



Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

SEMISUBMERSIBLES PÅ GRUNT VATTEN

av

Magnus Bergendal Joakim Stare

Examensarbete 1984:2

Göteborg 1984

Adress: Institutionen för Vattenbyggnad
 Chalmers Tekniska Högskola
 412 96 Göteborg

Telefon: 031/81 01 00

FÖRORD

Detta examensarbete, som behandlar semisubmersibles på grunt vatten, har initierats av Consafe Offshore AB.

Skriften vänder sig till dem som innehar en del grundläggande kunskaper inom hydrodynamiken.

Vi hoppas att arbetet skall kunna vara till nytta och ge synpunkter och vägledning vid rörelseberäkningar av offshore-plattformar på grunt vatten.

De värden vi räknat fram på koefficienter och andra parametrar bör ej användas utan att först studera det sätt, på vilket vi räknat fram dem.

Göteborg

Magnus Bergendal

Joakim Stare

INNEHALLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	1
INLEDNING	3
-Beskrivning av en ankringsplats	4
1. VAGOR PÅ GRUNT OCH DJUPT VATTEN	5
-Sinusvågor	5
-Hastighetspotentialer, vertikal och horisontell hastighet, acceleration, samt våglängd.	7
-Partikelamplituder	9
-Stokes femte ordningens teori	10
2. BESKRIVNING AV EN PLATTFORMS RÖRELSER I SEX FRIHETSGRADER	11
-Frihetsgraderna	11
-Rörelseekvationen	12
-Added mass, C_M	12
-Viskös dämpning	13
-Drivande krafter	14
3. BOTTENS INVERKAN PÅ ADDED MASS- OCH SLAPKRAFTSKOEFFICIENT	15
-Added mass och lyftkraft intill en vägg för en cirkulär cylinder.	16
-Rörströmningsteori tillämpat under en ponton.	19
- C_M beräknat med hänsyn taget till olika effekter.	25
4. MODELLFÖRSÖK	26
-Beskrivning av modellförsök	26
-Utvärdering av resultat	37
-Jämförelse av olika C_M .	44
5. SLUTSATSER	45
BILAGOR	47

SAMMANFATTNING.

Då en semisubmersible befinner sig på grunt vatten, får den ett annat rörelsemönster än på djupt. När botten utgör ett randvillkor påverkar det val av vågmodell och storleken på added mass (C_M), och den viskösa dämpningen (C_D).

För att belysa detta har vi gjort olika teoretiska betraktelser, samt modellförsök.

Början av teoridelen behandlar lämpliga vågmodeller på grunt vatten. Sedan följer ett antal beräkningssätt för C_M och C_D på grunt vatten.

Modellförsöken utfördes på en pacesetter i skala 1 : 25 i en bassäng på vattenbyggnadslaboratoriet på Chalmers tekniska högskola.

Först gjordes egensvängningsförsök i heave, pitch och roll för tre olika vattendjup motsvarande 2.5, 6.5 och 10 m klarning mellan ponton och botten. Av försöksresultatén utvärderades egensvängningsperiodernas variation som funktion av klarningen. Ur egensvängningsförsöken i heave beräknades även C_M och C_D för varje vattendjup och uppritades som funktion av klarningen. Sedan gjordes försök med vågor för två olika vågperioder, dels från sidan och dels framifrån och för två olika vattendjup motsvarande 2.5 och 6.5 m klarning.

Rörelseresponsen i heave av vågor från sidan jämföres i tabellform med responsen uträknad med hjälp av dator i ett förenklat beräkningsprogram, med värden på dämpkoefficienter från egensvängningsförsök som indata.

Resultaten, både av teori och försök, visar att C_M , C_D och egensvängningsperioderna ökar med minskad klarning, vilket resulterar i en minskad vertikal rörelserespons på grunt vatten.

Följande personer har gjort värdefulla insatser för detta examens-
arbete.

Lars Bergdahl, docent vid institutionen för vattenbyggnad, CTH, har varit vår handledare och har hjälpt oss under arbetets gång, och gjort det möjligt för oss att genomföra det.

Tore Dalväg, civilingenjör på Consafe AB, har initierat detta arbete, och kommit med viktiga förslag och synpunkter på arbetets innehåll.

Pontus Claesson på Götaverken Arendal har bistått med information om tidigare gjorda modellförsök på djupt vatten, som vi kunnat använda som jämförelse.

Göran Moberg också vid vattenbyggnad, CTH, har informerat oss om högre ordningars vågteorier.

Bengt Carlsson och Carl-Olof Djärv vid vattenbyggnadslabbet hjälpte oss med all utrustning vi behövde för att genomföra våra försök.

INLEDNING

Intresset för att utvinna olja ur havet har ökat väsentligt sedan en lång tid tillbaka.

Många av de stora utvinningsområdena befinner sig på tämligen grunda vatten, där plattformarna antingen är flytande eller står direkt på botten. Dessa plattformar behöver ibland utföra servicearbeten, eller behöver utökade möjligheter att härbergiera sina anställda. För dessa tillfällen finns det service- eller bostadsplattformar att tillgå. Det är då önskvärt att få dessa stationerade i så nära anslutning till huvudplattformen som möjligt.

En viktig fråga är, hur långt in på grunt vatten man vågar gå utan att slå i botten vid oväder.

Detta har drivit fram ett intresse att få vetskap om hur en flytande plattforms egenskaper påverkas av att det finns en havsbotten strax under pontonerna.

Det har visat sig, att plattformen på grunt vatten får ett rörelsemönster, som karaktäriseras av större horisontella och mindre vertikala rörelser än vad man får på djupt vatten under påverkan av vågor.

Vad beror nu detta på?

Beror det på en annorlunda vågrörelse?

Beror det på att added-mass koefficienterna för plattformen ändras?

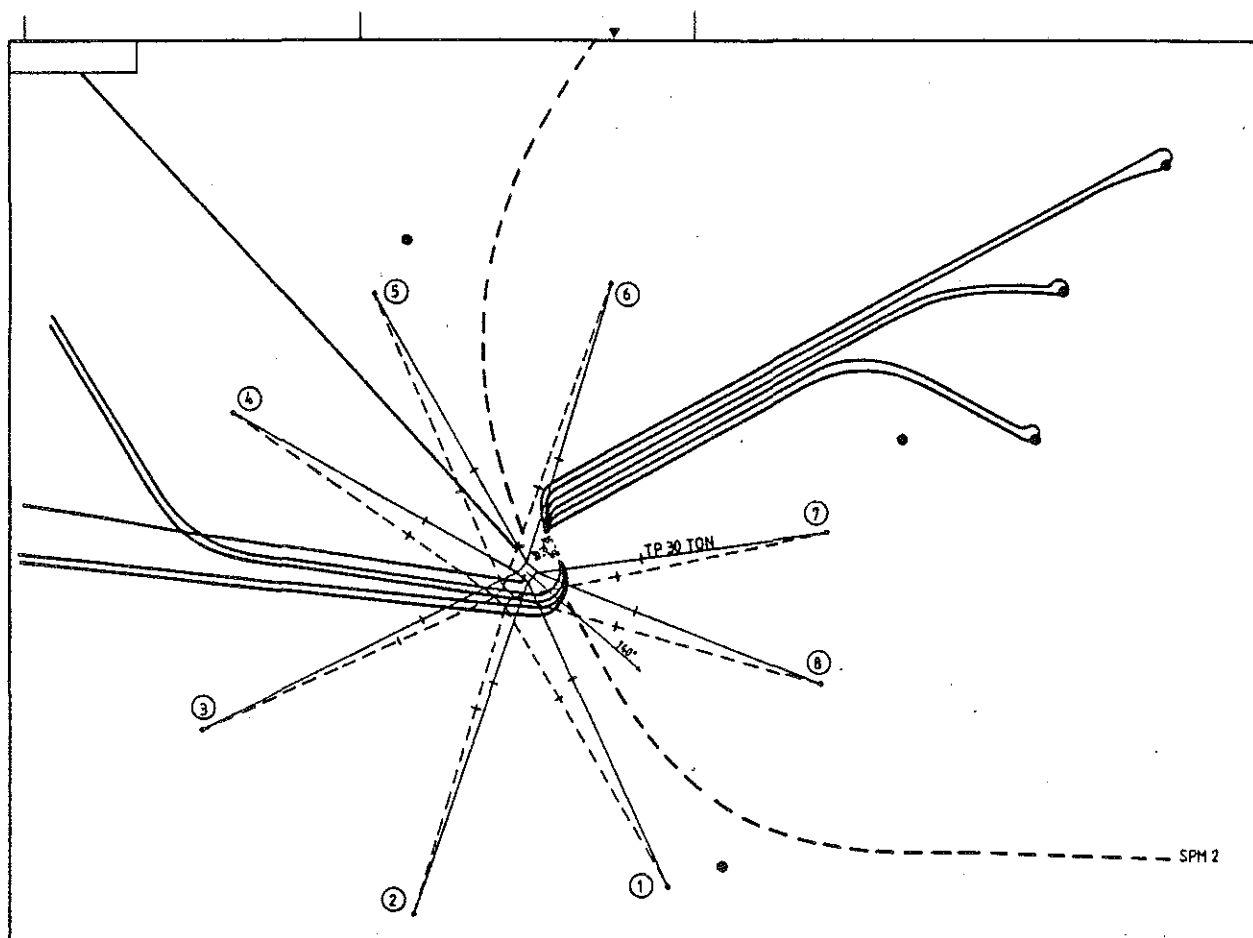
Beror det på att det viskösa motståndet C_D ändras?

Eller är det något annat?

Eller kanske alltihop tillsammans?

Dessa frågor har vi försökt att besvara och ge synpunkter på i detta examensarbete. Dels genom litteraturstudier och dels genom modellförsök med en plattformmodell av en Pacesetter i skala 1 : 25.

Beskrivning av en ankringsplats.



Figur 1. Exempel på en ankringsplats.

Figuren visar ett vanligt exempel på en ankringsplats för en plattform i anslutning till en större enhet. Till den stora enheten går det pipelines från så kallade satellitplattformar. Pipelines markeras med tjockare heldragna linjer. De streckade linjerna som går, en uppåt, och den andra nedåt höger på bilden utgör de ankringsvägar som supplyfartyg och andra måste ta, för att komma till huvudplattformen.

Den uppankrade plattformen har åtta ankare med ca 1200 - 1500 m kätting alternativt wire i varje.

Vid riktigt kraftiga oväder drar man in landgången till huvudplattformen, och förflyttar sig cirka hundra meter ut från sin ordinarie arbetsposition. Reservläget är streckat på bilden.

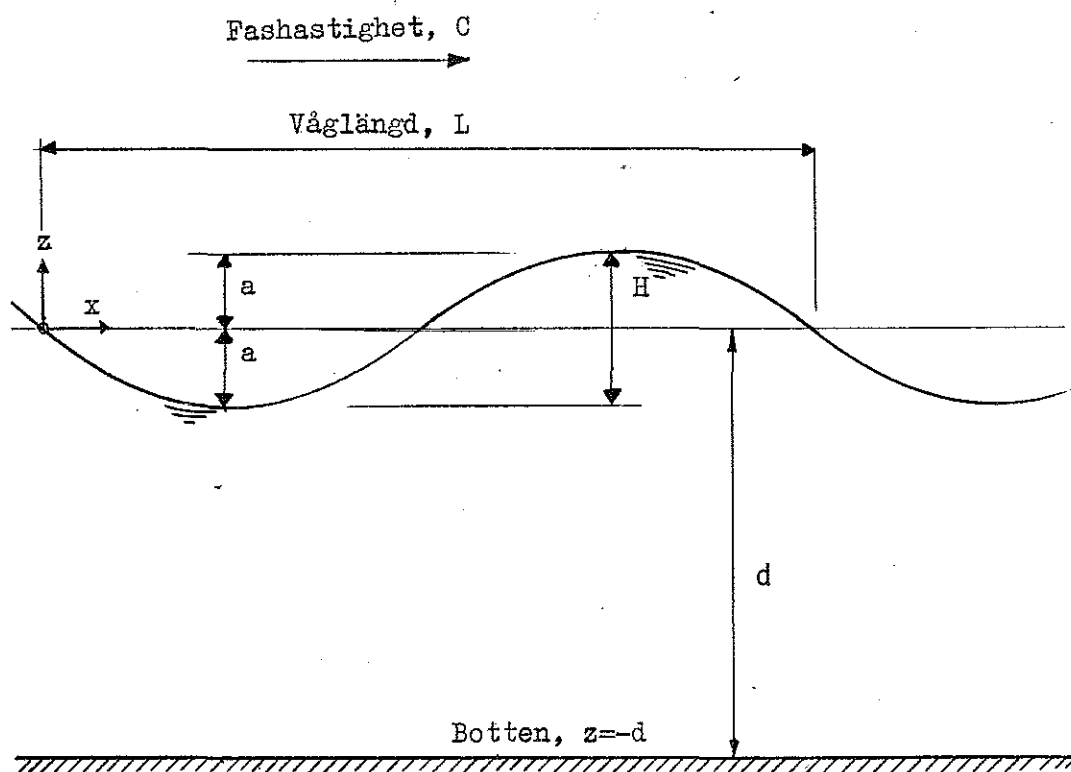
1. VÅGOR PÅ GRUNT OCH DJUPT VATTEN

Sinusvågor

Vågor i havet antas bestå av sinusformade vågor. Vågtopparna fortplantar sig framåt i vågriktningen, medan vätskepartiklarna under vågen rör sig i cirkel- eller ellipsformade banor med endast en obetydlig förflyttning i vågriktningen.

Sinusformade vågor är en förutsättning för att linjär teori skall kunna användas.

Det finns två klassiska teorier som försöker beskriva vågornas komplexa egenskaper, G.B. Airys och G.C. Stokes. I de flesta fall ger första ordningens teorier tillförlitliga resultat med enkla beräkningar. I vissa fall kan man även använda sig av högre ordningars teorier för bättre överensstämmelse, de så kallade finit-amplitud-teorierna.



Figur 2.

Definition av karakteristiska parametrar för en fortskridande svängande våg. Enligt ref. (1) och (3).

LÅNGDEN $L =$ Horisontella avståndet mellan motsvarande punkter på två successiva vågor.

HÖJDEN $H =$ Vertikala avståndet från vågtopp till efterkommande vågdal.

AMPLITUDEN $a = \frac{H}{2}$

PERIOD $T =$ Tiden som åtgår för två successiva vågor att passera en given punkt.

VAGTAL $k = \frac{2\pi}{L}$

VINKELFREKVENNS $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Hastighetspotentialer, vertikal och horisontell hastighet, acceleration samt våglängd

Härledning av egenskaperna hos en sinusformad våg med liten amplitud baserar sig på förutsättningen att det existerar en funktion $\phi(x,z,t)$ vilken kallas hastighetspotential.

$$\phi = \frac{ag}{\omega} \cdot \frac{\cosh k(d+z)}{\cosh kd} \cdot \cos(kx-\omega t) \quad (1)$$

Den definierar de horisontella och vertikala komponenterna av vattenpartiklarnas hastighet i en punkt (x,z) såsom,

horisontell hastighet:

$$u = -\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{agk}{\omega} \cdot \frac{\cosh k(d+z)}{\cosh kd} \cdot \sin(kx-\omega t) \quad (2)$$

vertikal hastighet:

$$w = -\frac{\partial \phi}{\partial z} = -\frac{agk}{\omega} \cdot \frac{\sinh k(d+z)}{\cosh kd} \cdot \cos(kx-\omega t) \quad (3)$$

Partikelaccelerationen fås genom derivation av hastigheten m.a.p. tiden,

horisontell acceleration:

$$\dot{u} = \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{agk}{\omega} \cdot \frac{\cosh k(d+z)}{\cosh kd} \cdot \sin(kx-\omega t) \quad (4)$$

vertikal acceleration:

$$\dot{w} = \frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{agk}{\omega} \cdot \frac{\sinh k(d+z)}{\cosh kd} \cdot \sin(kx-\omega t) \quad (5)$$

Man kan härleda fram ett uttryck för våglängden som funktion av periodtid och vattendjup.

Fashastigheten c kan skrivas som

$$c = \frac{L}{T} \quad (6)$$

och är en funktion av våglängd och vattendjup.

$$c = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \cdot \tanh \frac{2\pi d}{L}} \quad (7)$$

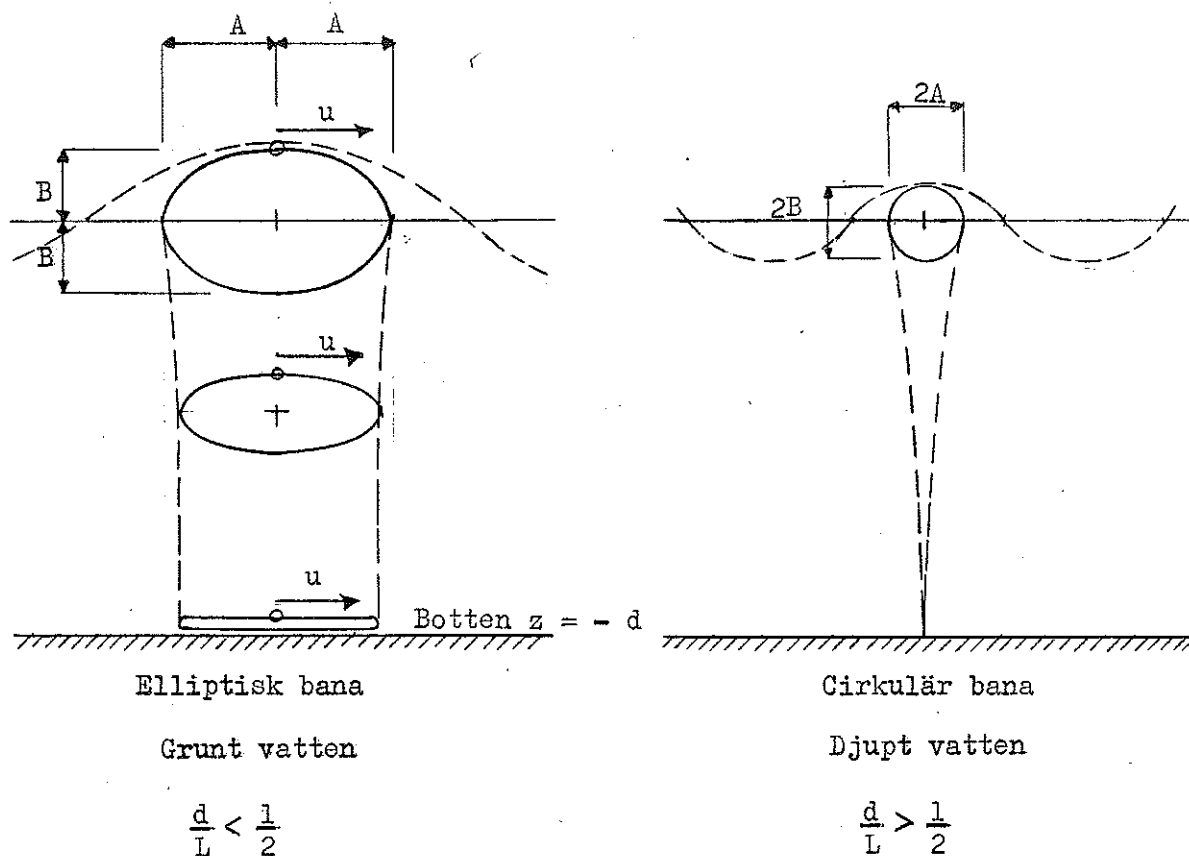
vilket med (6) insatt blir

$$c^2 = \frac{L^2}{T^2} = \frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (8)$$

och ger

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \cdot \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (9)$$

Vätskepartiklarnas rörelsebanor för grunt respektive djupt vatten åskådligörs i nedanstående figur.



Figur 3.

Vattenpartiklarnas rörelser under en sinusformad våg enligt linjär teori. Enligt ref. (1) och (3).

Partikel amplituder.

Partikelbanorna är som tidigare visats, cirkulära på djupt vatten, och elliptiska på grunt vatten. Partikelamplituderna erhålles genom integrering av uttrycken för den horisontella och den vertikala hastigheten, (2) respektive (3), med avseende på tiden. Den horisontella axeln är stör-axeln, och den vertikala är lill-axeln.

Horisontell partikelförskjutning :

$$\xi_H = a \cdot \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cos(kx - \omega t) \quad (10)$$

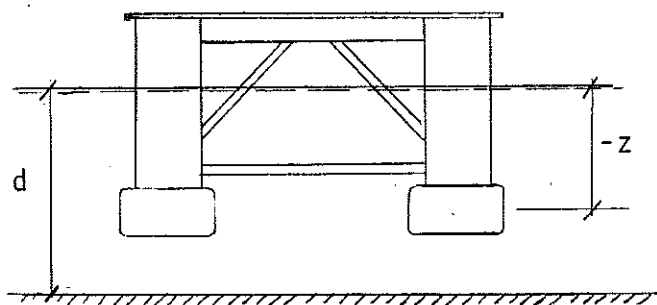
Vertikal partikelförskjutning :

$$\xi_V = a \cdot \frac{\sinh k(d+z)}{\sinh kd} \sin(kx - \omega t) \quad (11)$$

Skillnaden mellan djupt och grunt vatten i horisontell och vertikal amplitud hos vattnets partikelbanor i nivå med plattformens pontoner kan åskådliggöras i diagrambilagorna (1) och (2).

Diagrammen är gjorda för en GVA 2000 respektive en Pacesetter och med en antagen vågperiod på 10 sekunder.

X-axeln på diagrammen beskriver djupet och Y-axeln är en multipel av vågamplituden.



Figur 4.

Partikelamplituderna avspeglar sig även på rörelseresponserna hos plattformen, så att de horisontella rörelserna blir större på grunt vatten, medan de vertikala rörelserna blir mindre.

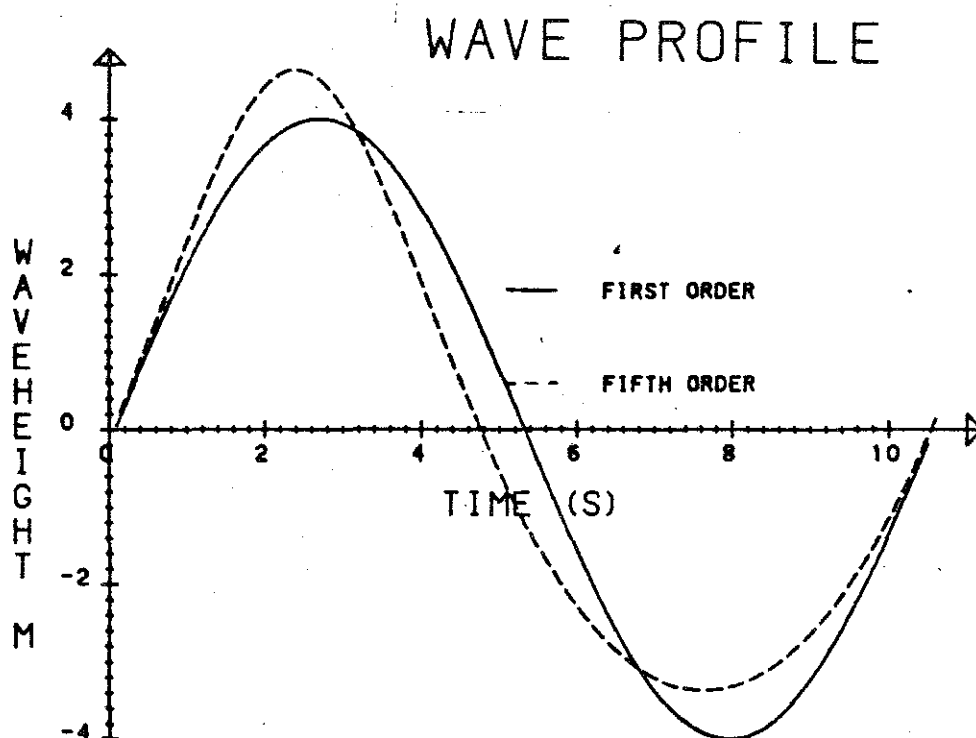
Stokes femte ordningens teori.

Normalt använder man sig vid beräkningar av vågkrafter av antagandet att vågor i havet är sinusformade. Försök har dock visat att man med femte ordningens teori får bättre överensstämmelse mellan beräkning och verklighet, vad gäller accelerationer, hastigheter och vågprofil vid måttligt grunt vatten.

Första ordningens teori är utvecklad för små våghöjder, och ger därför dålig överensstämmelse vid större våghöjder. Stoke presenterar emellertid en lösning för stora våghöjder genom att använda ändliga trigonometriska serier.

Skillnaden mellan en sinusformad våg och en av femte ordningens teori kan åskådliggöras nedan.

Vågorna är beräknade för ett djup av 30 meter, en period på 10,5 sekunder, och en våghöjd på 8 meter.



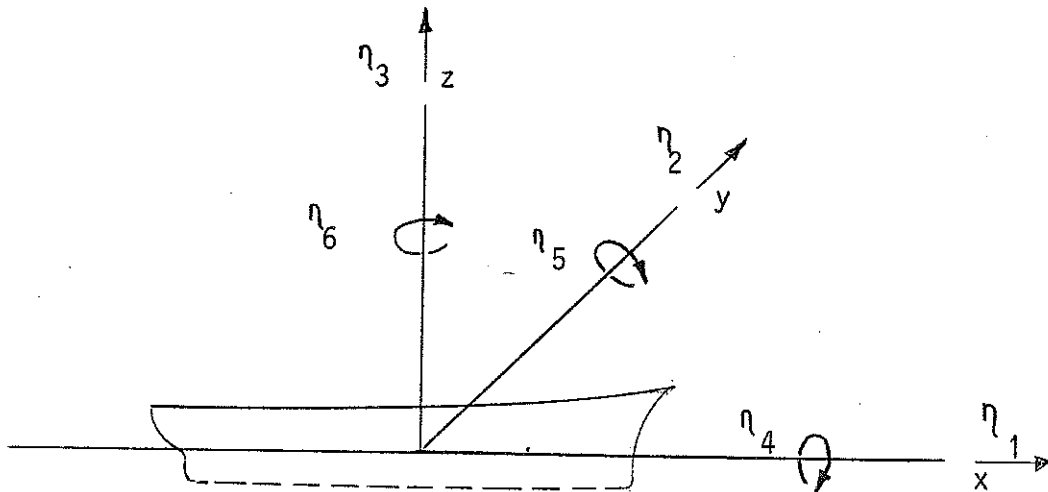
Figur 5. Vågprofil enligt första och femte ordningens teori.

Utförlig beräkningsbeskrivning finns i Proceed 7th Coastal Engineering, ref. [2].

2. BESKRIVNING AV EN PLATTFORMS RÖRELSER I SEX FRIHETSGRADER

Frihetsgraderna

Rörelseekvationerna för ett flytande föremål har följande sex frihetsgrader. enligt ref. [4] och [5].



Figur 6.

Förskjutningar

η_1 = surge

η_2 = sway

η_3 = heave

Rotationer

η_4 = roll

η_5 = pitch

η_6 = yaw

Förskjutningsvektorn kan skrivas $\eta = (\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5, \eta_6)^T$ och den drivande kraftens (och momentens) vektor $F = (F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z)^T$.

Rörelseekvationen.

Rörelseekvationen kan tecknas som :

$$(M + A)\ddot{\eta} + B\dot{\eta} + C\eta = F \quad (12)$$

M = Den generaliserade massmatrisen.

Den innehåller massan m, massmoment med avseende på origo $m \cdot z_{tp}$, tröghetsmoment med avseende på de olika axlarna samt deviationströghetsmoment. Deviationströghetsmomenten försvinner dock om konstruktionen har både longitudinell och transversell symmetri, vilket oftast kan antas för en semisubmersible.

A = Matrisen för den hydrodynamiska massan.

B = Dämpmatrisen

Matriserna M, A och B är symmetriska om strukturen inte har någon fart eller är förankrad.

C = Styvhetsmatrisen för de återförande hydrostatiska krafterna och förankringssystemet.

Ekvationssystemet kan lösas i två oberoende ekvationssystem med vardera tre frihetsgrader. Om den flytande konstruktionen är långsträckt i x-led, som pontonerna på en semisubmersible, och om man kan anta förlig- akterlig symmetri, visar det sig att heave och yaw blir okopplade och surge/pitch respektive sway/roll blir inbördes kopplade.

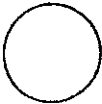
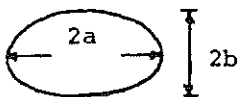
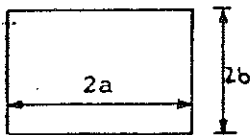
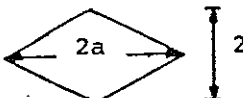
Added mass, C_M .

När en kropp accelererar i en vätska, bildas det en tryckfördelning runt den. Vid area-integration runt kroppen av denna tryckfördelning, ger det en kraft som sätts lika med kroppens acceleration genom vattnet, multiplicerat med en ekvivalent massa, added mass. Denna massa är lika med ett tal C_m , multiplicerat med den av kroppen undanträngda vätskans massa.

Viskös dämpning.

Den viskösa dämpningen utgörs av en släpkraft som är proportionell mot plattformens hastighet genom vattnet i kvadrat.

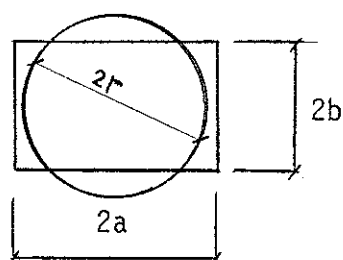
För de horisontella rörelserna, surge (ζ_1), sway (ζ_2) och yaw (ζ_3), är de viskösa effekterna mycket betydelsefulla. De vertikala rörelsernas viskösa dämpning är vanligtvis försumbar för skepp, men har betydelse då det gäller semisubmersibles.

SECTION THROUGH BODY	LIMITATION	$C_M V$	$C_D V$	$C_M H$	$C_D H$
Circle 	None	1.0	0.7	1.0	0.7
Ellipse 	$\frac{1}{2} < \frac{a}{b} < 2$	a/b	$0.7 \frac{a}{r}$	b/a	$0.7 \frac{b}{r}$
Rectangle 	$a/b = 10.0$ $a/b = 5.0$ $a/b = 2.0$ $a/b = 1.0$ $a/b = 0.5$ $a/b = 0.2$ $a/b = 0.1$	8.95 4.75 2.14 1.19 0.67 0.31 0.18	$2 \cdot \frac{a}{r}$ $\frac{a}{r}$	0.18 0.31 0.67 1.19 2.14 4.75 8.95	$\frac{b}{r}$ $2 \cdot \frac{b}{r}$
	$a/b = 2.0$ $a/b = 1.0$ $a/b = 0.5$	2.67 1.20 0.53	$1.5 \frac{a}{r}$	0.52 1.20 2.67	$1.5 \frac{b}{r}$

Figur 7.

Approximativt bestämda C_M och C_D för några vanliga tvärsnitt.
 V = vertikalled H = horisontalled

Parametern r, i figuren är en radie i en cirkel vars tvärsnittsarea är samma som för det tvärsnitt som skall beräknas.



$$2a \cdot 2b = \pi r^2$$

Figur 8.

Drivande kraften.

Den drivande kraften består av belastningar från vind, ström, vågor och förtöjningskrafter från andra kroppar. Dessa påföres strukturen som en konstant del och en harmonisk del.

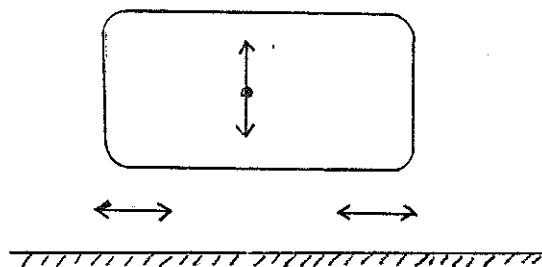
Den harmoniska drivande kraften på grund av vågorna anses oftast bestå av första ordningens vågkrafter med samma frekvens som vågorna

3. BOTTENS INVERKAN PÅ ADDED MASS- OCH SLÄPKRAFTSKOEFFICIENT.

Koefficienterna C_M och C_D ökar då en konstruktion rör sig i närheten av en gränsyta, till exempel botten.

De approximativt bestämda C_M och C_D enligt figur 7, stämmer bra vid beräkningar av rörelser på djupt vatten, men på grunt vatten inverkar botten kraftigt på koefficienterna. Detta beror på att det omgivande vattnet runt en konstruktion inte har möjlighet att transporteras samma väg runt kroppen på grunt vatten som på djupt.

För en semisubmersible kommer vattenmassorna att "pumpas" ut och in mellan pontonerna och botten,

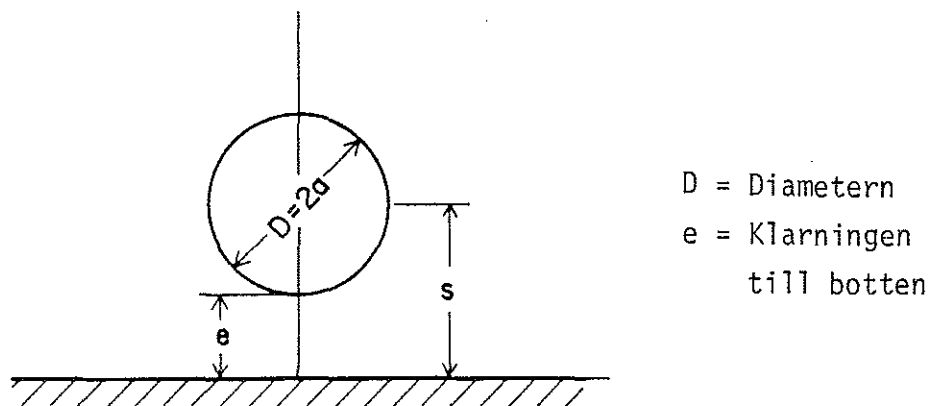


Figur 9.

Hastigheterna och accelerationerna under pontonerna kommer därmed att bli större, vilket ger upphov till ökad dämpning och added mass.

Added mass och lyftkraft intill en vägg för en cirulär cylinder.

Enligt ref. [6].



Figur 10.

Bottens effekter på added mass.

Det omgivande flödet och dess acceleration påverkas av en närliggande begränsningsyta.

Kraften på en kropp i en accelererande vätska med oändlig utsträckning antas i klassisk teori bestå av dels en kraft, som beror av tryckgradienten i en av kroppen ostörd vätska, dels av en tillskottskraft, som beror av förändringen i strömningen på grund av kroppen.

Den förra kraften är lika stor som produkten av den undanträngda vätskans tyngd (ρV) och vätskans acceleration ($\partial u / \partial t$). Kraften kallas Froude-Krylovkraften och är således $\rho V \partial u / \partial t$.

Den senare kraften är lika med produkten av "added mass" ($C_M \rho V$) och vätskans acceleration ($\partial u / \partial t$).

Summan av krafterna benämns tröghetskraft eller masskraft och tecknas

$$F = C_I \rho V = (1.0 + C_M) \rho V \quad (13a)$$

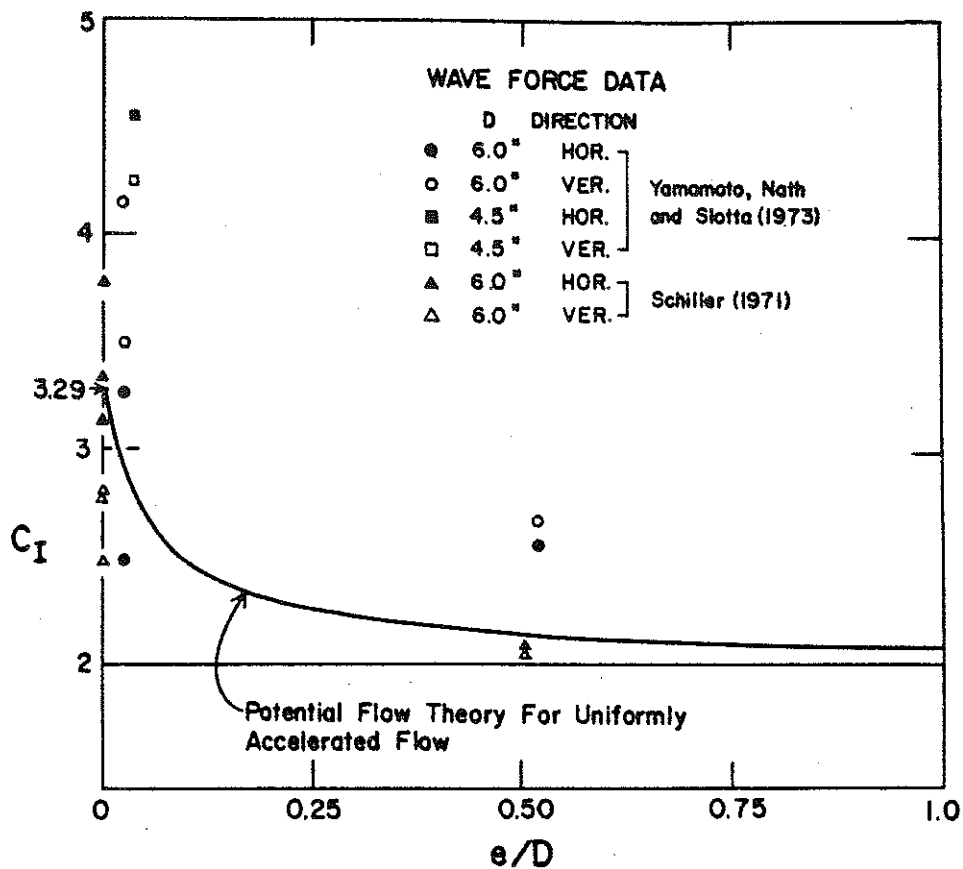
C_I är här tröghets- eller masskoefficienten.

Värdet på C_M kan beräknas med potentialteori och är i oändlig vätska 1.0 för en cylinder och således är

$$C_I = 2.0.$$

I närheten av en gränsyta antar C_I värden enligt figur 11 nedan (referens 6).

C_I har för en cirkulär cylinder samma värde vinkelrätt mot och parallellt med ytan.



Figur 11.

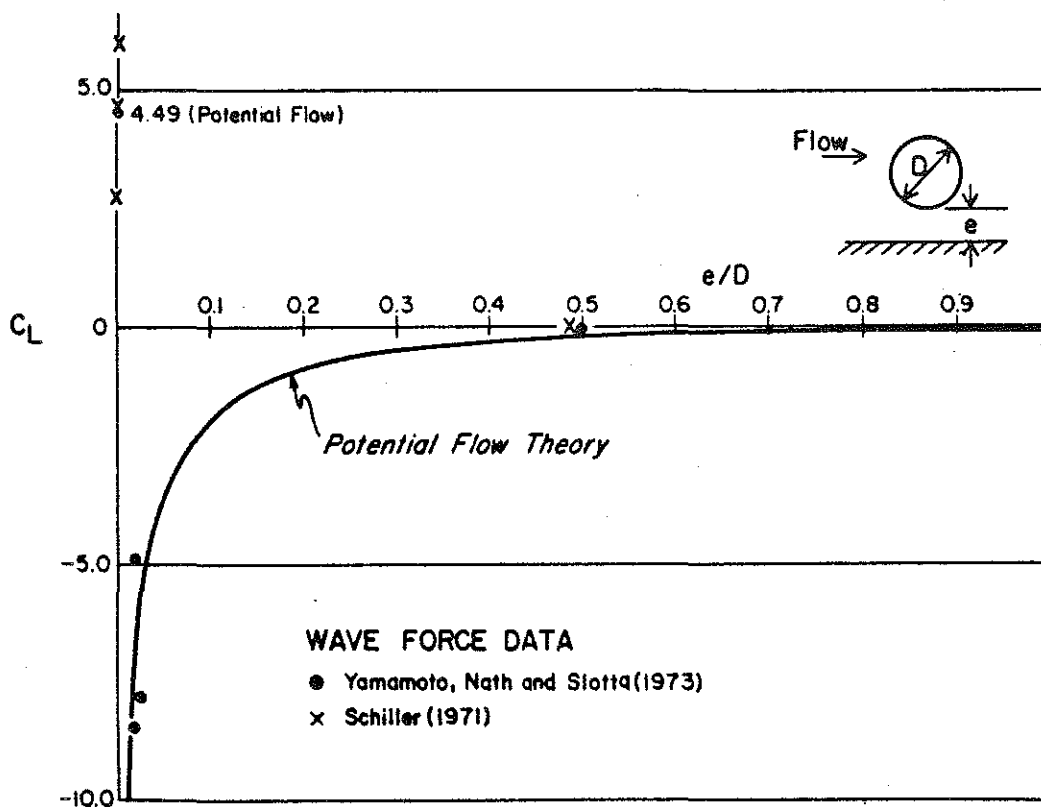
Tröghetskoefficienten C_I , som funktion av bottenklarning, e/D .

Lyftkrafter från vattnets partikelhastighet.

Närvaron av en gränssyta orsakar ett assymetriskt flöde runt en cylinder. Vattenpartiklarnas hastighet under cylindern blir då högre än vad den är i överkant på cylindern. Därför bildas ett lägre tryck vid den undre delen av cylindern, varvid cylindern får en nedåtriktad kraft vinkelrät gränssytan, vilken kallas lyftkraft.

Lyftkraften som är definierad uppåt tecknas :

$$F_L = \frac{1}{2} \rho_w C_L \cdot D \cdot u^2$$



Figur 12.

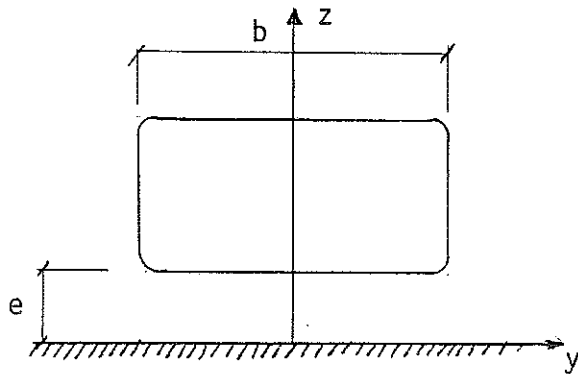
Lyftkraftskoefficient C_L som funktion av klarningen e/D .

I stationär ström och med råa begränsningsytor är lyftkraften nästan alltid uppåtriktad, även vid litet avstånd från väggen. I vågen har därimot negativa värden uppmätts. Se punkterna i figuren.

Rörströmningsteori tillämpat under ponton

En av anledningarna till att dämpningen ökar på grunt vatten är, som tidigare nämnts, att vattenmassan under pontonerna "pumpas" in och ut.

Därför har vi härlett fram uttryck för vattenmassornas hastigheter och accelerationer under pontonen utifrån plattformens rörelser. Med hjälp av dessa uttryck har vi sedan tillämpat rörströmningsteori för att få reda på tryckkraften som verkar på plattformens pontoner. Vi har delat upp problemet i kraft på grund av hastighet och kraft på grund av acceleration.



Figur 13. Tvärsnitt av ponton i närheten av botten.

e = Klarning till botten

b = Pontonbredd

$p(y)$ = Trycket som funktion av y

$\frac{dz}{dt}$ = Plattformens vertikala hastighet

$\frac{d^2z}{dt^2}$ = Plattformens vertikala acceleration

ρ_w = Vattnets densitet

g = $9.81 \frac{m}{s^2}$

Kraften på grund av acceleration

Vattnet antas accelerera lika mycket över hela mellan rummet, ponton-botten. Vattnets horisontella acceleration i en punkt y blir då

$$a = -\frac{d^2z}{dt^2} \cdot \frac{y}{e} \quad (14)$$

varvid tryckökningen i y -led kan skrivas som:

$$dp_a = \frac{dm \cdot a}{e \cdot 1} \quad (15)$$

där $dm = e \cdot \rho_w \cdot dy$ detta ger

$$dp_a = -\rho_w \cdot dy \cdot \frac{dz^2}{dt^2} \cdot \frac{y}{e} \quad (16)$$

för att få trycket i punkten y måste man integrera tryckökningarna över y .

$$p_a(y) = -\int_0^y \rho_w \frac{d^2z}{dt^2} \cdot \frac{y}{e} dy = -\rho_w \frac{d^2z}{dt^2} \cdot \frac{y^2}{2e} \quad (17)$$

Kraften verkande per längdenhet av pontonen blir då

$$F_{za} = -2 \int_0^{b/2} \rho_w \frac{d^2z}{dt^2} \cdot \frac{y^2}{2e} dy = -\frac{\rho_w}{e} \cdot \frac{d^2z}{dt^2} \cdot \frac{b^3}{24} \quad (18)$$

Det är den berömda Bergendal-Stares ekvation (1984)

Kraft på grund av hastighet

Kraften på grund av hastigheten representeras av dels en kraft av hastighetstrycket och dels friktionskraft. Då det "rör" som bildas under pontonen har två helt glatta ytor och övriga sidor har liten råhet blir Reynolds tal väldigt stort.

Detta tillsammans med låg vattenhastighet gör att friktionskraften är försumbar.

Vattnets hastighet i en punkt y blir

$$u = - \frac{dz}{dt} \cdot \frac{y}{e} \quad (19)$$

Hastighetstrycket blir då i samma punkt

$$p_u(y) = \rho_w \cdot g \cdot \frac{u^2}{2g} = -\rho_w \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 \cdot \frac{y^2}{2e^2} \quad (20)$$

Kraften verkande på pontonen får man genom att integrera trycket över pontonbredden.

$$\begin{aligned} F_{zu} &= -2 \int_0^{b/2} p_u(y) dy = -2 \int_0^{b/2} \rho_w \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 \cdot \frac{y^2}{2e^2} dy = \\ &= - \frac{\rho_w}{e^2} \cdot \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 \cdot \frac{b^3}{24} \end{aligned} \quad (21)$$

Vi har nedan gjort ett enkelt exempel för att se vad ovanstående antagande har för inverkan på en strukturs C_M och C_D i ett ideellt fall, med ett rektangulärt tvärsnitt av en ändlös kropp. Beräkningen görs på en Pacesetterplattforms heave rörelser som kan vara gällande på grunt vatten i verkligheten i regelbundna vågor.

Vågparametrar

Signifikant våghöjd $H_s = 7.8$ m

Period $T = 10$ s

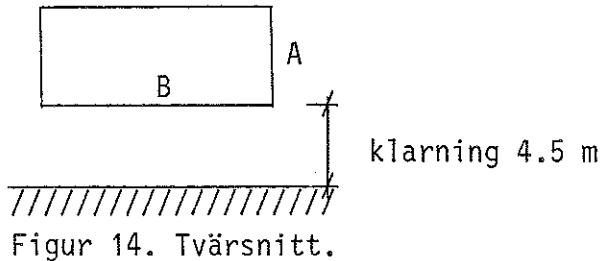
Djup $d = 24$ m

Våglängd $L = 150$ m

Detta ger enligt bilaga 3 en amplitudrespons a på $0.07 \cdot H_s$

$$a = 0.07 \cdot 7.8 = 0.273 \text{ m}$$

Strukturparametrar



$$A = 7.5 \text{ m}$$

$$B = 15 \text{ m}$$

Plattformens vinkelfrekvens

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 0.628 \frac{1}{s}$$

Vågtalet

$$k = \frac{2\pi}{L} = 0.042 \frac{1}{m}$$

Plattformens maximala vertikala hastighet genom vattnet blir

$$\frac{dz}{dt} = a \cdot \omega = 0.273 \cdot 0.628 = 0.171 \frac{m}{s}$$

Dess maximala vertikala acceleration är

$$\frac{d^2z}{dt^2} = a \cdot \omega^2 = 0.273 \cdot 0.628^2 = 0.108 \frac{m}{s^2}$$

Max kraften på grund av accelerationen med hjälp av Bergendal-Stares ekvation (18) ger:

$$F_{za} = -\rho_w \cdot \frac{d^2z}{dt^2} \cdot \frac{B^3}{24} = - \frac{1 \cdot 10^3 \cdot 0.108 \cdot 15^3}{4.5 \cdot 24} = - 3375 \text{ N/m}$$

Denna kraft kan ses som ett tillskott till den kraft som uppstår på grund av "plattformens" acceleration i oändligt vatten.

Denna kan tecknas som

$$F_{zap} = \rho_w \cdot C_M \cdot A \cdot B \cdot \left(-\frac{d^2z}{dt^2} \right) = -1 \cdot 10^3 \cdot 2.14 \cdot 0.108 \cdot 7.5 = - 26000 \text{ N/m}$$

C_M enligt figur 7.

Summan av dessa två krafter ger:

$$F = F_{za} + F_{zap} = -3375 - 26000 = -29375 \text{ N/m}$$

Med denna kraft kan vi nu lösa ut ett nytt C_M för hela strukturen.

$$F = \rho_w C_{MH} \cdot A \cdot B \frac{d^2 z}{dt^2}$$

$$C_{MH} = \frac{F}{\rho_w \cdot A \cdot B \cdot \frac{d^2 z}{dt^2}} = \frac{29375}{1 \cdot 10^3 \cdot 7.5 \cdot 15 \cdot 0.108} = 2.42$$

Detta visar att kraften på grund av vattnets acceleration ger en ökning av C_M med ca 13% i detta fall.

FOTNOT. Då man teoretiskt beräknar ett C_M för en kropp, räknar man med vattnets acceleration runt kroppen. En del av denna torde ingå i F_{za} vilket vi har försummat.

Maxkraften på grund av hastigheten blir enligt ekv. (21)

$$F_{zu} = \frac{\rho_w}{e} \cdot \left| \frac{dz}{dt} \right| \cdot \frac{dz}{dt} \cdot \frac{B^3}{24} = \frac{1 \cdot 10^3}{4.52} \cdot 0.171^2 \cdot \frac{15^3}{24} = 203 \text{ N/m}$$

Denna kraft utgör ett tillskott till dämpkraften av plattformens hastighet beräknad på djupt vatten, den blir:

$$F_{zup} = \frac{1}{2} \rho_w \cdot C_D \cdot B \cdot \left| \frac{dz}{dt} \right| \cdot \frac{dz}{dt}$$

$$F_{zup} = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 2.5 \cdot 15 \cdot 0.171 \cdot 0.171 = 548 \text{ N/m}$$

C_D enligt figur 7.

Totala kraften verkande på plattformen blir:

$$F = F_{zu} + F_{zup} = 203 + 548 = 751 \text{ N/m}$$

Nu kan vi med denna kraft lösa ut ett C_D för hela strukturen inkl. botten.

$$F = \frac{1}{2} \rho_w C_D B \left| \frac{dz}{dt} \right| \cdot \frac{dz}{dt}$$

$$C_D = \frac{2 \cdot F}{B \cdot \left| \frac{dz}{dt} \right| \cdot \left| \frac{dz}{dt} \right|} = \frac{2 \cdot 751}{1 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 0.171^2} = 3.42$$

Detta ger en ökning av C_D av ca 37 %.

C_M beräknat med hänsyn taget till olika effekter

Vi har utgått från ett C_M för en rektangulär sektion enligt figur 7, då $\frac{a}{b} = 2.0$, ger det $C_M = 2.14$.

Referens (7) behandlar inverkan av rundade hörn för kvadratisk sektion. Vi har här gjort en kvalitativ bedömning, med hänsyn till att vår tvärsektion är rektangulär.

Med hjälp av referens (8) har vi tagit hänsyn till benens inverkan på C_M , då tvärsektionen blir annorlunda vid benen.

Randeffekter har beaktats genom att approximera pontonändarna med en halvsfär.

Vi har antagit att added-mass effekterna endast kommer från pontonerna, och har försummat övriga delars inverkan.

Ovanstående faktorer ger oss ett C_M på 1.25, för hela plattformen i en heaverörelse på djupt vatten.

4. MODELLFÖRSÖK.

Beskrivning av modellförsök.

Inledning.

Modellförsöken utfördes i Vattenbyggnadsinstitutionens försöksbassäng på Chalmers. Försöken gjordes med en modell av en flytande offshoreplattform, en så kallad Pacesetter, i skala 1 : 25. Modellen är tillverkad av SSPA.

Försöken gick ut på att registrera plattformens rörelser på grunt vatten, dels vid egensvängning och dels under påverkan av vågor. Rörelserna registrerades sedan via givare, kopplade till en skrivare.

Egensvängningsförsöken utfördes på tre av plattformens sex frihetsgrader, heave, pitch och roll, och för tre olika djup.

Vågförsöken gjordes med två olika vågperioder, dels från sidan, och dels framifrån, och för två olika djup.

För att kunna undersöka om plattformens rörelser i vertikalled dämpas ut mer på grunt vatten, än på djupt, genomfördes egensvängningsförsöken på tre olika djup. Dessa motsvarade 2.5, 6.5 och 10 meter i fullskala, mellan underkant ponton och botten. Bassängens begränsade djup tillät inte att försöken utfördes på djupare vatten.

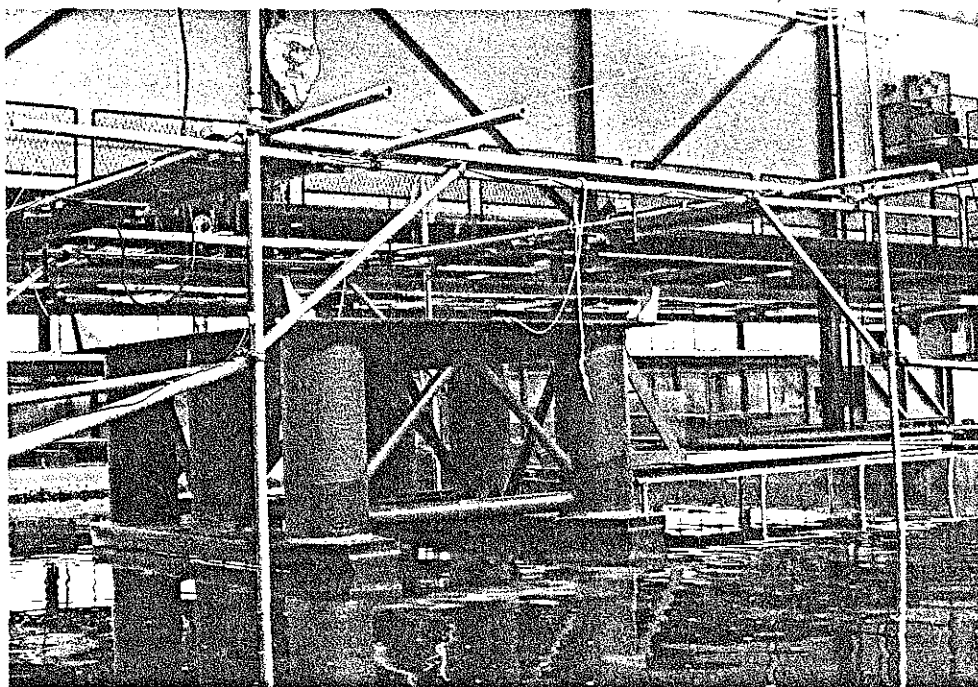
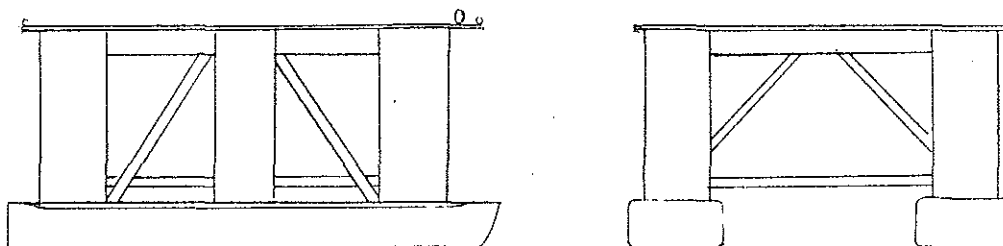


Bild 1.

Här syns försöksplattformen innan den belastades.

Plattformen.

Pacesettern är en semisubmersible, det vill säga en flytande plattform med två pontoner. Den har sex ben som är förstärkta med diagonalstag.



Figur 15.

Data om pacesettern.

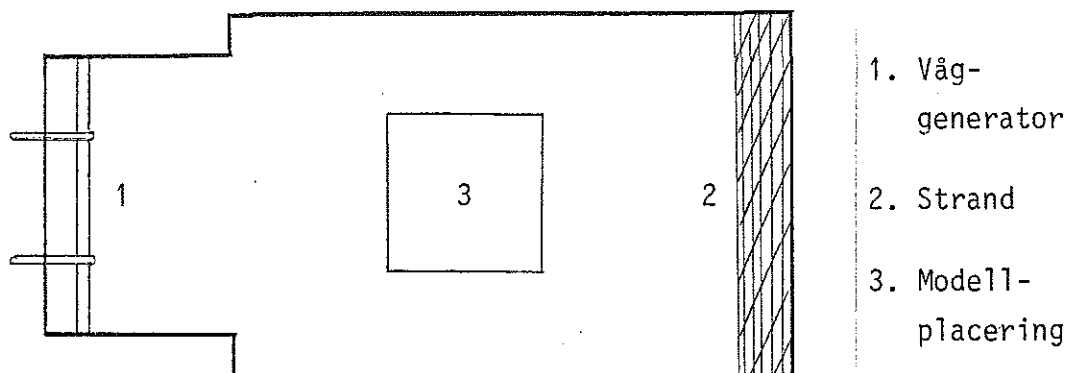
	Fullskala	Modell
Längd	79.0 m	3.16 m
Bredd utsida pontoner	61.0 m	2.44 m
Höjd till huvuddäck	35.3 m	1.41 m
Hörnpelarnas diameter	10.6 m	0.424 m
Mittpelarnas diameter	9.7 m	0.388 m
Ponton höjd	7.6 m	0.304 m
Ponton bredd	15.2 m	0.608 m
Djupgående i arbetsläge	19.5 m	0.78 m
Deplacement i arbetsläge	24600 ton	1574 kg

Modellen belastades med kätting i benen, 95 kg i hörnbenen och 85 kg i mittbenen, och med ca 380 kg på däck på bestämda platser. Med denna fördelning av vikt beräknades dess verkliga djupgående, vikt, tyngdpunkt och tröghetsradie ha uppnåtts. Vid nerlastat läge var modellen väldigt känslig för lägesändring av vikt. Ett kg på modellen motsvarar 15.6 ton i verkligheten.

Bassäng med våggenerator.

Bassängen som vi använde oss av vid modellförsöken ligger i Vattenbyggnadsinstitutionens laboratorium och har måtten $L \times B \times D = 19.3 \times 11.5 \times 1.2$ m. I mitten byggde vi upp en rörställning, 3 m hög, och 4 x 4 m i kantmått, för att placera givarna på.

Utefter bassängens ena kortsida sitter våggeneratoren, som är av pendeltyp och drivs med två servostyrda hydraulcylindrar. På motsvarande sida finns en vågdämpare, utformad som en strand av sten.



Figur 16. Bassängen.

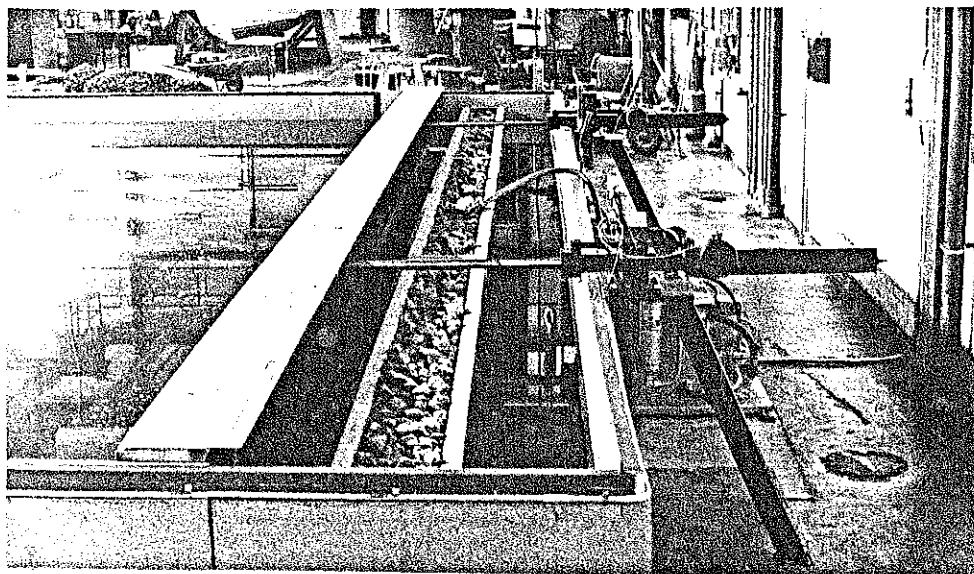
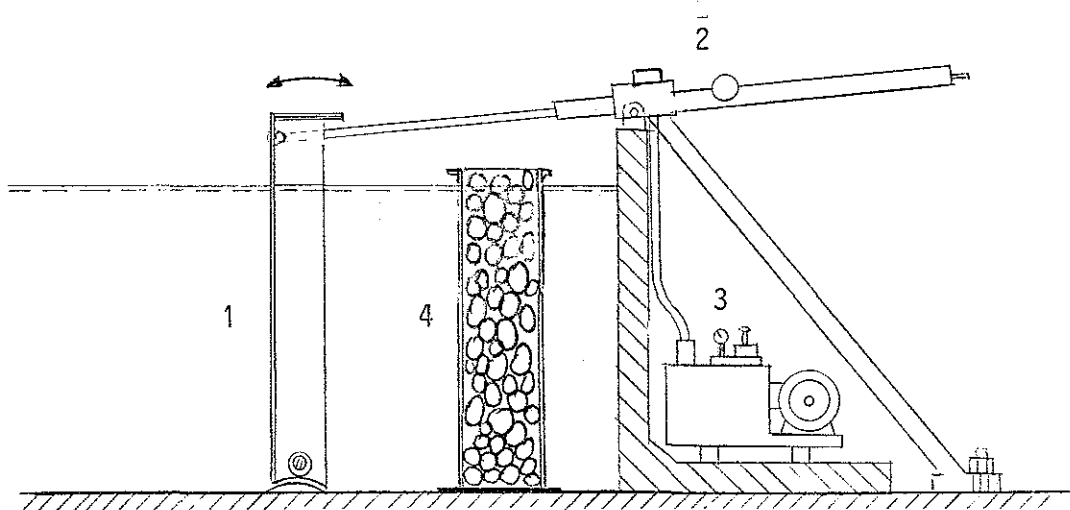
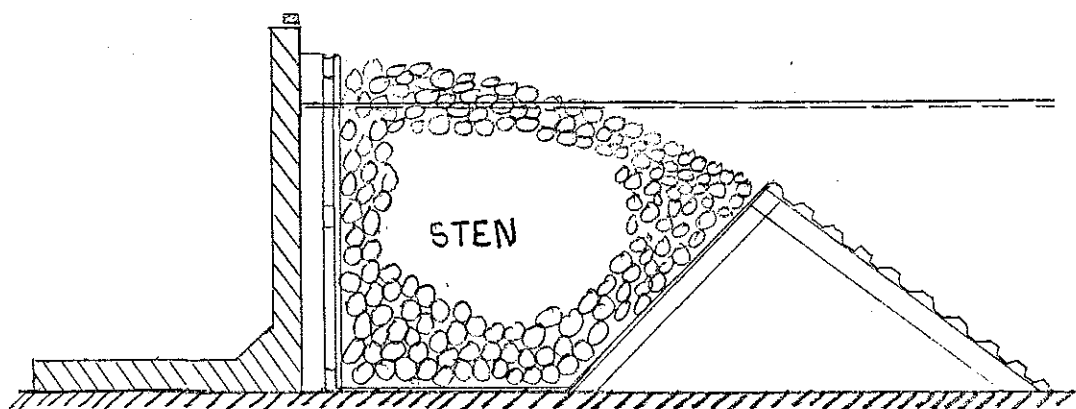


Bild 3. Våggeneratoren med hydraulcylindrar.



Figur 17a. Principskiss över vågbildare.

1. Vågblad
2. Servostyrd hydraulcylinder
3. Kompressor
4. Dämpare av sten



Figur 17b. Principskiss över vågdämpare/strand.

Mätutrustning

Mätutrustningen kan delas in i följande:

- Givare med drivenheter
- Skrivare

Givare:

För mätning av plattformens rörelser användes tre stycken givare av fabrikat Kinax 5W1, med inbyggd förstärkare. Dessa gav en spänning på 0 - 10 volt.

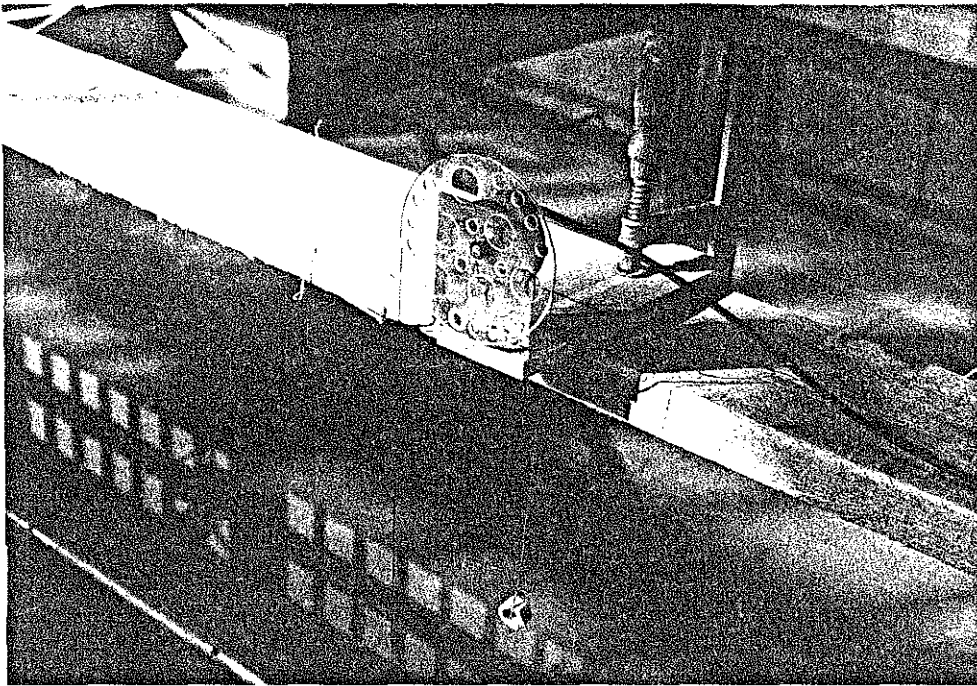


Bild 4. Givare för plattformens rörelser.

Våghöjdsgivaren är från DHI och av resistiv typ bestående av två i vattnet nedstickande metallstänger med 3 mm diameter och ett inbördes avstånd på 10 mm.



Figur 18.
Principskiss över våggivaren.

Denna var kopplad till en drivenhet som gav en förstärkt signal till skrivaren.

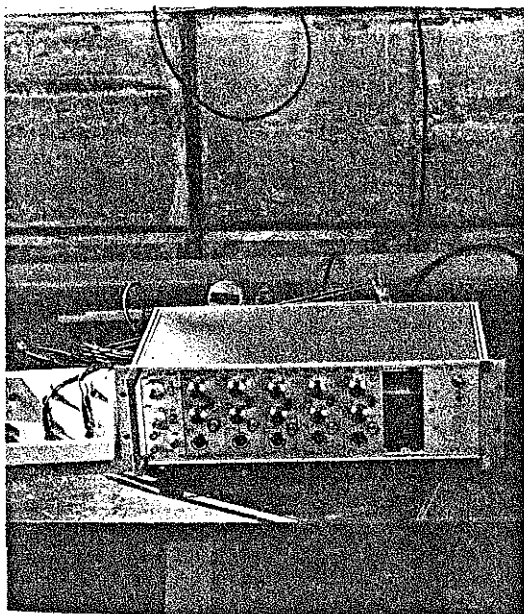


Bild 5.
Drivenhet till våggivare (endast den längst åt vänster av kassetterna utgör drivenheten.)

Skrivare:

Signalerna från givarna registrerades på en fyrkanalsskrivare från MFE corporation.

De tre första kanalerna användes till att registrera plattformens rörelser och den fjärde kanalen registrerade våghöjden.

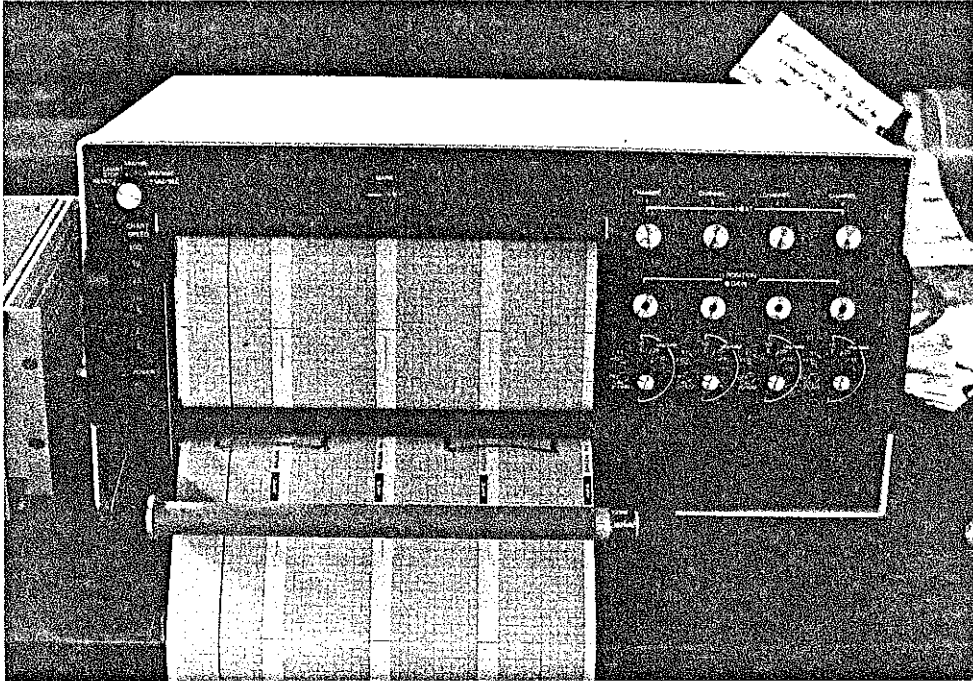


Bild 6.

Fyrkanalsskrivare.

Utförande

Egensvängningsförsök:

I bassängen runt om plattformen har en ställning av rörkonstruktion monterats upp. På den satt tre stycken potentiometerhjul med snöre och motvikt.

Ovanför plattformen fanns en travers som användes till att lyfta plattformen, och i traversen var en hake, som kunde utlösas på bestämd tid utan fördröjning, monterad. Haken utlöstes med hjälp av en lång lina.

Heave

Vid heaveförsöken placerades två givare, en givare i var ända av plattformen 1.58 m från centrum.

Plattformen lyftes ca 8 cm rakt upp med hjälp av traversen. Därefter utlöstes haken och plattformens rörelser registrerades.

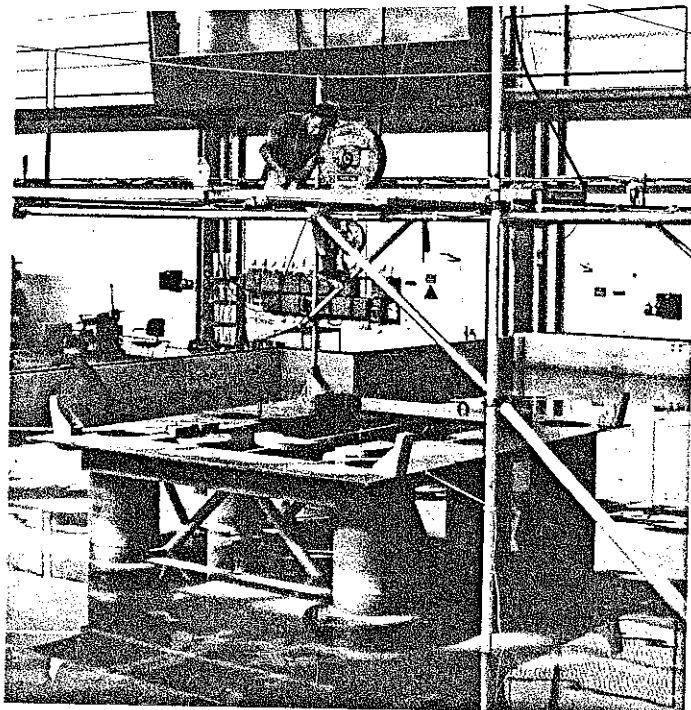


Bild 7. Här är plattformen under ett egensvängningsförsök i heave.

Pitch

Här placerades två givare på samma sätt som vid heave försöket. Dessutom placerades en givare upp för att registrera surge-rörelsen. Plattformen lyftes upp i fören så långt fram som möjligt för att undvika störande heave-rörelser.

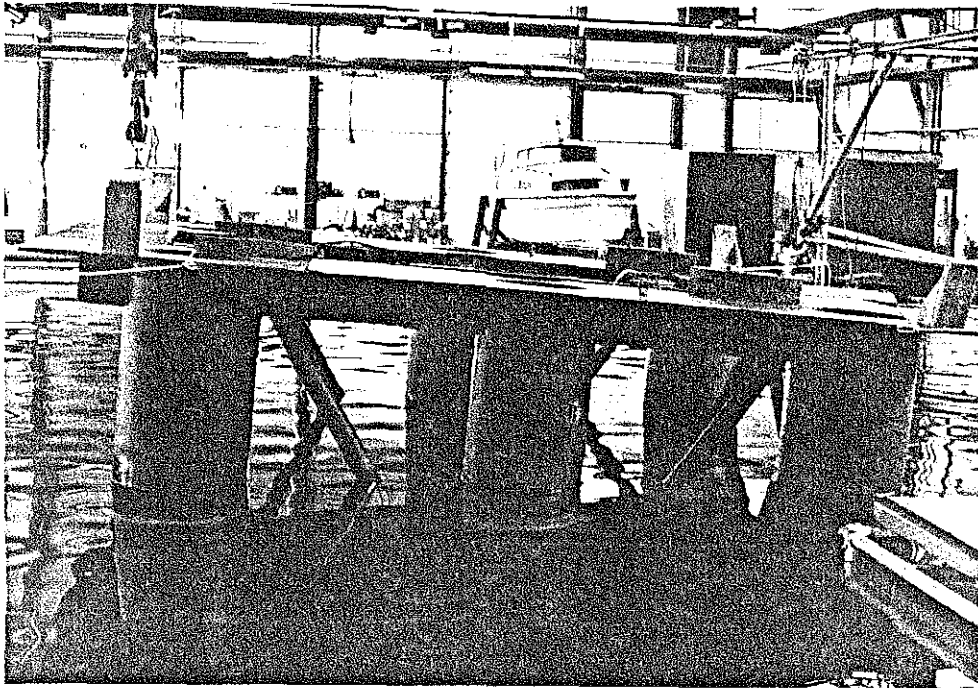
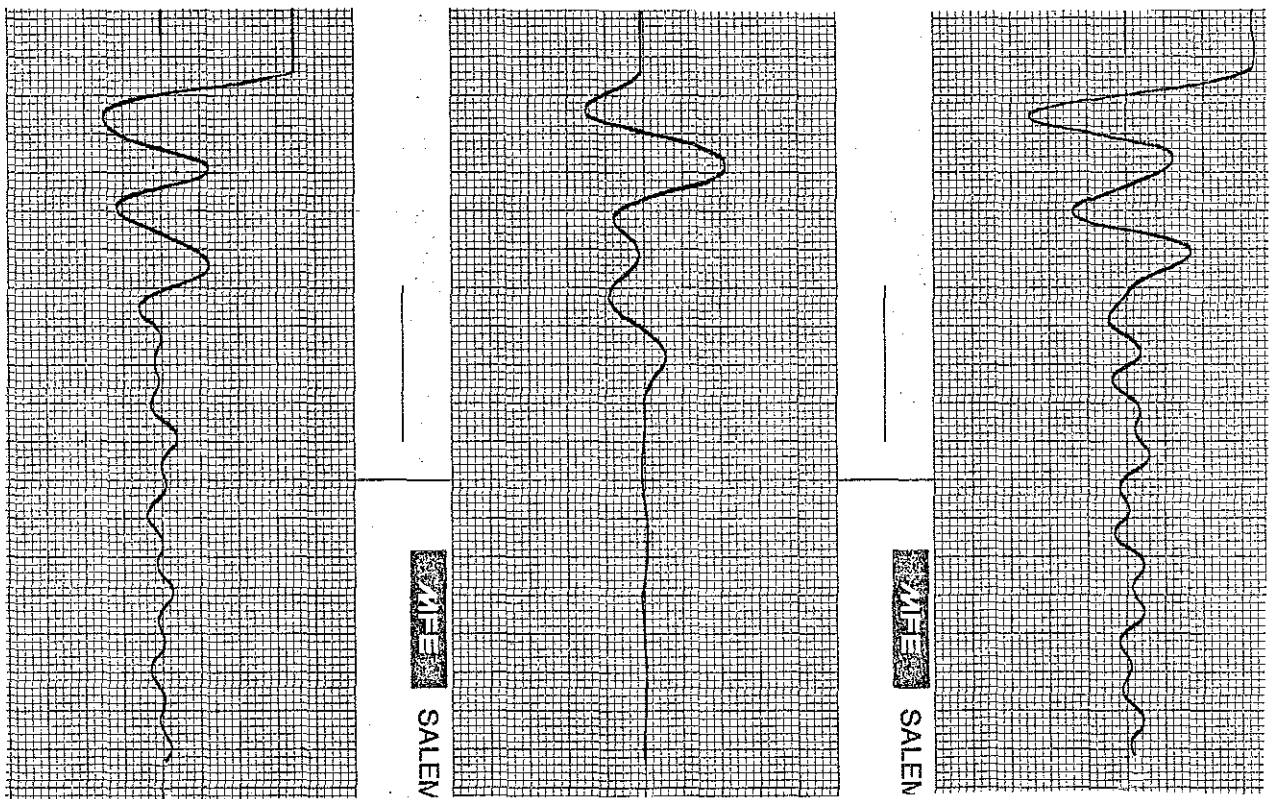


Bild 8. Modellen under en pitch-rörelse.



Figur 19. Exempel på resultat från skrivaren.

Roll:

Vid rollförsök sattes två av givarna längst ut i var sida 1.23 m från centrumlinjen. Sway- rörelsen uppmättes med hjälp av den tredje givaren.

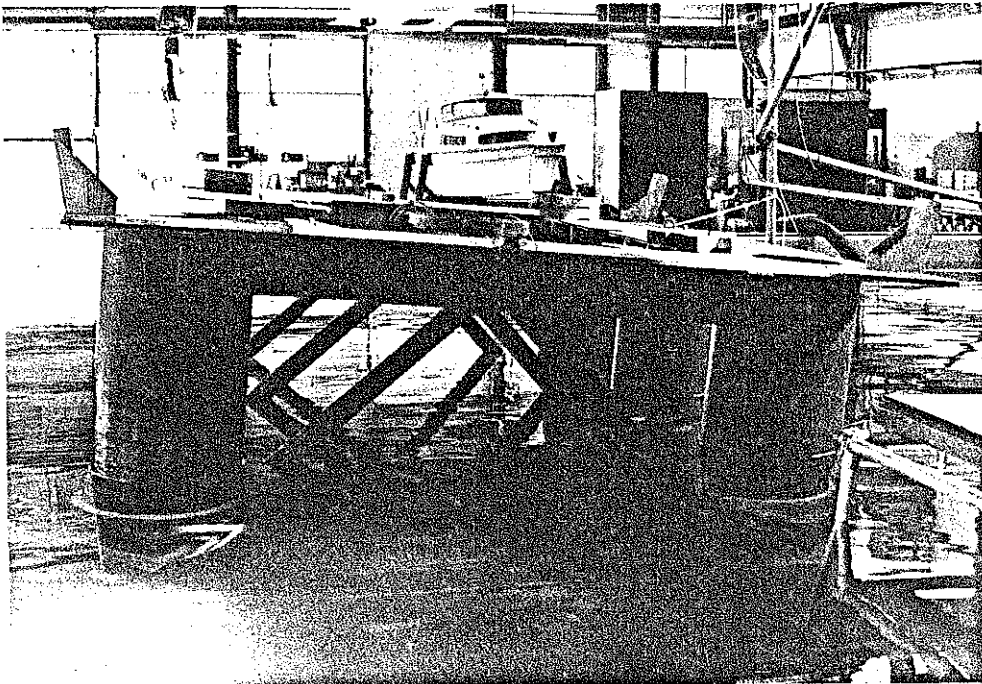


Bild 9.

Här pågår ett roll-försök.

Vågförsök:

Bassängens låga kanter medförde att vågförsöken endast kunde utföras på de två lägre nivåerna 0.88 och 1.04 m vattendjup. Försöken utfördes framifrån och från sidan med två olika vågfrekvenser. Ett problem vid försök med vågor är att plattformen, som är förtöjd med gumicord i rörställningen, förskjuts i sidled till ett jämviktsläge beroende på vågornas storlek. När detta läge är nått måste givarna justeras in så att de sitter rakt ovanför plattformen. Under tiden man gör detta börjar det uppstå reflekterade vågor som gör den sinusformade vågen oren.

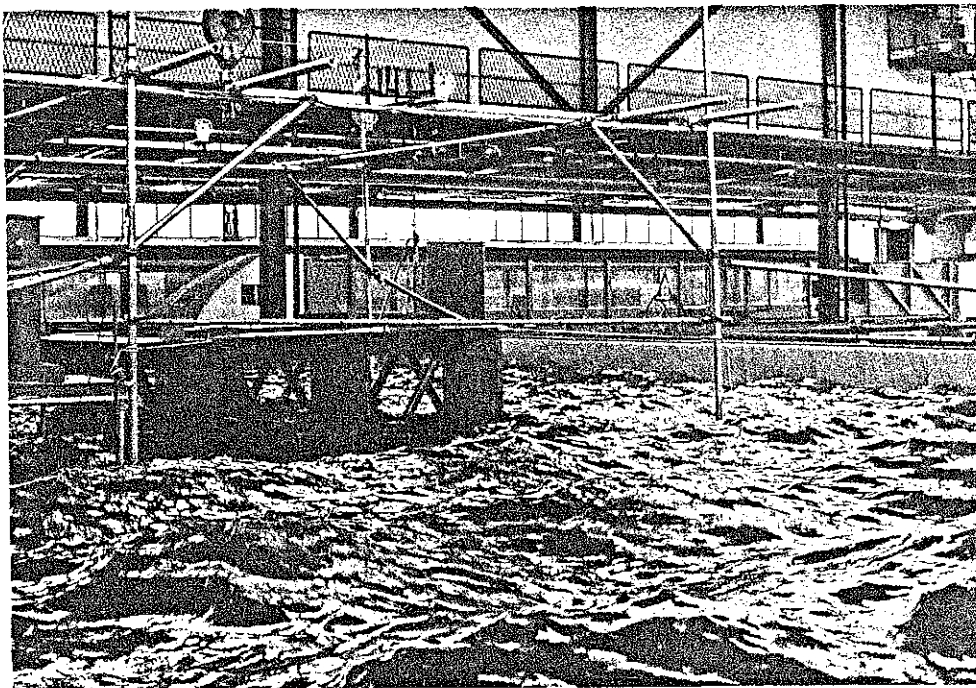


Bild 10.

På denna bild syns tydligt att vågorna är störda av reflexer.

Förflyttningen fram och tillbaka i vågornas rörelseriktning kring jämviktsläget, medförde att tråden lätt hoppade av de givare som registrerade de vertikala rörelserna.

Försöken utfördes med två olika vågperioder för varje djup. Vågperioderna avpassades så att våglängderna skulle motsvara ca en plattformsbredd för de korta vågorna och för de långa, det dubbla.

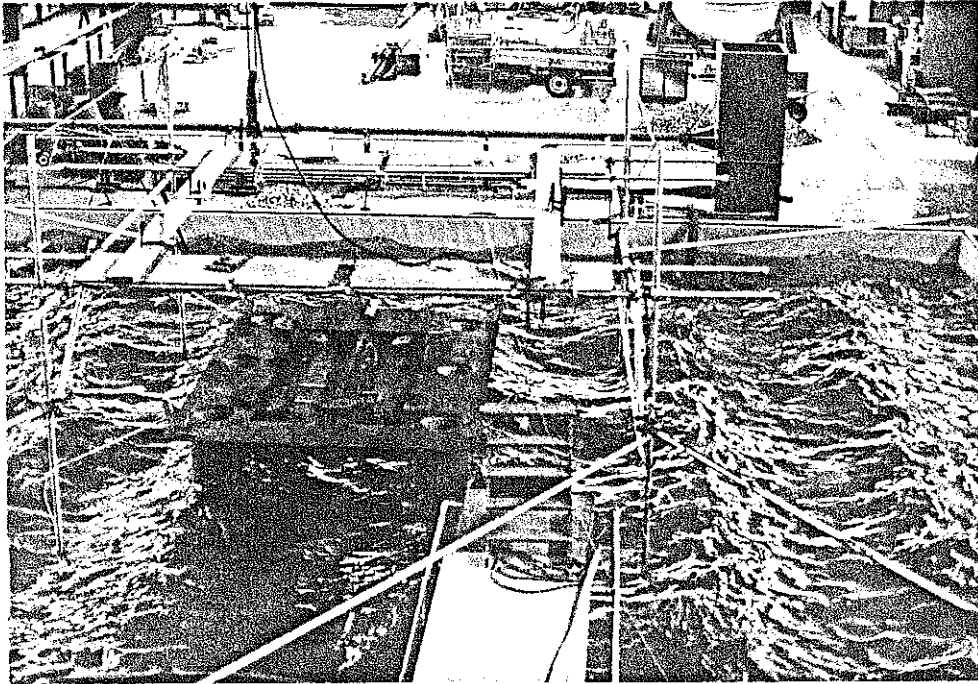


Bild 11.

Här är ett pågående vågförsök med den kortare vågperioden.

Utvärdering av resultat

Egensvängningsförsök

För egensvängningsförsöken uträknades egensvängningsperioden för de tre olika frihetsgraderna, och de tre olika djupen.

Frihets- grad Djup (m)	Heave T (s)	Pitch T (s)	Roll T (s)
22	21.9	39.4	46.7
26	20.7	36.9	42.6
29.5	20.0	36.4	40.6

Periodtider i fullskala beräknade genom att multiplicera förökstiderna med en faktor 5, dvs. roten ur längdskalan enligt Fraude. Detta har även åskådliggjorts i diagrambilagan 4 och 6 - 15.

I tabellen ovan, och av diagram, framgår att perioden blir markant längre ju närmare man kommer botten, och dämpningen ökar. Diagrambilaga 4 visar att roll är den frihetsgrad som påverkas mest, och på störst avstånd från botten. Näst mest påverkas pitch av botten, men först då plattformen befinner sig på grundare vatten. Heave rörelsen påverkas även den redan på ganska djupt vatten, men skillnaden i periodtid är inte lika stor.

I pitchdiagrammen, bilaga 9 - 11, kan man se att tredje maximum är större än den andra. Det kan bero på att vi fått in en viss heave-rörelse i mätningarna på grund av det sätt med vilken vi skapade plattformens rörelser, eller ett instrumentfel.

Vid jämförelse av heave och pitch rörelse kan man notera att heave kurvan har maximum för pitchens andra max, och minimum för pitchens tredje maximum. Det visar att rörelserna kanske inte är helt okopplade från varandra.

C_M och C_D beräknade från modellförsök på olika djup

Följande kända samband har använts, enligt ref. (9).

Svängningsekvationen:

$$(m + a)\ddot{z} + b \dot{z} + c z = 0 \quad (22)$$

Lösningen till ekvationen är:

$$z(t) = z(0) \cdot e^{k_1 t} \cdot \cos(t \sqrt{\omega_0^2 - k_1^2}) \quad (23)$$

Där $z(0)$ = utgångsläget

$$k_1 = \frac{b}{2(a + m)} \quad (24)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{(a + m)}} \quad (25)$$

Den dämpade svängningens vinkelfrekvens är:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - k_1^2} \quad (26)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

För ett ideellt förlopp gäller:

$$\frac{z\left(\frac{n\pi}{\omega}\right)}{z\left(\frac{(n+2)\pi}{\omega}\right)} = e^{k_1 \cdot T} \quad (27)$$

Djup (m)	$e^{k_1 \cdot T}$	k_1 $\left(\frac{1}{s}\right)$	ω $\left(\frac{\text{rad}}{s}\right)$	ω_0 $\left(\frac{\text{rad}}{s}\right)$
0.88	1.221	0.0458	1.438	1.439
1.04	1.157	0.0353	1.518	1.518
1.18	1.123	0.0290	1.571	1.571

Beräkning av C_M

$$C_M = \frac{a}{\rho_w \cdot V} \quad (28)$$

$$c = A \cdot \rho_w \cdot g \quad (29)$$

Där A är plattformens skärningsarea med vattenytan.
a enligt ekvation (25).

$$a = \frac{c}{\omega_0^2} - m$$

Djup (m)	a (kg)	C_M
0.88	2585	1.646
1.04	2164	1.378
1.18	1914	1.219

Se även diagrambilaga 5.

Beräkning av C_D

Enligt ekvation (24)

$$b = k \cdot 2 \cdot (a + m)$$

Som insättes i :

$$b = \frac{8}{3\pi} \cdot \frac{1}{2} C_D \rho_w \cdot A \cdot u_0 \quad (30)$$

Varvid C_D utlöses:

$$C_D = \frac{b \cdot 3\pi}{4 \rho_w \cdot A \cdot u_0}$$

A är pontonernas horisontella skärningsarea

u_0 är plattformens maximala hastighet i vertikalled

$$u_0 = \text{amplitud} \cdot \omega$$

Djup (m)	b ($\frac{Ns}{m}$)	amplitud (m)	u_0 ($\frac{m}{s}$)	C_D
0.88	380.6	0.059	0.085	2.75
1.04	263.6	0.066	0.100	1.62
1.18	202.1	0.074	0.116	1.07

Se även diagrambilaga 5.

Här ser man hur C_D ökar på grunt vatten.

Värdena på C_M och C_D är här bestämda genom egensvängningsförsök, vilket innebär låg frekvens, jämfört med den som vågor i havet har.

Ett eventuellt frekvensberoende för dessa parametrar har vi ej beaktat i detta examensarbete.

Vågförsök.

Eftersom samtliga vågförsök stördes av reflekterade vågor som tidigare nämnts, blev utvärderingarna av diagrammen mycket svåra. Vi nöjde oss därför med att endast redovisa amplitudresponserna för försök med vågor från sidan.

För att få en kontroll på rörelseresponserna i heave, skrev vi ett program, som matades med data från modellförsöken.

Programmet.

Programmet räknar ut heaverörelsen i plattformen, för vågor från sidan.

Heaverörelsen räknas som okopplad till övriga frihetsgrader, och kan därför räknas som ett uttryck.

Integrationsrutinen görs i steg som satts till en tjugondel av periodtiden. En hastighet räknas ut för varje steg, såsom snitthastigheten mellan de två senast uträknade punkterna. En ny hastighet extrapoleras fram för att beräkna nästa punkt.

Indata till programmet är, periodtid, vågamplitud, C_M för hela strukturen, Hastighetsdämpningen b , och vattendjup.

Hastighetsdämpningen b , ger vi ett lämpligt värde uträknat från förväntad amplitudrespons, om den uträknade amplitudresponserna skiljer sig mycket från den förväntade, så räknar vi ut ett nytt b .

I programmet finns alla erforderliga geometriska data om plattformen, en Pacesetter i modellskala.

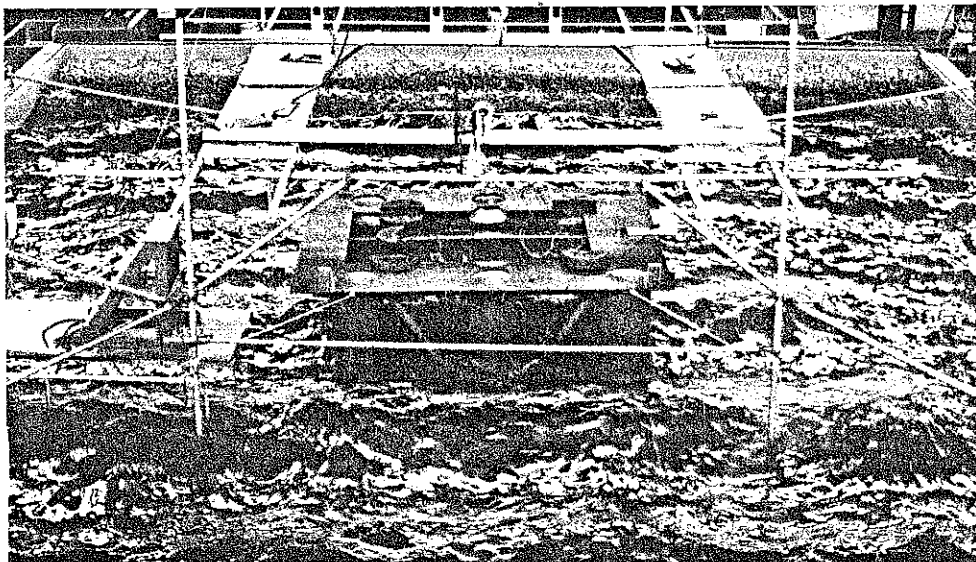


Bild 12. Modell i vågförsök.

Här visas resultat på amplitudrespons från försök jämfört med de i programmet uträknade.

Djup	Periodtid 5.5 s (1.1 s)`		Periodtid 8.3 s (1.7 s)		Periodtid 12 s (2.4 s)
	Försök	Program	Försök	Program	Program
22 (0.88)	0.091	0.082	(0.22)*)	0.009	0.011
26 (1.04)	0.11	0.086	(0.18)*)	0.003	0.067

*) Försök med denna period var väldigt störda. På grund av att den förväntade amplitudresponsen i heave är mycket liten, så inverkade de reflekterade vågorna starkt.

För datorkörningarna finns resultatet i diagram, bilaga 16.

Vi gjorde även datorkörningar med större vågamplitud, motsvarande ca 7.5 m i verkligheten, för att se om den då kraftigt ökande släpkraften inverkade på resultaten. Det gjorde den dock inte, mer än kanske på sin höjd några procent i amplitudrespons.

Jämförelse av olika C_M .

C_M påverkas av många faktorer, exempelvis sektionens form, rundningar och detaljer på strukturen, Reynolds tal, och om man har en oscillerande rörelse eller en rörelse med en acceleration endast i en riktning.

Modellförsöken gav, vid det största vattendjupet (29.5 m), ett $C_M = 1.219$. Det är med hänsyn till diskussionen på sidan 25, ett rimligt värde ($C_M = 1.25$).

VBB har i beräkningar gjorda för Consafe, använt ett $C_M = 1.2$, efter försök gjorda i England.

Försöken visar också hur C_M ökar för grundare vatten, se bilaga 5.

Jämförelse mellan bilaga 5 och figur 11 (cirkulär cylinder), visar likartade tendenser för grundare vatten inom det aktuella området. Rörströmningsberäkningarna ger en motsvarande ungefärlig ökning av C_M för grunt vatten.

5. SLUTSATSER.

Det är många parametrar som förändras på grunt vatten, och nya tillkommer. Detta skulle kunna skapa ett ganska komplext beräkningsförfarande. Det enklaste vore att kunna använda samma beräkningsmetoder som på djupt vatten.

Av störst betydelse för plattformsrörelserna är den antagna vågrörelsen, eftersom den ingår i alla termerna för de drivande krafterna, (förutsatt att man endast räknar med vågor). Det är därför viktigt att man valt en lämplig teoretisk vågmodell. Atminstone att man räknat med elliptisk partikelbana, eftersom det medför att plattformens rörelserespons blir mindre än hälften, under sådana väderförhållanden som kan tänkas råda, (periodtid ca 10 s).

I vissa fall skulle man vid noggranna beräkningar kunna använda sig av femte ordningens teori, men det medför jobbiga beräkningar för framtagande av vattnets accelerationer och hastigheter med mera, för de många koefficienter som måste räknas fram.

Added mass spelar nästan störst roll, men dock betydligt mindre, eftersom koefficienten förekommer i färre termer. Dessutom förekommer den som $1 + C_M$, vilket medför en mindre förändring på totala tröghetskoefficienten än på C_M .

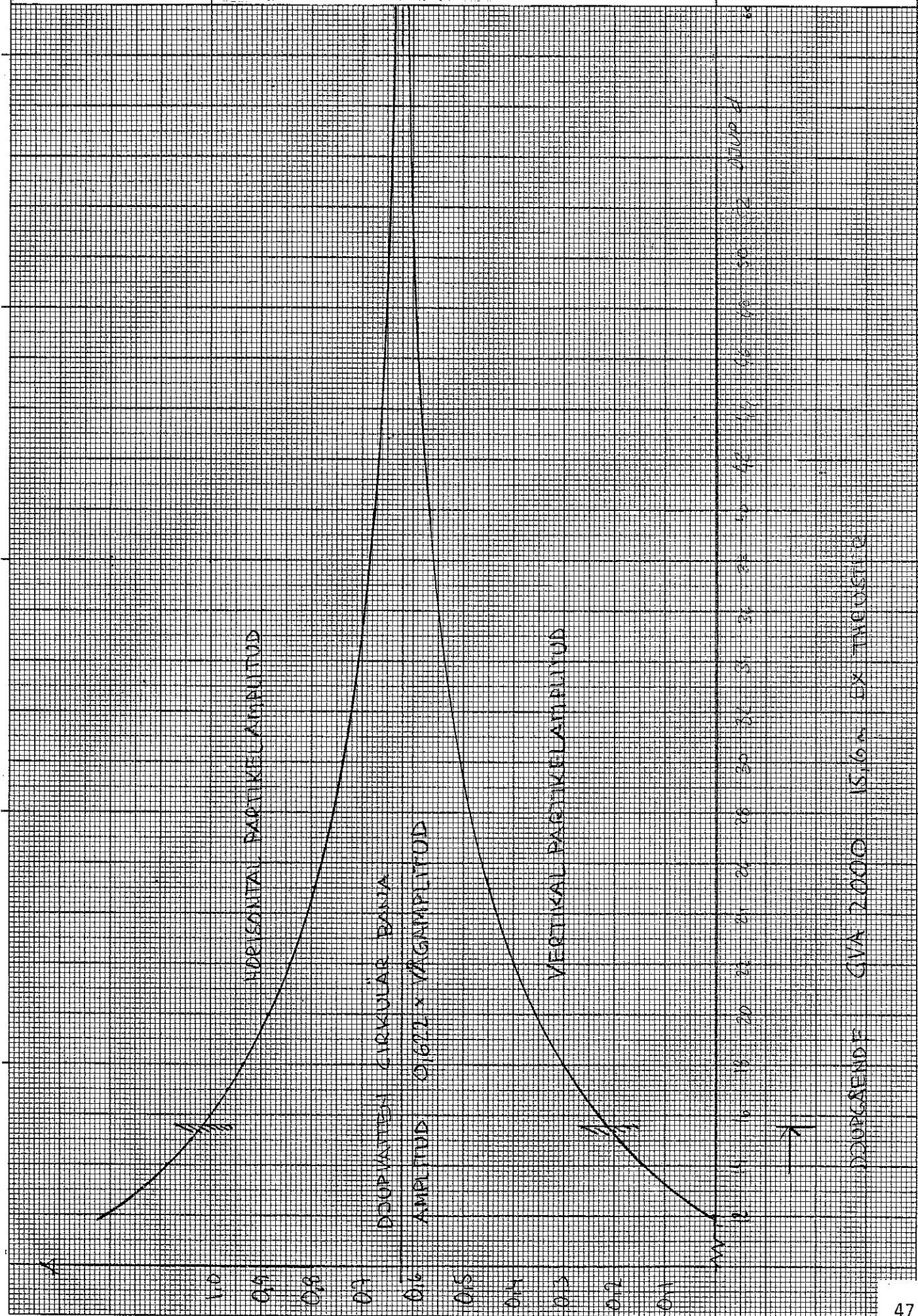
Släpkraftskoefficienten C_D spelar teoretiskt sett liten roll, främst vid vertikala rörelser, eftersom hastigheterna är låga och att den endast förekommer i en term, men bör dock räknas med för att få balans i systemet. C_D blir visserligen större på grunt vatten, men responsen och därmed hastigheterna på grund av andra faktorer blir mindre. Det medför att släpkraften på grunt vatten i stort sett får oförändrad betydelse, jämfört med på djupt vatten, vid vertikala rörelser.

En lämplig beräkningsmetod vore, att i befintliga program, alltid använda ekvationerna med de elliptiska partikelbanorna, eftersom dessa även stämmer för djupt vatten. Därtill kan man också införa kriterier för C_M och C_D , då man gör beräkningar på grunt vatten, så att dessa får ett med verkligheten överensstämmande värde.

REFERENSER.

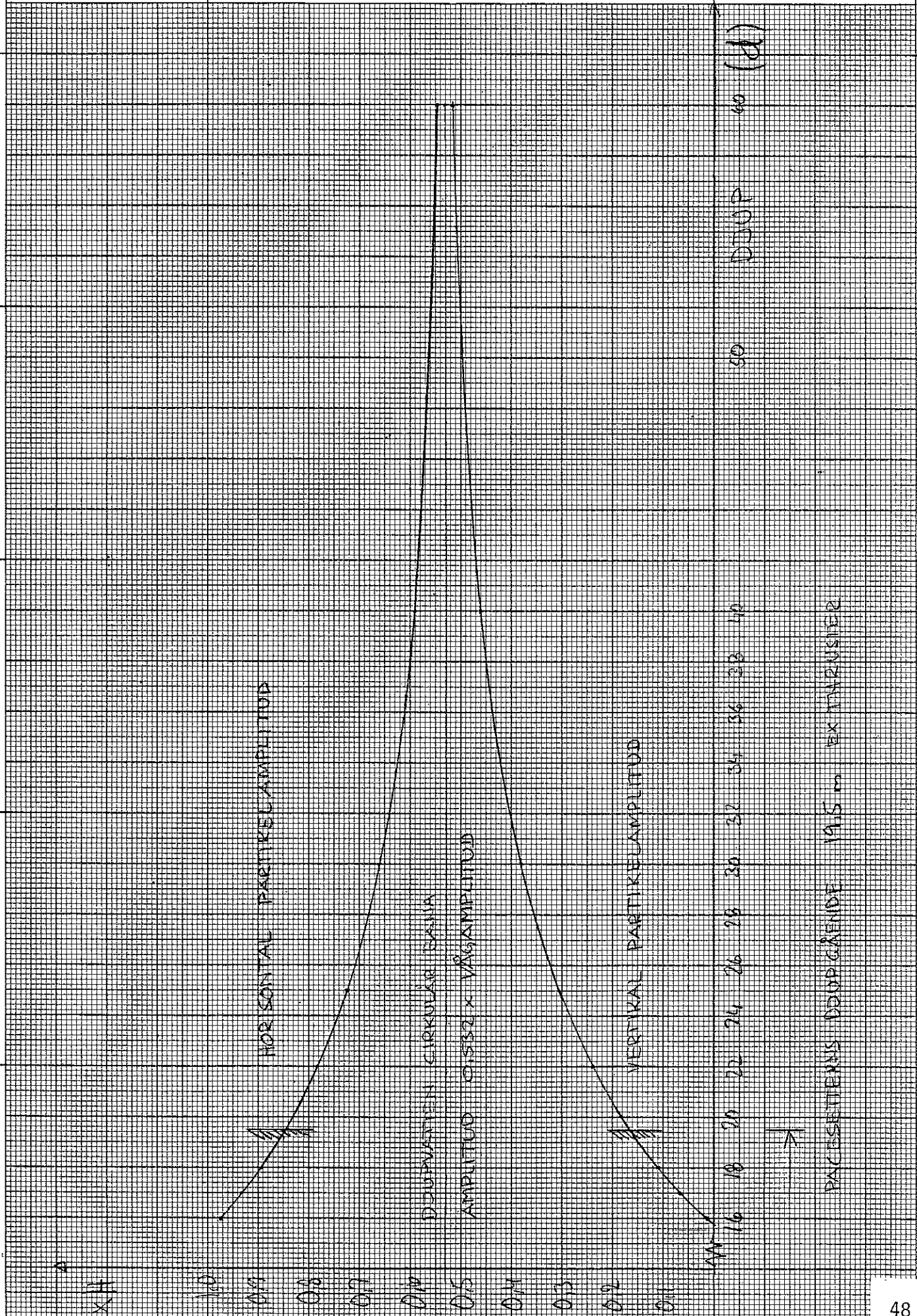
1. Anders Sjöberg, Vindvågor, undervisningsskrift vid institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
2. L. Skjelbreja, J. Hendrickson. Fifth order gravity wave theory. Proceed 7th coastal engineering. Haag 1960.
3. Lars Bergdahl, beräkning av vågkrafter, Report B : 1, Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, 1977.
4. Lars Bergdahl, Flytande förankrade konstruktioner, rörelser och förankringskrafter, undervisningsskrift nr. 1981 : 09, Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, 1981.
5. Lars Bergdahl, Göran Olsson, Konstruktioner i havet, vågkrafter rörelser, en inventering av datorprogram, Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, 1981.
6. T. Yamamoto, J. H. Nath, L. S. Slotka. Wave forces on cylinders near plane boundary. Journal of the waterways harbors and coastal engineering division. November 1974.
7. Bearman, Graham, Obasaju, Drossopoulos. The influence of corner radius on the forces experienced by bluff bodies in oscillatory flow. Applied ocean research vol. 6 No 2 April 1984.
8. W. Frank, Journal of ship reserch. The heave damping coefficients of bulbous cylinders, partially immersed in deep water. 1967.
9. Bergdahl, Olsson, Sörman, Vågkraftsbojar - modellförsök med energiupptagning i regelbundna vågor. Rapport GR 24, Vågenergigruppen, Chalmers tekniska högskola, 1980.

Vattnets partikelamplituder för ponton-
centrum för olika djup på nivå
 $z = -11.8 \text{ m}$ (GVA 2000)
perioden $T = 10 \text{ s}$



Vattnets partikelamplituder för ponton-
centrum för olika djup på nivå
 $z = -15.7$ m (Pacesetter)
perioden $T = 10$ s

Bilaga 2



PACESSETTERNS DJUPGRÄNDE 19.5 m EXTRINSIER

SEMISUB CONSAFE

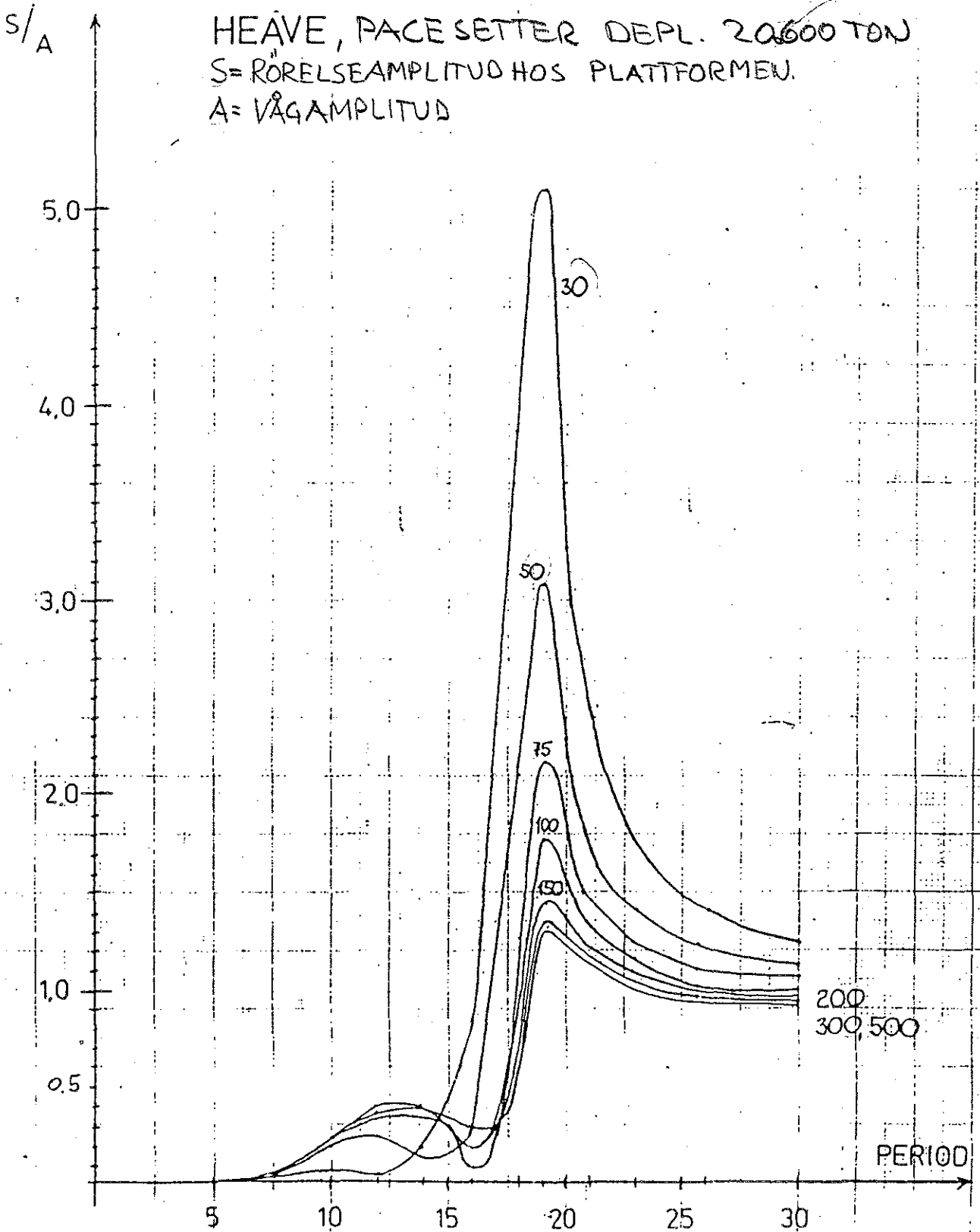
WATER DEPTH 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500

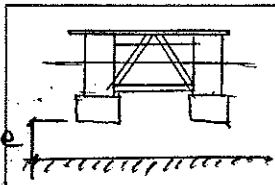
WAVE DIRECTION 90°

HEAVE, PACE SETTER DEPL. 20600 TON

S = RÖRELSEAMPLITUD HOS PLATTFORMEN.

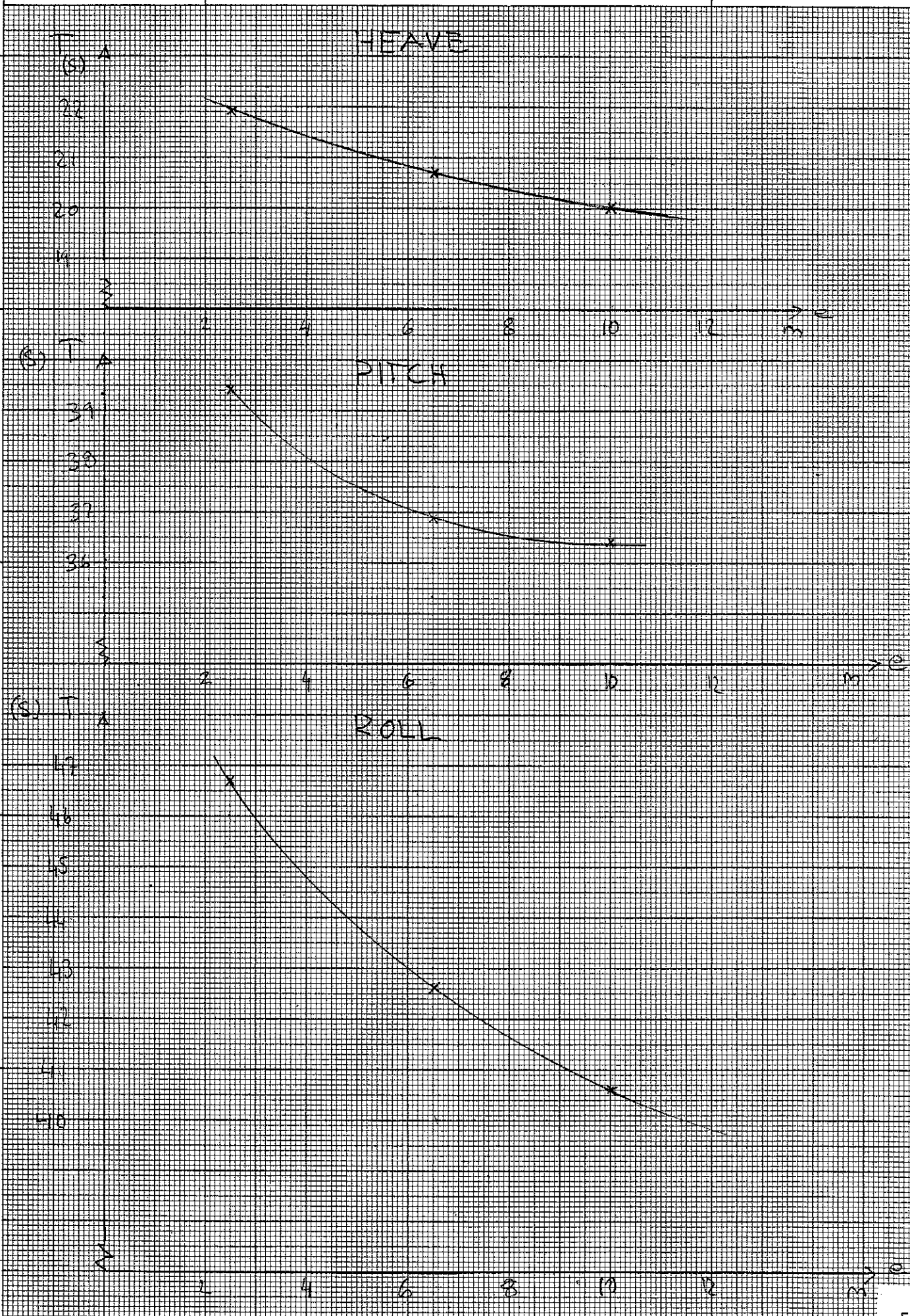
A = VÅGAMPLITUD

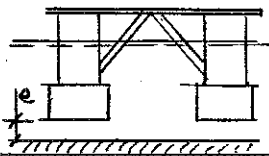




EGEN SVÄGNINGS PERIODENS
BEROENDE AV KLARNINGEN, e
HEAVE, PITCH & ROLL

BILAGA 4





C_m OCH C_D : PÅ OLIKA DJUP
BERÄKNAT FRÅN EGENSVÄGNINGS FÖRSÖK

BILAGA 5

C_m

1.8

1.6

1.4

1.2

1.0

0.8

0.6

0.4

0.2

1:1

1:25

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

(m)

e

0.10

0.20

0.30

0.40

C_D

3

2

1

1:1

1:25

2

3

4

6

8

10

12

(m)

e

0.10

0.20

0.30

0.40

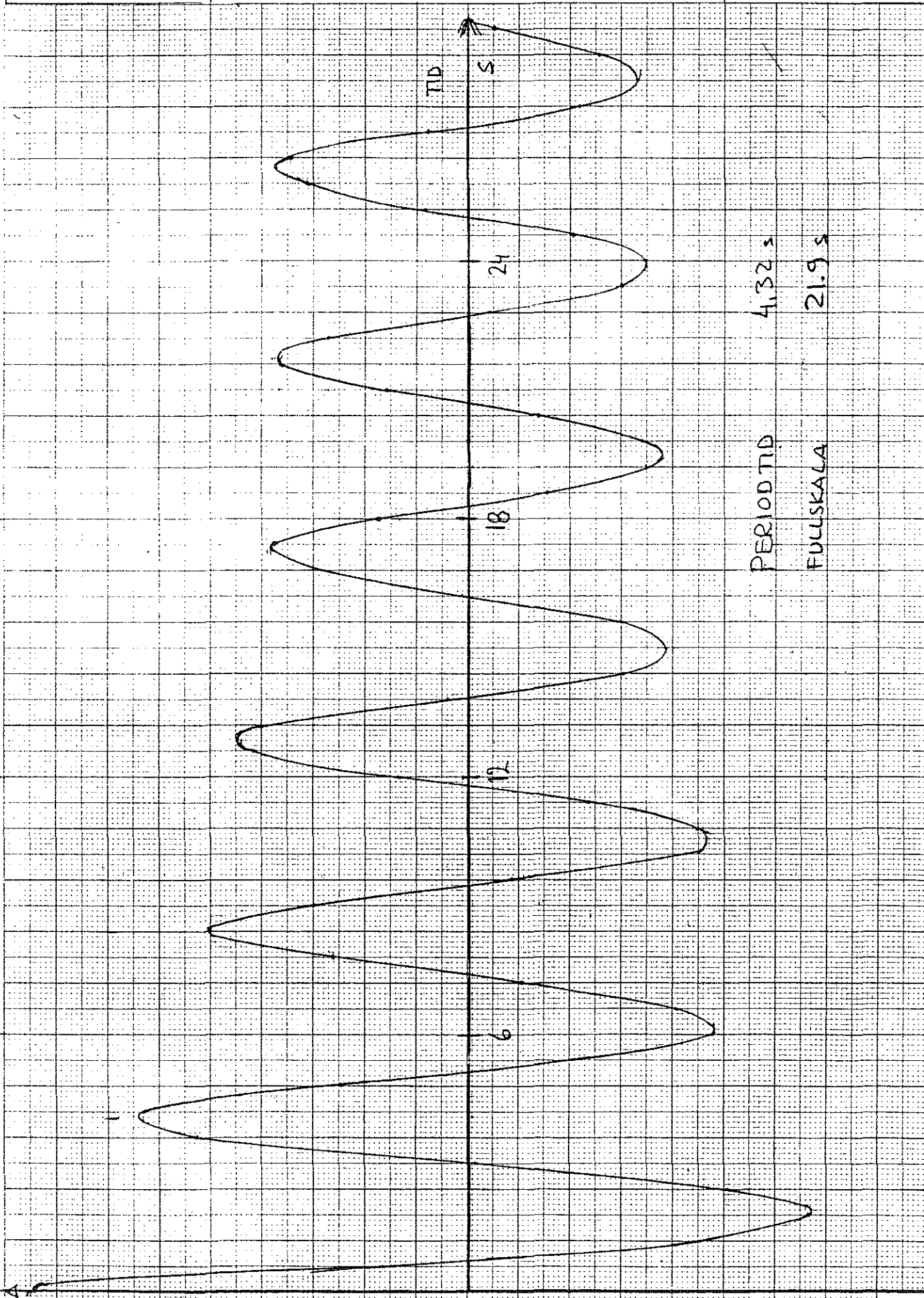
EGENSVÄGNINGSFÖRSÖK

HEAVE

DJUP = 0,88 m (22 m)

BILAGA 6

FÖRSÖK SA



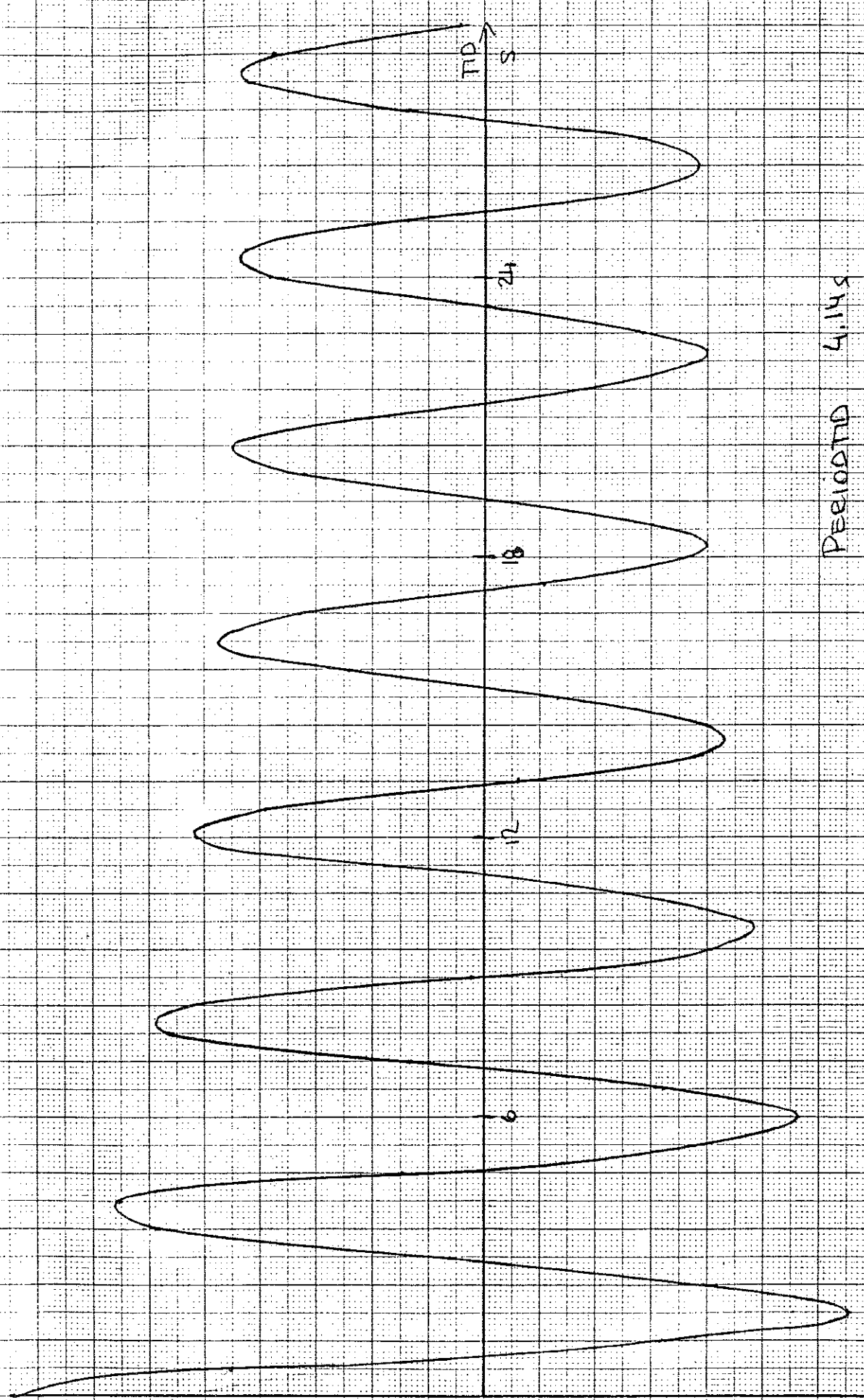
EGENSVÄNGNING FÖRSÖK

BILAGA 7

HEAVE

DJUP 1,04 m (26 m)

FÖRSÖK 19



PERIODTID 4.14 s

FULLSKALA 20.7 s

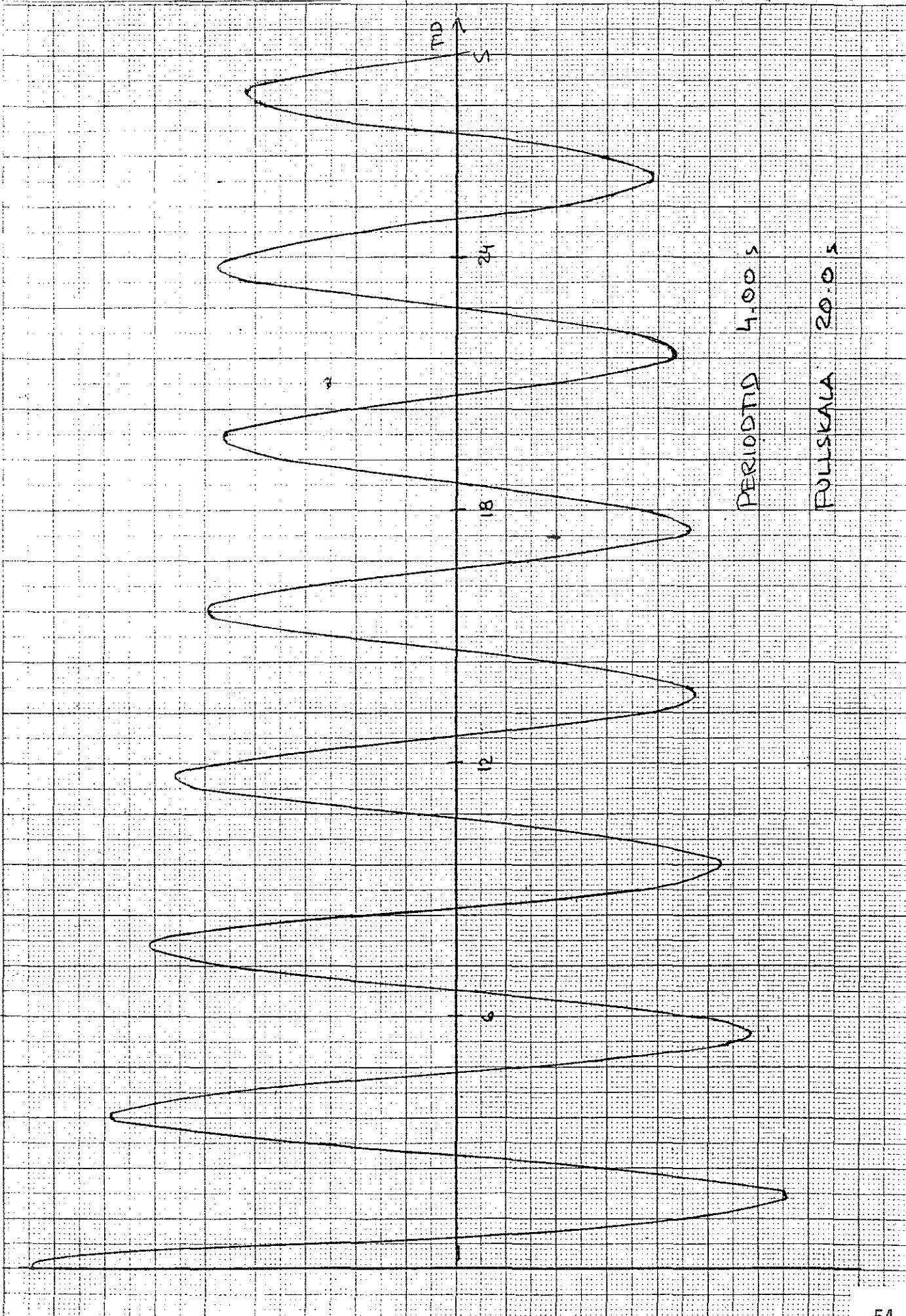
EGENSVÄNGNINGSFÖRSÖK

BILAGA 8

HEAVE

DJUP 1,18 m (29,5 m)

FÖRSÖK 18



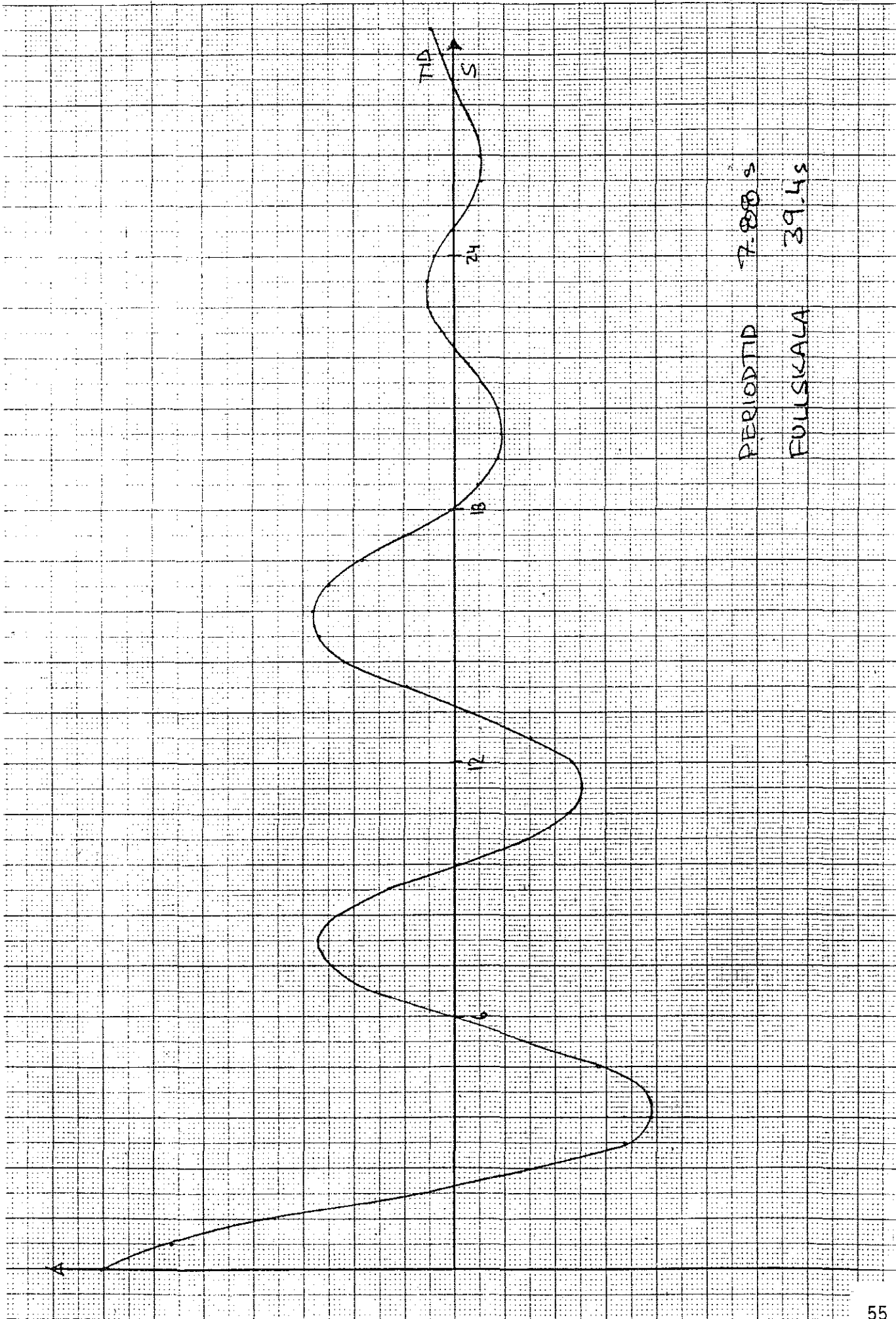
EGEN SVÄNGNINGS FÖRSÖK

BILAGA 9

PITCH

DJUP = 0,88 m (22m)

FÖRSÖK 3



PERIODTID 7,88 s

FULLSKALA 39,4 s

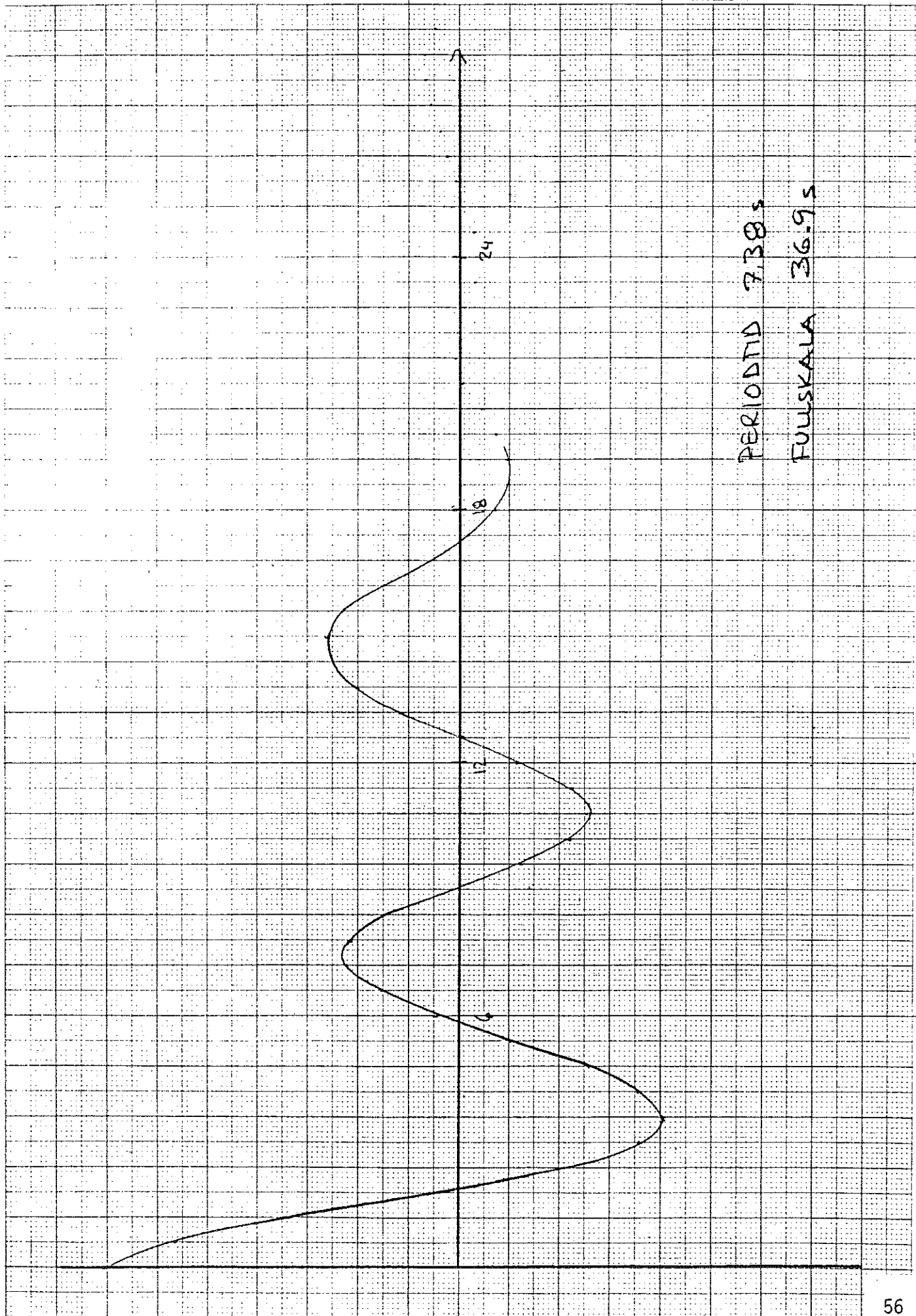
EGENSVÄGNINGSFÖRSÖK

BILAGA 10

PITCH

DJUP = 1,04 m (26m)

Försök 5



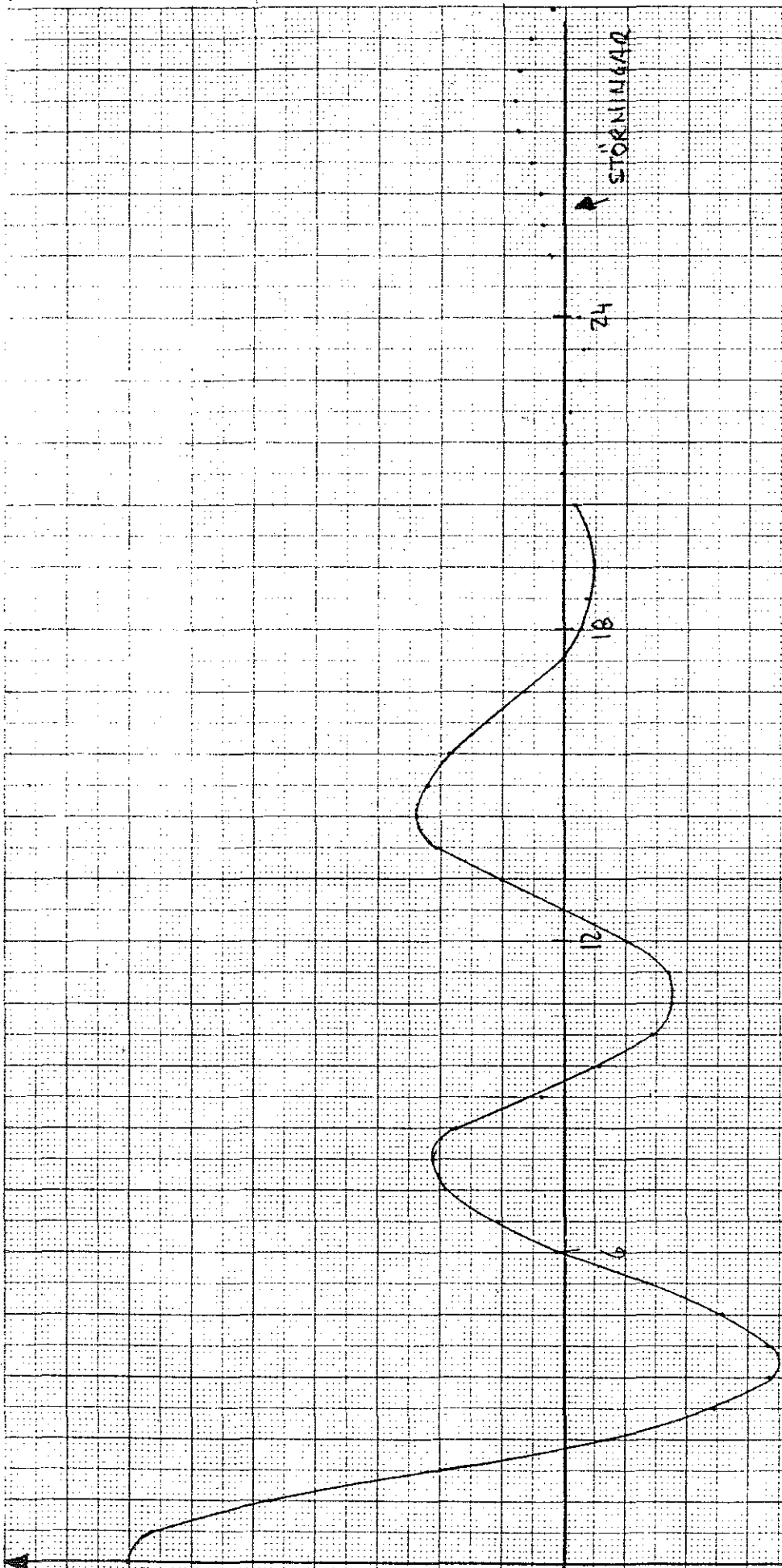
PERIODTID 7.38 s

FULLSKALA 36.9 s

EGENSVÄGNINGS FÖRSÖK
PITCH
DJUP = 1.18 m (29,5m)

BILAGA 11

FÖRSÖK 16



PERIODTID 7.28s

FULLSKALA 36.4s

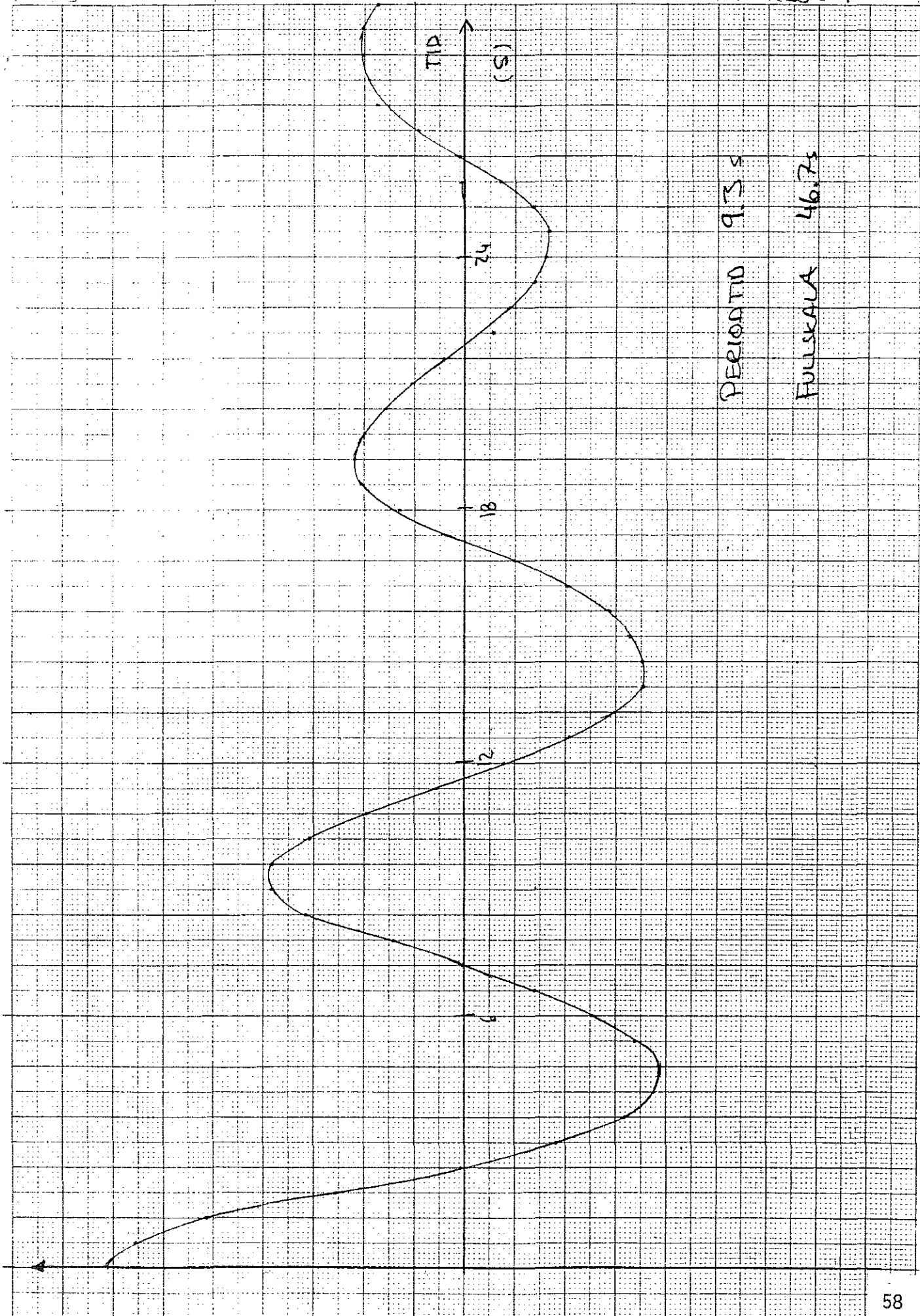
EGENSVÄNGNINGSFÖRSÖK

ROLL

DJUP 0,88 m (22 m)

BILAGA 12

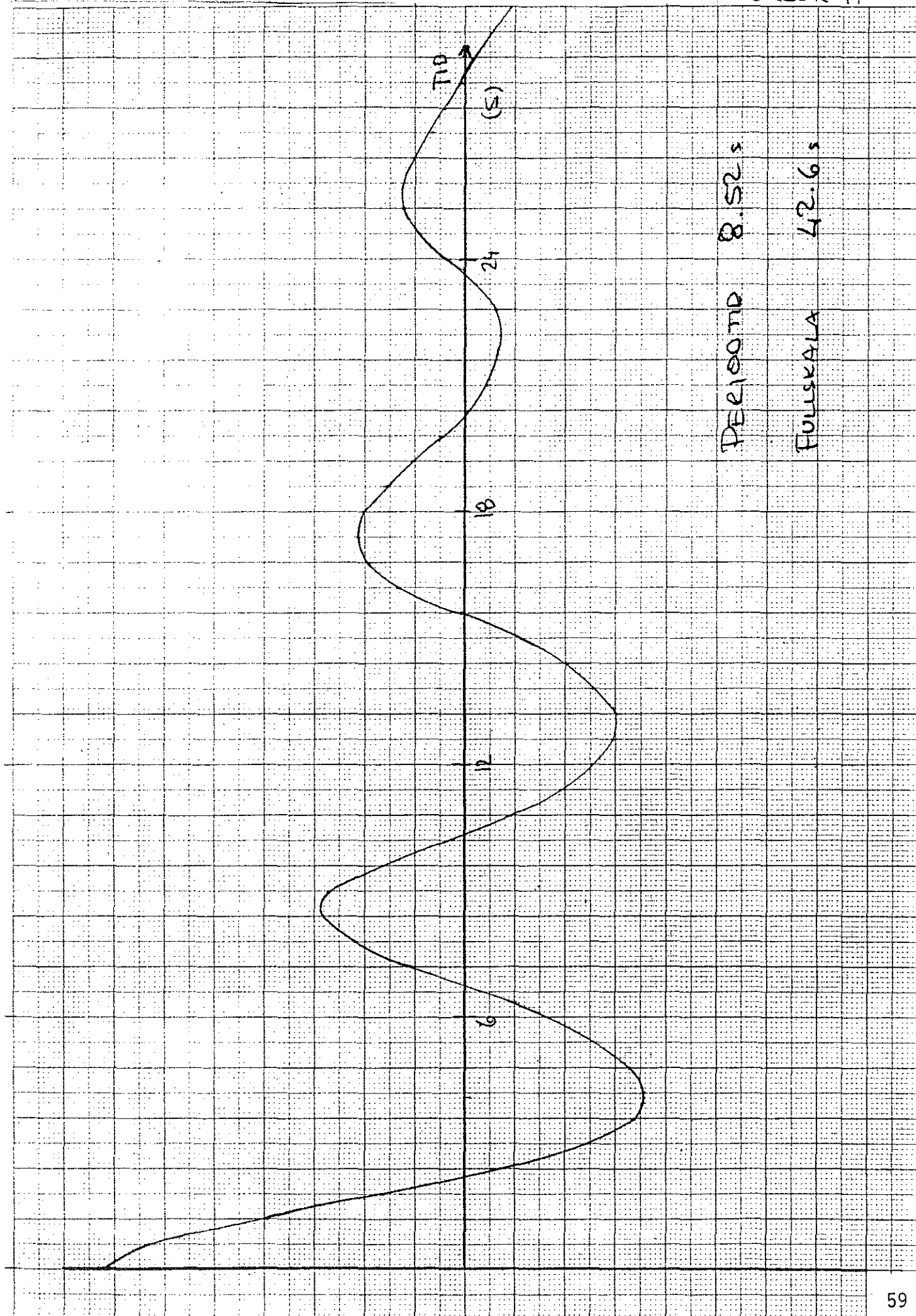
FÖRSÖK 1



ROLL

DJUP 1.04 m (26 m)

FÖRSÖK 11



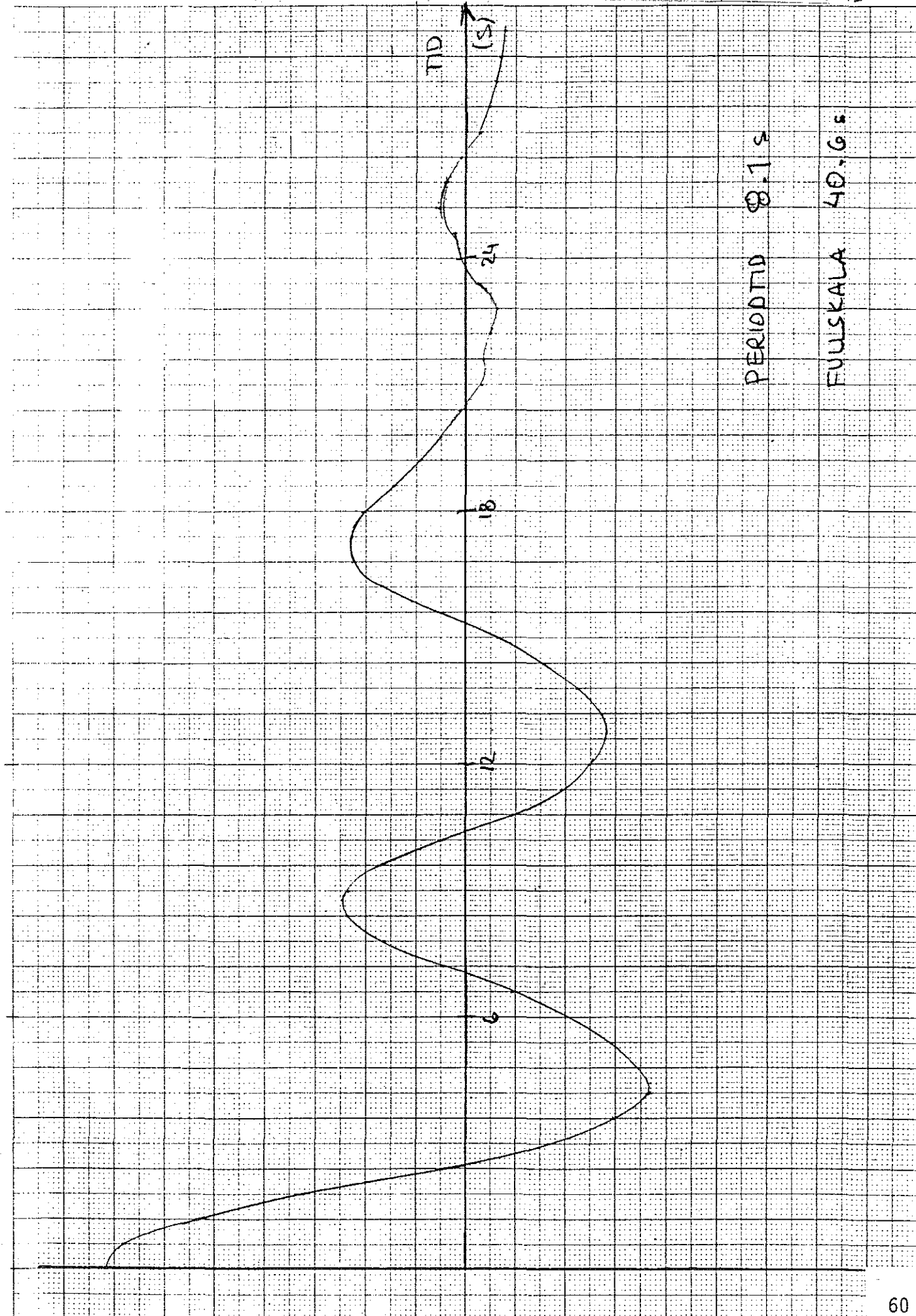
EGENSVÄNGNINGSFÖRSÖK

ROLL

DJUP 1.18 m (29.5m)

BILAGA 14

FÖRSÖK 13

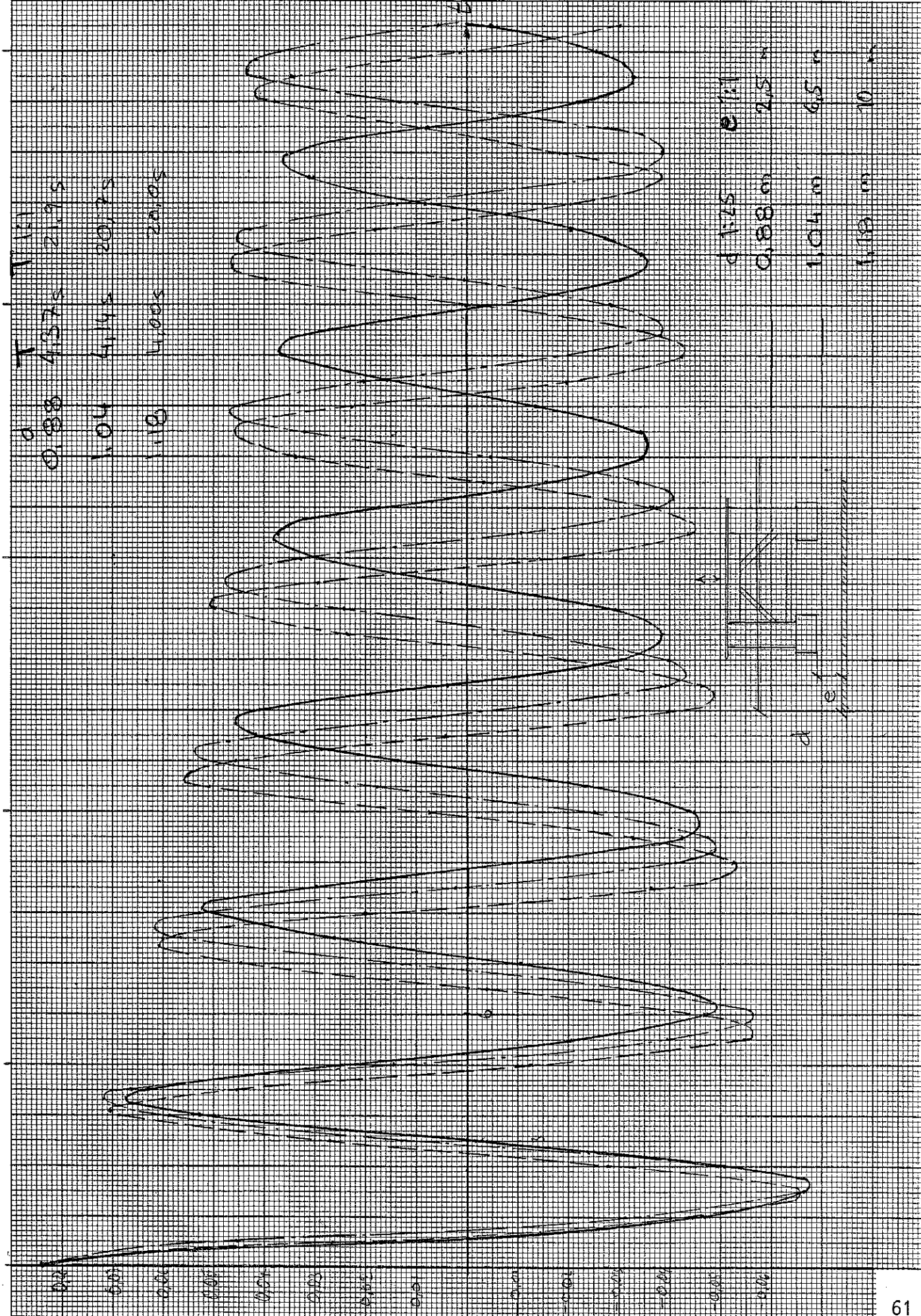


PERIODTID 8.1 s

FULLSKALA 40.6 s

HEAVE FÖRSÖKSRESULTAT
 EGENSVÄGNINGS FÖRSÖK FÖR
 OLIKA DJUP SAMANRITADE

BILAGA 15



DATORKÖRNING

BILAGA 16

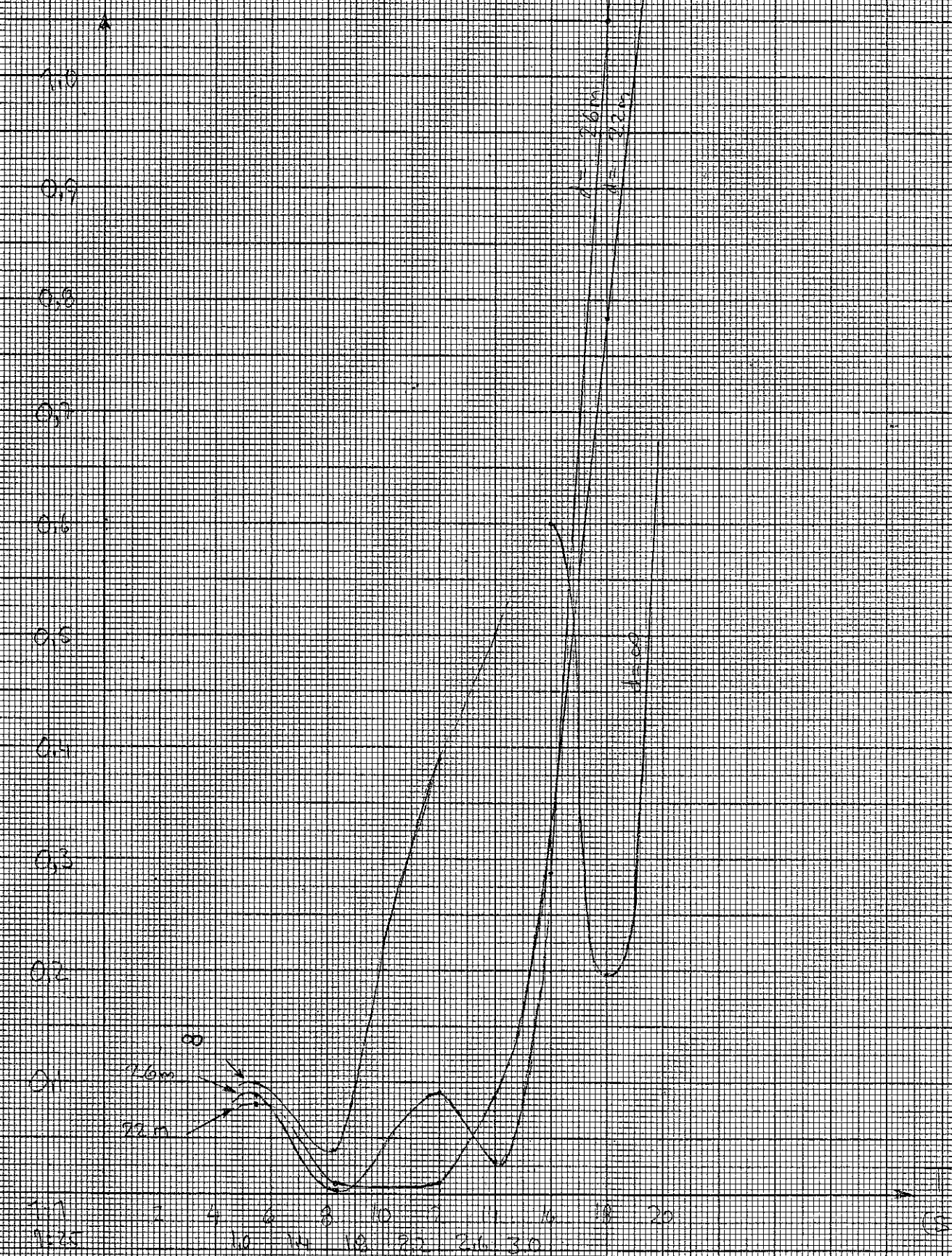
AMPLITUD RESPONS HEAVE

WAVE DIRECTION 90°

DJUP 22 och 26 m.

PACESETTER DEPL. 24.600 TON

RESPONS



APPENDIX 1.

Till examensarbete "Semisubmersibles
på grunt vatten".

Detta appendix utgör ett förtydligande av resultaten för rörströmningsteori tillämpat under ponton under kapitel 4, samt ett diagram med en kvalitativ jämförelse av olika C_M påverkade av botten.

Kraft på grund av accelerationen.

Tillskottskraften av botten inverkan enl. ekv. (18):

$$F_{za} = \frac{\rho_w \cdot d^2 z}{e \cdot dt^2} \cdot \frac{B^3}{24} \quad (A)$$

Kraften på grund av plattformens acceleration på djupt vatten kan skrivas som

$$F_{zap} = \rho_w \cdot C_M \cdot A \cdot B \cdot \frac{d^2 z}{dt^2} \quad (B)$$

Om vi sätter summan av dessa två krafter lika med en kraft F:

$$F_{za} + F_{zap} = F = \rho_w \cdot C_{MG} \cdot A \cdot B \cdot \frac{d^2 z}{dt^2} \quad (C)$$

där C_{MG} är added masskoefficienten för grunt vatten, som löses ut ur (A), (B) och (C).

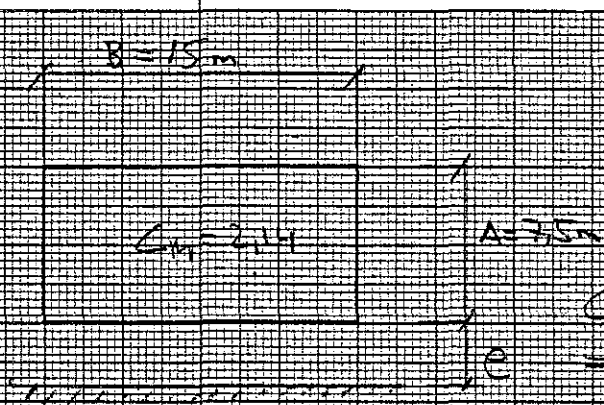
$$C_{MG} = \frac{B^2}{24 \cdot e \cdot A} + C_M$$

För vårt fall fås då med en helt rektangulär ponton som är 7.5 x 15 m:

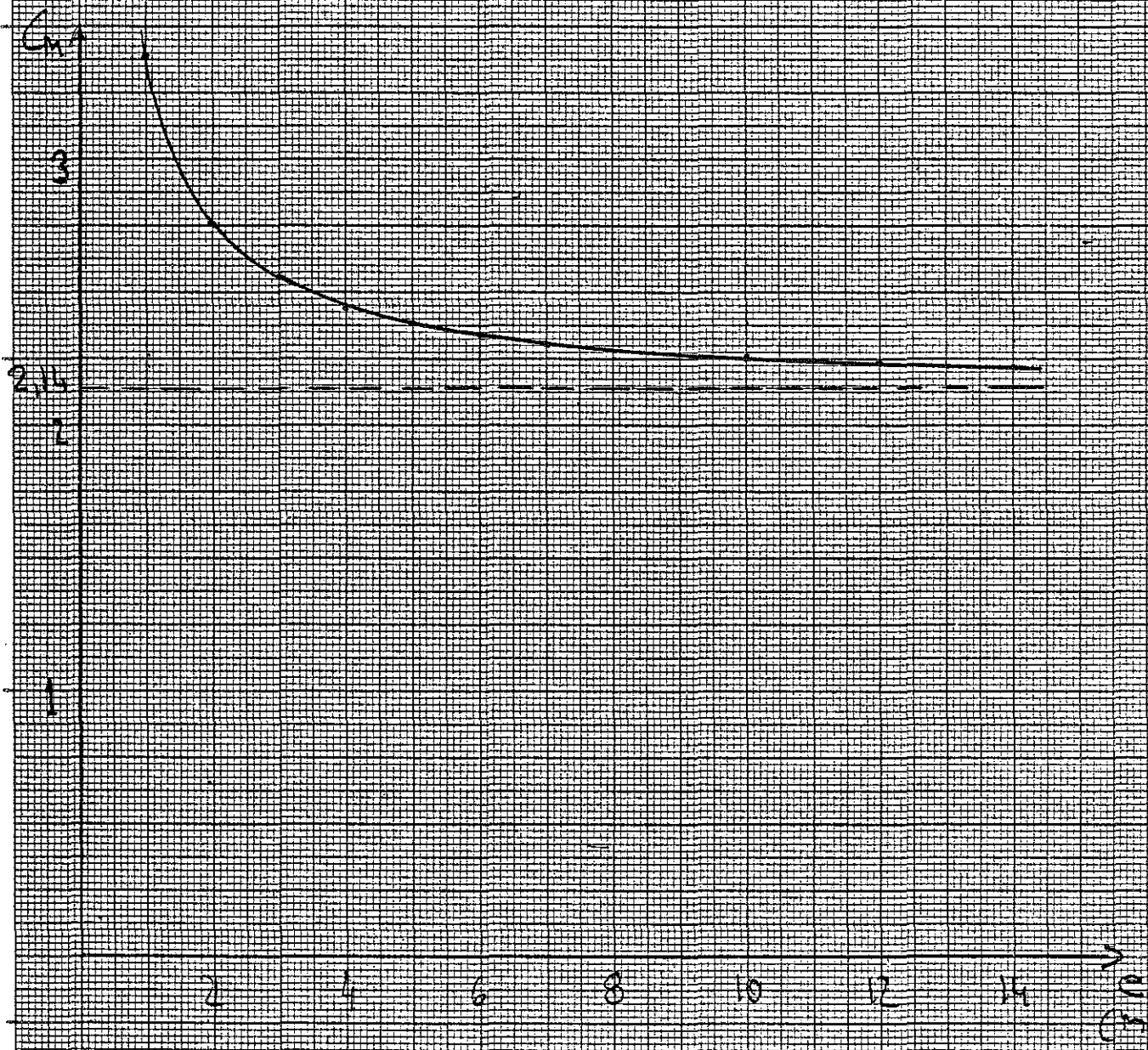
$$C_{MG} = \frac{1.25}{e} + 2.14$$

Se även diagram A.1.

CM-S VARIATION MED KLARNINGEN. DIAGRAM A.1
 RESULTAT AV RÖRSTRÖMNINGS TEORI
 TILLÄMPAT UNDER PONTON



$$C_{M0} = \frac{B^2}{24Ae} \quad \text{och} \quad F C_M = \frac{125}{2} = 214$$



Kraft på grund av hastighet.

Tillskottskraften på grund av hastigheten enligt ekvation (21).

$$F_{zu} = \frac{\rho_w}{2} \cdot \left| \frac{dz}{dt} \right| \cdot \frac{dz}{dt} \cdot \frac{B^3}{24} \quad (D)$$

Släpkraften på grund av plattformens vertikala hastighet på djupt vatten är

$$F_{zup} = \frac{1}{2} \rho_w \cdot C_D \cdot B \left| \frac{dz}{dt} \right| \frac{dz}{dt} \quad (E)$$

Summan av dessa sätts på samma sätt som tidigare lika med en kraft F_u

$$F_{zu} + F_{zup} = F_u = \frac{1}{2} \rho_w \cdot C_{DG} \cdot B \left| \frac{dz}{dt} \right| \frac{dz}{dt} \quad (F)$$

Löser man ut C_{DG} ur (D), (E) och (F) får man

$$C_{DG} = \frac{B^2}{12 e^2} + C_D$$

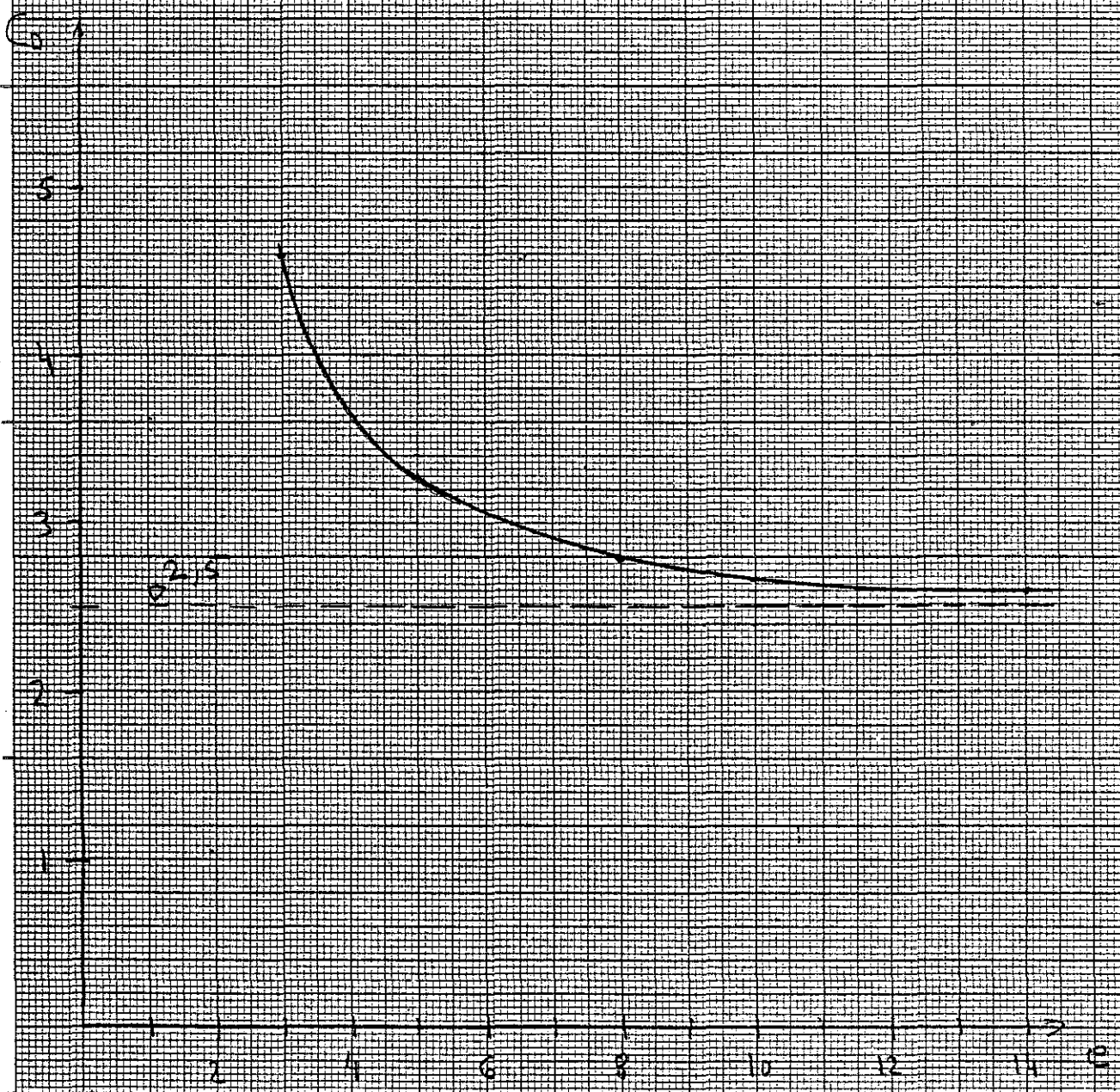
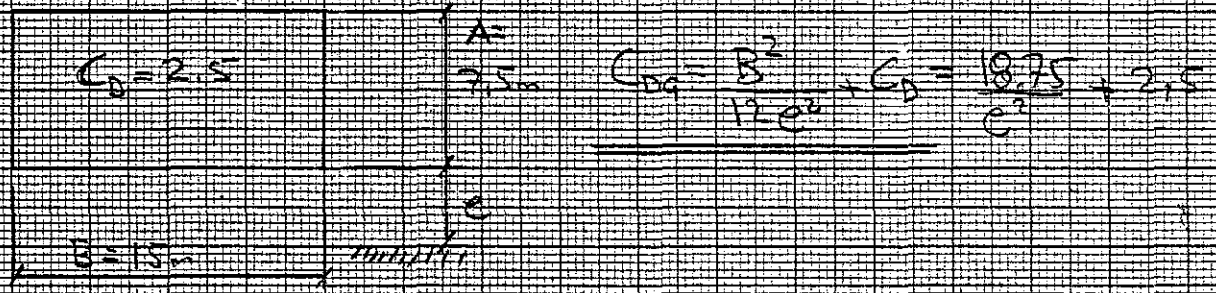
I vårt fall med 7.5 x 15 m ponton.

$$C_{DG} = \frac{18.75}{e^2} + 2.5$$

Detta åskådliggörs i diagram A.2.

C_D'S VARIATION MED KLARVINGEN DIAGRAM A.2

RESULTAT AV RÖRSTRÖMNINGS-
TEORI TILLÄMPLIGT UNDER POUTON.



JÄMFÖRELSE AV OLIKA ADDER-
 MASS-KOEFFICIENTER, C_m , I
 NÄRHETEN AV EN BEGRÄNSNINGSSYTA.

DIAGRAM A-3

C_m

3.0

2.0

2.0

1.0

"RÖRSTRÖMNING" TILLÄMPAT PÅ EN
 REKTANGULÄR SEKTION 3,5 x 15 m

FÖRSÖK MED PACESETTER MODELL
 I SKALA 1:25 I EN
 HEAVE RÖRELSE

BERÄKNAT C_m
 FÖR EN PACE-
 SETTER PÅ
 DJUPT VATTEN
 HEAVE →

YAMAMOTO
 POTENTIALSTRÖMNINGSTEORI
 FÖR CIRKULÄR CYLINDER
 (Ø 12 m BERÄKNAT)

2 4 6 8 10 12 14 c

c = KLARNING TILL ROTEN

