

FÖRANKRAD
FARTYGSSEKTION I REGELBUNDNA
VÅGOR, MODELLFÖRSÖK

Jan Lillieblad

Lars Matz



Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

FÖRANKRAD FARTYGSSEKTION I
REGELBUNDNA VÅGOR, MODELLFÖRSÖK

Jan Lillieblad
Lars Matz

Examensarbete 1980:7

Göteborg 1981

Adress: Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg

Telefon: 031/81 01 00

FÖRORD

Föreliggande examensarbete är utfört vid inst för Vattenbyggnad, CTH, sommaren och hösten 1981. Det har varit ett intressant och omväxlande arbete där vi konfronterats med, för V-byggare, lite ovanliga problemställningar, samtidigt som vi fått en nyttig repetition på andra områden.

Handledare har varit tekn dr Lars Bergdahl, CTH, som hjälpt och stött oss under arbetets gång.

Ett varmt tack vill vi också rikta till alla de personer på institutionerna för: Vattenbyggnad, Skeppshydromekanik, Mekanik samt Marintekniska Institutet (SSPA), som alltid givit oss ett vänligt bemötande och vilkas hjälp vi knappast klarat oss förutan.

Göteborg i november 1981

Lars Matz

Jan Lillieblad

FÖRANKRAD
FARTYGSSEKTION I REGELBUNDNA
VÅGOR, MODELLFÖRSÖK

JAN LILLIEBLAD LARS MATZ

A MOORED
SHIP, SECTION IN REGULAR SEA,
A SERIES OF MODEL TESTS

SAMMANFATTNING

Vi har utfört en serie försök med en förankrad fartygssektion utsatt för regelbundna vågor. Därvid har vi undersökt hur modellens rörelser och krafterna i förankringssystemet varierat för olika vågfrekvenser, brantheter, tröghetsmoment hos modellen, samt förspänning i förankringssystemet.

Vi har funnit att de beräknade egenvinkelfrekvenserna stämmer väl med de vi erhållit vid försöken.

1 ALLMÄNT

1.1 Inledning

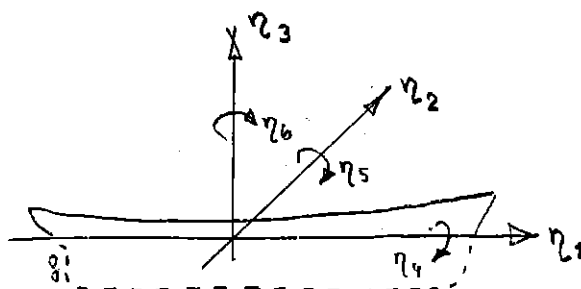
I och med att människan, på sin jakt efter energi, börjat exploatera oljefyndigheter till havs finns ett behov av borrhutrustning som är dimensionerad för, och klarar de förhållanden som råder där. Det höga oljepriset har gjort det lönsamt att utvinna olja på sådant vattendjup att fasta plattformar ej längre går att använda. På de flytande plattformar som här kommer till användning ställs stora krav bl a på stabilitet och positionering.

Ett vedertaget sätt att relativt billigt göra sig en uppfattning om den färdiga konstruktionens flytegenskaper har inom skeppsbyggarkretsar varit att utföra modellförsök.

Vårt examensarbete har bestått i att jämföra beräknade värden med resultat vi erhållit från en serie försök med en förankrad fartygssektion utsatt för regelbundna vågor.

1.2 Rörelseekvationen

En fritt flytande kropp har sex frihetsgrader; tre translationer och tre rotationer, vilka framgår av figur 1.1. Där är också de vedertagna beteckningarna angivna.



n_1 = surge	n_4 = roll
n_2 = sway	n_5 = pitch
n_3 = heave	n_6 = yaw

Figur 1.1. Fartygs frihetsgrader och deras benämning.

De styrande ekvationerna kan tecknas, på matrisform:

$$[M + A]\ddot{\eta} + [B]\dot{\eta} + [C]\eta = F(t) \quad (1.1)$$

		dim:
där	M = massmatrisen	6 x 6
	A = added massmatrisen	- " -
	B = dämpmatrisen	- " -
	C = styvhetsmatrisen	- " -

Den drivande kraften $F(t)$, lägeskoordinaterna η , hastigheterna $\dot{\eta}$ samt accelerationerna $\ddot{\eta}$ är vektorer:

$$\eta = (\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5, \eta_6)^t$$

F:s komponenter är de yttre drivande krafterna och momenten i respektive frihetsgrad. En beskrivning av elementen ges i (5).

Ett flytande föremåls rörelser beskrivs alltså av ett ekvationssystem, bestående av sex differentialekvationer. Inskränker man sig till att behandla endast sway, heave och roll reduceras antalet ekvationer till tre, varav ekvationen för heave-rörelsen är okopplad. Dessa ekvationer beskriver en svängning vars egenfrekvenser man kan beräkna genom att sätta högerledet lika med noll. Operationen försvåras av att elementen i added mass och dämpmatriserna, förutom av sektionsform även är frekvensberoende.

Matriselementen för added mass och dämpning anses dock vara konstanta med avseende på rörelsen och tiden. Vidare förutsetts att förankringssystemets styvheter är konstanta. Vi får då en ordinär linjär differentialekvation. Vid beräkningen av de hydrodynamiska koefficienterna nedan har dessutom förutsetts oändligt vattendjup.

Modellförsöken har för enkelhetens skull utförts med en tvådimensionell modell av en fartygssektion vars sway, heave och roll-rörelser studerats i en 1 m bred och 30 m lång vågtank. De resterande tre frihetsgraderna låstes

med hjälp av åtta stycken styrrullar som låg an mot rännans väggar.

I det fria är vågorna sammansatta av många vågor med olika frekvens, amplitud och riktning. Dessa är både komplicerade att generera, och svåra att beskriva matematiskt. Vi har därför använt regelbundna sinusformade vågor i försöken.

1.3 Vågdriftkraften

Högerledet i ekvation (1.1), den drivande kraften, består av alla tänkbara laster från vind, ström, förtöjningskrafter och vågkrafter.

Enligt (5) kan den drivande kraften av vågor anses bestå av dels vågkrafter med samma frekvens som vågorna, dels av en vågdriftkraft som i regelbundna vågor består av en överton med dubbla frekvensen och en konstant kraft. En enkel uppskattning av den konstanta delen av driftkraften har gjorts och jämförts med uppmätta värden.

Den konstanta delen av driftkraften kan sägas bero på att sektionen förhindrar transport av vågenergi. En del av denna energi reflekteras tillbaka mot våggeneratorn medan en del transmitteras. Impulsens tidsmedelvärde kan tecknas

$$F_d = (a^2 + r^2 - t^2) \frac{1}{4} \rho g \quad (1.2)$$

där

- F_d = kraft per längdenhet
- a = infallande vågens amplitud
- r = reflekterade vågens amplitud
- t = transmitterade vågens amplitud.

För att hålla sektionen på plats måste ankarkedjorna ta upp denna kraft, F_d .

Kraftberäkningarna utfördes för ett per frekvenser, se bilaga (8). De uppmätta värdena avviker i genomsnitt med ca 100% jämfört med de beräknade.

2 BERÄKNING AV EGENSVÄNGNING OCH JÄMFÖRELSE MED FÖRSÖK

2.1 Lösning för heave

Heave-rörelsen, som är helt frikopplad från de övriga rörelserna, beskrivs av följande differentialekvation i det homogena fallet:

$$(M + A)\ddot{\eta}_3 + B\dot{\eta}_3 + C\eta_3 = 0 \quad (2.1)$$

Med karakteristiska ekvationen:

$$(M + A)r^2 + Br + C = 0 \quad (2.2)$$

$$r = -\frac{B}{2(M + A)} \pm \left(\frac{B^2}{4(M + A)^2} - \frac{C}{M + A} \right)^{1/2}$$

inför

$$\xi = \frac{B}{2(M + A)} \quad \lambda = \frac{C}{M + A}$$

då $\lambda > \xi^2$ erhålles följande lösning

$$\eta_2 = e^{-\xi t} \left(C_1 \cos \sqrt{\lambda - \xi^2} t + C_2 \sin \sqrt{\lambda - \xi^2} t \right) \quad (2.3)$$

införes slutligen randvillkoren $\eta_3(0) = \eta_{30}$ och $\dot{\eta}_3(0) = 0$ kan heave-rörelsen tecknas

$$\eta_3 = \eta_{30} \cdot e^{-\xi t} \left(\cos \omega t + \frac{\xi}{\omega} \sin \omega t \right) \quad (2.4)$$

där $\omega = \sqrt{\lambda - \xi^2}$

2.2 Exempel: heave

Added mass och dämpningen är frekvensberoende, varför beräkningen blir en iterativ process, där egenfrekvensen beräknas för olika dämpningar och massor tills den frekvens erhålles som svarar mot ingångsvärdena.

I vårt fall blir den sökta frekvensen 0,76 (Hz), vilket svarar väl mot försöksresultaten. Ett antal beräkningar redovisas i bilaga (11).

$$\begin{aligned}
 M &= 116 \text{ kg} \\
 A &= 188,3 \text{ kg} \\
 B &= 86,1 \text{ Ns/m} \\
 C &= 6867,1 \text{ N/m} \\
 \lambda &= 22,6 \text{ s}^{-2} \\
 \xi &= 0,14 \text{ s}^{-1} \\
 \omega &= 4,75 \text{ rad/sek} \quad f = 0,75 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

Insatt i ekv (2-4) erhålls för olika t:

t(s)	η_3/η_{30}
0	1
0,1	0,89
0,2	0,59
0,3	0,17
0,4	-0,28
0,5	-0,65
0,6	-0,87
0,7	-0,90
0,8	-0,72
0,9	-0,40
1	0
1,1	0,40

Tabell 2.1. Heave

Kurvan finns plottad i diagram (10.11), tillsammans med en kurva uppmätt vid ett försök. Man ser att frekvensen stämmer väl, vilket inte kan sägas om amplituden.

Detta försök genomfördes i en 2 m bred ränna och inte i den 1 m breda ränna där de övriga försöken utfördes.

Skillnaden mellan teori och praktik bör därför bero på att vid försöket i den breda rännan strålar vågor ut i alla riktningar, medan man vid beräkningen av added mass och dämpningskoefficienterna förutsatt en oändligt lång kropp. Dessa koefficienter, som således gäller per längdenhet, kan egentligen endast användas för tvådimensionella fall.

2.3 Lösning för sway och roll

Införes beteckningarna x och φ för de bägge kopplade frihetsgraderna sway respektive roll kan rörelseekvationen för dessa frihetsgrader tecknas:

$$\begin{bmatrix} m_{22} & m_{24} \\ m_{42} & m_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\varphi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{22} & b_{24} \\ b_{42} & b_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{22} & c_{24} \\ c_{42} & c_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \varphi \end{bmatrix} = F(t) \quad (2.5)$$

Sättes $F(t) = 0$ erhålles den homogena lösningen

Ansätt

$$x = X e^{\psi t}$$

$$\varphi = \theta e^{\psi t}$$

och sätt in i (2.5). Då erhålls

$$m_{22} \psi^2 X + m_{24} \psi^2 \theta + b_{22} \psi X + b_{24} \psi \theta + c_{22} X + c_{24} \theta = 0 \quad (2.6)$$

$$m_{42} \psi^2 X + m_{44} \psi^2 \theta + b_{42} \psi X + b_{44} \psi \theta + c_{42} X + c_{44} \theta = 0$$

och för en icke trivial lösning gäller

$$\begin{vmatrix} m_{22}\psi^2 + b_{22}\psi + c_{22} & m_{24}\psi^2 + b_{24}\psi + c_{24} \\ m_{42}\psi^2 + b_{42}\psi + c_{42} & m_{44}\psi^2 + b_{44}\psi + c_{44} \end{vmatrix} = 0 \quad (2.7)$$

vilket ger rötterna:

$$\psi_1 = -d$$

$$\psi_2 = -h$$

$$\psi_{3,4} = -f \pm ig$$

där d , h , f och g är reella tal > 0

Lösningen kan tecknas

$$x = x_1 e^{-ft} \sin(gt + \alpha) + x_2 e^{-dt} + x_3 e^{-ht} \quad (2.8)$$

$$\varphi = \theta_1 e^{-ft} \sin(gt + \alpha) + \theta_2 e^{-dt} + \theta_3 e^{-ht} \quad (2.9)$$

2.4 Exempel: sway och roll

Som ingångsvärden används när styvhetsmoment som motsvarar en förspänning på 1,3 N, added mass och dämpning är beräknad för $\omega = 4,4$ rad/sek och tröghetsmomentet är 6,58 kgm^2 .

$$\begin{aligned} m_{22} &= 124,62 \text{ kg} & m_{24} &= 1,15 \text{ kgm} \\ m_{42} &= 1,15 \text{ kgm} & m_{44} &= 8,36 \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{22} &= 300 \text{ Ns/m} & b_{24} &= 15,88 \text{ Ns} \\ b_{42} &= 15,88 \text{ Ns} & b_{44} &= 0,84 \text{ Nms} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{22} &= 0,90 \text{ N/m} & c_{24} &= -0,93 \text{ N} \\ c_{42} &= 0,93 \text{ N} & c_{44} &= 183 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Insatt i ekvation (2.7) erhålls rötterna:

$$\psi_1 = -2,420$$

$$\psi_2 = -0,003$$

$$\psi_{3,4} = -0,027 \pm i 4,668$$

vilket ger lösningarna

$$\begin{aligned} x &= X_1 e^{-0,03t} \sin(4,67t + \alpha) + X_2 e^{-2,42t} + \\ &+ X_3 e^{-0,003t} \\ \varphi &= \theta_1 e^{-0,03t} \sin(4,67t + \beta) + \theta_2 e^{-2,42t} + \\ &+ \theta_3 e^{-0,003t} \end{aligned}$$

införes randvillkor

$$\varphi(0) = 0$$

$$\dot{\varphi}(0) = \dot{\varphi}_0$$

$$\ddot{\varphi}(0) = 0$$

samt sättes $\varphi = 0$ erhålles: $\theta_1 = \frac{\dot{\varphi}_0}{4,67}$

$$\theta_2 = \theta_3 = 0 \rightarrow X_2 = X_3 = 0$$

ty konstanterna X_1 , X_2 och X_3 är direkt proportionella mot θ_1 , θ_2 och θ_3 , på så sätt att

$$X_1 = \text{konst} \cdot \theta_1$$

$$X_2 = \text{konst} \cdot \theta_2$$

$$X_3 = \text{konst} \cdot \theta_3$$

rollen kan tecknas:

$$\varphi = \frac{\dot{\varphi}_0}{4,67} e^{-0,03t} \sin(4,67t)$$

vilket är en svagt dämpad sinussvängning med amplituden $\dot{\varphi}_0/\omega$, där ω är egenvinkelfrekvensen.

För att jämföra den beräknade dämpningen med den vi erhållit vid försök beräknas det logaritmiska dekrementet, δ :

$$\delta = \ln \frac{\varphi(t)}{\varphi(t+T)}$$

$$T = \frac{2\pi}{4,67} = 1,34 \text{ s}$$

$$\delta_{\text{ber}} = \ln \frac{e^{-0,03t}}{e^{-0,03(1+1,34)}} = \ln 1,04 = 0,04$$

$$\delta_{\text{mätt}} = 0,19$$

Den beräknade dämpningen är avsevärt mindre än den uppmätta. En av orsakerna är att styrrullarna i modellens hörn ligger mot rännans väggar och bromsar modellens rörelser.

Jämför man egenfrekvenser får man

beräknad enl ovan	$\omega_e = 4,67$ rad/sek
beräknad enl SSPA "SCORES"	$\omega_e = 4,66$ ---
resonans för (enl diagr 10.6)	$\omega \approx 4,4$ ---
mätt*	$\omega_e = 4,55$ ---

vilket visar en mycket god överensstämmelse mellan teori och praktik.

*Modellen exiterades med en nedåtriktad impuls och fick sedan svänga fritt, varvid rollen mättes.

3 FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING OCH MÄTUTRUSTNING

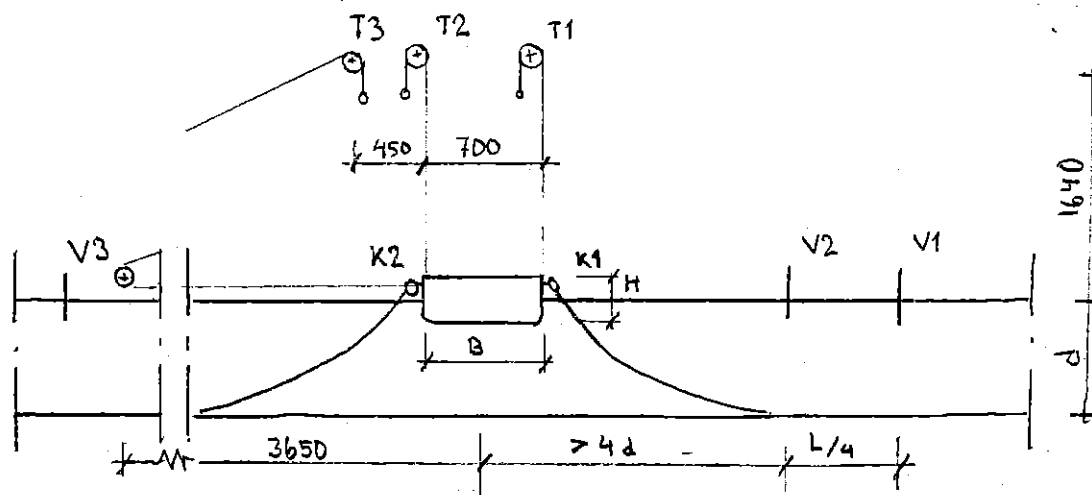
3.1 Försöksuppställning

Avsikten med försöken var att mäta förankringskrafterna på sektionens lä- och lovartsida, dess horisontella och vertikala förskjutningar, sway resp heave, samt rotationen kring längdaxeln, roll. För att kunna beräkna driftkraften krävs kännedom om:

- a) infallande våg
- b) reflekterad våg
- c) transmitterad våg.

Enligt (3) kan a och b räknas m h a två vågmätare placerade på sektionens lovartsida med ett inbördes avstånd av en fjärdedels våglängd. c kan mätas direkt med en tredje vågmätare på sektionens läside.

Denna kravlista resulterade i nedanstående uppställning, figur 3.1.



Figur 3.1. Försöksuppställningens geometri.

Här betecknar T: lägesgivare	3 st
V: vågmätare	3 st
K: kraftgivare	2 st

De sökta storheterna erhålls ur:

$$\text{sway} \quad T3 - \frac{H}{2} \sin(\text{roll}) - \frac{B}{2}[1 - \cos(\text{roll})] \quad (3.1)$$

$$\text{heave} \quad (T1 + T2)/2 \quad (3.2)$$

$$\text{roll} \quad \arcsin\left(\frac{T1 - T2}{B}\right) \quad (3.3)$$

$$\text{infallande våg} \quad (V1 + V2)/2 \quad (3.4)$$

$$\text{reflekterad} \quad |V1 - V2|/2$$

$$\text{transmitterad} \quad V3 \quad \text{direkt}$$

$$\text{krafterna} \quad K1 \text{ och } K2 \text{ direkt}$$

3.2 Behandling av mätvärden.

Mätvärdena från samtliga mätare/givare utgjordes av elektriska spänningar. Dessa förstärktes och lagrades i datorns minne. Förstärkaren gjorde det också möjligt att inför varje mätserie nollställa signalerna, vilket förenklade beräkningen av krafter och rörelser.

3.3 Kalibrering av mätutrustningen

För att kalibrera samtliga vågmätare och de två lägesgivarna T1 och T2 registrerades spänningarna på dessa kanaler i två omgångar. Mellan dessa omgångar ändrades vattenytans läge i rännan mellan två noggrant bestämda nivåer.

T3 kalibrerades analogt, dock gavs sektionen en känd sidoförskjutning i stället för vertikalförskjutning.

Kraftgivarna kalibrerades med av- och pålastning av kända vikter. Dessa operationer genomfördes ett flertal gånger tills en tillfredsställande noggrannhet uppnåtts.

3.4 Litet om noggrannheten

Vattennivån i rännan är möjlig att bestämma med en noggrannhet på $\pm 0,1$ mm med hjälp av spetsnivåmätare.

Samtliga mätare/givare som kalibreras genom att mäta utslaget för en känd ändring av vattenytans läge (samtliga våghöjder samt T1 och T2) erhåller ett kalibreringsfel, vars storlek beror av ändringen, som kan uppskattas till någon procent av utslaget.

Givare T3 som registrerade horisontalförskjutningen kalibrerades med linjal, vilken kan avläsas med en noggrannhet på $\pm 0,5$ mm.

Till detta kalibreringsfel skall man lägga de fel som ingår i de övriga storheter som utnyttjas vid beräkningen av Sway, dvs $\sin(\theta)$ och $\cos(\theta)$.

Kraftgivarna är genom sin konstruktion mindre lämpliga för mätning av de små krafter vi erhöll vid försöken, dels för att man utnyttjar en mycket begränsad del av deras mätområde och får mycket svaga signaler, dels för att signalerna överfördes via grova sladdar, vilka påverkade kraftgivarna.

4 FÖRSÖKSFÖRFARANDE

4.1 Metod

Vid försöken användes en modell av en fartygssektion. Mått enligt figur 5.1. Denna modell var nedsänkt i en vattenränna, med bredden ca 1,02 m. Genom att utsätta modellen för vågor med olika frekvens, kunde resonansfrekvensen bestämmas. Vid och omkring denna frekvens mättes förankringskrafter och rörelser. Försöken utfördes med olika masströghetsmoment hos modellen, olika förspänningar i förankringskedjordna samt olika branthet hos vågorna. Värdena på rörelser och krafter jämfördes sedan med teoretiskt beräknade värden.

4.2 Mätningarnas genomförande

Först nollställdes alla mätare/givare. Mättid, tidssteg och kanalantal matades in i datorn.

Våggeneratoren startades och mätningarna påbörjades då första vågreflexen nått V1, figur 3.1, men ej vågbladet. Stationära förhållanden bedömdes råda under försöken, dvs sektionen hade svängt in sig när de reflekterade vågorna nådde V1.

Efter mätseriens genomförande kördes programmen BALJA och PLOTT, se bilaga (9).

Resultaten kontrollerades med avseende på rimlighet och att rätt branthet erhållits.

Vid stora branheter kontrollerades även att inga trissor "gått i botten" eller snören fallit ur sina spår.

4.3 Försöksserier

Meningen var att utföra försöken i rännan med frekvenser som ligger i närheten av egenvinkelfrekvensen. För att ta reda på denna satte vi modellen i svängning (roll). Utslaget fick vi på en skrivare via en potensiometer. Frekvensen blev cirka 0,7 Hz. Vi mätte också rollvinkeln då modellen utsattes för vågor med olika frekvens. Störst utslag erhöles vid ungefär 0,8 Hz, varför vi beslöt använda oss av frekvenser mellan 0,64 och 0,9 Hz.

Försöken i rännan utfördes med två tröghetsmoment, två brantheter, två förspänningar samt vid fem frekvenser. Detta gav sammanlagt 40 försök.

Barlasten bestod av 16 st 2 mm tjocka plåtar. Detta gav en totalvikt på 116 kg. Genom att placera plåtarna på olika nivåer erhöles två olika tröghetsmoment. Se bilaga (5).

Med branthet menas våghöjd dividerat med våglängd. Våglängden bestämdes enligt bilaga (6), och våghöjden reglerades med våggeneratoren.

Ankarkedjornas dimension beräknades enligt ref [7]. Den skalenliga diametern blev 1,1 mm.

Största förspänningen hos ankarkedjorna bestämdes så att vinkeln mellan kedjan och botten alltid var noll. Den lilla förspänningen erhöles då kedjans tangeringspunkt låg 3 à 4 gånger vattendjupet ifrån modellen. Detta avstånd är normalt hos förankrade föremål.

4.4 Reproducerbarhet

Våggeneratoren startades och mätningen utfördes då förhållandena syntes stationära.

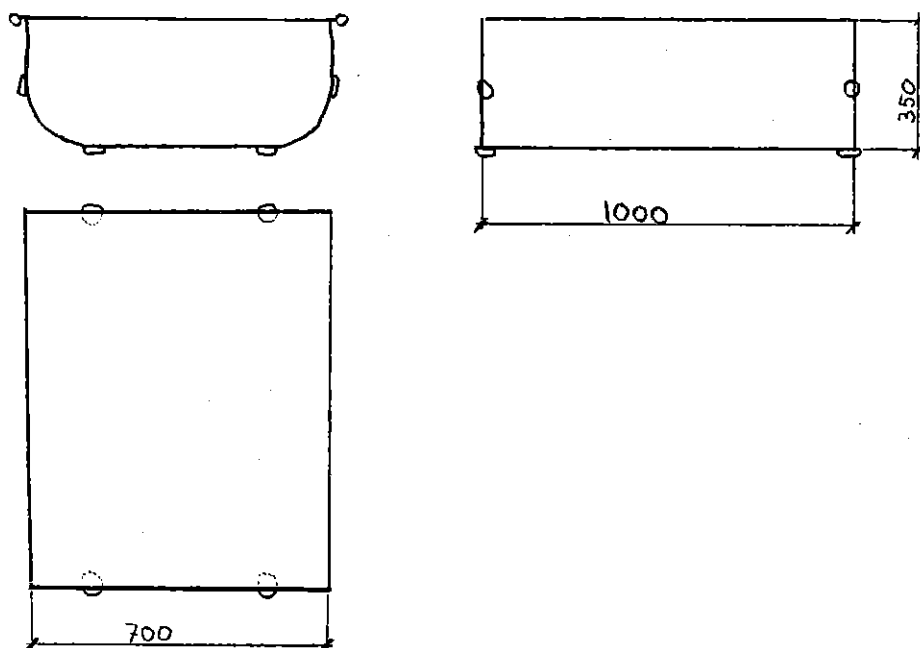
För att få en uppfattning om resultatens reproducerbarhet gjordes vid några försök i början av serien två mätningar

med samma uppställning. Då vi fann att resultaten var i det närmaste identiska i de båda körningarna beslöt vi att endast utföra en mätning.

5 FARTYGSSEKTIONEN

5.1 Sektionens form

Vid försöken användes en modell av en fartygssektion med mått enligt figur 5.1.



Figur 5.1. Fartygssektionen.

För en godtycklig sektionsform är det omöjligt att exakt beräkna den hydrodynamiska massan, added mass, eller potentialen i tvådimensionell strömning.

F M Lewis har i (17) angivit hur potentialen kan bestämmas för de spantliknande former som kan erhållas genom konform avbildning på en cirkel, för vilken dessa storheter kan bestämmas analytiskt. Vår modell beskriver en sådan s k Lewissektion, och dess form ges av nedanstående ekvationer:

$$y = \sum_{n=1}^3 a_n \cos (3 - 2n) \theta \quad (5.1)$$

$$z = \sum_{i=1}^3 a_n \sin (3 - 2n) e \quad (5.2)$$

där $a_3 = -0,25(B + D) + 0,25 \sqrt{(B+D)^2 + 8(BD - 2S/\pi)} =$
 $= 0,29$

$$a_2 = 0,5(B - D) = 0,087 \text{ m}$$

$$a_1 = 0,5(B + D) - a_3 = 0,027 \text{ m}$$

$$S = 2 \cdot B \cdot D \cdot \beta = 0,116 \text{ m}^2$$

$$\beta = 0,95$$

samt $B = \text{halva bredden} = 0,350 \text{ m}$

$$D = \text{djupgåendet} = 0,175 \text{ m}$$

$$S = \text{sektionsarean}$$

$$\beta = \text{blockkoefficienten}$$

Ekvationerna 5.1 - 5.2 finns närmare beskrivna i ref [15].

5.2 Sektionens massa och tröghetsmoment

Sektionens massa var 116 kg och dess rulltröghetsmoment kunde ändras genom att placera barlasten, som bestod av 16 st 2 mm plåtar, på olika nivåer. Två olika tröghetsmoment åstadkoms på detta sätt. Se bilaga 5.

Barlastens masströghetsmoment kan lätt beräknas men sektionens eget tröghetsmoment och tyngdpunkt bestäms enklast experimentellt. Sektionen har nämligen ganska komplicerad form med spant och andra förstävningar.

För att bestämma tyngdpunktens läge trädde vi en stång genom de bägge fästöglorna på modellens ena sida och lät modellen hänga fritt. Därefter ritade vi ut lodlinjen, från stångens upplagspunkt, på modellens kortsida. Då försöket upprepades med motstående sidas ögelpar erhöles tyngspunktens läge, i höjddled, som korsningen mellan de bägge lodlinjerna.

För att beräkna masströghetsmomentet lät vi modellen hänga kvar på stången men satte den i svängning och mätte period-

tiden. Med kännedom om egensvängningsperioden samt tyngpunktens läge är masströghetsmomentet möjligt att beräkna ur:

$$J_O = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 mgc - mc^2 \quad (5.3)$$

där T = perioden
 m = massan
 c = avståndet från upphängningspunkten till T_p .

6 FÖRSÖKSRESULTAT

6.1 Insamling av data och inledande utvärdering

De mätta storheterna enligt kapitel 5 mättes av en dator med en tiondels sekunds intervall under sex sekunder. Dessa värden lagrades i datorn. Efter varje avslutad körning beräknades roll, heave och reflektionsfaktor med hjälp av datorn. Dessa beräknade värden samt övriga uppmätta storheter skrevs ut på en lista, som låg till grund för fortsatt utvärdering. Datorprogrammets uppbyggnad och listornas utformning framgår av bilaga (9).

6.2 Utvärdering

För att åskådliggöra försöksresultaten uppritades diagram. Dessa diagram visar krafter och rörelser vid olika frekvenser. Ur de olika diagrammen kan man se vid vilka frekvenser modellen rörde sig mest. Dessa frekvenser skall sedan jämföras med de beräknade egenvinkelfrekvenserna.

6.3 Försöksresultat

6.3.1 Heave

Först ritades diagram med heave-amplituden som funktion av frekvensen. Då erhöles nästan räta linjer. Se bilaga (10.1-10.2).

Heave-amplituden påverkas märkbart av brantheten på vågorna, vilket är naturligt eftersom vågampplituden är större vid större branthet.

Därefter ritades diagram över amplitudresponsen där heave-amplituden dividerades med amplituden. Se bilaga (10.3-10.4). I de senare diagrammen kunde utläsas att största heave i förhållande till våghöjden erhöles vid $f = 0,76$ Hz med $J = 6,33 \text{ kgm}^2$, och $f = 0,70$ Hz med $J = 4,86 \text{ kgm}^2$.

Förspänningen har liten betydelse. Man kan märka en något större amplitud vid den lägre förspänningen.

Tröghetsmomentet förefaller sakna betydelse.

6.3.2 Roll

Rollen var starkt frekvensberoende. Vi erhöll en markant topp vid frekvensen 0,70 Hz vid det större ströghetsmomentet. Toppen för det mindre tröghetsmomentet kan ligga utanför vårt frekvensområde. Se bilaga (10.5-10.6).

Rollamplituden påverkades kraftigt av brantheten. Vi erhöll ungefär dubbelt så stor rollamplitud vid den större brantheten jämfört med den lägre.

Vid den lägre förspänningen blev rollamplituden klart större.

I bilaga 10.12 har tangenten för rollvinkeln dividerats med brantheten. Där kan man se att responsen för roll är praktiskt taget oberoende av brantheten, åtminstone om denna är mindre än 0,03.

6.3.3 Krafter

Krafterna i ankarkedjorna var betydligt större på vindsidan, kraft 1, än krafterna på läsidan, kraft 2.

Vid det större tröghetsmomentet erhöills störst krafter vid frekvensen 0,76 Hz med den högre förspänningen, och 0,72 Hz med den lägre förspänningen. Resultaten gällde både kraft 1 och kraft 2. Topparna vid det lägre tröghetsmomentet kan ligga vid högre frekvens än 0,90 Hz, som är vår högsta.

Krafterna blev större med ökad branthet och ökad förspänning. Se bilaga (10.7-10.10).

REFERENSER

- 1 Shore Protection Manual, US Army Coastal Engineering Research Center, Kingsman Building, Fort Belvoir Virginia 22060.
- 2 Korvin-Kroukovsky: Theory of Seakeeping, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 74 Trinity Place New York 6, N Y.
- 3 Åke Sandström: Measurement of Incident Wave Height in Composite Wave Trains, Bulletin No 89, Hydraulics Laboratory Royal Institute of Technology, Stockholm 1975.
- 4 Jan Petersson: Matematik, andra delen, Matematiska Inst., Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1977.
- 5 Lars Bergdahl: Flytande förankrade konstruktioner, rörelser och förankringskrafter, Undervisningsskrift nr 1981:09, Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1981.
- 6 Olof G Hammar: Rapporter och utredningar, Institutionen för ångteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1979 (2:a uppl).
- 7 R K Jain: A Simple Method of Calculating the Equivalent Stiffness in Mooring Cables, Applied Ocean Research 1980, Vol 2, No 3, pages 139-142.
- 8 M Lowell Collier Jr: Dynamic Similarity Scaling Laws Applied to Cables, Engineering Notes, July 1972, Vol 6, No 2, pages 110-114.
- 9 William T Thomson: Theory of Vibration with Applications, Prentice-Hall, Inc Englewood Cliffs, N J.

- 10 Ewald, Roupé, Wahlqvist: Lärobok i BASIC, Studentlitteratur, Lund 1973.
- 11 Lars Forsslund: Tekniska rapporter, Esselte studium, Nacka 1973.
- 12 Robert K Vierck: Vibration Analysis, second edition, The Pennsylvania State University, Thomas Y Crowell Company, Harper & Row, Publishers, New York, Hagerstown, San Fransisco, London.
- 13 Kompendium i undervattensteknologi, del 4, Institutionen för skeppshydromekanik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1980.
- 14 Lars Bergdahl: Beräkning av vågkrafter, undervisningskrift nr 1979:07, Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1979.
- 15 Miao Guoping: On the Computation of Ship Motions in Regular Waves, Program Description, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg 1980.
- 16 SSPA Datorprogram Nr 207 SCORES - ett program för beräkning av rörelser och dynamiska belastningar på fartyg.
- 17 F M Lewis: Inertia of water surrounding a vibrating ship, SNAME 1929.

ETABLERING AV MASSMATRISEN M

Elementen i massmatrisen finns beräknade i bilaga (5). Här medtages de som har betydelse för sway, roll och heave.

Elementen betecknas m_{ij} , där i och j utgör rad resp kolumn-index.

$$m_{22} = \text{sektionens massa}$$

$$m_{23} = 0$$

$$m_{24} = \text{massan} \times \text{hävarmen} = 0 \text{ då vi räknar kring tp}$$

$$m_{32} = 0$$

$$m_{33} = \text{sektionens massa}$$

$$m_{34} = 0$$

$$m_{42} = \text{massan} \times \text{hävarmen} = 0 \text{ då vi räknar kring tp}$$

$$m_{43} = 0$$

$$m_{44} = \text{tröghetsmomentet}$$

Beroende på våra två olika tröghetsmoment erhåller vi två massmatriser.

$$J = 6,58 \text{ kgm}^2$$

$$\begin{bmatrix} 116 & 0 & 0 \\ 0 & 116 & 0 \\ 0 & 0 & 6,58 \end{bmatrix}$$

$$J = 5,1 \text{ kgm}^2$$

$$\begin{bmatrix} 116 & 0 & 0 \\ 0 & 116 & 0 \\ 0 & 0 & 5,1 \end{bmatrix}$$

BERÄKNING AV ADDED MASS OCH DÄMPNING

Förklaringar till utskriftenaThe particulars of the ship

För att det använda programmet skall fungera måste fartyget delas in i minst tre sektioner. Därför skrevs indata för tre identiska sektioner.

LPP	fartygets längd
LWL	vattenlinjens längd
B	fartygets bredd
D	djupgående
VOLUME	deplacementets volym
AW	fartygets area i vattenlinjen
KB	deplacementets tyngpunkt
KG	fartygets tyngdpunkt mätt från botten
GML	metacentrisk höjd m a p y-axeln
GMT	metacentrisk höjd m a p x-axeln
RP	tröghetsradie för pitch
RY	tröghetsradie för yaw
RR	tröghetsradie för roll
CB	blockkoefficient

Computation conditions

Programmet kommer att beräkna värden för frekvenserna 3.6, 4.0, 4.4, 4.8, 5.2, 5.4 och 5.6 Hz, då vågorna kommer från sidan och fartyget ligger still.

Data of sections

Denna del beskriver varje sektionens geometri, tröghetsmoment och läge i förhållande till fartygets tyngdpunkt.

Conformal mapping results

Här beskrivs sektionens form med hjälp av koordinater uträknade av programmet. Dessa värden överensstämde väl med ritningen på modellen.

Added mass and damping coefficients

Värdena på added mass och dämpningen är angivna per längdenhet, och uträknade för olika vinkelfrekvenser, OMEGA, som varierar från 0.4 till 5.6 rad/s.

MZ	added mass	m	a	p	heave
MY	"	"	"	"	sway
MPHY	"	"	"	"	roll
NZ	dämpning	m	a	p	heave
NY	"	"	"	"	sway
NPHY	"	"	"	"	roll

För vinkelfrekvensen 5,6 rad/sek erhålls matriserna:

Added mass	$\begin{bmatrix} 8,09 & 0 & 2,18 \\ 0 & 205,4 & 0 \\ 2,18 & 0 & 1,91 \end{bmatrix}$
------------	---

Dämpning	$\begin{bmatrix} 161,72 & 0 & 2,78 \\ 0 & 19,64 & 0 \\ 2,78 & 0 & 0,05 \end{bmatrix}$
----------	---

Beräknar man elementen för de kopplade rörelserna heave och sway för samma frekvens men med SSPA's program SCORES får matriserna utseendet:

Added mass	$\begin{bmatrix} 27,0 & 2,58 \\ 2,19 & 1,96 \end{bmatrix}$
------------	--

Dämpning	$\begin{bmatrix} 347 & 31,2 \\ 30,1 & 2,8 \end{bmatrix}$
----------	--

 ** INPUT DATA SHEET **
 ** FOR ----- **

***** THE PARTICULARS OF THE SHIP *****

PP	LWL	B	D	VOLUME
1	1	0.7	0.175	0.116
V	KB	LCF	LCG	KG
0.7	0.09	0	0	0.175
4L	GMT	DELTE GMT		
40	0.159	0		
P	RY	RR		
10	10	<u>0.234</u>		
R	CM	DENSITY	SECTIONS	WETTED AREA
0.95	0.3	1000	3	1.3

***** COMPUTATION CONDITIONS *****

FREQUENCY 1	FREQUENCY 2	STEP
3.6	5.6	0.4
NO CORRECTION	0	
D. OF SPEEDS	1	
	0	
J. OF HEADINGS	1	
1 =	90	

***** DATA OF SECTIONS *****

SECTION= 1 -----

CLASS	POINTS	AREA
1	10	0.116

MOMENT	DIS. TO CG	SIMPSON
0.0093	-0.5	0.17

	2	
0.35	0.175	
0.348	0.131	
0.343	0.09	
0.332	0.056	
0.314	0.03	

DATA OF SECTIONS

SECTION= 2 -----

CLASS	POINTS	AREA
1	10	0.116
MOMENT	DIS. TO CG	SIMPSON
0.0093	0	0.67
Y	Z	
0.35	0.175	
0.348	0.131	
0.343	0.09	
0.332	0.056	
0.314	0.03	
0.286	0.013	
0.248	0.003	
0.224	0	
0	0	
	0	

SECTION= 3 -----

CLASS	POINTS	AREA
1	10	0.116
MOMENT	DIS. TO CG	SIMPSON
0.0093	0.5	0.17
Y	Z	
0.35	0.175	
0.348	0.131	
0.343	0.09	
0.332	0.056	
0.314	0.03	
0.286	0.013	
0.248	0.003	
0.224	0	
	0	
	0	

***** QUASI-BILGE RADIUS *****

SECTION= 1	-----	0.123
SECTION= 2	-----	0.123
SECTION= 3	-----	0.123

BASIC RUN ERROR 406 IN LINE 970
 READY
 10L
 *** ERROR IN LINE 1 NOT RECOGNISED

LLIST 970
 NOT RECOGNISED
 LIST


```

*****
*****
**
** CONFORMAL MAPPING RESULTS **
**
** FOR ----- **
**
*****
*****

```

SECTION= 1

Y1	Z1	
3.49843E-01	0.175	A 1 = 2.90612E-01
0.34867	1.37241E-01	A 2 = 3.59503E-02
3.45753E-01	1.07511E-01	A 3 = -2.60148E-02
0.3411	3.21127E-02	A 4 = -5.60109E-04
3.34358E-01	6.08035E-02	A 5 = -5.39557E-04
3.24953E-01	4.33751E-02	A 6 = 7.0969E-04
3.12531E-01	2.93372E-02	A 7 = -6.76529E-04
2.97096E-01	1.8254E-02	A 8 = 5.38213E-04
2.78699E-01	9.99848E-03	A 9 = -1.75909E-04
2.57055E-01	4.39741E-03	A 10 = 0
2.31863E-01	7.3546E-04	
2.03499E-01	-2.04628E-03	
0.17309	-4.49884E-03	
1.41666E-01	-6.174E-03	
1.09249E-01	-6.23086E-03	
7.49852E-02	-4.61122E-03	
3.83128E-02	-2.51211E-03	
3.17422E-10	-1.56704E-03	

SECTION= 2

Y1	Z1	
3.49843E-01	0.175	A 1 = 2.90612E-01
0.34867	1.37241E-01	A 2 = 3.59503E-02
3.45753E-01	1.07511E-01	A 3 = -2.60148E-02
0.3411	3.21127E-02	A 4 = -5.60109E-04
3.34358E-01	6.08035E-02	A 5 = -5.39557E-04
3.24953E-01	4.33751E-02	A 6 = 7.0969E-04
3.12531E-01	2.93372E-02	A 7 = -6.76529E-04
2.97096E-01	1.8254E-02	A 8 = 5.38213E-04
2.78699E-01	9.99848E-03	A 9 = -1.75909E-04
2.57055E-01	4.39741E-03	A 10 = 0
2.31863E-01	7.3546E-04	
2.03499E-01	-2.04628E-03	
0.17309	-4.49884E-03	
1.41666E-01	-6.174E-03	
1.09249E-01	-6.23086E-03	
7.49852E-02	-4.61122E-03	
3.83128E-02	-2.51211E-03	
3.17422E-10	-1.56704E-03	

 **
 ** RIDDED MASS AND DAMPING COEFFICIENTS **
 **
 ** FOR ----- **
 **

SECTION= 1

Added Mass

KOPPL TERM

DMEGR	HEAVE	SWAY	ROLL	SWAY/ROLL
1	691.599	69.7577	2.37569	7.24189
2	511.6	71.2506	2.39477	7.40782
3	384.412	74.4566	2.43502	7.76125
4	291.412	80.1859	2.50084	8.36778
5	226.179	87.6552	2.56949	9.05625
6	189.92	90.1727	2.51399	8.95504
7	158.787	76.2791	2.24847	6.92676
8	149.53	50.0911	1.9303	3.94446
9	152.297	27.9106	1.76774	1.99412
10	162.701	14.8549	1.74729	1.16805
11	175.909	8.62455	1.79865	1.14621
12	188.278	6.51928	1.84152	1.44751
13	198.155	6.72345	1.8855	1.83126
14	205.391	8.09567	1.91657	2.18264

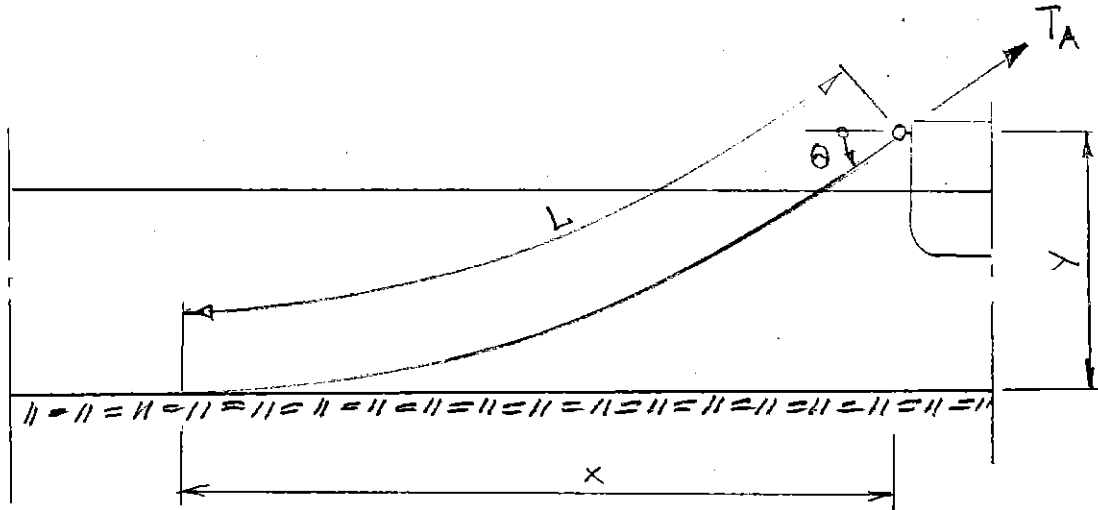
$\omega = 3,6$

Dämpfermer

KOPPL TERM

DMEGR	HEAVE	SWAY	ROLL	SWAY/ROLL
1	240.042	1.4173E-02	2.64073E-04	1.93461E-03
2	379.977	1.95324E-01	3.5837E-03	2.64572E-02
3	501.702	1.55761	2.77182E-02	2.07794E-01
4	602.187	8.64098	1.45907E-01	1.12246
5	660.437	36.0515	5.59114E-01	4.48964
6	667.365	111.245	1.52266	13.015
7	619.608	339.22	2.679	24.996
8	522.752	329.618	2.99177	31.4029
9	395.43	359.093	2.39349	29.2758
9	365.998	339.836	1.542	22.8918
10	159.423	399.989	8.40624E-01	15.8802
11	86.0836	252.489	3.90496E-01	9.92967
12	42.5653	204.948	1.52198E-01	5.58522
13	19.6354	161.722	4.78994E-02	2.78349

BERÄKNING AV KABELSTYVHETEN

Kedjan och dess geometri

Figur B3.1. Kedjans geometri.

Beteckningar

T_A	förankringskraft vid ytan
w	kedjevikt/längdenhet
T_O	förankringskraftens horisontalkomponent
T_B	förankringskraft vid botten
k_{xx}	horisontalkraftändring p g a en horisontalförskjutning
k_{xy}	horisontal/vertikal -kraftändring p g a en vertikal/horisontal -förskjutning
k_{yy}	vertikalkraftändring p g a en vertikalförskjutning
l, L'	storheter som inverkar då kedjorna inte tangerar botten
1,2	index 1 och 2 motsvarar förspänningarna 5,25N resp 1,33N

BERÄKNING AV STYVHETER

Uttrycket för en kedjas styvhet i huvudriktningarna kan enligt (7) tecknas:

$$k_{xx} = \frac{w}{T_0} \left(\frac{L'T_B - lT_A}{T_A \cdot T_B} \right) k_{xy} \quad (\text{B3.1})$$

$$k_{xy} = T_0 \left[w \left(\frac{T_B L' - T_A l}{T_A - T_B} \right) \left\{ \frac{x}{T_0} - \left(\frac{T_B L' - T_A l}{T_A \cdot T_B} \right) \right\} - \frac{T_0^2 Y}{T_A \cdot T_B} \right]^{-1} \quad (\text{B3.2})$$

$$k_{yy} = \frac{w}{T_0} \left(\frac{T_B T_A}{T_A + T_B} \right) \left[\frac{x}{T_0} - \left(\frac{L'T_B - lT_A}{T_A T_B} \right) \right] k_{xy} \quad (\text{B3.3})$$

där

$T_{A1} = 5,25 \text{ N}$	$T_{A2} = 1,33 \text{ N}$
$w = 0,203 \text{ N/m}$	
$x_1 = 6,47 \text{ m}$	$x_2 = 3,20 \text{ m}$
$Y = 0,84 \text{ m}$	
$L_1 = 6,56 \text{ m}$	$L_2 = 3,36 \text{ m}$
$\theta_1 = 13^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$
$T_{01} = T_{A1} \cos 13^\circ = 5,12 \text{ N}$	$T_{02} = 1,22 \text{ N}$
$T_{B1} = T_{A1} - wY = 5,08 \text{ N}$	$T_{B2} = 1,13 \text{ N}$
$l = 0$	
$L = L'$	

Fall 1, förspänningen lika med 5,25 N

$$k_{xx} = \frac{0,203}{5,12} \left(\frac{6,56 \cdot 5,08}{5,25 \cdot 5,08} \right) (-1,34) = -0,066 = 0,07 \text{ [N/m]}$$

$$k_{xy} = 5,12 \left[0,203 \left(\frac{5,08 \cdot 6,56}{5,25 - 5,08} \right) \left\{ \frac{6,47}{5,12} - \left(\frac{5,08 \cdot 6,56}{6,25 \cdot 5,08} \right) \right\} - \frac{5,12^2 \cdot 0,84}{5,25 \cdot 5,08} \right]^{-1} = -1,34 \text{ [N/m]}$$

$$k_{yy} = \frac{0,203}{5,12} \left(\frac{5,08 \cdot 5,25}{0,17} \right) \left[\frac{6,47}{5,12} - \left(\frac{6,56 \cdot 5,08}{5,25 \cdot 5,08} \right) \right] \cdot$$

$$\cdot (-1,34) = -0,12 \text{ [N/m]}$$

Fall 2, förspänningskraft 1,33 N

$$k_{xx} = \frac{0,203}{1,22} \left(\frac{3,36 \cdot 1,13}{1,3 \cdot 1,13} \right) 0,505 = -0,217 \text{ [N/m]}$$

$$k_{xy} = 1,22 \left[0,203 \left(\frac{1,28 \cdot 3,36}{1,3 \cdot 1,13} \right) \left(\frac{3,20}{1,22} - \left(\frac{1,28 \cdot 3,36}{1,3 \cdot 1,13} \right) \right) \right] -$$

$$- \frac{1,22^2 \cdot 0,84}{1,3 \cdot 1,13} \cdot -1 = 0,505$$

$$k_{yy} = \frac{0,203}{1,22} \left(\frac{3,36 \cdot 1,13}{1,3 \cdot 1,13} \right) \left[\frac{3,20}{1,22} - \frac{3,36 \cdot 1,13}{1,3 \cdot 1,13} \right] (-0,505) =$$

$$= 0,072$$

ETABLERING AV STYVHETSMATRISEN C

Här medtages endast de element som medverkar vid beräkning av rörelserna sway, roll och heave. Elementen betecknas C_{ij} , där i och j är rad respektive kolumnindex.

Vi använde oss av fyra kedjor. Matriserna får följande utseende:

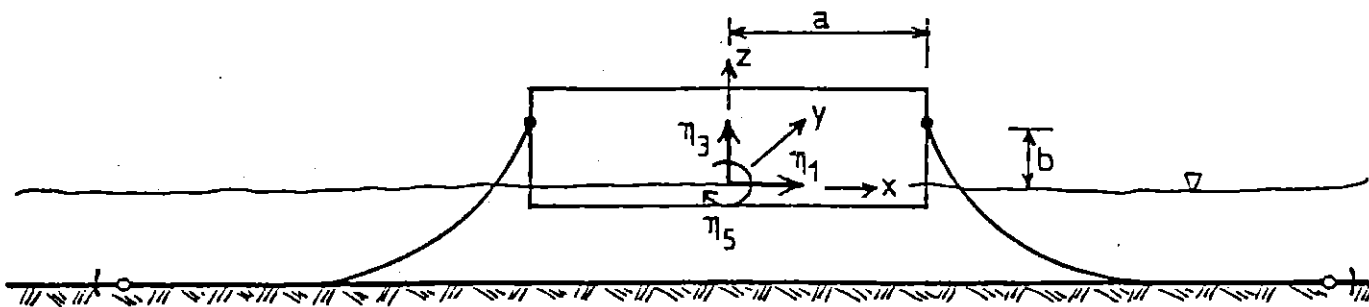
$$\begin{aligned}
 C_{22} &= -4k_{xx} & C_{23} &= 0 & C_{24} &= -4(k_{xx} \cdot b + k_{xy} \cdot a) \\
 C_{32} &= 0 & C_{33} &= -4(k_{yy} - \frac{ggBL}{4}) & C_{34} &= 0 \\
 C_{42} &= -4(k_{xx} \cdot b + k_{xy} \cdot a) & C_{43} &= 0 & C_{44} &= -4[k_{xx} \cdot b^2 + a \cdot b(k_{xy} + k_{yx}) + k_{yy} \cdot a^2] - h_m \cdot g \cdot m
 \end{aligned}$$

Kättingstyvhetera k_{xx} , k_{xy} samt k_{yy} beror av förspänningens storlek, vilket i vårt fall ger två styvhetsmatriser. Insatta värden enligt bilaga (3.2) h_m redovisas i bilaga (5).

$a = 0,39 \text{ m}$	försp = 5,25 N	försp = 1,33 N
$b = 0,12 \text{ m}$	$k_{xx} = -0,07 \text{ N/m}$	$k_{xx} = -0,22 \text{ N/m}$
$L = 1,00 \text{ m}$	$k_{xy} = -1,34 \text{ N/m}$	$k_{xy} = -0,51 \text{ N/m}$
$B = 0,70 \text{ m}$	$k_{yy} = -0,12 \text{ N/m}$	$k_{yy} = -0,07 \text{ N/m}$

$$\text{Förspänning } 5,25 \text{ N} \quad \begin{bmatrix} 0,28 \text{ N/m} & 0 & -2,12 \text{ N} \\ 0 & 6867 \text{ N/m} & 0 \\ -2,12 \text{ N} & 0 & 181,4 \text{ Nm} \end{bmatrix}$$

$$\text{Förspänning } 1,33 \text{ N} \quad \begin{bmatrix} 0,90 \text{ N} & 0 & -0,93 \text{ N} \\ 0 & 6867 \text{ N/m} & 0 \\ -0,93 \text{ N} & 0 & 180,4 \text{ Nm} \end{bmatrix}$$



Figur B4. Definition av storheterna a och b i uttrycken på föregående sida.

BERÄKNING AV METACENTRISK HÖJD, MASSTRÖGHETSMOMENT SAMT
TYNGDPUNKTENS LÄGE

1. Beräkning av tyngdpunktens läge. Jämnt fördelad last av plåtar.

16 plåtar à 4,56 kg	73,0 kg
sektionens egenvikt	31,3 kg
trimvikter	<u>11,7 kg</u>
deplacement	116,0 kg

Figur B5. Koordinatsystem vid beräkning av tyngdpunktens läge.

$$\begin{aligned}
 X \quad \text{för plåtarna: } 73 \times X_{TP} &= (0,01 + 0,05 + 0,08 + 0,14 + \\
 &\quad + 0,2 + 0,26 + 0,3 + 0,33) \times \\
 &\quad \times 2 \times 4,56 \\
 X_{TP} &= 0,171 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Trimvikterna läggs på översta plåtlagret, således

$$X = 0,33 \text{ m}$$

Sektionens tyngdpunkt bestämdes experimentellt

$$X = 0,127 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 116 X_{TP} &= 31,3 \times 0,127 + 73,0 \times 0,171 + 11,7 \times 0,33 \\
 X_{TP} &= \underline{\underline{0,175 \text{ m}}}
 \end{aligned}$$

2. Beräkning av metacentrisk höjd. Jämnt fördelad last av plåtar.

$$h_m = \frac{ggI_0}{P} - e$$

$$e \approx 0,175 - \frac{0,175}{2} = 87,5 \cdot 10^{-3} \text{ m (inverkan av hörnen försummade)}$$

$$I_0 = \frac{1 \cdot 0,7^3}{12} = 28,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$h_m = \frac{10^3 \cdot 28,6 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81}{116 \cdot 9,81} - 87,5 \cdot 10^{-3} = 0,159 \text{ m}$$

3. Beräkning av masströghetsmomentet J , jämnt fördelad last av plåtar.

$$\text{Sektionens } J_0 = 2,5$$

$$\text{plåtarnas } J_0 = n \frac{m}{12} = 16 \cdot \frac{4,6}{12} \cdot 0,65^2 = 2,6 \text{ kgm}^2$$

Övriga J_0 (dvs ballasten) försummas.

$$\begin{aligned} J_{TP} = J_0 + m_i c_i^2 = & 2,5 + 2,6 + 31,3(0,127 - 0,175)^2 + \\ & + 11,7(0,330 - 0,175)^2 + 9,12 [(0,175 - 0,01)^2 + \\ & + (0,175 - 0,05)^2] + 9,12 [0,175 - 0,08)^2 + (0,175 - \\ & - 0,14)^2 + (0,175 - 0,2)^2 + (0,175 - 0,26)^2] + \\ & + 9,12 (0,175 - 0,33)^2 \end{aligned}$$

$$J_{TP} = 6,58 \text{ kgm}^2$$

4. Då plåtarna koncentreras till tyngdpunktens läge kan plåtarnas tillskott $m_i c_i^2$ försummas, så för lastfall 2 erhålls $J_{TP} = 5,1 \text{ kgm}^2$.

BERÄKNING AV VÅGLÄNGDER

Våglängden L räknades ut enligt ref [1]

$$L = \frac{gT^2}{2} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right); \quad d = \text{vattendjup} \quad (\text{B5.1})$$

Vid de olika frekvenserna blev våglängderna följande:

$f = 0,64$	[Hz]	$L = 3,36$	[m]
$f = 0,699$	"	$L = 2,94$	"
$f = 0,758$	"	$L = 2,58$	"
$f = 0,833$	"	$L = 2,19$	"
$f = 0,9$	"	$L = 1,9$	"

BERÄKNING AV SKALFAKTORN FÖR KEDJEDIAMETERN

I de dimensionslösa rörelseekvationerna för en förankringskabel förekommer de bägge dimensionslösa parametrarna Froudes och Reynolds tal. Då oscillerande krafter, orsakade av det förtöjda föremålets rörelser, angriper kedjan i ena änden uppträder även Strouhals tal.

För att "skala ner" en kedja korrekt, i dynamiskt hänseende, krävs att modellen överensstämmer med prototypen m a p samtliga dessa parametrar.

I ref [8] anges en metod att åstadkomma detta, utgående ifrån modellagarna och kedjans två karakteristiska längder, längden och diametern. Där finns även ekv (B7.1-2) utförligt härledda. Modellen antas vara i skalan 1:70.

$$Re = 10^5 \rightarrow C_f = 1,2 \quad \lambda = \frac{1}{70} = 0,014$$

$$\frac{C_{fm}}{C_{fp}} = \frac{\beta}{\lambda} \quad (B7.1)$$

$$\frac{Re_m}{Re_p} = \beta \sqrt{\lambda} \quad (B7.2)$$

Antag $\beta = 0,015$

$$C_{fm} = 1,2 \cdot \frac{0,015}{0,014} = 1,3$$

$$R_m = 1 \cdot 10^5 \cdot 0,015 \cdot 0,014 = 177 \rightarrow C_{fm} = 1,3 \therefore \text{OK}$$

Diametern blir då $0,015 \cdot 3 \cdot 0,025 = 1,1 \cdot 10^{-3}$ m

C_f = motståndskoefficient

Re = Reynolds tal, brukar antagas vara $\approx 10^5$ för en normal kedja

β = skalfaktor för diametern

λ = längdskala

m = modell

p = prototyp

BERÄKNING AV DRIFTKRAFTEN

Tröghetsmoment: 5,1 kgm²Frekvens: 0,758 Hz

försp [N]	brant- het	infall- ande [mm]	reflekte- rande [mm]	transmit- terad [mm]	F _d ber [N]	F _d mätt [N]
5,25	0,013	14,60	1,12	11,9	0,18	0,28
5,25	0,029	29,95	2,28	28,0	0,13	1,06
1,3	0,029	31,40	1,04	28,5	0,43	-0,09
1,3	0,013	12,15	1,39	12,5	-0,07	0,05

Tröghetsmoment: 6,33Frekvens: 0,758 Hz

5,25	0,013	18	4,5	12	0,49	0,22
5,25	0,029	33	6,6	22	1,59	1,36
1,3	0,029	36	11	17	2,77	1,06
1,3	0,013	20	8	10	0,89	0,8

Frekvens: 0,833

1,3	0,013	12,8	6,2	6,0	0,4	0,5
1,3	0,029	27,6	14,4	13,2	1,95	2,6
5,25	0,029	32,9	6,6	9,6	2,53	2,5
5,25	0,013	14,4	6,3	8,0	0,45	0,5

DATORPROGRAMMENS UPPBYGGNAD, SAMT UTSKRIFTER

Syftet med datorprogrammen var att omvandla de mätta spänningarna till krafter och rörelser som uppstod vid försöken. Då mätningarna omfattade åtta kanaler under sex sekunder med en cykeltid på 0,1 sek erhöles en avsevärd mängd mätvärden. Programmet utökades dels till att omfatta lagring av dessa data på ett sådant sätt att manuell efterbehandling möjliggjordes, dels utföra enklare aritmetiska operationer med mätvärdena där detta krävdes för att erhålla en sökt storhet. Heave beräknades t ex som skillnaden av två lägesändringar.

Dessa krav resulterade i BALJA, som beräknar och skriver ut värden på heave och roll för varje mätcykel. Programmet skriver också ut mätvärdena från de tre vågmätarna samt de två kraftgivarna för varje cykel. Avslutningsvis erhålles en utskrift av resp kraftgivares maxvärden, resp vågmätares dubbla maxvärden, samt max heave och sway. Allra sist, som grädde på moset, beräknades reflektionsfaktorn K_r .

En önskan att snabbt kunna kontrollera den genomförda mätningens relevans resulterade i ytterligare ett program, PLOTT, vilket plottar antingen värdena från de tre vågmätarna, eller heave samt de två kraftgivarna.

BALJA och PLOTT finns listade på följande sidor. Ett exempel på utskrifter finns också medtaget.

```

100 OPEN "DK1:TIDSSTEG" ON #44 FOR INPUT
110 FIND #44,1
120 GET #44,00
121 ONERROR 130
130 PRINT,CHR$(12)
140 PRINT "NU KOMMER ETT ANTAL FRAGOR, S
VARA JA ELLER NEJ."
150 OPEN "DK0:CALFACT" ON #60 FOR UPDATE
160 H1=H2=0
170 HAE=KA1=KB2=SAW=0
180 FIND #60,1
190 PRINT #PRNTR,"DAT.....FO
RS NR....."
200 PRINT #PRNTR,"TIDSSTEG=";00;
201 PRINT #PRNTR,"[ms]"
210 PRINT #PRNTR
220 INPUT "HAR DU NYA KALIBRERINGSFAKTOR
ER";A#
230 IF A#<"JA" GOTO 330
240 INPUT "KALIBRERINGSFAKT. 1 VAEGHOJD.
(mm/V)";C1
250 INPUT "DITO NR 2";C2
260 INPUT "DITO NR 3";C3
270 INPUT "KALIBRERINGSFAKTOR 1 KRAFT (N
/V)";C4
280 INPUT "DITO NR 2";C5
290 INPUT "KALIBRERINGSFAKT. FOR LAEGE (
mm/V)";C6
300 INPUT "DITO NR 2";C7
310 INPUT "DITO NR 3";C8
320 PUT #60,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8
330 ONERROR 1000
340 GET #60,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8
350 ONERROR 1000
360 INPUT "VILL DU LISTA FAKTORERNA PA S
KRIVARON";A#
370 IF A#<"JA" GOTO 470
380 PRINT #PRNTR,"KALIBRERINGSFAKTORER":
PRINT #PRNTR
390 PRINT #PRNTR,"VAEGHOJD 1",C1
400 PRINT #PRNTR,"VAEGHOJD 2",C2
410 PRINT #PRNTR,"VAEGHOJD 3",C3
420 PRINT #PRNTR,"KRAFT 1 ",C4
430 PRINT #PRNTR,"KRAFT 2 ",C5
440 PRINT #PRNTR,"LAEGE 1 ",C6
450 PRINT #PRNTR,"LAEGE 2 ",C7
460 PRINT #PRNTR,"LAEGE 3 ",C8
470 PRINT CHR$(7)
480 INPUT "ANTAL MAETNINGAR DU VILL NO";
A
490 PRINT #PRNTR
500 PRINT #PRNTR,"LAEVODER I [mm], KRAFT
I [N]*E-1"
510 PRINT #PRNTR
520 PRINT #PRNTR," V1 V2 V3 HE
SA RO K1 K2"
530 OPEN "DK0:MAETDATA" ON #69 FOR INPUT
540 FOR J=1 TO A
550 FIND #69,J
560 GET #69,T3,V3,V2,V1,K1,K2,T2,T1
570 ONERROR 580
580 T3=T3*08
590 V3=V3*03
600 V2=V2*02
610 IF ABS(V2)<ABS(H2/2) THEN 630
620 H2=2*ABS(V2)
630 V1=V1*01
640 IF ABS(V1)<ABS(H1/2) THEN 660
650 H1=2*ABS(V1)
660 K1=K1*04+3
670 K2=K2*05+3
680 T3=T3*07
690 T1=T1*05
700 RO=(T1-T2)/7
705 RO=ATN(RO/100)
710 HE=(T1+T2)/2
720 SW=T3-350*(1-COS(RO))-175*SIN(RO)
730 PRINTUSING #PRNTR,740;V1,V2,V3,HE,SW
,RO,(K1-3)*10,(K2-3)*10
740 !### #
750 !### ##
760 IF ABS(HE)>ABS(HE) THEN 900
770 IF K1>(KA1+3) THEN 940
780 IF K2>(KB2+3) THEN 900
790 IF ABS(C4)>ABS(SA) THEN 900
800 NEXT I
810 PRINT #PRNTR
820 PRINT #PRNTR," MHEA";" MKR 1";" MKR
2";" MHEW";" V1";" V2"
830 PRINTUSING #PRNTR,750;HAE,KA1,KB2,SA
W,H1,H2
840 PRINT #PRNTR
850 IF H2=H1 THEN 880
860 KR=1-2*H2/(H1+H2)
870 GOTO 890
880 KR=1-2*H1/(H1+H2)
890 PRINTUSING #PRNTR,"Kr=###.###+";KR
900 INPUT "PLOTT ELLER INPUT";B#
910 GOTO 1010
920 HAE=HE
930 GOTO 770
940 KA1=K1-3
950 GOTO 780
960 KB=K2-3
970 GOTO 790
980 SAW=SW
990 GOTO 850
1000 IF CH=65 GOTO 360
1010 IF CH="PLOTT" GOTO 1050
1020 CLOSE #60
1030 CLOSE #69
1040 CHAIN "INPUT"
1050 CHAIN "PLOTT"

```

LAENDER I [mm], KRAFT I [INDE-1]

V1	V2	V3	HE	SW	RO	K1	K2
-41.0	-14.6	-40.7	-51.3	-5.4	0.3	6.4	1.0
-32.7	-31.9	-45.6	-44.7	-4.3	7.4	11.3	3.0
-17.6	-45.6	-42.7	-29.9	-1.9	13.6	15.3	3.1
2.2	-48.7	-32.5	-11.3	3.3	17.4	12.9	0.0
22.1	-42.9	-16.6	9.0	6.8	<u>18.5</u>	1.7	-5.0
37.2	-35.1	2.9	28.6	7.4	16.2	-11.7	-9.9
44.6	-25.7	21.4	43.5	7.0	11.5	-21.6	3.5
43.3	-11.3	35.8	51.8	6.6	5.2	-23.7	-11.3
34.1	5.4	42.0	52.5	9.1	-2.0	-14.3	-6.0
20.1	23.3	39.6	46.3	13.9	-8.9	3.1	1.3
3.7	4.4	31.4	33.1	19.2	-14.8	21.3	12.1
-13.2	46.2	20.9	16.2	21.7	-18.1	32.1	19.9
-27.6	42.1	7.9	-2.7	21.4	<u>-18.7</u>	32.7	19.2
-37.0	29.6	-6.4	-21.0	15.9	-16.3	24.8	11.5
-42.5	14.1	-20.5	-36.5	4.5	-11.2	15.7	3.6
-45.5	-5.6	-33.8	-46.3	-6.1	-4.1	13.4	-0.9
-41.7	-23.2	-42.4	-47.9	-7.9	3.6	17.8	1.0
-20.6	-36.3	-44.8	-39.8	-5.8	10.6	25.7	3.8
-13.7	-43.2	-39.0	-25.1	-3.2	16.1	37.5	3.7
4.6	-44.4	-26.6	-6.9	3.9	<u>18.9</u>	19.6	-1.0
24.6	-39.8	-9.1	12.5	5.8	18.7	1.8	-6.4
41.8	-31.1	9.5	33.5	6.6	15.4	-14.8	-11.0
50.4	-19.2	26.2	43.3	6.2	9.7	-25.7	-11.5
48.5	-3.4	36.3	49.4	7.7	2.5	-26.1	-8.9
37.5	14.0	39.1	48.4	12.8	-5.0	-15.1	-2.3
19.9	32.1	35.2	48.4	18.6	-12.1	3.7	7.8
0.1	45.0	27.0	27.2	24.8	-17.3	22.0	19.0
-16.6	45.6	15.2	10.5	26.2	<u>-19.8</u>	31.7	23.3
-27.9	35.1	2.2	-7.3	23.8	-19.3	29.7	17.6
-37.4	19.0	-11.9	-23.9	15.1	-15.8	21.1	7.2
-44.1	3.0	-25.7	-36.9	0.6	-9.6	13.8	-0.3
-43.7	-14.7	-38.3	-44.3	-7.6	-1.8	15.3	-1.9
-37.1	-30.3	-45.5	-43.2	-8.6	6.3	24.3	1.8
-24.8	-41.9	-45.6	-33.1	-6.2	13.4	32.8	3.6
-7.5	-45.7	-38.5	-18.1	-2.2	18.4	35.2	1.9
13.3	-42.1	-23.7	-0.0	4.0	<u>20.3</u>	23.7	-3.6
31.9	-34.1	-5.2	18.2	4.7	19.2	3.6	-9.4
42.8	-23.3	15.3	34.6	4.4	14.7	-13.4	-13.5
45.1	-7.8	31.8	45.2	4.0	8.1	-23.6	-13.6
39.2	11.5	40.9	49.2	5.8	0.2	-22.0	-9.5
27.7	31.2	41.2	46.2	12.2	-7.6	-8.5	-1.9
12.5	46.7	34.9	36.6	19.0	-14.7	12.9	8.9
-5.1	53.4	24.1	22.4	24.2	-19.4	31.5	19.2
-21.0	46.5	10.7	5.2	24.8	<u>-21.1</u>	38.6	21.2
-32.3	29.0	-3.1	-12.9	20.2	-19.5	33.8	12.4

MHEB MKR 1 MKR 2 NSURY V1 V2
 61.53 8 42 4.11 32.46106 51106 71

Kr= 0 001+

RUBRIKERNAS BETYDELSE FRAMGAR AV FIG 3.1.

PLOTT

```

100 HA=2*HA
110 PRINT CHR$(12)
120 INPUT "VILL DU PLOTTA VAGOR ELLER KR
AFTER, SVARA V ELLER K";B$
130 INPUT "ANTAL MAETN. DU VILL PLOTTA";
N
140 INPUT "VILL DU VALJA EGNA SKALFAKT.
RETURN=NEJ";C$
150 IF C$<>"JA" THEN 240
160 IF B$="V" THEN 200
170 INPUT "SKALFAKTOR KRAFT, RETURN=1";F
180 IF F=0 THEN 200
190 F=1
200 INPUT "SKALFAKTOR VAGOR OCH HERVE, R
ETURN=1";S
210 IF S=0 THEN 300
220 S=1
230 GOTO 300
240 IF ABS(KB)>ABS(KA) THEN 270
250 F=INT(200/KA)/100
260 GOTO 280
270 F=INT(200/KB)/100
280 F=ABS(F)
290 IF B$="K" THEN 370
300 IF H1>H2 THEN 340
310 IF HAD>H2 THEN 370
320 S=INT(4000/H2)/100
330 GOTO 300
340 IF HAD>H1 THEN 370
350 S=INT(4000/H1)/100
360 GOTO 300
370 S=INT(4000/HA)/100
380 PRINT #PRNTR,"SKALFAKTOR VAGOR, HERV
E="S
390 IF B$="V" THEN 430
400 PRINT #PRNTR,"SKALFAKTOR KRAFT="F
410 PRINTUSING #PRNTR,890;-15/F,-10/F,-5
/F,0.5/F,10/F,15/F;
420 PRINT #PRNTR,"%0,1N"
430 PRINTUSING #PRNTR,890;-15/S,-10/S,-5
/S,0.5/S,10/S,15/S;
440 PRINT #PRNTR," [mm]"
450 PRINT #PRNTR,"      !-----!-----!-----!-----!
=1,....'-----!"
460 FIND #00,1
470 FOR I=1 TO N
480 GET #00,T3,V3,V3,V1,K1,K2,T2,T1
490 IF B$="V" THEN 550
500 A=(S*(T1)*D0-(T2*D0^2))/2
510 B=INT(D0*(D0+16*(F))/20
520 C=INT(K2*(D0+5*10*(F))/20
540 GOTO 500
550 A=INT(V1*(D0*(F))/20
560 B=INT(V2*(D0*(F))/20
570 C=INT(V3*(D0*(F))/20
580 IF A=C THEN 650
590 IF A=0 THEN 700
600 IF B=0 THEN 840
610 IF C=0 THEN 820
620 IF D=0 THEN 710
630 IF D=0 THEN 690
640 IF D=0 THEN 690
650 PRINT #PRNTR,TAB(D);"*";TAB(C);"4";T
AB(A);"#
660 GOTO 970

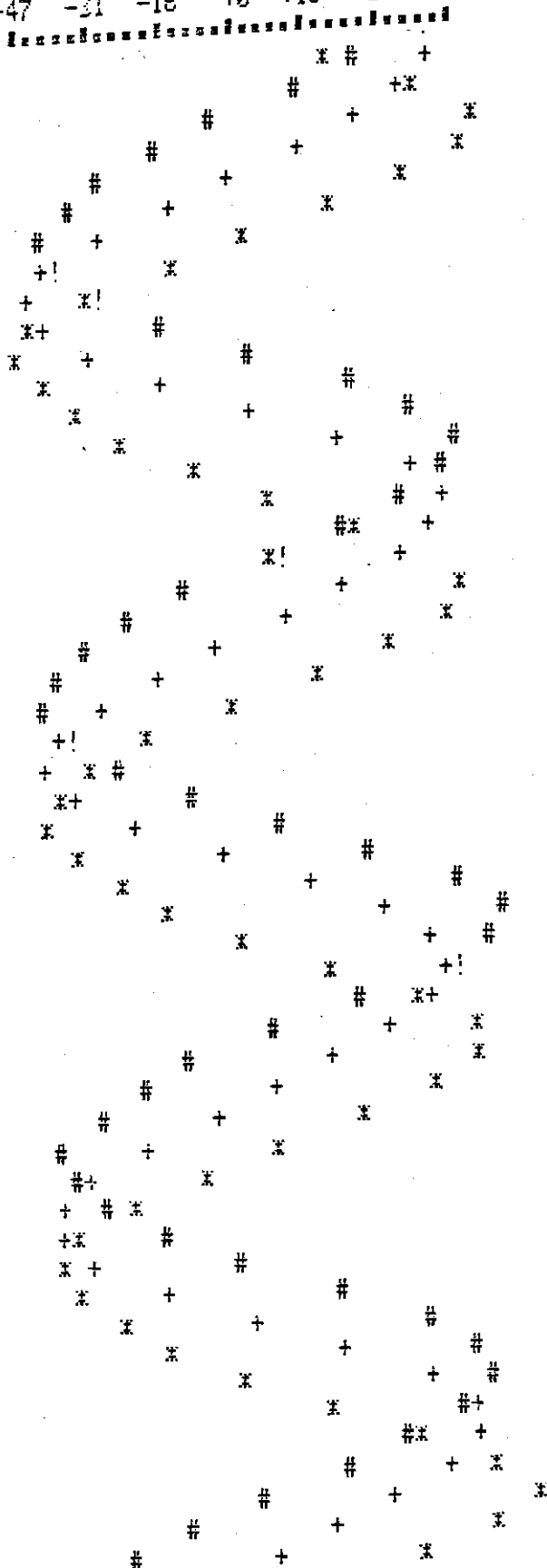
```

```

670 PRINT #PRNTR,TAB(B);"*";TAB(A);"#";T
AB(C);"+
680 GOTO 970
690 PRINT #PRNTR,TAB(C);"+";TAB(B);"*";T
AB(A);"#
700 GOTO 970
710 IF D=0 THEN 770
720 IF D=0 THEN 750
730 PRINT #PRNTR,TAB(A);"#";TAB(C);"+";T
AB(B);"*
740 GOTO 970
750 PRINT #PRNTR,TAB(C);"4";TAB(A);"#";T
AB(B);"*
760 GOTO 970
770 PRINT #PRNTR,TAB(A);"#";TAB(B);"*";T
AB(C);"+
780 GOTO 970
790 IF D=0 THEN 820
800 PRINT #PRNTR,TAB(C);"+";TAB(A);"*!"
810 GOTO 970
820 PRINT #PRNTR,TAB(A);"*!";TAB(C);"+
830 GOTO 970
840 IF B<0 THEN 870
850 PRINT #PRNTR,TAB(C);"*!";TAB(D);"*
860 GOTO 970
870 PRINT #PRNTR,TAB(B);"*";TAB(C);"4!"
880 GOTO 970
890 !+##.#
900 IF A<0 THEN 930
910 PRINT #PRNTR,TAB(B);"*!";TAB(A);"#
920 GOTO 970
930 PRINT #PRNTR,TAB(A);"#";TAB(B);"*!"
940 GOTO 970
950 PRINT #PRNTR,TAB(A);"*!!!"
960 REM
970 NEXT I
980 IF B$="K" THEN 1010
990 PRINT #PRNTR,"V1=#,V2=#,V3=#"
1000 GOTO 1020
1010 PRINT #PRNTR,"HE=#,K1=#,K2=#"
1020 PRINT #PRNTR
1030 PRINT #PRNTR,"DWT.....F
ORS NR....."
1035 PRINT #PRNTR,"TIDOSTEG=";00;
1036 PRINT #PRNTR,"[ms]"
1040 INPUT "VILL DU PLOTTA MERA SVARA JA
ELLER NEJ";D$
1050 IF D$="NEJ" THEN 1070
1060 GOTO 110
1070 INPUT "DALJA ELLER INPUT, SVARA E
LLER I";B$
1080 CLOSE #00
1090 CLOSE #00
1095 CLOSE #44
1100 IF B$="B" THEN 1120
1110 CHAIN "INPUT"
1120 CHAIN "DALJA"
1130 !+###

```


TIDSSTEG= 100 [ms]
 SKALFAKTOR VÄGR, HEAVE= .32
 -47 -31 -16 +0 +16 +31 +47 [mm]

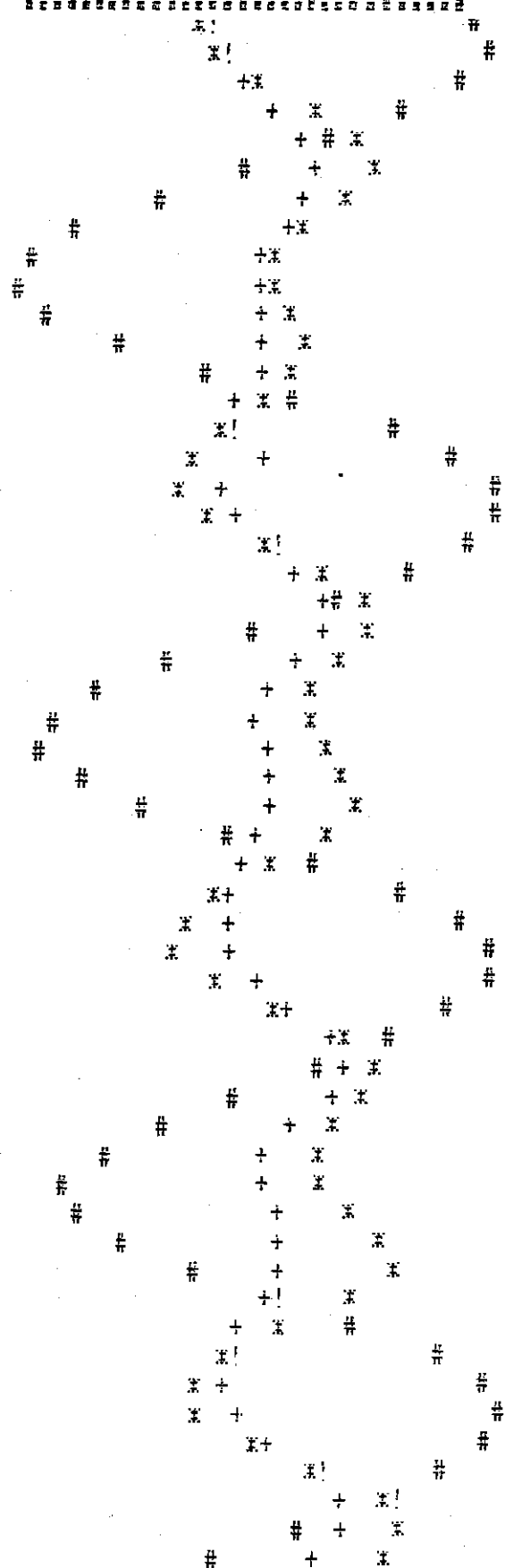


V1=#, V2=x, V3=+

DAT. 07.31 FÖRS. NR. 9
 TIDSSTEG= 100 [ms]

SKALFAKTOR VÄGR, HEAVE= .32 9:5

SKALFAKTOR KRAFT= .23
 -65 -43 -22 +0 +22 +43 +65x0, 1N
 -47 -31 -16 +0 +16 +31 +47 [mm]



HE=#, K1=x, K2=+

HÄR ÄR V1, V2 SAMT V3 VÄRDEN FRÅN DE TRE VÄGMÄTARNA ENL FIG 3.1.
 HE ÄR BERÄKNAD HEAVE ENL-EKV. (3.2), SAMT K1 OCH K2 KRAFTER ENL. FIG 3.1.

FÖRSP

BRANTHET

5,25

0,029

0,013

1,30

0,029

0,013

Δ HEAVE (mm)

60

40

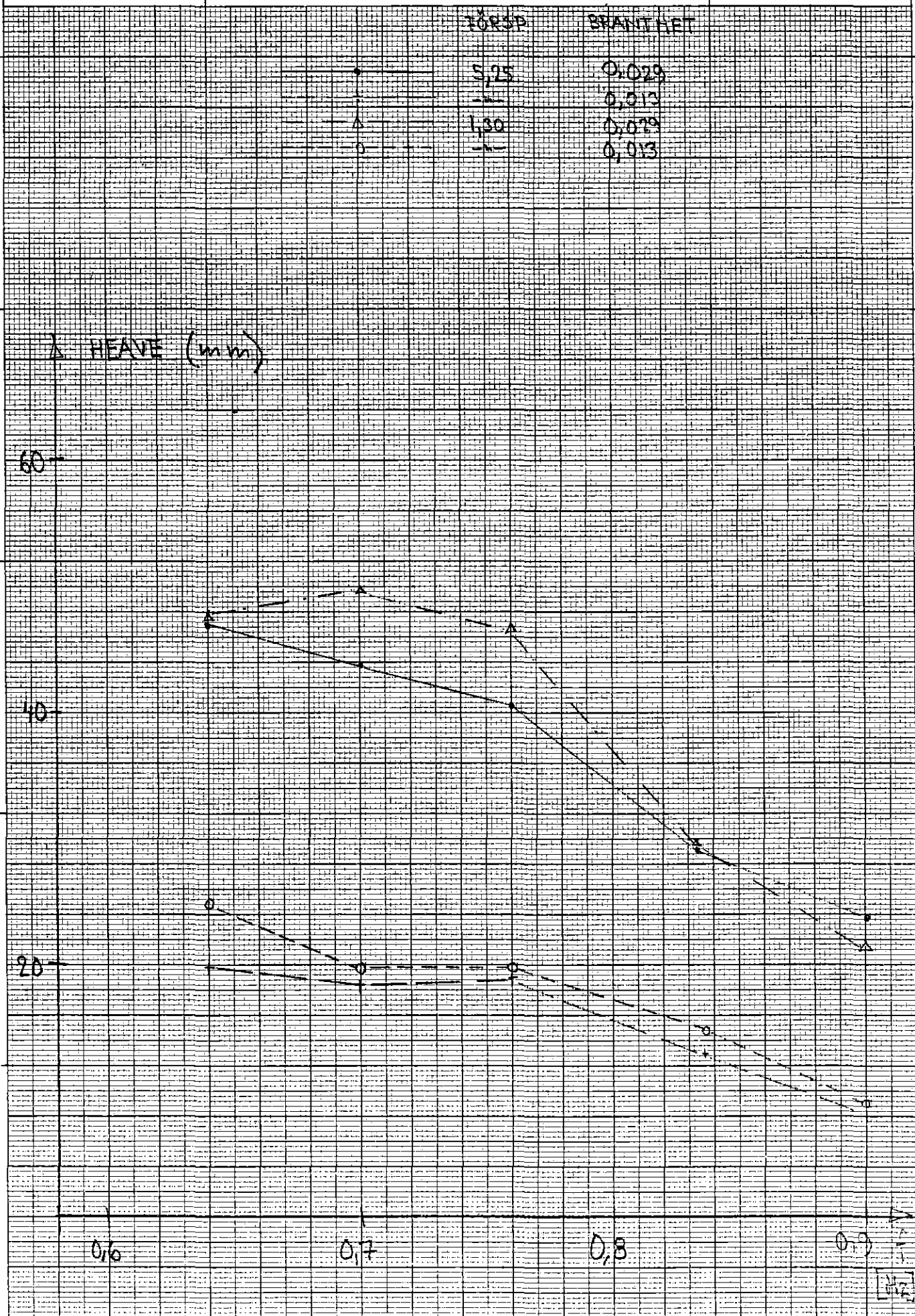
20

0,6

0,7

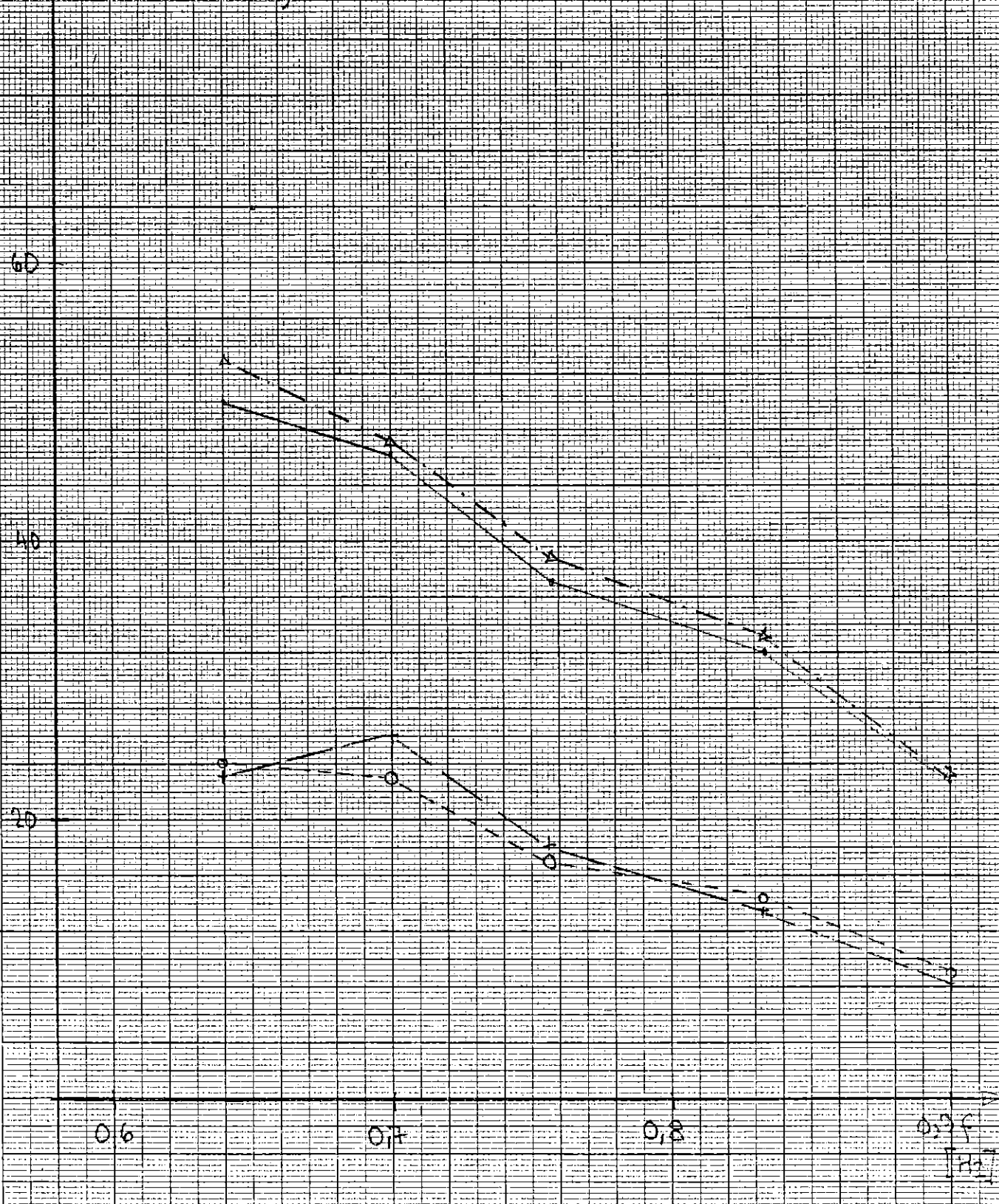
0,8

0,9



FÖRSP.	BRANTHET
5,25	0,029
—	0,013
1,30	0,029
—	0,013

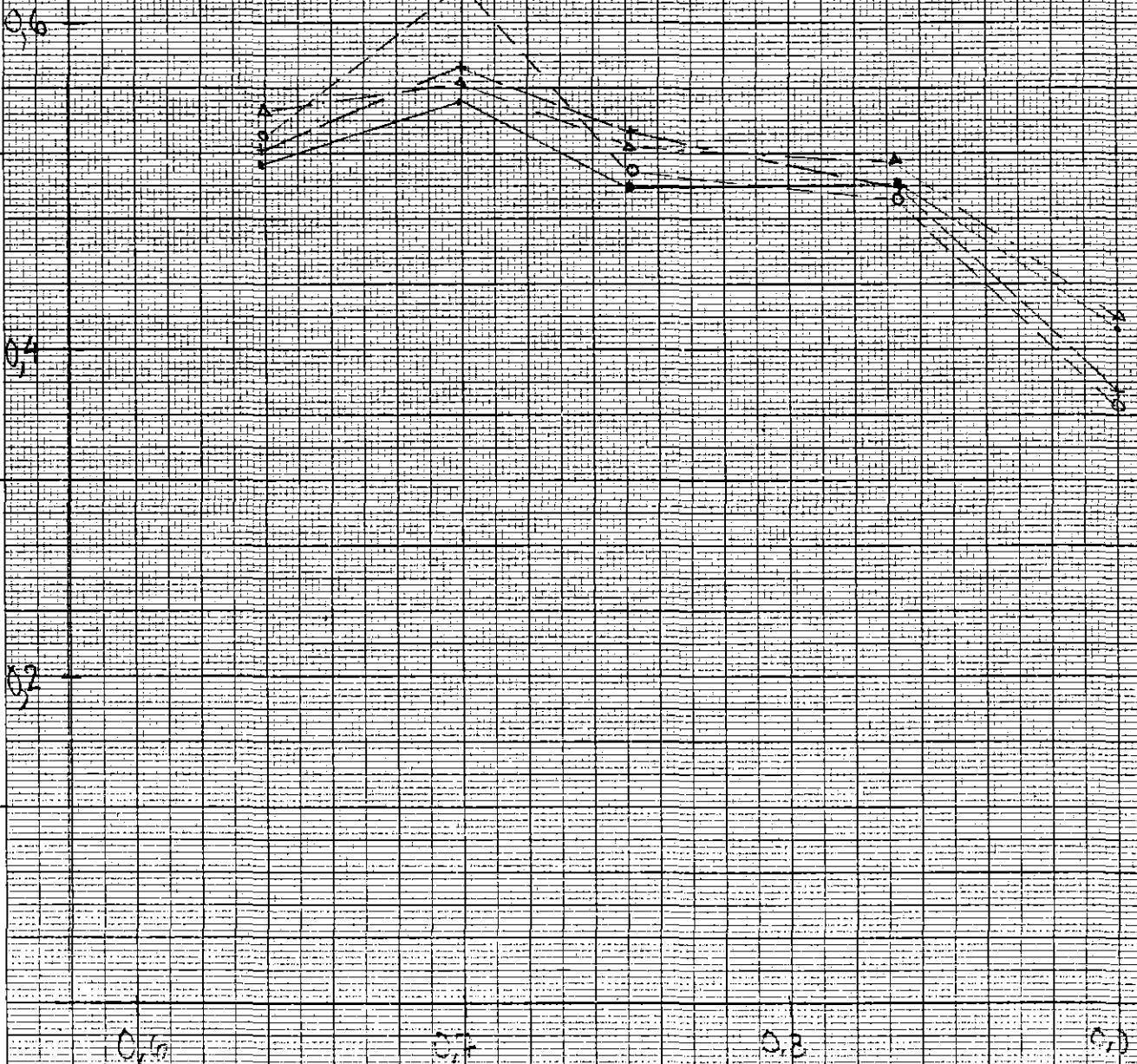
HEAVE (mm)



33 1022001 JUN 87 1 A 1 11111

FÖRSP	BRANFRET
5,25	0,029
11	0,013
130	0,029
14	0,013

Δ HEAVE / VÄGHÖJD



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

$J = 6,58 \text{ kg/m}^2$

TÖRSP
5,25
4,30

BRANFRET
0,029
0,013
0,019
0,013

HEAVE / VÄGHÖJD

0,6

0,4

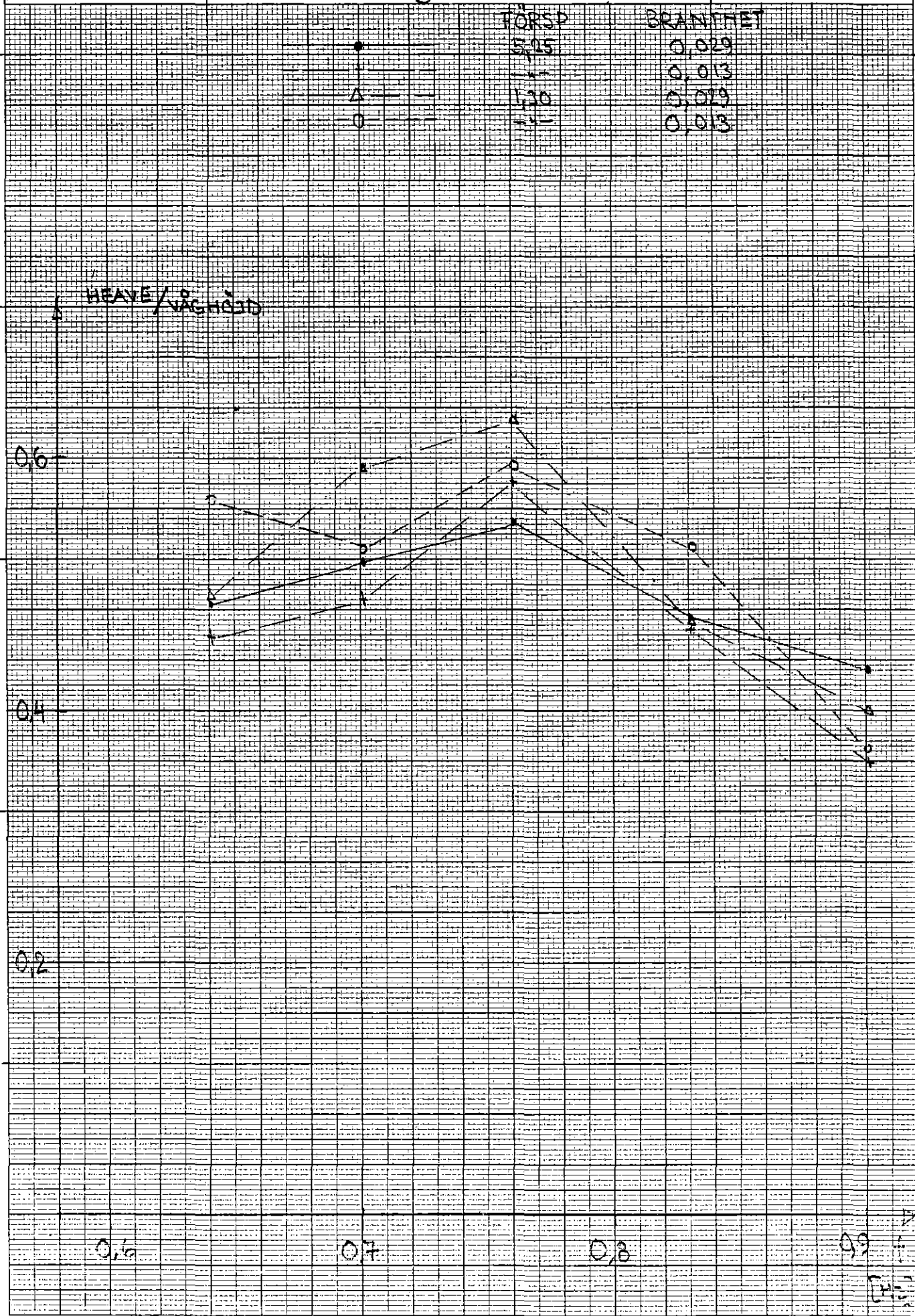
0,2

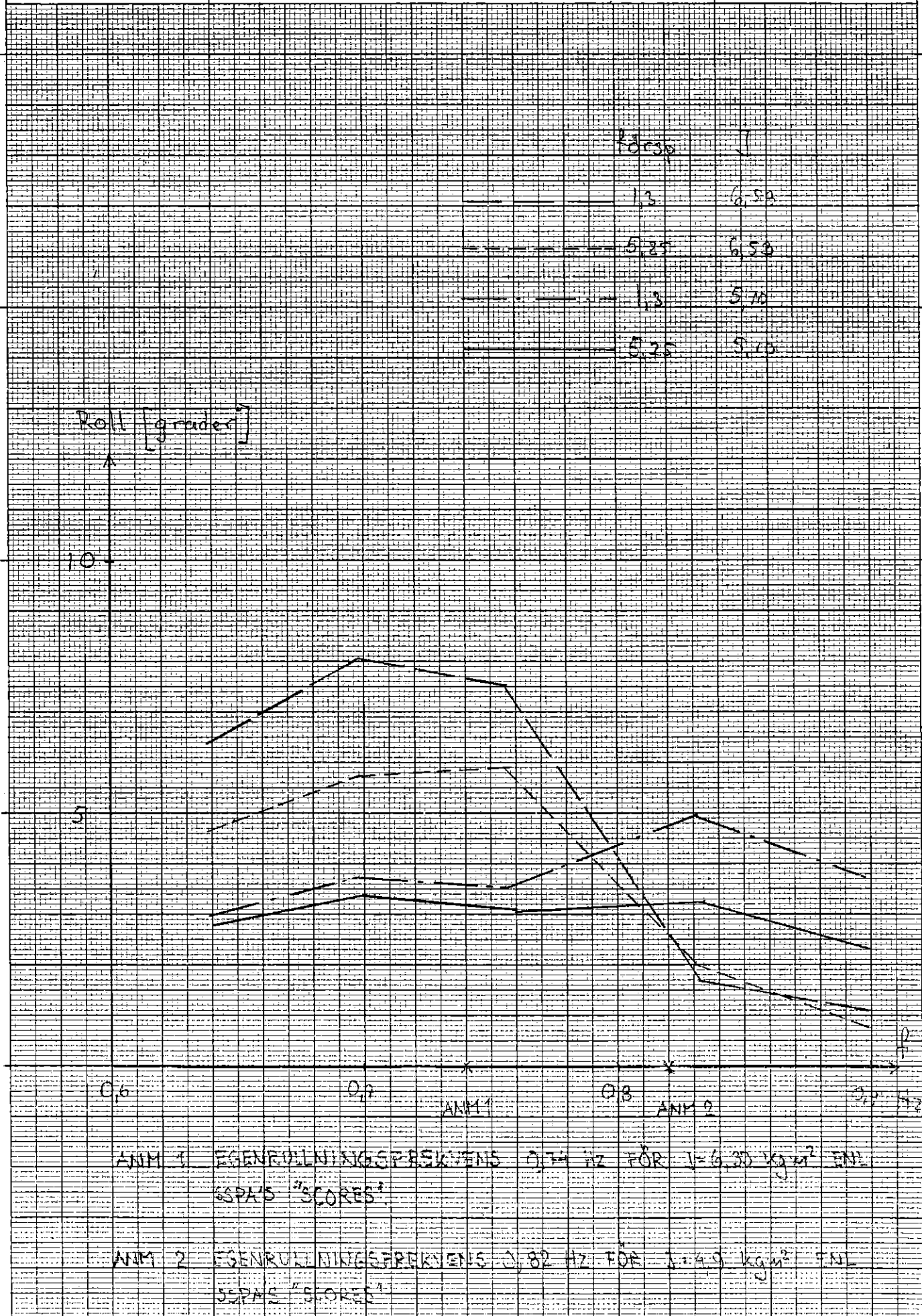
0,6

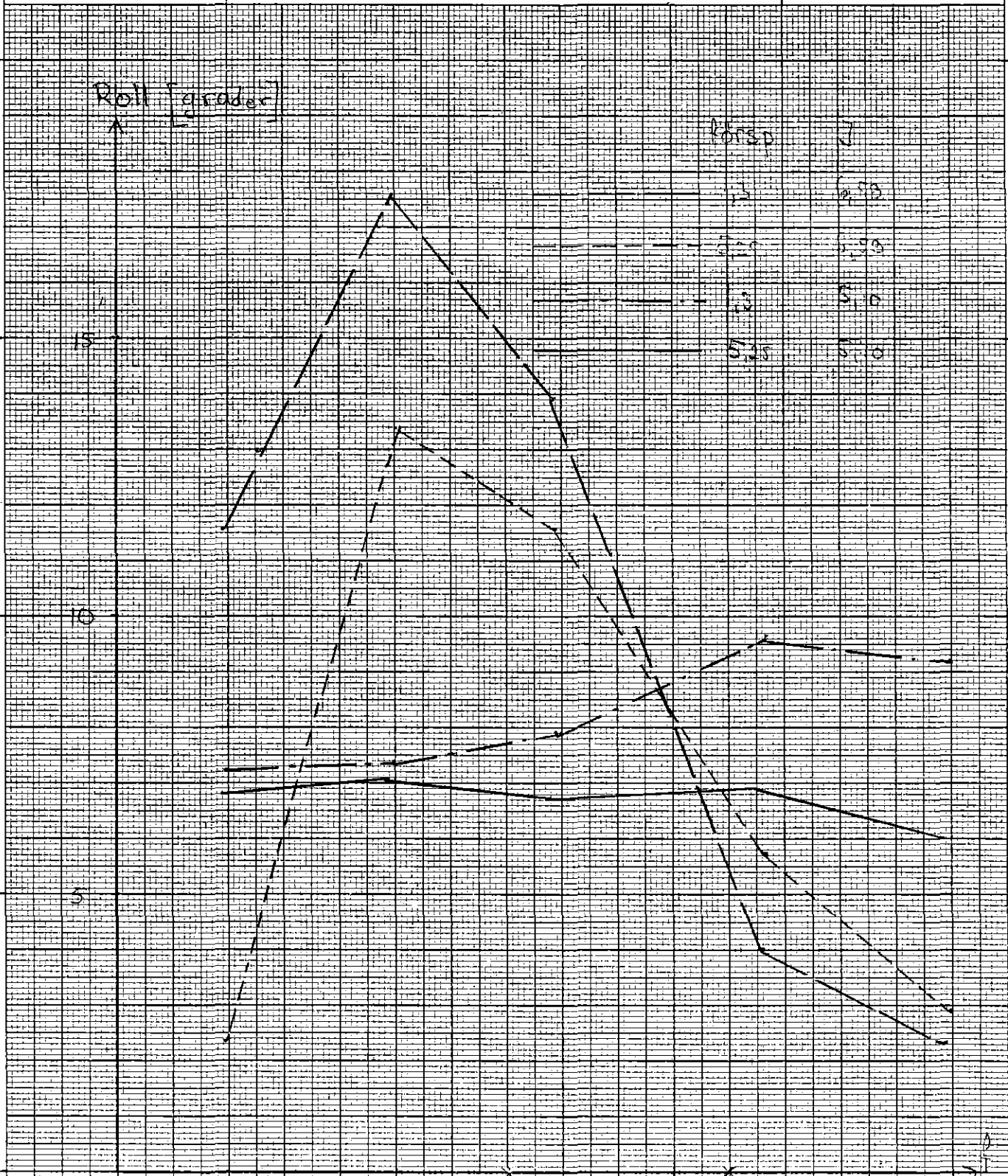
0,7

0,8

0,9







0.6

0.7

ANN 1

0.8

ANN 2

0.9

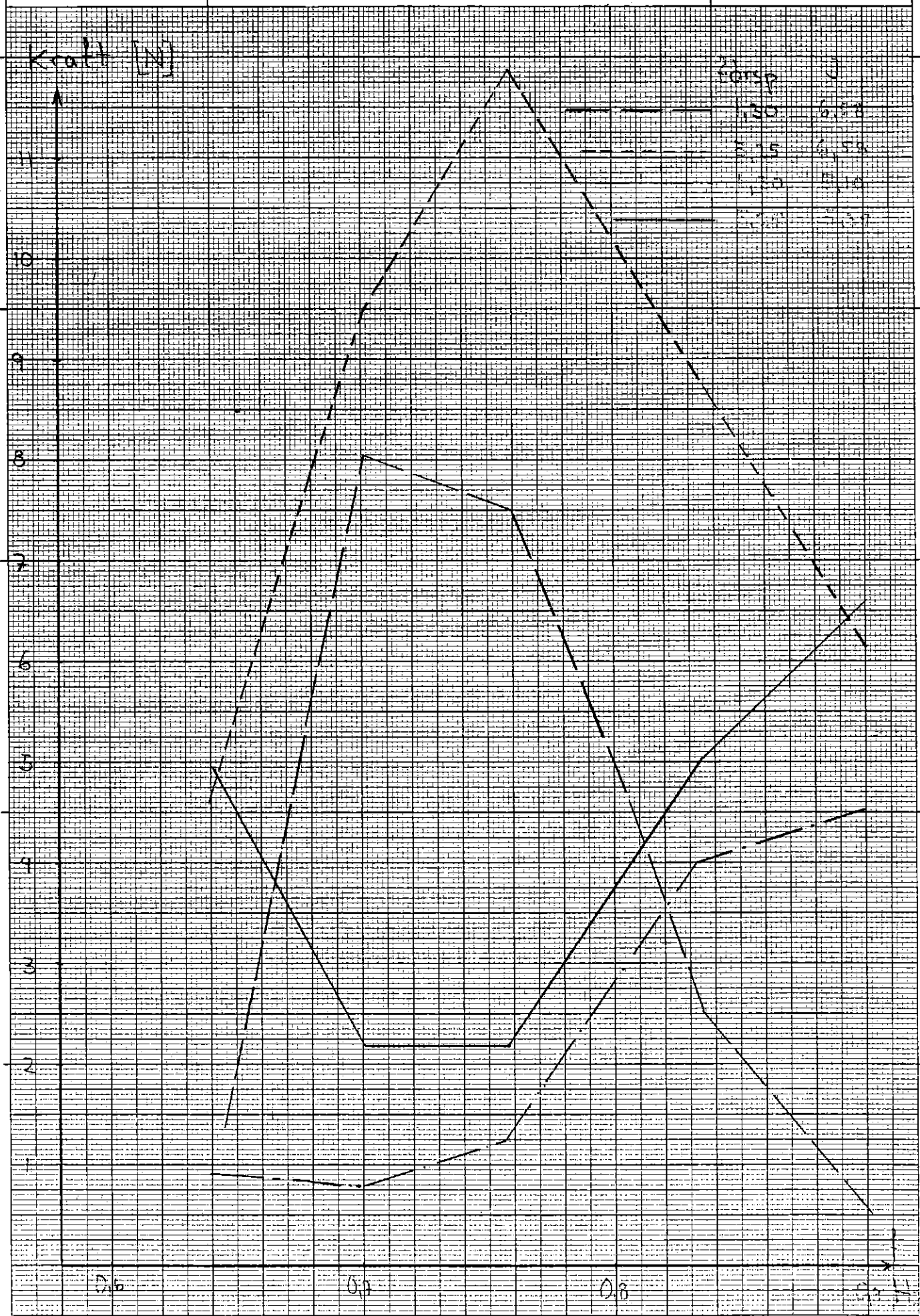
ANN 1 EGENRULLNINGSFREKVENNS 0,74 Hz FÖR J=6,33 kamr
ENL SPPA'S "SCORES"

ANN 2 EGENRULLNINGSFREKVENNS 0,81 Hz FÖR J=1,9 kamr
ENL SPPA'S "SCORES"

Bilaga 10:7

Kraft 1
branthet 0,029

Diagr. 7



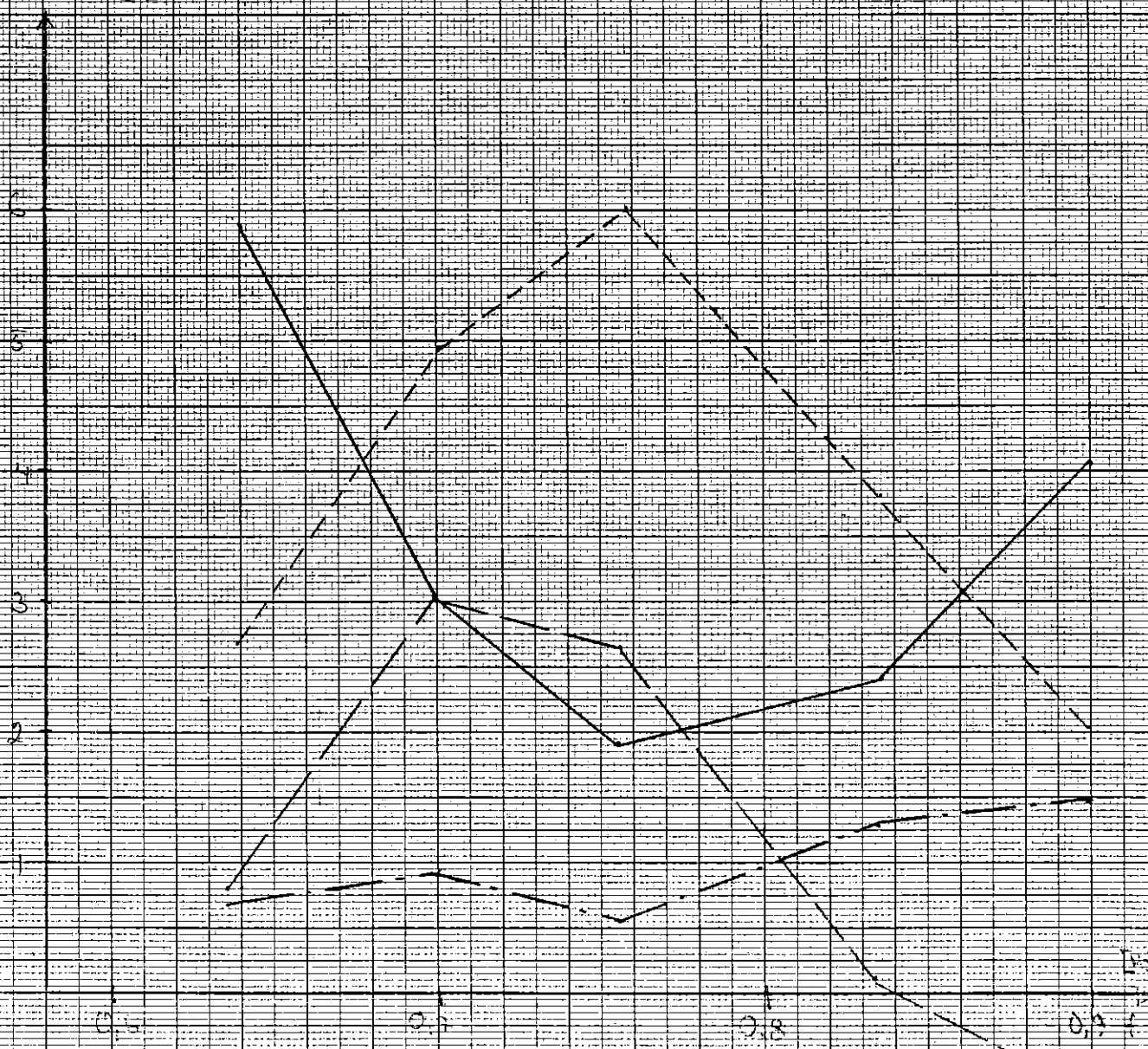
Bilaga 10:B

Kraft 2 (läsplan)
branthet 0,029

Diagr 8

	försp	J
-----	1,3	6,23
-----	0,25	3,58
-----	1,3	5,10
-----	0,25	0,66

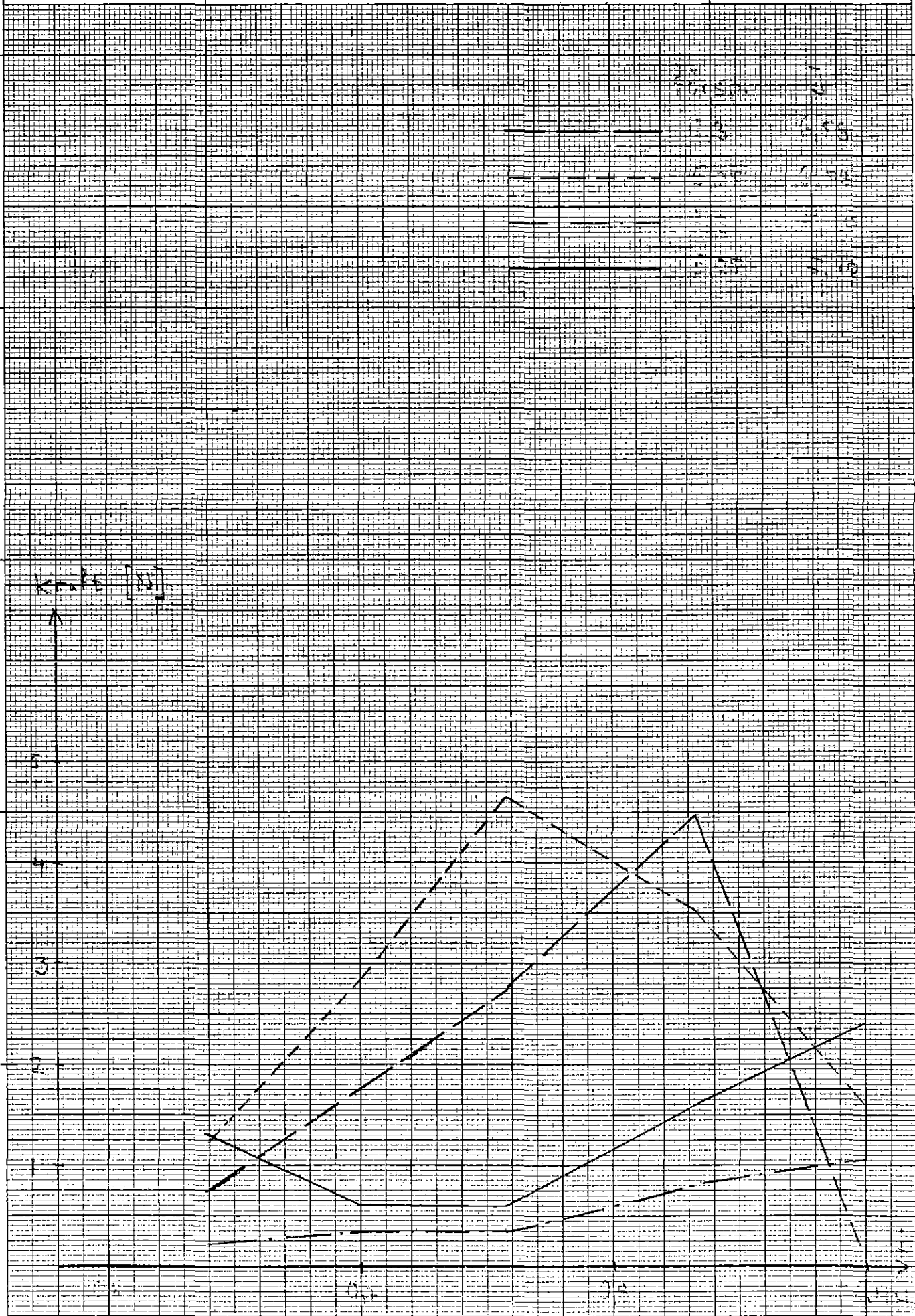
Kraft [N]



Bilaga 10:9

Kraft 1
branthet 0,013

Diagr 9



BILAGA 10:10

KRAFT 2, LÄSIDAN
BRANTHET 0,013

DIAGR 10

Försp	I
1,3	9,73
5,25	6,98
1,3	9,70
5,25	9,0

KRAFT 2 [N]

4

2

0,6

0,7

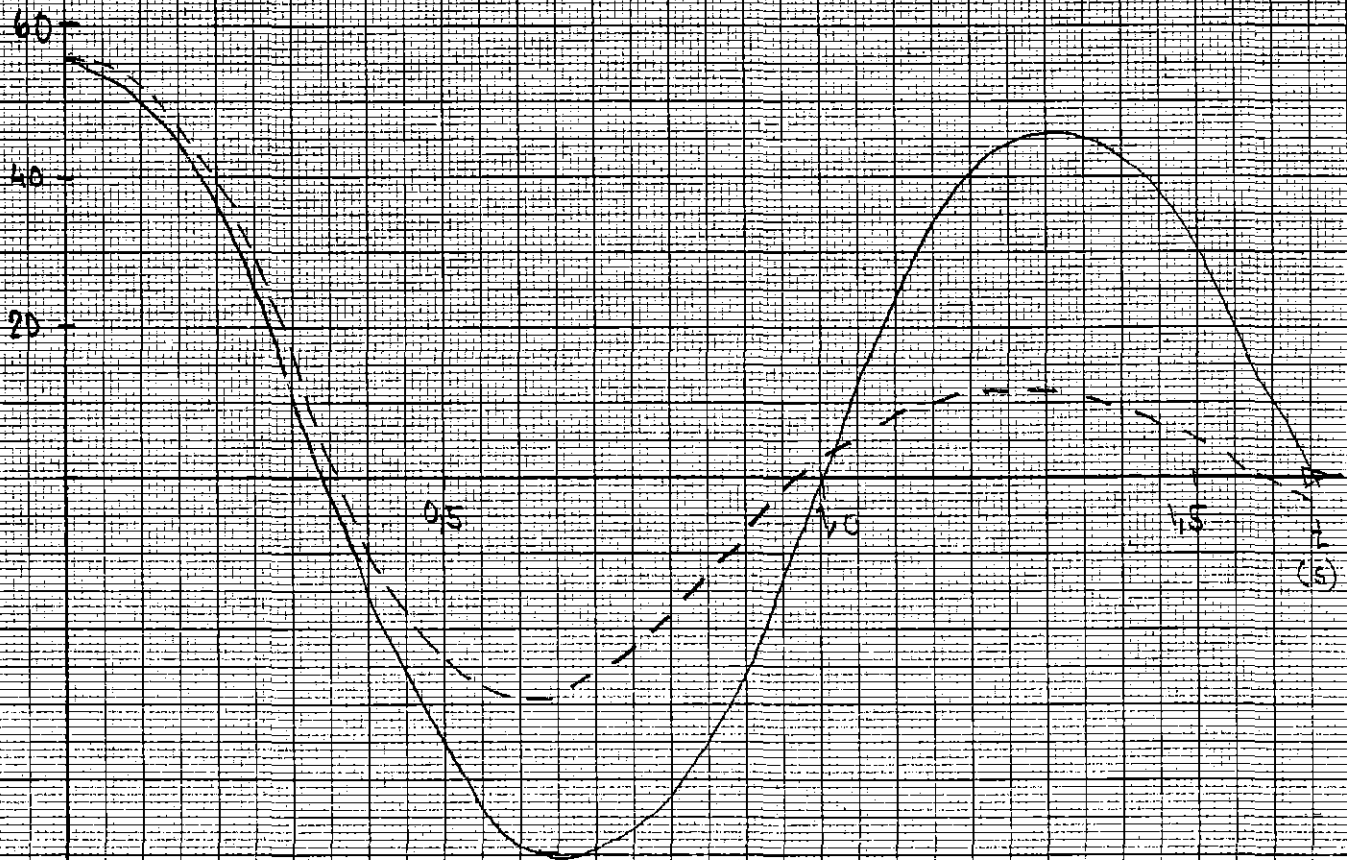
0,8

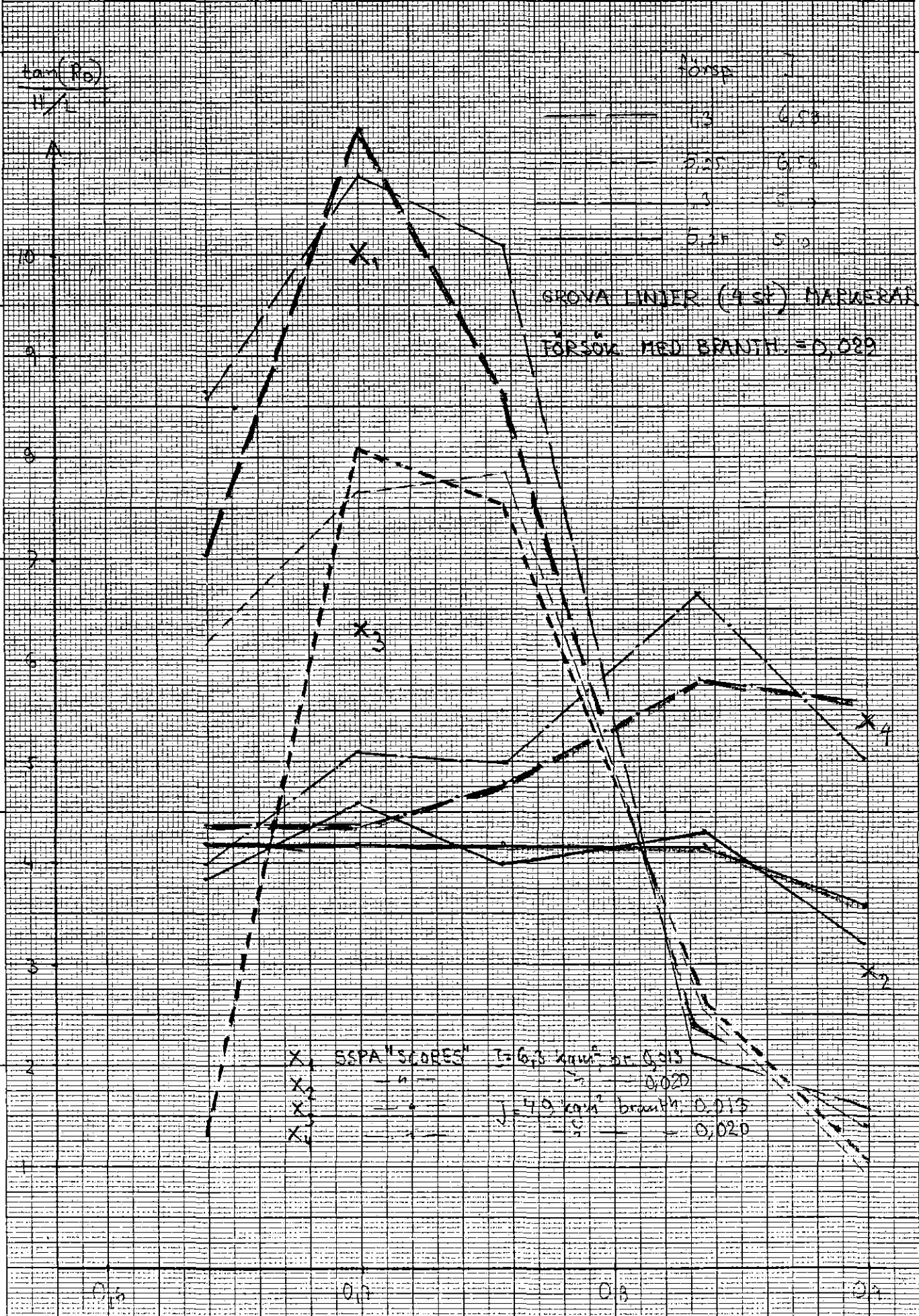
0,9

0,7
0,7
0,7

--- uppmätt värde
 — beräknad, $z = 56 e^{-0,11z} (\cos 4,8z + 0,029 \sin 4,8z)$

z (mm)





SIS / 365001 / 014 A4 / 1 X IIIII

Diagram	Kommentar
1	Heaven beror av förspänning och branthet, det senare naturligt då brantheten är intimt förknippad med våghöjden (för samma frekvens).
2	Som 1, men jämför man 1 och 2 inses att tröghetsmomentet ej påverkar heaven vid i övrigt oförändrade förutsättningar.
3-4	Här har heaven gjorts dimensionslös genom division med våghöjden. Att kurvorna ligger väl samlade bekräftar misstanken att heaven är proportionell mot våghöjden, samt att övriga variabler (förspänning och tröghetsmoment) endast har marginell betydelse.
5-6	<p>Här är rollvinkeln avsatt för olika frekvenser hos den exiterande vågen. Var för sig indikerar diagrammen att roll har utpräglade resonansfrekvenser, som beror av tröghetsmomentet. Detta påverkar också rollens storlek. Vid stora rollutslag tenderar förspänningens inverkan att öka, p s s att stor förspänningskraft ger liten roll och vice versa.</p> <p>Branthetens betydelse framgår av en jämförelse mellan diagrammen. Egenrullningsfrekvenserna beräknade enligt ref [16] finns redovisade på frekvensaxeln och stämmer väl med försöksresultaten.</p>
7-10	Krafterna uppvisar i stort sett samma mönster som rörelserna, vilket är naturligt då ju rörelserna ger upphov till krafterna i förankringssystemet. Allmänt kan sägas att vid i övrigt oförändrade förhållanden ger en hög förspänning stora krafter vid stora rörelser. Vid små rörelser är förhållandet det motsatta. Att krafterna på läsidan är mindre än de på lovartsidan förefaller naturligt.

Diagram	Kommentar
---------	-----------

- | | |
|----|--|
| 11 | Endast frekvensen är av intresse då förutsättningarna vid försök och teori ej överensstämmer vad gäller dämpning. |
| 12 | Responser för roll praktiskt taget identisk (i varje fall för brantheten $< 0,03$). Jämför kurvorna parvis.

Resultaten från SCORES-beräkningen är markerat $x_1 - x_4$ och stämmer även här väl med försöksresultaten (se även diagram 5.6). |

BERÄKNING AV EGENVINKELFREKVENSER, HEAVE

Förspänning 1,3 [N] J = saknar betydelse

ω_1	M	A	2(M+A)	B	$\xi = \frac{B}{2(M+A)}$	C	$\lambda = \frac{C}{M+A}$	$\omega = \sqrt{\lambda - \xi^2}$
3,6	116	152,30	536,60	395,43	0,74	6867,10	25,59	5,0
4,0	"	162,70	557,40	266,00	0,48	"	24,64	4,94
4,4	"	175,91	583,82	159,42	0,27	"	23,52	4,84
4,8	"	188,28	608,56	86,08	0,14	"	22,57	4,75
5,2	"	198,16	628,32	42,56	0,07	"	21,86	4,67
5,6	"	205,39	642,78	19,64	0,03	"	21,36	4,62

ω_1 = den frekvens för vilken dämpningen, B, och added mass, A, har beräknats.

Förspänning 5,25 [N] ger samma resultat

$$z = e^{-0,14t} (\cos 4,8t + 0,029 \sin 4,8t)$$

t	0	0,1	0,2	0,3	0,333	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
z	1	0,89	0,58	0,15	0	-0,30	-0,67	-0,88	-0,89	0,70	-0,36	0,05
t	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	
z	0,44	0,72	0,83	0,75	0,51	0,16	-0,22	-0,53	-0,72	-0,75	-0,6	