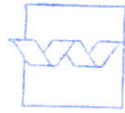


opdrachtgever:
Rijkswaterstaat

troskrachten en verplaatsingen van schepen bij het neerwaarts uitwisselen

onderzoek naar afwijkingen tussen waarnemingen en
berekeningen

verslag bureaustudie
april 1989

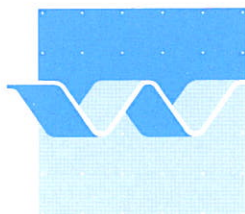


bibliotheek
postbus 177 - 2600 MH Delft
waterloopkundig laboratorium | WL

troskrachten en verplaatsingen van schepen bij het neerwaarts uitwisselen

onderzoek naar afwijkingen tussen waarnemingen en
berekeningen

F.A. van Beek



waterloopkundig laboratorium | WL

Duwvaarsluizen Philipsdam

Krachten in trossen en verplaatsingen van schepen ten gevolge van dwarskrachten bij het begin van het neerwaarts uitwisselen.

Onderzoek naar de afwijkingen tussen waarnemingen en berekeningen

Q971

INHOUD

1. Inleiding	1
2. Probleemstelling	2
3. Methode van onderzoek	3
3.1 Rekenprogramma "Schip Aan Tros"	3
3.2 Duweenheid en Krammersluizen	3
3.3 Externe belasting	5
3.4 Uitgevoerde simulaties	7
4. Resultaten van de simulaties	10
4.1 Toetsing rekenprogramma	10
4.2 Invloed hydrodynamische coëfficiënten	10
4.3 Invloed tegenwerkend moment	11
4.4 Afstand tussen duweenheid en kolkwand	12
5. Discussie	13
6. Conclusies en aanbevelingen	14

TABEL

1. Simulaties

FIGUREN

- 1 Afmetingen en afmeersituaties
- 2 Dwarsdoorsnede kolk Krammersluizen
- 3 Kracht als functie van de tijd
- 4 Kracht als functie van de positie in de kolk
- 5 Controle-berekening (T000)
- 6 Invloed toegevoegde watermassa (T000, T001 en T003)
- 7 Invloed toegevoegde demping (T000, T005 en T006)
- 8 Invloed wijziging belastingverdeling op translatie en rotatie van duweenheid
- 9 Invloed wijziging belastingverdeling op troskrachten en moment op duweenheid
- 10 Kritische waarde van c_M als functie van de positie in de kolk

SYMBOLLEN

A	totale oppervlakte trosdoorsnede (incl. holle ruimten)	[m ²]
a _x , a _y	toegevoegde watermassa in x- en y-richting	[m]
a _r	toegevoegd massatraagheidsmoment	[kgm ²]
b _x , b _y	toegevoegde demping in x- en y-richting	[kg/s]
b _r	toegevoegd dempingsmoment	[kgm ² /s]
B	breedte duweenheid	[m]
c _M	constante in momentvergelijking	[m]
c _{Mc}	kritische waarde van c _M (nog net geen botsing)	[m]
D	diepgang duweenheid	[m]
F _{tros}	trekkracht in tros	[N]
J _z	traagheidsmoment van duweenheid	[kgm ²]
L	lengte duweenheid	[m]
l	troslengte	[m]
M _z	moment, uitgeoefend op duweenheid	[Nm]
m _s	massa duweenheid	[kg]
Q	uitwisseldebiet voor gehele kolk	[m ³ /s]
x, y	assenstelsel met oorsprong op kolkwand	[m]
x _d	x-coördinaat van positie duweenheid	[m]
y _d	y-coördinaat van positie duweenheid	[m]
y _{in}	initiële afstand tussen kolkwand en duweenheid	[m]
α	verhouding tussen staaloppervlakte en totale oppervlakte trosdoorsnede	[-]
Δl	rek in de tros	[m]
φ	rotatie duweenheid	[°]

1. Inleiding

Tijdens het begin van het neerwaarts uitwisselen in de Krammersluizen worden de daarin afgemeerde schepen zijdelings belast als gevolg van het dichtheidsverschil tussen het zoute en zoete water. Deze belasting heeft verplaatsingen en rotaties van de schepen tot gevolg.

Uit waarnemingen in het prototype bleek dat de optredende bewegingen in de Krammer-sluizen niet overeen kwamen met de bewegingen, zoals die op grond van het onderzoek R1921 (lit. 1) werden verwacht. Als mogelijke oorzaken voor de afwijkingen werden de ingevoerde waarden van de hydrodynamische coëfficiënten en de herverdeling van de belasting als gevolg van de verplaatsingen genoemd.

Naar aanleiding hiervan bij WL lokatie "De Voorst" een kort onderzoek in juni en juli van 1988 uitgevoerd teneinde de mogelijke oorzaken van de afwijkingen te inventariseren (Q262). In maart 1989 werd dit onderzoek voortgezet, waarbij de aandacht vooral uitging naar de gevolgen van de herverdeling van de belasting op het schip bij rotatie en translatie (Q971). De resultaten van deze onderzoeken staan in het onderhavige rapport vermeld.

Na een nadere omschrijving van het probleem in hoofdstuk 2 wordt een uiteenzetting gegeven over het in dit onderzoek gebruikte rekenprogramma en de randvoorwaarden (hoofdstuk 3). Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de resultaten van het onderzoek beschreven. In hoofdstuk 5 worden de resultaten bediscussieerd en in hoofdstuk 6 tenslotte staan de conclusies van het onderzoek weergegeven.

Het onderzoek is uitgevoerd en gerapporteerd door ir. F.A. van Beek, onder begeleiding van ir. J. Kerstma.

2. Probleemstelling

In het rapport R1921 (lit. 1) staat in figuur 4 een smalle duweenheid getekend, die afgemeerd is met twee trossen volgens een situatie die hier verder wordt aangeduid met: afmeersituatie 1 (fig. 1). Onder andere bij deze situatie zijn simulaties van het hydrodynamisch gedrag van de duweenheid uitgevoerd. Hierbij is een rekenmodel gebruikt, waarvan in R1921 een beschrijving is gegeven.

Het resultaat van deze berekeningen was, dat reeds bij een geringe belasting de duweenheid zodanig verplaatst, dat deze tegen de wand van de sluiskolk botst. In het prototype daarentegen zijn veel minder extreme bewegingen waargenomen, laat staan dat de duweenheid tegen de kolkwand botst.

De oorzaak van de afwijking tussen prototype en simulatie kan in twee richtingen worden gezocht:

In de eerste plaats zijn in het rekenmodel hydrodynamische coëfficiënten in rekening gebracht, waarmee het massa- en dempingvergrotende gedrag van het meebewegende water wordt verdisconteerd. Hoewel hierover wel het een en ander bekend is, is de situatie in de Krammersluizen toch zo uniek, dat de vraag terecht gesteld kan worden of in het rekenmodel de juiste waarden voor deze coëfficiënten zijn ingevoerd.

In de tweede plaats wordt gewezen op het verloop van de kracht op de duweenheid in de tijd. Dit is namelijk een van de overige invoergegevens voor het rekenmodel. Er is en er wordt van uitgegaan dat deze, gegeven de grootte van het uitwisseldebiet door de kolkwandriolen, nauwkeurig bekend is. Echter, de gevolgen van de translatie en rotatie van de duweenheid voor het krachtverloop zijn in het onderzoek R1921 niet in rekening gebracht.

Het doel van het hier gerapporteerde onderzoek is vast te stellen, of en zo ja welke van de bovenstaande factoren de afwijkingen hebben veroorzaakt.

3. Methode van onderzoek

3.1 Rekenprogramma "Schip Aan Tros"

Het hier gebruikte rekenprogramma lost in grote lijnen dezelfde vergelijkingen op als het in het onderzoek R1921 gebruikte rekenprogramma. Voor details van dit programma wordt verwezen naar dit onderzoek (lit. 1) en naar de bureaustudie Q255-4 (lit. 2).

De belangrijkste invoergegevens, die later in dit rapport regelmatig ter sprake zullen komen zijn:

- a. kolk van de Krammersluizen;
- b. eigenschappen van het afgemeerde schip (afmetingen, diepgang, massa en massatraagheidsmoment);
- c. hydrodynamische coëfficiënten:
 - toegevoegde watermassa's in de twee horizontale dimensies (x en y), en het hiermee samenhangende toegevoegde massatraagheidsmoment;
 - toegevoegde waterdemping in x- en y-richting en het hiermee samenhangende toegevoegde massadempingsmoment;
- d. positie van het schip en afmeergegevens (positie en lengte van de trossen) aan het begin van een simulatie;
- e. troseigenschappen (sterkte en elasticiteit);
- f. verloop van kracht en moment op het schip in de tijd.

3.2 Duweenheid en Krammersluizen

In deze paragraaf worden achtereenvolgens behandeld: de kolk van de Krammersluizen, eigenschappen van de duweenheid, hydrodynamische coëfficiënten en eigenschappen van de trossen.

Kolk van de Krammersluizen

Een opvallend onderdeel van de Krammersluizen is het zout/zoet-uitwisselsysteem. Bij vervanging van zout door zoet water wordt zoet water via de kolkwandopeningen ingelaten, terwijl het zoute water via de geperforeerde vloer wordt afgevoerd (fig. 2). Tijdens dit uitwisselproces ondervindt een afgemeerd schip krachten in samenhang met het dichtheidsverschil. De uitwerking van deze kracht staat in paragraaf 3.3.

De afstand tussen de linker en de rechter kolkwand bedraagt 24.10 m.

Eigenschappen duweenheid

Het centrale element in dit onderzoek is een smalle duweenheid met de volgende eigenschappen (fig. 1):

Massa $m_s = 6550000$ kg

Lengte $L = 150$ m (totale lengte van de twee duwbakken; ten behoeve van het vaststellen van de hydrodynamische coëfficiënten wordt een lengte van 163.5 m aangehouden om de lengte van de duwboot te verdisconteren)

Breedte $B = 11.40$ m

Diepgang $D = 3.90$ m

Hydrodynamische coëfficiënten

In het onderzoek R1921 zijn voor dit schip op basis van literatuurgegevens hydrodynamische coëfficiënten vastgesteld:

Toegevoegde watermassa y-richting:

$$a_y = a'_{22} * m_s = 1.6109 * m_s = 10551395 \text{ [kg]} \quad (1)$$

Wanneer de toegevoegde watermassa in x-richting wordt verwaarloosd, volgt hieruit voor het totale traagheidsmoment:

$$J_z + a_r = \frac{1}{12} * (m_s + a_y) * L^2 = 3.81 * 10^{10} \text{ [kgm}^2\text{]} \quad (2)$$

Toegevoegde demping in y-richting:

$$J_y = \frac{m_s * b'_{22}}{\sqrt{(B/2g)}} = \frac{6550000 * 0.00383}{\sqrt{(11.40 / (2 * 9.81))}} = 3.29 * 10^5 \text{ [kg/s]} \quad (3)$$

Wanneer de toegevoegde demping in x-richting wordt verwaarloosd, volgt hieruit voor het toegevoegde dempingsmoment:

$$b_r = \frac{1}{12} * b_y * L^2 = 733.1 * 10^6 \text{ [kgm}^2\text{/s]} \quad (4)$$

Troseigenschappen

De duweenheid is afgemeerd met trossen van verzinkte staalkabel, bestaande uit 6*24 staaldraden + 7 touwkernen, en met een doornede van 26 mm. De spannings-rek relatie van deze trossen is:

$$F_{\text{tros}} = \alpha * A * 667080 * (\Delta l / l)^{1.5} \text{ [N]} \quad (5)$$

waarin:

F_{tros} : trekkracht in de tros [N]

α : verhouding tussen staaloppervlak en totale oppervlak van trosdoorsnede (hier 0.4)

A : totale oppervlakte van de trosdoorsnede [m²]

Δl : rek in de tros [m]

l : tros lengte [m]

De maximum trekkracht is gesteld op 140 kN, waarbij een veiligheidsfactor ter grootte van 0.5 in rekening is gebracht.

3.3 Externe belasting

In het onderzoek is naast de kracht in y-richting (F_y) ook het moment als gevolg van de rotatie van de duweenheid betrokken.

Kracht in y-richting (F_y)

In figuur 3 staat de kracht op de duweenheid als functie van de tijd weergegeven. Het hierbij horende maximum uitwisseldebiet voor de gehele kolk Q is 20 m³/s (zie ook lit. 1). De maximum kracht treedt op tussen $t = 100$ en 120 s en is 61.5 kN groot. De achtergrond van de vorm van deze relatie is als volgt:

Er is gegeven, dat de duweenheid beladen is en naast een onbeladen schip in de kolk ligt afgemeerd. In eerste instantie wordt het zoute water in de ruimte tussen de schepen en de kolkwanden door zoet water vervangen, terwijl het water tussen de schepen nog zout is. Dit gaat met grote dwarskrachten gepaard, waarmee het hoge maximum in het krachtverloop wordt verklaard. Na dit maximum neemt de kracht af, omdat in die periode ook de uitwisseling van het water tussen de schepen in op gang is gekomen. Later neemt de kracht een betrekkelijk lage constante waarde aan, omdat het scheidingsvlak tussen zout en zoet water onder de onderzijde van de duweenheid is gekomen.

De grootte van de kracht is afhankelijk van de afstand van de duweenheid tot de kolkwand (fig. 4). Een en ander is in het kader van het onderzoek M1908 (lit. 3) uitgezocht. Het verloop van de kracht als functie van de afstand tot de kolkwand is niet exact bekend. Zo is het aan de ene kant waarschijnlijk, dat de kracht exponentieel toeneemt, als een schip met een vrij grote snelheid naar de kolkwand toe beweegt (stippellijn in fig. 4).

Aan de andere kant brengt de aanwezigheid van kolkwandriolen in het geval van de Krammersluizen en het optreden van langsstroming tussen de duweenheid en de kolkwand een reductie van deze kracht met zich mee. De informatie in M1908 gaat niet verder dan krachtmetingen op een tweetal posities van de duweenheid ten opzichte van de kolkwand. Daarom is besloten het verloop van de kracht als functie van de afstand van de duweenheid tot de kolkwand als een rechte lijn aan te houden (fig. 4).

Dit is een conservatieve veronderstelling: Hoogstwaarschijnlijk ligt het werkelijke verloop tussen dat van de doorgetrokken lijn en dat van de stippe lijn in. Voor de beschouwingen in het kader van dit onderzoek is dit werkelijke verloop gunstiger dan het aangehouden rechtlijnige verloop. In hoofdstuk 5 ("Discussie") zal hierop nader worden teruggekomen.

Moment

Wanneer de duweenheid roteert en de afstand tussen de duweenheid en de kolkwand niet overal gelijk is, zal de kracht op het deel dat het dichtst bij de kolkwand ligt groter zijn dan op het andere deel. Naast een dwarskracht treedt in dat geval dus ook een moment op de duweenheid op.

Uitgaande van het rechtlijnige verloop volgens figuur 4 wordt het moment op de duweenheid als functie van de rotatie van de eenheid als volgt afgeleid: Het rechtlijnige verloop van $F_y/F_{y\max}$ voldoet aan de volgende vergelijking:

$$F_y = F_{y\max} * (1.90 - 0.16 y) \quad (6)$$

waarin:

F_y : kracht op de duweenheid [N]

$F_{y\max}$: kracht wanneer de duweenheid tegen de kolkwand ligt [N]

y : afstand tussen de kolkwand en de duweenheid [N]

De kracht per eenheid van lengte van de duweenheid kan op soortgelijke wijze worden uitgedrukt:

$$f_y = f_{y\max} * (1.90 - 0.16 y) \quad (7)$$

Hierin is:

$$f_y = F_y/L \quad (8)$$

waarin:

f_y : kracht per eenheid van lengte [N/m]

L: lengte van de duweenheid [m]

Wanneer de duweenheid roteert voldoet de ligging van de as van de duweenheid ten opzichte van de kolkwand aan de volgende vergelijking:

$$y(x) = y_{zp} + x \cdot \sin \phi \quad (9)$$

waarin:

y_{zp} : waarde van y in zwaartepunt van de duweenheid [m]

ϕ : hoek tussen as van de duweenheid en de kolkwand [$^\circ$]

Daarmee wordt (7) aangepast:

$$f_y(x) = f_{y\max} \cdot (1.90 - 0.16y_{zp} - 0.16 \cdot x \cdot \sin \phi) \quad (10)$$

Het moment wordt bepaald door integratie van (10) over de lengte van de duweenheid:

$$M_z(\phi) = \int_{-0.5L}^{0.5L} f_y(x) \cdot x \cdot dx = -\frac{1}{12} \cdot 0.16 \cdot L^2 \cdot \sin \phi \cdot F_{y\max} \quad (11)$$

(11) kan ook geschreven worden als:

$$M_z(\phi) = c_M \cdot \sin \phi \cdot F_{y\max} \quad (12)$$

waarin:

c_M : constante met voor $L = 163.5$ m de waarde -356 [m]

3.4 Uitgevoerde simulaties

In tabel 1 worden de uitgevoerde simulaties gepresenteerd voor zover deze voor de rapportage van belang zijn. Voor verduidelijking van de code van de afmeersituatie wordt naar figuur 1 verwezen. De proefnummers zijn in een viertal groepen onderverdeeld. De belangrijkste kenmerken van deze groepen zijn de volgende:

Groep 1:

Hierin is onderzoek verricht naar de invloed van de hydrodynamische coëfficiënten. Ter vereenvoudiging van de interpretatie van de resultaten is een afmeersituatie gekozen, waarbij van verplaatsing in slechts één richting sprake is.

Groep 2:

Hier is de afmeersituatie gekozen, waarbij volgens R1921 (lit. 1) de duweenheid tegen de kolkwand botst. Ook hier is naar de invloed van de hydrodynamische coëfficiënten gekeken.

Groep 3:

In deze groep van proeven is een moment geïntroduceerd volgens de beschrijving in paragraaf 3.3. De constante c_M is hierbij gevarieerd. Ook hier is de invloed van de hydrodynamische coëfficiënten onderzocht.

Groep 4:

Hierin is het dynamisch gedrag van de duweenheid onderzocht als functie van de afstand tussen de duweenheid en de kolkwand. De waarde van c_M is hierbij constant gehouden.

Tabel 1. Simulaties

Proefnr.	c_M (m)	y_{in} (m)	a_x (*10 ⁷ kg)	b_x (*10 ⁵ kg/s)	a_y (*10 ⁷ kg)	b_y (*10 ⁵ kg/s)	afmeer- situatie
1 T000	0	0.55	n.v.t.	n.v.t.	1.06	3.29	2
T001, T003	0	0.55	n.v.t.	n.v.t.	1.06	var.	2
T005, T006	0	0.55	n.v.t.	n.v.t.	var.	3.29	2
2 T201	0	0.55	0	0	1.06	3.29	1
T202	0	0.55	1.06	3.29	1.06	3.29	1
3 T301	var.	0.55	0	0	1.06	3.29	1
T302	var.	0.55	1.06	3.29	1.06	3.29	1
4 T900	var.	var.	0	0	1.06	3.29	1

Opmerkingen:

- Voor de proeven, waarbij voor de hydraulische coëfficiënten "n.v.t." is ingevuld, zijn deze coëfficiënten niet van belang, daar de duweheid in de betreffende afmeersituatie uitsluitend in de y-richting bewogen wordt.
- Zie voor de afmeersituaties figuur 1.
- Met "var." wordt bedoeld, dat de betreffende parameter in waarde is gevarieerd om de gevoeligheid van het systeem voor deze parameter vast te stellen.
- Wanneer $c_M=0$, dan is gedurende de simulatie geen moment in rekening gebracht (zie ook paragraaf 4.1).

De proeven in de verschillende groepen (T001-T005, T201 en T202, T301 en T302) hebben betrekking op onderzoek naar de invloed van de hydrodynamische coëfficiënten. Vergelijking van de proeven T201 en T301 en van T202 en T302 geeft informatie over de gevoeligheid voor de verplaatsing van het aangrijpingspunt van de kracht als gevolg van de scheepsbeweging.

4. Resultaten van de simulaties

4.1 Toetsing rekenprogramma

Voordat met het daadwerkelijke onderzoek werd begonnen is getest, of het rekenprogramma Schip Aan Tros de simulaties met het programma in R1921 goed reproduceert. De resultaten van deze test met de code T000 staan in figuur 5. De overeenkomst met de simulatie in R1921 is goed.

Hiermee is aangetoond, dat het rekenprogramma Schip Aan Tros een goed hulpmiddel is om voort te bouwen op de bevindingen van R1921.

Overigens is in deze proef, net als in de proeven T001-T005, sprake van een symmetrisch afgemeerde duweenheid. De duweenheid verplaatst zich daarom in deze gevallen uitsluitend in de y-richting (loodrecht op de kolkwand).

4.2 Invloed hydrodynamische coëfficiënten

De invloed van deze coëfficiënten is zowel bij afmeersituatie 1 als bij afmeersituatie 2 getoetst. In eerste instantie zal op afmeersituatie 2 worden ingegaan, daar hier door de wijze van afmeren uitsluitend van verplaatsingen in de richting loodrecht op de kolkwand sprake is en de resultaten daarom gemakkelijk zijn te interpreteren.

In figuur 6 zijn de resultaten van de proeven T001 en T003 (met verschillende waarden voor a_y : de toegevoegde watermassa) weergegeven. De resultaten zijn samen met het resultaat van de simulatie T000 met de referentie-instellingen van a_y en b_y (resp. $3.81 \cdot 10^{10}$ kgm² en $3.29 \cdot 10^5$ kgm) weergegeven. In figuur 7 zijn de proeven T005 en T006 met verschillende waarden voor de toegevoegde demping b_y op soortgelijke wijze gepresenteerd.

Wat opvalt is, dat in geen van beide exercities de afwijkingen als gevolg van wijzigingen in de coëfficiënten erg groot zijn. De wijzigingen in de coëfficiënten komen tot uiting in afwijkingen in de frequentie en de amplitude van de trillingen rond een gemiddelde verplaatsing, die voor alle proeven dezelfde is. Ondanks het grote bereik van ingestelde waarden voor de coëfficiënten is de maximum trekkracht in de trossen in geen enkel geval meer dan zo'n 10 % groter dan in de referentiesimulatie.

Uit deze resultaten is de tussentijdse conclusie getrokken, dat de hydrodynamische coëfficiënten in vergelijking met de andere parameters (moment en afstand tussen duweenheid en kolkwand) een beperkte invloed op het dyna-

mische gedrag van de duweenheid hebben (let wel: het gaat om een vergelijkingsgewijs beperkte invloed; de invloed van de hydrodynamische coëfficiënten zelf wordt niet ter discussie gesteld).

Bewoog de duweenheid in de simulaties T01-T100 zich nog uitsluitend loodrecht op de kolkwand, in T201 en verder was er tevens sprake van rotatie en verplaatsing evenwijdig aan de kolkwand (resp. in ϕ - en in x-richting).

De waarden van de hydrodynamische coëfficiënten in de x-richting zijn niet precies bekend, maar te verwachten is dat deze zeer veel kleiner zijn dan hun equivalenten in y-richting. Gelet op de fysische werkelijkheid zullen de randvoorwaarden volgens T201 realistischer zijn dan die volgens T202. In de volgende paragraaf zal de aandacht dan ook worden gericht op T201 en T301.

4.3 Invloed tegenwerkend moment

De resultaten van de proef T201 (fig. 8 en 9) laten zien, dat de duweenheid meerdere malen met het hoekpunt P (zie fig. 1) tegen de kolkwand botst. De momenten waarop dit geschiedt, zijn vooral te herkennen aan de pieken in het verloop van troskrachten (fig. 9). Deze botsingen gaan gepaard met extreme belastingen op de trossen, waarbij de maximum trekkracht (140 kN) regelmatig wordt overschreden.

Zoals reeds eerder is gezegd, bestaat de opgelegde belasting in T201 uitsluitend uit een dwars op de duweenheid uitgeoefende kracht, waarvan het aangrijpingspunt doorlopend op dezelfde plaats blijft liggen. Voor proef T301 is naast de dwars op de duweenheid uitgeoefende kracht tevens een moment volgens (12) ingevoerd. Hierin is voor de constante c_M de waarde -2250 m ingevuld. Met deze waarde wordt een zodanig momentverloop verkregen, dat de duweenheid nog net niet met de kolkwand in botsing komt. In figuur 8 is te zien dat de duweenheid in T301 zeer geleidelijk beweegt, terwijl in T201 de beweging iets onregelmatiger is als gevolg van de botsingen. Pieken zijn niet meer waarneembaar in het verloop van de troskrachten, waarmee zichtbaar wordt gemaakt dat de duweenheid niet meer tegen de kolkwand botst. Opmerkelijk zijn voorts de resulterende trekkrachten in de trossen, die de maximum toelaatbare waarde van 140 kN bij lange na niet benaderen.

Wanneer c_M hoger wordt ingesteld dan -2250 m botst de duweenheid één of meerdere keren tegen de kolkwand. Dit betekent, dat met $c_M = -356$ m (zoals

in paragraaf 3.3 voor de duweenheid is afgeleid) geen botsing voorkomen zou kunnen worden. Eén en ander hangt sterk samen met de afstand y_{in} tussen de kolkwand en de duweenheid aan het begin van het uitwisselproces.

4.4 Afstand tussen duweenheid en kolkwand

In de tot nu toe gepresenteerde proeven is de afstand y_{in} tussen de kolkwand en de duweenheid aan het begin van het uitwisselproces steeds 0.55 m geweest. Naarmate y_{in} groter wordt, heeft de duweenheid meer ruimte om te roteren. De mogelijkheid om te botsen tegen de kolkwand wordt daarmee kleiner.

In T900 zijn simulaties van het dynamisch gedrag uitgevoerd met verschillende instellingen van y_{in} . Voor elk van deze instellingen is gezocht naar een waarde van c_M , waarbij de duweenheid net niet meer tegen de kolkwand botst (kritische waarde: c_{Mc}). Figuur 10 laat zien, dat c_{Mc} sterk afneemt naarmate y_{in} kleiner wordt. Het belangrijkste punt in de figuur wordt gevormd door het snijpunt van de kromme en de rechte lijn, die de in paragraaf 3.3 analytisch afgeleide waarde van $c_M = -356$ m representeert. Hierbij hoort een afstand $y_{in} = 0.85$ m. Opgemerkt wordt, dat deze bevinding hoort bij een uitwisseldebiet $Q = 20$ m³/s.

In figuur 10 is het verloop van c_{Mc} ook voor andere uitwisseldebieten aangegeven (10 en 30 m³/s). Bij kleinere debieten blijkt het snijpunt met $c_M = -356$ m bij een lagere y_{in} te liggen. Met andere woorden: bij kleinere debieten kan de duweenheid dichterbij de kolkwand worden afgemeerd zonder tijdens het uitwisselen tegen de wand te botsen. Bij grotere debieten is in mindere mate een omgekeerd effect waarneembaar. Overigens zijn de verschillen tussen de resultaten bij $Q = 10$ m³/s en 30 m³/s zeer gering.

5. Discussie

In het onderzoek is veel aandacht besteed aan de invloed van de verdeling van de dwarskracht op de duweenheid (resultierend in een moment) en van de afstand tussen de duweenheid en de kolkwand op het dynamisch gedrag van de duweenheid. Uit de beschikbare inzichten en informatie blijkt, dat er geen gevaar voor botsingen met de kolkwand bestaat, wanneer de afstand tussen de duweenheid en de kolkwand aan het begin van het uitwisselproces groter is dan circa 0.85 m (bij $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$).

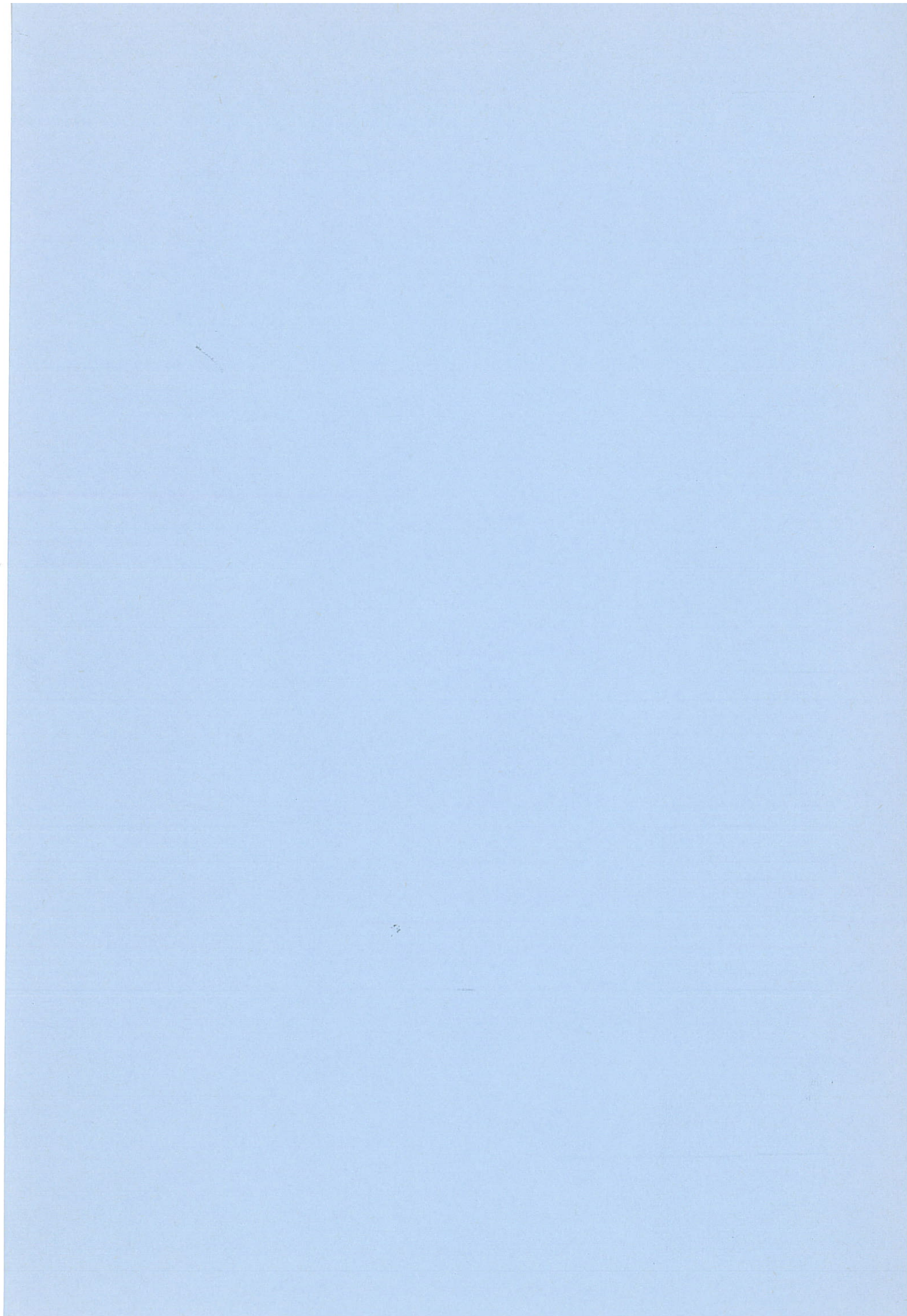
Een belangrijk punt in het geheel is het moment op de duweenheid in samenhang met de rotatie. Dit moment wordt veroorzaakt door een ongelijkmatige verdeling van de dwarskracht op de duweenheid. De fysische verschijnselen, die bij het uitwisselen optreden, zijn dermate complex, dat over de uitwerking hiervan op de belasting geen eenduidige verklaring kan worden gegeven. Daarom is in paragraaf 3.3 beredeneerd, dat de kracht als functie van de afstand tot de kolkwand tussen de doorgetrokken en stippellijn van figuur 4 ligt. In de beschouwingen is uitgegaan van de relatie volgens de doorgetrokken lijn. Als het krachtverloop overeenkomt met de stippellijn, zal het tegenwerkend moment groter zijn dan die in rekening gebracht is. Dit heeft een extra stabiliserend effect tot gevolg, zodat de rotatie geringer en de kans op botsen kleiner is geworden. De schatting van de minimaal benodigde afstand tussen duweenheid en kolkwand ($y_{in} = 0.85 \text{ m}$) kan dan ook als conservatief worden beschouwd.

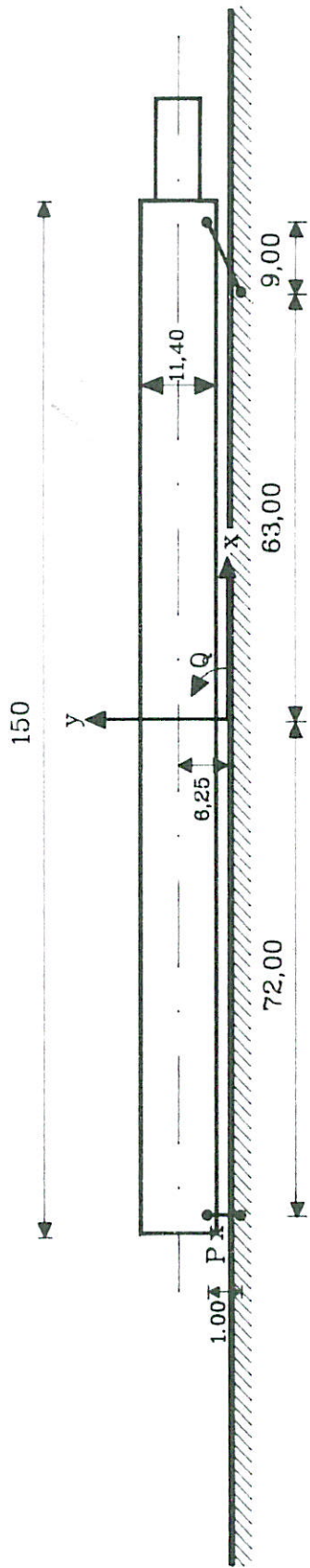
6. Conclusies en aanbevelingen

- a. De hydrodynamische coëfficiënten spelen een belangrijke rol, maar zijn in het onderzoek minder van belang gebleken dan het moment en de afstand tussen de kolkwand en de duweenheid. Een juiste schatting van de waarden van deze coëfficiënten is daarentegen belangrijk voor de bepaling van de extremen in de verplaatsing en de belasting op de trossen.
- b. Bij bewegingen van niet-symmetrisch afgemeerde duweenheden speelt de verdeling van de externe belasting (resultierend in een moment) en de afstand tussen de duweenheid en kolkwand een essentiële rol.
- c. Een duweenheid, die volgens afmeersituatie 1 (fig. 1) is afgemeerd, zal onder de belasting ten gevolge van de werking van het zout/zoet-scheidingssysteem niet tegen de kolkwand botsen. Een randvoorwaarde hierbij is, dat de afstand tussen de duweenheid en de kolkwand aan het begin van het uitwisselproces voldoende groot is. In de praktijk zal deze afstand doorgaans groter zijn dan de conservatieve schatting van de minimum waarde (0.85 m).

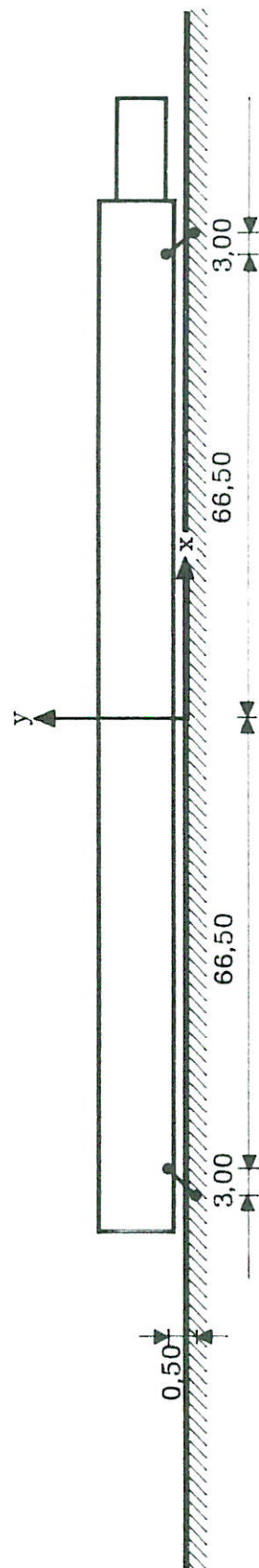
REFERENTIES

1. Waterloopkundig Laboratorium
Duwvaartsluizen Philipsdam, Krachten in trossen en verplaatsingen van schepen ten gevolge van dwarskrachten bij het begin van het neerwaarts uitwisselen.
Notitie R1921, december 1983.
2. Waterloopkundig Laboratorium
Documentatie van het Programma Schip Aan Tros.
Q255.02, juli 1986
3. Waterloopkundig Laboratorium
Duwvaartsluizen Philipsdam, Dwarskrachten op schepen tijdens het neerwaarts uitwisselen, Verslag modelonderzoek.
M1908, juni 1983





A. AFMEERSITUATIE 1 (= (1) IN FIG. 4 R 1921)



B. AFMEERSITUATIE 2

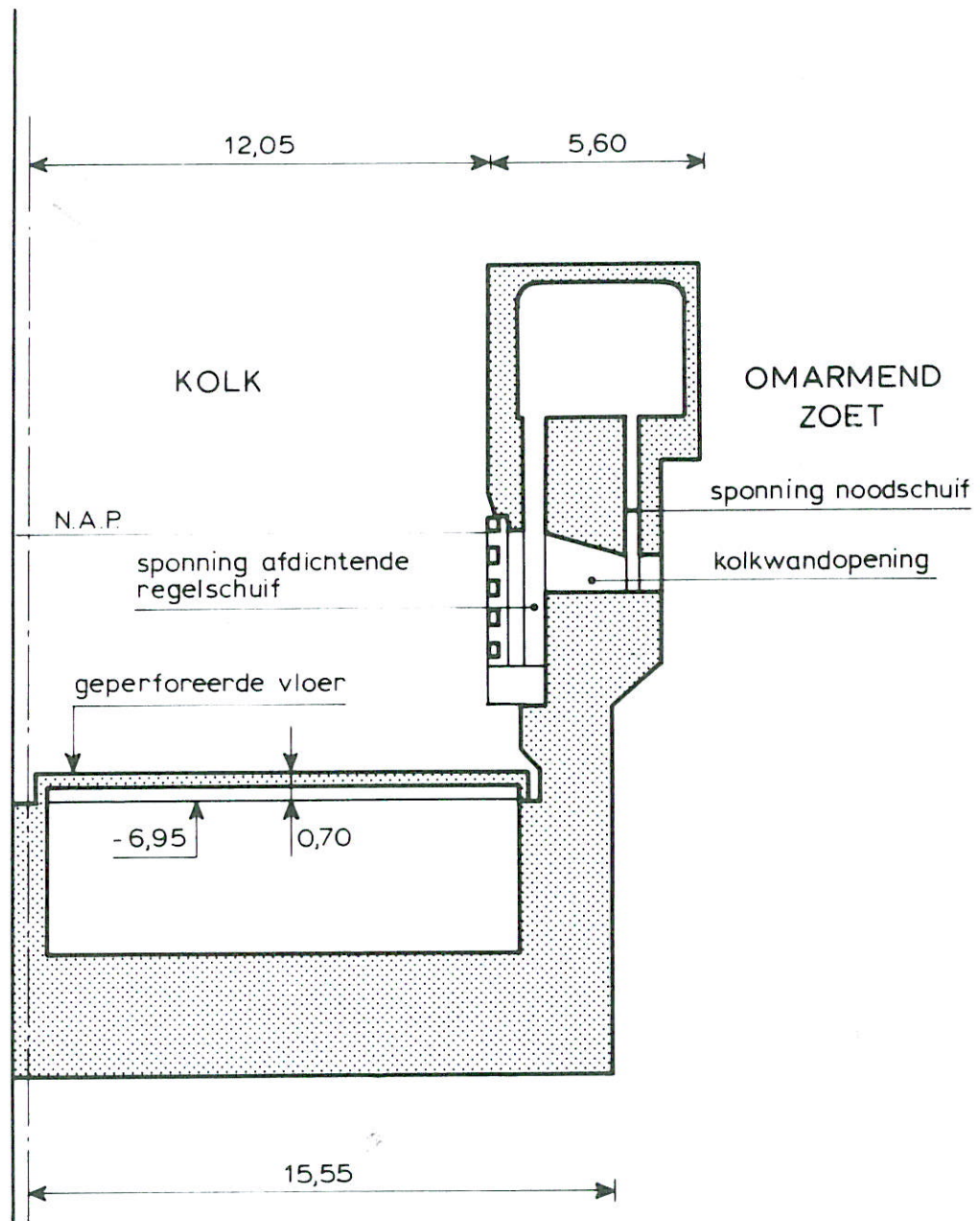
maten in m

AFMETINGEN EN AFMEERSITUATIES

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 971

FIG. 1



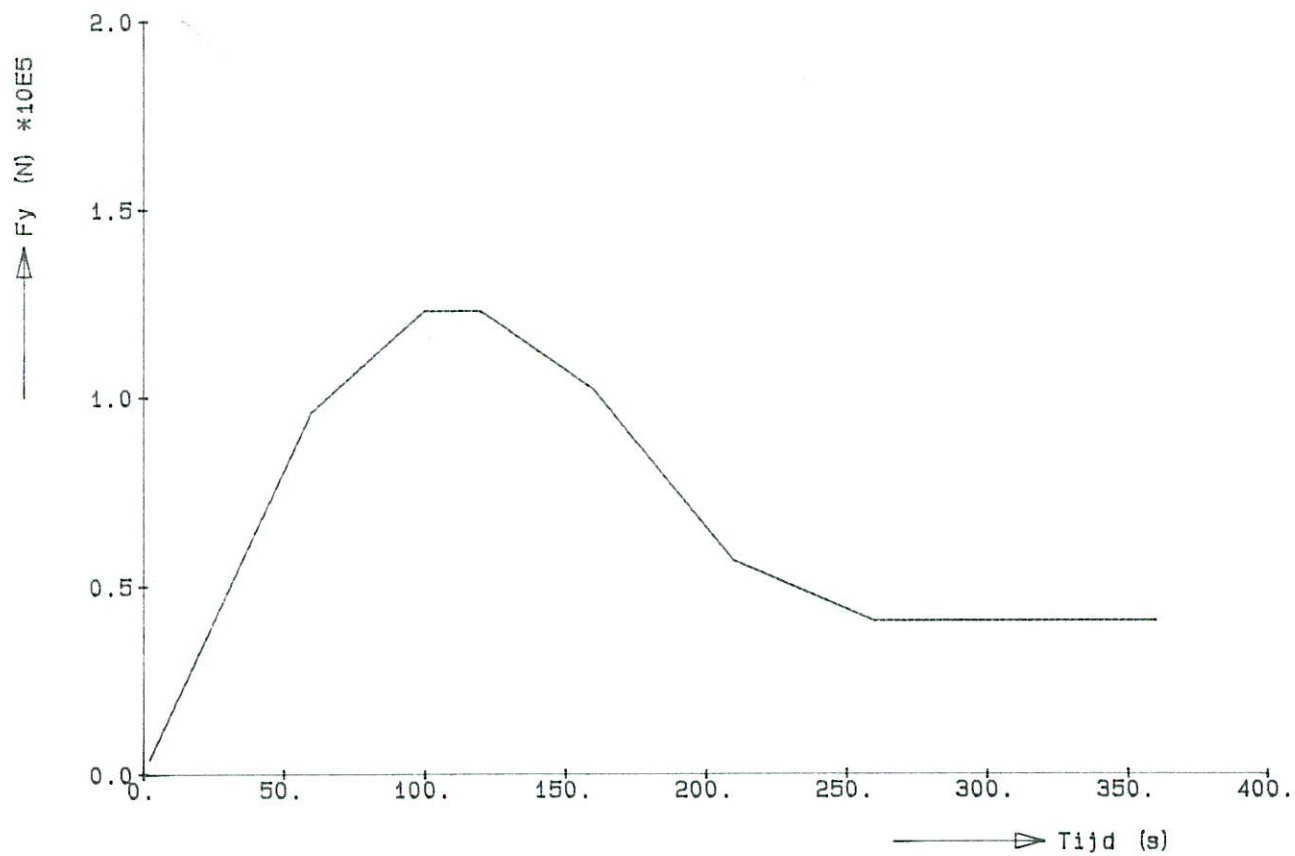
maten in m
 hoogtematen in m + N.A.P

DWARSDOORSNEDE DUWVAARTSLUIS

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 971

FIG. 2



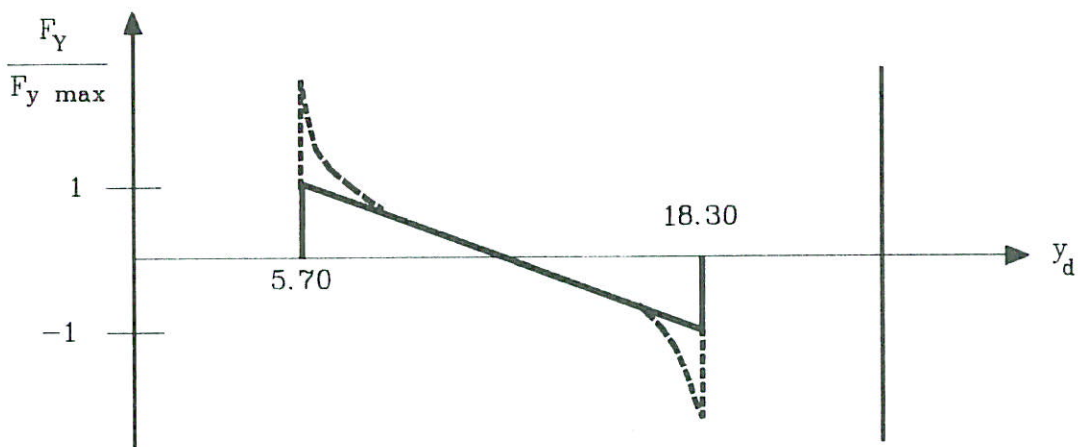
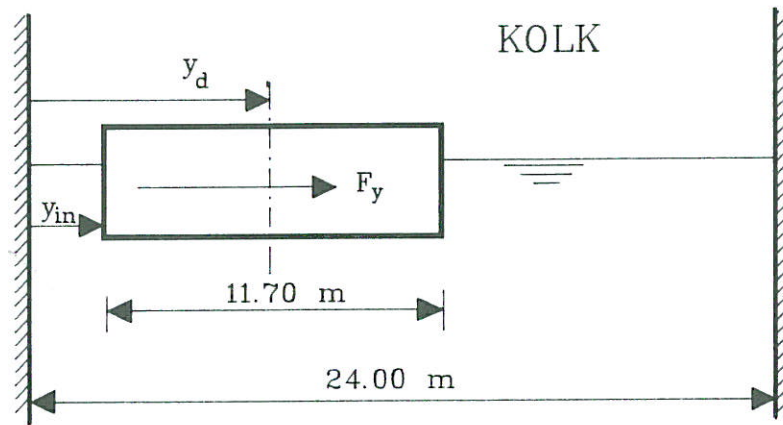
KRACHT F_y ALS FUNCTIE VAN DE TIJD

$Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

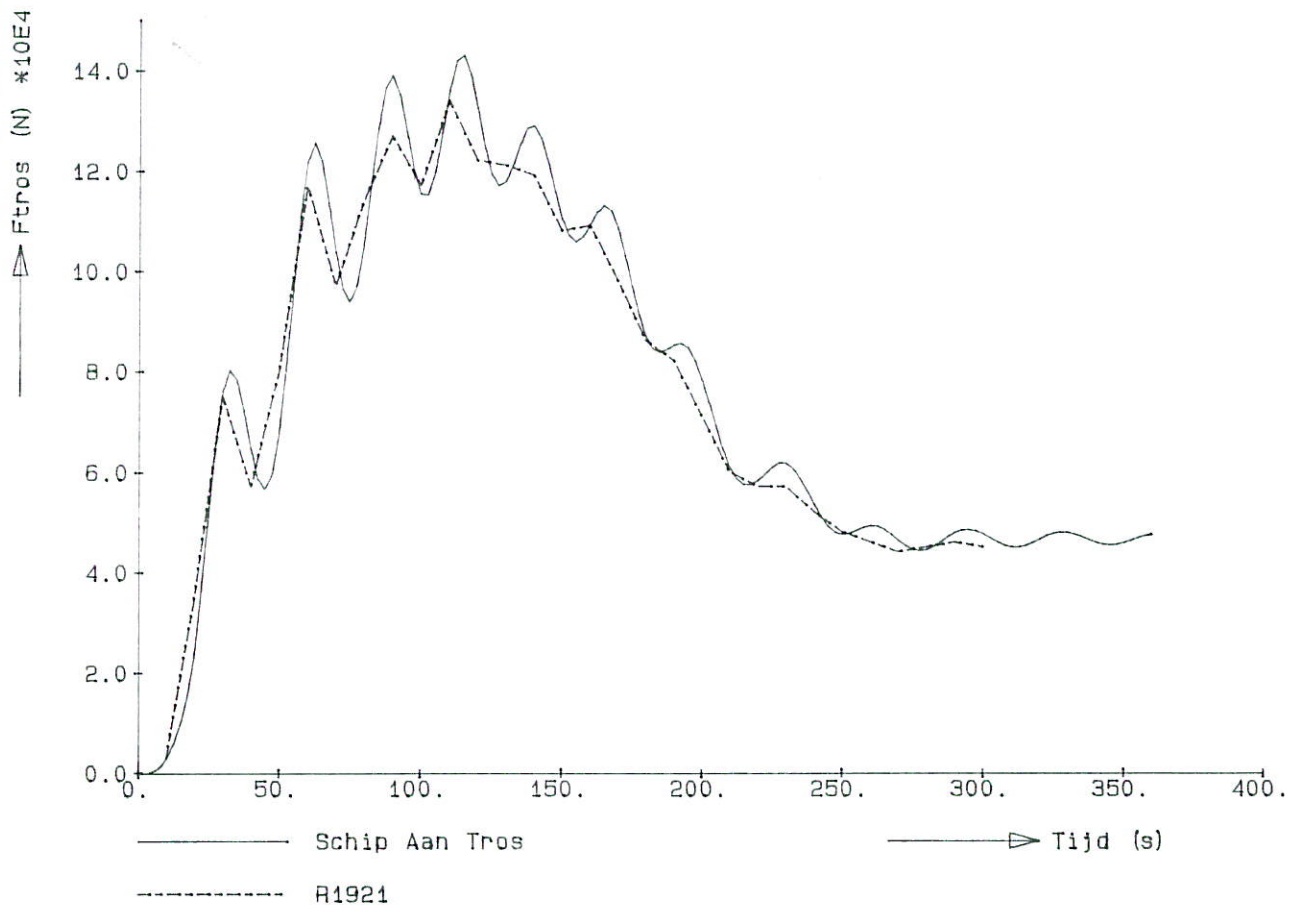
Q 971

FIG. 3



— : $\frac{F_y}{F_{y \max}} = 1.90 - 0.16 * y_d$

KRACHT ALS FUNKTIE VAN DE POSITIE
IN DE KOLK



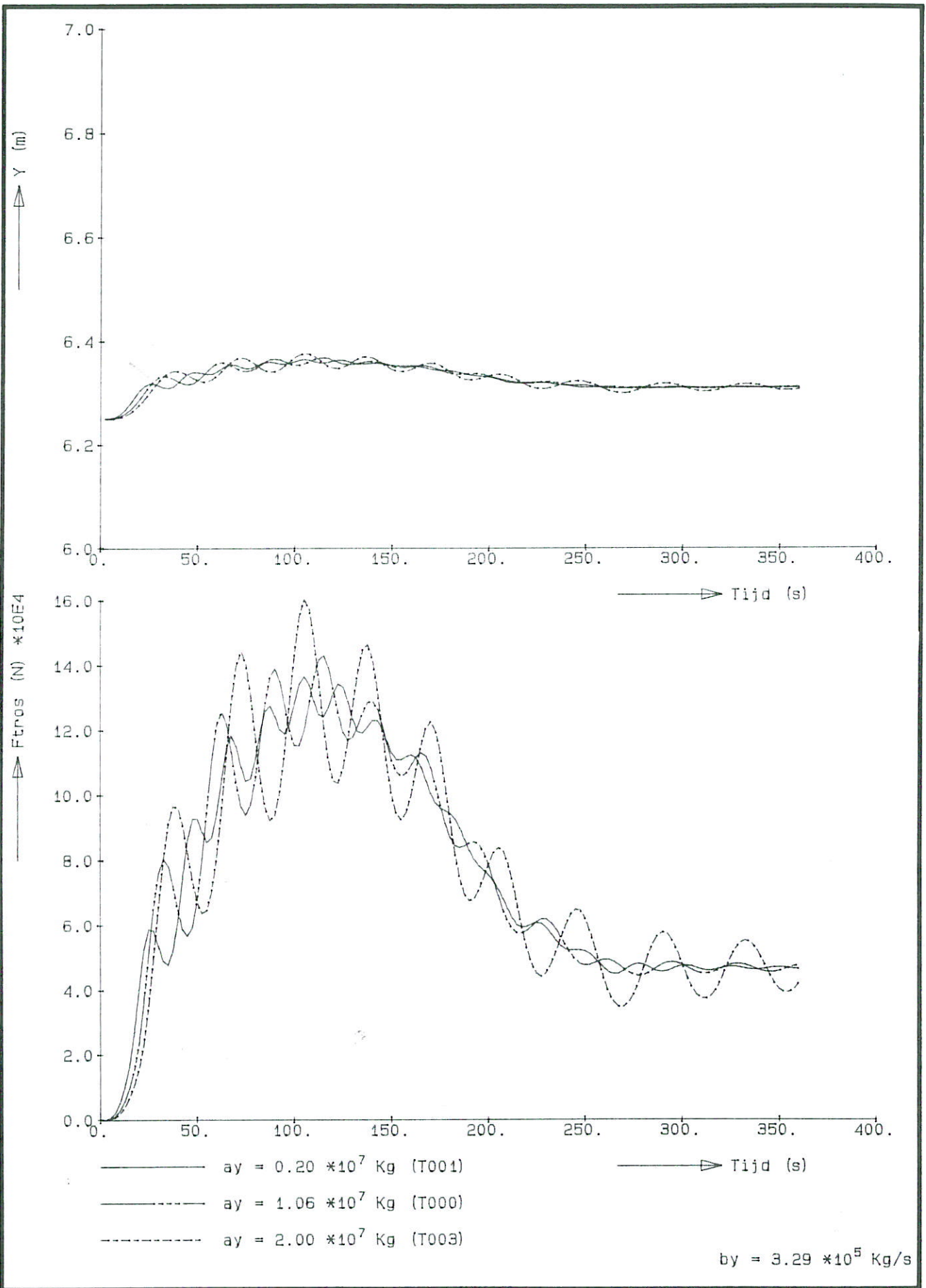
CONTROLE - BEREKENING (T $\phi\phi$)

Q = 20 m³/s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 971

FIG. 5



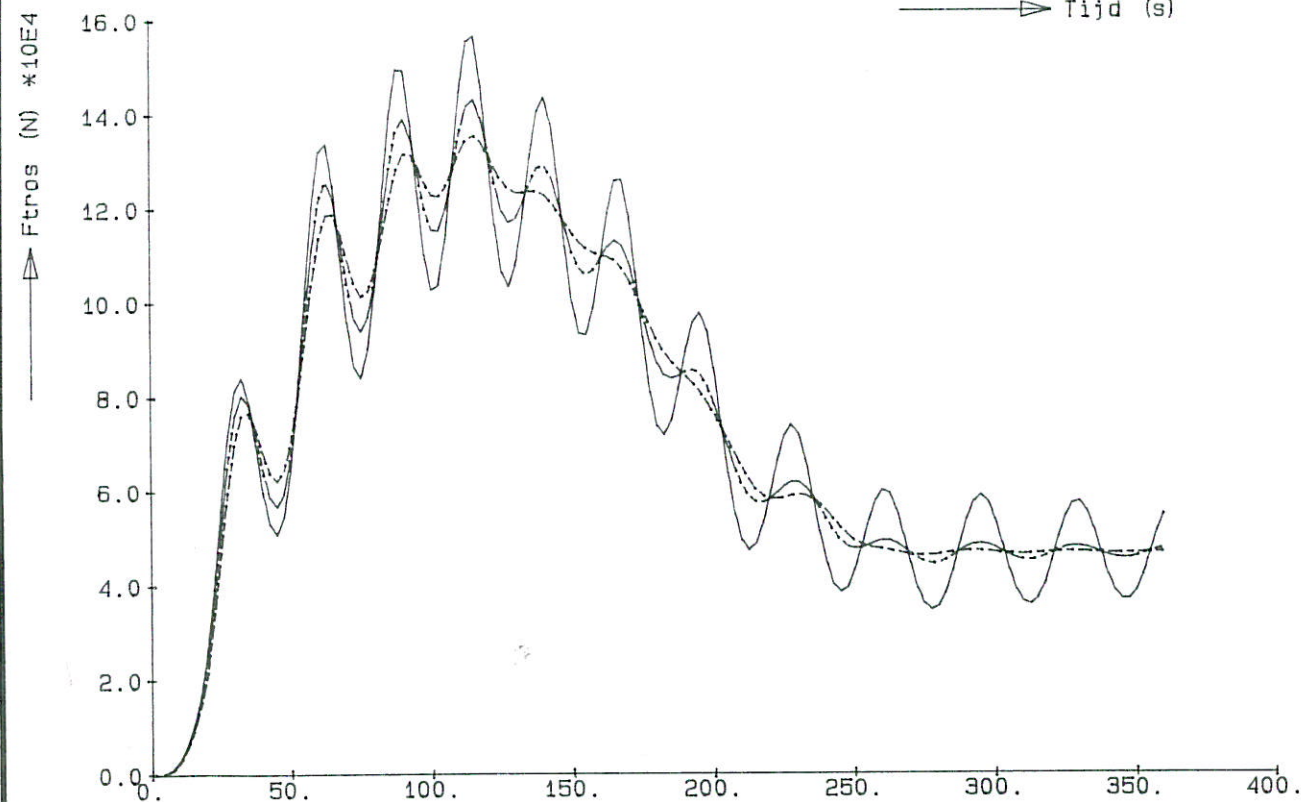
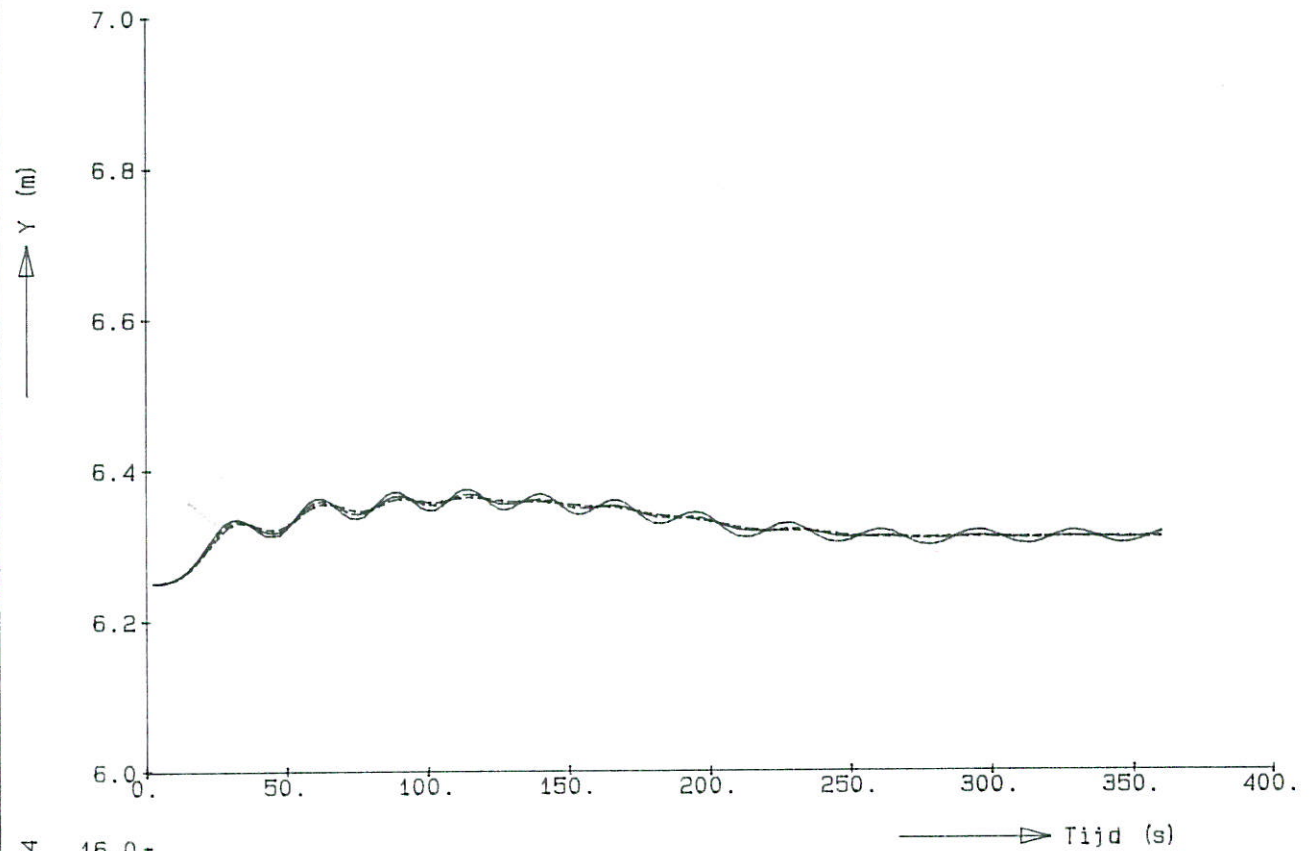
INVLOED TOEGEVOEGDE WATERMASSA

Q = 20 m³/s

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 971

FIG. 6



- $b_y = 1.00 \times 10^5 \text{ Kg/s}$ (T005)
- - - $b_y = 3.29 \times 10^5 \text{ Kg/s}$ (T000)
- · · $b_y = 6.00 \times 10^5 \text{ Kg/s}$ (T006)

$a_y = 1.06 \times 10^7 \text{ Kg}$

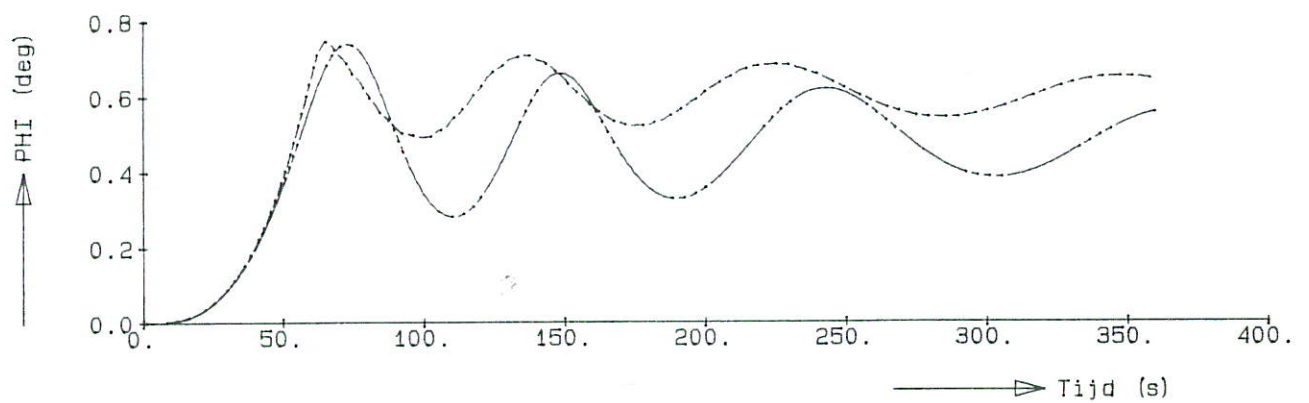
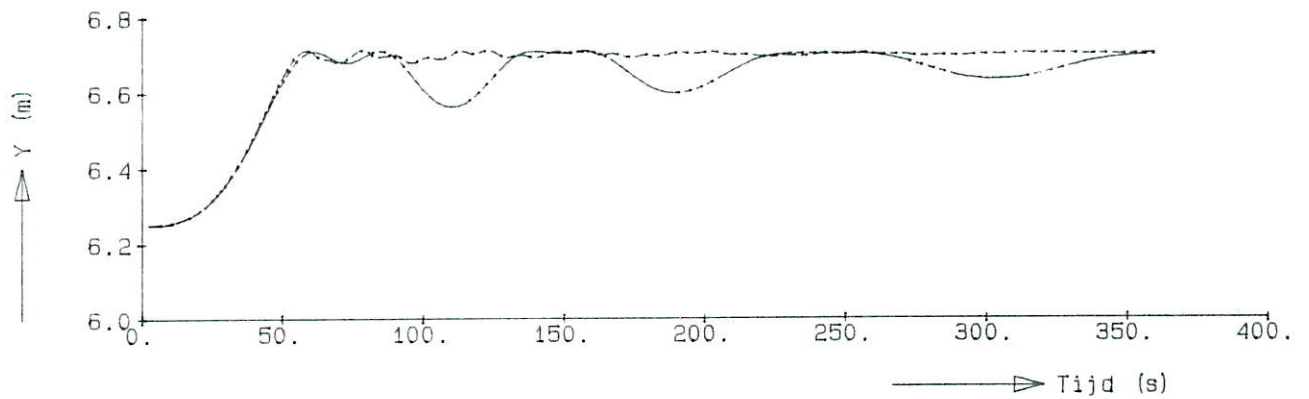
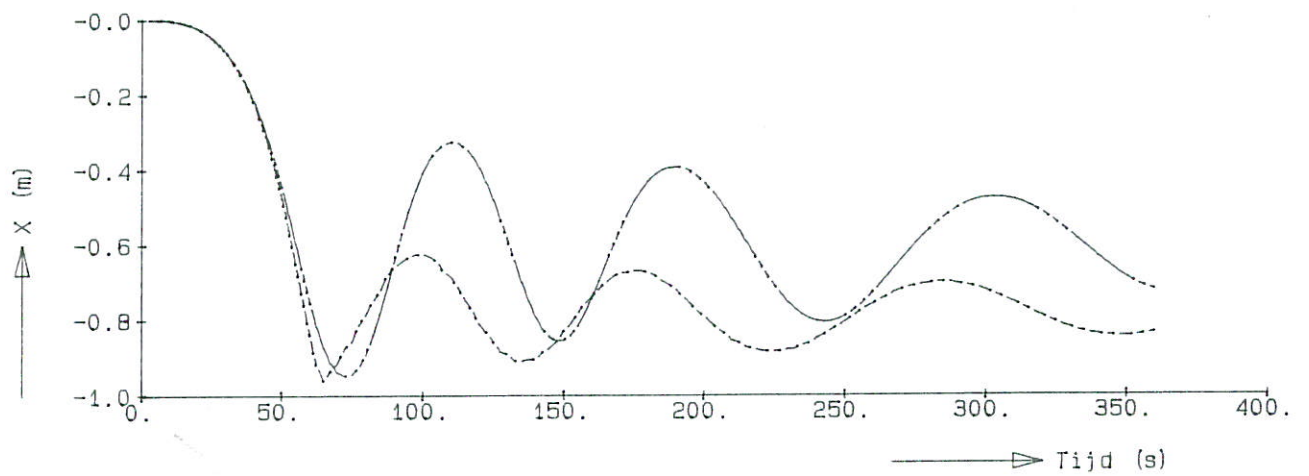
INVLOED TOEGEVOEGDE DEMPING

$Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 971

FIG. 7



———— Inclusief moment (T301)
 - - - - - Exclusief moment (T201)

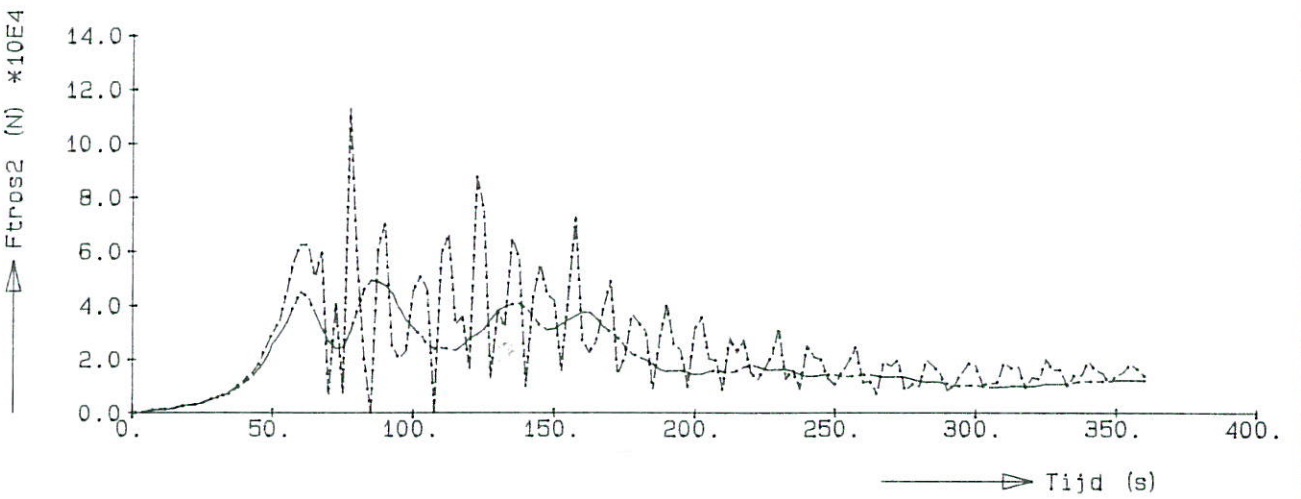
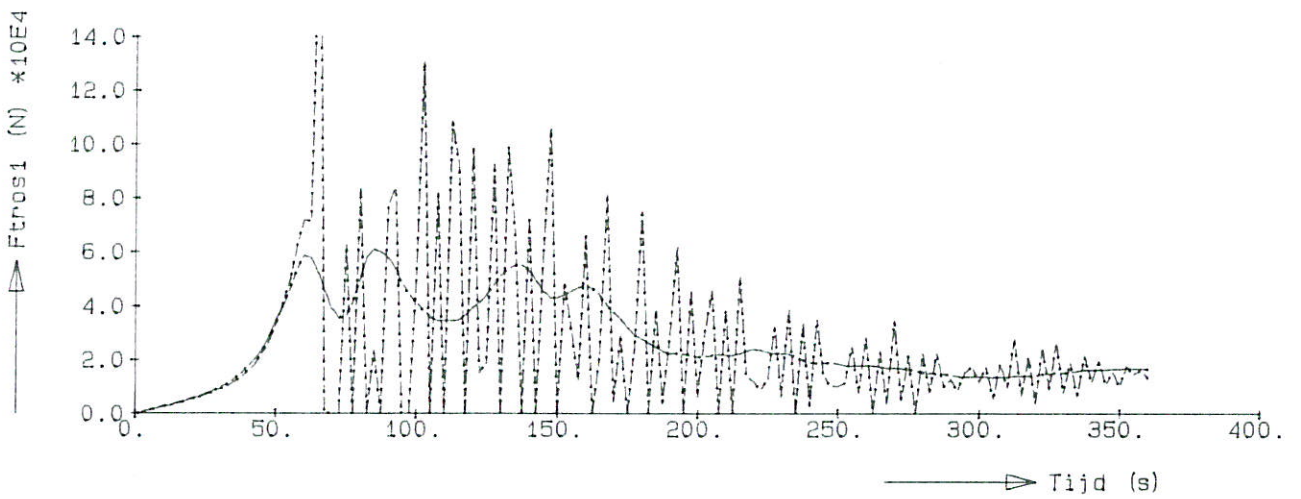
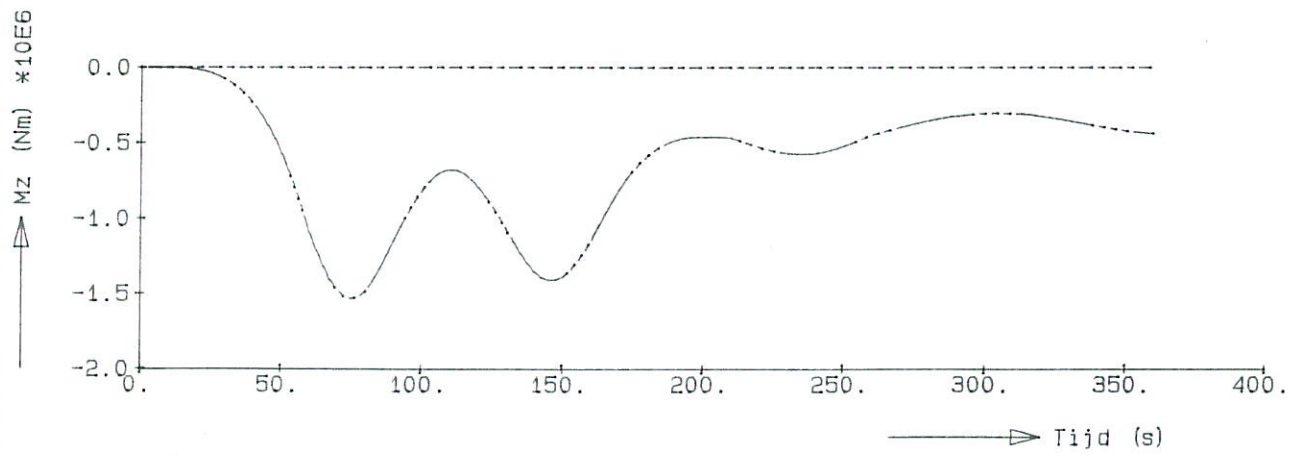
INVLOED WIJZIGING BELASTINGVERDELING OP
 TRANSLATIE EN ROTATIE VAN DE DUWENHEID

$Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 971

FIG. 8



——— Inklusief moment (T301)
 - - - Exklusief moment (T201)

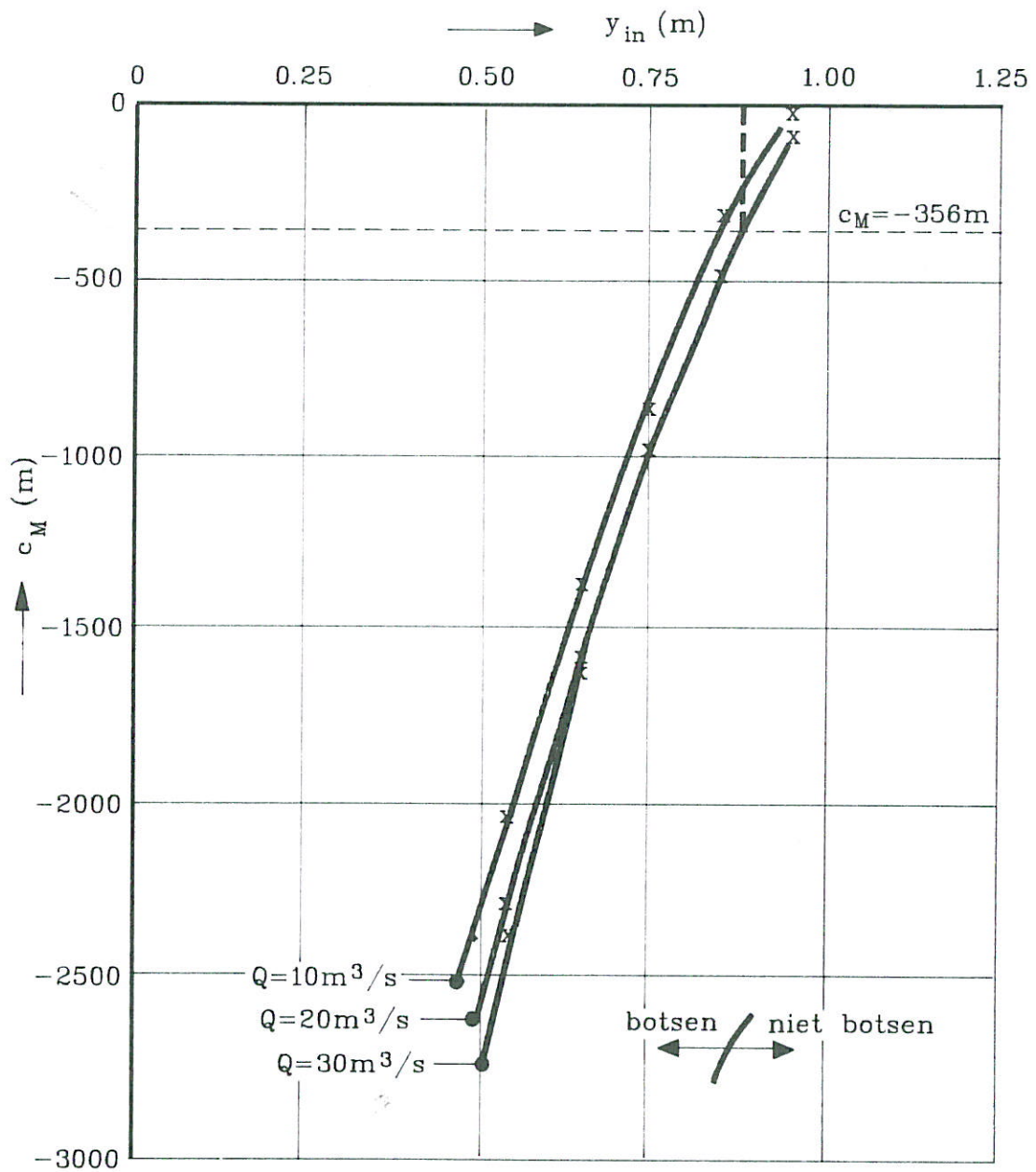
INVLOED WIJZIGING BELASTINGVERDELING OP
TROSKRACHTEN EN MOMENT OP DUWEENHEID

$Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 971

FIG. 9



KRITISCHE WAARDE VAN c_M ALS FUNCTIE VAN POSITIE IN KOLK



waterloopkundig laboratorium | wl

hoofdkantoor
Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon (015) 56 93 53
telefax (015) 61 96 74
telex 38176 hydnl

locatie 'De Voorst'
Voorsterweg 28, Marknesse
postbus 152
8300 AD Emmeloord
telefoon (05274) 29 22
telefax (05274) 35 73
telex 42290 hylvo-nl

