



Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

ENERGIUPPTAGNING HOS DÄMPADE KROPPAR
FÖR PETROPUMP I REGELBUNDNA VÅGOR

En laboratoriestudie

Göran Edlund Mikael Olehede Magnus Uttberg

Examensarbete nr 1982:2

Göteborg 1982

Adress: Institutionen för Vattenbyggnad
 Chalmers Tekniska Högskola
 412 96 Göteborg

Telefon: 031/81 01 00

FÖRORD

Föreliggande examensarbete är utfört vid Institutionen för vattenbyggnad, CTH, sommaren 1982.

Handledare har varit civ.ing. Filip Alm, Technocean AB, som hjälpt oss under arbetets gång.

Vi vill rikta ett varmt tack till de personer på Institutionen för vattenbyggnad och på Technocean som har hjälpt oss och underlättat vårt arbete.

Göteborg mars 1983

Göran Edlund

Mikael Olehede

Magnus Uttberg

INNEHÅLL

	sid.
1. SAMMANFATTNING	1
2. INLEDNING	2
3. ENERGIUPPTAGNING FRÅN VÅGOR	3
4. MÄTUTRUSTNING	5
4.1 Vattenränna	5
4.2 Våggenerator	5
4.3 Vågmätarna	5
4.4 Kraftgivare	7
4.5 Lägesgivare	7
4.6 Fjädrar	7
4.7 Dämpare	7
4.8 Provkroppar	7
4.9 Kalibrering av mätutrustning	10
5. FÖRSÖKSFÖRFARANDE	11
5.1 Metod	11
5.2 Mätningarnas genomförande	11
5.3 Reproducerbarhet	12
5.4 Videoinspelning	12
6. FÖRSÖKSRESULTAT	14
6.1 Vinge 1	15
6.2 Vinge 2	16
6.3 Rektangel 10 mm under ytan	17
6.4 Rektangel ytskärande	18
6.5 Sfär ytskärande	19
6.6 Sfär nersänkt 10 mm under vattenytan	20
6.7 Cylinder	20
6.8 Lätta diskusen	20
6.9 Mellantunga diskusen	21
6.10 Tunga diskusen	22
6.11 Sammanfattning av utvärderingen	23

	sid.
7. FORTSATTA FÖRSÖK	24
8. REFERENSER	25

BILAGOR

Vinge 1	Bilaga 1-6
Vinge 2	Bilaga 7-10
Rektangel 10 mm under ytan	Bilaga 11-16
Rektangel ytskärande	Bilaga 17-20
Sfär ytskärande	Bilaga 21-23
Diskus lätta	Bilaga 24-29
Diskus mellantunga	Bilaga 30-37
Diskus tunga	Bilaga 38-41
Rörelsemönster	Bilaga 42-43
Arbetskurvor	Bilaga 44-45
Våghöjdsprotokoll	Bilaga 46

1. SAMMANFATTNING

Vi har utfört en serie försök med energiupptagning i vågor hos ett flertal dämpade kroppar med olika profil, som legat nedsänkta under vattenytan.

Varje profil har vi utsatt för regelbundna vågor av varierande höjd och längd. Därtill har vi varierat dämpning och styvhet hos det energiupptagande systemet. Efter detta har vi mätt det utvunna arbetet, som vi sedan jämfört med det infallande vågarbetet.

Av de provade kropparna fann vi att en kropp med diskusprofil och densiteten $0,57 \text{ kg/dm}^3$ bäst tog tillvara det infallande vågarbetet.

2. INLEDNING

I och med stigande energipriser så har det blivit intressant att studera andra energiformer än de idag traditionella; olja, kärnkraft och vattenkraft. En av de alternativa energikällorna är vågkraft från förankrade bojar. Denna energiform har ännu ej haft någon framgång för kommersiell energiproduktion.

Som ett led i utvecklingen av kraftverksbojar har möjligheten att placera bojen under vattenytan börjat diskuteras. På så sätt skulle anläggningen inte vara lika känslig för isläggning som en ytskärande boj. Det faktum att en boj under vattenytan inte blir synlig gör alternativet mer estetiskt tilltalande. I och med petropumpens inträde på scenen blev det aktuellt med närmare studier av undervattensbojar.

När bojen placeras under vattenytan blir det intressant att studera andra profiler på bojen, än de som är aktuella för ytskärande bojar. Ett bra sätt att bilda sig en uppfattning om hur en undervattensboj skulle fungera, är att göra modellförsök.

Vårt examensarbete har bestått i att göra sådana modellförsök och ur dem bilda oss en uppfattning om vilken typ av profil och vilka parametrar på det energiupptagande systemet som ger det högsta utbytet av den infallande vågenergin.

3. ENERGIUPPTAGNING FRÅN VÅGOR

Energiflödet i vågornas utbredningsriktning är enl. K. Cederwall [5]:

$$P = C_g \frac{1}{8} \rho g H^2$$

där P = vågens energiflöde per breddenhet (Nm/sm)

C_g = vågornas grupp-hastighet;
energiflödets genomsnittliga hastighet (m/s)

H = våghöjd

Sambandet mellan vågkammarnas fashastighet och vågornas grupp-hastighet:

$$C_g = \left(1 + \frac{\frac{4d\pi}{L}}{\sinh \frac{4d\pi}{L}}\right) \frac{1}{2} C; \quad C = \frac{L}{T}$$

där C = vågkammens fashastighet, dvs
vågkammens fortplantningshastighet (m/s)

d = vattendjupet (m)

L = våglängden (m)

T = vågperiodtal (s)

Våglängden blir enl. [1]:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}$$

Detta ger för de vågperiodtider och vattendjup vi använde oss av vid våra försök att vi fick följande våglängder:

<u>T (s)</u>	<u>L (m)</u>
1,00	1,55
1,15	2,00
1,30	2,46
1,45	2,91
1,75	3,79

Beräknad verkningsgrad fick vi fram genom att dividera utvunnet arbete under en vågperiod med det mot bojen infallande energiflödet och med vågperiodtiden. Det utvunna arbetet, W , bestämdes ur figurer som beskrev sambandet mellan kraften i förankringssnöret och provkroppens rörelse, se bilaga 44-45. Infallande energiflödet, P , räknades fram enl. ovan.

$$\eta = \frac{W}{P \cdot b \cdot T}$$

där W = utvunnet arbete (Nm)

P = infallande energi (Nm/sm)

b = respektive provkroppens (m)
bredd

För att med enkla beräkningar få ett mått på det medsvängande vattnets massa m_a , kallad added mass, använde vi följande samband:

$$m_a = \frac{\rho}{\omega_e^2} - m$$

ω_e = egenvinkelfrekvensen, vilken erhöles ur vinkel-
frekvensdiagrammen, se t.ex. bilaga 28

Ett mått på vågens lutning är brantheten, som definierades som H/T^2 .

Amplitudförstärkningen fick vi ur förhållandet A/H där A är den undersökta kroppens förändring i avstånd till förankringspunkten, se fig. 1.

4. MÄTUTRUSTNING

4.1 Vattenränna

Mätningarna gjordes i den gröna rännan vid institutionens för vattenbyggnad laboratorium. Rännan var 30 m lång och 1 m bred. Vattendjupet var vi tvungna att begränsa till 0,65 m pga att det bildades svallvågor bakom våggeneratoren, vilka hade en tendens att skvätta över.

4.2 Våggenerator

Våggeneratoren är byggd för att producera sinusformade vågor. För att vågformen skall bli den riktiga, är det möjligt att ändra vågarmens infästningspunkt.

Vågperiodtid och våghöjd varierades mellan 1,0 s och 1,75 s, respektive 0,02 m och 0,09 m. Vågorna dämpades, i rännans motsatta ända, av en "strand" täckt med nät.

4.3 Vågmätarna

Vågmätarna var av en typ som mätte konduktiviteten. Vi använde oss av tre stycken, varav den ena placerades jämte provkroppen och en 0,85 m därifrån. Den tredje placerades på ett avstånd av en fjärdedels våglängd från den andra mätaren. De två sistnämnda användes för att få fram den infallande våghöjden. Värdena från dessa gav ett medelvärde som enligt Åke Sandström [2] ger den infallande våghöjden, som annars är svår att beräkna pga reflektioner och vågor utsända av provkroppen.

Vågmätarna var kopplade till en skrivare med en kanal för varje givare. Skrivaren hade varierbar pappersframmatningshastighet. Detta innebar att vågorna kunde komprimeras och att man lätt kunde se när våghöjden hade stabiliserats. Vi använde oss av två hastigheter på pappersframmatningen, 1 mm/s och 10 mm/s, se bilaga 46.

4.4 Kraftgivare

Kraftgivaren var en trådtöjningsgivare med maximalt 50 N belastning. Den var installerad mellan provkroppens hanfot och snöret. Givaren var kopplad till y-kanalen på en xy-skrivare. Se fig. 1.

4.5 Lägesgivare

Denna mätte provkroppens avstånd till förankringpunkten. Den var kopplad till xy-skrivarens x-kanal. Utslaget på skrivaren kunde förstoras olika mycket, vilket utnyttjades för att få lämplig skala på arbetskurvorna.

4.6 Fjädrar

Fjädrarna var fem till antalet. Varje fjäder hade styvheten 16 N/m. De kunde sedan parallellkopplas till önskad styvhet. Detta innebar att styvheten kunde varieras mellan 16 N/m och 80 N/m.

4.7 Dämpare

Som dämpare användes en spinnrulle, nämligen en Ambassadör 9000 C. Den var dämpbar i båda riktningarna och hade en skala mellan 15 och 34. Vid våra försök angav vi dämpningen mha ovan angivna skala. Senare så mätte vi upp vad varje skalvärde motsvarade. Dämpningen var obetydligt hastighetsberoende. Därför kunde vi använda oss av våra arbetskurvor, där vi mätte kraftamplituden vilken dividerades med 2 pga att den var dämpad i båda riktningarna. Resultatet redovisas nedan i tabell 2 och diagram 1.

4.8 Provkroppar

Se figur 2.

Skal- inställning	Dämp- kraft (N)
----------------------	--------------------

15	1,04
20	1,17
25	1,9
27	2,31
29	2,87
32	3,67
34	4,57

Tabell 2 Respektive skalinställning med dämpkraft

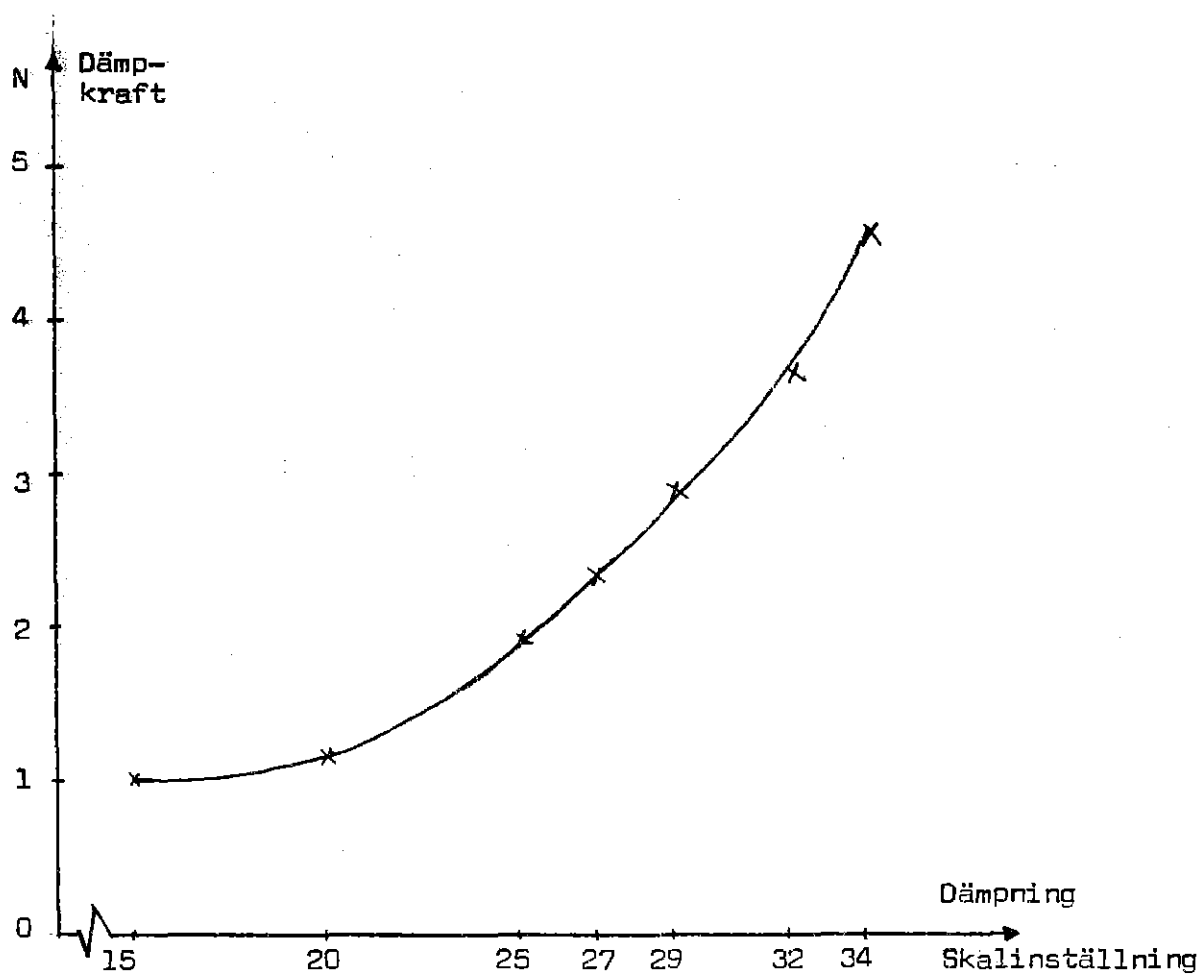
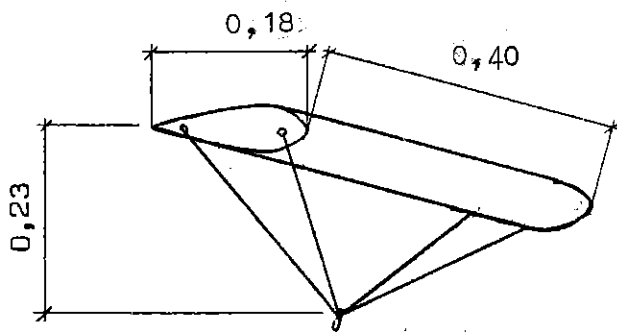


Diagram 1 Dämpkraftens variation med skalinställning



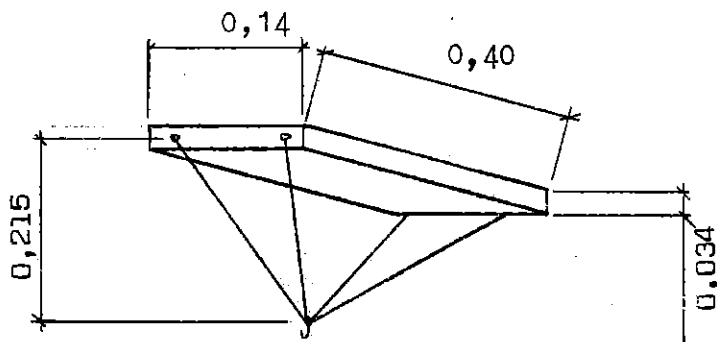
Vinge 1

$$\begin{aligned} V &= 2 \text{ dm}^3 \\ m &= 0,194 \text{ kg} \\ \rho &= 0,10 \text{ kg/dm}^3 \end{aligned}$$

Vinge 2

$$\begin{aligned} V &= 2 \text{ dm}^3 \\ m &= 1,532 \text{ kg} \\ \rho &= 0,77 \text{ kg/dm}^3 \end{aligned}$$

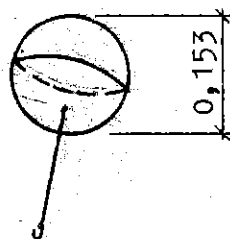
REKTANGEL



Rektangel

$$\begin{aligned} V &= 2,03 \text{ dm}^3 \\ m &= 0,165 \text{ kg} \\ \rho &= 0,08 \text{ kg/dm}^3 \end{aligned}$$

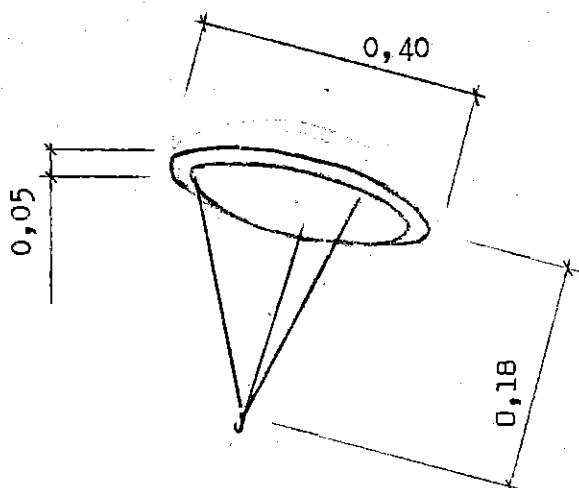
SFÄR



Sfär

$$\begin{aligned} V &= 1,84 \text{ dm}^3 \\ m &= 0,125 \text{ kg} \\ \rho &= 0,07 \text{ kg/dm}^3 \end{aligned}$$

DISKUS



Diskus 1

$$\begin{aligned} V &= 5,59 \text{ dm}^3 \\ m &= 1,845 \text{ kg} \\ \rho &= 0,33 \text{ kg/dm}^3 \end{aligned}$$

Diskus 2

$$\begin{aligned} V &= 5,59 \text{ dm}^3 \\ m &= 3,165 \text{ kg} \\ \rho &= 0,57 \text{ kg/dm}^3 \end{aligned}$$

Diskus 3

$$\begin{aligned} V &= 5,59 \text{ dm}^3 \\ m &= 4,565 \text{ kg} \\ \rho &= 0,81 \text{ kg/dm}^3 \end{aligned}$$

Fig. 2. Provkroppar med hanfot

4.9 Kalibrering av mätutrustning

Vågmätarna kalibrerades dagligen genom att mätarna skruvades ner 5 cm. Utslaget registrerades på skrivaren och justerades tills det överensstämde med de ändrade 5 cm.

Då kraftgivaren kalibrerades, nollställdes xy-skrivarens y-kanal då givaren var helt obelastad. Därefter hängde vi på en 2-kilosvikt och justerade utslaget på skrivaren.

Lägesgivaren kalibrerade vi genom att nollställa x-kanalen på xy-skrivaren. Sedan ändrades läget på infästningssnöret 10 cm, och utslaget justerades på skrivaren.

5. FÖRSÖKSFÖRFARANDE

5.1 Metod

Vid försöken användes olika profil på provkroppen. I första omgången undersöktes en sfär, en rektangel, och två vingar med olika densitet. I försöksomgång II studerades tre diskusar med varierande densitet.

Den aktuella modellen placerades i vattenrännan på önskad nivå relativt vattenytan. Vid försöksomgång I användes nivån 10 mm under vattenytan eller i densamma. Före försöksomgång II utfördes försök för att avgöra vilket djup under vattenytan som gav det största arbetet för diskusarna. Djupet varierades mellan 10 och 30 mm. Störst arbete gav ett djup av 20 mm. Detta djup användes under hela försöksomgång II.

När modellen i olika försök utsattes för regelbundna vågor med varierande frekvens och våghöjd, så kunde man på xy-skrivaren erhålla olika figurer över kroppens rörelse och kraften i infästningssnöret. Arean på denna figur är ett mått på det uträttade arbetet och kan bestämmas med hjälp av en planimeter.

Försöken utfördes med var och en av de olika profilerna med varierande dämpning hos spinnrullen. Även fjäderstyvheten varierades, se tabell 1.

5.2 Mätningarnas genomförande

Först ställdes önskad vågperiodtid och våghöjd in. Därefter placerades provkroppen på önskad nivå och önskad styvhet och dämpning ställdes in. Våggeneratoren startades och mätningarna påbörjades då våghöjden stabiliserats. Våghöjden från de tre mätarna noterades, dels för vågor utan provkropp, dels för vågor med respektive provkropp, se bilaga 46.

För beräkning av vågornas energiflöde användes den uppmätta våghöjden utan provkropp. Det hade varit bra, om man hade kun-

nat utföra försöken på de första vågorna, dvs innan reflekterade vågor nått provkroppen. Det visade sig dock omöjligt, eftersom provkroppen behövde en viss tid för att svänga in sig.

När vågorna stabiliserat sig utfördes mätningarna, och arbetskurvan, se bilaga 44, registrerades för varje dämpning. Därefter stängdes våggeneratoren av och fjäderstyvheten ändrades. Händelseförloppet upprepades för de olika provkropparna, varefter våghöjden ändrades. När försök med de våghöjder, som var möjliga att åstadkomma, hade utförts, ändrades vågperiodtiden. Proceduren upprepades för denna nya vågperiodtid.

5.3 Reproducerbarhet

För att få en uppfattning om resultatets reproducerbarhet gjordes vid några försök, i början av serien, två mätningar med samma försöksuppställning. Då vi fann att resultaten var i det närmaste identiska (skiljde max 2%) i de båda fallen, beslöt vi att endast utföra en mätning för varje enskilt fall.

För att kontrollera att xy-skrivaren följde med provkroppens svängningar och inte släpade efter, utfördes försök med olika skalor. Då arbetet mättes upp och jämfördes, fann vi att det var lika för de olika skalorna.

5.4 Videoinspelning

För att noggrant kunna studera kropparnas rörelsemönster riggade vi upp en videokamera bredvid kroppen (på utsidan rännan). Därefter spelade vi in rörelsemönstret hos samtliga undervattenskroppar utom sfären, vid vågperiodtiderna 1,0 s, 1,3 s samt 1,75 s och våghöjderna 0,02 m, 0,06 m och 0,09 m.

När inspelningen var klar kunde vi detaljstudera rörelsen, som var filmad med ca 50 bilder/sekund, med en bild i taget. Vi kunde även mäta hastigheten hos kroppen. Hastigheten använde vi sedan för att beräkna lyftkraftskoefficienten C_L .

Fasförskjutningen försökte vi mäta men det var svårt, eftersom kroppen inte svängde lika fort hela tiden. Ibland var den ikapp vågen och ibland långt efter. Däremot kunde vi få en uppfattning om fasförskjutningen genom att jämföra olika kroppar.

PROVKROPP	VÅGPERIODTID [s]	VÅGHÖJD [mm]	STYVHET [N/m]	DÄMNING [Skala]	ANTAL FÖRSÖK
Vinge 1	1,0 1,15 1,3 1,45 1,75	20 40 60 90	(48) 64 80	15 20 25 27 29 32 34	308
Vinge 2	Samtliga	Samtliga	16 32 (48)	Samtl.	336
Rektangel	Samtliga	Samtliga	48 64 80	Samtl.	427
Lätta diskusen	Samtliga	Samtliga	80	Samtl.	280
Medeltunga diskusen	Samtliga	Samtliga	64 80	Samtl.	560
Tunga diskusen	Samtliga	Samtliga	32	Samtl.	280
Sfär	1,15 (1,45)	20 40 60	48 64 (80)	15 20 25 27	30
Rektangel ytskärande	Samtliga	Samtliga	16 32 (48)	Samtl.	329
Sfär ytskärande	Samtliga	Samtliga	16 32	Samtl.	280

Summa försök: 2830

Tabell 1 Översikt på gjorda försök

6. FÖRSÖKSRESULTAT

I det följande kommer vi att beskriva de observationer och de resultat vi har fått fram för var och en av de olika kropparna. Vi har dels beskrivit hur profilerna uppför sig, dels hur verkningsgraden påverkas av olika vågor, olika dämpningar och olika styvhet. Till vår hjälp använde vi tre olika typer av diagram. Nämligen η -H diagram, η -H/T² diagram och A/H- η diagram.

η -H diagrammen beskriver verkningsgradens variation med våghöjden för de olika vågperiodtiderna. I dessa diagram hölls styvhet och vågperiodtid konstant, medan dämpningen varierades. Det fanns även ett alternativt η -H diagram, där styvhet och dämpning hölls konstant, medan vågperiodtiden varierades.

η -H/T² diagrammen beskriver verkningsgradens variation med vågens branthet. Styvhet och dämpning hålls konstant. Antingen varierades vågperiodtiden medan våghöjden hölls konstant eller tvärt om.

För att erhålla någon av egenvinkelfrekvenserna upprättades A/H- η diagram. Det var svårt att hitta någon markerad egenvinkelfrekvens, eftersom provkroppen har tre frihetsgrader: horisontell och vertikal rörelse samt translation kring horisontalaxeln vinkelrätt vågornas utbredningsriktning.

För de flesta provkropparna kunde en markerad egenvinkelfrekvens observeras under någon körning.

Vi försökte även att beräkna lyftkraftskoefficienten C_L genom att först beräkna vattnets relativa hastighet, med hjälp av videoinspelningen, i förhållande till kroppen. Tyvärr visade det sig att värdet på C_L varierade från nästan noll till över sex. Detta kan bero på kropparnas komplexa rörelsemönster och att vi då får in ett bidrag av vattnet som strömmar mot kroppens undersida.

Även den kraftigt varierande hastigheten hos kroppen kan vara orsaken.

6.1 Vinge 1

Denna vinge var mycket lätt, vikten var 0,194 kg och densiteten var $0,097 \text{ kg/dm}^3$. Detta medförde att kroppen blev mycket snabb och rörde sig mycket i vattnet. Vingen svängde inte bara upp och ner utan även fram och tillbaka.

Det visade sig vid filmning av rörelsemönstret, att vingen rörde sig mycket fort i horisontalled, när den var i vågens "utförsbacke". När den kom ner i vågdalen, alltså i sin främre vändpunkt, stannade den upp och gjorde ett slag, dvs den rörde sig i en liten cirkelrörelse. Samtidigt som detta hände, minskade kraften i snöret, se bilaga 45.

Om man ökade dämpningen, så ökade farten, och man fick snabbare och mer markerade rörelser. Om vågperiodtiden ökades, fick man en lugnare rörelse, och kroppen vinklades inte lika mycket som för de lägre vågtiderna. Vingen låg mycket stabilt i vågens riktning utan tendens att vrida sig. Endast vid den kortaste vågperiodtiden och den lägsta våghöjden, dvs 1,0 s resp 22 mm, vred sig vingen från jämviktsläget vinkelrätt vågutbredningsriktningen.

Verkningsgraden visade sig vara klart högst vid korta vågperiodtider, dvs korta vågor. Vid vågperiodtiden 1,0 s varierade verkningsgraden från maxvärdet 25% vid höga dämpningar. Men redan vid 1,3 s ligger maxvärdet på 6%, se bilaga 2 och 3.

Då vi betraktade egenvinkelfrekvensdiagrammen, såg vi att ω_e låg omkring 4,5 rad/s och varierade med fjäderstyvhet och våghöjd. Hög våghöjd ger hög egenvinkelfrekvens. Det medför att added mass ligger omkring 3,5 kg, se bilaga 5 och 6.

Verkningsgraden verkade öka med ökande branthet, om man band ihop punkter med lika våghöjd, men resultatet blev det motsatta om man band ihop punkter med samma vågperiodtid, se bilaga 4.

6.2 Vinge 2

Den här vingen var tyngre än vinge 1. Vikten var 1,532 kg och densiteten $0,77 \text{ kg/dm}^3$, och den rörde sig följaktligen lugnare i vattnet. Den ryckiga rörelsen, som den lättare vingen hade, saknades. Vingen verkade flyta med vågen. Något "slag" kunde inte observeras. I vågens nerförsbacke fick vingen i stället en mycket stor vinkel gentemot vågen, uppemot 30° , i de högsta våghöjderna, se bilaga 42.

Fasförskjutningen mellan våg och kropp var mycket svår att se. Det fanns en förskjutning när man ökade till dämpning 34, men den var svår att uppskatta.

Stabiliteten hos vingen var mycket dålig vid de kortare vågperiodtiderna. Speciellt vid högre dämpning (34, 32 och ibland 29) vred sig vingen. Hög dämpning var gynnsam för verkningsgraden, men liksom vinge 1 var den instabil vid små vågor och hög dämpning, se bilaga 8.

Verkningsgraden sjunker även på denna vinge med ökad vågperiodtid, medan våghöjden inte har fullt så stor betydelse som för vinge 1. Verkningsgraden ligger omkring 20% vid vågperiodtiden 1,0 s och sjunker ner till 4% vid 1,75 s, se bilaga 7. Fjäderstyvheten ser inte ut att påverka verkningsgraden något nämnvärt.

Branthetens inverkan på verkningsgraden ser ut som för vinge 1, med den högsta verkningsgraden vid ganska låg branthet och den lägsta verkningsgraden på samma ställe som för vinge 1, se bilaga 9.

Egenvinkelfrekvensen blir 4,8 rad/s. Med detta värde på ω_e blir added mass -0,14 kg, se bilaga 10.

6.3 Rektangel 10 mm under vattenytan

Denna provkropp var av den lätta modellen med vikten 0,165 kg och densiteten $0,081 \text{ kg/dm}^3$. Detta borde göra den lika lätt-rörlig som vinge 1, men förmodligen så bidrog den kantiga formen till att det inte blev så.

Rektangeln följde fint med i vågens rörelse, se bilaga 42, speciellt vid hög dämpning. Vid dämpning 15 slår rektangelns bakända upp ur vattnet, när den befinner sig i vågdalen. Vid längre vågor minskar rörelsen något, medan hastigheten ökar markant.

Rektangelns verkningsgrad höll sig ganska låg, (se bilaga 11). Maxvärdet var 17%. Det hittade man vid 20 mm våghöjd som är randvärdet. Högst verkningsgrad fås för vågtiderna 1,15 s och 1,3 s. Häremellan kan man anta att egenvinkelfrekvensen ligger. Se bilaga 14 och 15. Det högsta energiutbytet fås för dämpningarna 27 och 29. Vid vågperiodtiden 1,0 s blev verkningsgradstoppen förskjuten till 60 mm våghöjd, och värdet sjönk till mellan 10 och 15%, se bilaga 12.

Stabiliteten hos rektangeln var sämre än vingarnas. Fämst var rektangeln vid låga våghöjder och korta vågperiodtider. Inte förrän vågperiodtiden ökades till 1,45 s försvann instabiliteten, och vid 1,75 s var den mycket stabil. Stabiliteten visade sig bli bättre om man ökade dämpningen eller minskade styvheten. Den såg dock ut att vara av ganska liten betydelse.

När det gäller verkningsgraden, så kan man inte hitta några skillnader mellan resultaten för styvheter 80 N/m och 64 N/m, medan verkningsgraden vid 48 N/m ligger några procent lägre vid vågperiodtiden 1,0 s.

Branthetsdiagrammen ger samma tendenser som för övriga provkroppar, se bilaga 13.

Diagrammen med vinkelfrekvensen och amplitudförstärkningen såg ut att ge meningsfulla resultat. Egenvinkelfrekvensen ligger mellan 4,8 och 5 rad/s. Se bilaga 14, 15 och 16. Detta ger att added mass ligger någonstans mellan 2 och 3,3 kg. Dessa värden stämmer väl överens med teorin, som ger added mass 2,5 kg. Värdet är beräknat genom att rita in rektangeln i en något tillplattad cylinder och säga att det vatten, som inskrives i cylindern, svänger med kroppen.

6.4 Rektangel ytskärande

Detta är samma provkropp som "rektangel under vattenytan" fast i det här fallet lät vi halva provkroppen sticka upp ur vattenet. I och med att den är ytskärande, borde den inte finnas med i detta examensarbete, men vi ville ha en boj av "konventionell typ" att jämföra med. Detta gäller även den ytskärande sfären.

Provkroppen visade sig ge de bästa verkningsgraderna vid ungefär samma ställen som när rektangeln var placerad under vattenytan, dvs vid vågtiderna 1,15 och 1,3 s. Verkningsgradstopparna vid dessa vågperiodtider återfinns vid de lägsta våghöjderna, där verkningsgraden nådde upp till 40%, se bilaga 17.

Medelhög dämpning (25, 27, 29) är gynnsammast vid låga vågor. Vid högre vågor än 0,04 m är dämpningen 32 bäst, se bilaga 18. Vid de högsta dämpningarna tappades flera procent på verkningsgraden vid de lägsta våghöjderna, och vid de lägre dämpningarna var det tvärtom.

Styvheten på fjädrarna har även här ganska liten betydelse. Hög styvhet ger de högsta värdena, medan låg styvhet ger jämnare värden. Stabiliteten hos kroppen var bra.

Verkningsgraden var ganska oberoende av brantheten vid vågperioden 1,0 s, men för övriga vågperiodtider avtog verkningsgraden med ökad branthet, se bilaga 19.

Egenvinkelfrekvensen ligger på 4,9 rad/s. Vid våghöjden 0,09 m kan man ana att den ligger på samma ställe, se bilaga 20.

6.5 Sfären ytskärande

Sfären provades så att 50% av volymen befann sig under vatten. Provkroppens densitet är $0,07 \text{ kg/dm}^3$ och vikten är 0,125 kg.

Vid en vågtid på 1,0 s fick man en verkningsgrad på ca 30% när vi hade ganska höga vågor. En hög dämpning ger bättre värden på verkningsgraden, se bilaga 21. Här hade vi möjlighet att variera styvheten på fjädern. Vi hade två alternativ, nämligen 16 N/m och 32 N/m. Vid den här vågperioden så visade sig styvheten 16 N/m vara bäst.

Då vi ändrade vågperiodtiden till 1,15 s samt 1,3 s gjordes samma iakttagelser som vid vågperiodtiden 1,0 s, enl ovan, med den skillnaden att verkningsgraden vid 32 N/m var högre vid dessa vågperiodtider.

Då vågperiodtiden ändrades till 1,45 s noterades en något lägre verkningsgrad. Här är dock verkningsgraden bättre för mindre vågor, se bilaga 22.

En hög dämpning ger även här bäst värden. Styvheten 16 N/m ger åter igen bättre verkningsgrad.

För vågperiodtiden 1,75 s så får man genomgående sämre värden på verkningsgraden (max 8%), men den är däremot relativt jämn och oberoende av våghöjden.

Branthetsdiagrammen återfinns i bilaga 13 och är av samma typ som för övriga kroppar.

6.6 Sfären nedsänkt 10 mm under vattenytan

Det var samma sfär som användes ytskärande. Vi gjorde inte många försök för det här fallet, då det visade sig att sfären knappast utförde några vertikala rörelser. Men den svängde desto mer fram och tillbaka. Detta medförde att verkningsgraderna inte blev så stora, så vi beslöt att inte utföra några försök med sfären under vattenytan.

6.7 Cylinder

Cylindern slutade vi ganska omgående att göra försök med eftersom den aldrig kunde fås att stå vinkelrätt mot vågorna mer än ett fåtal sekunder. Så fort cylindern vrider sig det minsta ställer den sig snabbt 90° mot vågorna.

Några tendenser att hög dämpning, stor styvhet eller höga vågor skulle ändra på detta förhållande kunde vi inte iakttaga. Några fortsatta försök med cylindern utfördes ej.

6.8 Lätta diskusen

Den här diskusen hade en densitet på $0,33 \text{ kg/dm}^3$ och dess vikt var 1,845 kg. Förutom vertikala rörelser så utförde den också ganska stora horisontella rörelser. Vid ökande våghöjd så vippade den allt mer fram och tillbaka under tiden den utförde sina svängningar, se bilaga 43.

När verkningsgraden ritades in i ett η -H diagram, så framgick därav att man fick den bästa verkningsgraden vid den kortaste vågperiodtiden, 1,0 s. Vid en ökande vågperiodtid så erhöles allt sämre verkningsgrad utom vid $T = 1,3 \text{ s}$, som visade bättre värden än vid $T = 1,15 \text{ s}$.

Vid vågtiden 1,0 s så fick man den bästa verkningsgraden, ca 60%, vid dämpningar omkring 25, se bilaga 26. Vid de andra vågtiderna erhöles en bättre verkningsgrad vid de högsta dämpningarna, se bilaga 25.

Beträffande våghöjderna så gav små vågor (20 mm) bäst verkningsgrad, utom vid vågtiden 1,45 s, där våghöjden 40 mm gav bäst värden. Vid vågtiden 1,0 s minskade verkningsgraden fram till våghöjden 60 mm, där verkningsgraden ökade något, se bilaga 26.

Tyvärr så hade vi inte någon möjlighet att variera styvheten för denna profil utan vi har använt styvheten 80 N/m hela tiden. För denna profil är det alltså bäst med korta, låga vågor. Då får man en verkningsgrad på upp till 65% se bilaga 26, annars ligger den mellan 5% och 40%, se bilaga 25.

Om man tittar i egenvinkelfrekvensdiagrammen så finner man att vi får en topp i diagrammet. Den motsvarar egenvinkelfrekvensen, ω_e , se bilaga 29. För 20 mm:s våghöjd får vi $\omega_e = 4,8$ rad/s och för våghöjderna 40, 60 och 90 mm får vi $\omega_e = 4,3$ rad/s. Added mass blir då 1,6 kg respektive 2,5 kg.

Branthetsdiagrammen i bilaga 24 och 27 visar inga tendenser utöver tidigare nämnda.

6.9 Mellantunga diskusen

Densiteten på denna provkropp var $0,57 \text{ kg/dm}^3$ och vikten var 3.165 kg. Profilen uppförde sig inte lika stabilt som den lätta diskusen utan vippade fram och tillbaka med en vinkel mot horisontalplanet på upp till 25° (se bilaga 43 för rörelsemönster och bilaga 44 för arbetskurvan). En dramatisk skillnad i rörelsemönstret sker vid vågtiden 1,0 s, då diskusens rörelsecykel upptar två vågor. Vid den första vågen vinklades diskusens undersida upp mot vågens anfallsriktning och vid den andra vågen diskusens översida.

Verkningsgraden blev störst för en vågperiod på 1,0 s och avtog sedan med ökad vågperiodtid. Men vid 1,45 s så fick man en liten ökning av verkningsgraden jämfört med värdena för $T = 1,3$ s. Genomgående fick man en bättre verkningsgrad vid ökad dämpning. Dämpning 34 gav således det bästa värdet på η .

Låga vågor gav den bästa verkningsgraden. Då våghöjden ökade så minskade η . Vid vågperiodtiden 1,15 s så har man en hög verkningsgrad vid låga vågor som sedan avtar tills vågorna blir ca 60 mm. Där ökar verkningsgraden igen med ökad våghöjd och når nästan upp till samma höga värde som vid 20 mm:s vågor.

Styvhet 64 N/m tycks vara bättre än 80 N/m. Skillnaden var störst vid den lägsta vågperiodtiden (1,0 s). Vid de andra vågperiodtiderna var skillnaden obetydlig, se bilaga 30 till 33.

Sammanfattningsvis kan sägas att denna profil var bäst för låga, korta vågor samt en hög dämpning. Maximala verkningsgraden var då ca 80%. Annars varierade den mellan 10 och 35%.

Någon markerad topp kunde inte noteras i egenvinkelfrekvensdiagrammet, men för våghöjderna 20 och 40 mm så fanns det i alla fall en upphöjning i diagrammet, se bilaga 36 och 37. Tyvärr så stiger kurvorna vid en ökad vinkelfrekvens och man kan misstänka att den sökta amplitudförstärkningen ligger utanför vårt mätområde. Låt oss anta att de omtalade upphöjningarna är de sökta, då får vi ω_e till 4,3 rad/s. Det ger, då diskusens vikt är 3.165 kg, en added mass på ca 0,3 kg.

Branthetsdiagrammen återfinns på bilaga 34 och 35.

6.10 Tunga diskusen

Den här profilen har en densitet på 0,81 kg/dm³ och en vikt på 4,565 kg. Provkroppen svänger med i vattnets rörelser och är mycket stillsam vid låga våghöjder. Annars liknar rörelsemönstret det hos den mellantunga diskusen, men den tunga rör sig betydligt lugnare.

Verkningsgraden blev störst för en vågperiodtid på 1,0 s, för att sedan minska med ökad vågperiodtid, se bilaga 39. En hög dämpning gav bättre verkningsgrad än en låg. Även här gav korta, låga vågor den bästa verkningsgraden. Den minskade med ökad våghöjd, men minskningen är inte lika snabb som för de andra diskusarna. Det vill säga att kurvan i η -H diagrammet är

flackare. Tyvärr kunde vi inte heller här ändra styvheten, utan vi har haft 32 N/m konstant.

Denna profil fick även den högst verkningsgrad för låga, korta vågor och nådde som bäst upp till 45% verkningsgrad.

Då vi betraktade egenvinkelfrekvensdiagrammet för de olika våghöjderna, så kunde vi bara hitta en markerad topp för våghöjderna 60 och 90 mm, se bilaga 41. Där framgick att $\omega_e = 4,3$ rad/s. Det ger enligt det förut nämnda att added mass blir -2,8 kg.

Inte heller här kunde branthetsdiagrammen visa några nya resultat, utöver vad som tidigare sagts, se bilaga 38 och 40.

6.11 Sammanfattning av utvärderingen

Sammanfattningsvis så kan sägas att diskusarna genomgående hade högre verkningsgrad än de andra profilerna. Det beror troligen på att förhållandet mellan våglängden och provkroppens utbredning i längdriktningen är av viss betydelse.

Av diskusarna gav den mellantunga diskusen högst verkningsgrad. Dess värden på verkningsgraden ligger genomgående högre än för de andra diskusarna. Men framför allt så ligger maxvärdena högre för denna profil. En kort vågperiod och en liten våghöjd gav högst värden på verkningsgraden.

Negativ added mass som erhöles för en del provkroppar kan förklaras genom att provkropparna under vattenytan ibland skar den samma.

7. FORTSATTA FÖRSÖK

Det vore intressant att utföra försök med diskusarna. Men denna gång skulle man kunna använda sig av tre infästningar, där var och en skulle vara direkt infäst i botten. På så sätt skulle man utnyttja provkropparnas rörelser på ett bättre sätt. Se fig. 3.

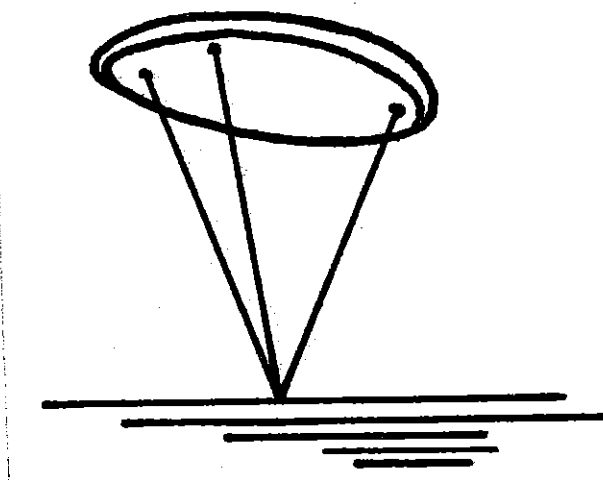


Fig. 3 Diskus med tre infästningar utan hanfot.

8. REFERENSER

- [1] Shore Protection Manual, US Army Coastal Engineering Research Center, Kingsman Building, Fort Belvoir Virginia 22060.
- [2] Åke Sandström: Measurement of Incident Wave Height in Composite Wave Trains, Bulletin No 89, Hydraulics Laboratory Royal Institute of Technology, Stockholm 1975.
- [3] Vågenergi i Sverige. Planeringsrapport NE 1977:4, Nämnden för energiproduktionsforskning, planeringsgruppen för vågenergi.
- [4] Akvatisk energi, Resultatrapport NE 1981:16. Nämnden för energiproduktionsforskning.
- [5] Klas Cederwall: Vågmekanik, Våghydrologi och Vågkrafter på Vattenbyggnadskonstruktioner, Institutionen för Vattenbyggnad CTH 10:1968.

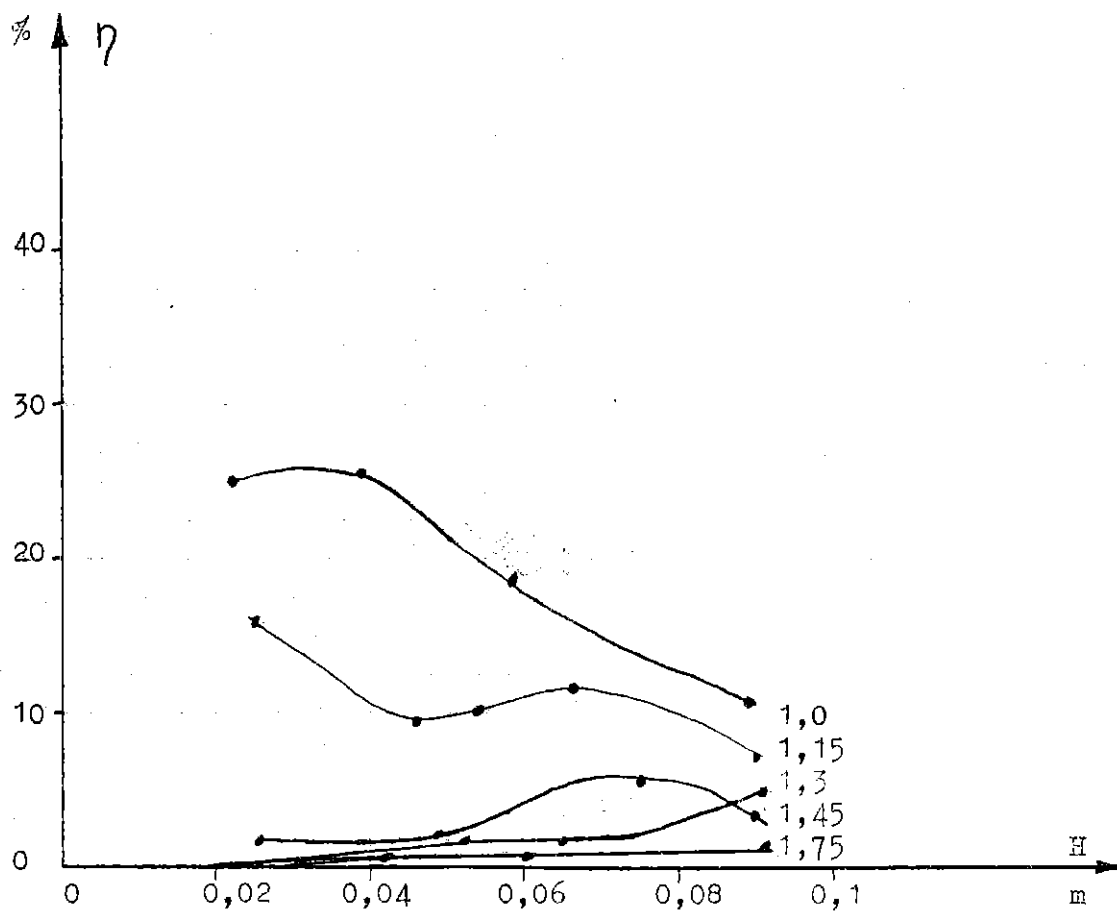
VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN
VID OLIKA VÅGPERIODTID

Vinge 1

Styvhet 64 N/m

Dämpning 29

Vågtiden vid resp kurva



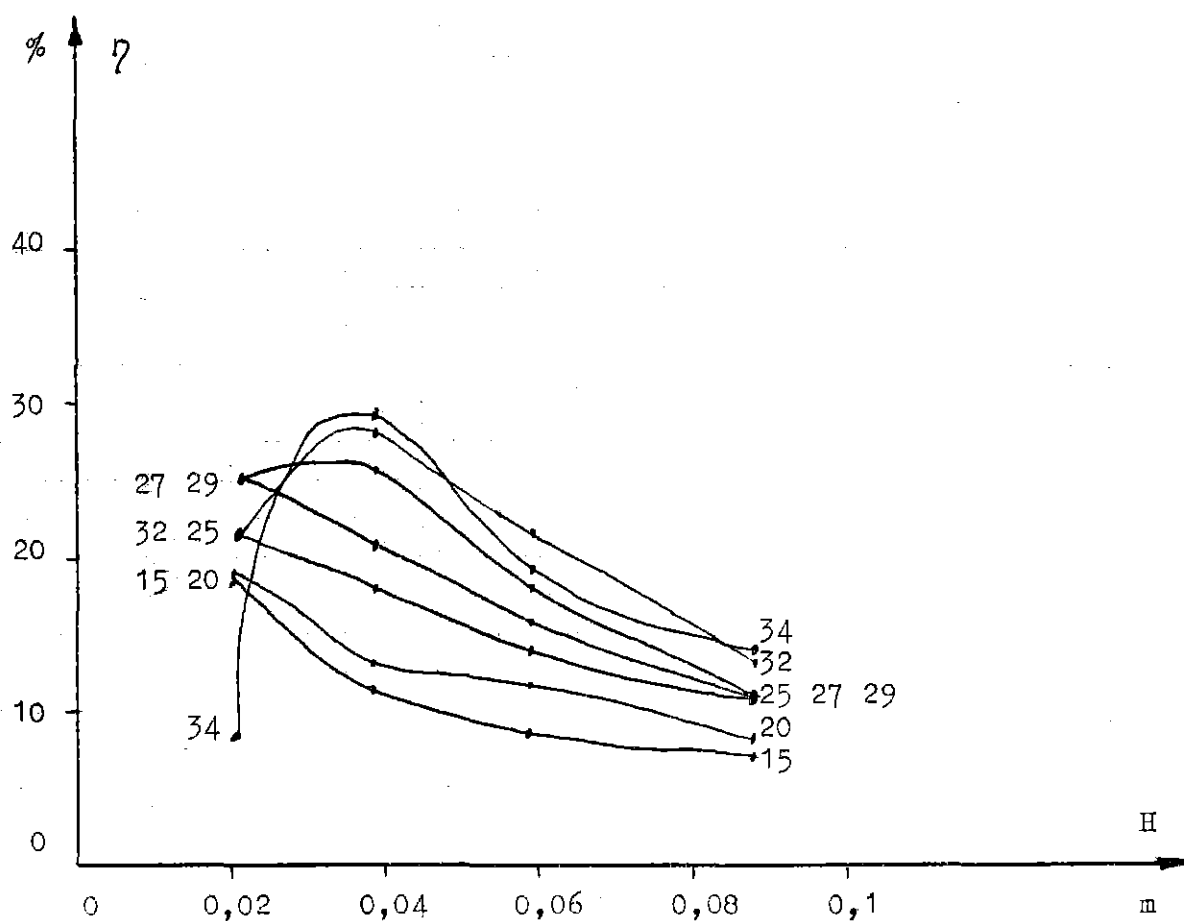
VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA DÄMPNINGAR

Vinge 1

Vågperiodtid 1.0 s

Styvhet 64 N/m

Dämpning vid resp kurva



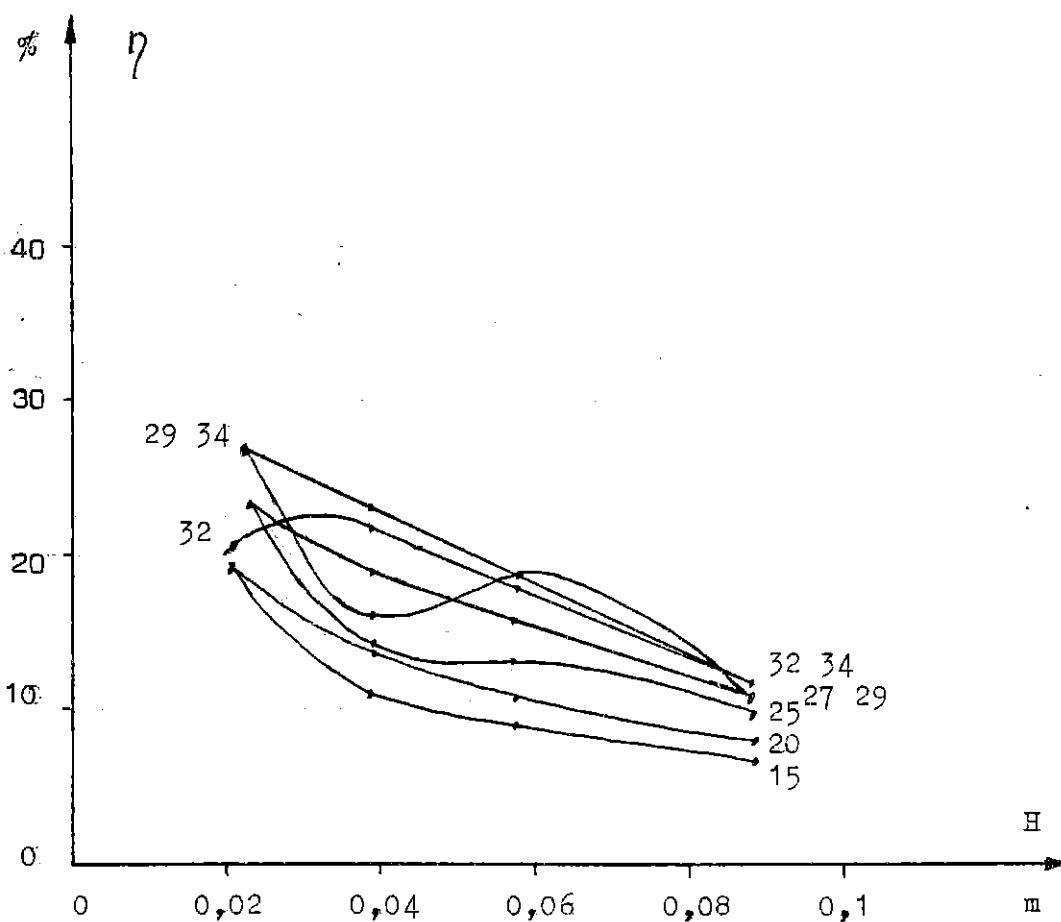
VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA DÄMPNINGAR

Vinge 1

Vågperiodtid 1.0 s

Styvhet 80 N/m

Dämpning vid resp kurva

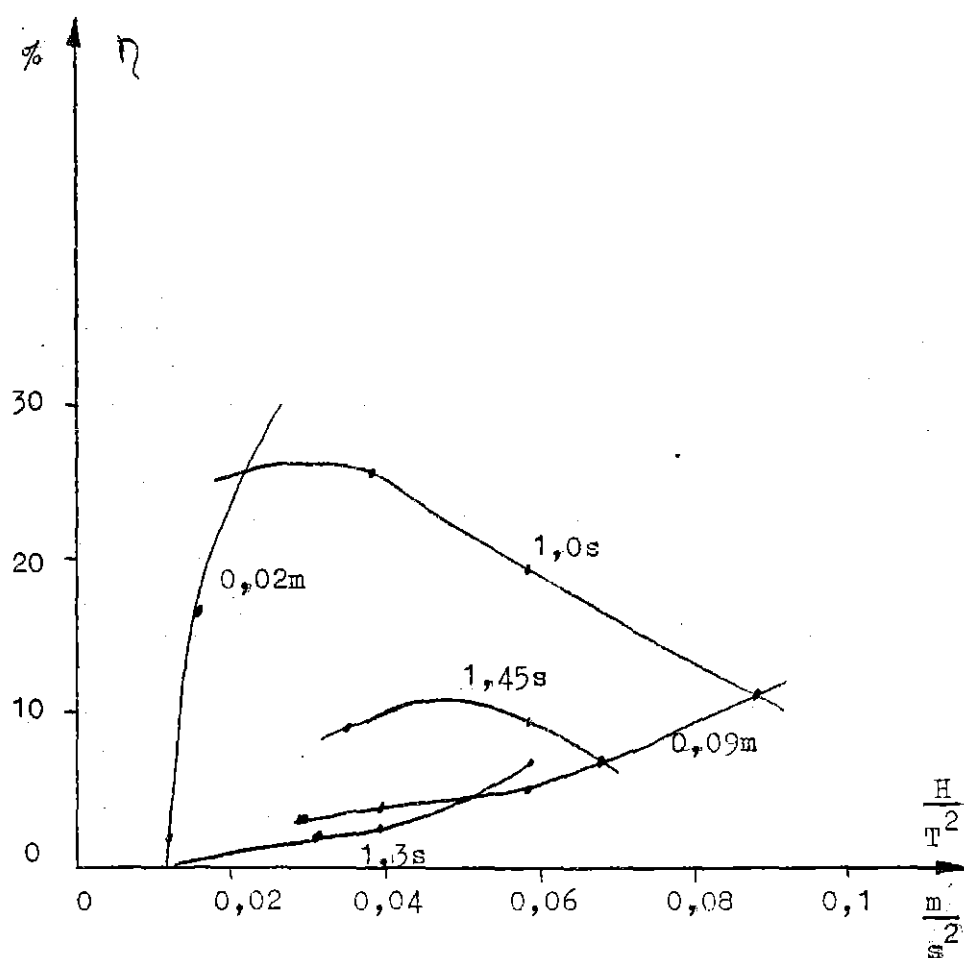


BRANTHETSDIAGRAM

Vinge 1

Styvhet 64 N/m

Konstantvåghöjd eller vågperiodtid är
angivet brevid respektive kurva



Vinge 1

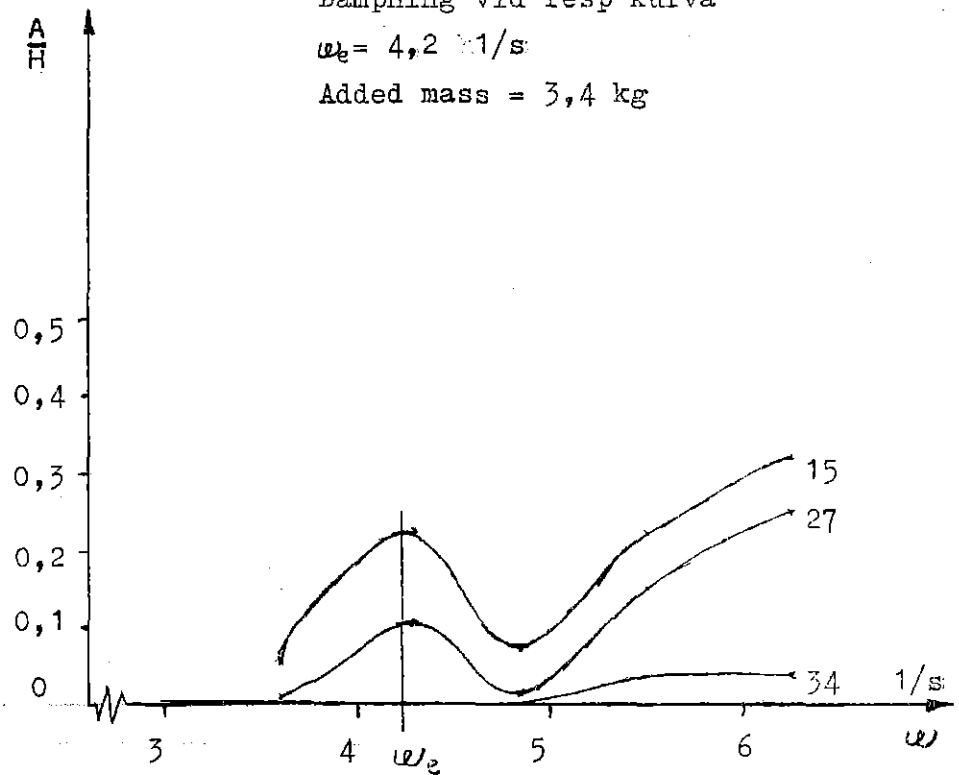
Styvhet 64 N/m

Våghöjd 0,02 m

Dämpning vid resp kurva

$\omega_e = 4,2$ 1/s

Added mass = 3,4 kg



Vinge 1

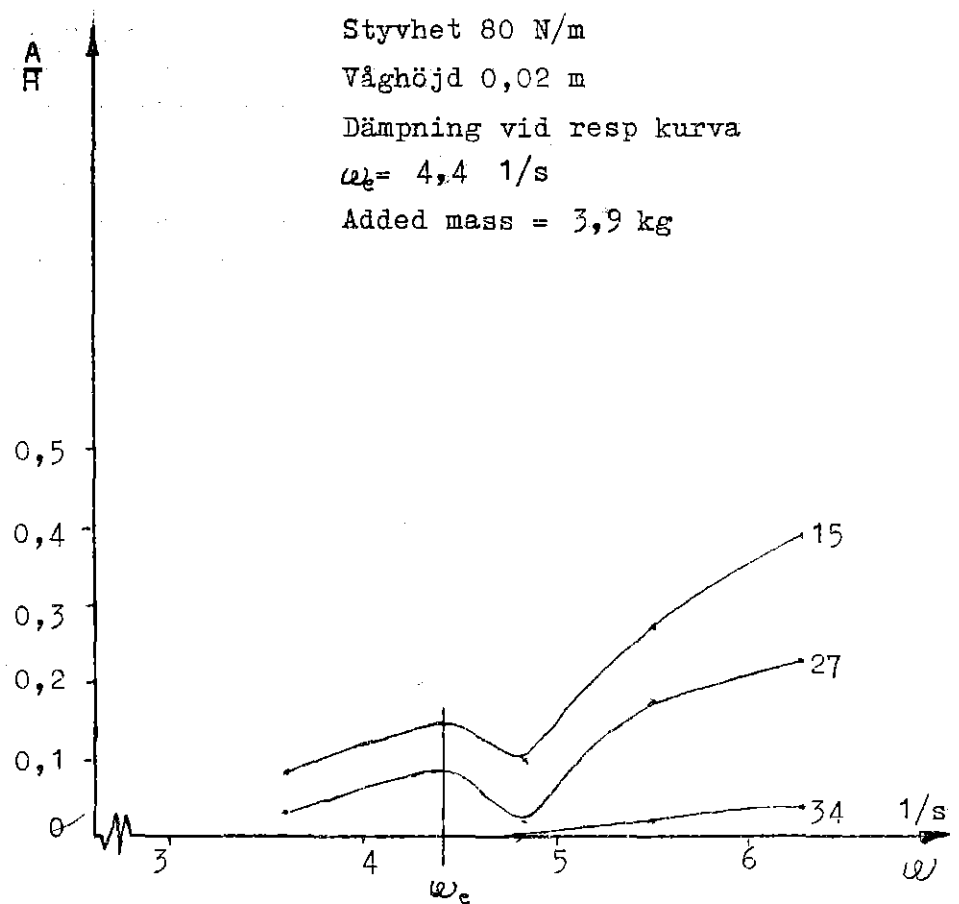
Styvhet 80 N/m

Våghöjd 0,02 m

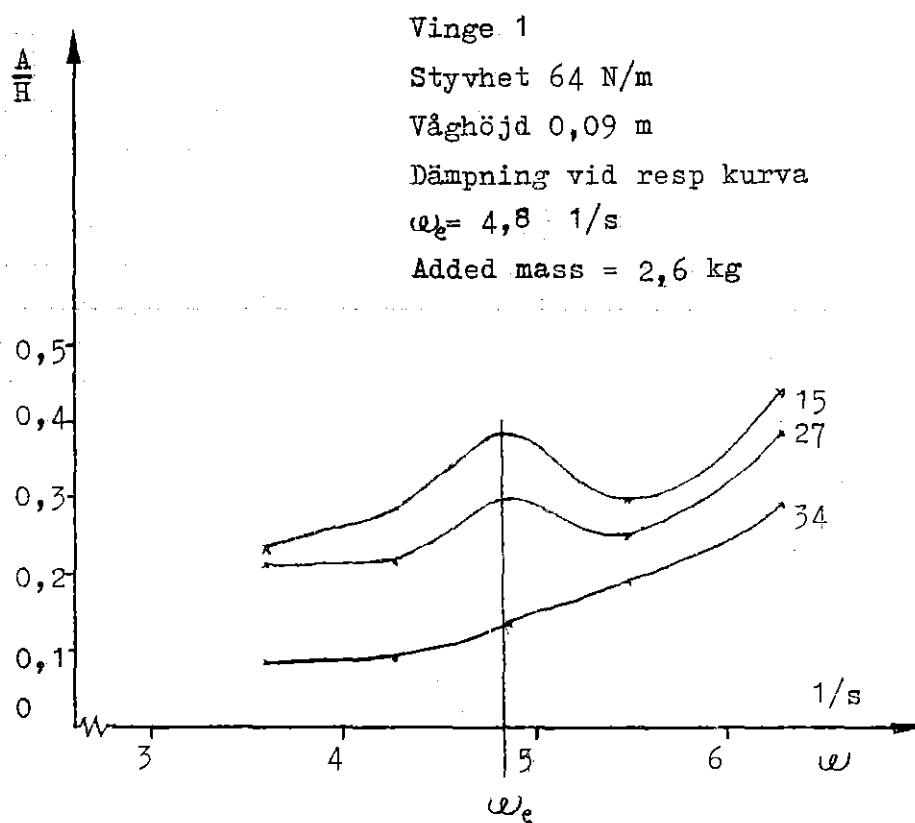
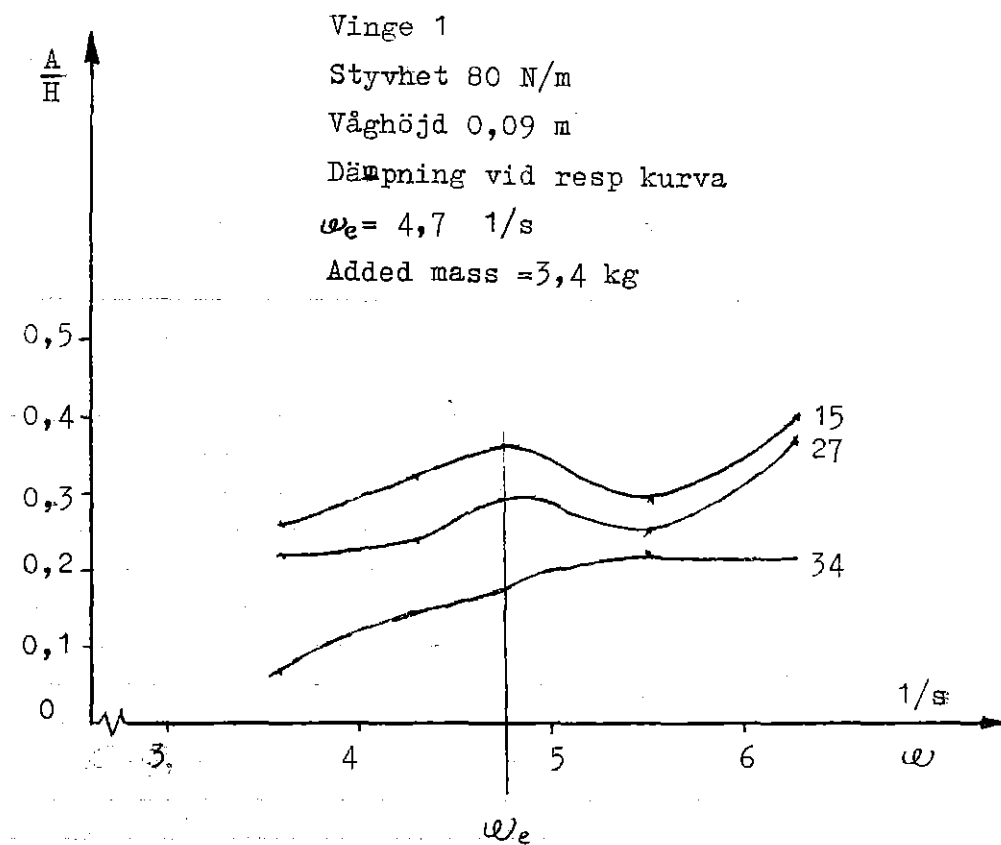
Dämpning vid resp kurva

$\omega_e = 4,4$ 1/s

Added mass = 3,9 kg



EGENVINKELFREKVENSEN



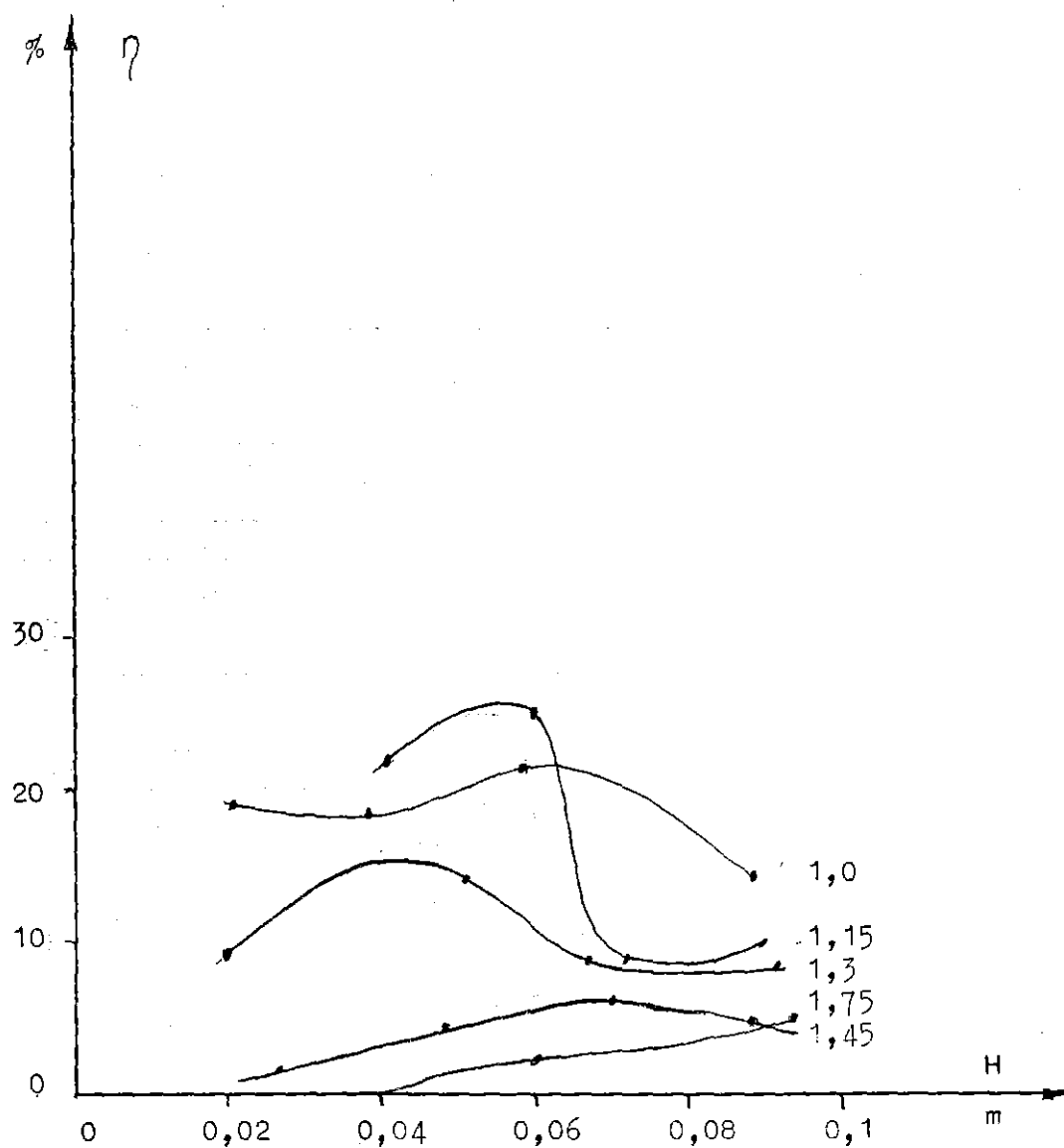
VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA
VÅGPERIODTID

Vinge 2

Styvhet 16 N/m

Dämpning 32

Vågperiodtid vid resp. kurva



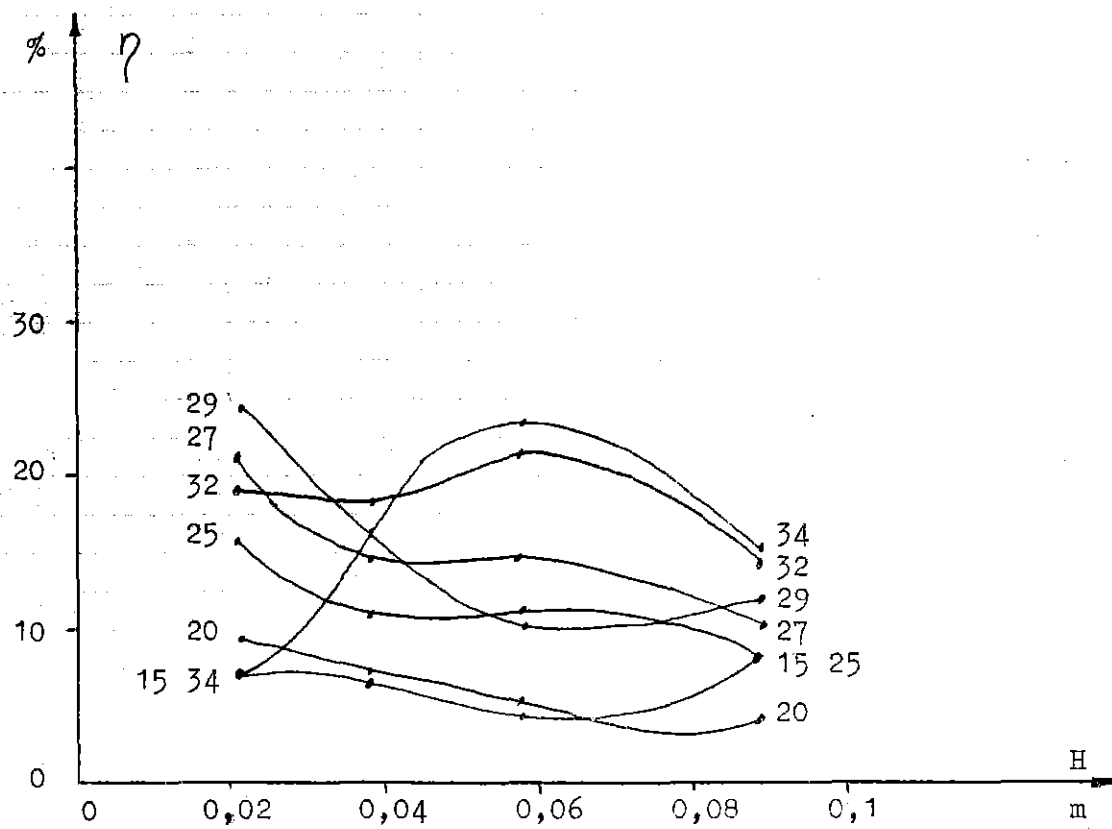
VERKNINGSSRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA DÄMPNINGAR

Vinge 2

Vågperiodtid 1.0 s

Styvhet 16 N/m

Dämpning vid resp kurva



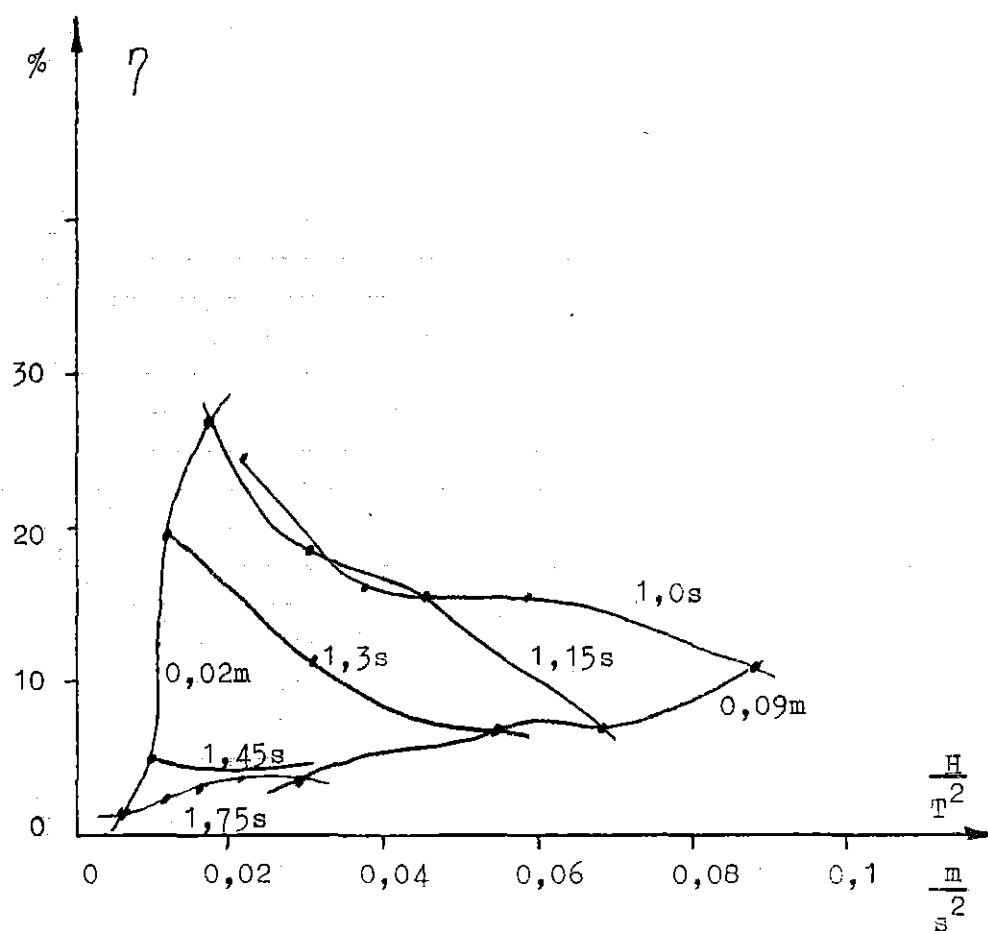
BRANTHETSDIAGRAM

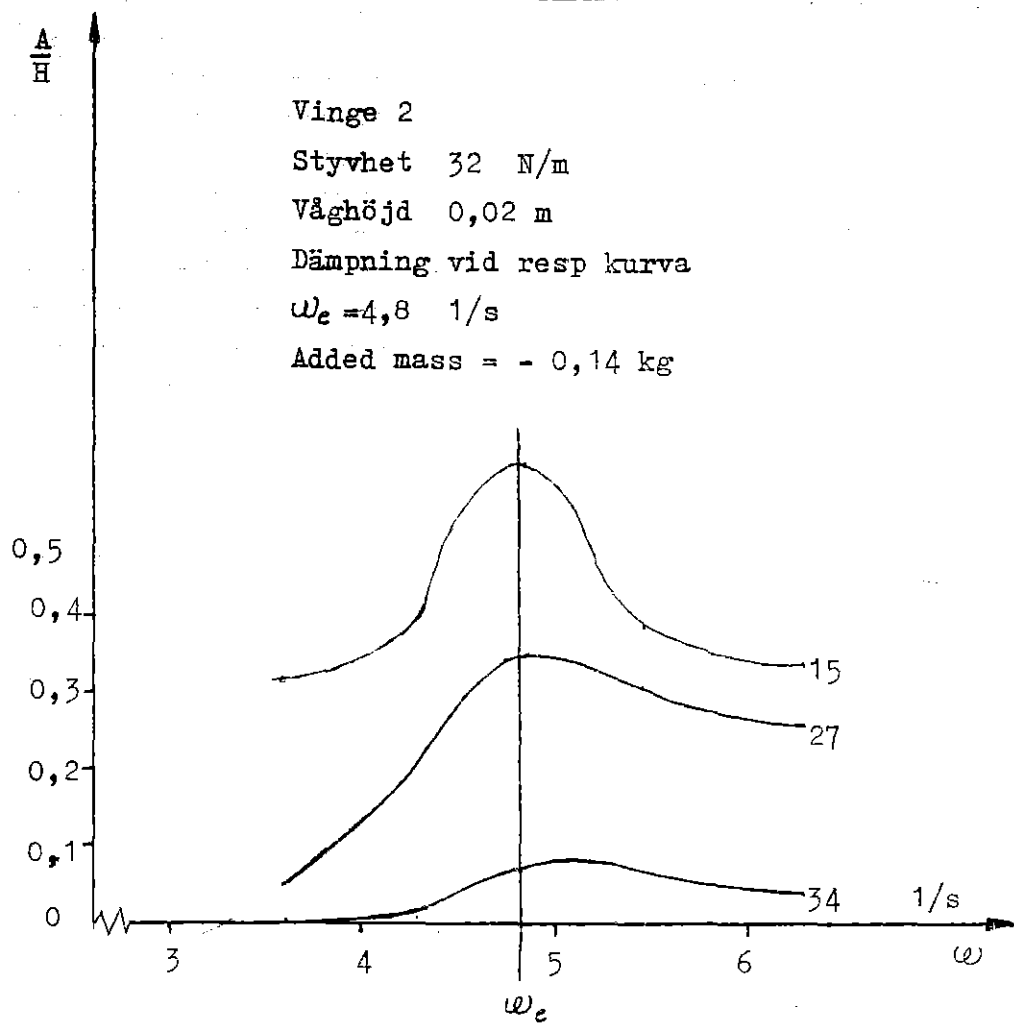
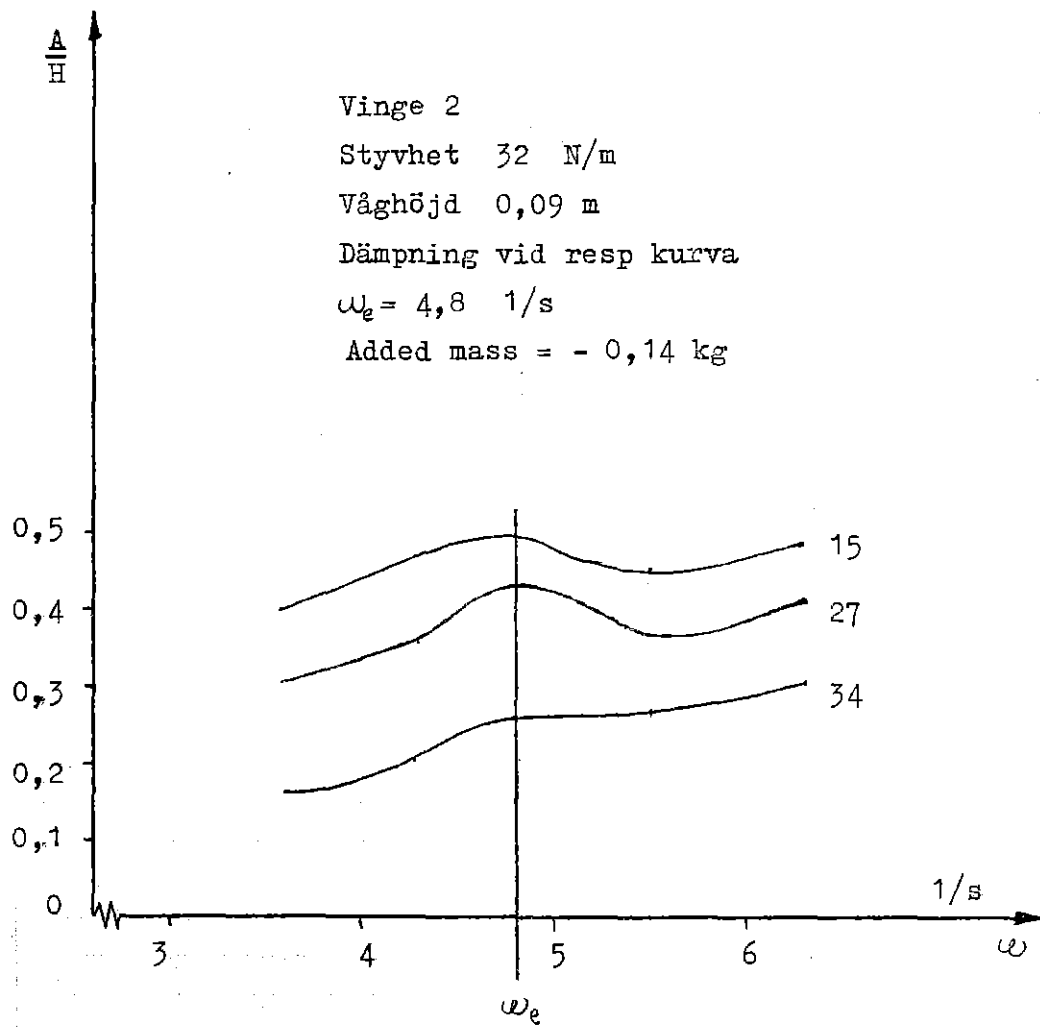
Vinge 2

Styvhet 32 N/m

Dämpning 32

Konstant våghöjd eller vågperiodtid är
angivet bredvid resp kurva





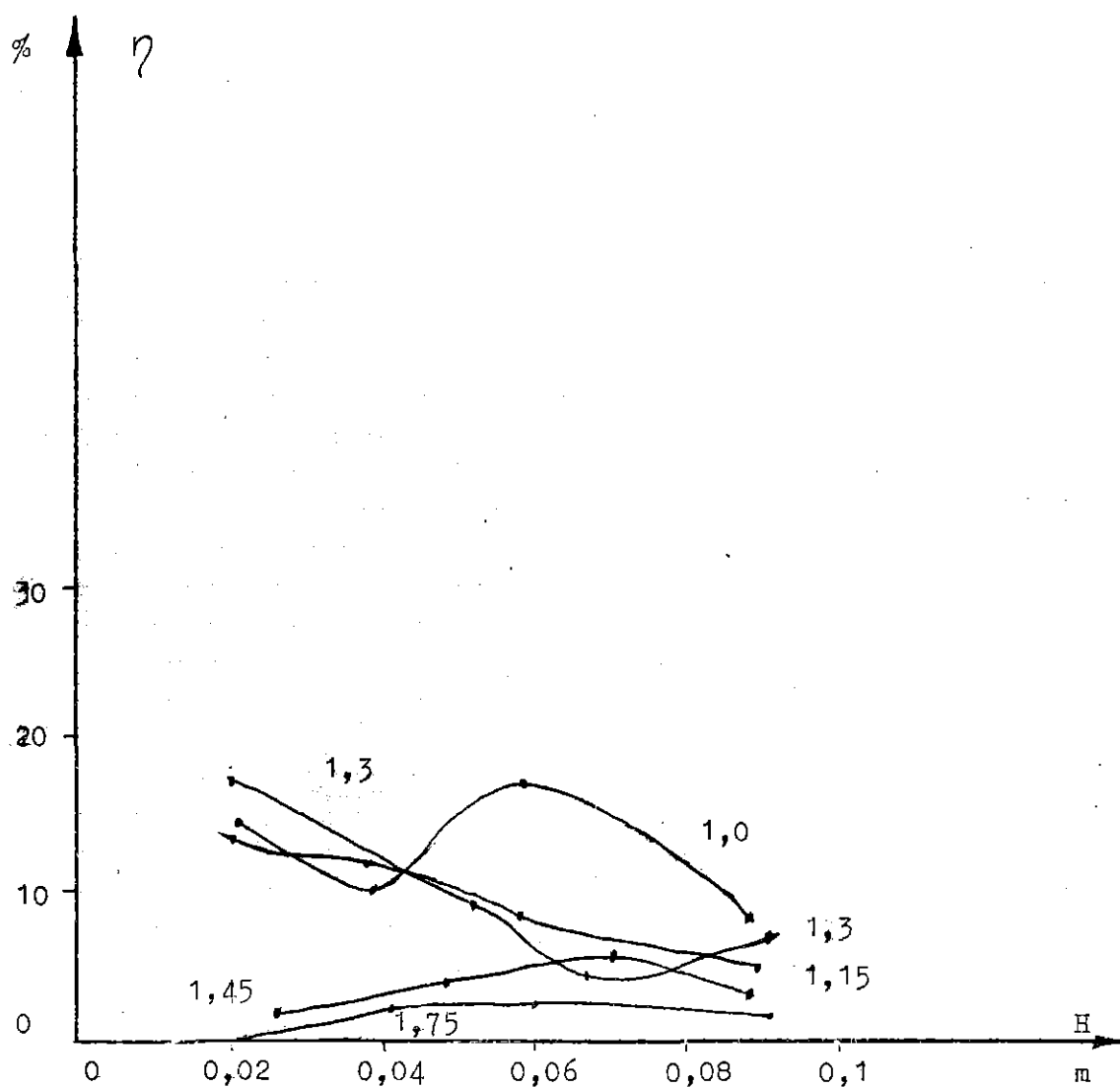
VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA VÅGPERIODTID

Rektangel 10 mm under ytan

Styvhet 48 N/m

Dämpning 27

Vågperiodtid vid resp. kurva



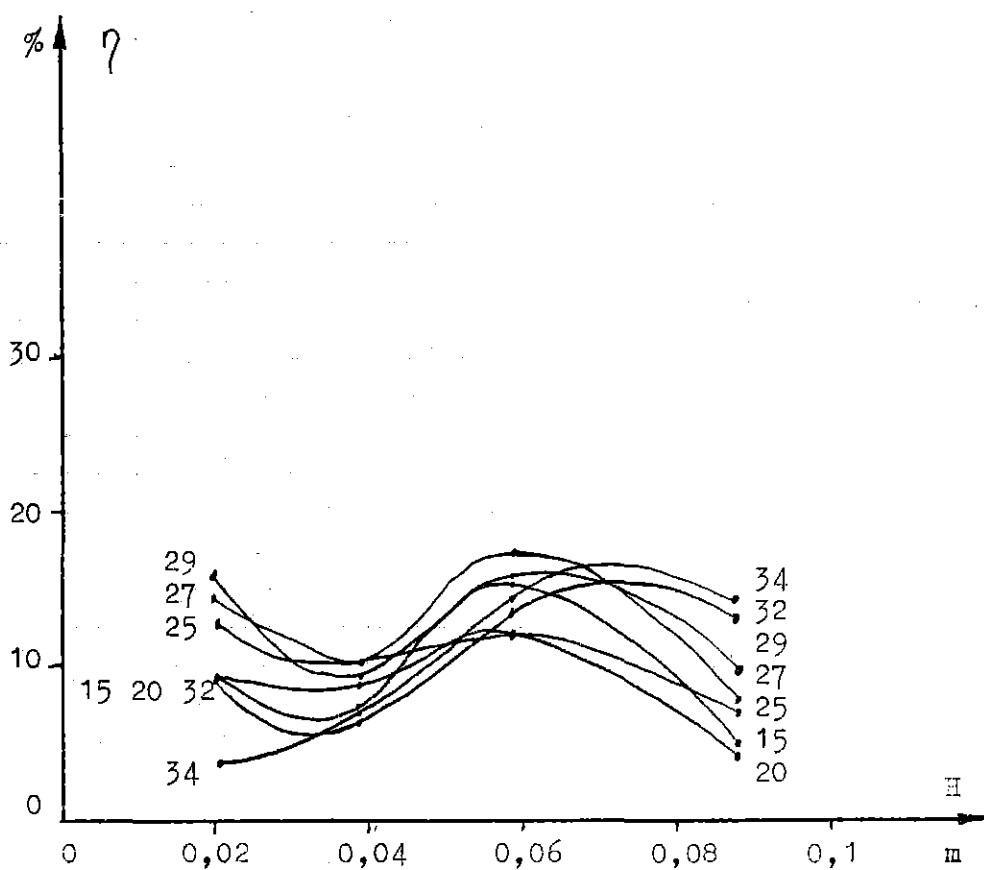
VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA DÄMPNINGAR

Rektangel 10 mm under vattenytan

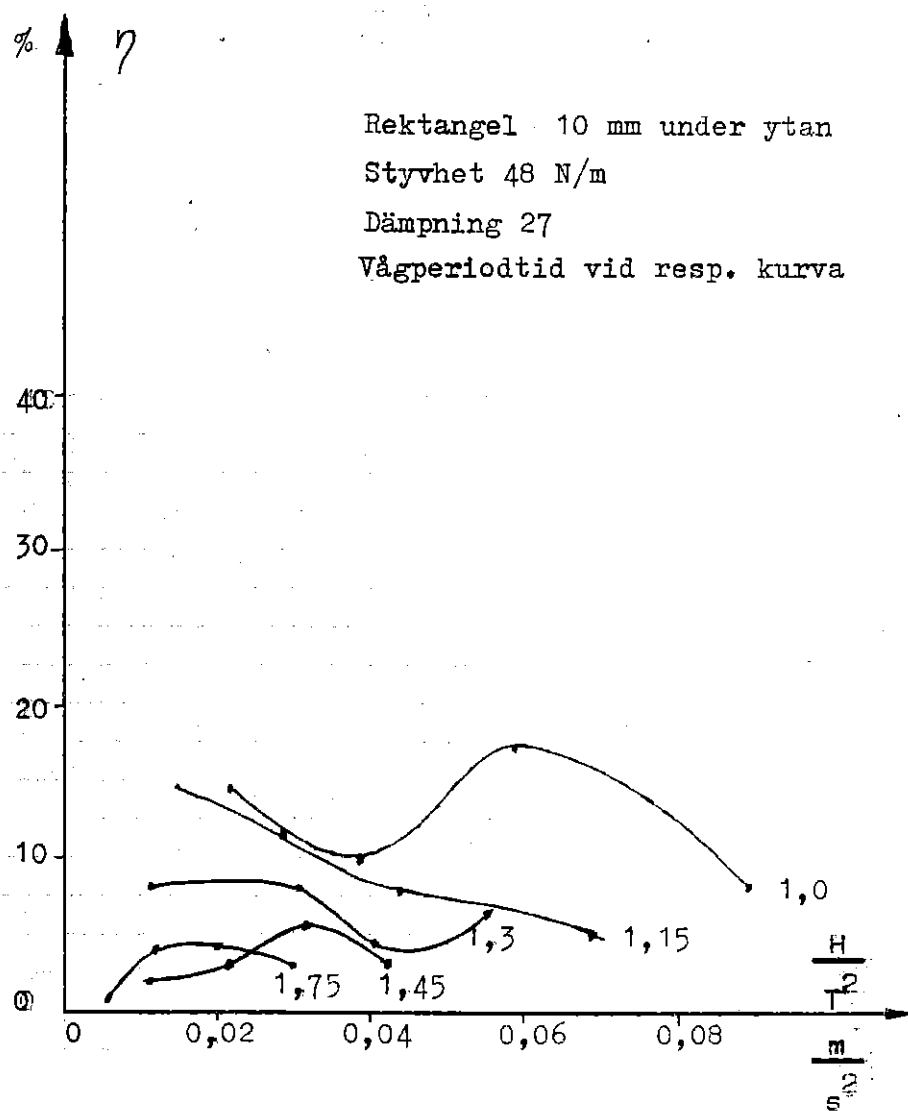
Vågperiodtid 1.0 s

Styvhet 48 N/m

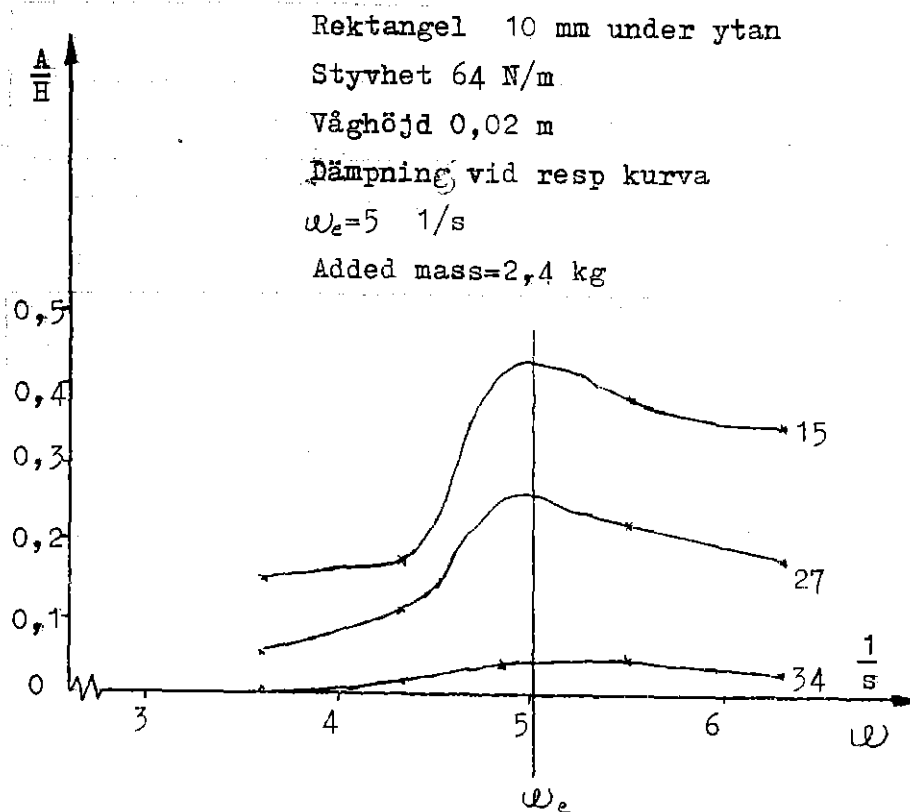
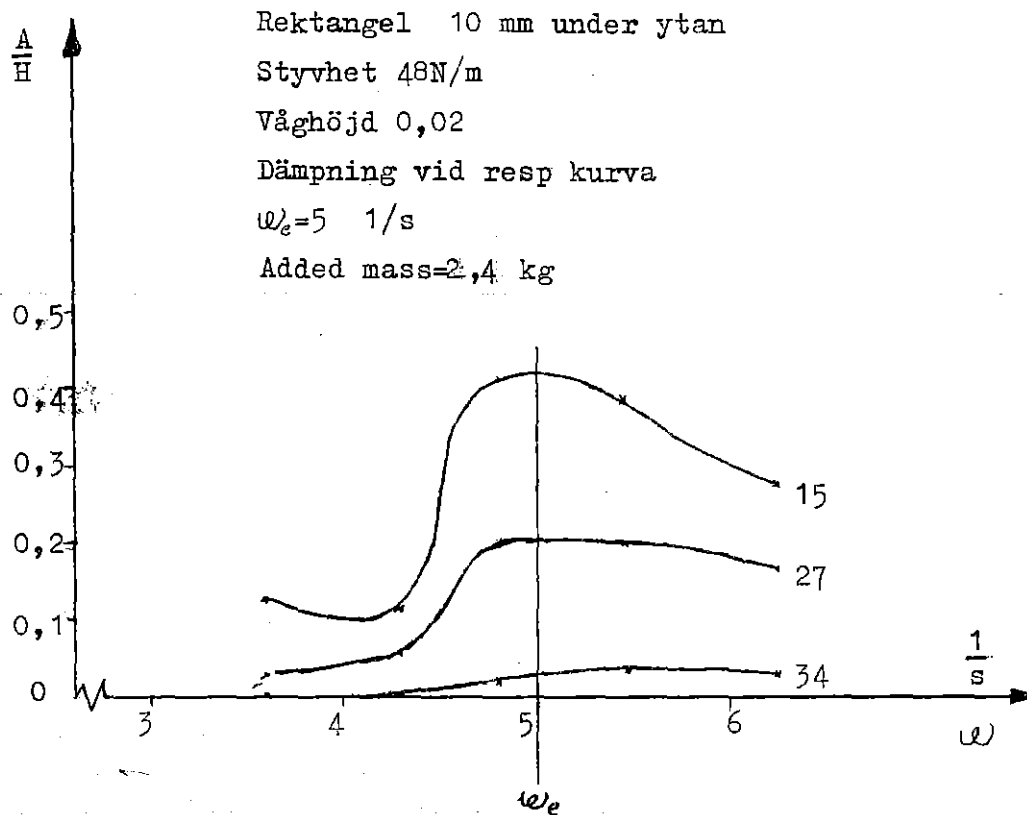
Dämpning vid resp kurva



BRANTHETSDIAGRAM



EGENWINKELFREKVENSEN



EGENVINKELFREKVENSEN

Rektangel 10 mm under ytan

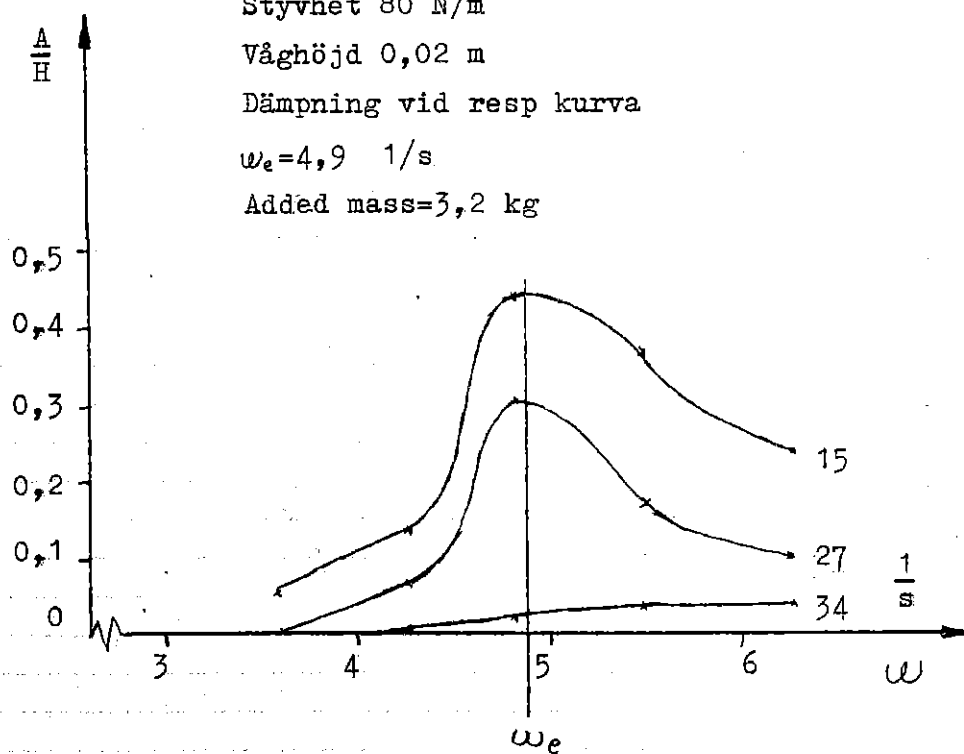
Styvhet 80 N/m

Våghöjd 0,02 m

Dämpning vid resp kurva

 $\omega_e = 4,9 \text{ 1/s}$

Added mass = 3,2 kg

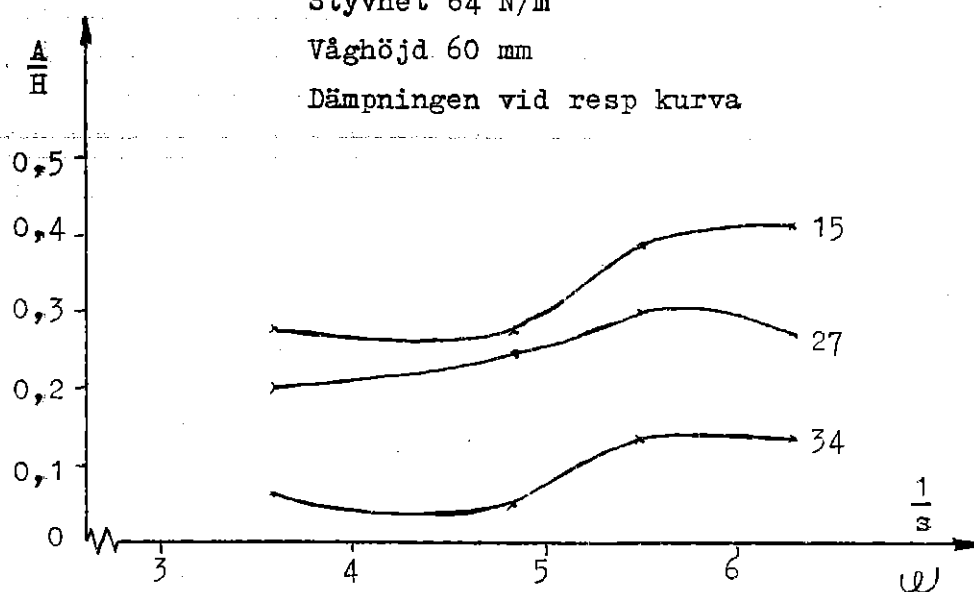


Rektangel 10 mm under ytan

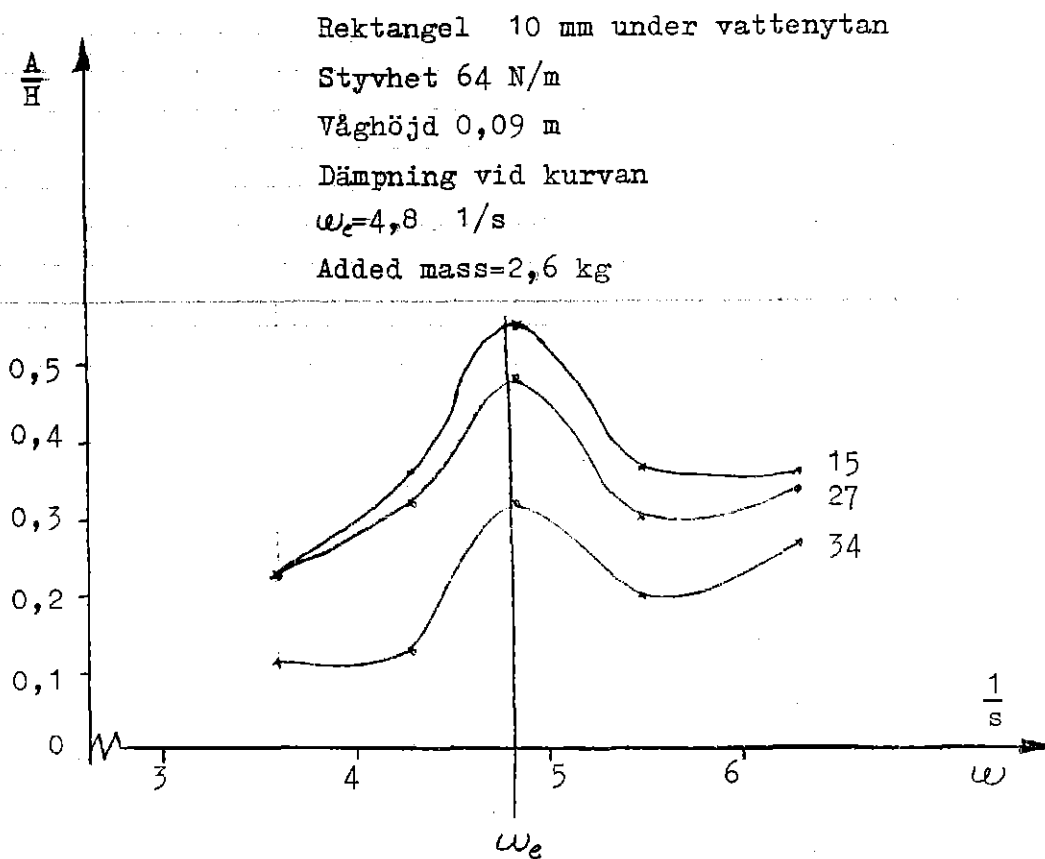
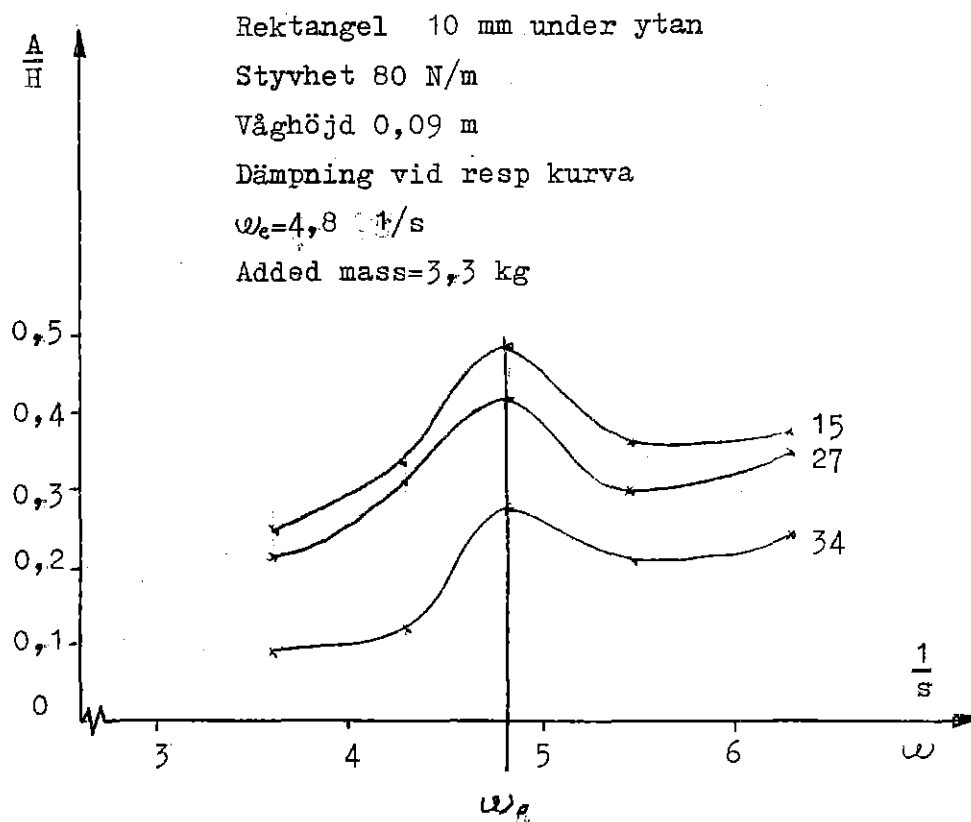
Styvhet 64 N/m

Våghöjd 60 mm

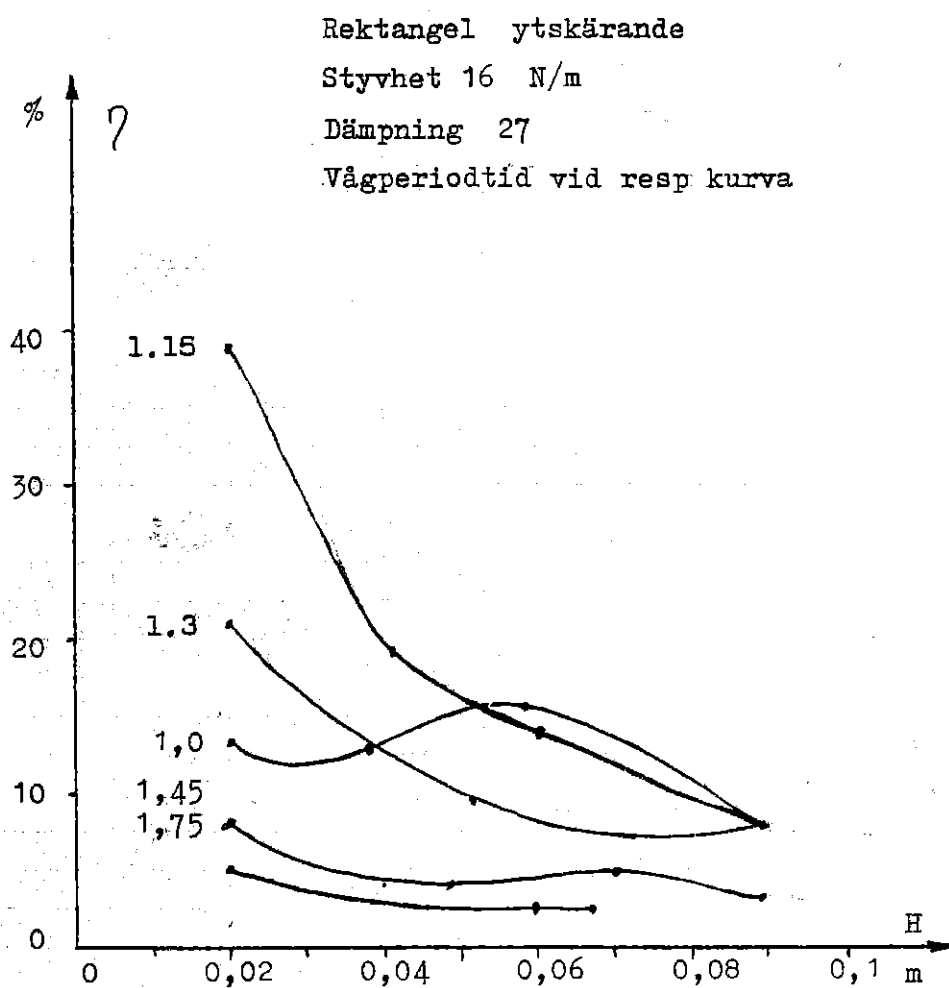
Dämpningen vid resp kurva



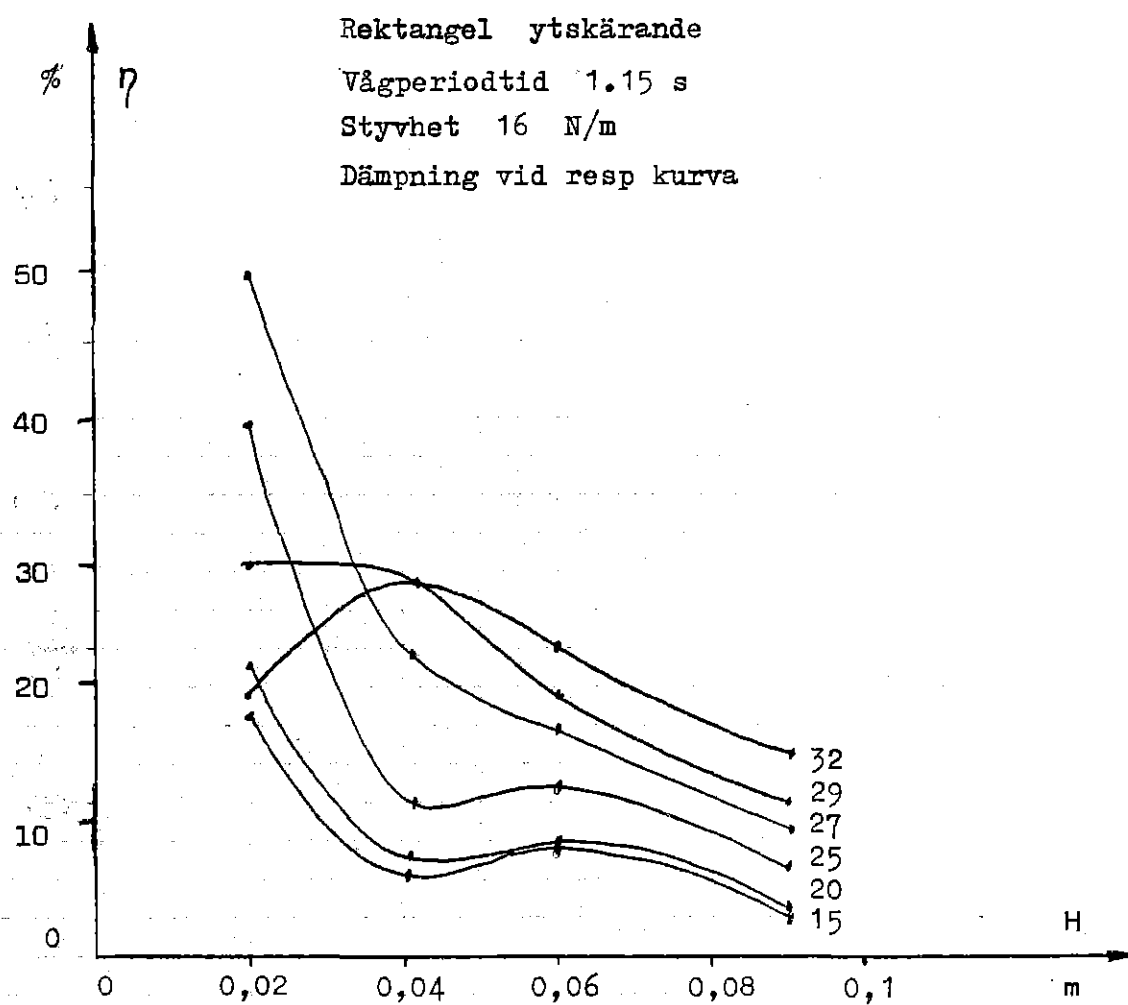
EGENWINKELFREKVENSEN



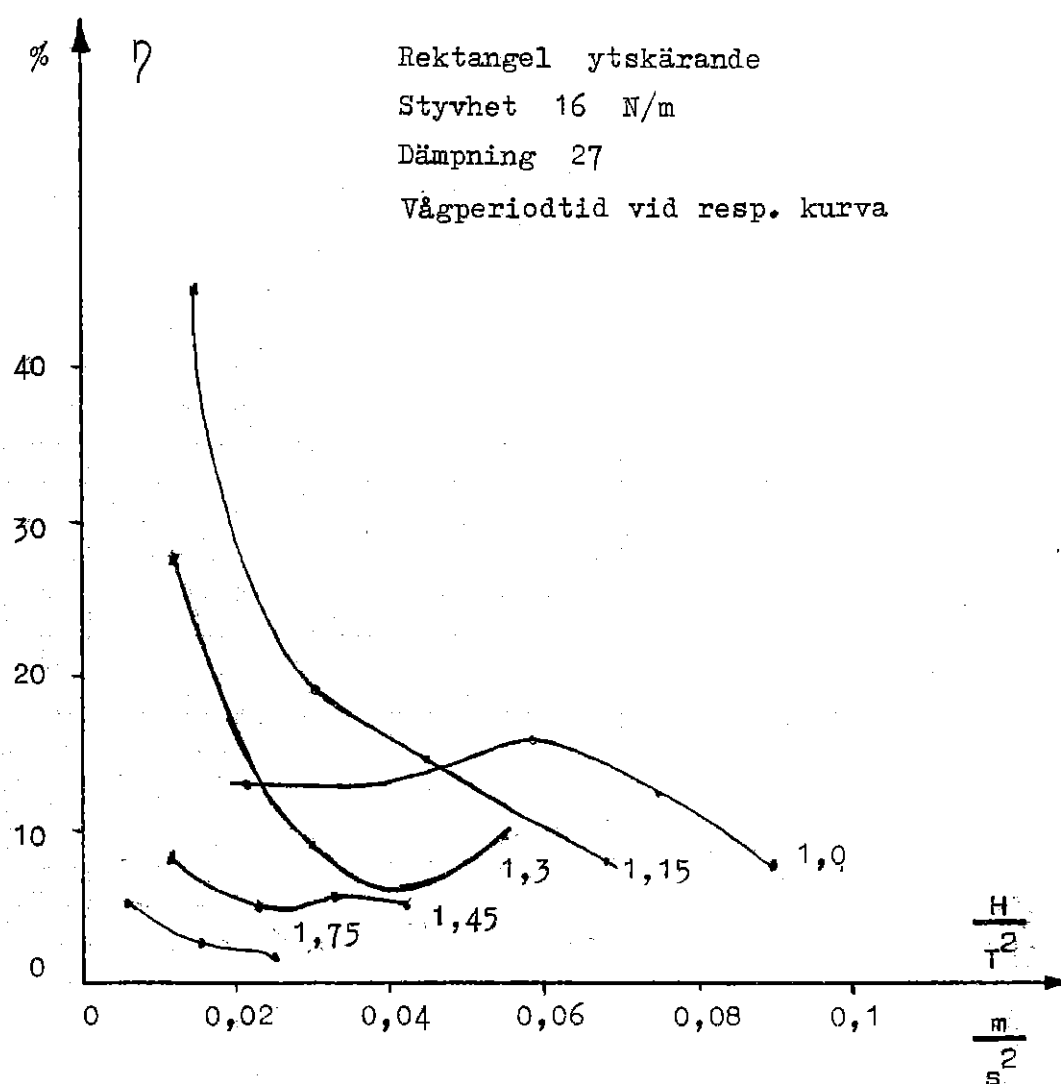
VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA VÅGPERIODTID



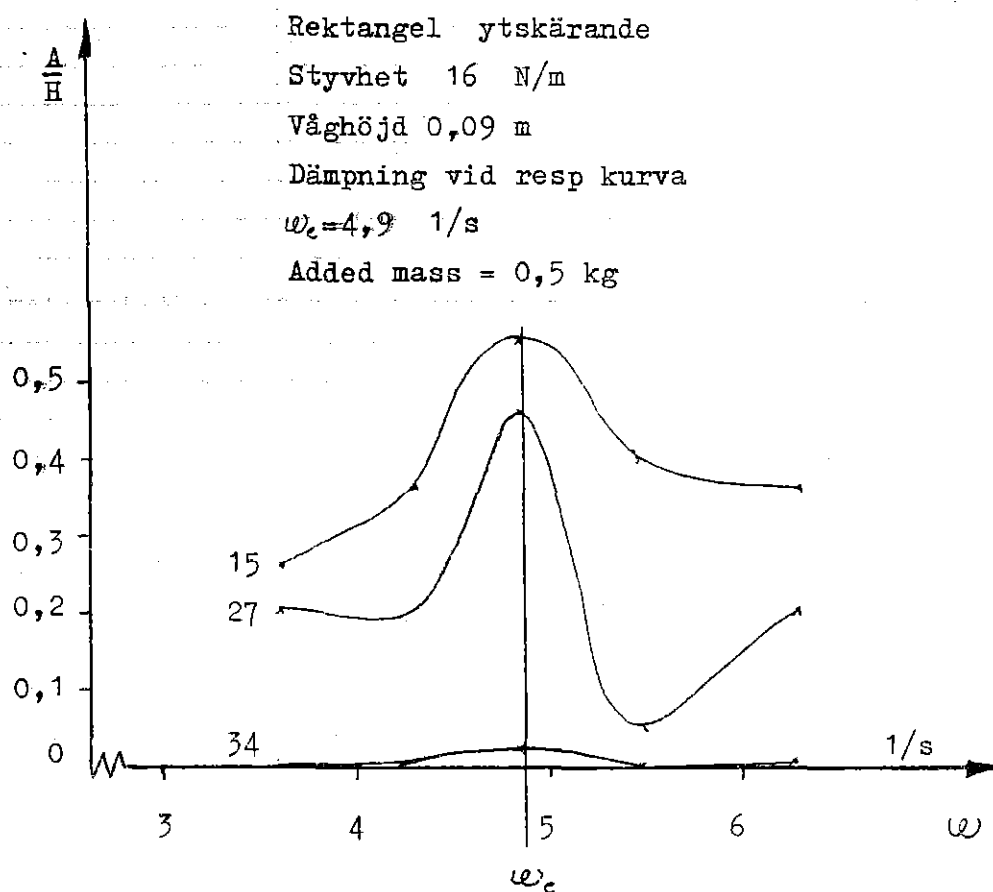
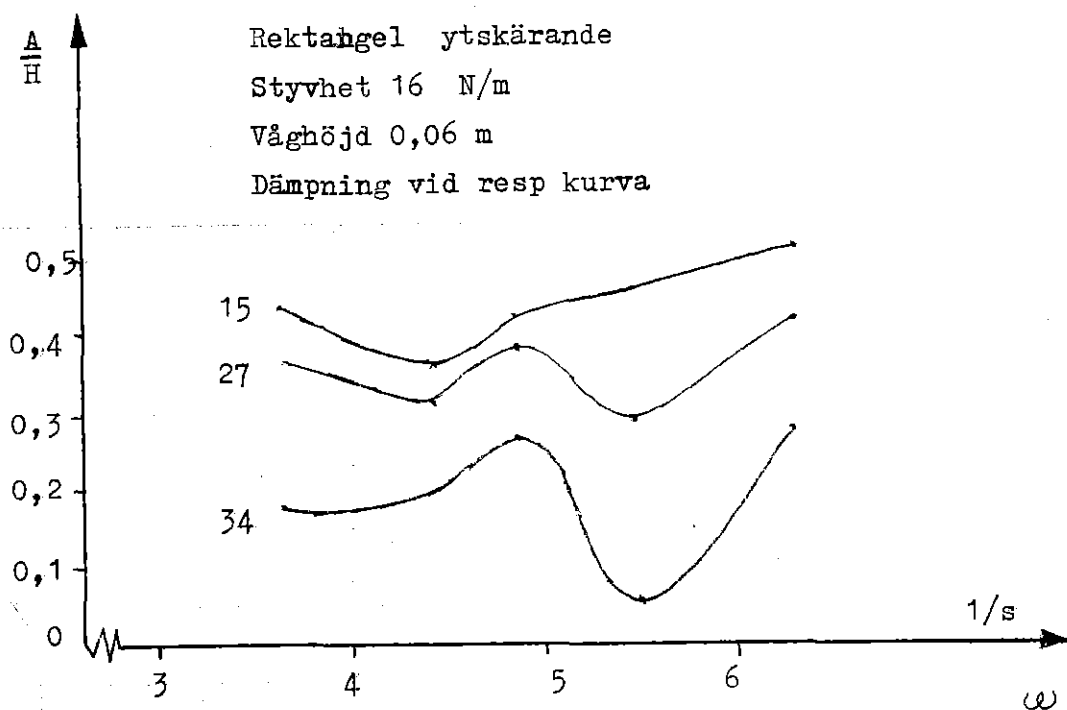
VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA DÄMPNINGAR



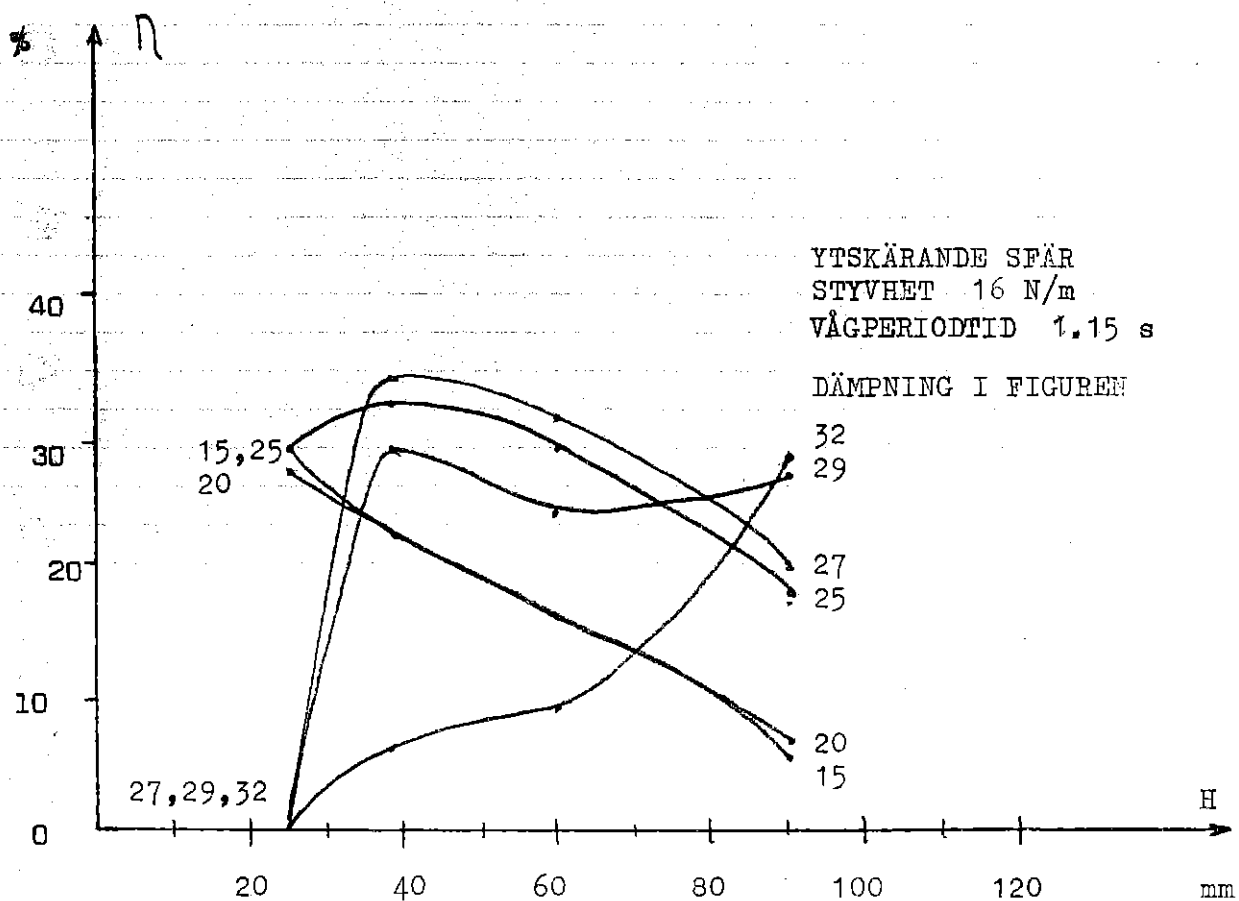
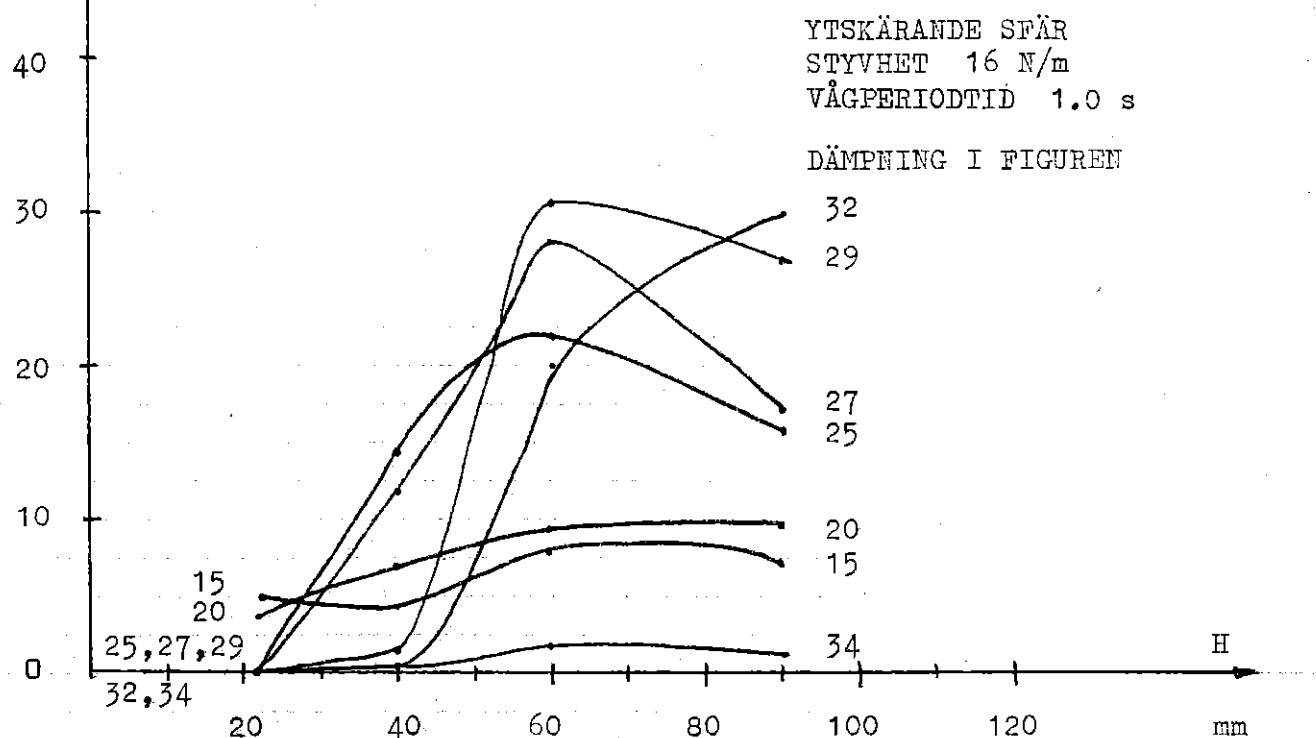
BRANTHETSDIAGRAM

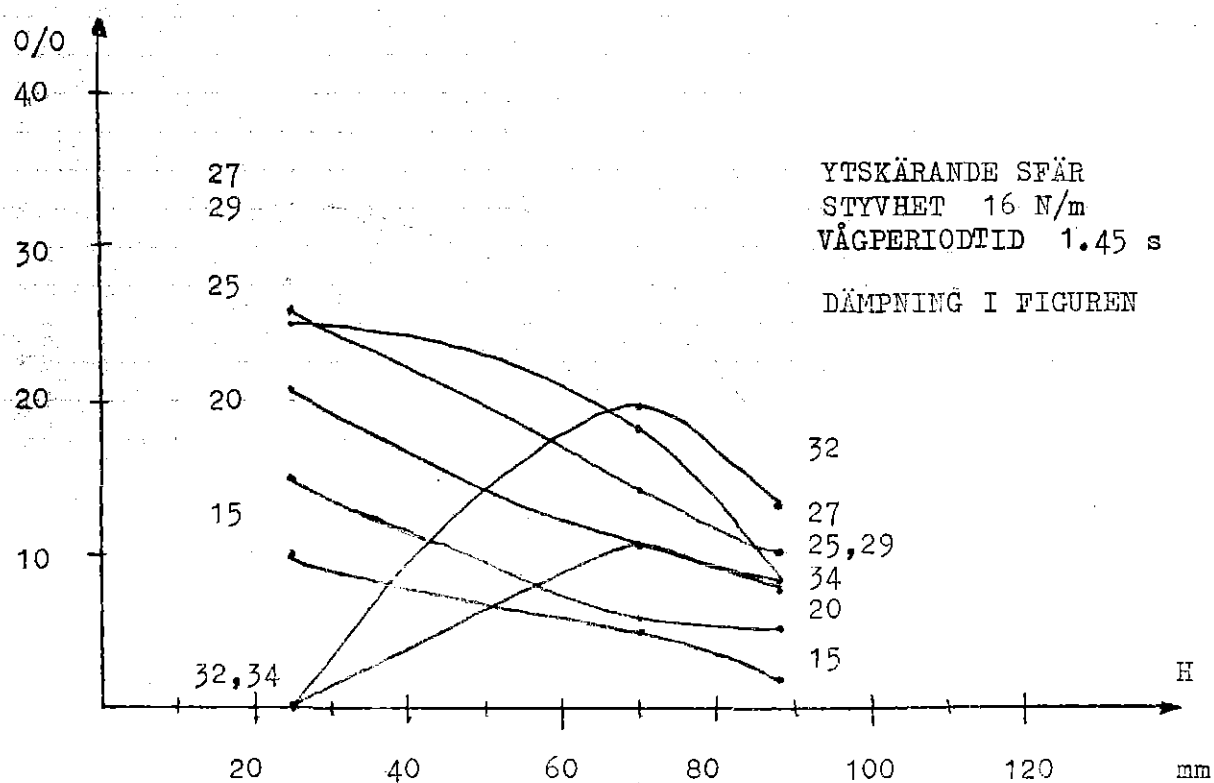
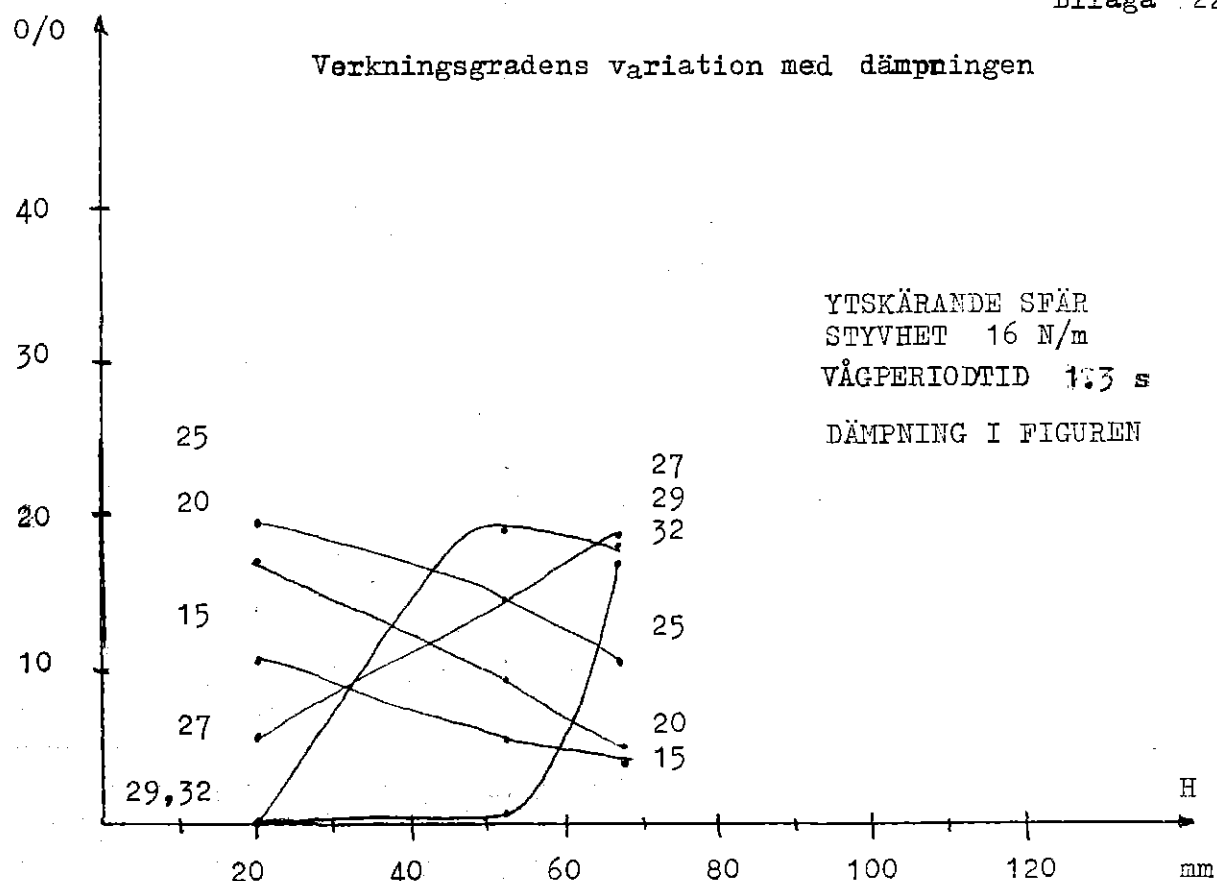


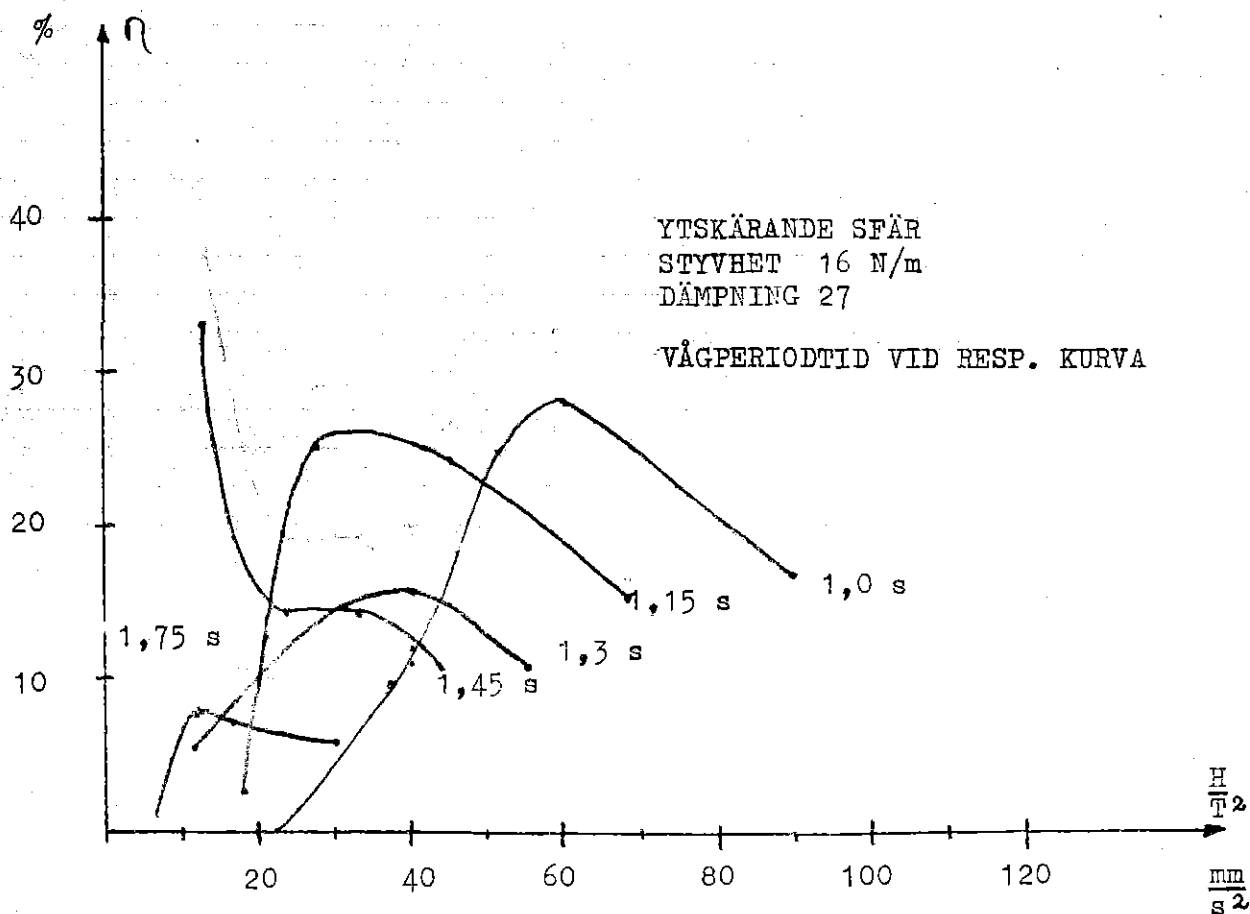
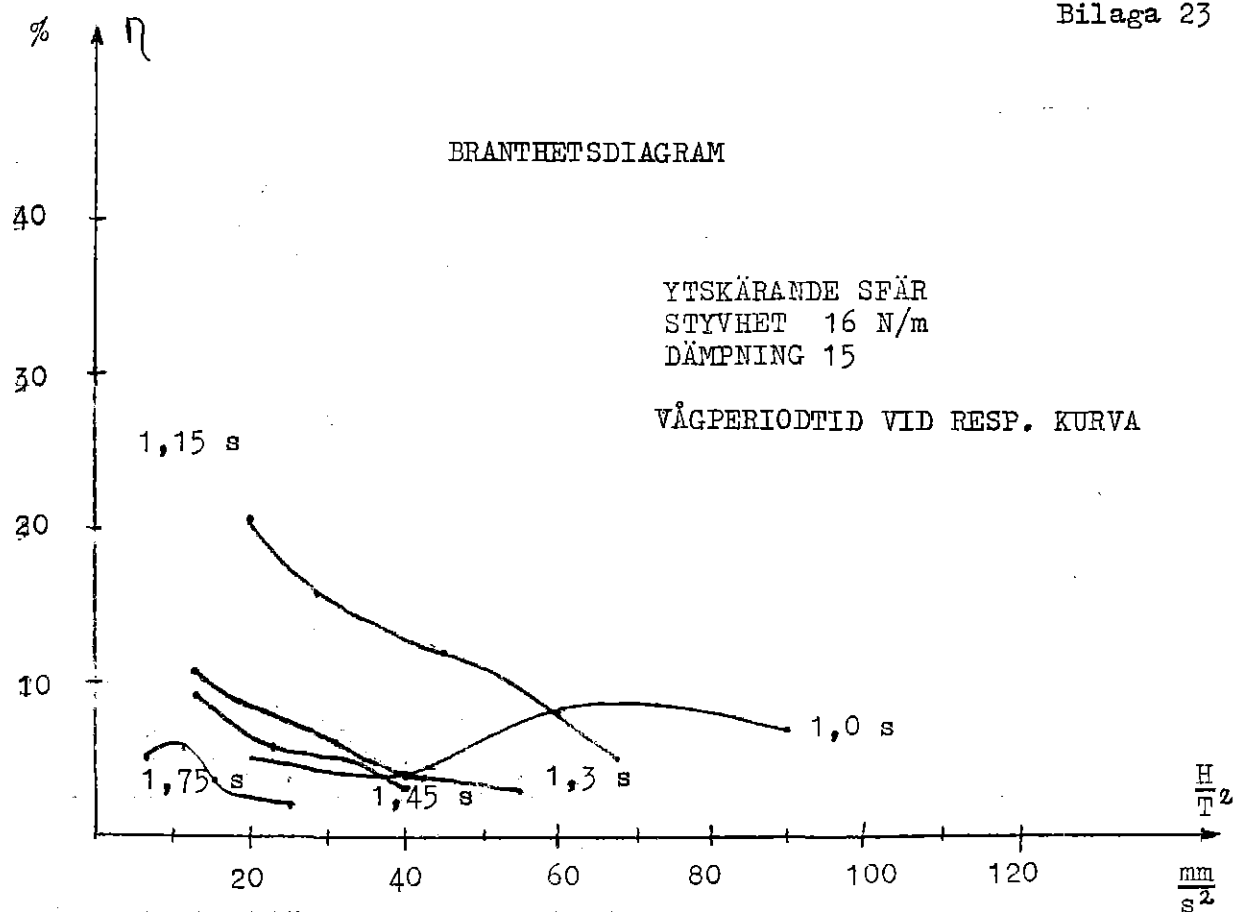
EGENWINKELFREKVENSEN



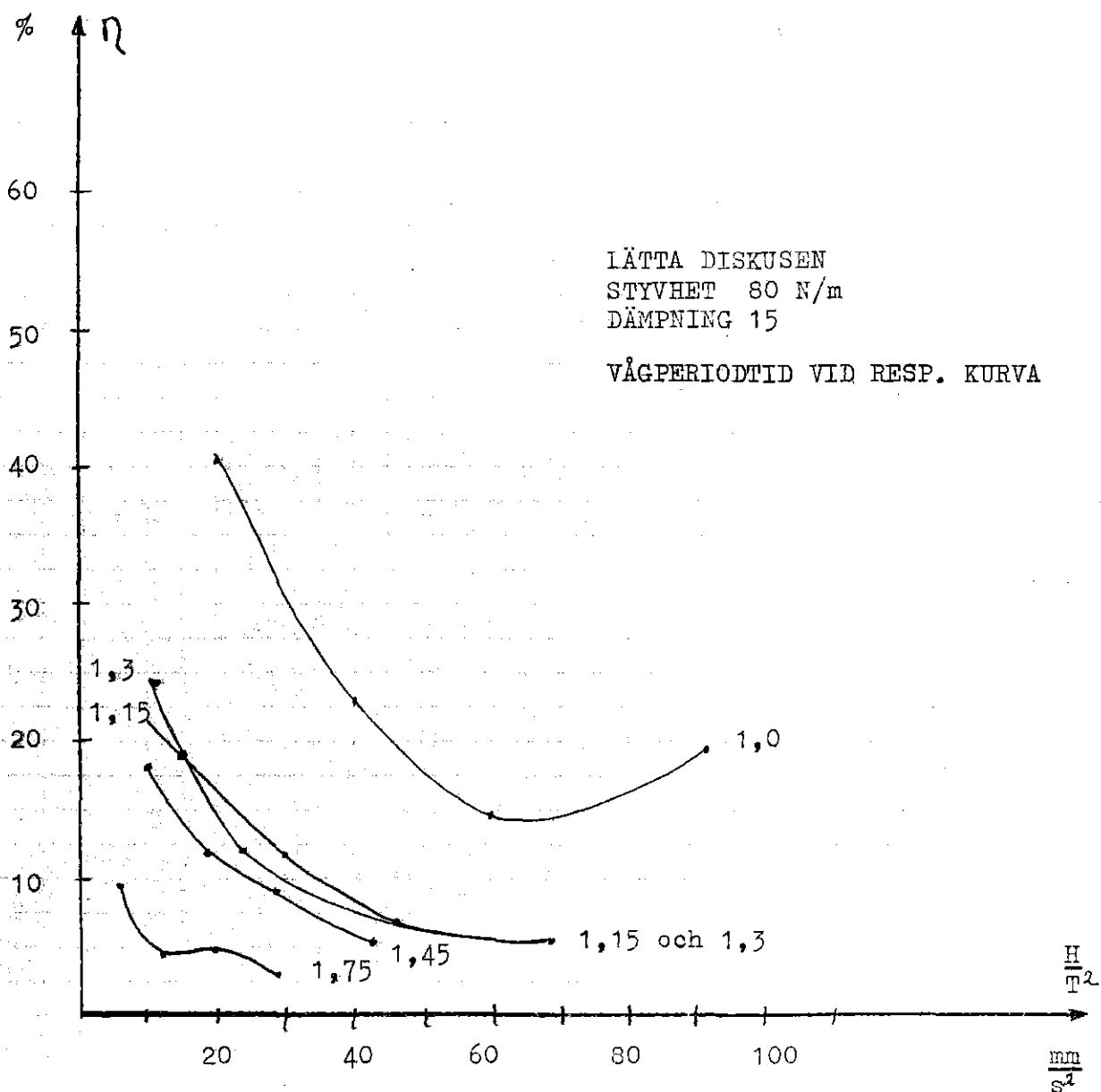
VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA DÄMPNING



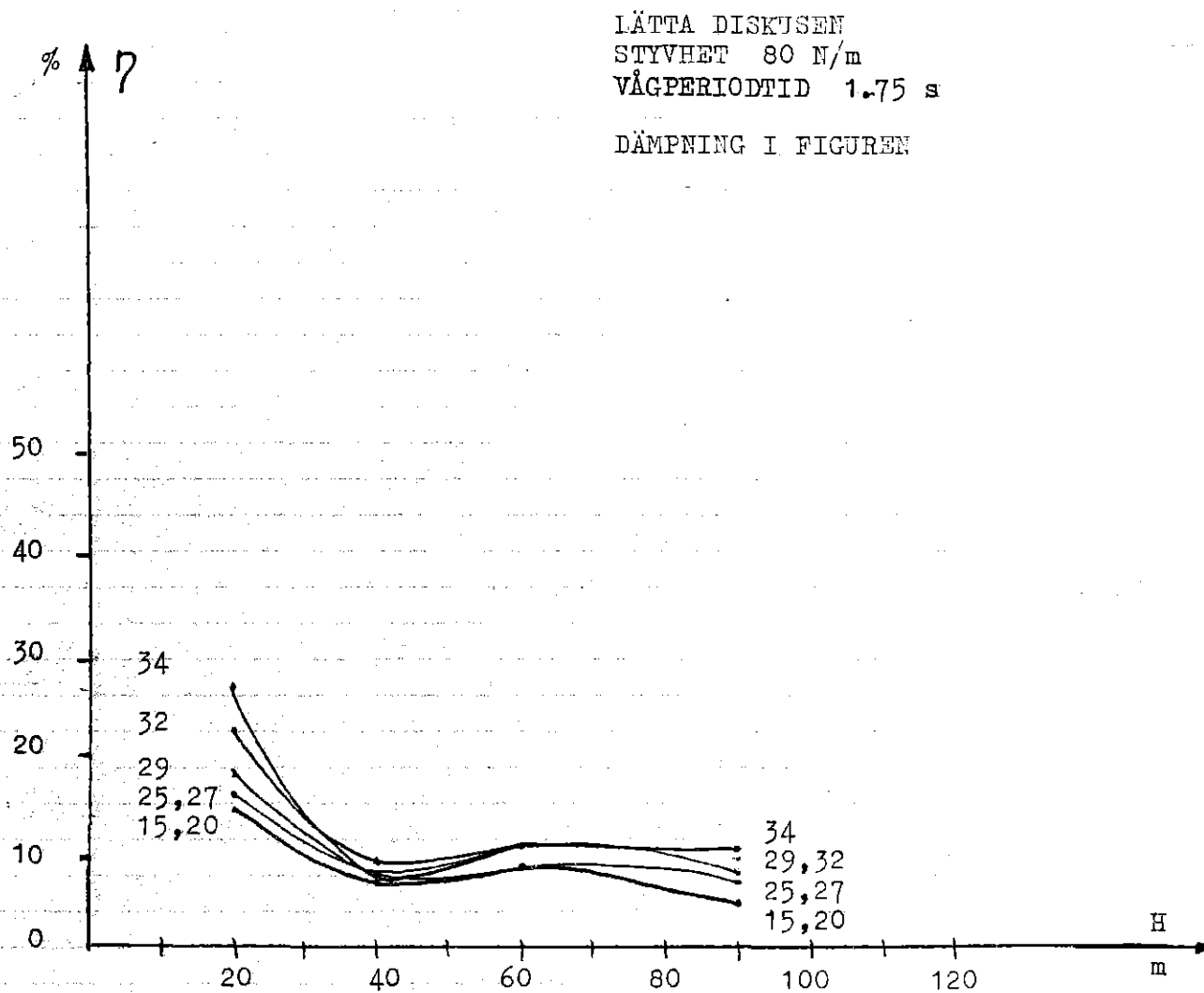




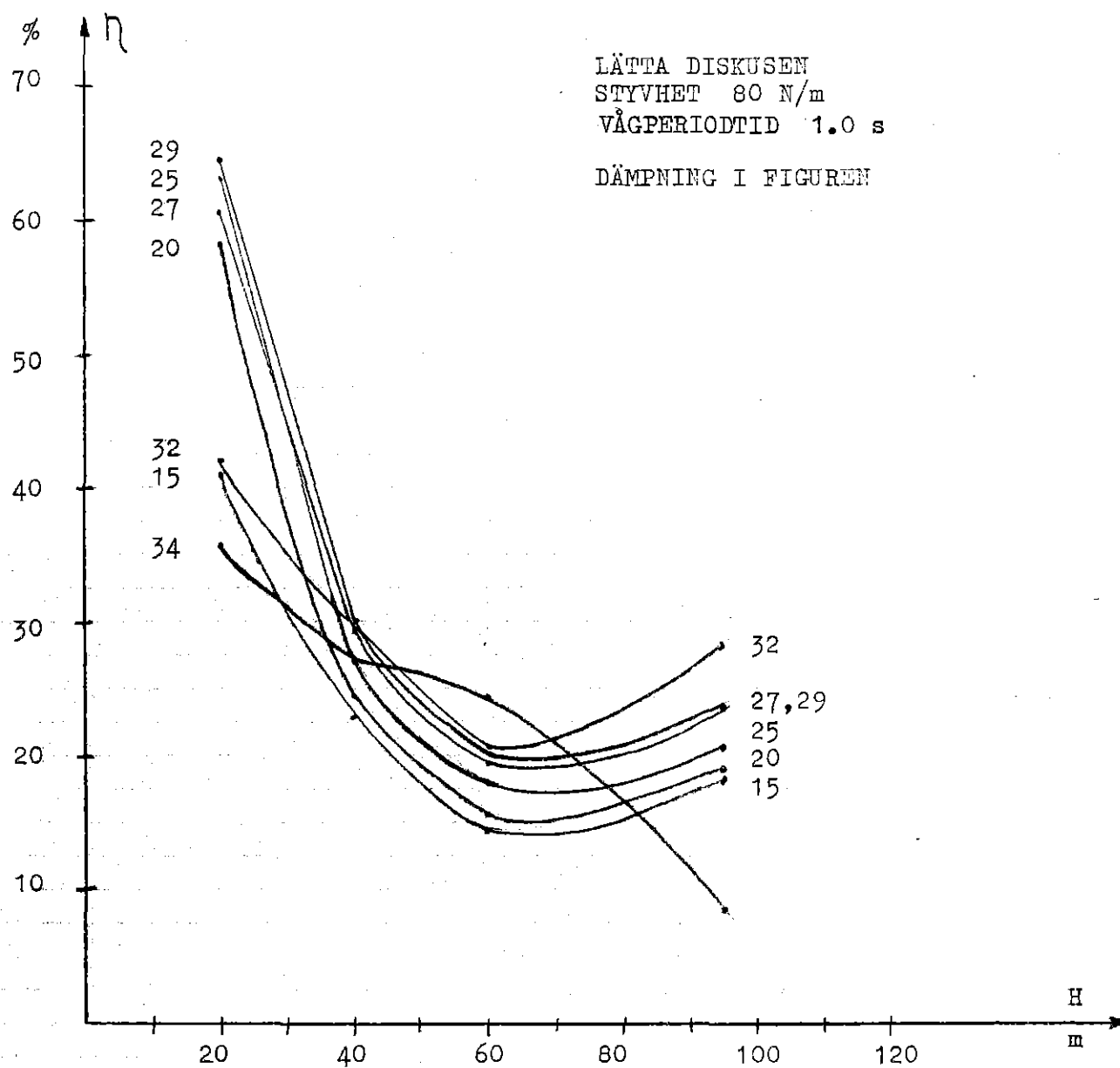
BRANTHETSDIAGRAM



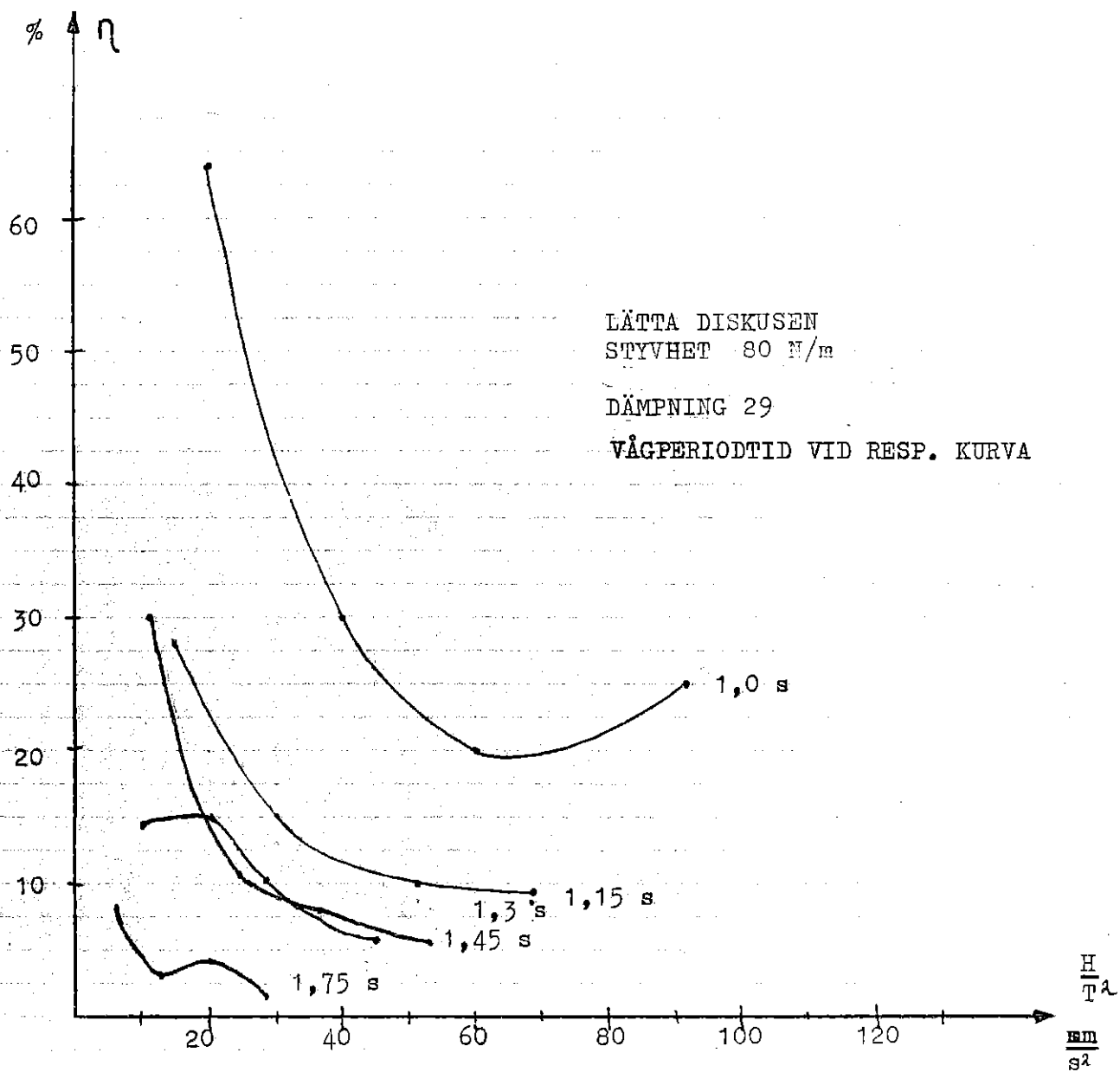
VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA DÄMPNING

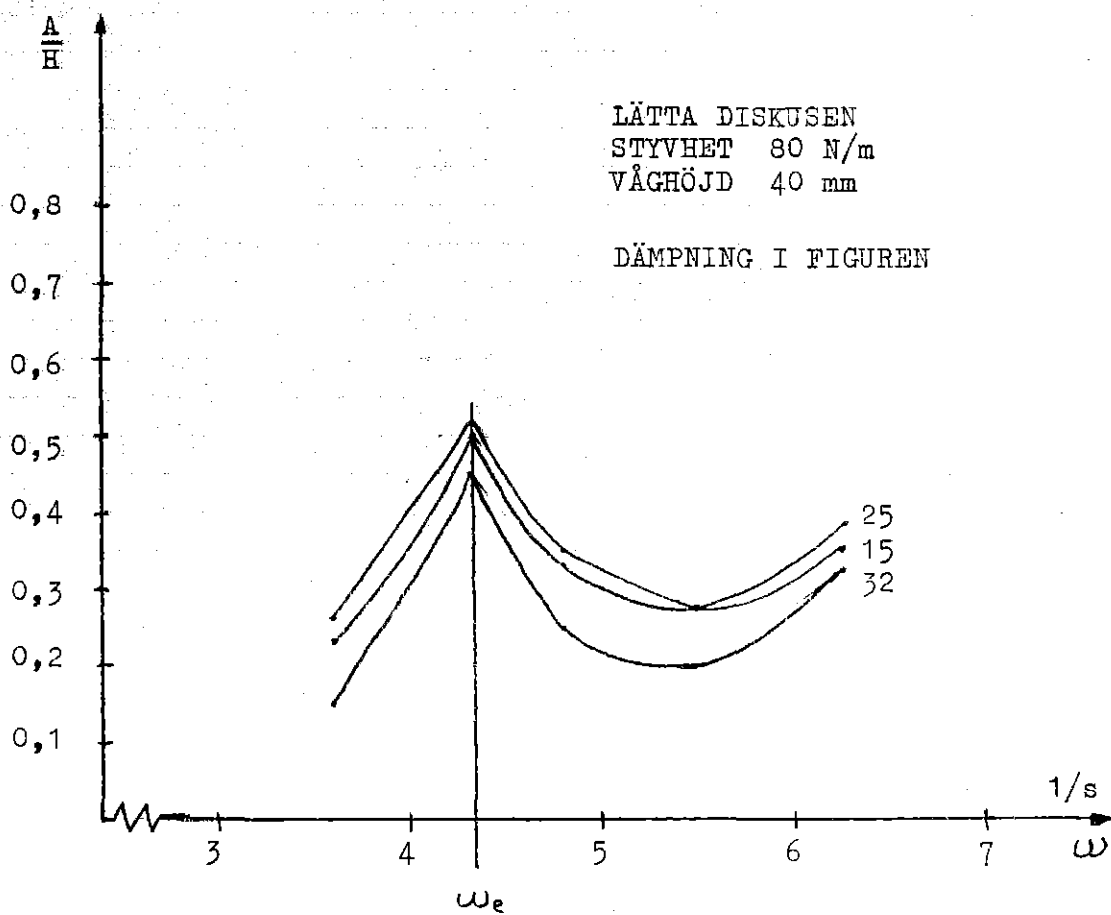
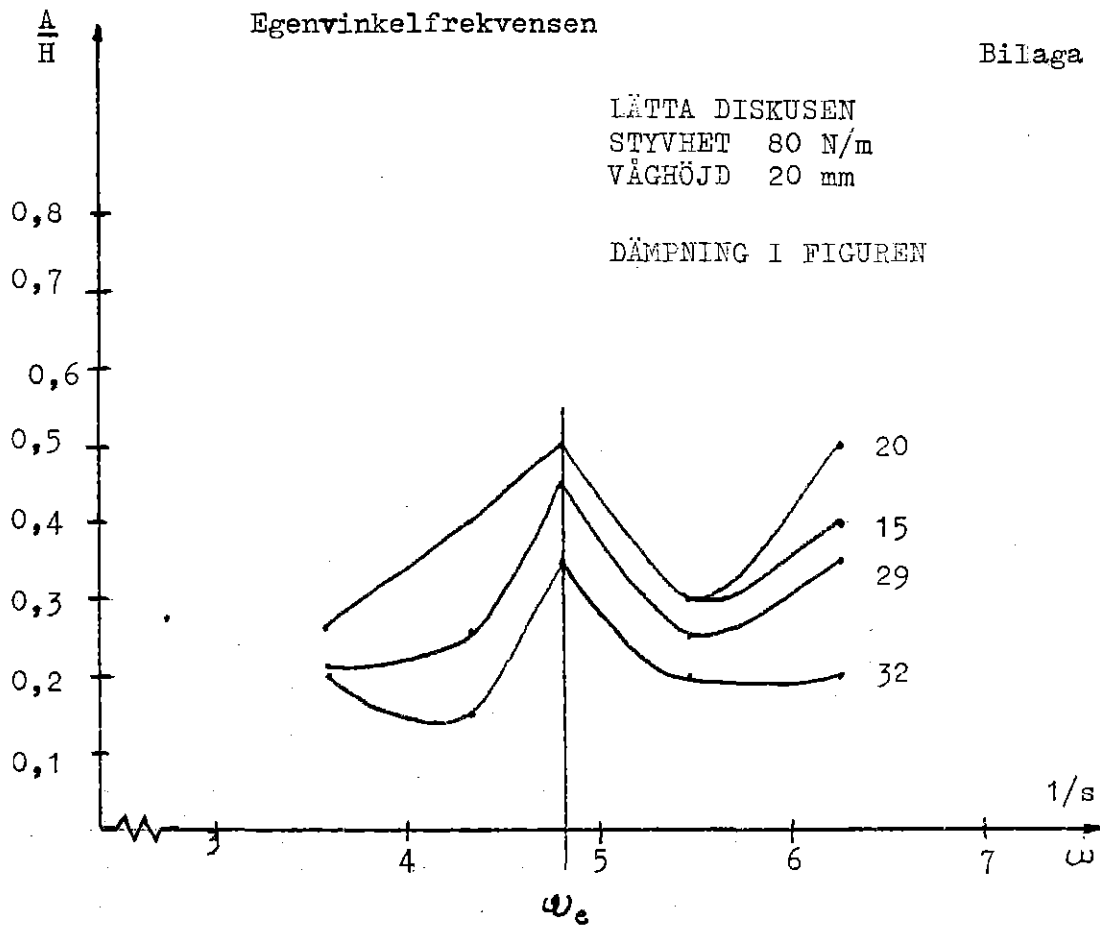


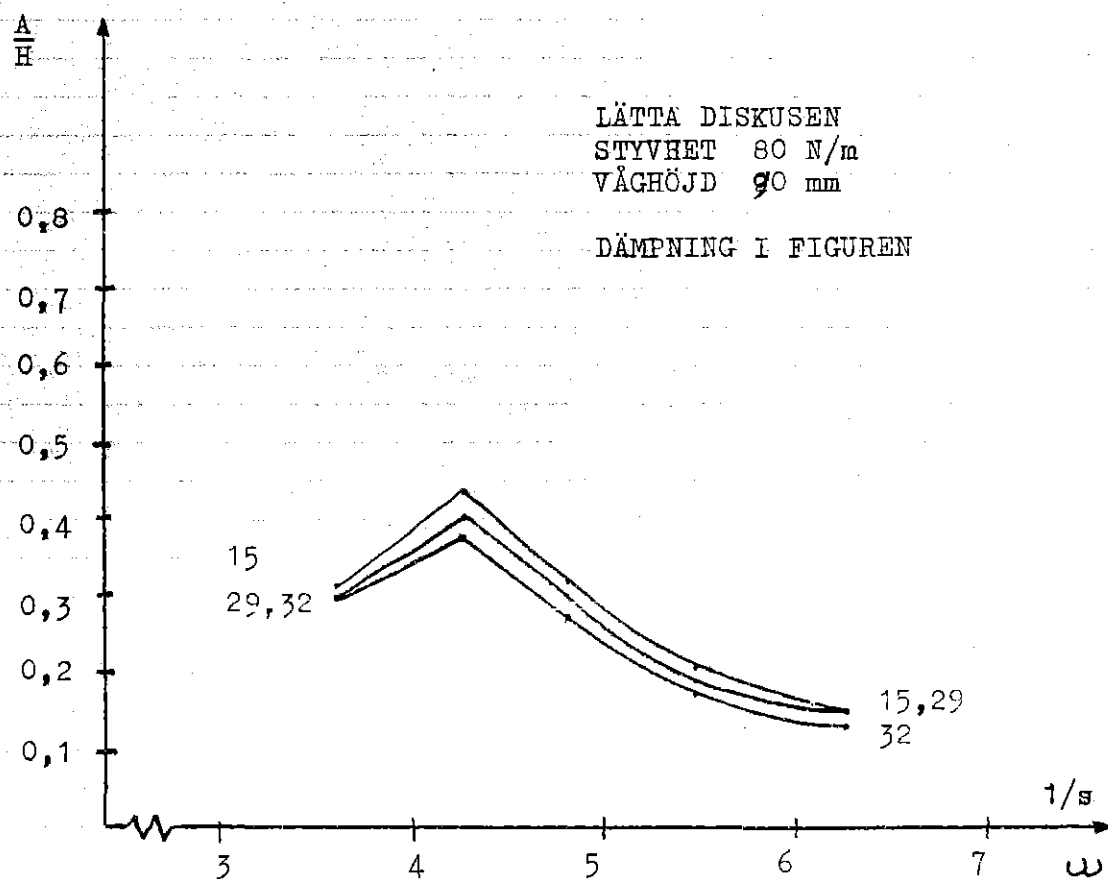
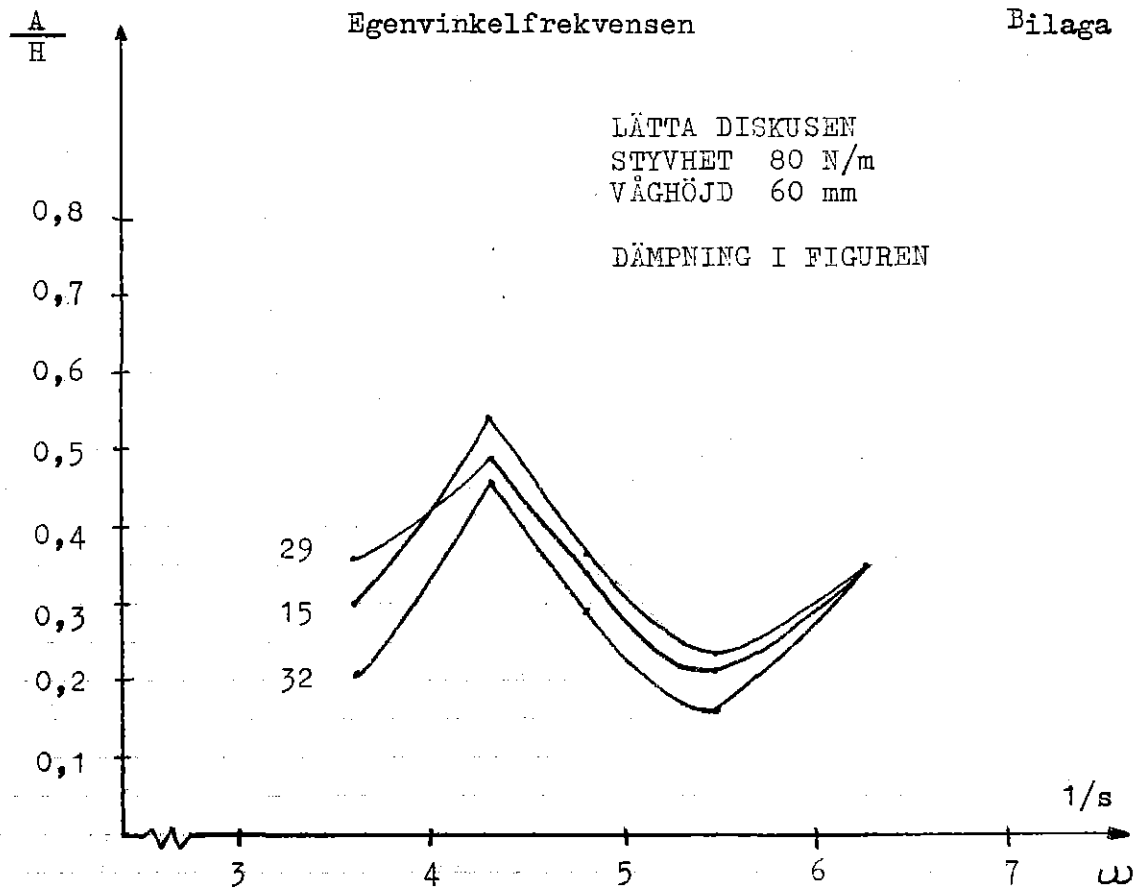
VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA DÄMPNING



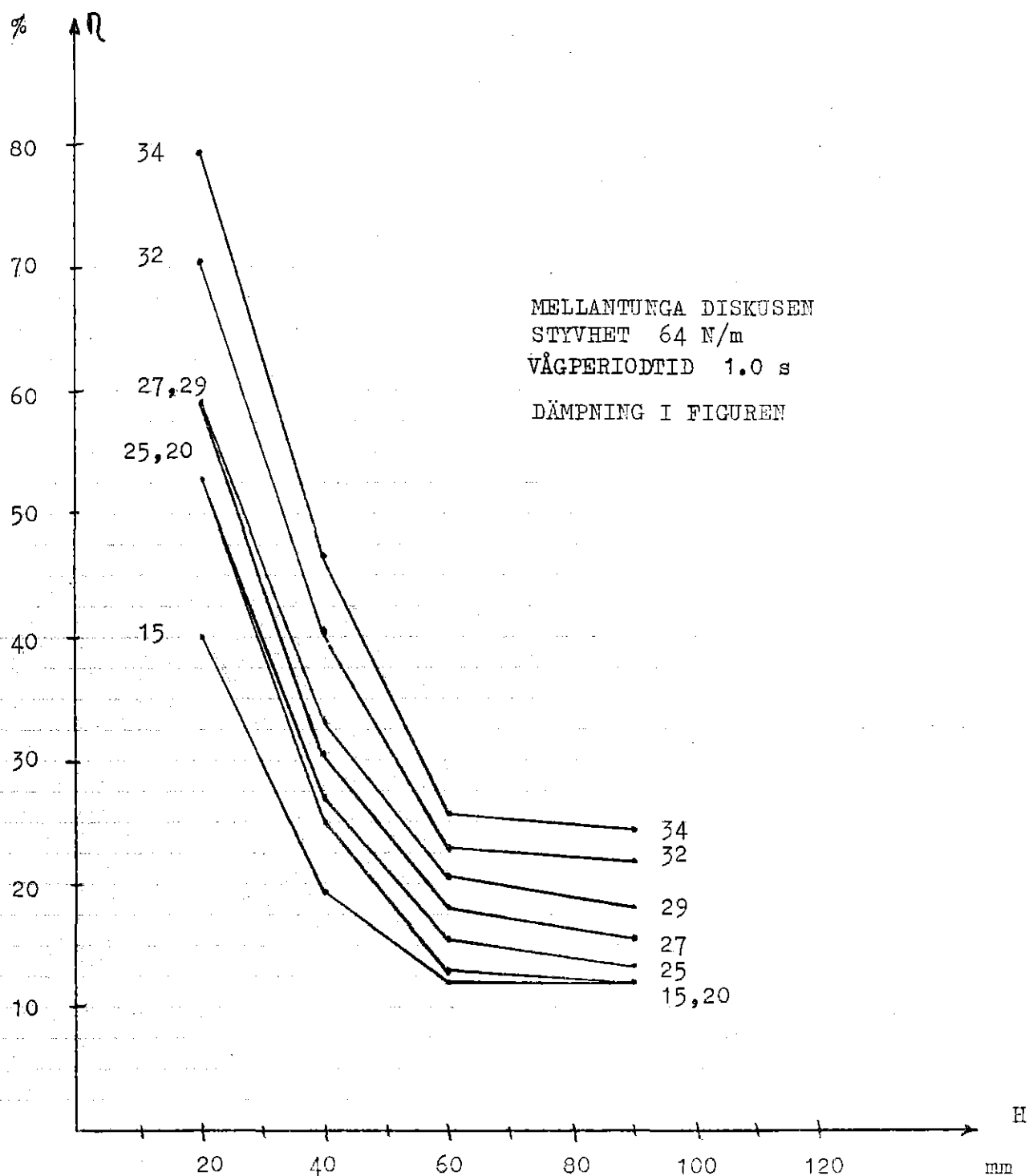
Branthetsdiagram



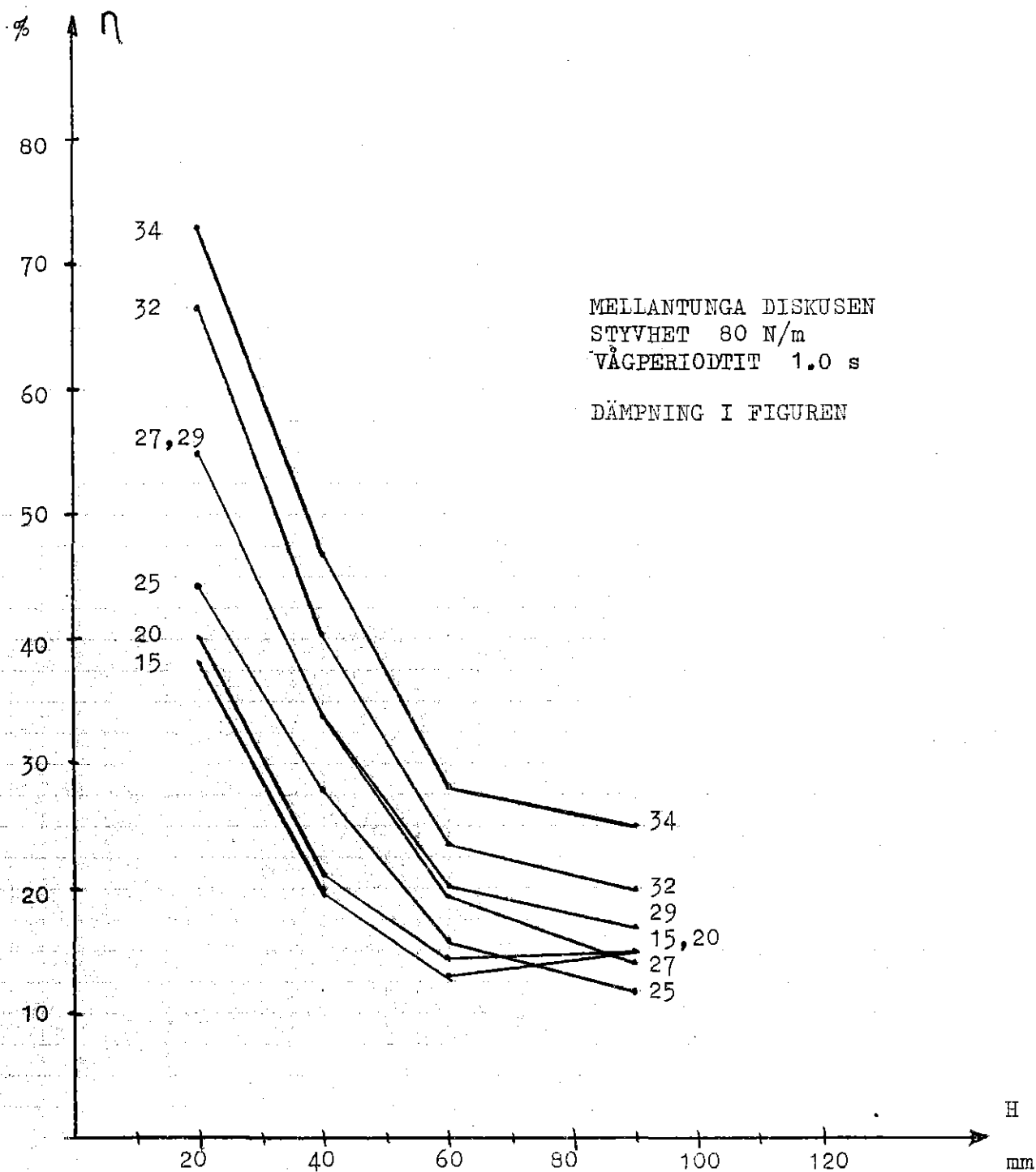




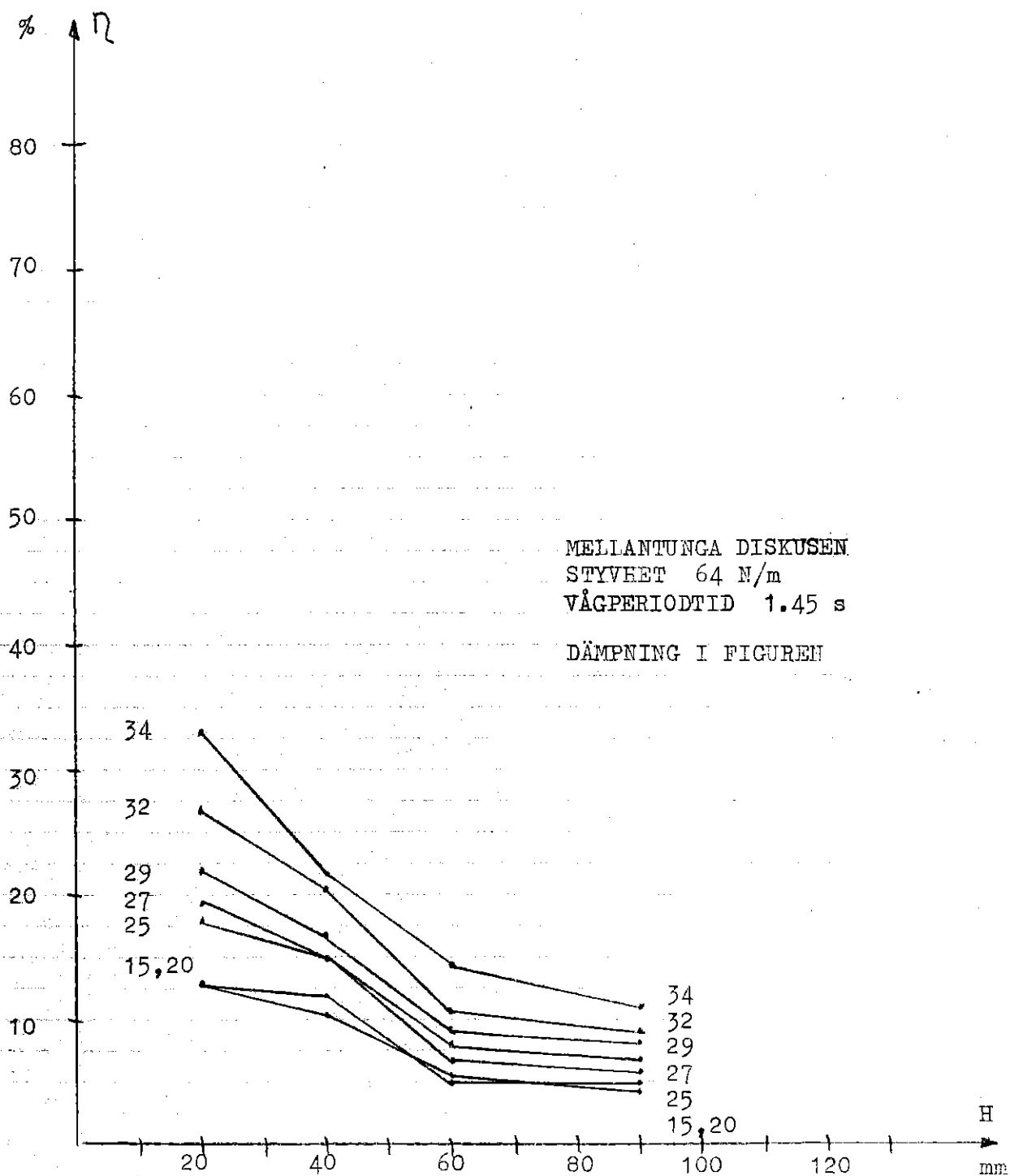
VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA DÄMPNING

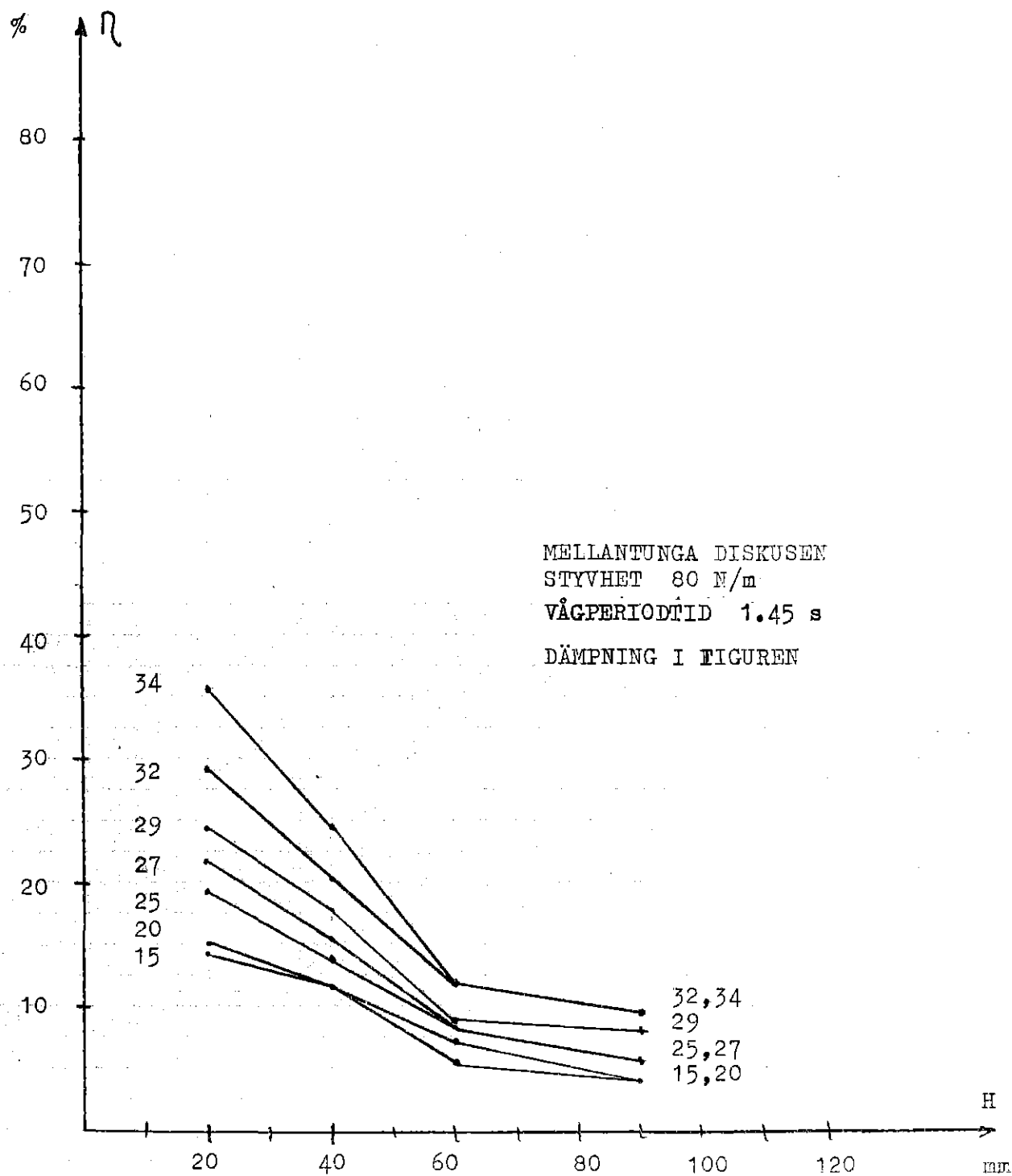


VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA DÄMPNING

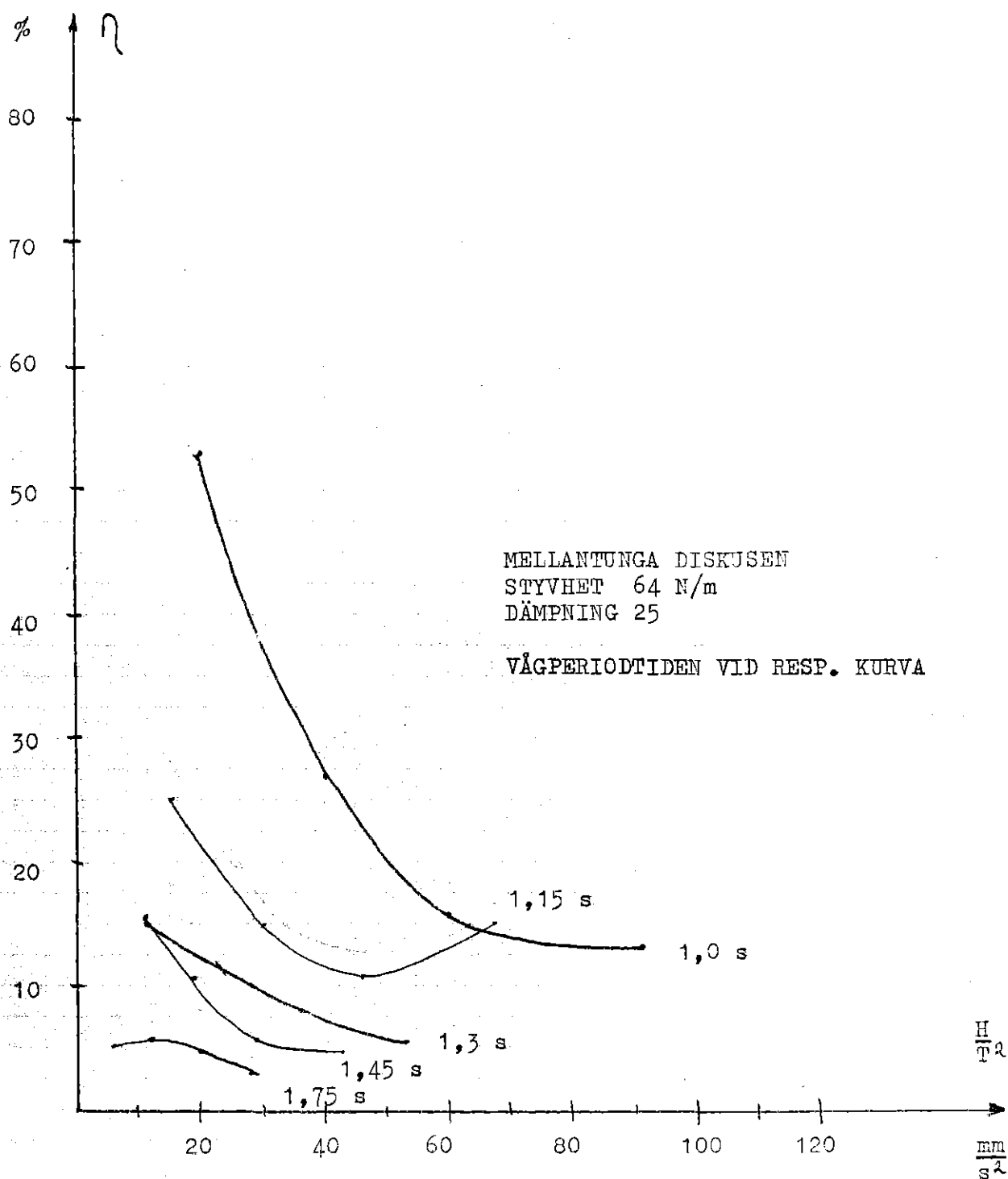


VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA DÄMPNINGAR

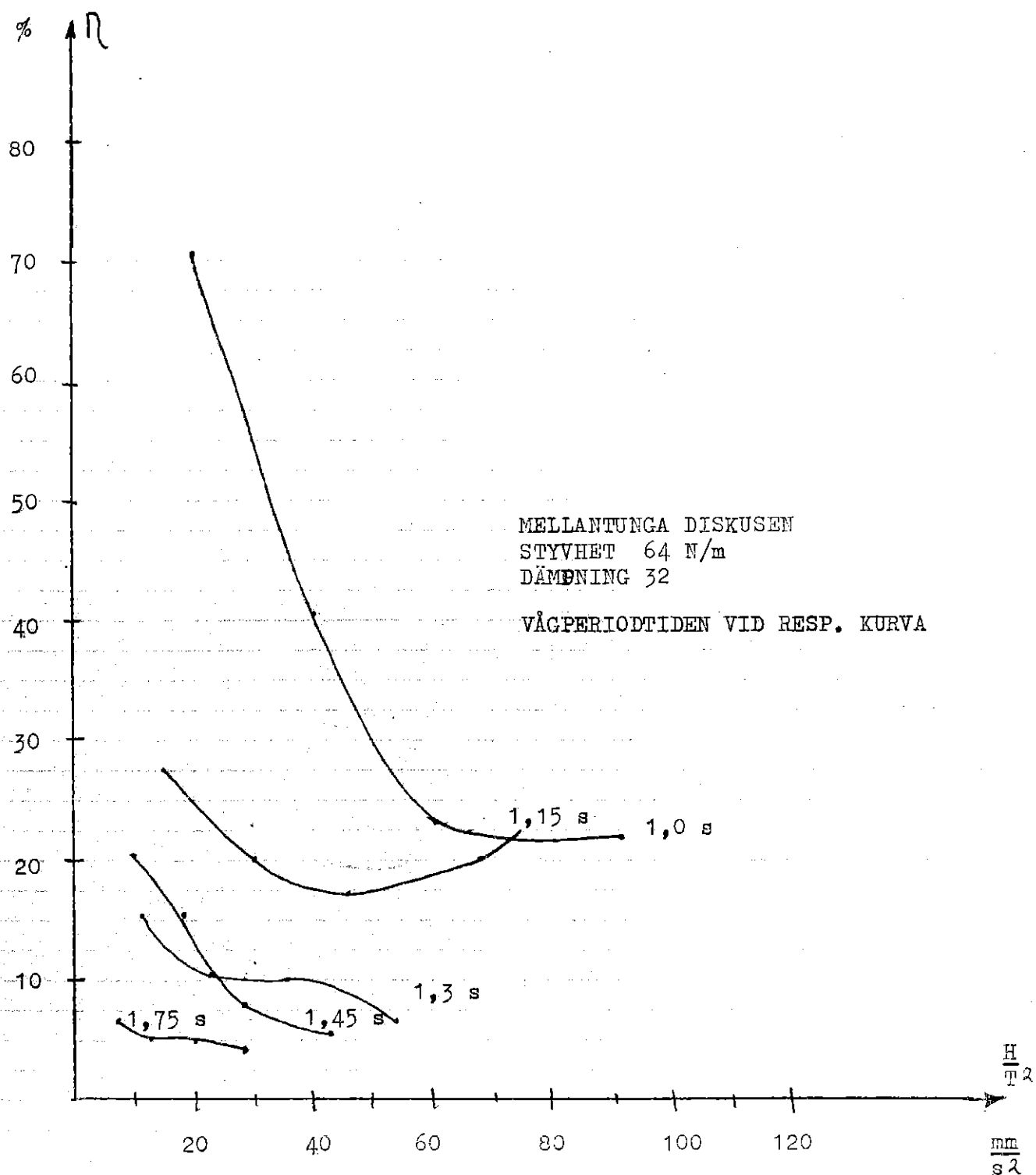


VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN VID OLIKA
DÄMPNING

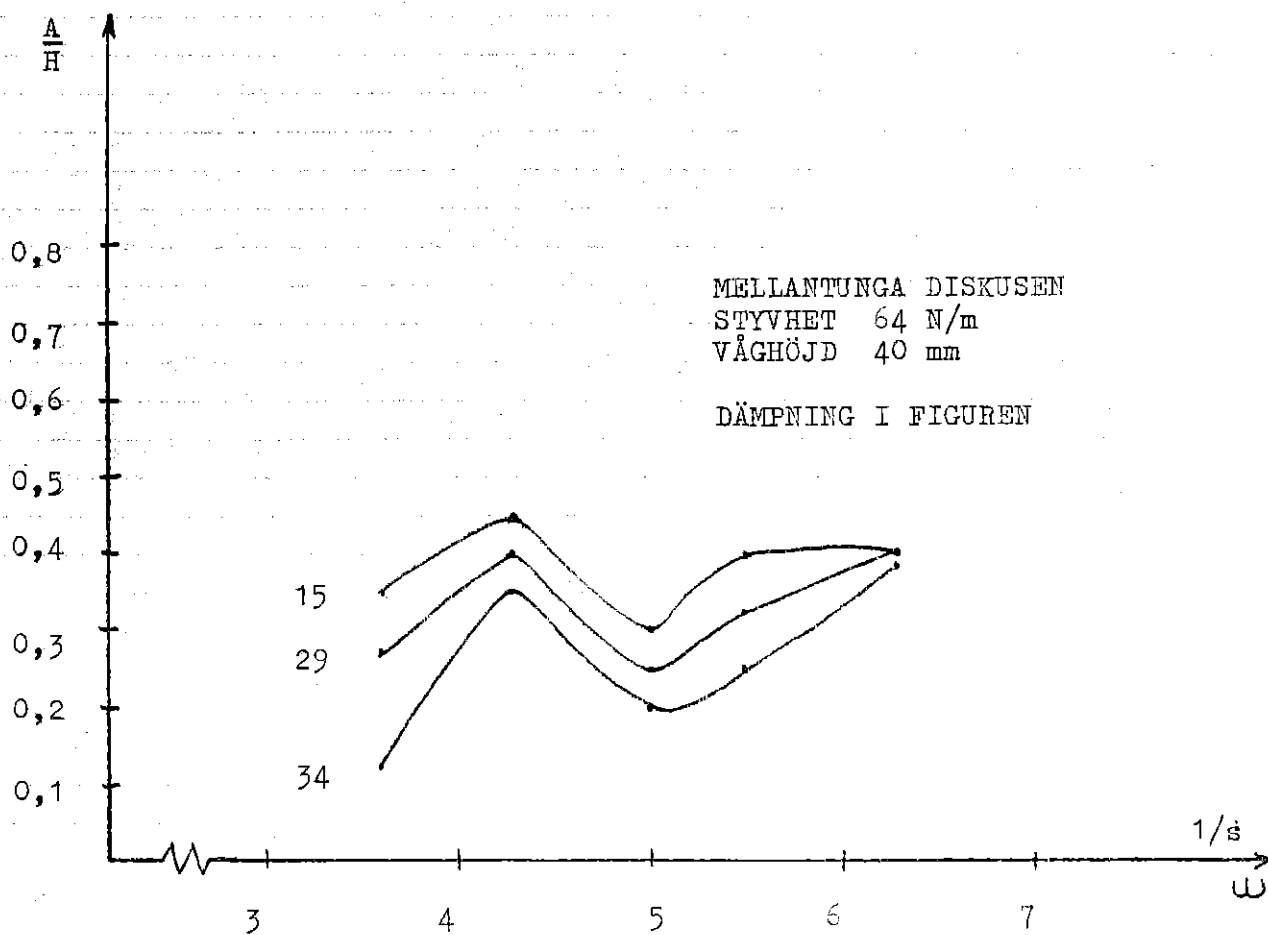
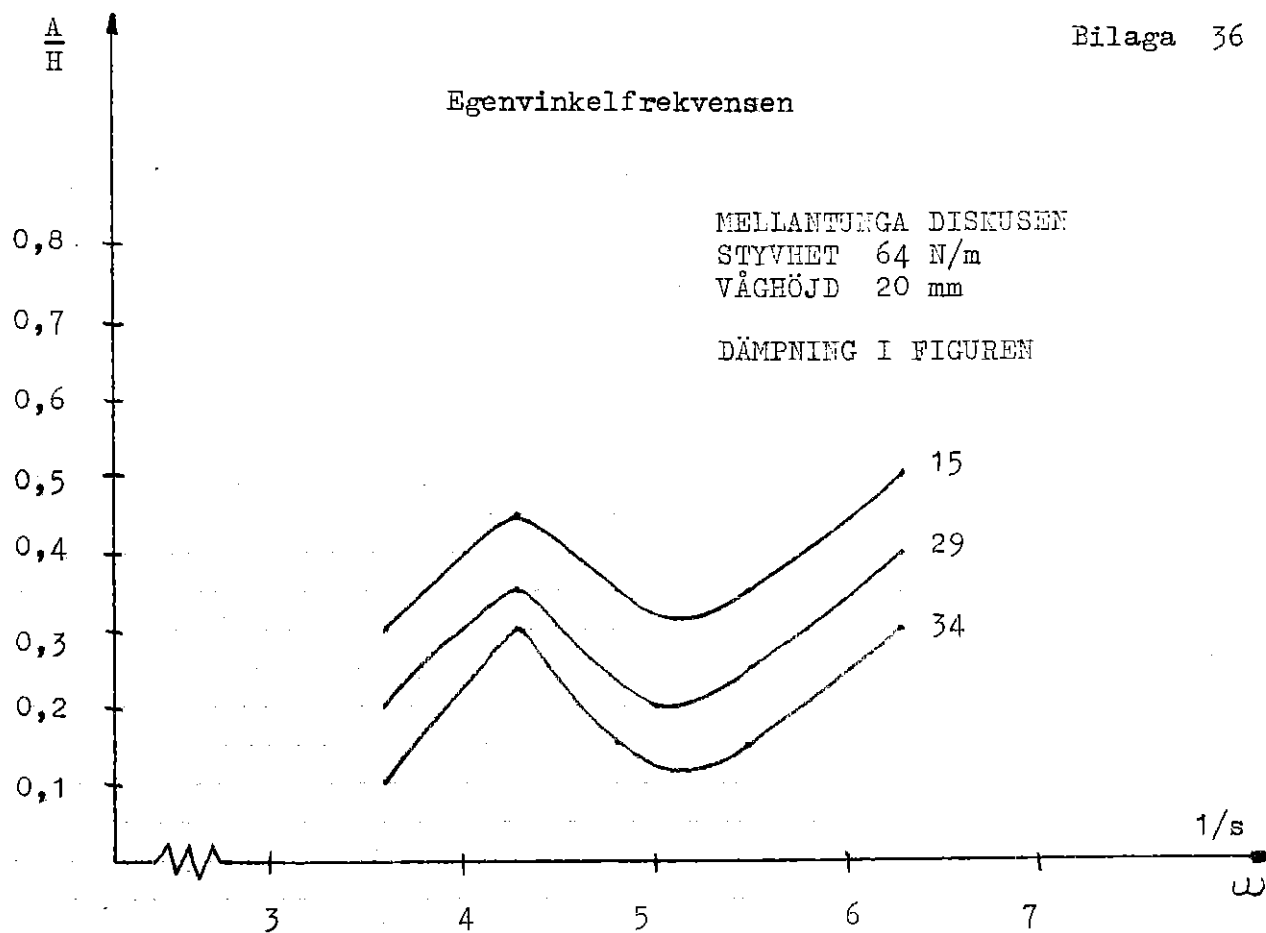
Branthetsdiagram



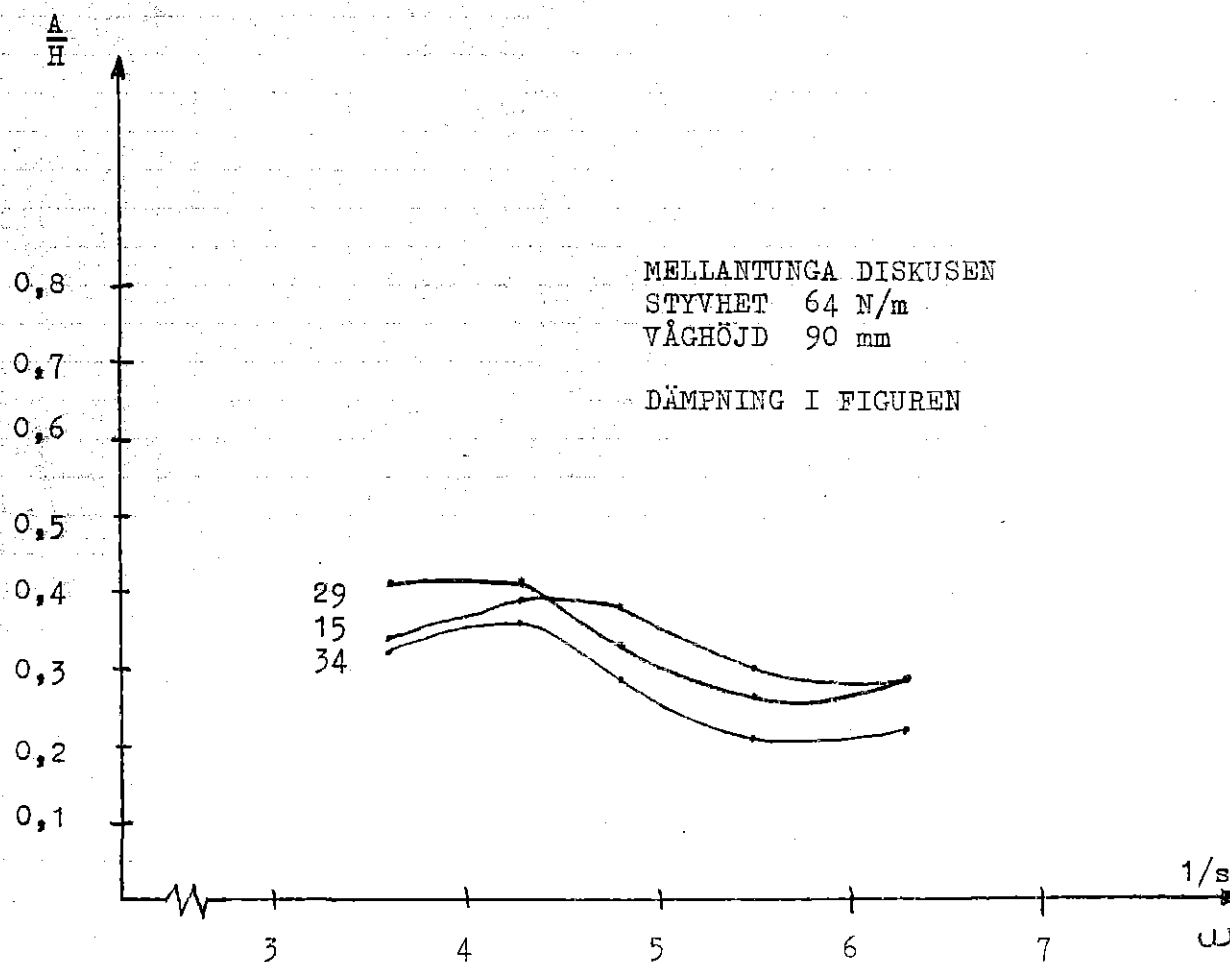
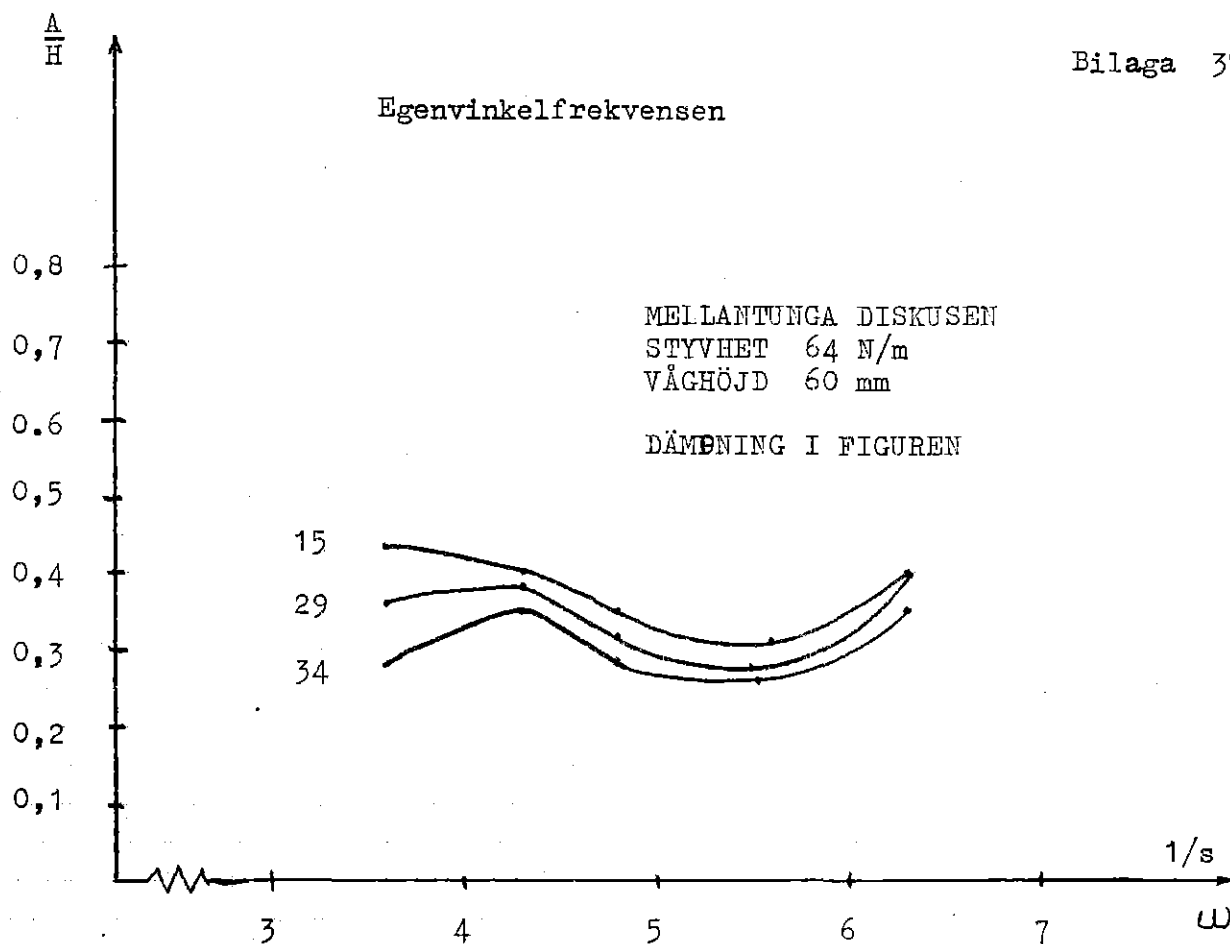
Branthetsdiagram



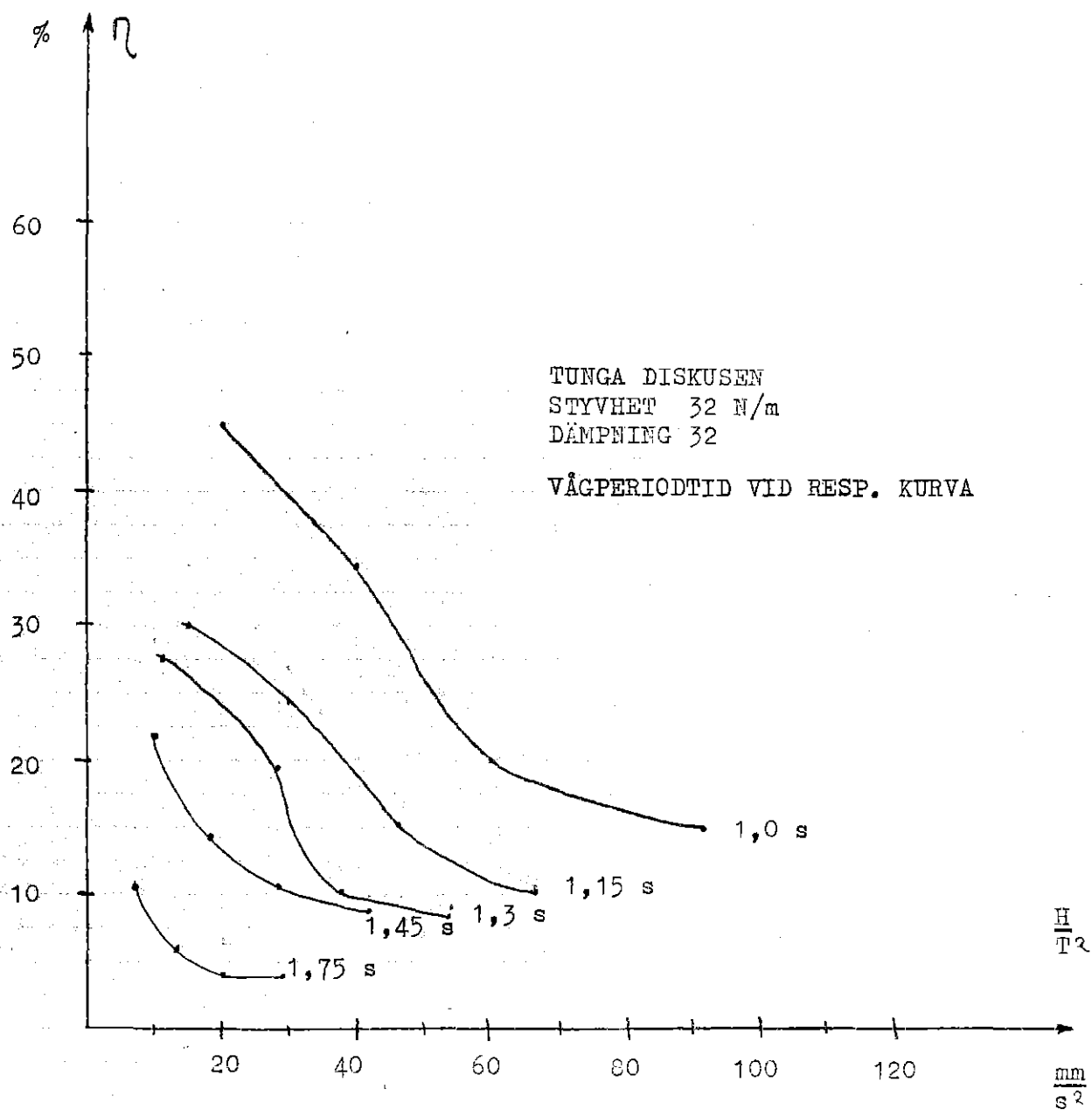
Egenvinkelfrekvensen



Egenvinkelfrekvensen



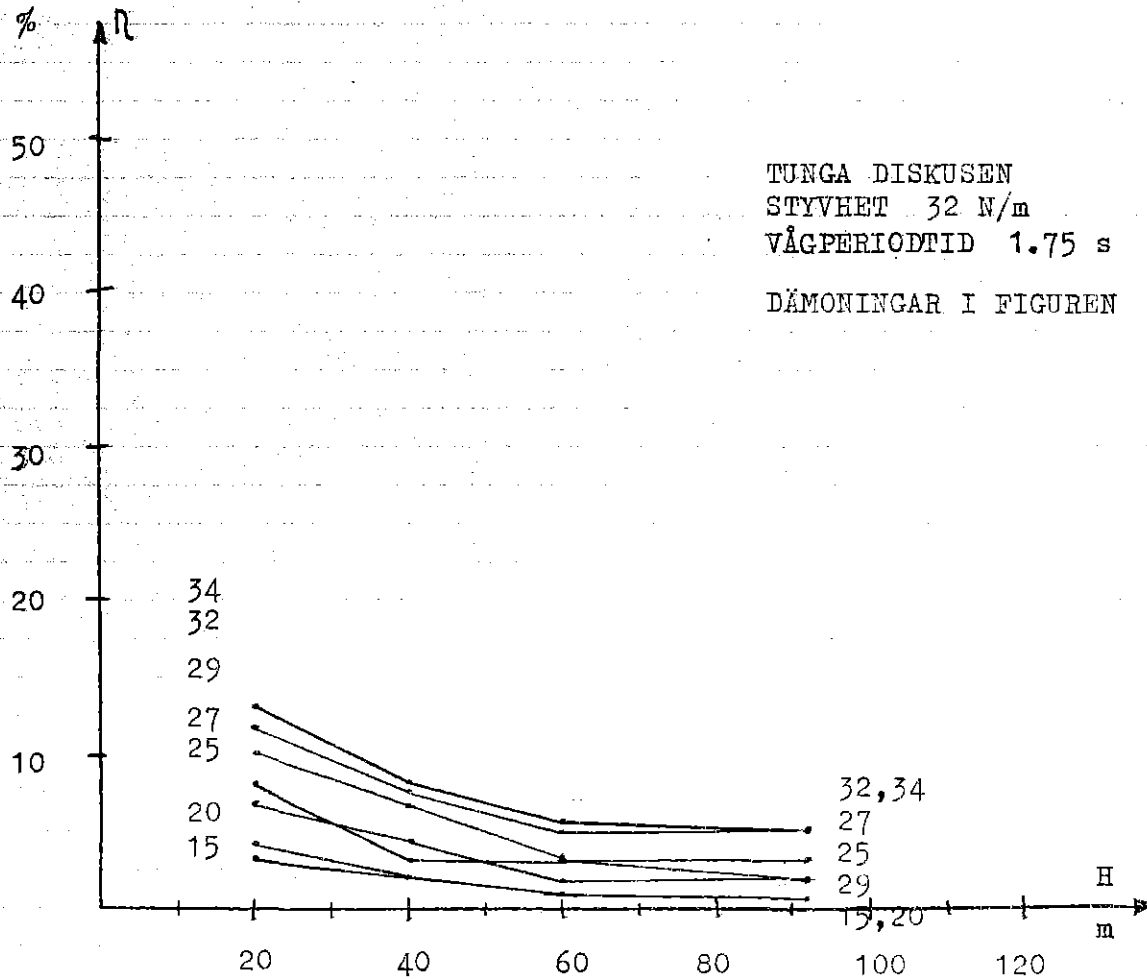
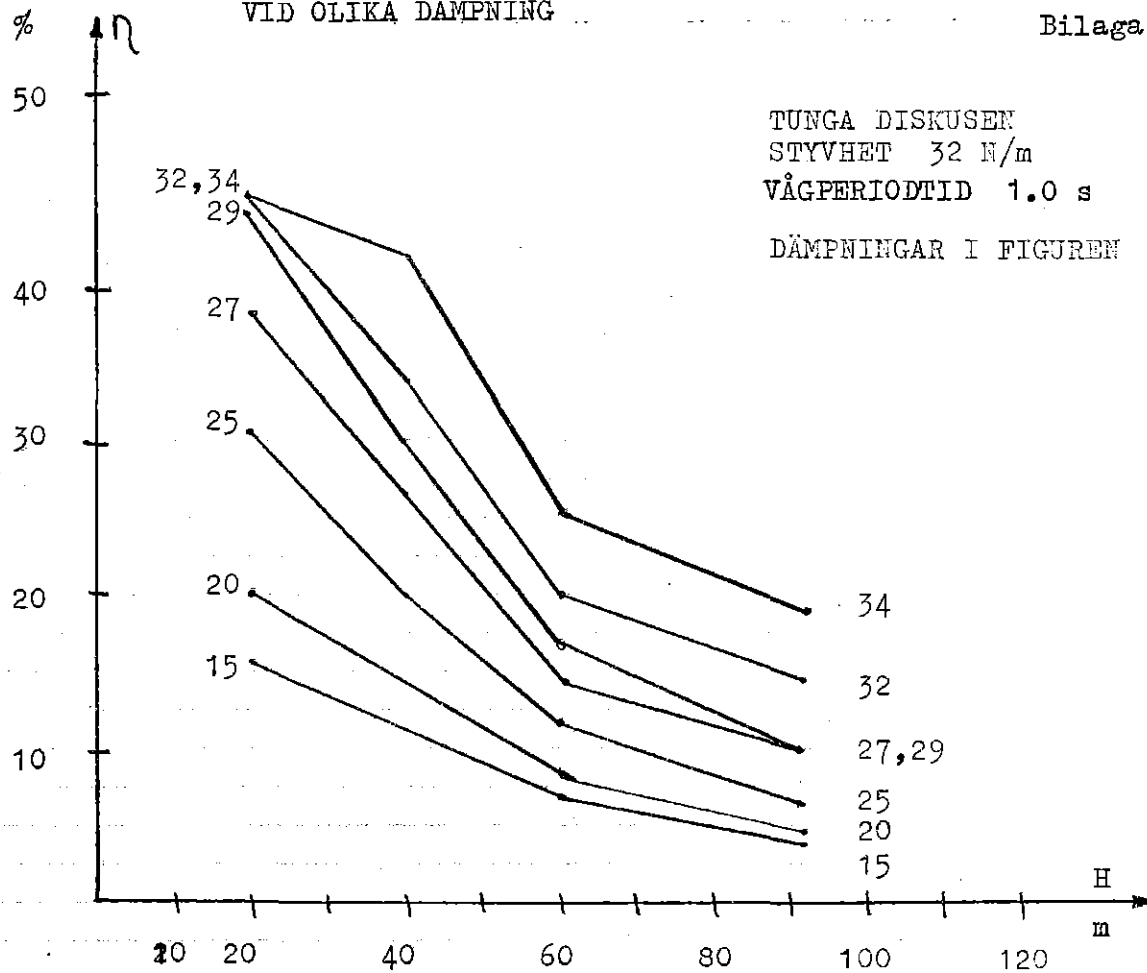
Branthetsdiagram



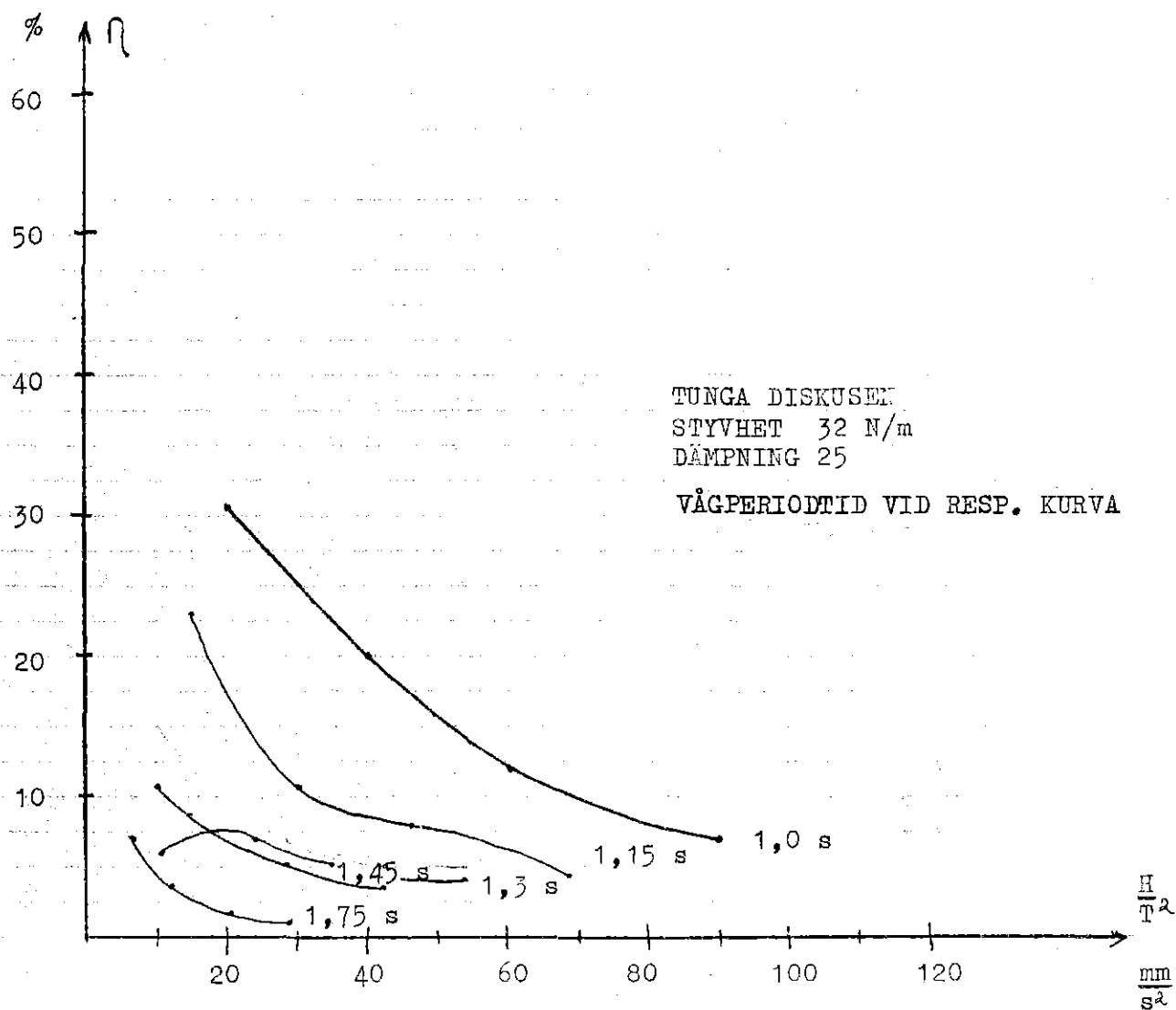
VERKNINGSGRADENS VARIATION MED VÅGHÖJDEN

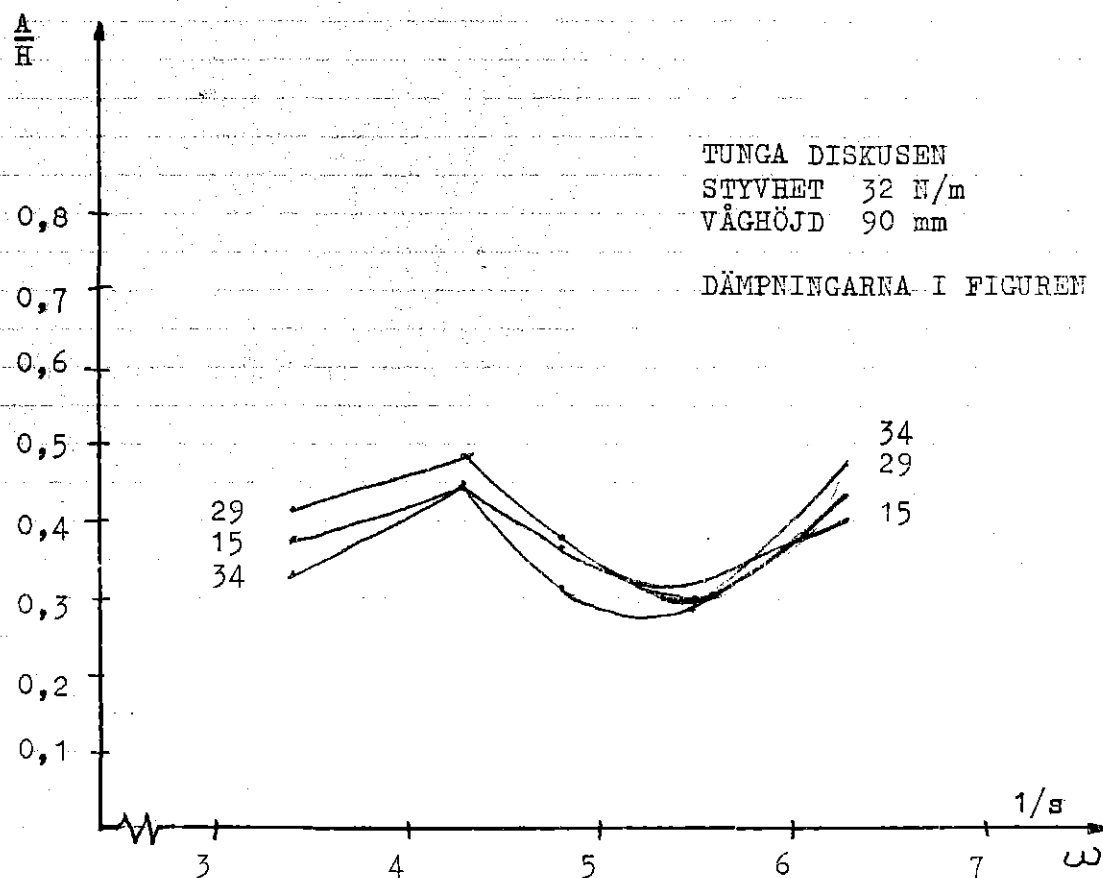
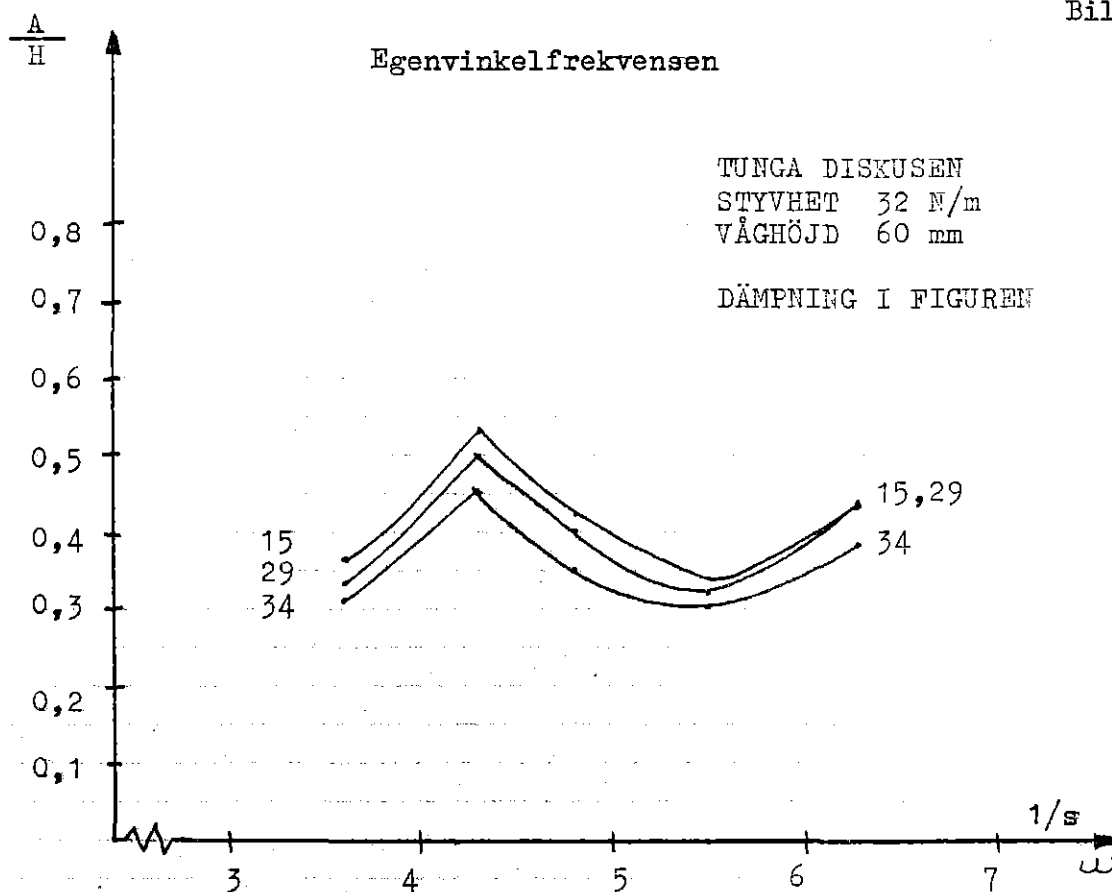
VID OLIKA DÄMPNING

Bilaga 39

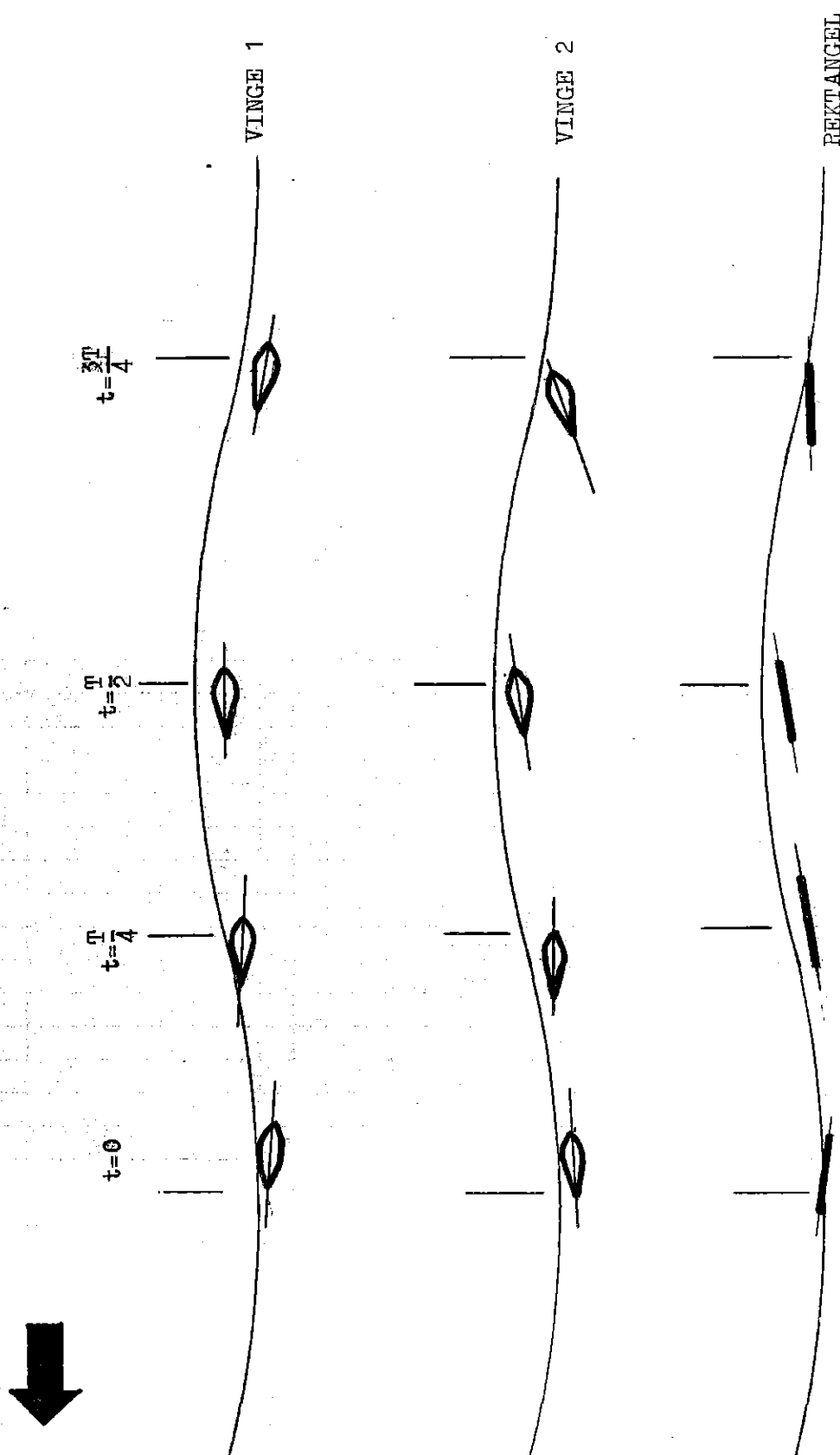


Branthetsdiagram

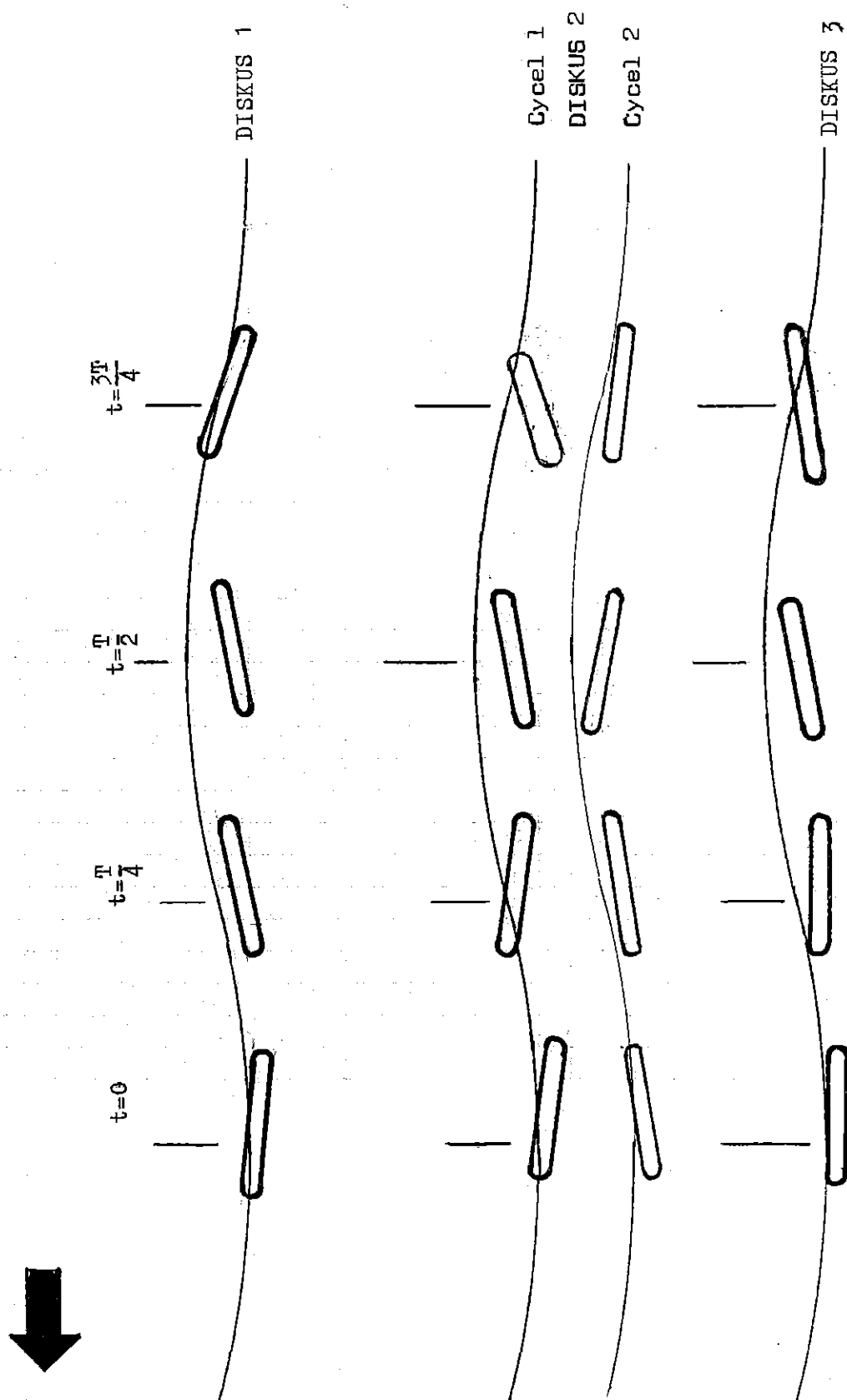


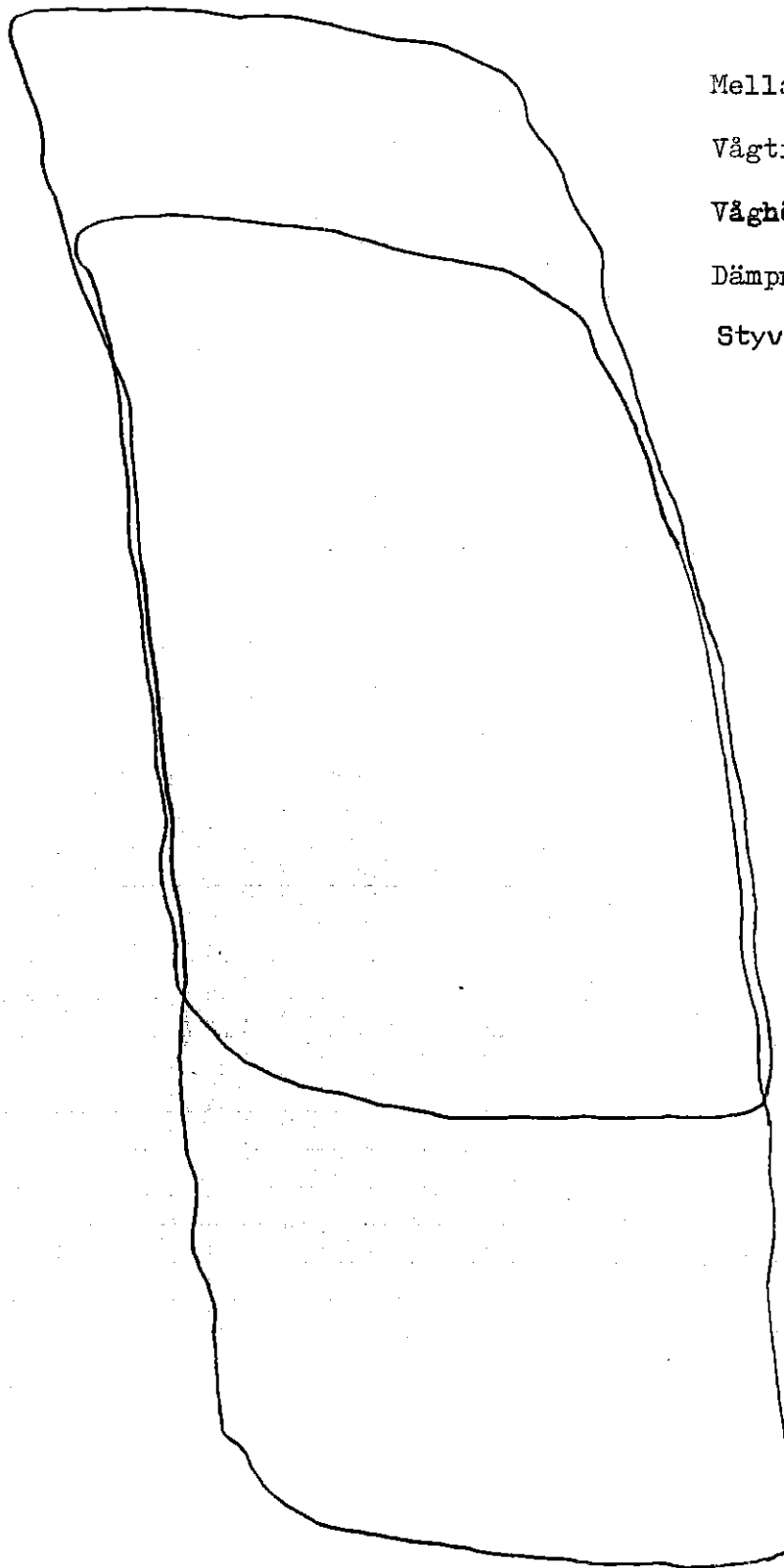


Rörelsemönster för en våg.



Rörelsemönster för en våg.





Mellantunga diskusen

Vågtid 1.0 s

Våghöjd 60 mm

Dämpning 32

Styvhet 64 N/m

Rörelse
mm

Kraft

N 1

5

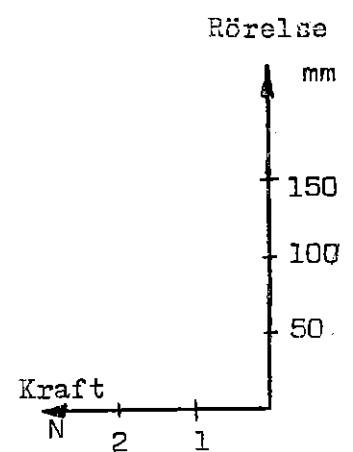
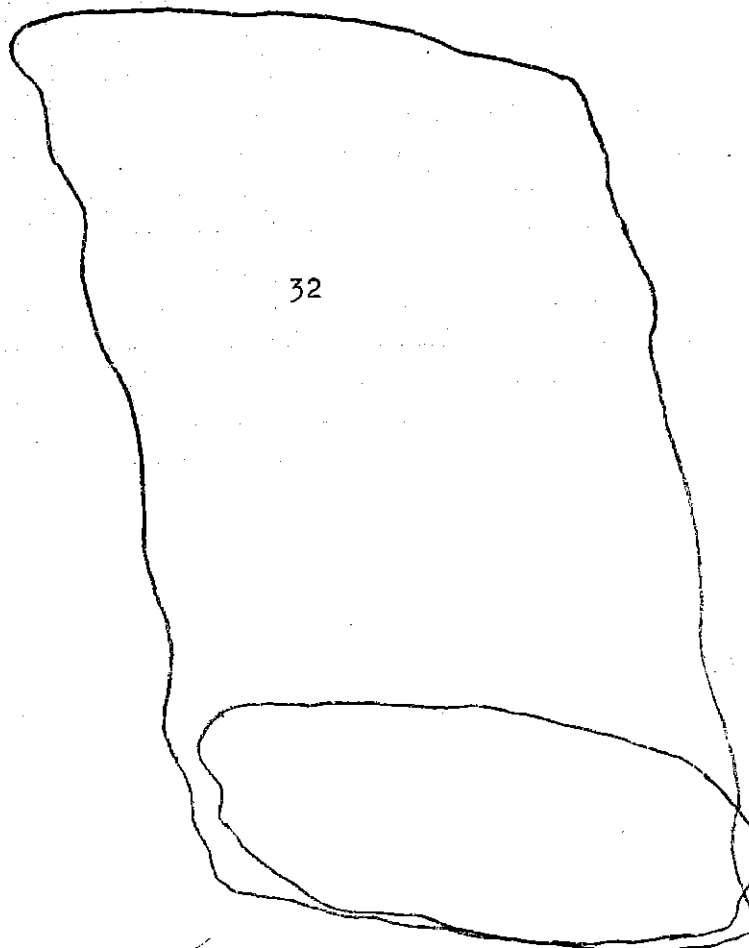
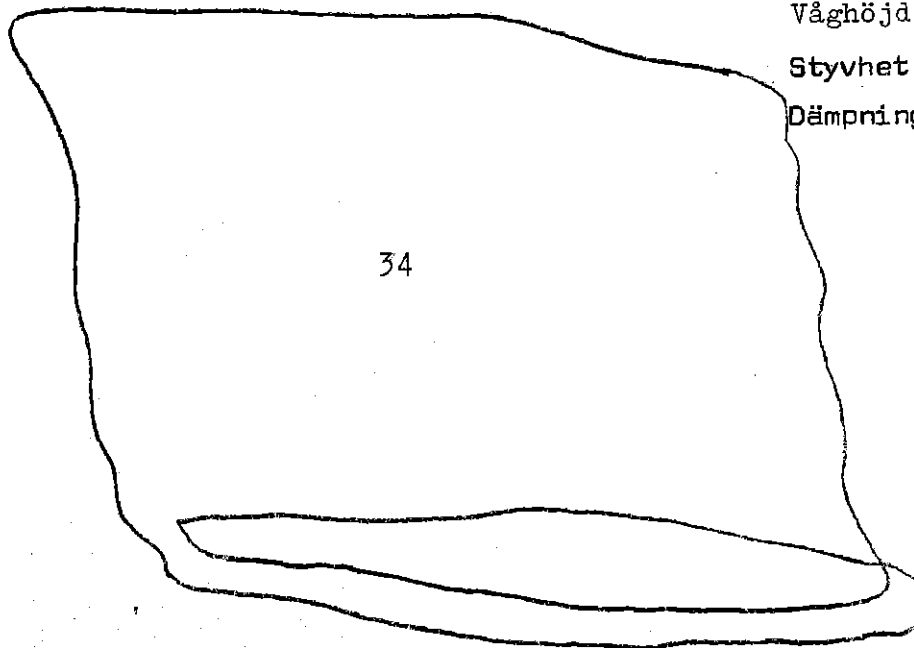
Vinge 1

Vågtid 1.45 s

Våghöjd 88 mm

Styvhet 64 N/m

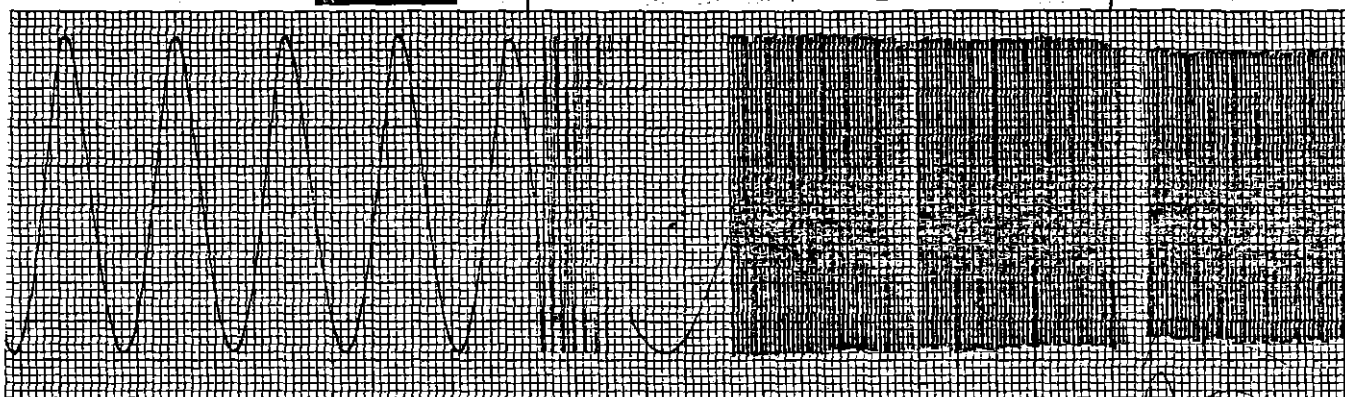
Dämpning i fig.



VÄGHÖJDSPROTOKOLL

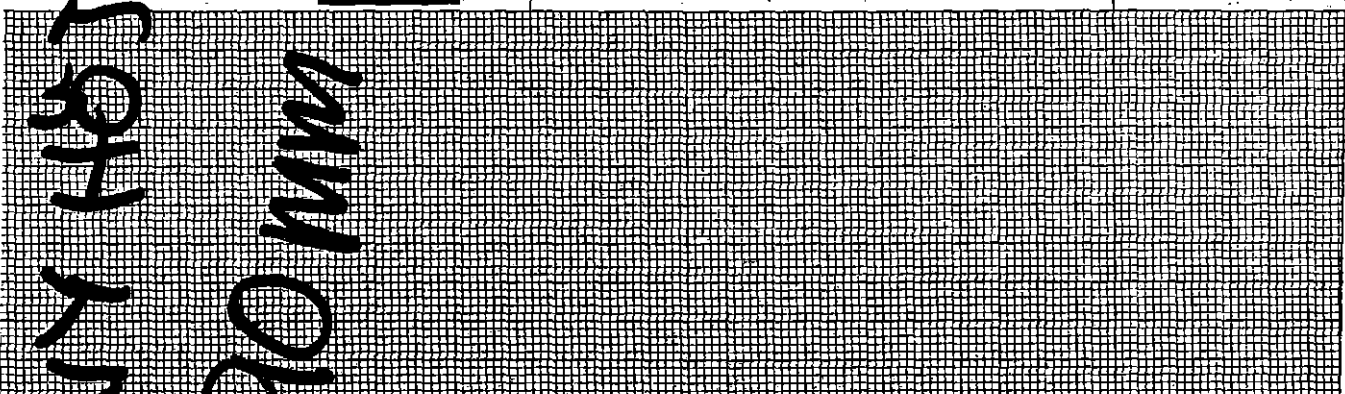
SALEM, NH. U.S.A.

MFE



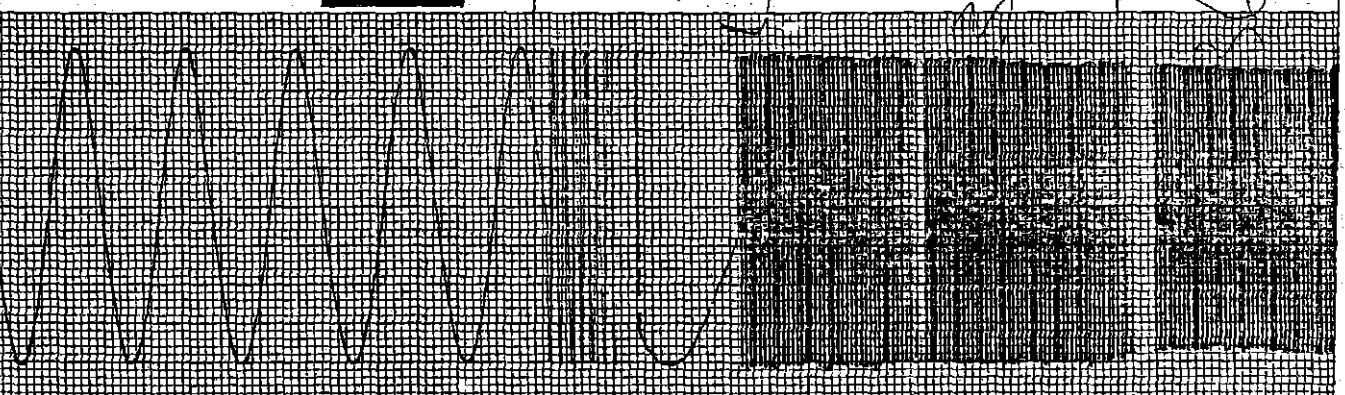
SALEM, NH. U.S.A.

MFE



SALEM, NH. U.S.A.

MFE



SALEM, NH. U.S.A.

MFE

