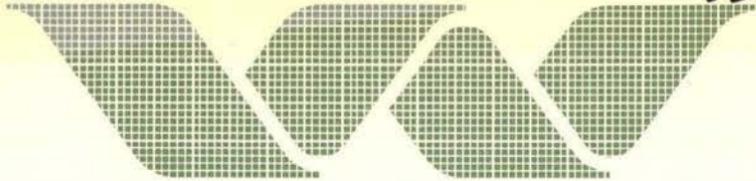


108



waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

duwvaartsluizen Philipsdam

krachten op schepen tijdens het vóórtrekken
van de roldeur in tijdelijke en definitieve situatie

verslag modelonderzoek tekst

BIBLIOTHEEK
Delft Hydraulisch Laboratorium
Postbus 115, 2600 AC Delft
Tel. 015-273311

M1573

februari 1981

9.7-127 I

duwvaartsluizen Philipsdam

krachten op schepen tijdens het vóórtrekken
van de roldeur in tijdelijke en definitieve situatie

verslag modelonderzoek tekst

BIBLIOTHEEK

Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Postbus 5044, 2600 GA DELFT

Tel. 015-699111

M1573

19 SEP. 1981

februari 1981

INHOUD

Lijst van figuren in de tekst

Lijst van tabellen in de tekst

Lijst van figuren na de tekst

Lijst van tabellen na de tekst

Lijst van symbolen

	blz.
<u>1</u> <u>Inleiding</u>	1
1.1 Opdracht	1
1.2 Probleemstelling	1
1.3 Programmering onderzoek	4
1.4 Konklusies	7
1.5 Aandachtspunten toekomstig onderzoek	10
 <u>2</u> <u>Beschrijving schaalmodel</u>	10
2.1 Inleiding	10
2.2 Beschrijving model fase 1 (t.b.v. "TROS-procedure"	13
2.3 Beschrijving schaalmodel fase 2 (t.b.v. verifiëren "TROS-pro- cedure)	15
2.4 Beschrijving schaalmodel fase 3 (niet-homogene proeven).....	20
2.5 Schematisaties schaal- en (wiskundig) model	22
2.6 Indeling onderzoek	35
 <u>3</u> <u>Onderzoek met betrekking tot roldeurprogrammering tijdelijke situatie</u>	37
3.1 Inleiding	37
3.2 Langs- en dwarskrachten op een schip in een schutkolk tijdens nivelleren	37
3.3 Meetprogramma	40
3.4 Resultaten	43
3.4.1 Algemeen	43
3.4.2 Afvoercoëfficiënten roldeuropeningen	43
3.4.3 Wiskundig model	47
3.4.4 Vulstraalmetingen in schaalmodel	48

INHOUD (vervolg)

blz.

3.4.5	Totale lang- (en dwars-)krachten op een schip in de kolk	53
3.5	Konklusies	55
4	<u>Onderzoek met betrekking tot de roldeurprogrammering in de de-</u> <u>finitieve situatie</u>	58
4.1	Inleiding	58
4.2	Opzet meetprogramma uitgaande van enkele hypotheses over de invloed van dichtheidsverschillen	60
4.3	Meetprogramma proeven met dichtheidsverschillen	64
4.4	Resultaten van de metingen	65
4.4.1	Inleiding	65
4.4.2	Reproduceerbaarheid proefresultaten (met dichtheidsverschil).	65
4.4.3	Langskrachten op het schip tengevolge van het dichtheidsver- schil	66
4.4.4	Dwarskrachten op schepen tengevolge van het dichtheidsverschil	70
4.5	Hypothese betreffende langskrachten op een schip tengevolge van een dichtheidsverschil	72
4.6	Afschatten langskrachten op schepen tijdens het vóórtrekken van de roldeur in de definitieve situatie	84
4.7	Konklusies	88
5	<u>Verifikatie "TROS-procedure"</u>	90
5.1	Inleiding	90
5.2	Indeling verifikatie-onderzoek "TROS-procedure"	90
5.3	Korte beschrijving wiskundig model	91
5.4	Resultaten schaalmodel (permanentie)	94
5.4.1	Inleiding	94
5.4.2	Langs- en dwarskrachten in uniforme stroming	95
5.4.3	Debietafhankelijkheid van de langskracht tengevolge van de vulstraal (permanentie)	104
5.4.4	Omwerken vulstraalproeven	107
5.4.5	Stroombeeldmetingen	109
5.5	Vergelijken resultaten TROS-procedure en schaalmodel (niet- permanentie)	110
5.5.1	Inleiding	110
5.5.2	Proevenprogramma	111

INHOUD (vervolg)

	blz.
5.5.3.1 Algemeen	111
5.5.3.2 Vergelijken waterstanden	113
5.5.3.3 Vergelijken debieten	114
5.5.3.4 Vergelijken vulstraalkrachten	115
5.5.3.5 Vergelijken totale langskrachten	121
5.5.4 Vergelijken dwarskrachten	126
5.5.5 Vergelijken stroombeelden	129
5.6 Aanpassing adviezen tijdelijke en definitieve situatie Philipsdamsluizen	130
5.6.1 Bepalen langskrachten prototype uit schaalmodel resultaten.	130
5.6.2 Bepalen dwarskrachten prototype uit schaalmodelresultaten .	133
5.6.3 Controle advies tijdelijke situatie Philipsdamsluizen	134
5.6.4 Aanpassen advies definitieve situatie Philipsdamsluizen ...	136
5.7 Konklusies	138

LITERATUUR

APPENDIX A Beschouwing over interne golven op het scheidingsvlak

Figuren in de tekst

- 2.1.1 Boven- en zijaanzicht duweenheid (4 duwbakken)
- 2.1.2 Boven- en zijaanzicht "Groot Rijnschip" (3000 ton)
- 2.2.1 Meetpunten waterstanden in schaalmodel (permanentie)
- 2.3.1 Bewegingsmogelijkheden van een schip
- 2.3.2 Pen-gatverbinding tussen schip en de verticale kolommen van het meetframe
- 2.3.3 Waterstandsmeetpunten (vulsituatie)
- 2.4.1 Doorsneden schaalmodel ter plaatse van de achterzijde schutkolk
- 2.4.2 Positie zoutopnemer en waterstandsmeetpunt (achter in de kolk) in het schaalmodel
- 2.5.1 Schutkolksekties ten behoeve van kwantificeren invloed schematisaties
- 2.5.2 Schematische weergave riooldebiet bij in- en uitstroming uit het kolkwandriool (tijdelijke situatie)
- 2.5.3 Schematische weergave sluiskolk met geperforeerde vloer en ruimte onder geperforeerde vloer
- 2.5.4 Afdichting roldeur in schaalmodel en prototype (t.p.v. de sluisvloer)
- 3.2.1 Bovenaaanzicht asymmetrische instroming
- 3.3.1 Geschematiseerde getijbeweging op Zijpe en Krammer
- 3.3.2 Roldeurbeweging (roldeurprogramma)
- 3.3.3 Positionering schepen in de kolk
- 3.4.2.1 Bovenaaanzicht instroming door roldeuropening
- 3.4.2.2 Vertikale doorsnede instroming bij roldeuropening
- 3.4.4.1 Bovenaaanzicht duweenheid met dwarskrachtmeetpunten
- 3.4.4.2 Bovenaaanzicht binnenvaartschip ("3000 tonner") met dwarskrachtmeetpunten
- 4.4.3.1 Invloed positie scheidingsvlak op de langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil op een duweenheid
- 4.5.1 Dichtheidsstromen tijdens nivelleren
- 4.5.2 Schematische weergave verloop van de langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil in de tijd (zie o.a. de invloed van $\Delta\rho$ in de figuren 35 t/m 41)
- 4.5.3 Positie van het front van de vulstraal als funktie van de tijd
- 4.5.4 Verloop van de tijdsduur Δt_3 met de dikte van de zoute laag

Figuren in de tekst (vervolg)

- 5.3.1 Star schip
- 5.3.2 Flexibel schip
- 5.4.2.1 Langskrachten tengevolge van de vulstraal als functie van de afstand tot de vulopening
- 5.4.2.2 Stroming in de kolk in permanentiemodel en rekenmodel (schematisch)
- 5.4.3.1 Instroming bij roldeur met en zonder schot
- 5.4.3.2 Gemeten en gestelde verhouding van F/Q^2 als functie van Q
- 5.5.3.4.1 Stroming langs een schip in de vulstraal (permanentie)
- 5.5.3.4.2 Berekende en gemeten vulstraalkrachten (proef 11, binnenvaartschip) bij permanentie en niet-permanentie
- 5.5.5.1 Meetpunten stroomsnelheidsmetingen niet-permanentie (t.b.v. M 1359-4 | 10 |)

Tabellen in de tekst

- 4.2.1 Verhouding translatiegolfhoogten van oppervlakte (externe) translatiegolf en de door de interne golf veroorzaakte translatiegolf aan het oppervlak
- 4.2.2 Invloed diskontinuiteit in de zoete laag ter plaatse van het schip op de externe translatiegolfhoogte
- 5.5.3.5.1 Vergelijking TROS-procedure en schaalmodel

Figuren na de tekst

- 1 Kompartimentering volgens model C₃ met kanaal door Zuid-Beveland
- 2 Situatie Philipsdamsluizen
- 3 Overzicht schaalmodel (permanentie)
- 4 Overzicht schaalmodel (niet-permanentie)
- 5 Schematische weergave voorhavenkonfiguraties in prototype (Zype-
zijde), wiskundig en schaalmodel
- 6 Doorsnede kolkwand duwvaartsluizen Philipsdam
- 6 a Schematische doorsnedes sluiskolk (prototype)
- 6 b Doorsnedes roldeurkas en -nis prototype
- 7 Debieten in de kolk van berekeningen met en zonder geperforeerde
vloer
- 8 Waterspiegelhellingen $\left[\frac{0}{\infty} \right]$ in de kolk van berekeningen met en
zonder geperforeerde vloer
- 9 Berekende debieten bij voorhavenbreedtes van 200 m (prototype)
en 32 m (schaalmodel)
- 10 Berekende langskrachten op een duweenheid bij voorhavenbreedtes
van 200 m en 32 m
- 11 Berekende debieten bij voorhavenbreedtes van 32 m en 24 m
- 12 Berekende langskrachten bij voorhavenbreedtes van 32 m en 24 m
- 13 Indeling onderzoek
- 14 TROS-procedure en "aangepaste" TROS-procedure
- 15 Afvoercoëfficiënten roldeuropening
- 16 Voorbeeld plot uitvoer rekenprogramma (debiet, waterstand, roldeur-
opening)
- 17 Voorbeeld plotuitvoer rekenprogramma van de langskracht met de
gemeten vulstraalkrachten
- 18 Voorbeeld dwarskrachtenverloop ten gevolge van de vulstraal op
een duweenheid (4 duwbakken)
- 19 Langskracht op een duweenheid (4 duwbakken)
bepaald met behulp van de TROSPROCEDURE (proef PH1)
- 20 bepaald met behulp van de TROSPROCEDURE (proef PH4)
- 21 bepaald met behulp van de TROSPROCEDURE (proef PH6)
- 22 Langskracht op een binnenvaartschip (3000 ton)
bepaald met behulp van de TROSPROCEDURE (proef PH10)
- 23 bepaald met behulp van de TROSPROCEDURE (proef PH13)
- 24 bepaald met behulp van de TROSPROCEDURE (proef PH14)

vervolg figuren na de tekst

- 25 Langskrachten ten gevolge van de vulstraal als funktie van afstand
 (a) en snelheid van de roldeur (b)
- 26 Langskrachten op een duweenheid (4 duwbakken) als funktie van de
 afstand tot de roldeur
- 27 Langskrachten op een duweenheid op een afstand van 7,5 m van de
 roldeur als funktie van de waterstand in de voorhaven (a) en het
 verval (b)
- 28 Langskrachten op een duweenheid (4 duwbakken) als funktie van de
 snelheid van de roldeur
- 29 Langskrachten op een binnenvaartschip (3000 ton) als funktie van
 afstand tot de roldeur (a) en waterstand (b)
- 30 Invloed dichtheidsverschil op troskrachtenverloop, onderzoek Rozen-
 burgse sluis [5]
- 31 Reproduceerbaarheid positie van het scheidingsvlak als funktie van
 de tijd
- 32 Reproduceerbaarheid menglaagdikte bij het begin van de proeven
- 33 Reproduceerbaarheid langskracht als funktie van de tijd (duweenheid)
- 34 Reproduceerbaarheid dwarskrachten als funktie van de tijd (duweenheid)
- 35 Langskracht als funktie van de tijd, invloed dichtheidsverschil
 (duweenheid)
- 36 Langskracht als funktie van de tijd, invloed dichtheidsverschil
 (duweenheid)
- 37 Langskracht als funktie van de tijd, invloed dichtheidsverschil
 (duweenheid)
- 38 Langskracht als funktie van de tijd, invloed dichtheidsverschil
 (duweenheid)
- 39 Langskracht als funktie van de tijd, invloed menglaag diktes
 (duweenheid)
- 40 Langskracht als funktie van de tijd, invloed dichtheidsverschil
 Ledigingsproeven (duweenheid)
- 41 Langskracht als funktie van de tijd, invloed dichtheidsverschil
 (binnenvaartschip)
- 42 Geleidenheidsvertikalen proef VL ZZ 3 en VL ZZ 8
- 43 Dwarskrachten als funktie van de tijd, invloed dichtheidsverschil
 (duweenheid)
- 44 Dwarskrachten als funktie van de tijd, invloed dichtheidsverschil
 (duweenheid)
- 45 Dwarskrachten als funktie van de tijd, invloed dichtheidsverschil
 (binnenvaartschip)

vervolg figuren na de tekst

- 46 waterstand voorhaven en kolk, invloed dichtheidsverschil (duweenheid)
- 47 waterstand voorhaven en kolk, invloed dichtheidsverschil (binnen-
vaartschip)
- 48 Langskracht komponent ten gevolge van het dichtheidsverschil als
functie van de tijd (duweenheid)
- 49 Langskracht komponent ten gevolge van het dichtheidsverschil als
functie van de tijd (binnenvaartschip)
- 50 Langskracht als functie van de tijd in de definitieve situatie
(duweenheid)
- 51 Langskracht als functie van de roldeursnelheid; definitieve si-
tuatie (duweenheid)
- 52 Rest of- vormweerstandskoefficiënt als functie van de blokkerings-
faktor
- 53 Debiet afhankelijkheid van de langskracht in het geval van uniforme
permanente stroming
- 54 Debiet afhankelijkheid van de langskracht in het geval van niet
uniforme permanente stroming (duweenheid)
- 55 Debiet afhankelijkheid van de langskracht in het geval van niet
uniforme permanente stroming (binnenvaartschip)
- 56 Langskrachten ten gevolge van de vulstraal op een duweenheid met
en zonder turbulente stimulatoren
- 57 Gemeten stroomsnelheden bij permanentie (snelheidsvertikalen)
- 58 Bovenaanzicht bodemsnelheden
- 59 Langskracht als functie van de tijd
verifikatie TROS - procedure (duweenheid, proef 1)
- 60 Langskracht als functie van de tijd
verifikatie TROS - procedure (duweenheid, proef 3)
- 61 Langskracht als functie van de tijd
verifikatie TROS - porcedure (duweenheid, proef 4)
- 62 Langskracht als functie van de tijd
verifikatie TROS - procedure (duweenheid, proef 5)
- 63 Langskracht als functie van de tijd
verifikatie TROS - procedure (duweenheid, proef 6)
- 64 Langskracht als functie van de tijd
verifikatie TROS - procedure (duweenheid, proef 7)
- 65 Langskracht als functie van de tijd
verifikatie TROS - procedure (duweenheid, proef 8)

vervolg figuren na de tekst

- 66 Langskracht als functie van de tijd
 verifikatie TROS - procedure (duweenheid, proef 9)
- 67 Langskracht als functie van de tijd
 verifikatie TROS - procedure (binnenvaartschip, proef 10)
- 68 Langskracht als functie van de tijd
 verifikatie TROS - procedure (binnenvaartschip, proef 11)
- 69 Langskracht als functie van de tijd
 verifikatie TROS - procedure (binnenvaartschip, proef 13)
- 70 Langskracht als functie van de tijd
 verifikatie TROS - procedure (binnenvaartschip, proef 14)
- 71 Langskracht als functie van de tijd
 verifikatie TROS - procedure (duweenheid, proef 18)
- 72 Langskracht als functie van de tijd
 verifikatie TROS - procedure (duweenheid, proef 20)
- 73 Langskracht als functie van de tijd
 verifikatie TROS - procedure (duweenheid, proef 21)
- 74 Langskracht als functie van de tijd
 verifikatie TROS - procedure (duweenheid, proef 22)
- 75 Langskracht als functie van de tijd
 verifikatie TROS - procedure, ledigen (proef L1)
- 76 Gemeten en berekende waterstand
 achterzijde van de kolk (proef3)
- 77 Gemeten en berekende waterstand
 achterzijde van de kolk (proef 4)
- 78 Gemeten waterstanden (achterzijde kolk) bij verschillende afstan-
 den boeg schip tot roldeur (proef 2, 3 en 4)
- 79 Gemeten waterstanden (achterzijde kolk) bij verschillende afstan-
 den boeg schip tot roldeur (VL 6, 7, 8 en 9)
- 80 Met wiskundig model berekend debiet en uit de translatiegolf
 hoogte op de voorhaven berekend debiet.
- 81 Langskrachten ten gevolge van de vulstraal in compleet schaal-
 model en volgens TROS - procedure (proef 1, 3, 4 en 5)
- 82 Langskrachten ten gevolge van de vulstraal in compleet schaal-
 model en volgens TROS - procedure (proef 6, 7, 8 en 9)
- 83 Langskrachten ten gevolge van de vulstraal in compleet schaal-
 model en volgens TROS - procedure (proef 18, 20, 21 en 22)

vervolg figuren na de tekst

- 84 Langskrachten ten gevolge van de vulstraal in compleet schaal-
 model en volgens TROS - procedure (proef 10, 11, 13 en 14)
- 85 Langskrachten van compleet schaalmodel en TROS - procedure als
 funktie van de afstand tot de roldeur (duweenheid)
- 86 Langskrachten van compleet schaalmodel en TROS - procedure als
 funktie van waterstand (a) en verval (b) (duweenheid)
- 87 Langskrachten van compleet schaalmodel en TROS - procedure als
 funktie van de roldeursnelheid (duweenheid)
- 88 Langskrachten van compleet schaalmodel en TROS - procedure als
 funktie van de roldeur (a) en waterstand (b) (binnenvaartschip)
- 89 Dwarskrachten van compleet schaalmodel en TROS - procedure (proef 1)
- 90 Dwarskrachten van compleet schaalmodel en TROS - procedure (proef 3)
- 91 Dwarskrachten van compleet schaalmodel en TROS - procedure (proef 10)
- 92 Dwarskrachten van compleet schaalmodel en TROS - procedure (proef 13)
- 93 Stroombeeld (gemeten) in ledigsituatie bij niet-permanentie
- 94 Vergelijking maximale langskrachten van schaalmodel en rekenpro-
 gramma TROS (langskrachten t.g.v. translatiegolven)
- 95 Vergelijking maximale langskrachten van schaalmodel en "TROS-pro-
 cedure" (translatiegolven en vulstraalkomponent)
- 96 Vergelijken langskrachten als funktie van de tijd voor verschillende
 afstanden van de duweenheid tot de roldeur
- 97 Langskrachten bepaald uit schaalmodel en van "TROS-procedure" voor
 het prototype als funktie van de afstand tot de roldeur (duweenheid)
- 98 Langskrachten bepaald uit schaalmodel en van "TROS-procedure"
 voor het prototype als funktie van waterstand (a) en verval (b)
 (duweenheid)
- 99 Langskrachten bepaald uit schaalmodel en van "TROS-procedure" voor
 het prototype als funktie van de roldeursnelheid (duweenheid)
- 100 Langskrachten bepaald uit schaalmodel en van "TROS-procedure"
 voor het prototype als funktie van de afstand tot de roldeur (a)
 en weerstand (b) (binnenvaartschip)

Tabellen na de tekst

- I Meetprogramma, onderzoek roldeurprogrammering tijdelijke situatie.
- II Afvoercoëfficiënten bij bepaalde roldeuropeningen.
- III Maximum (resp. minimum) langskrachten ten gevolge van translatiegolven en vulstraal.
- IV Gemeten dwarskrachten, totale dwarskrachten en momenten op het schip en maximale dwarskracht t.p.v. de bolders.
- V Meetprogramma proeven met dichtheidsverschil.
- VI Dwarskrachten op het schip bij proeven met dichtheidsverschil [°/oo].
- VII Maximale langskrachten definitieve situatie Philipsdamsluizen.
- VIII Omwerken vulstraalproeven (proef VL 6).
- IX Meetprogramma verifikatie TROS-procedure.
- X Dwarskrachten in uniforme stroming
- XI Vergelijken resultaten schaalmodel en TROS-procedure
- XII Maximale langskrachten voor tijdelijke en definitieve situatie van de Philipsdamsluizen bepaald uit schaalmodelresultaten

Lijst van symbolen

a	totale laagdikte	$[m]$
a_1	laagdikte zoete laag	$[m]$
a_2	laagdikte zoute laag	$[m]$
a_{zoet}	dikte zoetwaterbel	$[m]$
A	oppervlak (doorsnede)	$[m^2]$
b	breedte	$[m]$
c	translatiegolfsnelheid	$[m/s]$
c_s	translatiegolfsnelheid ter plaatse van een star schip	$[m/s]$
c'_s	translatiegolfsnelheid ter plaatse van een flexibel schip	$[m/s]$
C	Chézykoefficiënt	$[m^{1/2}/s]$
C_F	wrijvingskoefficiënt voor wrijving langs het schip	$[-]$
C_v	vorm- of restweerstand van het schip	$[-]$
C'_v	vorm- of restweerstand van het schip (inclusief wrijvingsweerstand)	$[-]$
D	dwarskracht	$[^0/oo]$
e_o	diepgang schip (in rust)	$[m]$
F	langskracht	$[^0/oo]$
F'_{tot}	totale langskracht aangepaste TROS-procedure	$[^0/oo]$
F_k	kolkoppervlak (horizontale doorsnede)	$[m^2]$
$F_{\text{zoetwaterbel}}$	oppervlak (horizontale doorsnede) zoetwaterbel (d.w.z. kolkoppervlak achter het schip (schepen))	$[m^2]$
g	versnelling van de zwaartekracht (9,81)	$[m/s^2]$
h	waterdiepte	$[m]$
$h(\varepsilon)$	waterstand zoetwaterbel	$[m]$
i	aantal	$[-]$
i_w	helling waterspiegel ten gevolge van wrijving	$[-]$
k	Nikuradse ruwheid	$[m]$
L	lengte	$[m]$
O	omtrek	$[m]$
P	"konstante", afhankelijk van a_1 , a_2 en Δh	$[-]$
Q	debiet	$[m^3/s]$
$Q(\varepsilon)$	debiet ten gevolge van dichtheidsstroming	$[m^3/s]$
Q'	debiet ter plaatse van het schip	$[m^3/s]$
R	hydraulische straal	$[m]$
t	tijd	$[s]$

Lijst van symbolen (vervolg)

a	schutkolksektie (zie fig. 2.5.1)
b	schutkolksektie (zie fig. 2.5.1)
c	schutkolksektie (zie fig. 2.5.1)
e	extern
gem	gemeten
i	intern
k	kolk
l	ledigen
max	maximaal (positief maximum)
min	minimaal (negatief minimum)
model	schaalmodel
niet-perm	niet-permanentie
opp	oppervlakte
perm	permanentie
proto	prototype
r	roldeur
reken	volgens rekenmodel
s	schip
str	vulstraal
tot	totaal
trans	translatiegolven
unif	uniforme stroming
v	voorhaven
vorm	vorm- of restweerstand
vul	vulstraal
vullen	vulsituatie
w	kolkwand
wrijving	wrijving
zoet	zoete laag
zout	zoute laag

1 Inleiding

1.1 Opdracht

De opdracht is verleend door Rijkswaterstaat, Deltadienst, Hoofdafdeling Waterloopkunde (brief WT 20.433 dd. 19 december 1978) en maakt deel uit van het projekt F 7710 C35.

Dit onderzoek is opgezet voor het bepalen van de roldeurbeweging tijdens het vóórtrekken van de roldeur in de tijdelijke en definitieve situatie van de duwvaartsluizen in de Philipsdam. Onder vóórtrekken wordt verstaan het openen (trekken) van de roldeur vóórdát het verval over de deur genivelleerd is.

De snelheid (beweging) van de roldeur wordt hierbij gelimiteerd door criteria waaraan de langs- respektievelijk dwarskrachten op schepen in de kolk moeten voldoen.

Het vóórtrekken van de roldeur vindt plaats in de tijdelijke situatie, waarbij het verval beperkt is en in de definitieve situatie, waarbij het nivellieren door dit vóórtrekken wordt versneld.

Tevens is met behulp van een compleet schaalmodel (niet permanente situaties) onderzocht of de door het Waterloopkundig Laboratorium voorgestelde procedure voor het bepalen van langskrachten op schepen tijdens het nivellieren van de schutkolk (in de tijdelijke situatie) leidde tot betrouwbare resultaten.

Bovengenoemde procedure is ontwikkeld in het kader van Toegepast Onderzoek Waterstaat (TOW); in deze procedure wordt gebruik gemaakt van een wiskundig model en een beperkt hydraulisch modelonderzoek (permanentie) waarmee de langskrachten op een schip (schepen) in de kolk kunnen worden bepaald tijdens het nivellieren van een schutkolk via openingen in hoofden of deuren van de kolk.

1.2 Probleemstelling

Dit onderzoek is onder te verdelen in drie aspecten te weten:

- a. onderzoek met betrekking tot de roldeurbeweging tijdens het vóórtrekken van de roldeur in de tijdelijke situatie van de duwvaartsluizen in de Philipsdam (hfdst. 3)
- b. onderzoek met betrekking tot de roldeurbeweging tijdens het vóórtrekken in de definitieve situatie van de duwvaartsluizen (hfdst. 4)

- c. onderzoek naar de betrouwbaarheid van de door WL (in het kader van TOW) ontwikkelde procedure voor het bepalen van langskrachten op schepen; dit gezien de in deze situatie nogal speciale wijze van nivelleren, via het vóórtrekken van de roldeur (hfdst. 5).

Bovengenoemde aspecten worden hiernavolgend wat uitvoeriger behandeld:

- a) Dit gedeelte van het onderzoek heeft betrekking op de roldeurbeweging ten behoeve van het nivelleren van een schutkolk in de tijdelijke situatie van de duwvaartsluizen in de Philipsdam. Met tijdelijke situatie wordt het tijdvak bedoeld waarin het sluizencomplex (bijna) gereed is en de Philipsdam nog moet worden gebouwd.

Nadat gestart is met de bouw van de Philipsdam (afsluiting van de Krammer; zie fig. 1) zal het scheepvaartverkeer geen gebruik meer mogen maken van de vaarroute door het Krammer. Het scheepvaartverkeer zal nu het sluizencomplex moeten passeren.

Ten gevolge van de getijbeweging (aan de kant van het Zijpe, zie fig. 1) en de weerstand van het sluitgat, zal er een waterstandsverschil over het sluizencomplex ontstaan. Dit waterstandsverschil is gedurende de bouw van de drempel en het plaatsen van pijlers ten behoeve van een blokkensluiting orde grootte 0,20 m (uitgaande van gemiddeld getij). Ten gevolge van op- en afwaaiing kan dit verval oplopen tot 0,30 à 0,40 m. De tijdsduur van deze bouwfase is volgens de planning van RWS (medio '79) ongeveer één jaar van november 1984 tot augustus 1985.

Het nivelleren van bovengenoemde waterstandsverschil zou kunnen geschieden via het riolenstelsel, de bekkens of het doorlaatwerk (gelegen aan kanaal Slaak, zie fig. 2).

Dit zou echter betekenen dat het gehele sluizencomplex al in 1984 operationeel moet zijn.

Gezocht is naar een eenvoudige oplossing, en wel om de volgende redenen:

- het zout/zoet scheidingssysteem van de duwvaartsluizen is pas operationeel in 1986. Tot die tijd moet er een tijdelijk schutsysteem werken.
- als er nog geen gebruik gemaakt hoeft te worden van het riolenstelsel de bekkens en het doorlaatwerk is er meer tijd voor het plaatsen van schuiven, pompen etc.

De oplossing is gevonden in het vóórtrekken van de roldeur, d.w.z. het trekken (openen) van de roldeur vóórdát het verval is genivelleerd. De roldeurbeweging gedurende het vóórtrekken moet dusdanig worden uitgevoerd dat de langs- respectievelijk dwarskrachten op schepen in de schutkolk gestelde criteria niet overschrijden.

In verband met de maximum toelaatbare horizontale kracht op de roldeur tijdens het vóórtrekken, is het maximum verval over de roldeur, waarbij nog mag worden voorgetrokken, gesteld op 0.50 m.

Bovenstaande betekent dat tijdens het afsluiten van het Krammer (najaar '85), waarbij de vervallen over het sluizencomplex kunnen oplopen tot ongeveer 2,00 m, zal moeten worden gezocht naar een andere wijze van nivelleren

- b) Ook in de definitieve situatie, d.w.z. na het afsluiten van de Krammer (zie fig. 1) en het verzoeten van het Zoommeer (voorjaar '86), kan worden nagegaan of gebruik gemaakt kan worden van het vóórtrekken van de roldeur. Het sluizencomplex heeft dan een zout/zoet scheidende functie.

Een mogelijkheid tot het vóórtrekken van de roldeur doet zich voor in die fase van het schutproces waarbij wordt genivelleerd van Zoommeerwaterstand naar Zijpewaterstand (scheepvaartverkeer richting Zijpe). Bij grote vervallen wordt gebruik gemaakt van het riolenstelsel en het doorlaatwerk aan kanaal Slaak (zie fig. 2), wordt het verval echter kleiner dan 0,50 m dan kan de roldeur worden voorgetrokken.

Uit een nadere analyse (zie R 1507 [1]) blijkt, dat het vóórtrekken van de roldeur, die soms het overslaan van de nivelleerfase betekent, ondanks een langere openingstijd van de roldeur, tijdwinst opleverd.

In de definitieve situatie is er echter een dichtheidsverschil aanwezig tussen Zijpe en Zoommeer. Bij het vóórtrekken is er nu naast een verval ook nog een dichtheidsverschil over de roldeur. Hierbij kan worden aange-tekent dat ook in de kolk een dichtheidsvariatie aanwezig kan zijn afhankelijk van het al of niet terugwinnen van zoet water.

Bovenstaande betekent dat er naast de in fase a) van het onderzoek gevonden krachtverloop extra krachten ten gevolge van het dichtheidsverschil ontstaan. Deze fase van het onderzoek richt zich op het kwantificeren van deze invloed en het controleren van de toepasbaarheid van de, voor de tijdelijke

situatie ontworpen, roldeurprogrammering in de definitieve situatie (zie hfdst. 4).

- c) Gezien het feit, dat de bij dit onderzoek gebruikte methode (de z.g. TROS-procedure, ontwikkeld in het kader van TOW) alleen is geverifieerd voor sluis- vul- of ledigingen via relatief kleine openingen (t.o.v. de doorsnede van de kolk), terwijl in dit geval de vul/ledigopening zeer groot wordt (het maximum oppervlak is gelijk aan de sluisdoorsnede), is besloten de resultaten te controleren met een onderzoek dat het gehele vul/ledigproces in een hydraulisch model weergeeft.
- Een ander aspect dat bij deze beslissing tevens een rol heeft gespeeld, was dat het niet geheel duidelijk was of de dwarskrachten die bij het vullen van de kolk op het schip ontstaan tengevolge van asymmetrische instroming (de deuropening is asymmetrisch t.o.v. de sluisas) goed konden worden bepaald met behulp van de door WL ontwikkelde methode; de genoemde verifikatie had alleen betrekking op langskrachten.

Om bovenstaande redenen is onderzocht of deze zogenaamde TROS-procedure (wiskundig model gekombineerd met een beperkt (stationair) hydraulisch onderzoek) in dit bijzondere geval leidde tot vergelijkbare resultaten als verkregen met een compleet hydraulisch model van de sluis.

In paragraaf 1.5 wordt nader ingegaan op de verschillende resultaten van de verifikatie van de TROS-procedure. Dit gezien het feit dat deze procedure in het in dit rapport beschreven geval minder goed aan de verwachtingen heeft voldaan.

De bovengenoemde onderzoeksprocedure heeft betrekking op het bepalen van hydrodynamische krachten op een (in het horizontale vlak) stilliggende schip. Hierop zijn ook de gehanteerde criteria van toelaatbare krachten op de schepen gebaseerd. De werkelijke troskrachten kunnen aanmerkelijk van deze hydrodynamische krachten afwijken. Het schip zal namelijk in beweging komen, omdat de loos in de kabels zit, en deze beweging moet door de kabels weer worden afgestopt.

1.3 Programmering onderzoek

Het onderzoek is verricht in drie verschillende fasen. Deze fasering loopt ongeveer parallel met de drie in paragraaf 1.2 genoemde doelen van dit

onderzoek.

Voordat een samenvatting wordt gegeven van dit onderzoek wordt eerst aangegeven in welke krachtskomponenten de langs- respektievelijk dwarskrachten op een schip in een kolk kunnen worden onderscheiden. Deze krachtskomponenten hebben verschillende oorzaken en wel als volgt:

- langskracht op het schip tengevolge van de translatiegolven
- langs- en dwarskracht op het schip tengevolge van (uniforme) stroming langs het schip.

Bij vullen kan tevens worden onderscheiden:

- langs- en dwarskracht tengevolge van de zogenaamde vulstraal, zijnde de door de vulopening in de kolk stromende straal water, dat niet direkt over de volledige doorsnede spreidt.

De langskrachten op het schip kunnen in twee componenten worden onderscheiden, te weten de langskracht tengevolge van de boegstraal, een van de vuldeur af gerichte kracht tengevolge van de tegen de boeg van het schip botsende vulstraal, en de langskracht tengevolge van de waterspiegelaflating achter de vulopening (een langskracht naar de roldeur toe gericht).

Het samenspel van bovengenoemde krachten tengevolge van de vulstraal is sterk afhankelijk van de vorm van het schip, de vulopeningen en de afstand tussen schip en vuldeur.

In het geval dat er een dichtheidsverschil tussen kolk en voorhaven aanwezig is kunnen er tevens langs- respektievelijk dwarskrachten tengevolge van dichtheidsverschillen worden onderscheiden.

Het onderzoek is als volgt uitgevoerd:

Fase 1 (overeenkomend met doel a uit par. 1.2).

In deze fase wordt met behulp van de zogenaamde TROS-procedure de langs- (en dwars)krachten op een schip in de kolk bepaald tengevolge van het vóórtrekken van de roldeur.

Met behulp van een beperkt schaalmodel, waarin alleen het bovenhoofd van de sluis is aangebracht (zie fig. 3), worden (bij permanentie) de afvoerkoëfficiënten bij gevarieerde roldeuropening bepaald. Deze afvoerkoëfficiënten dienen als randvoorwaarde voor een wiskundig model (rekenprogramma TROS).

Met behulp van dit wiskundig model wordt de langskracht tengevolge van translatiegolven op de schepen bepaald tijdens het nivelleren. Dit wiskundig model

levert tevens gegevens met betrekking tot debiet en waterstandsverloop (op een bepaalde plaats in de kolk).

In het schaalmodel worden nu bij permanentie bepaalde tijdstippen uit het vulproces gesimuleerd om de langs- respektievelijk dwarskracht tengevolge van de vulstraal op het schip te bepalen. (Opmerking: dit is in het geval van ledigen niet noodzakelijk, geen vulstraal; hier kan dus met een berekening met het wiskundig model worden volstaan). Voor bovengenoemde simulatie worden de gegevens met betrekking tot debiet en waterstanden (en roldeuropening) uit het wiskundig model gebruikt.

Door middel van het "optellen" van de resultaten van wiskundig- en schaalmodel wordt het verloop van de langs- respektievelijk dwarskracht in de tijd gevonden.

Hierbij wordt in principe nog een korrektie op uitgevoerd voor de huidwrijving om vormweerstand van de schepen en de kolkwandwrijving die in het model te groot is.

De maxima van langs- en dwarskrachten, zowel positief als negatief, zijn bepalend bij het ontwerp van een goede roldeurbeweging. Tevens is het aantal tekenwisselingen van het langskrachtverloop van belang dit in verband met dynamische verschijnselen in de trossen van de schepen.

Fase 2 (doel b en c)

Het (beperkte) schaalmodel is voor deze fase van het onderzoek verbouwd tot een compleet schaalmodel van een duwvaartsluis ($280 \times 24 \text{ m}^2$), waarin het vóórtrekken van de roldeur kan worden gesimuleerd (zie fig. 4).

Een groot deel van de proeven, die zijn uitgevoerd in fase 1, zijn nu herhaald in deze fase. Dit ter vergelijking van de TROS-procedure en een compleet schaalmodel (doel c).

De resultaten van beide methoden voor het bepalen van langs- en dwarskrachten op schepen zijn echter niet direkt vergelijkbaar. In het schaalmodel is de voorhaven van de sluis (sluizen) niet goed weergegeven ($\pm 32 \text{ m}$ i.p.v. 200 m in prototype). De voorhaven breedte heeft invloed op de hoogte van de translatiegolf in de voorhaven. Deze translatiegolf verkleint het verval tussen kolk en voorhaven en heeft dus invloed op het debiet door de roldeuropening. In het model wordt deze translatiegolfhoogte overdreven, waardoor het debiet door de roldeuropening afneemt ($\pm 17\%$ op het maximum debiet).

Dit heeft invloed op de langskracht tengevolge van translatiegolf en vulstraal. In hoofdstuk 5 is aangegeven op welke wijze de resultaten van beide

methoden zijn omgewerkt tot vergelijkbare resultaten.

Het vergelijken van de resultaten van deze verschillende methoden geeft aan of de door WL voorgestelde ontwerpprocedure van vul- en ledigingssystemen in hoofden of deuren voldoet en ook of het advies met betrekking tot de roldeurprogrammering in de tijdelijke, maar ook de definitieve situatie, betrouwbaar is.

Fase 3 (doel b)

In deze fase van het onderzoek is in het schaalmodel (niet permanentie, hetzelfde model als in fase 2; zie fig. 4) onderzoek verricht naar langskrachten op schepen waarbij er een dichtheidsverschil heerste tussen kolk en voorhaven. Vergelijking van de proeven uit deze fase met de proeven (in het schaalmodel) uit fase 2 leveren de invloed van het dichtheidsverschil op de langs- respectievelijk dwarskracht op een schip in de kolk.

Het verloop van de krachten in de tijd in de definitieve situatie van het sluiszencomplex is nu gevonden door de invloed van het dichtheidsverschil op te tellen bij het krachtenverloop gevonden in fase 1 van het onderzoek (tijdelijke situatie).

1.4 Konklusies

De konklusies die uit dit onderzoek kunnen worden getrokken vallen uiteen in drie gedeelten, die betrekking hebben op de drie doelstellingen van dit onderzoek.

De konklusies met betrekking tot het onderzoek voor het vóórtrekken van de roldeur in de tijdelijke situatie van duwvaartsluizen in de Philipsdam zijn

- het vóórtrekken van de roldeur is uit oogpunt van langskrachten op schepen een mogelijkheid voor het nivelleren van de schutkolk. De beginsnelheid van de roldeur kan $\pm 0,03$ m/s zijn en de roldeur kan worden versneld tot de maximale snelheid van 0,25 m/s als het verval kleiner is geworden dan 0,10 m (bij een initieel verval van 0,50 m is dit op ongeveer 180 s)
- uit het oogpunt van dwarskrachten op schepen is het aan te bevelen om alleen brede schepen (b.v. 4 baks duweenheid) direkt achter de roldeur te positioneren.

- uitgaande van bovengenoemde roldeurprogrammering dienen smalle schepen (het smalle schip was in dit onderzoek 12 m breed), in verband met dwarskrachten, op een afstand van 50 m van de roldeur te worden gepositioneerd.
- de vulsituatie is maatgevend (zowel voor langs- als dwarskrachten).

De konklusies met betrekking tot het vóórtrekken van de roldeur in de definitieve situatie van de roldeur zijn

- de roldeurbeweging zoals deze werd uitgevoerd in het geval van de tijdelijke situatie, is in de definitieve situatie niet toepasbaar. De gestelde langskrachtcriteria worden dan overschreden; dit wordt veroorzaakt door het dichtheidsverschil
- de invloed van het dichtheidsverschil is het grootst bij scheidingsvlak posities onder de kiel van het schip (of geheel zoete kolk; voorhaven is altijd zout)
- voor het vóórtrekken van de roldeur in de definitieve situatie kan aan de volgende twee alternatieven worden gedacht:
 - a) roldeursnelheid 0,01 m/s bij een initieel verval van 0,50 m (versnellen van de roldeur tot 0,25 m/s is toegestaan na ongeveer 300 s, dat is als het verval kleiner is geworden dan 0,10 m); de totale openingsprocedure duurt dan ongeveer 400 s.
 - b) als het verval waarbij wordt vóórgetrokken beperkt wordt tot 0,20 m (i.p.v. 0,50 m in de tijdelijke situatie) dan kan de roldeursnelheid 0,03 m/s blijven.
- de vulstraalsituatie is maatgevend, zowel voor langs- als voor dwarskrachten
- met betrekking tot dwarskrachten op schepen geldt ongeveer hetzelfde als voor de tijdelijke situatie. Schepen smaller dan een brede duweenheid (ongeveer 22,8 m breed) dienen op ruime afstand achter de roldeur te worden gepositioneerd. Als globale indikatie geldt dat bij een kleiner initieel verval de minimale afstand tot de roldeur proportioneel met het verval afneemt. Bij een initieel verval van 0,20 wordt deze afstand ongeveer 20 m. Uitgaande van de dwarskrachtkriteria kan de brede duweenheid alleen aan de kaszijde van de sluiskolk worden gepositioneerd. Daar dit schip door zijn grote breedte goed wordt geleid door de sluiskolkwanden (geleide werken) is een positionering aan niszijde ook toegestaan.

Het bepalen van de langskrachten in de definitieve situatie is gedaan via een beschrijving van de invloed van het dichtheidsverschil. Uit deze beschrijving van het dichtheidsverschil kan het volgende worden gekonkludeerd:

- uit de resultaten van het schaalmodel en een in appendix A gegeven beschouwing volgt dat interne golven op het scheidingsvlak een vrij geringe invloed (ongeveer 10 à 15%) hebben op de langskrachten op de schepen.
- de langskrachtcomponent tengevolge van het dichtheidsverschil kan nu worden bepaald met een in dit rapport gepresenteerde hypothese van de zoetwaterbel.

Dan tot slot de konklusies met betrekking tot de verifikatie van de zogenaamde "TROS-procedure", deze zijn als volgt:

- het wiskundig model geeft het verloop van het debiet en de waterstand in de sluis goed weer, afgezien van de secundaire invloed van de vulstraal.
- de langskrachtcomponent tengevolge van de translatiegolven berekend met het wiskundig model komt vrij goed overeen met de in het schaalmodel (niet-permanentie) gemeten waarden
- de langskrachtcomponent tengevolge van de vulstraal wordt in de situatie van het voortrekken van de roldeur, niet goed weergegeven. Dit wordt veroorzaakt door het verschil in stroombeeld bij permanentie (TROS-procedure) en niet-permanentie metingen (kompleet schaalmodel). Het stroombeeld tengevolge van de vulstraal kan zich bij het geringe verval niet ontwikkelen. Het onderzoek was beperkt tot een verval van maximaal 0,50 m.
- de maximale langskrachten van schaalmodel en "TROS-procedure" zijn voor wat betreft de schaalmodelomstandigheden nogal afwijkend; schaalmodel geeft een faktor 1.8 x grotere maximum langskracht
- de maximum langskrachten voor het prototype bepaald m.b.v. schaalmodel en "TROS-procedure" wijken veel minder af (faktor 1.1 à 1.2). De invloed van de afwijking tussen "TROS-procedure" en schaalmodel heeft dan ook nauwelijks invloed op het gegeven advies voor tijdelijke en definitieve situatie (alleen invloed op dwarskracht op duweenheid)
- de dwarskrachten bepaald met behulp van de "TROS-procedure" komen niet overeen met de dwarskrachten uit het komplette schaalmodel. Dit was te verwachten daar deze dwarskrachten voornamelijk worden veroorzaakt door het stroombeeld en niet door translatiegolven.

Uit de resultaten van enkele bij permanentie uitgevoerde proeven bij uniforme stroming en niet-uniforme stroming (vulstraalproeven) volgde

- bij uniforme stroming doen zich onregelmatigheden voor in het verloop van langskrachten op een schip en het debiet welke niet direkt verklaard kunnen worden

- bij niet-uniforme stroming (vulstraalproeven) doen zich een zelfde soort verschijnselen voor. Er was geen duidelijke aanwijzing dat dit een effect was van viscositeit (schaaleffekt); deze was overigens moeilijk te bepalen daar een goede omschrijving van de vulstraalkracht ontbreekt.

1.5 Aandachtspunten toekomstig onderzoek

In het in dit rapport beschreven onderzoek is een verifikatie van de in het kader van TOW ontwikkelde "TROS-procedure" uitgevoerd. Uit de vergelijking van resultaten van deze "TROS-procedure" met resultaten van een schaalmodel bleek dat deze procedure, in dit geval, niet erg voldoet. Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat met name de krachten tengevolge van de vulstraal niet goed worden weergegeven in de "TROS-procedure". Bij de "TROS-procedure" worden deze krachten gemeten in een permanentie-model. Vooral bij kleinere vervallen (kleiner dan 1 m) is het stroombeeld in het complete straalmiddel (of prototype) niet als semi-permanent te beschouwen, zodat dit niet kan worden gereproduceerd in een permanentie-model. De vulstraalkrachten worden sterk beïnvloed door het stroombeeld, zodat deze krachten vooral in het geval van kleine vervallen niet goed kunnen worden bepaald met een permanentie-model.

Tevens is in dit onderzoek aandacht besteed aan langskrachten tengevolge van een dichtheidsverschil in de kolk. Dit onderzoek is echter vrij summier gebleven.

Uitgaande van het bovenstaande en van de in paragraaf 1.4 genoemde konklusies, kunnen de volgende aandachtspunten voor de toepasbaarheid van de "TROS-procedure" worden opgesomd:

- in hoofdstuk 5 wordt een uitdrukking gegeven (par. 5.5.3) waarmee de voortplanting van het vulstraalfront in de kolk kan worden beschreven. Verwacht kan worden dat als het vulstraalfront zich achter het schip bevindt, het stroombeeld voor en naast het schip wel goed kan worden weergegeven door een permanentie-model.
Dit betekent dat bij grotere vervallen (langere vultijden) de langskracht tengevolge van de vulstraal redelijk kan worden gereproduceerd door het permanentie model. Dit dient nog eens nader te worden bekeken.
- uit de resultaten van dit onderzoek bleek dat de waterstand achter in de kolk wordt beïnvloed door de positie van het schip in lengterichting van

de kolk. Dit kan niet worden verklaard uit de invloed van translatiegolven. In dit rapport is de hypothese gesteld dat het schip de afvoercoëfficiënt van de roldeuropening beïnvloedde waardoor deze afwijking in waterstand (of debiet) kan ontstaan. Dit is een punt om nader te bekijken.

- het werd verwacht dat de langskracht op het schip in uniforme stroming, maar ook tengevolge van de vulstraal, evenredig is met het debiet in het kwadraat. Dit blijkt voor kleinere debieten niet het geval te zijn. De faktor langskracht gedeeld door het debiet in het kwadraat (F/Q^2) is niet konstant bij variërend debiet. De resultaten van dit onderzoek gaven niet aan dat het een schaaleffekt zou zijn. Een goede verklaring voor bovengenoemd verschijnsel is niet gevonden. Dit is dan ook een aandachtspunt.
- het langskrachtverloop tengevolge van het dichtheidsverschil kan voor de in dit rapport beschreven situatie goed worden bepaald. De methode hiervoor is beschreven in paragraaf 4.5 en 4.6. Het is echter de vraag of dit ook toepasbaar is voor andere vul- en ledigsituaties. In het kader van TOW is een onderzoek gestart naar de invloed van het dichtheidsverschil op langskrachten op schepen in een sluiskolk. Hierbij worden naast een ander vulsysteem ook meer parameters gevarieerd dan is geschied in dit onderzoek.

Het ligt in de bedoeling om de ervaringen van dit onderzoek in te brengen in het TOW-onderzoek waarin de TROS-procedure verder wordt ontwikkeld, om zodoende de grenzen van toepasbaarheid bij kleine vervallen beter te kennen.

2 Beschrijving schaal model

2.1 Inleiding

Het schaalmodelonderzoek heeft plaatsgevonden in een schaalmodel met een lengteschaal $n_L = 40$. Ten einde de waterbeweging rondom het schip in de sluis-kolk goed weer te geven (t.o.v. het prototype) is er met een niet vertrokken model ($n_L = n_h$) gewerkt en is het geheel geschaald volgens de schaalregels van Froude ($Fr = v/\sqrt{gh}$).

De schalen van de verschillende grootheden zijn dan respectievelijk:

- snelheid en tijd: $n_v = n_t = \sqrt{40}$
- debiet : $n_Q = (40)^{5/2}$
- kracht en massa : $n_F = n_m = (40)^3$.

De invloed van de viscositeit van het water dient in het schaalmodel, evenals in het prototype, klein te zijn. Dit kan worden vertaald in de eis dat de invloed van de turbulentie (turbulente menging) in het model voldoende groot moet zijn.

Aan het bovenstaande blijkt, vooral in de eerste fase van het onderzoek (permanentiemodel), niet geheel te kunnen worden voldaan.

Er bleken bij de proeven inkonsistenties voor te komen, die wellicht duiden op schaalearfenen, hoewel er geen eenduidige tendens kon worden vastgesteld ten aanzien van toe- of afnemende wandwrijving (zie hfdst. 5).

Het onderzoek is onderverdeeld in enkele fasen. Het in iedere fase uitgevoerde schaalmodelonderzoek maakt gebruik van een zelfde modelfaciliteit, waarin echter ten behoeve van de verschillende fasen wijzigingen zijn aangebracht. De verschillende fasen van het onderzoek (fase 1 t/m 3) worden uitvoeriger behandeld in de paragrafen 2.2 t/m 2.4.

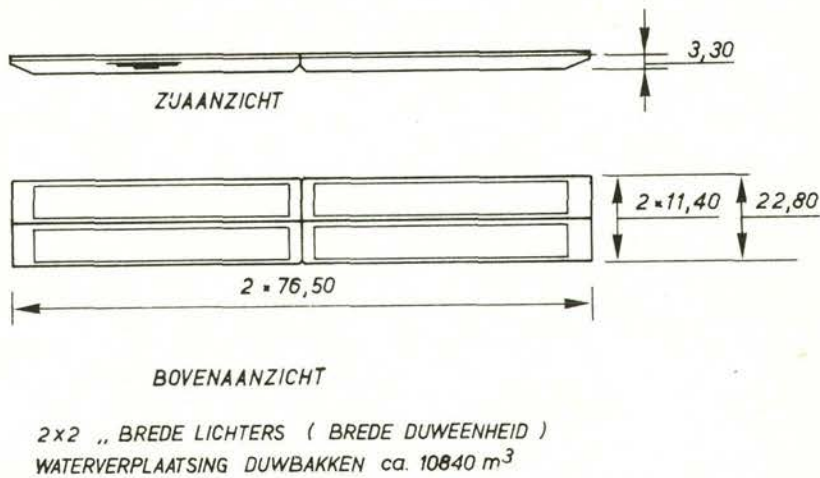
De in het model aangebrachte configuratie van de sluis-kolk en de voorhaven is geschematiseerd. In paragraaf 2.5 is afgeschat wat de invloed van deze schematisaties zijn op de gemeten langs- respectievelijk dwarskrachten.

In het onderzoek zijn de krachten op twee typen schepen bepaald, te weten:

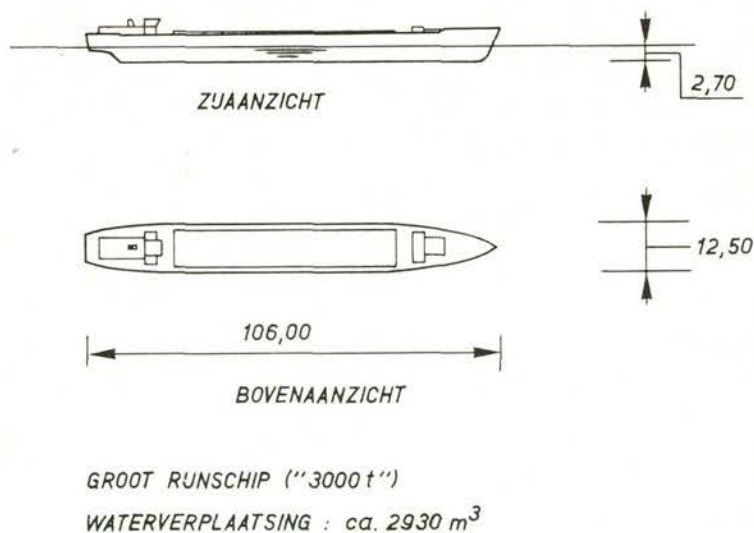
- duweenheden bestaande uit 4 duwbakken (zonder duwboot); de afmetingen van dit type duweenheden is in prototype maten $\pm 150 \times 22,8 \times 3,3 \text{ m}^3$, een water-

verplaatsing van 10048 m^3 (zoet water $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; modelgewicht: 157 kg);
zie figuur 2.1.1

- een binnenvaartschip (+ 3000 ton) met de volgende afmetingen:
+ $105 \times 12,2 \times 2,8 \text{ m}^3$, een waterverplaatsing van + 3168 m^3 (modelgewicht:
49,5 kg), zie figuur 2.1.2.



Figuur 2.1.1 Boven- en zijaaanzicht duweenheid (4 duwbakken)



Figuur 2.1.2 Boven- en zijaaanzicht "Groot Rijnschip" (3000 ton)

2.2 Beschrijving model fase 1 (t.b.v. "TROS-procedure")

In deze fase van het onderzoek worden met behulp van de zogenaamde "TROS-procedure" de langs- en dwarskrachten op een schip in de kolk bepaald.

Het onderzoek schaalmodel dient in deze fase als voorbereiding op respektie-

velijk aanvulling van een wiskundig model (rekenprogramma TROS), en wel voor de volgende onderdelen:

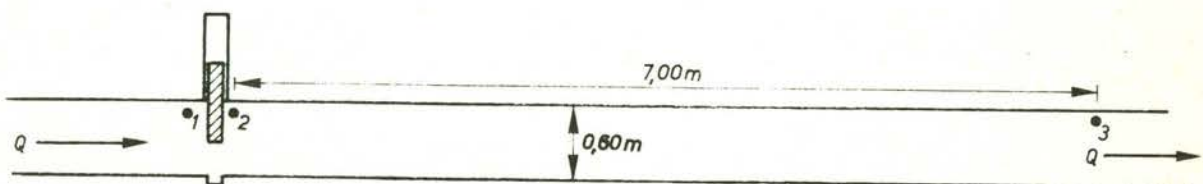
- de afvoercoëfficiënten van de verschillende vul/ledigopeningen (roldeuropeningen); deze gegevens dienen als een randvoorwaarde voor het wiskundig model
- en in het geval van het vullen van de schutkolk: de langs- respectievelijk dwarskrachten ten gevolge van de vulstraal (en stroming); dit als aanvulling op de door het wiskundig model bepaalde langskrachten ten gevolge van de translatiegolven.

Bovenstaande gegevens worden verkregen met behulp van een permanentiemodel, d.w.z. in het model worden de verschillende randvoorwaarden (debiet, waterstand en roldeuropening) bij permanentie ingesteld.

Het schaalmodel is in figuur 3 weergegeven. Het bestaat in deze fase uit een goot (breedt t.p.v. de sluiskolk 0,60 m model), waarin een sluishoofd is aangebracht, d.w.z. de roldeur met roldeurkas en -nis. In dit model kan een debiet worden ingesteld (m.b.v. een pomp met een debietmeter) en kan de waterstand worden geregeld met behulp van een regelklep aan de achterzijde van het model.

De afvoercoëfficiënten van verschillende roldeuropeningen kunnen worden bepaald uit het ingestelde debiet en de met behulp van peilnaalden gemeten waterstanden vlak voor (punt 1, zie fig. 2.2.1) de roldeur en op ongeveer 7 m na de roldeur (punt 3, zie fig. 2.2.1).

Ter plaatse van punt 3 is de stroming weer ongeveer uniform, waardoor ook de waterspiegelhelling weer ongeveer horizontaal is (geen invloed meer van de waterspiegelafzinking direkt achter de roldeur).



Figuur 2.2.1 Meetpunten waterstanden in schaalmodel (permanentie)

De langs- en dwarskrachten op een schip in de kolk ten gevolge van de vulstraal worden bepaald door krachtsopnemers, die zijn gemonteerd in een meetframe; een beschrijving van dit meetframe is opgenomen in paragraaf 2.3. Bij de zogenaamde vulstraalproeven worden een debiet en een waterstand (t.p.v. punt 3) ingesteld die volgen uit het wiskundig model.

Zoals reeds in paragraaf 2.1 is vermeld, is de kolk als een bak met rechthoekige doorsnede weergegeven. Het schaalmodel komt dus niet geheel overeen met het prototype (zie fig. 5 en 6), dit is verder uitgewerkt in paragraaf 2.5. De breedte van de voorhaven is gelijk gehouden aan die van de beschikbare goot, omdat dit eenvoudiger te realiseren was en omdat de stroming in de kolk hierdoor niet beïnvloed wordt.

2.3 Beschrijving schaalmodel fase 2 (t.b.v. verifiëren "TROS-procedure")

In deze fase (fase 2) van het onderzoek wordt het vóórtrekken van de roldeur in het fysisch model gesimuleerd.

Hiervoor is het model, zoals beschreven in paragraaf 2.2 (fase 1) verbouwd. In de gemetselde goot is op $\pm 7,00$ m achter de roldeur (± 280 m in prototype) een wand geplaatst in de goot; op deze wijze werd in het model een sluiskolk verkregen (zie fig. 4). In deze wand achter in de kolk is een afsluitbare doorvoer gemaakt voor de aan- of afvoer van water naar respectievelijk van de kolk.

Het model is geometrisch niet hetzelfde als in prototype. De volgende schematisaties zijn aangebracht:

- de geperforeerde vloer en de kolkwandriolen zijn in het model niet aangebracht; dit vanwege de hoge kosten die hiermee gemoeid waren en het feit dat het zout/zoetscheidingssysteem waarvoor deze onderdelen van de sluis zijn bedoeld geen belangrijke rol speelden in dit onderzoek
- de breedte van de kolk is konstant verondersteld in hoogte- en lengterichting van het model (0,60 m breed, d.w.z. 24 m prototype).
In de tijdelijke situatie zijn de afdichtende regelschuiven nog niet aangebracht in de kolkwandriolen. Deze riolen zijn dan aan de omarmend zoete zijde afgesloten. Bij het nivelleren (hoger dan bodem van deze riolen NAP -1,50 m; zie fig.6) spelen deze een rol in het kolkoppervlak (berging en translatiegolfsnelheid). De invloed hiervan is afgeschat in par. 2.5.
- de voorhavenbreedte is in het model (slechts) 32 m ten opzichte van ± 200 m

in het prototype, de voorhaven in het model heeft een begrensde lengte
(+ 25 m model + 1000 m proto)

- de configuratie van de roldeur, roldeurkas en roldeurnis is in verband met het niet goed op schaal kunnen weergeven van de afdichting iets gewijzigd.

Bovengenoemde schematisaties (vereenvoudigingen) en hun konsekwenties op de resultaten van dit onderzoek zijn uitgewerkt in paragraaf 2.5 en 2.6.

Een overzicht van de modelfaciliteit met de daarin aangebrachte schematisaties is gegeven in figuur 5, 6 en 6a (sluiskolk en voorhaven) en figuur 6b (roldeur en roldeurkas en -nis).

De proeven in dit model zijn op de volgende wijze uitgevoerd:

vulproeven:

Bij een geopende roldeur wordt de totale goot (voorhaven + sluiskolk) gevuld met water (vanuit een modelreservaat, zie fig. 4) tot dat de beginwaterstand (d.w.z. de waterstand vlak voor het trekken van de roldeur) van de voorhaven is bereikt.

De roldeur wordt hierna gesloten en afgedicht door middel van een rubber afdichting (zie par. 2.6). De waterstand in de kolk wordt dan verlaagd tot de beginwaterstand van de betreffende proef.

Dit water wordt afgelaten via een in de achterwand aangebrachte opening. Nadat de waterstanden zijn afgeregeld en het schip op de juiste in de kolk is gepositioneerd kan de proef worden gestart.

ledigproeven:

Bij een geopende roldeur wordt een waterstand in de goot ingesteld die iets hoger is dan de beginwaterstand in de voorhaven. De roldeur wordt hierna gesloten en afgedicht.

Door middel van een omleiding en een pomp (zie fig. 4) wordt er nu water uit de voorhaven in de kolk gepompt, via de toevoeropening in de achterwand, totdat de juiste (begin)waterstand in de kolk is bereikt. Hierna wordt de voorhavenwaterstand afgeregeld.

Bij deze ledigingsproeven bleek dat ten gevolge van de dubbelzijdige afdichting van de roldeur (zowel afdichting aan de kolk-als aan de voorhavenzijde) de waterstand in roldeurkas en -nis op het begintijdstip (de deur is hol zodat de waterstand in nis en kas gelijk is) invloed had op de gemeten langs-

krachten. Deze behoeft namelijk niet gelijk te zijn aan kolkwaterstand of voorhavenwaterstand; dit ten gevolge van de wijze van afregelen van de waterstanden (zie boven).

In het prototype wordt de afdichting enkelzijdig uitgevoerd en zal de waterstand in kas en nis dus ongeveer gelijk zijn aan de voorhavenwaterstand. Nadat bovenstaande "afwijking" werd geconstateerd is er voor gezorgd dat de waterstand in roldeurkas respektievelijk -nis bij het begin van een proef gelijk was aan de voorhavenwaterstand; dit geschiedde door middel van een hevel (plastic slang) tussen voorhaven en roldeurkas.

Wanneer de waterstanden zijn afgeregeld en het schip is gepositioneerd in de kolk kan de proef worden gestart.

Voordat het werkelijke voortrekken van de roldeur plaatsvindt wordt eerst de afdichting van de deur afgeblazen (+ 1 s model). Hierna wordt met de eigenlijke roldeurbeweging aangevangen. De roldeurbeweging wordt gerealiseerd door een programmeerder (datatrack). De sturing is zodanig uitgevoerd dat de door de roldeur uitgevoerde beweging wordt vergeleken met de opgegeven beweging (via de programmeerder) en als nodig wordt bijgestuurd.

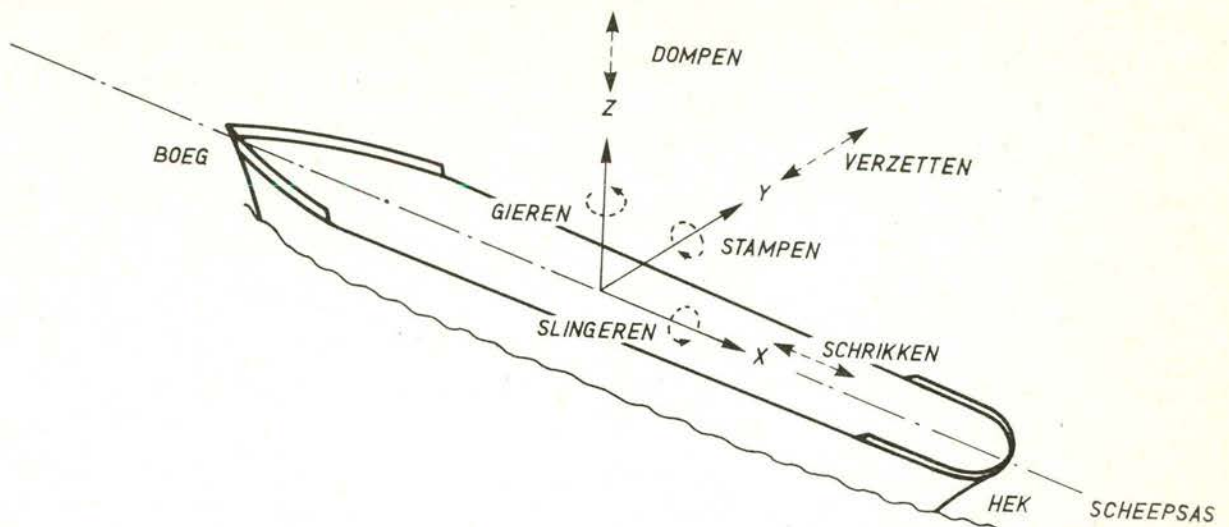
Tijdens het nivelleren van de schutkolk zijn de volgende grootheden in het model gemeten:

- de langs- en dwarskrachten op een schip in de kolk. Deze krachten zijn gemeten met krachtsopnemers welke gemonteerd waren in een meetframe. Aan de verbinding tussen schip en meetframe zijn de volgende eisen gesteld:

a. tijdens het nivelleren moet het schip de volgende bewegingsvrijheden hebben:

- . dompen (vertikale translatie; zie fig. 2.3.1)
- . stampen (rotatie in het verticale vlak, in de lengterichting van het schip)
- . slingeren (kantelen van het schip beïnvloedt de geometrie onder water en daarmee mogelijk de dwarskrachten op het schip).

De overige scheepsbewegingen: gieren, verzetten en schrikken dienen niet op te treden. Dit is reeds genoemd in paragraaf 1.3. De TROS-procedure gaat namelijk uit van hydrodynamische (langs)krachten op een schip dat vast gepositioneerd is in het horizontale vlak. In feite betekent dit dat de trossen van het schip strak staan.



Figuur 2.3.1 Bewegingsmogelijkheden van een schip

- b. de langs- en dwarskrachten op een schip in de kolk moeten simultaan gemeten kunnen worden. Daar de dwarskracht niet noodzakelijkerwijze in het midden van het schip (of t.p.v. een vasthoudpunt van het schip) aangrijpt wordt het schip op twee plaatsen "vastgehouden". Dit was ook van belang in het verband met de giermogelijkheid van het schip.
- c. het schip op verschillende posities in de kolk gepositioneerd kunnen worden.

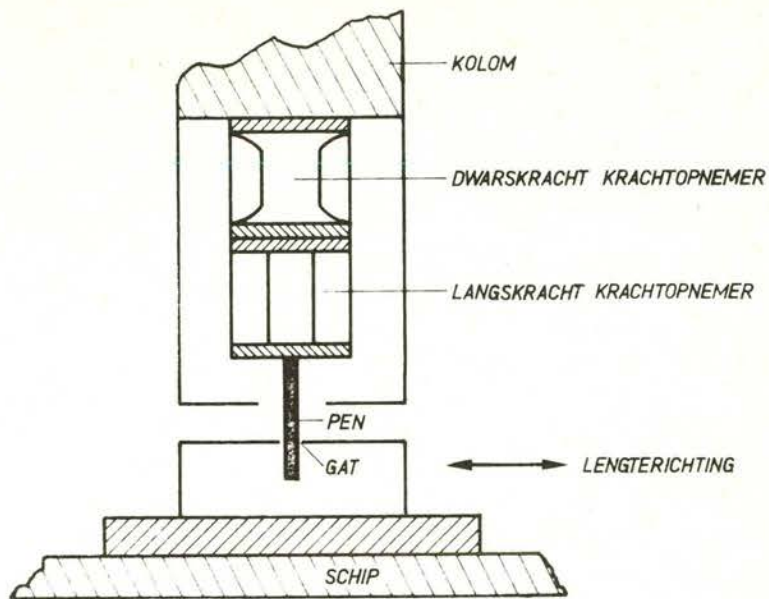
Bovenstaande leidde tot het volgend ontwerp:

Over de lengte van de sluiskolk is aan beide zijden van het model een rail op de modelwanden aangebracht. Op deze rail bevindt zich een in de lengterichting van het model verplaatsbaar meetframe. Aan dit frame (een H-vormig frame, zie fig. 3) zijn twee verticale kolommen aangebracht, die met het schip kunnen worden verbonden. Deze verticale kolommen zijn in de dwarsrichting van de sluis verplaatsbaar (m.b.v. een spindel).

Bovengenoemde verplaatsingsmogelijkheden in lengte- en dwarsrichting van de sluiskolk geven de mogelijkheid om een schip op verschillende plaatsen in de kolk te positioneren.

De verbinding tussen het schip en de verticale kolommen bestaat uit een zogenaamde pen-gatverbinding, waardoor de scheepsbewegingen in het verticale vlak mogelijk blijven (ook is slingeren (zie fig. 2.3.1) van het schip, rotatie om de lengte-as nog mogelijk).

De pennen zijn hierbij aan de kolommen gemonteerd, terwijl in het schip de houders zijn aangebracht, waar de pennen in passen (zie fig. 2.3.2).



Figuur 2.3.2 Pen-gatverbinding tussen schip en de verticale kolommen van het meetframe

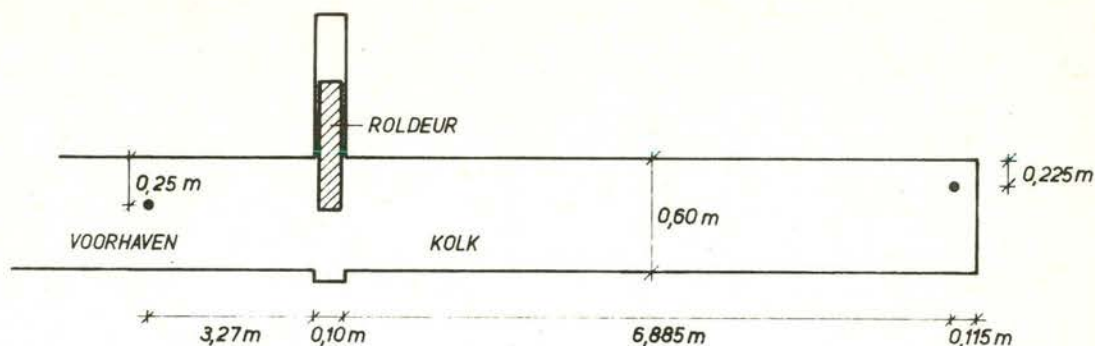
De krachten (langs- en dwarskrachten) worden gemeten met zogenaamde krachtopnemers, die gemonteerd zijn tussen de stalen pennen en de eigenlijke kolommen (zie fig. 2.3.2).

De in beide kolommen gemeten langskrachten worden eerst opgeteld, zodat alleen de totale langskracht op het schip wordt geregistreerd.

De gemeten dwarskrachten worden echter beide geregistreerd, dit in verband met het bepalen van het moment op het schip respektievelijk het aangrijpingspunt van de dwarskracht op het schip.

- de waterstanden in het model zijn gemeten met waterstandsvolgers welke zijn aangebracht achter in de kolk en in de voorhaven (zie fig. 2.3.3). De waterstand voor in de kolk is niet gemeten daar er (in de vulsituatie) direkt achter de opening (nuszijde) een sterke turbulentie optreedt, waardoor de waterstandsvolger erg onnauwkeurig wordt.

Een waterstandsmeting van de kaszijde van de kolk is niet zinvol geacht daar de invloed van de waterspiegelafzinking hier niet eenduidig is bepaald; dit punt ligt in feite in de neer achter de roldeur (zie o.a. fig. 2.3.3).



Figuur 2.3.3 Waterstandsmmeetpunten (vulsituatie)

- de positie van de roldeur wordt bepaald met behulp van een verplaatsingsopnemer (potentiometer); dit ter controle van de uitgevoerde roldeurbeweging.

Bovenstaande grootheden (langskracht, twee dwarskrachten, twee waterstanden en de roldeurpositie) zijn als functie van de tijd geregistreerd.

2.4 Beschrijving schaalmodel fase 3 (niet-homogene proeven)

In deze fase van het onderzoek werd het nivelleren van de schutkolk (m.b.v. het voorttrekken van de roldeur) in de definitieve situatie van de duwvaartsluizen gesimuleerd (zie par. 1.2).

De voorhaven in het model was bij deze proeven altijd homogeen zout (beginsituatie) terwijl in de kolk homogeen zoet water was aangebracht of een laag systeem (zoet en zout water).

Het model zoals dit beschreven is in paragraaf 2.3 (fase 2) hoefde hiervoor niet verder verbouwd te worden. Alleen het modelreservoir (zie fig. 4) werd nu gevuld met zout in plaats van zoet water.

De schematisaties van het model ten opzichte van het prototype zijn ongeveer hetzelfde voor de tijdelijke situatie (fase 2). Het schaalmodel is voor de definitieve situatie echter meer conform het prototype dan voor de tijdelijke situatie. De reden hiervoor is dat de kolkwandriolen, welke niet in het model zijn aangebracht, in de tijdelijke situatie niet zijn afgesloten, terwijl dit in de definitieve situatie wel het geval is. De kolkwandriolen zijn in de definitieve situatie afgesloten met de afdichtende regelschuiven.

In paragraaf 2.5 wordt verder ingegaan op de verschillende schematisaties.

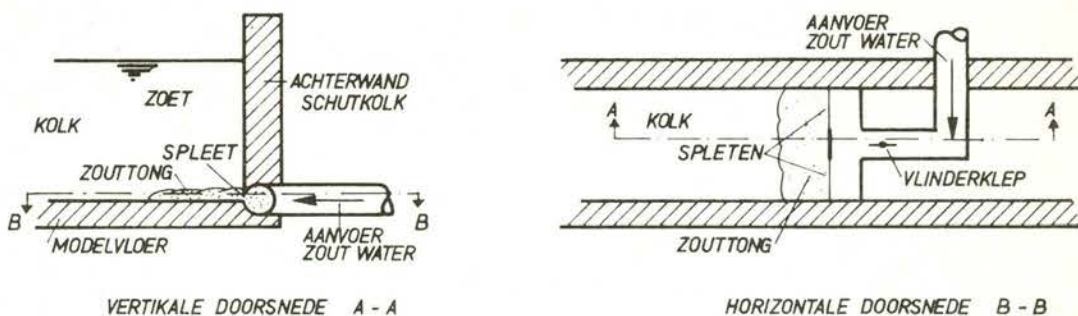
De proeven zijn in deze fase van het modelonderzoek als volgt uitgevoerd:

- het model (voorhaven + schutkolk) is leeg als de roldeur wordt gesloten en afgedicht*.

In de schutkolk wordt een laag zoet water aangebracht ter dikte van de (per proef) opgegeven laagdikte van het zoete water ($\rho_{\text{zoet}} \approx 1000 \text{ kg/m}^3$).

De voorhaven wordt gevuld met zout water ($\rho \approx 1020 \text{ kg/m}^3$, niet gevarieerd bij deze proeven) tot een niveau dat iets boven het beginniveau ligt (van de voorhaven).

Via de leiding tussen voorhaven en kolk kan nu zout water achter in de sluiskolk worden ingebracht. (Dit is niet bij alle proeven het geval, daar soms de kolk geheel zoet blijft.) In de achterwand van de kolk is hiervoor een voorziening aangebracht (zie fig. 2.4.1).



Figuur 2.4.1 Doorsnedes schaalmodel ter plaatse van achterzijde schutkolk

De leiding, die het zoute water aanvoerd, gaat over in een T-stuk waarin aan de kolkzijde ter plaatse van de kolkbodem een spleet is aangebracht. Door deze spleet stroomt het zoute water in de kolk. De hoogte van de spleet is dusdanig gedimensioneerd dat het bij verschillende diktes van de zoetwaterlaag mogelijk is (uitgaande van een instelbare pompkapaciteit tussen 0,5 en 4 l/s model) om het zoute water met zo min mogelijk menging (scherpe grenslaag) in de kolk te pompen.

(Opmerking: het in te pompen debiet is afhankelijk van voortplantingssnelheid en dikte van de zouttong (welke een maximum heeft), tevens moet het intern Froudegetal in de spleet groter zijn dan één, om geen zoet water in het T-stuk te krijgen.)

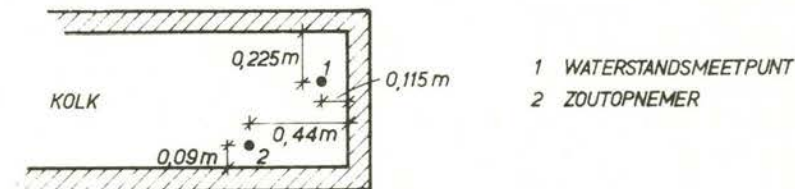
* Opmerking: voordat de roldeur wordt gesloten is de schutkolk met zoet water schoongespoten om het achtergebleven zoute water van de voorgaande proef te verwijderen.

Bij een van de proeven is een onscherpe menglaag ingesteld (verschil nagaan met scherpe menglaag), hierbij wordt een dusdanig debiet ingesteld dat er geen zouttong meer optreedt in het model maar een interne sprong, waardoor veel menging ontstaat.

Met behulp van het inbrengen van het zoute water in de kolk werd tevens het niveau in de kolk afgeregeld, waarna de waterstand op de voorhaven ook kon worden afgeregeld. (Opmerking: ook bij deze proeven was er weer een hevel aangebracht tussen voorhave en roldeurkas respectievelijk -nis, om hier een gelijk beginniveau te creëren; zie par. 2.3).

De proeven zijn op dezelfde wijze uitgevoerd als beschreven is in paragraaf 2.3. Naast de in paragraaf 2.3 genoemde grootheden zijn tevens de positie en dikte van de menglaag voor de proef bepaald, en de positie van een bepaald punt (dichtheid) van de menglaag gedurende de proef.

De positie van de zoutopnemer ("menglaagvolger") is aangegeven in figuur 2.4.2.



Figuur 2.4.2 Positie zoutopnemer en waterstandsmeeptpunt (achter in de kolk) in het schaalmodel

2.5 Schematisaties schaal- (en wiskundig) model

Het model, maar ook het wiskundig model (TROS-rekenprogramma), zijn op verschillende punten geschematiseerd (vereenvoudigd) ten opzichte van het prototype. Deze schematisaties, en de invloed van de schematisaties op de resultaten van het onderzoek, zijn hiernavolgend behandeld.

Schematisatie kolkbreedte

De duwvaartsluizen in de Philipsdam hebben in de definitieve situatie een zout/zoetscheidende functie. Het zout/zoetscheidingsysteem, dat bij deze sluizen is toegepast, berust op het systeem Duinkerken, dat wil zeggen een

kolk zoet water wordt vervangen door een kolk zout water door het inlaten van zout water en het uitlaten van zoet water (bij gesloten deuren). Het zoete water stroomt naar het zogenaamde omarmend zoet via kolkwandriolen (zie fig. 6). Deze riolen zijn in de kolkwand aangebracht (57 riolen per kolkwand, 114 voor een totale sluiskolk) tussen NAP en NAP -1,50 m.

Bovenstaande procedure kan worden omgedraaid als de kolk gevuld is met zout water en er geschut wordt naar het zoete pand.

In de definitieve situatie zijn de kolkwandriolen bij het nivelleren afgesloten van de kolk met behulp van de afdichtende regelschuiven. In de tijdelijke situatie zijn voornoemde schuiven nog niet aangebracht, de riolen zijn dan aan de "omarmend zoet"* zijde afgesloten met een stalen plaat (fig. 6).

(*Opmerking: in de tijdelijke situatie zal ook de omarmend zoetzijde nog zout zijn.)

Bovenstaande betekent dat de kolkbreedte ter plaatse van de kolkwandriolen ten opzichte van de "dagmaat" van de sluis ($\approx 24,0$ m) plaatselijk afwijkt. Ook is in de definitieve situatie de kolkbreedte niet konstant over de hoogte van de sluiskolk. Tevens zal in zowel de tijdelijke als de definitieve fase de kolkbreedte in lengterichting van de kolk (op één hoogte boven de vloer) variëren.

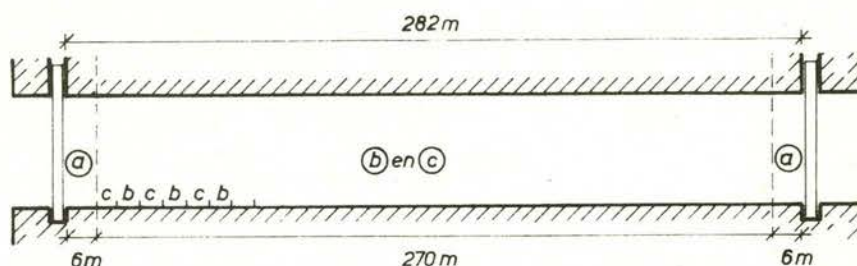
Het aanbrengen van deze geometrie (zie fig. 2.5.2 (a, b en c)) in de beide modellen (zowel schaalmodel als wiskundig model) is ingewikkeld en daarvoor ook duur. De kolk is dan ook geschematiseerd tot een rechthoekige bak. Dit heeft konsekwenties op de langs- en dwarskrachten op de schepen; dit is hiernavolgend afgeschat.

De geometrie van de kolk is dusdanig ingewikkeld dat effecten van bovenstaand benoemde schematisatie moeilijk te kwantificeren zijn zonder ook deze ingewikkelde geometrie iets te schematiseren.

De kolk is hiervoor in drie gedeelten verdeeld:

- a. de gedeelten direkt na de roldeuren, de breedte van de sluiskolk is hier konstant ($b \approx 24,10$ m), zie figuur 2.5.1 en figuur 6 (a)
- b. de gedeelten met kolkwandriolen (geopend (tijdelijke situatie) of gesloten (definitieve situatie), ook onder de kolkwandriolen varieert de kolkbreedte
- c. de gedeelten zonder kolkwandriolen.

De laatste twee genoemde gedeelten zijn iets geschematiseerd en weergegeven in figuur 6 (b) en (c). De verschillende schutkolksekties zijn weergegeven in figuur 2.5.1.



Figuur 2.5.1 Schutkolksekties ten behoeve van kwantificeren invloed schematisaties

In de lengterichting van de kolk zijn de gedeelten b en c als volgt verdeeld (dit in samenhang met fig. 6a)

- gedeelten met kolkwandriool: 2,55 m (b)
- gedeelten zonder kolkwandriool: 2,18 m (c).

De translatiegolfhoogte in het prototype (t.o.v. het model) kan worden afgeschat door te stellen dat:

$$\eta_{\text{proto}} = \frac{(b.c)_{\text{proto}}^{\text{gem}}}{(b.c)_{\text{model}}^{\text{gem}}} \cdot \eta_{\text{model}} \quad (2.5.1)$$

waarin η = translatiegolfhoogte [m]

b = breedte [m]

c = translatiegolfsnelheid [m/s].

gem = gemeten

proto = prototype

model = schaalmodel

In tabel 2.5.1 zijn de resultaten van deze berekening opgenomen, de gebruikte formules, die in feite alleen gelden voor de initiële golf, zijn:

$$\text{zonder schip } c_i = \sqrt{\frac{g \cdot (A_k)_i}{(b_k)_i}} \quad \text{of} \quad (2.5.2)$$

$$\text{met schip } c_{si} = \sqrt{\frac{g \cdot ((A_k)_i - (A_s)_i)}{(b_k)_i}} \quad (2.5.3)$$

waarin A_k = doorsnede sluiskolk $[m^2]$

b_k = breedte sluiskolk (waterspiegel) $[m]$

i = sluiskolksektie (a, b of c zie fig. 2.5.1).

A_s = doorsnede schip $[m^2]$

Per sektie (a, b of c) is de translatiegolfsnelheid berekent en deze is samengesteld tot een gemiddelde translatiegolfsnelheid met behulp van:

$$c_{gem} = \frac{2 \cdot L_k}{T} \quad \text{waarin} \quad T = \frac{2 \cdot L_a}{c_a} + \frac{2 \cdot L_b}{c_b} + \frac{2 \cdot L_c}{c_c} \quad (2.5.4)$$

hierin is L_k = lengte sluiskolk (282 m) $[m]$

L_a, L_b, L_c = lengte sluiskolksekties

($L_a = 12$ m, $L_b = 145,5$ m, $L_c = 145,5$ m) $[m]$

T = periode waarin translatiegolf heen en weer loopt door de sluiskolk $[s]$

c_{gem} = gemiddelde translatiegolfsnelheid $[m/s]$.

Opmerking:

Naast de berekeningen zonder schip zijn er ook enkele berekeningen met schip uitgevoerd; dit om te zien of dit invloed had op het verschil tussen model en prototype.

De resultaten van de berekeningen zijn:

water-stand	model (zonder schip)			tijd. situatie (zonder schip)			def. situatie (zonder schip)			tijd. situatie (met schip)		
	b	c	η_{pr}/η_m	b	c	η_{pr}/η_m	b	c	η_{pr}/η_m	b	c	η_{pr}/η_m
	$[m]$	$[m/s]$	$[\%]$	$[m]$	$[m/s]$	$[\%]$	$[m]$	$[m/s]$	$[\%]$	$[m]$	$[m/s]$	$[\%]$
4,50	24	6,64	100%	26,1	6,63	92,0	26,1	6,63	92,0	26,1	5,21	89,3
5,00	24	7,00	100%	28,8	6,63	88,0	25,7	7,05	92,9			
5,50	24	7,35	100%	28,8	7,00	87,9	25,7	7,39	93,3			
6,00	24	7,67	100%	28,0	7,46	88,2	25,7	7,71	92,9			
6,50	24	7,99	100%	25,7	8,14	91,7	25,5	8,06	93,3			
7,00	24	8,29	100%	25,2	8,51	92,6	25,2	8,39	94,1	25,2	7,48	91,2
7,50	24	8,58	100%	24,1	8,98	95,1	24,1	8,87	96,3			
8,00	24	8,86	100%	24,1	9,25	95,4	24,1	9,14	96,5			

Tabel 2.5.1 Geschat translatiegolfhoogteverschil tussen model en prototype

Uit de berekeningsresultaten blijkt dat in het model de translatiegolfhoogten $\pm 10\%$ te groot worden weergegeven. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat in het prototype de doorsnede groter is waardoor de translatiegolfsnelheid toeneemt en de translatiegolfhoogte afneemt.

Het verschil tussen berekeningen met en zonder schip (alleen voor de tijdelijke situatie) is gering en vertoont een zelfde tendentie bij veranderende waterstand.

Daar de translatiegolfhoogte en de langskracht op een schip bij benadering gelijk is aan:

$$F_s = \frac{\eta}{L_s} \times 1000 \quad [^{\circ}/\infty] \quad (2.5.5)$$

F_s = langskracht op een schip in $^{\circ}/\infty$ [$^{\circ}/\infty$]

L_s = lengte schip

(aannemende dat de golflengte van de translatiegolf kleiner is dan λ_s),

kan, afhankelijk van de waterstand in de kolk het volgende worden afgeleid met betrekking van de langskracht in het model (t.g.v. translatiegolven)

- tijdelijke situatie: 105 à 115% (model t.o.v. proto)
- definitieve situatie: 103 à 108% (model t.o.v. proto).

Opmerking: de werkelijke verschillen zijn wellicht kleiner omdat, zoals verderop wordt aangegeven, de debieten in prototype iets groter zullen zijn.

Daar de kolkbreedte varieert met de waterstand zal ook het kolkoppervlak variëren met de waterstand.

Uitgaande van de gegevens uit tabel 2.5.1 is de maximale afwijking van het prototype ten opzichte van het model

- tijdelijke situatie ($h \approx 5,50$ m): -12,0%
- definitieve situatie ($h \approx 4,50$ m): -8,0%.

Uitgaande van bovengenoemde (maximale) afwijkingen van het kolkoppervlak kan het verschil in vultijd tussen model en prototype worden afgeschat. Daar de vul/ledigdebeten in het prototype iets groter zullen zijn, ten gevolge van de minder snelle afname van het verval (t.o.v. het model) behoeft de vultijd in het prototype niet met het totale verschil model-proto te worden vergroot. Afgeschat is dat ongeveer het halve verschil voldoende is.

Voor de vultijd in prototype (uitgedrukt in T_{10} , het tijdstip waarop het ver-

val over de roldeur kleiner is dan 0,10 m) geldt dan als maximale afwijking:

- tijdelijke situatie : $T_{10}(\text{proto}) \approx 1,1 \times T_{10}(\text{model})$
- definitieve situatie: $T_{10}(\text{proto}) \approx 1,05 \times T_{10}(\text{model})$.

De schematisatie van de kolkbreedte zal ook invloed hebben op de spreiding van de vulstraal. De invloed van de kolkwandriolen (in de tijdelijke situatie) zal niet groot zijn omdat deze ruimte niet kontinu doorloopt in de lengterichting van de sluis en ook omdat de verticale staanders van het remmingwerk het doorstroomoppervlak ter plaatse van de scheiding tussen twee kolkwandriolen (zie fig. 6) zeer gering maakt ($\pm 0,10$ m breed).

De sluiskolk in het prototype verbreedt zich ter plaatse van bodem tot ongeveer 26 m op ongeveer 7 m na de roldeur (zie fig. 6a en b). Deze verbreding zal invloed hebben op de vulstraal. In dit gedeelte van de sluiskolk zal de snelheid in de vulstraal meer afnemen dan ter plaatse van het wateroppervlak. De invloed van dit snelheidsverschil tussen model en prototype op de langs- (resp. dwars-)krachten op schepen is moeilijk af te schatten. Dit daar de spreiding in horizontale richting bij de bodem in het prototype niet bekend is en omdat de invloed van de snelheidsafname bij de bodem op het totale snelheidsprofiel niet bekend is.

Wel kan gesteld worden dat het een lokaal effect is. Uit modelproeven bij permanentie (fase I) bleek namelijk dat de vulstraal, voor de range van roldeuropeningen waarvoor de vulstraalkracht belangrijk is, op ± 50 m achter de roldeur redelijk gespreid was (zie fig. 58). Het snelheidsverschil tussen model en prototype zal daar dan zeer gering zijn (het verschil in oppervlak ($A_k - A_s$) is bij een duweenhed maximaal 4%).

Uit bovenstaande kan dan ook gekonkludeerd worden dat het verschil tussen model en prototype ten aanzien van de langskracht tengevolge van de vulstraal vrij gering is. Voor lange schepen (b.v. 4 baks duweenhed) geldt waarschijnlijk dat deze invloed verwaarloosbaar is.

Met betrekking tot de dwarskracht op de schepen is het verschil model en prototype waarschijnlijk gering daar ter plaatse van het oppervlak (waar zich het schip bevindt) het snelheidsprofiel nauwelijks verandert.

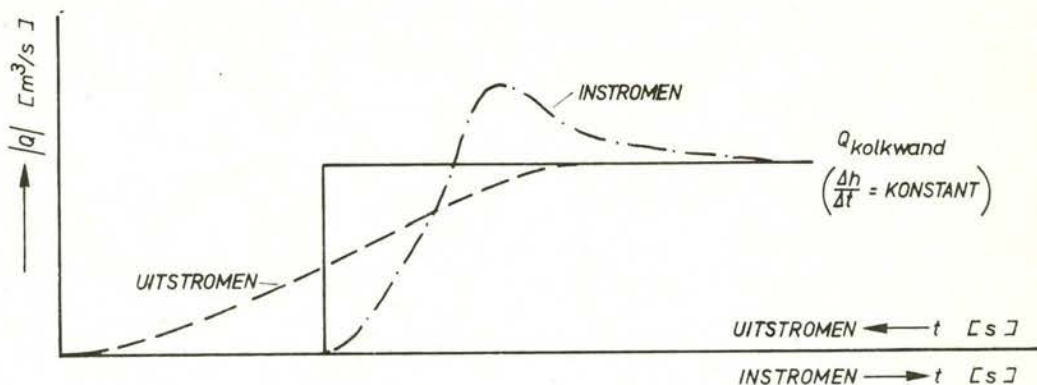
Een aspect dat in bovenstaande beschouwing nog niet naar voren is gekomen, is de invloed van de in respektievelijk uitstroming van water uit de kolkwandriolen in de tijdelijke situatie.

Dit effect kan als volgt beschreven worden:

In het geval van vullen van de kolk bij waterstanden net onder NAP -1,50 m (bodembodkolkwandriool) zal na het bereiken van NAP -1,50 m ook de ruimte in het kolkwandriool gevuld moeten worden.

Het debiet over de rand van het kolkwandriool zal echter enige tijd nodig hebben om zich in te stellen (traagheid, wrijving) (zie fig. 2.5.3), waardoor het debiet tijdelijk iets groter wordt dan het gemiddelde debiet (Q_{kolkwand}).

Bij het uitstromen bij kolkwaterstanden die lager worden dan de bodem van het kolkwandriool (NAP -1,50 m) geldt iets anders. Bij de rand van het kolkwandriool treedt een volkomen overlaat op waardoor het debiet uit het riool geknepen wordt (zie fig. 2.5.2, tijdas van rechts naar links!).



Figuur 2.5.2 Schematische weergave riooldebiet bij in- en uitstroming uit het kolkwandriool (tijdelijke situatie)

De invloed van de verbreding van de kolk ter plaatse van de kolkwandriolen is enkele bladzijden hiervoor afgeschat. De invloed van het niet direct opstartende respektievelijk te vroeg afbouwende debiet zal echter weinig invloed hebben op de totale waterbeweging in de kolk.

In het geval van ledigen van de kolk zal er een extra dwarskracht op het schip worden uitgeoefend ten gevolge van het uit de kolkwandriolen stromende water. Uitgaande van een (uit berekeningsresultaten afgeschatte) maximale $\Delta h/\Delta t$ van ongeveer 4 mm/s ($Q_{\text{deur}} \approx 25 \text{ m}^3/\text{s}$) en een oppervlakte (van bovenaf gezien) van het kolkwandriool van 15 m^2 , volgt een uit de kolk stromend debiet van $0,060 \text{ m}^3/\text{s}$. Wordt aangenomen dat het schip smal is ten opzichte van de kolkbreedte (geen beïnvloeding van de andere kolkwandzijde) dan volgt uit de impulsbalans de maximale dwarskracht op het schip:

$$D_{\max} = \frac{n \cdot h_{\text{straal}} \cdot b_{\text{straal}} \cdot v^2}{L_s \cdot b_s \cdot e_o} \times 1000 \text{ [}^\circ/\text{oo]} \quad (2.5.6)$$

waarin D_{\max} = maximale dwarskracht op het schip [$^\circ/\text{oo}$]
 n = aantal kolkwandriolen naast het schip [-]
 h_{straal} = hoogte straal [m]
 b_{straal} = breedte straal (= breedte kolkwandriool = 3,5 m) [m]
 v = snelheid in de straal
 e_o = diepgang schip [m]
 b_s = breedte schip
 L_s = lengte schip [m]

tevens geldt: $Q = h_{\text{straal}} \cdot b_{\text{straal}} \cdot v = 0,060 \text{ m}^3/\text{s}$.

Omwerken van de vergelijking van D_{\max} geeft:

$$D_{\max} = \frac{n \cdot Q^2}{L_s \cdot b_s \cdot e_o \cdot h_{\text{straal}} \cdot b_{\text{straal}}} \times 1000 \text{ [}^\circ/\text{oo]} \quad (2.5.7)$$

De maximum dwarskracht treedt op als op de rand van het kolkwandriool een volkomen overlaat ontstaat, dan geldt:

$$h_{\text{straal}} = 2 \times \frac{v_{\text{straal}}^2}{2g} \quad (2.5.8)$$

De maximale dwarskracht op het schip (binnenvaartschip) is dan $0,01 \text{ }^\circ/\text{oo}$

($h_{\text{straal}} = 0,031 \text{ m}$, $L_s = 100$, $b_s = 12,2$, $e_o = 2,7$, $n = \frac{100}{4,79} \approx 21$).

Deze dwarskracht is gering (+ 1/10 van het criterium) en gezien de meetfout en de onnauwkeurigheden in het bepalen van de dwarskracht (in het criterium) is deze dwarskracht te verwaarlozen.

Opmerking: de duweenheid is ongeveer even breed als de kolkbreedte en zal dus worden beïnvloed door de stralen uit de kolkwandriolen van beide kolkwanden. De dwarskracht op dit schip zal dan ook kleiner zijn dan die voor het binnenvaartschip.

Schematisatie geperforeerde vloer

In de duwvaartsluizen is ten behoeve van het zout/zoetscheidingsysteem een

geperforeerde vloer in de schutkolk aangebracht. Deze geperforeerde vloer beoogt een gelijkmatige debietverdeling van het door de vloer ingebrachte respektievelijk aan de kolk onttrokken water te bewerkstelligen en bescherming te geven aan de menglaag tijdens het in- en uitvaren van schepen (kolk zoet, grensvlak onder de vloer).

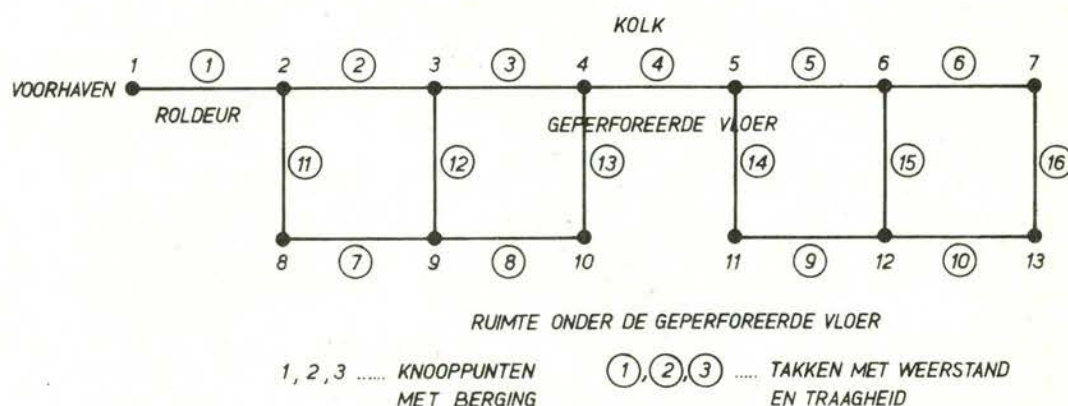
In de modellen (schaal- en wiskundig model) is deze geperforeerde vloer niet aangebracht.

Hieraan liggen volgende overwegingen ten grondslag

- het gatpercentage van de vloer is zeer gering ($\pm 1\%$), terwijl de "vervallen" in de sluis zelf zeer gering zijn (orde grootte 0,10 cm)
- de traagheid van de vloer en ruimte onder de geperforeerde vloer tezamen met de loopsnelheid van de translatiegolf zorgen ervoor dat het debiet onder de vloer gering blijft.

De juistheid van bovenstaande overwegingen is nagegaan met behulp van een rekenprogramma (NEBAS). Dit rekenprogramma berekent de waterbeweging in open en "gesloten" waterlopen.

De schematisatie van de kolk, de geperforeerde vloer en de ruimte onder de geperforeerde vloer worden vermeld in rapport R 1249 ([2] nog uit te brengen). Een overzicht van de schematisatie is weergegeven in figuur 2.5.3.



Figuur 2.5.3 Schematische weergave sluiskolk met geperforeerde vloer en ruimte onder geperforeerde vloer

In eerste instantie was het de bedoeling om de snelheid van de translatiegolven uit de berekeningen af te schatten. Daar echter het verval tussen de kolk en voorhaven slechts 0,50 m was kon deze methode niet worden toegepast omdat

de translatiegolf te snel een geringe hoogte had.

Uit deze berekening met een klein verval (0,50 m) bleek echter wel dat de debieten in de ruimte onder de geperforeerde vloer gering waren ten opzichte van de debieten in de kolk (ongeveer 1,5%).

De berekeningen met een groter verval zijn uitgevoerd bij een waterstand van NAP -2,50 m op de voorhaven en NAP +2,50 m in de kolk (ledig situatie). De roldeur wordt in een oneindig kleine tijd ($\Delta t \ll 1$ s) geopend tot een opening van $\pm 1,80$ m. Hierdoor ontstaat een zeer grote translatiegolf welke dan ook zorgt voor grote debieten in de kolk ($Q_{\max} \approx 70 \text{ m}^3/\text{s}$).

Bovenstaande berekeningen zijn uitgevoerd met en zonder geperforeerde vloer, dat wil zeggen in de berekeningen zonder geperforeerde vloer zijn de takken 7 t/m 16 weggelaten (zie fig. 2.5.4).

De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in de figuren 7 en 8. In figuur 7 zijn de debieten op verschillende plaatsen in de kolk weergegeven voor de berekeningen met en zonder geperforeerde vloer. Uit de resultaten blijkt dat de invloed van de geperforeerde vloer op de debieten in de kolk niet groot is. Het debiet onder de geperforeerde vloer is slechts 1,5% van het debiet boven de geperforeerde vloer (oppervlakte kolk gemiddeld 150 m^2 , ruimte onder de geperforeerde vloer ongeveer 103 m^2).

De verhouding tussen het debiet in de kolk en het debiet onder de geperforeerde vloer is (gemiddeld) gelijk voor berekeningen met een klein ($40 \text{ m}^3/\text{s}$) en een groot debiet ($70 \text{ m}^3/\text{s}$). Dit geeft aan dat er geen debietsafhankelijkheid is. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk dat het debiet onder de geperforeerde vloer bijna geheel beïnvloed wordt door de traagheid.

Opmerking: In eerste instantie werd verwacht dat bij een groter debiet de weerstand van de gaatjes zo zou toenemen (evenredig met Q^2) dat het debiet door de ruimte onder de geperforeerde vloer sterk zou afnemen, daar echter ook het verval (translatiegolfhoogte) toeneemt neemt het debiet door de ruimte onder de geperforeerde vloer niet onevenredig af bij verhoging van het debiet.

Schematisatie voorhaven

De voorhaven zoals deze in prototype zal worden aangelegd is weergegeven in figuur 5.

De voorhavens zijn ongeveer symmetrisch ten opzichte van het sluizencomplex. In de situatie met twee duwvaartsluizen is de voorhavenbreedte in eerste in-

stantie 200 m.

Wordt de derde duwvaartsluis in bedrijf genomen dan wordt deze breedte \pm 400 m. In het wiskundig model is aangenomen dat de voorhavenbreedte 200 m is (zie fig. 6). De verbreding tot 400 m (op \pm 200 m van de sluizen) is dus verwaarloosd. De reden hiervoor is dat de invloed van deze verbreding in prototype pas na ongeveer 50 s merkbaar is, terwijl ook de translatiegolfhoogten op de voorhaven zeer gering zijn (ongeveer 0,015 bij een 200 m brede voorhaven). De invloed van deze translatiegolven op het debiet door de roldeuropening is dus ook gering.

De verdieping van de voorhaven ten opzichte van de sluisvloer (ongeveer 0,75 m) is wel in het wiskundig model ingebracht.

Het schaalmodel (fase 2, niet permanentie) is gebouwd in een bestaande gemetselde goot en besloten is, in verband met kosten, de voorhaven voor dit onderzoek niet te verbreden.

De breedte van de voorhaven in het schaalmodel is dan ook de gootbreedte die verloopt tussen 0,6 m (24 m prototype) bij de roldeur tot 0,8 m (32 m prototype) op ongeveer 4 m (160 m prototype) van de roldeur (zie fig. 4 en 5). De diepteligging van de voorhaven in het model is ook niet aangepast aan het prototype. Zoals reeds vermeld ligt de bodem van de voorhaven in prototype ongeveer 0,75 m lager dan de sluisvloer (NAP -6,25 m is hoogteligging sluisvloer).

De configuratie van de voorhaven (breedte, diepte etc.) heeft invloed op het debiet door de vul- respectievelijk ledigopening van de schutkolk, en dus ook op de translatiegolf in de kolk.

Uitgaande van bijvoorbeeld de vulsituatie zal er ten gevolge van het in de kolk stromende debiet een translatiegolf in de kolk ontstaan. Tevens zal er ten gevolge van dit debiet een translatiegolf op de voorhaven ontstaan.

In het prototype is deze translatiegolfhoogte \pm 10% van de translatiegolfhoogte in de kolk, in het fysisch model is deze translatiegolfhoogte \pm 75% van de translatiegolfhoogte in de kolk.

In het model wordt de translatiegolfhoogte op de voorhaven te groot weergegeven. Hierdoor zal het verval tussen kolk en voorhaven in het model sneller afnemen dan in het prototype. Dit betekent dat het maximale debiet in het model kleiner wordt dan in het prototype, en dat ook de maximum positieve langskracht waarschijnlijk zal afnemen.

In figuur 9 is het (m.b.v. het rekenprogramma) berekende debiet in de vulopening uitgezet bij een voorhavenbreedte van 200 m (prototype) en 32 m (model in prototypematen). Het debiet in het model wordt duidelijk door de voorhaven verkleind, terwijl ook het doorslingeren van de kolk wordt gedempt.

In figuur 10 zijn de bijbehorende langskrachten uitgezet. De maximum positieve langskracht neemt (inderdaad) iets af, terwijl ten gevolge van het dempen van de doorslingering bij een 32 m brede voorhaven de maximum negatieve langskracht sterk afneemt (+ een faktor 2).

Daar de voorhaven in het model verloopt is het niet geheel duidelijk welke voorhavenbreedte in het wiskundig model moet worden gebruikt (de voorhaven in het wiskundig model is oneindig lang met een konstante breedte en diepte). Er zijn twee voorhavenbreedten uitgetest te weten een voorhavenbreedte van 24 en van 32 m (minimum en maximum waarde van de voorhavenbreedte in het model). In figuur 11 en 12 zijn enkele resultaten van deze berekeningen weergegeven.

Het verschil tussen beide berekeningen is niet groot, vooral het maximum en minimum van de langskracht (fig. 12) wijken niet veel af. In feite zal de langskracht respektievelijk debiet zoals deze in het model optreedt tussen deze twee waarden in liggen. In eerste instantie wordt de berekening volgens de 24 m brede voorhaven gevolgd, na + 30 s zal de verbreding van de voorhaven merkbaar zijn, die dan fase-verschoven zijn invloed uitoefend (zie fig. 12).

Uit het bovenstaande volgt dat het niet juist weergeven van de voorhavenbreedte in het model leidt tot problemen bij het omwerken van modelresultaten naar prototype. Dit heeft aanleiding gegeven tot een iets andere opzet van het onderzoek dan in eerste instantie was gepland. Dit is beschreven in paragraaf 2.6.

Opmerking: de voorhaven in het wiskundig model is in wezen oneindig lang. In het prototype gaat de voorhaven na + 1500 m over in het Zijpe respektievelijk het toekomstige Zoommeer, welke vele malen breder zijn dan de voorhaven. Dit nog verder verbreden van de "voorhaven" heeft weinig invloed op het niveleerproces (evenals het verbreden van 200 naar 400 m). In het fysisch model is de voorhaven + 1100 m (prototypematen) lang, zodat na + 260 s de reflectie vanaf de modelrand weer bij de roldeur is aangekomen. Het resultaat van het modelonderzoek zal dus na + 260 s worden beïnvloed door de teruggekaatste

translatiegolf. Het nivelleerproces is echter bijna afgelopen, zodat dit weinig invloed heeft op de resultaten.

Schematisatie roldeurkas en -nis

In het prototype wordt de roldeur bewogen over een rail, die is aangebracht in een verdieping in de sluisvloer. De roldeur is in geheel geopende stand ($b_r > 24,0$ m) opgeborgen in de roldeurkas; in gesloten toestand is de "voorzijde" van de roldeur $\pm 0,90$ m in de nis gerold. In deze positie kan de roldeur worden weggezet tegen zijn opleggingen (twee per zijde, zie fig. 6b) en daarna worden afgedrukt, d.w.z. de rubberafdichting langs de randen van de roldeur wordt opgeblazen zodat er geen water meer tussen kolk en voorhaven kan stromen (zie fig. 2.5.5).

In het schaalmodel zijn de opleggingen niet aangebracht. De krachten op de roldeur worden in het model overgedragen door de rubberafdichtingen en de oplegging in de vloer.

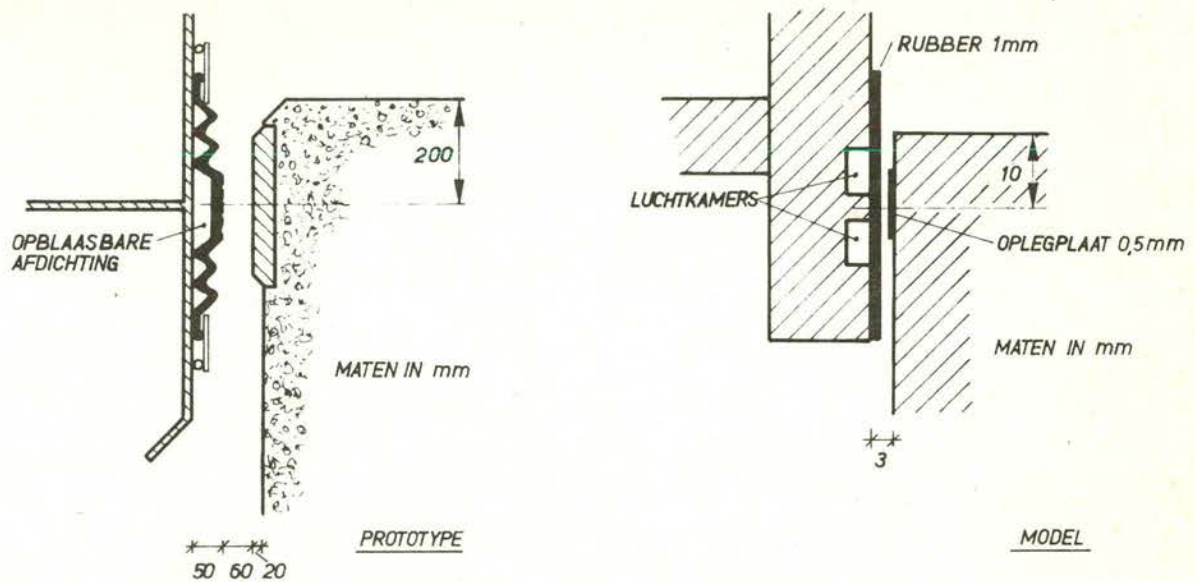
In het prototype zullen de opleggingen de stroming door de roldeuropeningen storen, het debiet door de roldeuropening zal dan ook (in prototype) geringer zijn. Dit verschijnsel is afhankelijk van de waterstand, bij waterstanden lager dan NAP +1,20 m is er slechts één oplegging in de stroming. Bij hogere waterstanden komen beide opleggingen in de stroming. Het verschil in langskrachten op een schip tussen model en prototype tengevolge van de invloed van deze opleggingen kan worden afgeschat uit het verschil in debiet.

Een debietverschil veroorzaakt namelijk een verschil in translatiegolfhoogte dus in langskracht tengevolge van translatiegolven en in vulstraalkracht.

Uitgaande van roldeuropeningen kleiner dan 0,50 m (de invloed van de opleggingen is dan maximaal) en een hoogte van de opleggingen van 0,50 m, zal het debiet in prototype ongeveer 5 à 10% kleiner zijn dan in het model. De langskracht op een schip in het prototype zal dan ook 5 à 10% kleiner zijn dan wordt gemeten in het model. De invloed op de dwarskrachten op het schip is moeilijk af te schatten.

De rubberafdichting is in het schaalmodel anders uitgevoerd dan in het prototype. De afdichting is niet op de roldeurbeplating aangebracht maar gedeeltelijk in de roldeurbeplating (zie fig. 2.5.4).

De afdichting in het model bestaat uit een luchtkamer in de trovidurbeplating van de roldeur waarover een rubberstrook is geplakt. Deze luchtkamer bevindt zich in een U-vorm langs de zij- en onderkant van de roldeur.



Figuur 2.5.4 Afdichting roldeur in schaalmodel en prototype (t.p.v. de sluisvloer)

In het model is de luchtkamer in tweeën gedeeld om het terugveren van het rubber tijdens het uitvoeren van de proeven tegen te gaan. De luchtkamer in het model is echter niet op schaal, de afmetingen (in prototypematen) zijn dusdanig dat de roldeur $\pm 0,35$ m (prototypematen) verder in de roldeurnis moet worden gerold om het midden van de afdichting in de juiste positie ten opzichte van de niswand te plaatsen.

Dit geldt ook voor de kas- en de bodemnis. De roldeur is dus in het model iets langer ($\pm 0,70$ m) dan in prototype.

De stroming direct na het afblazen van de afdichting (aflaten van de luchtdruk uit de afdichting) zal iets verschillen tussen model en prototype, daar de configuratie iets verschilt. Daar dit debiet vrij gering is ($\pm 5 \text{ m}^3/\text{s}$) heeft dit weinig invloed op het totale nivelleerproces.

Een complicatie treedt op bij het openen van de roldeur en het niet-permanentiemodel. De af te leggen weg in de nis in het model is groter ($\pm 1,25$ m t.o.v. $0,90$ m in prototype). Dit is opgelost door in het model de roldeur in de nis sneller te laten bewegen dan in het prototype. Op deze manier wordt er voor gezorgd dat de roldeur in model en prototype de roldeurnis op hetzelfde moment (na begin beweging) en met dezelfde snelheid verlaat (zie verder fig. 3.3.2).

2.6 Indeling onderzoek

De indeling van het onderzoek wordt ten gevolge van de schematisatie van de voorhaven in het model (± 32 m i.p.v. 200 m in prototype) vrij complex. Het

nivelleerproces van de modelsluis is namelijk niet meer vergelijkbaar met het nivelleerproces in het prototype. Dit betekent dat voor de verifikatie van de TROS-procedure (vergelijk fase 1 en 2) niet de berekeningen en metingen kunnen worden gebruikt die zijn bepaald met betrekking tot het advies voor de roldeurprogrammering in de tijdelijke situatie.

Ten behoeve van de verifikatie van de TROS-procedure zijn dan ook nieuwe berekeningen uitgevoerd voor een voorhavenbreedte van 32 m. De vulstraatproeven bij permanentie zijn echter niet herhaald. Deze proeven, die steeds bij een bepaalde combinatie van roldeuropening, debiet en waterstand worden gedaan, zouden namelijk ook in deze nieuwe situatie moeten worden uitgevoerd.

Dit is echter rekenenderwijze verrekend in de vulstraalkrachten, bij de interpretatie van de proeven (hfdst. 5) wordt hier nader op ingegaan.

In figuur 13 is het bovenstaande schematisch weergegeven in een soort stroomschema die het verloop van het onderzoek weergeeft.

Het advies met betrekking tot het vóórtrekken van de roldeur in de definitieve situatie van de duwvaartsluizen kan om bovengenoemde redenen niet direkt worden afgeleid uit de modelresultaten.

Dit advies volgt uit de resultaten van het vóórtrekken van de roldeur in de tijdelijke situatie waarbij de invloed van het dichtheidsverschil (vergelijking fase 2 en fase 3, zie fig. 13) op wordt geteld.

De invloed van het dichtheidsverschil is dan ook geanalyseerd zodat voor verschillende situaties de invloed van het dichtheidsverschil kan worden afgeschat.

3 Onderzoek met betrekking tot roldeurprogrammering tijdelijke situatie

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is beschreven, op welke wijze de langs- en dwarskrachten op een schip, tijdens het nivelleren van een kolk met behulp van het vóórtrekken van de roldeur (in de tijdelijke situatie van de duwvaartsluizen in de Philipsdam), zijn bepaald. Daar deze langs- en dwarskrachten aan een bepaald (maximum) criterium zijn gebonden, kan uit de resultaten van dit onderzoek de roldeurprogrammering (o.a. de maximum roldeursnelheid tijdens het voorttrekken) in de tijdelijke situatie van de duwvaartsluizen worden afgeleid. Dichtheidsverschillen spelen in deze situatie nauwelijks een rol en zijn niet in dit gedeelte van het onderzoek betrokken; het verval tussen kolk en voorhaven is maximaal 0,50 m.

3.2 Langs- en dwarskrachten op een schip in een schutkolk tijdens nivelleren

De langs- en dwarskrachten op een schip in een schutkolk tijdens nivelleren worden veroorzaakt door verschillende fenomenen.

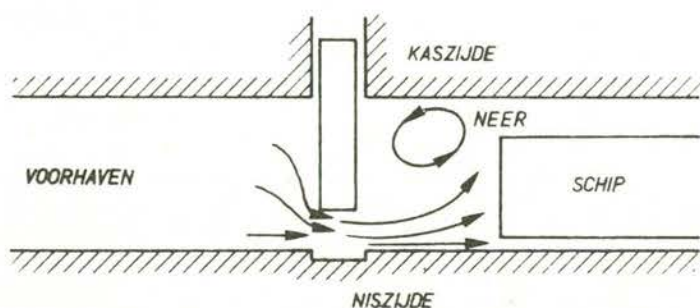
Met betrekking tot de langskrachten is dit beschreven in het TOW-onderzoek naar langskrachten op schepen (M 1481/R 1222, [3] en [4]).

Kort samengevat kunnen volgende langskrachtcomponenten worden onderscheiden:

- langskracht ten gevolge van translatiegolven
- langskracht ten gevolge van stroming langs het schip
- langskracht ten gevolge van de vulstraal (in het geval van vullen).

In de situatie van het vóórtrekken van de roldeur zal de vulstraal ook dwarskrachten op het schip uitoefenen.

Dit daar de vulstraal asymmetrisch de kolk binnenkomt (zie fig. 3.2.1).



Figuur 3.2.1 Bovenanozicht asymmetrische instroming

Wordt het schip aan de niszijde (dichtbij de roldeur) van de kolk afgemeerd, dan zal er een van de kolkwand af gerichte dwarskracht op het schip worden uitgeoefend; de vulstraal perst zich als het ware tussen schip en kolkwand. Ook als het schip aan de kaszijde (dichtbij de roldeur) wordt afgemeerd, zal er ook een van de kolkwand af gerichte dwarskracht op het schip worden uitgeoefend.

Ten gevolge van de vulstraal ontstaat er namelijk een verschil in waterstand in de vulstraal en in de neer achter de roldeur (waterstand in de neer is hoger dan in de vulstraal).

De methode, die gevolgd is om de langs- respectievelijk dwarskrachten op een schip in de schutkolk te bepalen, is de zogenaamde "TROS-procedure" (opgezet in het kader van TOW^{*}).

Deze procedure bestaat uit een wiskundig (zie par. 5.3) en een beperkt onderzoek in een schaalmodel (zie par. 2.3).

Het wiskundig model beschrijft de ééndimensionale waterbeweging in de kolk, waarbij de vulstraalwerking niet in rekening wordt gebracht. Dit model berekent dan ook de langskrachten op het schip ten gevolge van translatiegolven en uniforme (niet permanente) stroming.

Ten behoeve van dit wiskundig model moeten enkele randvoorwaarden bekend zijn te weten:

- de afvoercoëfficiënten van de vul- respectievelijk ledigopeningen
- de parameters (wrijvingsweerstand en vorm- of restweerstand) met welke de langskracht op een schip ten gevolge van uniforme stroming kan worden afgeschat.

Bovenstaande randvoorwaarden voor het wiskundig model worden bepaald met behulp van het schaalmodel. In dit schaalmodel worden tevens de langs- respectievelijk dwarskrachten ten gevolge van de vulstraal gemeten.

^{*}Opmerking: in feite is deze procedure alleen opgezet voor het bepalen van langskrachten. Daar de dwarskrachten alleen worden veroorzaakt door de vulstraal, werd het mogelijk geacht deze procedure uit te breiden tot dwarskrachten, omdat ook ten behoeve van de langskrachten ten gevolge van de vulstraal (bij deze procedure) een beperkt schaalmodel noodzakelijk was.

De in het schaalmodel gemeten langskracht ten gevolge van de vulstraal moet in feite worden gecorrigeerd. In het schaalmodel blijft het debiet in elke doorsnede konstant.

Dit is niet het geval in het prototype, daar hier het debiet verloopt van maximum (bij de opening) tot nul (bij de gesloten deur van de sluis). Ook de wandruwheid is in het model anders dan in het prototype (in het wiskundig model is deze wandruwheid reeds ingebracht).

Bovenstaande is uitgebreider behandeld in paragraaf 5.4.2.

De totale langskracht kan berekend worden met

$$F_{\text{tot}} = F_{\text{trans}} + F_{\text{vulstraal}}^{(\text{gemeten})} - F_{\text{stroming}}^{(\text{schaalmodel})} + F_{\text{stroming}}^{(\text{prototype})} - F_{\text{wrijving}}^{(\text{wand})} \quad (3.2.1)$$

F = langskracht op het schip [$^{\circ}/\text{oo}$]

tot = totaal

gemeten = gemeten in schaalmodel (permanentie)

stroming = langskracht ten gevolge van uniforme stroming langs het schip

schaalmodel = stromingskracht in schaalmodel

prototype = stromingskracht in prototype

$F_{\text{wrijving}}^{(\text{wand})}$ = langskracht ten gevolge van kolkwandwrijving in het schaalmodel

trans = translatiegolven

De langskracht ten gevolge van een over de lengte van de kolk variërend debiet in het prototype ($F_{\text{stroming}}^{(\text{prototype})}$) en de langskracht ten gevolge van een over de lengte van de sluiskolk konstant debiet in het model ($F_{\text{stroming}}^{(\text{schaalmodel})}$) zijn niet gelijk (zie ook par. 5.4.2). Dit volgt o.a. uit het feit dat het debiet (stroomsnelheid) langs het schip in beide gevallen niet gelijk is.

De gemeten dwarskrachten zouden op een zelfde wijze moeten worden gecorrigeerd om tot een totale dwarskracht op het schip te komen in prototype

$$D_{\text{tot}}^{\text{proto}} = D^{(\text{gemeten})} - D_{\text{stroming}}^{(\text{schaalmodel})} + D_{\text{stroming}}^{(\text{prototype})} \quad (3.2.2)$$

D = dwarskracht [$^{\circ}/\text{oo}$].

Bovenstaande procedure ("TROS-procedure") is niet geheel gevolgd.

Uit een foutenbeschouwing bleek namelijk dat het verschil tussen de (uniforme) stromingskrachten in schaalmodel en prototype zo gering was dat deze binnen

de foutenmarge van de totale langs- respektievelijk dwarskracht lagen.

Dit is uitgewerkt in paragraaf 5.4.2.

De procedure is dan ook aangepast, de totale langskracht wordt nu als volgt bepaald:

$$F_{\text{tot}}^{(\text{langs})} \approx F_{\text{trans}} + F_{\text{vul}}^{(\text{gem})} \quad (3.2.3)$$

$$(\text{in feite } F_{\text{stroming}}^{(\text{schaalmodel})} \approx F_{\text{stroming}}^{(\text{prototype})}).$$

De dwarskracht volgt uit

$$D_{\text{tot}} \approx D_{\text{vul}}^{(\text{gem})} \quad (D_{\text{stroming}}^{(\text{schaalmodel})} \approx D_{\text{stroming}}^{(\text{prototype})}) \quad (3.2.4)$$

Opmerking: met betrekking tot de dwarskracht geldt thans dat dusdanig weinig van de dwarskrachten in (uniforme) stroming bekend is dat een korrektie op de gemeten dwarskracht (t.g.v. de vulstraal etc.) vrijwel onuitvoerbaar is.

Bovenstaande is schematisch weergegeven in figuur 14.

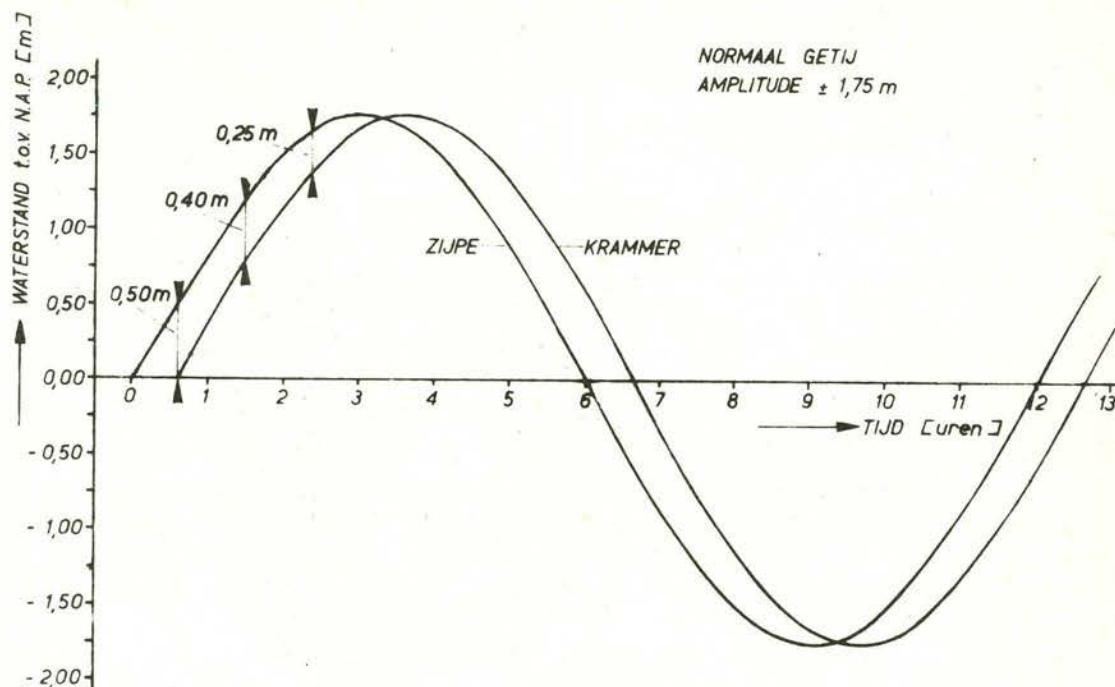
3.3 Meetprogramma

Zoals reeds in paragraaf 1.2 is aangegeven zal het verval tussen kolk en voorhaven in de tijdelijke situatie niet meer dan 0,30 à 0,40 m bedragen. Het maximale verval, waarbij de roldeur nog mag worden vóórgetrokken, bedraagt ongeveer 0,50 m; dit in verband met de stabiliteit van de roldeur.

Daar het verval in de tijdelijke situatie en het maximum verval waarbij de roldeur nog mag worden voorgetrokken ongeveer hetzelfde zijn, is het meetprogramma grotendeels uitgevoerd met het maximum verval van 0,50 m.

Ten einde de invloed van het verval na te gaan is tevens één proef uitgevoerd met een verval van 0,30 m.

De waterstanden waarbij dit maximum verval (0,50 m) kan optreden, kan globaal worden afgeschat uit de geschematiseerde getijbewegingen op het Zijpe en de Krammer (toekomstige Zoommeer); zie figuur 3.3.1.



Figuur 3.3.1 Geschematiseerde getijbeweging op Zijpe en Krammer

Uit bovenstaande figuur (3.3.1) kan worden afgeleid dat vervallen van orde grootte 0,50 m (0,4 à 0,5 m) in het geval van vulsituaties optreden tussen waterstanden van ongeveer NAP +1,00 en NAP -0,50 m op het buitenwater (Zijpe of Krammer).

(Opmerking: in de situatie dat de Krammer afgesloten wordt, zal het maximum verval tussen Zijpe en Krammer toenemen. In principe kan dan nog steeds bij vervallen kleiner dan 0,50 m, dus ter plaatse van de toppen respectievelijk dalen van de getijbeweging, de roldeur worden vóórgetrokken; de waterstanden worden dan echter hoger dan NAP +1,00 m respectievelijk lager dan NAP -0,50 m (zie verder par. 3.5).) De krachten op de schepen in de kolk in deze situatie kunnen worden afgeschat (geëxtrapoleerd) uit de resultaten van dit onderzoek.

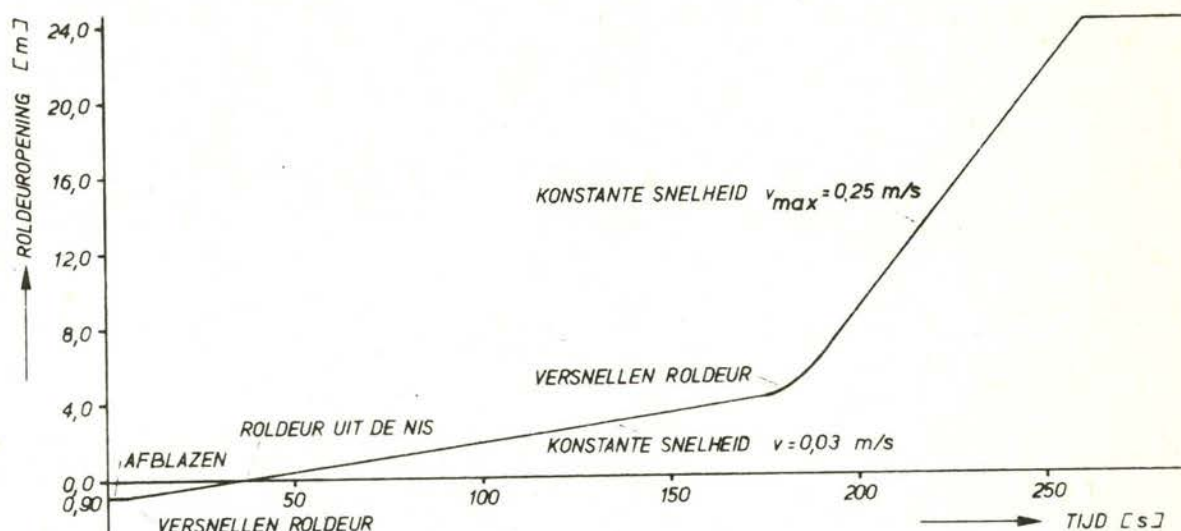
Bij de uitgevoerde proeven is waterstand op het buitenwater (Zijpe of Krammer) om deze reden gekozen op NAP +1,00 m (Krammer naar Zijpe, vullen) of NAP -0,50 m (Zijpe naar Krammer, vullen).

De proeven zijn uitgevoerd bij een roldeurprogrammering, die ontworpen is op een maximum langskracht van $\pm 0,5^{\circ}/\infty$. Uit een vooronderzoek bleek dat een roldeursnelheid van 0,03 m/s hier redelijk aan voldeed. Tevens zijn nog enkele proeven uitgevoerd met roldeursnelheden van 0,01, 0,05 en 0,10 m/s.

De roldeurprogrammering op zich kan worden onderscheiden in de volgende ge-

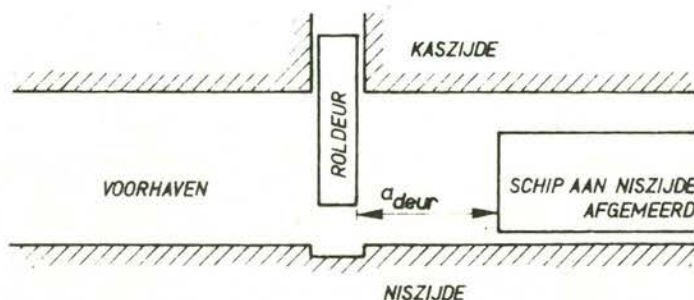
deelten:

- afblazen van de afdichting van de roldeur (geschatte tijd: ± 5 s proto)
- versnellen roldeur tot gestelde snelheid (0,01, 0,03, 0,05 of 0,10 m/s) met een versnelling van $0,0167 \text{ m/s}^2$
- konstante snelheid tot het tijdstip dat het verval kleiner wordt dan ongeveer 0,10 m. Hierna kan de roldeur met maximum snelheid worden getrokken, daar de dan optredende krachten op het schip zeker kleiner zijn dan het gestelde criteria
- versnellen roldeur tot maximum snelheid met versnelling $0,0167 \text{ m/s}^2$
- konstante maximum snelheid (0,25 m/s) totdat de roldeur geheel geopend is (zie fig. 3.3.2).



Figuur 3.3.2 Roldeurbeweging (roldeurprogramma)

Tevens is het scheepstype (4 baks duweenheid, zie fig. 2.1.1 en binnenvaart-schip (3000 ton), zie fig. 2.1.2) en de positie van het schip gevarieerd. Deze positie wordt gekenmerkt door de afstand tot de roldeur (a_{deur}) en de ligging in de breedterichting van de sluiskolk, d.w.z. de ligging van het schip aan de kas- of niszijde van de sluiskolk (zie fig. 3.3.3).



Figuur 3.3.3 Positionering schepen in de kolk

Het meetprogramma voor dit gedeelte van het onderzoek (fase 1) is opgenomen in tabel I.

Het meetprogramma bestaat voornamelijk uit vulproeven. Dit omdat er bij vullen naast krachten, ten gevolge van de translatiegolf ook krachten ten gevolge van de vulstraal voorkomen, zodat vullen in het algemeen maatgevend is.

3.4 Resultaten

3.4.1 Algemeen

De gevolgde werkwijze (aangepaste TROS-procedure) om de langs- en dwarskrachten op een schip tijdens het voorttrekken van de roldeur te bepalen is weergegeven in paragraaf 3.2 en figuur 14.

De met deze procedure verkregen resultaten zijn als volgt onderverdeeld:

- afvoercoëfficiënten vul- respektievelijk ledigopening, bepaald met behulp van het schaalmodel (par. 3.4.2)
- langskrachten op de schepen ten gevolge van translatiegolven bepaald met behulp van het wiskundig model (par. 3.4.3)
- langs- en dwarskracht op de schepen ten gevolge van de vulstraal bepaald met behulp van het schaalmodel en gegevens uit het wiskundig model (par. 3.4.4)
- de in de proeven optredende maximum langs- respektievelijk dwarskrachten (momenten) ten gevolge van translatiegolven en vulstraal (par. 3.4.5).

3.4.2 Afvoercoëfficiënten roldeuropeningen

In het wiskundig model (rekenprogramma TROS) wordt het debiet door de vul- of ledigopening bepaald uit het verval (Δh), de doorstroomopening (A) en een afvoercoëfficiënt (μ) met behulp van de volgende formule:

$$Q(t) = \mu(b_r) \cdot A(h,t) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h(t)} \quad (3.4.2.1)$$

(bij een smalle voorhaven zou $h(t)$ eigenlijk $(H_1(t) - h_3(t))$ moeten zijn ($H_1(t)$ energiehogte bovenstrooms, $h_3(t)$ = waterstand benedenstrooms) de verschillen blijven echter gering).

$Q(t)$ = debiet door roldeuropening op tijdstip (t) [m^3/s]

$\mu(b_r)$ = afvoercoëfficiënt roldeuropening, afhankelijk van de roldeuropening $[-]$

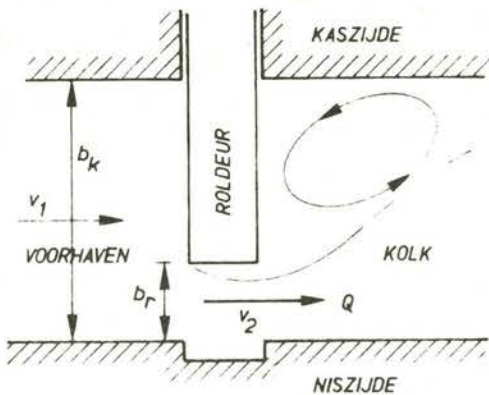
$A(h,t)$ = oppervlakte roldeuropening, afhankelijk van waterstand (h) en tijd (t) [m^2]

g = versnelling van de zwaartekracht [m/s^2]

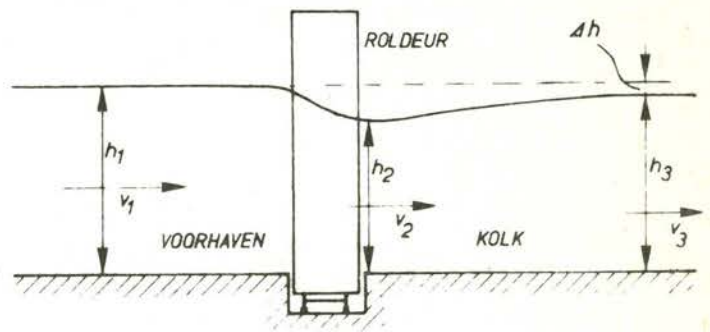
$\Delta h(t)$ = verval over de roldeur op tijdstip t [m]

In bovenstaande formule is alleen de afvoercoëfficiënt ($\mu(b_r)$) onbekend, de andere parameters zijn bekend en wel als volgt gedefinieerd:

- doorstroomopening $A(h,t)$; de doorstroomopening wordt bepaald door de breedte van de opening (b_r) (zie fig. 3.4.2.1) en de waterstand (h). De breedte van de opening b_r is een functie van de tijd (in het wiskundig model). De waterstand ter plaatse van opening wordt in het wiskundig model ingevoerd als de waterstand ter plaatse van de roldeur zonder de invloed van de vulstraal ($h_2=h_3$). Daar deze waterstand in het (beperkte) schaalmodel hetzelfde moet worden gedefinieerd (om vergelijkbare resultaten te verkrijgen) is de waterstand ver achter de roldeur (h_3) gekozen (zie fig. 3.4.2.2). Ter plaatse van dit meetpunt (ongeveer 7 m na de roldeur (modelmaten)) is de stroming weer ongeveer uniform wat overeenkomt met het prototype.
- het verval is in het wiskundig model gedefinieerd als het waterstandsverschil direkt over de roldeur (translatiegolven in kolk en voorhaven meegenomen), met inachtneming van de hierboven vermelde aanname $h_2 = h_3$. Bij de bepaling van de afvoercoëfficiënt uit de modelresultaten is dit verval gedefinieerd tussen het punt direkt voor de roldeur (h_1) en het punt ver achter de roldeur (h_3) overeenkomend met bovengenoemde reden.



Figuur 3.4.2.1 Boveenaanzicht instroming door roldeuropening



Als in het model het debiet, de waterstanden (h_1 en h_3) en de roldeuropening bekend zijn kan de afvoercoëfficiënt bepaald worden.

De definitie van het doorstroomoppervlak ($A(h,d)$) voldoet niet meer als de roldeur zich nog in de nis bevindt. Tevens zal als de roldeur al buiten de

nis is, het doorstroomoppervlak iets groter zijn ten gevolge van stroming onder de deur en stroming door de kas.

Bovenstaande is verwerkt met behulp van de volgende formules:

Als de roldeur in de beginpositie staat $b_r = -0,90$ m (zijkant roldeur staat 0,90 m in de nis, gerekend vanuit de kolkwand aan de niszijde) en de afdichting is afgeblazen ontstaat er een lekopening:

$$A(b_r = -0,90 \text{ m}) = b_k \cdot b_1 + 2 \cdot h_3 \cdot b_1 \quad [\text{m}^2] \quad (3.4.2.2)$$

spleet onder spleten naast
de deur de deur

waarin: b_k = breedte kolk [m]
 b_1 = breedte spleet [m]
 h_3 = waterstand ter plaatse van punt 3 [m]
 (zie fig. 3.4.2.2)
 $A(b_r)$ = roldeuropening [m²].

(Opmerking: in het wiskundig model is gesteld dat tijdens het afblazen van de afdichting deze lekopening lineair met de tijd toeneemt van 0 op $t = 0$ s tot $A(b_r = -0,90)$ op $t = 5$ s (tijd waarop afdichting is afgeblazen.))

Voor grote roldeuropeningen geldt dat het doorstroomoppervlak (A) ongeveer gedefinieerd kan worden als:

$$A(b_r) \approx b_r \cdot h_3 \quad [\text{m}^2] \quad (3.4.2.3)$$

b_r = breedte roldeuropening (vanuit kolkwand aan niszijde, zie fig. 3.4.2.1).

Ten einde de overgang tussen negatieve roldeuropening ($b_r < 0,00$) en grote roldeuropeningen te realiseren is gekozen voor de volgende oplossing:

voor $-0,90 < b_r < b_1$ (spleetbreedte) geldt:

$$A(b_r) = b_k \cdot b_1 + 2 \cdot h_3 \cdot b_1 \quad (3.4.2.3a)$$

voor $b_r > b_1$ geldt:

$$A(b_r) = b_r \cdot h_3 + \frac{24-b_r}{24} (b_k \cdot b_1 + h_3 \cdot b_1) \quad (3.4.2.3b)$$

(geringe diskontinuiteit in doorstroomoppervlak t.p.v. $b_r = b_l$ is te verwaarlozen).

De spleetopeningen zijn in het schaalmodel niet geheel op schaal weergegeven. De spleetbreedte b_l bleek ongeveer 0,074 m (prototypemaat) in plaats van 0,06 m te zijn.

De afvoercoëfficiënten zijn bepaald bij roldeuropeningen van: -0,90, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7,5, 10, 13, 16 en 19 m.

Hierbij wordt rekening gehouden met de lekopeningen.

Voor $-0,90 < b_r < b_l$ geldt:

$$\mu_{\text{model}} = \frac{Q}{A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}} \quad (3.4.2.4)$$

Net als in vergelijking met 3.4.2.1 zou het verval Δh beter kunnen worden gedefinieerd als $(H_1 - h_3)$. De verschillen zijn echter gering ($v^2/2g$ is bij de smalle voorhaven in het model maximaal 1 mm prototype bij een beginverval van 0,50 m prototype).

voor $b_r > b_l$ geldt:

$$\mu_{\text{model}} = \frac{Q - A_{\text{lek}} \cdot \mu_{\text{lek}}}{b_r \cdot h_3 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}} \quad (3.4.2.5)$$

$$A_{\text{lek}} = \frac{b_k - b_r}{b_k} (b_k \cdot b_l + h_3 \cdot b_l) \quad (3.4.2.6)$$

$$\mu_{\text{lek}} = \mu(b_r = -0,90 \text{ m}). \quad (3.4.2.7)$$

In het geval van vullen is de met de hierboven genoemde formules berekende afvoercoëfficiënt ongeveer gelijk met de afvoercoëfficiënt van de roldeuropeningen in prototype.

In het geval van ledigen treedt er echter een andere situatie op. Het water stroomt dan uit in de voorhaven en daar de voorhaven (in proto) breder is dan de kolk treedt er een extra verlies op ten opzichte van de vulsituatie. De afvoercoëfficiënt voor ledigen zal dus kleiner zijn dan voor vullen.

Deze afvoercoëfficiënt voor ledigen is afgeschat door het verval tussen voorhaven en kolk te vergroten met een extra verval dat volgt uit de regel van Carnot:

$$\Delta h_{\text{extra}} \approx (v_r^{\text{vullen}} - v_v^{\text{vullen}})^2 - (v_r^{\text{vullen}} - v_k^{\text{vullen}})^2$$

v_r^{vullen}	= snelheid in de roldeuropening (vullen)
v_r^{l}	= snelheid in de roldeuropening (ledigen)
v_k^{vullen}	= snelheid in de kolk (vullen)
v_v^{l}	= snelheid in de voorhaven (ledigen)

De resultaten van de proeven en de berekeningen zijn opgenomen in tabel II en figuur 15. Voor enkele roldeuropeningen is gecontroleerd of de (berekende) afvoercoëfficiënten debiet of waterstandsafhankelijk waren. Uit de resultaten bleek dat deze invloed zeer gering was (zie tabel II en fig. 15).

De "afvoercoëfficiënten" bij geheel geopende roldeur konden niet in het model bepaald worden (verval werd te gering bij het maximum te realiseren debiet).

3.4.3 Wiskundig model

Met behulp van het wiskundig model wordt de langskracht op het schip tengevolge van translatiegolven bepaald. Tevens worden met dit model debieten en waterstanden (op bepaalde tijdstippen) bepaald welke als randvoorwaarden dienen voor het bepalen van de vulstraalkrachten in het schaalmodel.

De verschillende berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van de in paragraaf 3.4.2 bepaalde afvoercoëfficiënten van de vul/ledigopeningen en de gegevens uit tabel I (meetprogramma).

Hierbij dient de volgende opmerking te worden gemaakt:

de afvoercoëfficiënten zijn bepaald bij permanentie, de afvoercoëfficiënten bij niet-permanentie zouden hiervan kunnen afwijken door traagheidseffekten. Tevens kan het uit de (holle) roldeur stromende water invloed hebben op de afvoercoëfficiënten.

Een voorbeeld van de uitvoer van het voor dit wiskundig model gemaakte rekenprogramma is gegeven in de figuren 16 en 17 waarin staat vermeld:

- de roldeurbeweging, gedurende het vóórtrekken (fig. 16)
- de langskracht tengevolge van de translatiegolf als functie van de tijd (fig. 17; proef PH3). De langskracht is in het geval van vullen positief gedefinieerd als deze van de roldeur af is gericht. In het geval van ledigen is de langskracht positief gedefinieerd als deze naar de roldeur toe is gericht.
- het debiet in de vulopening als functie van de tijd (fig. 16; proef PH3)
- de waterstand achter in de kolk als functie van de tijd (fig. 16; proef PH3).

In de figuren 19 t/m 24 zijn de langskrachten tengevolge van translatiegolven weergegeven en tevens de invloed van de vulstraal, zoals die uit de resultaten van de proeven in het (beperkte) schaalmodel (par. 3.4.4) volgen.

3.4.4 Vulstraalmetingen in schaalmodel

De met het wiskundig model berekende debieten en waterstanden bij verschillende roldeuropeningen (resp. tijdstippen) worden in het schaalmodel ingesteld en de langs- en dwarskrachten worden gemeten. De krachten tengevolge van de vulstraal worden dus slechts op enkele tijdstippen van het vulproces bepaald (om de 20 seconden).

In figuur 19 t/m 24 zijn de langskrachten tengevolge van de vulstraal van de verschillende proeven weergegeven en opgeteld bij de langskracht tengevolge van de translatiegolven. In figuur 18 is een voorbeeld gegeven van het verloop van de dwarskracht (proef PH3). Hiernavolgend worden de resultaten van de verschillende proeven in het schaalmodel behandeld:

langskrachten tengevolge van de vulstraal

Het verloop met de tijd van de langskracht tengevolge van de vulstraal is zoals hierboven reeds is vermeld gegeven in de figuren 19 t/m 24.

Het maximum van de vulstraalkracht in een proef treedt ongeveer op ter plaatse van het maximum debiet in de vulopening.

Aannemelijk is dat de langskracht tengevolge van de vulstraal evenredig is met

$$F_{\text{vul}} \propto v_{\text{str}}^2 \cdot b_r$$

waarin v_{str} = snelheid in de straal ($Q/b_r \cdot h$) |m/s|
 b_r = breedte vulopening |m|

Zowel voor de duweenheid als voor het binnenvaartschip ("3000 tonner") blijkt het maximum van bovenstaande grootheid ($v_{\text{str}}^2 \cdot b_r$) (bij een roldeurprogrammering met een snelheid van 0,03 m/s) ongeveer bij $t = 100 \text{ à } 120$ seconden op te treden, dat wil zeggen vlak voor het bereiken van het maximum debiet in de vulopening.

De uit de proefresultaten bepaalde maximum (positieve of negatieve) vulstraalkrachten zijn opgenomen in figuur 25, en uitgezet tegen de afstand tot de roldeur (a) en de roldeursnelheid (b).

Uit de resultaten (fig. 25(a)) blijkt dat de maximum langskracht tengevolge van vulstraal op de duweenheid ongeveer optreedt op een positie van ongeveer 25 m vanaf de roldeur, terwijl de hoge voorhavenwaterstand (NAP +1,00 m) maatgevend is in deze situatie.

De grootste langskrachtkomponent van de vulstraal op de duweenheid is de langskracht tengevolge van de waterspiegelafzinking. Direkt achter de deur is de invloed van de direkte straalwerking iets groter dan die van de waterspiegelafzinking, zodat in deze positie van de duwbak de langskracht (t.g.v. de vulstraal) minder negatief is.

Bij een ander roldeursnelheid blijkt de langskracht tengevolge van de vulstraal ook een negatief maximum te bezitten en wel bij 0,05 à 0,06 m/s (fig. 25(b)). De verklaring hiervoor kan zijn dat bij grote roldeursnelheden (groter dan 0,06 m/s) de langskracht tengevolge van de direkte straalwerking groter wordt tengevolge van het grotere trefoppervlak van de straal op de boeg, waardoor de positieve kracht toeneemt en de totale kracht minder negatief wordt. Bij een grotere roldeursnelheid (groter dan 0,06 m/s) treedt eveneens een relatief grote maximum positieve langskracht op, wat eveneens verklaard zou kunnen worden met het bovengenoemde.

Met betrekking tot het binnenvaartschip is uit de proefresultaten gebleken dat het teken van de vulstraalkracht afhangt van de positie van het schip, dit is in het geval van de duweenheid niet het geval. De tekenafspraken (definitieve) van de langskracht is gegeven op blz. 45.

Direkt achter de roldeur (9,5 m) is de langskrachtkomponent tengevolge van de direkte straalwerking overheersend, bij een grotere afstand van de roldeur (+ 50 m) is de langskrachtkomponent tengevolge van de waterspiegelafzinking maatgevend.

De waterstand (vgl. PH10 en 14, fig. nr. 22 en 24) is niet van grote invloed op de langskracht tengevolge van de vulstraal.

De positie van het schip in breedterichting van de sluiskolk is in tegenstelling tot de duweenheid (vgl. PH6 en 7, tabel III), belangrijk voor de grootte en richting van de kracht (vgl. proef PH10 en 11). Als het binnenvaartschip aan de kaszijde ligt afgemeerd is er geen of bijna geen invloed van de direkte straalwerking en is dus de langskrachtkomponent tengevolge van de waterspiegelafzinking maatgevend.

Dwarskrachten veroorzaakt door de vulstraal

Een voorbeeld van gemeten dwarskrachten is gegeven in figuur 18 (proef PH3). Deze dwarskrachten zijn gemeten op bepaalde punten in de schepen (zie fig. 3.4.4.1 en 3.4.4.2). Daar deze meetpunten niet overeenkomen met de positie van voor- en achtertros van deze schepen dienen deze dwarskrachten nog te worden omgerekend.

Deze omrekening is uitgevoerd door de totale dwarskracht en het moment (om middenschip) op het schip te bepalen.

Deze omrekening is voor de duweenheid als volgt:

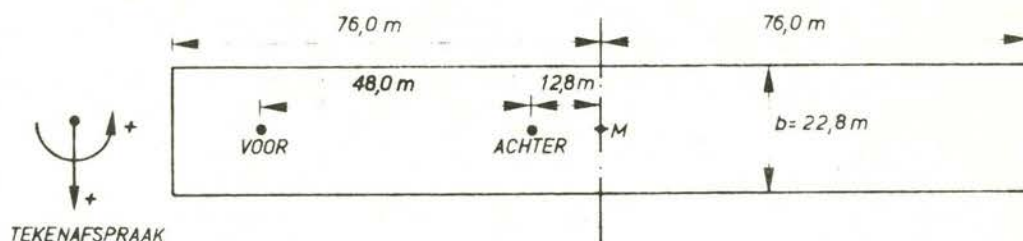
$$D_{\text{tot}} = D_{\text{voor}} + D_{\text{achter}} \quad [^{\circ}/\text{oo}] \quad (3.4.4.1)$$

$$M = 60,8 D_{\text{voor}} + 12,8 D_{\text{achter}} \quad [\text{m.}^{\circ}/\text{oo}] \quad (3.4.4.2)$$

(zie fig. 3.4.4.1)

D = dwarskracht $[^{\circ}/\text{oo}]$

M = moment om middenschip $[^{\circ}/\text{oo.m}]$



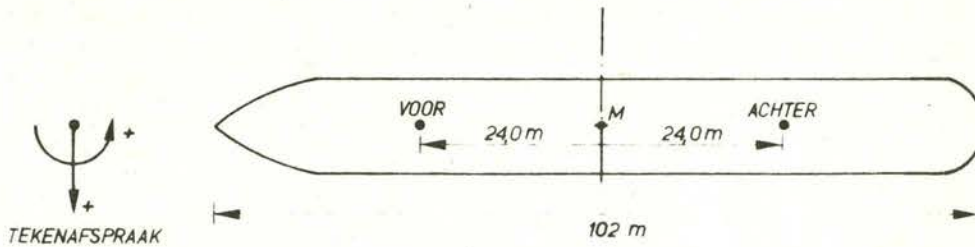
Figuur 3.4.4.1 Bovenanzicht duweenheid met dwarskrachtmeetpunten

Voor het binnenvaartschip volgt:

$$D_{\text{tot}} = D_{\text{voor}} + D_{\text{achter}} \quad [^{\circ}/\text{oo}] \quad (3.4.4.3)$$

$$M_M = (D_{\text{voor}} - D_{\text{achter}}) \times 24 \quad [\text{m.}^{\circ}/\text{oo}] \quad (3.4.4.4)$$

(zie fig. 3.4.4.2)



Figuur 3.4.4.2 Boven aanzicht binnenvaartschip ("3000 tonner") met dwarskrachtmeetpunten

De maxima van de totale dwarskrachten en momenten zijn afgeschat uit de verschillende metingen en opgenomen in tabel IV. De tekenafspraken met betrekking tot dwarskracht en moment zijn vermeld in de figuren 3.4.4.1 en 3.4.4.2.

In principe zijn alleen die dwarskrachten van belang welke van de kolkwandzijde, waaraan het schip ligt afgemeerd, af gericht zijn. Deze kracht moet namelijk worden opgenomen door de trossen, een kracht die juist andersom is gericht wordt opgenomen door het remmingwerk.

Met behulp van de in tabel IV genoemde totale dwarskrachten en momenten is per proef de maximum van de kolkwand af gerichte kracht bepaald en wel op volgende wijze

$$D_{\max} = \frac{\sum D}{2} + \frac{M}{\frac{1}{2} \cdot \ell_s} \quad (3.4.4.5)$$

(hierbij is dus aangenomen dat de schepen op de bij de boeg en hek geplaatste bolders wordt afgemeerd)

Voor de duweenheid geldt : $\frac{1}{2} \cdot \ell_s \approx 75 \text{ m}$
 voor de "3000 tonner" geldt: $\frac{1}{2} \cdot \ell_s \approx 50 \text{ m}.$

Deze maximum dwarskrachten (bepaald t.p.v. de bolders van het schip) zijn vermeld in voornoemde tabel IV. Het totale beeld van de dwarskracht maxima is dusdanig dat het moeilijk is om konklusies te trekken uit de resultaten. Dit kan geïllustreerd worden met de resultaten van b.v. de proeven series 1 t/m 5 en 6 t/m 9.

Het verschil tussen deze proevenseries is de waterstand (NAP +1,00 m in proef 1 t/m 5, NAP -0,50 m in proef 6 t/m 9). Bij beide series is de tendentie aanwezig dat als de duweenheid verder van de deur wordt gepositioneerd de dwarskracht aan de voorzijde van het schip positief is. De op het schip in de serie proeven 6, 8 en 9 blijft echter altijd positief. Het maximum van deze totale dwarskracht treedt op bij proef 8 (schip op 25 m van de roldeur). In het geval van de serie proeven 1, 3, 4 en 5 neemt de totale dwarskracht op het schip toe als het schip verder van de roldeur wordt gepositioneerd. De totale dwarskracht is $-0,015 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ bij een positie op 7,5 m achter de roldeur en neemt toe tot $0,046 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ bij een positie van 100 m achter de roldeur. De verschillen tussen deze series proeven zijn niet te verklaren.

Als we aannemen dat de maximum dwarskrachten die nog in de kabels kunnen worden opgenomen, ongeveer 10% van de toelaatbare langskracht zijn, dan blijken de dwarskrachten bij de duweenheid in de meeste gevallen niet maatgevend te zijn; deze zijn namelijk altijd kleiner dan $0,07 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$. In het geval de duweenheid aan de kaszijde is afgemeerd treedt er de hoogste (van de kolkwand af gerichte) dwarskracht op (ongeveer $0,06 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$).

In het geval van het binnenvaartschip blijkt dat het gestelde dwarskrachtkriterium ($0,10 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$) in verschillende gevallen (proef PH10, 11, 13) ruim wordt overschreden (zie tabel IV).

Dit betekent dat het ontoelaatbaar is om een binnenvaartschip (3000 tonner) direkt achter de roldeur te positioneren. Uitgaande van de resultaten van het permanentiemodel zou het aan te bevelen zijn om het binnenvaartschip op een veilige afstand van ongeveer 75 m achter de roldeur te positioneren.

Uit resultaten, die in hoofdstuk 5 zijn gepresenteerd, blijkt evenwel dat in verband met het verschil tussen permanentie (vulstraalproeven) en niet-permanentie (simuleren nivelleerproces in schaalmodel) de vulstraal na ongeveer 50 m achter de roldeur weinig invloed meer heeft.

In het geval van de duweenheid (brede duweenheid van 22,8 m) is een positionering direkt achter de roldeur wel mogelijk. In feite kan de dwarskracht alleen worden opgenomen als de tros strak staat. De trossen (vooral voortros) moeten zo kort mogelijk zijn, en daar er toch maar een klein verval is kan dit dus ook.

Mocht bij de duweenheid de voortros slap staan dan is de duweenheid zo breed ten opzichte van de sluiskolkbreedte dat het schip als het van de niszijde

van de kolk wordt afgeduwd bijna direkt weer tegen de kaszijde van de kolk ligt.

Opmerking: deze 10% is bepaald uitgaande van een strakstaande kabel die onder een hoek van 1 op 10 is uitgelegd met de kolkwand.

Opmerking: daar zowel bij de positionering aan kas- als aan niszijde van de kolk op de duweenheid een van de kolkwand af gerichte dwarskracht op het schip wordt uitgeoefend zal er ongeveer in het midden van de kolk een gebied zijn waar de dwarskracht op het schip ongeveer nul is.

3.4.5 Totale langs- (en dwars-) krachten op een schip in de kolk

De totale langskracht op een schip wordt verkregen door de langskracht ten gevolge van de translatiegolven (par. 3.4.3) en de langskracht tengevolge van de vulstraal (par. 3.4.4) op te tellen (zie par. 3.2).

Enkele voorbeelden van deze optelling zijn gegeven in de figuren 19 t/m 24.

De resultaten van de verschillende proeven, te weten de maximum positieve en maximum negatieve langskrachten zijn uit verschillende proeven bepaald en weergegeven in de figuren 26 t/m 29 en tabel III.

Voor de verschillende scheepstypen geldt het volgende:

duweenheid

De langskracht op de duweenheid is afhankelijk van de volgende variabelen, positie van de duweenheid, waterstand, verval en roldeurprogrammering. Met betrekking tot deze verschillende variabelen volgt uit de resultaten:

- De maximum absolute waarde van de langskracht op de duweenheid treedt op als de duweenheid direkt achter de roldeur wordt gepositioneerd. De langskracht wordt bijna niet beïnvloed door een positionering aan kas- of aan niszijde van de kolk. Dit daar de breedte van de duweenheid ongeveer de kolkbreedte is
- een afnemende waterstand (bij eenzelfde verval) leidt tot grotere absolute waarden van de langskrachten. Deze maximum langskrachten ontstaan aan het einde van het nivelleerproces (negatief maximum) tengevolge van de afbouw van het debiet. Deze langskracht wordt niet meer beïnvloed door de vulstraal (zie o.a. fig. 19 en 21). Uitgaande van lineaire interpolatie van

de in figuur 27(a) geschetste lijn, zal het langskrachtkriterium van de duweenheid ($0,70 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$) bij een waterstand op de voorhaven van NAP -2,00 m worden overschreden. In dit geval is gekozen voor lineaire interpolatie omdat niet duidelijk is hoe de relatie tussen waterstand en maximum (positieve of negatieve) langskracht is. De relatie tussen de eerste translatiegolf en de waterstand is nog wel te bepalen, als er eenmaal reflectie tegen de gesloten roldeur is opgetreden is dit niet meer mogelijk.

De minimale waterstand waarbij nog gesloten mag worden is NAP -2,50 m. Dit betekent dat het criterium nog niet wordt overschreden als wordt uitgegaan van de minimale waterstanden daar dan (in de vulsituatie) de waterstand op de voorhaven NAP -2,00 m is en in de kolk NAP -2,50 m.

- in figuur 27(b) is de maximum en minimum langskracht als functie van het verval uitgezet (bij een waterstand van NAP -0,50 m op de voorhaven). Het maatgevende geval treedt logischerwijze op bij het maximum verval waarbij de roldeur nog mag worden voorgetrokken ($\Delta h = 0,50 \text{ m}$).

De roldeurprogrammering (snelheid en T_{10} ; zie fig. 3.3.2) is voor deze proeven hetzelfde

- in figuur 28 is de maximum en minimum langskracht als functie van de roldeursnelheid uitgezet. Ook hier is de minimum langskracht weer maatgevend. Roldeursnelheden tot $\pm 0,04 \text{ m/s}$ blijken nog mogelijk te zijn. Als wordt uitgegaan van waterstanden van $\pm \text{NAP } -0,50 \text{ à } -1,00 \text{ m}$. Uitgaande van een minimale waterstand van NAP -2,50 m op de voorhaven is een roldeursnelheid van $\pm 0,028 \text{ m/s}$ nog mogelijk (volgt uit extrapolatie van fig. 27(a) en 28).

De langskrachten op een duweenheid bij ledigen blijken niet maatgevend te zijn (vgl. PH I en LI, tabel III). Dit geldt ook voor het binnenvaartschip.

binnenvaartschip ("3000 ton")

In figuur 29(a) en (b) zijn de resultaten van de proeven met het binnenvaartschip verwerkt. Uit de resultaten blijkt dat het binnenvaartschip (t.o.v. de duweenheid) niet maatgevend is voor de langskracht.

Eveneens als bij de duweenheid treedt de (absolute) maximum langskracht direct achter de roldeur op (zie fig. 29(a)). De positie in breedterichting is voor dit schip wel van belang (vgl. proef PH 10 en PH 11, tabel III).

In het geval van waterstandsvariatiën (fig. 29(b)) treedt het maatgevende geval op bij lage waterstanden op de voorhaven.

Het verloop van de maximum (positieve) langskracht is hierbij duidelijk verschillend van het verloop bij de duweenheid (fig. 29(a)), dit tengevolge van

het effect van de vulstraal.

Naast de maximum (resp. minimum) langskracht op het schip is ook het aantal tekenwisselingen van de langskracht een maat voor de kwaliteit van het vulsysteem. Tekenswisseling van de kracht leidt tot het verplaatsen van de langskracht van voor- naar achtertros (of omgekeerd), dit gaat gepaard met dynamische krachten ("schip valt in de trossen") wat zoveel mogelijk vermeden dient te worden.

Uit de gegeven voorbeelden, figuur 19 t/m 24, blijkt dat zowel voor de duweenheden als voor het binnenvaartschip het aantal tekenwisselingen zeer beperkt is. Bij het binnenvaartschip treden soms iets meer tekenwisselingen op; de langskracht is hierbij dusdanig klein dat deze wisselingen verwaarloosd kunnen worden.

De resultaten van de (totale) dwarskrachten op de duweenheden respectievelijk het binnenvaartschip zijn reeds vermeld in paragraaf 3.4.4; dit daar alleen de vulstraal dwarskrachten veroorzaakt.

Bovenstaande resultaten zijn verkregen met behulp van de "TROS-procedure". Voor het advies voor de tijdelijke situatie wordt verondersteld dat deze procedure voldoet. Dit is gecontroleerd met vulproefresultaten in hoofdstuk 5. Uit de resultaten van paragraaf 5.6 blijkt dat beide methodes leiden tot het in dit hoofdstuk gegeven advies.

3.5 Konklusies

Met betrekking tot het onderzoek naar de langs- en dwarskrachten op schepen tegenvolge van het vóórtrekken van de roldeur in de tijdelijke situatie van de duwvaartsluizen in de Philipsdam kunnen de volgende konklusies worden getrokken (verval kleiner dan 0,50 m).

langskrachten:

- maatgevende langskrachten op de schepen treden op als deze direkt achter de roldeur (achter de stopstreep op $\pm 2,0$ m van de roldeur) wordt gepositioneerd (fig. 26 en fig. 29a).
- een variatie van de scheepsligging in breedterichting van de sluiskolk heeft in het geval van de duweenheden geen (duidelijke) invloed op de maximum langskracht. In het geval van het binnenvaartschip (3000 ton) verandert de

vulstraalkracht van teken (zie blz. 47) waardoor ook de maximum langskracht verandert

- lagere waterstanden (in kolk en voorhaven) leiden tot grotere maximum (negatieve, d.w.z. naar de roldeur toe gerichte) langskrachten (in geval van vullen), fig. 27(a).
 - de langskracht op een schip neemt toe bij toenemend verval (verdere randvoorwaarden gelijk)
 - de roldeursnelheid beïnvloed zeer duidelijk de maximale langskracht. Bij een verval van 0,5 m leidt een roldeursnelheid van 0,03 m/s zelfs bij lage waterstanden voor schutten) nog niet tot overschrijding van het langskracht-criterium van de duweenheid. Daar de duweenheid (m.b.t. de langskracht) het maatgevende schip is kan gekonkludeerd worden dat een roldeursnelheid van 0,03 m/s voor de tijdelijke situatie van de Philipsdamsluizen niet tot ontoelaatbare langskrachten leidt. In het roldeurprogramma is het automatisme opgenomen dat de roldeursnelheid wordt vergroot tot 0,25 m/s als het momentane verval over de roldeur kleiner wordt dan 0,10 m.
 - de maximale langskrachten in het geval van ledigen blijken niet maatgevend te zijn
 - de schematisaties van de sluiskolk, vooral het niet opnemen van de kolkwandriolen in de berekening hebben, zoals afgeschat in paragraaf 2.5 invloed op de langskrachten tengevolge van translatiegolven.
- Uitgaande van de in paragraaf 2.5 gestelde reductie van de translatiegolf-langskrachten van $\pm 10\%$ kan worden gekonkludeerd dat de in dit rapport gepresenteerde (maximale) langskrachten aan de veilige kant zijn afgeschat.

dwarskrachten

- de dwarskrachten zijn gemeten aan parallel aan de kolkwand afgemeerde schepen. Bij draaiing van de schepen van de kolkwand af zullen de dwarskrachten toenemen; het is dus van belang dat de dwarskrachten naar de kolkwand toe gericht zijn of klein blijven.
 - de dwarskrachten op de duweenheid overschrijden het gestelde criterium met (zie tabel IV).
- Ten aanzien van deze brede duweenheid kan nog gesteld worden dat de mogelijkheden tot draaiing zeer gering zullen zijn vanwege de kleine overbreedte (1,2 m) van de sluiskolk.
- de dwarskracht op het binnenvaartschip ("3000 tonner) in het geval van vullen overschrijdt het gestelde criterium in ruime mate. Het is dan ook aan te bevelen om de binnenvaartschepen buiten de invloed van de vulstraal

- af te meten, en wel (bij een verval van 0,5 m) op een afstand van \pm 50 m.
- de dwarskracht op het binnenvaartschip bij ledigen is niet bepaald (deze dwarskrachten zullen geringer zijn dan bij vullen). Het is echter eenduidiger (i.v.m. het sluisbedrijf) om bovenstaande aanbeveling aan te houden
 - de invloed van de schematisatie van de sluiskolk heeft, zoals afgeschat in paragraaf 2.5, weinig of geen invloed op de maximum dwarskrachten.
 - bovengenoemde aanbevelingen (adviezen), die op grond van de zogenaamde "TROS-procedure" zijn gegeven, zijn gecontroleerd met behulp van modelgegevens, welke zijn verkregen met normale vulproeven (zie par. 5.6). Beide methoden leiden tot bovengenoemde aanbevelingen.

4 Onderzoek met betrekking tot de roldeurprogrammering in de definitieve situatie

4.1 Inleiding

Zoals reeds in paragraaf 1.2 en 1.3 is aangegeven kan het vóórtrekken van de roldeur ook worden toegepast in de definitieve situatie van de duwvaartsluizen in de Philipsdam.

Hiernavolgend wordt het schutsysteem van de duwvaartsluizen bekend verondersteld. De nivelleerfase bij schutten van Zijpe (zout) naar Zoommeer (zoet) komt voor de uitwisselfase. Aan het einde van deze uitwisselfase (zout vervangen voor zoet) is het verval over de roldeur ongeveer nul daar er een open verbinding is tussen kolk en Zoommeer via kolkwandopeningen en omarmend zoet. De toepassing van het vóórtrekken van de roldeur blijft dan ook beperkt tot de nivelleerfase bij schutten van Zoommeer naar Zijpe welke plaatsvindt na het (gedeeltelijk) uitwisselen van zoet voor zout water.

In eerste instantie werd het vóórtrekken van de roldeur tot die situaties waarin het beginverval over de roldeur kleiner was dan 0,50 m (maximum verval i.v.m. horizontale krachten op de roldeur).

In R 1507 [1] is aangegeven dat het mogelijk moet zijn om het vóórtrekken van de roldeur in alle gevallen van nivelleren naar Zijpe toe te passen. Het gedeelte van het verval dat groter is dan 0,50 m wordt met behulp van het doorlaatwerk genivelleerd. Daarna wordt de roldeur vóórgetrokken en de rioolschuiten van het doorlaatwerk gesloten, dit levert tijdwinst (zie verder R 1507 [1]).

In de definitieve situatie zullen ook de dichtheidsverschillen een rol gaan spelen bij het vóórtrekken van de roldeur. Afhankelijk van het feit of er opwaarts wordt uitgewisseld is de kolk of geheel zoet of gelaagd (zout/zoet)*. Dit dichtheidsverschil geeft een extra complicatie bij het bepalen van de langs- en dwarskrachten op de schepen in de kolk.

Daar er over de verschijnselen, die optreden bij het nivelleren van een schutkolk in het geval van een dichtheidsverschil over de vul/ledigdeur weinig be-

*Opmerking: daar de toepassing van het vóórtrekken van de roldeur in de definitieve situatie is beperkt tot de nivelleerfase van Zoommeer naar Zijpe is het water van de voorhaven altijd zout

kend is, is gekozen voor een modelonderzoek.

In hoofdstuk 2 is reeds aangegeven dat het model niet geheel overeenkomt met het prototype (zie ook hfdst. 5) om deze reden is gekozen voor de volgende procedure:

- de langs- en dwarskrachten op de schepen ten gevolge van translatiegolven, vulstraal respektievelijk stroming worden overgenomen uit hoofdstuk 3, zie bijvoorbeeld figuur 19 t/m 24 en tabel IV
- met behulp van een vergelijking tussen modelproeven met en zonder dichtheidsverschil wordt de invloed van het dichtheidverschil op langs- en dwarskrachten bepaald
- bovenstaande factoren worden opgeteld en hieruit volgen de langs- en dwarskrachten in de definitieve situatie van de duwvaartsluizen van de Philipsdam.

De opzet van dit hoofdstuk is als volgt:

- in eerste instantie zijn enkele hypothesen opgesteld met betrekking tot de invloed van dichtheidsverschillen op de langskrachten op schepen (o.a. m.b.v. oud onderzoek). Deze hypothesen hebben een functie gehad bij de opzet van het meetprogramma (par. 4.2)
- het meetprogramma is uitgewerkt in paragraaf 4.3 en opgenomen in tabel V. De proeven zonder dichtheidsverschil zijn niet in deze tabel opgenomen, hiervoor wordt verwezen naar hoofdstuk 5 respektievelijk tabel IX
- de resultaten van de proeven met dichtheidsverschil zijn gepresenteerd in paragraaf 4.4 en de vergelijking van deze proeven met de proeven zonder dichtheidsverschil is uitgevoerd in paragraaf 4.5
- in de laatstgenoemde paragraaf (par. 4.5) is een begin gemaakt met de theorievorming omtrent het beschrijven van langskrachten ten gevolge van dichtheidsverschillen in het geval van nivelleren
- de totale langs- en dwarskrachten op de schepen ten gevolge van het vóórtrekken van de roldeur in de definitieve situatie zijn behandeld in paragraaf 4.6. Deze zijn bepaald met gegevens uit hoofdstuk 3 (tijdelijke situatie) en paragraaf 4.5
- in paragraaf 4.7 volgen de konklusies met betrekking tot de invloed van het dichtheidsverschil op langs- en dwarskrachten op schepen en de konklusies met betrekking tot het vóórtrekken van de roldeur in de definitieve situatie.

4.2 Opzet meetprogramma uitgaande van enkele hypothesen over de invloed van dichtheidsverschillen

Het proevenprogramma dat voor de modelproeven met dichtheidsverschillen is opgesteld, is het resultaat van bestudering van oud onderzoek en de daaruit volgende hypothesen met betrekking tot de invloed van dichtheidsverschillen.

De invloed van dichtheidsverschillen tussen kolk en voorhaven op schepen tijdens het nivelleren, is door WL slechts enkele malen onderzocht. De volgende onderzoeken kunnen genoemd worden: Rozenburgse sluis (onderzoek M 950 [5], duwvaartsluis $280 \times 24 \text{ m}^2$) en de sluis in de Haringvlietdam (onderzoek M 662 [6], sluis van $145 \times 16 \text{ m}^2$).

Uitgaande van de resultaten van het oude onderzoek is indertijd een hypothese opgesteld, waarbij werd aangenomen dat het verschil in langskracht tussen proeven met en zonder dichtheidsverschil kon worden verklaard uit het afbuigen van de vulstraal (bij beide bovengenoemde onderzoeken is alleen het vul-len van de sluis onderzocht).

Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt echter dat deze hypothese niet juist is. Daar het meetprogramma echter met behulp van deze hypothese is op-gezet wordt er summier enige aandacht aan besteed.

Tevens is in deze paragraaf een gedeelte opgenomen waarin de invloed van een interne golf (op het grensvlak) op de langskracht op een schip wordt afgeschat.

In figuur 30 zijn enkele resultaten van het onderzoek M 950 (Rozenburgse sluis [5]) weergegeven.

In deze proevenserie zijn proeven met ($\Delta\rho = 26 \text{ kg/m}^3$) en zonder ($\Delta\rho = 0 \text{ kg/m}^3$) dichtheidsverschil uitgevoerd. In de proeven met dichtheidsverschil is uitgegaan van een geheel zoete of zoute kolk en een geheel zoute of zoete voorhaven.

Uit de resultaten blijkt dat vulproeven waarbij de voorhaven zout en de kolk zoet was, de langskracht op het schip meer negatief wordt.

Hiervoor is een hypothese opgesteld, die is gebaseerd op het afbuigen van de vulstraal. Deze hypothese is als volgt: De instromende straal zout water zal tengevolge van het dichtheidsverschil afbuigen naar de bodem. De invloed van de direkte straalwerking op het schip neemt hierdoor af, de totale langskracht zal dan ook meer negatief worden.

In het geval van vullen met zoet water in een zoute kolk geldt het omgekeerde. De straal zoet water wordt afgebogen naar het oppervlak, de direkte straalwerking op het schip neemt toe waardoor de langskracht op het schip verschuift in positieve richting. Na het uitvoeren van de proeven bleek dat bovenstaande hypothese niet juist was.

Invloed interne golf

In het geval van het vóórtrekken van de roldeur van de duwvaartsluizen in de Philipsdam zijn er ook situaties waarbij er al een grenslaag in de kolk aanwezig is bij het begin van het nivelleren. In deze situaties is het denkbaar dat er op het grensvlak een interne golf ontstaat, die invloed heeft op de langskrachten op het schip.

Hiernavolgend is aangegeven dat in het geval van vóórtrekken van de roldeur deze interne golf een niet al te grote invloed heeft.

In appendix A is een beschouwing opgenomen waarmee de invloed van de interne golf op de langskrachten op schepen in de kolk is afgeschat. De hoofdpunten uit deze appendix worden hiernavolgend behandeld.

In deze appendix is uitgegaan van de ledigsituatie, zoals later blijkt mogen bepaalde resultaten ook worden toegepast in de vulsituatie.

Uitgaande van een ledigsituatie kan uit oogpunt van de verschillendruk tussen de zoete respektievelijk zoute laag in de kolk en de zoute voorhaven worden aangetoond dat de snelheid in de zoete laag groter is dan in de zoute laag (vergelijk, vgl. A.5 en A.6 in appendix A).

Uit oogpunt van continuïteit volgt nu dat de dikte van de zoete laag meer afneemt dan die van de zoute laag, dit is de interne golf. De hoogte van deze interne golf is dus afhankelijk van het snelheidsverschil tussen de lagen.

In appendix A is aangetoond dat de verhouding tussen interne golfhoogte en externe golfhoogte (translatiegolf) kan worden beschreven met (vgl. A.14)

$$\eta_i \approx -P \cdot \epsilon \cdot \frac{c_e}{c_i} \cdot \eta_e \quad [4.2.1]$$

waarin:
$$P \approx \frac{1}{4} \cdot \frac{a_1^2 \cdot a_2}{a^2} \cdot \frac{1}{\Delta h}$$

η_e = translatiegolfhoogte (externe golf)	[m]
η_i = interne golfhoogte	[m]
c_e = voortplantingssnelheid translatiegolf (extern)	[m/s]
c_i = voortplantingssnelheid interne golf	[m/s]
ϵ = relatief dichtheidsverschil ($\Delta\rho/\rho$)	[-]
P = functie van verval en laagdikteverhouding (en dichtheidsverschil)	[-]

(opmerking: het teken van de interne golf is tegengesteld aan die van de externe golf).

Uitgaande van de aanname dat het schip geheel in de zoete laag ligt en dus alleen wordt beïnvloed door translatiegolven aan het oppervlak, kan de invloed van het dichtheidsverschil worden bepaald. De verandering van de translatiegolfhoogte aan het oppervlak ten gevolge van dichtheidsverschillen is namelijk (zie appendix A en ook collegediktaat Schönfeld [8])

$$\eta_i^{\text{opp}} = -\epsilon \cdot \frac{a_2}{a} \cdot \eta_i = P \cdot \epsilon^2 \cdot \frac{c_e}{c_i} \cdot \frac{a_2}{a} \cdot \eta_e \quad [4.2.2]$$

a_2 = dikte zoute laag	[m]
a = totale waterdiepte ($a_1 + a_2 = a$)	[m]
a_1 = dikte zoete laag	[m]
η_i^{opp} = translatiegolfhoogte aan het oppervlak ten gevolge van interne golven	[m]

Als nu wordt aangenomen dat de langskracht op een schip evenredig is met de translatiegolfhoogte kan uitgaande van een verval van 0,5 m en een relatief dichtheidsverschil van $\epsilon = 0,02$ de volgende tabel worden samengesteld. Hier-voor is gebruik gemaakt van de formules uit appendix A en van verschillende laagdikteverhoudingen van zoute en zoete laag (bij een zelfde totale laagdikte $a = 6,75$ m; de translatiegolfsnelheid van de externe golf is dan konstant $c_e \approx 8,14$ m/s)

laagdikte zoete laag [m]	laagdikte zoute laag [m]	A (zie vgl. 4.2.1) [-]	c_i (zie vgl. A.9) [m/s]	η_i^{opp}/η_e [-]
2,50	4,25	0,291	0,56	0,0011
3,50	3,25	0,437	0,58	0,0012
4,50	2,25	0,500	0,54	0,0010

Tabel 4.2.1 Verhouding tussen oppervlakte (externe) translatiegolf en door interne golf veroorzaakte translatiegolf aan het oppervlak

Uit bovenstaande tabel blijkt dat deze interne golf te verwaarlozen is.

In bovenstaande beschouwing is geen rekening gehouden met de invloed van het schip op de waterbeweging respectievelijk op de vorming van interne golven door het schip. Bij het schip is er namelijk een diskontinuiteit in de zoete laag. Uit continuïteitsoogpunt volgt dat als de externe translatiegolf het schip bereikt (en dat is ver voordat de interne golf het schip bereikt, vgl. c_e en c_i) er een interne golf ontstaat. Dit is in appendix A verder uitgewerkt.

Uitgaande van dezelfde randvoorwaarden als voor tabel 4.2.1 kan nu ook een tabel worden gemaakt met de invloed van deze interne golf op de translatiegolf op het oppervlak c.q. de langskracht op het schip. (Hierbij is aangenomen dat de doorsnede van de brede duweenheden $22,8 \cdot 3,3 \text{ m}^2$ is, van het binnenvaartschip is de doorsnede $12,2 \times 2,7 \text{ m}^2$; tevens moet gelden dat de dikte van de zoete laag groter is dan de diepgang van het schip.)

scheepstype [-]	dikte zoete laag [m]	dikte zoute laag [m]	η_i'/η_e [-]	$\eta_i^{opp'}/\eta_e$ [-]
duweenheden	3,50	3,25	5,86	0,056
duweenheden	4,50	2,25	4,36	0,029
binnenvaartschip	3,50	3,25	1,83	0,018
binnenvaartschip	4,50	2,25	1,36	0,009

Tabel 4.2.2 Invloed diskontinuiteit in de zoete laag ter plaatse van het schip op de totale externe translatiegolfhoogte

*Opmerking: de ' bij η_i' en $\eta_i^{opp'}$ geeft aan dat dit de translatiegolfhoogtes zijn ten gevolge van de invloed van het schip.

Zoals uit bovenstaande tabel blijkt, is ook de invloed van deze interne golf gering, vooral bij het binnenvaartschip. Er is geen berekening uitgevoerd voor het geval het schip door het scheidingsvlak steekt.

De konklusie die uit bovenstaande theoretische beschouwing met betrekking tot de invloed van interne golven kan worden getrokken is dat deze geringe invloed is ten opzichte van de uit het oude onderzoek volgende invloed van dichtheidsverschillen. Het meetprogramma is dan ook in feite opgezet vanuit de (foutieve) hypothese dat het verschil in de langskrachten bij proeven met en zonder dichtheidsverschil wordt veroorzaakt door de veranderingen in de vulstraalkracht. Het meetprogramma had er iets anders uitgezien, als de juiste verklaring voor de invloed van het dichtheidsverschil bekend was geweest bij het opstellen van het meetprogramma. Er waren dan minder proeven uitgevoerd. Dat wil zeggen minder proeven met scheidingsvlakpositie-variaties en minder proeven met een variatie van de afstand tussen schip en roldeur.

4.3 Meetprogramma proeven met dichtheidsverschillen

Uit de resultaten van de vorige paragraaf met betrekking tot het oude onderzoek en theoretische beschouwingen kan worden gekonkludeerd dat de volgende parameters van invloed zijn:

- vullen of ledigen van de kolk
- het dichtheidsverschil
- het scheepstype ("vulstraalkracht" verschilt per scheepstype)
- afstand van het schip tot de deur ("dit i.v.m. stijgende of duikende vulstraal")
- positie van het scheidingsvlak ("i.v.m. invloed op stijgende of duikende vulstraal")^{*}.

Het dichtheidsverschil is in deze serie proeven niet gevarieerd (steeds $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$).

Wel is de dikte van de menglaag tussen het zoute en zoete water gevarieerd. Alle proeven (zowel vullen als ledigen) zijn uitgevoerd bij het maximale toelaatbare waterstandsverschil tussen kolk en voorhaven (in geval van het vóórtrekken van de roldeur) van 0,50 m. Ook de waterdiepte van de voorhaven is niet gevarieerd (NAP +1,00 m bij vullen en NAP bij ledigen).

^{*}Opmerking: de tussen haakjes vermelde opmerkingen hebben betrekking op de veronderstellingen met betrekking tot het verschil tussen proeven met en zonder dichtheidsverschil welke in de vorige paragraaf is aangehaald.

In tavel V is het proevenprogramma vermeld, hierbij is tevens de referentieproef vermeld van de proeven zonder dichtheidsverschil (beschreven in hfdst. 5, zie tabel V).

4.4 Resultaten van de metingen

4.4.1 Inleiding

In deze paragraaf (4.4) worden de proefresultaten van het onderzoek met dichtheidsverschil behandeld en de vergelijkingen van de resultaten van proeven met en zonder dichtheidsverschil.

In eerste instantie is de reproduceerbaarheid van de proeven nagegaan. Dit geeft inzicht in de nauwkeurigheid waarmee bepaalde variabelen kunnen worden ingesteld respectievelijk geregistreerd. Dit inzicht is vooral noodzakelijk als bepaalde verschillen tussen proefresultaten verklaard dienen te worden.

De reproduceerbaarheidsproef is uitgevoerd met proef nr. VL ZZ 4, dit daar in eerste instantie de waterstand achter het schip niet was geregistreerd.

In de volgende onderdelen van deze paragraaf (4.4.3 en 4.4.4) zijn de langs- en dwarskrachten op de schepen behandeld in de verschillende situaties. Hierbij is tevens een aanzet gegeven voor de theorievorming met betrekking tot de langskracht op schepen ten gevolge van het dichtheidsverschil (behandeld in par. 4.5).

4.4.2 Reproduceerbaarheid proefresultaten (met dichtheidsverschil)

Zoals in de vorige deelparagraaf (4.4.1) reeds is vermeld is proef VL ZZ 4 herhaald. Deze herhaling geeft een indruk van de reproduceerbaarheid ("nauwkeurigheid") van de proefresultaten. Omdat deze herhaalde proef is uitgevoerd met een dichtheidsverschil geeft dit waarschijnlijk een iets te ruime "onnauwkeurighedsband" voor de proeven zonder dichtheidsverschil. Dit daar in de proeven met dichtheidsverschil de positie en dikte van de grenslaag (grensvlak) en het dichtheidsverschil per proef iets kunnen variëren.

De vergelijking van de resultaten van de proeven VL ZZ 4a en 4b zijn weergegeven in de figuren 31 t/m 34.

Uit de vergelijking tussen de resultaten van beide proeven volgt:

- de positie van het grensvlak (zie fig. 31) wordt op het begintijdstip met

een nauwkeurigheid van $\pm 0,10$ m (prototype, 2,5 mm model) ingesteld. Dit verschil wordt gedurende de proef iets geringer ($\pm 0,05$ m prototype)

- de vorm van het grensvlak (zie fig. 32) is voor beide proeven (afgezien van bovengenoemde verschuiving van $\pm 0,10$ m) ongeveer gelijk
- de langskracht op het schip (zie fig. 33) als functie van de tijd wordt vrij goed gereproduceerd. Het verschil tussen de langskrachten in beide proeven is ongeveer $0,04^0/00$. Het verschil is misschien te verklaren uit het verschil in grenslaagpositie (zie par. 4.5)
- de dwarskrachten worden niet duidelijk gereproduceerd, d.w.z. de dwarskracht aan de voorzijde van het schip wordt redelijk gereproduceerd (zie fig. 34(a)), maar de dwarskracht aan de "achterzijde" van het schip kan zeer duidelijk verschillen (zie fig. 34(b)) (ongeveer een faktor 2). Een duidelijke verklaring is hiervoor niet gevonden.

4.4.3 Langskrachten op het schip ten gevolge van het dichtheidsverschil

Met de in het meetprogramma genoemde proeven (zie tabel V) kunnen verschillende combinaties van proeven worden samengesteld om de invloed van verschillende grootheden op de langskracht te onderzoeken.

De volgende combinaties zijn onderzocht:

- invloed van de positie van de grenslaag: bij deze vergelijking van de proefresultaten wordt ook het verschil tussen proeven met en zonder dichtheidsverschil meegenomen.

Met betrekking tot de duweenheid kan met behulp van de proeven VL ZZ 4 en 7 (met dichtheidsverschil) en de proef VL 1 (zonder dichtheidsverschil) respektievelijk de proeven VL ZZ 1, 2 en 3 (met dichtheidsverschil) en VL 3 (zonder dichtheidsverschil) respektievelijk de proeven VL ZZ 5 en VL 4 en L (ZZ) 2 en L 1 de invloed van de positie van de grenslaag voor verschillende posities van de duwbak respektievelijk voor vullen en voor ledigen worden onderzocht (fig. 36, 37, 38 en 40).

De vergelijking tussen proef VL ZZ 6 en VL 12 geeft iets aan over de invloed van het dichtheidsverschil op de krachten op het binnenvaartschip ("3000 ton"), zie figuur 41

- invloed van de dikte van de grenslaag met behulp van de proeven VL ZZ 3 en 8 (duweenheid op ± 20 m van de roldeur; zie fig. 39).

De resultaten van de verschillende proeven zijn uitgesplitst naar de twee scheepstypen en hiernavolgend weergegeven.

Duweenheid

De verschillen tussen de proeven met en zonder dichtheidsverschil volgen met betrekking tot vullen uit de figuren 36, 37 en 38.

De verschillen tussen proeven (met een zoute voorhaven) met en zonder zoute laag in de kolk tot ongeveer $t = 100$ s kunnen worden verklaard uit de invloed van de interne golf. Dit kan worden gekonkludeerd uit figuur 37 waaruit blijkt dat pas bij grensvlakposities ter plaatse van de kiel van het schip duidelijke verschillen gaan optreden tussen de proeven met en zonder initiële zoute laag.

In paragraaf 4.2 was voorspeld dat deze invloed $\pm 10\%$ zou kunnen zijn; deze invloed blijkt echter iets groter te zijn, tot ongeveer 20%.

Een duidelijke verklaring voor deze vergroting van het effect van de interne golf is niet snel te geven dit daar alleen een semi-stationaire situatie eenvoudig is door te rekenen. Een situatie waarbij verschillende externe en interne translatiegolven optreden is te gekompliceerd om met een eenvoudige berekening te kunnen worden afgeschat.

Na ongeveer 120 s treedt er een vrijwel konstant verschil in langskracht op tussen de verschillende proeven. Het verschil tussen de proef zonder dichtheidsverschil en de proeven met dichtheidsverschil met grensvlakposities tussen NAP -6,25 en NAP -4,70 m is ongeveer konstant; dit verschil wordt dus vrijwel niet beïnvloed door de grensvlakpositie.

Het maximale verschil in langskracht tussen proeven met en zonder dichtheidsverschil is voor grensvlakposities tot NAP -4,70 m (1,90 m onder kiel van de duweenheid) ongeveer $0,40^{\circ}/\infty$, 120 sekonden na het afblazen van de roldeur en worden tot na het einde van het nivelleerproces ($t \approx 300$ s) gehandhaafd. Dit volgt uit de vergelijking van de proeven uit de figuren 36, 37 en 38 en figuur 35.

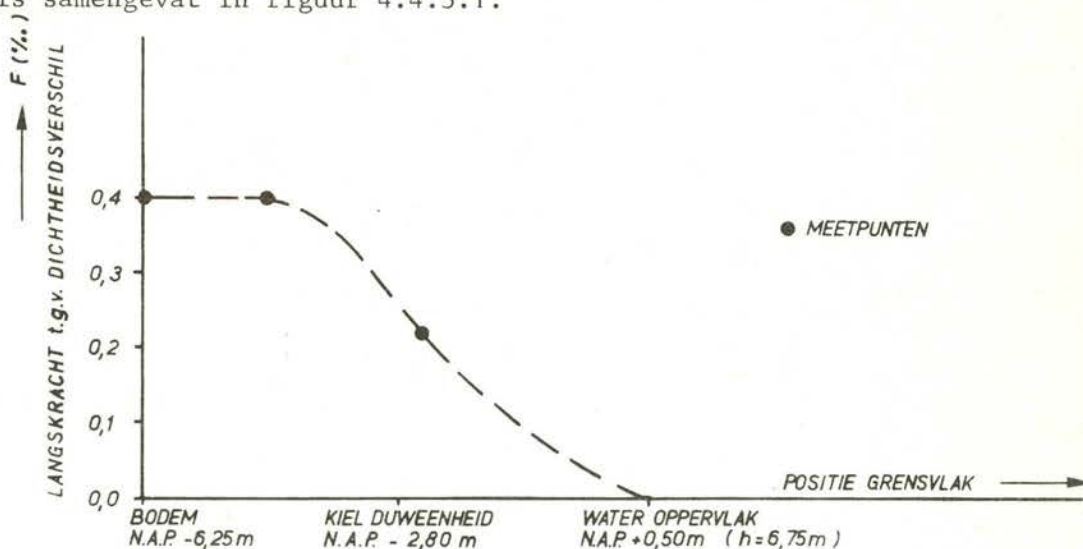
In deze laatste figuur (fig. 35) is de langskracht als functie van de tijd uitgezet tot een tijdstip tot ver na het einde van het nivelleerproces. Daar bij de proeven zonder dichtheidsverschil de langskracht nooit zo lang is doorgemeten is na het tijdstip $t = 500$ s de vergelijking niet meer goed mogelijk. Dat bij deze proeven de langskracht ten gevolge van de translatiegolven zo lang blijft gehandhaafd is het feit dat de translatiegolf terugkaatst tegen de voorhavenbeëindiging. De voorhaven en kolk werken dan ook als een sy-

steem waarin deze golf moet uitdempen. Aannemende dat in de situatie zonder dichtheidsverschil de langskracht op de schepen ongeveer symmetrisch is om de nul (na het beëindigen van het nivelleerproces) kan uit de nulpuntsverschuiving bij de proeven zonder dichtheidsverschil, de invloed van het dichtheidsverschil worden afgeschat.

Het verschil tussen de proeven met en zonder dichtheidsverschil kan worden verklaard met de hypothese van de "zoetwaterbel" die is uitgewerkt in paragraaf 4.5.

Als de positie van het grensvlak ongeveer ter plaatse van de kiel van het schip ligt dan neemt het verschil tussen de langskracht (ongeveer na $t = 120$ s) bij proeven met en zonder dichtheidsverschil af. In feite betekent het, dat als de gehele kolk zout is (voorhaven is zout) dit verschil (in langskracht) nihil moet zijn.

Dit is samengevat in figuur 4.4.3.1.



Figuur 4.4.3.1 Invloed positie scheidingsvlak op langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil op een duweenhed

Uit de vergelijking tussen figuur 36, 37 en 38 blijkt dat de positie van de duweenhed ten opzichte van de roldeur geen (of bijna geen) invloed heeft op de langskrachtcomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil. Hieruit zou feitelijk kunnen worden gekonkludeerd dat de langskrachtcomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil niet sterk wordt beïnvloed door de vulstraal (de invloed van de vulstraal neemt af bij vergroting van de afstand tot de roldeur). Dit volgt echter ook al uit het feit dat de invloed van het dichtheidsverschil pas volledig ontwikkeld na ± 200 s, de vulstraal is dan eigenlijk al niet

meer merkbaar daar het debiet zeer klein geworden is; de roldeur is dan bijna geheel geopend. Zoals reeds eerder vermeld is met behulp van de "zoetwaterbel" achter het schip wel een passende verklaring voor de invloed van het dichtheidsverschil gevonden.

De invloed van de menglaagdikte volgt uit figuur 39. De menglaagdikte is gedefinieerd als het hoogteverschil tussen de punten met geleidendheid van de dichtheid van de zoete laag plus $1/10$ respektievelijk $9/10$ van het dichtheidsverschil (geleidendheidsverschil).

Het verloop van de geleidendheden (mag ook worden geïnterpreteerd als dichtheden) in de menglagen van de proeven met verschillende menglaagdiktes (VL ZZ 3 en 8) is opgenomen in figuur 42.

Het verschil tussen deze proeven is vrij gering vooral vóór $t = 100$ s. Daar bij proef VL ZZ 8 het zoute water tot bijna boven in de vertikaal was opgemengd, was het te verwachten dat de langskracht ten gevolge van het dichtheidsverschil iets zou afnemen. Het verschil in langskracht tussen deze proeven is $\pm 0,05^0/00$ aan het einde van het nivelleerproces.

Bij het ledigen van de kolk (proef L (ZZ) 2; zie fig. 40) treedt een zelfde effect op als hierboven beschreven. De langskracht verschuift bij deze proeven niet in negatieve richting als er een dichtheidsverschil wordt aangebracht, maar juist in positieve richting. In feite treedt een zelfde effect op (zoetwaterbel) alleen de definitie van positieve langskracht is omgewisseld (eenduidigheid van de figuren).

(Opmerking: het duidelijke verschil in langskracht bij het optreden van de eerste translatiegolf wordt veroorzaakt door het feit dat in proef L 1 de waterstand in de kas en nis niet korrekt was; deze waterstand was namelijk hoger dan de waterstand in de voorhaven (zie par. 2.3).)

Het maximale verschil in langskracht is $\pm 0,15^0/00$, wat ongeveer overeenkomt met de $\pm 0,20^0/00$ bij de overeenkomstige proef in geval van vullen (VL ZZ 3, VL 3).

Ledigingsproeven met een geheel zoete kolk en zout buitenwater zijn niet uitgevoerd.

Het resultaat van deze proeven is (voor wat betreft de invloed van het dichtheidsverschil) waarschijnlijk voorspelbaar. Daar het zoute water iets meer tegendruk geeft, neemt het effectieve verval af (ongeveer 0,06 m). Het debiet

door de deur is ongelijkmatiger over de vertikaal gespreid doch deze invloed is op een afstand van ca. 1 maal de waterdiepte nauwelijks meer merkbaar. Een grote invloed van het dichtheidsverschil treedt pas op als de zouttong in de kolk kan dringen (dus als het intern Froudegetal in de roldeuropening kleiner wordt dan één). Dan zal een zelfde invloed van het dichtheidsverschil volgen als in de vulsituatie.

Binnenvaartschip (3000 ton)

De vergelijking tussen een proef met en zonder dichtheidsverschil (proef VL ZZ 6, grensvlak op $\pm 0,80$ m onder de kiel van het schip, en proef VL 12 (homogeen)) is voor dit scheepstype weergegeven in figuur 41.

De invloed van het dichtheidsverschil op de langskracht van het schip blijkt bij dit scheepstype snel af te nemen. In eerste instantie treden er verschillen tussen de proefresultaten op (bij ± 120 s) van maximaal $\pm 0,40$ ‰ dit neemt echter snel af tot $\pm 0,15\%$ op $t = 260$ s. Dit kan echter verklaard worden met de theorie van de zoetwaterbel achter het schip.

Ook de invloed van de interne golf is gering. Dit is een gevolg van het feit dat dit schip ten opzichte van de duweenheid het dwarsprofiel minder verkleint waardoor ook de tengevolge van het schip ontstane interne golven afnemen.

Opmerking:

Het verschil dat optreedt op $t = 10$ s wordt veroorzaakt door een dynamisch effect in het meetsysteem. Het schip kan over een afstand van ± 1 mm tussen pen en gatverbinding (zie par. 2.3) vrij bewegen. De bewegingsenergie die dan kan ontstaan wordt omgezet in een extra langskracht. Dit effect is duidelijk afhankelijk van de positie van de pen respectievelijk gat. Aan het begin van de proef, d.w.z. of de pen tegen die kant van het gat wordt aangedrukt waar ook de langskracht de pen tegen aan drukken (geen dynamisch effect), of juist andersom (wel dynamisch effect).

In feite betekent dit dat dit dynamische effect optreedt bij het van teken wisselen van de langskracht.

4.4.4 Dwarskrachten op schepen tengevolge van het dichtheidsverschil

Uit de resultaten met betrekking tot de reproduceerbaarheid van de dwarskrachten is reeds in paragraaf 4.2 (fig. 34) gebleken dat deze niet erg goed was. In feite geeft dit aan dat een vergelijking tussen dwarskrachten uit proeven met of zonder dichtheidsverschil alleen kwalitatief kan geschieden en niet kwantitatief.

De resultaten (zie fig. 43 t/m 45 en tabel VI) geven het volgende beeld te zien.

duweenheid

- is de duweenheid op $\pm 7,5$ m van de deur gepositioneerd dan blijkt dat de (van de kolkwand af gerichte) dwarskracht toeneemt in het geval er een dichtheidsverschil over de roldeur aanwezig is. Dit verschil is het grootst bij een grensvlak bij de bodem (of geen zout in de kolk). Is het grensvlak ter plaatse van de kiel van het schip dan is het verschil tussen deze proef (VL ZZ 4) en de proef zonder dichtheidsverschil (VL 1) zeer gering
- wanneer de duweenheid op ± 25 m van de deur is gelegen draait de maximale dwarskracht op het schip van teken om bij proeven met dichtheidsverschil (in vergelijking tot proeven zonder dichtheidsverschil) (zie fig. 43 en 44). Ook hier treedt de maximale dwarskracht op bij een geheel zoete kolk (grensvlak op NAP $-6,25$ m, bodem kolk).

Zoals ook in tabel VI is vermeld treedt bij proef VL ZZ 3 een dwarskracht (aan de voorkant van het schip) op die gericht is vanaf de kolkwand, deze is echter niet de maximale dwarskracht. Dit geeft echter wel de overgangssituatie weer naar een volledig homogene situatie

- de vergelijking tussen proef VL ZZ 3 en 8 (scherp en onscherp grensvlak) levert geeft nog duidelijker aan dat bij een hoge ligging van het grensvlak de gemeten maximum dwarskrachten bijna hetzelfde zijn als in de homogene situatie.

In feite was de grenslaag zo onscherp in proef VL ZZ 8 (zie fig. 42), dat het dichtheidsverschil tussen zout en zoet (in feite verbrakt) water afnam.

Uit bovenstaande gegevens kan gekonkludeerd worden dat als de duwbak vlak achter de roldeur is gepositioneerd de dwarskracht (van de kolkwand aan niszijde af gericht, aan de voorzijde van het schip) zal toenemen ten gevolge van het dichtheidsverschil.

Uit de resultaten van proef VL ZZ 7 blijkt dat deze dwarskracht het gestelde criterium zeer duidelijk overschrijdt.

Een verklaring voor het verschil in dwarskrachten voor proeven met en zonder dichtheidsverschil is niet snel te geven (dwarskrachten van $0,1^0/00$ in het geval van de duweenheid per tros vergen een waterstandsverschil van $\approx 4,6$ mm proto dus $\pm 0,12$ mm model dus een kleine invloed van $\Delta\rho$ kan al een niet verwaarloosbare invloed hebben.

binnenvaartschip ("3000 tonner")

de dwarskracht op het binnenvaartschip neemt in de situatie met dichtheidsverschil toe. De dwarskracht aan de voorzijde van het schip is nog sterker van de kolkwand af gericht (niszijde); faktor 1,5 maal groter, zie fig. 45). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat de zoute vulstraal tussen de kolkwand en het schip geperst wordt. Voor tengevolge van de spitse boeg van het schip zal de vulstraal, die zich langs de niszijde van de kolk voortplant, zich meer tussen schip en kolkwand inpersen dan in het geval van de duwbak. In geval van een dichtheidsverschil tussen kolk en voorhaven (voorhaven zout) dan zal de dwarskracht nog eens toenemen, omdat de ruimte tussen de kolkwand (aan de niszijde) zich eerder met zout water vult.

Voor beide schepen geldt (zie hfdst. 3 par. 3.4.3) dat een positionering aan de kaszijde van de kolk in de homogene situatie (voor wat betreft de dwarskrachten) ongunstiger was. In de situatie met dichtheidsverschil zijn geen proeven genomen met schepen van de kaszijde van de kolk. Het is echter niet te verwachten dat deze dwarskrachten erg sterk zullen veranderen.

4.5 Hypothese betreffende langskrachten op een schip tengevolge van een dichtheidsverschil

Uit de proefresultaten van de proeven met en zonder dichtheidsverschil kan worden afgeleid dat de langskrachtcomponent tengevolge van het dichtheidsverschil een naar de roldeur toe gerichte kracht is.

In geval van vullen kan dit als volgt verklaard worden:

uitgaande van een geheel met zoet water (dichtheid ρ_0) gevulde kolk, die met zout water (dichtheid $\rho_0 + \Delta\rho$) wordt genivelleerd, zal (in het geval van het vóórtrekken van de roldeur) het water in het kolkgedeelte in de eerste 70 à 80 s van het nivelleerproces verbrakken (door de straalwerking treedt veel menging op). Achter het schip is het water nog steeds zoet; daar er een tendens is naar een drukevenwicht over het schip ontstaat er een dichtheidsstroming in de kolk. Als het nivelleerproces bijna is beëindigd ontstaat er een uitwisselingsstroming. Het verval is dan zo klein geworden dat het water uit de zoete laag naar de voorhaven gaat stromen (zie fig. 4.5.1).

De waterstand achter het schip wordt hoger dan in een vergelijkbare homogene situatie, het debiet langs het schip zal dus ook tijdelijk groter zijn dan in de homogene situatie.

Uitgaande van de aanname dat er geen zoet water van achter het schip kan afstromen en dat het systeem van schip en sluiskolk kan worden opgevat als twee kommuniserende vaten (zonder dichtheidsstroming) volgt:

$$\Delta h_{\text{schip}} = \varepsilon \cdot h \quad [4.5.1]$$

$$\Delta h_{\text{schip}} = \text{verval over het schip} \quad [\text{m}]$$

$$h = \text{waterstand in de kolk} \quad [\text{m}]$$

$$\varepsilon = \text{dichtheidsverschil gedeeld door dichtheid zoete water } (\Delta \rho / \rho) \quad [-].$$

Als wordt uitgegaan van een gelaagd systeem in de kolk geldt:

$$\Delta h_{\text{schip}} = \varepsilon \cdot a_1 \quad [4.5.2]$$

$$a_1 = \text{dikte zoete laag} \quad [\text{m}].$$

Uit de proefresultaten blijkt echter dat het extra verval over het schip dat met bovengenoemde formules kan worden berekend, niet wordt gerealiseerd. Het zoete water zal gaan afstromen van achter het schip; deze voorraad zoet water achter het schip wordt in het vervolg aangeduid met zoetwaterbel. Het afstromen van het zoete water zal groter zijn naar mate het schip smaller wordt daar dan het stroomvoerend profiel (door de ruimte naast het schip) wordt vergroot.

In feite kan het proces dan als volgt kort worden beschreven (zie ook fig. 4.5.1):

Ten gevolge van het dichtheidsverschil treedt er een dichtheidsstroming op, die de waterstand achter het schip verhoogt (t.o.v. de situatie zonder dichtheidsverschil).

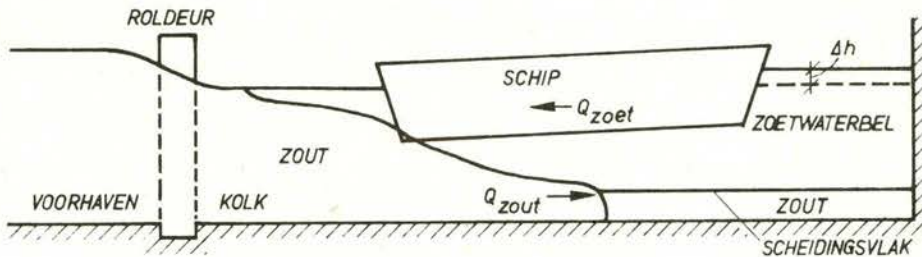
Er geldt dan

$$Q_{\text{zout}}^{(\varepsilon)} > Q_{\text{zoet}}^{(\varepsilon)} \quad [4.5.3]$$

Na ongeveer 100 à 150 s (zie fig. 46 en 47) treedt er een evenwichtssituatie op waarbij geldt:

$$Q_{\text{zout}}^{(\varepsilon)} = Q_{\text{zoet}}^{(\varepsilon)} \quad [4.5.4]$$

$$h(\varepsilon) = h_{\text{max}}^{(\varepsilon)} \quad [4.5.5]$$



Figuur 4.5.1 Dichtheidsstromen tijdens nivelleren

Daar de hoogte van de zoetwaterbel ten gevolge van het afstromen van het zoete water vermindert zal ook het verval (ontstaat uit drukevenwicht) geleidelijk aan verminderen. De debieten Q_{zout} en Q_{zoet} zullen ook verminderen daar het drukverschil geringer wordt. Het debiet respectievelijk het verval over het schip verloopt na het bereiken van het punt $Q_{zoet} = Q_{zout}$ dan ook ongeveer logaritmisch naar nul.

De langskrachtcomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil wordt nu bepaald door:

- het dichtheidsverschil
- het extra verval over het schip
- de tijdsfaktor, d.w.z. de tijd die het verval nodig heeft om het maximum te bereiken respectievelijk om af te nemen naar verwaarloosbare waarden (de waarde nul wordt theoretisch gezien nooit bereikt!).

Uit de proefresultaten blijkt dat het maximum verval over het schip in het geval van de duwbak vrijwel onafhankelijk is van de positie van het scheidingsvlak wanneer dit zich onder de kiel van het schip bevindt (zie fig. 46). Dit blijkt ook te gelden voor de langskrachtcomponent tengevolge van het dichtheidsverschil op de duwbak (zie fig. 36 en 4.3.3.1).

Het maximum verval over de duwbak is ongeveer:

$$\Delta h_{\max}^{\text{duw}} \approx 1,5 \cdot \varepsilon \cdot e_0 \quad [4.5.6]$$

(faktor 1.5 komt uit proefresultaten)

$$\Delta h_{\max}^{\text{duw}} = \text{maximum gemeten waterstandsverhoging}$$

achter de duweenheid t.o.v. homogene situatie [m]

$$e_0 = \text{diepgang schip} \quad [m]$$

De maximum gemeten langskrachtcomponent tengevolge van het dichtheidsverschil is 0,35 ‰. Aannemende dat het schip geheel in zoet water ligt, kan de langskracht op het schip afgeschat worden uitgaande van de waterstandsverhoging achter het schip.

$$F_{\max}^{\text{duw}} = \frac{\Delta h_{\max}^{\text{duw}}}{L_S} \times 1000 \text{ ‰} \quad [4.5.7]$$

F_{\max}^{duw} = maximale langskrachtcomponent tengevolge van dichtheidsverschil geschat uit waterstandsverhoging achter het schip ten opzichte van homogene situatie [‰]

L_S = lengte schip [m]

Uit bovenstaande vergelijking volgt in het geval van de duweenheid een langskracht van 0,62 ‰. Het verschil met bovengenoemde gemeten waarde van de langskracht kan worden verklaard uit het feit dat de dichtheid langs het schip niet geheel konstant is. Tevens kan de waterstand voor het schip veranderen ten opzichte van de homogene situatie; daar deze waterstand niet is gemeten kan dit niet worden bepaald.

De maximale langskracht op een duweenheid (4 duwbakken) kan met de volgende (semi-)empirische formule worden afgeschat:

$$F_{\max}^{\text{gem}} = \frac{\epsilon \times e_0}{L_S} \times 1000 \text{ ‰} \quad \text{voor } a_1 \geq e_0 \quad [4.5.8]$$

F_{\max}^{gem} = maximale gemeten langskrachtcomponent tengevolge van het dichtheidsverschil [‰].

De achtergrond achter deze formule is als volgt:

- de langskracht op een schip tengevolge van een dichtheidsverschil wordt bepaald door het waterstandsverschil over het schip, dit waterstandsverschil wordt veroorzaakt door het (relatieve) dichtheidsverschil (ϵ).
- de diepgang van het schip is belangrijk in verband met het optreden van het afstromen van zoet water (bij de brede duweenheid stroomt er zeer weinig zoet water tussen de duweenheid en de kolkwand (e_0))
- de lengte van het schip bepaalt de relatieve kracht (in ‰) op het schip. Een lang schip verkleint de relatieve kracht (L).

In het geval van het binnenvaartschip blijkt dat de waterstandsverhoging van de zoetwaterbel geringer is dan in het geval van de duweenheid (vergelijk fig. 46 en 47). Dit volgt uit het feit dat het zoete water makkelijker afstroomt langs dit (relatief) smalle schip in vergelijking met de duweenheid. Het maximum gemeten waterstandsverschil ten opzichte van de homogene situatie is ongeveer:

$$\Delta h_{\max}^{\text{bin}} \approx 0,55 \cdot \epsilon \cdot e_o \quad (0,03 \text{ m}) \quad [4.5.9]$$

(faktor 0,55 volgt uit modelresultaten)

De maximum gemeten langskrachtcomponent op het binnenvaartschip ten gevolge van het dichtheidsverschil is $\pm 0,30^{\circ}/\text{oo}$, als het scheidingsvlak zich onder de kiel van het schip bevindt. Uitgaande van bovenstaand waterstandsverschil kan de langskrachtcomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil worden afgeschat met:

$$F_{\max}^{\text{bin}} \approx \frac{\Delta h_{\max}^{\text{bin}}}{L_s} \times 1000 \quad [^{\circ}/\text{oo}] \quad [4.5.10]$$

Uit bovenstaande formule volgt een berekende langskrachtcomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil van $\pm 0,30^{\circ}/\text{oo}$. De gemeten langskrachtcomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil en de berekende langskrachtcomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil blijken in dit geval gelijk te zijn. Het feit dat in het geval van het binnenvaartschip de schattingsvergelijking (vgl. 4.5.10), goed voldoet terwijl een zelfde vergelijking (vgl. 4.5.7) in het geval van de duweenheid niet voldoet zou mogelijk kunnen worden verklaard uit het grotere zoetwaterdebiet. Hierdoor blijft het water aan de voorzijde van het schip waarschijnlijk zoeter waardoor het totale schip in zoet water blijft liggen en dus de schattingsvergelijkingen beter voldoen.

De maximum langskrachtcomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil op dit binnenvaartschip (3000 ton) kan worden afgeschat met:

$$F_{\max}^{\text{bin}} \approx \frac{0,55 \cdot \epsilon \cdot e_o}{L_s} \times 1000 \quad [^{\circ}/\text{oo}] \quad (\text{voor } a_{\text{zoet}} \geq e_o) \quad [4.5.11]$$

(de faktor 0,55 volgt uit de metingen).

Uitgaande van de vgl. 4.5.8 en 4.5.11 blijkt dat naarmate het schip smaller wordt de langskrachtcomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil afneemt (rela-

tief). Om deze reden wordt dan ook aangenomen dat de langskrachtcomponent tengevolge van het dichtheidsverschil in grote mate wordt bepaald door de breedte van het schip (de schepen) ten opzichte van de sluiskolkbreedte. Dit is tot uiting gebracht in de volgende formule:

$$F_{\max}^{(i)} = \frac{\sum_{i=1}^n b_s(i)}{b_k} \cdot \frac{e_o^{(i)} \cdot \epsilon}{L_S(i)} \times 1000 \left[\frac{^{\circ}}{oo} \right] \quad \text{voor} \quad (a_{\text{zoet}} \quad e_o^{(i)}) \quad [4.5.12]$$

De langskrachtcomponent tengevolge van het dichtheidsverschil werkt in de richting van de roldeur en wordt groter naarmate er meer doorstroomoppervlak door de schepen wordt geblokkeerd. Er geldt dan ook dat korte diepstekende schepen (b.v. kustvaarders) een grote langskrachtcomponent tengevolge van het dichtheidsverschil zullen ondergaan (b.v. schip van $4,5 \times 12 \times 100$ krijgt een langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil ($\epsilon = 0,02$) van: $0,45 \frac{^{\circ}}{oo}$). Doch ook korte, niet diepstekende schepen die naast elkaar worden gepositioneerd kunnen een grote langskrachtcomponent tengevolge van het dichtheidsverschil ondergaan (b.v. 4 aken van $2,2 \times 5,5 \times 55$ ondergaan ieder een kracht van $\pm 0,73 \frac{^{\circ}}{oo}$ tengevolge van een dichtheidsverschil van 20 kg/m^3 ($\epsilon = 0,02$)).

De faktor tijd is met betrekking tot de langskrachten tengevolge van het dichtheidsverschil nog niet genoemd in bovenstaande beschouwing.

Uit de proefresultaten blijkt bijvoorbeeld dat het dichtheidsverschil de eerste (\pm) 80 seconden van het nivelleerproces bijna geen invloed heeft op het verloop van de langskracht (zie par. 4.4.3).

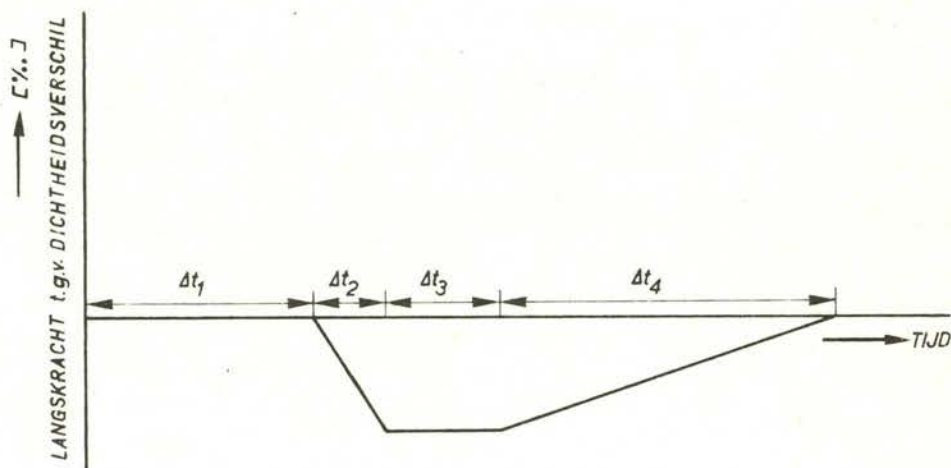
Ongeveer 40 seconden later ($\pm 120 \text{ s}$ na het begin van het nivelleerproces) is de langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil maximaal.

In het geval van het binnenvaartschip neemt de langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil (na het passeren van de kiel van het schip) snel af, terwijl deze langskracht in het geval van de duweenheid ongeveer konstant blijft tot na het einde van het nivelleerproces ($\pm t = 300 \text{ s}$).

Bovenstaande volgt uit het feit dat de dikte van de zoetwaterbel achter het binnenvaartschip tengevolge van het relatief grote zoetwaterdebiet snel afneemt, dit in tegenstelling tot de afname van de dikte van de zoetwaterbel bij de duweenheid.

De volgende tijdsduren dienen afgeschat te worden om het verloop van de langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil te kunnen beschrijven: (zie ook fig. 4.5.2)

- de tijdsduur waarna de invloed van het zoute water de boeg van het schip bereikt
- de tijdsduur waarin het maximum langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil op de duweenhed wordt opgebouwd
- de tijdsduur die het grensvlak nodig heeft om de kiel van het schip te passeren
- de tijdsduur waarin de langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil afneemt tot ongeveer nul.



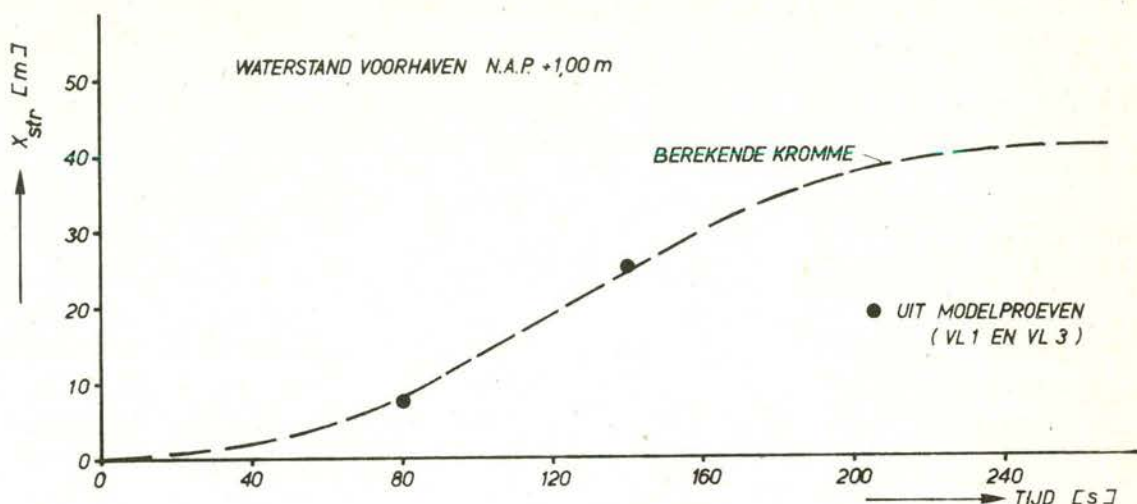
Figuur 4.5.2 Schematische weergave verloop van de langskracht ten gevolge van het dichtheidsverschil in de tijd (zie o.a. de invloed van $\Delta\rho$ in de figuren 35 t/m 41)

De tijdsduur (Δt_1 , zie fig. 4.5.2) waarna de invloed van het zoute water het schip bereikt, is ongeveer gelijk aan de tijdsduur, die de vulstraal nodig heeft om de boeg van het schip te bereiken (zie par. 5.5). In het geval van een roldeursnelheid van 0,03 m/s blijkt dit ± 85 s te zijn als het schip op 7,5 m achter de roldeur is gepositioneerd respectievelijk ± 140 s op 25 m achter de roldeur. Hierbij moet worden opgemerkt dat de eerste 40 s van het nivelleerproces de roldeur zich nog in de nis bevindt, dus dat er nog geen invloed is van de (een) vulstraal.

Uit de resultaten blijkt dat de positie van het front van de vulstraal in de kolk met de volgende benaderingsvergelijking kan worden beschreven (zie par. 5.5.3).

$$X_{\text{str}} = \frac{2 \int Q \, dt}{A_k} \quad (\text{geldt tot de boeg van het schip}) \quad [4.5.13]$$

Bovenstaande is uitgezet in figuur 4.5.3 (proef VL 1)



Figuur 4.5.3 Positie van het front van de vulstraal als functie van de tijd

Uit bovenstaande figuur blijkt dat het front van de vulstraal na ± 240 s niet verder meer verplaatst (in de homogene situatie). In de situatie met dichtheidsverschil is het debiet door de roldeuropening iets groter zodat bovenstaande berekende lijn (fig. 4.5.3) iets verschoven zal zijn (richting $t = 0$). Uit deze figuur volgt echter niet wanneer het zoute water een op 50 m van de roldeur gelegen schip bereikt.

Er kan echter wel gesteld worden dat dit waarschijnlijk pas geschiedt nadat het nivelleerproces is afgelopen. Zodat dit in feite niet meer van belang is.

De tijdsduur tussen het moment waar de invloed van het dichtheidsverschil nauwelijks merkbaar is en het moment waarin de maximum langskrachtcomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil wordt opgebouwd is vrij gering (20 à 30 seconden). Deze tijdsduur is ongeveer gelijk aan de tijd, die een translatiegolf nodig heeft om het schip te passeren (uitgaande van de flexibele schiptheorie, zie par. 5.3)

$$\Delta t_2 = \frac{L_s}{\sqrt{g \cdot \frac{A_k - A_s}{b_k}}} = \frac{L_s}{c_s(\text{flexibel})} \left(\approx \frac{150}{5,96} \approx 25 \text{ s} \right) \quad [4.5.14]$$

De tijdsduur waarin de langskracht op het schip konstant blijft kan als volgt worden beschreven:

Uitgaande van een geheel zoete kolk, die met zout water wordt genivelleerd,



blijkt dat de langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil lange tijd konstant blijft. Dit volgt ook uit de resultaten van het onderzoek Rozenburgse sluis (M 950 [5]). Bovenstaande kan worden verklaard uit het feit dat de langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil ongeveer konstant blijft totdat het scheidingsvlak de kiel van het schip passeert (zie par. 4.4.3). De tijdsduur Δt_3 dat de langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil maximaal blijft (uitgaande van een geheel zoete kolk) kan worden afgeschat met:

$$\Delta t_3 \approx \frac{L_k}{0,4 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot a}} + \frac{L_k}{\sqrt{\epsilon g} \frac{a_1 a_2}{a}} \quad (\text{zie ook collegediktaat Schönfeld [8]})$$

[4.5.15]

(heenlopende golf, (teruglopende golf,
zout - tong) interne golf)

waarin $a = a_1 + a_2$

$$a_1 \approx \frac{1}{2}(a - e_0)$$

Bovenstaande tijd t_3 is de tijd die een interne golf (sprong) nodig heeft om heen en weer in de kolk te lopen. De hoogte van de interne golf (sprong) onder het schip is afgeschat op de halve afstand tussen kiel schip en bodem (dit volgt uit de registraties van de bewegende zoutopnemer achter in de kolk).

Met betrekking tot het nivelleren met behulp van het vóórtrekken van de roldeur volgt dat de maximum langskrachtcomponent tengevolge van het dichtheidsverschil tot zeer ruime tijd na het einde van het nivelleerproces blijft gehandhaafd ($\Delta t_3 \approx 1250 \text{ à } 1500$ seconden). Dit volgt uit het feit dat een uitwisselstrooming een orde $\sqrt{\epsilon}$ langzamer geschiedt dan een homogene strooming (b.v. translatiegolven), zie fig. 35.

Als er een gelaagd systeem in de kolk aanwezig is aan het begin van het nivelleerproces is het afschatten van de tijdsduur Δt_3 niet goed mogelijk daar er slechts weinig gegevens zijn (in feite alleen dit onderzoek).

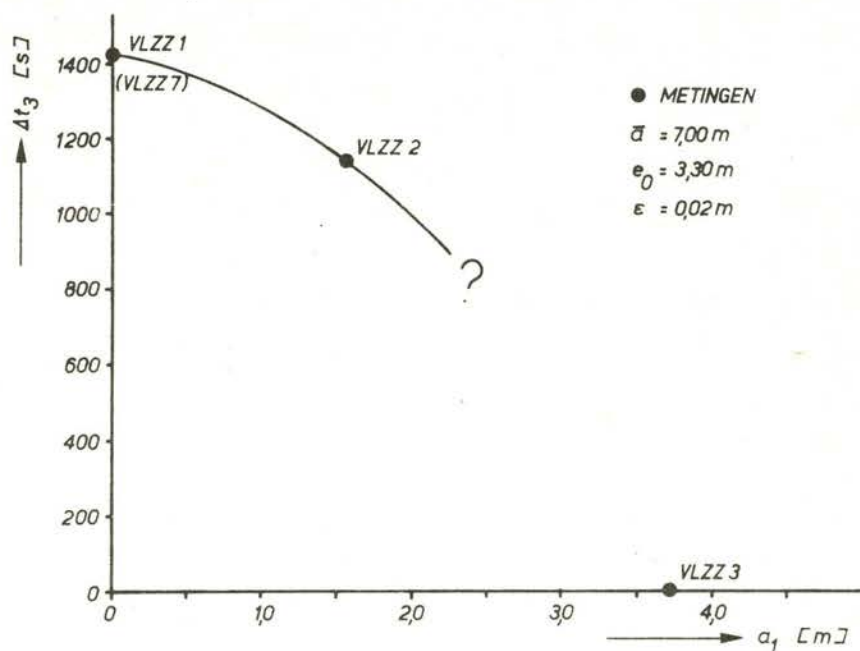
Uitgaande van de proef (proef VL ZZ 2) waarbij de dikte van de zoute laag aan het begin van de proef $\pm 1,55$ m was kan de tijdsduur Δt_3 worden berekend met de theoretische vergelijking.

$$\Delta t_3 \approx \frac{2L_k}{\sqrt{\varepsilon g \frac{a_1 a_2}{a}}} \quad \begin{array}{l} \text{(faktor 2 voor heen en teruglopen van de interne} \\ \text{golf)} \end{array} \quad [4.5.16]$$

Deze vergelijking blijkt te voldoen.

In het geval dat het scheidingsvlak zich aan het begin van de proef ter plaatse van (of hoger dan) de kiel van het schip bevindt is deze tijdsduur (Δt_3) nul, d.w.z. de langskrachtcomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil die op ongeveer $t = 120$ s maximaal is wordt onmiddellijk daarna steeds kleiner doordat het zoete water in de zoetwaterbel wordt vervangen door zout water. De waterstandsverhoging (t.o.v. de homogene situatie) zal dan ook afnemen).

Bovenstaande is voor één geval uitgezet in figuur 4.5.4.



Figuur 4.5.4 Verloop van de tijdsduur Δt_3 met de dikte van de zoute laag (a_1)

Uit bovenstaande figuur blijkt dat de tijdsduur Δt_3 voor scheidingsvlakposities (aan begin van het nivelleerproces) tussen ± 2 m onder de kiel van het schip en ongeveer ter plaatse van de kiel van het schip moeilijk kan worden afgeschat. (Uit de proefresultaten blijkt o.a. dat de tijdsduur Δt_3 , voor het geval de dikte van de zoute laag $\pm 3,25$ m is (proef VL ZZ 6), ongeveer nul is.)

De tijdsduur waarin de langskracht ten gevolge van het dichtheidsverschil afneemt van de maximum waarde tot (ongeveer) nul kan in eerste instantie worden afgeschat door aan te nemen dat de stroming vanuit de zoetwaterbel voldoet aan de Froude-intern-voorwaarde is één:

$$F_{ri} = \frac{V}{\sqrt{\epsilon \cdot g \cdot a_{zoet}}} = 1 \quad [4.5.17]$$

of:

$$Q_{zoet} = A_{zoet} \cdot \sqrt{\epsilon \cdot g \cdot a_{zoet}} \quad [4.5.18]$$

$$\text{waarin } A_{zoet} = (b_k - \sum_{i=1}^n b_s(i)) \cdot a_{zoet}$$

$$a_{zoet} = \text{dikte zoetwaterbel } (a_{zoet} \leq e_o).$$

Het verloop van de laagdikte van de zoetwaterbel (a_{zoet}) volgt uit de continuïteitsvergelijking

$$\frac{d(a_{zoet})}{dt} = \frac{Q_{zoet}}{A_{zoetwaterbel}} \quad [4.5.19]$$

$$A_{zoetwaterbel} = \text{oppervlakte achter het schip (schepen).}$$

De langskracht op het schip is afgeschat door aan te nemen dat de langskracht lineair afneemt met de dikten van de zoete laag:

$$F_{schip} = F_{schip}^{\max} \cdot \frac{a_{zoet}}{\ell_o} \quad a_{zoet} < e_o \quad [4.5.20]$$

(de maximale zoete laagdikte waarvoor deze theorie opgaat is e_o , dus $a_{zoet}(\max) = e_o$).

Een voorbeeld van deze berekening is voor beide scheepstypen gegeven (zie fig. 48 en 49) en vergeleken met modelgegevens.

Uit de vergelijking van de resultaten van berekeningen en modelgegevens blijkt het volgende met betrekking tot de verschillende scheepstypen:

duweenheid (fig. 48):

De verschillende resultaten van figuur 48, waarin de berekende en gemeten langskrachtkomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil als functie van de tijd zijn uitgezet, kunnen gezien worden als een verschil van 6% in langskracht of 20% in de tijd. Uitgaande van bovenstaande formules 4.5.17 t/m 4.5.20.

Zoals uit de modelmetingen was gebleken neemt de langskrachtkomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil gedurende de korte tijd van het nivelleerproces (ongeveer 300 s) niet sterk af. Tijdens het eigenlijke vóórtrekken van de roldeur is deze afname in deze langskrachtkomponent slechts enkele procenten van de maximum langskrachtkomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil (scheidingsvlak t.p.v. de kiel van het schip).

binnenvaartschip (fig. 49):

Het verschil tussen de modelmetingen (proef VL ZZ 6) en de berekeningen blijken met betrekking tot dit type schip ongeveer een faktor 2 te zijn met betrekking tot de tijdbasis. Het maximum verschil tussen gemeten en berekende langskracht ten gevolge van het dichtheidsverschil is ongeveer 30%.

De reden, waarom de verschillen tussen metingen en berekeningen bij het binnenvaartschip groter zijn dan bij de duweenheid, kan de invloed van de traagheid zijn. In het geval van het binnenvaartschip is het maximum zoetwaterdebiet vanuit de zoetwaterbel groter dan bij de duweenheid en het neemt ook sneller af in de tijd. De traagheidsterm (::: dQ/dt) heeft dus in het geval van het binnenvaartschip een grotere invloed.

Met betrekking tot het vóórtrekken van de roldeur heeft dit verschil tussen metingen en berekeningen niet veel invloed en kan in feite worden geëlimineerd door de modelmetingen te gebruiken voor het bepalen van het langskrachtverloop ten gevolge van het dichtheidsverschil in het prototype.

Opmerking:

Bovenstaande methode om het verloop van de langskrachtkomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil te bepalen beperkt zich in feite tot de duur van het vóórtrekken van de roldeur. Dit omdat het zoete water uit de zoetwaterbel in het prototype afstroomt naar de voorhaven en dan naar het Zijpe.

In het model ontstaat er een zoete bovenlaag in de voorhaven omdat de voorhaven eindig is, en dus een verschil met het prototype.

In het geval van ledigen kan de langskracht ten gevolge van het dichtheidsverschil moeilijk gekwantificeerd worden. Dit ten gevolge van het geringe aantal proeven (één). Uit het resultaat van deze proef blijkt echter wel dat de langskrachtcomponent ten gevolge van het dichtheidsverschil iets geringer was dan in vergelijkbare situaties bij het vullen ($\pm 0,15^{\circ}/\infty$ t.o.v. $0,20^{\circ}/\infty$). Kwalitatief kan het verloop van de langskracht ten gevolge van het dichtheidsverschil op een zelfde wijze worden beschreven als bij het vullen. Het debiet door de roldeuropening zal ten gevolge van het dichtheidsverschil iets afnemen.

Als de snelheid in de roldeuropening voldoende klein is ($F_{r_i} \approx 1$) dringt er zout water vanuit de voorhaven in de kolk waarna het zoetwaterbeleffekt gaat optreden.

4.6 Afschatten langskrachten op schepen tijdens het vóórtrekken van de roldeur in de definitieve situatie

De langskrachten op de schepen in de kolk in de definitieve situatie kunnen worden afgeleid uit de resultaten uit Hoofdstuk 3 (tijdelijke situatie), waarbij het effect van het dichtheidsverschil moet worden opgeteld (m.b.v. par. 4.5).

Hierbij wordt aangenomen dat de afvoercoëfficiënt van de roldeuropening niet wijzigt tengevolge van het dichtheidsverschil; de langskrachten op het schip tengevolge van translatiegolven en vulstraal zullen dan ook ongeveer gelijk blijven aan die van de homogene situatie.

Een voorbeeld van deze afschatting is hierna gegeven m.b.t. proef PH1 (duweenheid), het verloop van de langskracht(en) is weergegeven in figuur 50. De maximum langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil ontstaat bij een uitgangssituatie met een geheel zoete kolk en een dichtheidsverschil met de voorhaven van 20 kg/m^3 ($\epsilon = 0,02$). Hiervan is dan ook in alle situaties uitgegaan.

Uitgaande van de in paragraaf 4.5 beschreven methode om het langskrachtverloop tengevolge van het dichtheidsverschil te bepalen is het volgende resultaat behaald (roldeursnelheid $0,03 \text{ m/s}$).

Maatgevend voor de langskracht is de (brede) duweenheid op $7,5 \text{ m}$ achter de roldeur, hierbij geldt:

- de vulstraal bereikt de duweenheid (op 7,5 m achter de roldeur) na ± 75 s (± 80 s in model (prototypematen) vgl. 4.5.13)
- de maximum langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil, ongeveer $0,40$ ‰ (zie vgl. 4.5.12) wordt bereikt in ongeveer 25 s. (4.5.14)
- dit maximum houdt aan tot na het einde van het nivelleerproces daar het scheidingsvlak de kiel van het schip pas na ± 1400 s bereikt.

Bovengenoemd verloop van de langskracht tengevolge van het dichtheidsverschil is weergegeven in figuur 50. De langskracht tengevolge van translatiegolven en vulstraal wordt bij voornoemde langskrachtcomponent opgeteld; dit is tevens weergegeven in figuur 50.

De totale langskracht in de definitieve situatie heeft een positief maximum op ± 20 s van ongeveer $0,27$ ‰ terwijl het negatief maximum door het dichtheidsverschil vergroot wordt tot ongeveer $0,82$ ‰. Dit is groter dan het gestelde criterium van $0,70$ ‰.

De andere proeven (dezelfde als in H III) zijn op dezelfde manier omgewerkt. De maximum en minimum langskrachten (meestal maatgevend) zijn opgenomen in tabel VII en het belangrijkste resultaat is uitgezet in figuur 51 (overeenkomend met figuur 38 in de tijdelijke situatie).

De maatgevende waterstanden in de definitieve situatie verschillen van die in de tijdelijke situatie. In de definitieve situatie wordt genivelleerd van Zoommeerwaterstand (NAP $-0,50$ m tot NAP $+0,75$ m) naar de Zijpewaterstand (NAP $-2,35$ m tot NAP $+2,50$ m). Uit de resultaten van Hoofdstuk 3 volgt dat maatgevende situatie bij vullen en waarschijnlijk ook bij ledigen optreedt bij minimale waterstanden. Dit betekent dat in de vulsituatie de maximum langskracht optreedt in geval van een voorhaven (Zijpe)waterstand van NAP (kolk NAP $-0,50$ m). In het geval van ledigen geldt als maatgevende situatie een voorhavenwaterstand van NAP $-2,35$ m (kolk NAP $-1,85$ m).

De resultaten worden verder niet meer besproken daar dit grotendeels geschied is in hoofdstuk 3. Wel blijkt dat tengevolge van het dichtheidsverschil het gestelde langskrachtcriterium van de duweenheid wordt overschreden (max. langskracht $0,96$ ‰, proef PH ZZ 6), criterium $0,7$ ‰, zie fig. 51, roldeursnelheid $0,03$ m/s).

De overschrijding van het criterium is te wijten aan twee oorzaken:

- het minimum van de langskracht tengevolge van de translatiegolven aan het eind van het nivelleerproces die ontstaat tengevolge van de afbouw van

het debiet (dit negatief maximum is voor de prototype situatie groter dan voor het model, vgl. proef VL 6 en PH 6)

- de invloed van het dichtheidsverschil (minimum verschuift van 0,56 naar 0,96⁰/oo).

Uitgaande van de op bladzijde 85 genoemde maatgevende waterstanden kan met behulp van de resultaten uit deze paragraaf de maximale langskrachten op de schepen worden bepaald. Met betrekking tot de vulsituatie blijkt de maximale langskracht ongeveer 0,92⁰/oo te zijn (0,52⁰/oo volgt uit resultaten tijdelijke situatie, fig. 27 waterstand voorhaven NAP, 0,40⁰/oo (zie vgl. 4.5.12) volgt uit de invloed van het dichtheidsverschil).

Daar de invloed van het dichtheidsverschil in feite niet kan worden beïnvloed zal het vóórtrekken van de roldeur in de definitieve situatie alleen mogelijk zijn als de roldeurprogrammering iets wordt aangepast. Deze aanpassing moet worden gezocht in de snelheid van de roldeur bij de afbouw van het debiet.

In feite betekent bovenstaande dat voor de definitieve situatie kan worden gekozen uit de volgende oplossingen:

- handhaven verval van 0,50 m en verlagen van de roldeursnelheid tot 0,01 m/s (versnellen na T_{10} (gedefinieerd als het tijdstip waarop het verval kleiner is dan 0,10 m en de roldeur kan worden versneld) op 300 s is in dit geval mogelijk). De totale openingsprocedure van de roldeur gaat hierdoor ongeveer 400 s duren (zie fig. 51).
- verlagen van het verval waarbij de roldeur mag worden voorgetrokken en handhaven van de roldeurprogrammering uit de tijdelijke situatie (snelheid roldeur 0,03 m/s). Het verval moet dan ongeveer worden verlaagd tot 0,20 m (maximum kracht t.g.v. translatiegolven + vulstraal ongeveer 0,30⁰/oo (zie fig. 27) maximum kracht t.g.v. dichtheidsverschil 0,40⁰/oo).

In het geval van ledigen zullen waarschijnlijk geen maatgevende situaties ontstaan.

De minimum langskracht zoals deze bij vulsituaties optrad ten gevolge van de afbouw van het debiet wordt in dit geval verzwakt door de (tegengesteld gerichte) langskracht ten gevolge van het dichtheidsverschil (zie fig. 40). De proeven zijn uitgevoerd bij voorhavenwaterstanden van NAP.

De ledigsituaties bij lagere respektievelijk hogere voorhavenwaterstanden zijn niet onderzocht. Deze kunnen echter wel worden afgeschat uitgaande van

de aanname dat het verloop tussen langskracht en waterstand op de voorhaven hetzelfde is voor vul- als voor ledigsituaties. In dat geval zal de maximale negatieve langskracht (exclusief invloed dichtheidsverschil) ongeveer 0,6 ‰ bedragen (voorhavenwaterstand: NAP -2,35 m; maximum positieve langskracht, niet maatgevend).

Wordt het dichtheidsverschil meegenomen bij de ledigsituaties dan zal de maximum positieve langskracht van de proeven zonder dichtheidsverschil met $\pm 10\%$ moeten worden verhoogd voor de invloed van de interne golf. De maximum negatieve langskracht wordt geringer tengevolge van de invloed van het dichtheidsverschil.

De dwarskrachten op de schepen in de definitieve situatie kunnen niet eenvoudig worden afgeleid uit de proefresultaten daar er geen proeven met dichtheidsverschil zijn uitgevoerd met kleine vervallen of lage roldeursnelheden. Het is dan ook moeilijk aan te geven hoe groot de dwarskrachten op de schepen in de verschillende situaties zullen zijn.

Het volgende kan uit de resultaten worden afgeleid

- de invloed van het dichtheidsverschil is niet eenduidig uit de resultaten af te leiden (fig. 43 t/m 45)
- bij het verlagen van het verval neemt het invloedgebied van de vulstraal af. Dit gaat ongeveer lineair met het verval (zie vgl. [5.5.3.4.1]). Bij een beginverval van 0,50 m is de invloed van de vulstraal op ongeveer 50 m achter de roldeur niet meer merkbaar; bij een beginverval van 0,20 m wordt deze afstand ongeveer 20 m.
- verlagen van het verval of de roldeursnelheid zal de dwarskrachten beïnvloeden.

Uit de proefresultaten kan echter alleen iets voor de duweenheid worden afgeleid. Deze is echter niet maatgevend.

Samenvattend kan gesteld worden, dat de duweenheid nog steeds direkt achter de roldeur kan worden gepositioneerd. In verband met dwarskrachten echter alleen aan de kaszijde (resultaat proef VL ZZ 7).

Het kleine schip dient op een afstand van 50 of 20 m van de roldeur te worden gepositioneerd, afhankelijk van het verval (0,50 m of 0,20 m).

4.7 Konklusies

Uit de resultaten die in voorgaande paragrafen zijn behandeld kunnen met betrekking tot het vóórtrekken van de roldeur in de definitieve situatie van de duwvaartsluizen de volgende konklusies worden getrokken:

- de roldeurbeweging zoals deze werd uitgevoerd bij het vóórtrekken van de roldeur in de tijdelijke situatie is onder gelijkblijvende omstandigheden (waterstanden, verval) niet toepasbaar in de definitieve situatie. De optredende langs- en dwarskrachten overschrijden dan de gestelde criteria (vulsituaties)
- de invloed van het dichtheidsverschil is op het langskracht- respectievelijk dwarskrachtenverloop aanzienlijk. De maximum negatieve langskracht wordt (in de vulsituatie) met $0,35 \text{ à } 0,40^{\circ}/\text{oo}$ vergroot (binnenvaartschip resp. duweenheid) terwijl de dwarskrachten op de schepen een faktor $1,5 \text{ à } 2$ groter worden
- de maatgevende situatie met betrekking tot de langskrachten op een schip ontstaat in het geval van de duweenheid (vulsituatie). Uitgaande van de roldeurprogrammering met een roldeursnelheid van $0,03 \text{ m/s}$ ontstaat er een langskracht op de duweenheid, die het gestelde criterium ($0,7^{\circ}/\text{oo}$) overschrijdt bij een verval van $0,50 \text{ m}$
- roldeurprogrammering in de definitieve situatie waarbij de gestelde criteria met betrekking tot de langskracht op schepen niet worden overschreden treden op als:
 - * de roldeursnelheid wordt teruggebracht tot $0,01 \text{ m/s}$; de totale openingsprocedure duurt dan 400 s
 - * het verval waarbij mag worden voorgetrokken wordt verkleind tot $0,20 \text{ m}$ bij een roldeursnelheid van $0,03 \text{ m/s}$.
- met betrekking tot de langskrachten op schepen in de ledigsituaties kan gesteld worden dat deze niet maatgevend zijn (roldeurprogrammering uit de tijdelijke situatie zo dus onder gelijkblijvende randvoorwaarden gehandhaafd kunnen worden)
- de maatgevende dwarskrachten op een duweenheid (4 duwbakken) treden op bij een geheel zoete kolk (zoute voorhaven) waarbij het schip op $7,5 \text{ m}$ achter de roldeur is gepositioneerd (nizijde)
- de invloed van de positie van het scheidingsvlak op de dwarskrachten op de duweenheid is aanzienlijk (vergelijk proef VL ZZ 4 en 7 in tabel VI)
- de invloed van het terugbrengen van verval of roldeursnelheid, in verband met het overschrijden van langskrachtkriteria, op de dwarskrachten is moeilijk af te schatten uit de resultaten van dit onderzoek.

Met betrekking tot de duweenheid kan gesteld worden dat tengevolge van de grote breedte van dit schip ten opzichte van de sluisbreedte, dwarskrachten niet van groot belang zijn daar dit schip zich vrij snel klem kan zetten in de kolk. Voor smalle schepen zijn dwarskrachten wel van belang vooral als tengevolge van een van de kolkwand af gerichte dwarskracht (schip aan niszijde) de boeg van de kolkwand af beweegt. Het schip zal dan als het ware water van de vulstraat gaan invangen zodat de dwarskrachten nog groter worden. Het is daarom aan te bevelen om smalle schepen (t.o.v. de kolkbreedte) buiten de invloed van de vulstraat te positioneren.

Bij een verval van 0,50 m op ongeveer 50 m bij een verval van 0,20 m op ongeveer 20 m.

- bovenstaande is, evenals in hoofdstuk 3, afgeleid uitgaande van de veronderstelling dat de zogenaamde "TROS-procedure" zou voldoen.

In par. 5.6 is dit gecontroleerd met modelresultaten, welke zijn verkregen met een normale vulprocedure. Het bleek dat bovengenoemde konklusies konden worden gehandhaafd. Alleen in verband met dwarskrachten dient te worden toegevoegd dat in het geval van de duweenheid de dwarskrachtkriteria worden overschreden als dit schip aan de niszijde van de kolk op een afstand van minder dan 25 m achter de roldeur was gepositioneerd. Daar echter dit schip door zijn grote breedte goed wordt geleid door de kolkwanden is ook een positionering aan niszijde toegestaan.

5 Verifikatie "TROS-procedure"

5.1 Inleiding

In het kader van het Toegepast Onderzoek Waterstaat (TOW) is een onderzoek uitgevoerd naar langskrachten op schepen in schutsluizen met vul/ledigsystemen in de hoofden of deuren, onderzoek R 1222/M 1481 ([5] en [6]).

Bovenstaand onderzoek heeft, naast dat het inzicht heeft verschaft in de opbouw van de langskracht op het schip, een methode aangegeven waarmee de langskracht op een schip kan worden bepaald zonder een volledig modelonderzoek te doen. Deze methode is hier de "TROS-procedure" genoemd, in feite de naam van het rekenprogramma wat bij deze procedure gebruikt wordt.

In het rekenmodel worden de langskrachten op schepen ten gevolge van translatiegolven en (uniforme) stroming op het schip berekend. De kracht ten gevolge van de vulstraal (dus alleen bij vullen) kan niet worden berekend en wordt in een model bepaald (zie ook H3).

In eerste instantie was dit onderzoek (M 1573) gebaseerd op de zogenaamde "TROS-procedure".

In overleg met de opdrachtgever is besloten om bovenstaande procedure te verifiëren met een compleet schaalmodel van de sluis, daar het niet helemaal duidelijk was of deze "TROS-procedure" in dit geval met een klein initieel, snel afnemend verval en een grote vul- of ledigopening tot een goede oplossing zou leiden.

Een dergelijk onderzoek ter verifikatie van de zogenaamde "TROS-procedure" is reeds uitgevoerd in het geval van de Rozenburgse sluis (puntdeuren, onderzoek R 1222/M 1481 (II) [6]), en in het geval van de sluis bij Wijk bij Duurstede (eveneens puntdeuren), onderzoek R 1222/ M 1481 (I) [5]). De overeenstemming tussen de resultaten van de zogenaamde "TROS-procedure" en de schaalmodellen bleek in beide gevallen zeer redelijk te zijn.

5.2 Indeling verifikatie-onderzoek "TROS-procedure"

De verifikatie van de "TROS-procedure" (m.b.t. het voortrekken van de roldeur) is uitgevoerd met behulp van een schaalmodel van de sluiskolk. In dit model kan het gehele nivelleerproces worden gesimuleerd.

De "TROS-procedure" is beschreven in paragraaf 3.2. In deze paragraaf is tevens aangegeven welke wijzigingen er zijn toegepast ten opzichte van de standaard "TROS-procedure", (zie R 1222/M 1481, [5] en [6]). Een beschrijving

van het wiskundig model, dat wordt gebruikt in de "TROS-procedure", is gegeven in paragraaf 5.3. In paragraaf 5.4 zijn de resultaten van het permanentiemodel (m.b.t. het bepalen van de krachten t.g.v. de vulstraal) beschreven. Zoals in paragraaf 2.6 reeds was aangegeven kunnen de langskrachten (resp. dwarskrachten) die bepaald zijn bij de vulstraalproeven met betrekking tot het prototype (hfdst. 3) niet direkt worden gebruikt bij de verifikatie van de "TROS-procedure". Dit in verband met het verschil in voorhavenbreedte tussen model en prototype welke invloed heeft op het debiet door de vulopening en dus op de langskracht ten gevolge van de vulstraal. De omrekening van de vulstraalproeven is beschreven in paragraaf 5.4.4. Hierbij wordt gebruik gemaakt van enkele principeproeven die in het kader van de vulstraalproeven zijn uitgevoerd (zie par. 5.4.3).

Een zelfde principe-onderzoek heeft plaatsgevonden bij de uniforme stromingsproeven (roldeur geheel geopend; par. 5.4.2). In dit gedeelte van paragraaf 5.4 is tevens de foutenbeschouwing vermeld waaruit de aanpassing van de TROS-procedure volgde (zie par. 3.2).

De resultaten van de verifikatie van de "TROS-procedure" zijn vermeld in paragraaf 5.5. Hierin wordt naast de vergelijking van langs- en dwarskrachten ook de waterstanden en de debieten (uit schaalmodel resp. wiskundig model) en de waterbeweging in de kolk resp. voorhaven beschreven.

De konklusies met betrekking tot de verifikatie van de "TROS-procedure" zijn vermeld in paragraaf 5.6.

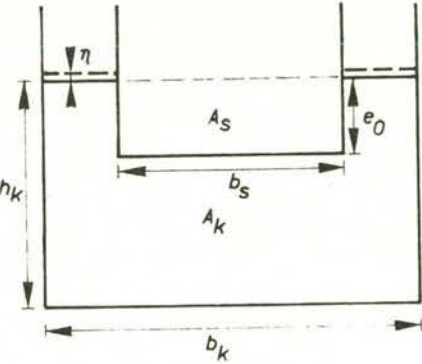
5.3 Korte beschrijving wiskundig model

Ten gevolge van het nivelleren van een waterstandsverschil (b.v. door het vóórtrekken van de roldeur van de duwvaartsluizen in de Philipsdam) zal er een translatiegolf optreden in de schutkolk (en tevens op de voorhaven). De helling van deze translatiegolf varieert voortdurend, dit omdat het debiet door de vul- respektievelijk ledigopening(en) niet konstant is.

Door Schijf [7] is op geschematiseerde wijze het gedrag van de waterspiegel in een schutkolk met een schip berekend. Hierbij kunnen twee aannamen met betrekking tot het scheepsgedrag worden gemaakt:

- het schip is star; d.w.z. het schip zal niet van vorm veranderen bij het passeren van de translatiegolf. Het schip beweegt als totaal. Een extreem voorbeeld hiervan is gegeven in figuur 5.3.1. Ten gevolge van een plotse-linge waterspiegelrijzing η bij de boeg van het schip zal het starre schip nog niet direkt reageren, de positie van het schip verandert nog niet. In dit extreme geval kan de translatiegolfsnelheid (c_s) worden berekend.

Hierbij wordt aangenomen dat de verstoring van het oppervlak (η) klein is ten opzichte van de waterdiepte h_k .

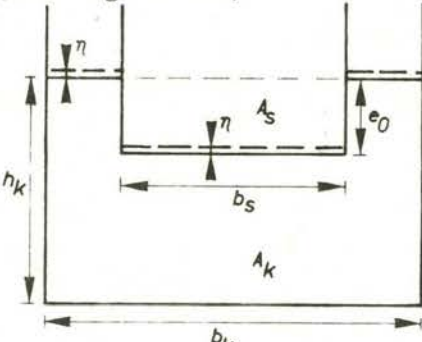


$$c_s = \sqrt{g \cdot \frac{A_k - A_s}{b_k - b_s}} \quad [\text{m/s}] \quad [5.3.1]$$

c_s = translatiegolfsnelheid t.p.v. een star schip $[\text{m/s}]$
 A = oppervlak $[\text{m}^2]$
 b = breedte $[\text{m}]$
 k = kolk
 s = schip

Figuur 5.3.1 Star schip

Nadat de translatiegolf de boeg is gepasseerd, is deze berekening niet meer geldig, het schip stijgt wel, maar volgens zijn eigen totale krachterevenwicht en niet volgens iets wat met een lokale toestand per doorsnede is te beschrijven. Het schip is "flexibel" d.w.z. ieder punt van het schip (in dwarsdoorsnede) volgt de waterspiegel instantaan. De vorm van het schip in langsrichting verandert. Ook hier kan de translatiegolfsnelheid weer worden afgeleid (zie fig. 5.3.2)



$$c'_s = \sqrt{g \cdot \frac{A_k - A_s}{b_k}} \quad [5.3.2]$$

c'_s = translatiegolfsnelheid t.p.v. een flexibel schip $[\text{m/s}]$

Figuur 5.3.2 Flexibel schip

In het wiskundig model wordt het schip als star aangenomen. Daar echter de waterspiegel bij het nivelleren slechts zeer langzaam stijgt zal de translatiegolfsnelheid ongeveer gelijk zijn aan die van het flexibele schip.

Het wiskundig model is opgezet met behulp van de volgende aannamen:

- de waterbeweging is geschematiseerd tot een ééndimensionale waterbeweging in een niet gelineariseerde vorm (ook de wrijving wordt niet verwaarloosd)
- de ondiepwatervergelijkingen (voortplanting van de translatiegolf) zijn geldig.

De kondities die hiervoor gelden zijn

$$h_k/2l_k < 1/20 \text{ à } 1/25$$

waarin h_k = waterdiepte kolk [m]

l_k = lengte kolk [m]

- de scheepsbewegingen die het (starre) schip kan maken zijn dompen en stampen (zie fig. 3.2.1). Het schip ligt in de lengterichting gefixeerd (in feite staan de trossen strak). Daar de berekening eendimensionaal is hebben bewegingen in de y-richting (gieren, slingeren en verzetten) geen invloed op de berekening.

Opmerking: in het schaalmodel kan het schip wel slingeren (gieren en verzetten kan in principe niet alleen ten gevolge van speling in de pen/gatverbinding), de invloed hiervan op de waterbeweging is echter gering, dit ten gevolge van de kleine dwarshellingen.

- het schip wordt geschematiseerd tot een rechthoekige bak
- de massaverdeling van het schip is homogeen
- voor de berekening van de scheepsbewegingen (stampen en dompen) wordt rekening gehouden met massa van het schip, er wordt geen rekening gehouden met meebewegende watermassa
- hydrodynamische demping is verwaarloosd.

Met behulp van bovenstaande aannamen kunnen enkele vergelijkingen worden afgeleid, die de water- en scheepsbewegingen in de schutkolk beschrijven (zie R 1222/M 1481 [5]).

Uit deze vergelijkingen volgen een zestal differentiaalvergelijkingen. Dit stelsel vergelijkingen is dermate ingewikkeld dat een numerieke oplossing (rekenprogramma) noodzakelijk is.

Deze oplossing, het rekenprogramma TROS, is gebaseerd op de methode van eindige differenties.

Het rekenproces kan gestart worden als de rand- en beginvoorwaarden bekend zijn. De beginvoorwaarden bestaan uit de voorhavenwaterstand en de kolkwaterstand (in de kolk is de waterspiegel horizontaal bij het begin van de berekening). Met behulp van vergelijking 5.3.1 (zie ook 3.4.2.1) kan de randwaarde bij de vul- respektievelijk ledigopening(en) worden bepaald.

$$Q(t) = \mu_r(t) \cdot A_r(t) \cdot \sqrt{2g \cdot (\Delta h_o - \Delta h_k(t) - \eta_v(t))} \quad [5.3.3]$$

waarin Q = debiet [m^3/s]
 μ_r = afvoercoëfficiënt [-]
 A_r = roldeuropening [m]
 Δh_o = beginverval [m]
 Δh_k = verandering kolkwaterstand t.o.v. beginwaterstand
in de kolk ter plaatse van de vuldeur/ledigheid
 η_v = translatiegolfhoogte voorhaven
(t) = als functie van de tijd

(Opmerking: ten gevolge van het in of uit de kolk stromende debiet zal er op de voorhaven een translatiegolf ontstaan (η_v), die het verval tussen kolk en voorhaven doet verminderen.)

Aan de zijde van de gesloten (rol)deur geldt de randvoorwaarde $Q = 0$.

Met bovengenoemde voorwaarden en de verschillende afmetingen van kolk, voorhaven en schip kunnen de berekeningen worden gestart.

Een complete beschrijving van het TROS-rekenmodel is te vinden in [5] respectievelijk [6].

5.4 Resultaten schaalmodel (permanentie)

5.4.1 Inleiding

Het schaalmodel dat is gebruikt voor de permanentieproeven is beschreven in paragraaf 2.2.

Zoals reeds in paragraaf 3.2 is beschreven zijn ten behoeve van de "TROS-procedure" in dit model de volgende proeven uitgevoerd:

- bepalen van de afvoercoëfficiënten van vul- respectievelijk ledigopeningen van de roldeur (als randvoorwaarde voor het rekenprogramma); deze proeven zijn reeds beschreven in subparagraaf 3.4.2
- bepalen van de langs- en dwarskrachten op een schip ten gevolge van de vulstraal. De resultaten van deze proeven met betrekking tot de voor het prototype uitgevoerde proeven (voorhavenbreedte $b_v = 200$ m) zijn beschreven in subparagraaf 3.4.4. De voor de verifikatie van de "TROS-procedure" benodigde langs- en dwarskrachten ten gevolge van de vulstraal (voorhavenbreedte 32 m) zijn uit de vulstraal metingen voor het prototype (voorhavenbreedte 200 m) afgeleid. Dit is beschreven in paragraaf 5.4.3 en 5.4.4

- bepalen van langs- en dwarskrachten op een schip tengevolge van uniforme stroming (par. 5.4.2). Dit heeft tot doel het bepalen van de wrijvingsweerstand en de vorm- of restweerstand van de verschillende scheepstypen. In de aangepaste "TROS-procedure" is er geen gebruik gemaakt van deze weerstandskoëfficiënten. Dit volgde uit een foutenanalyse die tevens in deze paragraaf (5.4.2) is opgenomen.

Tevens is het stroombeeld voor één situatie (één tijdstip in een proef) bepaald met behulp van stroomsnelheidsmetingen. De resultaten hiervan zijn gepresenteerd in subparagraaf 5.4.5.

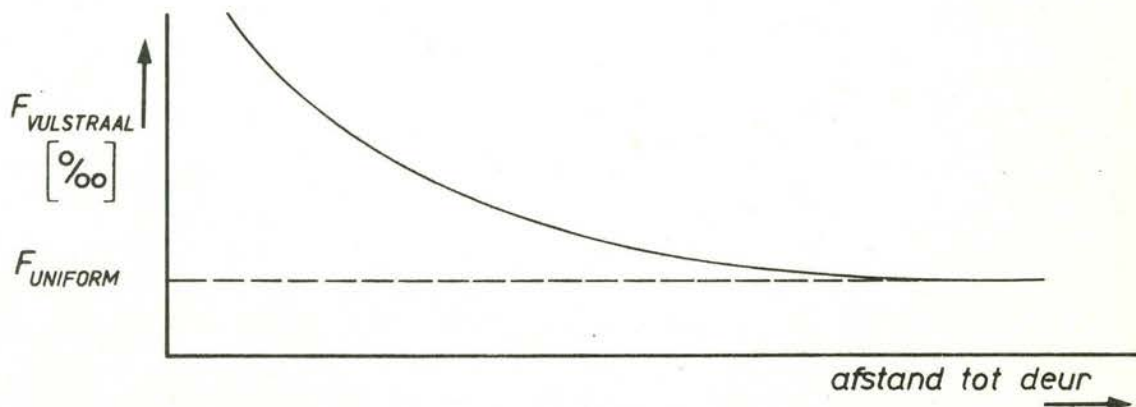
5.4.2 Langs- en dwarskrachten in uniforme stroming

De langskrachten op een schip in uniforme stroming, dus buiten de invloed van de vulstraal, zijn ten behoeve van de "TROS-procedure" bepaald, en wel om de volgende reden:

- Bij de vulstraalproeven worden impliciet langskrachtcomponenten (vorm en huidweerstand) meegenomen, die ook in de berekeningen met het rekenmodel TROS worden meegenomen. Deze componenten worden experimenteel bepaald en afgetrokken van de langskrachten van de vulstraalproeven. In de berekening van deze langskrachtcomponenten in het rekenmodel wordt namelijk rekening gehouden met het feit dat het debiet varieert over de lengterichting van de kolk (zie blz. 90, en vergelijking 3.2.1 op blz. 37).

Bovenstaande kan als volgt worden toegelicht:

Als de afstand van het schip tot de vulopening toeneemt zal bij een permanent ingestelde stroming de langskracht op het schip de langskracht tengevolge van uniforme stroming asymptotisch benaderen. Een schematisch voorbeeld hiervan is gegeven in figuur 5.4.2.1.



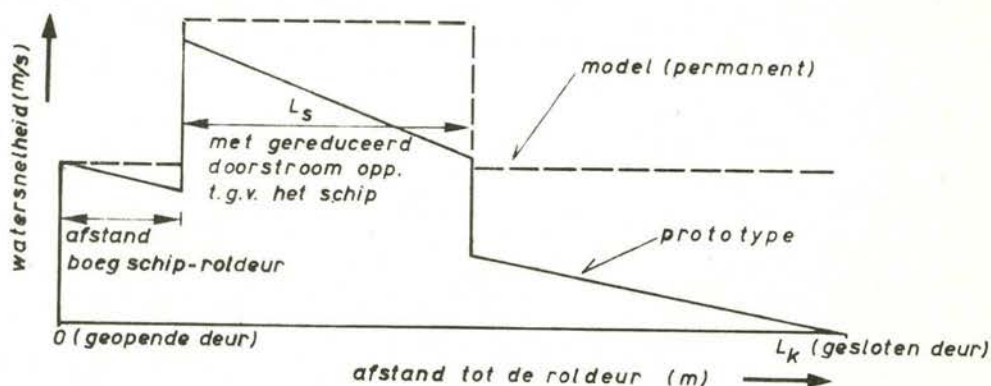
Figuur 5.4.2.1 Langskracht tengevolge van vulstraal als functie van de afstand tot de vulopening

De langskracht alleen ten gevolge van de vulstraal wordt dus verkregen door de kracht ten gevolge van uniforme stroming van de gemeten vulstraalkracht af te trekken.

De "TROS-procedure" met betrekking tot de langskracht ten gevolge van de vulstraal en de uniforme stroming verloopt dan ook als volgt:

- bepalen van de langskracht ten gevolge van de vulstraal in het model en deze verminderen met de langskracht ten gevolge van uniforme permanente stroming
- in het rekenmodel de langskracht ten gevolge van uniforme niet-permanente stroming bepalen.

Dit verschil tussen stroming in het permanentiemodel en het niet-permanentiemodel respektievelijk de echte kolk is aangegeven in figuur 5.4.2.



Figuur 5.4.2.2. Stroming in de kolk in permanentiemodel en rekenmodel (schematisch)

In het permanentiemodel is het debiet in de lengterichting van de sluiskolk konstant (bij uniforme stroming is dan de snelheid konstant) terwijl dit niet het geval is in het rekenmodel (achterwand gesloten: $Q = 0$).

Het verschil in uniforme stromingskracht tussen permanentiemodel en rekenmodel wordt dus met behulp van bovenstaand beschreven gedeelte van de "TROS-procedure" in rekening gebracht.

In feite treedt in het wiskundig model nog een onvolkomenheid op. De vorm- of restweerstand wordt namelijk gedefinieerd als afhankelijk van de snelheid vóór het schip (deze is bepaald bij uniforme stroming). Maar deze vormweerstand is ook afhankelijk van de snelheid ter plaatse van het hek van het schip. Dit wordt in het huidige wiskundige model nog niet in rekening gebracht, en is dan ook een van de onderwerpen voor verdere studie (in het kader van TOW).

In het bovenstaande is de langskracht ten gevolge van wrijving langs de wand van de sluiskolk nog niet genoemd. Ten gevolge van deze wrijving ontstaat er een waterspiegelhelling die een langskracht op het schip zal uitoefenen. Deze langskracht wordt in de modelmetingen meegenomen in de langskracht ten gevolge van uniforme stroming. In het wiskundig model is deze kracht verwerkt door een bepaalde ruwheid van de kolkwand in de berekeningen mee te nemen, waardoor er wrijvingsweerstand respektievelijk een waterspiegelhelling ontstaat.

De "TROS-procedure" met betrekking tot vulstraal en uniforme stroming is als volgt in vergelijkingen uit te drukken:

$$F_{\text{vulstr}} = F_{\text{vulstr}}^{\text{gem}} - F_{\text{unif}}^{\text{model}} \quad [5.4.2.1]$$

$$F_{\text{unif}}^{\text{model}} = F_{\text{vorm}}^{\text{schip}} + F_{\text{wrijving}}^{\text{schip}} + F_{\text{wrijving}}^{\text{wand}} \quad [5.4.2.2]$$

waarin $F_{\text{vulstr}}^{\text{gem}}$ = gemeten vulstraalkracht $[^{\circ}/\infty]$
 F_{vulstr} = omgewerkte vulstraalkracht $[^{\circ}/\infty]$
 $F_{\text{unif}}^{\text{model}}$ = uniforme stromingskracht $[^{\circ}/\infty]$
 $F_{\text{vorm}}^{\text{schip}}$ = vorm- of restweerstandskracht van het schip $[^{\circ}/\infty]$
 $F_{\text{wrijving}}^{\text{schip}}$ = wrijvingsweerstand van het schip $[^{\circ}/\infty]$
 $F_{\text{wrijving}}^{\text{wand}}$ = langskracht op het schip ten gevolge van de waterspiegelhelling van de wrijving langs de kolkwand $[^{\circ}/\infty]$.

In het model wordt bij volledig geopende roldeur de langskracht ten gevolge van uniforme stroming ($F_{\text{uniform}}^{\text{model}}$) gemeten. De verschillende onderdelen van deze langskracht worden als volgt bepaald.

- de langskracht ten gevolge van de wandwrijving wordt bepaald door een bepaalde ruwheid van de kolkwand (resp. scheepshuid) aan te nemen en dan de waterspiegelhelling te berekenen:

$$C_w = 18 \log 12 \frac{R_w}{k_w + \delta/32} \quad [5.4.2.3]$$

$$R_w = \frac{A_k - A_s}{2 \cdot h k} \quad [5.4.2.4]$$

$$\delta = \frac{11,6 \cdot \nu \cdot C}{\sqrt{g} \cdot u} \quad [5.4.2.5]$$

$$i_w = \frac{u^2}{C_w^2 \cdot R_w} \quad [5.4.2.6]$$

$$F_{\text{wrijving}}^{(\text{wand})} = i_w \cdot 1000 \quad [^\circ/\text{oo}] \quad [5.4.2.7]$$

(de wandruwheid k_w wordt geschat)

waarin C_w = Chézy-koëfficiënt (wand) $[m^{1/2}/s]$

R_w = hydraulische straal (wand) $[m]$

δ = dikte laminaire grenslaag $[m]$

k_w = wandruwheid (wand) $[m]$

e_o = diepgang schip $[m]$

u = snelheid t.p.v. het schip $[m/s]$

i_w = waterspiegelhelling $[-]$

ν = viscositeit $[m^2/s]$

u = watersnelheid naast het schip $[m/s]$

- de langskracht ten gevolge van de huidwrijving wordt op de volgende wijze bepaald:

$$F_{\text{wrijving}}^{\text{schip}} = \frac{u^2}{C_s^2 \cdot R_s} \quad [^\circ/\text{oo}] \quad [5.4.2.7]$$

$$R_s = \frac{A_s}{O_s} \quad [m] \quad [5.4.2.8]$$

$$C_s = 18 \log 12 R_s / (K_s + \delta_s / 32) \quad [5.4.2.9]$$

$$\delta_s = \frac{11,6 \cdot \nu \cdot C_s}{\sqrt{g} \cdot u} \quad [5.4.2.10]$$

$$u = \frac{Q}{A_k - A_s} \quad [5.4.2.11]$$

waarin C_s = Chézy-koëfficiënt (schip) $[m^{1/2}/s]$

R_s = hydraulische straal (schip) $[m]$

O_s = omtrek schip $[m]$

k_s = wandruwheid schip $[m]$

of met behulp van

$$F_{\text{wrijving}}^{\text{schip}} = \frac{1}{2} C_F \cdot (2 \cdot e_o + b_s) \cdot u^2 / b_s \cdot e_o \cdot g \quad [^{\circ}/\infty] \quad [5.4.2.12]$$

b_s = breedte schip [m]

C_F = wrijvingsfaktor van het schip [-].

De faktor C_F volgt uit resultaten van vlakke plaatproeven uit scheepvaart-onderzoek (o.a. [9]). De beide bovengenoemde methoden om $F_{\text{wrijving}}^{\text{schip}}$ te berekenen wijken niet al te veel van elkaar af. Om deze reden is gekozen voor de vergelijking waarbij de wrijvingskracht met behulp van de Chézy-koëfficiënt (vgl. 5.4.2.7) wordt berekend.

- de vorm- of restweerstand wordt in het model bepaald door van de gemeten langskracht de langskracht ten gevolge van wrijving langs het schip en de kolkwand af te trekken

$$F_{\text{vorm}}^{\text{schip}} = F_{\text{unif}}^{\text{gemeten}} - F_{\text{wrijving}}^{\text{schip}} - F_{\text{wrijving}}^{\text{wand}} \quad [5.4.2.13]$$

$$F_{\text{vorm}}^{\text{schip}} = \text{langskracht t.g.v. vorm- of restweerstand} \quad [^{\circ}/\infty].$$

De vorm- of restfaktor wordt hieruit bepaald met:

$$C_v = \frac{1000 \cdot F_{\text{vorm}}^{\text{schip}} \cdot g \cdot L_s}{\frac{1}{2} \cdot v_o^2} \quad [5.4.2.14]$$

C_v = vorm- of restweerstandsfaktor [-]

v_o = snelheid vóór het schip [m/s]

L_s = lengte schip [m]

(faktor 1000: omrekening van $^{\circ}/\infty$).

Uit de proefresultaten bleek dat deze C_v -koëfficiënt afhankelijk was van de waterstand. Dit is vertaald naar de blokkeringsfaktor, d.w.z. de kolkdoorsnede gedeeld door de kolkdoorsnede min de scheepsdoorsnede ($A_k / (A_k - A_s)$). Dit is uitgezet in figuur 52 voor de duweenheid (fig. 52(a)) en het binnenvaartschip (fig. 52(b)).

(Let op andere horizontale schaal in fig. (a) en (b)).

Opmerking: tevens is in deze figuur de C_v' weergegeven, dit is de "niet-ge-

korrigeerde" vorm- of restweerstand (vorm- of restweerstand met wrijving).

$$C'_v = \frac{1000 \cdot F_{\text{unif}}^{\text{gemeten}} \cdot g \cdot L_s}{\frac{1}{2} v_o^2} \quad [5.4.2.15]$$

De vergelijking tussen C_v (zonder wrijving) en C'_v (met wrijving) is in feite uitgevoerd om uit te zoeken of het mogelijk was om de langskracht op een schip ten gevolge van uniforme stroming met één koëfficiënt te kunnen beschrijven. Dit daar fouten in de wrijvingsfaktor (C_F) doorwerken in de vorm- of restweerstand (C_F -faktor wordt geschat!).

Daar de blokkeringsfaktor de verhouding is tussen de snelheid voor en de snelheid ter plaatse van het schip volgt C'_v in feite uit:

$$C'_v = C_v + C_F(\text{schip}) \cdot \left(\frac{A_k}{A_k - A_s}\right)^2 + C_F(\text{wand}) \cdot \left(\frac{A_k}{A_k - A_s}\right)^2 \quad [5.4.2.16]$$

Bovenstaande betekent echter wel dat in het geval er geen direkte relatie meer is tussen de snelheid voor en ter plaatse van het schip (b.v. in het rekenprogramma, bij niet-permanentie, zie fig. 5.4.2) het bovenstaande niet meer juist is en dus de scheiding tussen wrijvingsweerstand en vorm- of restweerstand moet blijven gehandhaafd.

debietafhankelijkheid

In de proevenserie met uniforme stroming is tevens nagegaan of de langskracht ten gevolge van uniforme stroming in het geval van kleine debieten werd beïnvloed door viskeuze effecten.

Hiervoor zijn proeven uitgevoerd waarbij het debiet is gevarieerd. In figuur 53 (a, b en c) zijn de resultaten van deze proeven (met de duweenheid) vermeld.

In principe moet gelden dat de relatie F/Q^2 ongeveer konstant is voor veranderende Q (volgt uit de vergelijkingen: $F :: v^2 :: Q^2$). Uit figuur 53c blijkt dit echter niet het geval te zijn (proeven zonder turbulentiestimulatoren).

Er kan ook gesteld worden dat de langskracht op het schip wordt veroorzaakt door een laminaire stroming. De langskracht moet dan ongeveer lineair met het debiet verlopen. (F/Q ongeveer konstant bij variatie van Q), dit blijkt echter niet op te gaan (fig. 53b).

De verklaring werd in eerste instantie gezocht in het niet juist weergeven van de stroming direkt om het schip ten opzichte van het prototype. De grenslaag bij de huid van het schip zal in het prototype vrijwel direkt bij de

boeg van het schip overgaan van laminair naar turbulent. Deze turbulente grenslaagontwikkeling zal in het model niet direkt achter de boeg van het schip optreden. Om deze reden zijn dan ook turbulentiestimulatoren direkt achter de boeg van de duweenheid aangebracht.

Deze turbulentiestimulatoren bestaan uit een op de huid van de duweenheid geplakte zandstrook. (ongeveer 3 cm breed en ongeveer 20 cm (model) van de boeg). Uit de vergelijking van de resultaten tussen proeven met en zonder turbulentiestimulatoren blijkt dat de invloed van deze stimulatoren vrij groot is. De invloed op de relatie F/Q^2 is echter niet zoals verwacht, de proeven met turbulentiestimulatoren vertonen een grotere afhankelijkheid van F/Q^2 met het debiet.

Voor dit fenomeen is nog geen passende verklaring gevonden.

foutenanalyse

Bij het omwerken van de langskracht ten gevolge van de vulstraal (aftrekken uniforme stromingskracht, zie fig. 5.4.2.1) en bij het bepalen van de vorm- of restweerstand wordt ten gevolge van allerlei aannamen en meetfouten (in b.v. debieten en waterstanden) de nauwkeurigheid van de TROS-procedure beïnvloed. Hiernavolgend is afgeschat of de "TROS-procedure" (in dit geval) statistisch gezien tot andere resultaten zou leiden dan een vereenvoudigde procedure (zie par. 3.1 en fig. 14).

De fout in de vorm- of restweerstand van een schip kan als volgt worden bepaald:

uitgaande van de vergelijkingen 5.4.2.13 en 5.4.2.14 volgt:

$$C_v = \frac{1000 \cdot (F_{\text{gem}} - F_{\text{wrijving}}^{\text{schip}} - F_{\text{wrijving}}^{\text{wand}}) \cdot g \cdot L_s}{\frac{1}{2} \cdot v_o^2} \quad [5.4.2.17]$$

Een foutenbeschouwing levert het volgende resultaat:

$$\frac{\Delta C_v}{C_v} = \frac{\Delta F'}{F'} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta L_s}{L_s} + 2 \frac{\Delta v}{v} \quad [5.4.2.18]$$

(waarin $F' = F_{\text{gem}} - F_{\text{wrijving}}^{\text{schip}} - F_{\text{wrijving}}^{\text{wand}}$).

De relatieve fouten in de zwaartekrachtversnelling (g) en de lengte van het

schip (L_s) zijn verwaarloosbaar ten opzichte van de fout in de snelheid en de langskrachten op het schip.

De relatieve fout in de snelheid (v) volgt uit:

$$v = \frac{Q}{A} \rightarrow \frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta b_k}{b_k} \quad [5.4.2.19]$$

De relatieve fout in de debietinstelling in het model is afgeschat op ongeveer 2,0%. De waterstand in het model kan op ongeveer 0,2 mm nauwkeurig worden ingesteld. Dit levert bij een waterstand van ongeveer 0,15 m een fout van ongeveer 0,1%. De breedte van de kolk is in het model niet geheel konstant zodat de totale relatieve fout in de snelheid ($\Delta v/v$) is afgeschat op 2,5%.

Door het herhalen van proeven (par. 4.4.2) is de relatieve fout in de langskracht (F') in enkele gevallen afgeschat; deze fout bleek ongeveer 10% te bedragen. De totale fout in de vorm- of restweerstandskoefficiënt C_v bedraagt dan ongeveer 15%.

Het bovenstaande geldt voor de duweenheid (4 duwbakken). Dit schip is dan ook in de verdere berekeningen als voorbeeld genomen. Met betrekking tot het binnenvaartschip kan een zelfde exercitie worden uitgevoerd welke tot een in orde grootte zelfde resultaat leidt.

Zoals uit enkele proeven is gebleken is de vorm- of restweerstandskoefficiënt (C_v) afhankelijk van de waterstand (blokkeringsfaktor, zie fig. 52). In de huidige TROS-procedure moet deze koefficiënt (gedurende een proef) als konstante worden ingevoerd.

Uitgaande van een waterstandsverschil van 0,50 m tussen het begin en het einde van een proef volgt bij een (gemiddelde) waterstand van 6.25 m in de kolk een extra relatieve fout in de vorm- of restweerstandskoefficiënt van ongeveer 5% (zie fig. 52 variatie van de blokkeringsfaktor tussen $\pm 1,93$ en $\pm 2,09$).

Uitgaande van de methode van de TROS-procedure volgt de vulstraalkracht op het schip uit:

$$F_{vul} = F_{vul}^{gem} - F_{unif}^{perm} \quad [5.4.2.20]$$

waarin F_{unif} is berekend met behulp van C_F en \bar{C}_v .

De totale langskracht op het schip volgt uit (zie ook fig. 14):

$$F_{\text{tot}} = F_{\text{reken}} + F_{\text{vul}} + F_{\text{unif}}^{\text{niet-perm}} \quad [5.4.2.21]$$

waarin $F_{\text{unif}}^{\text{niet-perm}}$ = de langskracht ten gevolge van niet-permanente uniforme stroming (berekend met \bar{C}_v en C_F)
 F_{reken} = de langskracht berekend door het rekenprogramma, de kracht ten gevolge van de translatie en wrijving langs de wanden en bodem.

Uitgaande van de maximum langskracht ten gevolge van de vulstraal van proef PH 6 (T = 100 s) volgt met betrekking tot deze methode het volgende:

$$\begin{aligned} F_{\text{vul}}^{\text{gem}} &= -0,176^{\circ}/\infty \text{ (+ 5\%)} \quad (Q = 20,2 \text{ m}^3/\text{s}, h = 5,39 \text{ m}) \\ F_{\text{unif}} &= 0,115^{\circ}/\infty \text{ (+10\%)} \quad (\bar{C}_v = 5,4, \bar{C}_F = 0,014) \\ F_{\text{reken}} &= 0,353^{\circ}/\infty \text{ (+ 5\% onnauwkeurigheid in de afvoercoëfficiënt en wrijving)} \\ F_{\text{unif}}^{\text{niet-perm}} &= 0,070^{\circ}/\infty \text{ (+10\%)} \\ F_{\text{tot}} &= 0,353 + (-0,176 - 0,115) + 0,070 = 0,1320 \text{ (+ 0,025}^{\circ}/\infty) \end{aligned}$$

Met behulp van de aangepaste TROS-procedure volgde de totale langskracht uit:

$$F'_{\text{tot}} = F_{\text{reken}} + F_{\text{vul}}^{\text{gem}} = 0,353 - 0,176 = 0,177 \text{ (+ 0,020}^{\circ}/\infty)$$

Uitgaande van bovengenoemde getallen en aannemende dat beide berekende totale langskrachten normaal verdeeld zijn volgt dat de beide normale verdelingen elkaar snijden. Uit statisch oogpunt zijn beide verdelingen bijna niet van elkaar te scheiden daar een groot gedeelte van hun betrouwbaarheidsintervallen elkaar overlappen.

Hierbij moet bovendien bedacht worden dat het praktijkonderzoek gaat om de toelaatbare troskrachten (bij duweenhed $0,7^{\circ}/\infty$) te verifiëren, zodat een fout van ongeveer 6% ($\approx (0,177 - 0,132)/0,7$) op de totale langskracht toelaatbaar is.

Bij kleinere debieten (dit was ongeveer bij maximum debiet) wordt het verschil tussen de met beide methoden berekende langskrachten nog geringer. Uit het bovenstaande kan de konklusie getrokken worden dat de aangepaste TROS-procedure (in deze situatie) niet tot andere resultaten leidt dan de

(in het kader van TOW ontwikkelde) "normale" TROS-procedure.

dwarskrachten tengevolge van uniforme stroming

Bij enkele proeven waarbij de langskracht op de duweenheid is gemeten tengevolge van uniforme stroming, zijn tevens de dwarskrachten gemeten. Hierbij is de positie van het schip in breedterichting van de kolk gevarieerd (zie tabel X). De langskracht op het schip blijft dan konstant, de dwarskrachten op het schip variëren echter. Uit de proefresultaten blijkt dat de dwarskrachten de tendentie vertonen om naar de kolkwand gericht te zijn waar het schip het dichtst bij ligt. Bij een symmetrische positie van het schip in breedterichting van de kolk zijn de dwarskrachten ook inderdaad ongeveer nul. De orde van grootte van de dwarskrachten bij uniforme stroming is ongeveer $0,01 \text{ } ^\circ/\text{oo}$ ($0,01 \text{ } ^\circ/\text{oo}$ komt overeen met 1.6 gram in het model). Een verdere beschouwing van de resultaten is niet opgenomen in verband met de (relatief) zeer grote nauwkeurigheden in de metingen.

5.4.3 Debietafhankelijkheid van de langskracht ten gevolge van de vulstraal (permanentie)

In het geval van de proeven met permanente uniforme stroming (roldeur geheel geopend) bleek dat er een debietafhankelijkheid was van de faktor F/Q^2 (zie par. 5.4.2). Deze afhankelijkheid kon niet geheel verklaard worden. Om deze reden is dan ook gecontroleerd of in het geval van de vulstraalproeven (permanent, niet-uniform) een zelfde soort verschijnsel optreedt.

De langskracht op een schip ten gevolge van de vulstraal kan, zoals eerder al vermeld, worden onderscheiden in twee componenten.

Een komponent ten gevolge van de boegstraal (van de roldeur af gericht) en een komponent ten gevolge van de waterspiegelaflinking (naar de roldeur toe gericht).

Met betrekking tot beide componenten kan worden verwacht dat deze vooral afhankelijk zijn van de snelheid in het kwadraat. De komponent ten gevolge van boegstraal is afhankelijk van de stromingsdruk op de boeg, de komponent ten gevolge van de waterspiegelaflinking is afhankelijk van het verschil in snelheidshoogte over het schip.

In het permanentiemodel zijn de langskrachten ten gevolge van de vulstraal bepaald (zowel bij de duweenheid als het binnenvaartschip) bij variabele debieten en konstante waterstand, roldeuropening en scheepspositie.

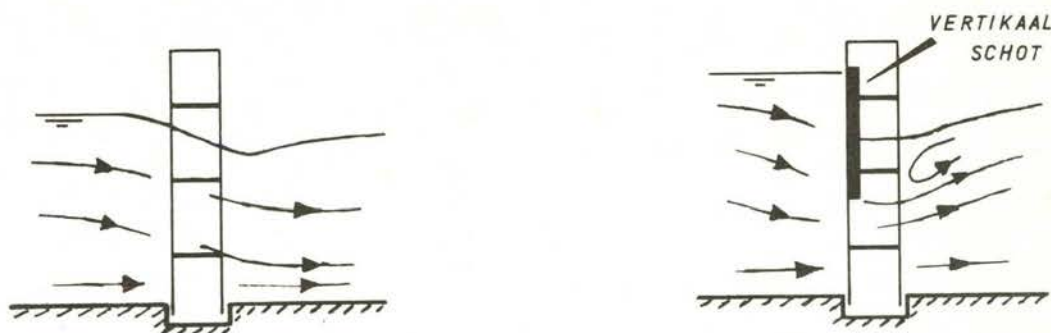
De resultaten van deze proeven zijn gepresenteerd in de figuur 54 (duween-

heid) en figuur 55 (binnenvaartschip).

duweenheid

Voor de verschillende roldeuropeningen ($b_r = 0,033 \text{ m}$, $0,063 \text{ m}$ en $0,322 \text{ m}$) blijkt de faktor F/Q^2 te variëren met het debiet. Vooral bij een roldeuropening van $0,033 \text{ m}$ (model) is het verloop van de faktor F/Q^2 moeilijk te verklaren. In eerste instantie is gedacht aan het effect van een duikende straal door de opening welke in het geval van grotere debieten (grotere vervallen) meer invloed zou kunnen hebben.

Dit is uitgetest door ter plaatse van het wateroppervlak in de roldeuropening een schot te plaatsen. Dit schot (zie fig. 5.4.3.1) zorgt ervoor dat de debietafhankelijkheid van de straalrichting afneemt (een zelfde stroombeeld bij verschillende debieten).

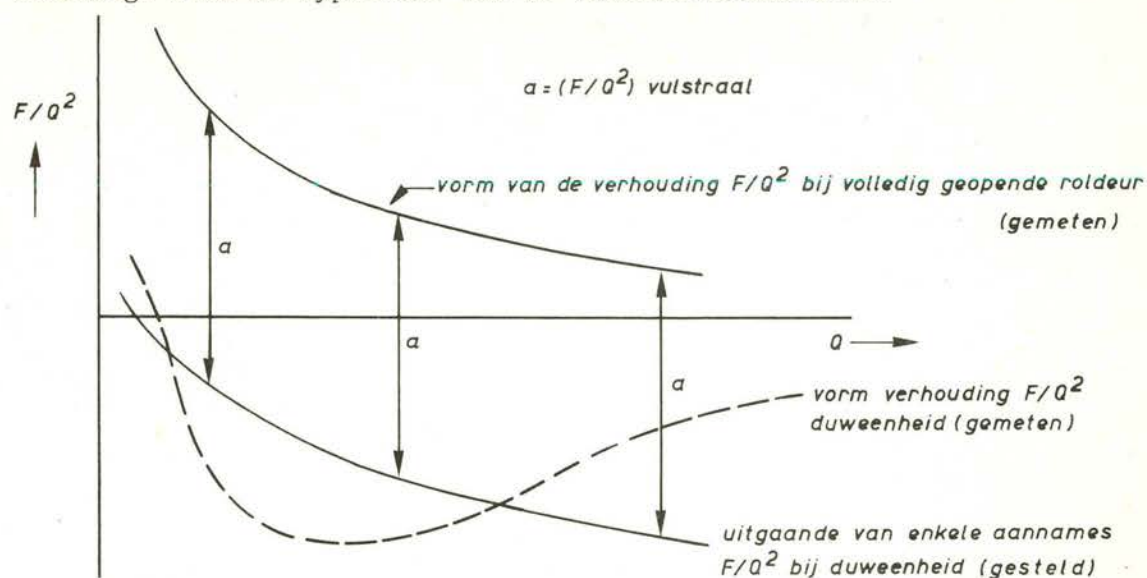


Figuur 5.4.3.1 Instroming bij de roldeur met en zonder schot

Uit de resultaten van de proeven met een schot blijkt echter dat het verloop van de faktor F/Q^2 met het debiet kwalitatief hetzelfde blijft. De invloed van de duikende straal blijkt dus weinig invloed te hebben.

Een belangrijk punt bij de interpretatie van het F/Q^2 verloop met Q is of hier sprake is van een invloed van het lage Reynoldsgetal (viskositeitsinvloed). Deze zal in het bijzonder merkbaar zijn in de nauwe spleten tussen schip en kolk. Het is te verwachten dat de lokale waterspiegel afzinking Reynolds onafhankelijk is. Als het schip in deze waterspiegelafzinking ligt (dus voor in de kolk) zal ook de langskracht op het schip tengevolge van de waterspiegelafzinking Reynolds onafhankelijk zijn. Daar de tengevolge van de vulstraal ingebrachte turbulentie vrij groot is mag verwacht worden dat ook de langskracht tengevolge van de tegen de boeg van het schip stromende water niet Reynoldsgevoelig is. Het verloop van F/Q^2 zou in dit geval dan ongeveer parallel moeten verlopen met het verloop bij een scheepspositie-nering achter in de kolk.

Dit is niet het geval, het verloop is als in figuur 5.3.4.2 aangegeven; dit bevestigt niet de hypothese van de viskositeitsinvloed.



Figuur 5.3.4.2. Gemeten en gestelde verhouding f/Q^2 als functie van Q

binnenvaartschip

Het verloop van de faktor F/Q^2 (bij een afstand van 7,5 m tot de roldeur) bij verschillende roldeuropeningen komt bij dit scheepstype goed overeen (kwalitatief) met het verloop van F/Q^2 bij volledig geopende roldeur ($b_r = 0,60$ m) (zie fig. 55) Maar ook hier is niet direkt sprake van een parallelle verschuiving, die is beschreven in fig. 5.9.4.2. De faktor F/Q^2 vertoont de tendentie om sterker toe te nemen bij afnemend debiet voor kleiner wordende roldeuropeningen.

Het schil in verloop van F/Q^2 tussen beide scheepstypen is misschien te verklaren uit het feit dat de duweenhed voor een groot gedeelte in de neer is gepositioneerd aan de kaszijde van de kolk. (zie par. 5.4.5)

In het model is voor één proef (PH 3; duweenhed) de invloed van turbulentie-stimulatoren op de gemeten krachten ten gevolge van de vulstraal bepaald. Zoals uit figuur 56 blijkt is deze invloed verwaarloosbaar. Dit is verklaarbaar daar de turbulentie-intensiteit in de vulstraal groot is zodat turbulentie-stimulatoren weinig invloed zullen hebben.

Dit deel van het onderzoek heeft niet bevestigd dat er een systematische invloed is van het Reynoldsgetal op de krachten, maar er is ook geen andere verklaring gevonden voor de optredende "onregelmatigheden".

Proeven op veel grotere schaal zouden meer inzicht kunnen geven.

5.4.4 Omwerken vulstraalproeven

In paragraaf 3.4.4 zijn de vulstraalproeven beschreven, die zijn uitgevoerd ten behoeve van het onderzoek naar de roldeurprogrammering in de tijdelijke situatie van de Philipsdamsluizen. Bij deze proeven wordt bij elke roldeuropening het bij het prototype behorende debiet en bijbehorende waterstand ingesteld.

De resultaten van deze vulstraalproeven worden ook gebruikt bij de verifikatie van de TROS-procedure.

Daar de voorhavenbreedte in het complete schaalmodel en prototype niet overeenkomen (32 m t.o.v. 200 m) is er een verschil in waterstand- en debietverloop (in de tijd) tussen model en prototype (zie par. 2.6).

De grootte en het verloop van deze langskracht worden hiernavolgend afgeschut met behulp van de resultaten uit paragraaf 3.4.4 en paragraaf 5.4.3.

De wijze van afschatten is als volgt:

- voor de op verschillende tijdstippen in het vulproces bepaalde langskrachten ten gevolge van de vulstraal is de faktor F/Q^2 bepaald. Dit is de faktor F/Q^2 voor het prototype ($(F/Q^2)_{\text{proto}}$)
- uitgaande van de veronderstelling dat de faktor F/Q^2 niet debietafhankelijk is kan de langskracht ten gevolge van in het model worden bepaald met behulp van

$$F_{\text{vul}}^{(32\text{m})} = (F/Q^2)_{200\text{m}} \cdot Q_{(32\text{m})}^2 \quad [5.5.4.1]$$

waarin $F_{\text{vul}}^{(32\text{m})}$ = berekende vulstraalkracht bij 32 m brede voorhaven [$^\circ/\text{oo}$]
 $Q_{(32\text{m})}$ = debiet bij 32 m brede voorhaven [m^3/s]
 $(F/Q^2)_{200\text{m}}$ = verhouding F/Q^2 bij 200 m brede voorhaven [$^\circ/\text{oo s}^2/\text{m}^6$]

(Hierbij wordt aangenomen dat het stromingspatroon geen wijzigingen ondergaat ten gevolge van het verschil in waterstand van de proeven met een 200 m en 32 m brede voorhaven.)

Daar de faktor F/Q^2 (te bepalen uit fig. 54 (duweenheid) of fig. 55 (binnenvaartschip)) echter debietafhankelijk is (zie par. 5.4.3) zal de met behulp van vergelijking 5.4.4.1 berekende vulstraalkracht nog moeten worden gekorregeerd.

Deze korrektie is afgeschat uit bovengenoemde figuren.

Bij enkele proeven (VL 6 t/m VL 9 en VL 14), waarbij de voorhavenwaterstand NAP -0,50 m was bij de vulstraalproeven (voor de situatie met een 200 m brede voorhaven), bleken de modelproeven te zijn uitgevoerd met een voorhavenwaterstand van NAP -1,00 m (kolkwaterstand NAP -1,50 m). Dit verschil is met behulp van het vergelijken van de faktor (F/Q^2) bij een voorhavenwaterstand van NAP +1,00 m en NAP -0,50 m gecorrigeerd^{*}. Het verschil in langskracht ten gevolge van de vulstraal door deze niet juist ingestelde waterstand op de voorhaven (en kolk) is ongeveer 0,03⁰/oo (zie tabel VIII kolom 10 en 13 vermenigvuldigen). Deze "fout" in de langskracht is nog kleiner dan de fout in de totale langskracht (zie par. 5.4.2) zodat in feite het verschil in waterstand (statistischgezien) verwaarloosd kan worden. De korrektie van de vulstraalkrachten ten gevolge van het verschil in waterstand zijn echter toch uitgevoerd.

Een voorbeeld van de in het bovenstaande genoemde omwerking van de vulstraalkrachten is gegeven in tabel VIII.

De in deze tabel vermelde debieten volgen uit het rekenprogramma TROS (kolom 3, 4 en 5). De langskrachten ten gevolge van de vulstraal die zijn bepaald in het schaalmodel zijn gepresenteerd in de kolommen 6 en 7 van deze tabel. Deze langskrachten zijn bepaald bij verschillende waterstanden (NAP +1,00 m en NAP -0,50 m), delen door de bijbehorende debieten levert de factoren F/Q^2 (kolom 8 en 9) die van belang zijn voor het bepalen van de invloed van het verschil in waterstand (dat bij deze proef optrad, zie hierboven). De invloed van het debiet (kolom 3 en 4) op de faktor (F/Q^2) is afgeschat met behulp van figuur 54 (duweenheid), de korrektie faktor die dit weergeeft is vermeld in kolom 11. De invloed van het debiet (in het kwadraat) op de langskracht is gegeven in kolom 12.

De langskracht ten gevolge van de vulstraal in het geval van proef VL 6 wordt afgeschat door de langskracht gemeten in het model (permanentie; $F_{5.75}^{200}$) te vermenigvuldigen met de korrektie factoren uit de kolommen 10, 11 en 12, het resultaat is vermeld in kolom 13.

Voor alle proeven is deze bewerking uitgevoerd (de waterstandskorrektie van F/Q^2 is alleen uitgevoerd voor de proeven VL 6 t/m 9 en VL 14).

De uitgevoerde proeven met betrekking tot de verifikatie van de TROS-procedure en de overeenkomende proeven met betrekking tot de proeven met betrekking tot

^{*}Opmerking: de TROS-berekeningen die zijn uitgevoerd voor de verifikatie van TROS-procedure, hebben ook de waterstand uit het model (NAP -1,00 m) als invoer

de tijdelijke situatie (hfdst. III) zijn vermeld in tabel IX.

De dwarskrachten, die optreden ten gevolge van de vulstraal, zijn niet omgewerkt.

De reden hiervoor is dat de theoretische achtergrond respektievelijk een inzicht in het ontstaan van deze dwarskrachten nog niet is ontwikkeld. Het is dan ook moeilijk aan te geven hoe deze krachten ten gevolge van debietveranderingen zullen wijzigen.

De resultaten van de verschillende proeven hebben niet geleid tot een duidelijk inzicht in het fenomeen dwarskrachten op schepen. In het geval van de duweenheid werd dit veroorzaakt door de zeer geringe dwarskrachten waardoor randinvloeden (invloed wanden, scheef schip, wind rond het model) invloed hadden op de resultaten. Ook de ligging van het schip in de breedterichting van de kolk had vrij veel invloed zodat geringe afwijkingen al een duidelijk verschil in dwarskrachten gaf.

In het geval van het binnenvaartschip zijn het aantal uitgevoerde proeven vrij gering, zodat ook hier moeilijk enig inzicht kon worden verkregen.

5.4.5 Stroombeeldmetingen

In het schaalmodel met permanente stroming is voor één tijdstip uit een vulproces het stroombeeld bepaald tussen roldeur en schip. Het idee hierbij was, dat dit stroombeeld bij permanentie zou kunnen worden vergeleken met een stroombeeld bepaald bij proeven in het schaalmodel bij niet-permanentie (fase 2). In paragraaf 5.5.5 zijn de resultaten van een niet-permanentieproef vermeld; van deze proef komen de randvoorwaarden echter niet overeen met de in deze paragraaf beschreven proef.

Het stroombeeld is bepaald in het geval van proef PH 8 (schip is iets verder naar achteren verplaatst (op ongeveer 30 m achter de roldeur) om nog iets meer snelheden te kunnen meten). Het tijdstip is 200 s (roldeuropening 7,87 m, prototype) een waterstand van NAP -0,60 m in de kolk en een debiet van $23 \text{ m}^3/\text{s}$. De snelheden zijn alleen in de lengterichting van de kolk gemeten (vaste richting micromolen) zodat de snelheden in bepaalde punten van de neer (geen stroming in de lengterichting) niet geheel juist zullen zijn.

De verschillende snelheidsprofielen die in enkele raaien tussen schip zijn gemeten zijn uitgezet in figuur 57. Een horizontale doorsnede van de kolk

(met snelheidsprofielen) ter plaatse van de meetpunten bij de bodem is weergegeven in figuur 58. Hierbij is het stroombeeld beter te onderkennen dan uit figuur 57.

Uit de resultaten blijkt (fig. 58) dat het gebied, waarin een (gemiddelde) van de roldeur af gerichte stroomsnelheid zich uitbreidt onder een helling van 1:3 vanaf de roldeur. Het gebied waarin de snelheid hoger is dan ongeveer $1/3 \cdot v_{\text{straal}}$ breidt zich uit onder 1:7, het gebied met een snelheid hoger dan $2/3 \cdot v_{\text{straal}}$ breidt zich uit onder een helling van 1:12⁵. De hoge snelheden in de straal blijven dus over een grote afstand gekoncentreerd in een beperkt gebied. Het overgangsgebied van de gekoncentreerde straal naar een gebied waar een geringe of tegengesteld aan de straal gerichte snelheid heerst (een neer) breidt zich vrij sterk uit. Direkt achter de roldeur is een gebied waar nauwelijks stroming optreedt.

De invloed van de duweenheid op het stroombeeld is ook op ongeveer 0,9 m (prototype) van de boeg van het schip nog niet duidelijk merkbaar (zie fig. 57). De bodemsnelheden zijn in de laatste raai voor het schip wel groter dan de oppervlaktesnelheden maar dit geldt ook al in raai 3 en 4.

5.5 Vergelijken resultaten TROS-procedure en schaalmodel (niet-permanentie)

5.5.1 Inleiding

In de hiernavolgende paragrafen volgt de eigenlijke verifikatie van de TROS-procedure met behulp van het schaalmodel (fase 2, niet-permanentie). In de voorafgaande paragrafen is al iets behandeld met betrekking tot de vulstraalkrachten. Hiernavolgend worden de totale krachten vergeleken.

Er is een onderverdeling gemaakt in langskrachten (5.5.2), dwarskrachten (5.5.3) en stroombeeld respektievelijk stroomsnelheden (5.5.4). De waterbeweging met betrekking tot de waterstanden en debieten wordt tezamen behandeld met de langskrachten.

Bij deze verifikatie gaat het er om of het rekenprogramma de waterbeweging in de kolk respektievelijk de langskracht ten gevolge van de translatiegolf goed weergeeft.

Tevens wordt nagegaan of de procedure met betrekking tot het bepalen van de vulstraalkrachten goede resultaten oplevert.

Een vergelijking van de dwarskrachten is ook opgenomen alhoewel de eigenlijke

TROS-procedure hier niet voor is opgezet (alleen langskrachten).

5.5.2 Proevenprogramma

In tabel IX is het proevenprogramma met betrekking tot de verificatie van de TROS-procedure vermeld. Dit proevenprogramma is in feite hetzelfde als is uitgevoerd met betrekking tot het bepalen van de krachten op de schepen in de tijdelijke fase (H III, tabel I).

Omdat dan dezelfde vulstraalproeven bij de verificatie van de TROS-procedure gebruikt zou kunnen worden, hoewel er wel enige korrekties op de vulstraalkrachten moesten worden aangebracht (zie par. 5.4.4).

In het totaal zijn er 17 proeven uitgevoerd waarvan 16 vulproeven en een ledigproef. De gehele verificatie is dus vooral gericht op de vulsituatie daar dan naast de krachten ten gevolge van de translatiegolven ook vulstraalkrachten optreden. In het geval van ledigen zullen er alleen krachten optreden ten gevolge van translatiegolven en stroming.

De ledigsituatie kan dan ook geheel met het rekenprogramma worden doorgerekend, terwijl ook een direkte vergelijking met de proefresultaten mogelijk is.

Een verificatie van het rekenprogramma met meer ledigproeven leek niet zinvol daar ook bij vullen al een verificatie van het rekenprogramma wordt uitgevoerd (schip ver van de deur, waterstanden en debieten die gemeten en berekend zijn vergelijken).

5.5.3 Vergelijken langskrachten tevens waterstanden en debieten

5.5.3.1 Algemeen

De verificatie van de TROS-procedure dient zich op de volgende onderdelen te richten:

- wordt de langskracht ten gevolge van de translatiegolf en de daarbijbehorende waterbeweging in het rekenprogramma goed weergegeven (in vergelijking met het schaalmodel?
- is de met behulp van de (aangepaste) TROS-procedure bepaalde kracht ten gevolge van de vulstraal een goede afschatting van de vulstraalkracht zoals deze in het schaalmodel optreedt?

De resultaten van de proeven (zie voor proefnr. etc. tabel IX) zijn weergegeven in de figuren 59 t/m 75.

Uit een globale vergelijking tussen de gemeten en met behulp van de TROS-procedure bepaalde totale langskracht op het schip van de verschillende proeven kan het volgende worden gekonkludeerd:

- de periodiciteit (afstand tussen de toppen) van de translatiegolf wordt over het algemeen redelijk gereproduceerd (met een spreiding van enkele sekonden; alleen in het geval van proef VL 5 (fig. 62) treedt er een onverklaarbaar verschil op)
- uit de periode van de translatiegolf kan worden opgemaakt dat beide schepen "flexibel" reageren op de translatiegolven. D.w.z. dat de veranderingen in de waterspiegelhelling (waterspiegelrijzing) zodanig traag zijn dat het schip deze waterspiegelhelling kan volgen. De translatiegolfsnelheid langs het schip is dan (zie ook par. 5.3)

$$c_s = \sqrt{g \frac{(A_k - A_s)}{b_k}} \quad [5.5.3.1.1]$$

terwijl in de doorsnede zonder schip geldt:

$$c = \sqrt{g \cdot \frac{A_k}{b_k}} \quad [5.5.3.1.2]$$

- na ± 180 à 220 sekonden (na het begin van het nivelleerproces) wordt het debiet door de vulopening ongeveer nul of negatief (stroming naar de voorhaven bij vullen). In de vulsituatie zal dan de langskracht ten gevolge van de vulstraal afnemen naar nul. De berekende en gemeten langskracht moeten tot dan ongeveer hetzelfde zijn. Daar de lengte van de voorhaven in het schaalmodel eindig is (in het rekenmodel is de voorhaven oneindig lang) zullen er reflecties optreden van de translatiegolf op de voorhaven. Nadat deze gereflekteerde translatiegolven de kolk hebben bereikt is de vergelijking met de TROS-procedure (rekenmodel) dus niet meer mogelijk.

Uitgaande van een voorhavenlengte in het model van ± 24 m (zie fig. 4; ongeveer 4 m is niet in rekening gebracht daar hier een muurtje met geperforeerde stenen was opgetrokken, waar tegen een gedeeltelijke reflectie optrad) een waterdiepte van ongeveer 0,13 m (NAP -1,00 m) en 0,18 m (NAP +1,00 m) volgt dat de translatiegolven na ongeveer 36 à 42 s model de roldeur weer bereiken.

Op protoschaal (waarin de figuren zijn uitgezet) is dit ongeveer 230 à 265 sekonden

- de periodiciteit van de translatiegolf is kleiner bij het binnenvaartschip. Dit is het gevolg van het feit dat de translatiegolf naast het binnenvaartschip sneller loopt dan naast de duweenhed (zie vgl. [5.5.3.1.1]), ter-

wijl de duweenheid ook nog langer is (ongeveer anderhalf maal) dan het binnenvaartschip

- over het algemeen blijkt dat de langskracht ten gevolge van de vulstraal voor beide schepen niet erg goed wordt weergegeven bij het toepassen van de TROS-procedure. Dit wordt verderop in deze paragraaf behandeld
- de langskracht ten gevolge van de translatiegolven wordt goed weergegeven. Dit blijkt o.a. uit de resultaten van proef L_1 , een ledigproef. Daar er geen vulstraal optreedt, zullen de langskrachten op de schepen alleen worden veroorzaakt door de translatiegolven (langskrachten t.g.v. stroming worden verwaarloosd). Het in deze proef (L_1 fig. 75) optredende verschil in berekende en gemeten langskracht tussen ongeveer 20 en 60 seconden is niet duidelijk te verklaren.

Het rekenprogramma, dat de langskracht ten gevolge van de translatiegolven berekent, berekent ook de waterstanden en debieten op verschillende plaatsen in de kolk,

Voor twee proeven (VL 3 en 4) zijn de gemeten en berekende waterstanden (achter in de kolk) vergeleken. Tevens zijn de waterstandsregistraties van verschillende proeven onderling vergeleken (proef VL 6, 7, 8 en 9 en proef VL 1, 3, 4 en 5).

Het debiet door de roldeuropening is in het schaalmodel niet te meten. Door echter uit te gaan van de translatiegolfhoogte op de voorhaven kan echter dit debiet wel worden afgeschat.

5.5.3.2 Vergelijken waterstanden

Zoals in figuur 76 (proef VL 3) en figuur 77 (proef VL 4) is aangegeven komen de berekende en gemeten waterstandsverlopen als functie van de tijd goed overeen. (Dit geeft in feite aan dat ook het berekende en gemeten debietverloop goed zal overeenkomen.)

Vergelijken we echter de gemeten waterstand van proef VL 2 met de berekende waterstand van VL 2 respectievelijk de gemeten waterstanden van VL 3 en VL 4 (fig. 78) dan blijkt er een afwijking op te treden.

Een zelfde afwijking kan worden gekonstateerd bij de vergelijking van de gemeten waterstanden van de proeven VL 6 t/m 9 (fig. 79).

In het geval van proef VL 2 (ongeveer hetzelfde als VL 1; scheepspositie in dwarsrichting verschilt, zie ook proef VL 6 en 7) is het maximale verschil tussen de berekende en gemeten waterstanden ongeveer 0,05 m (prototype). In het geval van de proevenserie PH 6, 8 en 9 is het zelfs een verschil van 0,10 m (prototype) (fig. 79).

Deze waterstandsverhoging, die achter het schip gemeten is, treedt dus alleen op als het schip voor in de kolk ligt. Dit heeft wellicht te maken met het feit dat het schip de lokale waterspiegelafzinking beïnvloedt.

Hierdoor zou ook de afvoer door de roldeur kunnen worden beïnvloed.

In het geval het schip verder van de deur ligt (25 m en verder) treedt deze waterstandsverhoging achter het schip niet meer op.

Opmerking: in het geval dat het schip verder dan 25 m van de roldeur is gepositioneerd is het mogelijk dat er een waterstandsverhoging voor het schip optreedt; hier is de waterstand echter niet bepaald.

Het afschatten van deze waterstandsverhoging achter het schip is een moeilijke zaak daar in de impulsbalans niet alleen de langskracht ten gevolge van waterspiegelafzinking op het schip werkt maar ook de kracht ten gevolge van de boegstraal op het schip.

Uit enkele vergelijkende berekeningen bleek de invloed van de langskracht ten gevolge van de boegstraal veel invloed had op het resultaat en daar de vormweerstand van de boeg van het schip niet eenduidig is te bepalen is er geen nauwkeurige schatting van de waterspiegelverhoging achter het schip te berekenen.

Op bladzijde 109 e.v., bij het vergelijken van de langskrachten ten gevolge van de vulstraal bij permanentie en niet-permanentie is er nog wel enige aandacht aan de impulsvergelijking besteed, daar er kwalitatief nog wel iets mee viel te doen.

5.5.3.3 Vergelijken debieten

Zoals reeds is aangegeven kan het debiet door de roldeuropening worden bepaald met behulp van de translatiegolfhoogte op de voorhaven. Er geldt namelijk dat:

$$Q_r = \eta_v \cdot b_v \cdot c_v \quad [5.5.3.3.1]$$

waarin η_v	= translatiegolfhoogte voorhaven	[m]
b_v	= breedte voorhaven	[m]
c_v	= translatiegolfsnelheid (voorhaven)	[m/s]
Q_r	= debiet door roldeuropening	[m ³ /s].

De diepte van de voorhaven is bekend, zodat de translatiegolfsnelheid kan

worden berekend ($\eta_v \ll h_v$). De breedte van de voorhaven is niet konstant zodat in de berekening zowel een 32 m brede ($na \pm 4$ m na de roldeur) als een 24 m brede voorhaven (direkt na de roldeur) is doorgerekend.

De resultaten van de berekende en uit metingen bepaalde debieten is weergegeven in figuur 80 (m.b.t. proef VL 8).

In eerste instantie reageert het debiet alsof de voorhaven 24 m breed is (nog geen reflectie), na ± 80 s treedt er een verandering op en gaat het berekende debiet meer lijken op het debiet bepaald met een 32 m brede voorhaven. De overeenkomst is goed tot ± 250 s waarna de invloed van de teruggekaatste translatiegolf (tegen de voorhaven beëindiging) een rol gaat spelen.

5.5.3.4 Vergelijken vulstraalkrachten

De vulstraalkrachten ten behoeve van de TROS-procedure zijn bepaald in het permanentiemodel. De vulstraalkrachten in het niet-permanentiemodel zijn niet direkt uit de resultaten van de modelproeven af te leiden. Er is namelijk een totale langskracht gemeten, een onderverdeling in verschillende componenten is in eerste instantie niet mogelijk.

Uitgaande van de volgende veronderstelling kan echter het langskrachtverloop ten gevolge van de vulstraal worden afgeschat.

Uit de voorgaand gepresenteerde resultaten blijkt dat de waterbeweging in de kolk goed wordt weergegeven door het rekenprogramma. Ook de langskracht ten gevolge van de translatiegolven wordt (binnen een nauwkeurigheid van ongeveer $0,05^0/00$) goed weergegeven.

Nu kan in feite een omgekeerde redenering, welke in de TROS-procedure wordt gebruikt, worden toegepast.

De langskracht ten gevolge van de vulstraal kan worden bepaald door de totale langskracht te verminderen met de langskracht ten gevolge van de translatiegolven.

De op deze wijze verkregen "vulstraalkracht" kan worden vergeleken met de resultaten van het permanentiemodel.

Dit is voor de verschillende proeven uitgewerkt in de figuren 81 t/m 84.

Als de resultaten die in bovengenoemde figuren globaal worden vergeleken kan het volgende worden opgemerkt:

- er treedt een tijdsverschuiving van de vulstraalkracht (bepaald uit het niet-permanentiemodel) ten opzichte van de vulstraal bepaald in het permanentiemodel (TROS-procedure) op
- de maximale vulstraalkrachten komen niet overeen
 - * in het geval van de duweenheid is het teken van de maximale vulstraalkrachten van beide methoden gelijk
 - * in het geval van het binnenvaartschip komen ook de tekens van de maximale vulstraalkrachten niet overeen (behalve proef VL 11)
- in proeven waarbij het schip ver van de deur (50 m en verder) van de roldeur is gepositioneerd treedt in het geval van niet permanentie in het geheel geen vulstraalkracht op.

Het optredende tijdsverschil tussen proeven bij permanentie en niet-permanentie kan worden verklaard uit het feit dat de vulstraal tijd nodig heeft om de afstand tussen vulopening en boeg van het schip af te leggen. Dit is reeds behandeld in paragraaf 4.5.

In voornoemde paragraaf is tevens een vergelijking gegeven waarmee deze tijdsduur kan worden afgeschat. Deze vergelijking is opgezet met behulp van de modelresultaten (in feite volgt uit de modelmetingen de faktor 2 in deze vergelijking). Hieronder is deze vergelijking nogmaals gepresenteerd

$$\int_0^{t_1} Q \, dt = X_{\text{str}} \cdot A_k / 2 \quad [5.5.3.4.1]$$

waarin Q = debiet door roldeuropening

X_{str} = positie van de kop van de zich in de kolk voortplantende vulstraal [m]

A_k = kolkoppervlak [m²].

(Als de afstand X_{str} tussen boeg schip en vulopening is gegeven kan t_1 worden berekend!)

Uit bovenstaande formule volgt tevens dat t_1 oneindig wordt als de afstand tot de deur groter wordt dan:

$$X_{\text{str}} \approx \frac{\Delta h \cdot F_k}{A_k} \cdot 2 \quad [5.5.3.4.2]$$

waarin F_k = kolkoppervlak, horizontaal $[m^2]$

$\Delta h \cdot F_k$ = de totale te verplaatsen hoeveelheid water en is gelijk aan $\int_0^\infty Q dt$ $[m^3]$.

In dit geval bereikt de vulstraal de boeg van het schip dus niet meer, de vulstraalkracht is dan nul.

De verschillen tussen de vulstraalkrachten bepaald met de TROS-procedure en het complete schaalmodel verschillen voor wat betreft de langskrachten aanzienlijk.

Een gedeelte van dit verschil is te wijten aan het feit dat het wiskundig model het verloop van de langskracht ten gevolge van de translatiegolf niet geheel juist weergeeft (t.o.v. het schaalmodel).

Een gedeelte van deze afwijking wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het dynamische gedrag van schip en meetframe in het schaalmodel. Deze verschijnselen treden vooral op bij tekenwisselingen.

De resultaten van proef 5 (fig. 81) zijn moeilijk verklaarbaar daar de afwijking tussen TROS-procedure en schaalmodel hier erg groot is (tot ongeveer $0,2^0/00$). Deze afwijking treedt echter op als de invloed van de vulstraal nihil is (schip op 100 m vanaf de roldeur). Het gemeten waterstandsverloop in deze proef wijkt echter niet veel af van het waterstandsverloop van proef 4 of het berekende waterstandsverloop.

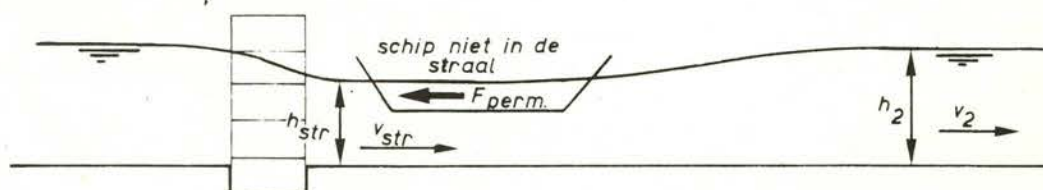
Opmerking: een verschil in langskracht van $0,2^0/00$ is een verschil in het verval over de duweenheid van ongeveer 0,03 m. De maximale verschillen tussen het waterstandsverloop berekend en gemeten achter het schip zijn ongeveer 2,5 cm.

In eerste instantie werd verwacht dat het verschil in langskracht ten gevolge van de vulstraal bij permanentie en niet-permanentie kon worden bepaald uit de impulsbalans over het schip.

Op bladzijde 108 is al aangegeven dat dit op problemen stuitte daar de langskracht ten gevolge van de boegstraal zeer moeilijk is af te schatten daar de vorm- of restweerstandskoëfficiënt niet goed te bepalen is.

Bij proef 11 is bovenstaande methode wel toepasbaar, daar hier het effect van de boegstraal verwaarloosbaar is daar het (binnenvaartschip) hier aan de kaszijde van de kolk ligt.

Een ander fenomeen dat nog niet is genoemd is het feit dat achter de roldeur een neer (zie par. 5.4.5) ontstaat. In waterstand in deze neer is niet bekend en het opstellen van een impulsvergelijking wordt dan ook moeilijk. Wordt in eerste instantie de invloed van deze neer verwaarloosd en de waterstand in deze neer gelijkgesteld met de waterstand in de straal dan kan het volgende worden afgeleid voor permanentie:



Figuur 5.5.3.4.1 Strooming langs een schip in de vulstraal (permanentie)

De impulsbalans geeft:

$$\rho \cdot b_{str} \cdot h_{str} \cdot v_{str}^2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h_{str}^2 \cdot b_{str} =$$

$$\rho \cdot b_2 \cdot h_2 \cdot v_2^2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h_2^2 \cdot b_2 + F_{perm} \quad [N] \quad [5.5.3.4.3]$$

Uit de continuïteitsvergelijking volgt:

$$v_{str} \cdot b_{str} \cdot h_{str} = h_2 \cdot v_2 \cdot b_2 \quad [m^3/s] \quad [5.5.3.6.4]$$

index str = straal (voor het schip

2 = achter het schip.

Wordt de aanname gedaan dat de straal achter het schip gespreid is dan volgt:

$$b_2 = b_k \quad [m] \quad [5.5.3.6.5]$$

Nu wordt de hypothese ingevoerd dat de langskracht (F_{perm}) op het schip gelijk is aan:

$$F_{perm} = \frac{h_{str} - h_2}{L_s} \cdot \rho \cdot g \cdot V_o \quad [N] \quad [5.5.3.4,6]$$

$$\begin{aligned} L_s &= \text{lengte schip} \quad [\text{m}] \\ V_o &= \text{waterverplaatsing schip} \quad [\text{m}^3] \\ &= L_s \cdot b_s \cdot e_o. \end{aligned}$$

Nu volgt de volgende vergelijking voor de waterstand achter het schip:

$$ah_2^3 + bh_2^2 + ch_2 + d = 0 \quad [\text{m}^4] \quad [5.5.3.4.7]$$

waarin $a = b_k/2$

$$b = -b_s \cdot e_o$$

$$c = h_{\text{str}} \cdot b_s \cdot e_o - h_{\text{str}} \cdot v_{\text{str}}^2 \cdot b_{\text{str}}/g - \frac{1}{2} h_{\text{str}}^2 \cdot b_k$$

$$d = (h_{\text{str}} \cdot b_{\text{str}} \cdot v_{\text{str}})^2 / (g \cdot b_k).$$

Een zelfde soort afleiding kan worden opgezet voor niet-permanentie. Daar de vulstraal de achterkant van het schip niet bereikt kan hier worden gesteld dat $v_2 = 0$. De afleiding wordt dan iets simpeler, te weten:

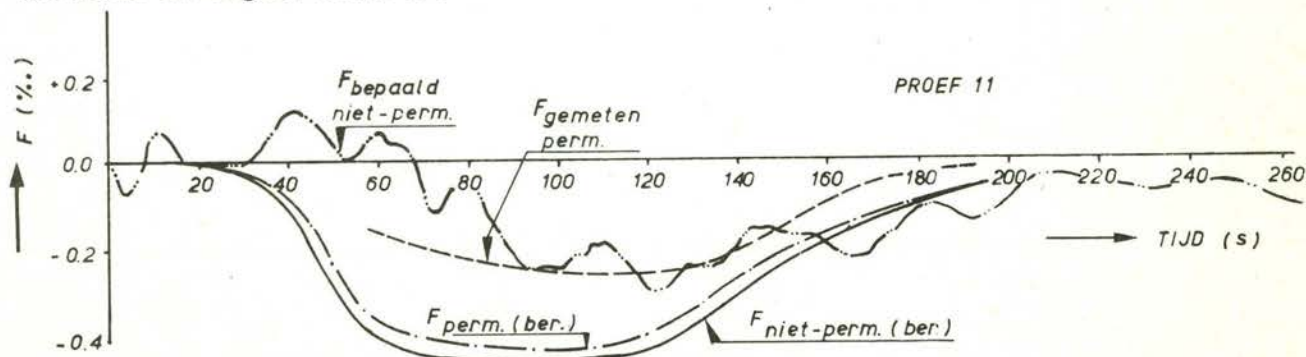
$$ah_2'^2 + bh_2' + c = 0 \quad [\text{m}^3] \quad [5.5.3.4.8]$$

$$h_2' = \text{waterstand achter schip bij niet-permanentie.}$$

De langskracht op het schip volgt dan met behulp van vergelijking 5.5.3.4.6 bij permanentie of met de volgende vergelijking bij niet-permanentie

$$F_{\text{niet-perm}} = \frac{h_{\text{str}} - h_2'}{L_s} \cdot p \cdot g \cdot v_o$$

Voor proef 11 (zie ook fig. 83) zijn met deze vergelijkingen de krachten bij permanentie en niet-permanentie berekend; de resultaten hiervan zijn gepresenteerd in figuur 5.5.3.1.



Figuur 5.5.3.2 Berekend en gemeten vulstraalkrachten (proef 11; binnenvaart-schip) bij permanentie en niet-permanentie

Uit de resultaten blijkt dat de berekende vulstraalkrachten te groot zijn. De reden hiervan is waarschijnlijk ten gevolge van de invloed van de neer achter de roldeur. waarin de waterstand iets hoger is dan in de vulstraal, de langskracht ten gevolge van de waterspiegelafzinking afneemt. Het verschil tussen de berekende langskrachten bij permanentie en niet-permanentie is gering (orde $0,02^{\circ}/\infty$). In het geval van niet permanentie is de faseverschuiving niet in de berekening meegenomen. Wordt dit wel gedaan dan schuiven de berekende krachten op in de tijd. Daar echter alleen iets bekend is over de voortplanting van de kop van de vulstraal en niet over het gedeelte wat daarna komt is het inbrengen van deze faseverschuiving nog geen haalbare kaart. Het is echter wel duidelijk dat het gemeten en berekende verloop van de langskrachten (kwalitatief) overeenstemt, wel is de amplitude ongeveer een faktor 2 verschillend.

Bovenstaande exercitie is uitgevoerd uitgaande van de aanname dat het schip niet in de invloedssfeer ligt van de tegen de boeg van het schip gerichte vulstraal. Toch kunnen wel enkele algemene konklusies worden getrokken: Uitgaande van bovenstaande redenering wordt het allengs duidelijk dat het verschil tussen de langskrachten ten gevolge van de vulstraal bij permanentie en niet-permanentie worden veroorzaakt door het effect van de tegen de boeg van het schip gerichte vulstraal.

Hierbij kunnen twee aspecten worden onderscheiden:

- het feit dat het stroombeeld bij permanentie niet geheel overeenkomst met dat bij niet-permanentie (dit geldt in feite ook voor de langskracht t.g.v. de waterspiegelafzinking, b.v. de tijdsverschuiving van de langskracht bij niet-permanentie)
- in het geval van niet-permanentie is er geen snelheid ter plaatse van het hek van het schip, dit geeft een verschil in langskracht ten gevolge van vorm- en restweerstand ten opzichte van permanentie. Dit kan als volgt worden beredeneerd:

De vulstraal botst tegen de boeg van het schip en veroorzaakt een naar het hek van het schip gerichte kracht, zowel bij permanentie als bij niet-permanentie. Bij niet-permanentie is dit echter de enige langskracht op het schip ten gevolge van de tegen het schip botsende straal (uniforme stromingskracht verwaarloosd).

In het geval van permanentie is er ter plaatse van het hek van het schip nog een snelheid. Daar de doorsnede hier weer verwijdt, vindt hier terugwinnen van energie plaats. Uit een impulsbalans over het hek van het schip kan de langskracht op het hek van het schip berekend worden.

(Opmerking: de uitkomst van deze impulsbalans is echter sterk afhankelijk van de aangenomen spreiding van de vulstraal ter plaatse van het hek van het schip.)

Uit het bovenstaande blijkt dat het bepalen van langskrachten, debieten en waterstanden met behulp van de TROS-procedure op enkele punten afwijkt van de langskrachtendebieten en waterstanden van een (kompleet) schaalmodel. Het is nu echter de vraag of dit verschil tussen beide methoden zou leiden tot een ander advies met betrekking tot het nivelleren van de schutkolk; dat wil zeggen of in dit geval een andere roldeurprogrammering zou worden geadviseerd.

5.5.3.5 Vergelijken totale langskrachten

De totale langskrachten van schaalmodelmetingen en "TROS-procedure" kunnen onder andere worden vergeleken door middel van de maximum positieve (maximum) en maximum negatieve (minimum) waarden van de langskrachten. Deze vergelijking kan op verschillende wijzen worden uitgevoerd;

- a - uitgaande van de schaalmodelmetingen en de "TROS-procedure" kan een "advies" worden gegeven. Dat wil zeggen bij een bepaalde beweging van de roldeur kunnen de maatgevende situaties worden bepaald. De afwijking tussen de "adviezen" van schaalmodel - en "TROS-procedure"-resultaten geeft aan hoe de betrouwbaarheid de "TROS-procedure" is.
- b - de maximum en minimum langskrachten van schaalmodel en "TROS-procedure" kunnen tegen elkaar worden uitgezet in één figuur. De afwijking van de resultaten van de lijn onder 45 graden ($F_{\text{gem}} = F_{\text{TROS}}$)

Zoals reeds uit de vorige paragrafen is gebleken treden er verschillen op tussen de resultaten van schaalmodel en "TROS-procedure". Deze verschillen worden in deze paragraaf, voor wat betreft de totale langskracht, nog eens nader bekeken. Hierbij is uitgegaan van één serie proeven met de duweenheid. In deze serie is alleen de afstand tot de roldeur gevarieerd, de waterstand, roldeursnelheid, verval en positie in de breedterichting van het schip in de kolk zijn konstant gehouden.

Deze wijze (methode) van vergelijken is methode c genoemd.

Vergelijking resultaten schaalmodel en "TROS-procedure" op methode a

De maximum en minimum langskrachten van schaalmodel en "TROS-procedure" zijn opgemeten uit figuur 59 t/m 75. Deze maximum en minimum zijn opgenomen in tabel XI. Tevens zijn deze maxima en minima uitgezet in de figuren 85 t/m 88. Op eenzelfde wijze als ook is toegepast in hoofdstuk 3 van dit rapport (tijdelijke situatie Philipsdamsluizen, figuren 26 t/m 29).

Opmerking: de maxima en minima met betrekking tot de langskrachten bepaald met de "TROS-procedure" zijn de maatgevende maxima en minima van of de langskracht ten gevolge van de translatiegolven of die van translatiegolven en vulstraal (totale langskracht).

Dit is in feite een veiligheid in het bepalen van de maxima en minima bij de TROS-procedure, waarbij reducties van maxima of minima ten gevolge van de vulstraal niet worden meegenomen.

Uit de resultaten (fig. 85 t/m 88) volgt vrijwel eenzelfde tendentie van de maximale en minimale langskrachten bepaald met een TROS-procedure of schaalmodel. De resultaten van de proeven met de duweenheid komen beter overeen dan de resultaten van de proeven met het binnenvaartschip.

Als in de figuren door lineaire interpolatie het maximaal mogelijke verval of roldeursnelheid of de minimaal mogelijke waterstand wordt afgeschat (voor de modelsituatie dus niet voor het prototype), waarbij het langskracht criterium nog niet wordt overschreden volgt:

scheepstype	variabele	TROS-procedure	schaalmodel	Opmerking
duweenheid	verval	0,80 m	0,88 m	$h_v = \text{NAP} - 1,00 \text{ m};$ $v_r = 0,03 \text{ m/s}$
duweenheid	waterstand	NAP -3,40 m	NAP -1,85 m	$\Delta h = -0,50 \text{ m};$ $v_r = 0,03 \text{ m/s}$
duweenheid	roldeursnelheid	0,130 m/s	0,155 m/s	$\Delta h = 0,50 \text{ m};$ $h_v = \text{NAP} - 0,50 \text{ m}$
binnenvaart-schip	waterstand	-	-	-

Tabel 5.5.3.5.1 Vergelijking TROS-procedure en schaalmodel

Het binnenvaartschip is niet maatgevend. Het langskracht criterium wordt (m.b.t. de waterstand) pas bij extreem lage waterstanden overschreden.

Uit de resultaten van tabel 5.5.3.5.1 met betrekking tot de duweenheid volgt dat de TROS-procedure het maximaal mogelijke verval (uitgaande van de geldende beginvoorwaarden van die proeven) ongeveer 10% te klein afschat, dus aan de veilige kant. Voor de roldeursnelheid geldt hetzelfde alleen de marge is hier groter $\pm 20\%$. Met betrekking tot de waterstand blijkt de TROS-procedure echter niet geheel te voldoen. Daar echter de extrapolatie (extrapolatie van NAP -1,00 tot NAP -3.40 m) erg onzeker is moet aan dit resultaat niet teveel waarde worden gehecht.

Opmerking: dat in dit geval zulke grote roldeursnelheden mogelijk zijn ten opzichte van het prototype, is het gevolg van de dempende werking van de voorhaven in het model.

Dit blijkt ook uit het zeer kleine verschil tussen de proeven met roldeursnelheden van 0,03, 0,05 en 0,10 m/s (deze zijn wel bij verschillende voorhavenwaterstanden uitgevoerd). Dit staat dan ook los van het prototype-advies.

Vergelijken resultaten schaalmodel en "TROS-procedure", methode b.

De in tabel XI opgenomen maximale en minimale langskrachten van schaalmodel en "TROS-procedure" zijn tegen elkaar uitgezet in figuur 95. In deze figuur zijn de in het schaalmodel gemeten maximum langskrachten positief en de gemeten minimum langskrachten negatief uitgezet. De met de "TROS-procedure" bepaalde maxima en minima zijn positief (in feite absoluut) uitgezet. Het bepalen van de langskrachten in de "TROS-procedure" bestaat uit het optellen van langskrachtcomponenten ten gevolge van translatiegolven en vulstraal. In figuur 94 zijn de maximale en minimale langskrachten van de langskrachtcomponent ten gevolge van translatiegolven uitgezet tegen de maxima en minima van de in het schaalmodel gemeten langskrachten. Vergelijken van figuur 94 en 95 geeft aan in hoeverre het optellen van de langskrachtcomponent ten gevolge van de vulstraal bij de langskrachtcomponent ten gevolge van de vulstraal bij de langskrachtcomponent ten gevolge van translatiegolven een verbetering is bij het bepalen van de maximum en minimum langskrachten op een schip.

De langskrachtcomponent ten gevolge van translatiegolven is bepaald met behulp van het rekenprogramma TROS.

De vergelijking van de maximum en minimum langskrachten van schaalmodel en langskrachtcomponent ten gevolge van translatiegolven (zie figuur 94) levert het volgende resultaat:

- de positieve maxima worden bij het binnenvaartschip goed weergegeven door de translatiegolfkracht.

De minima (negatieve maxima) worden minder goed weergegeven. De maximale afwijking tussen de gemeten en met de translatiegolfcomponent bepaalde maxima en minima geeft aan welke korrektie-faktor zou moeten worden toegepast op de translatiegolfcomponent om tot een veilig ontwerp te komen. In het geval van de positieve maxima is deze korrektiefaktor ongeveer 1,05 voor de minima is deze korrektiefaktor ongeveer 1,25.

- de maxima en minima ten gevolge van translatiegolven geven in het geval van de duweenheid de (gemeten) maxima en minima niet goed weer.

De toe te passen korrektie factoren zijn respectievelijk 1,5 voor de maxima en 1.85 voor de minima.

De verklaring van de verschillen tussen gemeten langskrachten en de langskrachtcomponent ten gevolge van translatiegolven is het effect van de vulstraalkomponent. Dit blijkt uit het feit dat bij proeven waarbij de vulstraalkracht nihil is, de maxima en minima redelijk goed wordt weergegeven door de translatiegolfcomponent. De vulstraalkracht is nihil in vulproeven waarbij het schip ver van de roldeur ligt (proef 4, 5, 9 en 13) en bij ledig proeven (alleen proef L₁). De korrektiefactoren zijn dan ongeveer 1.35 (maxima) en 1.15 (minima). De toch nog grote afwijking bij de maxima kan waarschijnlijk worden verklaard door het dynamische gedrag van het meetsysteem, waardoor de maxima worden vergroot. Tevens is de voorhaven breedte in het schaalmodel niet konstant zodat er afwijkingen in het langskrachten verloop optreden (zie figuur 12).

De vergelijking tussen de maximum en minimum langskrachten van schaalmodel en "TROS-procedure" (figuur 95) geschiedt op eenzelfde wijze als hierboven beschreven. Ook bij deze vergelijking treden er verschillen op. In dit geval, nivelleren via het voortrekken van de roldeur, blijkt de "TROS-procedure" dus niet volledig te functioneren.

Het verschil tussen de resultaten van schaalmodel en "TROS-procedure" lijkt vooral te worden veroorzaakt door de vulstraalkracht. De vulstraalkracht wordt, in het bij de "TROS-procedure" gebruikte permanentie model, niet goed weergegeven. De reden hiervoor is dat de vulstraal zich bij de niet-permanente - situatie niet ver genoeg in de kolk voortplant. Het stroombeeld in de kolk is in de niet - permanente - situatie verschilt dan ook ten opzichte van de permanente situatie. Dit betekent dat de langskracht op een schip ten gevolge van de vulstraal ook verschillend zal zijn.

Er is uit de resultaten van dit onderzoek echter wel aan te geven hoelang het vulproces dient te duren voordat de vulstraalkracht redelijk wordt weergegeven door het permanentie model. In paragraaf 5.5.3.4 is een empirische formule gegeven voor de "voortplantingssnelheid" van de vulstraal. Bij een voldoende groot verval kan het vulstraal-effekt zich tot achter het schip uitstrekken. Als dit het geval is zal de stromingstoestand om het schip vergelijkbaar zijn in permanente en niet-permanente-situatie.

Uit figuur 96 blijkt dat de vulstraalkracht in de "TROS-procedure" wordt ingevoerd met een tijdsvertraging er betere resultaten worden verkregen.

In het kader van het T.O.W. onderzoek zal worden nagegaan of het hierboven geschetste idee ook in andere vulsituaties, bijvoorbeeld sluizen met deurvulling via kleine openingen, voldoet. In feite betekent dit dat het dan mogelijk moet zijn om van te voren te bepalen of de "TROS-procedure" tot een goed antwoord leidt.

Vergelijken resultaten schaal en "TROS-procedure", methode c.

De resultaten van de proeven 1, 3, 4 en 5 duweenheid, waarbij alleen de afstand tot de roldeur is gevarieerd, zijn in figuur 96 uitgezet. In deze figuur zijn de resultaten gegroepeerd, naar in het schaalmodel gemeten langskrachten, (fig. 96a), berekende translatiegolfkrachten (fig. 96b) en de langskrachten volgens de "TROS-procedure" (fig. 96d).

Uit de in de resultaten die in deze figuur zijn gepresenteerd kan het volgende worden gekonkludeerd:

- de tijd die de translatiegolf nodig heeft om het schip te bereiken wordt in schaalmodel (fig. 96a) en rekenmodel (fig. 96b) goed weergegeven. Deze tijd is in orde grootte 12 sekonden als het schip op 100 m van de roldeur is gepositioneerd (waterstand 6,75 m, proef 5).
- Uit figuur 96a blijkt dat de vulstraalkracht in het schaalmodel (niet-permanente-model) voor de proeven 1 en 3 niet op hetzelfde tijdstip optreedt. Dit is wel zo bij de resultaten van het permanentie model (figuur 96c).
- vergelijken van fig. 96a en 96b geeft aan dat de resultaten van de proeven 1, 3 en 4 redelijk goed overeenkomen. De resultaten van proef 5 blijken echter duidelijk te verschillen; het schip ligt in deze proef op ongeveer 100 m van de roldeur. Dit verschil is moeilijk te verklaren daar de waterstandsregistraties van proef 5 en proef 4 goed overeenkwamen.

Ook uit deze resultaten blijkt dat de resultaten van "TROS-procedure" (fig. 96d) en schaalmodel (fig. 96a) duidelijk verschillen om het voorgaande gedeelte van deze paragraaf is dit al behandeld.

Daar er duidelijke verschillen optreden tussen resultaten van schaalmodel en "TROS-procedure" (schaalmodel geeft grotere krachten) dienen de adviezen, die in hoofdstuk 3 en 4 zijn gegeven met betrekking tot de Philipsdamsluizen, te worden aangepast. Daartoe worden de resultaten van het schaalmodel met de smalle voorhaven (32 m) rekenkundig gekorrigeerd tot die behorende bij de brede prototype voorhaven (200 m). Dit wordt behandeld in par. 5.5.6.

5.5.4 Vergelijken dwarskrachten

De dwarskrachten van de proeven uit het permanentie en niet-permanentiemodel zijn vergeleken. Hiervoor zijn de in het model gemeten dwarskrachten gebruikt, deze dwarskrachten zijn dus niet omgerekend tot dwarskrachten ter plaatse van de bolders.

Voor enkele proeven (VL 1, 3, 10 en 13) zijn de resultaten in dit rapport gepresenteerd (fig. 89 t/m 92).



De gemeten dwarskrachten zijn gesplitst in een dwarskracht voor en achter d.w.z. aan de boegzijde respektievelijk aan hekzijde gemeten dwarskrachten. De precieze plaats van de meetpunten van de dwarskrachten zijn vermeld in figuur 3.4.4.1 en 3.4.4.2.

De resultaten van de dwarskrachtmetingen aan de duweenheid kunnen voor wat betreft de dwarskracht aan de voorzijde van het schip op een zelfde wijze worden verklaard als dat bij de langskrachten is geschied. De dwarskracht (voorzijde) die volgt uit het permanentiemodel wordt verschoven in de tijd, terwijl ook de maximale dwarskracht iets wijzigt (zie fig. 89 en 90).

De dwarskrachten gemeten aan de achterzijde van de duweenheid zijn niet vergelijkbaar. Uit modelproeven was al gebleken (zie o.a. par. 4.4.2) dat de dwarskrachten aan de achterzijde van het schip niet goed reproduceren. Een verklaring hiervoor is dat de dwarskracht aan de achterzijde van het schip, veel sterker dan de dwarskracht aan de voorzijde van het schip, wordt beïnvloed door secundaire effecten in de stromingstoestand in de sluiskolk.

De dwarskracht aan de voorzijde van het binnenvaartschip is in het geval van proef VL 10 (fig. 91) voor wat betreft het maximum goed vergelijkbaar. Het schip ligt hierbij dan ook vlak achter de roldeuropening. In het geval het schip op 50 m achter de roldeur ligt (proef VL 13, fig. 92) blijkt dat dit maximum in het geheel niet vergelijkbaar is. In het geval van de niet-permanentieproeven is de invloed van de vulstraalkrachten nihil, terwijl dit in het geval van de permanentieproeven beslist niet het geval is. (schip op 50 m van de roldeur!)

Bovenstaande was eigenlijk ook te verwachten daar de vulstraal bij niet-permanentie niet meer dan ongeveer 50 m in de kolk doordringt. Het is echter niet verklaarbaar waarom de dwarskracht op het binnenvaartschip (bij permanentie) toeneemt als dit schip verder van de roldeuropening is gepositioneerd.

Voor wat betreft de dwarskrachten bij de achterzijde van het schip geldt hetzelfde als bij de duweenheid, de resultaten zijn niet vergelijkbaar.

De maximale dwarskracht op het binnenvaartschip treedt op in proef VL 14 (schip op 7,5 m waterstand NAP -0,50 m).

De maximale kracht ter plaatse van de bolder aan de voorzijde van het schip

is dan ongeveer $0,15^0/00$ (van de kolkwand af gericht).

Deze dwarskracht is nog steeds groter dan het gestelde criterium ($0,10^0/00$) zodat positionering van het binnenvaartschip direct achter de roldeur niet is toegestaan; dit komt overeen met de konklusie met betrekking tot dwarskrachten op het binnenvaartschip in hoofdstuk 3.

5.5.5 Vergelijken stroombeelden

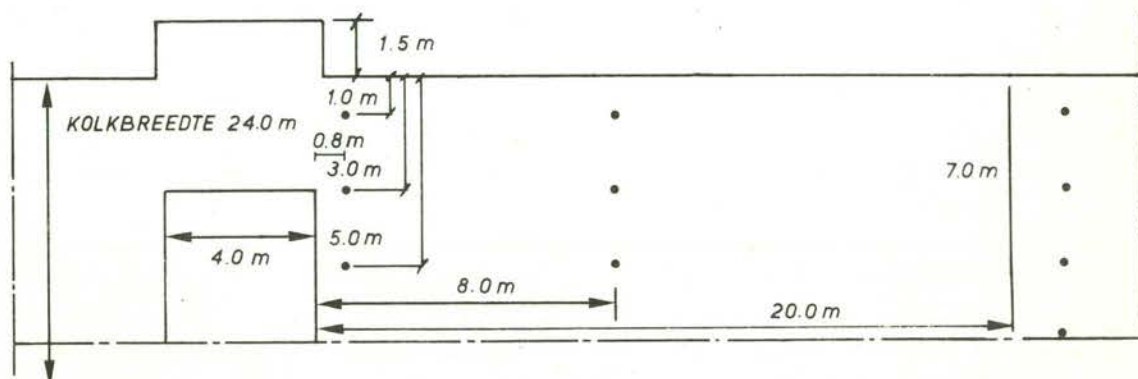
In paragraaf 5.4.5 zijn de resultaten gepresenteerd van een proef waarvan op een tijdstip het stroombeeld in de kolk is bepaald. Hieruit kon een indruk gekregen worden over de spreiding van de straal.

In het geval van niet-permanentie zijn voor de vulsituatie geen stroombeelden gemeten. Proeven met één of een paar molens zou een aanzienlijke hoeveelheid proeven vergen, omdat bijvoorbeeld bij het gebruik van één stroomsnelheidsmeter de proef per meetpunt moet worden herhaald. Stroombeeldmetingen (m.b.v. drijvers) zijn overwogen maar dit is niet mogelijk bij deze geringe snelheden en omdat het moeilijk is om de drijvers in het kleine relevante gebied goed te plaatsen.

Ten behoeve van het onderzoek naar het dimensioneren van de stortebedden van de Philipsdamsluizen (M 1359-4 [10]) zijn er enkele ledigingsproeven uitgevoerd om de snelheden in de voorhaven te bepalen tijdens het vóórtrekken van de roldeur. Deze proeven zijn uitgevoerd bij een lage voorhavenwaterstand (NAP -2,00 m).

Daar het bij deze proeven ging om de stroomsnelheden op een paar punten ter plaatse van de bodem zijn voornamelijk bodemsnelheden gemeten.

(Alleen in de raai op 8 m achter de roldeur zijn snelheidsprofielen gemeten.) De verschillende punten waarop de snelheden zijn bepaald zijn gegeven in figuur 5.5.5.1.



Figuur 5.5.5.1 Meetpunten stroomsnelheidsmetingen niet-permanentie (t.b.v. M 1359-4)

Voor 5 tijdstippen te weten 50, 100, 150 en 200 seconden zijn de gemeten bodemsnelheden weergegeven in figuur 93.

Vergelijking tussen figuur 58 (permanentieproef) en figuur 93 ($t = 200$ s), waarbij roldeuropening en verval vergelijkbaar zijn, geeft aan dat de in permanentie optredende hogere snelheden vlak langs de kolkwand bij niet-permanentie op dit tijdstip ($t = 200$ s) niet meer voorkomen.

Op het tijdstip $t = 150$ s is in het geval van niet-permanentie de hoge snelheid van de straal langs de kolkwand nog wel aanwezig. Op dit tijdstip is er echter al te zien dat de snelheid in de straal direkt achter de opening (op 0,8 m) al afneemt, terwijl er op grotere afstand van de opening (op 8,0 m) nog een hogere snelheid heerst.

Dit is in het geval van permanentie bijna niet mogelijk daar het debiet konstant is.

In feite is het vergelijken van de stroombeelden bij permanentie en niet-permanentie uit deze proeven niet goed mogelijk. Er is namelijk nog niet veel bekend van de tijdsfaktor in de vulstraalvoortplanting. Als voor de verschillende raaien bij niet-permanentie het vergelijkbare tijdstip bij permanentie kan worden berekend (uit de vulstraalvoortplanting) wordt een vergelijking zinniger.

In paragraaf 5.5.2 is wel enige aandacht besteed aan de voortplanting van het front van de vulstraal als functie van de tijd wat er echter in de vulstraal gebeurt is hierbij niet meegenomen.

Uit de niet-permanentie proefresultaten blijkt dat in dit geval het nivelleerproces dusdanig kort is, dat een kwasi-permanent stroombeeld zich niet kan instellen. Dit wordt naast de invloed van het afnemend verval mede veroorzaakt door de steeds groter wordende vul/ledigopening, die ten opzichte van vulopeningen bij de normale wijze van nivelleren extreem groot wordt (maximum is de kolkdoorsnede).

In het bovenstaande is nog niet vermeld dat er bij de niet-permanentieproeven (vulsituatie) visuele waarnemingen zijn verricht met kleurstof.

Bij deze waarnemingen lag het schip op ongeveer 50 m achter de roldeur, zodat het gedrag van de vulstraal kon worden bestudeerd zonder scheepsinvloed. Bij deze proeven is de kleurstof in enkele raaien in de kolk (op verschillende afstanden tot de roldeur) geïnjecteerd, in loodrecht op de kolkwanden

staande banen.

Tijdens deze proeven is het volgende gekonstateerd:

- in eerste instantie is de invloed van de translatiegolf zichtbaar. Nadat de translatiegolf een raai is gepaseerd wordt de kleurstof van de roldeur af getransporteerd (vulsituatie). Al naar gelang de positie van de raaien ten opzichte van de roldeur geschiedt dit eerder of later in het vulproces
- een duidelijke vulstraal treedt niet op in de eerste 40 seconden van het vulproces, waarbij de roldeur zich nog in de nis bevindt. Nadat de roldeur uit de nis is gekomen begint de vulstraal zich te ontwikkelen waarbij het front zich met een vrij geringe snelheid voortplant in de kolk (zie ook par. 5.5.2, de snelheid van het front van de vulstraal is ongeveer tweemaal de over de kolkdoorsnede gemiddelde snelheid)
- de voortplantingssnelheid van het front van de vulstraal neemt iets toe in de tijd om op een gegeven moment ook weer af te nemen. Het front van de vulstraal komt ook weer tot stilstand op ± 40 à 50 m (prototype) achter de roldeur.

Dit kon gekonstateerd worden aan het feit dat kleurstofraaien die aan het einde van de proef op meer dan ongeveer 50 m achter de roldeur lagen niet door de turbulentie van de vulstraal worden opgemengd.

Uit deze proeven is nogmaals duidelijk geworden dat metingen bij permanentie en niet-permanentie niet zomaar vergeleken kunnen worden.

Naast de reeds genoemde tijdsverschuiving treedt er bij de niet-permanentie gemeten snelheden nog een complicatie op. Deze snelheden zijn namelijk de som van de snelheden ten gevolge van de translatiegolven en de vulstraal (als deze beide het meetpunt gepasseerd zijn). De vergelijking wordt hiermee nog gekompliceerder, daar bij permanentie alleen de snelheden ten gevolge van de vulstraal worden gemeten.

5.6 Aanpassing adviezen tijdelijke en definitieve situatie Philipsdamsluizen

5.6.1 Bepalen langskrachten prototype uit schaalmodel resultaten.

In hoofdstuk 3 en 4 zijn de resultaten gepresenteerd van de langskracht-berekeningen met behulp van de "TROS-procedure" voor tijdelijke en definitieve situatie van de Philipsdamsluizen. De adviezen voor de roldeurprogrammering, die zijn gepresenteerd in deze hoofdstukken, zijn dus gebaseerd op de "TROS-procedure".

Daar uit de vorige paragrafen is gebleken dat de "TROS-procedure" bij dit onderzoek niet goed voldoet, in vergelijking tot de resultaten van het schaalmodel (dat soms grotere krachten gaf), dienen deze resultaten waar nodig te worden aangepast. Dit kan gebeuren met de resultaten van het schaalmodel.

De resultaten van het schaalmodel zullen echter ook aangepast dienen te worden. De voorhavenbreedte van schaalmodel en prototype is niet gelijk (zie par. 2.5). Hierdoor ontstaat een verschil in debiet- en waterstandsverloop (zie fig. 9) en een verschil in langskrachtverloop (zie fig. 10). De aanpassing van de schaalmodelresultaten is als volgt uitgevoerd:

- de maximum en minimum langskrachten zijn bepaald uit de resultaten van het schaalmodel (zie tabel XI)
- de maximum en minimum translatiegolfkrachten zijn bepaald voor prototype (zie tabel III) en schaalmodel (zie tabel XI).
- het verschil tussen de maxima respectievelijk de minima van de translatiegolfkrachten van schaalmodel en prototype is opgeteld bij de maxima resp. minima van de langskrachten uit het schaalmodel. (zie tabel XII)

Bij bovenstaande methode dienen de volgende opmerkingen te worden geplaatst:

- uit de resultaten volgt dat de minimum langskrachten maatgevend zijn. Zoals b.v. uit fig. 10 volgt blijken de minima van de translatiegolfkrachten ongeveer samen te vallen. Dit is de reden dat het tijdsverloop van het verschil tussen de translatiegolfkrachten van schaalmodel en prototype is verwaarloosd.
- de vulstraalkracht zou eigenlijk ook moeten worden aangepast, daar het maximale debiet groter wordt in het prototype. De minimum langskracht voor deze totale proevenserie wordt in het prototype echter bepaald door de minimum translatiegolflangskracht. Dit minimum treedt op als de invloed van de vulstraalkracht gering is (b.v. bij proef 1 op 220 sec., zie fig. 19 en 59). Het aanpassen van de vulstraalkracht heeft dan ook weinig zin.
- Zoals reeds in paragraaf 5.4.4 is opgemerkt zijn de waterstanden van schaalmodel en prototype niet geheel gelijk geweest. In tabel XII zijn de verschillen aangepast aan dit waterstandsverschil (tussen haakjes geplaatste getallen). De resultaten van het schaalmodel, die ten gevolge van een lagere waterstand konservatief worden afgeschat (zie paragraaf 3, 4, 5), zijn niet aangepast.

De resultaten van bovengenoemde bewerkingen van de schaalmodelresultaten is opgenomen in tabel XII en de figuren 97 t/m 100. Deze serie figuren komen overeen met de figuren 26 t/m 29 en 85 t/m 88. Deze serie figuren hebben betrekking op de tijdelijke situatie (fig. 26 t/m 29) respectievelijk de controle van de "TROS-procedure" met behulp van het schaalmodel (fig. 85 t/m 88). De resultaten van de tijdelijke situatie (fig. 26 t/m 29) zijn overgenomen in de figuren 97 t/m 100.

De maxima en minima voor de definitieve situatie worden bepaald uit de resultaten van de tijdelijke situatie. De maxima en minima van de tijdelijke situatie worden hiervoor aangepast in verband met de invloed van het dichtheidsverschil. In par. 4.6 is aangegeven hoe deze aanpassing plaats vindt. In het kort komt het hierop neer:

- de maxima veranderen niet of nauwelijks.
- de minima worden in het geval van de duweenheid vergroot met ongeveer $0.40^{\circ}/\text{oo}$; in het geval van het binnenvaartuig worden de minima vergroot met $0.27^{\circ}/\text{oo}$. De invloed van het dichtheidsverschil is bepaald met vergelijking 4.5.12.

Samenvattend kan gezegd worden dat in de figuren 97 t/m 100 de volgende resultaten zijn opgenomen:

- de resultaten voor de tijdelijke situatie, verkregen met de "TROS-procedure" (uit hoofdstuk 3)
- de resultaten voor de tijdelijke situatie, verkregen uit het omwerken van de schaalmodelresultaten.
- de resultaten voor de definitieve situatie, verkregen met behulp van de "TROS-procedure" plus de invloed van het dichtheidsverschil.
- de resultaten voor de definitieve situatie verkregen met behulp van het schaalmodel plus de invloed van het dichtheidsverschil.

De verschillen van bovengenoemde resultaten kunnen invloed hebben op de adviezen welke zijn gegeven in hoofdstuk 3 en 4. Dit wordt in paragraaf 5.6.3 behandeld.

5.6.2 Bepalen dwarskrachten prototype uit schaalmodelresultaten.

Uit de resultaten van hoofdstuk 3 en 4 was reeds gekonkludeerd dat de dwarskrachten op het binnenvaartschip (3000 ton) maatgevend zijn. De dwarskrachten gemeten in het schaalmodel bleken in de meeste gevallen groter te zijn dan de dwarskrachten bepaald uit het permanentie model. Dit betekent dat de dwarskrachten in prototype zeker groter zullen zijn dan uit de "TROS-procedure" volgt. De dwarskrachten van het schaalmodel moeten namelijk nog worden aangepast, omdat het debiet in het prototype groter is dan in het model. Aannemende dat de dwarskrachten evenredig zijn met het debiet in het kwadraat, volgt een toename van ongeveer 30%.

Het advies met betrekking tot het binnenvaartschip, dat in hoofdstuk 3 en 4 is opgenomen, gaf aan dat dit schip op ongeveer 50 m achter de roldeur diende te worden gepositioneerd. Op deze afstand achter de roldeur is de invloed van de vulstraal op de dwarskrachten op het schip nihil. Dit blijft hetzelfde voor het prototype. Het advies voor het binnenvaartschip hoeft dan ook niet te worden aangepast voor wat betreft de dwarskrachten.

De dwarskrachten op de duweenheid werden voor wat betreft de maxima redelijk gereproduceerd door het schaalmodel. Daar echter de vergelijking niet helemaal opgaat, omdat de dwarskrachten bij permanentie zijn bepaald voor een brede voorhaven, moet er nog enige korrektie op de resultaten van tabel IV worden toegepast. Uitgaande van de aanname dat de in tabel IV genoemde resultaten (voor de duweenheid) redelijk overeenkomen met de resultaten uit het schaalmodel, zullen deze waarden met 30% moeten worden vergroot om de juiste prototype waarden te vinden. Bij een vergroting van 30% vindt er alleen bij proef 7 een kleine overschrijding (5%) van het gestelde criterium ($0,07 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$) plaats. Dit is geen reden om het advies aan te passen.

Opmerking: Uit o.a. het Kreekrak onderzoek (M 865-V, [11]) is gebleken dat de dwarskrachten op schepen tijdens het uitwisselen vrij groot worden (bij een dichtheidsverschil van 12 kg/m^3 tot orde grootte $1^{\circ}/\text{oo}$). In eerste instantie zijn deze krachten toegelaten daar bij Kreekrak geen hoger dichtheidsverschil dan 3 kg/m^3 (dwarskracht neemt lineair af met het dichtheidsverschil) werd verwacht en omdat er tijdens het uitwisselen bijna of geen langskrachten optreden. (bodenvulling!)

5.6.3 Kontrole advies tijdelijke situatie Philipsdamsluizen.

binnenvaartschip

Uit de resultaten gepresenteerd in figuur 100 volgt dat het binnenvaartschip niet maatgevend is voor wat betreft langskrachten. Het gestelde langskracht criterium ($1^{\circ}/\infty$) wordt ook door de met behulp van het schaalmodel bepaalde resultaten niet overschreden. Het advies voor wat betreft het binnenvaartschip blijft dan ook hetzelfde als in hoofdstuk 3. Dit schip dient in verband met te grote dwarskrachten op ongeveer 50 m achter de roldeur te worden gepositioneerd.

duweenheid

De dwarskrachten op de duweenheid overschrijden het gestelde criterium niet in de onderzochte range van randvoorwaarden.

De langskrachten op de duweenheid (fig. 97 t/m 99) geven het volgende beeld te zien:

- Uit figuur 97a blijkt dat de langskracht bij een positie van 7.5 m achter de deur maatgevend is. Uit figuur 97b blijkt dat bij een lagere waterstand de positie van 25 m achter de roldeur maatgevend wordt. Het verschil is echter vrij klein, en uit een nadere analyse van het verloop van het verschil van de translatiegolfskrachten in schaalmodel en prototype bleek dat het minimum niet meer was dan $0.64^{\circ}/\infty$. Met de konstervatieve schatting was een langskracht bepaald van $0.69^{\circ}/\infty$. Er kan dan ook gesteld worden dat de scheepspositie van 7.5 m achter de roldeur maatgevend is.
- uit fig. 98b volgt, zoals was te verwachten, dat het verval van 0.50 m maatgevend is.
- De langskracht bij de maatgevende waterstand van N.A.P.-2.00 (verval 0.50 m, roldeursnelheid 0.03 m/s , kolkwaterstand NAP -2.50 m) volgt uit lineaire interpolatie van de resultaten in figuur 98a. De minimum langskracht is maatgevend en blijkt ongeveer $0.78^{\circ}/\infty$ te bedragen.

Het criterium van $0.70^0/00$ wordt hier dus overschreden. In hoofdstuk 2 (par. 2.5) is echter aangegeven dat het schaalmodel en het rekenmodel de langskracht op de schepen 10 à 15% te groot weergeven ten gevolge van:

- * invloed van de niet konstante breedte van de kolk
(ongeveer 8%, zie tabel 2.5.1)
- * de oplegging van de roldeur, die de stroming in de roldeuropening hindert (orde grootte 5 à 10%).

Wordt het bovenstaande in rekening gebracht dan zal het criterium in de maatgevende waterstand niet worden overschreden.

- Uit figuur 99 volgt dat bij een toenemende roldeursnelheid de maximum en minimum langskrachten toenemen. Bij de maatgevende waterstand (N.A.P. -2,00 m) wordt het langskrachtcriterium bij een roldeursnelheid van $0.03^m/s$ nog net niet overschreden. De roldeursnelheid kan dan ook bij een verval van 0.50 m niet verder worden vergroot.

Het resultaat van het bovenstaande geeft aan dat het advies met betrekking tot de tijdelijke situatie van de Philipsdamsluizen niet hoeft te worden gewijzigd. De in paragraaf 5.5.3.5 geconstateerde grootte verschillen in totale langskracht bij het schaalmodel komen in dit prototype-advies niet tot uitdrukking. De maatgevende langskracht in het prototype treedt namelijk op bij de minimum langskracht. Dit minimum wordt in het prototype voornamelijk bepaald door de langskracht ten gevolge van de translatiegolven. Deze langskracht wordt door het rekenmodel uit de "TROS-procedure" redelijk goed weergegeven. De afwijkingen tussen de om gewerkte resultaten van schaalmodel en "TROS-procedure" zijn daarom niet meer zo groot.

5.6.4 Aanpassen advies definitieve situatie Philipsdamsluizen.

binnenvaartschip

In de definitieve situatie is het binnenvaartschip, evenals in de tijdelijke situatie, niet maatgevend voor langskrachten (zie fig. 100). Met betrekking tot de dwarskrachten geldt hetzelfde als in de tijdelijke situatie. De dwarskrachten blijken nog steeds het gestelde dwarskrachtkriterium ($0.1^0/00$) te overschrijden (zie tabel VI, proef 6). Het binnenvaartschip dient dan ook buiten de invloed van de vulstraal te worden gepositioneerd op ongeveer 50 m van de roldeur.

duweenheid

De duweenheid ondervindt in de definitieve situatie grotere dwarskrachten dan in de tijdelijke situatie (vergelijk tabel IV en VI). In de proeven voor de definitieve situatie was het schip altijd aan de niszijde afgemeerd. De dwarskrachten namen in de definitieve situatie toe door de invloed van het dichtheidsverschil. Een zoute vulstraal oefent een grotere dwarskracht uit bij een scheepspositie aan niszijde van de kolk. Aan de kaszijde, naast het schip, bevindt zich namelijk nog zoet water. Waarschijnlijk zal de dwarskracht op het schip in de definitieve situatie niet veel veranderen of afnemen ten opzichte van de tijdelijke situatie als de duweenheid aan de kaszijde wordt afgemeerd. Dit volgt uit de omkering van bovengenoemde verklaring voor de invloed van het dichtheidsverschil.

Uit het bovenstaande volgt dat de brede duweenheid eigenlijk alleen aan de kaszijde van de kolk op een afstand van 7.5 m achter de roldeur kan worden afgemeerd. Daar de brede duweenheid echter goed geleid wordt door de kolkwanden (bij scheve positie ligt het schip klem) is een positionering aan de niszijde ook toegestaan.

Het langskrachtskriterium wordt in de definitieve situatie overschreden bij de in de tijdelijke situatie geadviseerde roldeurprogrammering. Evenals in paragraaf 4.6 kan met betrekking tot het vóórtrekken van de roldeur in de definitieve situatie uit de volgende mogelijkheden worden gekozen:

- bij de maatgevende waterstand in de definitieve situatie (zie fig. 98; N.A.P. -0.50 m), en een verval van 0.50 m de roldeursnelheid verlagen.
- bij de maatgevende waterstand in de definitieve situatie en een roldeursnelheid van 0.03 m/s het verval verlagen, waar bij de roldeur mag worden vóórgetrokken.

Uitgaande van de eerst genoemde mogelijkheid kan in figuur 99 worden afgelezen welke roldeursnelheid bij de gegeven maatgevende randvoorwaarden kan worden toegepast.

Uit fig. 99 volgt echter dat er geen roldeursnelheid te vinden is, waarbij het langskrachtskriterium van $0.70 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ niet wordt overschreden. Dit dient nader te worden bestudeerd daar verwacht kan worden dat bij een zeer kleine roldeursnelheid ($\ll 1 \text{ cm/s}$) er geen invloed is van translatiegolven of vulstraal en alleen de invloed van het dichtheidsverschil merkbaar is. De langskracht op het schip zou dan ongeveer $0.40 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ bedragen. (vergelijking 4.5.12)

Worden de resultaten van de proef met een roldeursnelheid van 0.01 m/s (proef 21, fig. 73) nog eens nader bekeken, dan blijkt dat het minimum in de schaalmodel resultaten optreedt op ongeveer 90 seconden. De invloed van de voorhaven op de translatiegolfkracht is hier gering, ongeveer $0.02 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ (vergelijk fig. 10). De minimum langskracht wordt dan ook orde grootte $0.50 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ op dit tijdstip; de invloed van het dichtheidsverschil is dan namelijk nog te verwaarlozen daar de vulstraal het schip nog niet heeft bereikt. (de roldeur bevindt zich in de nis tot ongeveer 100 seconden na het begin van de roldeurbeweging)

De minimum langskracht, die in het verdere verloop optreedt, is een minimum op ongeveer 400 sekonden. Dit minimum wordt veroorzaakt door de translatiegolfkracht en de invloed van het dichtheidsverschil. De invloed van de vulstraal is hier nihil, dat blijkt uit het feit dat rekenmodel en schaalmodel eenzelfde minimum aangeven namelijk $0.30 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$. Het minimum voor de definitieve situatie wordt dus $0.70 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$. Deze langskracht is juist toelaatbaar, een roldeursnelheid van 0.01 m/s is dus bij de gegeven randvoorwaarden (verval 0.50 , waterstand N.A.P. -0.50 m) toegestaan.

Voor de op de vorige bladzijde genoemde tweede mogelijkheid van het voortrekken van de roldeur met $0,03 \text{ m/s}$ dient het verval te worden beperkt. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van figuur 98b. Wordt er lineair geïnterpoleerd tussen het punt met een verval van $0,0 \text{ m}$, de langskracht is hier $0.40 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ (invloed dichtheidsverschil zie boven), dan volgt een maatgevende langskracht (minimum) van 0.75% bij een verval van 0.20 m . Deze langskracht is toelaatbaar daar gesteld kan worden dat de translatiegolfkracht in het schaalmodel $10 \text{ à } 15\%$ te groot wordt weergegeven. Het translatiegolfdeel van ongeveer $0.35 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ wordt dan orde grootte $0.30 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ zodat de totale langskracht niet veel groter wordt dan $0.70 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$.

Uit bovenstaande volgt dat het advies uit hoofdstuk 4 met betrekking tot de definitieve situatie vrijwel geheel kan worden gehandhaafd.

5.7 Konklusies

De konklusie die uit de resultaten van de verifikatie van de TROS-procedure volgen zijn als volgt:

- het wiskundig model geeft debiet en waterstanden in de sluis, afgezien van de invloed van de vulstraal, goed weer
- de langskrachten ten gevolge van translatiegolven, die berekend zijn met het wiskundig model, komen vrij goed overeen met de gemeten waarden. Alleen bij de resultaten van een proef met een duweenhed op grote afstand van de roldeur (ongeveer 100 m) waren de gemeten en berekende langskrachten niet in overeenstemming met elkaar (bij deze proef was er juist geen invloed van de vulstraal)

- de langskrachten tengevolge van de vulstraal worden in de TROS-procedure niet goed weergegeven. De oorzaak hiervan is voornamelijk het feit dat het stroombeeld in het komplette schaalmodel zich niet volledig ontwikkelt tot een stroombeeld zoals bij de permanentie-proeven (TROS-procedure). Gezien de ervaring van de TROS-proceduretoetsingen van voorgaande onderzoeken is te verwachten dat bij langere vulprocessen de langskracht tengevolge van de vulstraal wel goed wordt weergegeven.
- De dwarskrachten bepaald met behulp van de TROS-procedure komen niet overeen met de gemeten dwarskrachten uit het (komplete) schaalmodel. Dit was ook wel te verwachten daar deze dwarskrachten voornamelijk door het stroombeeld in de vulstraal worden bepaald.
- uitgaande van TROS-procedure en schaalmodel blijken de resultaten nogal afwijkend te zijn (tot een faktor 1.8). Als echter de resultaten voor het prototype worden vergeleken (par. 5.6) dan blijkt dit verschil veel geringer (faktor 1.1 à 1.3). De invloed van de translatiegolfkracht is in het prototype veel groter en deze wordt redelijk goed weergegeven (faktor 1.1 à 1.3) door het rekenmodel TROS.
- het advies voor de roldeurprogrammering in de tijdelijke situatie, welke gegeven is in hoofdstuk 3, behoeft niet te worden aangepast in verband met het niet geheel voldoen van de TROS-procedure.
- het advies voor de roldeurprogrammering in de definitieve situatie, gegeven in hoofdstuk 4, behoeft niet te worden aangepast.

In het onderzoek van de verifikatie van de TROS-procedure zijn nog enkele proeven bij permanentie uitgevoerd waarbij de langskracht op een schip bij uniforme en niet-uniforme (vulstraalproeven) stroming is onderzocht als funktie van het debiet.

Uit het onderzoek bleek:

- bij uniforme stroming doen zich onregelmatigheden voor in het verloop tussen de langskracht en het debiet welke niet direkt verklaard kon worden. (blz. 94 en fig. 53).
- ook bij niet-uniforme stroming doen zich dit soort verschijnselen voor. Daar een goed inzicht in de omschrijving van de vulstraalkrachten nog ontbreekt is ook hiervoor nog geen éénduidige uitleg gevonden. (fig. 54 en 55)
- de invloed van bovengenoemde verschijnselen op de adviezen van tijdelijke en definitieve situatie is gering.

Zoals eerder als was gekonkludeerd wordt de maatgevende langskracht in het prototype voornamelijk bepaald door de translatiegolfkracht. Deze krachtskomponent is niet onderhevig aan bovengenoemde verschijnselen.

LITERATUUR

- 1 Waterloopkundig Laboratorium, "Duwvaartsluizen Philipsdam, Mogelijke besturingssystemen uitgaande van uitwissel en nivelleervolume"
R 1507, aug. 1980
- 2 Waterloopkundig Laboratorium, "Duwvaartsluizen Philipsdam, Translatiegolven omarmend zoet"
R 1249 (nog uit te brengen)
- 3 Waterloopkundig Laboratorium, "Langskrachten op schepen in sluizen met vul- en ledigingssystemen in de hoofden"
R 1222/M 1481 I, februari 1978
- 4 Waterloopkundig Laboratorium, "Nadere analyse van langskrachten op schepen in sluizen met vul- en ledigingssystemen via hoofden, bodem of wanden"
R 1222/M 1481 II, maart 1979
- 5 Waterloopkundig Laboratorium, "Rozenburgse sluis"
M 950, 1969
- 6 Waterloopkundig Laboratorium, "Schutsluis in de Hangvlietdam"
M 662, mei 1963
- 7 Schijf, J.B., "Calcul des forces agissant sur un bateau dans un sus d'ecluse, pendant l'eclusage"
Bulletin de l'Association Internationale Permanente des congrès de Navigation (PIANC), 11, no. 22, 1936
- 8 Schönfeld, J.C./Kranenburg, C., "Dichtheidsstromen en interne golven", college diktaat (b81), Technische Hogeschool Delft, (concept), 1977
- 9 Lammeren, W.P.A. en anderen, "Weerstand en voortstuwing van schepen"
1944
- 10 Waterloopkundig Laboratorium, "Duwvaartsluizen Philipsdam, bodem verdedigingen"
M 1359-4 (nog uit te brengen)

LITERATUUR (vervolg)

- 11 Waterloopkundig Laboratorium, "Zoutbestrijding Kreekraksluizen, onderzoek troskrachten bij zoutbestrijding volgens systeem Duinkerken".

M 865-V, februari 1970

Tabel I Meetprogramma, onderzoek roldeurprogrammering tijdelijke situatie

vulproeven	roldeur programma	t.o.v. NAP buiten waterstand [m]	t.o.v. NAP kolk waterstand [m]	verval [m]	scheepstype	positie schip	
						vanaf roldeur [m]	breedte sluis
PH 1	A	+ 1.00	+ 0.50	0.50	duweenheid	7.5	niszijde
PH 3	A	+ 1.00	+ 0.50	0.50	duweenheid	25	niszijde
PH 4	A	+ 1.00	+ 0.50	0.50	duweenheid	50	niszijde
PH 5	A	+ 1.00	+ 0.50	0.50	duweenheid	100	niszijde
PH 6	A	- 0.50	- 1.00	0.50	duweenheid	7.5	niszijde
PH 7	A	- 0.50	- 1.00	0.50	duweenheid	7.5	kaszijde
PH 8	A	- 0.50	- 1.00	0.50	duweenheid	25	niszijde
PH 9	A	- 0.50	- 1.00	0.50	duweenheid	50	niszijde
PH 10	A	+ 1.00	+ 0.50	0.50	"3000 tonner"	7.5	niszijde
PH 11	A	+ 1.00	+ 0.50	0.50	"3000 tonner"	7.5	kaszijde
PH 13	A	+ 1.00	+ 0.50	0.50	"3000 tonner"	50	niszijde
PH 14	A	- 0.50	- 1.00	0.50	"3000 tonner"	7.5	niszijde
PH 18	A	- 0.70	- 1.00	0.30	duweenheid	7.5	niszijde
PH 20	B	- 0.50	- 1.00	0.50	duweenheid	7.5	niszijde
PH 21	C	- 0.50	- 1.00	0.50	duweenheid	7.5	niszijde
PH 22	D	- 0.50	- 1.00	0.50	duweenheid	7.5	niszijde
<u>ledigproeven</u>							
L ₁	A	+ 0.50	+ 1.00	(-)0.50	duweenheid	7.5	niszijde

* roldeurprogrammering:

- versnellen van $v = 0$ tot $v = a$ m/s met een versnelling van 0.0167 m/s^2 .
- konstant snelheid $v = a$ m/s tot T_{10}
(het tijdstip waarop het verval kleiner wordt dan ± 0.10 m)
- versnellen van $v = a$ m/s tot $v = 0.25$ m/s
(maximale roldeursnelheid), met versnelling van 0.0167 m/s^2
- konstant maximum snelheid totdat de deur open is.

* roldeurprogramma

A:	$a = 0.03 \text{ m/s}$; $T_{10} = 180 \text{ sec.}$
B:	$a = 0.05 \text{ m/s}$; $T_{10} = 150 \text{ sec.}$
C:	$a = 0.01 \text{ m/s}$; $T_{10} = 330 \text{ sec.}$
D:	$a = 0.10 \text{ m/s}$; $T_{10} = 140 \text{ sec.}$

Tabel II

Afvoercoëfficiënten bij bepaalde roldeuropeningen.

Proef nr.	deur [m]	lek opening [m]	spleet- opening [m ²]	boven- waterstand [m]	waterstand achter de deur [m]	beneden- waterstand [m]	debiet [m ³ /s]	verval [m]	μ_{gemeten} [-]	model μ_{ledig} [-]	prototype μ^*_{ledig} [-]
1	- 0.90	2.698	-	10.800	6.228	6.232	17.810	4.568	0.697	0.689	0.694
2	0	2.823	0	10.176	6.212	6.232	17.810	3.944	0.717	0.709	0.714
5	1.00	2.144	6.236	6.752	6.224	6.236	18.358	0.516	0.679	0.665	0.674
6	1.00	2.287	8.244	8.568	8.236	8.244	18.358	0.324	0.684	0.670	0.679
7	1.00	2.145	6.240	7.596	6.188	6.240	30.597	1.356	0.704	0.689	0.699
8	2.00	2.051	12.472	6.716	6.204	6.236	30.597	0.480	0.682	0.650	0.670
9	3.00	1.959	18.768	6.776	6.200	6.256	45.386	0.520	0.682	0.635	0.665
10	4.00	1.864	24.912	6.920	6.124	6.228	68.537	0.692	0.691	0.628	0.667
11	5.00	1.772	31.280	6.872	6.124	6.256	80.572	0.616	0.700	0.621	0.669
12	7.50	1.539	46.860	6.672	6.104	6.248	103.010	0.424	0.739	0.614	0.688
13	7.50	1.438	31.950	5.168	4.048	4.260	102.296	0.908	0.726	0.606	0.678
14	10.00	1.220	42.640	4.748	4.080	4.264	102.296	0.484	0.758	0.593	0.689
15	13.00	0.958	55.068	4.480	4.120	4.236	101.990	0.244	0.834	0.597	0.729
16	16.00	0.696	67.776	4.364	4.156	4.236	101.990	0.128	0.942	0.607	0.785
17	19.00	0.435	80.560	4.304	4.200	4.240	101.990	0.064	1.126	0.631	0.877

Tabel III

Maximum (resp. minimum) langskrachten ten gevolge van translatie-
golven en vulstraal.

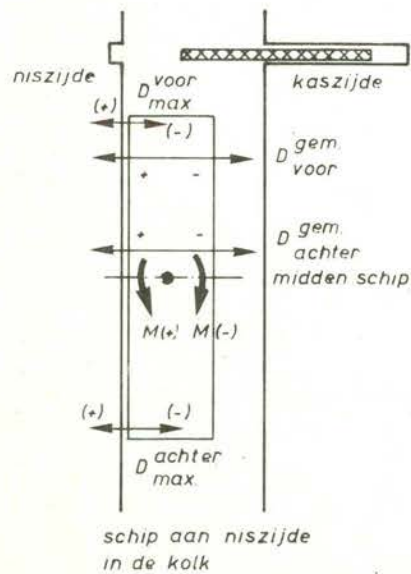
Proef nr.	t^* [s]	F_{\max}^{trans} [°/°°]	t [s]	$F_{\max}^{\text{trans+vul}}$ [°/°°]	t [s]	F_{\min}^{trans} [°/°°]	t [s]	$F_{\min}^{\text{trans+vul}}$ [°/°°]	t [s]	$ F_{\max}^{\text{vul}} $ [°/°°]
PH 1	90	0.41	15	0.26	220	0.42	220	0.42	80	-0.17
PH 3	90	0.36	20	0.24	220	0.38	220	0.38	120	-0.34
PH 4	90	0.32	20	0.23	220	0.34	220	0.34	100	-0.16
PH 5	90	0.25	90	0.25	220	0.24	220	0.24	80	+0.02
PH 6	65	0.37	20	0.32	245	0.56	245	0.56	100	-0.18
PH 7	65	0.37	20	0.32	245	0.56	245	0.56	100	-0.16
PH 8	100	0.33	25	0.29	245	0.53	245	0.53	100	-0.28
PH 9	95	0.30	25	0.27	245	0.51	245	0.51	100	-0.08
PH 10	85	0.43	85	0.57	210	0.37	210	0.37	120	+0.21
PH 11	85	0.43	10	0.30	210	0.37	140	0.45	120	-0.35
PH 13	85	0.42	10	0.27	215	0.29	130	0.30	100	-0.20
PH 14	95	0.44	95	0.66	225	0.44	225	0.44	120	+0.25
PH 18	65	0.27	20	0.24	225	0.38	225	0.38	80	-0.13
PH 20	60	0.79	55	0.52	195	0.79	195	0.79	60	-0.27
PH 21	145	0.37	145	0.35	85	0.29	85	0.30	200	-0.12
PH 22	50	1.37	55	1.34	150	1.46	150	1.46	120	+0.15

* t = het tijdstip waarop het maximum (resp. minimum) optreedt

Tabel IV Gemeten dwarskrachten, totale dwarskrachten en momenten op het schip en maximale dwarskracht t.p.v. de bolders.

proef nr.	t*	D _{voor} [°/oo]	D _{achter} [°/oo]	ΣD [°/oo]	Moment [°/oo.m]	D _{voor} max [°/oo]	D _{achter} max [°/oo]	afstand boeg schip roldeur m
1	80	-0.030	+0.015	-0.015	-1.632	-0.029	(+0.014)	7.5
3	120	-0.044	+0.049	+0.005	-2.048	-0.025	(+0.030)	25.0
4	120	+0.017	+0.011	+0.038	+1.782	(+0.043)	-0.005	50.0
5	120	+0.030	+0.016	+0.046	+2.029	(+0.050)	-0.004	100.0
6	140	+0.027	+0.020	+0.047	+1.898	(+0.049)	-0.002	7.5
7**	120	+0.013	+0.050	+0.071	+1.533	+0.056	+0.015	7.5
8	120	+0.005	+0.049	+0.054	+0.931	(+0.039)	(+0.015)	25.0
9	160	+0.058	-0.013	+0.045	+3.360	(+0.067)	-0.022	50.0
10	60	-0.085	-0.126	-0.211	+0.984	-0.084	-0.127	7.5
11**	120	+0.278	+0.074	+0.352	+4.896	+0.285	+0.067	7.5
13	60	-0.184	+0.021	-0.163	-4.920	-0.191	(+0.028)	50.0
14	60	-0.070	+0.026	-0.044	-2.304	-0.073	(+0.029)	7.5
18	120	+0.012	+0.016	+0.028	+0.934	(+0.026)	(+0.002)	7.5
20	100	+0.027	+0.072	+0.099	+2.563	(+0.084)	(+0.015)	7.5
21	160	-0.012	-0.017	-0.029	-0.947	-0.027	-0.002	7.5
22	80	+0.033	+0.130	+0.163	3.670	(+0.130)	(+0.033)	7.5

* tijdstip waarop deze krachten optreden
 ** schip aan kaszijde, dwarskracht vanaf de kolkwand is positief!



$$\Sigma D = D_{\text{voor}} + D_{\text{achter}}$$

$$M_{\text{(duweenheid)}} = 60.8 \times D_{\text{voor}} + 12.8 \times D_{\text{achter}}$$

$$M_{\text{(3000 tonner)}} = 24 \times D_{\text{voor}} - 24 \times D_{\text{achter}}$$

$$D_{\text{max}}^{\text{voor}} = \frac{\Sigma D}{2} + \frac{M}{\frac{1}{2} L_s}$$

$$L_s = 150 \text{ m (duweenheid)}$$

$$L_s = 90 \text{ m (3000 tonner)}$$

(de tussen haakjes gegeven getallen in de kolommen D_{voor} max en D_{achter} max zijn niet maatgevend)

Tabel V Meetprogramma proeven met dichtheidsverschil.

Vulproeven

proef nr.	water- stand voor- haven [m]	water- stand kolk [m]	verval [m]	laag- dikte zoete laag [m]	laag- dikte zoute laag [m]	dicht- heids- verschil [-]	schip [-]	afstand boeg schip tot deur [m]	dicht- heids- vertikaal	referentie proeven zonder dichtheids- verschil
VL ZZ 1	7.25	6.75	0.50	6.75	-	0.02	duwb.	25.0	scherp	VL 3
" 2	7.25	6.75	0.50	5.20	1.55	0.02	duwb.	25.0	scherp	" 3
" 3	7.25	6.75	0.50	3.50	3.25	0.02	duwb.	25.0	scherp	" 3
" 4	7.25	6.75	0.50	3.50	3.25	0.02	duwb.	7.5	scherp	" 1
" 5	7.25	6.75	0.50	3.50	3.25	0.02	duwb.	50.0	scherp	" 4
" 6	7.25	6.75	0.50	3.50	3.25	0.02	3000t.	25.0	scherp	" 12
" 7	7.25	6.75	0.50	6.75	-	0.02	duwb.	7.5	scherp	" 1
" 8	7.25	6.75	0.50	3.50	3.25	0.02	duwb.	25.0	onscherp	" 3

* alle schepen aan niszijde van de kolk.

Ledigproeven

proef nr.	water- stand voor- haven [m]	water- stand kolk [m]	verval [m]	laag- dikte zoete laag [m]	laag- dikte zoute laag [m]	dicht- heids- verschil (ϵ) [-]	schip [-]	afstand tot de deur [m]	dicht- heids- vertikaal	referentie proef zonder dichtheids- verschil
L(ZZ) 2	6.25	6.75	0.50	3.50	3.25	0.02	duwb.	25.0	scherp	L ₁

* schip aan niszijde van de kolk.

- roldeursnelheid is bij alle bovenstaande proeven 0.03 m/s.

(Opmerking: terugwinniveaus gekozen volgens notitie van WWO-WT over "Besturing Philipsdam-sluizen" (19-1-'79); omarmend zoet waterstand van N.A.P. + 0.50 m).

Tabel VI Dwarskrachten op het schip bij proeven met dichtheidsverschil.
[°/oo].

proef nr.	D _{voor} [°/oo]	D _{achter} [°/oo]	Σ D [°/oo]	Moment % m	D _{voor} max [°/oo]	D _{achter} max [°/oo]
VL ZZ 1	+ 0.090	-	+ 0.090	+ 5.47	(+ 0.118)	- 0.028
" 2	+ 0.070	- 0.020	+ 0.050	+ 4.51	(+ 0.09)	- 0.040
" 3	- 0.030	-	- 0.030	- 1.82	- 0.035	(+ 0.005)
" 4a	- 0.040	- 0.060	- 0.100	- 3.20	- 0.093	- 0.007
" 4b	- 0.075	-	- 0.075	- 4.56	- 0.098	(+ 0.023)
" 5	-	-	-	-	-	-
" 6	- 0.150	- 0.020	- 0.170	- 9.38	- 0.210	(+ 0.040)
" 7	- 0.105	- 0.110	- 0.215	- 7.79	- 0.211	- 0.004
" 8	- 0.085	-	- 0.085	- 5.17	- 0.111	(+ 0.026)
LL (ZZ) 2	-	-	-	-	-	-

+ betekent dwarskrachten naar de roldeurkas toe

- betekent dwarskrachten naar de roldeurnis toe

* proeven VL ZZ 1 t/m 5, 7, 8 en L2 - duweenheid

* proef 6 - binnenvaartschip

* dwarskracht positief naar de niszijde toe gericht

* dwarskracht negatief naar de kaszijde toe gericht

* (zie ook tabel V)

Tabel VII Maximale langskrachten definitieve situatie Philipsdamsluizen.

vulproeven	roldeur programma	t.o.v. NAP buiten waterstand [m]	t.o.v. NAP kolk waterstand [m]	verval [m]	scheepstype	positie schip		max. pos. langskracht def. situatie		max. neg. langskracht def. situatie	
						vanaf roldeur [m]	breedte sluis	tijd s	langskracht °/oo	tijd s	langskracht °/oo
PH 1	A	+ 1.00	+ 0.50	0.50	duweenheid	7.5	niszijde	20	0.30	220	0.82
PH 3	A	+ 1.00	+ 0.50	0.50	duweenheid	25	niszijde	90	0.40	220	0.78
PH 4	A	+ 1.00	+ 0.50	0.50	duweenheid	50	niszijde	90	0.37	220	0.74
PH 5	A	+ 1.00	+ 0.50	0.50	duweenheid	100	niszijde	90	0.29	220	0.64
PH 6	A	- 0.50	- 1.00	0.50	duweenheid	7.5	niszijde	65	0.43	245	0.96
PH 7	A	- 0.50	- 1.00	0.50	duweenheid	7.5	kaszijde	65	0.43	245	0.96
PH 8	A	- 0.50	- 1.00	0.50	duweenheid	25	niszijde	100	0.38	245	0.93
PH 9	A	- 0.50	- 1.00	0.50	duweenheid	50	niszijde	95	0.35	245	0.82
PH 10	A	+ 1.00	+ 0.50	0.50	"3000 tonner"	7.5	niszijde	85	0.49	140	0.75
PH 11	A	+ 1.00	+ 0.50	0.50	"3000 tonner"	7.5	kaszijde	85	0.49		
PH 13	A	+ 1.00	+ 0.50	0.50	"3000 tonner"	50	niszijde	85	0.48	130	0.60
PH 14	A	- 0.50	- 1.00	0.50	"3000 tonner"	7.5	niszijde	95	0.72	225	0.74
PH 18	A	- 0.70	- 1.00	0.30	duweenheid	7.5	niszijde	65	0.30	225	0.78
PH 20	B	- 0.50	- 1.00	0.50	duweenheid	7.5	niszijde	60	0.85	195	1.19
PH 21	C	- 0.50	- 1.00	0.50	duweenheid	7.5	niszijde	145	0.40	420	0.70
PH 22	D	- 0.50	- 1.00	0.50	duweenheid	7.5	niszijde	50	1.50	150	1.86
ledigproeven											
L ₁	A	+ 0.50	+ 1.00	(-)0.50	duweenheid	7.5	niszijde	88	0.40	239	0.38

- * roldeurprogrammering:
- versnellen van $v = 0$ tot $v = a$ m/s met een versnelling van 0.0167 m/s^2 .
 - konstant snelheid $v = a$ m/s tot T_{10} (het tijdstip waarop het verval kleiner wordt dan $\pm 0.10 \text{ m}$)
 - versnellen van $v = a$ m/s tot $v = 0.25 \text{ m/s}$ (maximale roldeursnelheid), met versnelling van 0.0167 m/s^2
 - konstant maximum snelheid totdat de deur open is.

- * roldeurprogramma
- A: $a = 0.03 \text{ m/s}$; $T_{10} = 180 \text{ sec.}$
 - B: $a = 0.05 \text{ m/s}$; $T_{10} = 150 \text{ sec.}$
 - C: $a = 0.01 \text{ m/s}$; $T_{10} = 330 \text{ sec.}$
 - D: $a = 0.10 \text{ m/s}$; $T_{10} = 140 \text{ sec.}$

Tabel VIII

Omwerken vulstraatproeven (proef VL 6)

tijd [s]	roldeur opening [m]	$Q_{5.75}^{200}$ [m ³ /s]	$Q_{5.25}^{32}$ [m ³ /s]	$Q_{7.25}^{200}$ [m ³ /s]	$F_{5.75}^{200}$ [°/oo]	$F_{7.25}^{200}$ [°/oo]	$F_{7.25}^{200} (Q_{7.25}^{200})^2$ [°/oo-s ² /m ⁶]	$F_{5.75}^{200} (Q_{7.75}^{200})^2$ [°/oo-s ² /m ⁶]	invloed waterstand op F/Q^2 [%]	invloed debiet op F/Q^2 [%]	invloed debiet op F [%]	$F_{5.25}^{32}$ [°/oo]
60	0.72	11.0	9.8	13.6	-0.090	-0.105	-0.00057	-0.00074	108	90	79	-0.069
80	1.32	16.2	13.9	19.8	-0.169	-0.168	-0.00043	-0.00064	111	91	74	-0.126
100	1.92	20.2	17.2	24.4	-0.176	-0.146	-0.00025	-0.00043	114	100	73	-0.146
120	2.52	23.4	19.3	28.3	-0.093	-0.142	-0.00018	-0.00017	98	108	68	-0.067
140	3.12	25.7	20.9	29.1	-0.047	-0.109	-0.00013	-0.00007	73	105	66	-0.024
160	3.72	25.5	20.8	25.3	+0.005	-0.027	-0.00005	+0.00001	316	105	67	+0.011
180	4.32	23.0	19.3	19.0	+0.039	+0.006	+0.00002	+0.00007	126	105	70	+0.036
200	7.87	19.7	18.1	11.7	+0.063	+0.012	+0.00009	+0.00016	115	103	84	+0.063
220	12.87	12.0	13.6	1.2	+0.031	-	+0.00022	-	100	100	128	+0.040
240	17.87	3.5	9.4	-	-	-						+0.020

m.b.v.
proef PH1
en PH6

uit
fig. 54

index: $Q_{5.75}^{200}$ = prototype (200 m brede voorhaven), waterstand voorhaven N.A.P. - 0.50 m
 $Q_{5.25}^{32}$ = schaalmodel (32 m brede voorhaven), waterstand voorhaven N.A.P. - 1.00 m
 $Q_{7.25}^{200}$ = prototype (200 m brede voorhaven), waterstand voorhaven N.A.P. + 1.00 m
F = langskracht [°/oo]
Q = debiet [m³/s]

Tabel IX Meetprogramma verificatie TROS-procedure

proef nr.	waterstand voorhaven [m t.v.o. NAP]	waterstand kolk [m t.o.v. NAP]	scheeps- type	afstand boeg schip tot de roldeur [m]	roldeur pro- gramma	vergelijk- bare proef nr. tijd. situatie	verval [m]
* VL 1	+1.00	+0.50	duweenheid	7.5(nis)	A	PH 1	0.50
VL 3	+1.00	+0.50	duweenheid	25.0(nis)	A	PH 3	0.50
VL 4	+1.00	+0.50	duweenheid	50.0(nis)	A	PH 4	0.50
VL 5	+1.00	+0.50	duweenheid	100.0(nis)	A	PH 5	0.50
VL 6	-1.00(-0.50)	-1.50(-1.00)	duweenheid	7.5(nis)	A	PH 6	0.50
VL 7	-1.00(-0.50)	-1.50(-1.00)	duweenheid	7.5(kas)	A	PH 7	0.50
VL 8	-1.00(-0.50)	-1.50(-1.00)	duweenheid	25.0(nis)	A	PH 8	0.50
VL 9	-1.00(-0.50)	-1.50(-1.00)	duweenheid	50.0(nis)	A	PH 9	0.50
VL 10	+1.00	+0.50	binnen- vaartschip	7.5(nis)	A	PH 10	0.50
VL 11	+1.00	+0.50	binnen- vaartschip	7.5(kas)	A	PH 11	0.50
VL 13	+1.00	+0.50	binnen- vaartschip	50.0(nis)	A	PH 13	0.50
VL 14	-1.00(-0.50)	-1.50(-1.00)	binnen- vaartschip	7.5(nis)	A	PH 14	0.50
VL 18	-1.00(-0.70)	-1.30(-1.80)	duweenheid	7.5(nis)	A	PH 18	0.30
* VL 20	+1.00(-0.50)	+0.50(-1.00)	duweenheid	7.5(nis)	B	PH 20	0.50
* VL 21	-0.50	-1.00	duweenheid	7.5(nis)	C	PH 21	0.50
* VL 22	-0.50	-1.00	duweenheid	7.5(nis)	D	PH 22	0.50
L 1	+0.50	+1.00	duweenheid	7.5(nis)	A	L 1	0.50

Opmerking: de tussen haakjes vermeldde waterstanden zijn de waterstanden van de vulstraalproeven.

* de notatie van de roldeurprogramming is opgenomen in tabel I.

Tabel X Dwarskrachten in uniforme stroming (duweenheid)

debiet [l/s]	positie in de kolk		gemeten dwarskracht voorschip [°/oo]	gemeten dwarskracht achter [°/oo]	totale gemeten dwarskracht [°/oo]	
	afstand tot de kolkwand kaszijde [m]	afstand tot de kolkwand niszijde [m]				
1	0.005	0.025	-0.015	-0.043	-0.058	
1	0.009	0.021	-0.002	-0.007	-0.009	
1	0.012	0.018	+0.002	-0.006	-0.004	
1	0.016	0.014	+0.002	-0.004	-0.003	
1	0.019	0.011	+0.001	-0.004	-0.002	
1	0.023	0.007	-0.004	+0.008	+0.004	
2	0.006	0.024	-0.015	-0.033	-0.048	
2	0.009	0.021	+0.003	-0.012	-0.009	
2	0.012	0.018	+0.001	-0.009	-0.008	} her- haalde proef
2	0.012	0.018	+0.002	-0.010	-0.008	
2	0.020	0.010	+0.001	-0.013	-0.012	
2	0.024	0.006	-0.009	+0.006	-0.003	

- De tekenafspraken met betrekking tot dwarskrachten zijn weergegeven in fig. 3.4.4.1
- de duwbak is ± 0.57 breed, de kolk is 0.60 m breed in het schaalmodel.

tabel XI Vergelijken resultaten schaalmodel en "TROS-procedure"

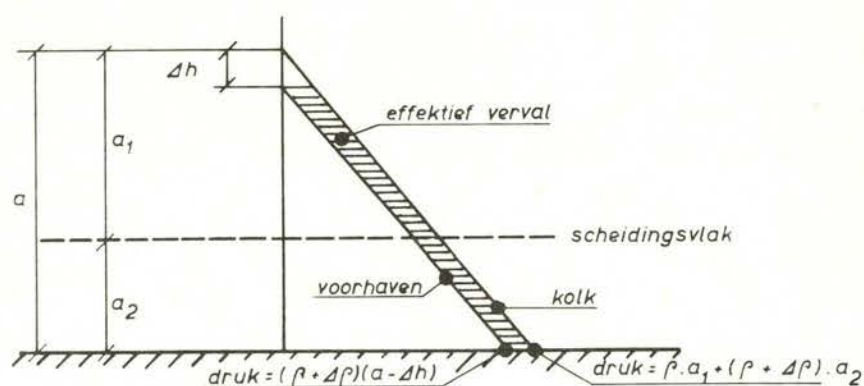
langs- krachten proef- nummer	(F _{trans}) translatie- golven		"TROS-procedure" (F _{TROS})		schaalmodel (F _{gem})		F _{gem} /F _{trans}		F _{gem} /F _{TROS}	
	maximum [°/oo]	minimum [°/oo]	maximum [°/oo]	minimum [°/oo]	maximum [°/oo]	minimum [°/oo]	max. [-]	min. [-]	max. [-]	min. [-]
VL 1	0,36	0,23	0,36	0,36	0,29	0,35	0,81	1,52	0,81	0,97
VL 3	0,31	0,21	0,31	0,36	0,31	0,39	1,00	1,86	1,00	1,08
VL 4	0,23	0,15	0,28	0,25	0,29	0,17	1,26	1,13	1,04	0,68
VL 5	0,23	0,15	0,23	0,15	0,31	0,17	1,35	1,13	1,35	1,13
VL 6	0,45	0,40	0,45	0,41	0,52	0,46	1,16	1,15	1,16	1,12
VL 7	0,45	0,40	0,45	0,41	0,63	0,47	1,40	1,18	1,40	1,15
VL 8	0,39	0,38	0,39	0,38	0,54	0,48	1,38	1,26	1,38	1,26
VL 9	0,34	0,36	0,34	0,36	0,46	0,36	1,35	1,00	1,35	1,00
VL 10	0,38	0,23	0,52	0,23	0,41	0,29	1,08	1,26	0,79	1,26
VL 11	0,38	0,23	0,38	0,40	0,36	0,39	0,95	1,70	0,95	0,98
VL 13	0,38	0,17	0,38	0,28	0,39	0,19	1,03	1,12	1,03	0,68
VL 14	0,40	0,26	0,57	0,26	0,36	0,29	0,90	1,12	0,63	1,12
VL 18	0,29	0,23	0,29	0,23	0,41	0,35	1,41	1,52	1,41	1,52
VL 20	0,55	0,31	0,55	0,34	0,57	0,52	1,04	1,68	1,04	1,53
VL 21	0,36	0,28	0,36	0,28	0,47	0,48	1,31	1,71	1,31	1,71
VL 22	1,18	0,85	1,18	0,85	1,20	1,04	1,02	1,22	1,02	1,22
L ₁	0,31	0,21	0,31	0,21	0,35	0,21	1,13	1,00	1,13	1,00
F _{trans} = berekende langskracht t.g.v. translatiegolven					maxima (F _{gem} /F)		1,41	1,86	1,40	1,71
F _{TROS} = de met de "TROS-procedure" bepaalde langskracht (translatiegolf- en vulstraal- komponent)					gemiddelde (F _{gem} /F)		1,15	1,33	1,11	1,14
					minimum (F _{gem} /F)		0,81	1,00	0,79	0,68
F _{gem} = in het schaalmodel gemeten langskrachten					spreiding(s) (F _{gem} /F)		0,19	0,28	0,24	0,27

Tabel XII Maximale langskrachten voor tijdelijke en definitieve situatie van de Philipsdamsluizen
bepaald uit schaalmodelresultaten

proef- resultaten	langs- krachten	randvoorwaarden verschillend voor model/proto	totaal schaalmodel		translatiegolven prototype		translatiegolven model		invloed voor- haven en waterstand		totaal proto- type tijdelijke situatie		totaal proto- type defini- tieve situatie	
			max. °/°°	min. °/°°	max. °/°°	min. °/°°	max. °/°°	min. °/°°	max. °/°°	min. °/°°	max. °/°°	min. °/°°	min. °/°°	max. °/°°
1		geen	0,29	0,35	0,41	0,42	0,36	0,23	+0,05	+0,19	0,34	0,54	0,34	0,94
3		geen	0,31	0,39	0,36	0,38	0,31	0,21	+0,05	+0,17	0,36	0,46	0,36	0,86
4		geen	0,29	0,17	0,32	0,34	0,23	0,15	+0,09	+0,19	0,38	0,36	0,38	0,76
5		geen	0,31	0,17	0,24	0,24	0,23	0,15	+0,01	+0,09	0,32	0,26	0,32	0,66
6		in model water- standen 0,50 m	0,52	0,46	0,37	0,56	0,45(0,43)	0,40(0,36)	-0,06	+0,20	0,46	0,66	0,46	1,06
7		lager	0,63	0,47	0,37	0,56	0,45(0,43)	0,40(0,36)	-0,06	+0,20	0,57	0,67	0,57	1,07
8		"	0,54	0,48	0,33	0,53	0,39(0,37)	0,38(0,32)	-0,02	+0,21	0,52	0,69	0,52	1,09
9		"	0,46	0,36	0,30	0,51	0,34(0,31)	0,36(0,31)	-0,01	+0,20	0,45	0,56	0,45	0,96
10		geen	0,41	0,29	0,43	0,37	0,38	0,23	+0,05	+0,14	0,46	0,43	0,46	0,70
11		geen	0,36	0,39	0,43	0,37	0,38	0,23	+0,05	+0,14	0,41	0,53	0,41	0,80
13		geen	0,39	0,19	0,42	0,29	0,38	0,17	+0,04	+0,12	0,43	0,31	0,43	0,58
14		in model water- stand 0,50 m lager	0,36	0,29	0,44	0,44	0,40(0,40)	0,26(0,25)	+0,04	+0,19	0,40	0,48	0,40	0,75
18		model waterstand 1,50 m hoger	0,41	0,35	0,27	0,38	0,29(0,28)	0,23(0,22)	+0,01	+0,17	+0,42	+0,52	0,42	0,92
20		"	0,57	0,52	0,79	0,79	0,44(0,55)	0,23(0,40)	+0,24	+0,39	+0,81	+0,91	0,81	1,31
21		geen	0,47	0,48	0,37	0,29	0,36	0,28	+0,01	+0,09	+0,48	+0,57	0,48	0,97
22		geen	1,20	1,04	1,37	1,46	1,18	0,85	+0,19	+0,61	+1,39	+1,65	1,39	2,05
L ₁		geen	0,35	0,21	0,35	0,38	0,31	0,21	+0,04	+0,17	+0,39	+0,38	0,39	+0,38

In het geval van een tweelagensysteem in de kolk zullen er naast translatiegolven aan het oppervlak ook golven ontstaan op het grensvlak. Dit kan als volgt worden ingezien. De externe translatiegolf gaat gepaard met een druk-sprong die over de gehele vertikaal gelijk is. Daardoor ontstaan achter dit front snelheden in de onder- en bovenlaag, die nagenoeg aan elkaar gelijk zijn. Zijn de zo ontstane debietverhoudingen in onder- en bovenlaag ongelijk aan de debietverhouding die bij de roldeur ontstaat dan gaat een interne golf lopen.

Uitgaande van het volgende drukdiagram ter plaatse van de roldeuropening en veronderstellende dat het verval klein is ten opzichte van de dikte van de zoete of zoute laag geldt het volgende.



Figuur A.2 Drukdiagram ter plaatse van roldeuropening

De bovenlaag heeft een gemiddeld drukverschil over de roldeuropening van:

$$(\Delta h)_{a_1} = \Delta h - \frac{1}{2} \cdot \epsilon \cdot (a_1 - \Delta h) \quad [m] \quad [A.1]$$

$$\Delta h = \text{verval} \quad [m]$$

$$a_1 = \text{dikte zoete laag} \quad [m]$$

$$\epsilon = \text{relatief dichtheidsverschil } (\Delta \rho / \rho) \quad [-]$$

$$(\Delta h)_{a_1} = \text{effektief verval over de zoete laag} \quad [m].$$

De onderlaag heeft een drukverschil ter plaatse van de roldeuropening van:

$$(\Delta h)_{a_2} = \Delta h - \epsilon \cdot (a_1 - \Delta h) \quad [A.2]$$

$$(\Delta h)_{a_2} = \text{effektief verval over de zoute laag} \quad [m].$$

De snelheden in de roldeuropening in de beide lagen is dan:

$$v_1' = \sqrt{2g(\Delta h - \frac{1}{2} \cdot \epsilon \cdot (a_1 - \Delta h))} \quad [\text{m/s}] \quad [\text{A.3}]$$

$$v_2' = \sqrt{2g(\Delta h - \epsilon \cdot (a_1 - \Delta h))} \quad [\text{m/s}] \quad [\text{A.4}]$$

$$v_1' = \text{snelheid in de roldeuropening in de zoete laag} \quad [\text{m/s}]$$

$$v_2' = \text{snelheid in de roldeuropening in de zoute laag} \quad [\text{m/s}]$$

$$g = \text{versnelling van de zwaartekracht} \quad [\text{m/s}^2].$$

De snelheden in de kolk, aannemende dat de stroming uniform is, zijn:

$$v_1 = \sqrt{2g(\Delta h - \frac{1}{2} \cdot \epsilon \cdot (a_1 - \Delta h))} \cdot \frac{b_o}{b_k} \quad [\text{m/s}] \quad [\text{A.5}]$$

$$v_2 = \sqrt{2g(\Delta h - \epsilon \cdot (a_1 - \Delta h))} \cdot \frac{b_{\text{opening}}}{b_{\text{kolk}}} \quad [\text{m/s}] \quad [\text{A.6}]$$

$$b_o = \text{effektieve roldeuropening (inclusief kontraktie)} \quad [\text{m}]$$

$$b_k = \text{breedte kolk} \quad [\text{m}].$$

Aannemende dat de faktor $\epsilon(a_1 - \Delta h)$ klein is ten opzichte van het verval Δh (en zoals boven was vermeld het verval klein t.o.v. de laagdikten) volgt:

$$v_1 = (1 - \frac{1}{4} \cdot \epsilon \cdot \frac{a_1}{\Delta h}) \cdot \frac{b_o}{b_k} \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad [\text{A.7}]$$

$$v_2 = (1 - \frac{1}{2} \cdot \epsilon \cdot \frac{a_1}{\Delta h}) \cdot \frac{b_o}{b_k} \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad [\text{A.8}]$$

De hoogte van de externe translatiegolf volgt uit het totale debiet in beide lagen:

$$b_k \cdot c_e \cdot \eta_e = b_k (a_1 \cdot v_1 + a_2 \cdot v_2) \quad [\text{A.9}]$$

zodat

$$\begin{aligned} \eta_e &= \frac{1}{c_e} \cdot \frac{b_o}{b_k} \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \left(a_1 \left(1 - \frac{1}{4} \cdot \epsilon \cdot \frac{a_1}{\Delta h} \right) + a_2 \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \epsilon \cdot \frac{a_1}{\Delta h} \right) \right) \\ &\approx \frac{a}{c_e} \cdot \frac{b_o}{b_k} \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad [\text{m}] \quad [\text{A.10}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_e &= \text{translatiegolfhoogte externe translatiegolf} \quad [\text{m}] \\ c_e &= \text{translatiegolfsnelheid externe translatiegolf} \quad [\text{m/s}] \\ (c_e &\approx \sqrt{g(a_1 + a_2)} = \sqrt{g \cdot a} \approx 8,14 \text{ m/s}).\end{aligned}$$

De hoogte van de interne translatiegolf volgt uit het verschildebiet tussen zoute en zoete laag. Als wordt aangenomen dat het verschildebietje gelijk is aan q' volgt uit continuïteit:

$$q' = \eta_i \cdot c_i = v_{2i} \cdot a_2 = v_{1i} \cdot a_1 \quad [\text{A.11}]$$

$$\begin{aligned}q' &= \text{verschildebiet} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \\ \eta_i &= \text{hoogte interne translatiegolf} \quad [\text{m}] \\ c_i &= \text{snelheid interne translatiegolf} \quad [\text{m/s}] \\ v_{1i} &= \text{snelheid t.g.v. interne golf in zoete laag} \quad [\text{m/s}] \\ v_{2i} &= \text{snelheid t.g.v. interne golf in zoute laag} \quad [\text{m/s}].\end{aligned}$$

De snelheden in de lagen zijn gelijk aan gelijk aan:

$$v_1 = v_e + v_{1i} \quad [\text{A.12}]$$

$$v_2 = v_e - v_{2i} \quad [\text{A.13}]$$

$$v_e = \text{snelheid ten gevolge van externe translatiegolf} \quad [\text{m/s}].$$

De verschilsnelheid is gelijk aan:

$$v_1 - v_2 = v_{1i} + v_{2i} \quad [\text{A.14}]$$

Met vergelijkingen (A.7), (A.8) en (A.11) volgt:

$$\frac{1}{4} \cdot \epsilon \cdot \frac{a_1}{\Delta h} \cdot \frac{b_o}{b_k} \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} = \frac{\eta_i \cdot c_i}{a_1} + \frac{\eta_i \cdot c_i}{a_2} \quad [\text{A.15}]$$

De hoogte van de interne translatiegolf kan worden bepaald uit vergelijking (A.15), de snelheid van de interne golf is hierbij:

$$c_i = \sqrt{\epsilon \cdot g \cdot \frac{a_1 \cdot a_2}{a}} \approx 0,58 \text{ m/s (zie collegediktaat Schönfeld [8])}$$

dan volgt uit (A.15):

$$\begin{aligned}\eta_i &= \left(\frac{1}{4} \cdot \epsilon \cdot \frac{a_1}{\Delta h} \cdot \frac{b_o}{b_k} \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h}\right) / \left(\frac{c_i}{a_1} + \frac{c_i}{a_2}\right) \\ &= -\frac{a_1 \cdot a_2}{a_1 + a_2} \cdot \frac{1}{c_i} \cdot \frac{1}{4} \cdot \epsilon \cdot \frac{a_1}{\Delta h} \cdot \frac{b_o}{b_k} \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad [m]\end{aligned} \quad [A.17]$$

(negatief teken, omdat de interne golf tegengesteld gericht is aan de externe golf).

Daar het schip geheel in de zoete laag ligt wordt het niet direkt beïnvloed door de interne golf, maar door de door de interne golf veroorzaakte verstoring van het oppervlak.

De hoogte van deze verstoring volgt uit het drukevenwicht over het front van de interne golf:

$$\eta_i^{opp} = -\epsilon \cdot \frac{a_2}{a} \cdot \eta_i$$

$$\eta_i^{opp} = \text{verstoring van het wateroppervlak door interne golf } [m].$$

De langskracht op het schip volgt uit het verval over het schip, dit is in feite de translatiegolfhoogte. Het verschil in langskracht tussen de situatie met en zonder dichtheidsverschil volgt dus uit:

$$\begin{aligned}\frac{F_i}{F_e} &= \frac{\eta_i^{opp}}{\eta_e} = \epsilon \cdot \frac{a_2}{a} \cdot \frac{\frac{a_1 \cdot a_2}{a} \cdot \frac{1}{c_i} \cdot \frac{1}{4} \cdot \epsilon \cdot \frac{a_1}{\Delta h} \cdot \frac{b_o}{b_k} \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h}}{\frac{a}{c_e} \cdot \frac{b_o}{b_k} \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h}} \\ &= \frac{1}{4} \cdot \epsilon^2 \cdot \frac{c_e}{c_i} \cdot \frac{(a_1 \cdot a_2)^2}{a^3} \cdot \frac{1}{\Delta h}\end{aligned}$$

F_i = langskracht ten gevolge van interne golf $[^{\circ}/\infty]$

F_e = langskracht ten gevolge van externe golf $[^{\circ}/\infty]$.

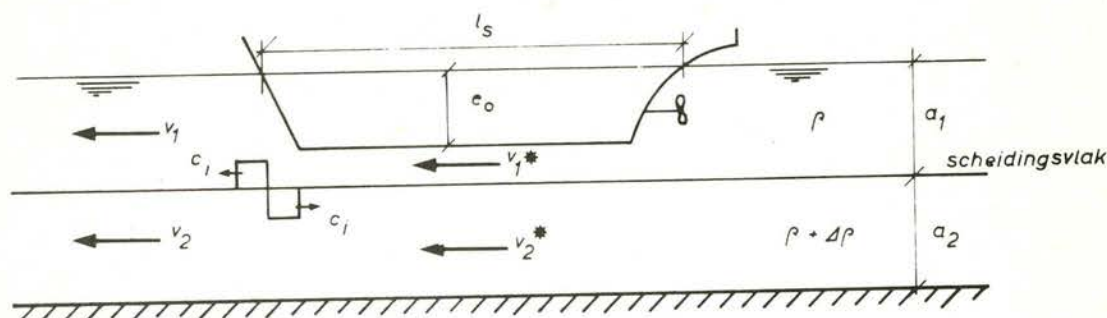
Uitgaande van de gestelde randvoorwaarden, zie bladzijde A-1, geldt:

$$\frac{F_i}{F_e} = \frac{1}{4} \cdot (0,02)^2 \cdot \frac{8,14}{0,58} \cdot \frac{(3,5 \cdot 3,25)^2}{(6,75)^3} \cdot \frac{1}{0,5} =$$

$$\approx 0,0012 .$$

De invloed van het dichtheidsverschil op de totale langskracht op het schip is, zoals bovenstaande beschouwing volgt, verwaarloosbaar.

In bovenstaande beschouwing is echter aangenomen dat het schip geen invloed heeft op de waterbeweging. Dit is echter wel het geval. In het nu volgende wordt aangenomen dat het schip zich volledig in de zoete laag bevindt.



Figuur A.3 Invloed schip op golfhoogte op het scheidingsvlak

Uit continuïteitsoverwegingen volgt, dat daar de doorsnede van de zoete laag door het schip wordt geblokkeerd, ter plaatse van het schip een grotere hoeveelheid water door de zoute laag moet worden aangevoerd.

Daar het gehele complex van factoren vrij ingewikkeld is daar ook de externe translatiegolf zal terugkaatsen kan alleen een vrij grove schatting van dit effect van het dichtheidsverschil worden gegeven.

Uitgaande van over de hoogte (en breedte) gelijkmatige snelheden volgt de interne golfhoogte uit:

$$Q_{\text{zoet}} - Q'_{\text{zoet}} = \eta_i \cdot c_i \cdot b_k \quad [\text{A.19}]$$

hierin is

$$\begin{aligned} Q_{\text{zoet}} &= \text{debiet in zoete laag voor het schip} & [\text{m}^3/\text{s}] \\ Q'_{\text{zoet}} &= \text{debiet in zoete laag t.p.v. het schip} & [\text{m}^3/\text{s}] \\ b_k &= \text{breedte kolk} & [\text{m}]. \end{aligned}$$



Het debiet in de zoete laag voor het schip is:

$$Q_{\text{zoet}} = a_1 \cdot b_k \cdot v_l \quad [\text{A.20}]$$

Het debiet in de zoete laag ter plaatse van het schip is:

$$Q_{\text{zoet}} = (a_1 \cdot b_k - b_s \cdot e_o) \cdot v_l^* \quad [\text{A.21}]$$

hierin is

b_s = breedte schip

e_o = diepgang schip ($e_o < a_1$)

v_l^* = snelheid in zoete laag ter plaatse van het schip.

Daar het totale debiet voor het schip en van het schip gelijk moet zijn volgt:

$$a \cdot b_k \cdot v_l = c_e \cdot \eta_e \cdot b_k = (a \cdot b_k - b_s \cdot e_o) \cdot v_l^* \quad [\text{A.22}]$$

Uit bovenstaande vergelijkingen A.19 t/m A.22 volgt:

$$\eta_i' = \left(\frac{a_1}{a} - \frac{a_1 \cdot b_k - b_s \cdot e_o}{a \cdot b_k - b_s \cdot e_o} \right) \frac{c_e}{c_i} \eta_e \quad (\text{waarbij geldt } a_1 > e_o) \quad [\text{A.23}]$$

Uitgaande van het rekenvoorbeeld waarbij voor de breedte en diepgang van het schip de afmetingen van de duweenheid worden ingevuld ($b_s = 22,8$ m; $e_o = 3,3$ m) volgt:

$$\eta_i' \approx 5,86 \eta_e \quad [\text{A.24}]$$

De uitwijking aan het oppervlak ten gevolge van deze interne golf is (vgl. A.3) dan:

$$\eta_{\text{tgv interne golf}}^{\text{opp}'} \approx 0,06 * \eta_e \quad [\text{A.25}]$$

Het teken in bovenstaande vergelijking is weggelaten daar dit hetzelfde is voor het gedeelte voor en ter plaatse van het schip. Voor het schip zal de translatiegolfhoogte afnemen en ter plaatse van het schip zal de translatiegolfhoogte toenemen (volgt uit drukevenwicht).

Daar de translatiegolfhoogte ter plaatse van het schip toeneemt zal de hel-

ling van het schip toenemen.

Uitgaande van de aanname dat het schip nog steeds in het zoete water blijft liggen, wat in de ledigsituatie het geval is daar het scheidingsvlak ter plaatse van het schip juist door de interne golf wordt verlaagd, volgt dat de invloed van het dichtheidsverschil op de langskracht op het schip in het rekenvoorbeeld ongeveer + 6% is.

Het is logisch dat als de blokkering van de zoete laag geringer wordt (kleiner schip) dat de invloed van het dichtheidsverschil zal afnemen. Bij het binnenvaartschip dat een ongeveer tweemaal kleinere doorsnede heeft als de duweenheid ($b_s = 12,2$ m; $e_o = 2,7$ m) is uitgaande van voor de rest dezelfde randvoorwaarden dit percentage ongeveer + 2%.

Bij grenslaagposities hoger dan de kiel van het schip zal de invloed van het dichtheidsverschil op de kracht op het schip hoogstwaarschijnlijk weer afnemen. Het is duidelijk dat als de kolk geheel gevuld is met zout water een vergelijkbare toestand ontstaat als in situatie met geheel zoete voorhaven en kolk. In de homogene zoute en zoete situatie zullen de langskrachten op het schip niet veel verschillen.



p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands