de kolk meegevoerd worden. Vervolgens treedt het verschijnsel op van het toestromende water, waardoor er in het grensvlak een golf met het schip mee gaat lopen. Het schip komt tot stilstand, maar de golf loopt verder, totdat deze het einde van de kolk bereikt en daar teruggekaatst wordt. De golf loopt weer terug en slaat uiteindelijk over de drempel. Hoe breder het schip is en hoe sneller het vaart en dus water verplaatst, hoe meer zout water er in beweging komt, waardoor meer verlies optreedt.

Als het schip op eigen kracht de kolk verlaat, treedt er door de schroefwerking meer woeling op in het grensvlak. De extra verliezen hierdoor zijn echter gering.

Een drempel, waarvan het aanstroomoppervlak een hoek met de bodem maakt, lijkt een gunstige invloed te hebben op het uitdempen van interne golven; het houdt het zoute water als het ware langer vast; de interne golven in het grensvlak slaan niet zo makkelijk over een schuin oplopende drempel dan over een drempel die loodrecht op de bodem staat. Ook bij het uit- en invaren van schepen lijkt de schuine drempel de met het schip meelopende interne golf beter te kunnen opvangen en tegenhouden.

Hoe kleiner de hoek is die de drempel met de bodem maakt, hoe groter het effect van het uitdempen van de interne golven is.

Na afloop van de proeven stelt zich tussen het zoete en het zoute water in de kolk een grenslaag in. Hierin bevindt zich water met een dichtheid die verloopt van die van zuiver zoet water naar die van zout water. De dikte van deze grenslaag lijkt afhankelijk van de snelheid waarmee de uitwisseling en het manipuleren met het schip plaatsvindt. Over de ligging van de grenslaag, namelijk op de laag zout water of als onderdeel ervan, bestaat geen zekerheid (zie de proeven 5 en 6).

Samenvatting van de konklusies

- Een drempel in de kolk bij de sluisdeur aan de kanaalzijde van een zeesluis werkt alsof de bodem van de sluisdeur ter hoogte van de top van de drempel ligt.
Het uitwisselingsproces speelt zich af in de laag daarboven.
In de kolk blijft een laag zout water achter de drempel staan met een dikte die gelijk is aan de hoogte van de drempel.
- De invloed van een groter of kleiner dichtheidsverschil en van een grotere of geringere waterhoogte boven de top van de drempel beperkt zich tot de snelheid waarmee het uitwisselingsproces zich afspeelt; de resultaten blijven gelijk.
- De tijdsduur, dat de sluisdeur open staat, is van grote invloed op de

hoeveelheid zout water, die uit de kolk kan stromen; dit geldt zolang de uitwisseling van zoet en zout water nog niet voltooid is.

- Een schip, dat in de kolk ligt, heeft een dempende werking op de golfvorming in het grensvlak tijdens de uitwisseling. De invloed van schepen, die de kolk uit- of invaren, op de zoutlaag in de sluiskolk is gering, afhankelijk van de afmetingen en de snelheid, waarmee het schip vaart. Door de schroefwerking treedt er meer woeling in het grensvlak op, maar het verlies van zout water blijft gering.
- De vorm van de drempel heeft invloed op de snelheid, waarmee het zoute water over de drempel stroomt nadat de uitwisseling van zoet en zout water voltooid is. Deze hoeveelheid zout water is klein, maar bij een schuine drempel duurt het langer voordat het uit de kolk gestroomd is; indien de deur snel gesloten wordt, kan deze kleine hoeveelheid in de kolk gehouden worden.

§ 5.2 Aanbevelingen

Gezien de resultaten van dit globale onderzoek verdient het aanbeveling de werking van een drempel nader en op een grotere schaal te onderzoeken.

Aangezien de grootste winst optreedt indien de deur gesloten kan worden voordat de uitwisseling voltooid is, moet verder gezocht worden naar maatregelen, die de uitwisselingssnelheden beperken. Daarbij gaan de gedachten uit naar het toepassen van luchtbellenschermen bij de drempel; het luchtbellenscherm veroorzaakt een verstoring van de zoutlaag en zou daarom beter niet geïnstalleerd moeten worden voor de drempel in de kolk. De uitwisselingssnelheid wordt echter bij gebruik van een luchtbellenscherm gereduceerd. Daarom verdient het aanbeveling om nader te onderzoeken waar het luchtbellenscherm het best geplaatst zou kunnen worden. Ook zou onderzocht kunnen worden of met mogelijk is de drempel op de maximale hoogte te laten staan zolang de sluisdeur nog niet geheel geopend is. Bij zeesluizen worden roldeuren toegepast; door de grote breedte-afmeting van de sluiskolk duurt het geruime tijd voordat de deuren geheel geopend zijn en de schepen uit kunnen varen; als met het laten zakken van de drempel tot de gewenste hoogte gewacht kan worden totdat de roldeur geopend is, kan het uitwisselingsproces uitgesteld of in ieder geval vertraagd worden. Tevens zou de drempel gebruikt kunnen worden als tijdelijk afsluitmiddel, indien er na het uitvaren van een schip uit de kolk gewacht moet worden op een schip, dat de andere kant opgeschut moet worden en nog niet bij de sluis is gearriveerd. Dit stelt uiteraard ook eisen aan de drempel en aan het bewegingsmechanisme.

Bij uitvoering van deze plannen dienen de beheerder en de gebruikers van de sluis uiteraard goed op de hoogte te zijn; goede voorlichting over de werking van de drempel is dan ook gewenst.

In dit onderzoek is alleen gelet op de invloed die schepen hebben op de stromingen in de kolk; dit aspect verdient verdere studie. Ook moet zeker onderzocht worden wat de invloed van de stromingen op de bestuurbaarheid van de schepen is bij het toepassen van een drempel. Met name de verdeling van de uitwisselingsstromen over de waterhoogte tussen de top van de drempel en het wateroppervlak verdient aandacht. Bij het ontwerpen van een zeesluis zijn de te verwachten troskrachten een niet te verwaarlozen criterium. Tijdens de proeven bleken er tijdens het uitwisselen redelijk

grote krachten op de schepen te werken. De al eerder genoemde luchtbellenschermen hebben een reducerende invloed op deze krachten. Ook moet men bedacht zijn op de invloed die de ingaande zoetwaterstroom en de uitgaande zoutwaterstroom hebben op de manoeuvreerbaarheid van de schepen tijdens het uitvaren, zoals ervaringen met de Krammersluizen en andere geleerd hebben.

De vorm van de drempel zou verder geoptimaliseerd kunnen worden. Het is niet goed bekend hoe groot de stroomkrachten zijn, die op een drempel werken en in hoeverre deze afhankelijk zijn van de vorm en de stand van de drempel.

Tenslotte wordt aanbevolen de vorm en de lengte van de zoutvang achter de sluis in de kanaalbodem nader te bekijken. In het model treedt er weerkaatsing op van de zouttong, die uit de kolk de zoutvang in loopt; een gedeelte van het zoute water keert terug naar de drempel. Dit geldt voor een zoutvang die twee maal zo diep is als de sluiskolk. Het is dan ook de vraag of een zoutvang niet beter dieper en korter gemaakt moet worden of van dwarsschotten te voorzien, zodat een groter gedeelte weerkaatst en ook sneller weer terug is bij de drempel.

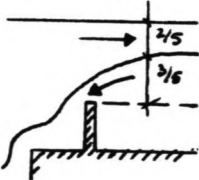
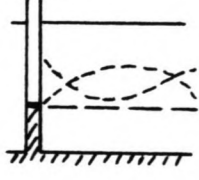
In feite komt dit neer op een poging het uitstromende zoute water te mengen met het instromende zoete water. Dit staat haaks op de werking van het zogenaamde systeem 'Terneuzen', waarbij het zout in de zoutvang opgevangen wordt en bij laag water met zoet water terug op de Westerschelde gespuid wordt. Daartoe moet het uitstromende zoute water zo min mogelijk met zoet water worden gemengd, omdat daardoor het zoutgehalte weliswaar afneemt, maar de af te voeren hoeveelheid zout water toeneemt. Daardoor neemt ook de benodigde hoeveelheid zoet spuiwater toe.

Onderzocht moet worden wat hierbij het grootste gewicht in de schaal legt.

Samenvatting van de aanbevelingen

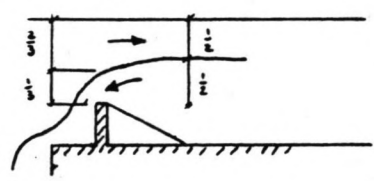
Het verdient aanbeveling nadere studie te verrichten naar

- maatregelen ter beperking van de uitwisselingssnelheid, zoals : het toepassen van luchtbellenschermen en het manipuleren met de beweegbare drempel
- het informeren van beheerders en gebruikers
- het patroon van de uitwisselingsstromingen over de waterhoogte boven de drempel
- de invloed van de stromingen op de schepen in de kolk i.v.m. de troskrachten en de manoeuvreerbaarheid
- het optimaliseren van de vorm van de drempel
- de afmetingen van de zoutvang.

	PROEF	1	2	3	4	5	6
a. Dichtheid (kolk) (kg/m)		0	1020	1020	1018	1018	1017
b. Waterstand (cm)		25	25	25	25/28.5	25/25.35	25
c. Drempelvorm		recht	recht	recht	recht	recht	recht
d. Scheepsmodel		nee	nee	nee	nee	nee	nee
e. Snelheid zoettong (m/s)							
heen		13.3	11.1	8.3	-	-	-
terug		8.0	7.0	7.7	-	-	-
f. Zouttong retour (sec)		-	97	95	-	90	100
g. Zout kolk uit ná uitwiss.		-	ja	nee	-	ja	-
h. Golfbeeld		woelig	woelig	woelig	-	woelig	-
i. Grensvlak		-	strak	vaag	vaag	vaag	-
j. Zout terug kolk in		ja	ja	nee	-	weinig	nee
k. Vorm zoet/zoutlaag		-			-	-	-
l. Dikte zoutlaag (cm)		8	7	14	-	8	9
m. Dikte grenslaag (cm)		4	3	5	-	3	3
n. Dikte zoutlaag na uitvaren		-	-	-	-	-	-
" " " invaren		-	-	-	-	-	-
Opmerkingen			Veel golving na uitw.	Deur na 35 sec gesloten	Water stand versch. 3.4 cm	Idem 0.35 cm	Deur gesl voor zout retour

TABEL I : Overzicht van de instelgegevens en voornaamste resultaten van de proeven

7	8	9	10	11	12	13	14	15
1005	1019	1020	1019	1012	1017	1020	1022	1020
25	25	25	26	25	15	25	25	26
recht	recht	recht	recht	-	recht	45	30	30
nee	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja, met schroef
5.4	12.5	8.0	-	9.1	7.7	12.5	15.4	12.5
4.7	8.0	5.9	-	6.0	6.1	7.1	-	8.0
-	-	102	-	-	-	100	-	96
-	ja	ja	-	-	-	-	-	-
rustig	rustig	rustig	woelig	-	-	rustig	-	woelig
scherp	scherp	strak	-	-	-	-	-	strak
-	weinig	ja	-	-	-	-	-	ja
-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	8	8+	-	-	8	9- 8	8	8+
1.6	-	-	-	-	1	-	-	-
-	-	7.5	8.0	-	7.5	8.0	7.0	6.5
-	-	7.0	7.0	-	-	7.0	-	6.0



Uitvaar Schip Snelh.
snelheid vaart uit meting
7.6 cm/s tijdens
uitwiss.

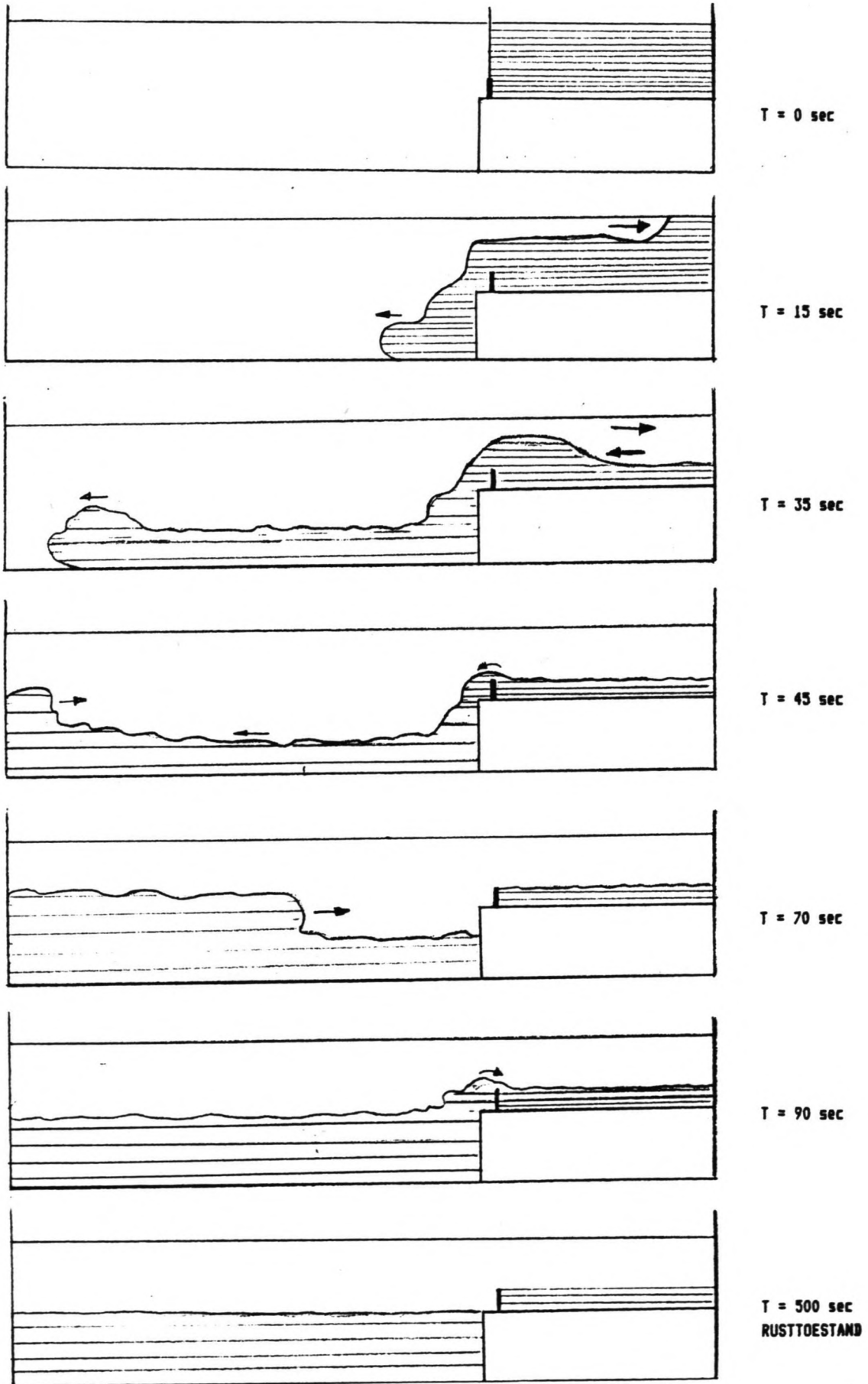


FIG. 4.1 HET UITWISSELINGSPROCES TIJDENS DE TESTPROEF

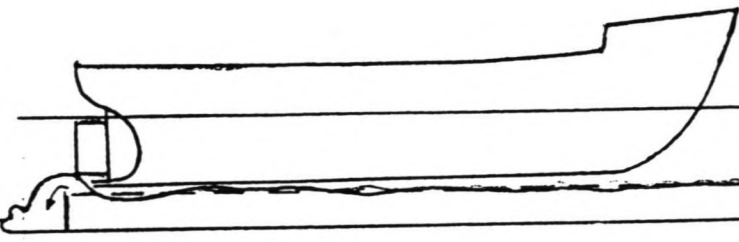
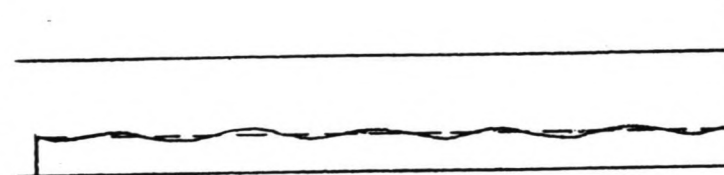
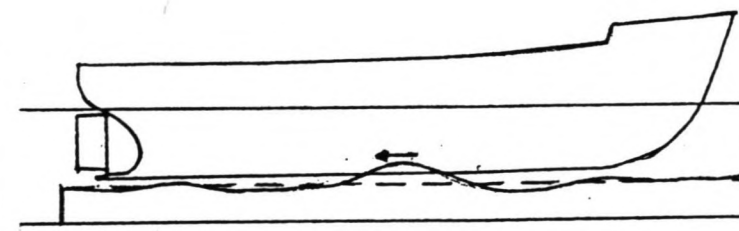
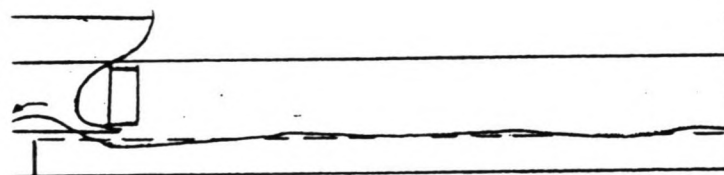
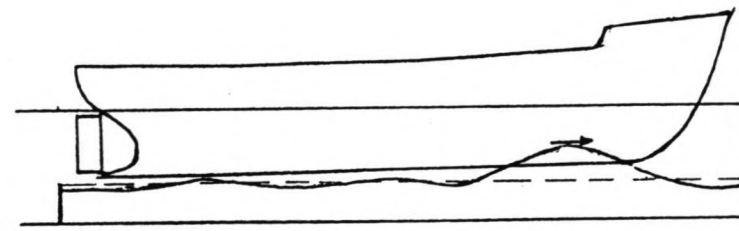
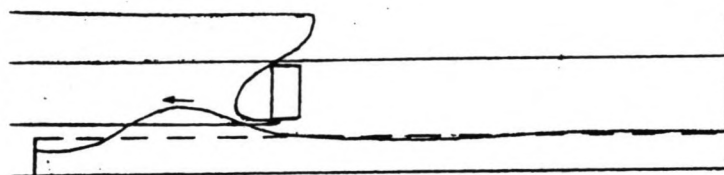
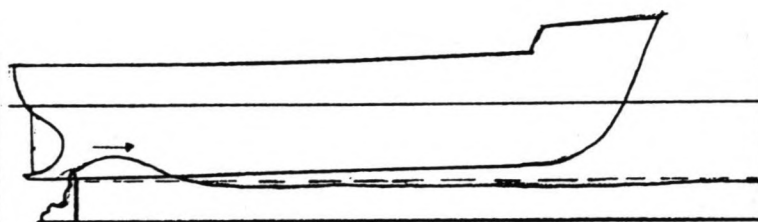
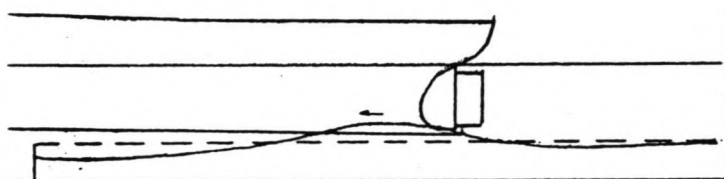
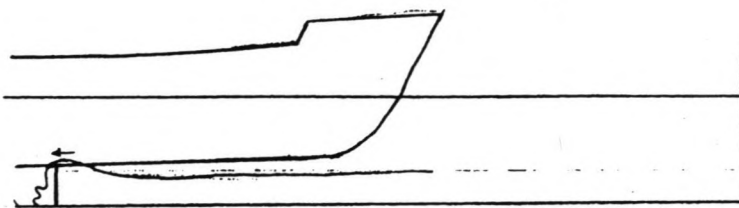
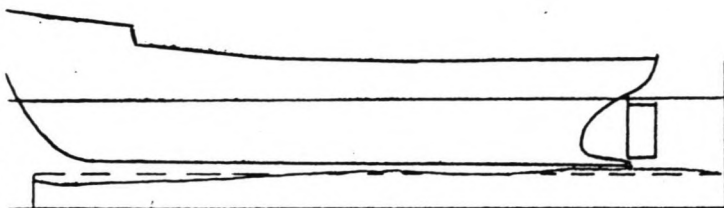
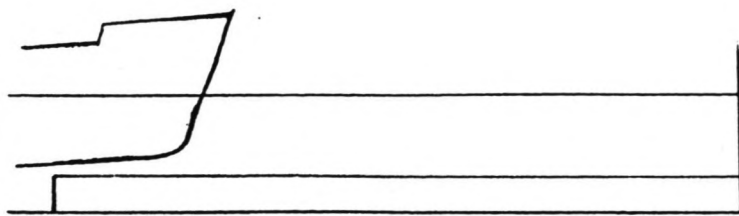
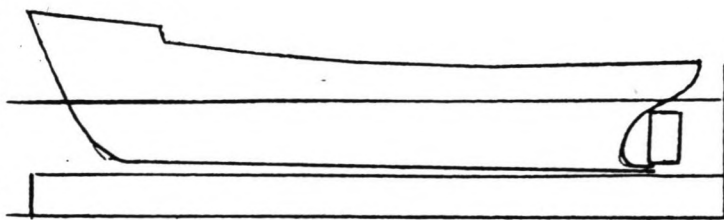


FIG. 4.2a BEVEGING VAN DE GRENSLAAG BIJ
UITVAREND SCHIP

FIG. 4.2b BEVEGING VAN DE GRENSLAAG BIJ
INVAREND SCHIP

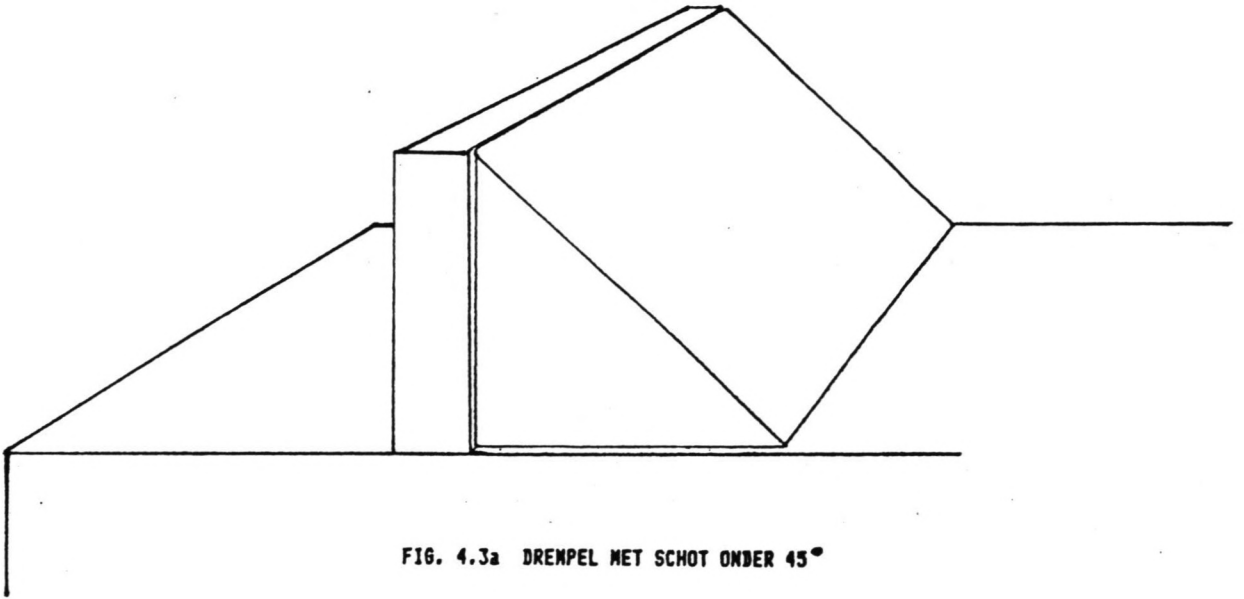


FIG. 4.3a DRENPEL MET SCHOT ONDER 45°

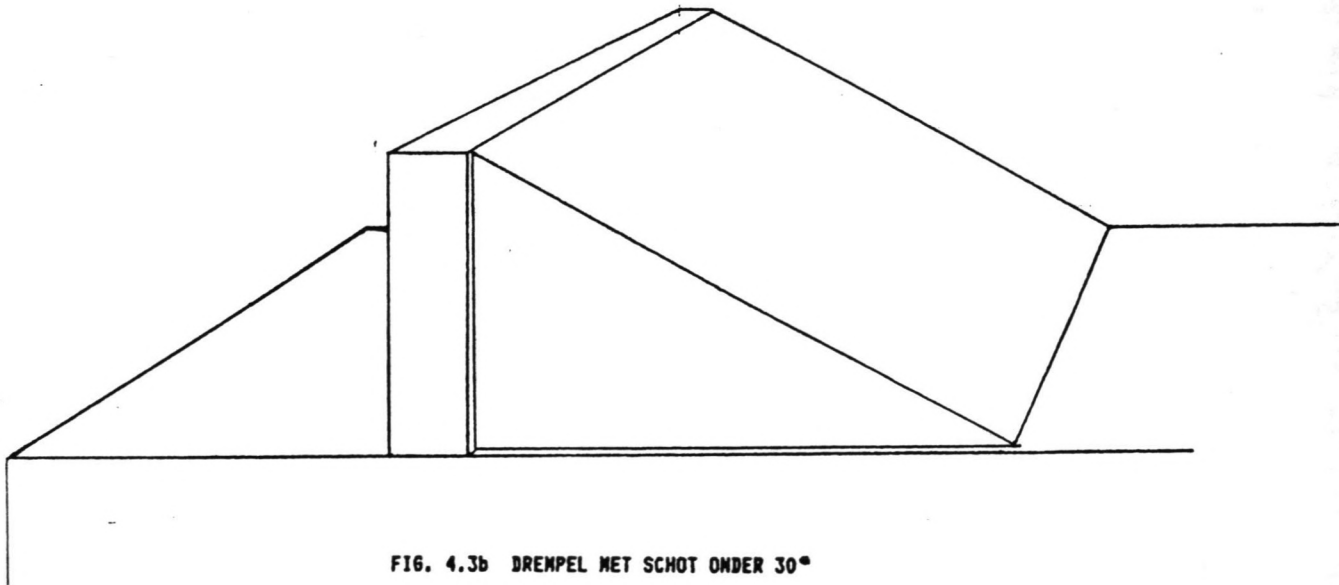
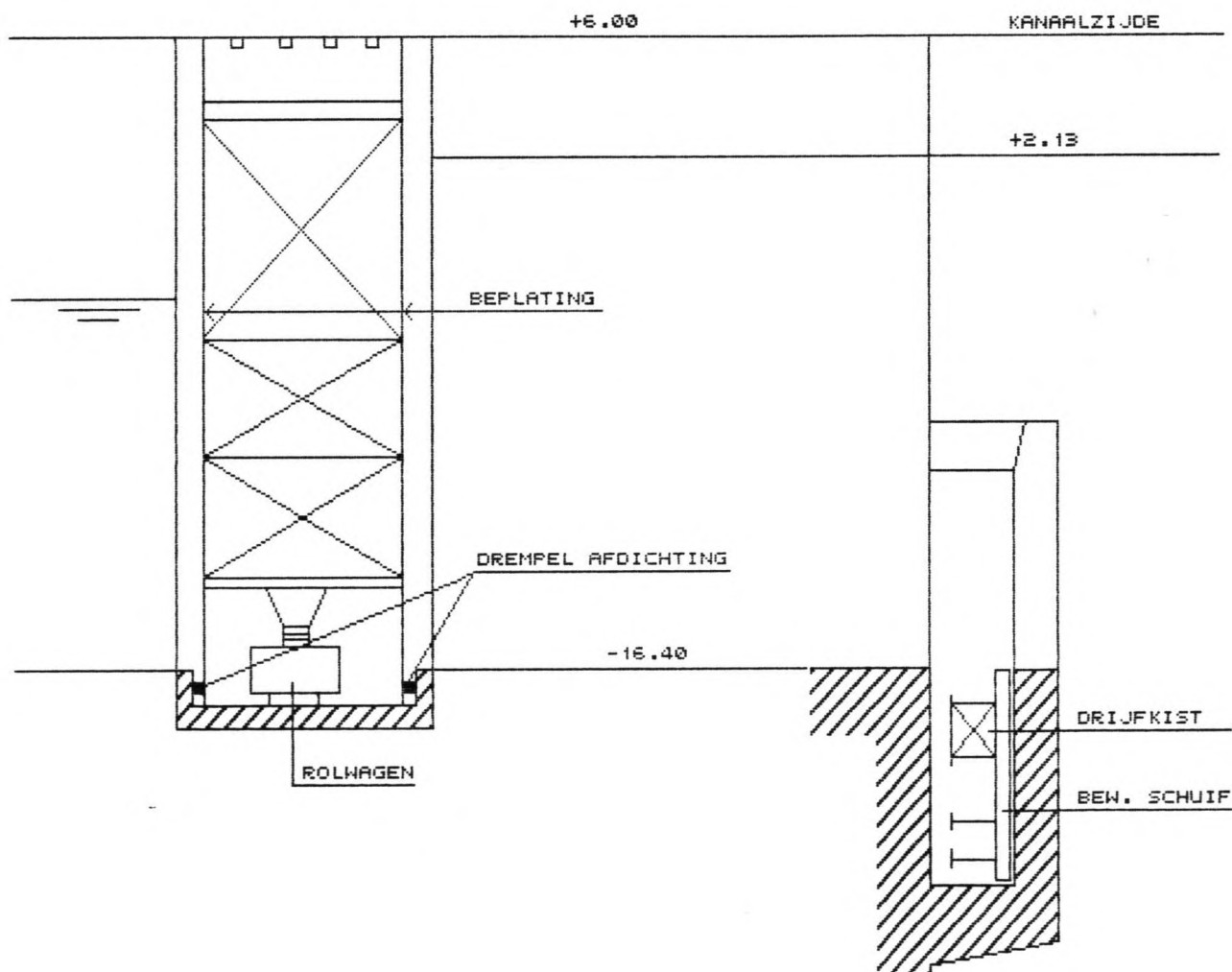


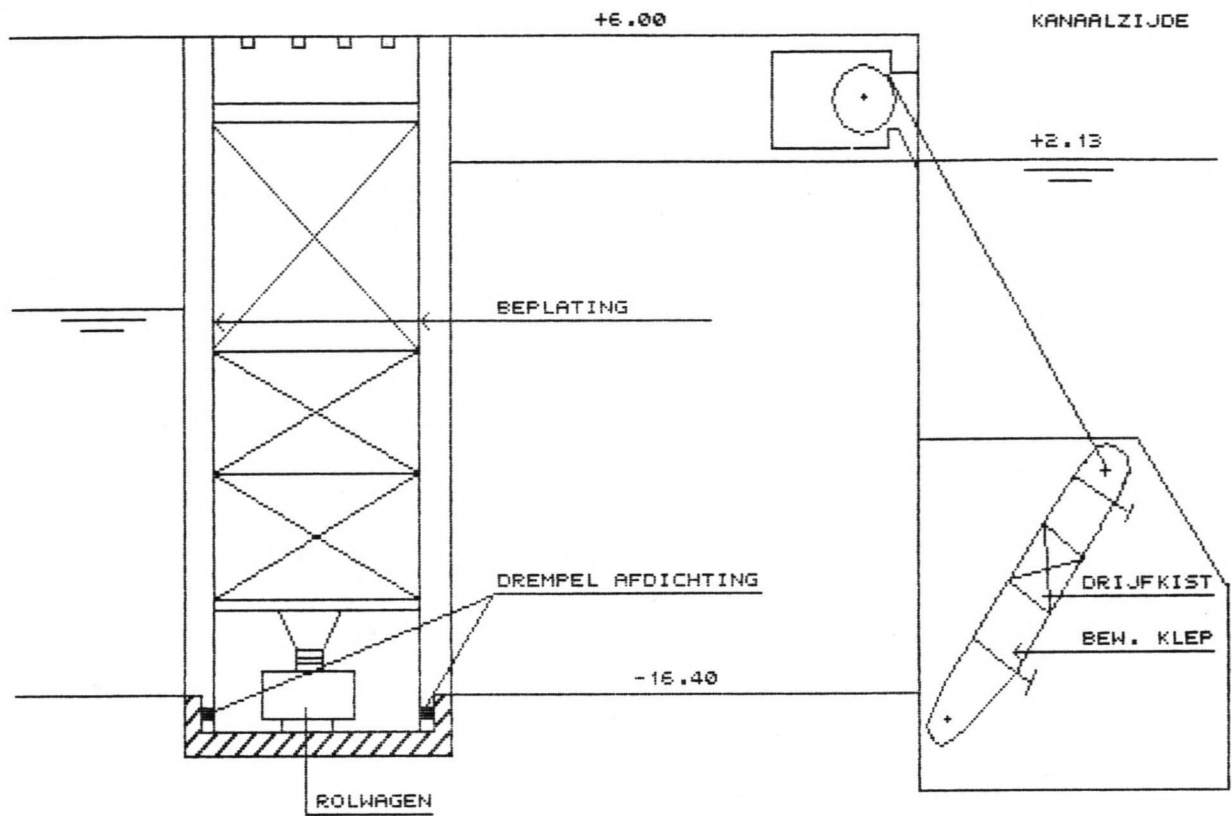
FIG. 4.3b DRENPEL MET SCHOT ONDER 30°

Bijlage 1 Tekeningen van de sluis met drempel

De onderstaande tekeningen zijn mogelijke oplossingen voor de toepassing van een drempel bij de sluis te Terneuzen en zijn ontleend aan het voorlopig rapport van de werkgroep sluis en voorhavens. Deze werkgroep heeft de uitvoering van de sluis bij Terneuzen onderzocht. De tekeningen zijn bedoeld om de lezer enig inzicht te verschaffen in de uitvoering van de drempel. Tevens worden de waterstanden in meters t.o.v. NAP in de sluis en op het kanaal weergegeven. De plaats en ook de uitvoering van de drempel zal nader worden bekeken in een volgend rapport.



DE ZEESLUIS MET BEWEEGBARE SCHUIF



DE ZEESLUIS MET BEWEEGBARE KLEP

Bijlage 2

Gegevens van het scheepsmodel

Het model is een kotter.

De schaalfactor $a = 15$.

<u>Schip</u>	model	ware grootte
Lengte over alles	1.75 m.	26.25 m.
Lengte waterlijn	1.543 m.	23.14 m.
Breedte	0.427 m.	6.40 m.
Diepgang voor	0.130 m.	1.95 m.
achter	0.1765 m.	2.65 m.
Waterverplaatsing	0.04864 m ³ .	164.16 m ³ .

Schroef

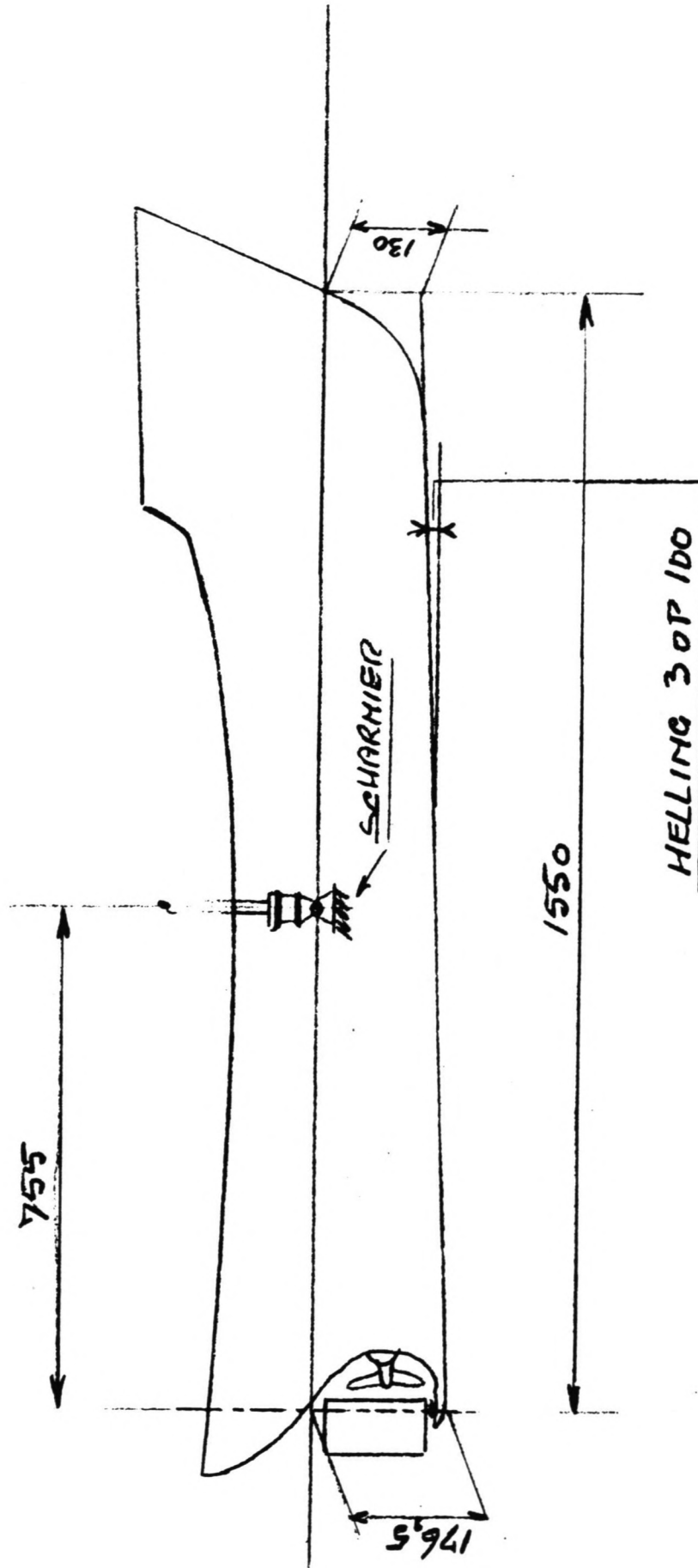
Aantal bladen	4	4
Diameter	0.1333 m.	2 m.
Spoed	0.087 m.	1.32 m.
Bladopp.verh. A_e/A_o	0.56	0.56
Maximaal toerental	16,4 o/s	255 rpm

Stuwkracht model = $0.084 n^2$ (met n in omw./sec.);
(globaal, bij een snelheid van 0 m/s, dus trekkend aan de
meertrossen; zodra het model enige snelheid gaat maken,
neemt de stuwkracht af bij gelijkblijvend toerental.)

Stuwkracht schip = $1.181 N^2$ (met N in omw./min.);

NB.: toerental schip = toerental model gedeeld door $\sqrt{15}$

Dwarsdoorsnede met diepgangen, zie volgende pagina.



DIEPANGEN KOTTERS

Literatuurlijst

- [1] J.T. Bresters en J.F. v.d. Velden
"Keuze van het zout-zoetscheidingssysteem voor de zeesluis te Terneuzen", afstudeerverslag, Delft dec 1987.
- [2] G. Abraham en P. v.d. Burgh
"Reduction of Salt water Intrusion through Locks by Pneumatic Barriers", Publ. 28, Waterloopkundig Laboratorium, 1962.
- [3] G. Abraham, P. v.d. Burgh en P. de Vos
"Pneumatic Barriers to Reduce Salt Intrusion through Locks", Rijkswaterstaat Communications 1973 nr. 17 en als W.L. publikatie 126.
- [4] A. Glerum en P.A. Kolkman
"Waterbouwkundige kunstwerken b.o.", collegediktaat f 9C, Delft febr. 1986

