

REPRODUCTIE ZOUTTOESTAND

GETIJRIVIEREN

I - B

VOORONDERZOEK

GETIJBEREKENINGEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM  
DELFT

M 896-IB

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Reproductie zouttoestand getijrivieren

deel I

Vooronderzoek

B: Getijberekeningen

M896-I-B

december 1973

NOTATIES

REFERENTIES

LIJST VAN TABELLEN

LIJST VAN FIGUREN

<u>1 Inleiding</u>	1
<u>2 Opzet homogene getijberekening</u>	2
2.1 Afleiding van de basisvergelijkingen	2
2.2 Afleiding differentievergelijkingen ten behoeve van getijberekening via de computer	4
2.3 Rekenuitvoer	9
2.4 Rekenprogramma (2e computerberekening)	15
2.5 Voorbeeld rekenuitvoer	18
<u>3 Homogene getijberekening met meenemen van de zouterm</u> <u><math>-\frac{\partial}{\partial x} (\bar{s}/s_0)</math> en de versnellingsterm <math>u \frac{\partial u}{\partial x}</math></u>	21
3.1 Afleiding van de basisvergelijkingen (1-dimensionaal)	21
3.2 Afleiding differentievergelijkingen ten behoeve van getijberekening via de computer	22
3.3 Benadering voor de term $\bar{s}/s_0 (x)$	24
3.4 Rekenprogramma (5e computerberekening)	25
3.5 Voorbeeld rekenuitvoer	32
3.6 Invloed van de termen $\frac{\partial}{\partial x} (\bar{s}/s_0)$ en $u \frac{\partial u}{\partial x}$ op de getij- beweging	35
<u>4 Invloed van de gootlengte (mathematische) op de getij-     beweging (7e computerberekening)</u>	36
<u>5 Opzet niet-homogene getijberekening</u>	37
5.1 Afleiding van de basis vergelijkingen (1-dimensionaal)	37
5.2 Afleiding differentievergelijkingen ten behoeve van getijberekening via de computer	39

INHOUD (vervolg)

blz.

5.3 Rekenprogramma (8e computerberekening)

44

5.4 Voorbeeld rekenuitvoer

48

APPENDIX I

58

Algemene gegevens van de WES-goot (Waterways Experiment Station-Vicksburg, U.S.A.) en de W.W.-"goot" (de tot goot geschematiseerde Rotterdamse Waterweg).

TABELLEN

FIGUREN

## NOTATIES

b	breedte
d, d'	middenstand, referentieniveau, $d' = d + w$
g	zwaartekrachtsversnelling
h	waterdiepte; waterstand gemeten t.o.v. de middenstand d
$h_0$	getij-amplitude van een sinusvormig getij
$h_1$	= $h_1(t)$ randinstelling vertikaal getij zeerand
s	saliniteit
$s_0$	referentiewaarde van de saliniteit
$\bar{s}$	gemiddelde saliniteit over de dwarsdoorsnede (1-dimensionaal)
t	tijd
u	snelheidscomponent in x-richting
$u_0$	maximale vloedsnelheid in de mond
w	middenstandsverhoging
x	horizontale coördinaat (lengterichting)
y	vertikale coördinaat
$\Delta x$	stapgrootte in x-richting
$\Delta t$	tijdstap
A	natte doorsnede ( $A = b \cdot h$ )
C	Chézy-coëfficiënt
$D_{xt}$	diffusie (dispersie) coëfficiënt (par. 5)
$E_1, E_2$	hulpgrootheden (par. 3.3)
$F_1, F_2$	hulpgrootheden (par. 3.3)
$F_0$	Froude getal: $F_0 = \frac{u_0}{\sqrt{gh}}$
H	waterstand gemeten t.o.v. de middenstand, referentieniveau
I	verhang energielijn
K	kracht
L	lengte goot (mathematische lengte = $L_{\text{math}}$ ) (zie de betreffende par.)
O	natte omtrek
$P_t$	vloedvolume
Q	debiet
$\bar{Q}_L, Q_F$	(constante) bovenafvoer
R	hydraulische straal

NOTATIES (vervolg)

T	getijperiode
$T_x$	diffusief zouttransport in x-richting
U	zoetwatersnelheid t.g.v. bovenafvoer $Q_f$ ( $\bar{Q}_L$ )
$\alpha$	aantal getijperioden voor inspelen
$\beta_1, \beta_2$	hulpgrootheden (par. 3.3)
$\rho$	dichtheid
$\bar{\rho}$	dichtheid gemiddeld over de dwarsdoorsnede (1-dimensionaal)
$\tau_b$	bodemwrijving
$\omega$	hoeksnelheid

REFERENTIES

1. Stigter, C. and Siemons, J., "Calculation of longitudinal salt-distribution in estuaries as function of time", Delft Hydraulics Laboratory, publication no. 52. October 1967.
2. Ippen, A.T. and Harleman, D.R.F., "One-dimensional analysis of salinity intrusion in estuaries", Technical Bulletin no. 5, June 1961, Vicksburg, Miss.
3. Harleman, D.R.F. and Abraham, G. "One-dimensional analysis of salinity intrusion in the Rotterdam Waterway", Delft Hydraulics Laboratory, publication no. 44, October 1966.
4. Handboek der Wiskunde, deel 1, blz. 639.

LIJST VAN TABELLEN

blz.

I	Overzicht uitgevoerde getijberekeningen met de 2e computerberekening	59
II	Overzicht uitgevoerde getijberekeningen met de 4e computerberekening (als 2e computerberekening) reproductie WES-goot.	60
III	Overzicht uitgevoerde getijberekeningen met de 5e computerberekening.	61
IV	Overzicht uitgevoerde getijberekeningen met de 7e computerberekening.	64
V	Overzicht uitgevoerde getijberekeningen met de 8e computerberekening.	65
VI	Gegevens getij AA (getijbeweging en zoutverdeling zeerand).	67
VII	Gegevens getij BB (getijbeweging en zoutverdeling zeerand).	68
VIII	Gegevens getij CC (getijbeweging en zoutverdeling zeerand).	69
IX	Gegevens getij AB (getijbeweging en zoutverdeling zeerand).	70
X	Gegevens getij LLL (getijbeweging en zoutverdeling zeerand).	71
XI	Gegevens getij LL en ZZ (getijbeweging zeerand).	72
XII	De bij de 7e computerberekening gebruikte zeerandinstellingen (vertikaal getij).	73
XIII	Gegevens dispersiecoëfficiënt $D_{xt}$ en $\frac{d}{dx}(D_{xt})$ , gebruikt bij de 8e computerberekening.	74
XIV	Bepaling estuariumgetal voor de getijberekeningen, uitgevoerd met de 7e computerberekening.	81

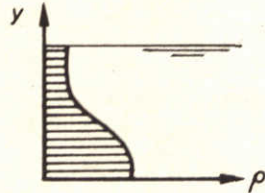


## LIJST VAN FIGUREN

1. Benadering karakteristieke grootheden betreffende zoutverdeling t.b.v. 5e computerberekening.
2. Invloed versnellingsterm  $u \frac{\partial u}{\partial x}$  op de getijbeweging (WES-goot).
3. Invloed van de definitie van R op de getijbeweging bij de WES-goot.
4. Invloed zoutterm  $\partial(\bar{s}/s_o)/\partial x$  op de getijbeweging (WES-goot).
5. Invloed lengte van de goot ( $L/L_R$ ) op de getijbeweging in de mond ( $P_t \cdot F_o^2 / Q_p \cdot T$ ) voor de WES-goot.
6. Invloed lengte van de goot ( $L/L_R$ ) op de getijbeweging in de mond ( $P_t \cdot F_o^2 / Q_p \cdot T$ ) voor de W.W.-"goot".
7. Gegevens gebruikte randinstellingen zeerand: vertikaal getij AA, AB, BB, CC, DD, EE.
8. Gegevens gebruikte randinstellingen zeerand: vertikaal getij FF, GG, ZZ, HH, II, JJ.
9. Gegevens gebruikte randinstellingen zeerand: vertikaal getij KK, LL, LLL.

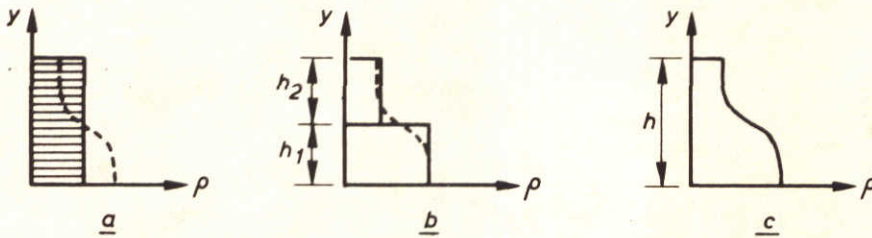
## 1 Inleiding

Voor het maken van een zo goed mogelijk ontwerp van een getijgoot is een goed begrip van de getijbeweging in een estuarium, zoals de Nieuwe Waterweg een eerste vereiste. Dit kan onder meer door getijberekeningen worden verkregen. In het algemeen is bijv. het verloop van de dichtheid in verticale zin zoals aangegeven in onderstaande schets:



Dit verloop kan nu op verschillen manieren geschematiseerd worden:

- Het gemiddelde over de hoogte wordt genomen (zie geval a).
- Twee lagen met verschillende dichtheid worden onderscheiden (zie geval b).
- De dichtheid wordt als functie van de diepte gegeven (zie geval c).



Deze drie manieren van aanpak kunnen als volgt worden samengevat:

- één-dimensionaal, waarbij dichtheid, snelheid en waterdiepte alleen functies zijn van plaats ( $x$ ) en tijd ( $t$ ).
- twee-lagen systeem (geval b), waarbij de zoutverdeling wordt geschematiseerd in een onder- en een bovenlaag met uniforme dichtheden.
- twee-dimensionaal, waarbij waterdiepte een functie is van plaats ( $x$ ) en tijd ( $t$ ), en de snelheid en de dichtheid functies zijn van plaats ( $x$ ), diepte ( $y$ ) en tijd ( $t$ ).

Aangezien b en c in dit geval nog te gecompliceerd zijn, worden in eerste instantie slechts één-dimensionale beschouwingen gegeven.

Bij het vooronderzoek is een reeks van computerprogramma's ontwikkeld. De resp. programma's zijn gearchiveerd onder een volgnummer met de aanduiding: computerberekening. In het onderhavige verslag zijn alleen de meest essentiële computerberekeningen vermeld.

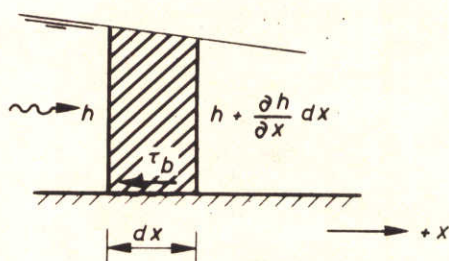
2 Opzet homogene getijberekening

2.1 Afleiding van de basisvergelijkingen

De homogene getijberekening is gebaseerd op twee vergelijkingen, te weten

- a. bewegingsvergelijking
- b. continuïteitsvergelijking.

Voor de bewegingsvergelijking wordt een mootje water  $dx$  met vrij oppervlak beschouwd. Uitgegaan wordt van de vergelijking



$$K = ma \quad (2.1)$$

waarbij alles per  $m'$  breedte wordt beschouwd

$$a = \frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.2)$$

Neem de snelheid gemiddeld over de hoogte en schrijf

$$a = \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \quad (2.3)$$

De krachten die op het mootje werken zijn

$$\text{wrijvingskracht} \quad : \tau_b \cdot 0 \cdot dx / b \quad (2.4)$$

$$\text{hydrostatische drukkracht: } - \frac{\partial h}{\partial x} \cdot dx \cdot \rho \cdot g \cdot h. \quad (2.5)$$

Schrijf nu voor  $m = \rho \cdot dx \cdot h$ . dan wordt vgl. (2.1)

$$\rho \cdot dx \cdot h \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + h \rho g \frac{\partial h}{\partial x} dx - \frac{\tau_b \cdot 0 \cdot dx}{b} = 0 \quad (2.6)$$

hierin is  $0 =$  de natte omtrek  $= b + 2h$ .

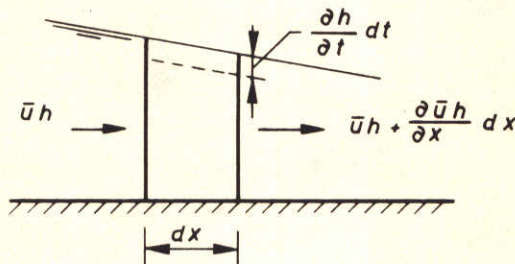
$$\text{Als nu voor } \tau_b \text{ wordt geschreven: } -\tau_b = \rho g R I = \rho g \cdot \frac{\bar{u} |\bar{u}|}{C^2} \quad (2.7)$$

waarin  $C$ : coëfficiënt van Chézy

dan wordt (2.6):

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{|\bar{u}|}{C^2 R} = 0 \quad (2.8)$$

Voor de continuïteitsvergelijking wordt eveneens een mootje water  $dx$  beschouwd. Wegens de continuïteitsvoorwaarde moet het verschil tussen de in- en uitgaande debieten overeenstemmen met de waterstandsverandering van het mootje.



In tijdje  $dt$ :

$$\frac{\partial \bar{u}h}{\partial x} dx \cdot dt + \frac{\partial h}{\partial t} dt \cdot dx = 0 \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial \bar{u}h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (2.10)$$

Veelal worden de bewegingsvergelijking (2.8) en de continuïteitsvergelijking (2.10) met het debiet  $Q$  als variabele geschreven. Hierbij zij opgemerkt dat  $Q$  betrekking heeft op de gehele doorsnede, zodat:

$$\bar{u} = \frac{Q}{bh} \quad (2.11)$$

(2.8) en (2.10) worden dan resp.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2Q}{h} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + \left( g \cdot A - \frac{Q^2 b}{A^2} \right) \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (2.12)$$

en

$$b \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial u} = 0 \quad (2.13)$$

waarin  $A = b \cdot h$  terwijl de breedte  $b$  constant gesteld wordt

2.2 Afleiding differentievergelijkingen ten behoeve van getijberekening via de computer.

Vergelijking (2.8) kan worden geschreven als:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + g \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\bar{u}^2}{2g} + h \right) + g \frac{\bar{u}|\bar{u}|}{C^2 R} = 0 \quad (2.14)$$

Stel  $\frac{\bar{u}^2}{2g} \ll h$  (dat wil zeggen: de versnellingsterm wordt verwaarloosd)

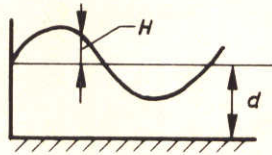
dan volgt hieruit:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{\bar{u}|\bar{u}|}{C^2 R} = 0 \quad (2.15)$$

Wordt nu verder  $\bar{u}$  in Q uitgedrukt en is  $b \gg h$  zodat  $R = h$ , dan wordt (2.15)

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{gA} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{Q}{gbh^2} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{Q|Q|}{C^2 A^2 h} = 0 \quad (2.16)$$

Stel nu  $h = H + d$  ( $d =$  referentieniveau)



dan volgt hieruit

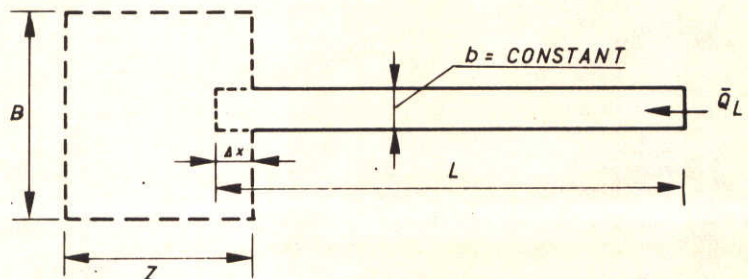
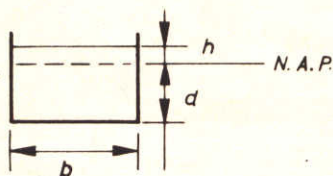
$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{gb(d+H)} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{Q}{gb(d+H)^2} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{Q|Q|}{C^2 b^2 (H+d)^3} \quad (2.17)$$

en voor (2.13)

$$b \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2.18)$$

In het vervolg wordt voor H weer h geschreven.

Het schema dat bij de berekening geldt, ziet er als volgt uit



De continuïteitsvergelijking krijgt de gedaante:

$$\frac{h_{2m-1}^{2n} - h_{2m-1}^{2n-2}}{2\Delta t} + \frac{1}{b} \frac{Q_{2m}^{2n-1} - Q_{2m-2}^{2n-1}}{2\Delta x} = 0 \quad (2.19)$$

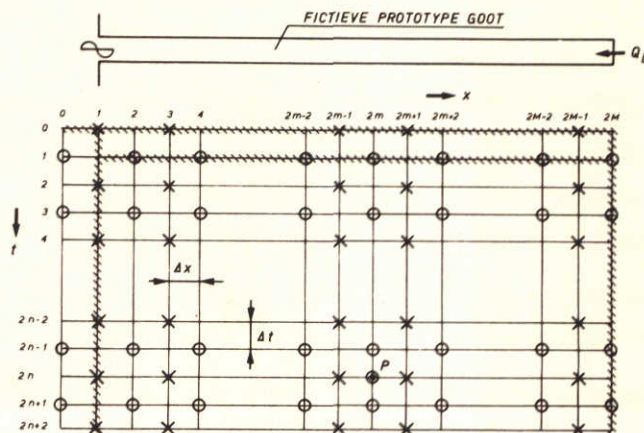
De bew. vergelijking krijgt de gedaante (beschouwpunt P in onderstaand rooster)

$$\frac{h_{2m+1}^{2n} - h_{2m-1}^{2n}}{2\Delta x} - \frac{\frac{1}{2}(Q_{2m}^{2n+1} + Q_{2m}^{2n-1})}{gba^2} \cdot \frac{h_{2m+1}^{2n} - h_{2m+1}^{2n-2} + h_{2m-1}^{2n} - h_{2m-1}^{2n-2}}{4\Delta t} + \frac{1}{gba} \frac{Q_{2m}^{2n+1} - Q_{2m}^{2n-1}}{2\Delta t} + \frac{Q_{2m}^{2n+1} | Q_{2m}^{2n-1}}{c^2 b^2 (a)^3} = 0 \quad (2.20)$$

waarin  $a = \frac{2d + h_{2m+1}^{2n} + h_{2m-1}^{2n}}{2} \quad (2.21)$

Op het tijdsniveau  $2n \cdot \Delta t$  worden de onbekende waterstanden  $h$  aan de hand van de continuïteitsvergelijking expliciet berekend uit de bekende waterstanden op het tijdsniveau  $(2n-2)\Delta t$  en de debieten op het tijdsniveau  $(2n-1)\Delta t$ . Vervolgens worden op het tijdsniveau  $(2n+1)\Delta t$  de onbekende debieten  $Q$  met behulp van de bewegingsvergelijking expliciet berekend uit de bekende waterstanden op de tijdsniveau's  $(2n-2)\Delta t$  en  $2n \cdot \Delta t$  en de debieten op het tijdsniveau  $(2n-1) \cdot \Delta t$ .

De berekeningsprocedure wordt nu aan de hand van onderstaand rooster nog nader toegelicht.



In de punten aangeduid met een kruisje x wordt de hoogte h berekend, in de punten aangeduid met een rondje o wordt het debiet berekend.

De randvoorwaarden luiden nu als volgt:

1°.  $t=0$ -rand :  $h_{2m-1}^{2n} = 0$

2°.  $t=1.\Delta t$ -rand :  $Q_{2m}^{2n+1} = 0$

3°. aan de rand  $x=0$  wordt een getij opgedrukt  $h = h_0 \sin \omega t$  ( $t=2n.\Delta t$ )

dit betekent dus voor de rand:  $2=\Delta x.1. (m=1)$

$$h_{2m-1}^{2n} = h_0 \sin \frac{2\pi.\Delta t}{T} 2n$$

4°. aan de rand  $x=L$  wordt een constant debiet geleverd  $\bar{Q}_L$  (dit debiet is negatief, daar het stroomt in de  $-x$  richting)

dit betekent  $Q_{2m}^{2n+1} = \bar{Q}_L$  voor  $m = M$

dus in  $x = 2M.\Delta x = L$ .

In het rooster zijn de gegeven randvoorwaarden in plaats en tijd gearceerd. Uitgaande van de randvoorwaarden zullen de eerste stappen van de homogene getijberekening worden weergegeven, waarna de algemene formule volgt.

- Berekening van de waterstand in het punt  $2\Delta t$  en  $3\Delta x$  :  $h_3^2$

Voor  $x = \Delta x$  ( $m=1$  in de algemene aanduiding  $2m-1$ ) geldt:  $h_1^2 = h_0 \sin(\frac{2\pi}{T} \cdot 2\Delta t)$ ,

of in algemene vorm: 
$$h_{2m-1}^{2n} = h_0 \sin(\frac{2\pi}{T} \cdot 2n.\Delta t) \quad (2.22)$$

voor  $m = 1$ .

Voor de andere  $x$ -niveau's berekent men de waterstand  $h$  met behulp van de continuïteitsvergelijking.

Beschouw het punt  $(3\Delta x; \Delta t)$  in het rooster:

$$\frac{h_3^2 - h_3^0}{2\Delta t} + \frac{1}{b} \frac{Q_4^1 - Q_2^1}{2\Delta x} = 0$$

$$h_3^2 = +\frac{\Delta t}{b\Delta x} (Q_2^1 - Q_4^1) + h_3^0$$

algemeen: 
$$h_{2m-1}^{2n} = \frac{\Delta t}{b\Delta x} (Q_{2m-2}^{2n-1} - Q_{2m}^{2n-1}) + h_{2m-1}^{2n-2} \quad (2.23)$$

voor  $m = 1, \dots, M$

- Berekening van het debiet in het punt  $3\Delta t$  en  $2m.\Delta x$

Hiertoe worden eerst de volgende deelgrootheden berekend:

$$a = \frac{2d + h_{2m+1}^{2n} + h_{2m-1}^{2n}}{2} \quad (2.24)$$

Deze grootheid kan berekend worden daar in het voorafgaande alle h's voor het tijdstip  $2n$  berekend zijn.

Tevens wordt berekend de grootheid

$$H = \frac{h_{2m+1}^{2n} + h_{2m+1}^{2n-2} + h_{2m-1}^{2n} + h_{2m-1}^{2n-2}}{4} \quad (2.25)$$

Ook deze term kan met behulp van de voorafgaande berekeningen worden bepaald. Immers  $h$  is bekend voor  $t = 2n.\Delta t$  of voor tijdstippen  $t = 2n.\Delta t$  minus een veelvoud van  $2\Delta t$ . De grootheid  $H$  levert tevens de hoogte in de punten, waarvoor de debieten worden berekend.

Voor de  $Q$ -berekening gaat men uit van de bew.vgl.

$$\frac{\partial h}{\partial x} - \frac{Q}{gb(d+h)^2} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{gb(d+h)} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{Q|Q|}{c_b^2 b^2 (d+h)^3} = 0$$

We beschouwen het punt  $(2m.\Delta x; 2\Delta t)$

Schrijf voor  $\frac{\partial h}{\partial t}$  :

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} &= \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right)_{2m+1} + \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right)_{2m-1} \right\} = \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{h_{2m+1}^2 - h_{2m+1}^0}{2\Delta t} + \frac{h_{2m-1}^2 - h_{2m-1}^0}{2\Delta t} \right\} = \end{aligned}$$



$$= \frac{h_{2m+1}^2 - h_{2m+1}^0 + h_{2m-1}^2 - h_{2m-1}^0}{4\Delta t}$$

Schrijf voor  $Q|Q|$ :  $Q_{2m}^3|Q_{2m}^1|$  als benadering en voor  $d+h$ :  $d+\frac{1}{2}(h_{2m+1}^2 + h_{2m-1}^2) = a$

De bewegingsvgl. wordt dan:

$$\frac{h_{2m+1}^2 - h_{2m-1}^2}{2\Delta x} - \frac{\frac{1}{2}(Q_{2m}^3 + Q_{2m}^1)(h_{2m+1}^2 - h_{2m+1}^0 + h_{2m-1}^2 - h_{2m-1}^0)}{g b a^2 \cdot 4 \cdot \Delta t} + \frac{Q_{2m}^3 - Q_{2m}^1}{2\Delta t \cdot g b \cdot a} + \frac{Q_{2m}^3|Q_{2m}^1|}{c^2 b^2 a^3} = 0$$

In alg. termen: zie vgl. (2.20)

Hieruit wordt nu  $Q_{2m}^{2n+1}$  opgelost:

$$\frac{h_{2m+1}^{2n} - h_{2m-1}^{2n}}{2\Delta x} + Q_{2m}^{2n+1} \left( \frac{-h_{2m+1}^{2n} + h_{2m+1}^{2n-2} - h_{2m-1}^{2n} + h_{2m-1}^{2n-2}}{8g b a^2 \Delta t} + \frac{1}{2\Delta t g \cdot b a} + \frac{|Q_{2m}^{2n-1}|}{c^2 b^2 a^3} \right) - Q_{2m}^{2n-1} \left( \frac{h_{2m+1}^{2n} - h_{2m+1}^{2n-2} - h_{2m-1}^{2n} + h_{2m-1}^{2n-2}}{8g b a^2 \Delta t} + \frac{1}{2\Delta t g \cdot b a} \right) = 0$$

$$Q_{2m}^{2n+1} \left( \frac{-\{h_{2m+1}^{2n} - h_{2m+1}^{2n-2} + h_{2m-1}^{2n} - h_{2m-1}^{2n-2}\}}{8g b a^2 \Delta t} \right) + \frac{1}{2\Delta t g \cdot b a} + \frac{|Q_{2m}^{2n-1}|}{c^2 b^2 a^3} = Q_{2m}^{2n-1} \left( \frac{1}{2\Delta t g b a} + \frac{h_{2m+1}^{2n} - h_{2m+1}^{2n-2} + h_{2m-1}^{2n} - h_{2m-1}^{2n-2}}{8\Delta t g b a^2} \right) - \frac{h_{2m+1}^{2n} - h_{2m-1}^{2n}}{2\Delta x}$$

Uitgaande van  $H$  gedefinieerd volgens vgl. (2.25) volgt voor:

$$-h_{2m+1}^{2n} + h_{2m+1}^{2n-2} - h_{2m-1}^{2n} + h_{2m-1}^{2n-2} = 4H - 2(h_{2m+1}^{2n} + h_{2m-1}^{2n})$$

en daar  $2a = 2d + h_{2m+1}^{2n} + h_{2m-1}^{2n}$  geldt

$$\begin{aligned} - h_{2m+1}^{2n} + h_{2m+1}^{2n-2} - h_{2m-1}^{2n} + h_{2m-1}^{2n} &= 4H - 2(2a-2d) \\ &= 4(H-a+d). \end{aligned}$$

Gevonden wordt dan:

$$Q_{2m}^{2n+1} = \frac{h_{2m-1}^{2n} - h_{2m+1}^{2n} + Q_{2m}^{2n-1} \frac{\Delta x}{\Delta t} \left( \frac{4a - 4(H-a+d)}{4gba^2} \right)}{\frac{\Delta x}{\Delta t} \left( \frac{4(H-a+d) + 4a}{4gba^2} \right) + \frac{2\Delta x}{c^2 b^2 a^3} |Q_{2m}^{2n-1}|}$$

$$Q_{2m}^{2n+1} = \frac{gba \frac{2\Delta t}{\Delta x} (h_{2m-1}^{2n} - h_{2m+1}^{2n}) + Q_{2m}^{2n-1} (h_{2m+1}^{2n} + h_{2m-1}^{2n} - H + d)}{(H + d) + \frac{2\Delta t \cdot g}{c^2 b \cdot a} |Q_{2m}^{2n-1}|} \quad (2.36)$$

Op deze wijze wordt Q uitgerekend voor  $m = 1, 2, \dots, M-1$  terwijl voor  $m = M$  geldt:  $Q_{2m}^{2n+1} = + \bar{Q}_L$ .

De bovenstaande procedure herhaalt zich nu voor  $n = 2 t/m N$ .

In de berekening kan een middenstandsverhoging  $w$  als gevolg van windopzet meegenomen worden. Dit wil echter niets anders zeggen, dan dat de waterdiepte  $d$  met een waarde  $w$  wordt vergroot, zodat de berekening in wezen met een andere waterdiepte wordt uitgevoerd:

$$d' = d + w$$

In de resp. vergelijkingen wordt dan in plaats van  $d$ ,  $d'$  ingevoerd.

### 2.3 Rekenuitvoer (zie par. 2.4)

In verband met de rekenuitvoer, zij het volgende vermeld. Voor de tijdstap-grootte wordt uitgegaan van een enkeldaags getij met een totale tijdsduur van 12 uur en 25 min. Deze periode wordt in 300 tijdstappen  $\Delta t$  verdeeld, zodat  $\Delta t = 149$  sec.

Evenals bij een proef een zekere inspeeltijd nodig is voordat het verschijnsel, met name de getijbewegingen zich reproduceren, zo ook bij de getijberekening. In par. 2.2 wordt voorgesteld de berekening te herhalen voor  $n = 2 t/m N$ . Voor  $N$  wordt in verband met de inspeeltijd  $\frac{\alpha T}{2\Delta t}$  gekozen, waarin  $\alpha$  het aantal getijperioden is.  $\alpha$  wordt nu dusdanig groot gekozen, dat het verschijnsel zich reproduceert.

Een eis voor de stabiliteit van de impliciete differentie schema's (zie ref. 1) is, dat

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} < \frac{1}{|u \pm \sqrt{gh}|_{\max.}}$$

Het uitschrijven van de resultaten gebeurt op iedere  $12 \Delta t$ , zodat het verloop van het getij met de tijd in een bepaald punt door 24 getallen wordt weergegeven. Doorgaans wordt alleen het vierde en vijfde getij uitgeprint, zodat men start met  $912 \Delta t$  tot en met  $1500 \Delta t$ . in stappen van  $12 \Delta t$ .

Stel nu  $p = 12 \Delta t$ , dan komt  $912 \Delta t$  resp.  $1500 \Delta t$  overeen met  $p = 76$  resp. 125.

De volgende grootheden worden nu uitgeschreven (zie par. 2.4)

a. Waterstanden:  $h_1^{12p}$  voor  $p = 76, 77, \dots, 125$

$$h_6^{12p} \text{ uit } h_6^{12p} = \frac{1}{2} (h_5^{12p} + h_7^{12p}) \text{ (daar alleen in de oneven } x\text{-niveau's de } h \text{ bekend wordt) voor } p = 76, 77, \dots, 125$$

$$h_{14}^{12p} \text{ uit } h_{14}^{12p} = \frac{1}{2} (h_{13}^{12p} + h_{15}^{12p}) \text{ voor } p = 76, 77, \dots, 125$$

$$h_{19}^{12p} \text{ voor } p = 76, 77, \dots, 125$$

$$h_{29}^{12p} \text{ voor } p = 76, 77, \dots, 125$$

$$h_{(\frac{L}{\Delta x} - 1)}^{12p} \text{ voor } p = 76, 77, \dots, 125.$$

b. Gemiddelde waterstanden:  $z_1 = \frac{1}{50} \sum_{p=76}^{125} h_1$  12p

$z_6 = \frac{1}{50} \sum_{p=76}^{125} h_6$  12p

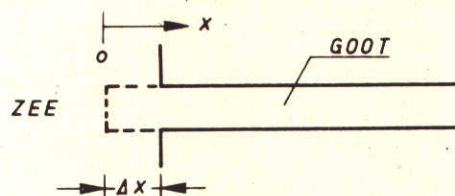
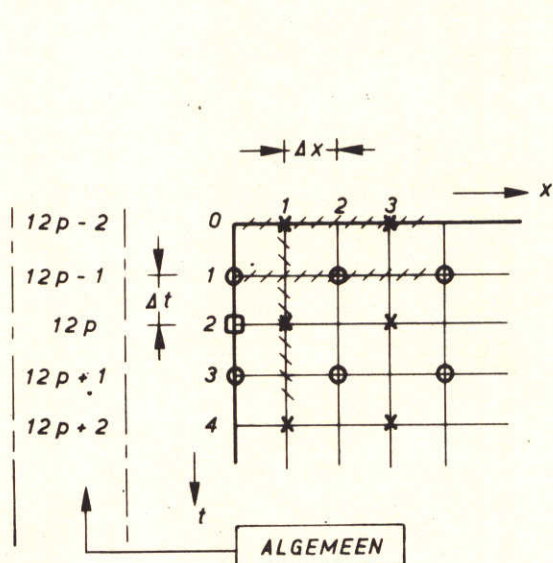
$z_{14} = \frac{1}{50} \sum_{p=76}^{125} h_{14}$  12p

$z_{19} = \frac{1}{50} \sum_{p=76}^{125} h_{19}$  12p

$z_{29} = \frac{1}{50} \sum_{p=76}^{125} h_{29}$  12p

$z_{\frac{L}{\Delta x} - 1} = \frac{1}{50} \sum_{p=76}^{125} h_{\frac{L}{\Delta x} - 1}$  12p  
 $(\frac{L}{\Delta x} - 1 = (2M-1)\Delta x)$

c. Debiten:  $Q_z^{12p}$  wordt bepaald in  $x = 0$ , dus in zee (zie bijgaande figuur)



Nu bevindt  $Q_z^{12p}$  zich op een even -  
 t - niveau  
 $Q_z^{12p} = Q_0^{12p}$  (zie punt  $(0; 2\Delta t)$ )  
 (2.27)

Daar met behulp van de bewegingsvgl. de debieten voor  $x = 0$  niet berekend kunnen worden (zie par. 2.2 vgl. (2.26)), wordt  $Q_0^{12p}$  als volgt berekend.

Uitgaande van de continuïteitsvgl.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{b} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \text{volgt nu}$$

(punt  $(1, \Delta x; 2, \Delta t)$  wordt beschouwd):

$$\frac{h_1^{12p} - h_1^{12p-2}}{2\Delta t} = -\frac{1}{b} \cdot \frac{Q_2^{12p} - Q_0^{12p}}{2 \cdot \Delta x} \quad (2.28)$$

Voor  $\frac{\partial h}{\partial t}$  wordt dus gebruik gemaakt van de reeds berekende hoogte op tijdstip  $(12p-2)\Delta t$  i.p.v. de hoogten op de tijdstippen  $(12p-1)\Delta t$  en  $(12p+1)\Delta t$ .

Verder geldt

$$Q_2^{12p} = \frac{1}{2} (Q_2^{12p-1} + Q_2^{12p+1}) \quad (2.29)$$

Vgl. (2.27), (2.28) en (2.29) geven dan:

$$Q_z^{12p} = \frac{Q_2^{12p+1} + Q_2^{12p-2}}{2} + \frac{\Delta x \cdot b}{\Delta t} (h_1^{12p} - h_1^{12p-2}) \quad (2.30)$$

In verband met de dimensionering van het zeereservoir en de capaciteit van de zeepompen (zie deel A, par. 9) is in  $Q_z^{12p}$  tevens het debiet nodig voor het verticale getij in het zeebassin meegenomen. Vergelijking (2.30) wordt dan:

$$\begin{aligned} Q_z^{12p} &= \frac{Q_2^{12p+1} + Q_2^{12p-2}}{2} + \frac{\Delta x \cdot b}{\Delta t} (h_1^{12p} - h_1^{12p-2}) \\ &\quad + \frac{\text{opp. zeebassin}}{2 \cdot \Delta t} - \Delta x \cdot b (h_1^{12p} - h_1^{12p-2}) = \\ &= \frac{Q_2^{12p+1} + Q_2^{12p-2}}{2} + \frac{\Delta x \cdot b + \text{opp. zeebassin}}{2 \cdot \Delta t} (h_1^{12p} - h_1^{12p-2}) \quad (2.31) \end{aligned}$$

Voor de berekening is aangehouden:

$$\begin{aligned} \Delta x &= 2340 \text{ m} & \text{opp. zeebassin} &= \\ \Delta t &= 149 \text{ sec.} & (7,5 \times 8) \text{m}^2 \times 640 \times 640 & (\text{hor. schaal} = 640) \\ b &= 430 \text{ m} \end{aligned}$$

De uiteindelijke afmetingen van het zeebassin zijn geworden  $8 \times 6,5 \text{ m}^2$ .

Vgl. (2.31) wordt dan

$$Q_z^{12p} = \frac{Q_2^{12p+1} + Q_2^{12p-1}}{2} + y_m \{ h_1^{12p} - h_1^{12p-2} \}.$$

waarin  $y_m = 85.846$ . In het programma is  $84.000$  aangehouden. (zie par. 2.4).

Bij latere berekeningen is in de factor  $y_m$  het oppervlak van het zeebassin niet meegenomen.

Voor  $y_m$  schrijft men dan:  $y_m = \frac{\Delta x \cdot b}{\Delta t} = 6740$ . (zie ook par. 2.5).

De overige debieten die worden berekend, zijn

$$Q_2^{12p} = \frac{Q_2^{12p-1} + Q_2^{12p+1}}{2}$$

$$Q_6^{12p} = \frac{Q_6^{12p-1} + Q_6^{12p+1}}{2}$$

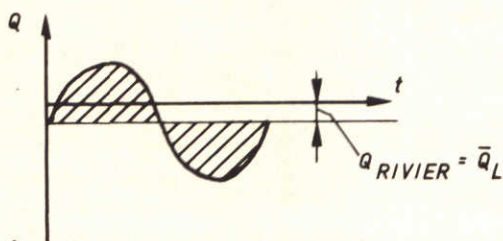
$$Q_{16}^{12p} = \frac{Q_{16}^{12p-1} + Q_{16}^{12p+1}}{2}$$

$$Q_{29}^{12p} = \frac{Q_{28}^{12p-1} + Q_{28}^{12p+1} + Q_{30}^{12p-1} + Q_{30}^{12p+1}}{4}$$

$$Q_{\left(\frac{L}{\Delta x} - 2\right)}^{12p} = \frac{Q_{\left(\frac{L}{\Delta x} - 2\right)}^{12p-1} + Q_{\left(\frac{L}{\Delta x} - 2\right)}^{12p+1}}{2}$$

d. Volume in verband met de dimensionering van reservoirs (zie deel A van dit verslag, par. 9.)

Volume zeegetij:  $V_{G.Z.} = \frac{\text{gearceerd opp.}}{2}$  (zie bijgaande figuur)



$$\text{In formule: } V_{G.Z.} = \frac{1}{4} \sum_{p=76}^{125} 12 \cdot \Delta t \quad |Q_z^{12p} - \bar{Q}_L|$$

$$= \sum_{p=76}^{125} 447 |Q_z^{12p} - \bar{Q}_L|$$

waarbij gesommeerd is over twee getijperioden, dus 4x het gearceerde vloed- of ebvolume, waarbij vloedvolume = ebvolume.

Evenzo wordt het vloedvolume in station 29 ( $x/\Delta x = 29$ ) berekend:

$$V_{G.29} = \sum_{p=76}^{125} 447 |Q_{29}^{12p} - \bar{Q}_L|$$

De waterstanden worden uitgedrukt in meters; de debieten in  $m^3/s$  en de volumina in  $10^6 m^3$ .

2.4. Rekenprogramma (2e computerberekening)

```
'comment' getijberekening 2 voor een homogene waterbeweging ;
'begin' 'integer' no,k,to,i,j,r,kr,rr,dr;
      'real'   d1,d,w,b,c,ds,t,dt,h0,ql,alva,g,k1,k2,k3,k4,
              pi,a,ha,m,n,l;
      read(no,l,d1,w,b,c,ds,t,dt,h0,ql,alva,kr,dr);

      to:=klok;g:=9.81;pi:=3.1415926536;d:=d1+w;
      m:=l/(2*ds);n:=alva*t/(2*dt);k1:=4*pi*dt/t;
      k3:=dt*g*b/ds;k2:=dt/(b*ds);k4:=2*dt*g/(c*c*b);
'begin' 'real' h6,h14,qz,q2,q6,q16,q29,qvl,vgz,vgz9,rr,
              somh6,somh14,somh19,somh29,somhm;
      'array' n,ql[1:2,1:m];
      write('m: getijgootberekening 2 -');vasko(5,0,no);nlcr(2);
      write('l      d1      w      b      c      ds      t');
      write('dt      h0      ql      alva');nlcr(1);
      vasko(6,0,l);vasko(3,1,d1);vasko(2,0,w);vasko(4,0,b);
      vasko(3,0,c);vasko(3,0,ds);vasko(6,0,t);vasko(4,0,dt);
      vasko(1,2,h0);vasko(4,0,ql);vasko(2,0,alva);nlcr(3);
      write('stap');space(29);write('watersstanden');space(46);
      write('debieten');nlcr(1);
      write('no      h1      h6      h14      h19      h29');
      write('h l/ds-1');space(3);
      write('qz      q2      q6      q16      q29');
      write('q l/ds-2');nlcr(1);
      i:=j:=0;r:=kr;
      somh1:=somh6:=somh14:=somh19:=somh29:=somhm:=vgz:=vgz9:=0;
      'for' k:=1 'step' 1 'until' m 'do' h[1,k]:=ql[k];
lab1: i:=i+1;'if' i 'greater' n 'then' 'goto' verder;
      h[2,1]:=h0*sin(k1*i);
      'for' k:=2 'step' 1 'until' m 'do'
        h[2,k]:=k2*(q[1,k-1]-q[1,k])+h[1,k];
      'for' k:=1 'step' 1 'until' m-1 'do'
        'begin' a:=(h[2,k]+h[2,k+1]+2*d)/2;
              ha:=(h[1,k]+h[1,k+1]+h[2,k]+h[2,k+1])/4;
              ql[2,k]:=(k3*a*a*(h[2,k]-h[2,k+1])+q[1,k]*(h[2,k]+h[2,k+1]
                -ha*d))/((k4*abs(q[1,k])/a)+ha*d);
        'end';
      q[2,m]:=ql;
      'if' i 'not equal' r 'then' 'goto' lab2 'else' 'goto' lab3 ;
lab2: 'for' k:=1 'step' 1 'until' m 'do'
      'begin' h[1,k]:=h[2,k];
            q[1,k]:=q[2,k];
      'end';
      'goto' lab1 ;
lab3: nlcr(1);vasko(4,0,2*i);space(1);vasko(1,3,h[2,1]);space(1);
      h6:=(h[2,3]+h[2,4])/2;vasko(2,3,h6);space(1);
      h14:=(h[2,7]+h[2,8])/2;vasko(2,3,h14);
      space(1);vasko(2,3,h[2,10]);space(1);vasko(2,3,h[2,15]);
      space(1);vasko(2,3,h[2,m]);space(1);q2:=(q[1,1]+q[2,1])/2;
      qz:=q2+4000*(h[2,1]-h[1,1]);vasko(5,1,qz);space(1);
      vasko(5,1,q2);space(1);q6:=(q[1,3]+q[2,3])/2;vasko(5,1,q6);
      space(1);q16:=(q[1,8]+q[2,8])/2;vasko(5,1,q16);
      space(1);q29:=(q[1,14]+q[1,15]+q[2,14]+q[2,15])/4;
      vasko(5,1,q29);space(1);qvl:=(q[2,m-1]+q[1,m-1])/2;
      vasko(5,1,qvl);
      somh1:=somh1+h[2,1];somh6:=somh6+h6;
      somh14:=somh14+h14;
      somh19:=somh19+h[2,10];somh29:=somh29+h[2,15];
      somhm:=somhm+h[2,m];
      vgz:=vgz+abs(qz-ql);vgz9:=vgz9+abs(q29-ql);
      j:=j+1;'if' j 'equal' 5 'then' 'begin' nlcr(1);j:=0 'end';
      r:=r+dr;'goto' lab2;
verder:nlcr(2);rr:=(n-kr)/dr+1;space(7);
      somh1:=somh1/rr;vasko(2,3,somh1);space(1);
      somh6:=somh6/rr;vasko(2,3,somh6);space(1);
      somh14:=somh14/rr;vasko(2,3,somh14);space(1);
      somh19:=somh19/rr;vasko(2,3,somh19);space(1);
      somh29:=somh29/rr;vasko(2,3,somh29);space(1);
      somhm:=somhm/rr;vasko(2,3,somhm);space(1);
      vgz:=0.000447*vgz;vasko(5,3,vgz);space(29);
      vgz9:=0.000447*vgz9;vasko(5,3,vgz9);nlcr(2);
      print('rekentijd in sec is',klok-to);
'end';
'end'
```



Toelichting bij het rekenprogramma

<u>a. basisgegevens</u>	notatie in programma
referentiediepte d (m)	(d1)
breedte goot b (m)	(b)
lengte goot L (m) waarbij station 0 op $1\Delta x$ in zee (mathematische) ligt, vanaf de mond van de goot (zie par. 2.2)	(l)

N.B. L is de lengte van de fictieve prototype goot +  $\Delta x$ .  
Bovendien moet L een even aantal malen  $\Delta x$  zijn.

Ruwheid goot (Chézy-waarde) C ( $m^{1/2}/s$ )	(c)
halve maaswijdte $\Delta x$ (m)	(ds)
amplitudesinusvormig getij zeerand $h = h_0 \sin \omega t + h_0$ (m)	(ho)
getijperiode T (sec)	(t)
tijdstap $\Delta t$ (sec)	(dt)
rivierdebiet of bovenafvoer $\bar{Q}_L$ ( $m^3/s$ )	(ql)
aantal te draaien getijden $\alpha$	(alva)
middenstandsverhoging tengevolge van opwaaiing: w (m)	(w)

b. afgeleide gegevens

$$M = \frac{L}{2\Delta x} \quad (m)$$

$$N = \frac{\alpha \cdot T}{2 \cdot \Delta t} \quad (n)$$

$$k1 = \frac{4 \cdot \pi \cdot \Delta t}{T} \quad k3 = \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot g \cdot b$$

$$k2 = \frac{\Delta t}{b \cdot \Delta x} \quad k4 = \frac{2 \cdot \Delta t \cdot g}{c^2 \cdot b}$$

waarin  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  (zwaartekrachtversnelling).

Opm. Om het geheugengebruik in de rekenmachine te beperken, wordt in het rekenprogramma enigzins afgeweken met de gebruikte indices in de analytische afleidingen. Voor de waterstanden en de debieten wordt een 2 dim. array gebruikt. h (1:2,1:M) en Q (1:2,1:M) M is aantal punten

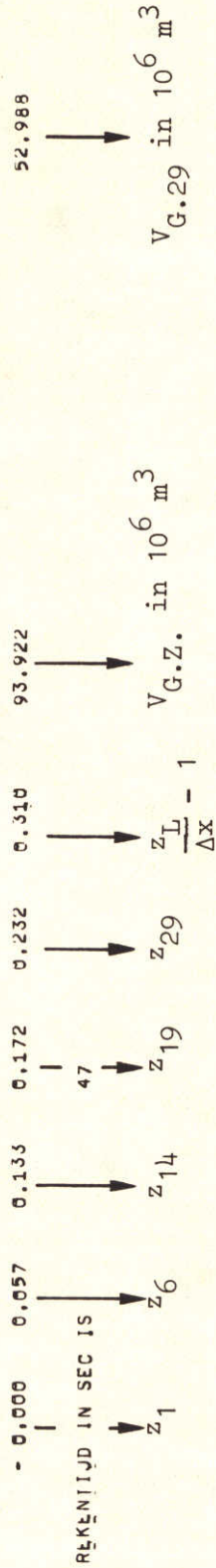
op een tijdsniveau. Uitgaande van de waterstanden  $h(1,1:M)$  op tijdsniveau  $t$  en de debieten  $Q(1,1:M)$  op tijdsniveau  $t+\Delta t$ , worden achtereenvolgens berekend de waterstanden  $h(2,1:M)$  op tijdsniveau  $t+3.\Delta t$  en de debieten  $Q(2,1:M)$  op tijdsniveau  $t+4.\Delta t$ . Deze laatste berekende waarden van  $h$  en  $Q(2,1:M)$  worden uitgeprint en vervolgens opgeborgen in de eerste array's van  $h$  en  $Q(1,1:M)$ . Het proces kunnen we dan weer herhalen. Op deze wijze worden voor de waterstanden en de debieten slechts  $4.M$  plaatsen in gebruik genomen.

M896 GETIJGOOTBEREKENING 2 - 5

ALVA  
5DT 149  
H0 0.80 - 949  
OLD1 13.8  
W 0  
B 430  
C 60  
US 2340  
T 44700L 131040  
D1 13.8  
W 0  
B 430  
C 60  
US 2340  
T 44700

STAP NO	WATERSTANDEN										L/DS=1			L/DS=2		
	H1	H6	H14	H19	US	T	DT	H0	OL	ALVA	H29	H	Q2	Q6	Q16	Q29
912	0.199	0.052	- 0.188	- 0.328	- 0.541	- 0.699	3723.3	963.0	549.7	- 508.5	- 1331.6	- 1020.7				
924	0.385	0.235	- 0.004	- 0.159	- 0.450	- 0.740	4696.7	2202.3	1810.5	832.2	- 399.3	- 964.7				
936	0.548	0.396	0.158	0.013	- 0.285	- 0.720	5305.1	3213.4	2881.7	2044.3	823.6	- 883.8				
948	0.675	0.528	0.296	0.156	- 0.111	- 0.612	5489.8	3932.1	3676.0	2982.6	1954.3	- 762.1				
960	0.761	0.628	0.412	0.280	0.039	- 0.369	5257.2	4331.5	4164.0	3623.4	2711.1	- 576.0				
972	0.798	0.690	0.504	0.388	0.181	0.025	4658.2	4422.6	4327.7	3977.2	3133.6	- 483.7				
984	0.786	0.712	0.572	0.482	0.331	0.389	3762.9	4232.3	4263.4	4061.1	3243.5	- 603.8				
996	0.724	0.693	0.617	0.565	0.507	0.663	2643.7	3788.5	3917.2	3878.8	2997.8	- 671.5				
1008	0.616	0.637	0.643	0.650	0.727	0.890	1359.6	3107.9	3322.0	3398.6	2333.9	- 713.4				
1020	0.470	0.552	0.672	0.758	0.916	1.082	- 68.6	2173.2	2447.1	2514.4	1575.9	- 752.0				
1032	0.294	0.460	0.709	0.840	1.032	1.238	- 1724.7	870.0	1158.3	1256.2	841.1	- 797.6				
1044	0.100	0.352	0.679	0.840	1.068	1.347	- 3877.5	- 1093.0	- 723.2	- 142.2	18.4	- 856.0				
1056	- 0.100	0.172	0.527	0.759	1.068	1.399	- 6018.4	- 3219.2	- 2776.1	- 1704.7	- 1076.2	- 929.1				
1068	- 0.294	- 0.009	0.387	0.608	0.971	1.379	- 7346.8	- 4708.6	- 4313.6	- 3386.8	- 2240.3	- 1016.1				
1080	- 0.470	- 0.168	0.234	0.447	0.815	1.277	- 7932.6	- 5621.3	- 5270.9	- 4452.8	- 3308.7	- 1110.6				
1092	- 0.616	- 0.311	0.097	0.308	0.649	1.094	- 7921.8	- 6082.6	- 5785.5	- 5037.6	- 4004.8	- 1196.8				
1104	- 0.724	- 0.432	- 0.032	0.175	0.495	0.846	- 7456.3	- 6205.0	- 5980.6	- 5313.6	- 4289.7	- 1251.7				
1116	- 0.786	- 0.524	- 0.152	0.043	0.334	0.573	- 6669.0	- 6083.8	- 5982.4	- 5369.8	- 4313.6	- 1247.9				
1128	- 0.798	- 0.584	- 0.261	0.090	0.161	0.329	- 5647.1	- 5765.0	- 5714.1	- 5248.3	- 4162.7	- 1195.4				
1140	- 0.761	- 0.609	- 0.358	- 0.220	- 0.019	0.129	- 4453.5	- 5267.0	- 5316.3	- 4971.0	- 3894.2	- 1160.2				
1152	- 0.675	- 0.596	- 0.438	- 0.341	- 0.194	- 0.051	- 3135.9	- 4594.0	- 4731.4	- 4549.1	- 3569.0	- 1142.9				
1164	- 0.548	- 0.545	- 0.490	- 0.441	- 0.344	- 0.217	- 1734.8	- 3745.8	- 3974.1	- 3995.2	- 3249.3	- 1128.5				
1176	- 0.385	- 0.453	- 0.500	- 0.499	- 0.457	- 0.369	- 290.2	- 2727.8	- 3040.9	- 3331.7	- 2926.6	- 1111.5				
1188	- 0.199	- 0.317	- 0.453	- 0.501	- 0.533	- 0.504	1148.0	- 1563.0	- 1923.1	- 2562.6	- 2534.1	- 1089.8				
1200	- 0.000	- 0.143	- 0.346	- 0.445	- 0.565	- 0.617	2505.2	- 308.9	- 749.3	- 1635.5	- 2020.3	- 1060.6				
1212	0.199	0.052	- 0.188	- 0.328	- 0.541	- 0.699	3723.3	963.0	549.7	- 508.5	- 1331.6	- 1020.6				
1224	0.385	0.235	- 0.004	- 0.159	- 0.450	- 0.740	4696.7	2202.3	1810.5	832.1	- 399.7	- 964.7				
1236	0.548	0.396	0.158	0.013	- 0.285	- 0.720	5305.1	3213.4	2881.7	2044.3	823.5	- 883.8				
1248	0.675	0.528	0.296	0.156	- 0.111	- 0.612	5489.7	3932.1	3675.9	2982.6	1954.3	- 762.2				
1260	0.761	0.628	0.412	0.280	0.039	- 0.369	5257.1	4331.5	4164.0	3623.3	2711.1	- 576.1				
1272	0.798	0.690	0.504	0.388	0.181	0.025	4658.2	4422.6	4327.6	3977.1	3133.5	- 483.6				
1284	0.786	0.712	0.572	0.482	0.331	0.389	3762.8	4232.2	4263.3	4061.0	3243.5	- 603.7				
1296	0.724	0.693	0.617	0.565	0.507	0.663	2643.6	3788.4	3917.1	3878.7	2998.0	- 671.5				
1308	0.616	0.637	0.643	0.650	0.727	0.890	1359.5	3107.8	3321.9	3398.7	2334.0	- 713.4				
1320	0.470	0.552	0.672	0.758	0.916	1.082	- 68.6	2173.2	2447.2	2514.5	1575.9	- 752.0				
1332	0.294	0.460	0.709	0.840	1.032	1.238	- 1724.5	870.3	1158.5	1256.1	841.0	- 797.6				
1344	0.100	0.352	0.679	0.840	1.068	1.347	- 3877.2	- 1092.8	- 723.0	- 142.2	18.4	- 856.1				
1356	- 0.100	0.172	0.557	0.759	1.068	1.399	- 6018.4	- 3219.2	- 2776.1	- 1794.5	- 1076.2	- 929.1				
1368	- 0.294	- 0.009	0.387	0.608	0.971	1.379	- 7346.8	- 4708.7	- 4313.6	- 3386.8	- 2240.2	- 1016.1				
1380	- 0.470	- 0.168	0.234	0.447	0.815	1.277	- 7932.6	- 5621.3	- 5270.9	- 4452.8	- 3308.6	- 1110.6				
1392	- 0.616	- 0.311	0.097	0.308	0.649	1.094	- 7921.8	- 6082.6	- 5785.5	- 5037.6	- 4004.8	- 1196.8				
1404	- 0.724	- 0.432	- 0.032	0.175	0.495	0.846	- 7456.5	- 6205.0	- 5980.6	- 5313.6	- 4289.7	- 1251.7				
1416	- 0.786	- 0.524	- 0.152	0.043	0.334	0.573	- 6669.0	- 6083.8	- 5982.4	- 5369.7	- 4313.6	- 1247.9				

KMO S.W. /WB2594	26.04.66		PAG. 9									
1428	-0.798	0.584	- 0.261	- 0.090	0.161	0.329	- 5647.1	- 5765.0	5714.1	- 5248.3	4162.7	- 1195.4
1440	-0.761	0.609	- 0.358	- 0.220	- 0.019	0.129	- 4453.5	- 5267.0	5310.3	- 4971.0	- 3894.2	- 1100.2
1452	-0.675	0.596	- 0.438	- 0.341	- 0.194	- 0.051	- 3135.9	- 4594.0	4731.3	- 4549.1	- 3509.0	- 1142.9
1464	-0.548	0.545	- 0.490	- 0.441	- 0.344	- 0.217	- 1734.8	- 3745.8	3974.1	- 3995.2	- 3249.3	- 1128.5
1476	-0.385	0.453	- 0.500	- 0.499	- 0.457	- 0.369	- 290.2	- 2727.8	3041.0	- 3331.7	- 2926.6	- 1111.5
1488	-0.199	0.317	- 0.453	- 0.501	- 0.533	- 0.504	1148.0	- 1563.0	1973.2	- 2562.6	- 2534.0	- 1089.8
1500	-0.000	0.143	- 0.346	- 0.445	- 0.565	- 0.617	2505.2	- 308.9	749.3	- 1635.5	- 2020.3	- 1060.6



Opm.

Bij later uitgevoerde berekeningen wordt  $Q_z$  met  $Q_1$  aangeduid. Dit is in wezen onjuist, daar  $Q_z$  eigenlijk  $Q_0$ , c.q. het debiet in zee is, en niet in de mond van de goot. Ook zijn bij latere uitvoeren de grootheden  $z_1$ ,  $z_6$ ,  $z_{14}$ ,  $z_{19}$ ,  $z_{29}$ ,  $z_{L/\Delta x-1}$ , V.G.Z. en V.G.29 weggelaten, terwijl meer debieten en waterstanden worden uitgevoerd.

De homogene getijberekening als zodanig is daarbij in principe niet gewijzigd.

3. Homogene getijberekening met meenemen van de zoutterm.  $\frac{\partial}{\partial x} (\bar{s}/s_0)$  en de versnellingsterm  $u \frac{\partial u}{\partial x}$

3.1 Afleiding van de basisvergelijkingen (1-dimensionaal)

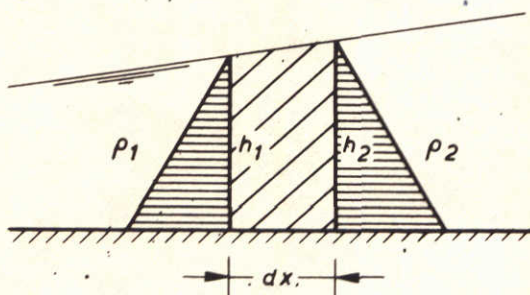
De vergelijkingen welke bij de onderstaande homogene getijberekening worden gehanteerd zijn:

De continuïteitsvergelijking  $b \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$  (3.1)

De bewegingsvergelijking, waarbij een verandering in de dichtheid als functie van  $x$  (één-dimensionaal), evenals de advectieterm  $u \frac{\partial u}{\partial x}$  in rekening wordt gebracht:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} = -g \frac{\partial h}{\partial x} - g \frac{\bar{u}|\bar{u}|}{C^2 R} - 0,00037 \text{ h.g.s}_0 \frac{\partial (\bar{s}/s_0)}{\partial x} \quad (3.2)$$

De termen  $g \frac{\partial h}{\partial x} + 0,00037 \text{ h.g.s}_0 \frac{\partial}{\partial x} (\bar{s}/s_0)$  worden als volgt gevonden: Beschouw in een open waterstroming een mootje  $dx$ , waarbij aan de ene zijde een hydrostatische druk werkt met een dichtheid  $\rho_1$  en aan de andere zijde met een dichtheid  $\rho_2$ . De resulterende kracht (zie bijgaande figuur).



per eenheid van massa wordt dan:

$$\frac{\frac{1}{2} \rho_2 g h_2^2 - \frac{1}{2} \rho_1 g h_1^2}{h \bar{\rho} \cdot dx} = \frac{g}{2h \bar{\rho}} \cdot \frac{\partial (\rho h^2)}{\partial x} = g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gh}{2\bar{\rho}} \cdot \frac{\partial (\bar{\rho})}{\partial x} \quad (3.3)$$

Definiëer:  $\rho = 0,75 s + 1000$

waarin  $s$  : saliniteit in o/oo

dan wordt vgl. (3.3):

$$g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gh}{2000} \frac{\partial}{\partial x} (0,75 \bar{s} + 1000) = g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{0,75}{2000} \times g \cdot h \cdot s_0 \frac{\partial (s/s_0)}{\partial x} \quad (3.4)$$

waarin  $s_0$ : een referentie saliniteit

In verband met de computerberekening wordt vgl. (3.2) als volgt herschreven:

$$\bar{u} = Q/A, \text{ waarin } A \text{ doorsnede} \quad (3.5)$$

$$\text{zodat } \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = \frac{1}{A} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{b \cdot Q}{A^2} \frac{\partial h}{\partial t}.$$

waarin:  $b$  = breedte

Vergelijking (3.2) wordt dan:

$$\begin{aligned} \frac{1}{A} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{bQ}{A^2} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{Q}{A^2} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{bQ^2}{A^3} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = \\ = - 0,00037 \text{ g.h.s}_0 \frac{\partial (\bar{s}/s_0)}{\partial x} - g \frac{Q|Q|}{C^2 A^2 R} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Vergelijking (3.1) gesubstitueerd in vgl. (3.6) geeft na enige bewerking:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2bQ}{A} \frac{\partial h}{\partial t} + (gA - \frac{bQ^2}{A^2}) \frac{\partial h}{\partial x} = - g \frac{Q|Q|}{C^2 AR} - 0,00037 \cdot A \cdot g \cdot h \cdot s_0 \frac{\partial (\bar{s}/s_0)}{\partial x} \quad (3.7)$$

### 3.2 Afleiding differentievergelijkingen ten behoeve van getijberekening via de computer (5e computerberekening)

De differentievergelijkingen afgeleid uit de vgl. (3.1) en (3.7) luiden: (zie ook het raster van de homogene getijberekening, par. 2.2)

Continuïteitsvgl.:

$$h_{2m-1}^{2n} = \frac{\Delta t}{b \cdot \Delta x} (Q_{2m-2}^{2n-1} - Q_{2m}^{2n-1}) + h_{2m-1}^{2n-2} \quad (3.8)$$

(zie par. 2.2)

Bewegingsvergelijking: (zie vgl. (3.7))

$$\frac{Q_{2m}^{2n+1} - Q_{2m}^{2n-1}}{2\Delta t} - \frac{2b \cdot \frac{1}{2} \cdot (Q_{2m}^{2n+1} + Q_{2m}^{2n-1})}{b \left( \frac{h_{2m+1}^{2n} + h_{2m-1}^{2n} + 2d'}{2} \right)} \cdot x$$

$$+ x \frac{h_{2m-1}^{2n} - h_{2m-1}^{2n-2} + h_{2m+1}^{2n} - h_{2m+1}^{2n-2}}{4 \cdot \Delta t} +$$

$$+ (g \cdot a \cdot b - \frac{b(Q_{2m}^{2n-1})^2}{b^2 \cdot a^2}) \frac{h_{2m+1}^{2n} - h_{2m-1}^{2n}}{2 \cdot \Delta x} =$$

$$-g \frac{Q_{2m}^{2n+1} | Q_{2m}^{2n-1} |}{c^2 \cdot ab} \cdot \frac{(2a+b)}{b \cdot a} - 0,00037 \cdot a^2 \cdot b \cdot g \cdot s_0 \frac{\partial \bar{s}/s_0}{\partial x} \quad (3.9)$$

waarin voor a geschreven wordt:

$$a = \frac{h_{2m+1}^{2n} + h_{2m-1}^{2n} + 2d'}{2}$$

stel nu verder:

$$h = \frac{h_{2m-1}^{2n} + h_{2m-1}^{2n-2} + h_{2m+1}^{2n} + h_{2m+1}^{2n-2}}{4}$$

$$f = \frac{b + 2a}{b} \quad \text{en} \quad r = \frac{\partial}{\partial x} (\bar{s}/s_0)$$

$$k_5 = 0,00074 \cdot b \cdot g \cdot s_0 \cdot \Delta t$$

$$k_3 = \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot g \cdot b \cdot ; k_2 = \frac{\Delta t}{b \Delta x} \quad ; k_4 = \frac{2 \Delta t \cdot g}{c^2 \cdot b}$$

dan vindt men na enige bewerking en substitutie voor vgl. (3.9).



$$Q_{2m}^{2n+1} = \frac{\{k3 \cdot a^2 - \frac{k2}{a} \cdot (Q_{2m}^{2n-1})^2\} (h_{2m-1}^{2n} - h_{2m+1}^{2n}) + Q_{2m}^{2n-1} (1,5 h_{2m+1}^{2n} + \frac{k4 |Q_{2m}^{2n-1}|}{a} \cdot f + 2h + d' - 0,5 h_{2m+1}^{2n} - 0,5 h_{2m-1}^{2n} + 1,5 h_{2m-1}^{2n} - 2h + d') - k5 a^3 \cdot r}{(3.10)}$$

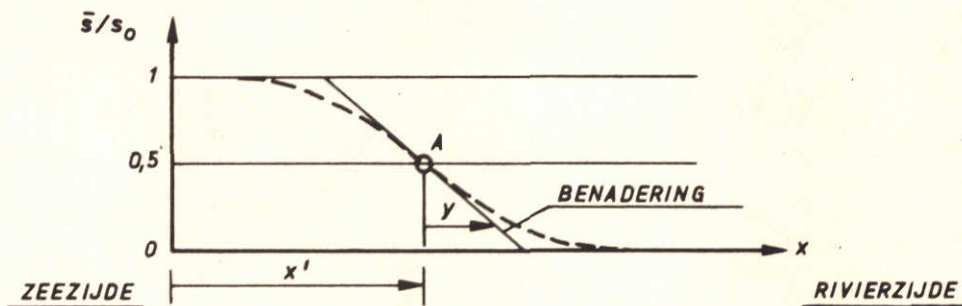
### 3.3 Benadering voor de term $\bar{s}/s_0(x)$

Voor de in de vergelijking (3.10) van par. 3.2 gehanteerde grootheid  $\bar{s}/s_0$  wordt de volgende uitdrukking gebruikt:

$$\bar{s}/s_0 = - \{ F_2 + E_2 \cos (\frac{t}{T} + \beta_2) 2\pi \} \cdot \{ x - F_1 - E_1 \cos (\frac{t}{T} + \beta_1) 2\pi \} + 0,5 \quad (3.11)$$

Deze vergelijking is langs empirische weg bepaald uit zoutgegevens van proef 11 uit de WES-goot (Vicksburg). (ref.2).

Daarbij is het verloop van de zoutconcentratie  $\bar{s}/s_0$  als functie van de plaats  $x$  benaderd door een rechte (zie onderstaande Fig.)



Als nu het assenkruis dat met de getijbeweging meebeweegt in punt A wordt gelegd, dan kan de zoutverdeling worden weergegeven door de vergelijking (zie bovenstaand Fig.)

$$\bar{s}/s_0 = 0,5 + k \cdot y \quad (3.12)$$

Gedurende het getij variëert de helling  $k$  en de positie van  $A$  ( $x'$ ).  
 Uit de zoutgegevens van proef 11 uit de WES-goot konden empirisch de  
 volgende betrekkingen worden afgeleid: (zie fig. 1)

$$\left. \begin{aligned} k &= -F_2 - E_2 \cos \left( \frac{t}{T} + \beta_2 \right) 2\pi \\ \text{en } x' &= F_1 + E_1 \cos \left( \frac{t}{T} - \beta_1 \right) 2\pi \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

Daar verder geldt

$$y + x' = x \quad (3.14)$$

Volgt uit (3.12), (3.13) en (3.14) voornoemde vergelijking (3.11).

De grootheid  $\frac{\partial}{\partial x} (\bar{s}/s_0)$ , die in par. 3.2 met  $r$  wordt aangeduid, kan  
 geschreven worden als:

$$r = \frac{\partial}{\partial x} (\bar{s}/s_0) = - (F_2 + E_2 \cos \left( \frac{t}{T} + \beta_2 \right) 2\pi) \quad (3.15)$$

Bij de berekeningen wordt nagegaan welke waarde  $\bar{s}/s_0$  heeft.

Indien nu  $0 \leq \bar{s}/s_0 \leq 1$ , dan wordt voor  $r$  de uitdrukking van vergelijking  
 (3.15) gehanteerd. Indien echter  $\bar{s}/s_0 < 0$  of  $> 1$ , dan wordt voor  $r = 0$   
 geschreven.

Per uitgevoerde getijberekening (zie par. 3.5) worden de grootheden  $E_1$ ,  
 $E_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $\beta_1$  en  $\beta_2$  als constanten ingevoerd.

#### 3.4 Rekenprogramma (5e computerberekening)

Het rekenprogramma van de 5e computerberekening is wat betreft het raster  
 identiek aan de 2<sup>e</sup> computerberekening (par. 2). De uitvoer sluit echter aan  
 bij de 4<sup>e</sup> computerberekening (= een homogene getijberekening, die identiek  
 is aan de 2<sup>e</sup> computerberekening). Terwijl de 2<sup>e</sup> computerberekening met name  
 gebruikt is voor berekeningen betreffende de Rotterdamse Waterweg i.v.m.  
 het ontwerp van de getijgoot, is de 4<sup>e</sup> computerberekening met name gebruikt  
 voor getijberekeningen van de WES-goot.

De 5<sup>e</sup> computerberekening is bedoeld om na te gaan welke invloed de zoutterm  
 $\frac{\partial}{\partial x} (\bar{s}/s_0)$  en de versnellingsterm  $u \frac{\partial u}{\partial x}$  op de getijbeweging hebben. Daartoe  
 zijn twee getij (computer) berekeningen opgezet:

5a: waarbij de WES-goot wordt beschouwd

5b: waarbij de zgn. WW-"goot" wordt beschouwd (zie appendix I)

Voor een overzicht van de uitgevoerde berekeningen met de 4<sup>e</sup> en 5<sup>e</sup> computer-berekening wordt verwezen naar de tabellen II resp. III.

Programma 5e getijberekening (5a)

==a2,

'comment' 10 jan 67/m:96/getijberekening-5  
reproductie getij in w e s flume miss.  
(in de berekening de empirische s/s0(x) verdisconteerd );

'begin' 'integer' no,k,to,i,j,r,kr,rr,dr,tel,ii,jj,ij,ir;  
'real' d1,d,w,b,c,ds,t,dt,ql,alva,g,k1,k2,k3,k4,k5,  
pi,a,ha,m,n,l,z,s0,e1,f1,beta1,e2,f2,beta2,c0,c1,  
ssx,ss0 ;

to:=klok;  
read(no,l,d1,w,b,c,ds,t,dt,ql,alva,s0,e1,f1,beta1,  
e2,f2,beta2,c0,c1,kr,dr);

g:=9.81;pi:=3.1415926536;d:=d1+w;  
m:=l/(z\*ds); n:=alva\*t/(z\*dt); k1:=4\*pi\*dt/t;  
k3:=dt\*g\*b/ds; k2:=dt/(b\*ds); k4:=2\*dt\*g/(c\*c\*b);  
k5:=0.000274\*b\*g\*s0\*dt ;

'begin' 'array' n,q[1:2,1:m],mu,dudx[1:10],x,y[0:alva\*20] ;

write('m:96-getijgootberekening 5-no');vasko(3,0,no) ;  
write('reproductie getij in w.e.s.-flume vicksburg miss.') ;  
nlcr(1);space(34) ;  
write('in de berekening de empirische s/s0(x) verdisconteerd '); ;  
nlcr(2);write(' l d1 w b c ds '); ;  
write(' t dt ql alva s0 e1 f1 beta1 '); ;  
write(' e2 f2 beta2 ');nlcr(1) ;  
vasko(4,3,l);vasko(1,4,d1) ;vasko(1,2,w);vasko(1,4,b) ;vasko(2,1,c) ;  
vasko(1,3,ds) ;vasko(5,0,t) ;vasko(2,0,dt) ;vasko(1,6,ql) ;  
vasko(1,0,alva) ;vasko(2,0,s0) ;vasko(2,2,e1) ;  
vasko(1,2,f1,beta1,e2,f2,beta2) ;nlcr(2) ;  
write(' stap h1 h3 h5 h9 h13 h17 '); ;  
write(' h25 h33 h31 du/dx 3 du/dx 5 '); ;  
write(' du/dx 3 ');nlcr(1) ;  
write(' no mu 2 mu 5 mu 9 mu13 mu17 '); ;  
write(' mu25 mu33 du/dx13 du/dx17 du/dx25 '); ;  
write(' du/dx33 ');nlcr(2) ;

'for' i:=0 'step' 1 'until' alva\*20 'do' xli]:=i\*15 ;

'for' i:=0 'step' 1 'until' 19 'do'

'begin' read(z);  
'for' j:=0 'step' 1 'until' alva-1 'do'  
y[i+j\*20]:=z;

'end';

ylalva\*20]:=y[0];

i:=j:=ij:=tel:=0;r:=kr/2;ir:=0;

'for' k:=1 'step' 1 'until' m 'do'

'begin' h[1,k]:=y[0];

ql[1,k]:=0;

'end' ;

lab1: i:=i+1 ;'if' i 'greater' n 'then' 'goto' af;

labia: 'if' x[tel] 'not greater' 2\*i 'and' 2\*i 'not greater' x[tel+1]

'then'

'begin' h[2,1]:=(y[tel+1]\*(2\*i-x[tel])+y[tel]\*(x[tel+1]-2\*i))/  
(x[tel+1]-x[tel]) ;

'end' 'else'

'begin' tel:=tel+1 ;

'goto' labia ;

'end' ;

'for' k:=2 'step' 1 'until' m 'do'

h[2,k]:=k2\*(q[1,k-1]-q[1,k])+h[1,k];

'for' k:=1 'step' 1 'until' m-1 'do'

'begin' a:=(h[2,k]+h[2,k+1]+z\*d)/2;

na:=(h[1,k]+h[1,k+1]+h[2,k]+h[2,k+1])/4;

'if' s0 'equal' 0 'then'

'begin' ssx:=0 ;

'goto' door

'end' ;

(Vervolg programma 5a)

```

    ssx:=- (f2+e2*cos((z1*dt/t+beta2)*2*pi)) ;
    sse:=-ssx*((z1-k-1)*ds-f1-e1*cos((z1*dt/t-beta1)*2*pi))+0.5 ;
    if sse less 0 or sse greater 1 then ssx:=0 ;
door: q[2,k]:=((k*a-a-c)*k*z*q[1,k]/a)*(h[2,k]-h[2,k+1])
      +q[1,k]*(1.5*(h[2,k]+h[2,k+1])-2*ha+d)-k*ssx*a*a/a /
      (k*abs(q[1,k])*(1+c1*z*a/b)/a+2*ha+d-0.5*(h[2,k]+h[2,k+1]))
    end ;
    q[2,m]:=ql ;
    if i not equal r then goto lab2 else goto lab3 ;

lab2: for k:=1 step 1 until m do
    begin h[1,k]:=h[2,k] ;
          q[1,k]:=q[2,k] ;
    end ;
    goto lab1 ;

lab3: ij:=ij+1 ;
    for ii:=2 step 1 until 5 do
    begin
        mul11:=(q[1,2*ii-2]+q[1,2*ii-1]+q[2,2*ii-2]+q[2,2*ii-1])
              /(0.9144*(h[2,2*ii-1]+d)) ;
        dudx11:=(q[1,2*ii-1]-q[1,2*ii-2]+q[2,2*ii-1]-q[2,2*ii-2])
              /(2.7871*(h[2,2*ii-1]+d)) ;
    end ;
    mul1:=(q[1,1]+q[2,1])/(0.2286*(h[2,1]+h[2,2]+2*d)) ;
    mul6:=(q[1,12]+q[1,13]+q[2,12]+q[2,13])/
          (0.9144*(h[2,13]+d)) ;
    mul7:=(q[1,16]+q[1,17]+q[2,16]+q[2,17])/
          (0.9144*(h[2,17]+d)) ;
    dudx1:=(q[1,2]-q[1,1]+q[2,2]-q[2,1])/
           (2.7871*(h[1,2]+d)) ;
    dudx6:=(q[1,13]-q[1,12]+q[2,13]-q[2,12])/
           (2.7871*(h[2,13]+d)) ;
    dudx7:=(q[1,17]-q[1,16]+q[2,17]-q[2,16])/
           (2.7871*(h[2,17]+d)) ;
    vasko(4,0,2*1) ;space(1) ;
    for jj:=1 step 2 until 9 do
    begin vasko(1,4,h[2,jj]) ;space(2) end ;
    vasko(1,4,h[2,13]) ;space(2) ;vasko(1,4,h[2,17]) ;space(3) ;
    vasko(1,4,h[2,16]) ;
    for jj:=1 step 1 until 3 do
    begin space(2) ;vasko(1,5,dudx[jj]) ; end ;
    nlcr(1) ;space(8) ;
    for jj:=1 step 1 until 7 do
    begin vasko(1,4,mul[jj]) ;space(2) end ;
    for jj:=4 step 1 until 6 do
    begin vasko(1,5,dudx[jj]) ;space(2) end ;vasko(1,5,dudx[7])

    if ij equal 10 then
    begin ij:=0 ;ir:=ir+1 ;nlcr(2) ; end else nlcr(1) ;
    if ir equal 2 then
    begin npag ;ir:=0 ; end ;
    r:=r+dr/2 ; goto lab2 ;

af: print('rekentijd in sec',klok-to) ;
    end ;
end ;

```

Programma 5e getijberekening (5b)

==a1,

'comment' ; sept. 1967/m096/waterweg 1956-5,  
reproductie getij in waterweggoot.  
(in de berekening de empirische s/s0 (x) verdisconteerd );

'begin' 'integer' no,k,to,i,i1,i2,j,r,kr,rr,dr,tel,ii,jj,ij,ir;  
'real' d1,d,w,b,c,ds,t,dt,ql,alva,g,k1,k2,k3,k4,k5,  
tpi,a,ha,m,n,l,z,s0,e1,f1,beta1,e2,f2,beta2,  
ssx,ss0,ka,kb,kc,sh1,sh2,h2k,h2k1,vh2,hsh2,  
q1k,q1kv,a3,ha1,ha2,sq1,sq2 ;

to:=klok;  
read(no,l,d1,w,b,c,ds,t,dt,ql,alva,s0,e1,f1,beta1,  
e2,f2,beta2,kr,dr);

g:=9.81 ; tpi:=6.2831853 ; d:=d1+w ; ka:=2\*dt ;  
m2:=0.5\*L/ds ; n:=alva\*t/ka ; k1:=tpi\*ka/t ;  
k2:=dt/ds ; k3:=b\*g ; k4:=k2\*k3 ; k5:=k2/b ;  
k6:=ka\*g/(c\*c0b) ; k7:=0.00074\*k5\*s0\*dt ;

'begin' 'array' h,q[1:2,1:m],mu,dudx[1:10],x,y[0:alva\*20] ;

write('m096-waterweg 1956-5-no'); vasko(3,0,no);  
write('reproductie getij in waterweggoot');  
nlcr(1) ; space(34) ;  
write(' in de berekening de empirische s/s0(x) verdisconteerd ');  
nlcr(2) ; write(' l d1 w b c ds ');  
write(' t dt ql alva s0 e1 f1 beta1 ');  
write(' e2 f2 beta2 '); nlcr(1) ;  
vasko(7,0,l); vasko(3,2,d1); vasko(1,2,w); vasko(3,2,b); vasko(2,1,c);  
vasko(4,0,ds); vasko(5,0,t); vasko(2,0,dt); vasko(4,3,ql);  
vasko(1,0,alva); vasko(2,0,s0); vasko(4,0,e1,f1);  
vasko(1,2,beta1,e2,f2,beta2); nlcr(2) ;  
write(' stap h1 h3 h5 h7 h9 ');  
write(' h11 h13 h15 du/dx 3 du/dx 5 ');  
write(' du/dx 9 '); nlcr(1) ;  
write(' no mu 2 mu 3 mu 5 mu 7 mu 9 ');  
write(' mu11 mu13 mu15 du/dx17 du/dx25 ');  
write(' du/dx33 '); nlcr(2) ;

'for' i:=0 'step' 1 'until' alva\*20 'do' x[i]:=i\*15 ;

'for' i:=0 'step' 1 'until' 19 'do'

'begin' read(z);

'for' j:=0 'step' 1 'until' alva-1 'do'  
y[i+j\*20]:=z;

'end';

y[alva\*20]:=y[0];

i:=j:=ij:=tel:=0 ; r:=kr/2 ; ir:=0 ;

'for' k:=1 'step' 1 'until' m 'do'

'begin' h[1,k]:=y[0] ;

q[1,k]:=0 ;

'end' ;

(Vervolg programma 5b)

```

lab1:  i:=i+1 ; 'if' i 'greater' n 'then' 'goto' af;
lab1a: 'if' x[tel] 'not greater' z=i 'and' z=i 'not greater' x[tel+1]
      'then'
      'begin' h[2,1]:=(y[tel+1]*(z-i-x[tel])+y[tel]*(x[tel+1]-z*i))/
              (x[tel+1]-x[tel]) ;
      'end' 'else'
      'begin' tel:=tel+1 ;
      'goto' lab1a ;
      'end' ;
      'for' k:=2 'step' 1 'until' m 'do'
          h[2,k]:=kz*(q[1,k-1]-q[1,k])+h[1,k];
      'for' k:=1 'step' 1 'until' m-1 'do'
          'begin'
          sh1:=h[1,k]+h[1,k+1] ; h2k:=h[2,k] ; h2k1:=h[2,k+1] ;
          vh2:=h2k-h2k1 ; sh2:=h2k+h2k1 ; q1k:=q[1,k] ; q1kv:=q1k*q1k ;
          hsh2:=0.5*sh2 ; a:=hsh2+d ; a3:=a*a*a ;
          ha:=(sh1+sh2)*0.25 ; ha1:=-2*ha+d ; ha2:=2*ha+d ;
          'if' s0 'equal' 0 'then'
              'begin' ssx:=0 ;
              'goto' door
          'end' ;
          kb:=i*k1 ; ssx:=- (f2+e2*cos(kb+tpi*beta2)) ;
          ss:=ssx*((z*k-1)*ds-f1-e1*cos(kb-tpi*beta1))+0.5 ;
          'if' ss0 'less' 0 'or' ss0 'greater' 1 'then' ssx:=0 ;
          door:q[2,k]:=((k3*a3-k2*q1kv)*vh2/a+q1k*(3*hsh2+ha1)-k3*ssx*a3)/
                (k4*abs(q1k)*(1/a+z/b)+ha2-hsh2) ;
          'end' ;
          q[2,m]:=ql;
          'if' i 'not equal' r 'then' 'goto' lab2 'else' 'goto' lab3 ;

lab2: 'for' k:=1 'step' 1 'until' m 'do'
      'begin' h[1,k]:=h[2,k];
          q[1,k]:=q[2,k];
      'end' ;
      'goto' lab1 ;

lab3:  ij:=ij+1 ;
      'for' ii:=2 'step' 1 'until' n 'do'
          'begin' sq2:=q[1,ii]+q[2,ii];
              sq1:=q[1,ii-1]+q[2,ii-1]; kc:=h[2,ii]+d;
              mu[ii]:=(sq1+sq2)/(1760*kc);
          'end' ;
          mu[1]:=(q[1,1]+q[2,1])/(440*((h[2,1]+h[2,2])+2*d));
          vasko(4,0,z*i); space(1);
          'for' jj:=1 'step' 1 'until' n 'do'
              'begin' vasko(1,4,h[2,jj]); space(2); 'end' ;
              nldr(1); space(0);
          'for' jj:=1 'step' 1 'until' n 'do'
              'begin' vasko(2,3,mu[jj]); space(2); 'end' ;
          'if' ij 'equal' 10 'then'
              'begin' ij:=0 ; ir:=ir+1 ; nldr(2) ; 'end' 'else' nldr(1) ;
          'if' ir 'equal' 2 'then'
              'begin' npag ; ir:=0 'end' ;
          r:=r+dr/2 ; 'goto' lab2 ;

af:  print('rekentijd in sec',klok-to) ;
      'end' ;
      'end' ;

```

Toelichting

Naast de grootheden, die ook worden ingelezen bij de 2<sup>e</sup> computerberekening, zoals lengte L van de goot, de Chézy-waarde C (zie ook par. 2.4 de Toelichting) worden bij de 5<sup>e</sup> computerberekening nog de volgende grootheden gevraagd:

Bij beide programma's (5a en 5b):

- referentie dichtheid (saliniteit) :  $s_0$
- de coëfficiënten uit de benaderende formule voor  $\bar{s}/s_0$  (vgl. 3.11, uit par. 3.3):  $e_1, f_1, e_2, f_2, \beta_1, \beta_2$ . (in vgl. 3.11 aangeduid met  $E_1, F_1, E_2, F_2, \beta_1$  en  $\beta_2$ .)
- het verticale getij dat aan de zeerland wordt ingesteld:  $z$   
i.p.v.  $h_0$  = getijamplitude, waarbij een sinusvormig getij wordt ingesteld (zie de tabellen IV en volgende).

Bij berekening 5a, worden nog de grootheden  $c_0$  en  $c_1$  ingevoerd, die als volgt voorkomen in vergelijking (3.10):

$$Q_{2m}^{2n+1} = \frac{\{k3 \cdot a^2 - c_0 \cdot \frac{k2}{a} (Q_{2m}^{2n-1})^2\} \{h_{2m-1}^{2n} - h_{2m+1}^{2n}\} + Q_{2m}^{2n-1} \{1,5 (h_{2m+1}^{2n} + h_{2m-1}^{2n}) + \frac{k4 |Q_{2m}^{2n-1}|}{a} \frac{b+c_1 \cdot 2a}{b} + 2h + d' - 0,5 h_{2m+1}^{2n} - 0,5 h_{2m-1}^{2n} - 2h + d'\} - k5 \cdot a^3 r}{}$$

Door voor  $c_0$  en  $c_1$  waarden  $\neq 0$  in te vullen kon op eenvoudige wijze de invloed van de termen:

$$\frac{k2}{a} (Q_{2m}^{2n-1})^2 \text{ en } \frac{2a + b}{ab} \text{ worden}$$

onderzocht, zijnde in wezen de versnellingsterm  $u \frac{\partial u}{\partial x}$  en de hydraulische straal R. (zie vgl. (3.6) en (3.9) en (3.10)).

Dit is nagegaan bij berekening 5-3.



### 3.5 Voorbeeld rekenuitvoer

In het onderstaande wordt een voorbeeld gegeven van een rekenuitvoer. Hier-voor is de getijberekening nr. 5-5 genomen, waarbij de WES-goot wordt bekeken. (zie TABEL III).

#### Gegevens betreffende randvoorwaarden etc. voor berekening 5-5

algemene gegevens:

C (Chézy-coëfficiënt)	=	35,0 m <sup>1/2</sup> /s
d (= D1, gem diepte)	=	0,1524 m
w (middenstandsverhoging)	=	0 m
b (= B, breedte goot)	=	0,2285 m
$\Delta x$ (= DS, stapgrootte in plaats)	=	3,084 m
$\Delta t$ (=DT, stapgrootte in tijd)	=	2 sec.
T (getijperiode)	=	600 sec.
L (=L <sub>math.</sub> + $\Delta x$ )	=	103,632 m
$\bar{Q}_L$ (bovenafvoer)	=	-0,00034 m <sup>3</sup> /s

getij zeerand : behorende bij zeerandvoorwaarde AA (WES-goot proef # 11) (zie tabel VI)

$s_0 = 0$	$E2 = 0,01$
$E1 = 12,5$	$F2 = 0,03$
$F1 = 7,5$	$\beta2 = 0,15$
$\beta1 = 0,05$	

Berekend worden de volgende grootheden:

waterstanden: H1 ..... H31. (zie raster 2<sup>e</sup> computerberekening)

de gemiddelde snelheid: MU2 .... MU33

de afgeleide van de snelheid naar de plaats x : DU/DX3....DU/DX33.



KHO S.M. /WB2594	13-1-67	PAG.	6
1110	-0.0646	-0.0087	-0.0120
1120	0.0839	0.0655	0.0450
1130	-0.0031	-0.0061	-0.0093
1140	0.0986	0.0826	0.0684
1150	0.0006	-0.0035	-0.0057
1160	0.1036	0.0925	0.0668
1170	0.0034	-0.0002	-0.0019
1180	0.1136	0.0958	0.0659
1190	0.0041	0.0035	0.0023
1200	0.1171	0.0944	0.0627
	0.0038	0.0071	0.0066
	0.1005	0.0878	0.0588
	0.0113	0.0105	0.0105
	0.0971	0.0784	0.0524
	0.0134	0.0136	0.0138
	0.0832	0.0674	0.0459
	0.0147	0.0159	0.0168
	0.0630	0.0558	0.0373
	0.0132	0.0174	0.0194
	0.0432	0.0377	0.0284
	-0.0144	-0.0152	-0.0150
	0.0216	0.0071	0.0090
	-0.0108	-0.0112	-0.0112
	0.0305	0.0091	0.0091
	-0.0066	-0.0067	-0.0067
	0.0320	0.0068	0.0068
	-0.0021	-0.0020	-0.0020
	0.0317	0.0050	0.0050
	0.0022	0.0025	0.0025
	0.0285	0.0054	0.0054
	0.0066	0.0066	0.0066
	0.0259	0.0055	0.0055
	0.0106	0.0107	0.0106
	0.0250	0.0052	0.0052
	0.0143	0.0147	0.0147
	0.0214	0.0055	0.0055
	0.0177	0.0180	0.0180
	0.0154	0.0059	0.0059
	0.0203	0.0207	0.0207
	0.0100	-0.0066	-0.0066
	-0.0089	-0.0089	-0.0089
	-0.0086	-0.0086	-0.0086
	-0.0082	-0.0082	-0.0082
	-0.0015	-0.0015	-0.0015
	-0.0093	-0.0093	-0.0093
	-0.0022	-0.0022	-0.0022
	-0.0010	-0.0010	-0.0010
	-0.00130	-0.00130	-0.00130
	-0.00156	-0.00156	-0.00156
	-0.00101	-0.00101	-0.00101
	-0.00143	-0.00143	-0.00143
	-0.00095	-0.00095	-0.00095
	-0.00132	-0.00132	-0.00132
	-0.00129	-0.00129	-0.00129
	-0.00088	-0.00088	-0.00088
	-0.00077	-0.00077	-0.00077
	-0.00112	-0.00112	-0.00112
	-0.00066	-0.00066	-0.00066
	-0.00093	-0.00093	-0.00093
	-0.00029	-0.00029	-0.00029
	-0.00066	-0.00066	-0.00066

REKENTIID IN SEC 33

### 3.6 Invloed van de termen $\frac{\partial}{\partial x} (\bar{s}/s_0)$ en $u \frac{\partial u}{\partial x}$ op de getijbeweging

In de Fig. 2 t/m 4 is de invloed na te gaan van de definitie van de hydraulische straal en het meenemen van de versnellingsterm  $u \frac{\partial u}{\partial x}$  en de zoutterm  $\frac{\partial}{\partial x} (\bar{s}/s_0)$ .

Uit Fig. 2 blijkt dat de versnellingsterm  $u \frac{\partial u}{\partial x}$  geen invloed heeft op de getijbeweging evenmin als de zoutterm  $\frac{\partial}{\partial x} (\bar{s}/s_0)$  (zie Fig. 4).

Bij de 2<sup>e</sup> computerberekening is de hydraulische straal  $R = h$  (diepte) gesteld op grond van het feit, dat de berekening wordt toegepast voor de Rotterdamse Waterweg waarbij de diepte verwaarloosbaar klein is t.o.v. de breedte in de definitie van  $R$ . Bij toepassing van deze berekening op de WES-goot, waarbij de breedte ongeveer 2 x de diepte is, zou echter voor  $R$  genomen moeten worden:

$$R = \frac{b \cdot h}{b + 2h}$$

waarin  $b$  : breedte goot

$h$  : diepte

Bij de 5<sup>e</sup> computerberekening is de  $R$  als zodanig ingevoerd. In Figuur 3 wordt aangetoond, dat voor kleine  $b/h$  verhouding de benadering van  $R = h$  niet meer mag worden toegepast.

4 Invloed van de gootlengte (mathematische) op de getijbeweging (7e computerberekening)

Op grond van een reeks uitgevoerde getijberekeningen die ondergebracht zijn onder de zgn. 7<sup>e</sup> computerberekening, is de invloed van de gootlengte L onderzocht op de getijbeweging. De 7<sup>e</sup> computerberekening is identiek aan de 5<sup>e</sup> computerberekening. (par. 3) Beschouwd zijn de WES-goot en de W.W.goot (appendix I).

N.B. De zouttermen zijn in de desbetreffende vergelijkingen niet meegenomen ( $s_0 = 0$  zie par. 3)

In TABEL IV is een overzicht gegeven van de uitgevoerde berekeningen.

Fig. 5 en 6 geven de invloed van de gootlengte op de horizontale getijbeweging uitgedrukt in het estuariumgetal:

$$\frac{P_t \cdot F_0^2}{Q_f \cdot T} = \frac{u_0^3 \cdot b}{\pi Q_f \cdot g}$$

warin  $P_t$  : vloedvolume

$u_0$  : maximale vloodsnelheid in de mond (zie onderstaand figuur)

$b$  : breedte goot

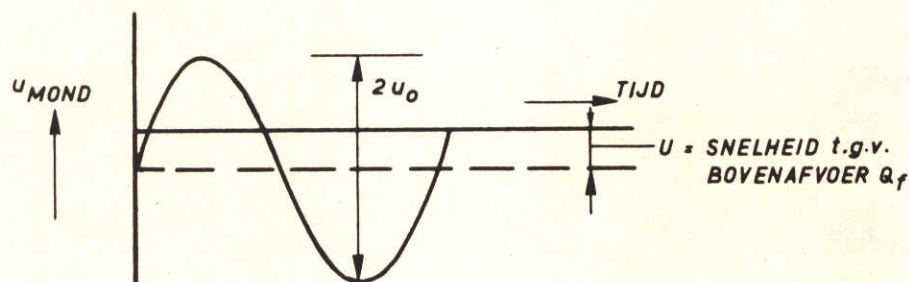
$Q_f$  : bovenafvoer

$T$  : getijperiode

$F_0$  : Froudegetal :  $F_0 = \frac{u_0}{\sqrt{gh}}$

$g$  : zwaartekrachtversnelling

$h$  : waterdiepte



$u_{mond}$  : snelheid berekend met de 7<sup>e</sup> computerberekening in de mond van de goot.

5 Opzet niet-homogene getijberekening

5.1 Afleiding van de basis vergelijkingen (1-dimensionaal)

Het verschijnsel wordt beschreven door de volgende vergelijkingen:

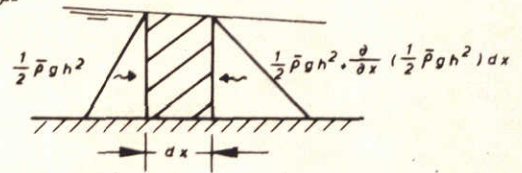
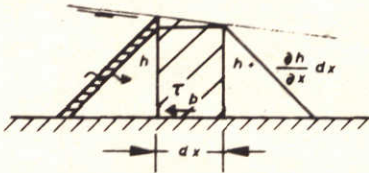
- a. Continuïteitsvgl. voor water
- b. Bewegingsvergelijking
- c. Diffusievergelijking (continuïteitsvgl. voor zout).

De continuïteitsvgl. is dezelfde als bij homogene getijberekening

$$\frac{\partial \bar{u}h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (5.1)$$

of  $b \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (5.2)$

De bewegingsvgl. is dezelfde als bij de homogene getijberekening, evenwel uitgebreid met een extra drukterm afkomstig van de verandering in de dichtheid met de plaats, alsmede de advectieterm  $u \frac{\partial u}{\partial x}$ .



Deze drukterm is groot:  $\frac{\partial}{\partial x} (\frac{1}{2} \bar{\rho} g h^2) dx = \frac{1}{2} g h^2 \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x} dx + \bar{\rho} g h \frac{\partial h}{\partial x} dx \quad (5.3)$

De bewegingsvergelijking wordt dan: ( $K = ma$ )

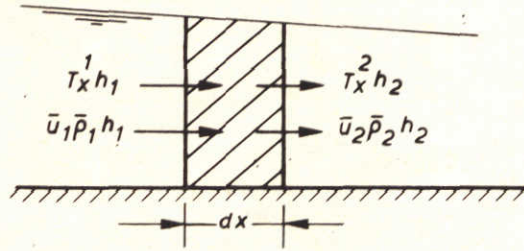
$$\bar{\rho} dx h \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\tau_b \cdot 0 \cdot dx}{b} + \frac{1}{2} g h^2 \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x} dx + \bar{\rho} g h \frac{\partial h}{\partial x} \cdot dx = 0$$

$$\text{of } \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{gh}{2\bar{\rho}} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{\bar{u}|\bar{u}|}{C^2 R} = 0 \quad (5.4)$$

Stelt men  $\bar{u} = Q/A$ , dan wordt vgl. (5.4)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2Q}{h} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + (g \cdot A - \frac{Q \cdot b}{A^2}) \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gh \cdot A}{2\bar{\rho}} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (5.5)$$

De diffusievergelijking wordt als volgt afgeleid:



Beschouw een elementje  $dx$ . De zoutconcentratie van dit elementje is afhankelijk van de hoeveelheid zout die erin gaat en eruit gaat als gevolg van convectief zouttransport ( $\bar{u}\bar{\rho}$ ) en diffusief zouttransport ( $T_x$ ).

De diffusievergelijking (zoutbalans) ziet er als volgt uit:

$$(\bar{u}_2 \bar{\rho}_2 h_2 - \bar{u}_1 \bar{\rho}_1 h_1) dt + (T_x^2 h_2 - T_x^1 h_1) dt + d(h\bar{\rho}) \cdot dx = 0 \quad (5.6)$$

of

$$\frac{\partial \bar{u}\bar{\rho}h}{\partial x} + \frac{\partial T_x \cdot h}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{\rho}}{\partial t} = 0 \quad (5.7)$$

Vergelijking (5.7) uitgewerkt, geeft:

$$\bar{\rho} \left\{ \frac{\partial h}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial h}{\partial x} + h \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right\} + h \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + h \frac{\partial T_x}{\partial x} + T_x \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + h\bar{u} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x} = 0 \quad (5.8)$$

Stelt men  $T_x = -D_{xt} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x}$ , dan wordt vgl. (5.8) na enige bewerking, waarbij vgl. (5.1) in vgl. (5.8) wordt gesubstitueerd:

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x} = \frac{1}{h} \cdot D_{xt} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \cdot \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x} + \frac{\partial D_{xt}}{\partial x} \cdot \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x} + D_{xt} \frac{\partial^2 \bar{\rho}}{\partial x^2} \quad (5.9)$$

Substitueert men in vgl. (5.9) bovendien  $\bar{u} = Q/A$ , ( $A = h \cdot b$ ) dan vindt men:

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \left( \frac{Q}{A} - \frac{1}{A} D_{xt} \frac{\partial A}{\partial x} - \frac{\partial D_{xt}}{\partial x} \right) \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x} = D_{xt} \frac{\partial^2 \bar{\rho}}{\partial x^2} \quad (5.10)$$

5.2 Afleiding differentievergelijkingen ten behoeve van getijberekening via de computer (zie ref. 1)

Voor het opstellen van de differentievergelijkingen vormen de volgende differentiaalvergelijkingen het uitgangspunt:

Bewegingsvergelijking vgl. (5.5)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2Q \cdot b}{A} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + \left( g \cdot A - \frac{Q \cdot b}{A^2} \right) \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g \cdot h \cdot A}{2\bar{\rho}} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2_{AR}} = 0 \quad (5.11)$$

Continuïteitsvergelijking vgl. (5.2)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{b} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (5.12)$$

Diffusievergelijking voor zout (zoutbalans) (vgl. 5.10)

$$1) \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \left( \frac{Q}{A} - \frac{D}{h} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial D}{\partial x} \right) \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x} = D_{xt} \frac{\partial^2 \bar{\rho}}{\partial x^2} \quad (5.13)$$

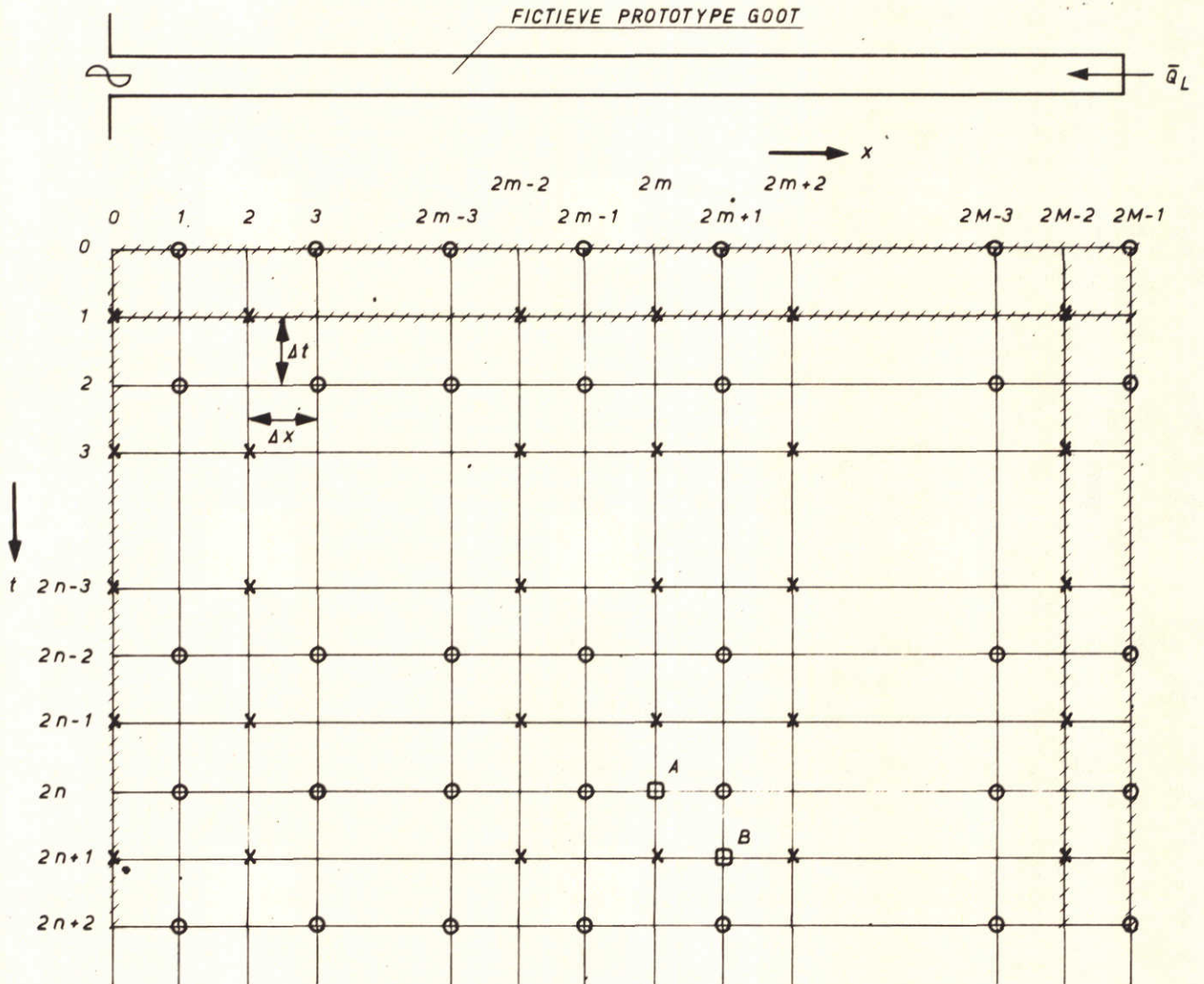
Voor de berekening wordt weer eenzelfde raster aangehouden als bij de 2<sup>e</sup> computerberekening (zie blz. 40).

De punten waar de waterdiepte  $h$  en de dichtheid  $\bar{\rho}$  worden bepaald zijn aangeduid met:  $x$ . De punten waar het debiet  $Q$  wordt bepaald, zijn aangeduid met:  $o$ .

Gestel dat e.e.a. doorgerekend is tot het tijdsniveau  $2n \cdot \Delta t$ . Voor het bepalen van de waterstand op  $(2n+1) \cdot \Delta t$  wordt gebruik gemaakt van de continuïteitsvergelijking (vgl. (5.12)). Deze schrijft men daartoe als volgt (men beschouwt de algemene waarde voor  $x$ :  $2m \cdot \Delta x$ , zie punt A in het raster).

1) In het vervolg wordt  $D_{xt}$  aangeduid met  $D$ .





$$\frac{(h_{2m}^{2n+1} - h_{2m}^{2n-1})}{2\Delta t} + \frac{1}{b} \cdot \frac{Q_{2m+1}^{2n} - Q_{2m-1}^{2n}}{2\Delta x} = 0$$

Vervolgens wordt de dichtheid  $\bar{\rho}$  bepaald met behulp van de diffusievergelijking voor het tijdsniveau  $(2n+1) \cdot \Delta t$ . Daartoe wordt vgl. (5.13) als volgt geschreven (men beschouwt de algemene waarde voor  $x$ :  $2m \cdot \Delta x$ , zie punt A in het raster)

$$\begin{aligned} & \frac{\rho_{2m}^{-2n+1} - \rho_{2m}^{-2n-1}}{2\Delta t} + \frac{1}{2} \left[ \left\{ \frac{Q_{2m}^{2n}}{A_{2m}^{2n}} - \frac{D_{2m}}{h_{2m}^{2n-1}} \left( \frac{h_{2m+1}^{2n-1} - h_{2m-1}^{2n-1}}{4 \cdot \Delta x} \right) \right. \right. \\ & - \left. \frac{D_{2m+2} - D_{2m-2}}{4\Delta x} \right\} \left( \frac{\rho_{2m+1}^{-2n-1} - \rho_{2m-1}^{-2n-1}}{4\Delta x} \right) + \left\{ \frac{Q_{2m}^{2n}}{A_{2m}^{2n}} - \frac{D_{2m}}{h_{2m}^{2n+1}} \right. \\ & \left. \left. x \left( \frac{h_{2m+2}^{2n+1} - h_{2m-2}^{2n+1}}{4\Delta x} \right) - \frac{D_{2m+2} - D_{2m-2}}{4\Delta x} \right\} \left( \frac{\rho_{2m+2}^{-2n+1} - \rho_{2m-2}^{-2n+1}}{4\Delta x} \right) \right] = \\ & = \frac{1}{2} D_{2m} \left\{ \frac{\left( \frac{\rho_{2m+2}^{-2n-1}}{\rho_{2m+2}^{-2n-1}} - 2 \frac{\rho_{2m}^{-2n-1}}{\rho_{2m}^{-2n-1}} + \frac{\rho_{2m-2}^{-2n-1}}{\rho_{2m-2}^{-2n-1}} \right) + \left( \frac{\rho_{2m+2}^{-2n+1}}{\rho_{2m+2}^{-2n+1}} - 2 \frac{\rho_{2m}^{-2n+1}}{\rho_{2m}^{-2n+1}} + \frac{\rho_{2m-2}^{-2n+1}}{\rho_{2m-2}^{-2n+1}} \right)}{4(\Delta x)^2} \right\} \end{aligned} \quad (5.15)$$

In bovenstaande vgl. geldt:

$D$  alleen afhankelijk van  $x$ . en wordt voorgesteld door:

$$D = D_{xt} = D_0 \left( 1 - \frac{x}{L} \right)^n$$

waarin:  $n$  en  $D_0$  : nader te kiezen grootheden

$L$  : de gootlengte  $L_{\text{math.}} - \Delta x$

$L_{\text{math}}$  : lengte van de fictieve prototype goot

In vergelijking (5.15) zijn voorts drie termen onbekend, t.w.

$$\rho_{2m-2}^{-2n+1}, \rho_{2m}^{-2n+1} \quad \text{en} \quad \rho_{2m+2}^{-2n+1}$$

Gaat men echter van de rand  $x=0$  uit, waar de dichtheid is gegeven (zie onder), dan is  $\bar{\rho}_{2m-2}^{2n+1}$  een bekende grootheid. Gaat men uit van de rand  $x=L+\Delta x$  1), waar eveneens de dichtheid is gegeven, dan is  $\bar{\rho}_{2m+2}^{2n+1}$  bekend.

Voor het oplossen van de impliciet geschreven vergelijking (5.15) moet men dus vgl. (5.15) uitschrijven voor alle  $x$ -waarden. Dit geeft dan een stelsel lineaire algebraïsche vergelijkingen. De coëfficiënten van de onbekende grootheden in dit systeem, vormen een tri-diagonale matrix. De oplossing gaat volgens de eliminatie-methode van Crout. (ref. 4)

Voor de bepaling van het debiet  $Q$  op het tijdstip  $(2n+2)\Delta t$  wordt uitgegaan van de bewegingsvergelijking (vergelijking (5.11)), die daartoe als volgt wordt geschreven (men beschouwt de algemene waarde voor  $x : (2m+1)\Delta x$ , zie punt B)

$$\begin{aligned} & \frac{Q_{2m+1}^{2n+2} - Q_{2m+1}^{2n}}{2\Delta t} - \frac{2 \cdot Q_{2m+1}^{2n} \cdot b}{A_{2m+1}^{2n}} \left( \frac{h_{2m}^{2n+1} - h_{2m}^{2n-1} + h_{2m+2}^{2n+1} - h_{2m+2}^{2n-1}}{4\Delta t} \right) + \\ & + \left( g A_{2m+1}^{2n} - \frac{(Q_{2m+1}^{2n})^2 b}{(A_{2m+1}^{2n})^2} \right) \left( \frac{h_{2m+2}^{2n+1} - h_{2m}^{2n+1}}{2\Delta x} \right) + \left( \frac{g \cdot h_{2m+1}^{2n+1} \cdot A_{2m+1}^{2n+1}}{2\bar{\rho}_{2m+1}^{2n+1}} \right) x \\ & x \left( \frac{\bar{\rho}_{2m+2}^{-2n+1} - \bar{\rho}_{2m}^{-2n+1}}{2\Delta x} \right) + \frac{g}{C \cdot R \cdot A_{2m+1}^{2n+1}} \left| Q_{2m+1}^{2n} \right| \left| Q_{2m+1}^{2n+2} \right| = 0 \quad (5.16) \end{aligned}$$

$$\text{waarin: } - A_{2m+1}^{2n} = b \cdot h_{2m+1}^{2n} = b \left( \frac{h_{2m}^{2n-1} + h_{2m+2}^{2n-1} + h_{2m}^{2n+1} + h_{2m+2}^{2n+1}}{4} \right)$$

$$- h_{2m+1}^{2n+1} \cdot A_{2m+1}^{2n+1} = b \cdot (h_{2m+1}^{2n+1})^2 = b \left( \frac{h_{2m+2}^{2n+1} + h_{2m}^{2n+1}}{2} \right)^2$$

$$- \bar{\rho}_{2m+1}^{-2n+1} = \frac{1}{2} (\bar{\rho}_{2m}^{-2n+1} + \bar{\rho}_{2m+2}^{-2n+1})$$

$$- A_{2m+1}^{2n+1} = b \frac{h_{2m+2}^{2n+1} + h_{2m}^{2n+1}}{2}$$

1) zie toelichting bij rekenprogramma

N.B. In de tweede term wordt niet punt B beschouwd ( $(2m+1)\Delta x$ ;  $(2n+1)\Delta t$ ), maar ( $(2m+1)\Delta x$ ;  $2n\Delta t$ ). Hierdoor wordt een kleine fout geïntroduceerd.

De randvoorwaarden worden gegeven in:

$$x=0 : h = f(t) \text{ en } \bar{\rho} = f(t)$$

$$x = (2M-2)\Delta x \text{ (zie het raster) : } \bar{\rho} = f(t)$$

$$\text{en } x = (2M-1)\Delta x : Q = \bar{Q}_L \text{ (bovenafvoer)}$$

terwijl tevens de beginvoorwaarde voor  $\bar{\rho}$ ,  $h$  en  $Q$  worden gegeven ( $t=0$  of  $t=1\Delta t$ ).

Zie ook de gearceerde niveau's in het raster (blz. 40).

5.3 Rekenprogramma (8e computerberekening)

```

==a1,

1 'comment' 26 aug 67 getijberekening voor een homogene waterbeweging
  in een rivier model met crout methode ;

'begin' 'integer' i,j,ij,k,tel,ir,n,m,nm,nz,nr,nrij,no,per,stap,
        kr,dr,r,to,tijd,time;
5  'real' b,d,lo,dt,t,ds,ts,g,c,alfa,w,z,aa,bb,cc,det,ql,
        gds,gc2,k2,k3,k4,k5,hg,ht,hh,hv,htg,ab,db,dd;
  to:=klok ;
  read(no,lo,d,w,b,c,ds,t,dt,ql,alfa,per,stap,kr,dr) ;
  write('getijberekening ; vergelijkingen nummer :-');
10  vasko(3,0,no); nlcr(z);
  g:=9.81 ; d:=d+w ;
  m:=0.5*lo/ds+1 ; n:=0.5*alfa*t/dt ; nrij:=m-2 ;
  ts:=dt/ds ; gds:=0.25*g/ds ; gc2:=g/(c*c) ;
15  'begin' 'array' dxx,hdx,u,hq,hr,ac[1:m],lr,rr,x,y[0:alfa*per],
        h,q,rho[1:2,1:m],hp,a[1:m,1:3] ;
  read(hdx,dxx) ;
  'for' i:=1 'step' 1 'until' m 'do' read(rho[1,i]) ;

20  k2:=ts/b ; k3:=0.5*gds/b ; k4:=0.25*gc2/(b*c) ;
  'for' i:=0 'step' 1 'until' alfa*per 'do'
  x[i]:=i*step ;
  'for' i:=0 'step' 1 'until' per-1 'do'
  'begin' read(z) ;
  'for' j:=0 'step' 1 'until' alfa-1 'do'
  y[i+j*per]:=z+d ;
25  'end' ;
  y[alfa*per]:=y[0] ; z:=y[0]-d ;
  'for' i:=1 'step' 1 'until' m 'do'
  'begin' h[1,i]:=z+d ;
  q[1,i]:=0 ;
30  'end' ;
  'for' i:=0 'step' 1 'until' per-1 'do'
  'begin' read(w) ;
  'for' j:=0 'step' 1 'until' alfa-1 'do'
  lr[i+j*per]:=w ;
35  'end' ;
  lr[alfa*per]:=lr[0] ;
  'for' i:=0 'step' 1 'until' per-1 'do'
  'begin' read(w) ;
  'for' j:=0 'step' 1 'until' alfa-1 'do'
  rr[i+j*per]:=w ;
40  'end' ;
  rr[alfa*per]:=rr[0] ;
  i:=j:=ij:=tel:=ir:=time:=0 ; r:=kr/2 ;

45  lab1: i:=i+1 ; 'if' i 'greater' n 'then' 'goto' af ;
  lab2: 'if' x[tel] 'not greater' i*2
  'and' 2*i 'not greater' x[tel+1] 'then'
  'begin'
  h[2,1]:= (y[tel+1]*(2*i-x[tel])+y[tel]*(x[tel+1]-2*i))
  / (x[tel+1]-x[tel]) ;
  rho[2,1]:= (lr[tel+1]*(2*i-x[tel])+lr[tel]*(x[tel+1]-
  2*i))/(x[tel+1]-x[tel]) ;
  rho[2,m]:= (rr[tel+1]*(2*i-x[tel])+rr[tel]*(x[tel+1]-
  2*i))/(x[tel+1]-x[tel]) ;
  'end' 'else'
  'begin'
  tel:=tel+1 ;
  'goto' lab2
  'end' ;

```

inlezen vert. getij  
in x=0

beginvoorwaarden  
voor h en Q

inlezen randvw.  
dichtheid in x=0  
(lr=linkerrand  
rho)

inlezen randvw.  
dichtheid in  
x-2M (rr=rechter-  
rand rho) laatste punt

interpolatie progr.  
voor bepalen  
waterstand en  
dichtheden langs de  
betreffende randen  
voor tussen-  
gelegen punten

berekening h  
op volgende  
t-niveau via  
cont.vgl.  
water

```
'comment' rekengedeelte met crout methode ;
'for' k:=2 'step' 1 'until' m 'do'
h[2,k]:=k2*(q[1,k-1]-q[1,k])+h[1,k] ;
```

```
'comment' rho bepaling m b v methode van gauss eliminatie
voor een bandmatrix ;
tijd:=klok;
u[2]:=(q[1,2]+q[1,1])/(b*(h[1,2]+h[2,2])) ;
bb:=-hdx[2]*0.125/(ds*ds); ab:=0.5/dt-2*bb;
aa:=(u[2]-dxx[2]-hdx[2]*(h[2,3]-h[2,1])/(h[2,2]*4*ds))*0.125/ds ;

cc:=-bb*(rho[1,3]-2*rho[1,2]+rho[1,1])
-0.125*(u[2]-0.25*hdx[2]*(h[1,3]-h[1,1])
/(h[1,2]*ds))*(rho[1,3]-rho[1,1])/ds ;
a[1,1]:=ab ;
a[1,2]:=aa+bb ;
ac[1]:=(aa-bb)*rho[2,1]+cc+0.5*rho[1,2]/dt ;
```

```
'for' k:=3 'step' 1 'until' m-2 'do'
'begin'
u[k]:=(q[1,k]+q[1,k-1])/(b*(h[1,k]+h[2,k])) ;
bb:=-hdx[k]*0.125/(ds*ds); ab:=0.5/dt-2*bb;
aa:=(u[k]-dxx[k]-hdx[k]*(h[2,k+1]-h[2,k-1])/(h[2,k]*4*ds))*0.125/ds ;
```

```
cc:=-bb*(rho[1,k+1]-2*rho[1,k]+rho[1,k-1])
-0.125*(u[k]-0.25*hdx[k]*(h[1,k+1]-h[1,k-1])
/(h[1,k]*ds))*(rho[1,k+1]-rho[1,k-1])/ds ;
```

```
a[k-1,1]:=bb-aa ;
a[k-1,2]:=ab ;
a[k-1,3]:=aa+bb ;
ac[k-1]:=cc+0.5*rho[1,k]/dt ;
'end' ;
```

```
u[m-1]:=(q[1,m-1]+q[1,m-2])/(b*(h[1,m-1]+h[2,m-1])) ;
bb:=-hdx[m-1]*0.125/(ds*ds); ab:=0.5/dt-2*bb;
aa:=(u[m-1]-dxx[m-1]-hdx[m-1]*(h[2,m]-h[2,m-2])/(h[2,m-1]*4*ds))*0.125/ds ;
s ;
```

```
cc:=-bb*(rho[1,m]-2*rho[1,m-1]+rho[1,m-2])
-0.125*(u[m-1]-0.25*hdx[m-1]*(h[1,m]-h[1,m-2])
/(h[1,m-1]*ds))*(rho[1,m]-rho[1,m-2])/ds ;
```

```
a[m-2,1]:=(bb-aa) ;
a[m-2,2]:=ab ;
ac[m-2]:=-aa+bb*rho[2,m]+cc+0.5*rho[1,m-1]/dt ;
```

```
a[1,3]:=a[m-2,3]:=0 ;
```

```
hp[1,1]:=a[1,1];
hq[1]:=a[1,2]/hp[1,1];
'for' k:=2 'step' 1 'until' m-3 'do'
'begin'
```

```
hp[k,1]:=a[k,1];
hp[k,2]:=a[k,2]-hp[k,1]*hq[k-1];
hq[k]:=a[k,3]/hp[k,2];
'end' ;
```

```
hp[m-2,1]:=a[m-2,1];
hp[m-2,2]:=a[m-2,2]-hp[m-2,1]*hq[m-3];
```

```
hr[1]:=ac[1]/hp[1,1];
'for' k:=2 'step' 1 'until' m-2 'do'
nr[k]:=(ac[k]-hp[k,1]*hr[k-1])/hp[k,2];
```

```
rho[2,m-1]:=hr[m-2];
'for' k:=m-2 'step' -1 'until' 2 'do'
rho[2,k]:=hr[k-1]-hq[k-1]*rho[2,k+1] ;
time:=time+klok-tijd ;
```

berekening  
dichtheid voor  
volgende  
t-niveau volgens  
de eliminatie  
(methode

Crout)

```

ber. Q op volgende
t-niveau
    'for' k:=1 'step' 1 'until' m-1 'do'
    'begin'
    hg:=0.2*(h[1,k]+h[1,k+1]+h[2,k]+h[2,k+1]) ;
    ht:=0.5*(h[2,k]-h[1,k]+h[2,k+1]-h[1,k+1]) ;
    hh:=0.2*(h[2,k]+h[2,k+1])*(h[2,k]+h[2,k+1]) ;
    hv:=(h[2,k+1]+h[2,k])*(h[2,k+1]-h[2,k]) ;
    htg:=(1+ht/hg) ;
    rivier:q[2,k]:=(q[1,k]+2*q[1,k]*ht/hg+(q[1,k]*q[1,k]/(b*hh)
    -g*b*0.5*(h[2,k]+h[2,k+1]))*t*(h[2,k+1]-h[2,k])
    -g*hh*b*t*(rho[2,k+1]-rho[2,k])/
    (rho[2,k+1]+rho[2,k]))/(1+(2*g*d*t*(b+h[2,k]+h[2,k+1])
    *abs(q[1,k]))/(c*c*b*b*hh));
    verder:'end' ;
randvw. bovenafvoer q[2,m]:=ql ;

ber. waarden
worden voor de
berekening v.h.
volgende t-niveau als
begin-waarde
gesteld
    Labz: 'if' 1 'not equal' r 'then' 'goto' Labz 'else' 'goto' Labz ;
    'for' k:=1 'step' 1 'until' m 'do'
    'begin'
    h[1,k]:=h[2,k] ;
    q[1,k]:=q[2,k] ;
    rho[1,k]:=rho[2,k] ;
    'end' ;
    'goto' Lab1 ;
    Labz: 'for' k:=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,14,18 'do'
    vasko(2,3,h[2,k]-d) ; nLcr(1) ; space(3) ;
    'for' k:=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,14,18 'do' vasko(4,1,q[2,k]) ;
    nLcr(1) ;
    'for' k:=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,14,18 'do'
    vasko(4,1,rho[2,k]) ;
    nLcr(2) ;

Rekenuitvoer
(zie par. 5.4)

verhoging tijdstip
van uitprinten
    r:=r+0.3*d*r ; 'goto' Labz ;
    uit: write('coefficientenmatrix is singulier ');
    af: print('!rekenijd bandmatrix berekening is ',time);
    print('totale rekenijd in sec ',klok-t0);
    'end' ;
    'end' ;

```

Toelichting

De dichtheden, waterstanden en debieten worden iedere  $2\Delta x$  berekend. In het rekenprogramma worden derhalve deze grootheden als "array" geschreven, lopende van 1 tot  $m$ , (zie regel 15 in het programma). Aan de zeerand ( $x=0$ ) wordt de waterstand  $h$  opgedrukt en aan de rivierrand het debiet (bovenafvoer)  $\bar{Q}_L$ . Daar de  $x$ -niveau's waar de debieten en de waterstanden (met de dichtheden) worden berekend,  $\Delta x$  ten opzichte van elkaar verschoven zijn, heeft het raster een lengte van een oneven aantal malen  $\Delta x$ :  $(2m-1)\Delta x$ , waarbij  $m$  gedefinieerd wordt door

$$m = 0,5 \times l_0 / ds + 1 \quad (\text{regel 12}) \quad (5.17)$$

waarin  $l_0 = L$ : de op te geven gootlengte  
 $ds = \Delta x$

Dit laatste houdt in, dat  $L$  een veelvoud van  $2\Delta x$  moet zijn.

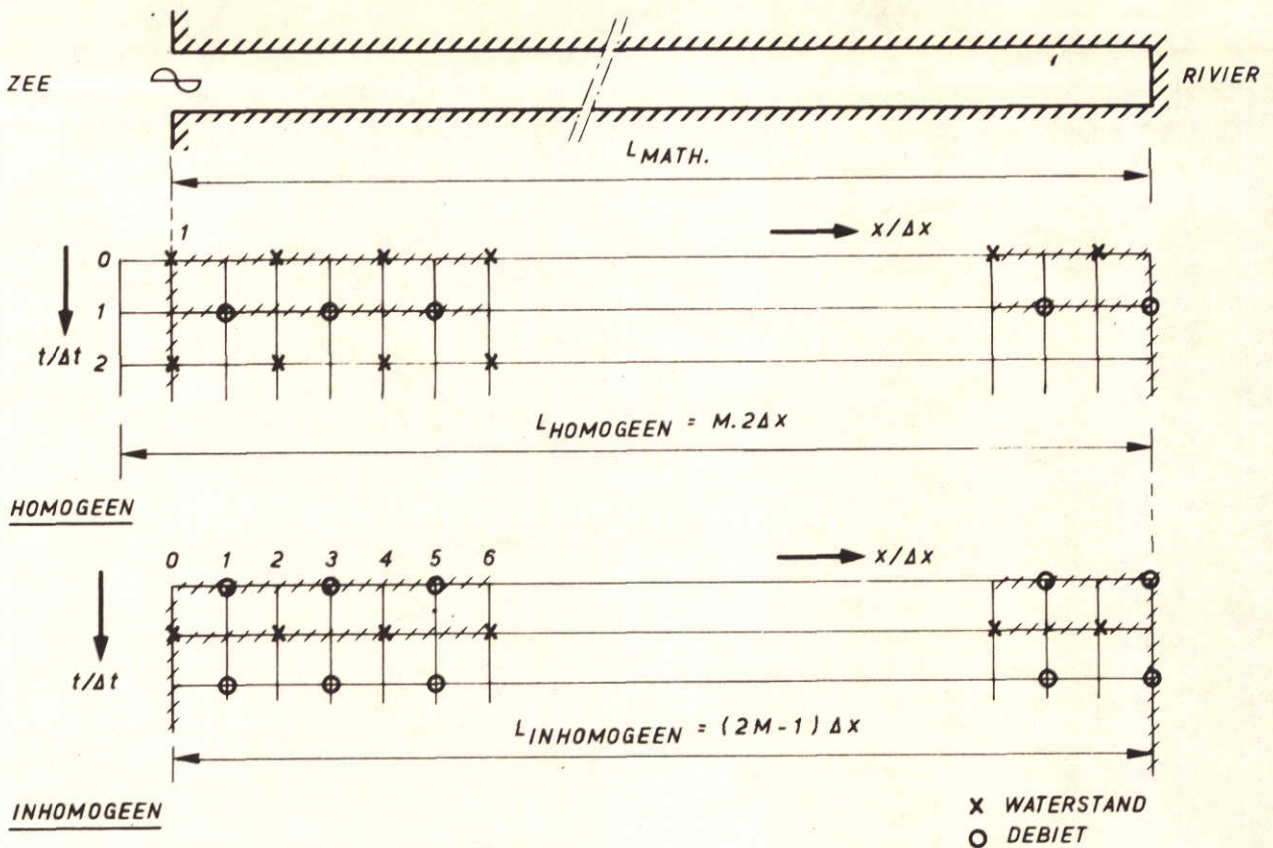
Als nu uitgegaan wordt van een fictieve prototype goot, met lengte  $L_{\text{math}}$ , waarvan de getijgoot een model is, en aan de zeerand wordt het vertikale getij als functie van de tijd gegeven, terwijl aan de rivierrand een constante bovenafvoer wordt ingesteld, dan kan men de hieronderstaande vergelijking maken tussen de homogene en de inhomogene getijberekening. (blz. 48) Hiertoe wordt uitgegaan van de rasters (blz. 5 en blz. 40) en de opgedrukte randen.

Bij de homogene berekening wordt een lengte  $L = 2M\Delta x$  ingevoerd in de berekening, terwijl volgens vgl. (5.17) voor de inhomogene berekening voor dezelfde fictieve goot wordt opgegeven  $L = (2M-2)\Delta x$ . Immers de lengte van de fictieve prototype goot is dezelfde als het raster bij de inhomogene getijberekening:  $(2M-1)\Delta x$ . Hierin vgl. (5.17) substitueren geeft:

$$L_{\text{math}} = L + \Delta x = (2M-1)\Delta x, \text{ zodat } L = (2M-2)\Delta x.$$

Bij een vergelijking van b.v. de waterstanden gevonden bij de homogene berekening met die gevonden bij de inhomogene berekening moet met het bovenstaande rekening worden gehouden.





In het programma wordt in regel 16 de waarde voor  $D_{xt}$  (aangeduid met  $hdx$ ) en  $\frac{d}{dx} (D_{xt})$  (aangeduid met  $dxx$ ) voor de  $x$ -niveau's (1 :  $m$ ) ingelezen. Met de hand zijn de desbetreffende waarden van tevoren bepaald (zie reken-uitvoer met toelichting par. 5.4). Ook de waterstand  $h$  in  $x = 0$  wordt ingelezen (geen sinusvormig getij) voor een aantal tijdstippen. Per getijperiode worden dezelfde waarden opgedrukt. Ook de dichtheden worden aan de randen ingelezen voor een aantal tijdstippen. (doorgaans 20). Zie verder de toelichtende tekst naast het programma.

#### 5.4 Voorbeeld rekenuitvoer

In het onderstaande wordt een voorbeeld gegeven van een rekenuitvoer. Hier-voor is de getijberekening nr. 8-53 genomen. De invoergegevens t.a.v. dichtheid, waterstand, diffusiecoëfficiënt  $D_{xt}$  etc. worden in de onderstaande tabellen weergegeven.

#### Gegevens betreffende randvoorwaarden etc. voor berekening 8-53

algemene gegevens:  $C$  (Chézy-coëfficiënt) =  $60 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{s}$

$D_o$	= 400	} $D_{xt} + D_o \left(1 - \frac{x}{L}\right)^n$
$n$	= 2	

b (breedte goot)	= 440 m
d (diepte goot)	= 12,50 m
$\Delta x$ (stapgrootte in plaats)	= 2340 m
$\Delta t$ (stapgrootte in tijd)	= 149 sec.
T (getijperiode)	= 44.700 sec.
L (= $L_{\text{math}} - \Delta x$ )	= $42 \cdot \Delta x = 98.280$ m.
$\bar{Q}_L$ (bovenafvoer)	= $-1000$ m <sup>3</sup> /s

getij zeerand } behorende bij zeerand voorwaarde  
 dichtheidsverloop zeerand } LLL (zie de hieronderstaande tabel)

Getij LLL

tijdstap <sup>1)</sup> (t/ $\Delta t$ )	$h_1$ (zeerand) t.o.v. de middenstand	$\rho_1$ (zeerand)
0	- 0,32 m	1018,0 kg/m <sup>3</sup>
15	- 0,56	1016,0
30	- 0,68	1013,7
45	- 0,65	1010,9
60	- 0,62	1008,8
75	- 0,63	1007,7
90	- 0,67	1007,5
105	- 0,67	1007,3
120	- 0,61	1007,2
135	- 0,50	1007,4
150	- 0,35	1008,0
165	- 0,06	1009,0
180	+ 0,40	1011,6
195	+ 0,70	1015,7
210	+ 0,77	1018,6
225	+ 0,72	1020,3
240	+ 0,64	1021,5
255	+ 0,49	1021,3
270	+ 0,22	1020,4
285	- 0,06	1019,2
300	- 0,32	1018,0

1) z.o.z.

1) één getijperiode  $T = 300 \times 149 = 44700 \text{ sec.} = 12^u.25^{\text{min.}}$

Gegevens betreffende  $D_{xt}$  ( $hdx$ ) en  $\frac{d D_{xt}}{dx}$  ( $dxx$ )

$x/2.\Delta x$ <sup>2)</sup>	$D_{xt}$ (1:m) <sup>2)</sup>	$\frac{d D_{xt}}{dx}$ (1:m) <sup>2)</sup>
0	400	- 0,0081
1	364	- 0,0078
2	328	- 0,0074
3	296	- 0,0070
4	264	- 0,0066
5	232	- 0,0062
6	204	- 0,0059
7	178	- 0,0054
8	154	- 0,0050
9	130	- 0,0047
10	110	- 0,0043
11	92	- 0,0039
12	74	- 0,0035
13	58	- 0,0031
14	44	- 0,0027
15	33	- 0,0023
16	23	- 0,0020
17	14	- 0,0016
18	8	- 0,0012
19	4	- 0,0008
20	1	- 0,0004
21	0	0

2) Voor  $D_{xt}$  en  $\frac{d D_{xt}}{dx}$  moet de array (1:m) worden ingelezen.  $L = 42\Delta x$  dus  $m = 22$  (zie het rekenprogramma)

M3522, KHO, S, M, i

19-09-67

PAG, 31

U=150, R=5, GETIJBEREKENING HW NO=8 GETIJ LLL

Uitvoer

waterstanden: h<sub>0</sub> h<sub>2</sub> h<sub>4</sub> h<sub>6</sub> h<sub>8</sub> h<sub>10</sub> h<sub>12</sub> h<sub>14</sub> h<sub>16</sub> h<sub>18</sub> h<sub>26</sub> h<sub>34</sub>

debieten : Q<sub>1</sub> Q<sub>3</sub> Q<sub>5</sub> Q<sub>7</sub> Q<sub>9</sub> Q<sub>11</sub> Q<sub>13</sub> Q<sub>15</sub> Q<sub>17</sub> Q<sub>19</sub> Q<sub>27</sub> Q<sub>35</sub>

dichtheden : P<sub>0</sub> P<sub>2</sub> P<sub>4</sub> P<sub>6</sub> P<sub>8</sub> P<sub>10</sub> P<sub>12</sub> P<sub>14</sub> P<sub>16</sub> P<sub>18</sub> P<sub>26</sub> P<sub>34</sub>

tijdstap t/ $\Delta$ t GETIJBEREKENING 3 VERGELIJKINGEN NUMMER 8 = 53  
1510=

veelvoud van 300  
+10

1520	0,480 = 0,288 = 0,087 0,067 0,202 0,341 0,476 0,373 0,662 0,746 1,095 1,305 0,5927,9 = 5713,3 = 5476,2 = 5236,6 = 5034,3 = 4821,8 = 4599,7 = 4299,7 = 4055,2 = 3823,4 = 3654,4 = 3437,6 1016,7 1013,9 1007,5 1004,4 1002,3 1001,0 1000,2 999,9 999,9 1000,0 1000,0 1000,0
1530	0,600 = 0,438 = 0,244 0,083 0,056 0,181 0,294 0,396 0,493 0,583 0,925 1,107 0,002,3 = 5937,3 = 5779,7 = 5552,1 = 5321,9 = 5112,1 = 4921,4 = 4725,8 = 4500,2 = 4256,7 = 4089,9 = 3886,5 1015,2 1012,2 1006,1 1003,7 1001,8 1000,8 1000,1 999,9 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0
1540	0,680 = 0,519 = 0,343 0,206 0,081 0,039 0,149 0,250 0,344 0,428 0,736 0,868 0,5927,9 = 5811,1 = 5674,7 = 5558,6 = 5431,8 = 5257,8 = 5083,6 = 4865,9 = 4669,3 = 4466,1 = 4245,6 = 4069,7 1013,7 1010,5 1004,8 1003,1 1001,4 1000,5 1000,0 999,9 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0
1550	0,660 = 0,536 = 0,403 0,298 0,180 0,067 0,067 0,031 0,117 0,197 0,271 0,534 0,633 0,5908,2 = 5500,6 = 5485,5 = 5435,2 = 5318,0 = 5164,5 = 5010,6 = 4846,3 = 4652,1 = 4437,5 = 4157,6 = 3829,5 1011,8 1009,0 1003,7 1002,6 1001,0 1000,3 999,9 999,9 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0
1560	0,640 = 0,535 = 0,417 0,328 0,236 0,157 0,083 0,008 0,066 0,066 0,128 0,332 0,414 0,5130,2 = 5143,8 = 5123,4 = 5073,0 = 4996,8 = 4912,5 = 4802,8 = 4647,9 = 4449,7 = 4234,7 = 3972,2 = 3566,8 1016,2 1007,7 1002,9 1002,2 1000,7 1000,2 999,9 999,9 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0
1570	0,620 = 0,535 = 0,436 0,363 0,287 0,222 0,164 0,113 0,068 0,026 0,142 0,217 0,4766,7 = 4768,0 = 4735,2 = 4687,5 = 4618,3 = 4517,1 = 4384,5 = 4233,5 = 4080,7 = 3916,7 = 3785,2 = 3516,0 1008,8 1006,6 1002,2 1001,9 1000,5 1000,1 999,8 999,9 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0
1580	0,627 = 0,547 = 0,462 0,406 0,349 0,299 0,254 0,213 0,177 0,144 0,024 0,037 0,4444,5 = 4413,8 = 4342,6 = 4260,4 = 4174,6 = 4073,3 = 3958,8 = 3824,1 = 3680,3 = 3522,7 = 3286,2 = 2962,7 1008,1 1005,6 1001,7 1001,6 1000,3 1000,0 999,8 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0
1590	0,643 = 0,578 = 0,509 0,465 0,414 0,374 0,337 0,306 0,278 0,252 0,164 0,118 0,4062,5 = 4021,9 = 3962,7 = 3886,0 = 3791,2 = 3679,2 = 3563,8 = 3440,3 = 3311,5 = 3168,7 = 2961,4 = 2603,4 1007,6 1004,8 1001,3 1001,4 1000,1 1000,0 999,9 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0
1600	0,670 = 0,610 = 0,555 0,521 0,480 0,449 0,420 0,396 0,371 0,349 0,282 0,257 0,3713,8 = 3663,2 = 3597,0 = 3521,3 = 3435,2 = 3338,6 = 3238,9 = 3114,9 = 2990,3 = 2855,6 = 2614,4 = 2148,2 1007,5 1004,0 1001,0 1001,3 1000,0 1000,0 999,8 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0
1610	0,670 = 0,626 = 0,592 0,573 0,541 0,517 0,494 0,476 0,458 0,442 0,388 0,366 0,3267,3 = 3255,8 = 3234,9 = 3188,6 = 3113,8 = 3024,5 = 2921,8 = 2817,2 = 2706,4 = 2591,2 = 2337,2 = 1255,2 1007,4 1003,4 1000,8 1001,1 999,9 999,9 999,9 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0
1620	0,650 = 0,625 = 0,608 0,599 0,581 0,572 0,561 0,549 0,535 0,523 0,480 0,454 0,2780,4 = 2826,4 = 2826,5 = 2792,6 = 2749,2 = 2703,3 = 2638,3 = 2554,5 = 2452,0 = 2344,2 = 2176,8 = 1216,6 1007,3 1002,8 1000,7 1001,3 999,8 999,9 999,9 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0
1630	0,610 = 0,593 = 0,591 0,603 0,600 0,604 0,602 0,599 0,596 0,591 0,560 0,528 0,2242,5 = 2292,5 = 2328,8 = 2332,8 = 2366,5 = 2346,1 = 2298,7 = 2243,9 = 2185,8 = 2119,1 = 1653,3 = 1184,7 1007,2 1002,4 1000,6 1000,9 999,7 1000,0 999,9 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0
1640	0,537 = 0,533 = 0,552 0,578 0,589 0,602 0,614 0,625 0,632 0,634 0,621 0,593 0,1607,5 = 1698,8 = 1785,9 = 1853,0 = 1890,1 = 1904,3 = 1915,8 = 1945,8 = 1894,4 = 1852,3 = 1564,4 = 1168,2 1007,3 1002,0 1000,6 1000,5 999,7 1000,0 999,9 1000,1 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0
1650	0,450 = 0,458 = 0,487 0,521 0,543 0,573 0,598 0,618 0,632 0,642 0,664 0,648 0,920,8 = 1064,1 = 1176,3 = 1265,6 = 1341,0 = 1415,1 = 1479,6 = 1518,4 = 1554,5 = 1555,4 = 1445,5 = 1140,4 1007,6 1001,9 1000,6 1000,9 999,7 1000,0 999,9 1000,1 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0
1650	0,350 = 0,357 = 0,393 0,437 0,473 0,511 0,542 0,570 0,597 0,622 0,686 0,694 0,189,9 = 331,4 = 464,4 = 638,1 = 750,0 = 873,6 = 968,7 = 1045,2 = 1123,0 = 1192,7 = 1280,9 = 1108,5









PA0: 36

W352,KHO,S,M,  
 1018,0 1013,2 1006,1 1002,2 1000,5 1000,1 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0 1000,0

19-09-67

REKENTIJD BANDMATRIX BERREKENING IS 87  
 TOTALE REKENTIJD IN SEC 164

Voor een overzicht van de uitgevoerde berekeningen, alsmede van de ingestelde randvoorwaarden, zie TABELLEN V, VI en volgende.

N.B. De uitgevoerde inhomogene getijberekeningen (getijberekeningen no.8-..) lopen meestal tot  $t/\Delta t = 2100$  c.q. 7 getijperioden, waarbij doorgaans de zouttoestand nog niet is ingespeeld en derhalve soms ook de waterstand en het debiet niet. Voor gebruik van de uitvoergegevens ten behoeve van een verdere analyse moet hiermee rekening worden gehouden,

APPENDIX I

Algemene gegevens van de WES-goot (Waterways Experiment Station-Vicksburg, U.S.A.) en de W.W.-"goot" (de tot goot geschematiseerde Rotterdamse Waterweg).

Onder WES-goot wordt begrepen de getijgoot in het Waterways Experiment Station te Vicksburg, U.S.A. De algemene gegevens van deze goot zijn:

breedte : 0,2285 m  
referentie diepte : 0,1524 m (middenstand)  
 $\Delta x = 3,048$  m  
 $\Delta t = 2$  sec.  
getijperiode T = 600 sec.

Onder de W.W.-"goot" wordt verstaan de fictieve prototype goot, die een schematisatie is van de Rotterdamse Waterweg voor de situatie van 1956. De algemene gegevens van deze goot zijn:

breedte : 440 m  
referentie diepte : 12,50 m (middenstand)  
 $\Delta x = 2340$  m  
 $\Delta t = 149$  sec.  
getijperiode T = 44.700 sec.



TABEL II

Overzicht uitgevoerde getijberekeningen

4<sup>e</sup> computerberekening (als 2<sup>e</sup> computerberekening)

reproductie WES-goot

proefnummers	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$L = 103.632 \text{ m} = 34\Delta x$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
$C = 15 \text{ m}^2/\text{s}$	X																	
20		X																
22									X	X	X				X	X		
22,5			X															
24												X	X	X			X	X
25				X														
27,5					X													
30						X												
32,5							X											
35								X										
getij AA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
BB																		
CC															X	X	X	X
$\bar{Q}_L = -0,000595 \text{ m}^3/\text{s}$	X	X	X	X	X	X	X	X										
0,000723									X			X						
0,000850										X			X					
0,000978											X			X				
0,000212															X		X	
0,000265																X		X

algemene gegevens WES-goot

$w = 0$                        $T = 600 \text{ sec.}$                        $D_1 = 0,1524 \text{ m (diepte)}$   
 $\Delta x = 3,048 \text{ m}$                $\alpha = 5$   
 $\Delta t = 2 \text{ sec.}$                  $b = 0,2285 \text{ m (breedte)}$

TABEL III overzicht uitgevoerde getijberekeningen (5<sup>e</sup> berekening)

nummer berekening	3a	3b	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<u>getij</u> AA (# 11)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X
BB (#14)														X		
CC (#16)															X	
LL (1956.W.W.)																
LLL (1956.W.W.)																
ZZ																
<u>boven-afvoer</u> 0,000.001 m <sup>3</sup> /s																
0,000.143																
0,000.212														X	X	
0,000.340			X	X	X											
0,000.400																X
0,000.476												X	X			
0,000.595						X	X	X					X			
0,000.850	X	X							X	X	X					
960,0																
<u>lengte goot</u> 34Δx=103.632m	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
38Δx=88.920m																
40Δx=93.600m																
42Δx=98.280m																
44Δx=102.960m																
48Δx=112.320m																
54Δx=126.360m																
<u>ruwheid C</u> in m <sup>1/2</sup> /s	24/24	30	35	40	30	35	40	30	35	40	31	31	31	31	31	
<u>zoutgehalte in zee (s<sub>0</sub>)</u> in kg/m <sup>3</sup>	0/30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	30	30	30	
E <sub>1</sub>	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	
F <sub>1</sub>	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	
β <sub>1</sub>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
E <sub>2</sub>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
F <sub>2</sub>	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	
β <sub>2</sub>	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	

reproductie WES-goot (proef # 11)







TABEL IV overzicht uitgevoerde getijberekeningen met de 7<sup>e</sup> computerberekening

nummer berekening	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32									
<b>zeerand</b>																																									
getij DD	X	X																																							
EE			X	X	X	X	X	X	X	X	X																														
FF												X	X																												
GG													X	X	X	X	X	X	X	X																					
HH																						X																			
II																						X	X	X	X	X	X	X	X	X											
JJ																															X										
KK																																X	X								
<b>bovenafvoer</b>																																									
$Q_L = -0,000213 \text{ m}^3/\text{s}$											X	X			X	X	X	X	X	X																					
-0,000426										X				X																											
-0,000595	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X																											
- 345 $\text{m}^3/\text{s}$																						X																			
- 950																						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
-1900																																									X
<b>lengte goot</b>																																									
$L/L_R=0,417 \quad L=79,196 \text{ m}$				X											X																										
0,550 103,632	X		X						X	X	X	X	X	X	X		X																								
0,717 134,112				X													X																								
0,917 170,688		X			X																					X															
1,116 207,264						X																																		X	
1,515 280,416							X																																	X	
0,414 56,160																							X																		
0,560 74,880																								X																X	
0,703 93,600																									X																
0,920 121,680																						X	X				X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
1,100 145,080																																									
1,495 196,560																																									X
goot	W.E.S.-goot																				W.W.-goot																				

TABEL V Overzicht uitgevoerde getijberekeningen met 8<sup>e</sup> computerberekening

nummer getijberekening	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
<u>1. getij zeerand</u> AA BB CC AB LLL	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
<u>2. dichtheid zeerand</u> AA BB CC AB LLL $\rho = 1000$ (zeerand is zoet)	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
<u>3. bovenafvoer <math>\bar{Q}_L</math></u> - 0,000.595 m <sup>3</sup> /s - 0,000.213 - 1000	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
<u>4. Ruwheid (Chézy)</u> C = 34 m <sup>2</sup> /s 65 60 70	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
<u>5. lengte L</u> L = 34.Δx 40.Δx 42.Δx	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
	X X X X X X X X X									X X X X X X X X X									X X X X X X X X X																	
<u>6. diffusie</u> D <sub>0</sub> = 0,100 0,150 0,250 0,320 200 400 600 800 1000 1500 2500	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
<u>7. n = 0</u> 1 2 3 4	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
	X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X				X X X X															
<u>8. Ter bestudering van de zoutverdeling etc. in:</u>	WES-goot, proef 11									WES-goot, proef 14									Rotterdamse Waterweg → fictieve goot 1956 (W.W.-56)									WES-goot proef 16								

TABEL V (vervolg) Overzicht uitgevoerde getijberekeningen met 8<sup>e</sup> computerberekening

nummer getijberekening	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	
1. <u>getij zeerand</u> AA BB CC AB LLL											X	X																
2. <u>dichtheid zeerand</u> AA BB CC AB LLL $\rho = 1000$ (zeerand is zoet)											X																	
3. <u>bovenafvoer <math>\bar{Q}_L</math></u> - 0,000.595 m <sup>3</sup> /s - 0,000.213 - 1000											X	X																
4. <u>Ruwheid (Chézy)</u> $C = 34 \text{ m}^2/\text{s}$ 65 60 70	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																
5. <u>lengte L.</u> $L = 34.\Delta x$ $40.\Delta x$ $42.\Delta x$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																
6. <u>diffusie</u> $D_0 = 0,100$ 0,150 0,250 0,320 200 400 600 800 1000 1500 2500		X	X	X	X		X			X	X	X																
7. $n = 0$ 1 2 3 4		X					X						X		X													
8. Ter bestudering van de zoutverdeling etc. in:		WES-goot proef 15									WES-goot proef 11		Rotterdamse Waterweg 1956 - fict. prototype goot (W.W.-56)															

TABEL VI

Gegevens getij AA (behorende bij proef 11 van de WES-goot)

tijdstap ( $t/\Delta t$ )	$h_1$ (vertikaal getij zeerand)	$\rho_1$ (dichtheid zeerand)
0	+ 0,0152 m	1020,0 kg/m <sup>3</sup>
15	+ 0,0146	1019,6
30	+ 0,0131	1019,1
45	+ 0,0095	1018,7
60	+ 0,0053	1018,2
75	+ 0,0005	1016,5
90	- 0,0041	1014,3
105	- 0,0084	1012,5
120	- 0,0119	1010,6
135	- 0,0134	1008,7
150	- 0,0140	1007,5
165	- 0,0136	1007,6
180	- 0,0113	1008,7
195	- 0,0085	1010,5
210	- 0,0046	1012,6
225	- 0,0008	1014,8
240	+ 0,0034	1017,0
255	+ 0,0075	1018,5
270	+ 0,0113	1019,6
285	+ 0,0145	1019,9
300	+ 0,0152	1020,0

TABEL VII

Getij BB (behorende bij proef 14 van de WES-goot)

tijdstap (t/ $\Delta$ t)	$h_1$ (vertikaal getij zeerand)	$\rho_1$ (dichtheid zeerand)
0	+ 0,0292 m	1022,1 kg/m <sup>3</sup>
15	+ 0,0283	1022,1
30	+ 0,0249	1022,1
45	+ 0,0180	1022,1
60	+ 0,0090	1022,1
75	- 0,0010	1022,1
90	- 0,0115	1022,1
105	- 0,0190	1022,0
120	- 0,0260	1021,5
135	- 0,0299	1019,8
150	- 0,0310	1018,0
165	- 0,0282	1015,9
180	- 0,0248	1014,3
195	- 0,0180	1012,8
210	- 0,0110	1017,0
225	- 0,0034	1021,4
240	+ 0,0050	1022,0
255	+ 0,0137	1022,1
270	+ 0,0210	1022,1
285	+ 0,0270	1022,1
300	+ 0,0292	1022,1

TABEL VIII

Getij CC (behorende bij proef 16 van de WES-goot)

tijdstap (t/ $\Delta$ t)	$h_1$ (vert.getij zeerand)	$\rho_1$ (dichtheid zeerand)
0	+ 0,0152 m	1021,8 kg/m <sup>3</sup>
15	+ 0,0146	1021,8
30	+ 0,0128	1021,8
45	+ 0,0094	1021,8
60	+ 0,0046	1021,8
75	+ 0,0001	1021,8
90	- 0,0043	1021,1
105	- 0,0086	1019,1
120	- 0,0119	1017,2
135	- 0,0140	1015,5
150	- 0,0143	1014,2
165	- 0,0139	1013,4
180	- 0,0118	1013,6
195	- 0,0084	1015,4
210	- 0,0050	1017,6
225	- 0,0011	1019,8
240	+ 0,0032	1021,3
255	+ 0,0078	1021,8
270	+ 0,0116	1021,8
285	+ 0,0141	1021,8
300	+ 0,0152	1021,8

TABEL IX

Getij AB (behorende bij proef 15 van de WES-goot)

tijdstap (t/ $\Delta t$ )	$h_1$ (vert. getij zeerand)	$\rho_1$ (dichtheid zeerand)
0	+ 0,0228 m	1022,1 kg/m <sup>3</sup>
15	+ 0,0217	1022,1
30	+ 0,0184	1022,1
45	+ 0,0134	1022,1
60	+ 0,0071	1022,1
75	0	1022,1
90	- 0,0071	1021,8
105	- 0,0134	1021,0
120	- 0,0184	1019,6
135	- 0,0217	1017,4
150	- 0,0228	1015,4
165	- 0,0217	1013,6
180	- 0,0184	1012,8
195	- 0,0134	1013,5
210	- 0,0071	1016,2
225	0	1020,6
240	+ 0,0071	1021,7
255	+ 0,0134	1022,0
270	+ 0,0184	1022,1
285	+ 0,0217	1022,1
300	+ 0,0228	1022,1

TABEL X

Getij LLL (behorende bij de situatie in de Rotterdamse Waterweg  
kmr. 1030, in 1956)

Tijdstap (t/ $\Delta t$ )	$h_1$ (vert.getij zeerand)	$\rho_1$ (dichtheid zeerand)
0	- 0,32 m	1018,0 kg/m <sup>3</sup>
15	- 0,56	1016,0
30	- 0,68	1013,7
45	- 0,65	1010,9
60	- 0,62	1008,8
75	- 0,63	1007,7
90	- 0,67	1007,5
105	- 0,67	1007,3
120	- 0,61	1007,2
135	- 0,50	1007,4
150	- 0,35	1008,0
165	- 0,06	1009,0
180	+ 0,40	1011,6
195	+ 0,70	1015,7
210	+ 0,77	1018,6
225	+ 0,72	1020,3
240	+ 0,64	1021,5
255	+ 0,49	1021,3
270	+ 0,22	1020,4
285	- 0,06	1019,2
300	- 0,32	1018,0



TABEL XI

Getij LL en ZZ

- getij LL is bijna gelijk aan LLL (zie Fig. 10)
- getij ZZ heeft betrekking op de WES-goot

tijdstap (t/ $\Delta$ t)	$h_1$ (vertikaal getij zeerand)	
	getij ZZ	getij LL
0	+ 0,0143 m	-0,32 m
15	+ 0,0138	
30	+ 0,0120	-0,63
45	+ 0,0080	
60	+ 0,0035	-0,62
75	- 0,0008	
90	- 0,0058	-0,67
105	- 0,0098	
120	- 0,0132	-0,61
135	- 0,0156	
150	- 0,0163	-0,34
165	- 0,0150	
180	- 0,0127	+0,30
195	- 0,0094	
210	- 0,0055	+0,74
225	- 0,0014	
240	+ 0,0030	+0,64
255	+ 0,0079	
270	+ 0,0114	+0,22
285	+ 0,0135	
300	+ 0,0143	-0,32

TABEL XII

De bij de 7<sup>e</sup> computerberekening gebruikte zeerandinstellingen  
(vertikaal getij.)

getij	DD h in (m)	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK
t= 15Δt	+0,0030	+0,0043	+0,0070	+0,0094	+0,213	+0,255	+0,298	+0,392
30	+0,0056	+0,0082	+0,0134	+0,0179	0,406	0,485	0,567	0,747
45	+0,0078	+0,0113	+0,0185	+0,0247	0,559	0,668	0,782	1,029
60	+0,0091	+0,0132	+0,0216	+0,0289	0,653	0,780	0,913	1,201
75	+0,0096	+0,0140	+0,0228	+0,0305	0,690	0,825	0,965	1,270
90	+0,0091	+0,0132	+0,0216	+0,0289	0,653	0,780	0,913	1,201
105	+0,0078	+0,0113	+0,0185	+0,0247	0,559	0,668	0,782	1,029
120	+0,0056	+0,0082	+0,0134	+0,0179	0,406	0,485	0,567	0,747
135	+0,0030	+0,0043	+0,0070	+0,0094	0,213	0,225	0,298	0,392
150	0	0	0	0	0	0	0	0
165	-0,0030	-0,0043	-0,0070	-0,0094	-0,213	-0,225	-0,298	-0,392
180	-0,0056	-0,0082	-0,0134	-0,0179	0,406	0,485	0,567	0,747
195	-0,0078	-0,0113	-0,0185	-0,0247	0,559	0,668	0,782	1,029
210	-0,0091	-0,0132	-0,0216	-0,0289	0,653	0,780	0,913	1,201
225	-0,0096	-0,0140	-0,0228	-0,0305	0,690	0,825	0,965	1,270
240	-0,0091	-0,0132	-0,0216	-0,0289	0,653	0,780	0,913	1,201
255	-0,0078	-0,0113	-0,0185	-0,0247	0,559	0,668	0,782	1,029
270	-0,0056	-0,0082	-0,0134	-0,0179	0,406	0,485	0,567	0,747
285	-0,0030	-0,0043	-0,0070	-0,0094	0,213	0,225	0,298	0,392
300	0	0	0	0	0	0	0	0

T = 600 sec.

Δt = 2 sec.

max. amplitude	0,0096	0,0140	0,0228	0,0305	0,690	0,825	0,965	1,270
----------------	--------	--------	--------	--------	-------	-------	-------	-------

TABEL XIII

Gegevens dispersiecoëfficiënt  $D_{xt}$  en  $\frac{d}{dx}(D_{xt})$ , gebruikt bij de 8<sup>e</sup> computerberekening.

ber. nr.	8-1 8-10 8-28 8-37		8-2 8-11 8-29 8-38		8-3 8-12 8-30 8-39		8-4 8-13 8-31 8-40		8-5 8-14 8-32 8-41	
	$x/2\Delta x$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$
0	0,100	0	0,100	-0,0010	0,100	-0,0020	0,100	-0,0039	0,150	-0,0030
1	"	"	0,094	"	0,089	-0,0018	0,079	-0,0032	0,134	-0,0027
2	"	"	0,088	"	0,078	-0,0017	0,061	-0,0026	0,117	-0,0025
3	"	"	0,082	"	0,068	-0,0016	0,046	-0,0022	0,102	-0,0024
4	"	"	0,076	"	0,058	-0,0015	0,034	-0,0017	0,087	-0,0023
5	"	"	0,070	"	0,050	-0,0014	0,024	-0,0014	0,075	-0,0021
6	"	"	0,064	"	0,042	-0,0013	0,017	-0,0011	0,063	-0,0020
7	"	"	0,059	"	0,034	-0,0012	0,012	-0,0008	0,051	-0,0018
8	"	"	0,053	"	0,028	-0,0010	0,008	-0,0006	0,042	-0,0015
9	"	"	0,047	"	0,022	-0,0009	0,005	-0,0004	0,033	-0,0014
10	"	"	0,041	"	0,017	-0,0008	0,003	-0,0003	0,025	-0,0012
11	"	"	0,035	"	0,013	-0,0007	0,002	-0,0002	0,019	-0,0011
12	"	"	0,029	"	0,008	-0,0006	0,001	-0,0001	0,012	-0,0009
13	"	"	0,023	"	0,005	-0,0005	0,001	-0,0001	0,008	-0,0008
14	"	"	0,018	"	0,003	-0,0004	0	0	0,005	-0,0006
15	"	"	0,012	"	0,002	-0,0002	0	0	0,003	-0,0003
16	"	"	0,006	"	0,001	-0,0001	0	0	0,001	-0,0001
17	"	"	0	"	0	0	0	0	0	0

TABEL XIII (vervolg)

Ber. nr.	8-6 8-15 8-33 8-42		8-7 8-16 8-34 8-43		8-8 8-17 8-35 8-44		8-9 8-18 8-36 8-45		8-19	
	$x/2\Delta x$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$
0	0,250	0	0,250	-0,0024	0,250	-0,0050	0,250	-0,0098	1000	0
1	"	"	0,235	"	0,222	-0,0045	0,196	-0,0080	"	"
2	"	"	0,220	"	0,194	-0,0042	0,152	-0,0065	"	"
3	"	"	0,205	"	0,169	-0,0040	0,115	-0,0055	"	"
4	"	"	0,190	"	0,146	-0,0038	0,085	-0,0043	"	"
5	"	"	0,175	"	0,124	-0,0035	0,060	-0,0035	"	"
6	"	"	0,160	"	0,104	-0,0033	0,043	-0,0028	"	"
7	"	"	0,148	"	0,085	-0,0030	0,030	-0,0020	"	"
8	"	"	0,133	"	0,070	-0,0026	0,020	-0,0015	"	"
9	"	"	0,118	"	0,055	-0,0023	0,012	-0,0010	"	"
10	"	"	0,103	"	0,043	-0,0020	0,008	-0,0008	"	"
11	"	"	0,088	"	0,033	-0,0018	0,005	-0,0005	"	"
12	"	"	0,073	"	0,020	-0,0015	0,003	-0,0003	"	"
13	"	"	0,058	"	0,012	-0,0013	0,002	-0,0002	"	"
14	"	"	0,044	"	0,008	-0,0010	0,001	-0,0001	"	"
15	"	"	0,030	"	0,005	-0,0005	0	0	"	"
16	"	"	0,015	"	0,002	-0,0002	0	0	"	"
17	"	"	0	"	0	0	0	0	"	"
18									"	"
19									"	"
20									"	"
21									"	"



TABEL XIII (vervolg)

ber. nr.	8-25		8-26		8-27		8-46		8-48 8-52	
	$x/2\Delta x$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$
0	2500	-0,0255	2500	-0,0505	2500	-0,1050	0,320	-0,0125	400	0
1	2380	"	2280	-0,0485	2050	-0,0880	0,253	-0,0102	"	"
2	2260	"	2050	-0,0462	1700	-0,0750	0,195	-0,0083	"	"
3	2150	"	1850	-0,0437	1350	-0,0640	0,147	-0,0070	"	"
4	2030	"	1650	-0,0412	1075	-0,0540	0,109	-0,0054	"	"
5	1905	"	1450	-0,0390	850	-0,0448	0,077	-0,0045	"	"
6	1790	"	1270	-0,0367	650	-0,0373	0,054	-0,0035	"	"
7	1670	"	1110	-0,0340	500	-0,0325	0,038	-0,0025	"	"
8	1550	"	965	-0,0315	375	-0,0245	0,026	-0,0018	"	"
9	1430	"	815	-0,0292	257	-0,0188	0,016	-0,0013	"	"
10	1310	"	690	-0,0267	188	-0,0148	0,010	-0,0009	"	"
11	1190	"	575	-0,0243	135	-0,0110	0,006	-0,0006	"	"
12	1070	"	460	-0,0218	85	-0,0080	0,004	-0,0004	"	"
13	953	"	365	-0,0195	53	-0,0058	0,002	-0,0002	"	"
14	835	"	275	-0,0170	30	-0,0038	0	0	"	"
15	715	"	205	-0,0145	18	-0,0025	0	0	"	"
16	595	"	143	-0,0123	8	-0,0015	0	0	"	"
17	476	"	90	-0,0098	3	-0,0008	0	0	"	"
18	354	"	50	-0,0073	1	-0,0003			"	"
19	233	"	23	-0,0048	0	-0,0003			"	"
20	120	"	5	-0,0025	0	0			"	"
21	0	"	0	0	0	0			"	"

TABEL XIII (vervolg)

ber. nr.	8-49		8-50 8-53		8-51 8-54		8-55		8-56	
	$x/2\Delta x$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$
0	400	-0,0041	400	-0,0081	400	-0,0164	200	-0,0064	400	-0,0128
1	381	"	364	-0,0078	328	-0,0141	172	-0,0058	344	-0,0116
2	362	"	328	-0,0074	268	-0,0120	146	-0,0052	292	-0,0104
3	343	"	296	-0,0070	216	-0,0103	124	-0,0046	248	-0,0097
4	324	"	264	-0,0066	172	-0,0086	103	-0,0041	206	-0,0082
5	305	"	232	-0,0062	136	-0,0072	85	-0,0036	169	-0,0072
6	285	"	204	-0,0059	104	-0,0060	69	-0,0031	138	-0,0063
7	267	"	178	-0,0054	80	-0,0049	56	-0,0026	112	-0,0053
8	248	"	154	-0,0050	60	-0,0039	44	-0,0023	88	-0,0046
9	228	"	130	-0,0047	42	-0,0030	35	-0,0020	70	-0,0040
10	210	"	110	-0,0043	30	-0,0024	25	-0,0016	52	-0,0032
11	190	"	92	-0,0039	22	-0,0018	19	-0,0013	38	-0,0026
12	172	"	74	-0,0035	14	-0,0013	14	-0,0010	28	-0,0020
13	152	"	58	-0,0031	8	-0,0009	8	-0,0008	16	-0,0016
14	134	"	44	-0,0027	5	-0,0006	6	-0,0006	12	-0,0012
15	115	"	33	-0,0023	3	-0,0004	5	-0,0004	10	-0,0008
16	96	"	23	-0,0020	1	-0,0002	4	-0,0003	8	-0,0005
17	76	"	14	-0,0016	1	-0,0001	3	-0,0002	6	-0,0003
18	57	"	8	-0,0012	1	-0,0001	2	-0,0001	4	-0,0002
19	38	"	4	-0,0008	0	0	1	-0,0001	2	-0,0001
20	19	"	1	-0,0004	0	0	0	0	0	0
21	0	"	0	0	0	0				

TABEL XIII (vervolg)

ber. nr.	8-57		8-58		8-59		8-60		8-61	
	$x/2\Delta x$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx}(D_{xt})$	$D_{xt}$
0	600	-0,0192	800	-0,0256	400	-0,0123	800	-0,0246	1000	-0,0320
1	517	-0,0174	688	-0,0232	345	-0,0117	690	-0,0224	860	-0,0290
2	439	-0,0156	584	-0,0208	296	-0,0101	592	-0,0202	731	-0,0260
3	373	-0,0138	496	-0,0184	252	-0,0091	504	-0,0182	620	-0,0230
4	310	-0,0123	412	-0,0164	212	-0,0081	424	-0,0162	515	-0,0205
5	254	-0,0108	338	-0,0144	176	-0,0072	352	-0,0144	423	-0,0180
6	207	-0,0094	276	-0,0126	148	-0,0063	296	-0,0126	345	-0,0157
7	168	-0,0080	224	-0,0106	122	-0,0054	244	-0,0108	280	-0,0132
8	132	-0,0069	176	-0,0092	96	-0,0048	192	-0,0096	220	-0,0115
9	105	-0,0060	140	-0,0080	74	-0,0041	148	-0,0082	175	-0,0100
10	103	-0,0048	104	-0,0064	58	-0,0034	116	-0,0068	130	-0,0080
11	57	-0,0039	76	-0,0052	45	-0,0028	90	-0,0056	95	-0,0065
12	42	-0,0030	56	-0,0040	34	-0,0022	68	-0,0044	70	-0,0050
13	24	-0,0024	32	-0,0032	24	-0,0018	48	-0,0036	40	-0,0040
14	18	-0,0018	24	-0,0024	16	-0,0014	32	-0,0028	30	-0,0030
15	15	-0,0012	20	-0,0016	12	-0,0010	24	-0,0020	25	-0,0020
16	12	-0,0008	16	-0,0010	8	-0,0007	16	-0,0014	20	-0,0013
17	9	-0,0005	12	-0,0006	6	-0,0005	12	-0,0010	15	-0,0008
18	6	-0,0003	8	-0,0004	4	-0,0004	8	-0,0008	10	-0,0005
19	3	-0,0002	4	-0,0002	2	-0,0002	4	-0,0004	5	-0,0003
20	0	0	0	0	1	-0,0001	2	-0,0002	0	0
21					0	0	0	0		



TABEL XIII (vervolg)

ber. nr.	8-62	
$x/2\Delta x$	$D_{xt}$	$\frac{d}{dx} (D_{xt})$
0	1200	-0,0384
1	1031	-0,0348
2	876	-0,0312
3	744	-0,0276
4	627	-0,0246
5	507	-0,0216
6	414	-0,0189
7	336	-0,0159
8	264	-0,0138
9	210	-0,0120
10	156	-0,0096
11	114	-0,0078
12	84	-0,0060
13	48	-0,0048
14	36	-0,0036
15	30	-0,0024
16	24	-0,0015
17	18	-0,0009
18	12	-0,0006
19	6	-0,0003
20	0	0

TABEL XIV (zie Fig. 5)

Bepaling van het estuarium getal: 
$$\frac{P_t \cdot F_o^2}{Q_f \cdot T} = \frac{u_o^3 \cdot b}{\pi Q_f \cdot g}$$

(WES-goot)

proefnr.	L/L <sub>R</sub>	getij	u <sub>o</sub> (m/s)	Q <sub>f</sub> × 10 <sup>-6</sup> (m <sup>3</sup> /s)	a(m)	a/h	$\frac{P_t \cdot F_o^2}{Q_f \cdot T}$
7.1	0,550	DD	0,080	595	0,0096	0,063	0,00637
7.2	0,917	"	0,098	"	"	"	0,0117
7.3	0,417	EE	0,084	"	0,0140	0,092	0,0074
7.4	0,550	"	0,111	"	"	"	0,0171
7.5	0,717	"	0,131	"	"	"	0,0281
7.6	0,917	"	0,120	"	"	"	0,0215
7.7	1,116	"	0,105	"	"	"	0,0144
7.8	1,515	"	0,078	"	"	"	0,0059
7.9	0,550	"	0,111	426	"	"	0,0239
7.10	"	"	0,112	213	"	"	0,049
7.11	"	FF	-	"	0,0228	0,15	-
7.12	"	"	0,161	595	"	"	0,052
7.13	"	GG	0,197	"	0,0305	0,2	0,0954
7.14	"	"	0,198	426	"	"	0,135
7.15	0,417	"	0,163	213	"	"	0,151
7.16	0,550	"	0,198	"	"	"	0,270
7.17	0,717	"	0,206	"	"	"	0,304
7.18	0,917	"	0,187	"	"	"	0,228
7.19	1,116	"	0,170	"	"	"	0,171
7.20	1,515	"	0,145	"	"	"	0,106

b = breedte goot = 0,2285 m

h = gem. diepte goot = 0,1524 m

a = getijamplitude

TABEL XIV (vervolg)

W.W.-goot (Fig. 6)

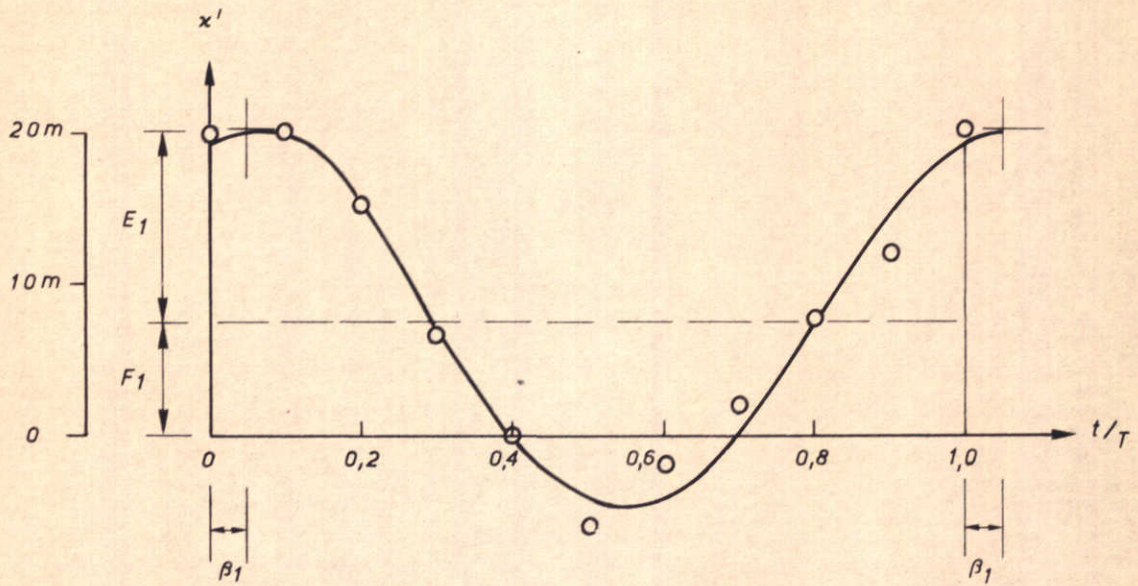
proefnr.	L/L <sub>R</sub>	getij	u <sub>o</sub> (m/s)	Q <sub>F</sub> . (m <sup>3</sup> /s)	a (m)	a/h	$\frac{P_t F_o^2}{Q_F \cdot T}$
7.21	0,920	HH	0,84	950	0,690	0,05	0,0087
22	0,920	II	0,96	345	0,825	0,0598	0,0358
23	0,414	"	0,54	950	"	"	0,00231
24	0,560	"	0,77	"	"	"	0,0067
25	0,703	"	0,97	"	"	"	0,0134
26	0,920	"	0,94	"	"	"	0,0122
27	1,100	"	0,81	"	"	"	0,0078
28	1,495	"	0,56	"	"	"	0,00258
29	0,920	"	0,87	1900	"	"	0,00485
30	0,920	JJ	1,03	950	0,965	0,07	0,016
31	0,560	KK	1,11	"	1,27	0,092	0,0201
32	0,920	KK	1,19	"	1,27	0,092	0,0248

h = 13,80 m

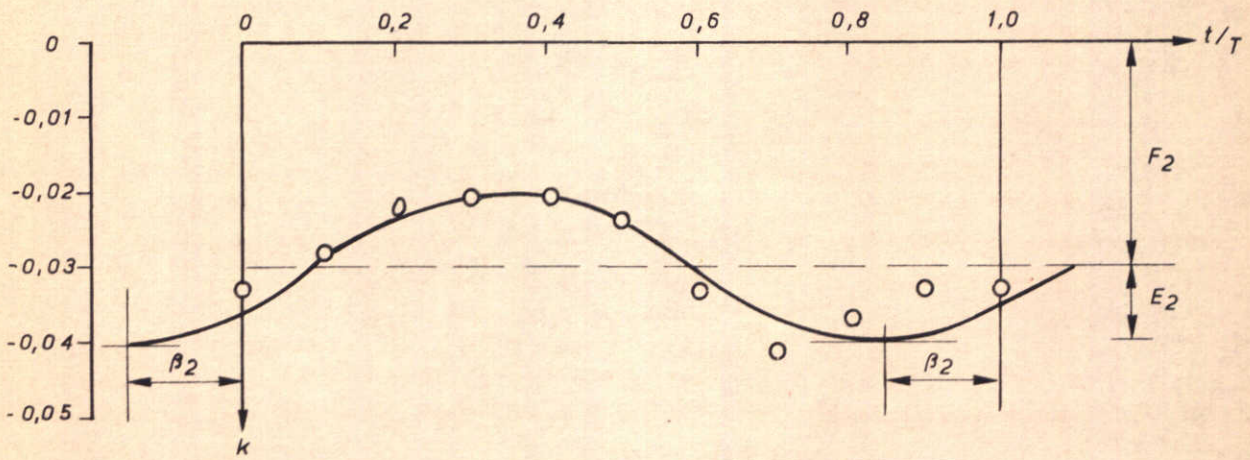
b = 430 m

a = getijamplitude

— AANGEHOUDEN VOOR DE BEREKENING



$$x' = F_1 + E_1 \cos\left(\frac{t}{T} - \beta_1\right) 2\pi$$

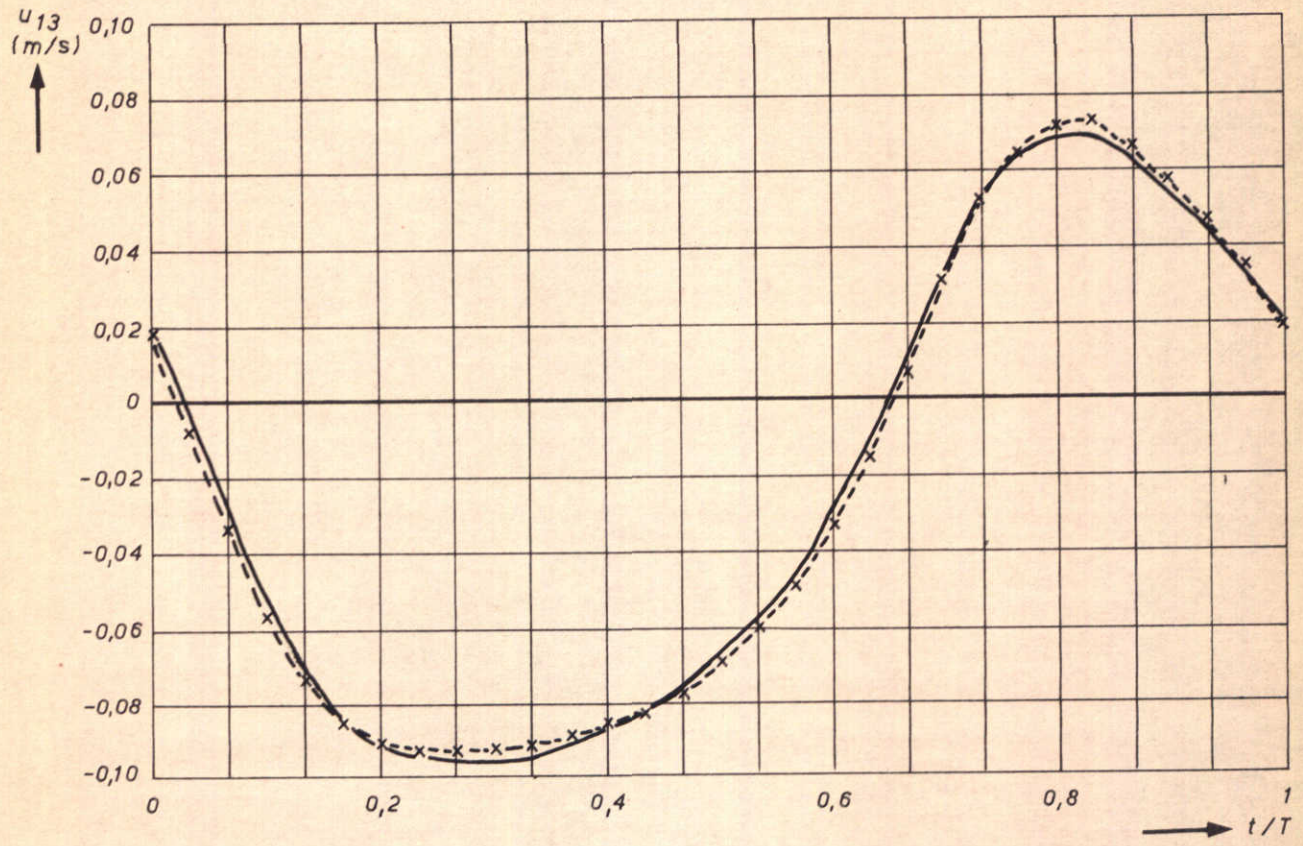
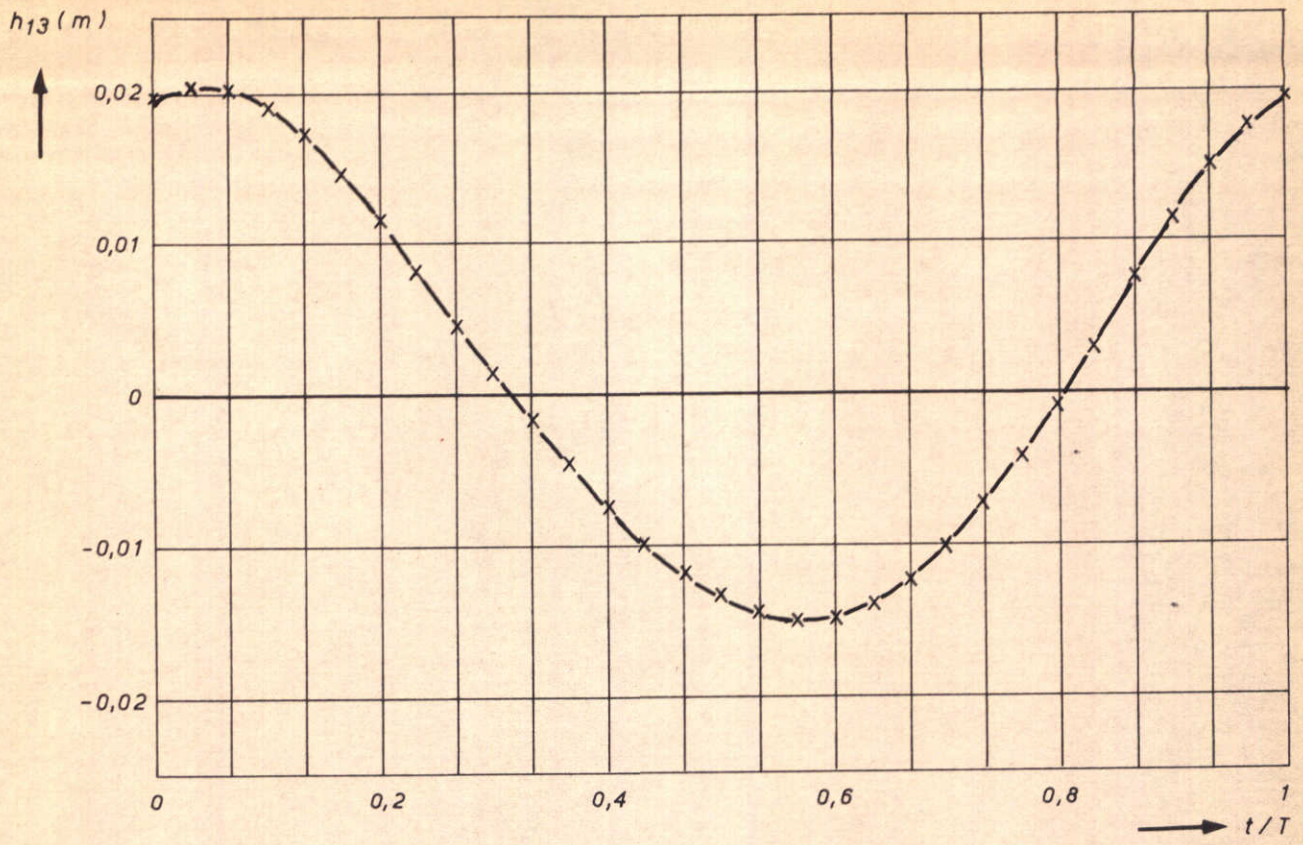


$$k = -F_2 - E_2 \cos\left(\frac{t}{T} + \beta_2\right) 2\pi$$

BENADERING KARAKTERISTIEKE GROOTHEDEN  
BETREFFENDE ZOUTVERDELING t.b.v.  
5<sup>e</sup> COMPUTERBEREKENING

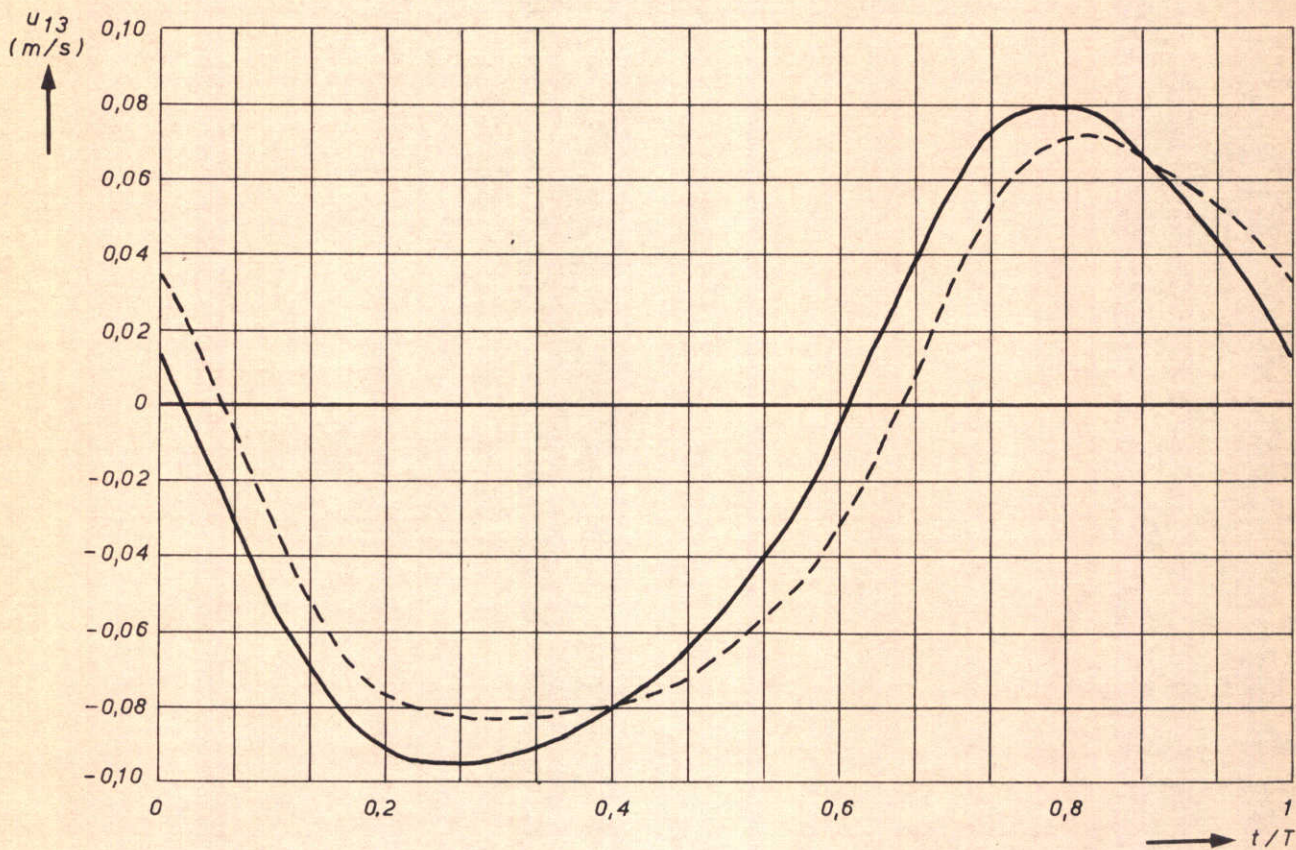
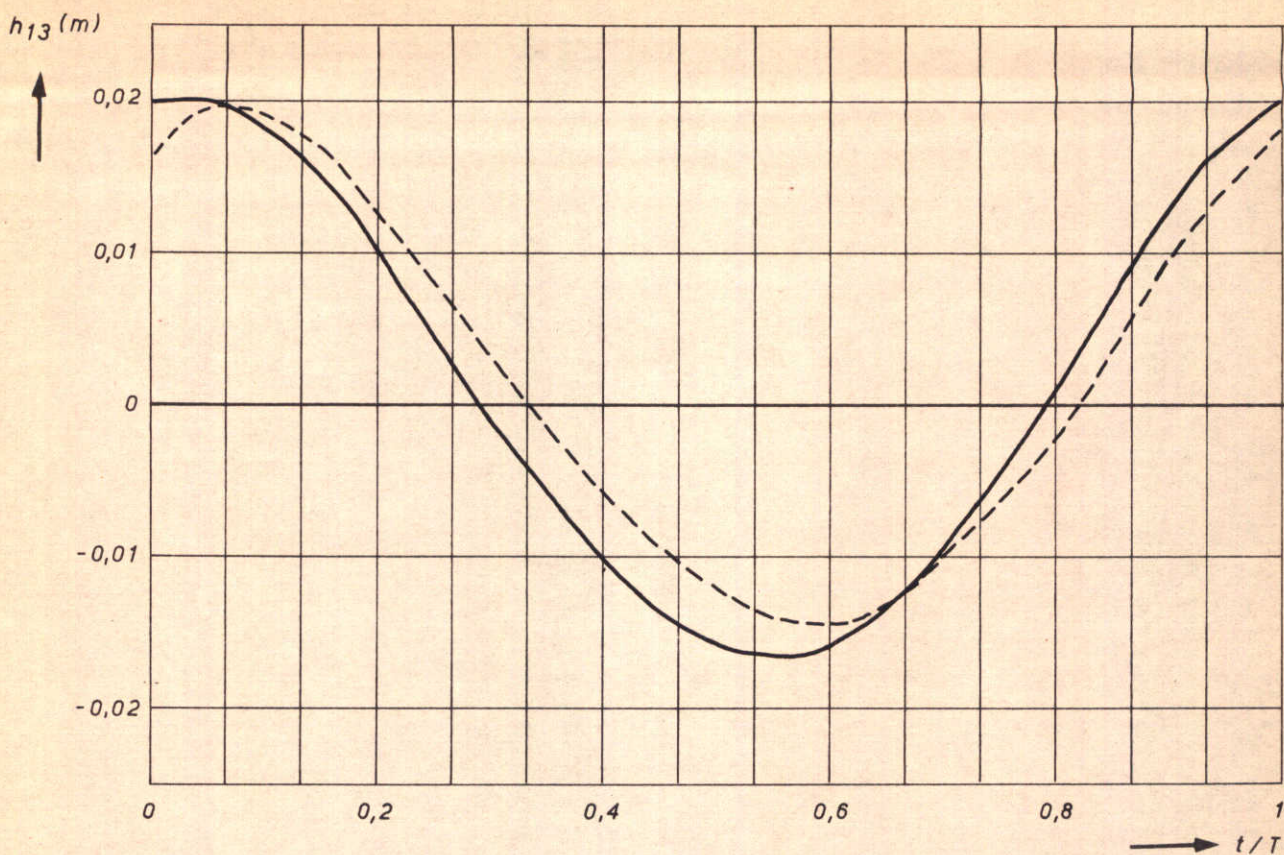
JM

A4



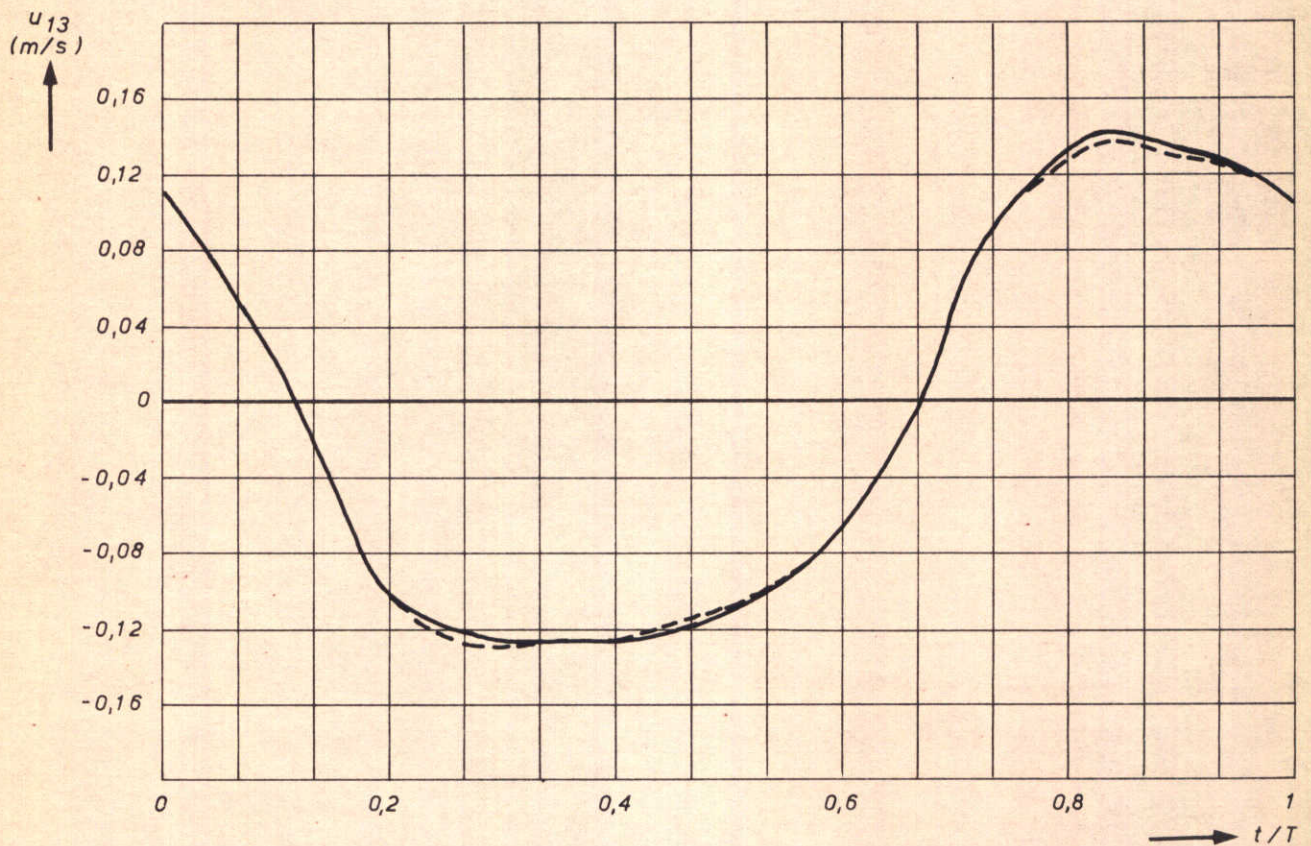
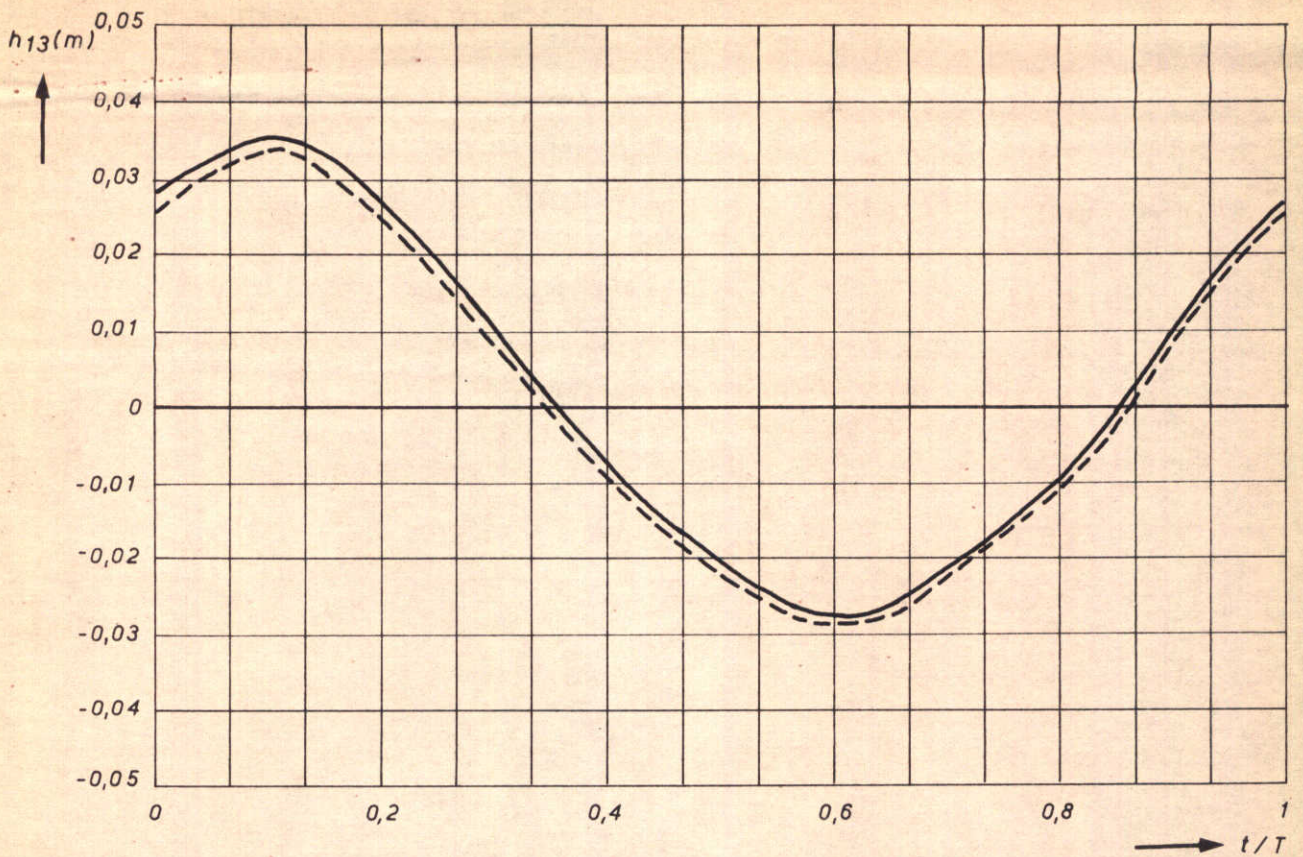
INVLOED VERSNELLINGSTERM  $u \frac{\partial u}{\partial x}$   
 OP DE GETIJBEWEGING (W.E.S.-GOOT)

ber. 4-13: ZONDER  $u \frac{\partial u}{\partial x}$  —  
 5-3a: MET  $u \frac{\partial u}{\partial x}$  x--x



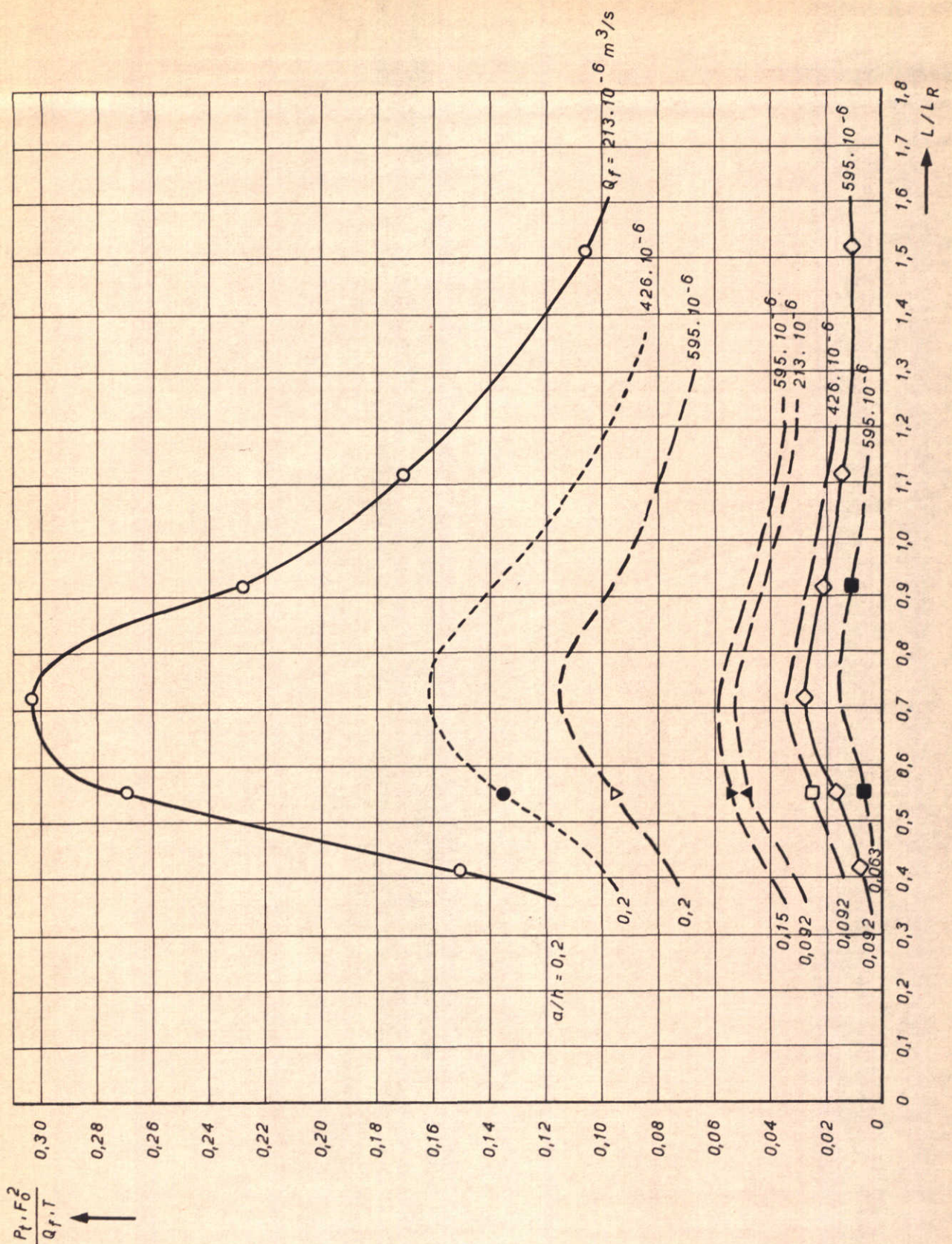
INVLOED VAN DE DEFINITIE VAN  $R$   
 ( $R = h$  OF  $R = \frac{bh}{2h+b}$ ) OP DE GETIJBEWEGING  
 BIJ DE W.E.S.-GOOT ( $b/h \approx 4/3$ )

ber. 4-6 :  $R = h$  —  
 5-7 :  $R = \frac{bh}{b+2h}$  - -



INVLOED ZOUTERM  $\frac{\partial (\bar{S}/S_0)}{\partial x}$   
 OP DE GETIJBEGEWING (W.E.S.-GOOT)

ber. 5-15 MET ZOUT ———  
 5-25 ZONDER ZOUT - - -



INVLOED LENGTE VAN DE GOOT ( $L/L_R$ ) OP  
DE GETIJBEWEGING IN DE MOND ( $P_t F_o^2 / Q_f \cdot T$ )

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

W.E.S. - GOOT

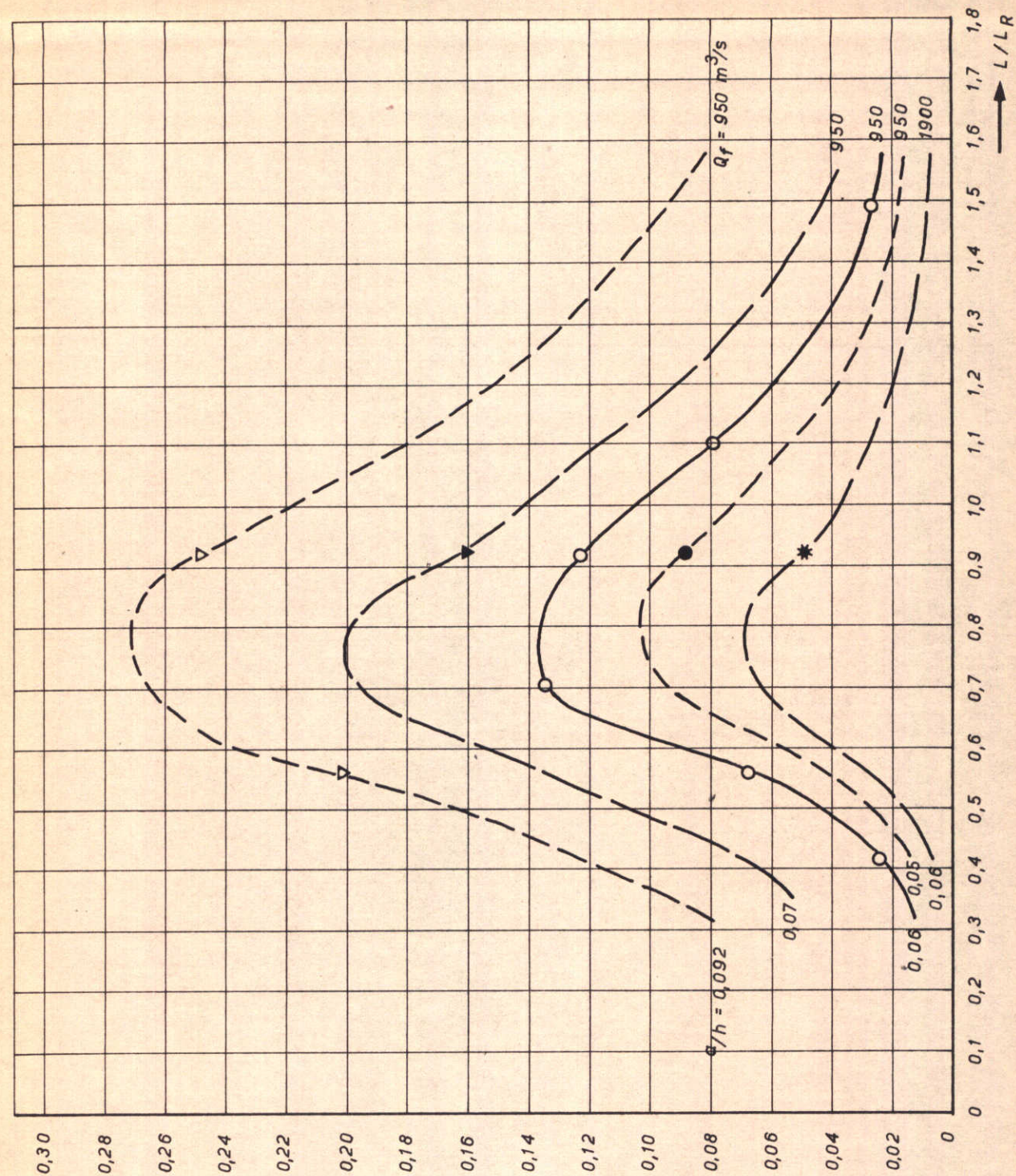
M.896 - 2227

JM

A4

FIG. 5





INVLOED LENGTE VAN DE GOOT ( $L/L_R$ ) OP  
DE GETIJBEWEGING IN DE MOND ( $P_t F_0^2/Q_f \cdot T$ )

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

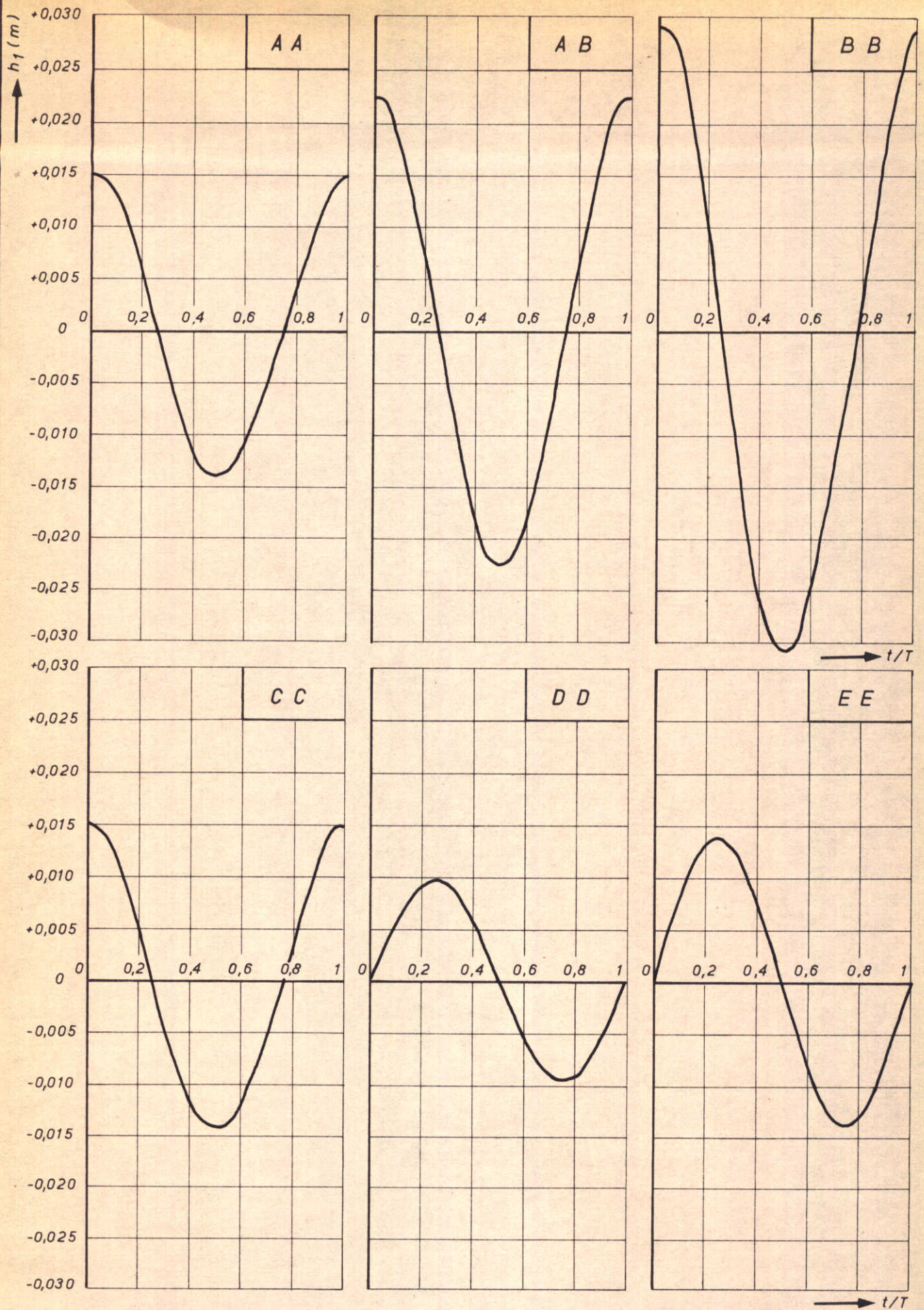
JM

W.W. - "GOOT"

A4

M.896 - 2228

FIG. 6



GEGEVENS GEBRUIKTE RANDINSTELLINGEN ZEERAND :  
 VERTIKAAL GETIJ AA, AB, BB, CC, DD EN EE

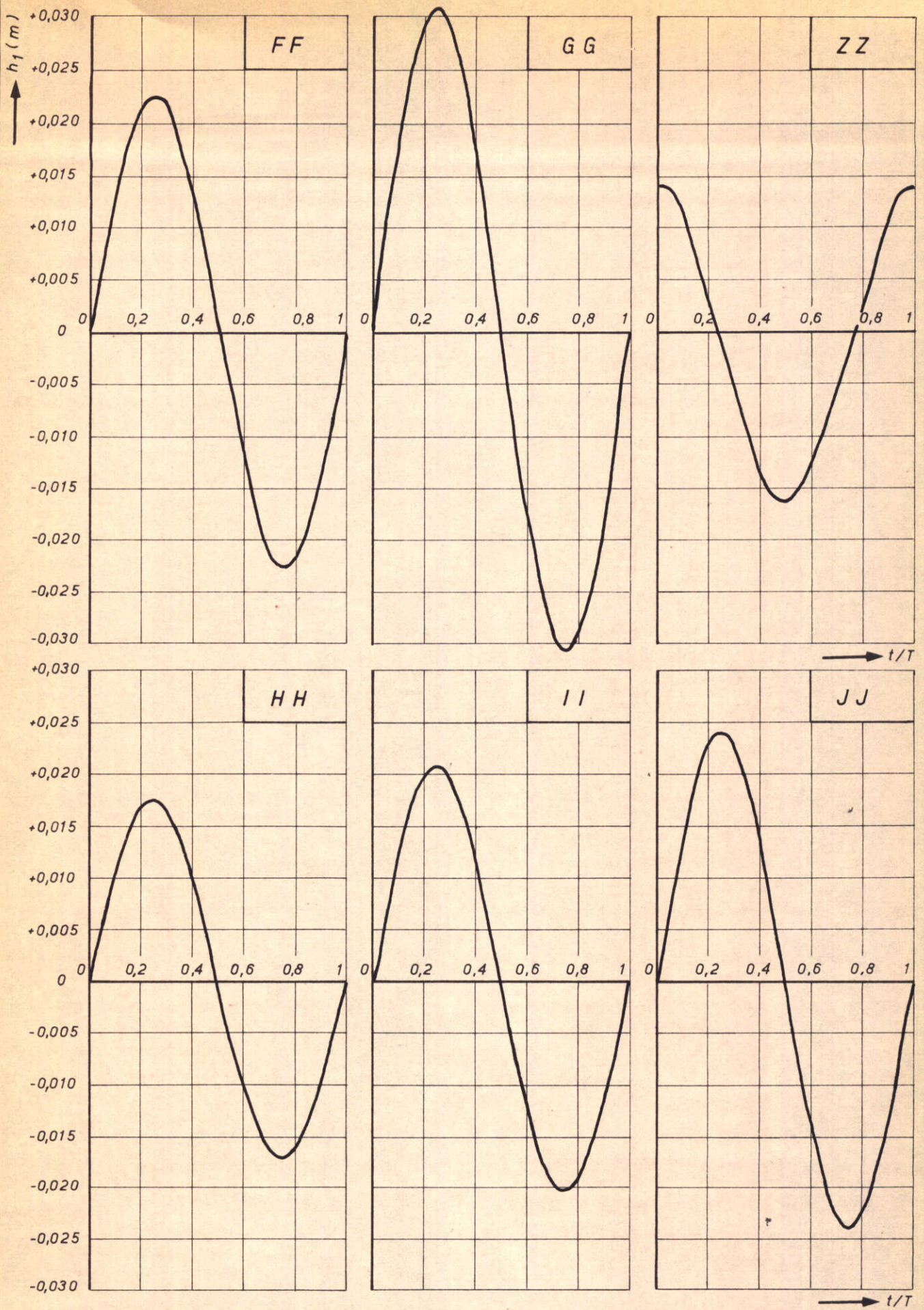
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896 - 2229

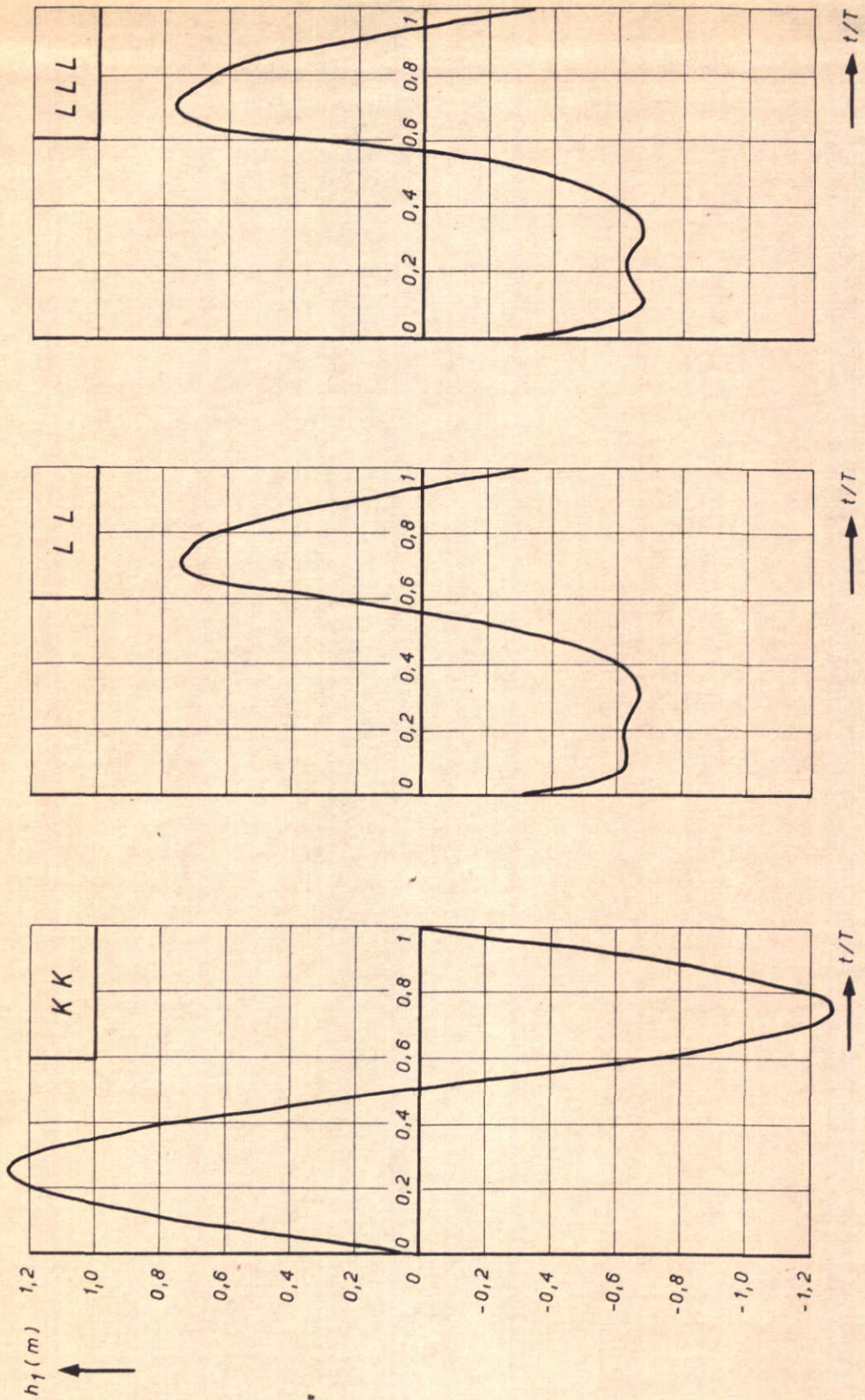
FIG. 7



GEGEVENS GEBRUIKTE RANDINSTELLINGEN ZEERAND :  
 VERTIKAAL GETIJ FF, GG, ZZ, HH, II EN JJ

JM

A4



GEGEVENS GEBRUIKTE RANDINSTELLINGEN ZEERAND  
 VERTIKAAL GETIJ KK, LL EN LLL

JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.896 - 2231

FIG. 9

