

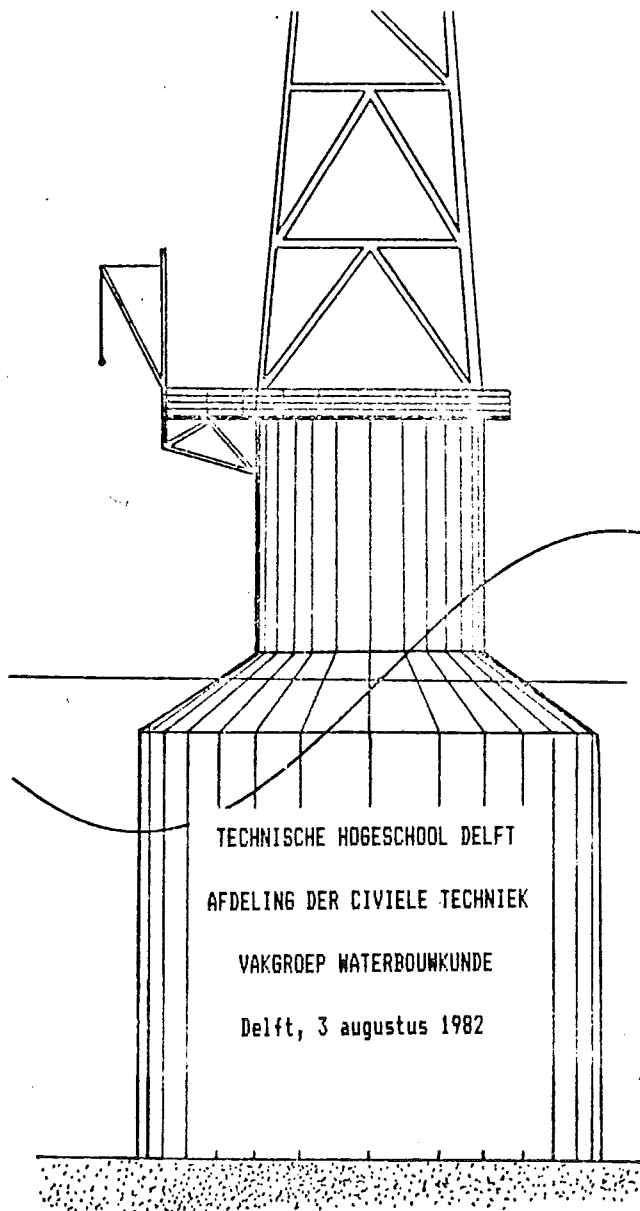
VAKGROEP  
WATERBOUWKUNDE  
Afd. Civiele Techniek  
TH Delft

EXEMPL. VAKGROEPSBIBLIOTHEEK

Projectnr.: 13820101

GOLFBELASTING EN OPWAARTSE  
WATERDRUK OP EEN CILINDER  
MET GROTE DIAMETER T.O.V.  
DE LENGTE VAN DE INVALLEN-  
DE GOLF, GESITUEERD OP DE  
BLIGH BANK

ir. W. Meermans c.i.



## INHOUD

SYMBOLENLIJST .....	3
INLEIDING .....	4
POTENTIAALTHEORIE .....	6
OMGEVINGSCONDITIES VOOR BLIGH BANK .....	10
BEREKENING VAN DE MAXIMALE HORIZON- TALE KRACHT DOOR GOLFBELASTING .....	11
BENADERING VAN DE OPWAARTSE KRACHT .....	14
BIJLAGE 1: SNELHEIDSPOTENTIALAAL IN CILINDERCOORDINATEN .....	19
BIJLAGE 2: DRUK OP DE CILINDERMANTEL .....	23
BIJLAGE 3: BEREKENING HORIZONTALE KRACHT .....	26
BIJLAGE 4: BEREKENING OPWAARTSE KRACHT .....	27
BIJLAGE 5: PROGRAMMA IN BASIC, GE- BRUIKT VOOR BIJLAGE 3 .....	37
BIJLAGE 6: PROGRAMMA IN BASIC, GE- BRUIKT VOOR BIJLAGE 4 .....	40
GEciteerde LITERATUUR .....	48

## SYMBOLENLIJST

- $a$  = straal van de cirkelcilinder.  
 $A(ka) = \text{sqr}(J_1'^2(ka) + Y_1'^2(ka))$ .  
 $C_d$  = weerstandscoefficient ('drag' coefficient).  
 $C_m$  = coefficient voor de hydrodynamische massa (massatraagheidscoefficient).  
 $d$  = waterdiepte onder de middenstand.  
 $D$  = diameter van de cirkelcilinder.  
 $e$  = grondtal van de natuurlijke logaritmie.  
 $F_z$  = kracht die op diepte  $-z$  in de stromingsrichting per lengteeenheid op de paal wordt uitgeoefend.  
 $g$  = versnelling t.g.v. de zwaartekracht.  
 $H$  = golfhoogte van de ongestoorde golf.  
 $H_n^{(1)}(X)$  = eerste functie van Hankel van de  $n$ -de orde voor het (reele) argument  $X$ .  
 $H_n^{(1)'}(X)$  = afgeleide naar  $X$  van  $H_n^{(1)}(X)$ .  
 $i$  = imaginaire eenheid ( $\text{sqr}(-1)$ ).  
 $J_n(X)$  = Besselfunctie van de eerste soort en de  $n$ -de orde voor het (reele) argument  $X$ .  
 $J_n'(X)$  = afgeleide naar  $X$  van  $J_n(X)$ .  
 $k$  = golfgetal =  $2\pi/L$ .  
 $L$  = golflengte van de ongestoorde invallende golf.  
 $N$  = aantal paalmoten.  
 $p$  = waterdruk.  
 $\Delta p$  = de drukfluctuatie.  
 $r$  = lengte van een radiusvector in een horizontaal vlak (afstand in poolcoördinaten).  
 $Re$  = Reynoldsgetal.  
 $Re(Z)$  = reele deel van het imaginaire getal  $Z$ .  
 $t$  = tijd.  
 $T$  = periode van de invallende golf.  
 $v$  = snelheid in de voortplantingsrichting van de invallende golf.  
 $x$  = abscisrichting (in de voortplantingsrichting van de invallende golf).  
 $y$  = ordinaatrichting (in de richting van de golfkammen van de invallende golf).  
 $Y_n(X)$  = Besselfunctie van de tweede soort en de  $n$ -de orde voor het (reele) argument  $X$ .  
 $Y_n'(X)$  = afgeleide naar  $X$  van  $Y_n(X)$ .  
 $z$  = verticale afstand boven de middenstand van de invallende golf.  
 $Z_i$  = diepte van het aangrijpingspunt van  $F_z$  op de  $i$ -de paalmoot boven de bodem.  
 $\phi_n$  = faseverschuiving =  $\arctan( J_n'(ka)/Y_n'(ka) )$ .  
 $\lambda$  = lengte van een paalmoot.  
 $\epsilon$  = afbreekfout.  
 $\eta$  = amplitude (halve golfhoogte) van de invallende golf.  
 $\theta$  = hoek van de radiusvector t.o.v. de  $x$ -as (hoek in poolcoördinaten).  
 $\nu$  = kinematische viscositeit.  
 $\rho$  = soortelijke massa van het (zee!) water.  
 $\Phi$  = snelheidspotentiaal.  
 $\omega$  = radiaalrequentie =  $2\pi/T$ .  
 $dv$   
-- = horizontale versnelling van het water ter plaatse van de cilinderas in het ongestoorde golfveld  
 $\partial \Phi$   
-- = partiele afgeleide van de snelheidspotentiaal naar de tijd.  
 $\mathcal{Y}_n(X)$  = Besselfunctie van de eerste, de tweede of de derde soort en de  $n$ -de orde voor het (reele) argument  $X$ .

ERRATA

pag. 13  
voetnoot

er staat

$$\cos(\omega * t - \alpha 1)$$

er moet staan

$$\cos(\omega * t - \alpha 1) = - 1$$

pag. 18  
regel 15  
regel 19  
regel 21

$$24052.82 \text{ N}$$
$$2533.50 \text{ N}$$
$$\rho * g * 24052.82 / 1000000$$

$$24052.82 \text{ m}^3$$
$$2533.50 \text{ m}^3$$
$$\rho * g * 26576.32 / 1000000$$

pag. 37

einde lijn 200 intyp  
einde lijn 410 meter  
einde lijn 420 mete  
einde lijn 430 stu  
einde lijn 440 tab (65)

intype  
meters  
meter  
stuk  
tab (65)

pag. 38

einde lijn 900  
einde lijn 910  
einde lijn 930 S  
einde lijn 1000 BO  
einde lijn 1010 INT(100 \* M)

T  
M  
SO  
BOD  
INT(100\*M2)

pag. 40

einde lijn 150 LE  
einde lijn 160 A  
einde lijn 340 K = C1 (A)  
einde lijn 440 @  
einde lijn 450 W = W + D \* F

LEV  
AR  
C1 (A) -  
@S  
W = W + D \* F (

pag. 41

einde lijn 540 Nm.  
einde lijn 570 S8 = S

Nm."  
S8 = S8

## INLEIDING

Bij het ontwerp van off-shore constructies dient rekening te worden gehouden met golfbelasting. Volgens het 'Shore Protection Manual' [4] \*) hfdst. 7 is de formule van Morison:

$$F_z = C_m * \rho * \frac{\pi * D^2}{4} \frac{dv}{dt} + \frac{1}{2} C_d * \rho * D * v / v / \dots \dots \dots (1)$$

geldig voor slanke cirkelcilinders met verticale as en toepasbaar voor  $D/L < 0.05$ . (Zie definitie-schets, fig.1.)

Hierin is:

$F_z$  = kracht die op diepte  $-z$  in de stromingsrichting

per lengteeenheid op de paal wordt uitgeoefend.

$C_m$  = coëfficiënt voor de hydrodynamische massa (massatraagheidscoëfficiënt).

$C_d$  = weerstandscoefficiënt ('drag' coëfficiënt).

$\rho$  = soortelijke massa van (zee!) water.

$D$  = paaldiameter.

$v$  = horizontale watersnelheid ter plaatse van de as van de cilinder in het ongestoorde golfveld (berekend alsof de paal er niet was).

$dv$

-- = horizontale versnelling van het water ter plaat-

se van de cilinderas in het ongestoorde golfveld

$L$  = golflengte van de ongestoorde invallende golf.

Op een lichaam (hier: een verticale cirkelcilinder) in een stroming werken in de richting van die stroming drie soorten krachten:

1. De wrijvingskracht, veroorzaakt door het langs de wand stromende water. Bij verwaarlozing van de viscositeit van het water is deze kracht verwaarloosbaar.
2. De vormweerstandskracht ('drag force'), veroorzaakt door zog aan de benedenstroomse zijde van het lichaam. De 'drag force' is, behalve van de vorm, afhankelijk van het Reynoldsgetal:

$$Re = \frac{v * D}{\nu} \dots \dots \dots (2)$$

Hierin is:

$Re$  = getal van Reynolds

$\nu$  = kinematische viscositeit van het water

3. De massatraagheidskracht. Deze wordt veroorzaakt door het feit, dat het lichaam zich in

\*) Cijfers tussen vierkante haken verwijzen naar de bijgevoegde literatuurlijst

een stromingsveld bevindt, maar zelf star is. Op het oorspronkelijke stromingsveld wordt hierdoor een veld gesuperponeerd, zodanig, dat de snelheden op het buitenmanteloppervlak van het lichaam nul zijn. Op grote afstand van het lichaam ( $r \rightarrow \infty$ ) blijft het oorspronkelijke veld aanwezig. Het gesuperponeerde veld wordt het veld van de door het lichaam gediffracteerde golf genoemd. Het kan in het ontwerp stadium bepaald worden:

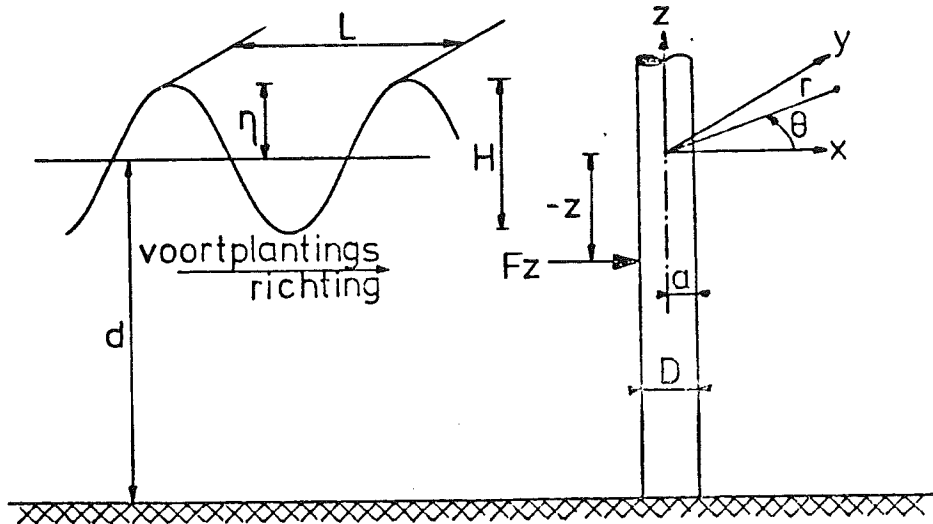
- a. door metingen (bijv. in een laboratoriumopstelling).
- b. door berekening m.b.v. bronnen en puttenmethoden (computerprogramma's). Op het buitenmanteloppervlak van het lichaam worden bronnen en putten gedacht, die, afhankelijk van het stromingsveld, debieten afgeven (putten) dan wel debieten 'afzuigen' (bronnen) en wel zo, dat steeds de snelheden loodrecht op het buitenmanteloppervlak nul zijn.

Als de massa traagheidskracht groot is (d.i. als het volume van het lichaam dat moet worden 'stilgezet' groot is, en dat is het geval als  $D/L > 0.05$ ), is het waarschijnlijk, dat de vormweerstandskracht, genoemd onder 2. verwaarloosbaar is t.o.v. de traagheidskracht, genoemd onder 3.

Voor de berekening van palen, waarvan de diameter niet verwaarloosbaar is ten opzichte van de golflengte, wordt veelal verwezen naar een publicatie van MacCamy en Fuchs [3]. De theoretische achtergronden van dat artikel zijn echter reeds vermeld door Lamb [2].

In het navolgende worden de formules, gebruikt door MacCamy en Fuchs, gememoreerd. De resultaten zullen worden toegepast op een ontwerp voor een constructie voor een straalverbinding tussen Nederland en Engeland, gesitueerd op de Bligh Bank.

# POTENTIALTHEORIE



**Fig. 1.** Definitieschets

- x = abscisrichting in de voortplantingsrichting van de invallende golf.
- y = ordinaatrichting in de richting van de golfkammen van de invallende golf.
- z = afstand boven de middenstand van de invallende golf.  
N.B. De positieve z-as is vertikaal naar boven genomen en heeft zijn nulpunt op de middenstand van de golf.
- r = lengte van een radiusvector in een horizontaal vlak (afstand in poolcoördinaten).
- $\theta$  = hoek van die radiusvector t.o.v. de x-as (hoek in poolcoördinaten).
- a = straal van de cirkelcilinder.
- D = diameter van de cirkelcilinder.
- $\eta$  = amplitude (halve golfhoogte) van de ongestoorde golf.
- H = golfhoogte van de ongestoorde golf.
- d = waterdiepte onder de middenstand.

Uitgaande van de veronderstellingen:

1. Voor korte golven geldt een potentiaalstroom.
2. Het golfbeeld van de (ongestoorde) invallende golf is op te vatten als een z.g.n. enkelvoudige golf, d.i. een serie evenwijdige gladde golfvuggen, alle even hoog, op onderling gelijke afstand, met constante vorm voortlopend in de richting loodrecht op de kammen. De kammen worden zo lang verondersteld dat een tweedimensionale stroming mag worden aangenomen.
3. De golfvorm van de invallende golf is uit te drukken in een eenvoudige harmonische functie (bijvoorbeeld een sinus), evenals de potentiaal (waarvoor dan een cosinusfunctie resulteert).
4. Hogere-orde-termen zijn verwaarloosbaar t.o.v. eerste-orde-termen. (Lineairiseren is toegestaan.)
5. De golfamplitude (halve golfhoogte) is klein t.o.v. de waterdiepte.

kan voor de snelheidspotentiaal  $\Phi$  van de superpositie van de snelheidsvelden van een sinusvormige invallende golf en de door een cirkelcilinder gediffracteerde golf worden afgeleid (zie fig. 1 en bijlage 1.):

$$\begin{aligned} \Phi = \operatorname{Re} \left[ \frac{g \cdot H \cdot \cosh(k \cdot (d+z)) \cdot e^{-i \omega t}}{2 \cdot \omega \cdot \cosh(k \cdot d)} \right] & * \\ & \left( J_0'(ka) \cdot H_0(1)(kr) \right. \\ & \left. \left( J_0(kr) - \frac{J_0'(ka) \cdot H_0(1)(kr)}{H_0(1)'(ka)} + \right. \right. \\ & \left. \left. 2 \cdot \sum_{m=1}^{\infty} i \cos m\theta \cdot \left( J_m(kr) - \frac{J_m'(ka) \cdot H_m(1)(kr)}{H_m(1)'(ka)} \right) \right) \right] \quad \dots (3) \end{aligned}$$

Hierin is:

- $\Phi$  = snelheidspotentiaal.
- $\operatorname{Re}(Z)$  = reële deel van het complexe getal  $Z$ .
- $g$  = versnelling t.g.v. de zwaartekracht.
- $\omega$  = radiaalrequentie =  $2\pi/T$ , waarin  $T$  = periode van de golf.
- $k$  = golfgetal =  $2\pi/L$ , waarin  $L$  = golflengte.
- $e$  = grondtal van de natuurlijke logaritmie.
- $i$  = imaginaire eenheid ( $\sqrt{-1}$ ).
- $t$  = tijd.
- $J_n(X)$  = Besselfunctie van de eerste soort en de  $n$ -de orde voor het (reële) argument  $X$ .
- $J_n'(X)$  = afgeleide naar  $X$  van  $J_n(X)$ .
- $H_n(1)(X)$  = eerste functie van Hankel van de  $n$ -de orde voor het (reële) argument  $X$ .
- $H_n(1)'(X)$  = afgeleide naar  $X$  van  $H_n(1)(X)$ .

Uit de vergelijking van Bernoulli voor niet-permanente stroming:

$$\frac{p}{\rho} + g \cdot z + \frac{v^2}{2} - \frac{\partial \Phi}{\partial t} = 0 \quad \dots (4)$$

waarin:

- $p$  = waterdruk.
- $\frac{\partial \Phi}{\partial t}$  = partiële afgeleide van de snelheidspotentiaal naar de tijd.

volgt na lineairisering en buiten beschouwing laten van de hydrostatische druk:

$$\Delta p = \rho \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad \dots (5)$$

waarin  $\Delta p$  de drukfluctuatie is. Door differentieren van de potentiaal naar de tijd en substitutie daarin van  $r=a$ , wordt de in de tijd wisselende component van de druk in het golfveld op de cilindermantel gevonden (zie bijlage 2):



$$\Delta p = \frac{P * g * H * \cosh(k * (d+z))}{\pi * k * a * \cosh(k * d)} * \left[ \frac{\sin(\omega * t + \alpha_0)}{\text{sqr}(J_0'^2(ka) + Y_0'^2(ka))} + 2 * \frac{\cos(\omega * t - \alpha_1) * \cos(\theta)}{\text{sqr}(J_1'^2(ka) + Y_1'^2(ka))} - 2 * \frac{\sin(\omega * t + \alpha_2) * \cos(2 * \theta)}{\text{sqr}(J_2'^2(ka) + Y_2'^2(ka))} - 2 * \frac{\cos(\omega * t - \alpha_3) * \cos(3 * \theta)}{\text{sqr}(J_3'^2(ka) + Y_3'^2(ka))} + 2 * \frac{\sin(\omega * t + \alpha_4) * \cos(4 * \theta)}{\text{sqr}(J_4'^2(ka) + Y_4'^2(ka))} + \dots \right] \dots (6)$$

waarin:

$Y_n'(X)$  = afgeleide naar  $X$  van de Besselfunctie van de tweede soort en de  $n$ -de orde voor het (reële) argument  $X$ .

$\alpha_n$  = faseverschuiving (=  $\arctan\{J_n'(X)/Y_n'(X)\}$ ).

De druk op een bepaalde diepte  $-z$  onder het vrije oppervlak (gelijk gesteld aan de druk onder de middenstand) is dus een functie van de hoek  $\theta$ . Om de resulterende kracht in de voortplantingsrichting van de golf per lengteeenheid over de diepte te vinden, moet geïntegreerd worden over  $\theta$ . Deze integratie is uitgevoerd door MacCamy en Fuchs [3]:

$$F_z = 2 * \int_0^\pi \Delta p * a * \cos(\pi - \theta) d\theta \dots \dots \dots (7)$$

(zie fig. 2.), of:

$$F_z = - \frac{2 * P * g * H}{k} * \frac{\cosh(k * (d+z))}{\cosh(k * d)} * \frac{1}{A(ka)} * \cos(\omega * t - \alpha_1) \dots (8)$$

waarin:

$$A(ka) = \text{sqr}\{J_1'^2(ka) + Y_1'^2(ka)\} \dots \dots \dots (9)$$

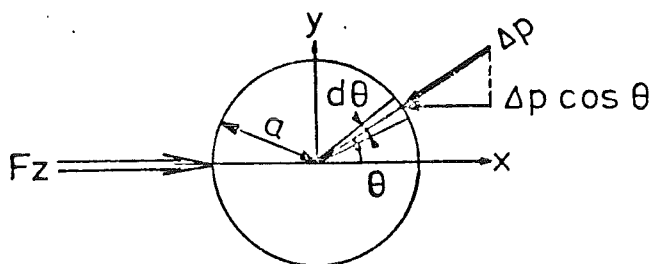


Fig. 2. Integratie van de druk over de omtrek

Voor een zuiver sinusvormige invallende golf en diffractie rond een cirkelcilindrisch lichaam is hiermee de krachtresponsfunctie op diepte  $-z$  per lengteeenheid van de cilinder in de richting van de cilinderas gegeven. Met permanente stroomsnelheid is in de afleiding geen rekening gehouden.

Door integratie over de hoogte wordt de krachtresponsfunctie verkregen. Een goede procedure is dan, door invoering van het golfspectrum middels het 'random phase' model de extreme krachten op de cilinder te berekenen. In de ontwerppraktijk wordt echter meestal gerekend met een 'ontwerpgolf', waarbij de 'maximale' belasting in rekening wordt gebracht. De onregelmatigheid van het golfbeeld wordt dan buiten beschouwing gelaten.

## OMGEVINGSCONDITIES VOOR BLIGH BANK

Vorengaande theorie zal toegepast worden op een ontwerp voor een constructie voor een straalverbinding tussen Nederland en Engeland, gesitueerd op de Bligh Bank.

De omgevingscondities zijn als volgt:

### WATERDIEPTE EN TOPOLOGIE

De waterdiepte op de Bligh Bank varieert momenteel tussen de 15 en 25 m. Referentieniveau is Mean Sea Level (MSL). De zeebodem ter plaatse lijkt stabiel te zijn. Zekerheid daaromtrent bestaat op dit moment niet. Als ontwerpdiepte is 25 m - MSL gekozen.

### ASTRONOMISCH GETIJ EN OPWAAIING/AFWAAIING

Als maximale waterstand dient 3.5 m + MSL, als minimale waterstand 1.5 m - MSL te worden aangehouden.

### GOLVEN

Als ontwerpgolfhoogte is opgegeven:  $H = 15$  m. Als bijbehorende periode geldt:  $T = 12$  sec.

### STROOMSNELHEID

Als gemiddelde stroomsnelheid is 1.5 m/s opgegeven. Volgens het in het vorige hoofdstuk besprokene zal deze echter niet in rekening worden gebracht.

### WINDSNELHEID

De windsnelheid kan worden gekarakteriseerd met:  
44 m/s met een duur van 1 minuut.  
61 m/s met een duur van 3 seconden.

### IJSGANG

Op dit deel van de Noordzee komt drijfijs zelden en als niet-aaneengesloten velden voor.

### GRONDGEGEVENS

De gegevens over bodem en ondergrond zijn slechts globaal bekend. Aangenomen kan worden, dat zowel op palen als op staal gefundeerd kan worden.

# BEREKENING VAN DE MAXIMALE HORIZONTALA KRACHT DOOR GOLFBELASTING

Volgens formule (8) is de kracht, die door een zuiver sinusvormige golf op een cirkelcilindrische paal in de golfvoortplantingsrichting wordt uitgeoefend te berekenen. (Zie voor numerieke uitwerking: bijlage 3.)

In dit probleem zijn de golfhoogte  $H$ , de golfperiode  $T$  en de waterdiepte beneden de middenstand  $d$  gegeven.

Om het golfgetal  $k$  te kunnen bepalen, moet eerst de golflengte  $L$  uit de gegevens berekend worden. Volgens de eerste-orde theorie geldt:

$$L = \frac{gT^2 \{ \exp(2\pi d/L) - \exp(-2\pi d/L) \}}{2\pi \{ \exp(2\pi d/L) + \exp(-2\pi d/L) \}} \dots \dots \dots (10)$$

Bij gegeven  $T$  en  $d$  kan  $L$  bijvoorbeeld m.b.v. de methode van Newton-Raphson opgelost worden.

Besselfuncties van hogere orde kunnen via de betrekking:

$$\left( - \frac{d}{dz} \right) [Z \zeta_n(Z)] = Z \zeta_{n-m}(Z) \dots \dots \dots (11)$$

geschreven worden als Besselfuncties van lagere orde. (Zie Abramowitz and Stegun [1], formule 9.1.30.)

Hierin is:

- $n$  = orde van de Besselfunctie.
- $\zeta_n(Z)$  = Besselfunctie van de eerste, de tweede of de derde soort en de  $n$ -de orde voor het argument  $Z$ .
- $m$  = orde van de afgeleide.

Voor een Besselfunctie van de eerste orde geldt:  $n = 1$  zodat voor de eerste afgeleide ( $m = 1$ ) (11) overgaat in:

$$\zeta_1'(Z) = \zeta_0(Z) - \zeta_1(Z)/Z \dots \dots \dots (12)$$

Voor  $J_1'(ka)$  in (9) volgt hieruit:

$$J_1'(ka) = J_0(ka) - J_1(ka)/(k*a) \dots \dots \dots (13)$$

en voor  $Y_1'(ka)$  in (9):

$$Y_1'(ka) = Y_0(ka) - Y_1(ka)/(k*a) \dots \dots \dots (14)$$

$J_0(x)$ ,  $J_1(x)$ ,  $Y_0(x)$  en  $Y_1(x)$  kunnen benaderd worden door polynomen. (Zie formules 9.4 in [1]).

Fz uit (8) wordt minimaal voor  $\cos(\omega t - \alpha) = 1$ , d.w.z. dat de resulterende krachtrichting tegen de voortplantingsrichting van de invallende golf

in gericht is.

Op elke diepte  $-z$  treedt dit minimum op hetzelfde moment op, zodat de totale minimale kracht op de paal gevonden wordt uit:

$$F_{min} = - \sum_{i=1}^N \frac{2 * P * g * H * \cosh(k * (d + Z_i)) * \Delta}{k * \cosh(k * d) * A(k a)} \dots \dots \dots (15)$$

een resultaat dat ook door MacCamy en Fuchs [3] gegeven is.

Hierin is:

- N = het aantal paalmoten waarin de diepte onder de middenstand tot aan de bodem verdeeld wordt. Per moot wordt  $F_z$  constant verondersteld, zodat de benadering (in principe) nauwkeuriger wordt naarmate het aantal paalmoten groter genomen wordt.
- $Z_i$  = diepte waarop  $F_z$  bepaald wordt. (Midden van de beschouwde paalmoot.) Bij N paalmoten wordt  $Z_i$  gelijk aan:  $-(2 * i - 1) * d / (2 * N)$ .
- $\Delta$  = lengte van een paalmoot.

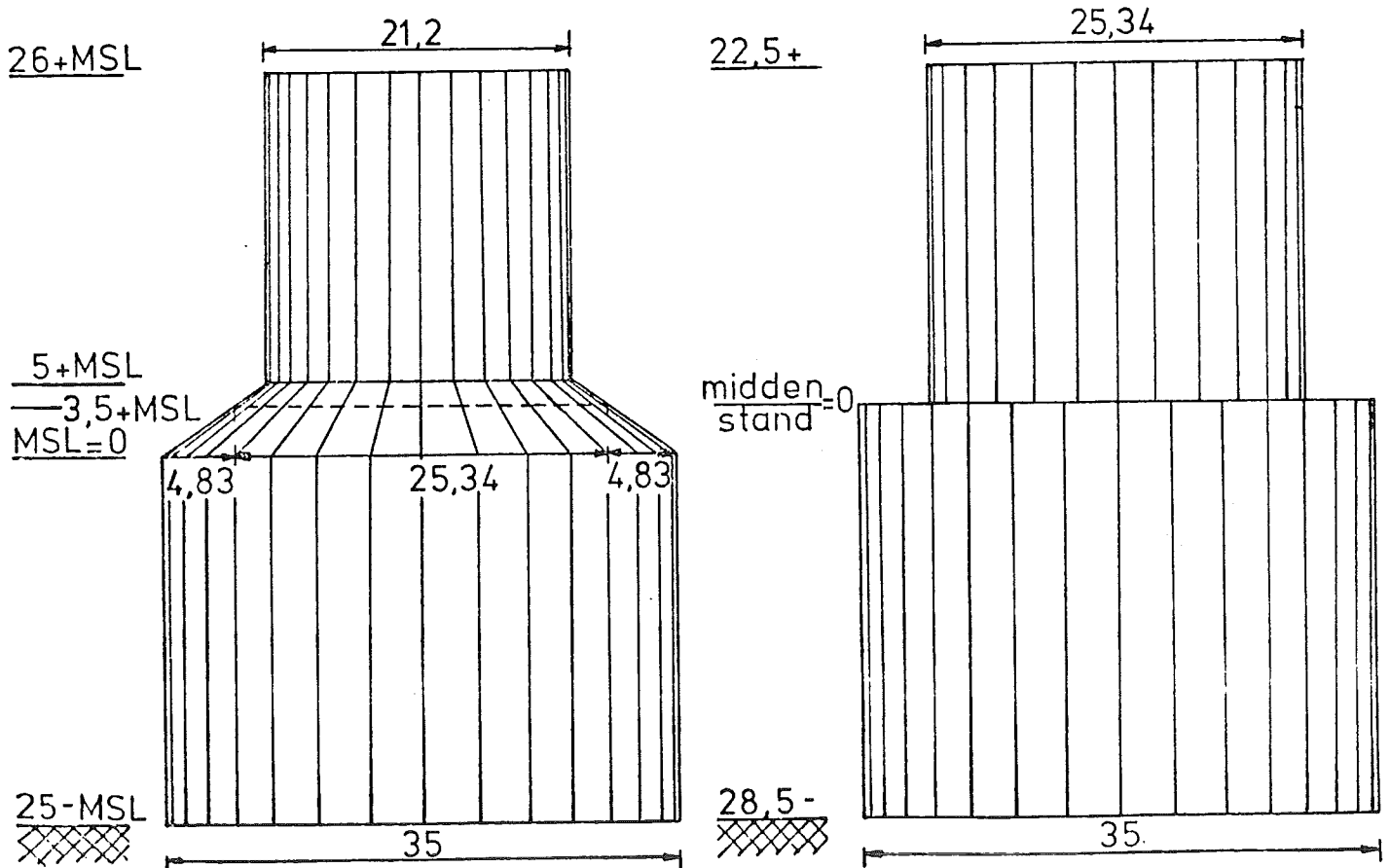


FIG. 3. Schematisering

Fz uit (8) wordt maximaal voor  $\cos(\omega t - \alpha) = -1$ , d.w.z. dat de resulterende krachtrichting in de voortplantingsrichting van de invallende golf gericht is.

De constructie van de titelpagina wordt geschematiseerd tot twee cilinders. (Zie fig. 3.) De golfbelasting op de onderste cilinder kan dan berekend worden met (15). Door vermenigvuldiging met d-Zi per paalmoot en somming over alle paalmoten wordt het moment t.o.v. de bodem verkregen. Deling van dit moment door de gevonden kracht geeft de hefboomsarm t.o.v. de bodem.

Voor de kracht op de bovenste cilinder dient een andere veronderstelling te worden gedaan. MacCamy en Fuchs [3] suggereren voor het deel van de cilinder boven de middenstand een constante kracht per lengteeenheid met de waarde op  $z = 0$  en vermenigvuldigd met de amplitude (halve golfhoogte). Hier is dit geïnterpreteerd als:

$$F = \frac{P \cdot g \cdot H^2}{k} * \frac{1}{\text{sq}r(J_1'^2(ka') + Y_1'^2(ka'))} \dots (16) *$$

met  $a'$  = straal van de bovenste cilinder, terwijl deze kracht geacht wordt aan te grijpen op de helft van de amplitude van de invallende golf boven de middenstand.

Als totale kracht op de geschematiseerde constructie wordt gevonden (zie bijlage 3):

F horizontaal  $\sim 126.47$  MN.

Als moment t.o.v. de bodem wordt gevonden:

M t.o.v. bodem  $\sim 2298.11$  MNm.

waaruit een hefboomsarm volgt van:

Arm t.o.v. bodem  $\sim 18.17$  m

$$*) (8): F_z = - \frac{2 \cdot P \cdot g \cdot H}{k} * \frac{\cosh(k \cdot (d+z))}{\cosh(k \cdot d)} * \frac{1}{A(ka')} * \cos(\omega t - \alpha)$$

Maximaal voor  $\cos(\omega t - \alpha)$  dus:

$$F_{z=0 \text{ max}} = \frac{2 \cdot P \cdot g \cdot H}{k} * \frac{1}{A(k \cdot a')} \text{ per m' paallengte}$$

(16) volgt dan uit:

$$F = F_{z=0 \text{ max}} * \frac{H}{2}$$

## BENADERING VAN DE OPWAARTSE KRACHT

In de voorgaande berekeningen is er van uitgegaan dat de bodem ondoorlatend is. Voor de berekening van de opwaartse kracht is het noodzakelijk, te veronderstellen, dat de waterdruk zich onder de constructie kan voortplanten. Deze veronderstelling is dus niet consistent met die voor de diffractietheorie. Bij het ontwerp dient echter een eerste schatting gemaakt te worden van de drukken die de constructie op de ondergrond uitoefent. Opwaartse krachten moeten dan in de beschouwing worden betrokken. Een complicerende factor hierbij is, dat de belasting cyclisch is. Hierdoor zal de caisson het verschijnsel van 'rocking' (heen en weer kantelen) kunnen gaan vertonen, met toenemende waterspanningen onder de constructie als gevolg. De invloed van cyclische belasting op de draagkracht van de ondergrond is nog onvoldoende bekend en wordt in het kader van de Oosterscheldekering onderzocht. Dit onderzoek heeft echter nog niet tot algemeen bruikbare resultaten geleid.

Als eerste benadering voor de opwaartse kracht kan verondersteld worden, dat de druk onder de caisson voldoet aan de vergelijking van Laplace:

$$\frac{\partial^2 \Delta p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta p}{\partial y^2} = 0 \dots\dots\dots (20)$$

met als randvoorwaarde de drukken, berekend aan de bodem en op de cilinderomtrek, volgens de diffractietheorie. Uit (6) volgt voor de drukken op de bodem:

$$\Delta p = \frac{\rho * g * H}{\pi * k * a * \cosh(k * d)} * \left[ \frac{\sin(\omega * t + \alpha_0)}{\text{sqr}(J_0'^2(ka) + Y_0'^2(ka))} + 2 * \frac{\cos(\omega * t - \alpha_1) * \cos(\theta)}{\text{sqr}(J_1'^2(ka) + Y_1'^2(ka))} - 2 * \frac{\sin(\omega * t + \alpha_2) * \cos(2 * \theta)}{\text{sqr}(J_2'^2(ka) + Y_2'^2(ka))} - 2 * \frac{\cos(\omega * t + \alpha_3) * \cos(3 * \theta)}{\text{sqr}(J_3'^2(ka) + Y_3'^2(ka))} + 2 * \frac{\sin(\omega * t + \alpha_4) * \cos(4 * \theta)}{\text{sqr}(J_4'^2(ka) + Y_4'^2(ka))} + \dots \right] \dots (21)$$

Op elk punt van de omtrek van de cilinder aan de bodem is hiermee de druk te berekenen.

$$\text{Voor } x = ka = \frac{2\pi a}{L} \sim \frac{6.2831853 * 17.5}{173.9705611} \sim 0.63204 \text{ mee-}$$

ten  $J'_n(ka)$  en  $Y'_n(ka)$  berekend worden voor  $n = 0, 1, 2, \text{ etc.}$

$$[1] \text{ 9.1.27-1 : } \zeta'_{n-1}(x) = \frac{2n}{x} \zeta'_n(x) - \zeta'_{n+1}(x)$$

$$[1] \text{ 9.1.27-3 : } \zeta'_n(x) = \zeta'_{n-1}(x) - \frac{n}{x} \zeta'_n(x)$$

$$[1] \text{ 9.1.28 : } J'_0(x) = -J_1(x) \text{ en } Y'_0(x) = -Y_1(x)$$

[1] 9.12, voorbeeld 1. Berekening  $J'_n(0.63204)$ ,  $J_n(0.63204)$ .

[1] TABEL 9.2:  $J'_9(0.63204) \sim 1.E-10$  en  $J_8(0.63204) \sim 1.E-8$ .

n	schatting	$J'_n(0.63204)$	$J_n(0.63204)$
9	1		
8	100		

n	uit [1] 9.1.27-1	uit schatting en normalisatiefactor	uit [1] 9.1.28 en [1] 9.1.27-3
7	2530.49		
6	55951.51		
5	1059772.63	0.000026	0.000201
4	16711542.30	0.000407	0.002554
3	210465349.8	0.005130	0.023943
2	1981250769	0.048293	0.147684
1	12328302890	0.300500	0.427152
0	37029896910	0.902597	-0.300500

[1] 9.1.46:  $1 = J_0(z) + J_2(z) + J_4(z) + J_6(z) + \dots$ , waaruit:  
normalisatiefactor:  $2.437482615E-11$ , gebruikt voor  $J'_n$ .

[1] 9.12, voorbeeld 2. Berekening  $Y'_n(0.63204)$ ,  $Y_n(0.63204)$ .

[1] 9.4.2 en [1] 9.4.5:

Voor  $0 < x < 3$ :

$$Y_0(x) \sim (2/\pi) * \ln(x/2) * J_0(x) + 0.36746691 + 0.60559366 * (x/3)^2 - 0.74350384 * (x/3)^4 + 0.25300117 * (x/3)^6 - 0.04261214 * (x/3)^8 + 0.00427916 * (x/3)^{10} - 0.00024846 * (x/3)^{12} + \dots$$

met  $\epsilon < 1.4 * 1.E-8$

$$Y_1(x) * x \sim (2/\pi) * \ln(x/2) * J_1(x) - 0.6366198 + 0.2212091 * (x/3)^2 + 2.1682709 * (x/3)^4 - 1.3164827 * (x/3)^6 + 0.3123951 * (x/3)^8 - 0.0400976 * (x/3)^{10} + 0.0027873 * (x/3)^{12} + \dots$$

met  $\epsilon < 1.1 * 1.E-7$



n Y (0.63204) Y' (0.63204)  
 n n

uit [1] 9.4.2 uit [1] 9.1.28  
 9.4.5 en 9.1.27-3  
 en 9.1.27-1

0	-0.269019	1.20549
1	-1.205490	1.63828
2	-3.545581	10.01399
3	-21.233477	97.23986
4	-198.025304	1232.01191
5	-2485.257305	19462.57613
6	-39123.177550	368913.80800

Uit de berekende waarden van J' en Y'

volgt (zie bijlage 2, formule (2-8) ):  $\alpha_n$

$\alpha_0 \sim -0.24430$  rad.  $\alpha_1 \sim 0.25505$  rad.  $\alpha_2 \sim 0.01475$  rad.  
 $\alpha_3 \sim 0.00016$  rad.  $\alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$  etc.  $\sim 0$  rad.

Op het moment dat Fz maximaal wordt, geldt:

$$\cos(\omega t - \alpha) = -1$$

of  $\omega t - \alpha = \pi$ . Met  $\alpha \sim 0.25505$  rad. volgt:

$$\omega t \sim 3.39665 \text{ rad.}$$

Numerieke waarden ingevuld in (21) geeft, indien de hydrostatische druk t.o.v. de middenstand eveneens in beschouwing wordt genomen:

$$\begin{aligned} \left[ \begin{matrix} P \\ \theta \end{matrix} \right]_{\text{bodem } Fz \text{ max}} &\sim 286353.4080 - 416.42208 - 56813.53060 \cos \theta \\ &+ 2559.99479 \cos(2\theta) + 957.24567 \cos(3\theta) \\ &- 19.69816 \cos(4\theta) - 4.78233 \cos(5\theta) \\ &+ 0.06578 \cos(6\theta) + \dots \dots \dots (22) \end{aligned}$$

Op het moment dat Fz minimaal wordt, geldt:

$$\cos(\omega t - \alpha) = +1$$

Met  $\alpha \sim 0.25505$  rad. volgt:

$\omega t \sim 0.25505$  rad. Vanaf de tweede term in (22) moeten dan de tekens worden omgekeerd.

Voor het berekenen van de drukken onder de cilinder is gebruik gemaakt van een eindige elementenprogramma, gegeven door Verruijt [5].

Het rooster ('mesh') in de knooppunten waarvan de drukken berekend worden, is weergegeven in de bovenste helft van fig. 4. In de onderste helft van fig. 4 zijn de oppervlakken, die kenmerkend geacht zijn voor diverse knooppunten, weergegeven. De m.b.v. (20) berekende drukken in elk knooppunt, vermenigvuldigd met het bijbehorende kenmerkende oppervlak

geeft de opwaartse kracht op dat oppervlak. Som-  
 mering over de cilinderbodem (alle kenmerkende op-  
 pervlakken) geeft de totale opwaartse kracht. In  
 bijlage 4 is deze berekening uitgevoerd. Tevens is  
 de hefboomsarm t.o.v. de cilinderas berekend.  
 De hefboomsarm is negatief gerekend als de opwaart-  
 se kracht aangrijpt aan de zijde van de invallen-  
 de golf t.o.v. de cilinderas.

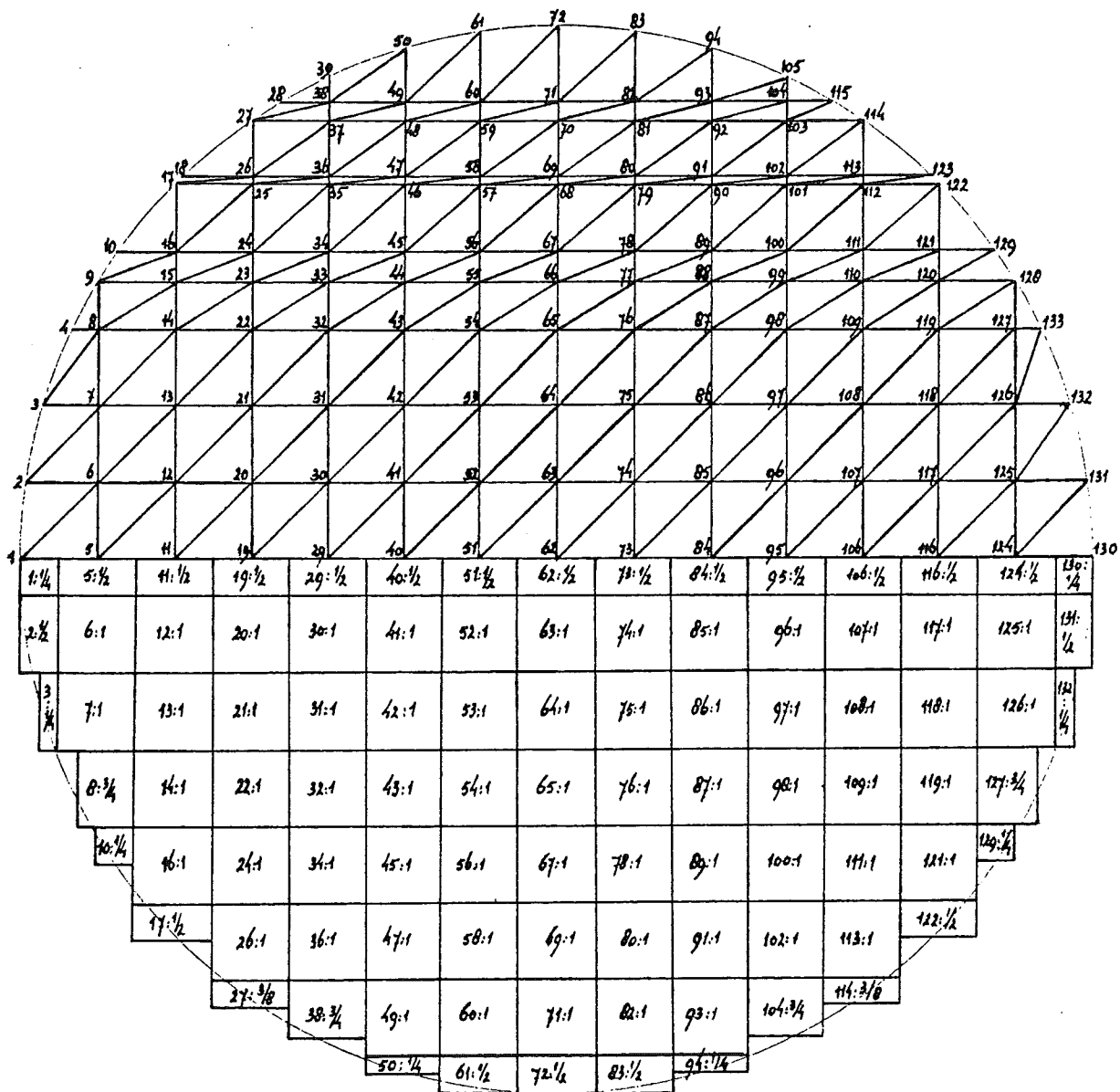


FIG. 4. Mesh en kenmerkende oppervlakken in 6.25 m<sup>2</sup>

Als opwaartse kracht op het moment van maximale hor-  
 izontale kracht in de richting van de invallende  
 golf wordt gevonden:

F ~ 280.83 MN.  
 opw.

De hefboomsarm is dan:

Hefboomsarm ~ -0.87 m.

Op het moment dat de maximale kracht op de cilin-

der tegen de richting van de invallende golf in gericht is, is de opwaartse kracht even groot, terwijl de hefboomsarm dan  $\sim +0.87$  m. is.

Het niet-aangrijpen van de opwaartse kracht in de cilinderas heeft tot gevolg, dat het moment t.g.v. de horizontale belasting door golven wordt vergroot, en wel met  $\sim 0.87 * 280,83 \sim 243.43$  MNm.

Ter vergelijking diene de 'opdriving' volgens de wet van Archimedes, toegepast op het constructievolume onder de middenstand;

Inhoud cilinder:

$$\pi * r^2 * h = \pi * 17.5^2 * 25 \sim 24052.82 \text{ N}$$

Inhoud afgeknotte kegel:

$$1/3 * \pi * r^2 * h - 1/3 * \pi * r^2 * h^2 =$$

$$1/3 * \pi * 17.5^2 * 12.681 - 1/3 * \pi * 12.67^2 * 9.181 \sim 2523.50 \text{ N}$$

$$\text{Totale opriving: } \sim \rho * g * 24052.82 / 1000000 \sim 267 \text{ MN}$$

De in rekening gebrachte volumina volgen eenvoudig uit de geometrie van de constructie. (Zie fig. 3.)

Dit is slechts 13 MN kleiner dan de opwaartse kracht, die volgde uit de drukken onder de cilinder volgens de Laplacevergelijking. Het extra moment van  $\sim 240$  MN wordt dan echter buiten beschouwing gelaten!

# BIJLAGE 1.

## SNELHEIDSPOTENTIALAAL IN CILINDERCOORDINATEN

Golfvorm:  $\eta = \frac{H}{2} * \sin (kx - \omega t) \dots\dots (1-1)$

Snelheidspotentialaal in Carthesiaans assenstelsel, (Zie Lamb [3].):

$$\phi = \frac{g*H}{2*\omega} * \frac{\cosh \{k(d+z)\}}{\cosh (k*d)} * \cos (kx - \omega t) \dots (1-2)$$

Bernoulli voor niet-permanente stroming:

$$\frac{p}{\rho} + g*z + \frac{v^2}{2} - \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots (1-3)$$

Lineaire theorie:  $\frac{v^2}{2} \ll \frac{\partial \phi}{\partial t} \dots\dots\dots (1-4)$

dus wordt (1-3):

$$\frac{p}{\rho} + g*z - \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots (1-5)$$

of:

$$p = -\rho*g*z + \rho*\frac{\partial \phi}{\partial t} \dots\dots\dots (1-6)$$

Vrij oppervlak:  $z = \eta$ ,  $p = 0$ . Dan volgt uit (1-6):

$$\rho*g*\eta = \rho*\frac{\partial \phi}{\partial t} \dots\dots\dots (1-7)$$

Lineaire theorie, dus  $\eta$  klein. Uit (1-7) volgt:

$$\eta \sim \frac{1}{g} * \left[ \frac{\partial \phi}{\partial t} \right]_{z=0} \dots\dots\dots (1-8)$$

Euler:  $e^{i\theta} = \cos\theta + i \sin\theta \dots\dots\dots (1-9)$

Uit (1-2) volgt dan:

$$\phi = \text{Re} \left[ \frac{g*H}{2*\omega} * \frac{\cosh \{k(d+z)\}}{\cosh kd} * e^{i(kx - \omega t)} \right] \dots (1-10)$$

of:

$$\xi = \Re \left[ \frac{g \cdot H}{2 \cdot \omega} * e^{-i \omega t} * \frac{\cosh \{k(d+z)\}}{\cosh kd} * e^{ikx} \right] \dots (1-11)$$

$e^{ikx}$  omzetten in poolcoördinaten (zie fig.1, pag.6):

$$x = r \cos \theta, \text{ dus } e^{ikx} = e^{ikr \cos \theta} \dots (1-12)$$

$$\text{Euler: } e^{ikr \cos \theta} = \cos(kr \cos \theta) + i \sin(kr \cos \theta) \dots (1-13)$$

[1]:9.1.44:

$$\cos(z \cos \theta) = J_0(z) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k J_{2k}(z) \cos(2k \theta) \dots (1-14)$$

[1]:9.1.45:

$$\sin(z \cos \theta) = 2 \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k J_{2k+1}(z) \cos((2k+1) \theta) \dots (1-15)$$

Met (1-13), (1-14) en (1-15) gaat (1-12) over in :

$$e^{ikx} = J_0(kr) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} i^m J_m(kr) \cos m \theta \dots (1-16)$$

(1-11) kan dan geschreven worden als:

$$\xi_i = \Re \left[ \frac{g \cdot H}{2 \cdot \omega} * e^{-i \omega t} * \frac{\cosh \{k(d+z)\}}{\cosh kd} * \left( J_0(kr) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} i^m J_m(kr) \cos m \theta \right) \right] \dots (1-17)$$

voor de invallende (ongestoorde) golf.

Voor de gereflecteerde golf wordt een dergelijke reeksontwikkeling verondersteld:

$$\xi_r = \Re \left[ \sum_{m=0}^{\infty} A \cos m \theta \left( J_m(kr) + i Y_m(kr) \right) * e^{-i \omega t} \right] \dots (1-18)$$

Voor  $kr$  zeer groot geldt (zie [1]:9.1.3):

$$J_m(z) + i Y_m(z) \sim e^{i \left( z - \frac{m\pi}{2} - \frac{\pi}{4} \right)} * \sqrt{\frac{2}{\pi z}} \dots (1-19)$$

waarmee (1-18) overgaat in:

$$\xi_r = \sum_{m=0}^{\infty} A \cos m \theta \sqrt{\frac{2}{\pi kr}} \cos \left( kr - \omega t - \frac{2m+1}{4} \pi \right) \dots (1-20)$$

Voor  $u_r$ , d.i. de golfvorm van de gereflecteerde golf, geldt dan, (zie (1-8) ):

$$u_r = \frac{1}{g} \frac{\partial \phi_r}{\partial t} = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_m \omega}{g} \cos m\theta \operatorname{sqr}(2/\pi kr) \sin(kr - \omega t - \frac{2m+1}{4}\pi) \quad (1-21)$$

Omdat  $kr$  een positief teken heeft,  $kr$  en  $\omega t$  verschillend teken hebben en voor het sommatieteken een positief teken (+) staat, stelt (1-21) een radiaal uitgaande golf voor. De golf dempt in de  $r$ -richting uit met  $\operatorname{sqr}(1/r)$ .

Het totale snelheidsveld wordt gevonden door superpositie van de velden van de invallende en de gereflecteerde golven (1-17) en (1-18):

$$\begin{aligned} \vec{v} &= \vec{v}_i + \vec{v}_r = \\ &= \frac{gH}{2\omega} e^{-i\omega t} \frac{\cosh\{k(d+z)\}}{\cosh kd} * \\ &= \left\{ \frac{J_0(kr)}{0} + 2 \sum_{m=1}^{\infty} i J_m(kr) \cos m\theta \right\} + \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} A_m \cos m\theta \left\{ \frac{J_m(kr)}{m} + i \frac{Y_m(kr)}{m} \right\} \vec{e}_r \quad \dots (1-22) \end{aligned}$$

De coëfficiënten  $A_m$  worden gevonden uit de eis, dat de snelheden loodrecht op de cilindermantel 0 (nul) moeten zijn:

$$\frac{\partial \phi}{\partial r} \Big|_{r=a} = 0 \dots \dots \dots (1-23)$$

waaruit, indien met ' differentieren naar  $r$  wordt aangegeven en na substitutie van  $r=a$ , volgt:

$$\begin{aligned} &= \frac{J_0'(ka)}{0} + 2 \sum_{m=1}^{\infty} i \frac{J_m'(ka)}{m} \cos m\theta + A_m \left\{ \frac{J_m'(ka)}{0} + i \frac{Y_m'(ka)}{0} \right\} + \\ &= \sum_{m=1}^{\infty} A_m \cos m\theta \left\{ \frac{J_m'(ka)}{m} + i \frac{Y_m'(ka)}{m} \right\} = 0 \dots (1-24) \end{aligned}$$

Hieraan wordt voldaan door:

$$A_m = - \frac{J_m'(ka)}{J_m'(ka) + i Y_m'(ka)} \dots \dots \dots (1-25)$$

en:

$$A_m \{J'_m(ka) + i Y'_m(ka)\} = -2i J'_m(ka) \dots \dots \dots (1-26)$$

of:

$$A_m = - \frac{2i J'_m(ka)}{J'_m(ka) + i Y'_m(ka)} \dots \dots \dots (1-27)$$

Met (1-25) en (1-27) gaat (1-22) over in:

$$\begin{aligned} \ddot{\varphi} = R_0 \int_0^d \frac{g \cdot H}{2 \cdot \omega} * e^{-i \omega t} * \frac{\cosh \{k(d+z)\}}{\cosh kd} * \\ \left[ J'_m(kr) - \frac{J'_m(ka) \{J'_m(kr) + i Y'_m(kr)\}}{J'_m(ka) + i Y'_m(ka)} + \right. \\ \left. 2 \sum_{m=1}^{\infty} i \cos m\theta \left\{ J'_m(kr) - \frac{J'_m(ka) \{J'_m(kr) + i Y'_m(kr)\}}{J'_m(ka) + i Y'_m(ka)} \right\} \right] \quad (1-28) \end{aligned}$$

of, (zie [1]:9.1.3, definitie van Hankelfunctie van de m- de orde en de eerste soort:

$$H_m(1)\{kr\} = J'_m(kr) + i Y'_m(kr) \dots \dots \dots (1-29) :$$

$$\begin{aligned} \ddot{\varphi} = R_0 \int_0^d \frac{g \cdot H}{2 \cdot \omega} * e^{-i \omega t} * \frac{\cosh \{k(d+z)\}}{\cosh kd} * \\ \left[ J'_m(kr) - \frac{J'_m(ka)}{H_m(1)'(ka)} * H_m(1)\{kr\} + \right. \\ \left. 2 \sum_{m=1}^{\infty} i \cos m\theta \left\{ J'_m(kr) - \frac{J'_m(ka)}{H_m(1)'(ka)} * H_m(1)\{kr\} \right\} \right] \quad (1-30) \end{aligned}$$

waarmee formule (3) is afgeleid.

**BIJLAGE 2.**

**DRUK OP DE CILINDERMANTEL**

Uitgaande van (1-28) wordt (zie ook formule (5)):

$$\Delta p = R_A \left[ \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{i \rho g H}{2} * e^{-i \omega t} * \frac{\cosh \{k(d+z)\}}{\cosh \{k*d\}} * \left[ \frac{J'_0(ka) \{J_0(kr) + i Y_0(kr)\}}{J'_0(ka) + i Y'_0(ka)} + \sum_{m=1}^{\infty} i \cos m\theta \left\{ \frac{J'_m(ka) \{J_m(kr) + i Y_m(kr)\}}{J'_m(ka) + i Y'_m(ka)} \right\} \right] \right] \right] \quad (2-1)$$

Voor r=a (op de cilindermantel):

$$\Delta p = R_A \left[ \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{i \rho g H}{2} * e^{-i \omega t} * \frac{\cosh \{k(d+z)\}}{\cosh \{k*d\}} * \left\{ \frac{J_0(ka) \{J'_0(ka) + i Y'_0(ka)\} - J'_0(ka) \{J_0(ka) + i Y_0(ka)\}}{J'_0(ka) + i Y'_0(ka)} + \sum_{m=1}^{\infty} i \cos m\theta \frac{J_m(ka) \{J'_m(ka) + i Y'_m(ka)\} - J'_m(ka) \{J_m(ka) + i Y_m(ka)\}}{J'_m(ka) + i Y'_m(ka)} \right\} \right] \right] \quad (2-2)$$

De tellers van het deel tussen { } zijn te herleiden tot:

$$i \{ J_m(ka) * Y'_m(ka) - J'_m(ka) * Y_m(ka) \} \dots \dots \dots (2-3)$$

Volgens [1]:9.1.27 is:

$$\zeta'_m(z) = \zeta_m - \frac{m}{z} * \zeta_m(z) \dots \dots \dots (2-4)$$

waarmee (2-3) overgaat in:

$$i \{ J_m(ka) * Y_{m-1}(ka) - J_{m-1}(ka) * Y_m(ka) \} \dots \dots \dots (2-5)$$



Dit is volgens [1]:9.1.16 gelijk aan  $2i/(\pi k a)$ , zodat (2-2) te schrijven is als:

$$\Delta p = \text{Re} \left[ \frac{P^* g^* H}{\pi k a} * e^{-i \omega t} * \frac{\cosh \{k(d+z)\}}{\cosh (kd)} * \left( \frac{1}{J_0^2(ka) + i Y_0^2(ka)} + 2 \sum_{m=1}^{\infty} i \cos m \theta \frac{1}{J_m^2(ka) + i Y_m^2(ka)} \right) \right] \dots (2-6)$$

of:

$$\Delta p = \text{Re} \left[ \frac{P^* g^* H}{\pi k a} * e^{-i \omega t} * \frac{\cosh \{k(d+z)\}}{\cosh (kd)} * \left( \frac{J_0^2(ka) - i Y_0^2(ka)}{J_0^2(ka) + i Y_0^2(ka)} + 2 \sum_{m=1}^{\infty} i \cos m \theta \frac{J_m^2(ka) - i Y_m^2(ka)}{J_m^2(ka) + i Y_m^2(ka)} \right) \right] \dots (2-7)$$

Stelt men hierin:  $\tan \alpha = \frac{J_0^2(ka)}{Y_0^2(ka)} \dots \dots \dots (2-8)$

waaruit volgt dat:

$$J_0^2(ka) = \sin \alpha * \text{sqr} \{ J_0^2(ka) + Y_0^2(ka) \} \dots (2-9)$$

en:

$$Y_0^2(ka) = \cos \alpha * \text{sqr} \{ J_0^2(ka) + Y_0^2(ka) \} \dots (2-10)$$

dan gaat (2-7) met toepassing van (1-9) over in:

$$\Delta p = \frac{P \cdot g \cdot H}{\pi \cdot k \cdot a} \cdot \frac{\cosh(k(d+z))}{\cosh kd} \cdot (\cos \omega t - i \sin \omega t) \cdot \left[ \frac{\sin \alpha}{0} - i \frac{\cos \alpha}{0} + \frac{2 \sum_{m=1}^{\infty} i \cos m\theta \left( \frac{\sin \alpha}{m} - i \frac{\cos \alpha}{m} \right)}{\text{sqr}\{J_m^2(ka) + Y_m^2(ka)\}} \right] \dots (2-11)$$

hetgeen ook te schrijven is als:

$$\Delta p = \frac{P \cdot g \cdot H \cdot \cosh(k(d+z))}{\pi \cdot k \cdot a \cdot \cosh(kd)} \cdot \left[ \frac{\sin(\omega t + \alpha_0)}{\text{sqr}\{J_0^2(ka) + Y_0^2(ka)\}} + 2 \cdot \frac{\cos(\omega t - \alpha_1) \cdot \cos(\theta)}{\text{sqr}\{J_1^2(ka) + Y_1^2(ka)\}} - 2 \cdot \frac{\sin(\omega t + \alpha_2) \cdot \cos(2\theta)}{\text{sqr}\{J_2^2(ka) + Y_2^2(ka)\}} - 2 \cdot \frac{\cos(\omega t - \alpha_3) \cdot \cos(3\theta)}{\text{sqr}\{J_3^2(ka) + Y_3^2(ka)\}} + 2 \cdot \frac{\sin(\omega t + \alpha_4) \cdot \cos(4\theta)}{\text{sqr}\{J_4^2(ka) + Y_4^2(ka)\}} + \dots \right] \dots (2-12)$$

waarmee formule (6) is afgeleid.

### BIJLAGE 3.

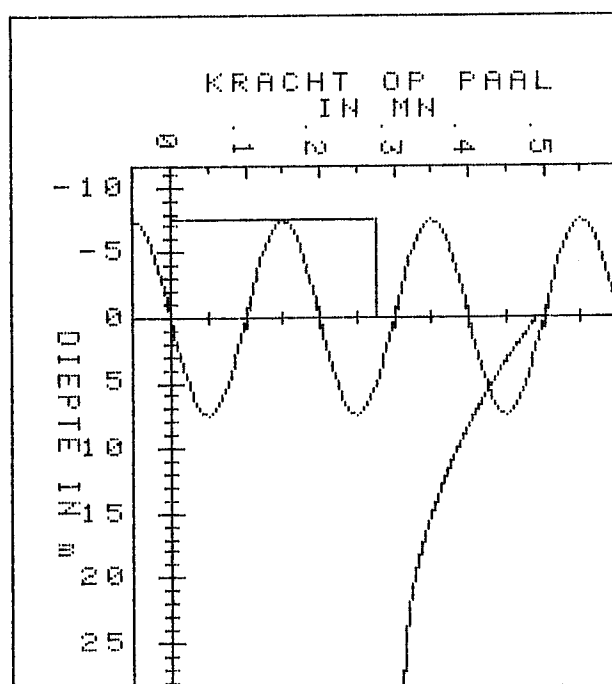
Berekening horizontale kracht op cilindrische paal  
en moment daarvan t.o.v. bodem  
volgens eerste-orde theorie van MacCamy & Fuchs

#### Basisgegevens

Soortelijke massa vloeistof	1024	kg/m <sup>3</sup>
Golfhoogte	15	meters
Golfperiode	12	seconden
Waterdiepte	28.5	meters
Hierbij berekende golflengte	173.970561143	meters
Straal van de onderste cilinder	17.5	meters
Straal van de bovenste cilinder	12.67	meters
Aantal paalmoten onder midenstand	285	stuks
Aantal paalmoten boven midenstand	75	stuks

op onderste cilinder volgens MacCamy & Fuchs				*	TOTAAL	
KRACHT	MOMENT	MOMENT-	MOMENT	*	KRACHT	MOMENT
UIT	UIT	ARM	VOLGENS	*	UIT	UIT
SOMMATIE	SOMMATIE	MacCamy & Fuchs	MacCamy & Fuchs	*	SOMMATIE	SOMMATIE
IN MN	IN MNm	IN m	IN MNm	*	IN MN	IN MNm
+105.59	+1624.80	+15.39	+1624.80	*	+126.47	+2298.11
					ARM T.O.V. BODEM:	
					18.17 m	

Fwaterlijn ~ 492252.493954 N/paalmoot  
Fbodem ~ 312343.590816 N/paalmoot  
Fwaterlijn BOVENSTE CILINDER 278368.872809 N/paalmoot



# BIJLAGE 4.

## FINITE ELEMENTS FOR UPWARD PRESSURE UNDER CYLINDER INPUT

NODE NUMBER	ABSCISSA	ORDINATE	NODE TYPE	PRESSURE	SUPPLY	AREA * 6.25	LEVER ARM
1	-17.50000000	0.00000000	2	344338.416	0	.250	-16.8750
2	-17.32050808	2.50000000	2	343740.318	0	.500	-16.8750
3	-16.77050983	5.00000000	2	341899.157	0	.250	-16.5625
4	-15.81138830	7.50000000	2	338659.592	0	0.000	0.0000
5	-15.00000000	0.00000000	0	300000.000	0	.500	-15.0000
6	-15.00000000	2.50000000	0	300000.000	0	1.000	-15.0000
7	-15.00000000	5.00000000	0	300000.000	0	1.000	-15.0000
8	-15.00000000	7.50000000	0	300000.000	0	.750	-14.6875
9	-15.00000000	9.01387819	2	335892.781	0	0.000	0.0000
10	-14.36140662	10.00000000	2	333699.894	0	.250	-14.0625
11	-12.50000000	0.00000000	0	300000.000	0	.500	-12.5000
12	-12.50000000	2.50000000	0	300000.000	0	1.000	-12.5000
13	-12.50000000	5.00000000	0	300000.000	0	1.000	-12.5000
14	-12.50000000	7.50000000	0	300000.000	0	1.000	-12.5000
15	-12.50000000	9.01387819	0	300000.000	0	0.000	0.0000
16	-12.50000000	10.00000000	0	300000.000	0	1.000	-12.5000
17	-12.50000000	12.24744871	2	327242.291	0	.500	-12.5000
18	-12.24744871	12.50000000	2	326359.687	0	0.000	0.0000
19	-10.00000000	0.00000000	0	300000.000	0	.500	-10.0000
20	-10.00000000	2.50000000	0	300000.000	0	1.000	-10.0000
21	-10.00000000	5.00000000	0	300000.000	0	1.000	-10.0000
22	-10.00000000	7.50000000	0	300000.000	0	1.000	-10.0000
23	-10.00000000	9.01387819	0	300000.000	0	0.000	0.0000
24	-10.00000000	10.00000000	0	300000.000	0	1.000	-10.0000
25	-10.00000000	12.24744871	0	300000.000	0	0.000	0.0000
26	-10.00000000	12.50000000	0	300000.000	0	1.000	-10.0000
27	-10.00000000	14.36140662	2	318455.739	0	.375	-10.0000
28	-9.01387819	15.00000000	2	314967.829	0	0.000	0.0000
29	-7.50000000	0.00000000	0	300000.000	0	.500	-7.5000
30	-7.50000000	2.50000000	0	300000.000	0	1.000	-7.5000
31	-7.50000000	5.00000000	0	300000.000	0	1.000	-7.5000
32	-7.50000000	7.50000000	0	300000.000	0	1.000	-7.5000
33	-7.50000000	9.01387819	0	300000.000	0	0.000	0.0000
34	-7.50000000	10.00000000	0	300000.000	0	1.000	-7.5000
35	-7.50000000	12.24744871	0	300000.000	0	0.000	0.0000
36	-7.50000000	12.50000000	0	300000.000	0	1.000	-7.5000
37	-7.50000000	14.36140662	0	300000.000	0	0.000	0.0000
38	-7.50000000	15.00000000	0	300000.000	0	.750	-7.5000
39	-7.50000000	15.81138830	2	309603.204	0	0.000	0.0000
40	-5.00000000	0.00000000	0	300000.000	0	.500	-5.0000
41	-5.00000000	2.50000000	0	300000.000	0	1.000	-5.0000
42	-5.00000000	5.00000000	0	300000.000	0	1.000	-5.0000
43	-5.00000000	7.50000000	0	300000.000	0	1.000	-5.0000
44	-5.00000000	9.01387819	0	300000.000	0	0.000	0.0000
45	-5.00000000	10.00000000	0	300000.000	0	1.000	-5.0000
46	-5.00000000	12.24744871	0	300000.000	0	0.000	0.0000
47	-5.00000000	12.50000000	0	300000.000	0	1.000	-5.0000
48	-5.00000000	14.36140662	0	300000.000	0	0.000	0.0000
49	-5.00000000	15.00000000	0	300000.000	0	1.000	-5.0000

50	-5.0000000	16.77050983	2	300755.451	0	.250	0	-5.0000
51	-2.5000000	0.0000000	0	300000.000	0	.500	0	-2.5000
52	-2.5000000	2.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	-2.5000
53	-2.5000000	5.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	-2.5000
54	-2.5000000	7.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	-2.5000
55	-2.5000000	9.01387819	0	300000.000	0	0.000	0	-2.5000
56	-2.5000000	10.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	-2.5000
57	-2.5000000	12.24744871	0	300000.000	0	0.000	0	-2.5000
58	-2.5000000	12.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	-2.5000
59	-2.5000000	14.36140662	0	300000.000	0	0.000	0	-2.5000
60	-2.5000000	15.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	-2.5000
61	-2.5000000	17.32050808	2	291983.335	0	.500	0	-2.5000
62	0.0000000	0.0000000	0	300000.000	0	.500	0	0.0000
63	0.0000000	2.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	0.0000
64	0.0000000	5.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	0.0000
65	0.0000000	7.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	0.0000
66	0.0000000	9.01387819	0	300000.000	0	0.000	0	0.0000
67	0.0000000	10.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	0.0000
68	0.0000000	12.24744871	0	300000.000	0	0.000	0	0.0000
69	0.0000000	12.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	0.0000
70	0.0000000	14.36140662	0	300000.000	0	0.000	0	0.0000
71	0.0000000	15.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	0.0000
72	0.0000000	17.5000000	2	344338.416	0	.500	0	0.0000
73	2.5000000	0.0000000	0	300000.000	0	.500	0	2.5000
74	2.5000000	2.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	2.5000
75	2.5000000	5.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	2.5000
76	2.5000000	7.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	2.5000
77	2.5000000	9.01387819	0	300000.000	0	0.000	0	2.5000
78	2.5000000	10.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	2.5000
79	2.5000000	12.24744871	0	300000.000	0	0.000	0	2.5000
80	2.5000000	12.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	2.5000
81	2.5000000	14.36140662	0	300000.000	0	0.000	0	2.5000
82	2.5000000	15.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	2.5000
83	2.5000000	17.32050808	2	274946.445	0	.500	0	2.5000
84	5.0000000	0.0000000	0	300000.000	0	.500	0	5.0000
85	5.0000000	2.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	5.0000
86	5.0000000	5.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	5.0000
87	5.0000000	7.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	5.0000
88	5.0000000	9.01387819	0	300000.000	0	0.000	0	5.0000
89	5.0000000	10.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	5.0000
90	5.0000000	12.24744871	0	300000.000	0	0.000	0	5.0000
91	5.0000000	12.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	5.0000
92	5.0000000	14.36140662	0	300000.000	0	0.000	0	5.0000
93	5.0000000	15.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	5.0000
94	5.0000000	16.77050983	2	266818.702	0	.250	0	5.0000
95	7.5000000	0.0000000	0	300000.000	0	.500	0	7.5000
96	7.5000000	2.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	7.5000
97	7.5000000	5.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	7.5000
98	7.5000000	7.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	7.5000
99	7.5000000	9.01387819	0	300000.000	0	0.000	0	7.5000
100	7.5000000	10.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	7.5000
101	7.5000000	12.24744871	0	300000.000	0	0.000	0	7.5000
102	7.5000000	12.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	7.5000
103	7.5000000	14.36140662	0	300000.000	0	0.000	0	7.5000
104	7.5000000	15.0000000	0	300000.000	0	.750	0	7.5000
105	7.5000000	15.81138830	2	259039.567	0	.750	0	7.5000
106	10.0000000	0.0000000	0	300000.000	0	.500	0	10.0000
107	10.0000000	2.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	10.0000
108	10.0000000	5.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	10.0000
109	10.0000000	7.5000000	0	300000.000	0	1.000	0	10.0000
110	10.0000000	9.01387819	0	300000.000	0	0.000	0	10.0000
111	10.0000000	10.0000000	0	300000.000	0	1.000	0	10.0000

112	10.0000000	12.24744871	0	300000.000	0	300000.000	0	0.000	0.000
113	10.0000000	12.5000000	0	300000.000	0	300000.000	0	1.000	10.000
114	10.0000000	14.36140662	2	251671.937	0	254525.050	0	.375	10.000
115	9.01387819	15.0000000	2	254525.050	0	254525.050	0	0.000	0.000
116	12.5000000	0.0000000	0	300000.000	0	300000.000	0	.500	12.500
117	12.5000000	2.5000000	0	300000.000	0	300000.000	0	1.000	12.500
118	12.5000000	5.0000000	0	300000.000	0	300000.000	0	1.000	12.500
119	12.5000000	7.5000000	0	300000.000	0	300000.000	0	1.000	12.500
120	12.5000000	9.01387819	0	300000.000	0	300000.000	0	0.000	0.000
121	12.5000000	10.0000000	0	300000.000	0	300000.000	0	1.000	12.500
122	12.5000000	12.24744871	2	244775.526	0	244775.526	0	.500	12.500
123	12.24744871	12.5000000	2	245449.166	0	245449.166	0	0.000	0.000
124	15.0000000	0.0000000	0	300000.000	0	300000.000	0	.500	15.000
125	15.0000000	2.5000000	0	300000.000	0	300000.000	0	1.000	15.000
126	15.0000000	5.0000000	0	300000.000	0	300000.000	0	1.000	15.000
127	15.0000000	7.5000000	0	300000.000	0	300000.000	0	.750	14.6875
128	15.0000000	9.01387819	2	238406.357	0	238406.357	0	0.000	0.000
129	14.36140662	10.0000000	2	239980.199	0	239980.199	0	.250	14.0625
130	17.5000000	0.0000000	2	232616.281	0	232616.281	0	.250	16.8750
131	17.32050808	2.5000000	2	233011.655	0	233011.655	0	.500	16.8750
132	16.77050983	5.0000000	2	234243.097	0	234243.097	0	.250	16.5625
133	15.81138830	7.5000000	2	236461.300	0	236461.300	0	0.000	0.000

# MESH ARRANGEMENT

ELEMENT	NODES			TRANSMISSIVITY
1	1	5	6	1
2	1	2	6	1
3	2	6	7	1
4	2	3	7	1
5	3	7	8	1
6	3	4	8	1
7	4	8	9	1
8	5	11	12	1
9	5	6	12	1
10	6	12	13	1
11	6	7	13	1
12	7	13	14	1
13	7	8	14	1
14	8	14	15	1
15	8	9	15	1
16	9	15	16	1
17	9	10	16	1
18	10	16	17	1
19	11	19	20	1
20	11	12	20	1
21	12	20	21	1
22	12	13	21	1
23	13	21	22	1
24	13	14	22	1
25	14	22	23	1
26	14	15	23	1
27	15	23	24	1
28	15	16	24	1
29	16	24	25	1
30	16	17	25	1
31	17	25	26	1
32	17	18	26	1
33	18	26	27	1
34	19	29	30	1
35	19	20	30	1
36	20	30	31	1
37	20	21	31	1
38	21	31	32	1
39	21	22	32	1
40	22	32	33	1
41	22	23	33	1
42	23	33	34	1
43	23	24	34	1
44	24	34	35	1
45	24	25	35	1
46	25	35	36	1
47	25	26	36	1
48	26	36	37	1
49	26	27	37	1
50	27	37	38	1
51	27	28	38	1
52	28	38	39	1
53	29	40	41	1
54	29	30	41	1
55	30	41	42	1
56	30	31	42	1
57	31	42	43	1

58	31	32	43	1
59	32	43	44	1
60	32	33	44	1
61	33	44	45	1
62	33	34	45	1
63	34	45	46	1
64	34	35	46	1
65	35	46	47	1
66	35	36	47	1
67	36	47	48	1
68	36	37	48	1
69	37	48	49	1
70	37	38	49	1
71	38	49	50	1
72	38	39	50	1
73	40	51	52	1
74	40	41	52	1
75	41	52	53	1
76	41	42	53	1
77	42	53	54	1
78	42	43	54	1
79	43	54	55	1
80	43	44	55	1
81	44	55	56	1
82	44	45	56	1
83	45	56	57	1
84	45	46	57	1
85	46	57	58	1
86	46	47	58	1
87	47	58	59	1
88	47	48	59	1
89	48	59	60	1
90	48	49	60	1
91	49	60	61	1
92	49	50	61	1
93	51	62	63	1
94	51	52	63	1
95	52	63	64	1
96	52	53	64	1
97	53	64	65	1
98	53	54	65	1
99	54	65	66	1
100	54	55	66	1
101	55	66	67	1
102	55	56	67	1
103	56	67	68	1
104	56	57	68	1
105	57	68	69	1
106	57	58	69	1
107	58	69	70	1
108	58	59	70	1
109	59	70	71	1
110	59	60	71	1
111	60	71	72	1
112	60	61	72	1
113	62	73	74	1
114	62	63	74	1
115	63	74	75	1
116	63	64	75	1
117	64	75	76	1
118	64	65	76	1
119	65	76	77	1



120	65	66	77	1
121	66	77	78	1
122	66	67	78	1
123	67	78	79	1
124	67	68	79	1
125	68	79	80	1
126	68	69	80	1
127	69	80	81	1
128	69	70	81	1
129	70	81	82	1
130	70	71	82	1
131	71	82	83	1
132	71	72	83	1
133	73	84	85	1
134	73	74	85	1
135	74	85	86	1
136	74	75	86	1
137	75	86	87	1
138	75	76	87	1
139	76	87	88	1
140	76	77	88	1
141	77	88	89	1
142	77	78	89	1
143	78	89	90	1
144	78	79	90	1
145	79	90	91	1
146	79	80	91	1
147	80	91	92	1
148	80	81	92	1
149	81	92	93	1
150	81	82	93	1
151	82	93	94	1
152	82	83	94	1
153	84	95	96	1
154	84	85	96	1
155	85	96	97	1
156	85	86	97	1
157	86	97	98	1
158	86	87	98	1
159	87	98	99	1
160	87	88	99	1
161	88	99	100	1
162	88	89	100	1
163	89	100	101	1
164	89	90	101	1
165	90	101	102	1
166	90	91	102	1
167	91	102	103	1
168	91	92	103	1
169	92	103	104	1
170	92	93	104	1
171	93	104	105	1
172	93	94	105	1
173	95	106	107	1
174	95	96	107	1
175	96	107	108	1
176	96	97	108	1
177	97	108	109	1
178	97	98	109	1
179	98	109	110	1
180	98	99	110	1
181	99	110	111	1

182	99	100	111	1
183	100	111	112	1
184	100	101	112	1
185	101	112	113	1
186	101	102	113	1
187	102	113	114	1
188	102	103	114	1
189	103	114	115	1
190	103	104	115	1
191	104	115	105	1
192	106	116	117	1
193	106	107	117	1
194	107	117	118	1
195	107	108	118	1
196	108	118	119	1
197	108	109	119	1
198	109	119	120	1
199	109	110	120	1
200	110	120	121	1
201	110	111	121	1
202	111	121	122	1
203	111	112	122	1
204	112	122	123	1
205	112	113	123	1
206	113	123	114	1
207	116	124	125	1
208	116	117	125	1
209	117	125	126	1
210	117	118	126	1
211	118	126	127	1
212	118	119	127	1
213	119	127	128	1
214	119	120	128	1
215	120	128	129	1
216	120	121	129	1
217	121	129	122	1
218	124	130	131	1
219	124	125	131	1
220	125	131	132	1
221	125	126	132	1
222	126	132	133	1
223	126	127	133	1
224	127	133	128	1

DAYS= 0 TIME= 55967.55

**RESULTS:**

NODE NUMBER	AREA ----- 2*6.25	PRESSURE	LEVER ARM	FORCE in N.	FIRST MOMENT in Nm.
1	.250	344338.42	-16.8750	1076057.55	-18158471.13
2	.500	343740.32	-16.8750	2148376.99	-36253861.64
3	.250	341899.16	-16.5625	1068434.87	-17695952.46
4	0.000	338659.59	0.0000	0.00	0.00
5	.500	336377.18	-15.0000	2102357.37	-31535360.62
6	1.000	336348.46	-15.0000	4204355.79	-63065336.87
7	1.000	336249.57	-15.0000	4203119.65	-63046794.69
8	.750	336063.07	-14.6875	3150591.25	-46274308.94
9	0.000	335892.78	0.0000	0.00	0.00
10	.250	333699.89	-14.0625	1042812.17	-14664546.10
11	.500	328478.30	-12.5000	2052989.35	-25662366.84
12	1.000	328450.15	-12.5000	4105626.84	-51320335.56
13	1.000	328344.83	-12.5000	4104310.39	-51303879.93
14	1.000	328136.11	-12.5000	4101701.33	-51271266.60
15	0.000	327935.25	0.0000	0.00	0.00
16	1.000	327765.89	-12.5000	4097073.68	-51213420.96
17	.500	327242.29	-12.5000	2045264.32	-25565803.98
18	0.000	326359.69	0.0000	0.00	0.00
19	.500	320639.22	-10.0000	2003995.14	-20039951.37
20	1.000	320621.37	-10.0000	4007767.16	-40077671.64
21	1.000	320540.14	-10.0000	4006751.71	-40067517.07
22	1.000	320360.51	-10.0000	4004506.41	-40045064.11
23	0.000	320165.15	0.0000	0.00	0.00
24	1.000	319986.25	-10.0000	3999828.18	-39998281.84
25	0.000	319388.01	0.0000	0.00	0.00
26	1.000	319300.15	-10.0000	3991251.84	-39912518.44
27	.375	318455.74	-10.0000	1492761.28	-14927612.75
28	0.000	314967.83	0.0000	0.00	0.00
29	.500	312839.16	-7.5000	1955244.74	-14664335.57
30	1.000	312843.75	-7.5000	3910546.92	-29329101.87
31	1.000	312827.77	-7.5000	3910347.13	-29327603.50
32	1.000	312758.90	-7.5000	3909486.26	-29321146.95
33	0.000	312643.25	0.0000	0.00	0.00
34	1.000	312511.73	-7.5000	3906396.61	-29297974.55
35	0.000	311973.52	0.0000	0.00	0.00
36	1.000	311881.01	-7.5000	3898512.64	-29238844.76
37	0.000	310852.40	0.0000	0.00	0.00
38	.750	310379.62	-7.5000	2909808.96	-21823567.16
39	0.000	309603.20	0.0000	0.00	0.00
40	.500	305032.71	-5.0000	1906454.45	-9532272.23
41	1.000	305069.97	-5.0000	3813374.62	-19066873.12
42	1.000	305159.79	-5.0000	3814497.37	-19072486.84
43	1.000	305303.19	-5.0000	3816289.83	-19081449.13
44	0.000	305386.59	0.0000	0.00	0.00
45	1.000	305409.90	-5.0000	3817623.78	-19088118.91
46	0.000	305260.29	0.0000	0.00	0.00
47	1.000	305198.49	-5.0000	3814981.15	-19074905.76
48	0.000	304204.30	0.0000	0.00	0.00
49	1.000	303579.52	-5.0000	3794744.02	-18973720.08
50	.250	300755.45	-5.0000	939860.78	-4699303.92
51	.500	297153.70	-2.5000	1857210.61	-4643026.53
52	1.000	297222.74	-2.5000	3715284.28	-9288210.69
53	1.000	297427.40	-2.5000	3717842.45	-9294606.12

54	1.000	297846.20	-2.5000	3723077.48	-9307693.69
55	0.000	298261.78	0.0000	0.00	0.00
56	1.000	298604.17	-2.5000	3732552.09	-9331380.22
57	0.000	299543.96	0.0000	0.00	0.00
58	1.000	299634.80	-2.5000	3745435.06	-9363587.64
59	0.000	299808.31	0.0000	0.00	0.00
60	1.000	299127.34	-2.5000	3739091.70	-9347729.26
61	.500	291983.34	-2.5000	1824895.85	-4562239.61
62	.500	289137.37	0.0000	1807108.53	0.00
63	1.000	289215.64	0.0000	3615195.50	0.00
64	1.000	289468.03	0.0000	3618350.38	0.00
65	1.000	290045.70	0.0000	3625571.25	0.00
66	0.000	290743.33	0.0000	0.00	0.00
67	1.000	291458.00	0.0000	3643225.04	0.00
68	0.000	294263.32	0.0000	0.00	0.00
69	1.000	294832.80	0.0000	3685410.01	0.00
70	0.000	301252.37	0.0000	0.00	0.00
71	1.000	305893.91	0.0000	3823673.85	0.00
72	.500	344338.42	0.0000	2152115.10	0.00
73	.500	280951.53	2.5000	1755947.04	4389867.60
74	1.000	280995.63	2.5000	3512445.34	8781113.35
75	1.000	281156.74	2.5000	3514459.28	8786148.20
76	1.000	281511.80	2.5000	3518897.51	8797243.77
77	0.000	281883.75	0.0000	0.00	0.00
78	1.000	282187.66	2.5000	3527345.69	8818364.23
79	0.000	283122.23	0.0000	0.00	0.00
80	1.000	283174.46	2.5000	3539680.73	8849201.83
81	0.000	283456.09	0.0000	0.00	0.00
82	1.000	282880.34	2.5000	3536004.20	8840010.51
83	.500	274946.44	2.5000	1718415.28	4296038.20
84	.500	272650.26	5.0000	1704064.10	8520320.48
85	1.000	272644.70	5.0000	3408058.75	17040293.74
86	1.000	272641.36	5.0000	3408017.05	17040085.27
87	1.000	272638.13	5.0000	3407976.64	17039883.19
88	0.000	272606.42	0.0000	0.00	0.00
89	1.000	272532.62	5.0000	3406657.70	17033288.48
90	0.000	272184.88	0.0000	0.00	0.00
91	1.000	272054.85	5.0000	3400685.61	17003428.07
92	0.000	270779.25	0.0000	0.00	0.00
93	1.000	270002.74	5.0000	3375034.20	16875170.98
94	.250	266818.70	5.0000	833808.44	4169042.21
95	.500	264333.56	7.5000	1652084.77	12390635.79
96	1.000	264278.69	7.5000	3303483.63	24776127.21
97	1.000	264116.48	7.5000	3301455.94	24760919.56
98	1.000	263809.99	7.5000	3297624.93	24732186.95
99	0.000	263502.65	0.0000	0.00	0.00
100	1.000	263216.32	7.5000	3290203.98	24676529.88
101	0.000	262303.71	0.0000	0.00	0.00
102	1.000	262132.78	7.5000	3276659.72	24574947.93
103	0.000	260643.63	0.0000	0.00	0.00
104	.750	259986.85	7.5000	2437376.71	18280325.35
105	0.000	259039.57	0.0000	0.00	0.00
106	.500	256102.43	10.0000	1600640.20	16006402.01
107	1.000	256009.05	10.0000	3200113.18	32001131.78
108	1.000	255727.96	10.0000	3196599.49	31965994.94
109	1.000	255219.30	10.0000	3190241.30	31902413.01
110	0.000	254757.99	0.0000	0.00	0.00
111	1.000	254371.82	10.0000	3179647.70	31796477.05
112	0.000	253243.31	0.0000	0.00	0.00
113	1.000	253075.18	10.0000	3163439.81	31634398.09
114	.375	251671.94	10.0000	1179712.21	11797122.07
115	0.000	254525.05	0.0000	0.00	0.00

116	.500	248037.76	12.5000	1550236.02	19377950.26
117	1.000	247918.74	12.5000	3098984.29	38737303.66
118	1.000	247561.21	12.5000	3094515.09	38681438.63
119	1.000	246934.62	12.5000	3086682.70	38583533.70
120	0.000	246394.64	0.0000	0.00	0.00
121	1.000	245970.85	12.5000	3074635.67	38432945.88
122	.500	244775.53	12.5000	1529847.04	19123087.97
123	0.000	245449.17	0.0000	0.00	0.00
124	.500	240195.76	15.0000	1501223.52	22518352.84
125	1.000	240061.48	15.0000	3000768.47	45011527.00
126	1.000	239660.48	15.0000	2995756.06	44936340.87
127	.750	238975.32	14.6875	2240393.62	32905781.35
128	0.000	238406.36	0.0000	0.00	0.00
129	.250	239980.20	14.0625	749938.12	10546004.82
130	.250	232616.28	16.8750	726925.88	12266874.20
131	.500	233011.65	16.8750	1456322.84	24575447.97
132	.250	234243.10	16.5625	732009.68	12123910.31
133	0.000	236461.30	0.0000	0.00	0.00

280829161.81 -243434890.52  
LEVER ARM: -.87

## BIJLAGE 5.

```

10 COM M#[18]
20 ! MacCamy & Fuchs McC&Fu bijl.3
30 PRINTER IS 701,80 @ PRINT CHR$(27)&"C"&CHR$(0)&CHR$(12)
40 FOR I=1 TO 2 @ PRINT @ NEXT I
50 PRINT CHR$(27)&"N"&CHR$(4)
60 DIM A0(6),A1(6),A2(6),A3(6),A4(6),A5(6),A6(6),A7(6),F(500)
70 ! Invoergegevens
80 DISP "Soortelijke massa vloeistof"
90 DISP "in kg/m3?" @ READ R
100 DISP "Ontwerp golfhoogte in m?" @ READ H
110 DISP "Golfperiode in seconden?" @ READ T
120 DISP "Waterdiepte t.o.v."
130 DISP "middenstand in m?" @ READ D
140 DISP "Straal van de onderste cilinder"
150 DISP "in m?" @ READ A
160 DISP "straal van de bovenste cilinder"
170 DISP "in m?" @ READ A7
180 G=9.812 @ DISP "Aantal paalmoten onder midden-"
190 DISP "stand?" @ READ N
200 DISP "Prentje gewenst? Indien 'ja' dan 1 intypen, indien 'nee' dan 0 intyp-
n" @ READ A9
210 ! Berekening golflengte
220 C=SQR(G*D) @ LO=C*T
230 F=G*T*T*(EXP(2*PI*D/LO)-EXP(-2*PI*D/LO))
240 F=F/(2*PI*(EXP(2*PI*D/LO)+EXP(-2*PI*D/LO)))
250 F=L0-F
260 F1=1+4*G*T*T*D/(L0*L0*(EXP(2*PI*D/LO)+EXP(-2*PI*D/LO))^2)
270 L=L0-F/F1 @ IF ABS(L-L0)<.00000001 THEN GOTO 290
280 L0=L @ GOTO 230
290 ! Uitvoer basisgegevens
300 PRINT ;TAB(10);"BIJLAGE 3. "
310 PRINT
320 PRINT "";TAB(15);"Berekening horizontale kracht op cilindrische paal"
330 PRINT "";TAB(25);"en moment daarvan t.o.v. bodem"
340 PRINT "";TAB(16);"volgens eerste-orde theorie van MacCamy & Fuchs"
350 PRINT @ PRINT "";TAB(33);"Basisgegevens" @ PRINT
360 PRINT "";TAB(10);"Soortelijke massa vloeistof";TAB(49);R;TAB(65);"kg/m3"
370 PRINT "";TAB(10);"Golfhoogte";TAB(49);H;TAB(65);"meters"
380 PRINT "";TAB(10);"Golfperiode";TAB(49);T;TAB(65);"seconden"
390 PRINT ;TAB(10);"Waterdiepte";TAB(49);D;TAB(65);"meters"
400 PRINT "";TAB(10);"Hierbij berekende golflengte";TAB(49);L;TAB(65);"meters"
410 PRINT "";TAB(10);"Straal van de onderste cilinder";TAB(49);A;TAB(65);"meter
"
420 PRINT "";TAB(10);"Straal van de bovenste cilinder";TAB(49);A7;TAB(65);"mete
s"
430 PRINT "";TAB(10);"Aantal paalmoten onder midenstand";TAB(49);N;TAB(65);"stu
s"
440 PRINT "";TAB(10);"Aantal paalmoten boven midenstand";TAB(49);H/2*N/D;TAB(65
;"stuks"
450 PRINT
460 ! Constanten van polynomen voor benadering Besselfuncties
470 A0(0)=1 @ A0(1)=-2.2499997 @ A0(2)=1.2656208 @ A0(3)=-.3163866
480 A0(4)=.0444479 @ A0(5)=-.0039444 @ A0(6)=.00021
490 A1(0)=.5 @ A1(1)=-.56249985 @ A1(2)=.21093573 @ A1(3)=-.03954289
500 A1(4)=.00443319 @ A1(5)=-.00031761 @ A1(6)=.00001109
510 A2(0)=.36746691 @ A2(1)=.60559366 @ A2(2)=-.74350384 @ A2(3)=.25300117
520 A2(4)=-.04261214 @ A2(5)=.00427916 @ A2(6)=-.00024846
530 A3(0)=-.6366198 @ A3(1)=.2212091 @ A3(2)=2.1682709 @ A3(3)=-1.3164827

```

```

530 A3(0)=-.6366198 @ A3(1)=.2212091 @ A3(2)=2.1682709 @ A3(3)=-1.3164827
540 A3(4)=.3123951 @ A3(5)=-.0400976 @ A3(6)=.0027873
550 A4(0)=.79788456 @ A4(1)=-.00000077 @ A4(2)=-.0055274 @ A4(3)=-.00009512
560 A4(4)=.00137237 @ A4(5)=-.00072805 @ A4(6)=.00014476
570 A5(0)=-.78539816 @ A5(1)=-.04166397 @ A5(2)=-.00003954 @ A5(3)=.00262573
580 A5(4)=-.00054125 @ A5(5)=-.00029333 @ A5(6)=.00013558
590 A6(0)=.79788456 @ A6(1)=.00000156 @ A6(2)=.01659667 @ A6(3)=.00017105
600 A6(4)=-.00249511 @ A6(5)=.00113653 @ A6(6)=-.00020033
610 A7(0)=-2.35619449 @ A7(1)=.12499612 @ A7(2)=.0000565 @ A7(3)=-.00637879
620 A7(4)=.00074348 @ A7(5)=.00079824 @ A7(6)=-.00029166
630 ! Argument ka=X
640 X=2*PI*A/L @ IF X<=3 THEN GOSUB 1340 ELSE GOSUB 1410
650 ! A(ka)=AB
660 AB=1/SQR((J0-J1)^2+(Y0-Y1)^2)
670 ! Fz=F(I); ~(Fz*arm)=M1; F(z=0)=F(0); B=cosh k(d+z)/cosh kd; ~F(I)=F1
680 F(0)=2*R*B*H*AB*A/X @ K=X/A
690 M0=F(0)*(2-EXP(K*D)-EXP(-K*D)+K*D*(EXP(K*D)-EXP(-K*D)))
700 M0=M0/(K*K*(EXP(K*D)+EXP(-K*D)))
710 M1=0 @ F1=0 @ FOR I=1 TO N
720 B=K*D*(1-(2*I-1)/(2*N)) @ B=EXP(B)+EXP(-B)
730 B=B/(EXP(K*D)+EXP(-K*D)) @ F(I)=F(0)*B*D/N
740 M1=M1+F(I)*D*(1-(2*I-1)/(2*N)) @ F1=F1+F(I)
750 NEXT I
760 ! Nieuw argument ka=X
770 X=2*PI*A7/L @ IF X<=3 THEN GOSUB 1340 ELSE GOSUB 1410
780 ! Nieuwe A(ka)=AB
790 AB=1/SQR((J0-J1)^2+(Y0-Y1)^2)
800 ! Kracht/m² op waterlijn BOVENSTE cilinder
810 F(0)=2*R*B*H*AB*A7/X @ M2=M1 @ F2=F1
820 B=K*D*(1-1/(2*N)) @ B=EXP(B)+EXP(-B)
830 B=B/(EXP(K*D)+EXP(-K*D)) @ F(0)=F(0)*B*D/N
840 FOR I=1 TO H*N/(2*D)
850 F(N+I)=F(0)
860 F2=F2+F(N+I) @ M2=M2+F(N+I)*(D+(2*I-1)*D/(2*N)) @ NEXT I
870 ! Uitvoer MacCamy & Fuchs
880 PRINT
890 PRINT "      op onderste cilinder volgens MacCamy & Fuchs  *"
900 PRINT "      KRACHT      MOMENT      MOMENT-      MOMENT      * TOTALE
DTAAL"
910 PRINT "      UIT      UIT      ARM      VOLGENS      * KRACHT
OMENT"
920 PRINT "      SOMMATIE  SOMMATIE      MacCamy & Fuchs *  UIT
UIT"
930 PRINT "      IN MN      IN MNm      IN m      IN MNm      * SOMMATIE
MMATIE"
940 PRINT "      IN MN
N MNm"
950 P0=INT(F1*.0001+.5)/100 @ P1=INT(M1*.0001+.5)/100
960 P2=INT(100*M1/F1+.5)/100 @ P3=INT(M0*.0001+.5)/100
970 P4=INT(F2*.0001+.5)/100 @ P5=INT(M2*.0001+.5)/100
980 PRINT @ PRINT USING 990 ; P0,P1,P2,P3,P4,P5
990 IMAGE 5X,S3D.2D,3X,S4D.2D,2X,S2D.2D,5X,S4D.2D,8X,S4D.2D,5X,S4D.2D
1000 PRINT "      ARM T.O.V. BO
EM: "
1010 PRINT "      ";INT(100*P
/F2+.5)/100;" m"
1020 PRINT
1030 PRINT "";TAB(10);"Fwaterlijn~ ";F(1);"N/paalmoot"
1040 PRINT "";TAB(10);"Fbodem ~";F(N);"N/paalmoot"
1050 PRINT "";TAB(10);"Fwaterlijn BOVENSTE CILINDER";F(N+1);"N/paalmoot"

```

```

1050 PRINT " ";TAB(10);"Fwaterlijn BOVENSTE CILINDER";F(N+1);"N/paalmoot"
1060 IF A9=0 THEN GOTO 1330
1070 GCLEAR @ FRAME @ LOCATE 30,133,20,100 @ FRAME
1080 SCALE -(H/2+4),D,-50000,600000
1090 LAXES 1,50000,0,0,5,2,4
1100 AXES 1,50000,-(H/2+4),-500000,5,2,4
1110 LOCATE 0,133,0,100
1120 PEN -1 @ FOR I=H/2+4+.3 TO 22 STEP .1 @ YAXIS -I @ NEXT I
1130 PEN 1 @ FRAME
1140 MOVE 1,-155000 @ LDIR 0 @ LABEL "DIEPTE IN m"
1150 MOVE -17,50000 @ LDIR 90 @ LABEL "KRACHT OP PAAL"
1160 MOVE -15,200000 @ LDIR 90 @ LABEL "IN MN"
1170 MOVE -(H/2+6.5),-20000 @ LDIR 0 @ LABEL "0"
1180 MOVE -(H/2+7.5),80000 @ LABEL ".1"
1190 MOVE -(H/2+7.5),180000 @ LABEL ".2"
1200 MOVE -(H/2+7.5),280000 @ LABEL ".3"
1210 MOVE -(H/2+7.5),380000 @ LABEL ".4"
1220 MOVE -(H/2+7.5),480000 @ LABEL ".5"
1230 LOCATE 30,133,20,100
1240 SCALE -(H/2+4),D,-50000,600000
1250 MOVE 0,0 @ DRAW 0,F(1)
1260 FOR I=1 TO N @ DRAW (2*I-1)*D/(2*N),F(I) @ NEXT I
1270 MOVE 0,0 @ DRAW 0,F(0)
1280 FOR I=1 TO H*N/(2*D) @ DRAW -(I*2-1)*D/(2*N),F(N+I) @ NEXT I
1290 DRAW -H/2,0 @ MOVE 0,-50000
1300 FOR I=-10 TO 100 @ Y=10000*I @ X=H/2*SIN(PI*I/10)
1310 DRAW X,Y @ NEXT I
1320 PRINT @ PRINT @ CHAIN "rcopy"
1330 END
1340 ! Berekening A(ka) als ka<=3
1350 J0=0 @ FOR I=0 TO 6 @ J0=J0+A0(I)*(X/3)^(2*I) @ NEXT I
1360 J1=0 @ FOR I=0 TO 6 @ J1=J1+A1(I)*(X/3)^(2*I) @ NEXT I
1370 Y0=2*LOG(X/2)*J0/PI @ FOR I=0 TO 6 @ Y0=Y0+A2(I)*(X/3)^(2*I) @ NEXT I
1380 Y1=2*X^2*LOG(X/2)*J1/PI @ FOR I=0 TO 6 @ Y1=Y1+A3(I)*(X/3)^(2*I) @ NEXT I
1390 Y1=Y1/X^2
1400 RETURN
1410 ! Berekening A(ka) als ka>3
1420 P=0 @ FOR I=0 TO 6 @ P=P+A4(I)*(3/X)^I @ NEXT I
1430 P=P/SQR(X)
1440 Q=X @ FOR I=0 TO 6 @ Q=Q+A5(I)*(3/X)^I @ NEXT I
1450 J0=P*COS(Q) @ Y0=P*SIN(Q)
1460 P=0 @ FOR I=0 TO 6 @ P=P+A6(I)*(3/X)^I @ NEXT I
1470 P=P/SQR(X)
1480 Q=X @ FOR I=0 TO 6 @ Q=Q+A7(I)*(3/X)^I @ NEXT I
1490 J1=P*COS(Q)/X @ Y1=P*SIN(Q)/X
1500 RETURN
1510 DATA 1024,15,12,28.5,17.5,12.67,285,1

```



# BIJLAGE 6.

```

10 ! PROGRAMMA "uppres"
20 PRINTER IS 701,80 @ PRINT CHR$(27)&"C"&CHR$(0)&CHR$(12)
30 PRINT CHR$(27)&"N"&CHR$(10)
40 PRINT ;TAB(10);"BIJLAGE 4. "
50 PRINT
60 PRINT ;TAB(10);"FINITE ELEMENTS FOR"
70 PRINT ;TAB(5);"UPWARD PRESSURE UNDER CYLINDER"
80 PRINT
90 READ N,M,Z,R @ N=N-1 @ M=M-1 @ DIM X(132),Y(132),F(132),Q(132),T(223)
100 DIM O9(132),A9(132)
110 INTEGER T1(132),A1(223),B1(223),C1(223)
120 SETTIME 0,0
130 PRINT ;TAB(10);"INPUT"
140 PRINT
150 PRINT "      NODE      ABSCISSA      ORDINATE NODE      PRESSURE SUPPLY      AREA      LE"
ER"
160 PRINT "      NUMBER                                TYPE                                *      A"
M"
170 PRINT "
180 PRINT
190 FOR I=0 TO N @ F(I)=300000
200 READ X(I),Y(I),T1(I),Q(I),O9(I),A9(I) @ X(I)=X(I)-17.5
210 NEXT I
220 FOR I=0 TO N
230 IF I=0 OR I=1 OR I=2 OR I=3 OR I=8 OR I=9 OR I=16 OR I=17 THEN GOSUB 640
240 IF I=26 OR I=27 OR I=38 OR I=49 OR I=60 OR I=71 THEN GOSUB 640
250 IF I=82 OR I=93 OR I=104 OR I=114 OR I=113 OR I=122 OR I=121 THEN GOSUB 640
260 IF I=128 OR I=127 OR I=132 OR I=131 OR I=130 OR I=129 THEN GOSUB 640
270 NEXT I
280 FOR I=0 TO N @ PRINT USING 290 ; I+1,X(I),Y(I),T1(I),F(I),Q(I),O9(I),A9(I)
NEXT I
290 IMAGE 5X,3D,2X,M2D.8D,2X,2D.8D,2X,D,X,7D.3D,3X,D,2X,D.3D,X,M2D.4D
300 IMAGE 12X,3D,7X,3D,X,3D,X,3D,10X,D
310 PRINT "npag"
320 PRINT @ PRINT ;TAB(10);"MESH ARRANGEMENT" @ PRINT
330 PRINT ;TAB(10);"ELEMENT      NODES      TRANSMISSIVITY"
340 FOR A=0 TO M @ READ A1(A),B1(A),C1(A),T(A) @ I=A1(A)-1 @ J=B1(A)-1 @ K=C1(A)
1
350 PRINT USING 300 ; A+1,A1(A),B1(A),C1(A),T(A)
360 U=Y(J)-Y(K) @ V=Y(K)-Y(I) @ W=Y(I)-Y(J) @ D=2*ABS(X(I)*U+X(J)*V+X(K)*W)
370 T(A)=T(A)/D @ A1(A)=I @ B1(A)=J @ C1(A)=K @ NEXT A @ DISP ""
380 FOR L=1 TO Z @ DISP "ITERATION";L @ FOR C=0 TO N @ B=0 @ I=C
390 IF T1(I)>1 THEN 470
400 W=-Q(I) @ S=0 @ FOR A=0 TO M @ IF A1(A)=I THEN J=B1(A) @ K=C1(A) @ GOTO 440
410 IF B1(A)=I THEN J=C1(A) @ K=A1(A) @ GOTO 440
420 IF C1(A)=I THEN J=A1(A) @ K=B1(A) @ GOTO 440
430 GOTO 460
440 U=Y(J)-Y(K) @ V=X(K)-X(J) @ G=Y(K)-Y(I) @ H=X(I)-X(K) @ D=T(A)*(U*G+V*H) @
=S-D
450 W=W+D*F(J) @ G=Y(I)-Y(J) @ H=X(J)-X(I) @ D=T(A)*(U*G+V*H) @ S=S-D @ W=W+D*F
K)
460 NEXT A @ W=W+S*F(I) @ F(I)=F(I)-R*W/S
470 IF B=0 THEN I=N-C @ B=1 @ GOTO 390
480 NEXT C @ NEXT L
490 PRINT "npag"

```

```

500 PRINT
510 PRINT ;TAB(10);"DAYS=";DATE;"TIME=";TIME @ PRINT
520 PRINT ;TAB(10);"RESULTS:" @ PRINT
530 PRINT ;TAB(6);"NODE   AREA   PRESSURE   LEVER   FORCE   FIRST"
540 PRINT ;TAB(5);"NUMBER -----          ARM   in N.   MOMENT in Nm."

550 PRINT ;TAB(12);"2*6.25"
560 S8=0 @ K8=0
570 FOR I=0 TO N @ O8=O9(I)*2*6.25 @ K7=O8*F(I) @ K8=K8+K7 @ A7=A9(I)*K7 @ S8=S
+A7
580 PRINT USING 590 ; I+1,O9(I),F(I),A9(I),K7,A7 @ NEXT I
590 IMAGE 5X,3D,3X,D.3D,2X,6D.2D,2X,M2D.4D,2X,7D.2D,3X,M8D.2D
600 PRINT @ PRINT USING 610 ; K8,S8
610 IMAGE 37X,9D.2D,X,M10D.2D
620 PRINT USING "40X,10A,2X,MDD.DD" ; "LEVER ARM:";S8/K8
630 END
640 IF X(I)=0 THEN T9=PI @ GOTO 670
650 T9=ATN(Y(I)/X(I))
660 IF X(I)<0 THEN T9=T9+PI
670 F(I)=286353.408-416.42208-56813.5306*CO8(T9)
680 F(I)=F(I)+2559.99479*CO8(2*T9)+957.24567*CO8(3*T9)
690 F(I)=F(I)-19.69816*CO8(4*T9)-4.78233*CO8(5*T9)+.06578*CO8(6*T9)
700 RETURN
710 DATA 133,224,50,1.3
720 DATA 0,0,2,0,.25,-16.875
730 DATA .17949192,2.5,2,0,.5,-16.875
740 DATA .72949017,5,2,0,.25,-16.5625
750 DATA 1.6886117,7.5,2,0,0,0
760 DATA 2.5,0,0,0,.5,-15
770 DATA 2.5,2.5,0,0,1,-15
780 DATA 2.5,5,0,0,1,-15
790 DATA 2.5,7.5,0,0,.75,-14.6875
800 DATA 2.5,9.013878189,2,0,0,0
810 DATA 3.13859338,10,2,0,.25,-14.0625
820 DATA 5,0,0,0,.5,-12.5
830 DATA 5,2.5,0,0,1,-12.5
840 DATA 5,5,0,0,1,-12.5
850 DATA 5,7.5,0,0,1,-12.5
860 DATA 5,9.013878189,0,0,0,0
870 DATA 5,10,0,0,1,-12.5
880 DATA 5,12.24744871,2,0,.5,-12.5
890 DATA 5.25255129,12.5,2,0,0,0
900 DATA 7.5,0,0,0,.5,-10
910 DATA 7.5,2.5,0,0,1,-10
920 DATA 7.5,5,0,0,1,-10
930 DATA 7.5,7.5,0,0,1,-10
940 DATA 7.5,9.013878189,0,0,0,0
950 DATA 7.5,10,0,0,1,-10
960 DATA 7.5,12.24744871,0,0,0,0
970 DATA 7.5,12.5,0,0,1,-10
980 DATA 7.5,14.36140662,2,0,.375,-10
990 DATA 8.48612181,15,2,0,0,0
1000 DATA 10,0,0,0,.5,-7.5
1010 DATA 10,2.5,0,0,1,-7.5
1020 DATA 10,5,0,0,1,-7.5
1030 DATA 10,7.5,0,0,1,-7.5
1040 DATA 10,9.013878189,0,0,0,0
1050 DATA 10,10,0,0,1,-7.5
1060 DATA 10,12.24744871,0,0,0,0
1070 DATA 10,12.5,0,0,1,-7.5

```

1080 DATA 10,14.36140662,0,0,0,0  
1090 DATA 10,15,0,0,.75,-7.5  
1100 DATA 10,15.8113883,2,0,0,0  
1110 DATA 12.5,0,0,0,.5,-5  
1120 DATA 12.5,2.5,0,0,1,-5  
1130 DATA 12.5,5,0,0,1,-5  
1140 DATA 12.5,7.5,0,0,1,-5  
1150 DATA 12.5,9.013878189,0,0,0,0  
1160 DATA 12.5,10,0,0,1,-5  
1170 DATA 12.5,12.24744871,0,0,0,0  
1180 DATA 12.5,12.5,0,0,1,-5  
1190 DATA 12.5,14.36140662,0,0,0,0  
1200 DATA 12.5,15,0,0,1,-5  
1210 DATA 12.5,16.77050983,2,0,.25,-5  
1220 DATA 15,0,0,0,.5,-2.5  
1230 DATA 15,2.5,0,0,1,-2.5  
1240 DATA 15,5,0,0,1,-2.5  
1250 DATA 15,7.5,0,0,1,-2.5  
1260 DATA 15,9.013878189,0,0,0,0  
1270 DATA 15,10,0,0,1,-2.5  
1280 DATA 15,12.24744871,0,0,0,0  
1290 DATA 15,12.5,0,0,1,-2.5  
1300 DATA 15,14.36140662,0,0,0,0  
1310 DATA 15,15,0,0,1,-2.5  
1320 DATA 15,17.32050808,2,0,.5,-2.5  
1330 DATA 17.5,0,0,0,.5,0  
1340 DATA 17.5,2.5,0,0,1,0  
1350 DATA 17.5,5,0,0,1,0  
1360 DATA 17.5,7.5,0,0,1,0  
1370 DATA 17.5,9.013878189,0,0,0,0  
1380 DATA 17.5,10,0,0,1,0  
1390 DATA 17.5,12.24744871,0,0,0,0  
1400 DATA 17.5,12.5,0,0,1,0  
1410 DATA 17.5,14.36140662,0,0,0,0  
1420 DATA 17.5,15,0,0,1,0  
1430 DATA 17.5,17.5,2,0,.5,0  
1440 DATA 20,0,0,0,.5,2.5  
1450 DATA 20,2.5,0,0,1,2.5  
1460 DATA 20,5,0,0,1,2.5  
1470 DATA 20,7.5,0,0,1,2.5  
1480 DATA 20,9.013878189,0,0,0,0  
1490 DATA 20,10,0,0,1,2.5  
1500 DATA 20,12.24744871,0,0,0,0  
1510 DATA 20,12.5,0,0,1,2.5  
1520 DATA 20,14.36140662,0,0,0,0  
1530 DATA 20,15,0,0,1,2.5  
1540 DATA 20,17.32050808,2,0,.5,2.5  
1550 DATA 22.5,0,0,0,.5,5  
1560 DATA 22.5,2.5,0,0,1,5  
1570 DATA 22.5,5,0,0,1,5  
1580 DATA 22.5,7.5,0,0,1,5  
1590 DATA 22.5,9.013878189,0,0,0,0  
1600 DATA 22.5,10,0,0,1,5  
1610 DATA 22.5,12.24744871,0,0,0,0  
1620 DATA 22.5,12.5,0,0,1,5  
1630 DATA 22.5,14.36140662,0,0,0,0  
1640 DATA 22.5,15,0,0,1,5  
1650 DATA 22.5,16.77050983,2,0,.25,5  
1660 DATA 25,0,0,0,.5,7.5  
1670 DATA 25,2.5,0,0,1,7.5

1680 DATA 25,5,0,0,1,7.5  
1690 DATA 25,7.5,0,0,1,7.5  
1700 DATA 25,9.013878189,0,0,0,0  
1710 DATA 25,10,0,0,1,7.5  
1720 DATA 25,12.24744871,0,0,0,0  
1730 DATA 25,12.5,0,0,1,7.5  
1740 DATA 25,14.36140662,0,0,0,0  
1750 DATA 25,15,0,0,.75,7.5  
1760 DATA 25,15.8113883,2,0,0,0  
1770 DATA 27.5,0,0,0,.5,10  
1780 DATA 27.5,2.5,0,0,1,10  
1790 DATA 27.5,5,0,0,1,10  
1800 DATA 27.5,7.5,0,0,1,10  
1810 DATA 27.5,9.013878189,0,0,0,0  
1820 DATA 27.5,10,0,0,1,10  
1830 DATA 27.5,12.24744871,0,0,0,0  
1840 DATA 27.5,12.5,0,0,1,10  
1850 DATA 27.5,14.36140662,2,0,.375,10  
1860 DATA 26.51387819,15,2,0,0,0  
1870 DATA 30,0,0,0,.5,12.5  
1880 DATA 30,2.5,0,0,1,12.5  
1890 DATA 30,5,0,0,1,12.5  
1900 DATA 30,7.5,0,0,1,12.5  
1910 DATA 30,9.013878189,0,0,0,0  
1920 DATA 30,10,0,0,1,12.5  
1930 DATA 30,12.24744871,2,0,.5,12.5  
1940 DATA 29.74744871,12.5,2,0,0,0  
1950 DATA 32.5,0,0,0,.5,15  
1960 DATA 32.5,2.5,0,0,1,15  
1970 DATA 32.5,5,0,0,1,15  
1980 DATA 32.5,7.5,0,0,.75,14.6875  
1990 DATA 32.5,9.013878189,2,0,0,0  
2000 DATA 31.86140662,10,2,0,.25,14.0625  
2010 DATA 35,0,2,0,.25,16.875  
2020 DATA 34.82050808,2.5,2,0,.5,16.875  
2030 DATA 34.27050983,5,2,0,.25,16.5625  
2040 DATA 33.3113883,7.5,2,0,0,0  
2050 DATA 1,5,6,1  
2060 DATA 1,2,6,1  
2070 DATA 2,6,7,1  
2080 DATA 2,3,7,1  
2090 DATA 3,7,8,1  
2100 DATA 3,4,8,1  
2110 DATA 4,8,9,1  
2120 DATA 5,11,12,1  
2130 DATA 5,6,12,1  
2140 DATA 6,12,13,1  
2150 DATA 6,7,13,1  
2160 DATA 7,13,14,1  
2170 DATA 7,8,14,1  
2180 DATA 8,14,15,1  
2190 DATA 8,9,15,1  
2200 DATA 9,15,16,1  
2210 DATA 9,10,16,1  
2220 DATA 10,16,17,1  
2230 DATA 11,19,20,1  
2240 DATA 11,12,20,1  
2250 DATA 12,20,21,1  
2260 DATA 12,13,21,1  
2270 DATA 13,21,22,1

2280 DATA 13, 14, 22, 1  
2290 DATA 14, 22, 23, 1  
2300 DATA 14, 15, 23, 1  
2310 DATA 15, 23, 24, 1  
2320 DATA 15, 16, 24, 1  
2330 DATA 16, 24, 25, 1  
2340 DATA 16, 17, 25, 1  
2350 DATA 17, 25, 26, 1  
2360 DATA 17, 18, 26, 1  
2370 DATA 18, 26, 27, 1  
2380 DATA 19, 29, 30, 1  
2390 DATA 19, 20, 30, 1  
2400 DATA 20, 30, 31, 1  
2410 DATA 20, 21, 31, 1  
2420 DATA 21, 31, 32, 1  
2430 DATA 21, 22, 32, 1  
2440 DATA 22, 32, 33, 1  
2450 DATA 22, 23, 33, 1  
2460 DATA 23, 33, 34, 1  
2470 DATA 23, 24, 34, 1  
2480 DATA 24, 34, 35, 1  
2490 DATA 24, 25, 35, 1  
2500 DATA 25, 35, 36, 1  
2510 DATA 25, 26, 36, 1  
2520 DATA 26, 36, 37, 1  
2530 DATA 26, 27, 37, 1  
2540 DATA 27, 37, 38, 1  
2550 DATA 27, 28, 38, 1  
2560 DATA 28, 38, 39, 1  
2570 DATA 29, 40, 41, 1  
2580 DATA 29, 30, 41, 1  
2590 DATA 30, 41, 42, 1  
2600 DATA 30, 31, 42, 1  
2610 DATA 31, 42, 43, 1  
2620 DATA 31, 32, 43, 1  
2630 DATA 32, 43, 44, 1  
2640 DATA 32, 33, 44, 1  
2650 DATA 33, 44, 45, 1  
2660 DATA 33, 34, 45, 1  
2670 DATA 34, 45, 46, 1  
2680 DATA 34, 35, 46, 1  
2690 DATA 35, 46, 47, 1  
2700 DATA 35, 36, 47, 1  
2710 DATA 36, 47, 48, 1  
2720 DATA 36, 37, 48, 1  
2730 DATA 37, 48, 49, 1  
2740 DATA 37, 38, 49, 1  
2750 DATA 38, 49, 50, 1  
2760 DATA 38, 39, 50, 1  
2770 DATA 40, 51, 52, 1  
2780 DATA 40, 41, 52, 1  
2790 DATA 41, 52, 53, 1  
2800 DATA 41, 42, 53, 1  
2810 DATA 42, 53, 54, 1  
2820 DATA 42, 43, 54, 1  
2830 DATA 43, 54, 55, 1  
2840 DATA 43, 44, 55, 1  
2850 DATA 44, 55, 56, 1  
2860 DATA 44, 45, 56, 1  
2870 DATA 45, 56, 57, 1

2880 DATA 45,46,57,1  
2890 DATA 46,57,58,1  
2900 DATA 46,47,58,1  
2910 DATA 47,58,59,1  
2920 DATA 47,48,59,1  
2930 DATA 48,59,60,1  
2940 DATA 48,49,60,1  
2950 DATA 49,60,61,1  
2960 DATA 49,50,61,1  
2970 DATA 51,62,63,1  
2980 DATA 51,52,63,1  
2990 DATA 52,63,64,1  
3000 DATA 52,53,64,1  
3010 DATA 53,64,65,1  
3020 DATA 53,54,65,1  
3030 DATA 54,65,66,1  
3040 DATA 54,55,66,1  
3050 DATA 55,66,67,1  
3060 DATA 55,56,67,1  
3070 DATA 56,67,68,1  
3080 DATA 56,57,68,1  
3090 DATA 57,68,69,1  
3100 DATA 57,58,69,1  
3110 DATA 58,69,70,1  
3120 DATA 58,59,70,1  
3130 DATA 59,70,71,1  
3140 DATA 59,60,71,1  
3150 DATA 60,71,72,1  
3160 DATA 60,61,72,1  
3170 DATA 62,73,74,1  
3180 DATA 62,63,74,1  
3190 DATA 63,74,75,1  
3200 DATA 63,64,75,1  
3210 DATA 64,75,76,1  
3220 DATA 64,65,76,1  
3230 DATA 65,76,77,1  
3240 DATA 65,66,77,1  
3250 DATA 66,77,78,1  
3260 DATA 66,67,78,1  
3270 DATA 67,78,79,1  
3280 DATA 67,68,79,1  
3290 DATA 68,79,80,1  
3300 DATA 68,69,80,1  
3310 DATA 69,80,81,1  
3320 DATA 69,70,81,1  
3330 DATA 70,81,82,1  
3340 DATA 70,71,82,1  
3350 DATA 71,82,83,1  
3360 DATA 71,72,83,1  
3370 DATA 73,84,85,1  
3380 DATA 73,74,85,1  
3390 DATA 74,85,86,1  
3400 DATA 74,75,86,1  
3410 DATA 75,86,87,1  
3420 DATA 75,76,87,1  
3430 DATA 76,87,88,1  
3440 DATA 76,77,88,1  
3450 DATA 77,88,89,1  
3460 DATA 77,78,89,1  
3470 DATA 78,89,90,1

3480 DATA 78,79,90,1  
3490 DATA 79,90,91,1  
3500 DATA 79,80,91,1  
3510 DATA 80,91,92,1  
3520 DATA 80,81,92,1  
3530 DATA 81,92,93,1  
3540 DATA 81,82,93,1  
3550 DATA 82,93,94,1  
3560 DATA 82,83,94,1  
3570 DATA 84,95,96,1  
3580 DATA 84,85,96,1  
3590 DATA 85,96,97,1  
3600 DATA 85,86,97,1  
3610 DATA 86,97,98,1  
3620 DATA 86,87,98,1  
3630 DATA 87,98,99,1  
3640 DATA 87,88,99,1  
3650 DATA 88,99,100,1  
3660 DATA 88,89,100,1  
3670 DATA 89,100,101,1  
3680 DATA 89,90,101,1  
3690 DATA 90,101,102,1  
3700 DATA 90,91,102,1  
3710 DATA 91,102,103,1  
3720 DATA 91,92,103,1  
3730 DATA 92,103,104,1  
3740 DATA 92,93,104,1  
3750 DATA 93,104,105,1  
3760 DATA 93,94,105,1  
3770 DATA 95,106,107,1  
3780 DATA 95,96,107,1  
3790 DATA 96,107,108,1  
3800 DATA 96,97,108,1  
3810 DATA 97,108,109,1  
3820 DATA 97,98,109,1  
3830 DATA 98,109,110,1  
3840 DATA 98,99,110,1  
3850 DATA 99,110,111,1  
3860 DATA 99,100,111,1  
3870 DATA 100,111,112,1  
3880 DATA 100,101,112,1  
3890 DATA 101,112,113,1  
3900 DATA 101,102,113,1  
3910 DATA 102,113,114,1  
3920 DATA 102,103,114,1  
3930 DATA 103,114,115,1  
3940 DATA 103,104,115,1  
3950 DATA 104,115,105,1  
3960 DATA 106,116,117,1  
3970 DATA 106,107,117,1  
3980 DATA 107,117,118,1  
3990 DATA 107,108,118,1  
4000 DATA 108,118,119,1  
4010 DATA 108,109,119,1  
4020 DATA 109,119,120,1  
4030 DATA 109,110,120,1  
4040 DATA 110,120,121,1  
4050 DATA 110,111,121,1  
4060 DATA 111,121,122,1  
4070 DATA 111,112,122,1

4080 DATA 112, 122, 123, 1  
4090 DATA 112, 113, 123, 1  
4100 DATA 113, 123, 114, 1  
4110 DATA 116, 124, 125, 1  
4120 DATA 116, 117, 125, 1  
4130 DATA 117, 125, 126, 1  
4140 DATA 117, 118, 126, 1  
4150 DATA 118, 126, 127, 1  
4160 DATA 118, 119, 127, 1  
4170 DATA 119, 127, 128, 1  
4180 DATA 119, 120, 128, 1  
4190 DATA 120, 128, 129, 1  
4200 DATA 120, 121, 129, 1  
4210 DATA 121, 129, 122, 1  
4220 DATA 124, 130, 131, 1  
4230 DATA 124, 125, 131, 1  
4240 DATA 125, 131, 132, 1  
4250 DATA 125, 126, 132, 1  
4260 DATA 126, 132, 133, 1  
4270 DATA 126, 127, 133, 1  
4280 DATA 127, 133, 128, 1



## GECITEERDE LITERATUUR

- [1] Abramowitz, M. and Stegun, I.A.  
Handbook of Mathematical Functions  
Dover publications Inc., New York
  
- [2] Lamb, H.  
Hydrodynamics, Sixth Edition, 1932  
Dover publications Inc., New York
  
- [3] MacCamy, R.C. and Fuchs, R.A.  
Wave Forces on Piles: A Diffraction Theory  
Technical Memorandum No. 69. 1954  
Beach Erosion Board  
Corps of Engineers
  
- [4] Shore Protection Manual,  
Third Edition, 1977  
U.S. Army Coastal Engineering Research Center  
Fort Belvoir, Virginia
  
- [5] Verruijt, A.  
Finite Element Calculations on a Microcomputer  
International Journal for Numerical Methods  
in Engineering, Vol. 15, 1980