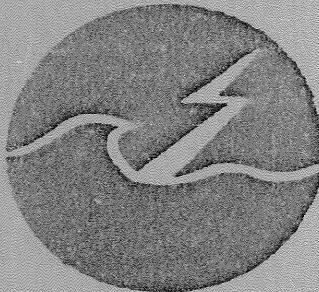


GRUPPEN FÖR VÄGENERGIFORSKNING



FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNINGAR PÅ
ETT VÄGKRAFTVERK I HAVET 1980

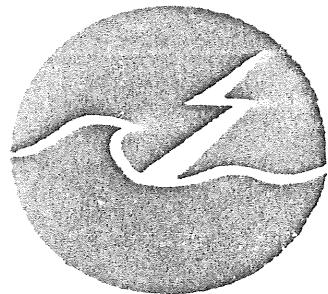
LARS BERGDAHL
ANDERS RYLANDER

Rapport GR:38

Göteborg

Okt. 1982

GRUPPEN FÖR VÅGENERGIFORSKNING



FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNINGAR PÅ
ETT VÅGKRAFTVERK I HAVET 1980

LARS BERGDAHL
ANDERS RYLANDER

Rapport GR : 38

Göteborg

Okt . 1982

FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNINGAR PÅ
ETT VÅGKRAFTVERK I HAVET 1980

Lars Bergdahl 1)

Anders Rylander 2)

1) Inst.f.vattenbyggnad
CTH
412 96 Göteborg

GR 38

2) Technocean i Göteborg AB
Örnehufvudsgatan 3
412 59 Göteborg

Göteborg

Okt. 1982

FÖRORD

Följande rapport utgör andra delen i en rapportserie som beskriver försöken med Interprojectbojen. Tidigare har en rapport utgivits: "Inledande försök med Interprojectbojen", rapport GR:34, Göteborg dec 1980. Projektet har finansierats av Styrelsen för Teknisk Utveckling, Nämnden för Energiproduktionsforskning och Interproject Service AB. Forskningsarbetet har utförts av Gruppen för Vågenergi-forskning vid Chalmers Tekniska Högskola i samarbete med konsult-företaget Technocean i Göteborg AB.

SAMMANFATTNING

Under hösten 1980 gjordes ett antal mätningar av förankringskrafter på en vågkraftverksboj i havet utanför Göteborg. Bojen hade en totalvikt av ca 8 ton och en diameter i vattenytan på 3 meter. Förankringssystemet bestod av tre förankringar med delningsvinklarna 100, 135 och 125 grader. Varje förankring bestod av ett betongankare på ca fyra ton (i luft), 50 meter kätting, 75 meter wire upp till en flytande förankringsblåsa och till sist 25 meter wire i vattenytan till vågkraftbojen. Detta system valdes pga sin mjukhet och pga det ansågs påverka kraftverkets funktion minimalt.

Förankningskraftgivarna sattes mellan kraftverket och ytwirens.

Mätning av de tre förankringkrafterna gjordes under några dagar med frisk vind mestadels från sydost. Största signifikanta våghöjd under mätperioden var 2.2 meter varvid den största uppmätta kraften i en enskild förankringslina uppmätttes till 16 kN. Kraftmedelvärdet i denna förankring var då 4.4 kN.

Teoretiska beräkningar av krafter har gjorts enligt två olika metoder. Dimensioneringen av förankringssystemet gjordes med en linjär dynamisk modell där endast rörelser och krafter i horisontalplanet betraktades (kallas nedan metod 1). Efter mätningarna tillkom möjligheten att göra mer noggranna och omfattande kraftberäkningar med hjälp av ett tidsintegrationsprogram (kallas nedan metod 2). Härvid betraktas ankarlinornas förskjutningar, deformationer och krafter utgående från den elliptiska rörelse hos bojen som erhållits enligt metod 1. Det visade sig att beräkningar med elliptisk rörelse ger mycket små skillnader i resultaten jämfört med beräkningar med en rent horisontell rörelse.

Jämförelser mellan mätresultat och beräkningsresultat erhållna med metod 1 för två olika situationer med signifikant våghöjd 2.14 resp 0.89 meter visar följande:

Den beräknade maximala kraften i den mest utsatta linan är klart mindre än den mätta vid båda situationerna. Dock är skillanden avsevärt större, ca 50%, vid situationen med de högsta vågorna. Samma bild fås vid en jämförelse mellan mätta resp beräknade signifikanta krafter. Den relativt dåliga överensstämmelsen beror med stor sannolikhet på olinjäriteten i förankrings-systemet.

Med beräkningsmetod 2 har endast maximala kraften i den mest påkända linan tagits fram för situationen med 2.14 meter signifikant våghöjd. Det beräknade värdet 11.5 kN stämmer mycket väl överens med det uppmätta på 11.2 kN. Det måste dock framhållas att det finns många felkällor i beräkningen. En av dessa är att bojens rörelser, som är indata vid beräkningen, inte är uppmätta utan beräknade. Då förankringskraftmätningarna gjordes fanns tyvärr ingen möjlighet till rörelsemätning på vågkraftverket.

Vissa försök att ta fram en operator för förankringskrafterna gjordes men gav inget entydigt resultat. Det framgår dock tydligt att en linjär överföringsfunktion är föga tillämplig.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD

SAMMANFATTNING

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	Sida
1. BAKGRUND	1
2. VÄGENERGIBOJEN	1
3. AVSIKTEN MED FÖRSÖKEN	3
4. MÄTPLATSEN	3
5. FÖRANKRINGSSYSTEMET	5
6. VALDA DIMENSIONERANDE VÄDERFÖRHÅLLANDEN	6
6.1 Wind	6
6.2 Vågor	7
6.3 Ström	7
7. DIMENSIONERANDE BELASTNINGAR	8
7.1 Vindlast	8
7.2 Strömkrafter	8
7.3 Vågdriftkraft	9
7.4 Första ordningens vågkrafter	11
8. DIMENSIONERING	13
8.1 Beräknade totalkrafter och horisontalamplituder	13
8.2 Belastningarna i linorna	14
8.3 Ankare	15
9. UTLÄGGNING AV FÖRANKRINGSSYSTEMET	16
10. MÄTSYSTEM	18
10.1 Mätförstärkare och radioöverföring	18
10.2 Filter	19
10.3 Datainsamlingssystem	19
10.4 Givare för förankringskrafterna	20

11.	FÖRANKRINGSKRAFTSMÄTNINGAR	25
11.1	Utförda försök	25
11.2	Utvärdering	27
12.	MÄTRESULTAT	31
12.1	Krafter i varje lina	31
12.2	Krafternas periodicitet	31
12.3	Resulterande förankringskraft	32
12.4	Långsamtvarierande svängningar	32
12.5	Överföringsfunktion vågor - förankringskraft	33
13.	JÄMFÖRELSE MED DIMENSIONERINGSMETODEN	48
13.1	Tidsmedelvärdet av resulterande kraft	48
13.2	Signifikant kraft	48
13.3	Maximal kraft	48
13.4	Långsamtvarierande svängningar	49
14.	JÄMFÖRELSE MED OLINJÄR BERÄKNING	51
14.1	Egenmoder	52
14.2	Beräknad kabelkraft	53
	REFERENSER	59

BILAGA: Resultatutskrifter från samtliga mätningar

1. BAKGRUND

Sommaren 1979 genomfördes i sjön Lygnern en serie försök med en modell av en vågenergiboj av speciell konstruktion. Försöken var ett uppdrag för Interprojekt Service AB och Styrelsen för Teknisk Utveckling. Resultaten ansågs så goda, att en större modell för försök till havs byggdes och lades ut 1980 nära Trubaduren utanför Göteborg. Även 1981 genomfördes försök men då mättes inte förankringskrafterna.

Nedan redovisas projekteringen av förankringssystemet och de krafter som mättes i detta hösten 1980. Redovisningen innehåller också en jämförelse mellan de mätta krafterna och de som kan beräknas med den approximativa metod, som används vid projekteringen. Inom vågenergigruppen utarbetas för närvarande (1982) ett tidsintegrationsprogram för förankringssystemet hos en vågkraftboj.

2. VÅGENERGIBOJEN

Vågenergibojen består av en cirkulär cylindrisk boj med i bottnen avrundade hörn. Se fig.2.1. Diametern är 3 m och totala höjden 3 m. Under bojen hänger ett i båda ändar öppet 20 m långt rör. Inuti röret finns en kolv med en kolvstång som löper genom bojen. På denna stång är fäst en kuggstång som verkar på ett kugghjul vilket i sin tur driver en synkrongenerator via en växel med utväxling 1:16. När vågorna får bojen att svänga uppkommer en relativ rörelse mellan bojen och vattenmassan i det långa röret varvid kolven rör sig och driver generatorn. Generatorn ger maximalet 17 kW men förutses vanligtvis ge en medeleffekt på omkring 5 kW.

Bojens massa inkl. ben och maskineri är	5500 kg
Plaströrets massa	1300 kg
och kolvens	<u>870</u> kg
dvs totalt	7670 kg

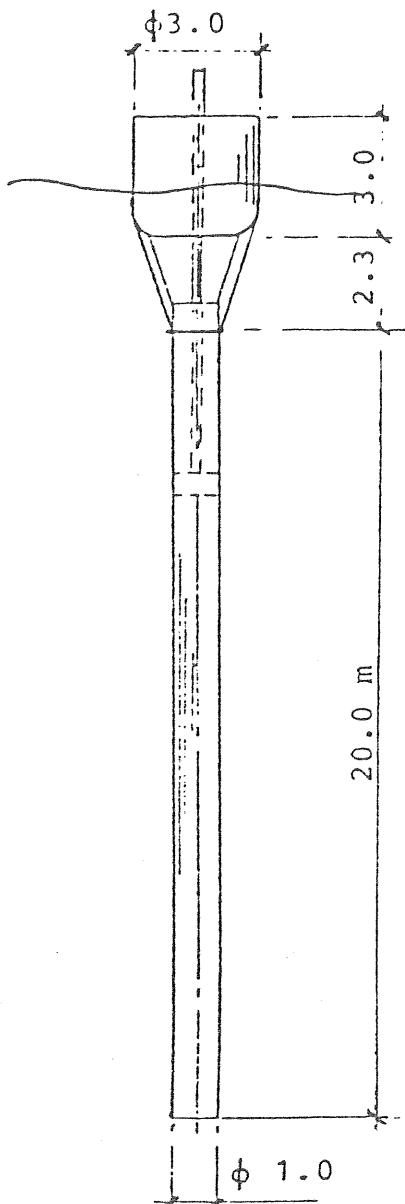


Fig.2.1 Den testade våg-
energibojen.
Mått i meter.

I plaströret finns 16 ton vatten, som utgör en del av det svängande systemet.

Den beskrivna vågenergibojen (Interprojektbojen) har legat ute för försök under tiden 16 sep - 3 nov 1980.

Kraftverket har även under sensommaren 1981 legat i för en ny försöksomgång, sedan vissa ändringar gjorts. Vid dessa senare försök mättes inte krafter i förankringssystemet.

På grund av att kraftverket 1980 kom i sjön två månader senare än som var avsikten från början kom det att ligga ute i vågor för vilka maskineriet inte var dimensionerat.

Vid en storm den 7 oktober 1980 med över 6 m höga vågor havererade en vital del av kraftverket så att energiproduktion därefter ej var möjlig. Istället installerades givare för mätning av förankringskrafter. Dessa mätningar genomfördes också.

Försöken med interprojektbojen redovisas utfört i rapporten GR:34 från Gruppen för vågnergiforskning, CTH, samt i slutrapporten för etapp 4 GR:44.

3. AVSIKten MED FÖRSÖKEN

Avsikten med försöken i havet har varit att testa bojen under realistiska förhållanden i en storlek som närmar sig fullskala.

Vid försöken avsåg man bestämma bojens energiupptagningsförmåga eller hydrodynamiska verkningsgrad och jämföra med modellförsöken i Lygnern. Verkningsgraden i omformningen till elektrisk energi via kuggstång, växel, generator och likriktare skulle också testas.

Samtidigt mättes krafter i förankringssystemet och rörelser hos bojen. Korrosion och beväxning skulle observeras.

4. MÄTPLATSEN

En mätplats nära Trubaduren utanför Göteborg befanns lämplig eftersom SMHI redan hade en vågmätare installerad från vilken man då (i efterhand) skulle kunna erhålla erforderliga vågdata.

En speciell plats öster om fyren valdes ut med hänsyn till farleden, kabeln till Trubaduren samt djupförhållandena. Fig. 4.1 visar var mätplatsen ligger. Fig. 4.2 visar fyrens omgivning mera i detalj.

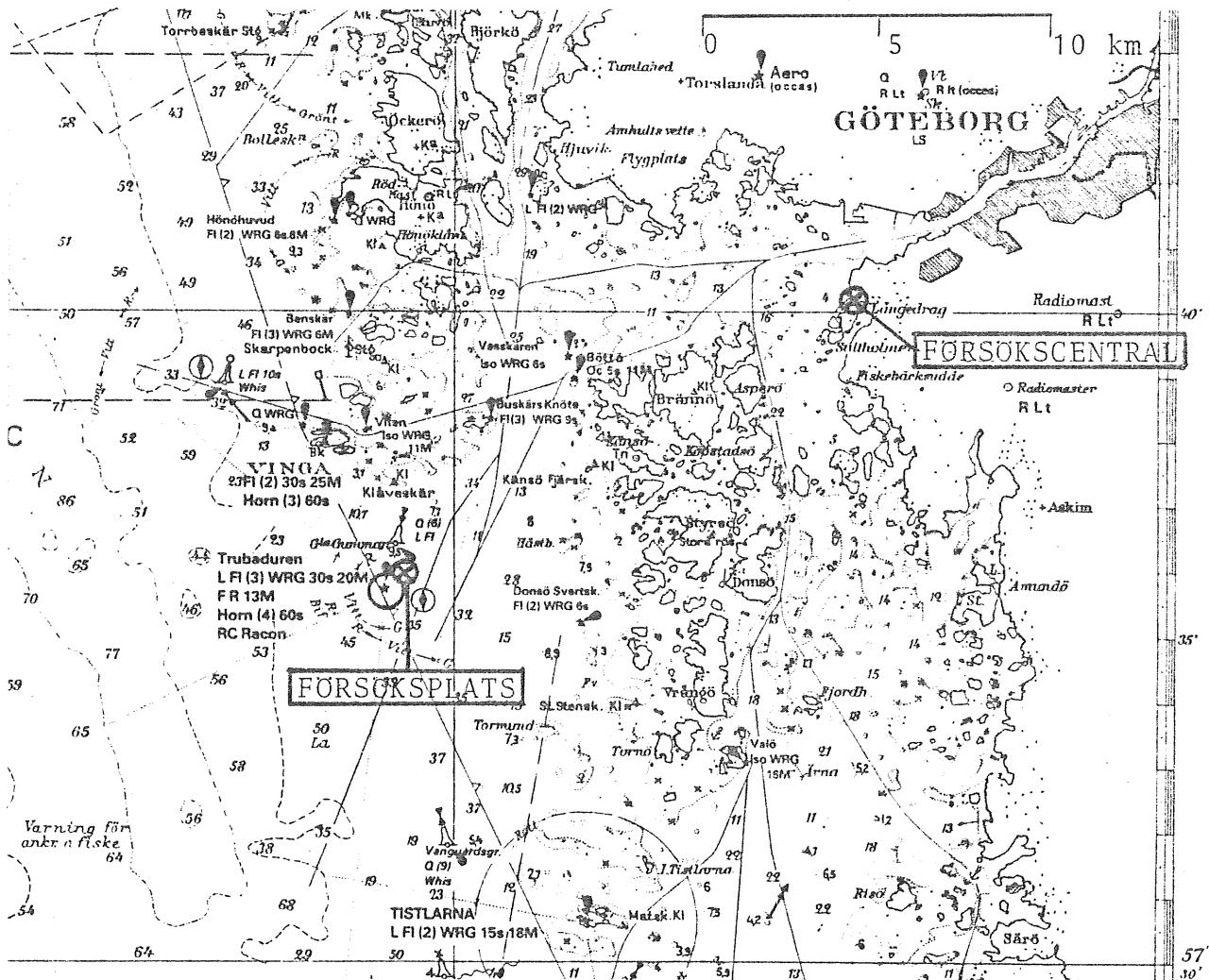


Fig. 4.1 Plan över försöksplats och försökscentral.

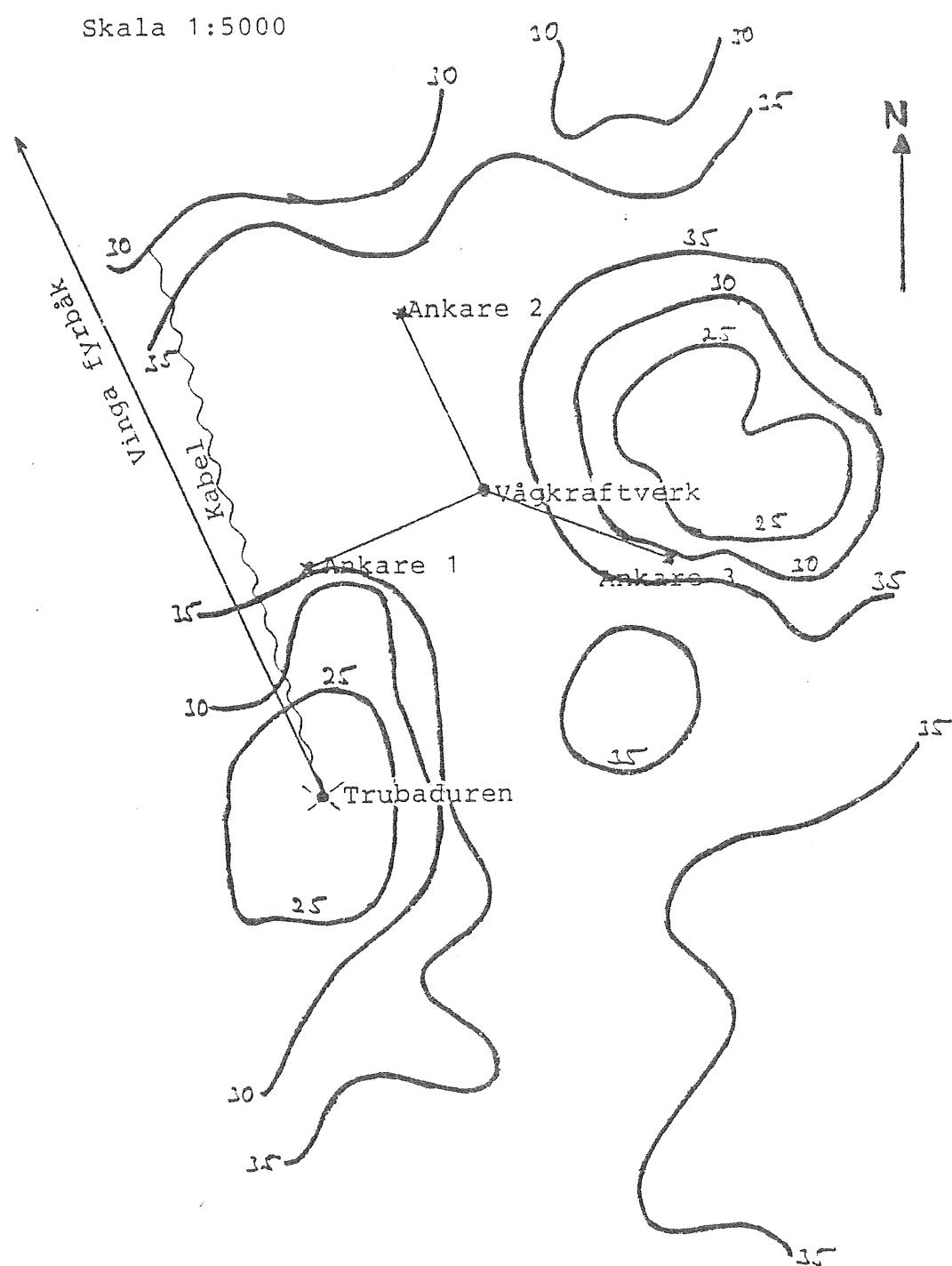


Fig. 4.2 Försöksplats med bottennivåerna inlagda och med planerat ankarsystem inlagt.

5. FÖRANKRINGSSYSTEMET

Ett trepunkts förankringssystem enligt fig. 5.1 beräknades för vågkraftbojen.

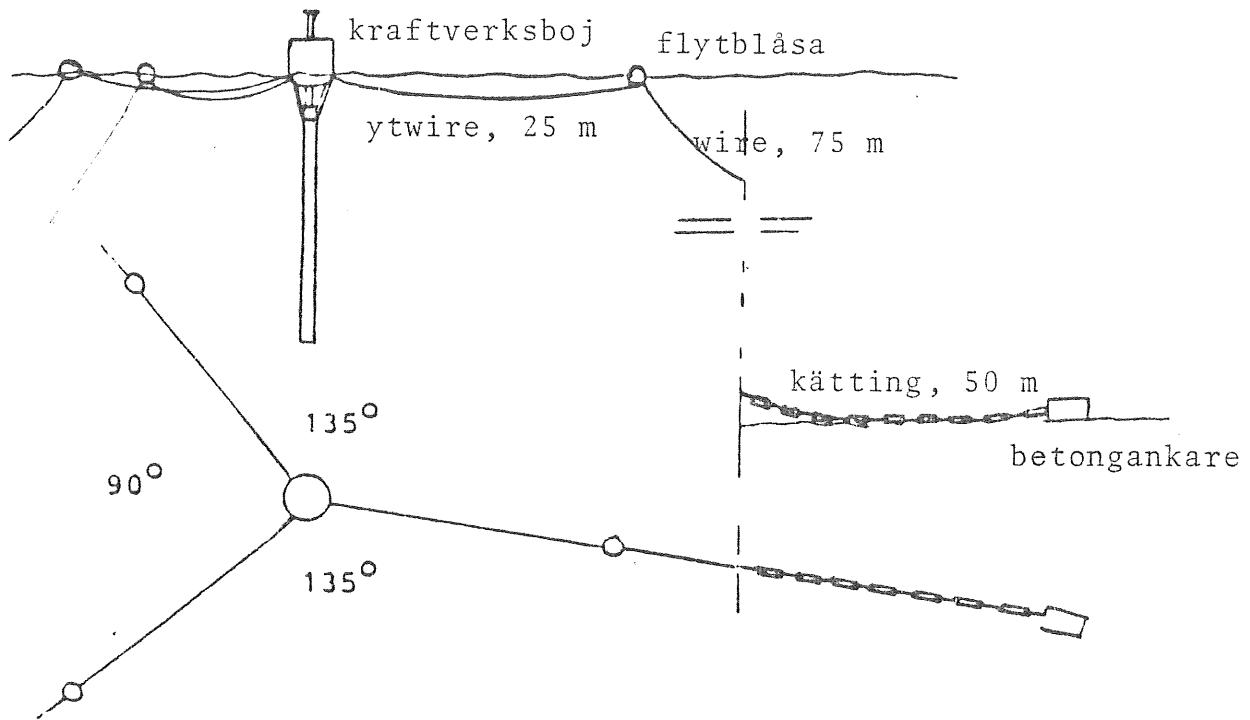


Fig. 5.1 Skiss av planerat förankringssystem

För att förankringssystemets inverkan på bojens vertikalrörelse skall vara liten, så är bojen horisontellt förankrad i tre flytbojar som i sin tur bär bottenförankringens tyngd. Vid extremt stora belastningar kommer flytblåsorna att dras ned under vattnet och på så sätt skapa extra rörelsemarginaler för bojen.

Vågenergibojen skulle förankras inom ett område med 35 m vattendjup. Se fig. 4.2. Röret under bojen sticker 23 m ned i vattnet och skall därför hållas väl från grundet öster om medelläget. På västra sidan måste en viss marginal hållas mot den bottenförlagda kabeln från Trubaduren så att ankare eller ankarkätting ej skadar denna. Avståndet mellan bojen och ankare fick därför vara högst 150 m.

På grund av det begränsade utrymmet borde ankarkablarna väljas ganska tunga. Flytblåsorna borde dock kunna bära tyngden av hela förankringssystemet och eftersom den största tillgängliga storleken på dessa var 360 l, så valdes istället att låta endast den undre tredjedelen av kablarna bestå av kätting och den övre delen av wire. Systemet blev på detta sätt också billigare.

För att hålla oss inom den avsedda kostnadsramen valdes dessutom att göra ankarna som gravitationsankare. Deras vikt i luft fick inte överskrida 4 ton, som är maximal last för däckskranarna på sjöfartsverkets båt Virgo, som användes för att lägga ut förankringssystemet.

Bottnen vid försöksplatsen består av relativt styv lera, och det bedömdes att tyngderna borde kunna ta en horisontallast av samma storleksordning som sin tyngd.

Ankarkablarna valdes således att till sin övre del utgöras av stålwire och till sin undre del av kätting, men en överslagsdimensionering utfördes först för ett system med samma vikt per längdenhet längs hela kabeln. Sedan valdes ett likvärdigt alternativ med kätting och wire vilket beräknades noggrant.

6. VALDA DIMENSIONERANDE VÄDERFÖRHÅLLANDE

6.1 Vind

Ur vindstatistik för Göteborg 1930–61 publicerad i Roger Taesler: "Klimatdata för Sverige" extrapolerades vindstyrkan utan avseende på riktning för olika återkomstintervall. Se tabell 6.1. 10-års-vinden valdes till 35 m/s och har i det följande ansetts ha tillräcklig varaktighet för att ge fullt utbildade vågor på aktuella stryklängder. Detta är ett antagande på "säkra sidan", eftersom statistiken avser 10-minuters medelvärdens.

Tabell 6.1 Vindhastigheten w (m/s) för olika återkomstintervall T (år)

<u>T/år</u>	<u>w(m/s)</u>
1	21.7)
10	28.5) Interpolerade
50	33.2)
100	35.3) Extrapolerade

6.2 Vågor

Ogynnsammaste vindriktningen bedöms vara 205° vilket ger en viktad stryklängd på 50 km i sektorn $175-205^\circ$. Med vindstyrkan 35 m/s erhålls den signifikanta våghöjden till 5.5 m och medelvågperioden till 9.2 s. Minsta vindvaraktighet för att erhålla dessa vågor vid angiven vindstyrka är 2 1/2 timme.

Konstruktionen har också beräknats för icke brytande vågor med branthenet 1:10 och perioderna 1, 2 och 3 s.

6.3 Ström

Förankringssystemet har beräknats för den konstanta ström hastigheten 0.5, 1.0 och 1.5 m/s vilka bedömts som rimliga.

7. DIMENSIONERANDE BELASTNINGAR

7.1 Vindlast

Vindlasten har beräknats enligt

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot C_D \rho w^2 A \quad \dots (7.1)$$

$A = 3 \times 2 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2$ är exponerad tvärsnittsarea över vattenytan

$\rho = 1.3 \text{ kg/m}^3$ luftens densitet

$w = 35 \text{ m/s}$ 100-årvinden

C_D sattes till 1.0 och med insatta värden ger ekv. (7.1)

$F_w \approx 5 \text{kN}$ (Ett sannolikare värde på C_D vid angiven vindstyrka är 0.4 vilket ger $F_w = 1.9 \text{kN}$).

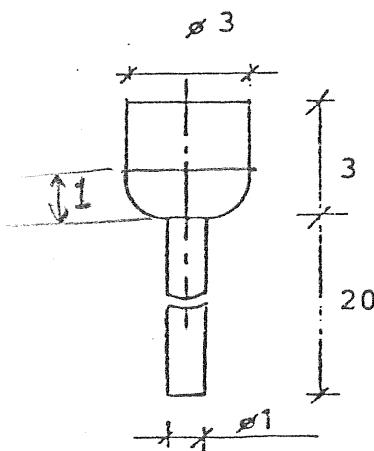


Fig. 7.1 Bojens mått i meter i förankringskraftsberäkningen.

7.2 Strömkrafter

Strömkrafterna har beräknats enligt

$$F_s = \frac{1}{2} C_D \rho q^2 A \quad \dots (7.2)$$

För boj och rör erhålls strömkrafter enligt tabell 7.1.

Tabell 7.1 Strömkraftsberäkning

Diameter D (m)	3		1		
Längd L (m)	1	Boj	20	Rör	
Ström hastighet q (m/s)	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0 1.5
Reynolds tal $Re \cdot 10^{-6}$	1.5	3	3.5	0.5	1.0 1.5
Släpkraftkoeff. C_D	0.4	0.5	0.5	1	0.5* 0.5*
Strömkraft (kN)	0.2	0.8	1.7	2.6	5.1 11.5
Total strömkraft (kN)	2.8	5.9	13.2		

Således är strömkrafterna vid 0.5 m/s 3 kN
 vid 1.0 m/s 6 kN
 och vid 1.5 m/s 14 kN

* Sannolikt är C_D för dessa fall c:a 0.4.

7.3 Vågdriftkraft

Driftkraften F_d i ett regelbundet vågtåg kan ansättas som

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho g a^2 2R \quad \dots (7.3)$$

där

C_d beror av bojens form

$\rho = 1026 \text{ kg/m}^3$ = vattnets densitet

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ = jordaccelerationen

a = vågamplituden (m)

R = bojens radie (m)

För en sfärisk boj i vattenytan gäller enligt B.Molin (1979) att C_d varierar med kR enligt fig.7.2. k är här vågtalet $2\pi/L = \omega^2/g$. Antag att koefficienten C_D för den relativt djupgående vågkraftbojen är dubbelt så stor som den för halvsfären i figur 7.2 redovisade.

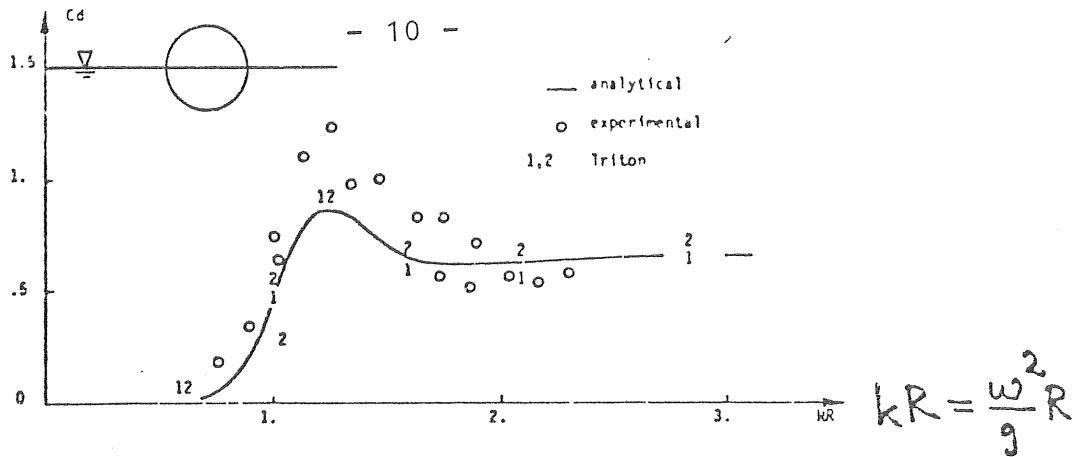


Fig. 7.2 Driftkraftskoefficienten för en halvsfärs som funktion av vågtal x bojradie. (Molin, 1979).

Driftkraft i regelbundna vågor

I tabell 7.2 redovisas uppskattade värden på driftkraften för några ofta förekommande vågperioder. Vågornas branhet har antagits vara 1:10 vilket är extremt. Driftkraften har uppskattats vara dubbelt så stor som den enligt ekvation (7.3) beräknade.

Tabell 7.2 Uppskattad driftkraft för några regelbundna vågor

Period T (s)	1	2	3
Driftkraftskoeff. C_d	1.3	1.3	0.1
Våghöjd H (m)	0.16	0.62	1.40
Driftkraft F_d (kN)	0.25	3.8	1.4

Driftkraft i oregelbundna vågor

Antag att driftkraften är proportionell mot vattenytans varians eller arealen under spektrum m_o .

$$F_d \approx C_d 2R\rho g m_o = 2R C_d \rho g \int_0^\infty S(\omega) d\omega \quad \dots (7.4)$$

$$m_o \approx H_s^2 / 16$$

och signifikanta våghöjden $H_s = 5.5$ m vilket ger $m_o = 1.9 \text{ m}^2$. Ur diagrammet i fig. 7.2 erhålls för $kR = 0.071$ $C_d < 0.1$.

Medelperioden $T_z = 9.2$ s ger $kR = 0.071$ och således är driftkraften enligt ekv. (7.4) $F_d < 5.7$ kN. Sätt $F_d = 10$ kN.

7.4 Första ordningens vågkrafter

Vågkraftverkets rörelseekvation i horisontalled kan approximativt skrivas

$$(a_x + m) \ddot{x} + b_x \dot{x} + c_x x = (a_x + \rho V) \ddot{u} + b_x u \quad \dots (7.5)$$

Här är
 m bojens massa, som inkluderar vattnet i röret
 x bojens förskjutning i horisontalled
 u vattnets horisontella hastighet vid bojen
 a_x hydrodynamisk massa i horisontalled
 b_x hydrodynamisk dämpning i horisontalled
 c_x förankringssystemets fjäderkonstant i horisontalled vid förskjutna medellägen pga konstant drift-, vind- och strömkraft.
 V bojens deplacement $m = \rho V$ för ett flytande föremål
 ρ vattnets densitet

Ingen hänsyn har tagits till dynamiska effekter i själva förankringssystemet, vidare har inverkan av de vertikala rörelserna på de horisontella rörelserna försummats, såväl som eventuell pendelrörelse och lutning hos kraftverket självt. Dessutom har den drivande kraftens avtagande med djupet ej medtagits.

Ur rörelseekvationen erhålls den horisontella amplitudresponsen för en regelbunden våg med höjden $2a$ på djupt vatten till

$$Y = x_0/a = \sqrt{\frac{((a_x + \rho V)\omega^2)^2 + (b_x \omega)^2}{(c_x - (a_x + m)\omega^2)^2 + (b_x \omega)^2}} \quad \dots (7.6)$$

Amplituden för rörelsen är således $x_0 = Y \cdot a$ och amplituden för förankringssystemets mothållande kraft blir

$$F_H = Y \cdot a \cdot C_x \quad \dots (7.7)$$

För en cirkulär cylinder gäller för höga frekvenser eller långt från vattenytan och andra ränder att den hydrodynamiska massan är konstant och lika med cylinderns volym. Vågenergibojens totala hydrodynamiska massa har satts till 22.800 kg varav 15.700 kg hänförlig till röret och 7.100 kg till ytbojen.

Dämpkoefficienten ansätts som $b_x = \varepsilon m\omega$. För små amplituder ($x_0 < 2m$) sätts $\varepsilon = 0.5$ och för stora amplituder bestäms ε ur Morisons formel genom att linearisera släpkraftstermer i denna. För en cylinder med diametern D och längden L gäller t.ex.

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho D x_0^2 \omega^2 L \cos \omega t \{ \cos \omega t \} \approx \dots (7.8)$$

$$= \frac{4C_D}{3\pi} \rho D x_0^2 \omega^2 L \cos \omega t = b_x x_0 \omega \cos \omega t$$

dvs

$$b_x = \frac{4C_D}{3\pi} \rho D x_0 \omega L = \varepsilon m\omega$$

eller

$$\varepsilon = \frac{4C_D \rho D L x_0}{3\pi m} \dots (7.9)$$

För kraftverket har erhållits

Tabell 7.3 Dämpkoefficienten ε för olika horisontalamplitud x_0

x_0 (m)	ε
0	0.5
2	0.5
4	0.8
6	1.3
8	1.8
10	2.2

Fjäderkonstanten C_x har beräknats ur kraft-förskjutningssamband kring resp. förskjutningsläge vid konstant grundbelastning av vind, driftkraft och strömmar.

8. DIMENSIONERING

En dimensionering gjordes först för ett förankringssystem (I) med 150 m långa ankarlinor mellan blåsa och ankare och med lentyngden 50 N/m i vatten. Bland annat på grund av utrymmesbrist måste detta bytas mot ett system (II) med 50 m kätting med tyngden 70 N/m och 75 m wire med tyngden 12 N/m i vatten. Se figur 8.1.

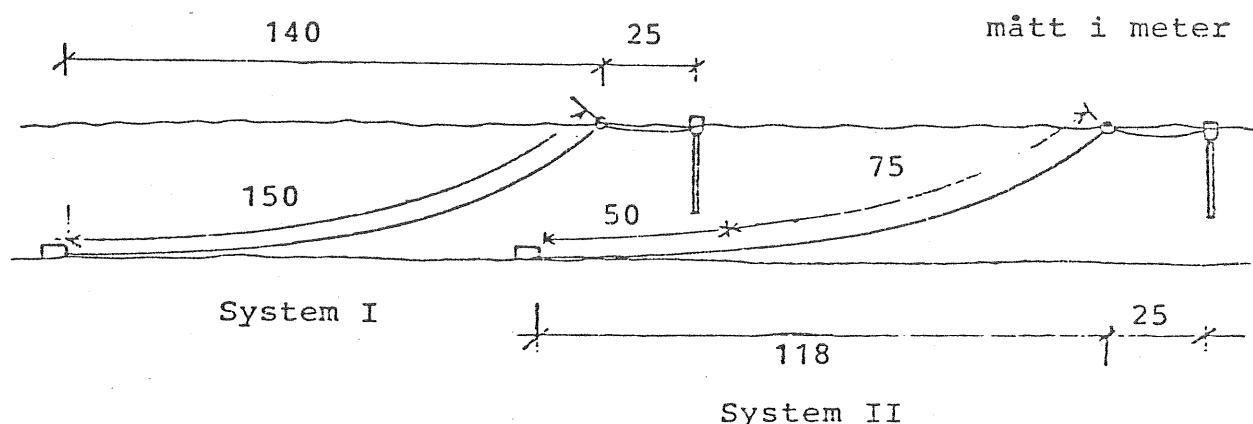


Fig. 8.1 Linor i trepunktsförankringen system I och II.
(Mått i meter).

8.1 Beräknade totalkrafter och horisontalamplituder

I tabell 8.1 nedan redovisas egenskaper hos och belastningar på de två förankringssystemen för valda vågtåg.

Av tabellen framgår att förankringssystemen är ganska likvärdiga för medelstora grundbelastningar då systemen har ungefär samma styvhet. Vid små belastningar är system I mycket mjukare än system II vilket framgår av skillnaden i totalförskjutning från obelastat läge.

Vid kraftig sjö fungerar de två systemen beräkningsmässigt på olika sätt. I system I ligger flytblåsan kvar på vattenytan, medan den i system II dras ned cirka 1.8 m från ytan vid våghöjden 5.5 m. Styvheten i system II är då dubbelt så stor som hos system I och rörelseamplituden är knappt hälften så stor. Trots detta är belastningen i kablarna hos system II av samma storleksordning som hos system I.

Det använda systemet II tycks således ge en mindre avdrift av kraftverksbojen utan att påkänningar i dess linsystem är större.

Tabell 8.1 Egenskaper hos och belastningar på förankrings-systemen I och II i fig. 7

	Regelbundna vågor			Oregelbundna vågor
Period T, T_z (s)	1	2	3	9.2
Våghöjd H, H_s (s)	0.16	0.62	1.40	5.5
Driftkraft (kN)	0.25	3.8	1.4	10
Strömkraft (kN) vid $q = 1.5$ m/s	13.2	13.2	13.2	13.2
Vindkraft (kN) vid $w = 35$ m/s	5.0	5.0	5.0	5.0
Summa konstant bel.	18.5	22.0	19.6	29.0
C_x (kN/m): tangentmodul vid pålagda konstanta belastningar				
System I	6.000	6.000	6.000	10.000
System II	5.700	5.700	5.700	20.000
			(I)	(II)
Rörelseamplitud (m)	0.65	0.25	0.55	1.2
Kraftamplitud (kN)	0.4	1.4	3.2	11.5
Total maxlast (kN)	18.9	23.4	22.8	41
Total max- förskjutning	(I) 6.8	(II) 1.3	(I) 7.4	(II) 0.9
			(I) 7.9	(II) 1.2
				10.4
				2.6

8.2 Belastningarna i linorna

Belastningarna i de mest belastade linorna är drygt $1/\sqrt{2}$ av totalkraften när vind och vågor faller in så att belastningen fördelar sig lika på de två västliga förankringslinorna i systemet. Vid ogynnsam vind- och vågriktning torde hela belastningen dock få bäras av en lina. Relativt vanlig (ett par ggr om året) belastning i linorna bedöms vara 15 kN. Vid "100-årsbelastningen" i ogynnsam riktning skulle belastningen i en lina kunna bli 40 kN. Brottlasterna för den valda wiren och kättingen är båda 132 kN.

Tabell 8.2 Uppgifter om vald kätting och wire

	Kätting Ø 19 klass 2	Wire Ø 16
Vikt per l.e. i luft (kg/m)	8.1	1.5
Tyngd per l.e. i havsvatten (N/m)	70	12
Brottlast (kN)	132	132
Vanlig extrem belastning (kN)	15	15
Säkerhetsfaktor för dito	8	8
100-årsbelastning (kN)	40	40
Säkerhetsfaktor för dito	3	3

8.3 Ankare

Som ankare göts betongblock med vikten 4 ton (i luft). Dessa får en tyngd i havsvatten av c:a 23 kN. Sjöfartsverkets Virgos däckskranar kan inte lyfta större tyngder.

Bottnen vid förankringsplatsen består av relativt styy lera, och det bedömdes att ankartyngderna borde kunna ta en horisontallast av samma storlek som sin tyngd. Säkerhetsfaktorn mot förskjutning vid belastningen 15 kN blir då 1.5. Ankaret skall börja dragga på bottnen innan det finns risk för brott i ankarkablarna. Också det villkoret är uppfyllt eftersom vajerns brottlast är 132 kN.

Vid den extrema och ganska osannolika lasten 40 kN i en lina borde det belastade ankaret tillåtas dragga på bottnen tills två linor och ankare samarbetar vid lastupptagningen. Vid ytterligare osannolikare förskjutningar samverkar alla tre ankarna och den motstående kraften blir då c:a 70 kN.

9. UTLÄGGNING AV FÖRANKRINGSSYSTEMET

Utläggningen av boj och ankarsystem utfördes genom att fira ned betongankarna med Virgos däckskranar på i förväg med blåsor markerade positioner. Kraftverket kopplades sedan in i mitten när det blev klart. Under mellantiden placerades en av sjöfartsverkets vanliga lysbojar i kraftverksläget.

I syfte att förenkla utläggningen av ankarna gjordes i förväg en uppmätning på försöksplatsen. Med pejlinstrument och avståndsmätare bestämdes från Trubaduren de valda ankarlägena, som märktes ut med små blåsor stramt förankrade i sänken.

De faktiska lägena för ankarna mättes också in efter utläggningen. Den planerade och verkliga konfigurationen hos förankringssystemet återges i figur 9.1.

Förankringssystemet fungerade tillfredsställande. Inga oväntade svängningar kunde iakttagas och krafterna togs upp mjukt. I samband med kraftig ström och vågor från samma håll drogs den mest belastade blåsan ned strax under vattenytan.

Då vågenergibojen togs in för säsongen den 3 november 1980 kopplades linorna ihop i kraftverkets plats. Blåsorna togs upp och förankringssystemet sänktes till bottnen för att kunna användas igen nästa säsong.

Skala 1:2000

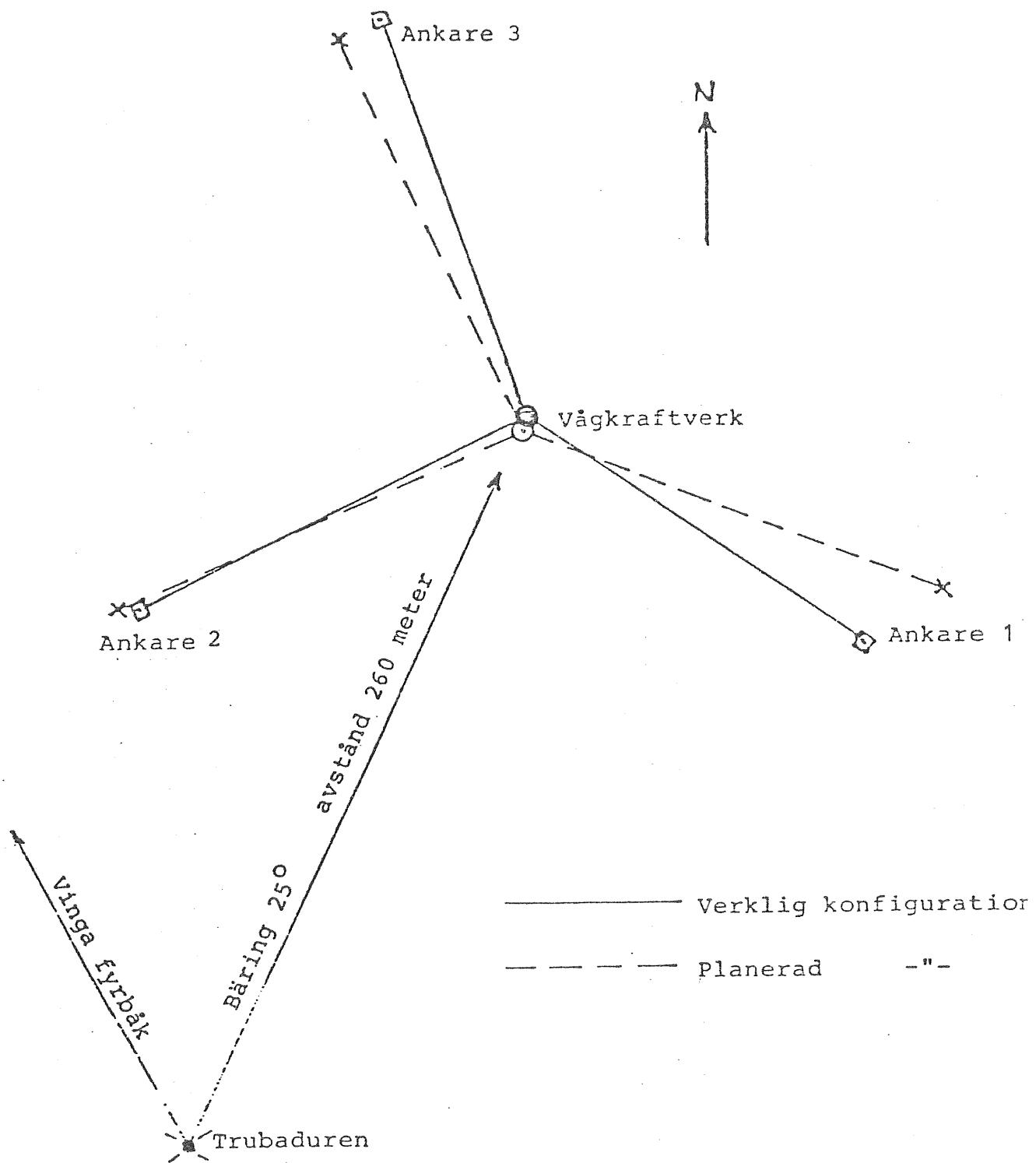


Fig. 9.1 Förankringskonfiguration

10. MÄTSYSTEM

Som tidigare beskrivits låg kraftverksbojen centralt placerad mellan och förankrad i tre förankringsblåsor, fig. 9.1. Var och en av dessa var i sin tur förankrad i ett betongankare via wire och kätting. Bojen har ett mekaniskt system som överför energin till rotation hos en generator från vilken elektrisk energi erhålls. Denna förbrukas endera i doppvärmare utanför bojen eller vid laddning av de batterier som behövs för bojens drift.

Ett antal givare gav signaler för olika parametrar såsom acceleration, vågparametrar, spänning, strömstyrka, stångkraft, varvtal och senare även förankringskrafter.

Maximalt åtta givarsignaler sändes via radio till en mottagare i Långedrag där en mätdator samplade dem och lagrade dem på disketter för senare bearbetning.

10.1 Mätförstärkare och radioöverföring

Eftersom flertalet givarsignaler var små, några tiotals mV, sammrades signalerna till en 8-kanals bryggförstärkare (fabrikat Johnet Reilhofer).

En viktig del i mätsystemet var signalöverföringen till land och mottagaren, ca 17 km från bojen. Vi valde ett 8-kanals PCM-system. Detta har karaktären att antingen för det över signalen helt eller också får man bara störningsbrus. Vid otillräckligt signal-brus-förhållande accepterar mottagaren ej den sända signalen, vid tillräckligt så återskapar den signalen korrekt på grund av pulskodsförfarandet. Bärfrekvensen gör emellertid signalen känslig för hinder mellan sändar- och mottagarantenn. Vi valde ordinära TV2-antennar för både sändare och mottagare. De har en lob på ca 45° , och är alltså riktningskänsliga.

Sändarens effekt är ca 1W, varför mottagaren fick placeras uppe i mottagarantennens stolpe så att antennkabeln blev kortast möjlig, detta för att minska dämpningen av antennsignalen.

För mätningarna erhölls ett tidsbegränsat radiotillstånd.

10.2 Filter

Från mottagarens demodulator gick mätsignalerna till ett variabelt lågpassfilter, typ 3:e ordningens Bessel. Både förstärkning och brytfrekvens kunde väljas. Besselfiltret har konstant grupplöptid med maximalt slät faskurva. Detta innebär att filtret fasvrider alla signalfrekvenser lika i det släta området.

Förstärkningen kan väljas till 1 eller 10. Tre valbara brytfrekvenser 1, 2.5 och 5 Hz finns i filtret.

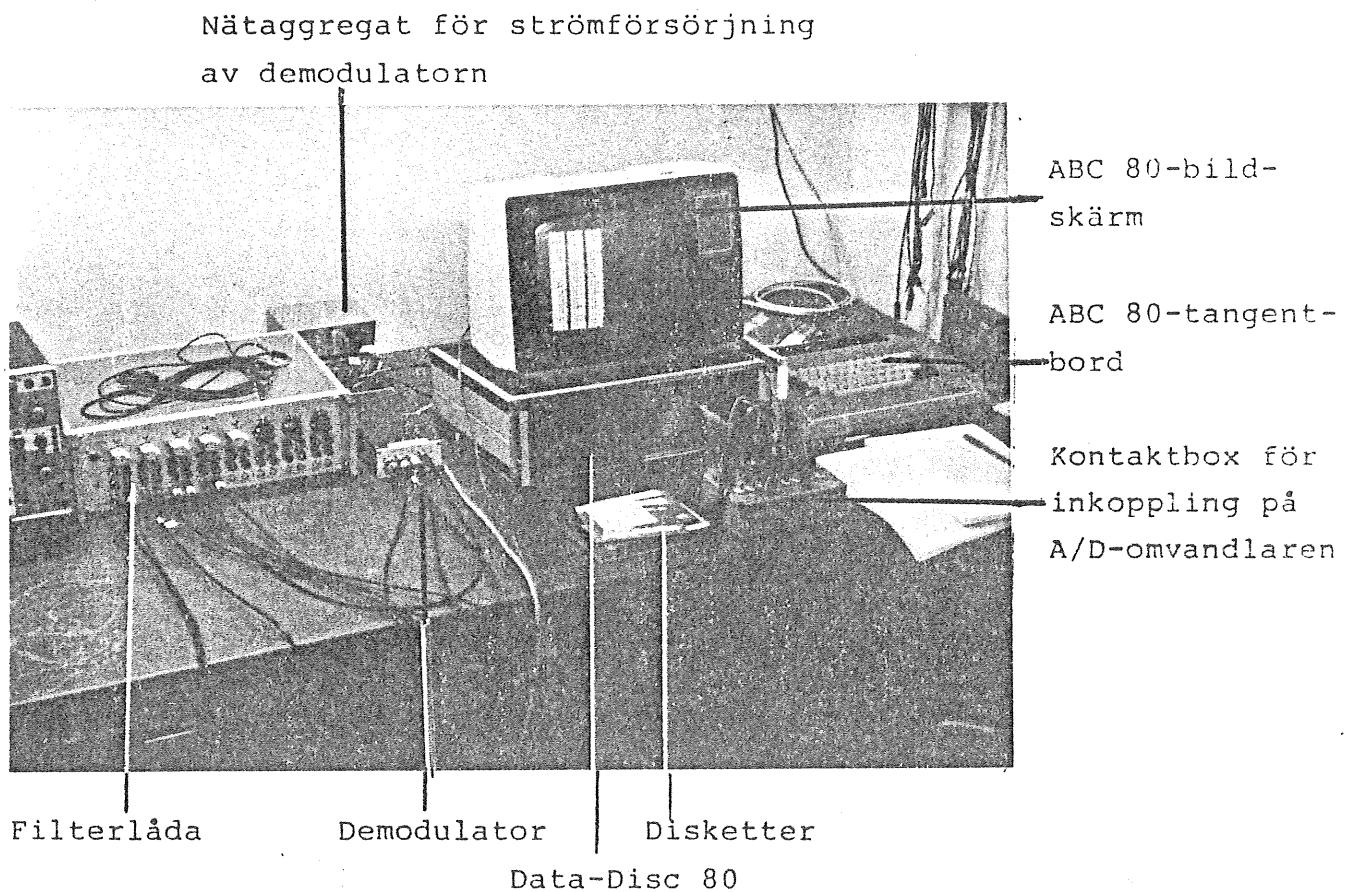


Fig. 10.1 Datainsamlingssystemet.

10.3 Datainsamlingssystem

Efter filtret skulle de analoga spänningssignalerna digitaliseras och samlas in på lämpligt sätt. Vi valde att använda ett system med en ABC 80-dator som grundenhet. Denna byggdes ut med en Data-Disc 80, som är en enhet med två minifloppyenheter och plats för fem I/O-kort (In/Out). Analog/digitalomvandlingen görs med hjälp av ett A/D-kort i Data-Disc 80. Samplingstiden (tiden mellan de

diskreta värden man läser av) väljs som indata i det program som styr A/D-kortet och även samlar in och lagrar mätvärden. ABC80-datorns egen minneskapacitet tillåter drygt 1000 mätvärden per kanal vid fem kanaler vilket var aktuellt i detta fall. Eftersom de FFT-program (Fast Fourier Transform, en direktmetod för att transformera tidsdata till frekvensplanet), som är gjorda för utvärdering för sådana här mätningar, bygger på att antalet mätvärden ska vara 2^n (enligt Cooley-Tukey's algoritm) valdes att ta in 1024 värden ($n=10$) för varje kanal. När en mätning är klar överförs mätvärdena till disketter i Data-Discen. På en diskett får man plats med 2 kompletta mätningar (fem kanaler och 1024 värden/kanal). I figur 10.1 ovan visas datainsamlingssystemet.

10.4 Givare för förankringskrafterna

För att mäta förankringskrafterna byggdes tre stycken kraftgivare, se fig. 10.2. Kraftgivarna är gjorda på följande sätt: Ett 250 mm långt M24 skruväinne svarvades ned till Ø 19.5 mm på en sträcka av 100 mm. Två stycken XY-trådtöjningsgivare limmades symmetriskt på mitten avståndet. Givarna kopplades ihop så att vridmoment och böjmoment kompenserades bort och endast krafter i axiell riktning kom att ge utslag. Trådtöjningsgivarna och lödställena täcktes med speciell silikongummimassa som skydd mot vatten. Slutligen lades rikligt med vanligt silikongummi på och utanpå detta flera lager av textiltape. Kraftgivarna blev på detta sätt ordenligt skyddade mot mekaniska påkänningar. Kraftgivarna kalibrerades i en dragprovmaskin på Väg- och Vatten, CTH. Resultaten visas i fig.

10.3 - 10.5.

Kraftgivarna sattes på plats på kraftverket, en i varje förankringsfäste. Då inga hållfasthetsvärden för skruvöglorna fanns tillgängliga sattes en säkerhetskäffting mellan de schacklar som kraftgivarna var kopplade med. Se fig. 10.2.

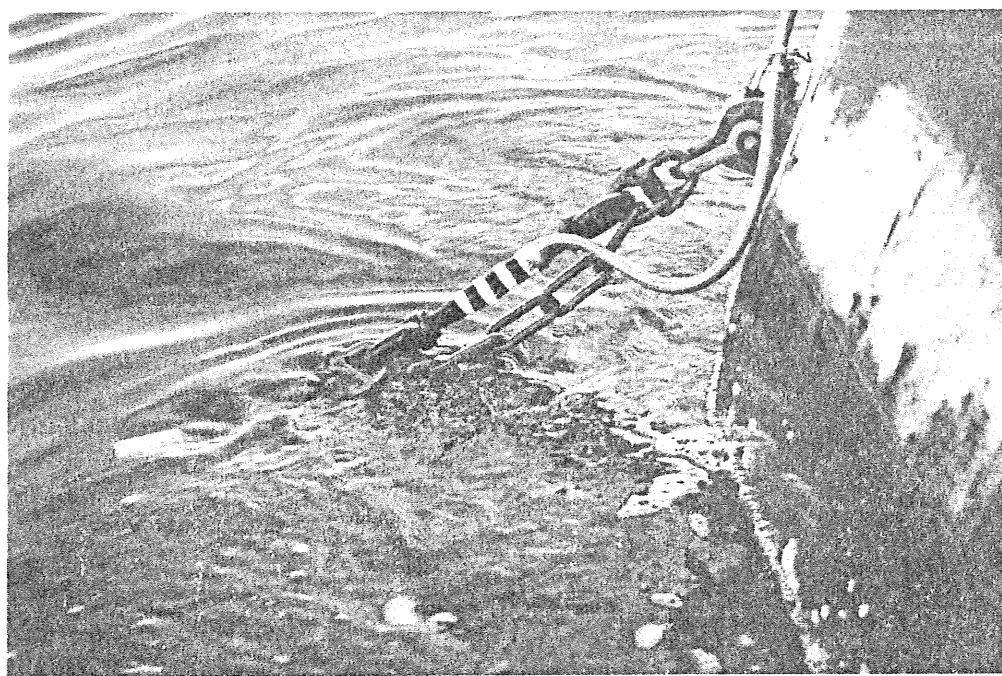
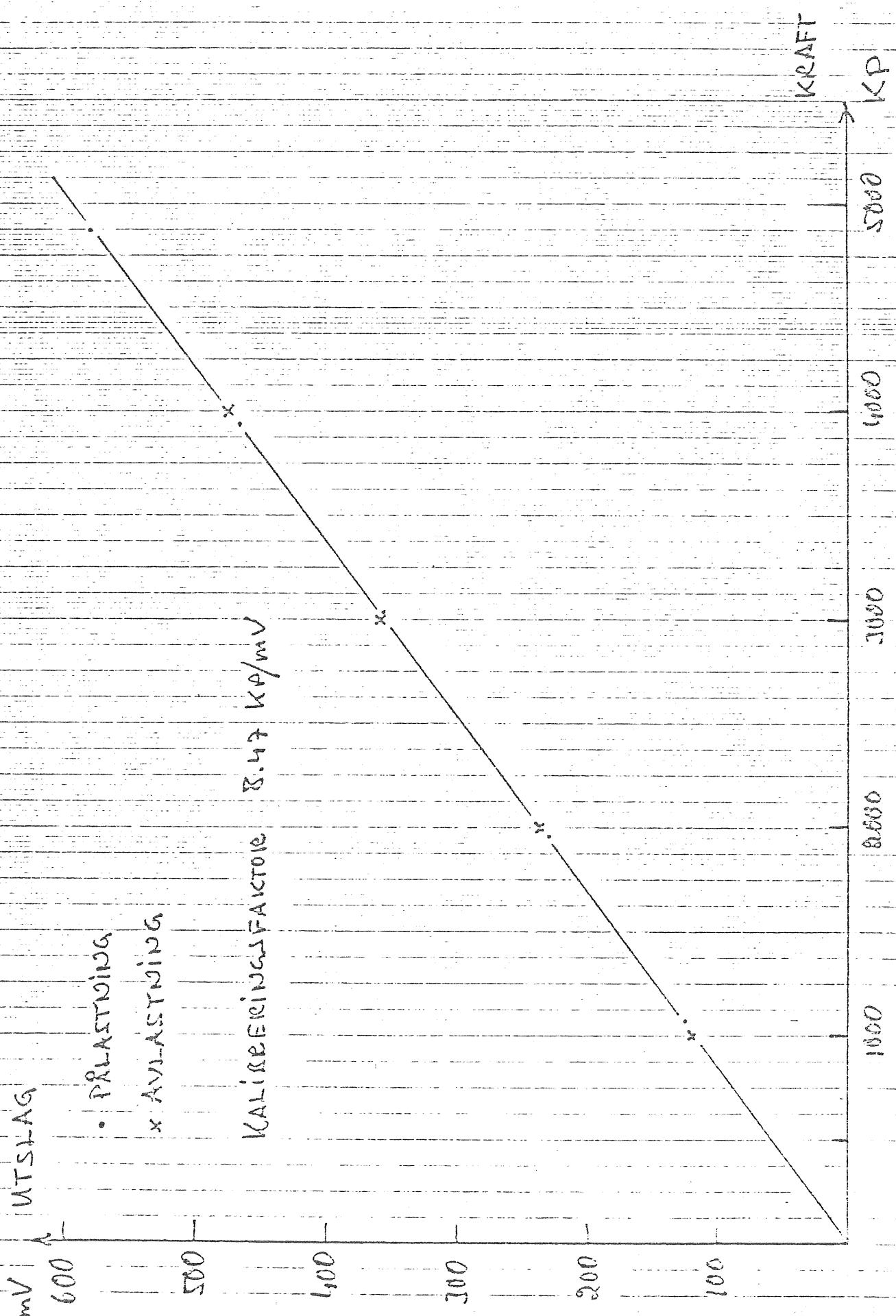


Fig. 10.2 Förankringskraftgivare nr 3 monterad på kraftverket. Observera säkerhetskärringen.

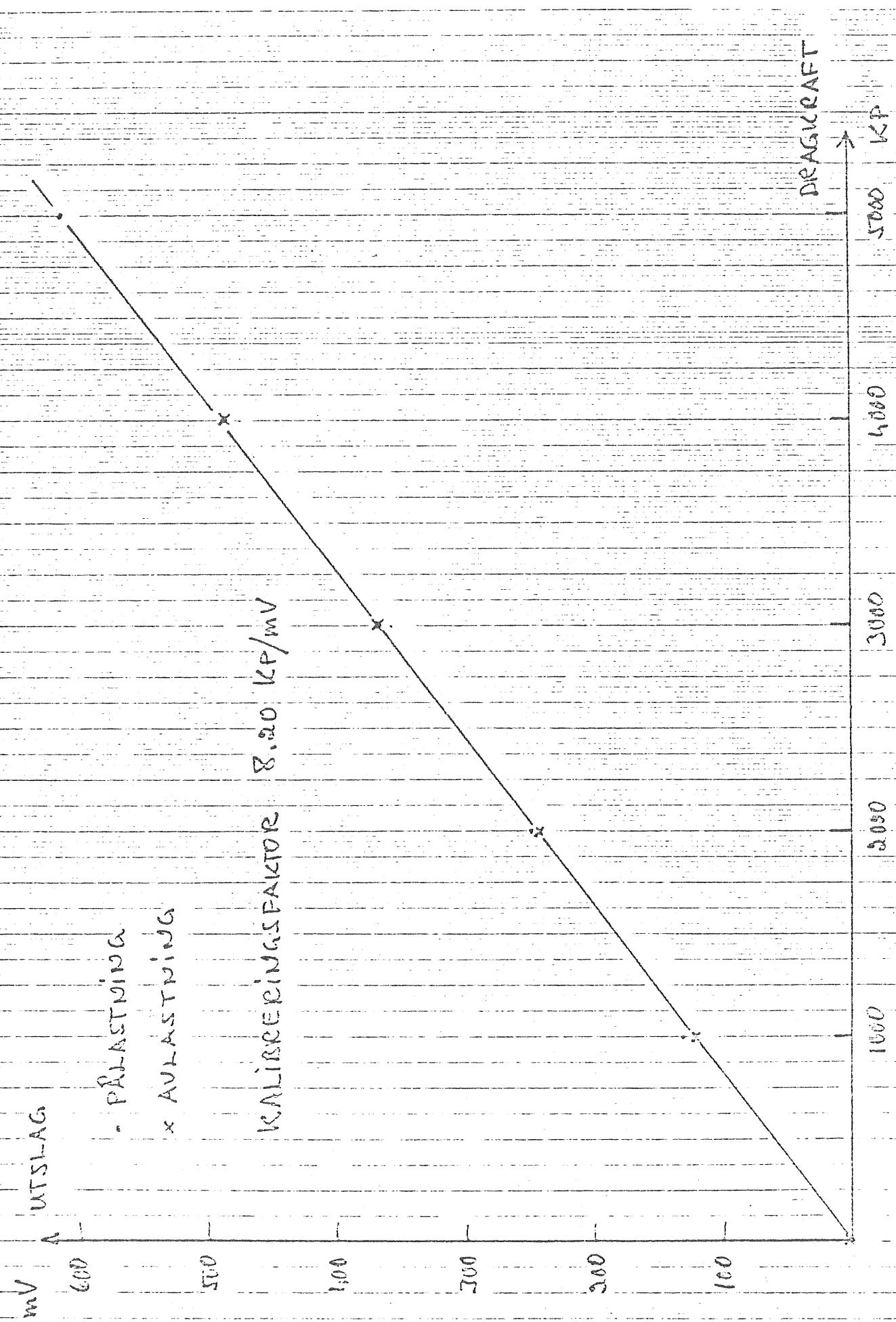
KALIBRERING IPS-KRAFTGIVARE I

NR I

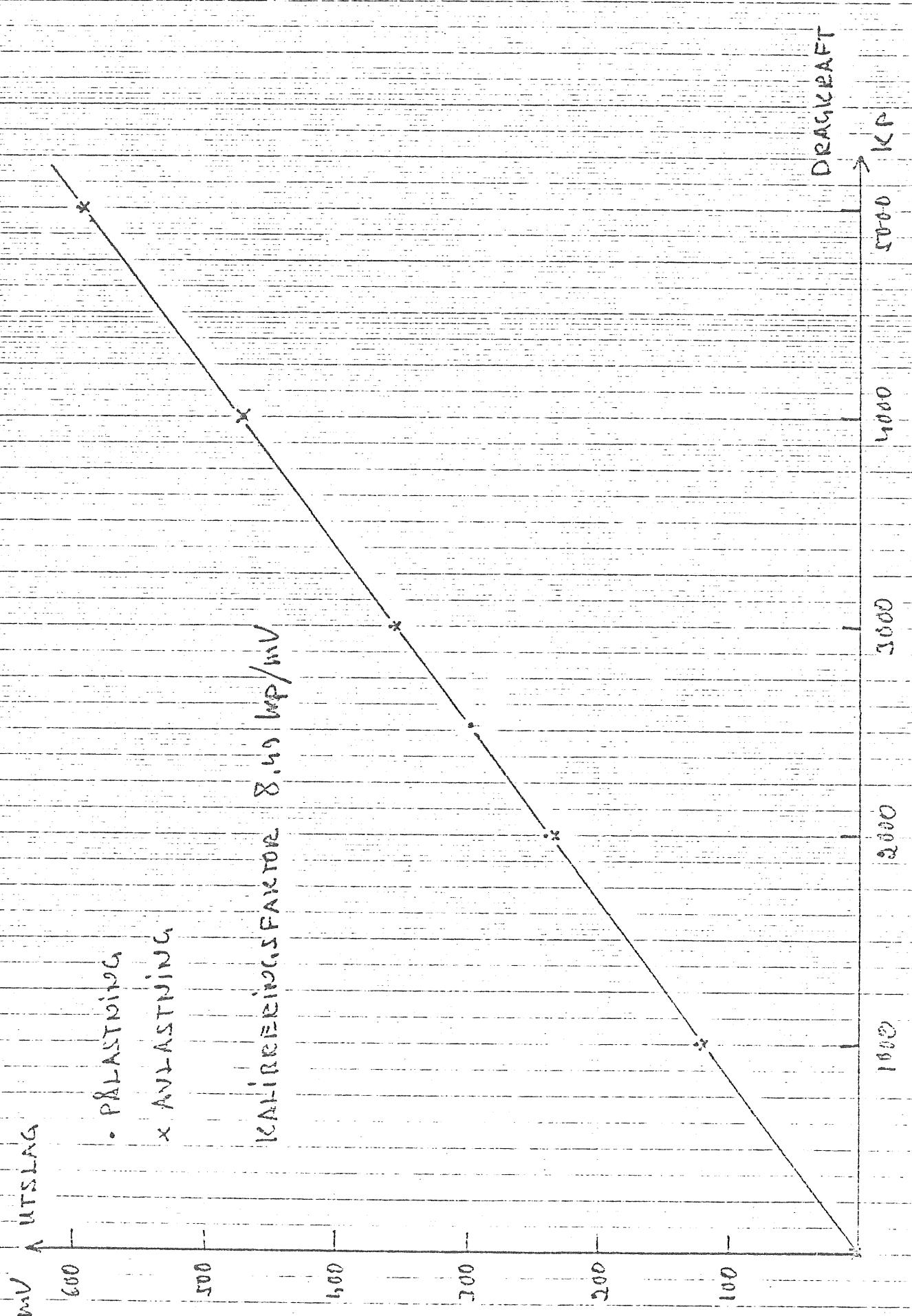
AR

BRYGGMATNING 5.03 V
FÖRSTÄRKNING 100 GCR

KALIBRERING IPS-KRAFTGIVARE II
TECHNOCEAN AB
BRYGGMATNING 5.02 V
FÖRSTÄRKNING 100 GGR



TECHNOCEAN BRYGGMATNING 5.02 V
AB FÖRSTÄRKNING 100 GGR



11. FÖRANKRINGSKRAFTSMÄTNINGAR

11.1 Utförda försök

IPS-kraftverkets första säsong i havet 1980 bjöd på en rad besvikelser. Den mekaniska kraftöverföringen från kolvstång till generator havererade på grund av felkonstruktion, se GR:34. Kuggstången miste sina kuggar vilket innebar att det ej gick att dämpa kolvens rörelser. Detta ledde givetvis till stora amplituder, och vid en mycket kraftig höststorm slogs kolvstångens extra displacementskropp sönder mot bojens undersida varpå kolven sjönk.

I detta läge bestämdes i samråd med STU att istället för att ta upp IPS-bojen skulle en serie mätningar av förankringskrafterna göras. Mätsystemet och radiodelen var ju helt intakta och bortsett från det självklara intresset för förankringskrafter bedömdes det som värdefullt att få mäterfarenheter till efterföljande säsong. Således kopplades kraftgivare in mellan IPS-bojen och förankringarnas ytwirar.

På grund av det begränsade antalet bryggförstärkare i mätsystemet kunde under dessa mätningar ej både bojrörelse och vågor mätas (accelerometrar i båda fallen). Vågmätning bedömdes som mest givande. Vågmätaren blev dock utsatt för alltför stora påkänningar varför den gick läck och upphörde att fungera efter halva mätiden.

Bortsett från problem med nollnivån gick förankringskraftmätningarna alldeles utmärkt. Mätdatabortfallet var mycket litet och kvaliteten på mätdata hög.

I tabellen nedan visas de mätningar som gjordes. De vågdata som redovisas här är tagna från SMHI:s vågmätare (placerad ca 300 m VSV IPS-bojen).

Tabell 11.1 Utförda mätningar av förankringskrafter på
IPS-kraftverket

Datum/nr	Tid	Vindriktn.	Vindhast.	Signifikant våghöjd
801022/1	2100	ONO	7.3 m/s	0.56 m
	/2	O	8.5	0.59
801023/1	1530	O	10.7	0.65
	/2	O	9.5	0.65
	/3	O	8.8	0.69
801024/1	1045	S	7.5	1.09
	/2	S	7.5	1.09
	/3	S	8.3	1.08
801026/1	1515	lugnt		0.38
801027/1	1100	SO	12.0	1.55
	/2	SO	12.0	1.55
	/3	SO	14.4	1.58
	/4	SO	15.4	2.01
	/5	SSO	15.0	2.04
	/6	SSO	14.3	2.08
	/7	SSO	14.5	2.14
	/8	SSO	14.5	2.20
	/9	SSO	14.8	2.20
801028/1	1955	SSV	8.6	0.89
	/2	SSV	8.6	0.89
	/3	SSV	8.6	0.89

Mätningarna 801027/2 lagrades felaktigt på disketten, varför dessa resultat fallit bort.

För mätningarna 801022 och i viss mån även 801023 gäller att två vädersystem härskade på västkusten. På Skagerak var den måttlig till frisk O och på Kattegatt måttlig till frisk SV, vilket gav upphov till två vågsystem, ett från O med hög frekvens och liten våghöjd och ett från SV med lägre frekvens men större våghöjd på grund av längre stryklängd i den senare riktningen.

11.2 Utvärdering

Som resultat av en mätning erhölls tre krafttidsserier, en för varje förankringslina, lagrade i diskret form på diskett. Varje tidsserie innehåller 1024 värden för frekvensanalysens skull (antal värden = 2^n). Tidsavståndet mellan värdena, samplingstiden, valdes till 0.3, 0.4 eller 0.5 sekunder. Mätvärdena är sedan behandlade enligt följande:

- a. Kalibrering, nollnivåjustering och rimlighetskontroll
- b. Beräkning av resulterande kraft och riktning genom vektoriell addition
- c. Plottning av tidsserier
- d. Tidsserieanalys
- e. Frekvensanalys
- f. Speciell lågfrekvensanalys för några mätserier
- g. Beräkning av överföringsfunktioner mha SMHI:s vågmätningar för vissa mätserier.

Databehandlingen är gjord på samma minidatorsystem som användes vid mätningarna, dvs ABC-80 + Datadisc 80.

- a. Kalibrering, nollnivåjustering och rimlighetskontroll.

Vid inkopplingen av kraftgivarna till bryggförstärkaren i IPS-bojen gjordes pga dålig apparatkännedom ett litet missstag som resulterade i att den sanna nollkraftnivån på mätsignalen aldrig blev registrerad. Därför fick ett speciellt förfarande tillgripas för nollnivåjusteringen. Mätvärdena kalibrerades till [kilopond] och lagrades på nya disketter. Härefter gjordes en rimlighetskontroll för att få bort eventuella störningar i radioöverföringen. Kraftamplituderna antogs vara Rayleigh-fördelade (vilket visade sig stämma hyggligt) och utgående från detta kunde extrema toppar ($> 3 \times$ förväntat maxvärde) strykas och sättas till en statistisk rimlig nivå. Samtliga mätserier plottades sedan och utgående från dessa plottar kunde nollnivån för varje förankringslina läggas in så att man har en rimlig kraft i respektive lina även vid en läs situation (wirens egenvikt t.ex.). Nollnivåerna valdes så att ingen underskattning av krafterna riskerades.

- b. Beräkning av resulterande kraft och riktning genom vektoriell addition.

Den resulterande förankringskraften för en konstruktion är i allmänhet av stort intresse då den t.ex. kan vara dimensionerande för hela eller delar av konstruktionen. För att erhålla resulterande förankringskraft har i detta fall en vektoriell addition utförts så att man som resultat erhåller förankringskraftens storlek och riktning.

- c. Plottnings av tidsserier.

För att få en uppfattning av hur förankringskrafternas variation ser ut plottades tidsserierna efter ovanstående behandling, se exempel på resultatredovisning nedan.

- d. Tidsserieanalys.

Ur respektive förankringskrafts tidsserie beräknades följande parametrar:

\bar{F} = medelvärdet

F_{\max} = största kraften

$F_{1/3}$ = medelvärdet av den högsta tredjedelen av kraftens dubbelamplituder

T_{zF} = nollkryssningsperioden. Här utgörs nollan av F.

σ^2 = variansen för kraftens variation.

n = antal justerade värden i rimlighetskontrollen.

Se exempel på resultatredovisning.

- e. Frekvensanalys.

Denna gjordes med ett datorprogram som bygger på Cooley-Tukeys FFT-algoritm.

Ur de spektra man får vid frekvensanalysen beräknades följande parametrar:

m_o = ytan under spektrum

$F_s = 4 \sqrt{m_o} =$ signifikant kraft ... (11.1)

$T_{2F} = \sqrt{\frac{m_o}{m_2}}$ där m_2 är andra momentet i spektrum ... (11.2)

Om en tidsseries amplituder är Rayleigh-fördelade gäller följande

$$\left. \begin{aligned} F_s &= F_{1/3} \\ T_{2F} &= 0.95 \times T_z \\ \sigma^2 &= m_o \end{aligned} \right\} \dots \quad (11.3)$$

Dessa samband kan alltså användas för att avgöra om tids-seriernas amplituder kan vara Rayleigh-fördelade och även för kontroll av frekvensanalysens riktighet.

I spektrum kan man se vid vilka frekvenser de största krafterna finns. Spektra användes sedan vid framtagning av överföringsfunktioner.

f. Speciell lågfrekvensanalys för några mätserier.

Den 28/10 gjordes tre mätningar direkt efter varandra (endast diskettlagringstid emellan). På detta sätt åstadkoms en mätning med 3×1024 punkter per förankring. Med en samplings-tid på 0.5s ger detta en mättid på 1536 s eller nästan 26 minuter. Avsikten med denna långa mättid var att kunna göra en frekvensanalys där de mer lågfrekventa svängningarna kunde upptäckas. Framför allt förankringssystemets egenfrekvens skulle på detta sätt kunna fås fram.

Rent praktiskt plockades var tredje mätpunkt ut så att resulterande tidsserier innehöll 1024 värden med en samplingstid på 1.5s. Denna mätserie bandpassfiltrerades i ett numeriskt filter.

HP-filtrets brytfrekvens valdes till 0.005 Hz. LP-filtrering gjordes upprepade gånger med brytfrekvensen 0.066 Hz till dess tidsserien såg ut att innehålla endast den dominerande svängningen. På den så erhållna tidsserien gjordes sedan en förenklad tidsserieanalys där antalet nollgenomgångar räknades och alltså gav en periodtid för dessa långsamma svängningar.

En detaljfrekvensanalys för området 0.005 - 0.100 Hz gjordes också för att man skulle kunna se om här fanns någon signifikant topp svarande mot den ovan erhållna periodtiden.

Motsvarande analys gjordes även för den resulterande kraften för en av de vanliga mätningarna. Skillnaden blir ju då att totala tiden blir kortare och därmed antalet nollgenomgångar färre. Detta gör osäkerheten i analysen större.

g. Beräkning av överföringsfunktioner.

För att senare kunna jämföra mätresultaten med teoretiska beräkningar beslöts att ta fram en operator för kraften i lina 1 den 27/10. Vindriktningen (och enligt antagande därmed vågriktningen) ligger i stort sett i linje med förankringslinja 1. Vågsituationerna vid mätningarna den 27/10 är växande med $H_s = 1.55 - 2.20$ meter.

Den vågmätning som gjordes alldeles intill kraftverket gav resultat till ca halva antalet mätningar. För framför allt mätningarna den 27/10 finns inga resultat av dessa vågmätningar. Därför valdes att använda resultaten av de vågmätningar som SMHI utför rutinmässigt 150 meter NV Trubaduren. Resultat från dessa redovisas för varje hel timme.

Eftersom de valda SMHI-vågmätningarna ej stämmer exakt i tid och rum med förankringskraftmätningarna kunde ej den bästa metoden - kors-FFT - användas för framtagning av överföringsfunktioner.

Istället gjordes en enkel division:

$$Y(f) = S_F(f)/S_\xi(f) \quad \dots (11.4)$$

där $S_F(f)$ är kraftspektrum

och $S_\xi(f)$ är vågspektrum

Operatorn $Y(f)$ visade sig dock variera kraftigt för olika vågsituationer varför andra former provades. Slutligen visade det sig att följande operator var relativt oberoende av vågsituationen

$$Y(f) = \sqrt{S_F(f)}/S_\xi(f) \quad \dots (11.5)$$

Denna operator gäller då endast den dynamiska delen av förankringskraften.

12. MÄTRESULTAT

12.1 Krafter i enskilda linor

I tabell 12.1-4 visas resultaten av samtliga mätningar utom 801026/1 då denna enbart användes för att bestämma mätsignalernas nollnivåer, se ovan. I bilaga visas resultatet från samtliga mätningar i tidsserie och spektrumform.

Som synes är de maximala krafterna förhållandevis små, vilket beror på att det förankringssystem som används är mycket eftergivligt. Den högsta registrerade kraften under mätperioden är 1596 kp vid mätning 801027/9 vid en våghöjd på 2.20 meter och en vågperiod på 5.1 sekunder. I figur 12.1 som visar tidsserier och spektrum från denna mätning syns att det finns ett fåtal höga toppar i kraften i lina 1. Detta beror på att om förankringsblåsan dras ner under vattnet så att wiren blir sträckt hela vägen från bojen ner till kättingen, så försvinner en av fjädarna i systemet med en stor ökning i kraften som följd. Den andra fjädern som består i att kättingen lyfts från botten försvinner först när hela kättingen är sträckt varvid kraften ökar mycket brant.

Att förankringskrafternas amplituder ej är helt Rayleigh-förde-lade framgår av tabell 12.1-4 ur skillnaden i $F_{1/3}$ och F_s . Detta är ju helt naturligt med hänsyn till ovan beskrivna olinjärheter. Skillnaden mellan $F_{1/3}$ och F_s är dock för de flesta mätningarna ganska liten. Anmärkningsvärt är att F_s hela tiden är störst och någon förklaring till detta är svår att finna.

12.2 Krafternas periodicitet

Av tabellen framgår också att T_{zF} och T_{2F} för förankringarna är mindre än T_2 för vågorna även vid de längsta vågperioderna. Man skulle kunna tänka sig att den största delen av förankringskraften härrörde från det rena vågtrycket och en mindre del från kraftverkets hävrörelse men detta motsägs av resultaten. En tänkbar förklaring är att förankringsblåsornas rörelser antagligen inverkar ganska mycket på kraften och att dessa givetvis påverkas mest av de högfrekventa komponenterna i vågorna. I fig. 12.2 som visar tidsserier och spektrum från mätning 801022/2 kan man se detta i spektrumen för de tre linorna. Trots att vågspekt-

rums topp ligger på 0.2 Hz har lina 1 och 2 sina största kraftamplituder vid 0.4 - 0.5 Hz. Spektrumet för kraften i lina 3 där emot sammanfaller väl med vågspektrumet.

12.3 Resulterande förankringskraft

I fig. 12.3 visas resulterande förankringskraft och dennes riktning för mätning 801027/7 och i fig. 12.4 visas motsvarande för mätning 801028/1+2+3. Skillnaden mellan dessa är tidsseriens längd, 512 resp. 1536 sekunder. Den maximala kraften i den mest belastade linan är i båda mätningarna större än den resulterande kraften, vilket är helt naturligt. Vad gäller den resulterande kraftens riktning är den i båda mätningarna förvånansvärt konstant och dessutom lika trots en vindvridning från SSO 801027 till SSV 801028. Detta är något förbryllande då lina 2 har högre dynamisk kraft än lina 1 801028 medan det är tvärtom 801027. Det är tydligenvis det högre medelvärdet i lina 1 som är avgörande och detta skulle kunna tyda på att nollnivåjusteringen är något felaktig.

12.4 Långsamtvarierande svängningar

I många av de framtagna kraftspektrumen kan man se en ganska kraftig topp i frekvensområdet 0 - 0.1 Hz. Denna topp antogs komma från hela systemets egenvängning i horisontalled, varför en speciell analys för de låga frekvenserna gjordes för mätningarna 801027/7 och 801028/1+2+3, i båda fallen avseende resulterande kraften. I figurerna 12.5 och 12.6 visas bandpassfiltrerade tidsserier (se föregående avsnitt) och i figurerna 12.7 och 12.8 visas motsvarande spektrum. För 801027/7 gäller att den filtrerade tidsseriens T_z och spektrumets T_{topp} båda är 28 sek. För 801028/1+2+3 är motsvarande perioder 42 och 34 sekunder. Olikheterna mellan de båda mätningarnas resultat kan förklaras bl.a. av att filtreringen är något subjektivt gjord. Det är sannolikt att det är hela systemets egenvängning i horisontalled som slår igenom i detta frekvensområde. Maximal dubbelamplitud m.a.p. kraften för denna lågfrekventa svängning är för 801027/7 1.2 kN och för 801028/1+2+3 mindre än 0.3 kN

12.5 Överföringsfunktion vågor - förankringskraft

I figur 12.9 visas de överföringsfunktioner som räknats fram enligt ekvation (11.5). I figur 12.10 visas motsvarande vågspektrum, och härur framgår att det kanske varit för lite variation i vågorna för att man ska kunna dra några egentliga slutsatser om de framtagna överföringsfunktionerna. Emellertid förefaller det klart att man får högre krafter om vågorna har mycket energi i de högre frekvenserna.

Tabell 12.1 Resultat från förankringskraftmätningar

DATUM/NR.	KL.	dT	LINA	KP	MAX	F	F _{1/3}	T _F	σ ²	FREKVENSANALYS			VIND			VÅGOR
										KP	KP	KP	KP	M/S	U	RIKTN.
8801022/1	2100	.4	1	8	517	325	159	1.98	2153	185	2.04	2139	7.3	ONO	.56	3.6
		2	0	214	164	47	2.16	146	46	1.90	132					
		3	0	188	129	39	2.38	104	48	2.02	100					
8801022/2	2230	.4	1	0	396	281	128	2.18	1272	143	2.00	1278	8.5	0	.59	3.4
		2	0	211	168	43	2.25	123	42	2.01	110					
		3	0	172	128	39	2.54	108	41	2.40	105					
8801023/1	1530	.4	1	0	431	259	145	2.61	1899	188	2.30	1764	10.7	0	.65	3.3
		2	0	238	132	37	2.41	100	35	1.72	77					
		3	0	336	172	141	2.71	1638	160	2.61	1600					
8801023/2	1615	.3	1	0	406	234	121	2.36	1295	125	2.25	977	9.5	0	.65	3.3
		2	0	185	134	26	2.15	38	21	1.72	28					
		3	0	341	181	150	2.72	1665	155	2.71	1582					
8801023/3	1645	.5	1	0	367	232	121	2.03	1262	139	2.67	1208	8.8	0	.69	3.7
		2	5	152	132	14	2.68	13	14	2.24	12					
		3	0	306	178	138	2.94	1529	154	2.80	1482					
8801024/1	1045	.5	1	1	451	220	106	2.58	1401	145	2.82	1314	7.5	S	1.09	4.2
		2	0	280	165	76	2.80	478	81	2.52	410					
		3	4	169	92	50	3.22	149	50	2.46	156					

Tabell 12.2

Resultat från förankringskraftmätningar

TIDSSERIEANALYS

DATUM/NR.	KL.	dT	LINA	TIDSSERIEANALYS						FREKVENSIANALYS						VÄGOR								
				nKORR	F _{MAX}	F	F _{1/3}	T _{ZF}	σ ²	F _S	T _{EF}	σ ₀	U	RIKTN.	H _S	T ₂	SEK	HR.	SEK	μ/S	μ/S	μ	STK	
881024/2	1115	.4	1	0	420	233	149	2.59	1702	163	2.67	1661	7.5	S	1.09	4.2								
		2	0	291	178	91	3.08	664	97	2.85	508													
		3	0	170	95	57	3.39	214	56	2.96	196													
881024/3	1145	.5	1	0	352	222	133	2.83	1395	145	2.61	1314	8.3	S	1.08	4.2								
		2	0	259	162	82	2.94	505	81	2.47	518													
		3	1	262	96	72	3.24	337	73	2.38	333													
881027/1	1106	.5	1	0	761	399	188	3.51	3078	218	3.33	2678	12.8	S0	1.55	4.4								
		2	0	394	245	123	3.48	1349	144	3.17	1296													
		3	0	184	110	54	3.76	208	55	3.25	169													
881027/3	1325	.5	1	1	813	454	209	3.66	6467	313	3.53	6123	14.4	S0	1.58	4.6								
		2	0	462	279	148	3.39	1091	171	3.09	1028													
		3	1	218	118	71	3.74	326	71	3.15	315													
881027/4	1405	.5	1	4	947	476	298	3.37	7475	342	3.54	7310	15.4	S0	2.01	5.0								
		2	1	489	292	160	3.48	2148	181	3.38	2048													
		3	2	223	119	75	4.16	337	71	3.22	315													
881027/5	1430	.5	1	0	997	483	316	3.29	8985	374	3.46	8742	15.0	S0	2.04	5.0								
		2	1	455	281	158	3.53	2029	174	3.15	1092													
		3	1	220	119	84	4.10	417	81	3.13	410													

Tabell 12.3 Resultat från förankringskraftmätningsar

TIDSSERIANALYS	FREKVENSIANALYS										VIND				VÆGOR	
	DATUM/NR.	KL.	dt	LINA	NKORR	F MAX	F	F 1/3	TzF	σ²	f s	TgF	n₀	U	RIKTIN.	Hs
	SEK	NR.	SEK	KP	KP	KP	KP	KP	SEK	KP	KP	SEK	M/S	M/S	M	SEK
801027/6	1445	.5	1	0	1213	480	331	3.53	9172	367	3.48	8418	14.3	SS0	2.08	5.1
		2	0	569	291	167	3.39	2512	187	3.36	2426					
		3	0	283	119	82	4.10	461	85	3.17	452					
801027/7	1532	.5	1	3	1137	466	369	3.53	11526	436	3.76	11801	14.5	SS0	2.14	5.1
		2	4	546	285	190	3.74	2715	219	3.33	2756					
		3	10	255	120	90	4.23	476	87	3.23	473					
801027/8	1547	.5	1	1	968	451	368	3.61	7473	337	3.63	7698	14.5	SS0	2.28	5.1
		2	0	465	276	173	4.06	2418	195	3.51	2377					
		3	0	246	120	84	4.23	535	93	3.31	541					
801027/9	1616	.5	1	2	1596	451	341	3.76	11349	374	3.74	8742	14.8	SS0	2.28	5.1
		2	0	533	281	160	3.61	2375	183	3.37	2683					
		3	0	298	119	90	4.03	498	84	3.05	441					

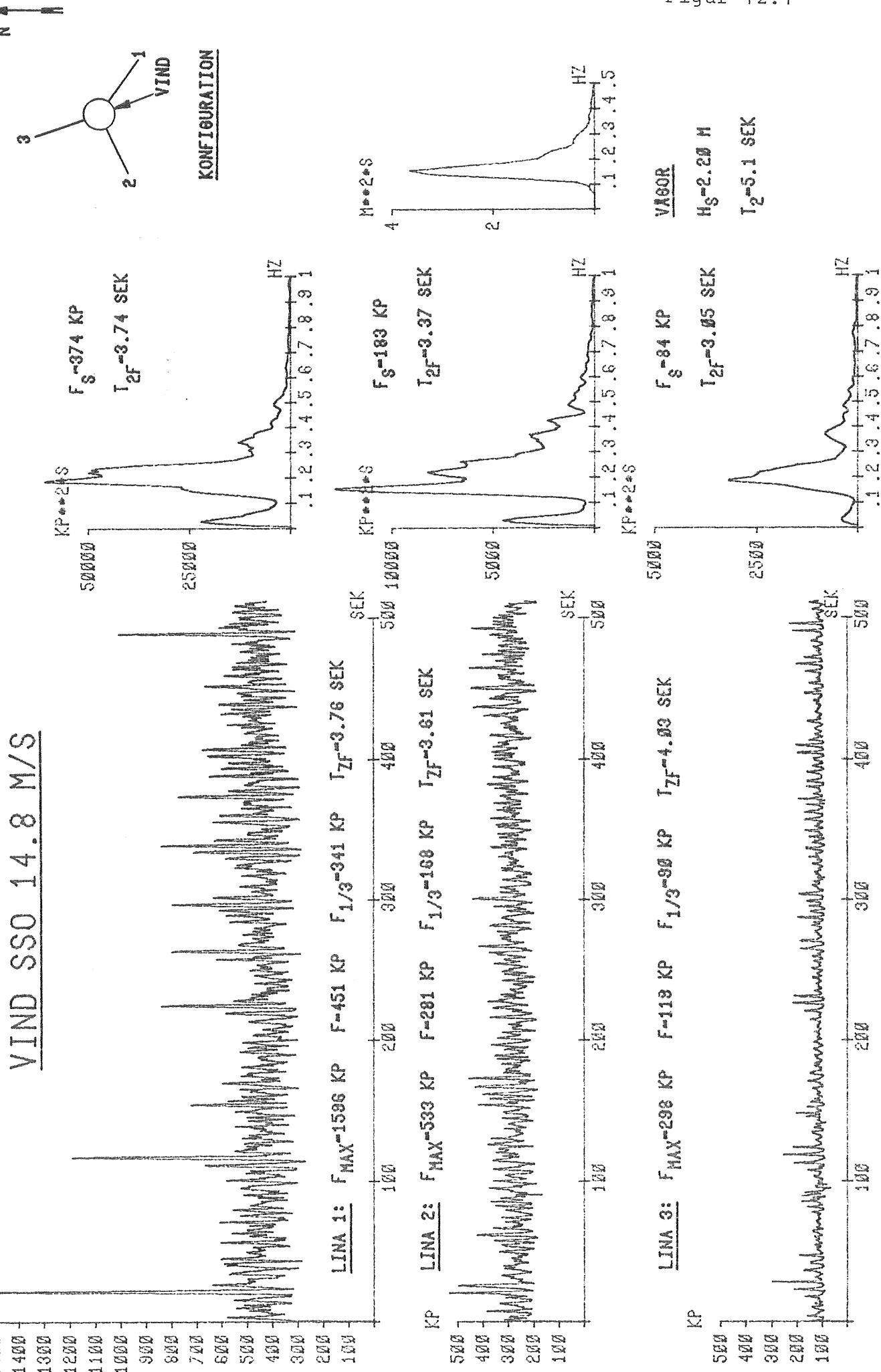
Tabell 12.4 Resultat från förankringskraftmäningarna

TIDSSERIEANALYS										FREKVENSIANALYS						VÄGOR			
DATUM/NR.	KL.	dt	LINA	nKORR	FMAX	F	f _{1/3}	T _{FR}	τ ²	f _S	T _{2F}	n ₀	U	RIKTN.	H _S	T ₂			
SEK	NR.	SEK	NR.	KP	KP	KP	KP	SEK	SEK	KP	SEK	N/S	N	N	SEK				
801028/1	1055	.5	1	0	348	285	47	2.53	48	2.28	8.6	SSV	.89	3.8					
		2	0	0	364	287	82	3.52	89	3.48									
		3	0	0	181	112	52	3.19	54	2.98									
801028/2	2005	.5	1	0	359	287	50	2.64	52	2.18	8.6	SSV	.89	3.8					
		2	0	0	298	269	81	3.48	84	3.18									
		3	0	0	212	114	70	3.32	73	2.87									
801028/3	2015	.5	1	0	324	285	39	2.50	43	2.35	8.6	SSV	.89	3.8					
		2	0	0	341	212	89	3.68	100	3.51									
		3	0	0	219	147	67	3.25	70	3.08									

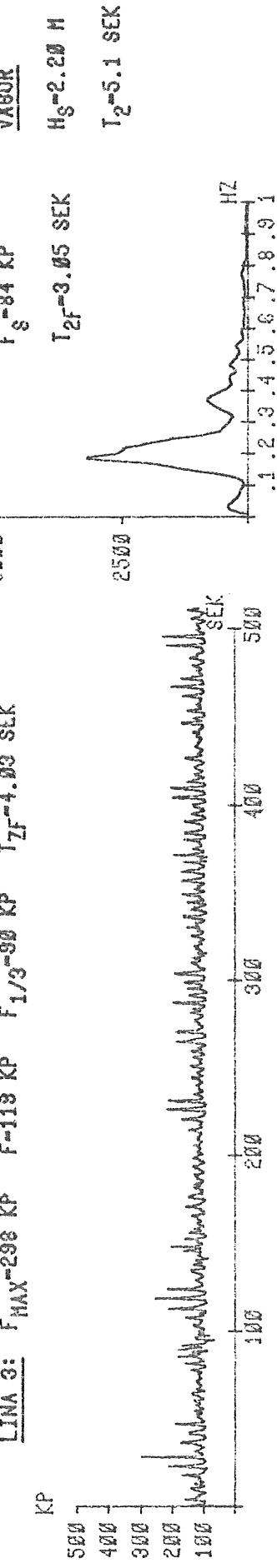
Figur 12.1

IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801027/9

VIND SSO 14.8 M/S

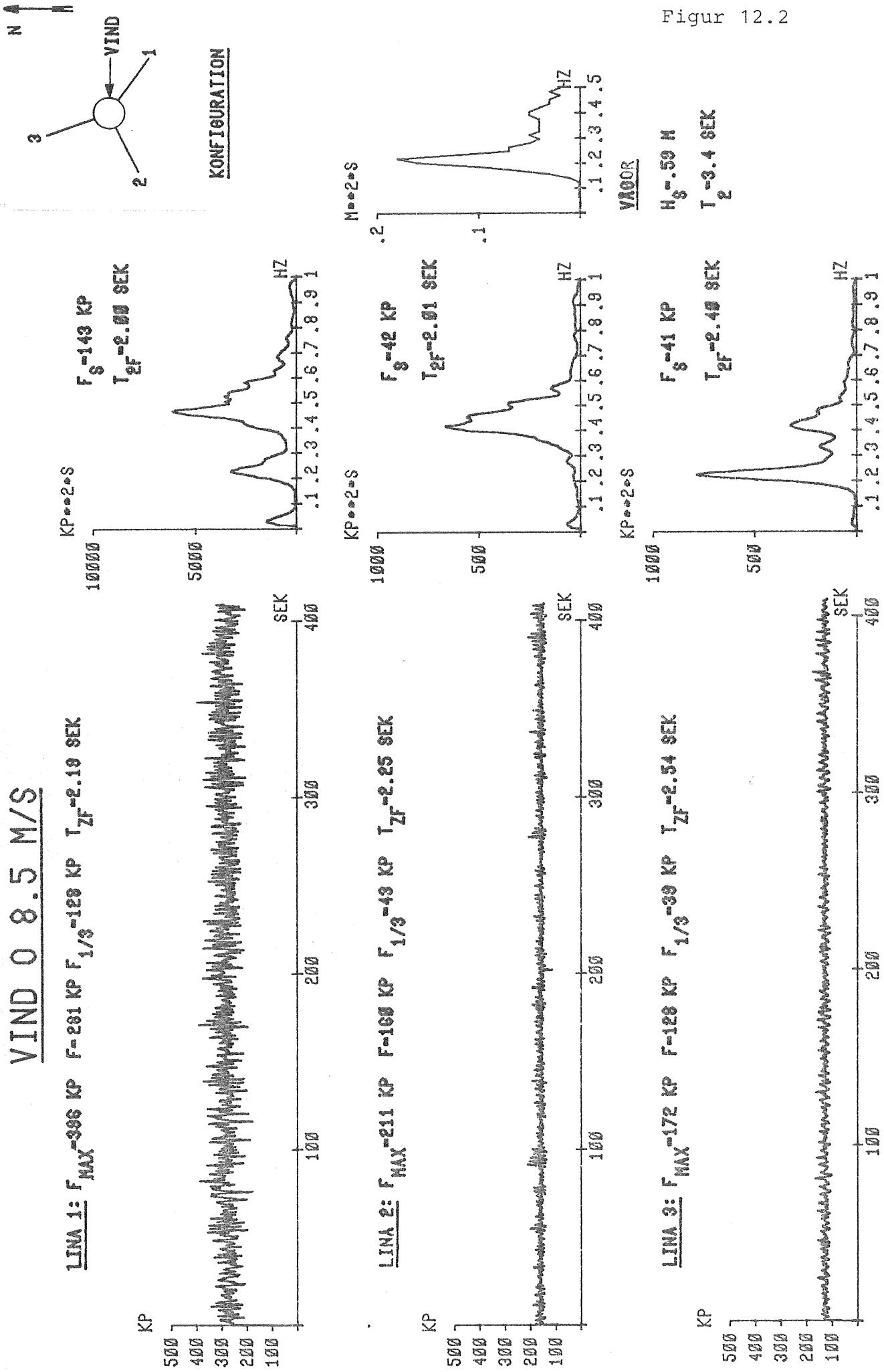


Figur 12.1



Figur 12.2

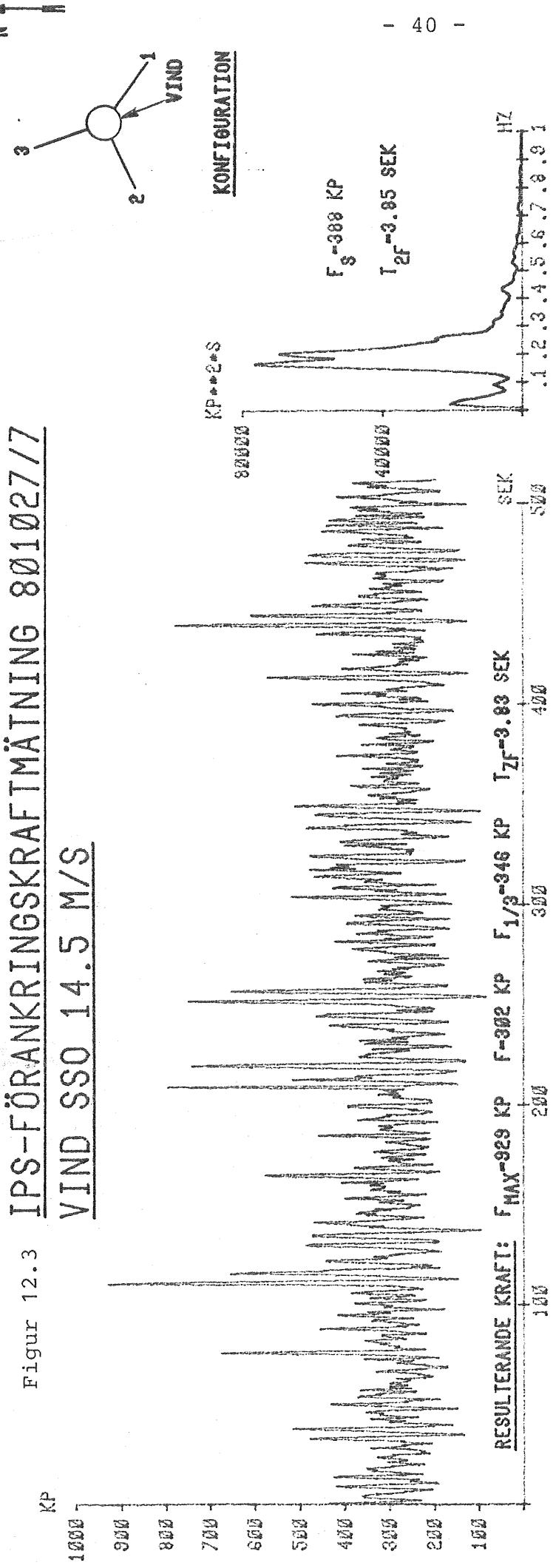
IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801022/2



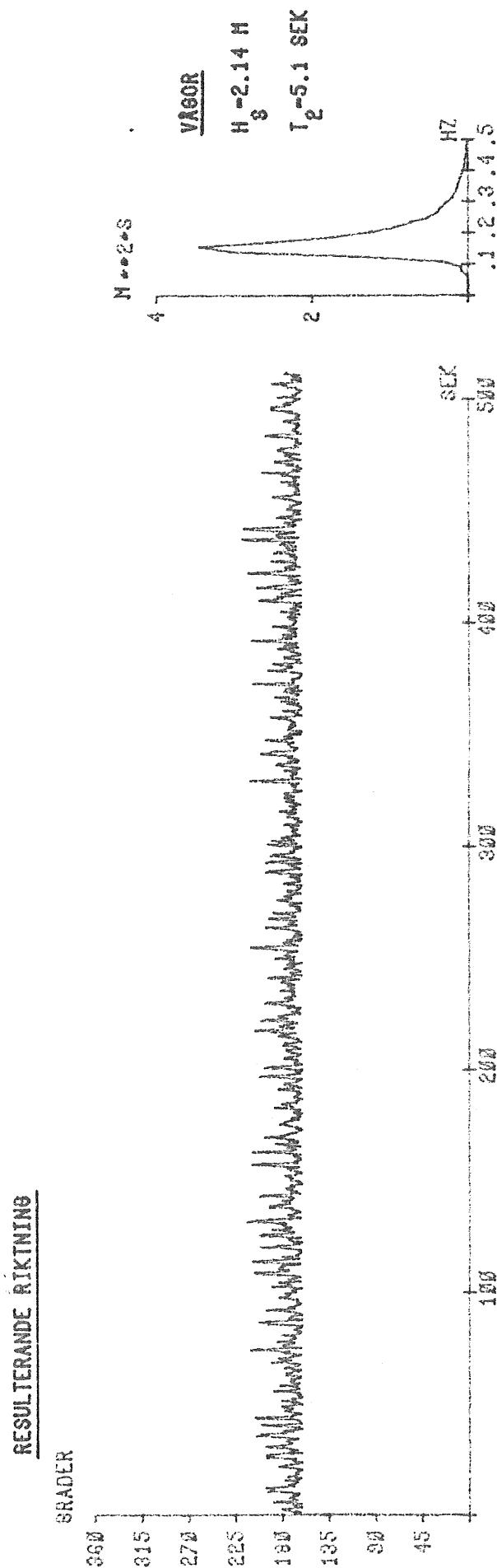
Figur 12.2

IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801027/17
VIND SSO 14.5 M/S

Figur 12.3



Figur 12.3



Figur 12.4

IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801028/1+2+3

VIND SSV 8.6 M/S

RESULTERANDE KRAFT: $F_{\text{MAX}}=257 \text{ KP}$ $F_{\text{AVG}}=149 \text{ KP}$ $F_{1/3}=76 \text{ KP}$ $T_{zf}=4.57 \text{ SEK}$

KP

250

200

150

100

50

100

50

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

KP**2*S

100000

50000

10000

5000

1000

500

100

50

0

KONFIGURATION

- 41 -

Figur 12.4

GRADER

315

270

225

180

135

90

45

0

RESULTERANDE RIKTNING

315

270

225

180

135

90

45

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

GRADER

315

270

225

180

135

90

45

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

GRADER

315

270

225

180

135

90

45

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

GRADER

315

270

225

180

135

90

45

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

GRADER

315

270

225

180

135

90

45

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

GRADER

315

270

225

180

135

90

45

0

0

0

0

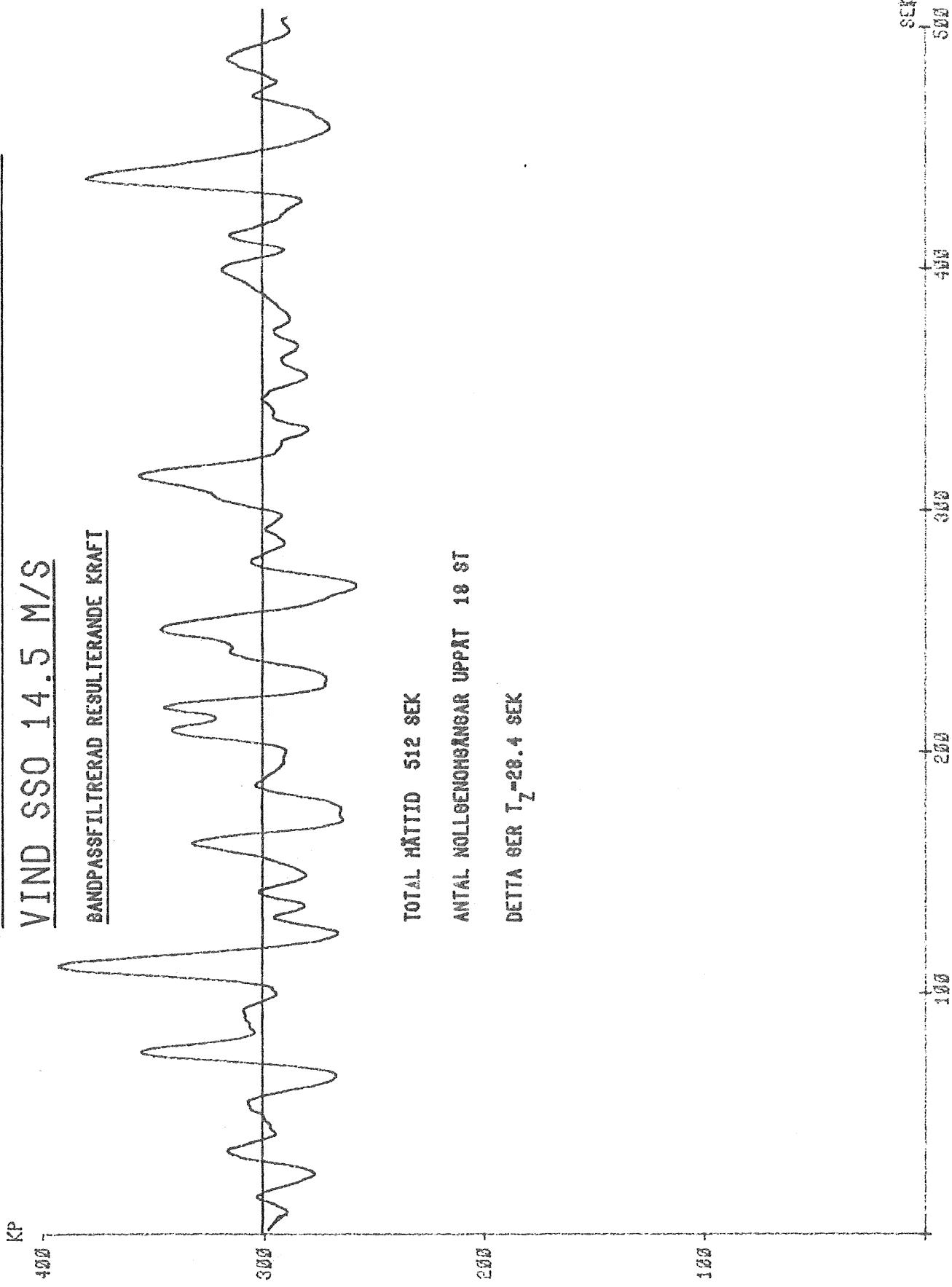
<p

Figur 12.5

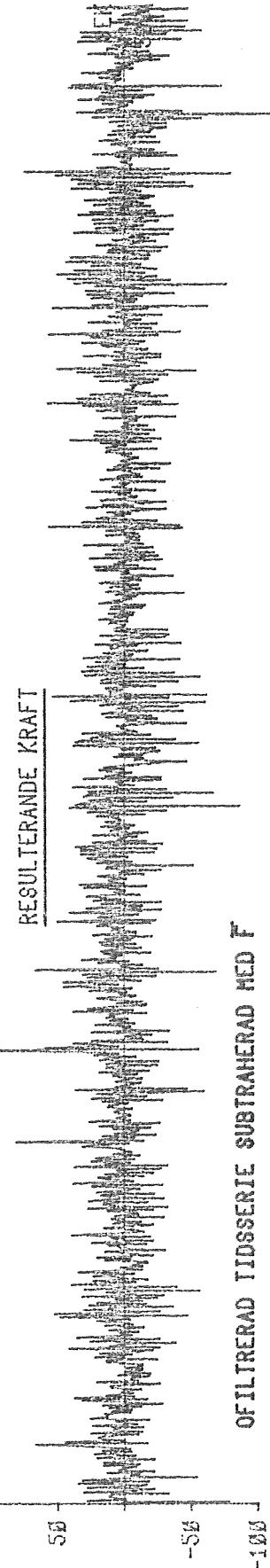
IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801027/7

VIND SSO 14.5 M/S

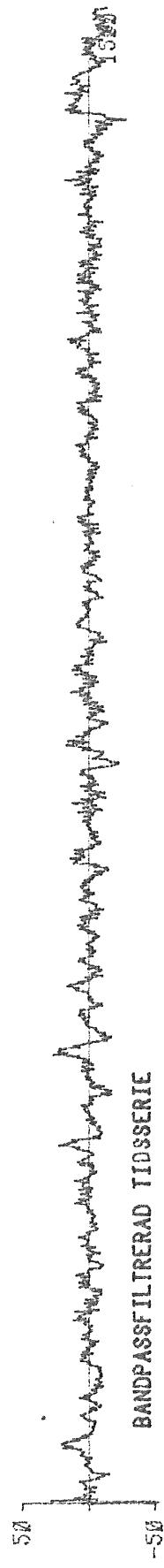
BANDPASSFILTRERAD RESULTERANDE KRAFT



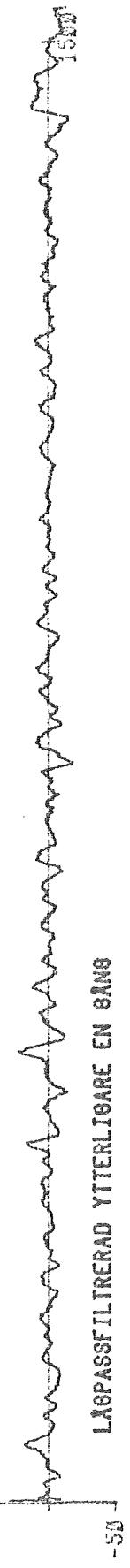
KP Figur 12.6 IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801028/1+2+3



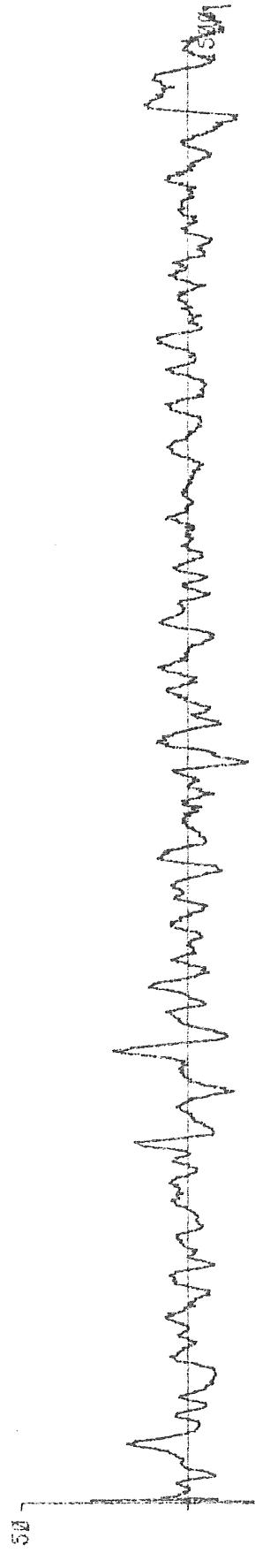
OFILTERERAD TIDSSERIE SUBTRAHERAD MED F



BANDPASSFILTRERAD TIDSSERIE



LÅGPASSFILTRERAD YTTERLIGARE EN SANN



SKALNINGEN ÄNDRAD

Figur 12.6

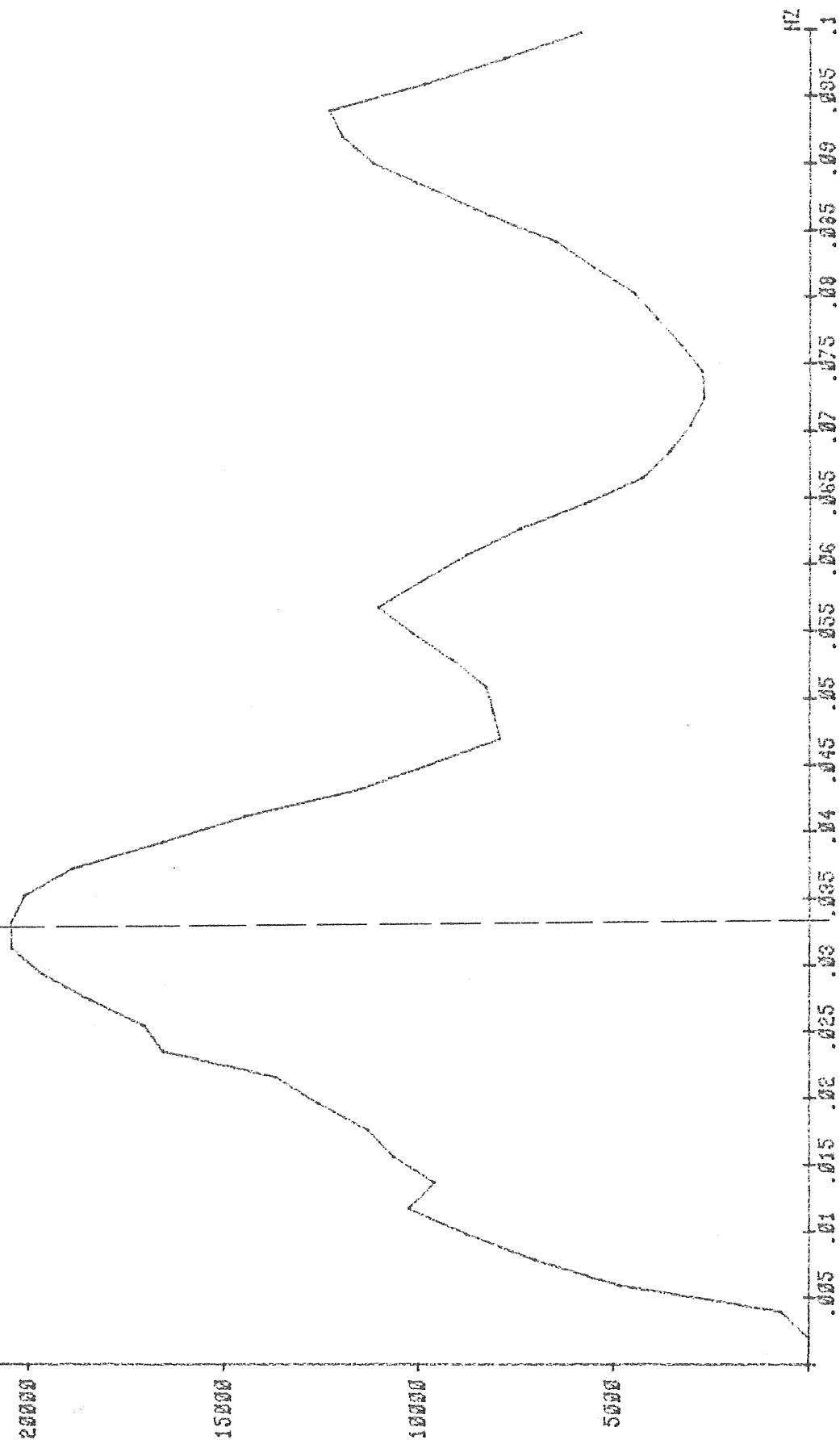
KP=20S
25000

IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801027/7

Figur 12.7

SPEKTRUM FÖR FREKVENSOMRÅDET 0-.1 Hz (DETALJFREKVENSANALYS)

f_{TOPP}=.032 Hz VILKET MOTSVARAR T_{TOPP}=31.3 SEK



Figur 12.8
IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801028/1+2+3

SPEKTRUM FÖR FREKVENSOMRÅDET 0-.1 Hz (DETALJFREKVENSANALYS)

f_{TOPP}=.029 Hz VILKET MOTTVARAR T_{TOPP}=34.5 sek

KP=2*5

1000

900

800

700

600

500

400

300

200

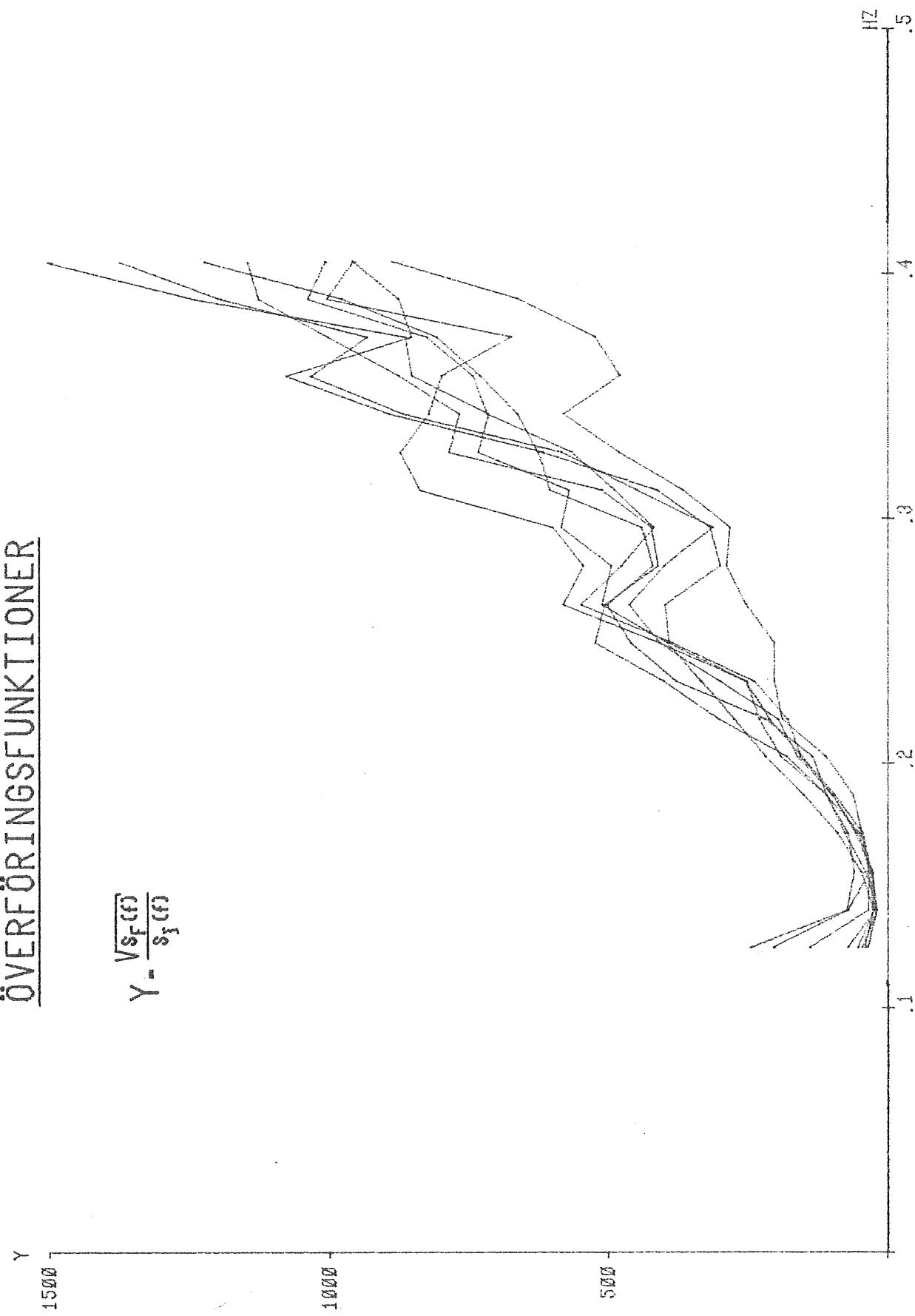
100

0

.005 .01 .015 .02 .025 .03 .035 .04 .045 .05 .055 .06 .065 .07 .075 .08 .085 .09 .095 .1

Hz

Figur 12.9 IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801027
ÖVERFÖRINGSFUNKTIONER



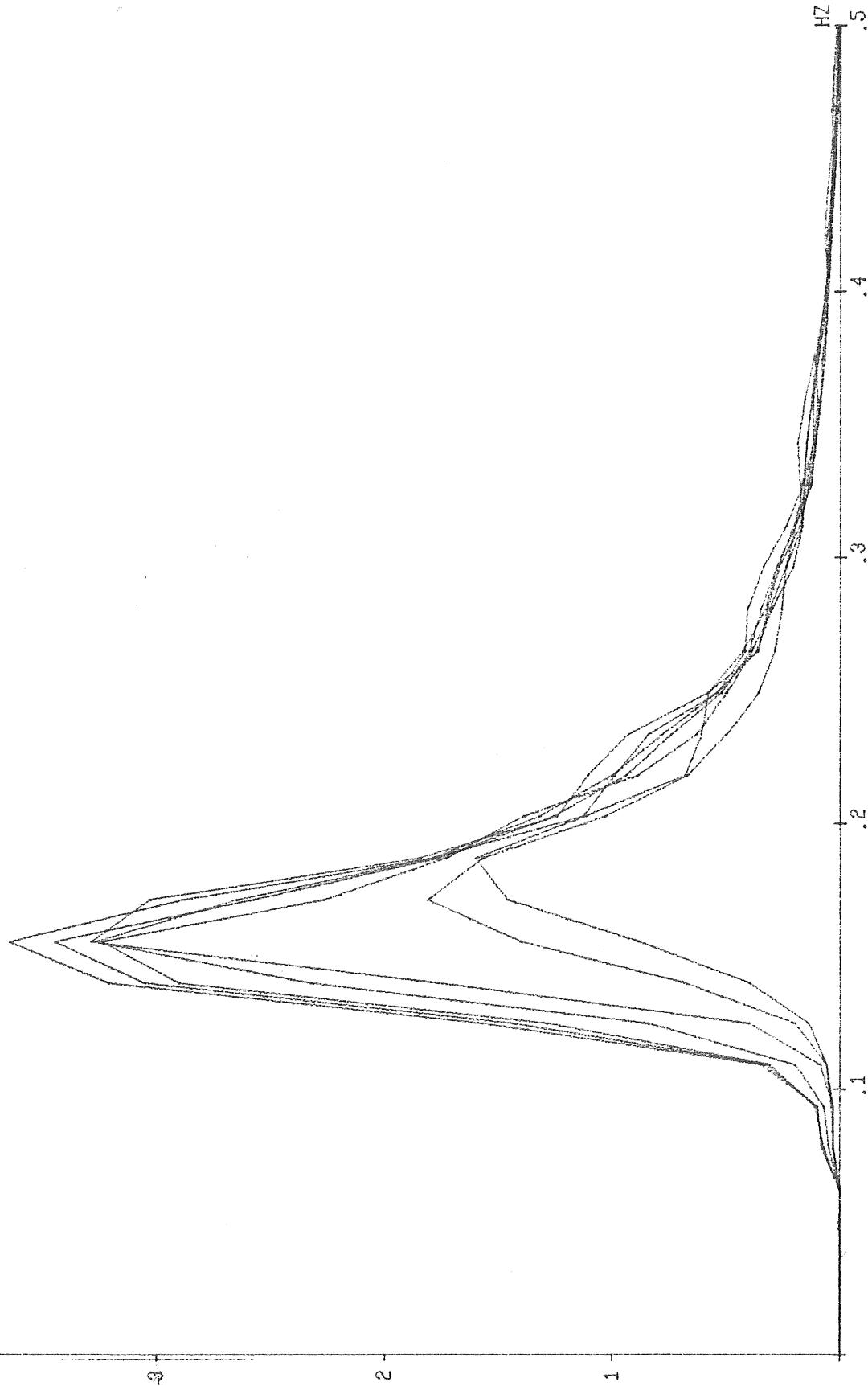
Figur 12.10

IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801027

VÅGSPEKTRUM

Nr 2e5

47



13. JÄMFÖRELSER MED DIMENSIONERINGSMETODEN

I detta avsnitt görs jämförelser mellan uppmätta krafter och krafter beräknade enligt de metoder som används vid dimensioneringen i avsnitt 7 och 8. Härvid används de vid mättillfällena aktuella vågorna och vindstyrkorna, och koefficienter väljs med sannolikaste värde och inte på "säkra sidan" som vid dimensioneringen. Jämförelserna görs för mättillfällena 801027/7 och 801028/1+2+3. Se figurerna 12.3 och 12.4 samt tabellerna 12.3 och 12.4.

För bekvämlighetens skull är vissa mätresultat för dessa mätningar sammanställda i tabell 13.1.

13.1 Tidsmedelvärdet av resulterande kraft

Tidsmedelvärdet av den resulterande kraften har valts till ett rimligt värde med avseende på mätta krafter i linorna. Krafterna svarar enligt dimensioneringsförfarandet mot strömstyrkorna 0.50 och 0.35 m/s respektive. Se tabell 13.1. Tyvärr mättes inte strömmen vid mättillfällena.

13.2 Signifikant kraft

Den signifikanta kraften F_s har beräknats ur antagande om PM-spektrum, och att den linjära amplitudresponsfunktionen ekvation (11.1) gäller. (Se tabell 13.1). Vid det ena mättillfället är beräknad signifikant kraftamplitud 50% för liten och vid det andra 25%. Överensstämmelsen är således ganska dålig, vilket bland annat torde bero på att en linjär dynamisk analys inte är tillämplig på detta olinjära system. Enligt likheten (11.5) är ju den uppmätta kraften proportionell mot vågamplituden i kvadrat.

13.3 Maximal kraft

Om maxkraften beräknas ur antagandet av en normalfördelad stokastisk svängning kring medelvärdet \bar{F} , så erhålls det sannolikaste värdet på maxkraften till

$$F_{\max} = \bar{F} + F_s \sqrt{0.5 \ln N} / 2 \quad \dots (13.1)$$

där \bar{F} är medelkraften

F_s den beräknade signifikanta dubbelamplituden

N antalet svängningar under mättiden

Beräknad maxkraft blir enligt denna, vid dimensioneringen använda metod, avsevärt mindre än den uppmätta. Se tabell 13.1. Approximationen med den linjära överföringsfunktionen är således föga tillämplig, och den mätta olinjära funktionen (11.5) bör användas i stället.

Tabell 13.1 Väder, mätresultat och beräknade laster för två tillfällen

	Uppmätt 801027/7	Beräknat	Uppmätt 801028/1+2+3	Beräknat
Vindhastighet (m/s)	14.5	-	8.6	-
Vindriktning	SSO (157.5°)	-	SSV (202.5°)	-
Vågor H_s (m)	2.14	-	0.89	-
T_z (s)	5.3	5.3	3.7	3.7
T_1 (s)	-	5.31	-	3.71
T_2 (s)	5.1	4.89	3.8	3.42
Resulterande kraft				
\bar{F} (kN)	3.0	3.0 ¹⁾	1.5	1.5 ²⁾
Riktning (grad)	170	-	173	-
F_{max} (kN)	9.3 (5.9) ³⁾	4.4	2.6 (2.2) ³⁾	2.0
$F_{1/3}$	3.8	-	0.75	-
T_{zF} (s)	3.83	-	4.57	-
F_s (kN)	3.9	1.9	0.85	0.6
T_{1F} (s)	-	5.34	-	3.72
T_{2F} (s)	3.85	4.92	4.21	3.42
Antal svängningar	97		415	

1) Vid strömstyrkan 0.5 m/s

2) Vid strömstyrkan 0.35 m/s

3) Beräknat ur mätt F_s enligt ekv. (13.1)

13.4 Långsamtvarierande svängningar

Systemets odämpade egenperiod T_N i den angripande kraftens riktning kan beräknas till 46s för medellasten $F = 3.0$ kN och till 54s för medellasten $F = 1.5$ kN. Enligt avsnitt 12.4 erhölls efter bortfiltrering av frekvenser i vågområdet T_z och T_{topp} för totalkraften till värden enligt tabell 13.2. Som synes har systemets

egenperioder slagit igenom i krafterna. Den avgivna egen-svängningsperioden är beräknad för ett förenklat linjärt system. Därför stämmer inte värdet på denna överens med den uppmätta långsamma svängningen. Det bör också påpekas att det måste finnas exciterande svängningar i aktuellt frekvensband för att resonansperioden skall framträda. Fortfarande domineras de direkt vågexciterade perioderna.

Tabell 13.2 Lågpassfiltrerad resulterande kraftsignal

Mättillfälle	801027/7	801028/1+2+3
\bar{F} (kN)	3.0	1.5
F_s (kN) filtrerad	1.2	0.3
T_{zF} (s)	--"	28
T_{topp}	--"	28
T_N	54	34
		46

14. JÄMFÖRELSE MED OLINJÄR BERÄKNING:

Den metod som användes vid dimensioneringen av systemet bygger på att förankringssystemet kan anses fungera som en linjär fjäder i det dynamiska fallet. Den statiska avdriften har först beräknats med hjälp av det olinjära kraft-förskjutningssambandet för systemet. Sedan har tangentmodulen till sambandet använts för variationerna kring medelläget.

Sedan bojen dimensionerades har Jan Lindahl vid Institutionen för vattenbyggnad, CTH, utvecklat ett olinjärt datorprogram för en ankarkabels dynamik. Programmet beräknar krafter, förskjutningar och töjningar i kabeln som funktion av tiden om krafter eller förskjutningar i dess ändpunkter ges.

För att undersöka kabelns dynamiska egenskaper kvalitativt har också ett program för beräkning av dess egenmoder utvecklats. Dessa moder gäller naturligtvis strängt endast för linjäriserat ekvationssystem, men kan ge en viss uppfattning om känsliga perioder för ankarkablarna.

I tabell 14.1 är kabelns geometri specificerad för dess läge vid horisontalkraften 2700 N vilket motsvarar ungefärliga medelläget vid bojens rörelser i vågorna.

I tabell 14.2 är de mekaniska och hydrauliska egenskaper för kabelsegmenten listade som används i beräkningarna.

Tabell 14.1 Kabelns geometri

Kabelns totala längd	125 m
Kättingens längd	50 m
Wirens längd	75 m
Vattendjup	35 m
Horisontell längd ankare, övre fästpunkt	117 m
Förspänningsskraft i kabeln	3200 N
Horisontalkraft	2700 N
Antal element i beräkningen	20 st
Elementlängd	6.25 m

Tabell 14.2

Segmentens egenskaper

	<u>Kättning</u>	<u>Wire</u>
Massa per längdenhet (kg)	8.1	1.5
Styvhet (MN)	28	8
Densitet (kg/m^3)	7800	4700
Diameter (mm)	19	16
Släpkraftskoeff. C_D	2.2	1.1
Added mass koeff. C_m	2.0	1.0

14.1 Egenmoder

I egenmoderberäkningen har de odämpade moderna beräknats för små amplituder, dvs ingen hydraulisk släpkraft eller mekanisk intern dämpning har tagits med i beräkningen. Egenmoderna i ett dämpat system med samma massa har något kortare periodtider.

I tabell 14.2 redovisas de första tio egenmodernas periodtider. Egenmoderna är i princip av två typer. Den ena är huvudsakligen en massvängning vinkelrätt kabelns plan. Den andra typen är en svängning i kabelns eget plan. I tabellen är udda moder egenmoder vinkelrätt kabelns plan och jämna moder egenmoder i kabelns plan.

Tabell 14.3

De 10 första egenmodernas periodtider

<u>Mod nr</u>	<u>Period T (s)</u>	<u>Frekvens (Hz)</u>
1	4.451	0.225
2	2.738	0.365
3	2.595	0.385
4	1.841	0.543
5	1.741	0.574
6	1.321	0.757
7	1.311	0.763
8	1.114	0.898
9	1.103	0.907
10	0.904	1.106

De vågspektrum som har mätts hade större delen av sin energi mellan 0.15 - 0.35 Hz och i det området ligger åtminstone den

första egenmoden. Detta kan ha inneburit en viss ökad respons. Dock kan den hydrodynamiska dämpningen vara betydande.

För de långsamtvarierande rörelserna har dock inte egenmoderna för de enskilda kablarna någon avgörande betydelse, eftersom dessa långsamma rörelser ligger under 0.1 Hz.

I figur 14.1 - 4 har de första fyra egenmoderna skisserats, såsom starkt överdrivna variationer kring kabelns jämviktsläge.

14.2 Beräknad kabelkraft

För förhållandena vid mättilfället 80-12-27/7 (se tabell 13.1) har en beräkning av kabelkraften gjorts under vissa antagna förutsättningar.

- Förspänning i kabeln 3200 N (Tabell 14.1)
- Elliptisk excitationsrörelse i kabelns upphängningsplan med vertikal axel 2.18 m och horisontell axel 1.56 m

Bojens vertikalsrörelse har beräknats utan hänsyn till förankringssystemet, medan den horisontella rörelsen beräknats med användande av tangentmodulen till kraft-förskjutningssambandet.

Den på bojen verkande vågen har antagits vara en sinusvåg med $T = T_z$ och $H = H_s$.

I tabell 14.4 nedan redovisas resultatet av de dynamiska beräkningarna tillsammans med de uppmätta krafterna. Som synes blir de krafter som ges av det dynamiska programmet av samma storleksordning som de mätta.

Tabell 14.4 Mätta och beräknade maximala kabelkrafter
Lina 1 801027/7

Mätt (Tabell 12.3 11.37 kp) : 11.2 kN

Beräknat med dimensioneringsmetoden (Tab. 13.1) : 4.4 kN

Beräknad med kabeldynamikprogrammet:

Element nr 1 (vid ankaret)	13.5 kN
nr 7 (ca 40 m från ankaret)	15.5 kN
nr 14 (ca 85 m från ankaret)	11.7 kN
nr 20 (vid förtöjningsblåsan)	11.5 kN

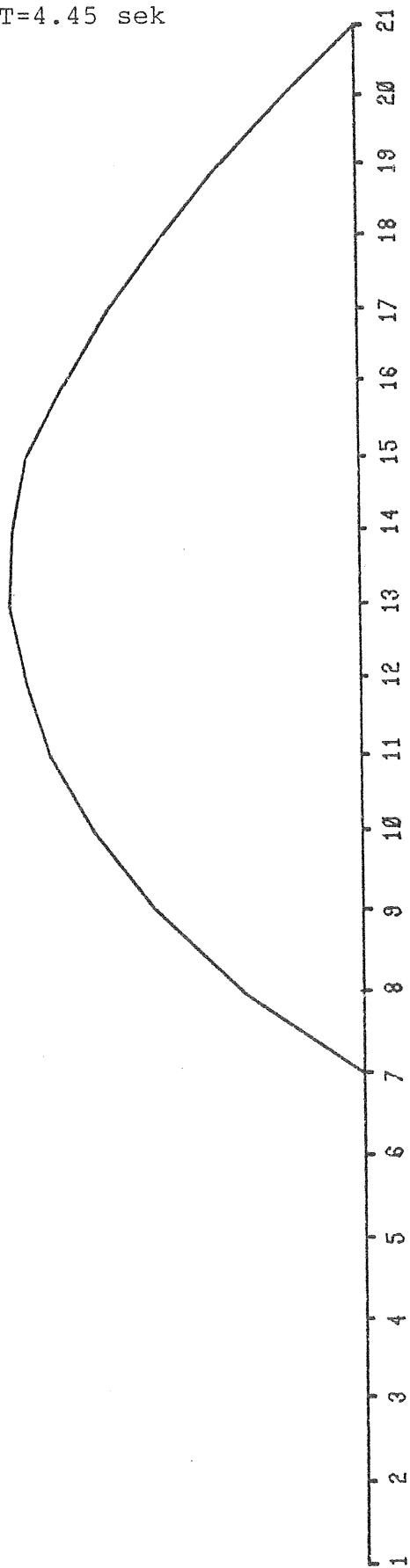
Den vid dimensioneringen använda metoden är således föga tillfredsställande vad beträffar maximala krafter. Detta torde främst bero på de stora olinjäriteterna i ankarsystemet.

Felkällorna är många. Bojens rörelser, som är indata i både dynamikprogrammet och "dimensioneringsberäkningar" är beräknade och tyvärr inte uppmätta. Variationer av vattenståndet på upp till en meter kan också ha förekommit.

Det dynamiska programmet gav vid de givna indata negativa spänningar (tryck) i kabeln. Detta ger dels felaktiga beräkningar dels är det i praktiken omöjligt.

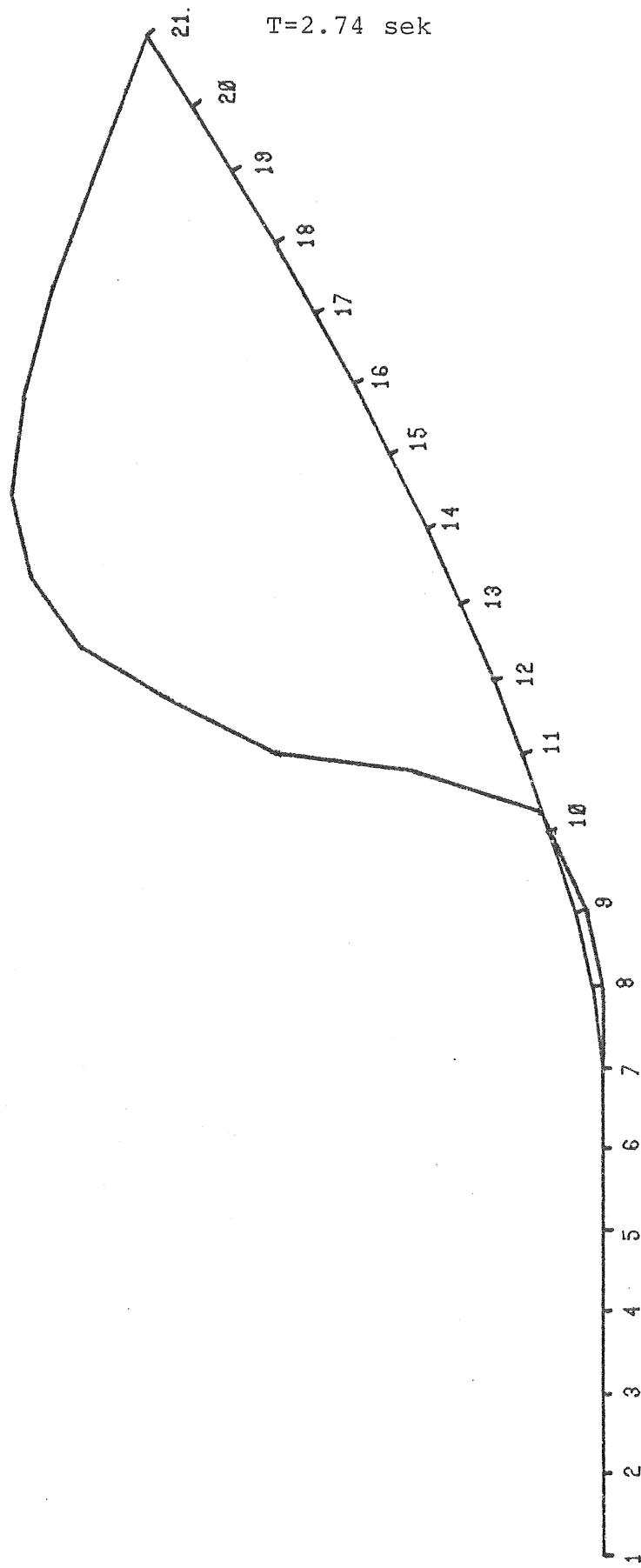
Flytblåsan, där ankarlinan egentligen är fäst, kommer att dyka under vattenytan vid vertikalkraften 3600 N och linkraften 8800 N. Detta gör att krafterna begränsas i det verkliga systemet.

Figur 14.1. Starkt överdrivna variationer kring
förankringslinans jämviktsläge.
Mod 1, första egenmoden i horisontalled.
 $T=4.45$ sek

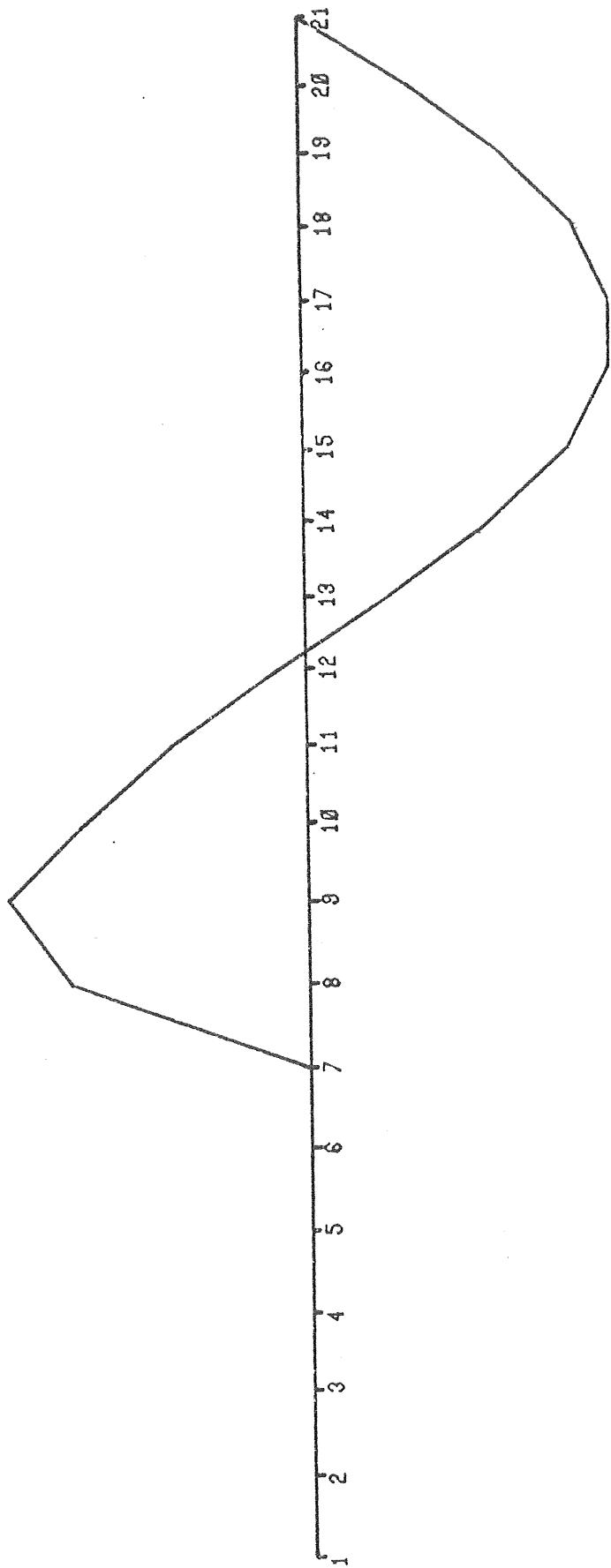


Figur 14.2. Starkt överdrivna variationer kring
förankringslinans jämviktsläge.

Mod 2, första egenmoden i vertikalled.
 $T=2.74$ sek



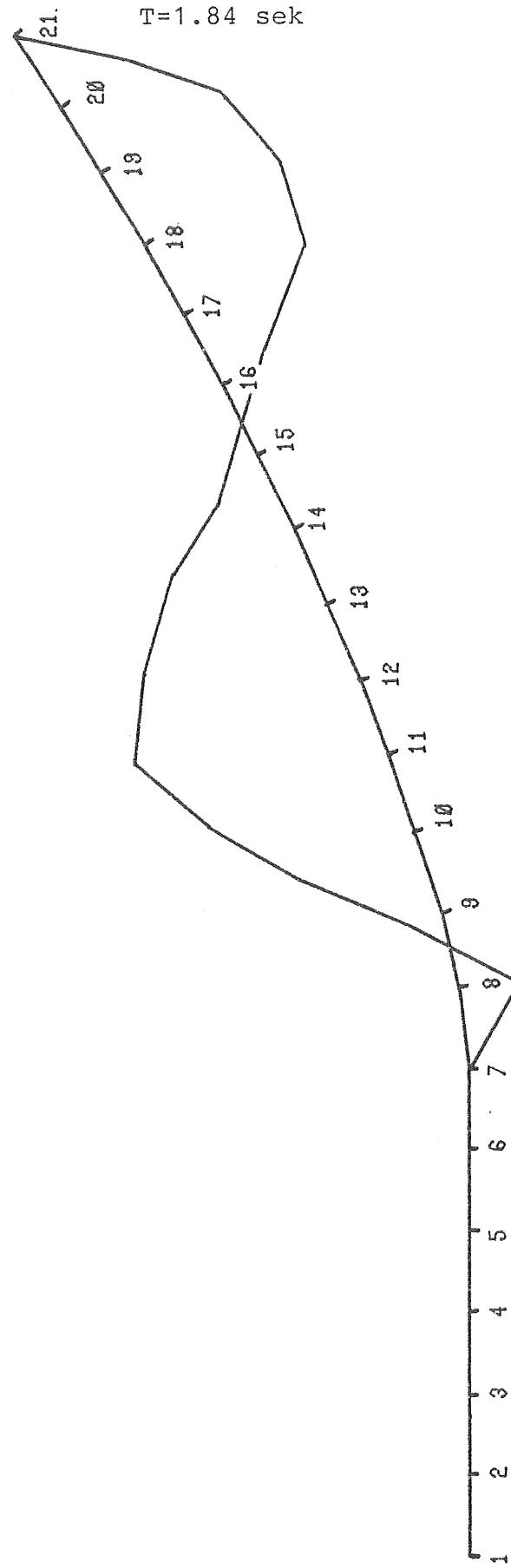
Figur 14.3. Starkt överdrivna variationer kring
förankringslinans jämviktsläge.
Mod 3, andra egenmoden i horisontalled.
 $T=2.60$ sek



Figur 14.4. Starkt överdrivna variationer kring
förankringslinans jämviktsläge.

Mod 4, andra egenmoden i vertikalled.

T=1.84 sek



REFERENSER

Gruppen för vågenergiforskning (1980). Förankringsseminarium i Göteborg 12-14 maj 1980. Föredrag sammanställda av Lennart Claesson

Gruppen för vågenergiforskning (1980). Inledande försök till sjöss med interprojektbojen.
Rapport GR:34 Chalmers Tekniska Högskola

Gruppen för vågenergiforskning (1981). Slutrapport etapp 4, Del V. Rapport GR:44

Lindahl, J., Sjöberg, A.: Cable Dynamics, Second International Symposium on ocean engineering and ship handling.
March 1-3, 1983. Swedish Maritime Research Centre SSPA

Molin, B. (1979): Computations of wave drift forces.
OTC, Houston, April 30-May 3, 1979.

Taesler, R. (1971): Klimatdata för Sverige.
Statens Råd för Byggnadsforskning.

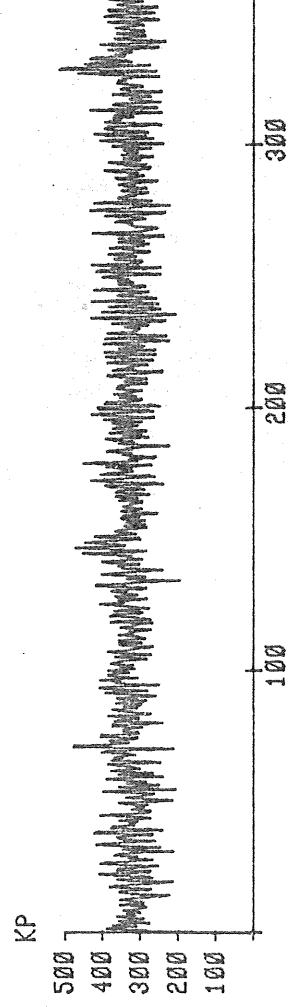
BILAGA

BILAGA: Resultatutskrifter från
samtliga mätningar.

IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801022/1

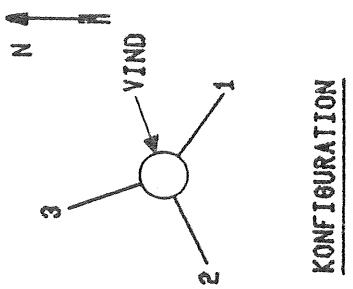
VIND ONO 7.3 M/S

LINA 1: $F_{MAX} = 517$ KP $F = 325$ KP $F_{1/3} = 159$ KP $T_{ZF} = 1.98$ SEK

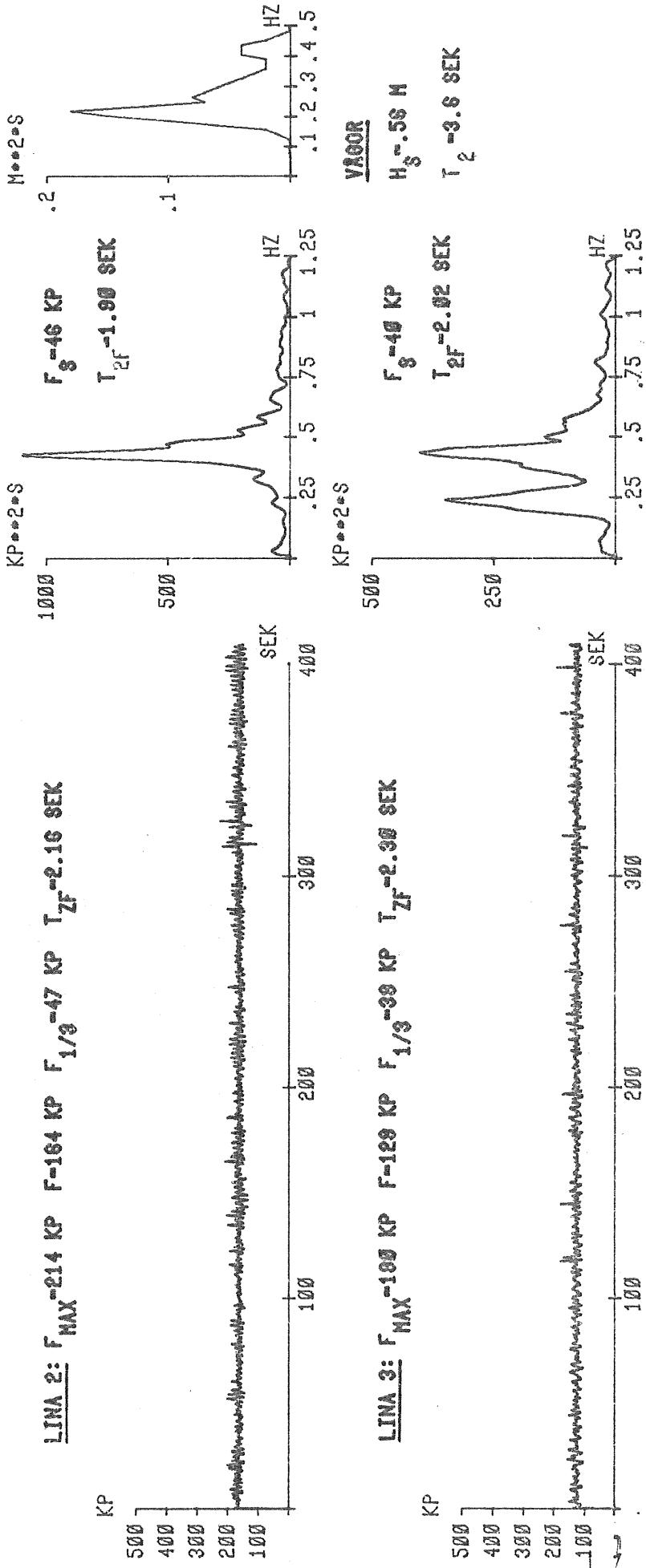


LINA 2: $F_{MAX} = 214$ KP $F = 164$ KP $F_{1/3} = 47$ KP $T_{ZF} = 2.16$ SEK

LINA 3: $F_{MAX} = 189$ KP $F = 129$ KP $F_{1/3} = 39$ KP $T_{ZF} = 2.36$ SEK



KONFIGURATION



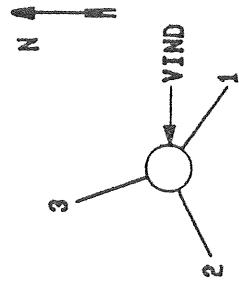
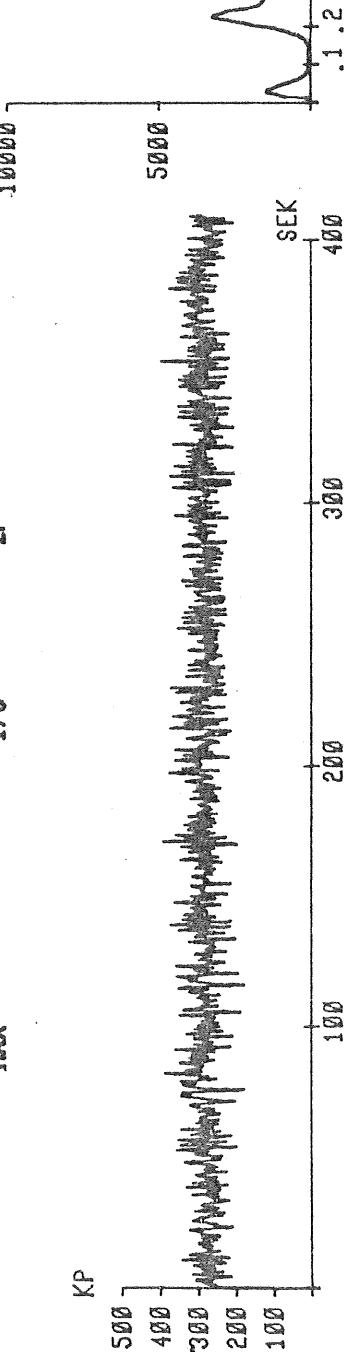
B : 1

IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801022/2

VIND 0 8.5 M/S

LINA 1: $f_{MAX} = 386$ KP $F = 281$ KP $F_{1/3} = 128$ KP $T_{ZF} = 2.18$ SEK

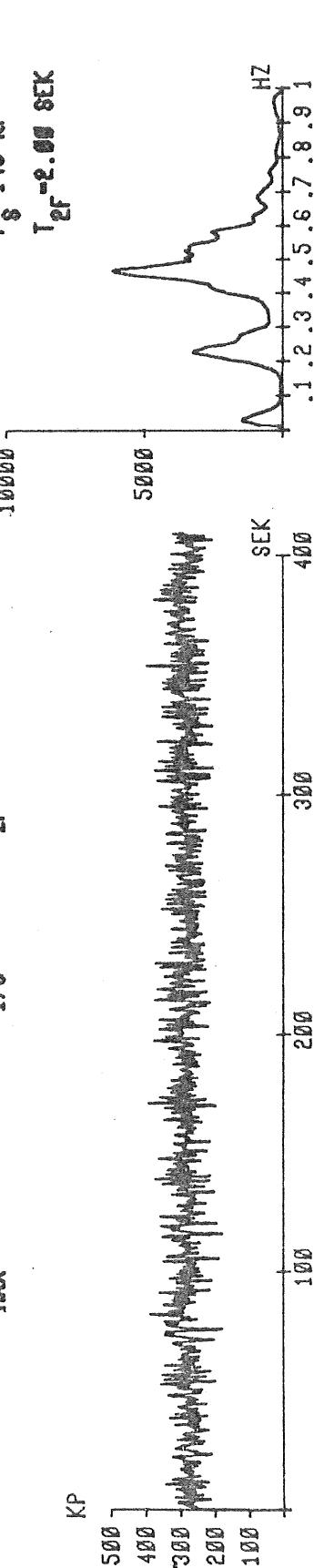
KP



KONFIGURATION

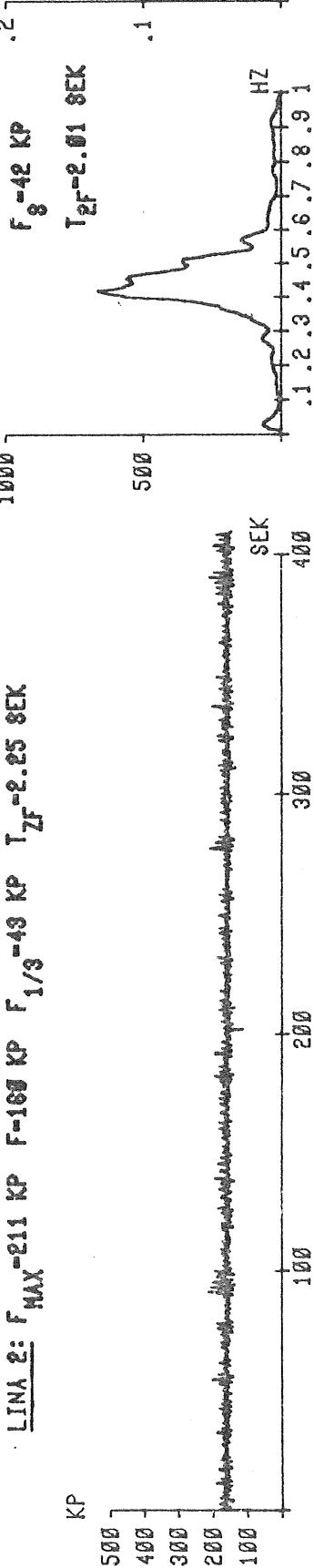
LINA 2: $f_{MAX} = 211$ KP $F = 161$ KP $F_{1/3} = 43$ KP $T_{ZF} = 2.25$ SEK

KP



LINA 3: $f_{MAX} = 172$ KP $F = 128$ KP $F_{1/3} = 38$ KP $T_{ZF} = 2.54$ SEK

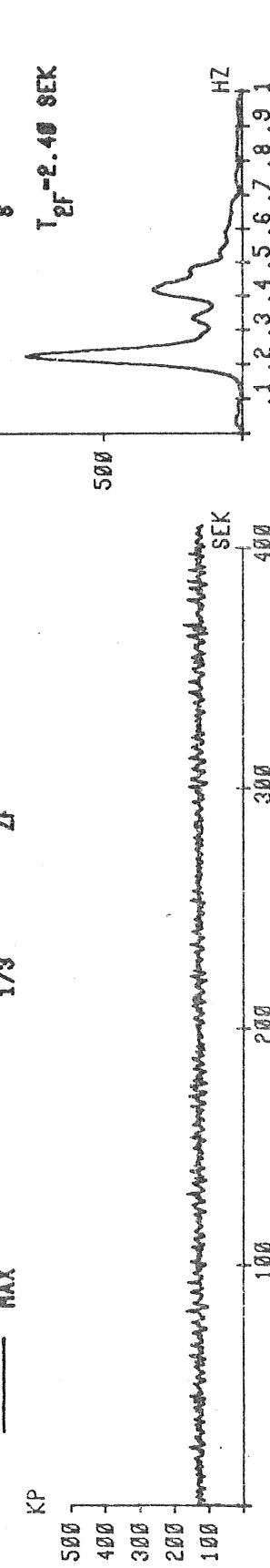
KP



VÄGOR

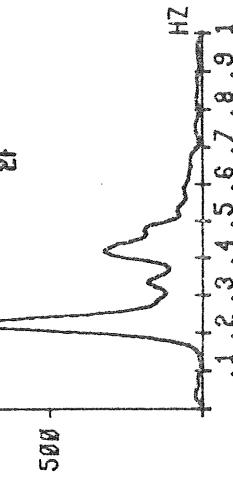
$F_g = 41$ KP
 $T_{ZF} = 2.40$ SEK

KP



$H_g = .59$ H
 $T_{ZF} = 3.4$ SEK

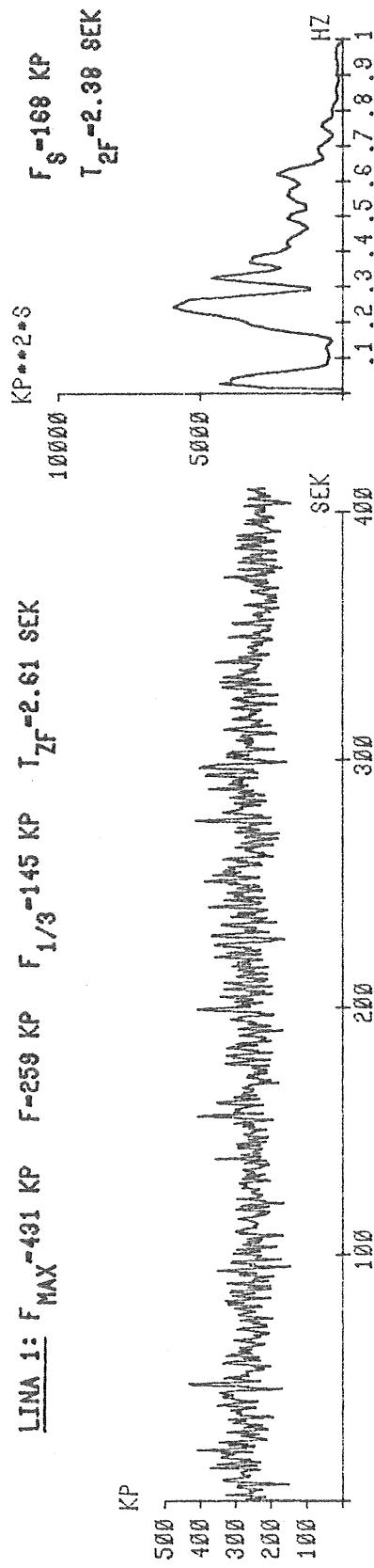
KP



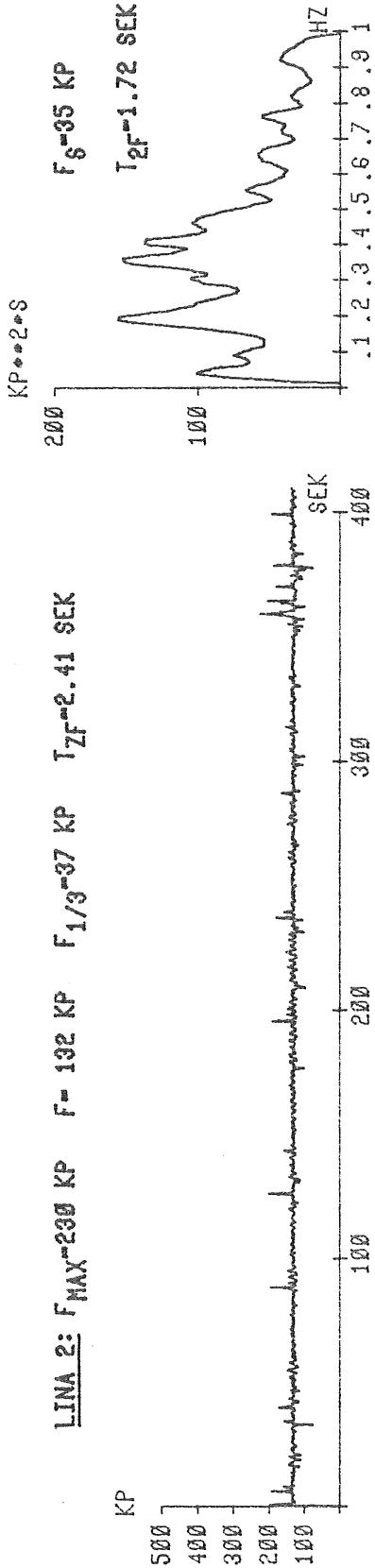
IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801023/1

VIND 0 10.7 M/S

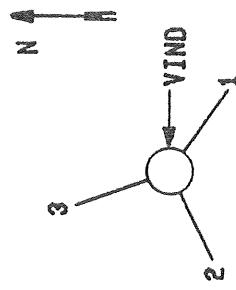
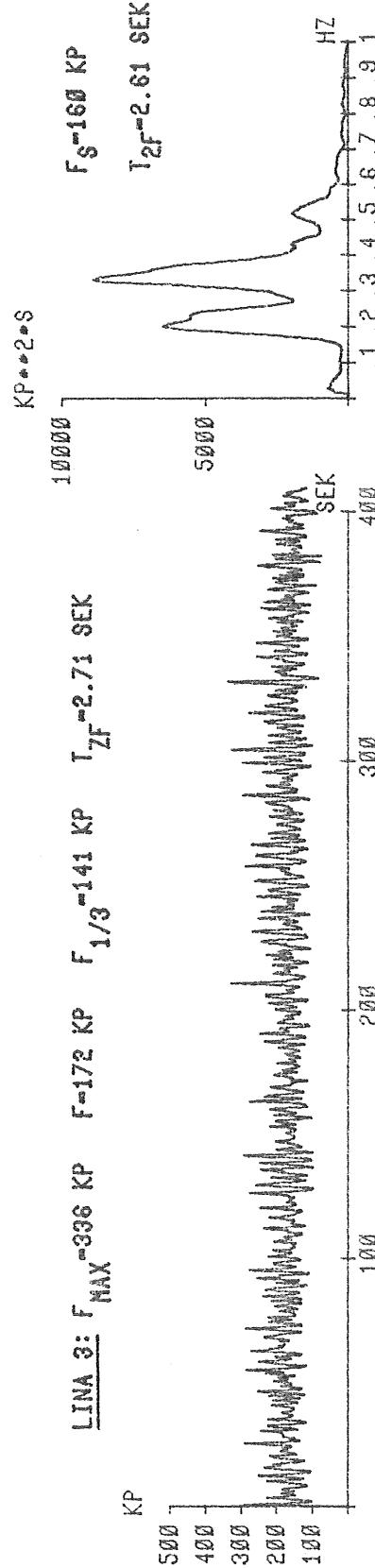
LINA 1: $F_{MAX} = 431$ KP $F = 259$ KP $F_{1/3} = 145$ KP $T_{ZF} = 2.61$ SEK



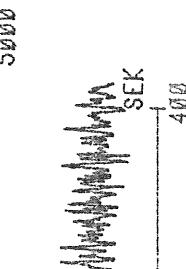
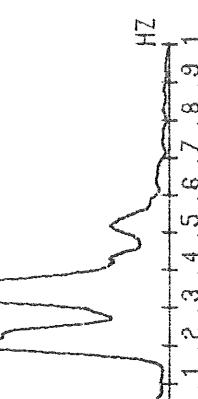
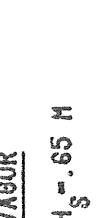
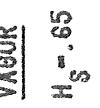
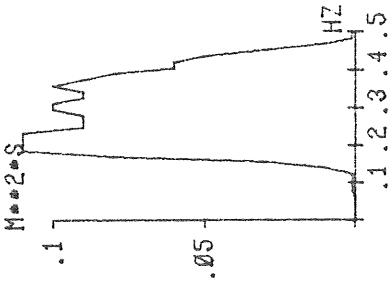
LINA 2: $F_{MAX} = 230$ KP $F = 132$ KP $F_{1/3} = 37$ KP $T_{ZF} = 2.41$ SEK



LINA 3: $F_{MAX} = 336$ KP $F = 172$ KP $F_{1/3} = 141$ KP $T_{ZF} = 2.71$ SEK



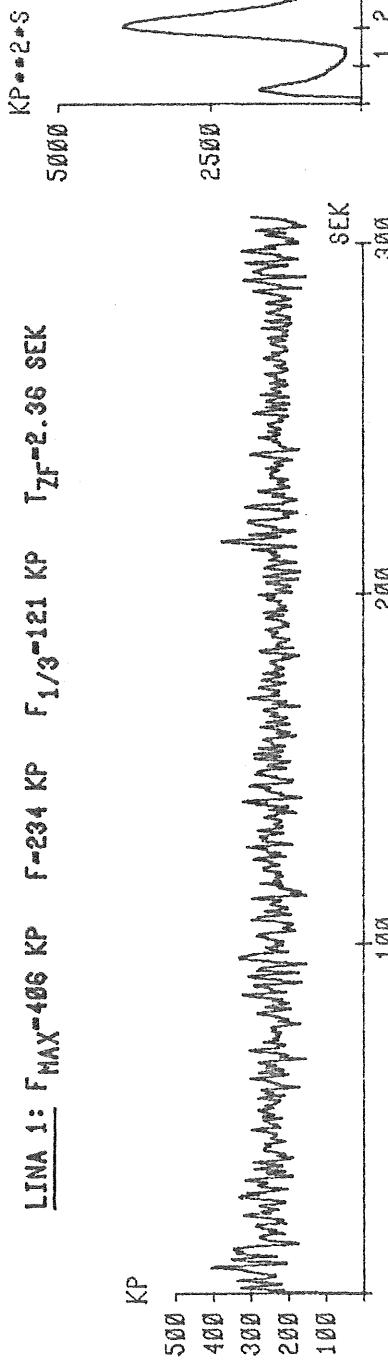
KONFIGURATION



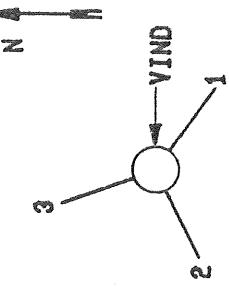
IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801023/2

VIND 0 9.5 M/S

LINA 1: $F_{MAX} = 406$ KP $F = 234$ KP $F_{1/3} = 121$ KP $T_{zf} = 2.36$ SEK

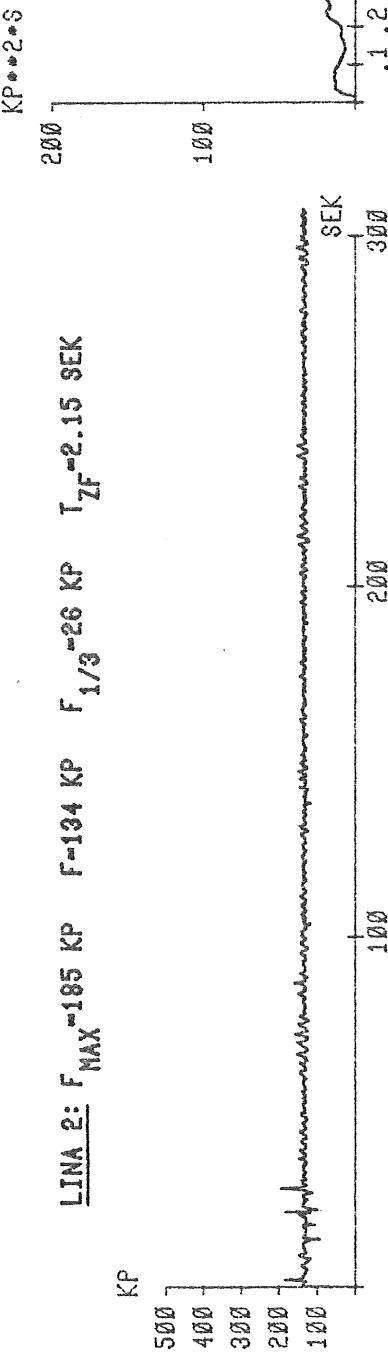


$KP = 2 * S$ $F_S = 125$ KP
 $T_{zf} = 2.25$ SEK



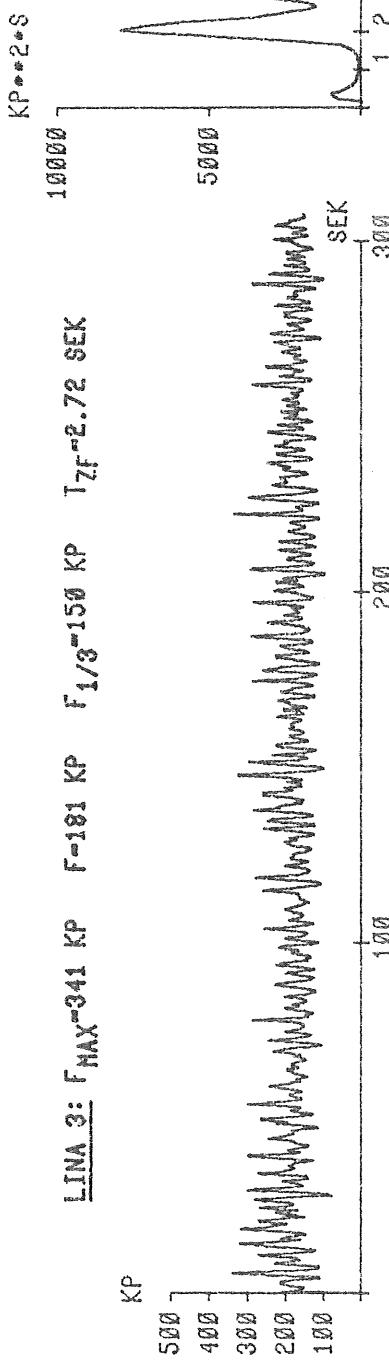
KONFIGURATION

LINA 2: $F_{MAX} = 185$ KP $F = 134$ KP $F_{1/3} = 26$ KP $T_{zf} = 2.15$ SEK



$KP = 2 * S$ $F_S = 21$ KP
 $T_2 = 1.72$ SEK

LINA 3: $F_{MAX} = 341$ KP $F = 181$ KP $F_{1/3} = 150$ KP $T_{zf} = 2.72$ SEK

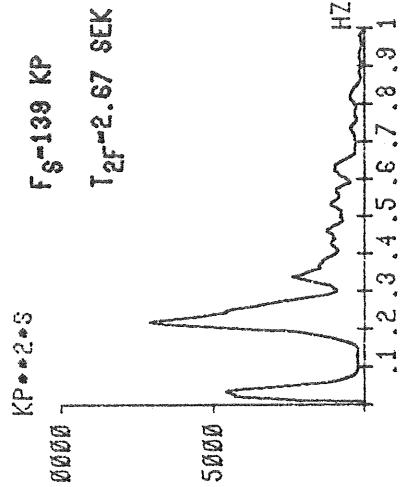
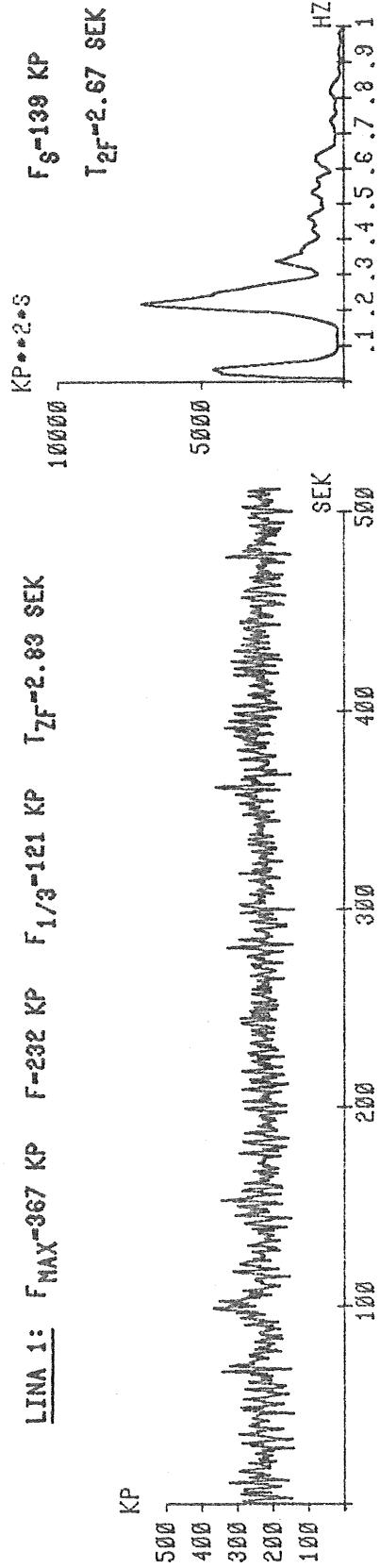


VÄGOR
 $H_S = 65$ H $T_2 = 3.3$ SEK
 $F_S = 155$ KP $T_{zf} = 2.71$ SEK

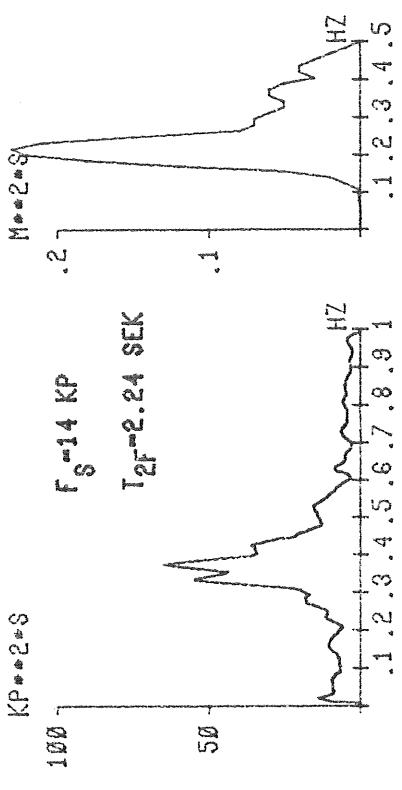
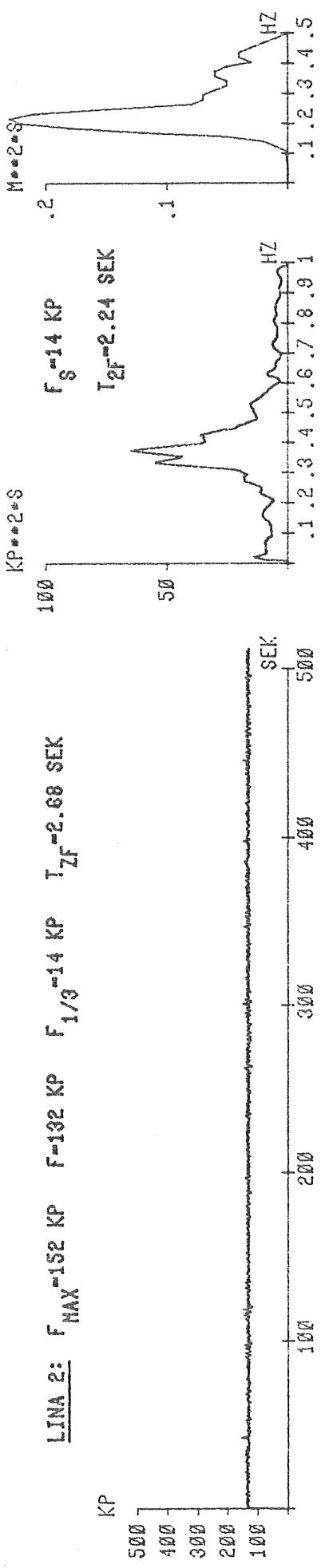
IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801023/3

VIND 0 8.8 M/S

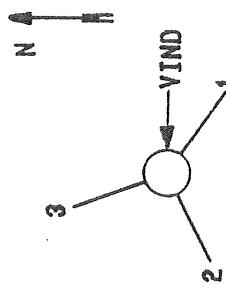
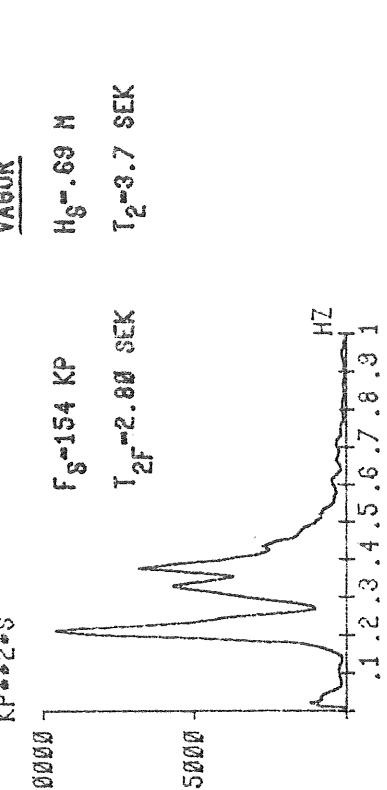
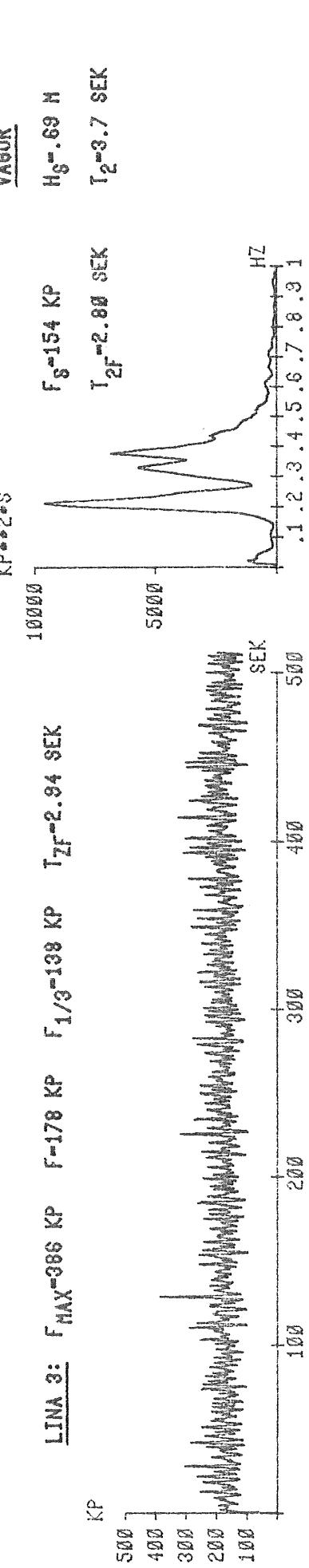
LINA 1: $F_{MAX}=367$ KP $F=232$ KP $F_{1/3}=121$ KP $T_{ZF}=2.83$ SEK



LINA 2: $F_{MAX}=152$ KP $F=132$ KP $F_{1/3}=14$ KP $T_{ZF}=2.68$ SEK



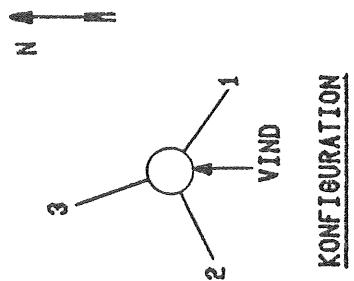
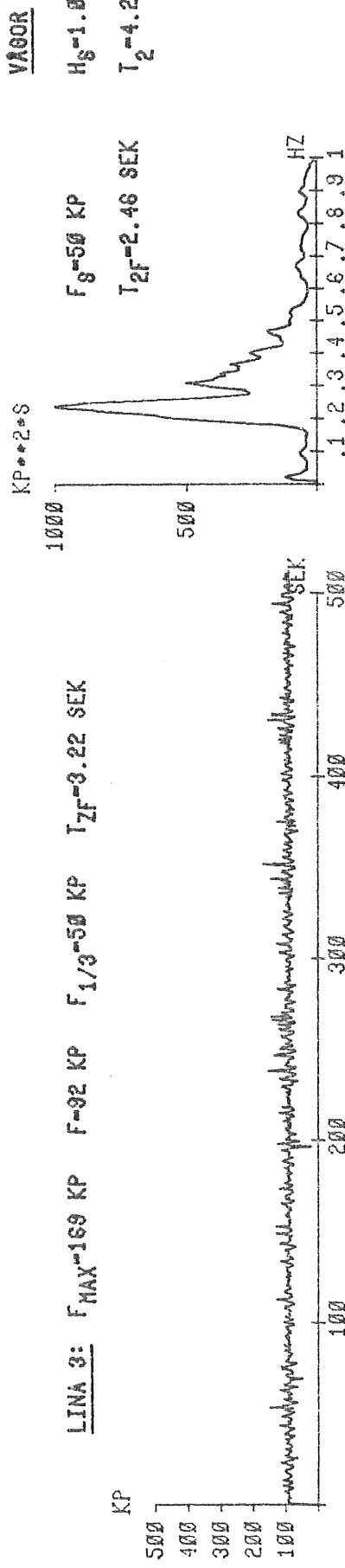
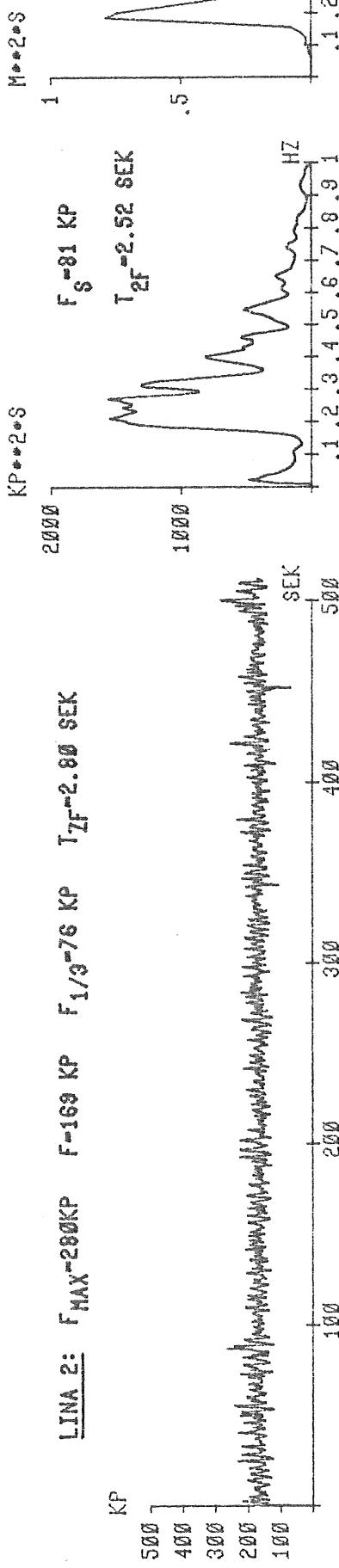
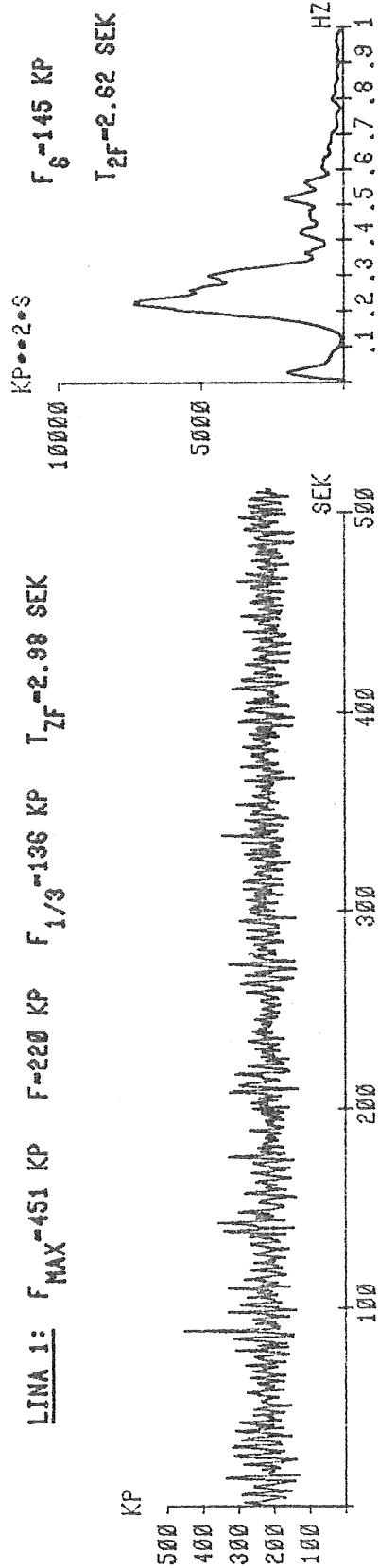
LINA 3: $F_{MAX}=386$ KP $F=178$ KP $F_{1/3}=138$ KP $T_{ZF}=2.94$ SEK



B: 5

IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801024/1

VIND S 7.5 M/S



B:6

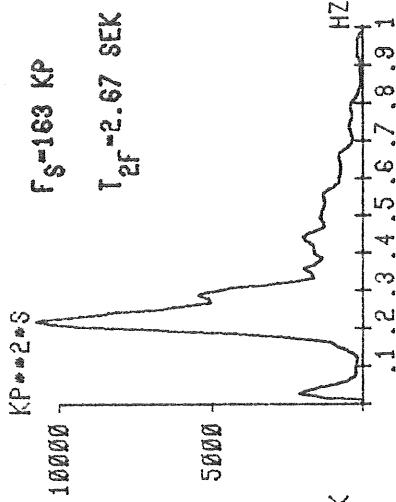
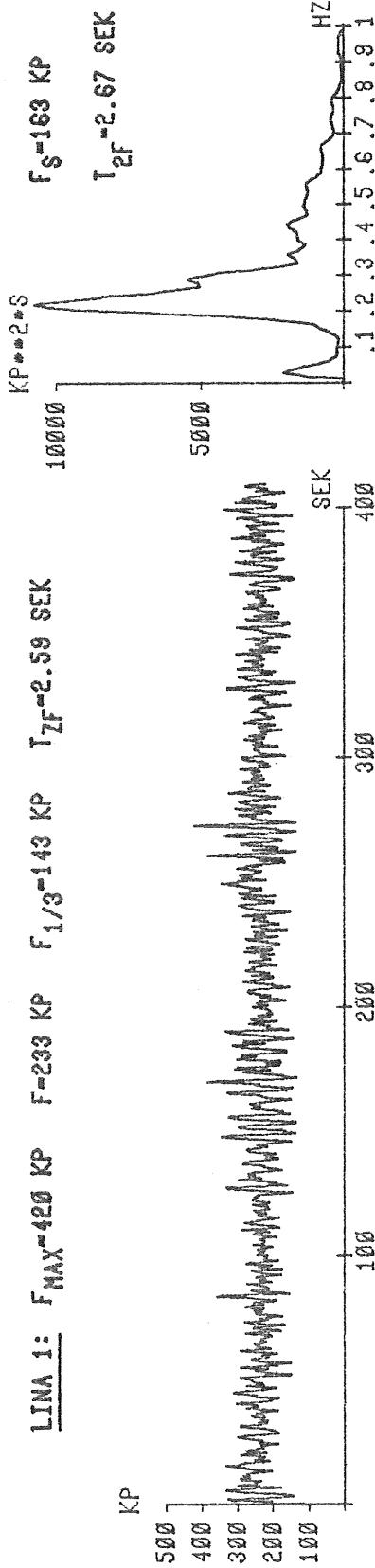
LINA 1: $F_{MAX} = 451 \text{ kN}$ $F = 220 \text{ kN}$ $F_{1/3} = 136 \text{ kN}$ $T_{ZF} = 2.98 \text{ SEK}$

IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801024/2

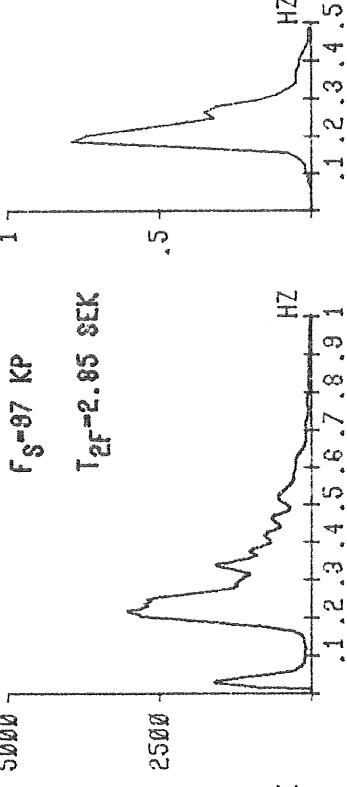
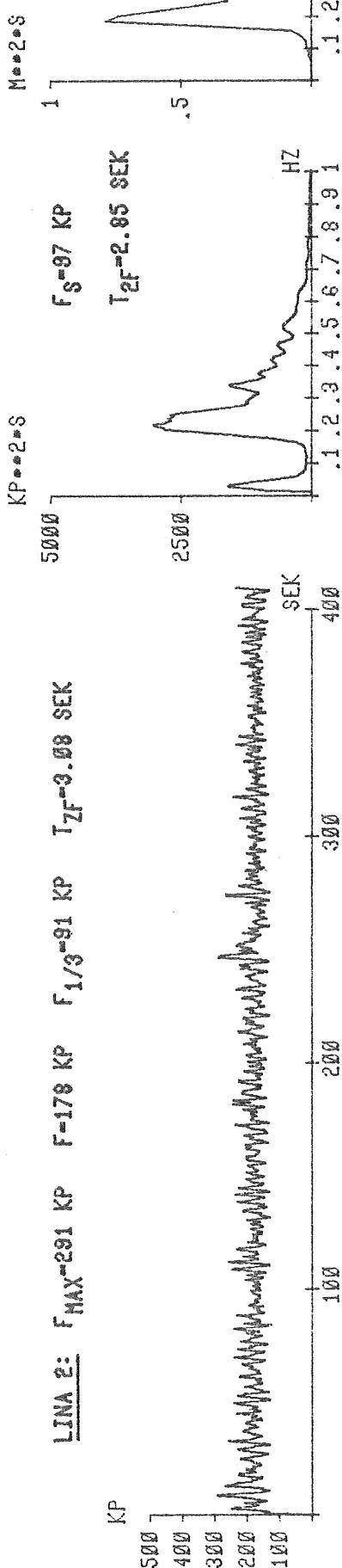
VIND S 7.5 M/S

N

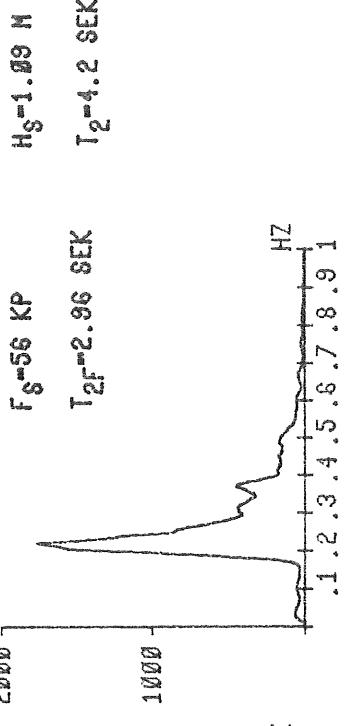
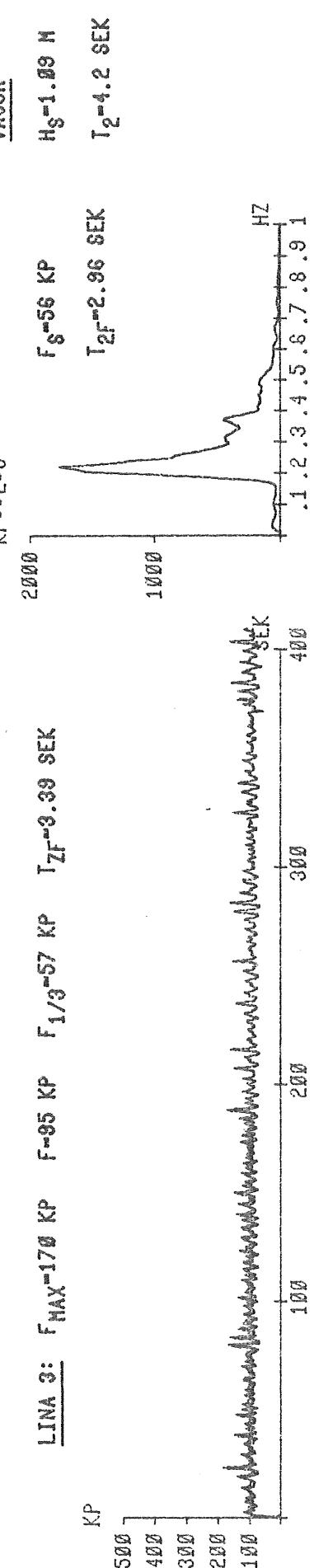
LINA 1: $f_{MAX}=420$ KP $F=233$ KP $F_{1/3}=143$ KP $T_{ZF}=2.59$ SEK



LINA 2: $f_{MAX}=291$ KP $F=178$ KP $F_{1/3}=91$ KP $T_{ZF}=3.08$ SEK



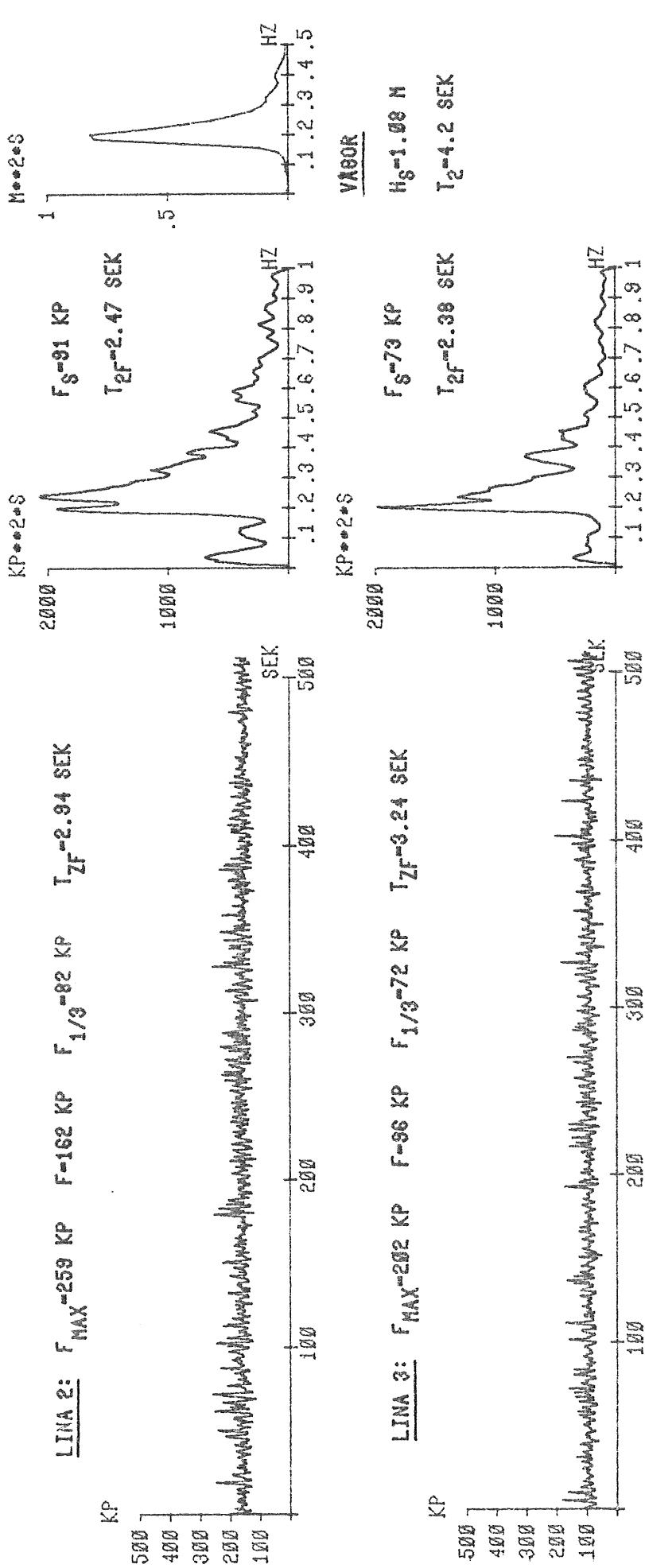
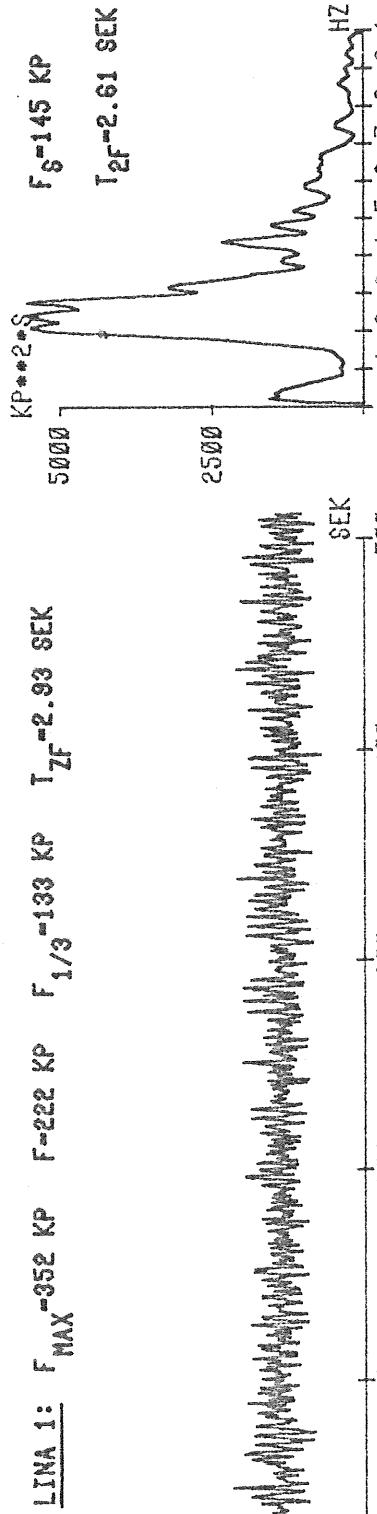
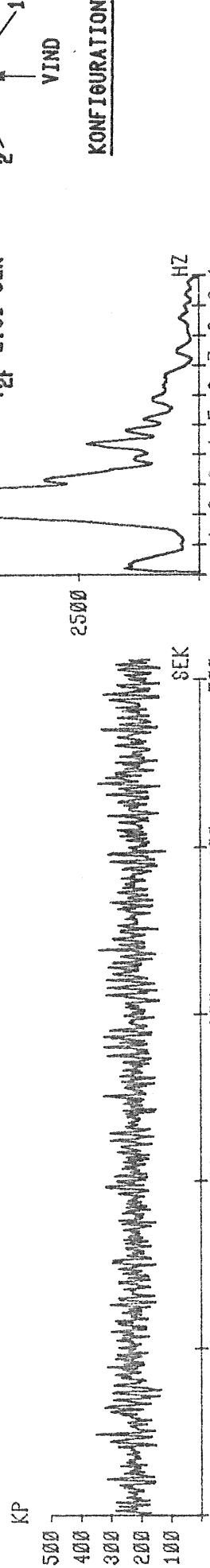
LINA 3: $f_{MAX}=170$ KP $F=95$ KP $F_{1/3}=57$ KP $T_{ZF}=3.39$ SEK



IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801024/3

VIND S 8.3 M/S

LINA 1: $f_{MAX} = 352$ KP $F = 222$ KP $F_{1/3} = 133$ KP $T_{ZF} = 2.93$ SEK



IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801027/1

VIND SO 12.0 M/S

N

W

E

S

NE

SW

SE

NO

SW

SE

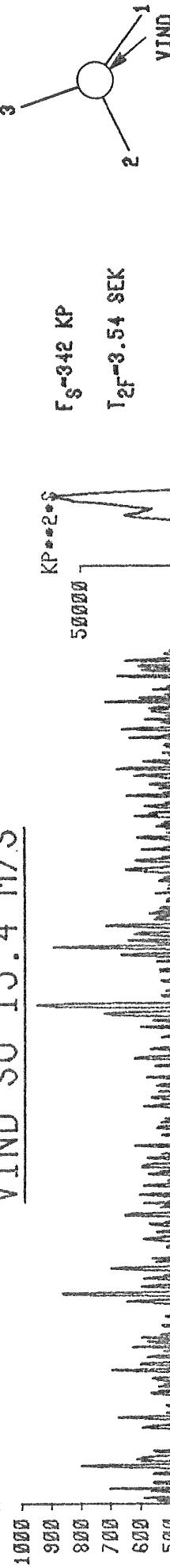
IPS-FÖANKRINGSKRAFTMÄTNING 801027/4

VIND SO 15.4 M/S



N

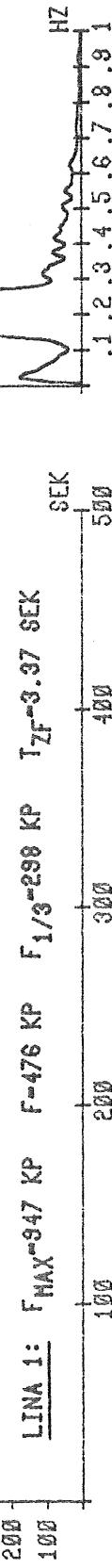
KP



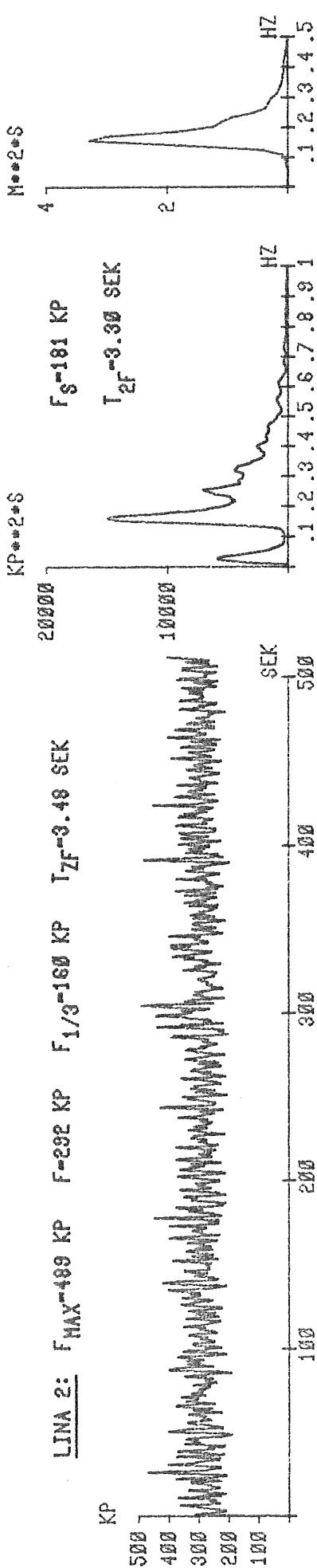
KONFIGURATION



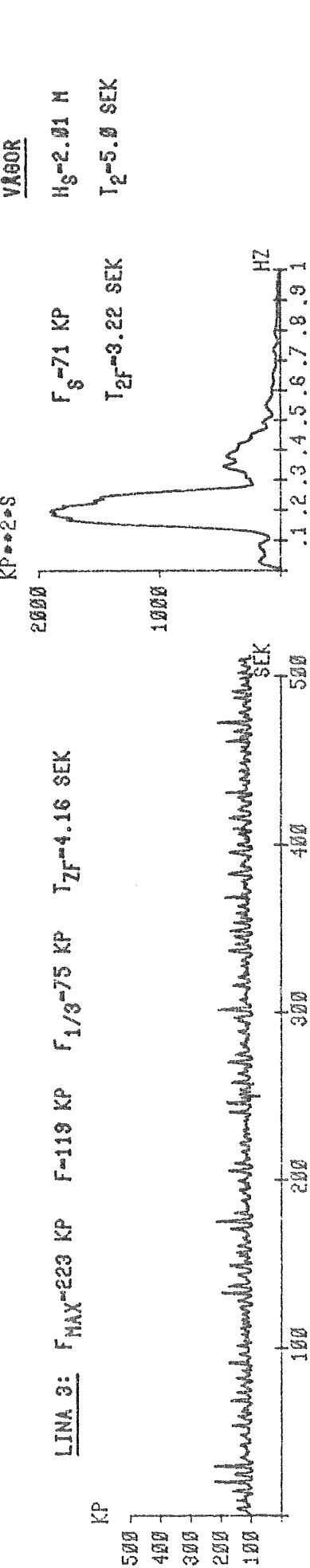
LINA 1: $F_{MAX}=347$ KP $F=476$ KP $F_{1/3}=298$ KP $T_{zf}=3.37$ SEK



LINA 2: $F_{MAX}=489$ KP $F=292$ KP $F_{1/3}=160$ KP $T_{zf}=3.48$ SEK

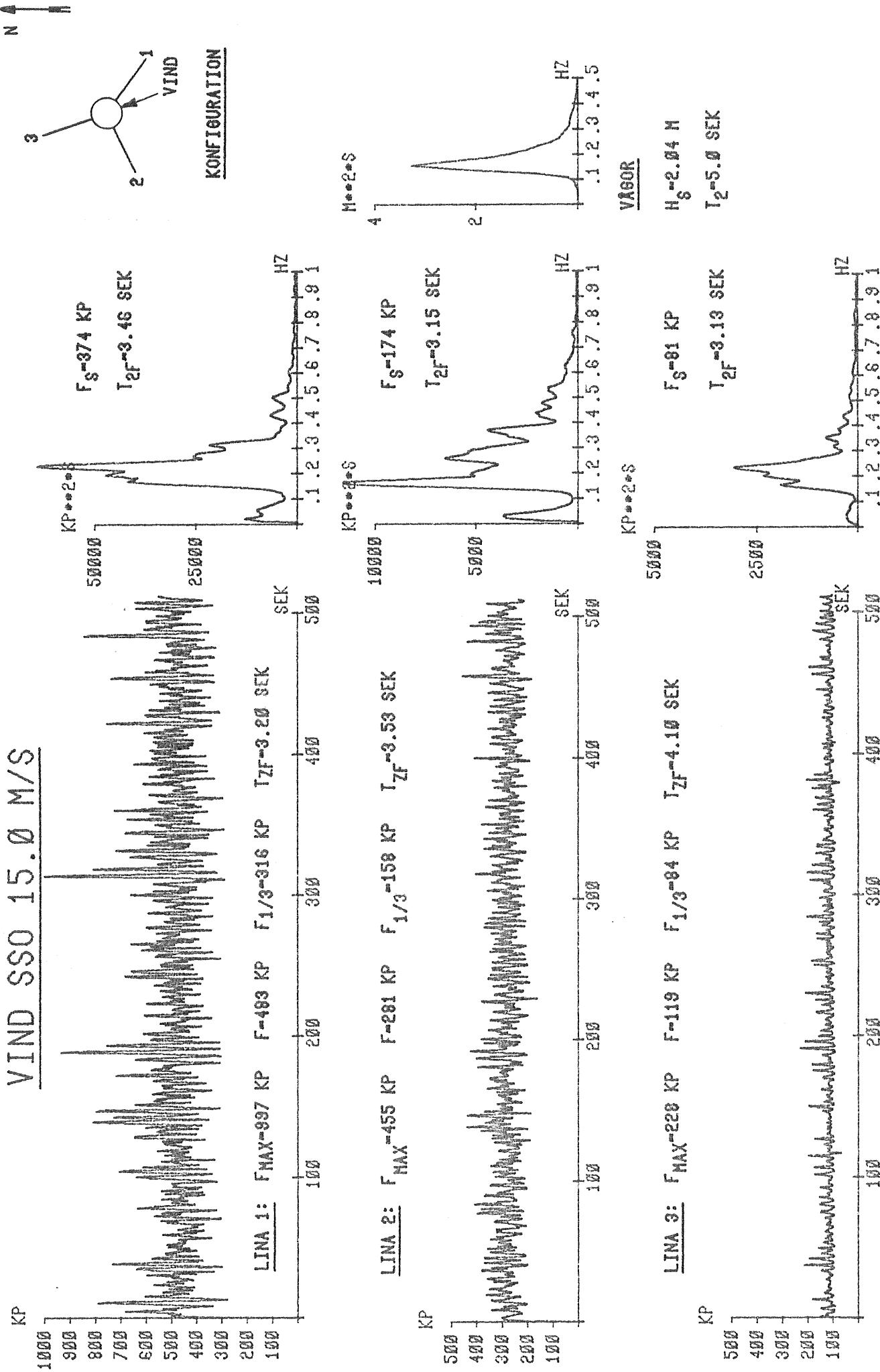


LINA 3: $F_{MAX}=223$ KP $F=119$ KP $F_{1/3}=75$ KP $T_{zf}=4.16$ SEK



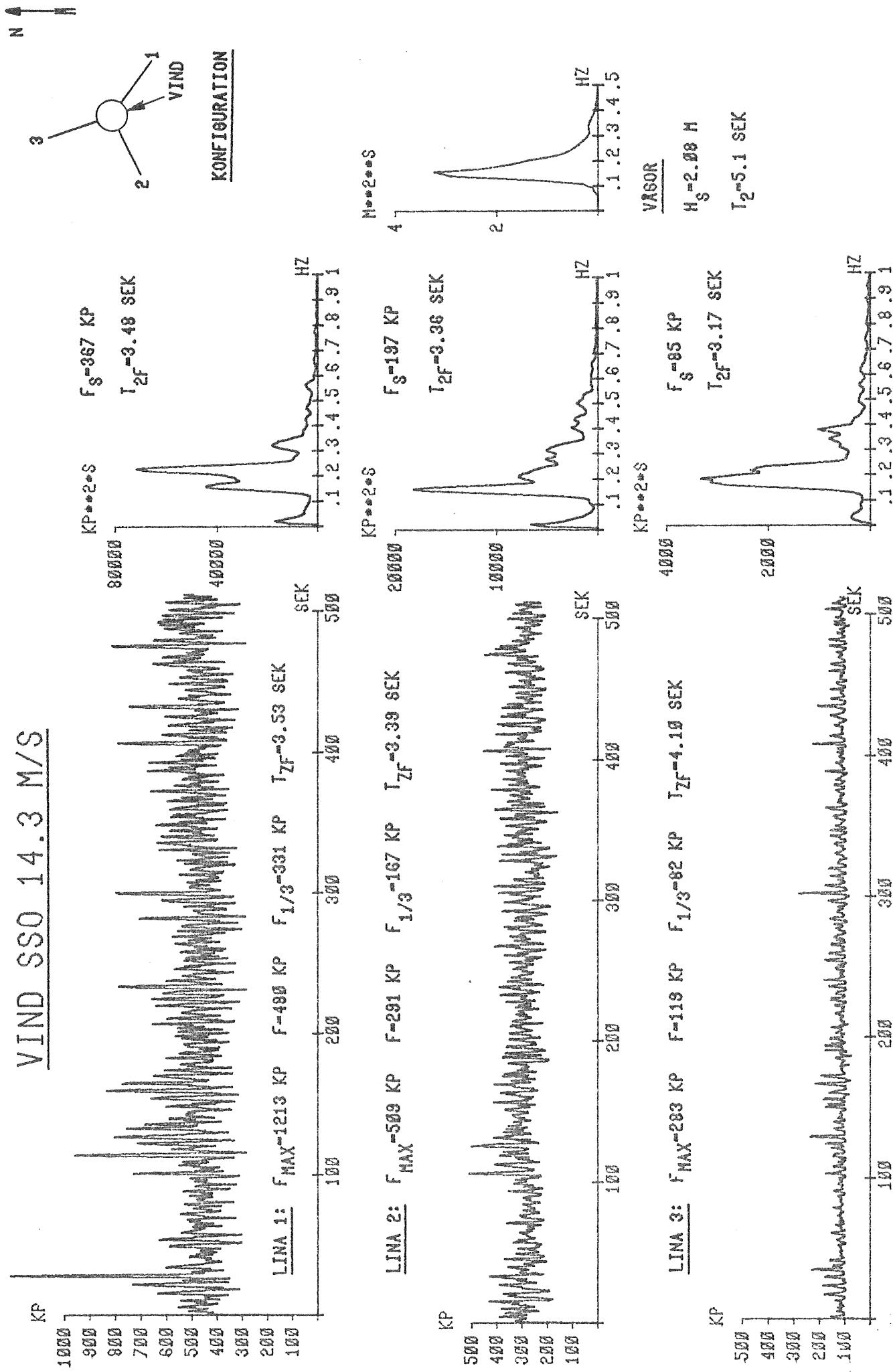
IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801027/5

VIND SSO 15.0 M/S



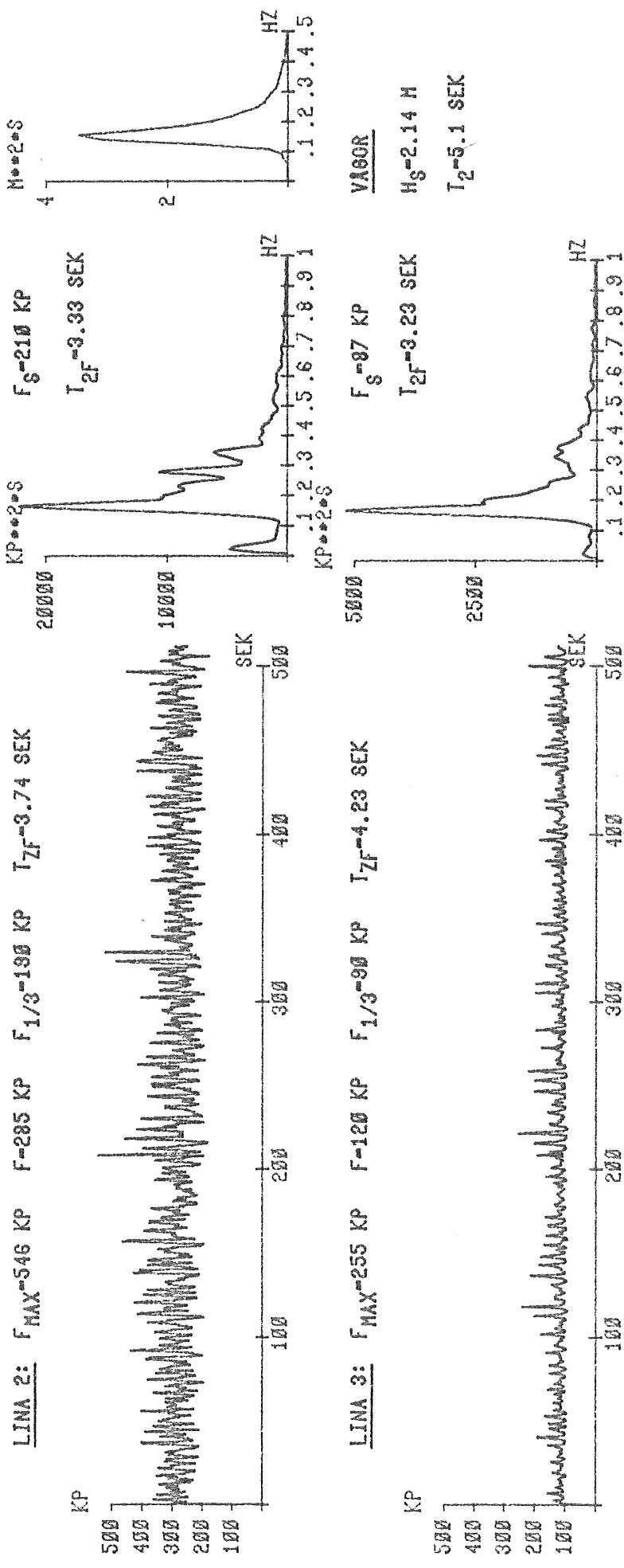
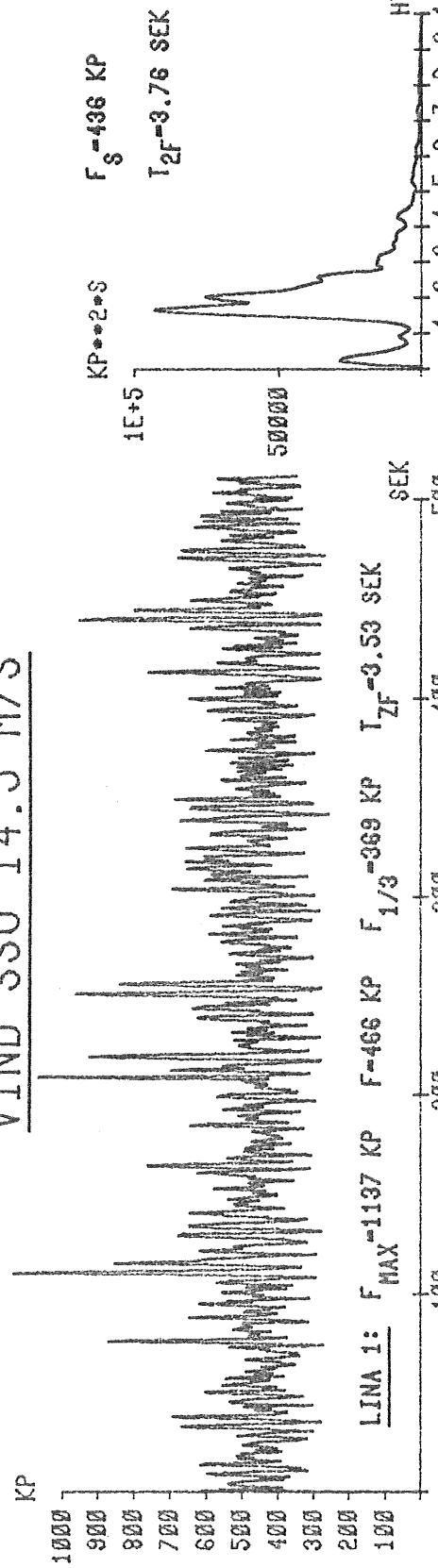
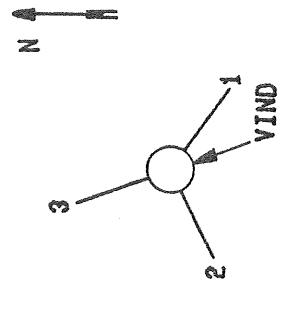
IPS-FÖRANKRINGSKRÄFTMÄTNING 801027/6

VIND SSO 14.3 M/S



IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801027/7

VIND SSO 14.5 M/S



IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801027/7
VIND SSO 14.5 M/S

KP

1000

900

800

700

600

500

400

300

200

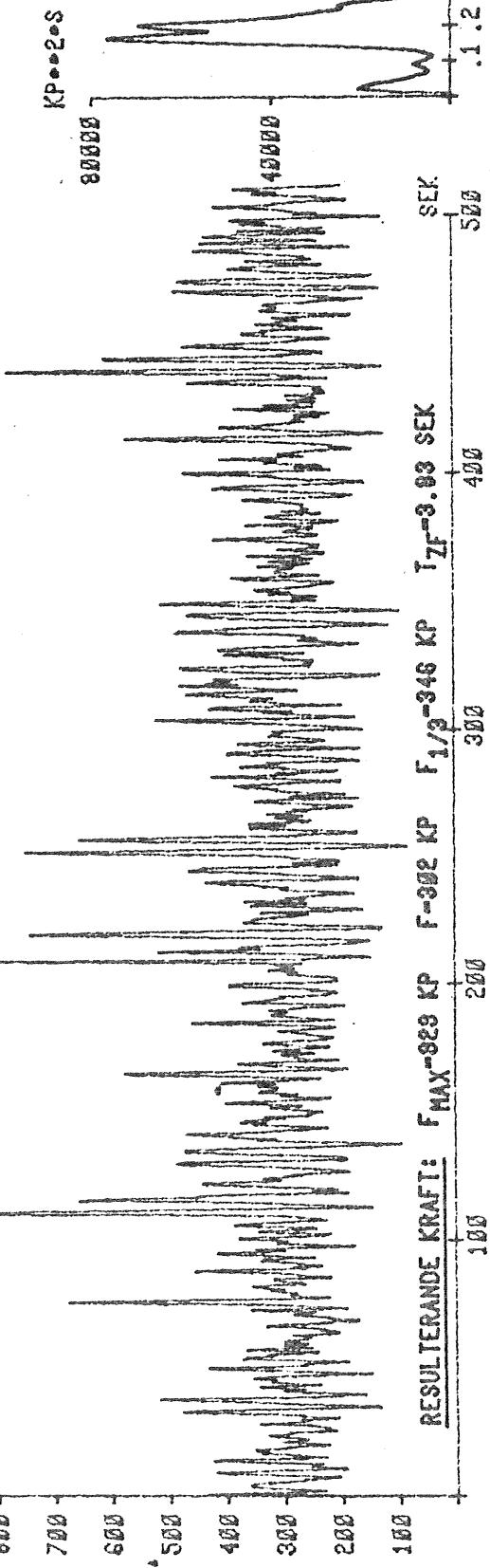
100

WIND RIKTNING



KONFIGURATION

KP=2°S



F_g=398 kp
T_{2f}=3.85 sek

Hz
1.2.3.4.5.6.7.8.9.1

sek
500
400
300
200
100

RESULTERANDE RIKTNING

GRADER

360

315

270

225

180

135

90

45

H=2°S

4

VÄGOR

H=2.14 H
T₂=5.1 sek

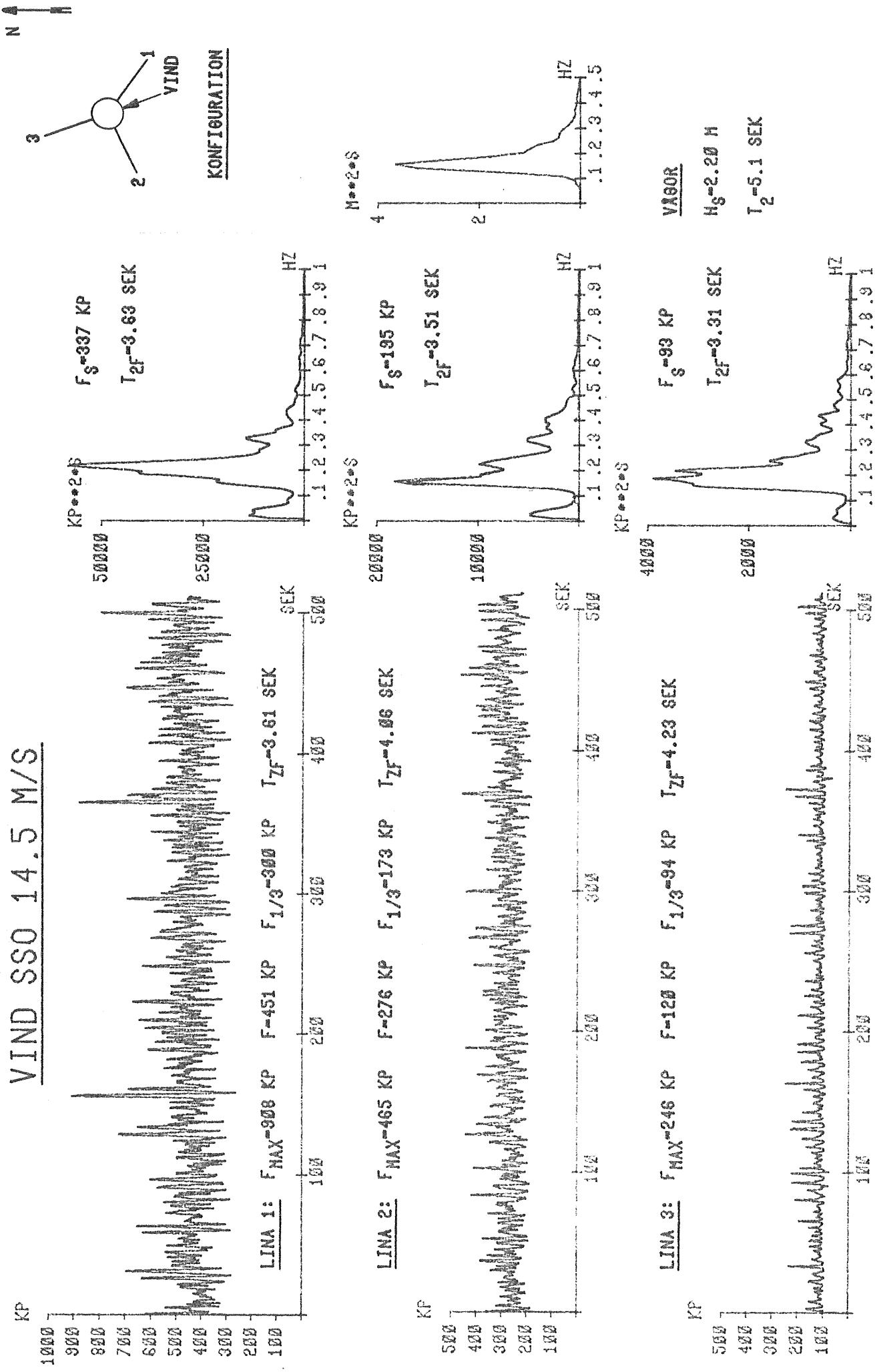
Hz
1.2.3.4.5

Hz
1.2.3.4.5

sek
500
400
300
200

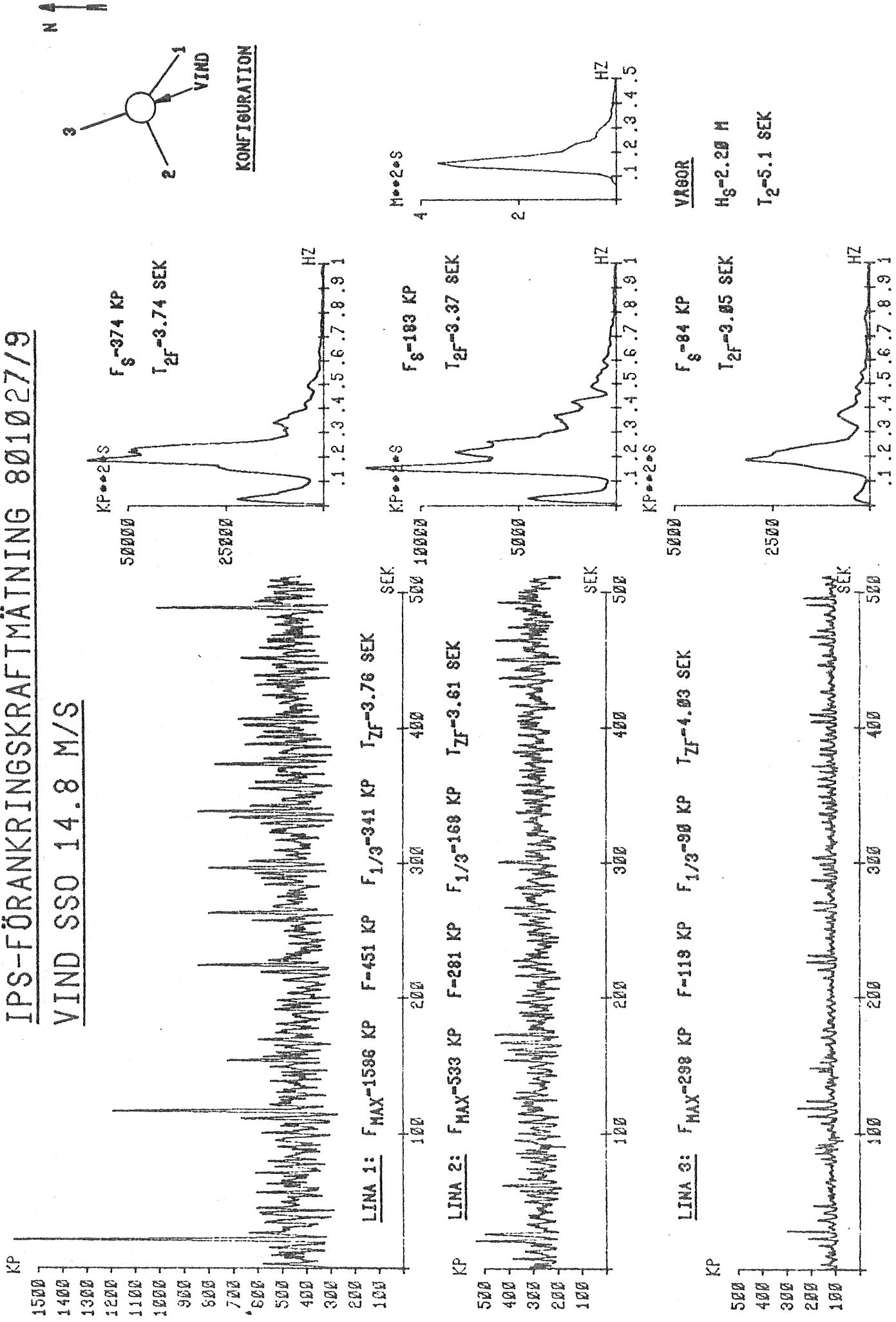
IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801027/8

VIND SSO 14.5 M/S



IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801027/9

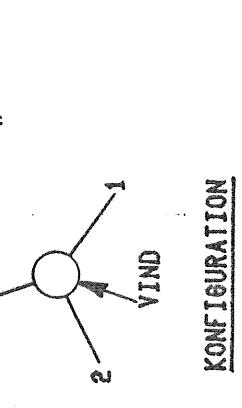
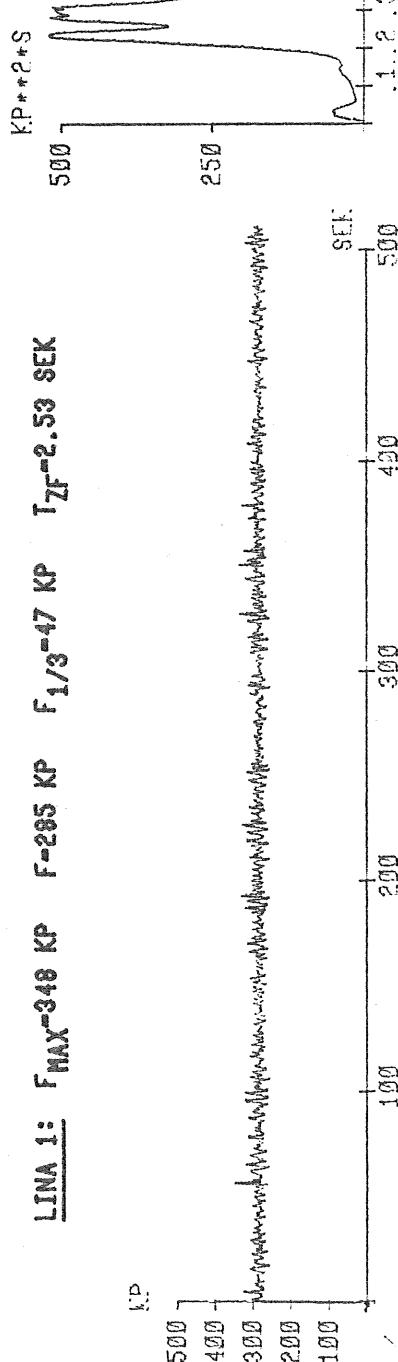
VIND SSO 14.8 M/S



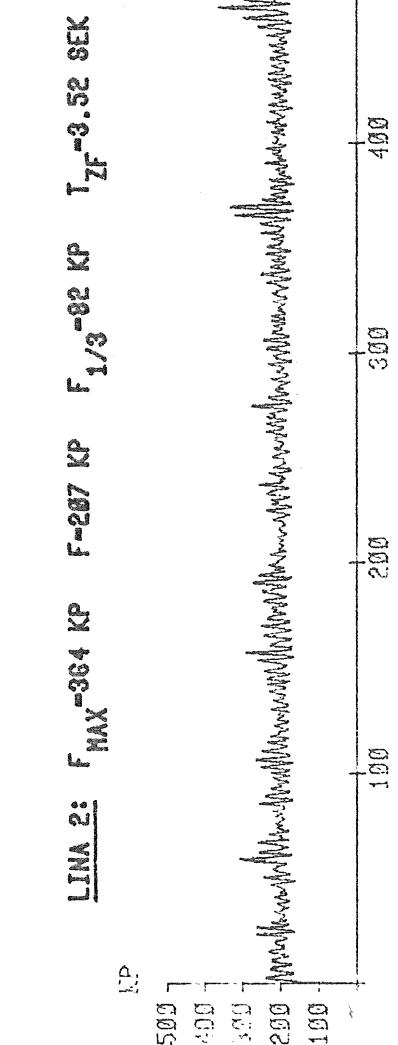
IPS-FÖRANKRINGSMÄTNING 801028/1

VIND SSV 8.6 M/S

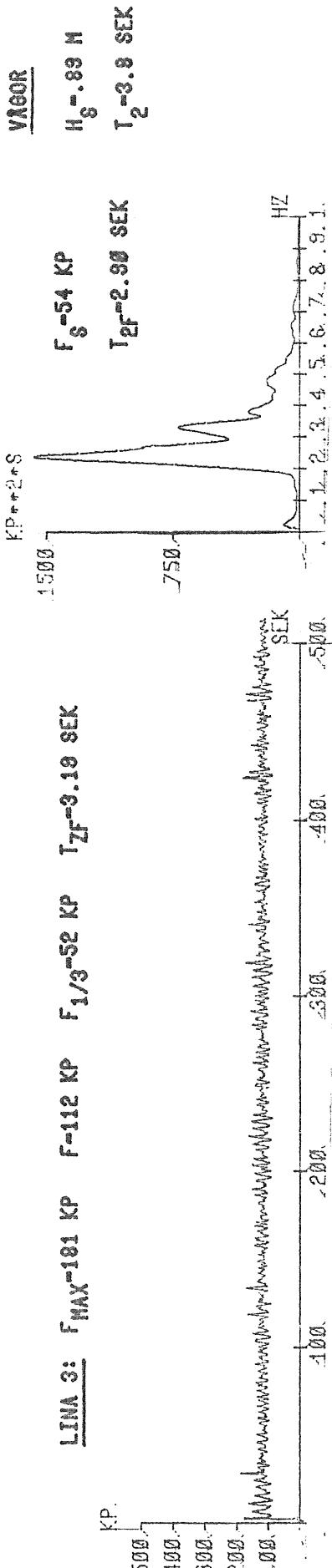
LINA 1: $F_{MAX} = 348$ KP $F = 285$ KP $F_{1/3} = 47$ KP $T_{ZF} = 2.53$ SEK



LINA 2: $F_{MAX} = 364$ KP $F = 267$ KP $F_{1/3} = 82$ KP $T_{ZF} = 3.52$ SEK



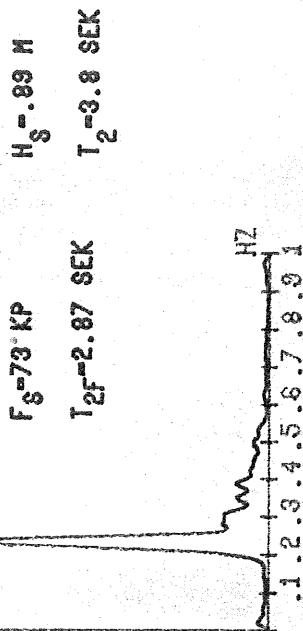
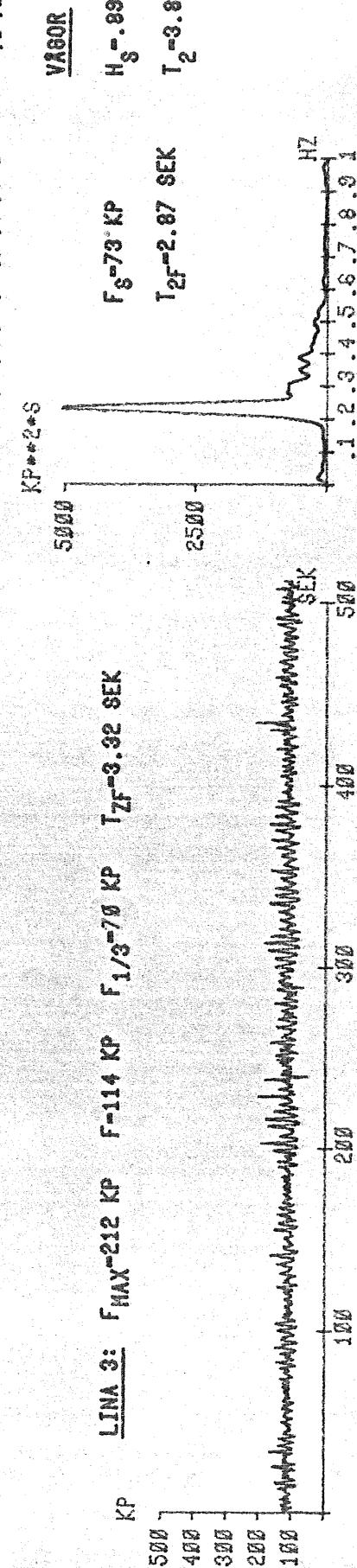
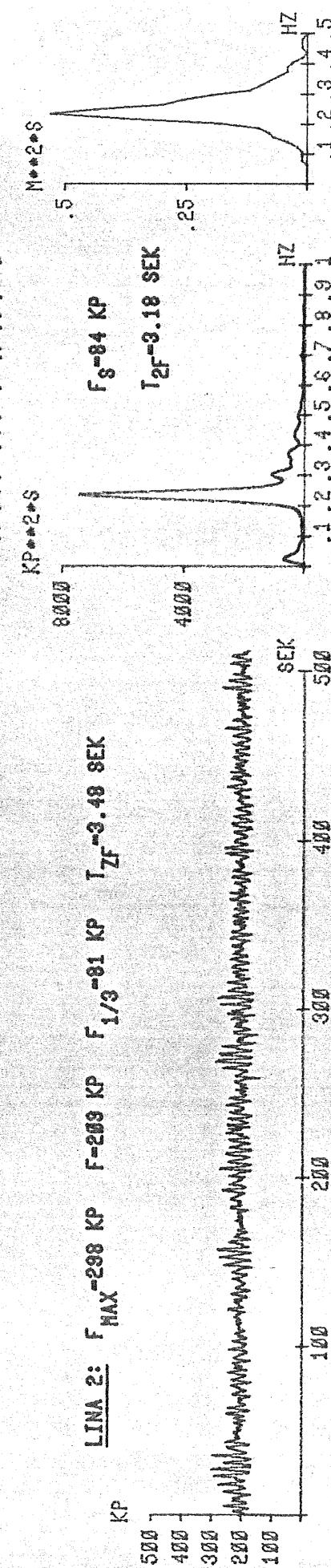
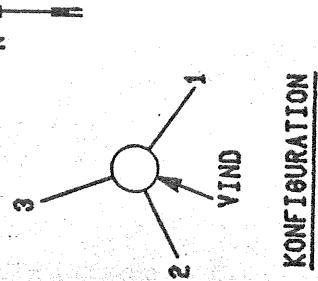
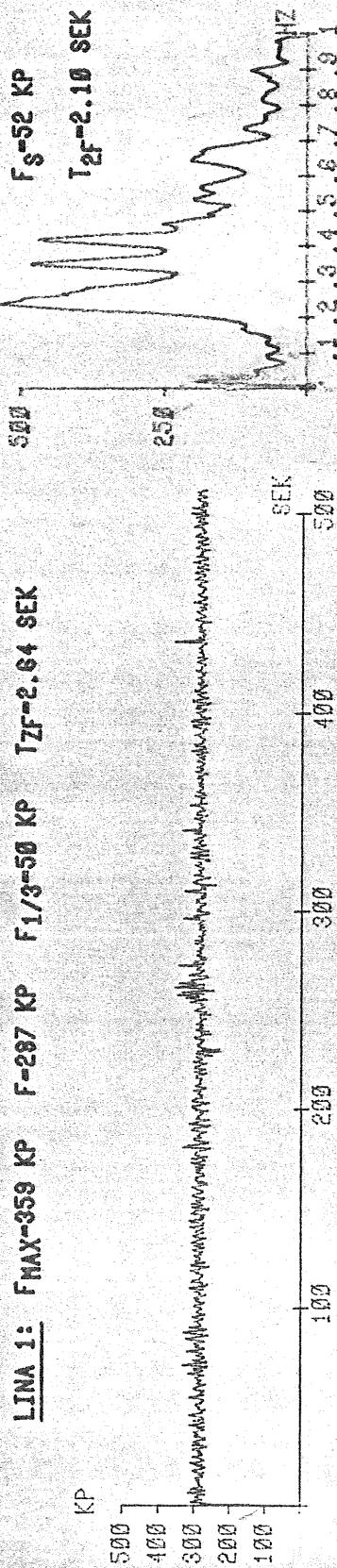
LINA 3: $F_{MAX} = 181$ KP $F = 112$ KP $F_{1/3} = 52$ KP $T_{ZF} = 3.19$ SEK



B: 18

IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801028/2

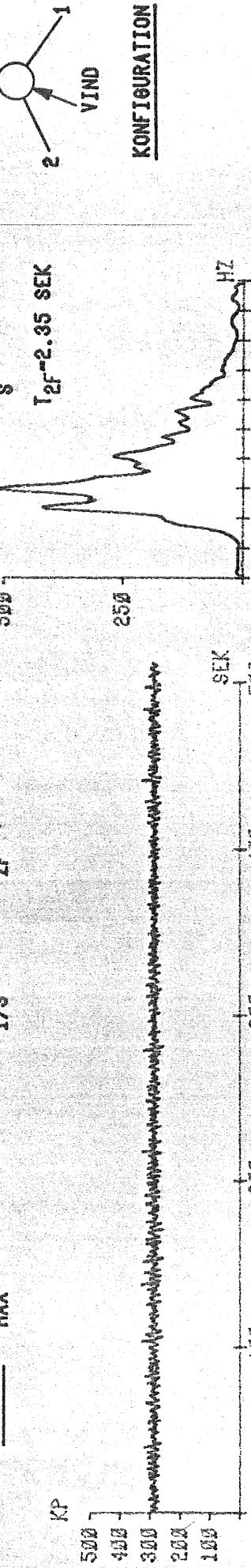
VIND SSV 8.6 M/S



IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801028/3

VIND SSV 8.6 M/S

LINA 1: $F_{MAX} = 324$ KP $F = 285$ KP $F_{1/3} = 39$ KP $T_{ZF} = 2.50$ SEK



$f_s = 43$ KP
 $T_{ZF} = 2.35$ SEK

$KP = 2 \cdot S$

$f_s = 106$ KP
 $T_{ZF} = 3.51$ SEK

$KP = 2 \cdot S$

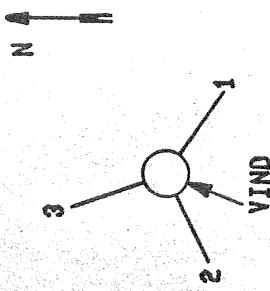
$f_s = 70$ KP
 $T_{ZF} = 3.08$ SEK

$KP = 2 \cdot S$

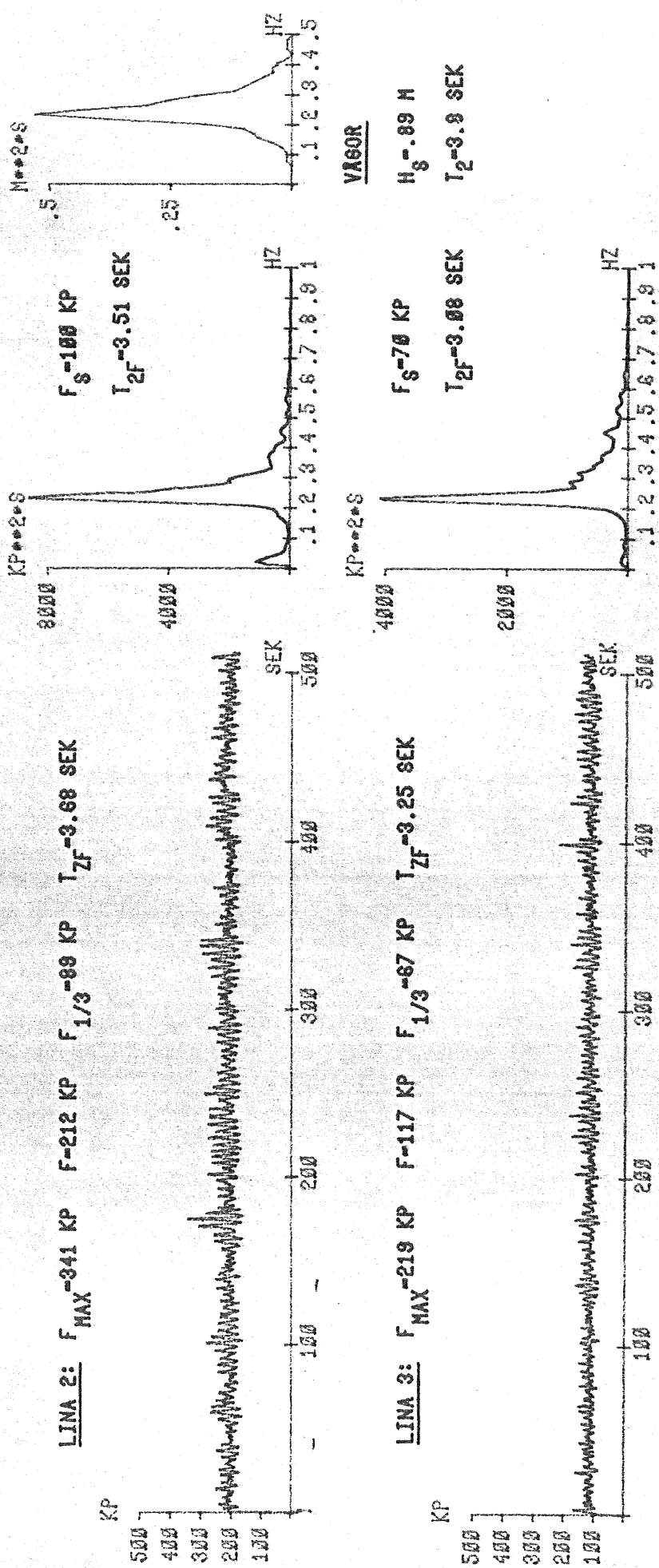
$f_s = 89$ KP
 $T_{ZF} = 3.8$ SEK

$KP = 2 \cdot S$

KONFIGURATION



N



VAGOR

$H_s = .89$ M
 $T_2 = 3.8$ SEK

$H_s = .89$ M
 $T_2 = 3.51$ SEK

$H_s = .89$ M
 $T_2 = 3.08$ SEK

$H_s = .89$ M
 $T_2 = 3.68$ SEK

$H_s = .89$ M
 $T_2 = 2.35$ SEK

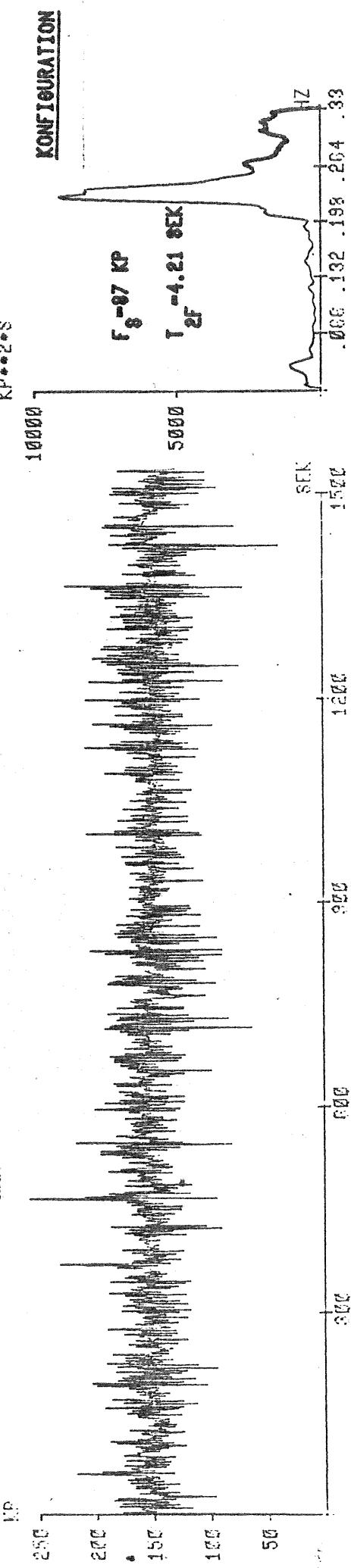
$H_s = .89$ M
 $T_2 = 4.5$ SEK

IPS-FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNING 801028/1+2+3

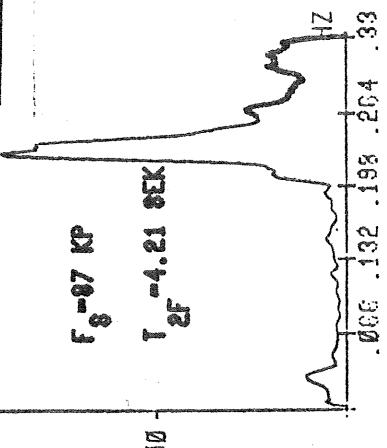
VIND SSV 8.6 M/S

RESULTERANDE KRAFT:

$f_{max} = 257 \text{ KP}$ $f = 149 \text{ KP}$ $f_{1/3} = 76 \text{ KP}$ $T_2 = 4.57 \text{ SEK}$



KONFIGURATION

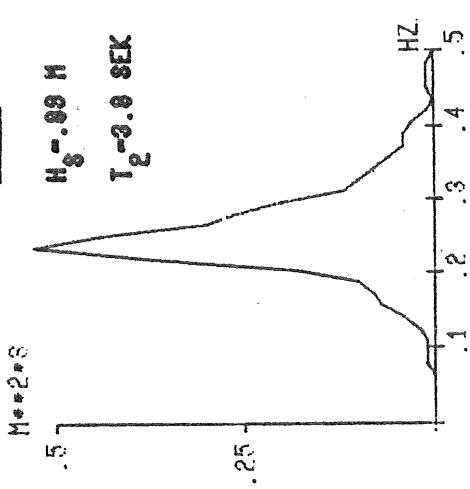


GRÄDER

315	270	225	180	135	90	45
-----	-----	-----	-----	-----	----	----

RESULTERANDE RIKTNING

VÄGOR



B: 21

