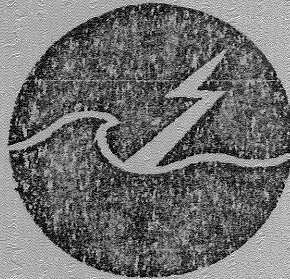


GRUPPEN FÖR VÅGENERGIFORSKNING



INLEDANDE FÖRSÖK TILL SJÖSS MED INTERPROJECTBOJEN

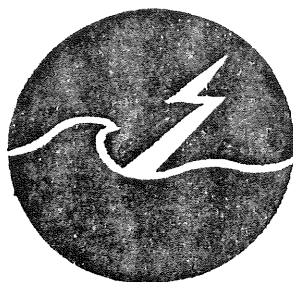
Rapport GR: 34

Göteborg dec 1980

FÖRORD

Följande rapport utgör första delen i en rapportserie som beskriver försöken med Interprojectbojen. Projektet har finansierats av Styrelsen för Teknisk Utveckling, Nämnden för Energiproduktionsforskning och Interproject Service AB. Forskningsarbetet har utförts av Gruppen för Vågenergiforskning vid Chalmers Tekniska Högskola i samarbete med konsultföretaget Technocean i Göteborg AB.

GRUPPEN FÖR VÅGENERGIFORSKNING



INLEDANDE FÖRSÖK TILL SJÖSS MED INTERPROJECTBOJEN

Rapport GR: 34
Göteborg dec 1980

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord

Inledning

Kapitel 1

Bakgrund, systembeskrivning, mätplats.

Kapitel 2

Konstruktion och tillverkning

Kapitel 3

Förankringssystem

Kapitel 4

Utläggning av förankringssystem och boj
samt upptagning av boj.

Kapitel 5

Kraftöverföring

Kapitel 6

Elsystemet

Kapitel 7

Mätsystem och signalöverföringssystem

Kapitel 8

Förankringskraftmätningar

Kapitel 9

Erfarenheter, slutsatser.

Tidningsutklav ?

KAPITEL 1

1 BAKGRUND, SYSTEMBESKRIVNING, MÄTPLATS.

1.1 Historik

1.2 Interprojectbojen

1.3 Systemuppbyggnad

1.4 Konstruktion och funktion

1.5 Val av mätplats och mätperiod

Bilaga: Tillstånd från Sjöfartsverket för provens
utförande

Inledning

Sommaren 1979 genomfördes i sjön Lygnern en serie försök med en modell av ett vågkraftverk av speciell konstruktion.

Resultaten ansågs så goda att ett större kraftverk för försök till havs tillverkades och lades ut 1980 nära Trubaduren söder om Vinga.

Detta kraftverk - Interprojectbojen (IPS-bojen) - har legat ute för försök under tiden 16/9 - 3/11. Avsikten är att kraftverket skall läggas ut återigen våren 1981 för en ny försöksomgång, sedan vissa modifieringar gjorts.

Arbetet med IPS-bojen har gett en mängd värdefulla erfarenheter som dokumenteras i denna rapport.

På grund av att kraftverket 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 med över 6 m höga vågor havererade en vital del av kraftverket så att energiproduktion därefter ej var möjlig. I stället installerades givare för mätning av förankringskrafter. Dessa mätningar genomfördes också.

De vunna erfarenheterna sporrar till nya försök med en förbättrad version av kraftverket.

1. BAKGRUND, SYSTEMBESKRIVNING, MÄTPLATS

1.1 Historik

Loqvist/Gustavsson/Norén

Ingenjörerna Kaj Loquist och Manfred Gustavsson, Fagersta, uppfann och patentsökte 1973 en "anordning för att tillvarataga energi som är bunden i vattnets vågrörelse eller sjöhävning".

Våggeneratoren bygger på att vågrörelserna på ytan är större än de på djupet. Ett stort ihåligt flöte bär upp ett rör med ett par propellrar som kan rotera vågrätt se figur 1. När flötet guppar upp och ner på vågorna roterar propellrarna och driver pumpar som pressar upp vatten genom ett rör till en turbin som är kopplad till en elgenerator i flötet.

Genom att propellerbladen automatiskt skiftar mellan två lägen på grund av vattnets tryck, så snurrar de alltid åt samma hålla oberoende av om de dras uppåt eller nedåt av vågorna. För att inte hela konstruktionen skall snurra roterar propellrarna åt var sitt håll.

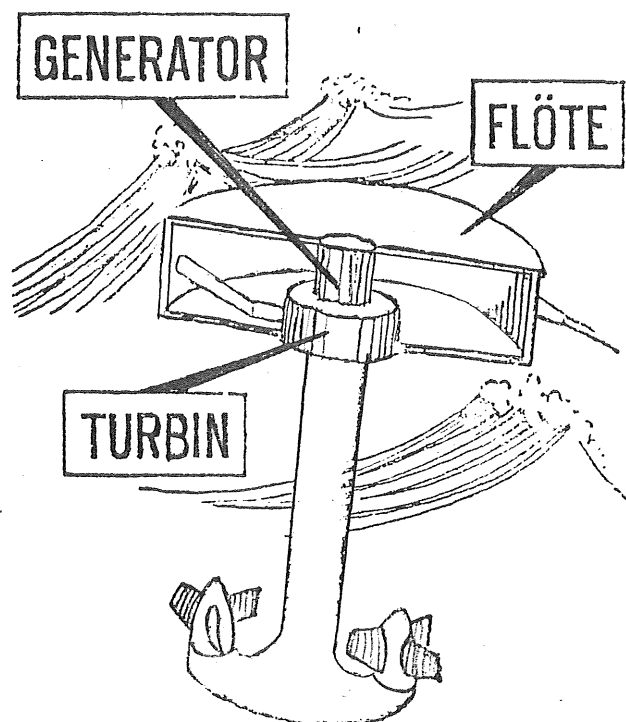
Det är också möjligt att låta turbinerna drivas direkt av det förbipasserande vattnet.

Försök gjordes på ett itdigt stadium med en enkel modell på Barkensjöarna i närheten av Fagersta varvid konstaterades att principen fungerar.

Patent i ett flertal länder har beviljats på våggeneratoren.

Interprojekt Service AB i Bettna samverkar enligt avtal med

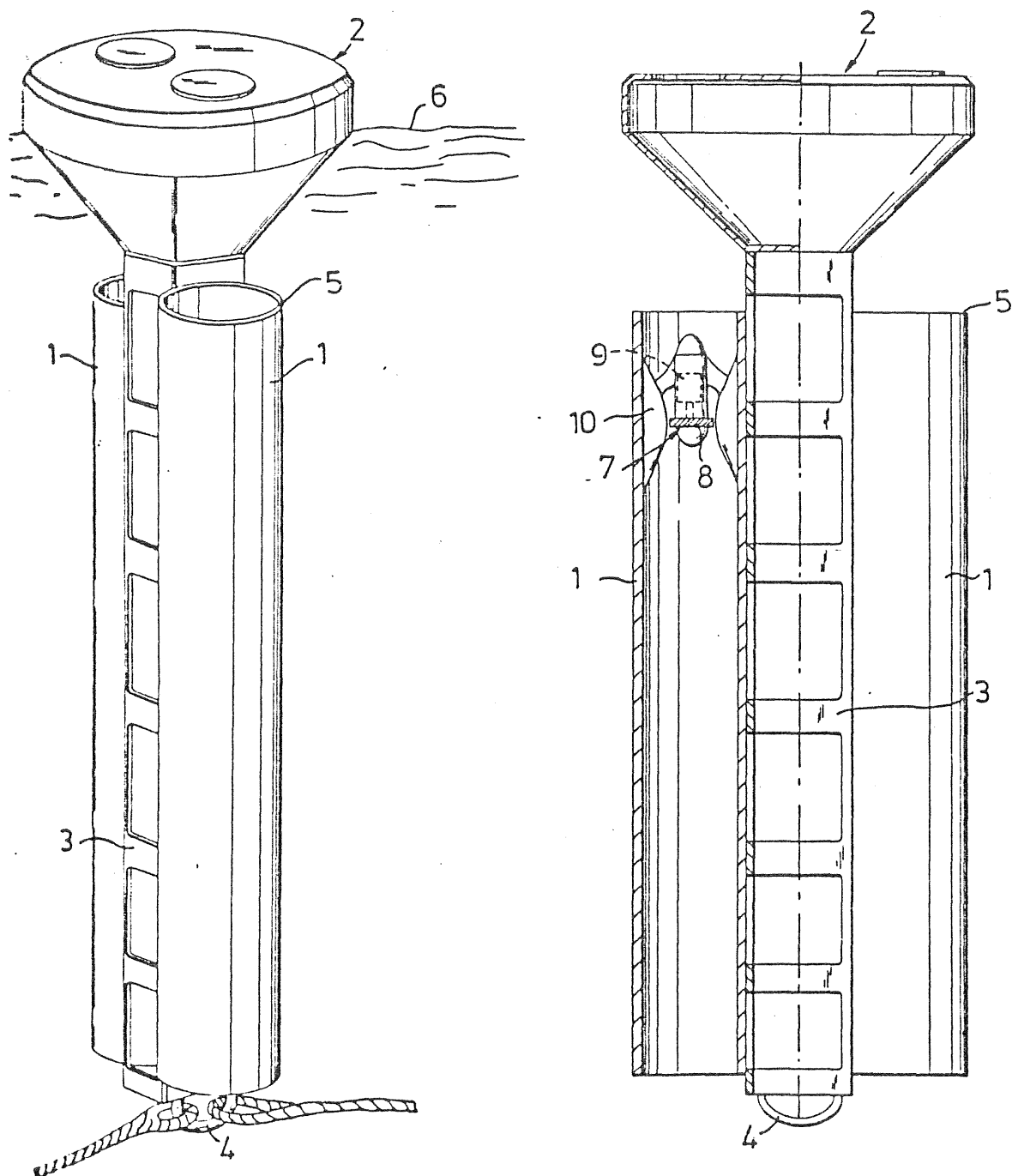
uppfinnarna för att vidareutveckla och exploatera våggeneratorn. Detta avtal kom till i juni 1974 och sedan dess har provning och utvecklingsarbete pågått mer eller mindre kontinuerligt.



Figur 1. Loqvist-Gustavssons våggenerator.

Från STU erhöles 1974 ett idéanslag för en förstudie som genomfördes på en delprototyp under medverkan av professor Anders Norén vid Institutionen för Fluidteknologi vid KTH. Förstudien slutrapporterades våren 1975 i STU-rapport 74-5324.

Det fortsatta utvecklingsarbetet har lett fram till en i grundläggande avseenden förändrad variant av den ursprungliga våggeneratorn. I det nya utförandet som i allt väsentligt framgår av figur 2 har våggeneratorn utrustats med löphjul vilka har installerats i raka accelerationsrör med i förhållande till diametern mycket stor längd.



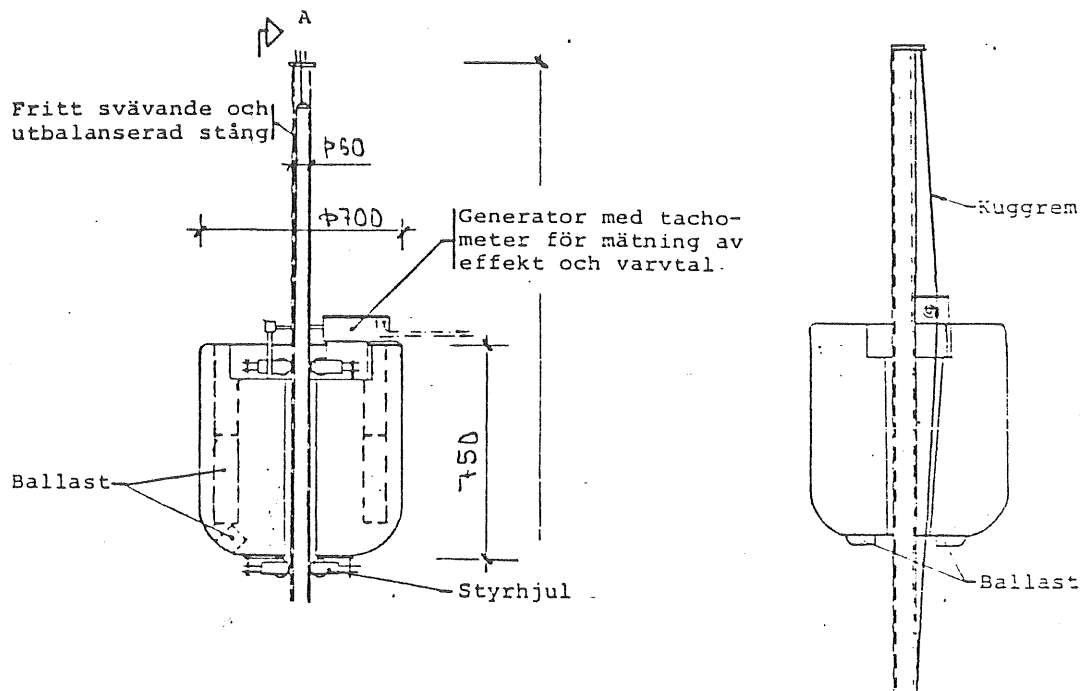
Figur 2 Loqvist-Gustavsson-Noréns våggenerator.

Lygnernförsöken

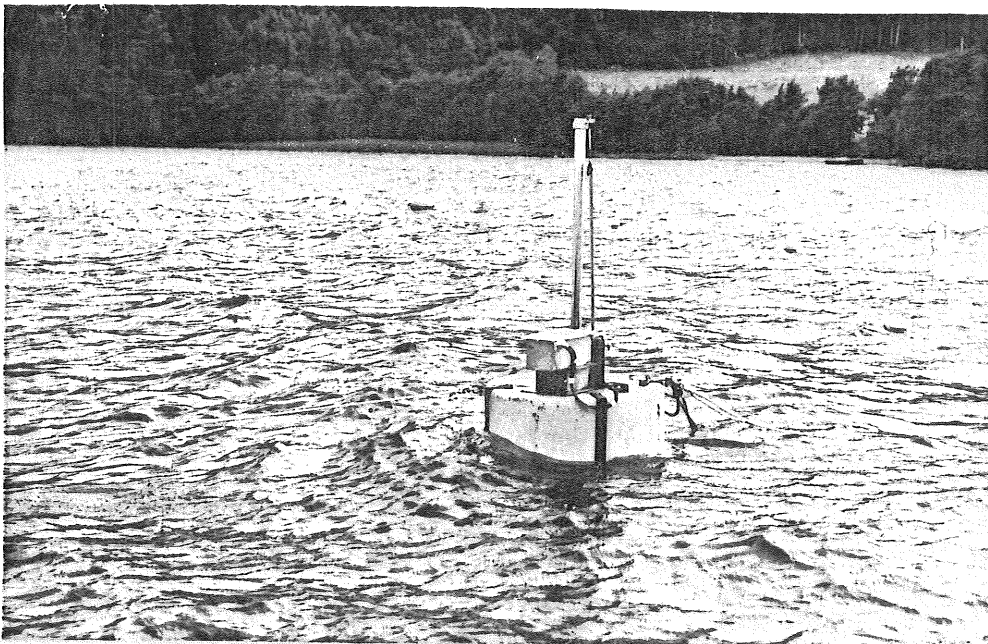
Under sommaren 1979 genomfördes en STU-finansierad försöks-serie med en modell av en vågkraftboj i sjön Lygnern nära Kungsbacka.

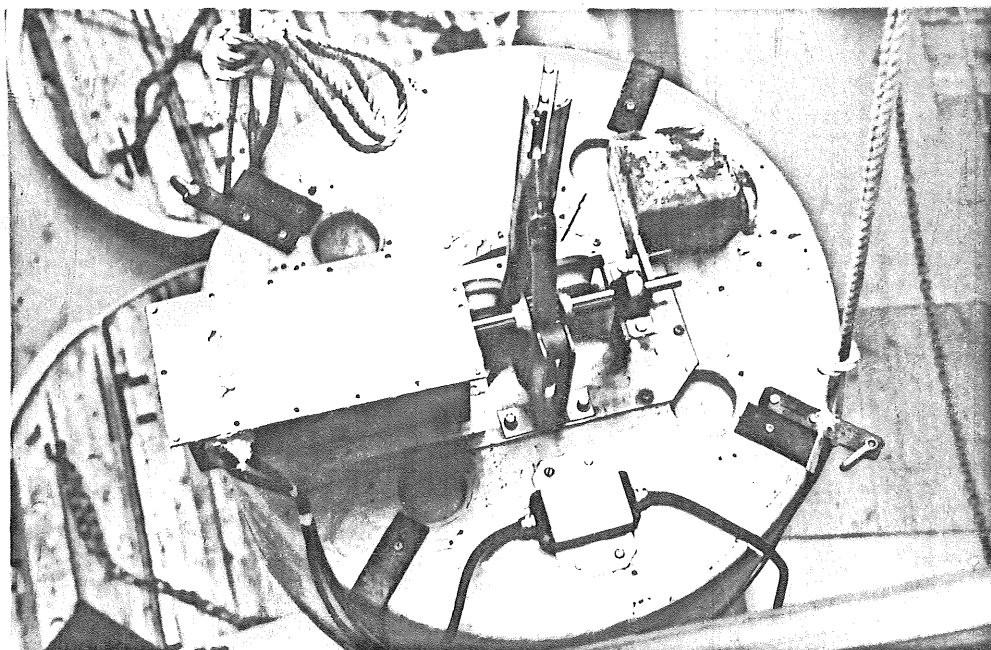
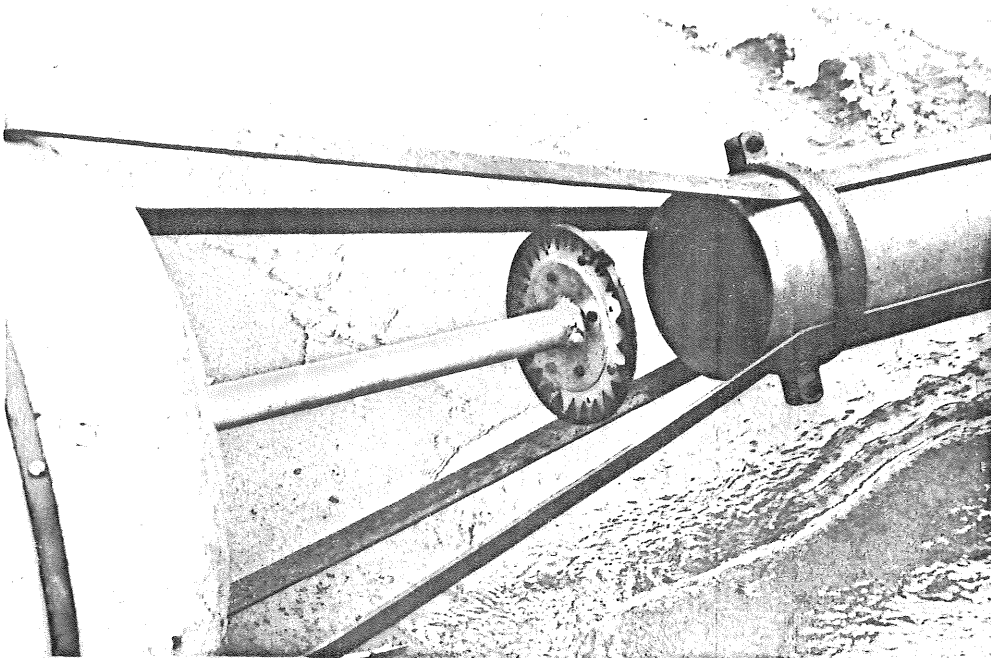
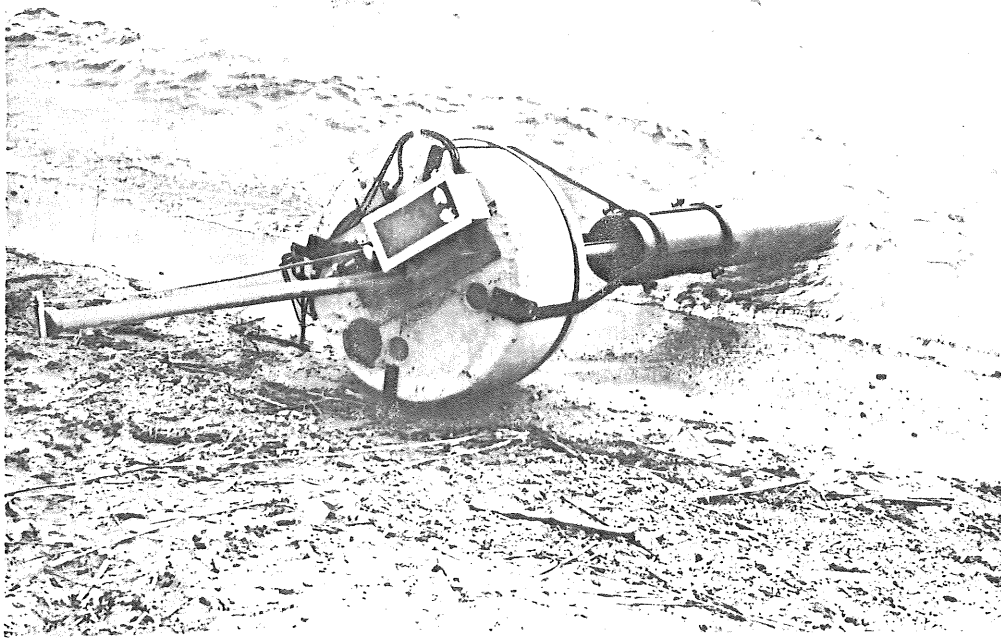
Utformningen av kraftverket hade jämfört med Loqvist/Gustavsson/Norén-patentet modifierats på en del punkter. Sålunda var de två accelerationsrören ersatta at ett enda rör och löphjul-tubin var ersatta av en kolv med kolvstång som via en kuggrem drev

en generator. Kolven och kolvstängan utgjorde därvid en flytande enhet balanserad så att kuggremmens mitt i viloläge var mittför kugghjulet. Arrangemanget framgår av figur 3.



Figur 3 Modellboj för prov i Lygnern.

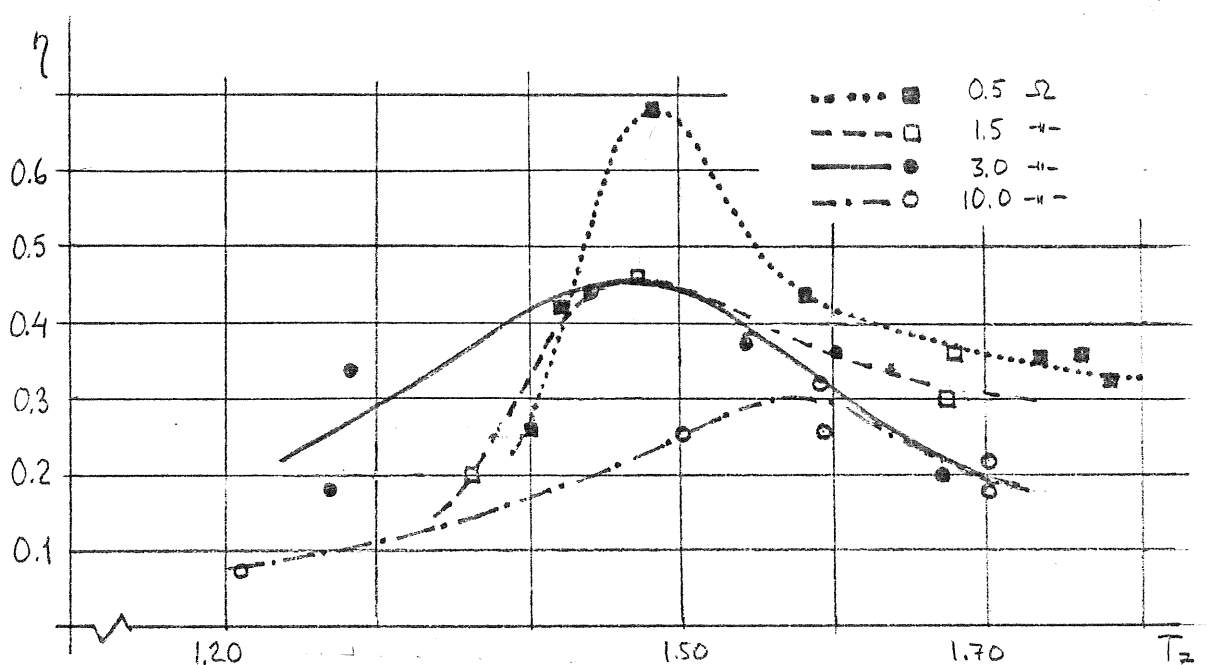




Försök gjordes med rörlängderna 3.0m och 5.0 m samt för fyra olika dämpningar. Samtidigt gjordes vågmätning. Den mekaniska verkningsgraden undersöktes genom fallförsök på laboratoriet och befanns vara ca 0.5. Diagrammet i figur 4 visar den renodlade hydrodynamiska verkningsgraden för 5 m:s rörlängd. Verkningsgraden är då definierad som

$$\eta_h = \frac{\text{bromsad effekt}}{0.55 \cdot H_s^2 \cdot T_z \cdot \phi_{\text{boj}} \cdot 1000}$$

Försöksresultaten från 3 m:s rörlängd är ofullständiga men visar på lägre verkningsgrad än för 5 m.



Figur 4 Verkningsgrad för modellboj i Lygnern 10 Ω motsvarar låg dämpning och 0.5 Ω hög dämpning.

Resonansperioden synes ligga när 1.5 sekunder.

1.2 Interprojectbojen

Resultaten från försöken i Lygnern bedömdes som mycket lovande varför Interproject Service AB beslutade gå vidare.

Sålunda planerades att under sommaren 1980 påbörja försök till havs med en större boj. Som försöksplats valdes farvattnen i närheten av fyren Trubaduren utanför Göteborg. Här finns en av SMHI:s fasta vågmätningsstationer, varför uppgifter om vågmiljön är tillgängliga.

Avsikten med försöken

De planerade försöken skulle till väsentliga delar komma att skilja sig från tidigare genomförda försök i sjön Lygnern.

Genom att försöken skulle utföras i en verklig havsmiljö, förelåg möjligheter att direkt kunna göra mätningar och studier av olika parametrar. Vissa observationer såsom krafter och rörelser i förankringssystem, beväxning, beständighet och överlevnad är ej lämpliga att utföra i modellskala. Man fick även möjlighet att utveckla mätmetodik under realistiska förhållanden.

Undersökningen delades upp i tre huvuddelar:

- a) bojens energiupptagningsförmåga av vågenergin (hydrodynamisk verkningsgrad). Jämförelse med modellförsök.

Elektrisk överföring

(elektromekanisk verkningsgrad)

- b) Krafter och rörelser i förankringssystemet samt krafter på och rörelser hos bojen.

Beständighet

Beväxning.

- c) Mätsystem och mätmetodik i marin miljö. Överföring av mät-signaler via radiosignaler till land (vid försöken i Lygnern överfördes mätsignaler via bottenförlagd kabel).

1.3 Systemuppbyggnad

Kraftverksbojen ligger centralt placerad mellan och förankrad i tre förankringsblåsor. Var och en av dessa är i sin tur förankrad i ett betongankare via vajer och kätting. Bojen har ett mekaniskt system som överför energin till rotation hos en generator från vilken elektrisk energi erhålles. Denna förbrukas endera i doppvärmare utanför bojen eller vid laddning av de batterier som behövs för bojens drift.

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

Signalerna sänds via radio till en mottagare i Långedrag där en mät dator samplar dem och lagrar dem på disketter för senare bearbetning.

De olika delsystemen beskrivs i detalj i följande kapitel.

1.4 Konstruktion och funktion

Bojen är cylindrisk med i botten avrundade hörn. 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. Amplituden hos denna relativa rörelse kan bli större än den för vågorna, när vattenmassan i röret svänger i motfas relativt bojen.

Den genererade elektriska växelspänningen likriktas. Energin utnyttjas för att omväxlande ladda batterier ombord på bojen och värma doppvärmare i vattnet utanför. Skiftena styrs av en klocka ombord. Denna ser även till att stegvis ändra belastningen på generatorn vilket innebär att maskineriets motstånd mot kolvrörelsen ändras.

I bojen finns givarna som ger mätsignaler vilka via radion sänds till landstationen i Långedrag. De överförda signalerna kommer från en vågmätare utanför bojen, som alltså mäter vattenytans momentana nivå, en tachometer mäter generatorns varvtal, en spänningsdelare ger generatorns spänning och en shunt ger dess strömstyrka, en accelerometer ger bojens hävning samt en kraftgivare ger kraften i kolvstången.

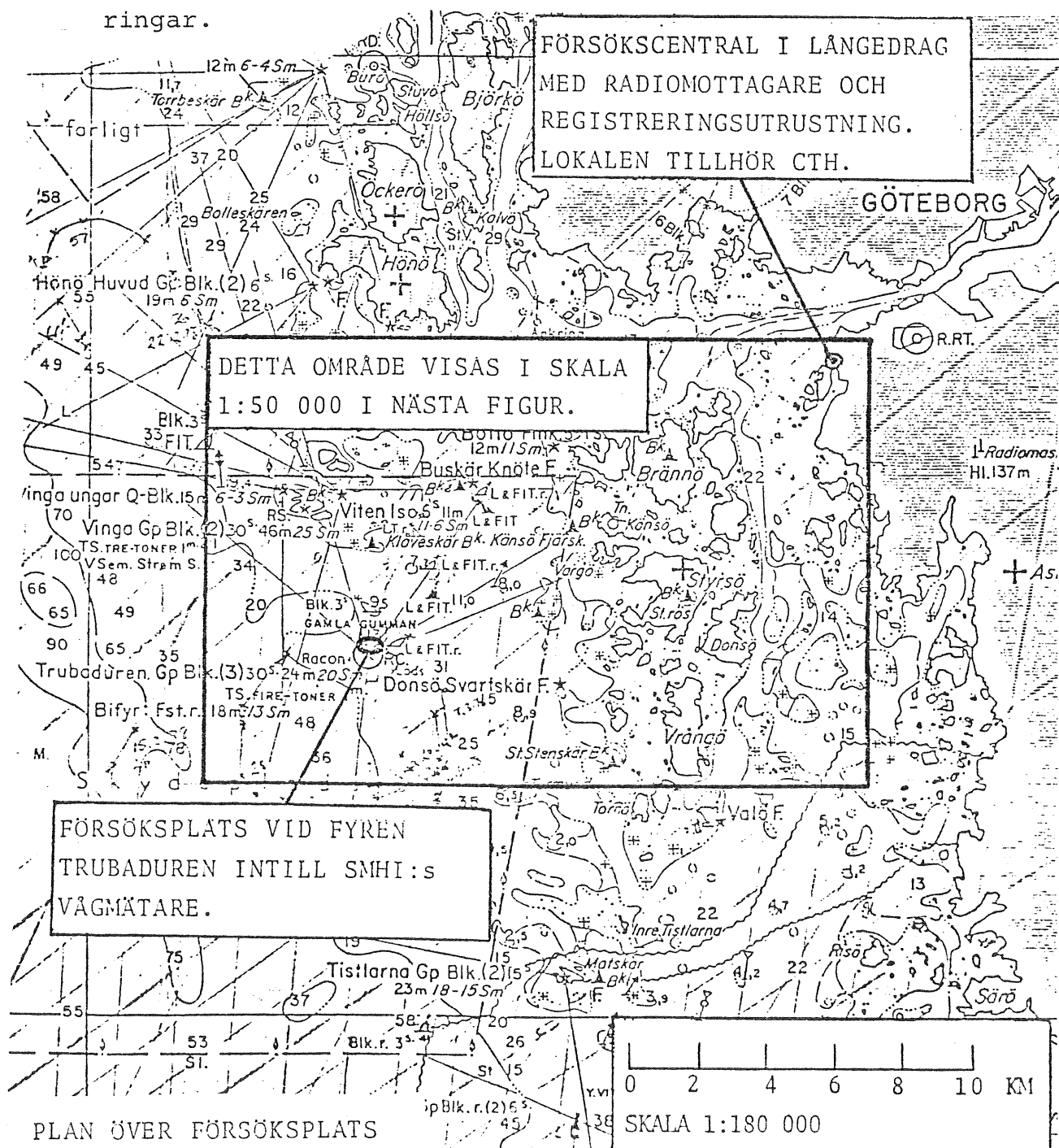
Generatorn ger maximalt 17 kW men torde vanligtvis ge en medeleffekt på omkring 5 kW.

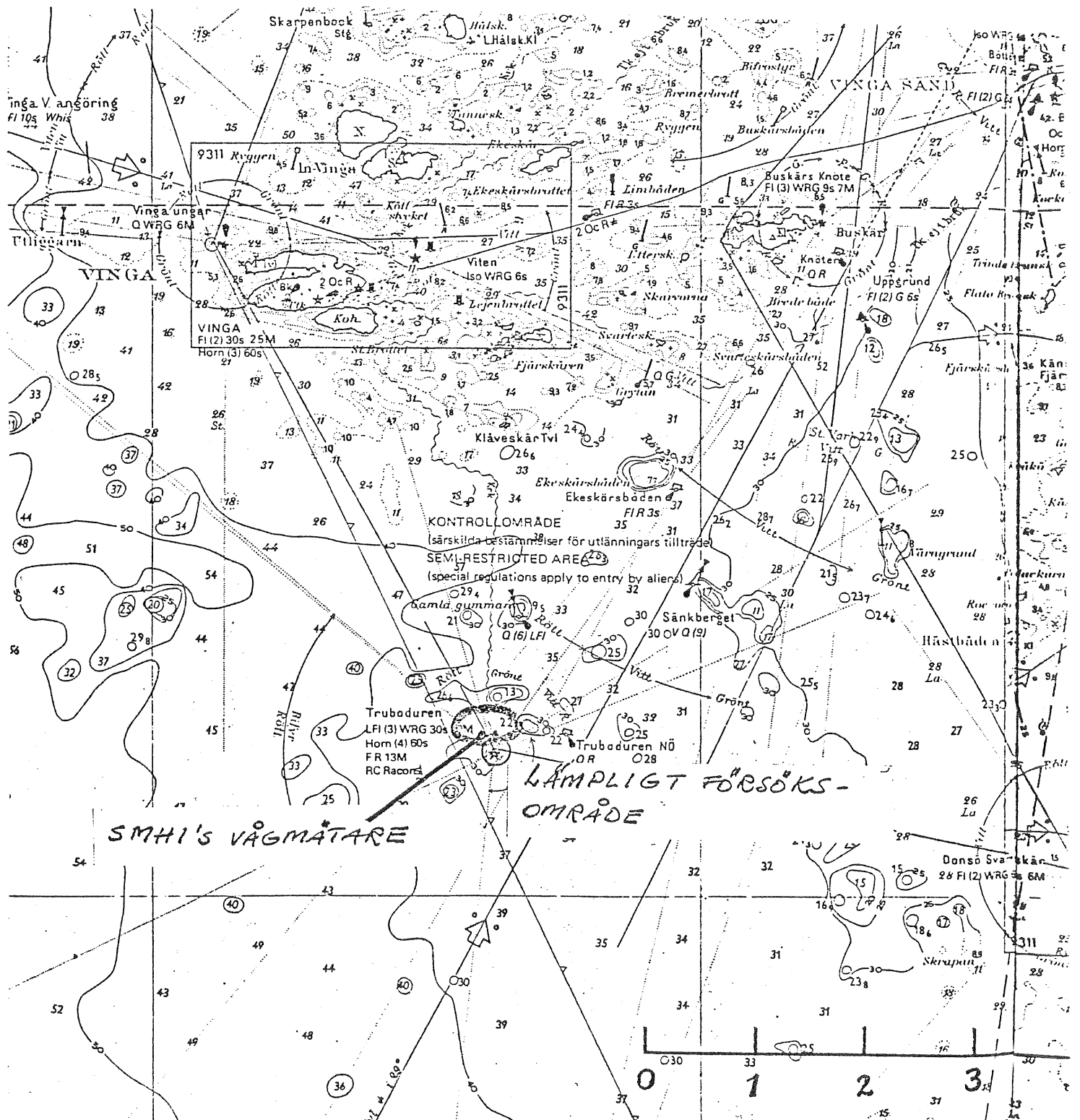
1.5 Val av mätplats och mätperiod

En mätplats nära Trubaduren befanns lämplig eftersom SMHI redan hade en vågmätare installerad där och 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.

Figurerna 5 och 6 visar var mätplatsen ligger. En detaljerad figur med bottennivåer inlagda finns i avsnittet om förankringar.

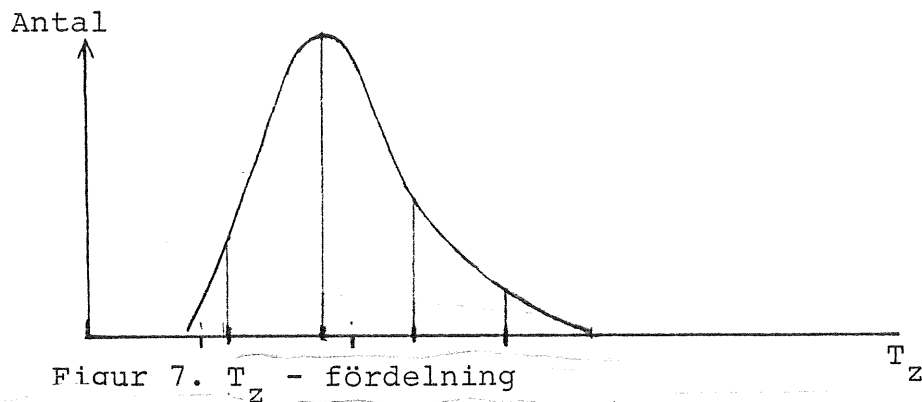




Djupet på platsen är omkring 30 m.

Det ansågs lämpligt att göra försöken under sommaren och bojens dimensioner bestämdes utifrån vågförhållandena under sommarhalvåret (april-september)

T_z fördelningen för ett visst år (1979) framgår av fig 7.



Genom jämförelse av resonansfrekvensen för Lygnernbojen och den önskade resonansfrekvensen för den stora bojen kunde skalfaktorn bestämmas.

Avsiktligt lades denna frekvens för ett något högre värde än peakfrekvensen.

Skalfaktorn $\alpha_L = \alpha_t^2$ (längdskala resp. tidsskala)

$$\alpha_L = \left(\frac{3}{1.5}\right)^2 = 4$$

Bojdiameter $\emptyset 750 \rightarrow \emptyset 3000$

Rörets längd blir $5 \times 4 = 20\text{m}$ och dess diameter $0.25 \times 4 = 1.0\text{ m}$

För massan erhöles

$$m = m_m \cdot \alpha_L^3 = 0,11 \cdot 4^3 = 7.0\text{ ton}$$

Uppskalning av krafter och effekt framgår av avsnitten om kuggstången och elektriska systemet.



Datum

1980-07-18

Ert datum

1980-04-25

Vår beteckning

12.9-1241/80

Er beteckning

127/80

Kopia till:

Ld V (2) 291:25.3

CDe

Blomén

Brenner

Nilsson

Chalmers Tekniska Högskola
Institution för skeppshydrodynamik

Att: Professor C Falkemo

Fack

402 20 GÖTEBORG

ANK. DEN 21/7 DNR 54190/80

DEN BESLOTS: HANDLÄGGES AV PC+AI

BESV. AV *uf* BESV. DEN DNR. TRVågkraftverk vid Vinga.

Lotsdirektören i västra lotsdistriktet har till sjöfartsverkets trafiksektion vidarebefordrat Eder ansökan om tillstånd till försök med vågkraftverk vid Trubaduren.

Sjöfartsverket anför nedan dels nautiska krav avseende vågkraftverkets utseende och utrustning dels synpunkter på bojens förankring, tidsperioder för provens bedrivande m m samt ärendets fortsatta handläggning.

Under förutsättning att de nautiska kraven tillgodoses och synpunkterna beaktas har sjöfartsverket ej någon erinran mot att provet utföres.

De nautiska kraven är:

1. Kraftverket skall förankras efter anvisningar av lotsdirektören på av Eder föreslagen plats.
2. Kraftverket skall målas gult och vara försett med gult topp-tecken av för specialmärken enligt System A angiven form och storlek samt försett med fyrlykta visande gult blixtsken med en blixstid var femte sekund. (FLY 5s). Lotsdirektören biträder om så önskas med anvisningar för dessa detaljers praktiska utförande.
3. Kraftverket skall vara försett med radarreflektor av samma standard som sjöfartsverket använder på sina bojar.
4. Ankarbojarna skall vara gula.

Synpunkterna är:

Förankringsmetod och dito materiel avviker i viss mån på grund av kraftverkets konstruktion från de som sjöfartsverket använder för sina bojar. Sjöfartsverkets uttalanden häröver baserar sig således på en allmänkänedom om bojförtöjningar och ej på speciell erfarenhet av här använd metod. Förtöjningsgodset förefaller klen dimensionerat jämfört med vad sjöfartsverket normalt använder.



Datum

1980-07-18

Vår beteckning

12.9-1241/80

1980-04-25

127/80

Det har emellertid hållfasthetsberäknats av Chalmers och bedömes tillfyllest med tanke på att provet beräknas pågå endast under fördelaktig årstid. Förtöjningens fackmannamässiga utförande torde garanteras av att utläggningen göres med lotsdistriktsfartyget Virgo och med assistans av dess besättning.

Vad gäller de planerade tidsperioderna anser sjöfartsverket att årets försök bör pågå allra längst till senare delen av september. En längre tids erfarenhet av kraftverkets uppförande i sjön och förankringens ändamålsenlighet bör inhämtas före man låter systemet utsättas för en oktoberstorms krafter.

Vid samtal med Rylander har upplysts att vågkraftverket skall förses med instrument för mätning av förtöjningskrafter. Sjöfartsverket är intresserat av ett eventuellt framtida samarbete angående undersökning - forskning - utveckling av förtöjningsmetoder och - material.

Ärendets fortsatta handläggning avseende Ufs-kungörelser och navigationsvarningar, förfrågningar angående praktiska detaljer, observationer m m skötes av lotsdirektören.

Det åvilar Eder att i god tid före förändringar hålla honom underrettad om Edra planer.

Evald Nilsson

KAPITEL 2

2 KONSTRUKTION OCH TILLVERKNING

2.1 Förutsättningar

2.2 Dimensionering

2.3 Konstruktion - material - detaljer

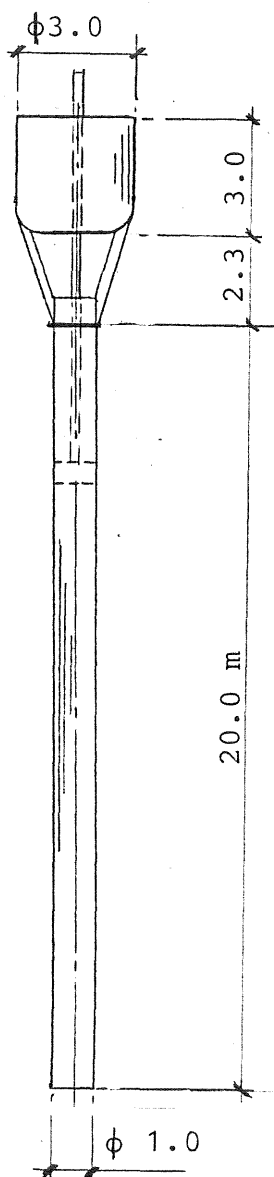
2.4 Offertförfrågan

2.5 Tillverkning

2.6 Ihopmontering

2.1 Förutsättningar

En uppskalning av modellen, som beskrivs i kap 1, från försöken i sjön Lygnern har utgjort underlag för beräkning av den nya konstruktionen. Modellen skalades således upp till en storlek, se fig. 1, som var optimerad för vågförhållandena (sommarhalvårets) vid den nya försöksplatsen.



Detta innebar bland annat att bojen skulle ha en bestämd massa.

Egenvikter:

Boj med ben och maskineri	5500 kg
Plaströr	1300 kg
Kolv med kolvstång	870 kg

Avgörande faktorer för dimensioneringen var även de på platsen rådande ström- och vindförhållandena. Uppgifter om vindar, vågor och strömmar erhöles ur statistik från SMHI, varur dimensionerande vind-, våg- och strömkrafter har beräknats. (se kap.3)

Vid dimensioneringen har även hänsyn till uppkomna krafter vid transport och hantering tagits.

Vid val av säkerhet mot brott i någon del av konstruktionen utgick vi ifrån att bojen skulle vara i sjön en begränsad tid och vid en tid på året då sannolikheten för svåra stormar var mycket liten.

Fig. 1

Eftersom den valda försöksplatsen ligger mellan de två stora farlederna in till Göteborgs hamn krävdes viss utrustning och märkning av bojen enligt Sjöfartsverkets anvisningar.

2.2 Dimensionering

Bojen och röret har dimensionerats för dels statiska laster och dels dynamiska laster.

De statiska lasterna är egenvikter samt den statiska delen av krafterna från vågor, ström och vind.

De dynamiska lasterna är de krafter som uppstår vid lyftning och hantering av boj och rör samt de krafter som uppstår på grund av vågornas, vindens och strömmens variationer.

I figurerna 2a, 2b, 2c, 2d, framgår de dimensionerande lastfallen och lasterna.

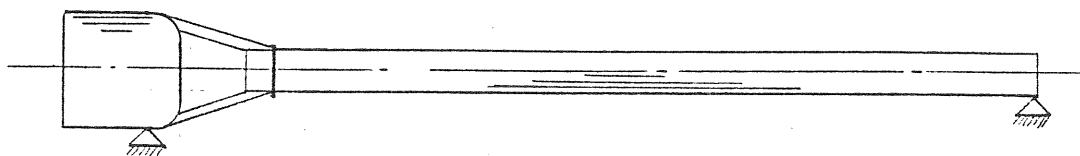


Fig. 2a Upplagd på bockar (egenvikt)

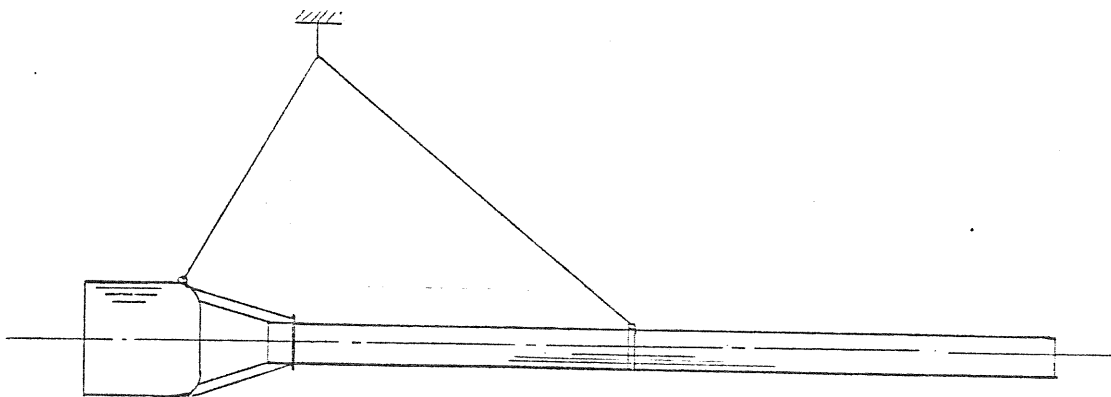
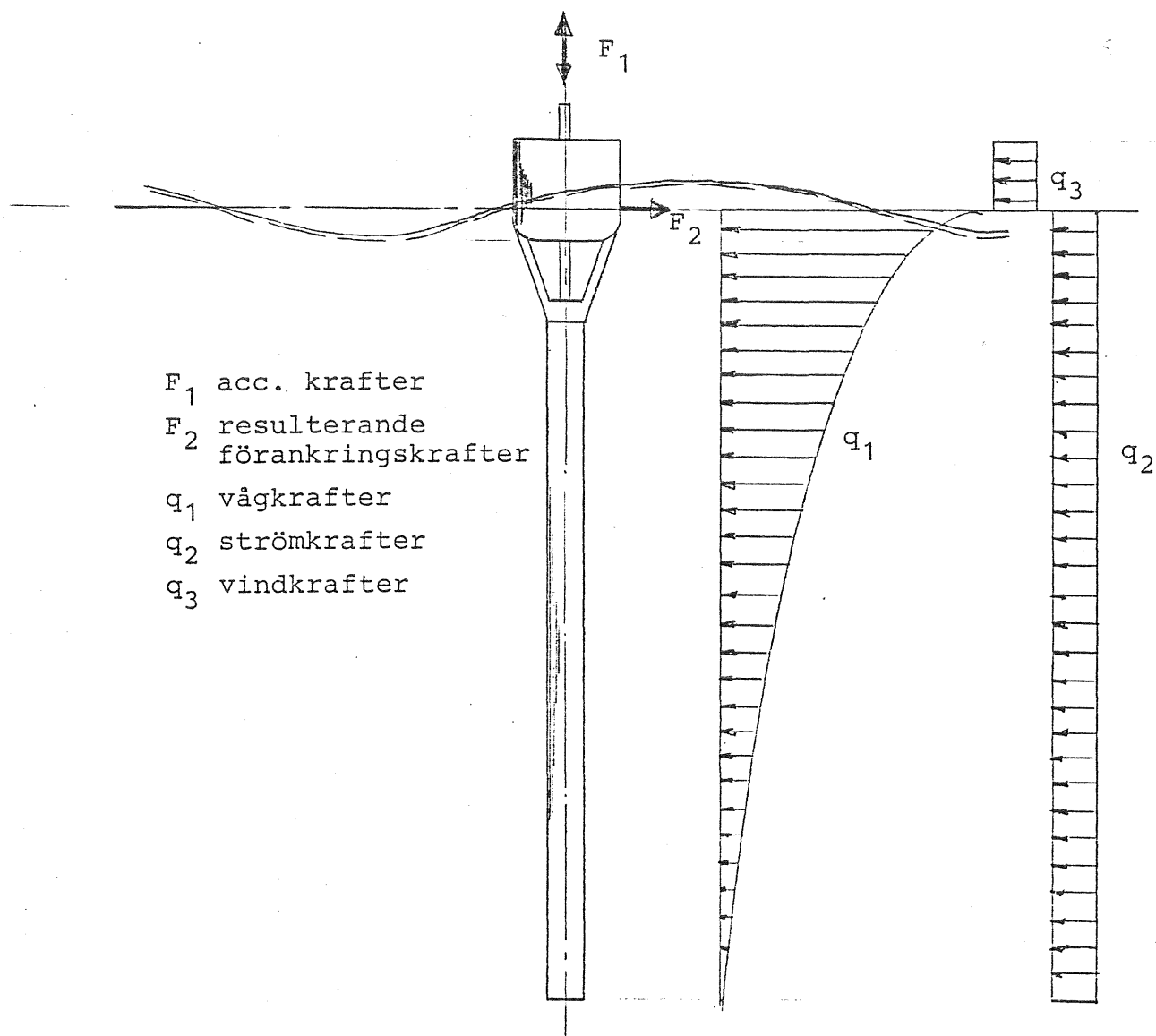


Fig. 2b Lyftning (egenvikt+dynamiskt tillskott)



F_1 acc. krafter
 F_2 resulterande förankringskrafter
 q_1 vågkrafter
 q_2 strömkrafter
 q_3 vindkrafter

Fig 2c Samverkande vind-,våg- och strömkrafter

Bojen är räknad som en cylindrisk ramkonstruktion.

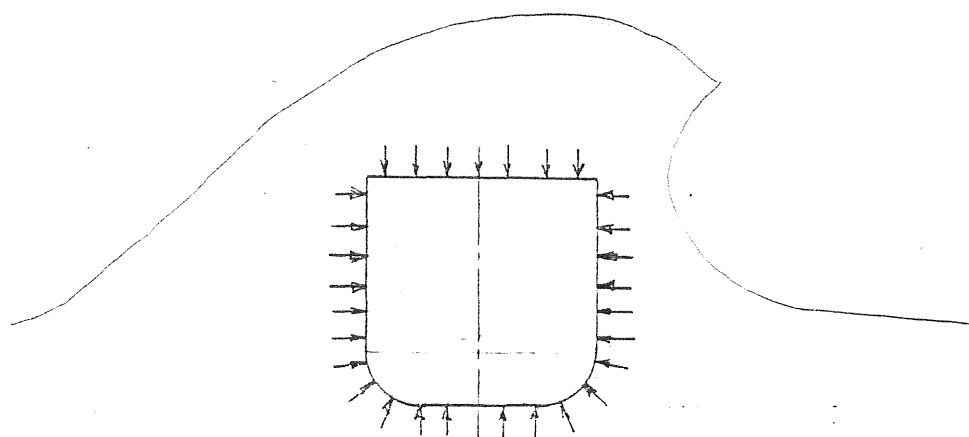


Fig. 2d Yttre vattentryck vid överspolning

2.3 Konstruktion - material - detaljer

Bojens övre del som utgörs av en vattentät flytkropp och fyra st ben med tillhörande fläns är av stål, (SIS 1312 och 1412), se fig. 3a och 3b.

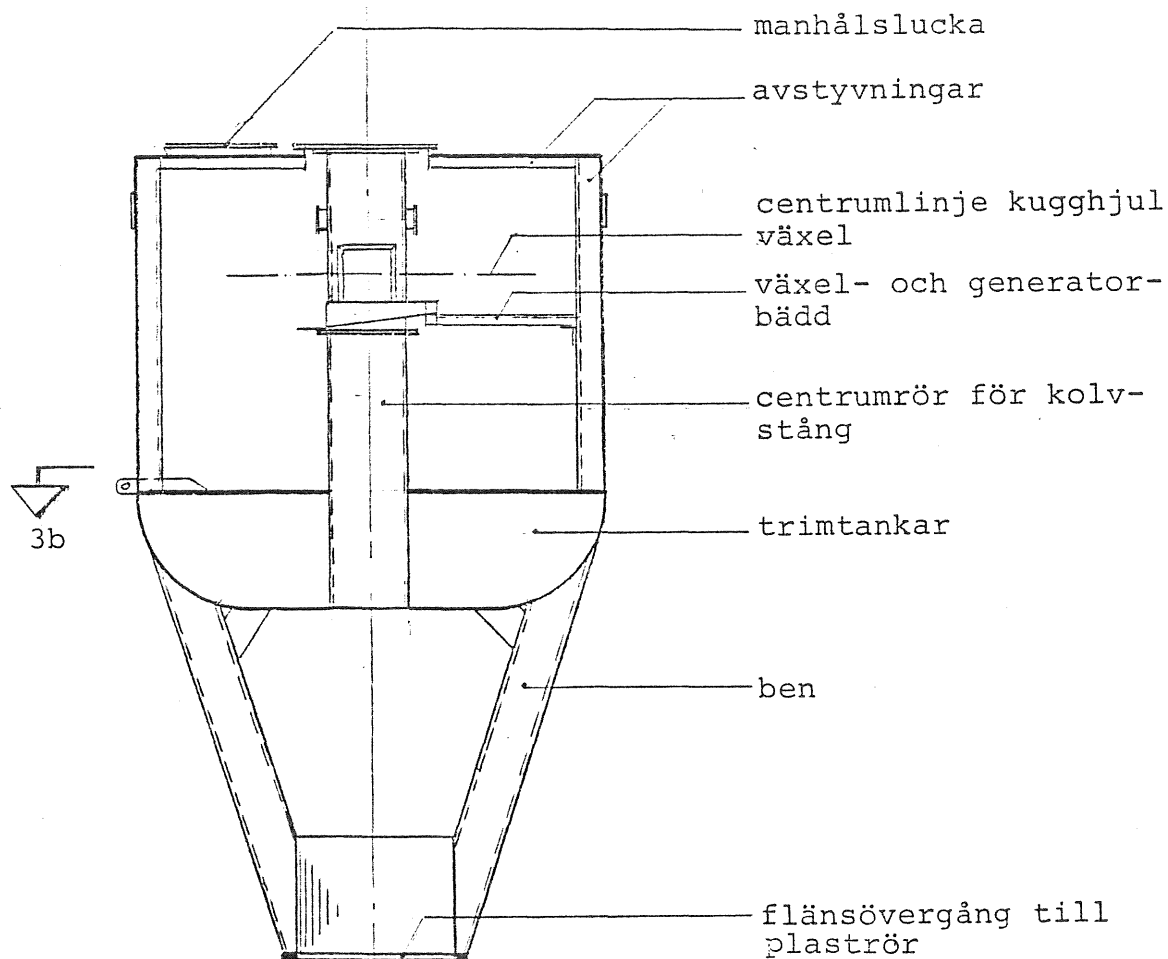
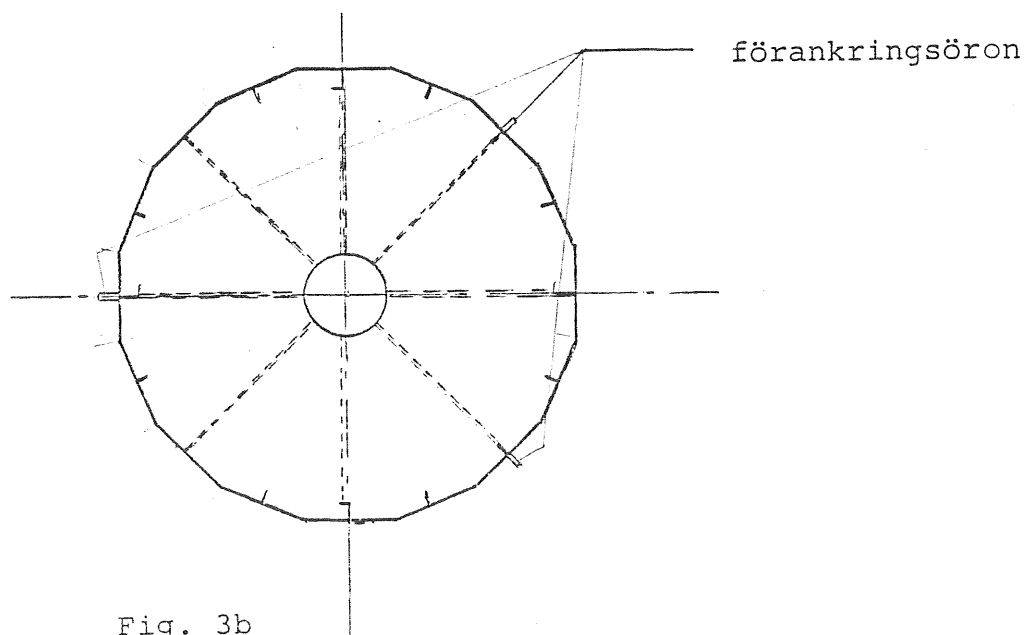


Fig. 3a Sektion genom bojens övre del



Flytkroppen är försedd med åtta stycken separata trimnings-tankar på vardera 0.4 m^3 .

Av tillverkningstekniska skäl och för att få en större styvhet är flytkroppen 16-kantig. Detta innebär också att dess undersida är sammansatt av enkelkrökta plåtar.

Genom centrum på flytkroppen går ett rör, vari kolvstängen löper. I rörets övre del sitter tre stycken styrhjul (mtrl delerin) för att centrera stängen.

Ungefär mitt på röret finns ett kugghjulshus i vilket ett kugghjul med axel är lagrat, se fig 4.

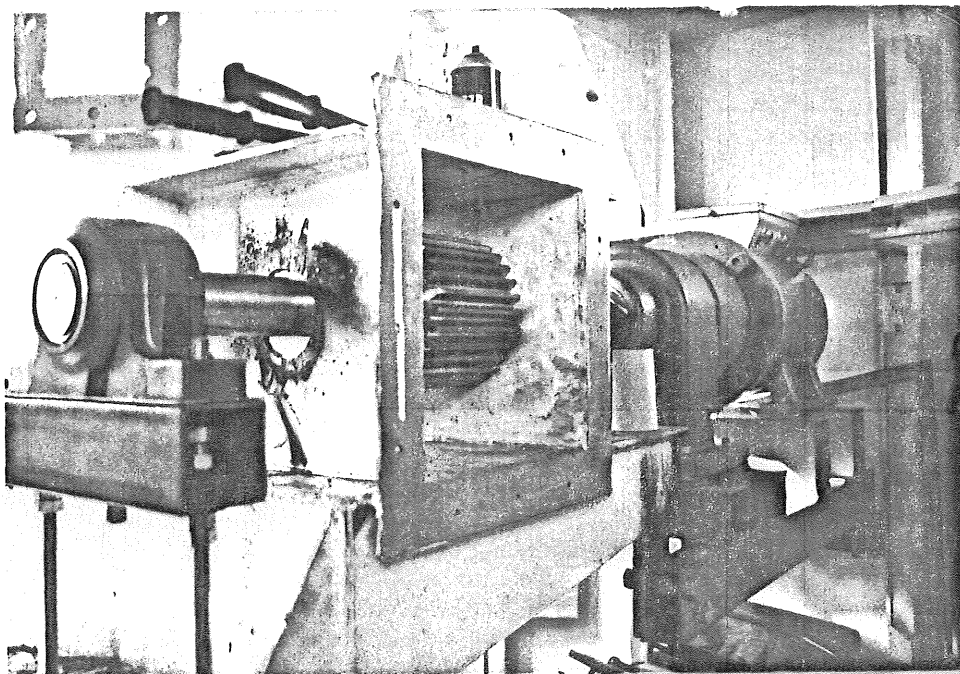


Fig.4 Kugghjulshus med kugghjul, axel och lagring

Bojen är vidare försedd med fyra stycken ventilfönster. För att kunna utföra service på bojen till sjöss finns en utvändig lejdare, manlucka och en invändig lejdare. Av säkerhetsskäl finns ett mantåg runt övre däck, samt ett stålräcke runtom kolvstängen.

Benen, fyra stycken RHS-profiler, är utvändigt svetsade till bojen. Nedtill är benen svetsade mot en fläns, se fig.5.

För att motverka rost och påväxt är bojen utvändigt, över vattenlinjen, målad med en grundfärg av zinkepoxi och en täckfärg av tvåkomponent epoxi, total skiktjocklek 160μ , och under vattenlinjen med en grundfärg av zinkepoxi och en täckfärg av Internationals Interracing bottenfärg, total skiktjocklek 200μ .

Invändigt är den målad med en tvåkomponent epoxifärg, skikt-
tjocklek 80μ .

Trimtankarna är invändigt dinitrolsprutade.

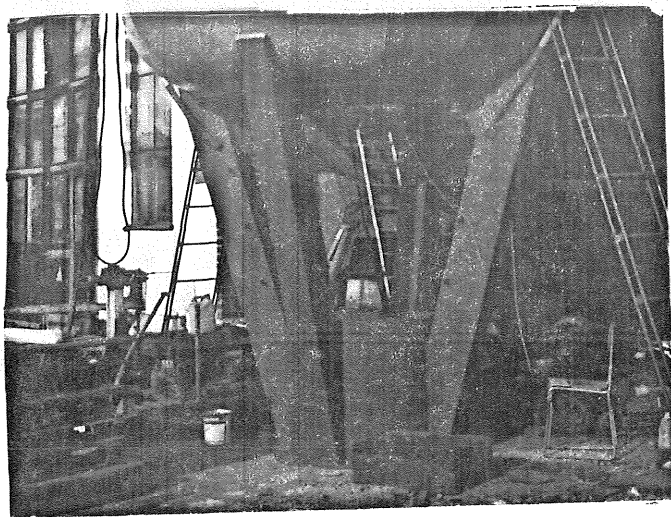


Fig.5 Bojens undre del, ben
och flänsutförande

Den undre delen av bojen utgörs av ett glasfiberarmerat
polyesterrör, som i ena änden är förtjockat och försett med
en fläns, se fig.6.

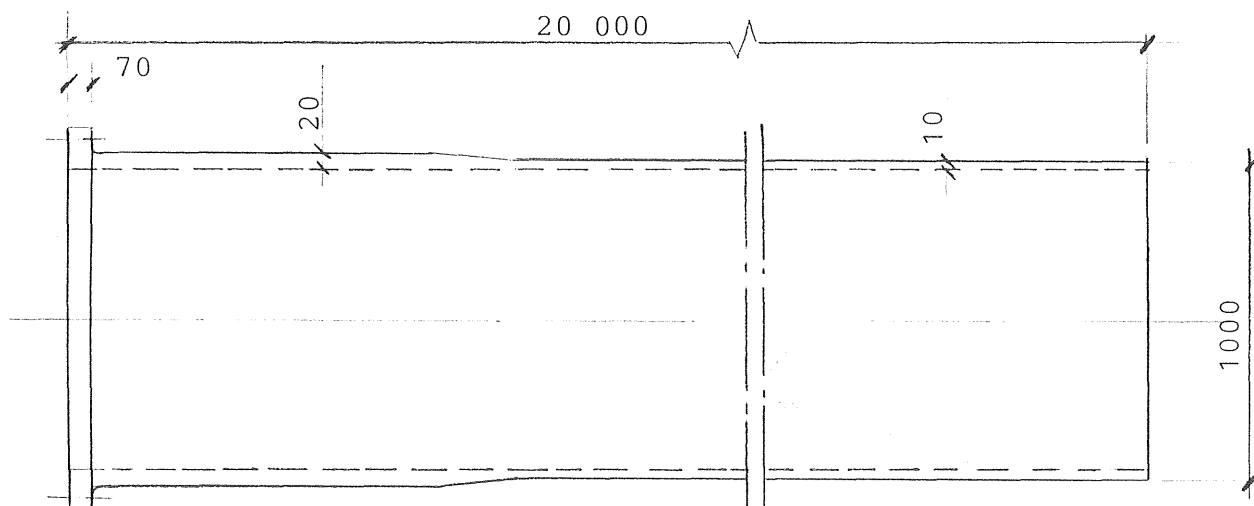


Fig.6 Polyesterrör

Mitt på röret är ett svep av stål med lyftöron monterat.
Polyesterrörets materialegenskaper framgår av specifikation
nedan.

	NT 2.5
Specifik vikt	1,75
Draghållfasthet (N/mm ²) tangentiellt - korttid ca	60
Draghållfasthet (N/mm ²) axiellt - korttid ca.	40
Böjghållfasthet (N/mm ²) tangentiellt - korttid ca	140
E-modul vid böjning (N/mm ²) ca	9000
Värmeledningstal (W/m°C)	0,30
Längdutvidgningskoefficient °C axiellt	30 x 10 ⁻⁶
Specifik värme (kJ/kg°C)	1,25

Rörets materialegenskaper

I röret löper en kolv med kolvstång, båda av stål.

På stångens övre del är en kuggstång monterad. Denna är av delerin, ett självsmörjande plastmaterial (jfr teflon).

Vikten på kolv och stång är avpassad på så sätt att kolvstången deplacerar på en nivå, där kuggstångens mitt kommer mitt för kugghjulet i bojen.

Kolven är försedd med neoprenband för att skydda platsröret mot direkt nötning. I praktiken var det svårt att fästa dessa band.

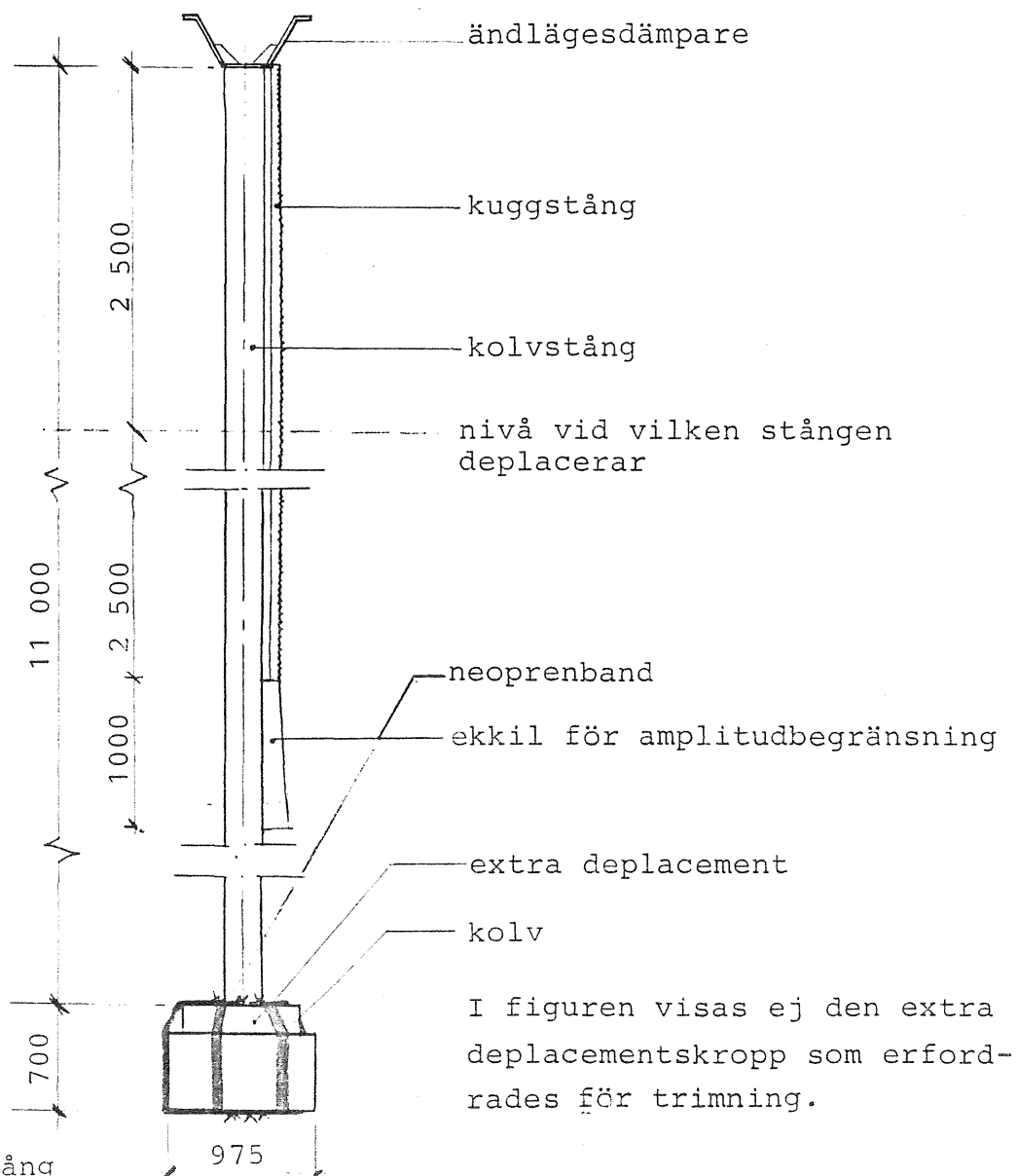


Fig.7 Kolvstång

Enligt Sjöfartsverkets anvisningar är bojen gulmålad och utrustad med en radarreflektor, en lampa med gult blinkande sken samt ett gult kryss.

2.4 Offertförfrågan

Efter upprättandet av konstruktionsritningar (tillverkningsritningar) sändes en offertförfrågan ut till ett antal ståltillverkare. Följande ståltillverkare erhöll förfrågningshandlingar:

Stålmontering AB, Trollhättan

Test Service AB, Göteborg

Götaverken Cityvarvet AB, Göteborg

Uddevallavarvet AB Skandiaverken, Lysekil

Mölnlycke Plåtslageri AB, Mölnlycke

Lödöse Varv AB, Lödöse

Offertter inkom från fyra av dessa:

	Ungefärlig anbudssumma
Test Service AB	90 000:-
Mölnlycke Plåtslageri AB	120 000:-
Lödöse Varv AB	150 000:-
Götaverken Cityvarvet AB	150 000:-

De två övriga kunde ej på grund av den korta leveranstiden lämna en offert.

Test Service AB erhöll beställningen.

Offertförfrågan på tillverkning av plaströret hade enbart gjorts hos VERA Klippan AB, vilket var det enda företag som hade resurser att tillverka plaströret.

2.5 Tillverkning

Test Service AB är ett mindre företag som specialiserat sig på reparationer, tillverkning och kontroll av lyftredskap för fartyg, tillverkning av däcksutrustning mm.

Flytkroppen, skrovet svetsades ihop inne i en svetshall. Man började med bottenplåtarna och centrumröret, därefter svetsades tankskotten och tanktak på plats, se fig.8.

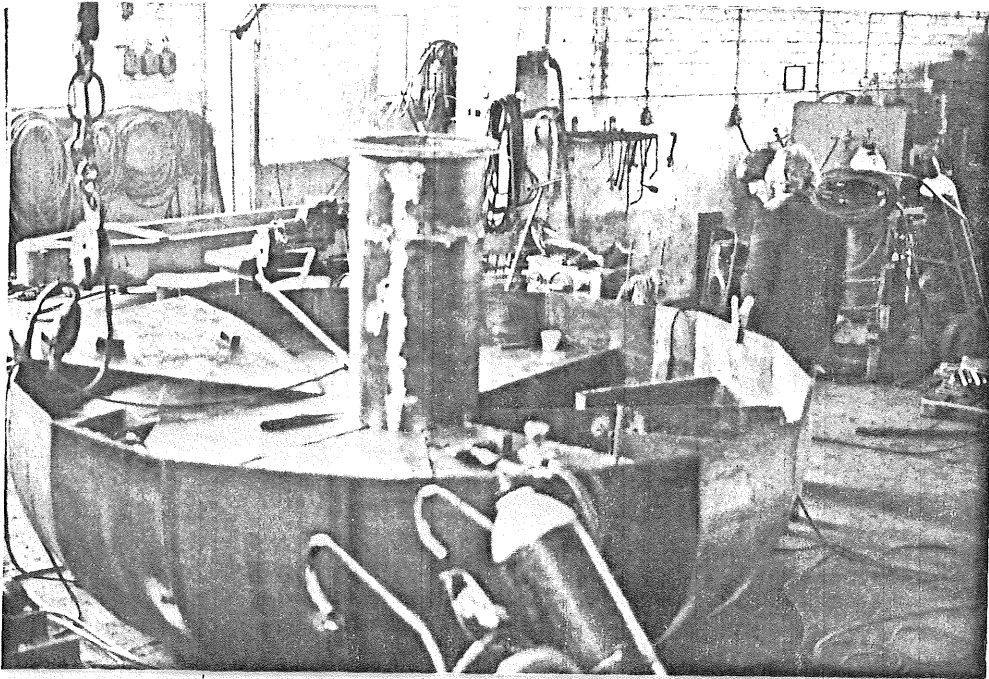


Fig.8 Svetsning av bottenplåtar och tankskott

De 16 skrovsidorna stumsvetsades ihop. När skrovet var klart transporterades det ut och benen med fläns svetsades till bojen. Därefter restes bojen och stagades, se fig.9.

Samtidigt som resterande detaljer färdigställdes påbörjades installationen av växel, generator och elektrisk utrustning.

När bojen och kolvstången var klara transporterades dessa med truck till Sannegårdshamnen för ihopmontering med plaströret.

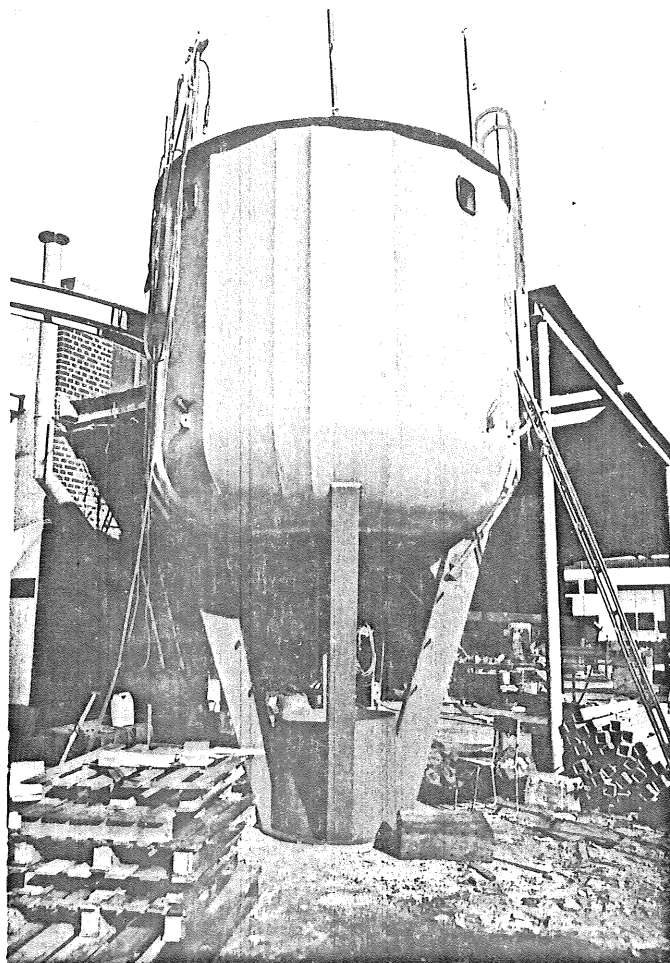


Fig. 9 Bojen klar för transport till hamnen.

2.6 Ihopmontering

Boj och rör monterades ihop horisontellt. Bojen hade pallats upp liggande på kajdäck och med hjälp av en gaffeltruck manövrerades röret i läge så att dess fläns kom mitt för bojens fläns. Flänsarna skruvades ihop med 16 stycken M16 skruvar, vilka förspändes till 10 000 N. Röret justerades horisontellt, varefter kolvstången fördes in nerifrån. Röret hade dessförinnan såpats invändigt. Över ändan av kolvstången vilade i en speciell vagn när stången med hjälp av trucken kördes in i röret. När kolvstången var på plats, vilket innebar att dess överända stack ut ungefär två meter ovan bojens däck, justerades styrhjulen in så att kuggingreppet (kuggstång-kugghjul) blev korrekt.

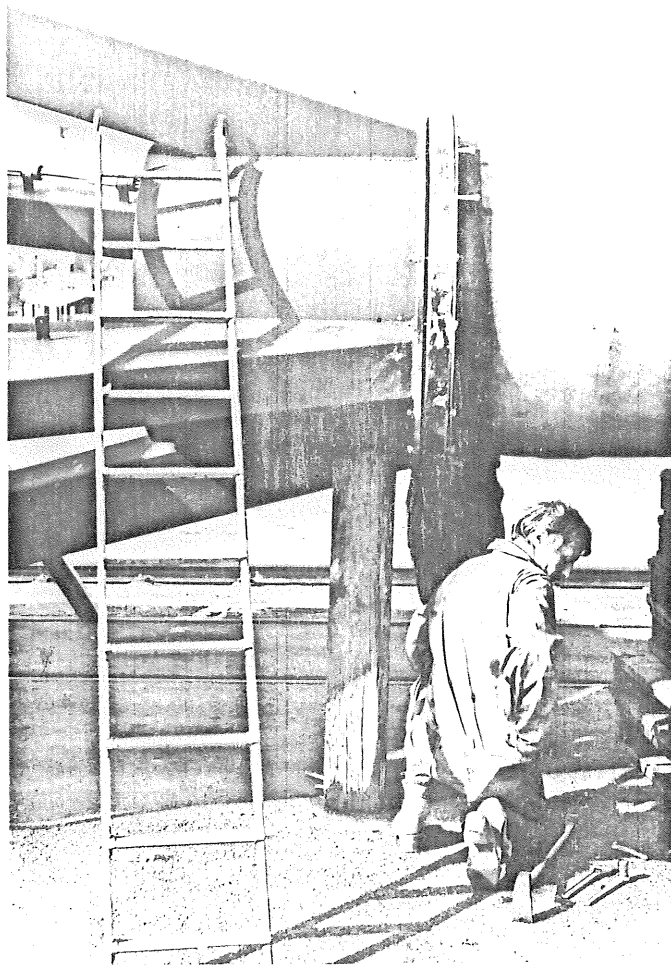


Fig.10 Ihopskruvning av flänsarna

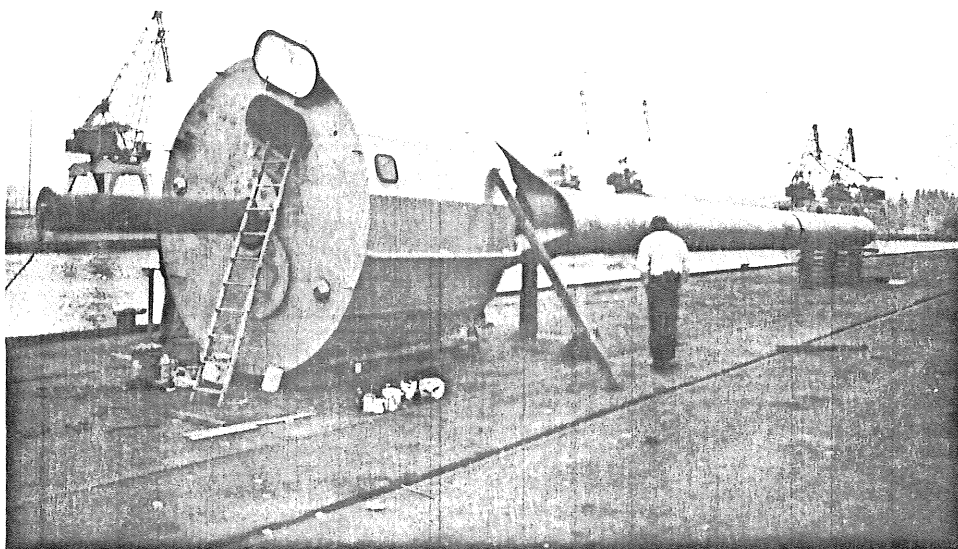


Fig.11 Kolvstången på plats

KAPITEL 3

3 FÖRANKRINGSSYSTEM

3.1 Allmänt

3.2 Belastningar

3.3 Vindlast

3.4 Strömkrafter

3.5 Driftkraft av vågor

3.6 Första ordningens vågkrafter

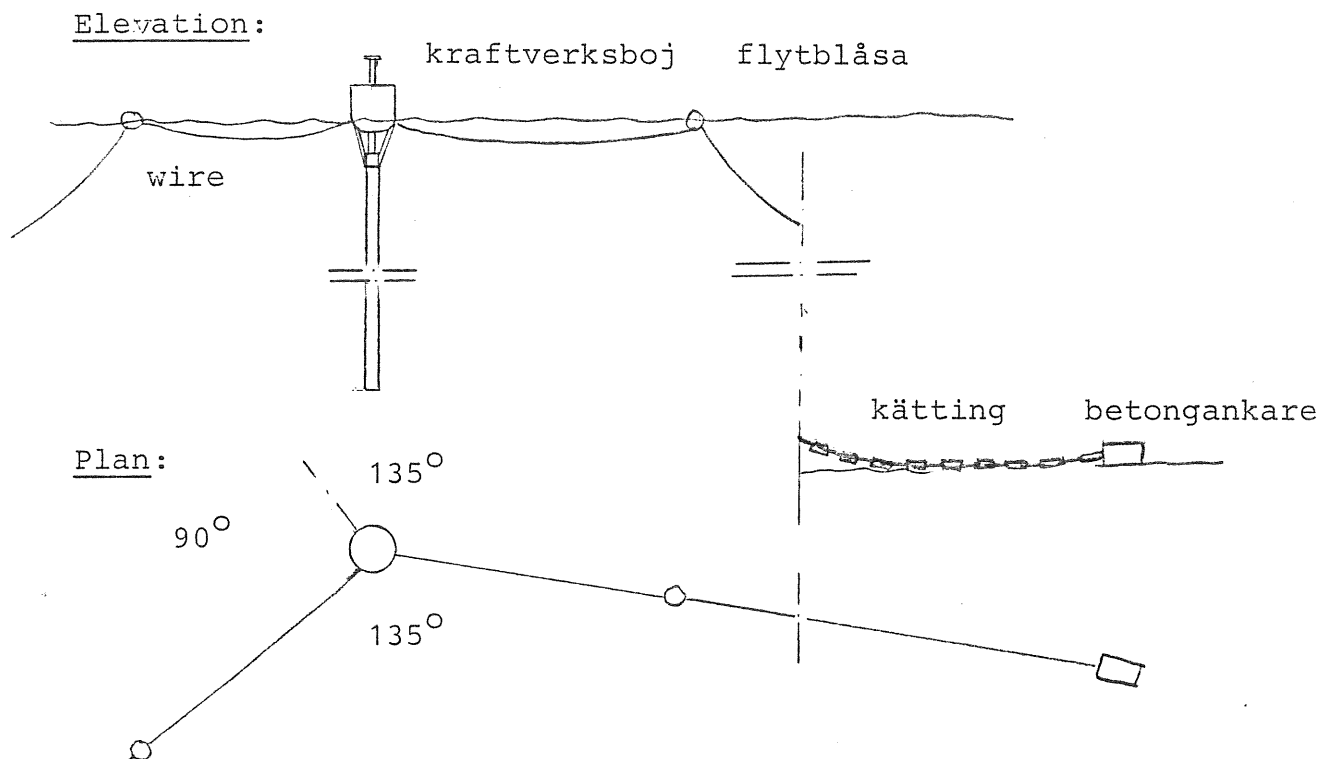
3.7 Belastningar i linor

3.8 Ankare

3. FÖRANKRINGSSYSTEM

3.1 Allmänt

Ett trepunkts förankringssystem enligt figur 3.1 beräknades för vågkraftbojen.



Figur 3.1 Skiss av planerat förankringssystem.

Ankarlinorna var avsedda att till sin övre del utgöras av stålwire och till sin undre del av kätting, men en överslagsdimensionering utfördes först för ett likvärdigt system med samma vikt per längdenhet för hela linan.

Flytblåsorna avsågs att ta upp hela ankarlinans tyngd och att vid extremt stora belastningar dras ned under vattenytan och på så sätt ge extra marginaler. Förankringssystemets inverkan på bojens vertikallrörelse borde bli liten med det använda arrangemanget.

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 3.1. 100-årsvinden 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 medelvärden.

Tabell 3.1 Vindhastigheten w (m/s) för olika återkomstintervall T (år).

T (år)	w (m/s)
1	21.7
10	28.5
50	33.2
100	35.3

VÅGOR

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

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

STRÖM

Förankringssystemet har beräknats för de konstanta strömhastigheten 0.5 , 1.0 och 1.5 m/s vilka bedömts som rimliga.

3.3 Vindlast

Vindlasten har beräknats enligt

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot w^2 \cdot A \quad \dots (3.1)$$

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

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

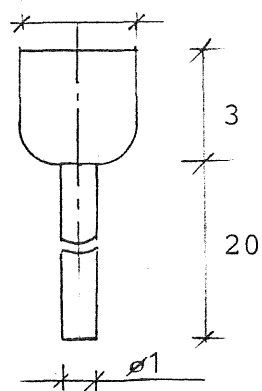
$w = 35 \text{ m/s}$ 100-årsvinden

$\nu = 13.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ luftens kinematiska visositet.

Reinolds tal:

$$Re = \frac{w \cdot 4m}{\nu} = 10^7 \Rightarrow C_D \approx 1$$

$$F_w = 4780 \text{ N} \approx 5 \text{ kN}$$



Figur 3.2 Bojens mått i förankringskraftsberäkningen.

3.4 Strömkrafter

Strömkrafterna har beräknats enligt

$$F_s = \frac{1}{2} C_D \rho w^2 \quad \dots (3.2)$$

För boj och rör erhålles följande strömkrafter

Tabell 3.2 Strömkraftsberäkning

Diameter D(m)	3 Boj			1 Rör		
Längd L(m)	1			20		
Strömhastighet (m/s)	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
Reinolds 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
Totalströmkraft (kN)	2.8	5.9	13.2			

Således är strömkrafterna vid 0.5 m/s 3kN

vid 1.0 m/s 6kN

och vid 1.5 m/s 14kN

3.5 Driftkraft av vågor

Driftkraften F_d kan ansättas som

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho g a^2 2R \quad \dots (3.3)$$

där

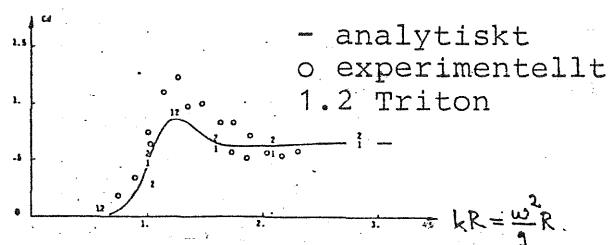
$\rho = 1026 \text{ kg/m}^3$ = vattnets densitet

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

a = vågamplituden (m)

R = bojens diameter (m)

För en sfärisk boj gäller enligt B Molin (Computations of wave drift forces. OTC 3627, 1979) att C_d varierar med kR enligt figur 3.2. k är här vågtalet $2\pi/L = \omega^2/g$. Antag att driftkraften mot den relativt djupgående vågkraftbojen är dubbelt så stor.



Figur 3.2 Driftkraftskoefficienten för en halvsfär som funktion av vågtal x bojradie.

REGELBUNDNA VÅGOR

I tabell 3.3 redovisas uppskattade värden på driftkraften för några ofta förekommande vågperioder. Vågornas branthet har antagits vara 1:10 vilket är extremt. Driftkraften har uppskattats vara dubbelt så stor som den enligt ekvation (3.1) beräknade.

Tabell 3.3 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

OREGELBUNDNA VÅGOR

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

$$F_d \approx C_d \cdot 2 R \rho g m_o = 2 R C_d \rho g \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega$$

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

Medelperioden $T_z = 9.2$ s

Signifikant våghöjd $H_s = 5.5$ m $\Rightarrow m_o = 1.9$ m²

$$kR = 0.071 \Rightarrow C_d < 0.1$$

och således driftkraften enligt ekv. (3.3)

$$F_d = 0.1 \cdot 2 \cdot 1.5 \cdot 1026 \cdot 9.81 \cdot 1.89 = 5.7 \text{ kN} \text{ Säg } F_c = 10 \text{ kN}$$

3.6 Första ordningens vågkrafter

Vågkraftverkets rörelseekvation i horisontalled kan approximativt skrivas

$$(a_x + m) \ddot{x} + b_x \dot{x} + c_x x = a_x \ddot{u} + b_x \dot{u} \quad \dots (3.4)$$

Här är m bojens massa, som inkluderar vattnet i röret

x bojens förskjutning i horisontallet

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 p g a konstant drift-, vind- och strömkraft.

Ingen hänsyn har tagits till dynamiska effekter i själva förankringssystemet, vidare har inverkan av de vertikala rörelserna på de horisontella rörelserna försumrats, såväl som ev pendelrörelse och lutning hos kraftverket självt.

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

$$Y = x_0/a = \sqrt{\frac{(a_x \omega^2)^2 + (b_x \omega)^2}{(C_x - a(a_x + m)\omega^2)^2 + (b_x \omega)^2}} \quad \dots (3.5)$$

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

$$F_H = Y \cdot a \cdot C_x \quad \dots (3.6)$$

För en cirkulär cylinder på djupt vatten gäller att den hydrodynamiska massan är lika med cylinderns volym dvs $a_x = m = 22800 \text{ kg}$ i vårt fall.

Dämpkoefficienten ansätts som

$$b_x = \xi m \omega$$

För små amplituder ($x_0 \ll 2m$) sätts $\xi = 0.5$ och för stora amplituder bestäms ξ ur Morisons formel genom att linearisera släpkraftstermer i denna. För en cylinder med diametern D och längden L gäller t ex

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho D x_0^2 \omega^2 L \cos \omega t |\cos \omega t| \approx$$

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

dvs

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

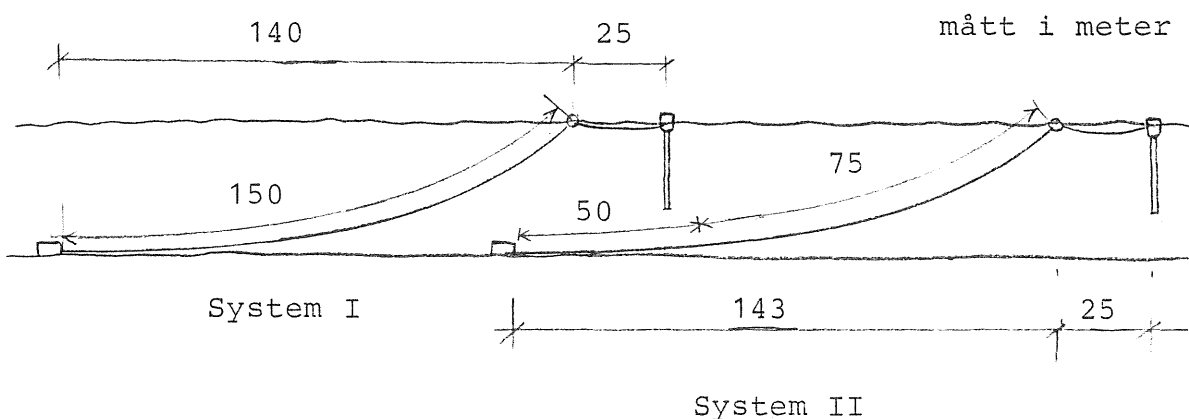
$$\text{eller } \xi = \frac{4C_D \xi_{DL} x_0}{3\pi m} \quad \dots (3.8)$$

För kraftverket har erhållits

x_0 (m)	ξ
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 respektive förskjutningsläge vid konstant grundbelastning av vind, driftkraft och strömmar.

En dimensionering gjordes först för ett förankringssystem (I) med 150 m långa ankarlinor mellan blåsa och ankare och med linyngden 50 N/m i vatten. På grund av utrymmesbrist måste detta bytas mot ett system (II) med 50 m kätting med tyngden 67.3 N/m och 75 m wire medtyngden 8.1 N/m i vatten.



Linor i trepunktsförankringen system I och II.

I tabellen 3.4 nedan redovisas egenskaper hos och belastningar på de två förankringssystemen för valda vågtåg.

Tabell 3.4 Egenskaper hos och belastningar på två valda förankringssystem.

	Regelbundna vågor			Oregelbundna vågor	
Period T(s)	1	2	3	9.2	
Våghöjd H(m)	0.16	0.62	1.40	5.5	
Driftkraft (kN)	0.25	3.8	1.4	10	
Strömkraft (kN)	13.2	13.2	13.2	13.2	
vid u= 1.5m/s					
Vindkraft (kN)	5.0	5.0	5.0	5.0	
vid w= 35m/s					
Summa Konstant bel.	18.5	22.0	19.6	29.0	
C _x (kN/m):					
System I	6 000	6 000	6 000	10 000	
System II	5 700	5 700	5 700	20 000	
Rörelseamplitud (m)	0.65	0.25	0.55	(I) 1.2	(II) 0.50
Kraftamplitud (kN)	0.4	1.4	3.2	11.5	10.2
Total maxlast (kN)	18.9	23.4	22.8	41	39
	(I) (II)	(I) (II)	(I) (II)		
Totalförskjutning (m)	6.8 1.3	7.4 0.9	7.9 1.2	10.4	2.6

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 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 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.

3.7 Belastningar i linor

Belastningar 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 per halvår) belastning i linorna bedöms vara 15 kN och vid "100-årsbelastningen" i ogynnsam riktning skulle belastningen i en lina kunna bli 40 kN. Brottlasterna för den valda wiren och kättingen är 240 kN respektive 200 kN.

Tabell 3.5 Uppgifter om kätting och wire.

	Kätting ϕ 19	Wire ϕ 20
Vikt / le i luft (kg/m)	7.9	0.95
Tyngd / le i havsvatten (N/m)	67.3	8.1
Brottlaster (kN)	200	240
Vanlig extrem belastning (kN)	15	15
Säkerhetsfaktor för dito	13	16
100-årsbelastning (kN)	40	40
Säkerhetsfaktor för dito	5	6

3.8 Ankare

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

Botten vid förankringsplatsen består av relativt styv 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.

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

KAPITEL 4

4 UTLÄGGNING AV FÖRANKRINGSSYSTEM OCH BOJ. UPPTAGNING AV BOJ.

- 4.1 Positionering av ankare
- 4.2 Utläggning av förankringssystem
- 4.3 Utläggning av vågkraftverket
- 4.4 Upptagning av kraftverket

Bilaga 4:1

- Fig 1. Planerat förankringsarrangemang
- Fig 2. Ankare 1 firas i sjön från Virgo
- Fig 3. Förankringarna är utlagda. Förankringsbojar och lysboj för utmärkning är på plats
- Fig 4. Förankringskonfiguration
- Fig 5. Göteborgs Hamns pontonkran John E Olson under inledningen av sjösättningen
- Fig 6. Lyftarrangemanget vid sjösättningen
- Fig 7. Kraftverket går i sjön. I detta skede var pontonkranens krängningsvinkel större än tillåtet p g a för stor utliggning
- Fig 8. Dykare ska just gå ner för att lossa lyftwirarna. En bogserlina från arbetsbåten håller på att fästas på kraftverkets däck
- Fig 9. Kraftverket bogseras på plats

4 UTLÄGGNING AV FÖRANKRINGSSYSTEM OCH BOJ. UPPTAGNING AV BOJ.

4.1 Positionering av ankare.

Vid projekteringen av förankringssystemet gjordes något misstag vid bedömningen av det tillgängliga utrymmet på försöksplatsen. Detta ledde till en modifiering av förankringssystemets placering som slutligen valdes enligt fig 1 i bilaga 4:1.

I syfte att förenkla utläggningen av ankarna gjordes därefter en uppmätning på mätplatsen. Med pejlinstrument och avståndsmätare gjordes från Trubaduren bestämning av de valda ankarlägena. Dessa märktes ut med små blåsor stramt förankrade i sänken.

Vid bestämningen av ankarpositionerna uppstod fel på avståndsinstrumentet varför det sist uppmätta (ankare nr 3) avståndet blev något felaktigt, se nedan.

Vid arbetet med att välja placering av först försöksplats och sedan ankarna var kontakterna med Västra Lotsdistriktet, Sjöfartsverket, täta och givande. Lotsdirektör Sällman ställde arbetsfartyget Virgo till förfogande för utläggningen av förankringssystemet.

4.2 Utläggning av förankringssystem

P g a missförstånd i kontakten med Sjöfartsverket kunde förankringen ej läggas ut som planerat. Betongankarna vägde 6 ton och Virgo kunde ej ta mer än 4 ton i ensam kran. Man hade från Virgos sida tänkt sig att ta varje ankare med de två kranar som finns på fördäck och sedan bara släppa ankarna när positionen var riktig. Denna metod tilltalade ej oss, varför ankarna skars ner till en vikt av 4 ton. I slutet av juli lades förankringssystemet ut enligt nedan.

Virgo började med ankare nr 1 och hängde detta i förankringskättingen på utsida relingen. Genom att växla av mellan de

två kranarna på fördäck firades ankaret tills bottenkänning uppstod. Ankaret lyftes någon meter, exakt position intogs och ankaret sattes på plats. Se fig 2 i bilaga 4:1. Förankringsblåsa och 25-meters wire kopplades på. Eftersom avståndet mellan ankarna var mindre än den sammanlagda längden av två förankringar kopplades nu förankring 1 och 2 ihop med 25-meters wirarna. En lina fästes i sammanbindningspunkten. Virgo lade ut ankare 2 på samma sätt som ankare 1 varefter de två förankringarna sträcktes upp mot ankarposition 3 med hjälp av den ovan nämnda linan. Krafterna i denna blev dock för stora och den gick av. Virgo lade ut ankare 3 på en gissad position, detta eftersom vi visste att vi mätt fel under förberedelserna. Med hjälp av Technoceans arbetsbåt fiskades den avslitna linan upp och lämnades över till Virgo som sträckte ihop hela förankringssystemet. Utläggningen avslutades med att en av Sjöfartsverkets vanliga lysbojar kopplades på i sammanbindningspunkten och sjösattes. Se fig 3 bilaga 4:1.

Efter utläggningen vidtog ett visst vinkelmättnings och beräkningsarbete för att erhålla ankarnas slutliga placering. Alla uppgifter och iakttagelser ställdes samman och gav som resultat en konfiguration enligt fig 4 i bilaga 4:1. Vi bestämde att ankare 3 skulle flyttas 10-15 meter ostvart, men detta gjordes av praktiska skäl aldrig.

4.3 Utläggning av vågkraftverket

Den 16:e september lades vågkraftverket ut under goda väderförhållanden. Göteborgs Hamns pontonkran John E Olson anlätades för sjösättningen. Se fig 5 i bilaga 4:1. Vädret hade varit blåsigt under en längre tid och kombinerat med vissa tekniska problem med kraftverket ledde detta till en ytterligare försening på en å två veckor.

Före sjösättningen försågs kraftverket med ett svep av stål runt plaströret. Svepet, som var försett med lyftöron, skulle utgöra ena punkten i den hanfot som kraftverket skulle lyftas i. Det andra lyftfästet ordnades genom att en grov wire lades runt hela flytkroppen och säkrades. Se fig 6 i bilaga 4:1. På

denna fig syns även de 25-meterswirar som senare skulle fästas i förankringsblåsorna.

Under pontonkranens färd från hamnen ut till Trubaduren förbereddes förankringssystemet för fastkoppling av kraftverket. Samtidigt kopplades förankringsblåsorna ihop med en lina så att sträckan mellan blåsa 2 och 3 förblev öppen. Lysbojen släpptes genom att 25-meters wirarna kopplades loss från blåsorna. Lysbojen förtöjdes sedan i blåsa 2 ovan vattnet. På detta vis förblev förankringarna sammankopplade och vägen fri för bojen när denna skulle läggas på plats.

När pontonkranen anlände började sjösättningen av kraftverket direkt. Härvid upptäcktes en miss i planeringen. Det var nämligen olika radiosystem på pontonkranen och arbetsbåten; vi kunde alltså inte kommunicera utan direktkontakt. Detta ledde till en del svårigheter och ett tillbud vid dykeriarbetena.

Första försöket att sjösätta kraftverket misslyckades då svepet på röret lossnade och gled några meter uppåt. Dock skadades ingenting. Andra försöket lyckades och kraftverket fick för första gången känna sitt rätta element, se fig 7 och 8 i bilaga 4:1. Nu visade det sig emellertid att pontonkranen inte kunde lägga kraftverket tillräckligt långt ut ifrån bordläggningen beroende på stabilitetsproblem. Kraftverket låg i ett skede och dunkade mot pontonkranens bordläggning med smärre skador på kraftverket som följde.

Två dykare gick ner och kopplade loss wirarna från svepet på röret.

När kraftverket väl låg fritt i vattnet var det en enkel sak att bogsera det på plats med arbetsbåten, se fig 9 i bilaga 4:1. Med hjälp av linor i 25-meters wirarna sträcktes dessa från kraftverket till förankringsblåsorna med arbetsbåten varefter dykarna schacklade fast wirarna i blåsorna. Linan som tidigare spänts mellan förankringsblåsorna togs bort och utläggningen var klar.

4.4 Upptagning av kraftverket

Upptagningen av bojen gjordes på ett synnerligen smidigt sätt mha sjöfartsverkets fartyg Virgo sedan vi tacksamt accepterat ett erbjudande från dess skeppare, lotsinspektör Engström.

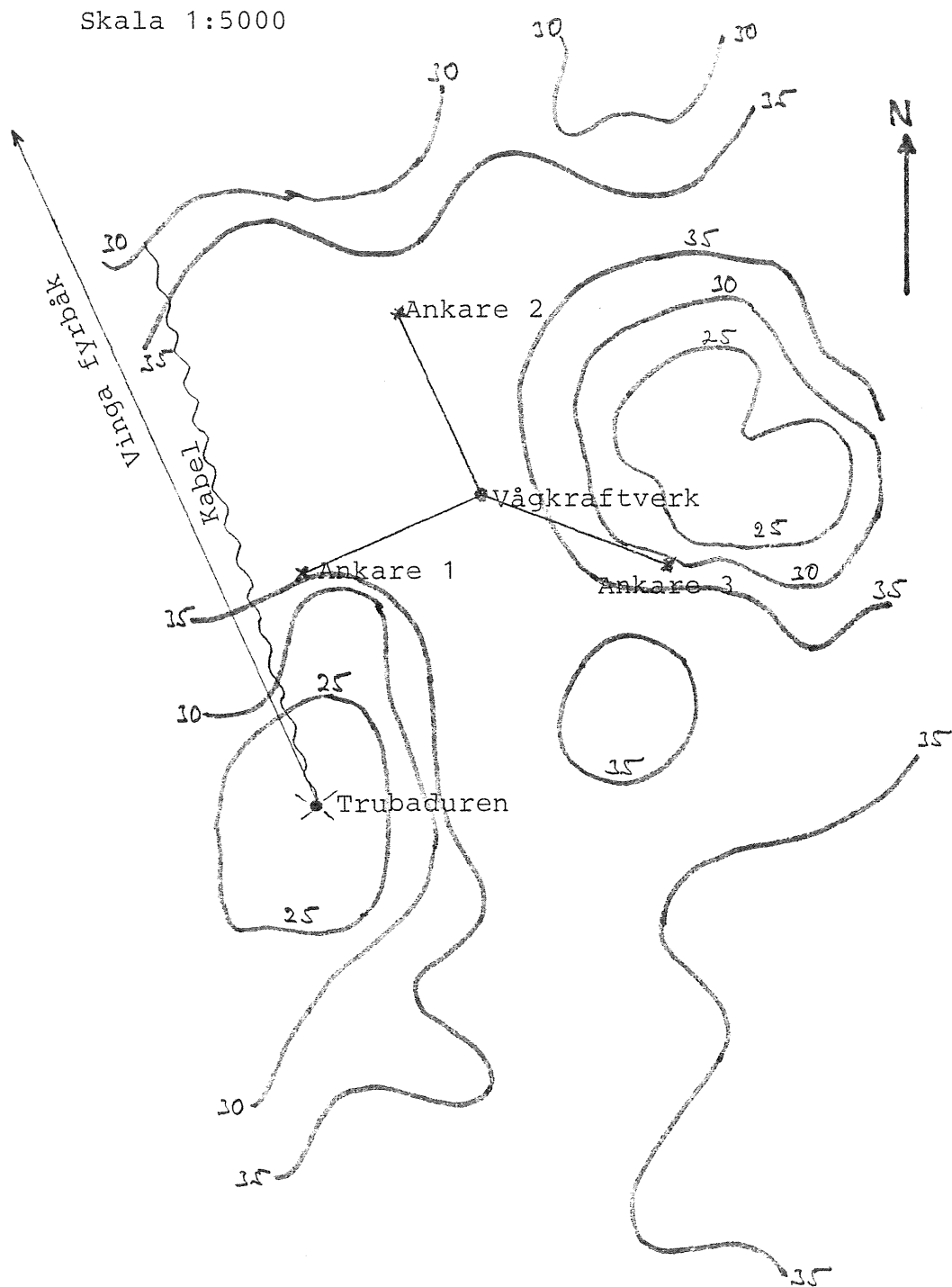
Upptagningen av kraftverket hade dagarna innan förberetts genom att alla ömtåliga detaljer plockats in. Dykare hade fäst wirestroppar i svepet på röret. På förmiddagen den 3:e november gjordes kraftverket i det närmaste "rent". Losskopplingen av kraftverket gjordes enligt följande. En grov lina slogs fast i kausen i wire nr 3 vid kraftverket, trädde genom motsvarande kauser i wire nr 2 och nr 1. Änden lades slutligen fast i arbetsbåten. Från var och en av dessa kauser drogs dessutom klena linor upp till däck på kraftverket. Kraftgivarna via vilka förankringarna var fästa till kraftverket (se kapitel 8) lossades från kraftverket. Med den klena linan drogs wire med vidhängande kraftgivare upp på däck och kraftgivaren kopplades loss. Nu hölls kraftverket på plats med hjälp av de tre klena linorna fastgjorda på däck. Kraftverket hade "fri väg ut" mellan förankring 3 och 1. På samma sätt som vid sjösättning slogs en grov wire runt kraftverket och säkrades i förankringsfästena. En man sattes på däck på kraftverket för hantering av lyftwirarna.

När Virgo anlände på eftermiddagen gjordes de tre klena linorna loss varefter kraftverket drev med strömmen (detta var givetvis planerat) tills det kom fritt från alla förankringar och Virgo kunde ta över.

På Virgo kopplades kraftverkets övre lyftwire till en av de rörliga kranarna och wiren från svepet till den aktra kranen. Kraftverket lyftes utan problem ur vattnet och säkrades hängandes horisontellt längs fartygsidan på Virgo.

Virgo lade slutligen kraftverket på Gullbergskajen i Göteborgs Hamn. På mätplatsen återstod nu endast att ta hand om förankringarna. Förankringsblåsorna kopplades loss och förankringarna släpptes och fick sjunka till botten. Den lina som tidigare hade fästs i kauserna försågs med en stor sten som sänke i den fria änden och sträcktes upp rakt å väster varefter stenen fick gå överbord. Linan är en flytlina och har en längd av ca 80 meter och bör gå att dragga upp utan svårigheter.

Planerat förankringsarrangemang



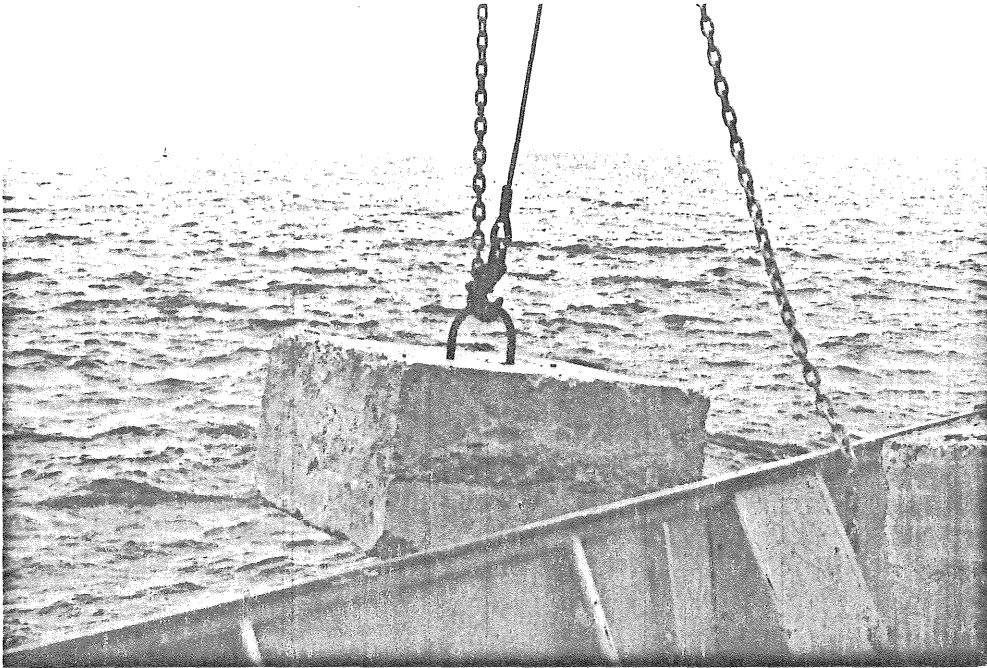
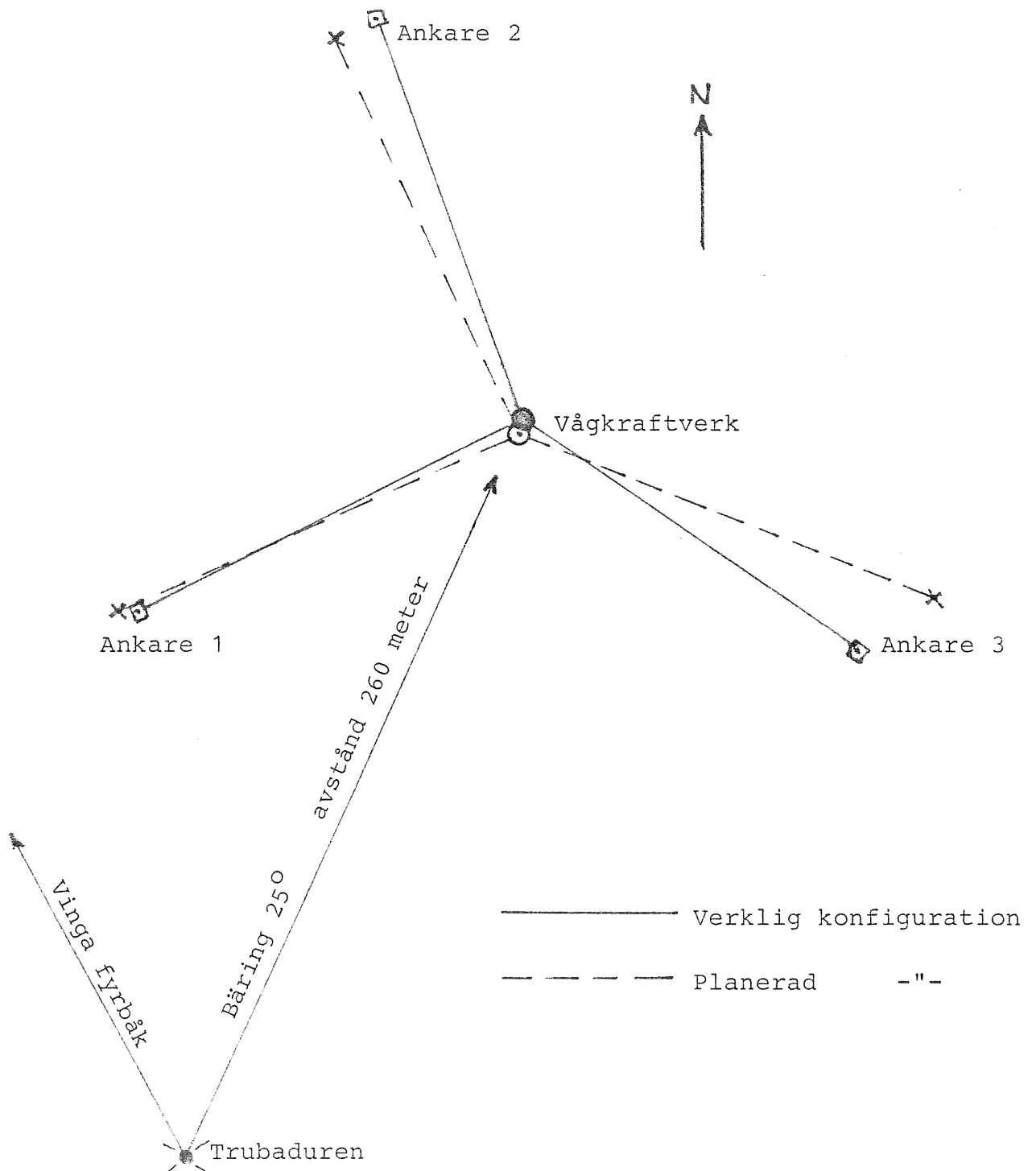


Fig.2. Ankare 1 firas i sjön från Virgo.



Fig. 3. Förankringarna är utlagda. Förankringsbojar och lysboj för utmärkning är på plats.

Skala 1:2000



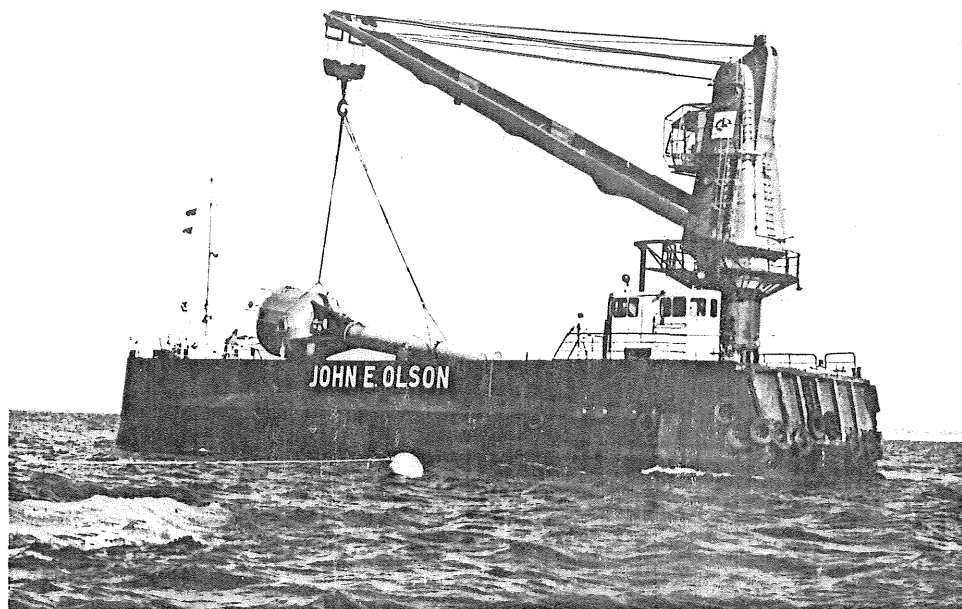


Fig. 5. Göteborgs Hamns pontonkran John E. Olson
under inledningen av sjösättningen.

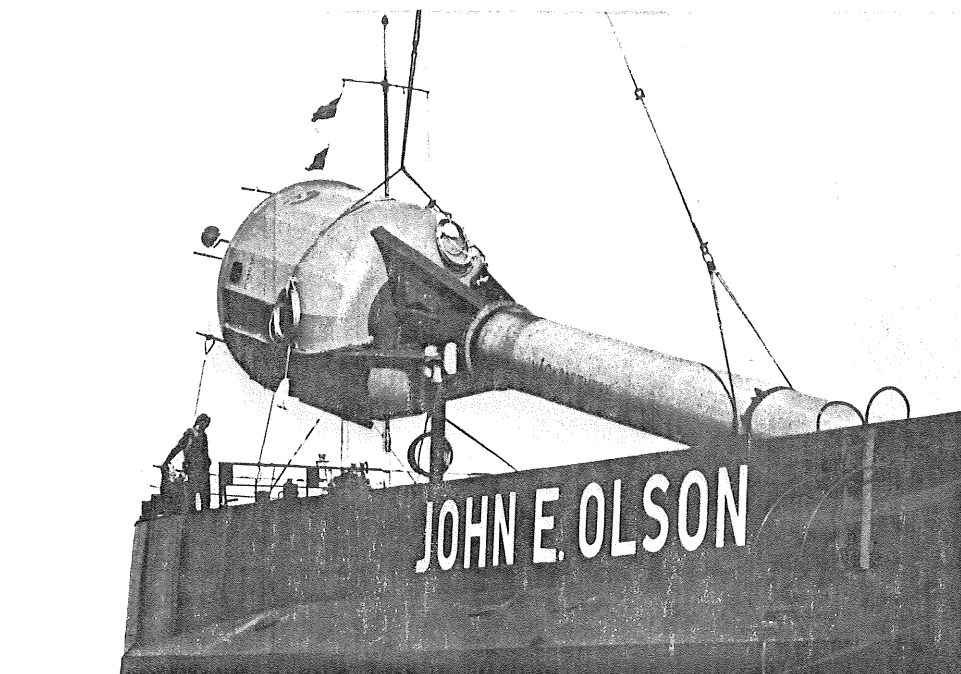


Fig. 6. Lyftarrangemanget vid sjösättningen.

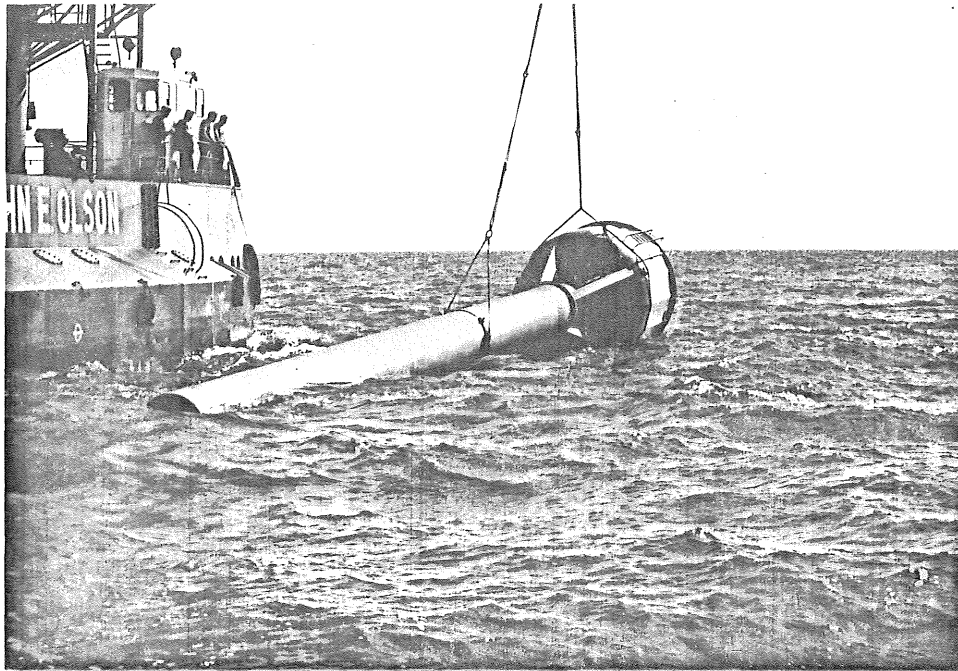


Fig. 7.

Kraftverket
går i sjön.
I detta skede
var ponton-
kranens kräng-
ningsvinkel
större än
tillåtet pga
för stor ut-
liggning.

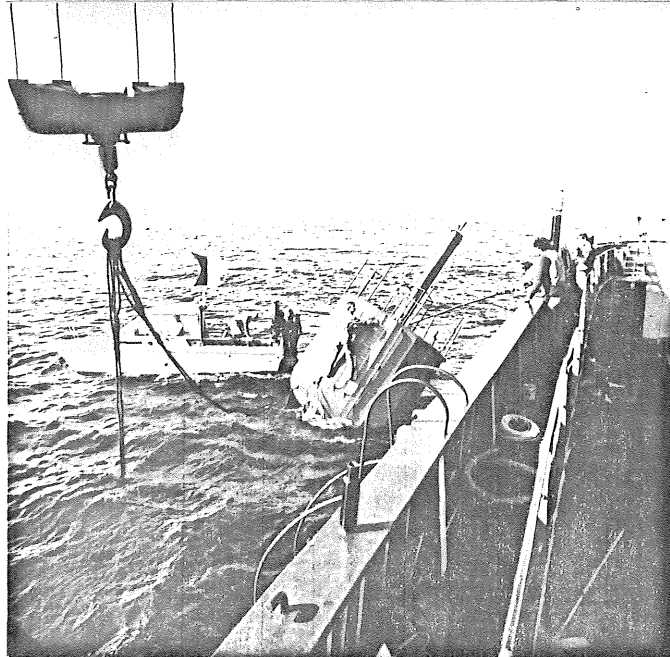


Fig. 8. Dykare ska just gå
ner för att lossa
lyftwirarna. En bog-
serlina från arbets-
båten håller på att
fästas på kraftverkets
däck.

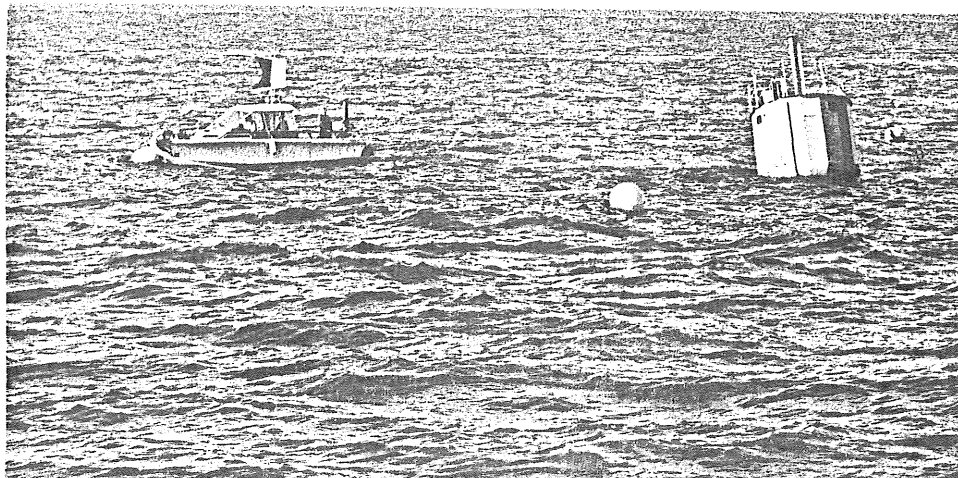


Fig. 9.

Kraftverket
bogseras på
plats.

KAPITEL 5

5 KRAFTÖVERFÖRING

5.1 Kraftöverföringssystem

5.2 Haveriorsak och reparationsförsök

5 KRAFTÖVERFÖRING

5.1 Kraftöverföringssystem

Överföring av kraften i relativrörelsen mellan bojen och kolvstängan till generatorn sker med hjälp av ett mekaniskt kraftöverföringssystem. Systemet utgöres dels av en på kolvstängan fäst 5 m lång kuggstång dels ett kugghjul i generatoraxelns förlängning beläget i bojen. fig 1a.

Kugghjulsaxeln är lagrad i två lagerboxar belägna på var sida av kugghjulet. I axelns ena ände finns en klokoppling för överföring av kraften till växeln i generatoraxelns förlängning fig 1a. Lagerboxarna är monterade på lagerstöd på var sida om kolvstängsröret. Det ena lagerstödet utgör stödplattform för generator och växel och är därför av mycket kraftig konstruktion. Det andra lagerstödet är gjort för att möjliggöra kraftmätning av stångkraften och därför av speciell konstruktion. Bilaga 5:1.

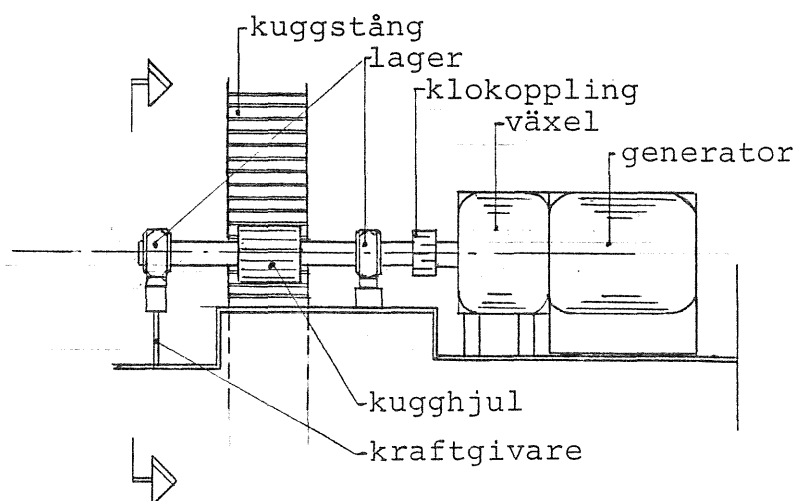
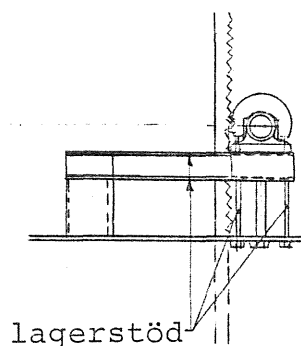


Fig. 1a



1b

5.2 Haveriorsak och reparationsförsök.

Grundorsaken till att kraftöverföringssystemet slutade att fungera torde varit att lagerstödet på kraftgivarsidan var för vekt. Detta medförde att lagerboxen försköts av horisontalkraften mot kugghjulet och att därigenom kuggstängens kuggar skadades i spetsarna.

Våldsamma vibrationer uppstod sedan i hela systemet när kuggarna kuggade över varigenom låsringen för konan i lagerboxen på generatorsidan gick upp. Därmed kunde hela kugghjulsaxeln förskjutas ur klokopplingen så att växel och generator så småningom frikopplades. När motståndet från växel och generator upphörde kom kugghjulet åter att rotera med kuggstången på grund av det ringa motståndet.

Det var i detta tillstånd kraftverket befann sig då vi bordade det för att utröna haveriorsaken. Den bedömning som då gjordes var att haveriet berodde på att konan i lagerboxen på generatorsidan hade lossnat på grund av att låsringen hade gängats av.

Det hela bedömdes möjligt att reparera om kolven i lugnt väder kunde fås att stå stilla eller om kolvstången kunde frikopplas från kugghjulet.

Ett första försök att låsa kolvstången vid bojen med en 16 mm bult i lugnt väder misslyckades och bulten skjuvades av för en våg som gav kolven ca 1 decimeters slaglängd.

Ett försök att frikoppla kugghjulet från kolvstången visade sig mera framgångsrikt. Försöket tillgick så att nya stödhjul monterades på tre sidor om kuggstången så att den låstes i sidled och kunde förskjutas mot det bakre stödhjulet mitt emot kugghjulet.

När kugghjulet sålunda frikopplats från den hela tiden arbetande kolvstången justerades kugghjulsaxelns läge och fixerades genom åtdragning av låsringen till konan i lagerboxen. I reparationen ingick också att byta elastiskt mellanlägg i klokopplingen.

Kugghjul och kuggstång fördes sedan snabbt samman vid ett av vändlägena och låstes där. Det visade sig då att när belastningen från generator och växel lades på så sviktade lagerstödet på kraftgivarsidan så kraftigt att den avnötta kuggstången kuggade ur på vissa ställen och att detta inte gick att korrigera

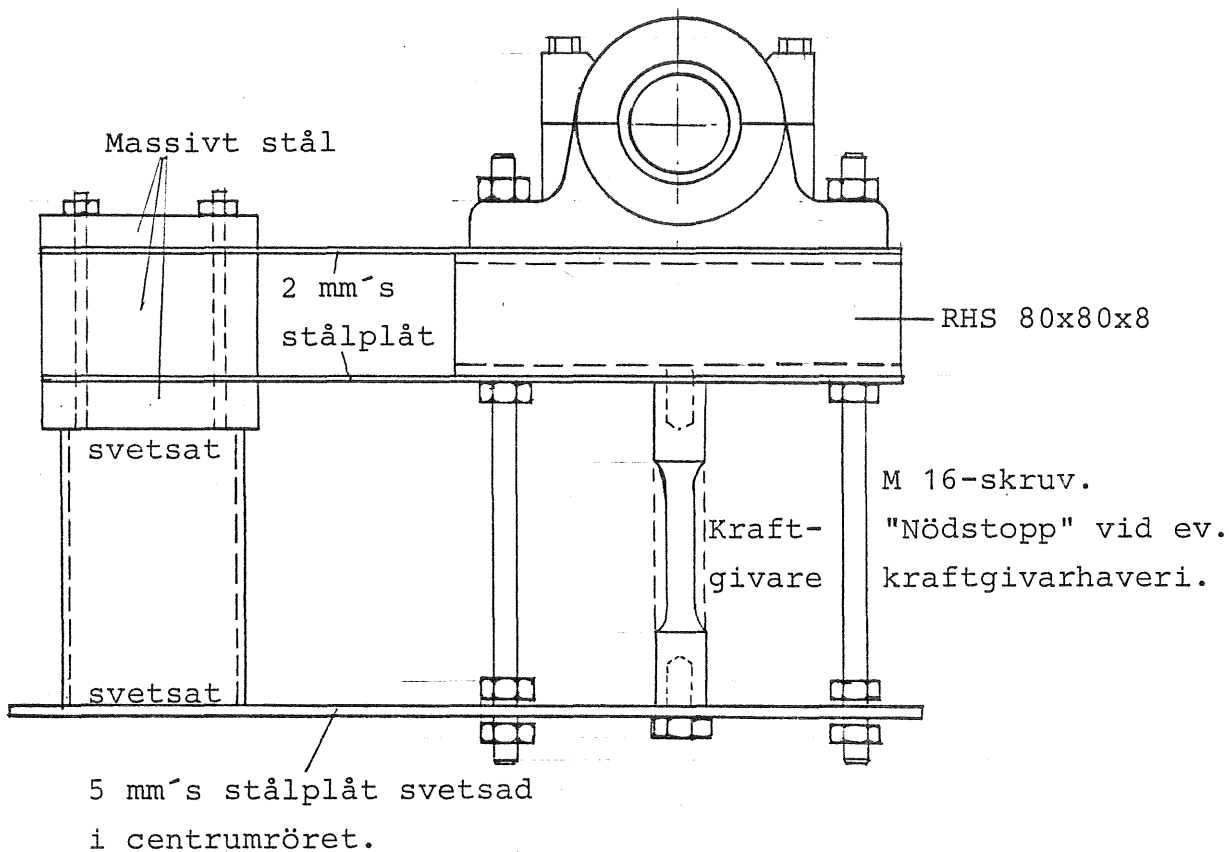
med hjälp av styrhjulen då dessa var dragna i botten.

För att inte utrustningen skulle förstöras ytterligare frikopplades åter kuggstången från kugghjulet genom att lagerboxarna lossades och kugghjulet säkrades så långt från kuggstången som möjligt. I detta frikopplade läge där relativrörelsen inte hade någon dämpning lämnades bojen.

Vid den kraftiga höststormen några dagar senare med vågor över 6 m dvs amplituder över 3 m slogs sannolikt locket på kolvstången sönder mot bojens styrhjul eftersom bojen arbetade helt odämpat och kolvstången inte hade mer än 5,0 meters slaglängd. När locket var skadat vattenfylldes kolvstången långsamt i vågtopparna och av brottsjö. Kolven sjönk djupare och djupare, varvid den slog av styrhjulen och orsakade stora bucklor i botten på bojen innan den sjönk till botten genom röret.

Kolvstången har tills vidare inte bärgats.

Arrangemang för kraftmätning.



2 mm's plåtarnas uppgift var att hålla fast lagerbocken i horisontalled men att ändå ej inverka på den vertikala kraftöverföringen till givaren.

KAPITEL 6

6 ELSYSTEM

6.1 Sammanfattning

6.2 Funktionsbeskrivning

6.3 Komponentbeskrivning

6 ELSYSTEM

6.1 Sammanfattning

Elsystemet i vågkraftbojen "Elskling" har tre funktioner.

Den första är att omvandla vågornas rörelseenergi till elektricitet.

Den andra att mäta verkningsgraden för denna omvandling.

Den tredje att förse all elektrisk apparatur ombord med spänning.

Elsystemet består därför av tre delar.

1. Generator med last
2. Mätssystem
3. Batteri med laddningsystem

Härtill kommer en styrenhet.

Generatoren är en robust, borstlös synkrogenerator avsedd för marin miljö. Dess genererade effekt används omväxlande för batteriladdning respektive vid mätning av den dämpade bojen.

Mätsignalerna, sex stycken, överförs till en dator i land via en radiosändare.

6 st 12 volts batterier är sammankopplade till ett system med både 12 och 24 volts spänning och med ca 210 Ah kapacitet.

Styrenheten kopplar en gång i timmen om mellan mätning och laddning. Under mätningen kan olika fältströmmar erhållas genom att styrenheten kopplar in olika börvärden till en fältströmsregulator. Här igenom blir bojen olika hårt dämpad.

Detta system har ännu icke kunnat testas under autentiska förhållanden på grund av det mekaniska haveriet i kraftöverföringen till generatoren.



- 1) STYRA FÄLTKRETSEN FÖR OLIKA BELASTNINGSFALL.
- 2) LIKKRIKTA EFFEKTEN OCH BRÄNNA FÖR DEN I VÄRMEPATRONEN.
- 3) MÄT-, SÄND- OCH KLOCKELEKTRONIK SAMT BELYSNING TILKOPPLAD.

MÄTNING

BATTERI-
LADDNING

Inst. för Elektro-
maskinlära
Penny Hylander

Hela systemet har testats i laboratorium och därvid bedömts kunna fungera tillfredställande.

Styrenheten levererades först efter att övriga komponenter installerats i bojen. Efter viss möda kunde den dock fås att fungera på plats.

Troligtvis är det dock lämpligt att byta ut batteriladdningsregulatorn, eftersom den är för långsam. Dess uppgift är att hålla spänningen över batteriet konstant när det laddas och begränsa strömmen till batteriet. Detta klarar den inte helt tillfredställande.

Generatorns momentvarvtalskaraktistik är ej den önskade, utan dämpningen minskar med ökande varvtal, istället för att vara konstant. Om detta leder till en förbättring eller försämring av bojkraftverkets verkningsgrad vet vi ej. Men det vore naturligtvis bättre med en regulator som kunde ge önskad dämpkaraktistik, så att flera olika dämpningssätt kunde prövas.

Av bekvämlighetsskäl kan det vara bra att installera fasta mätpunkter för ström och spänning på lämpliga ställen, samt att även installera visarinstrument som kan ge en snabb uppfattning om driftförhållanden.

6.2 Funktionsbeskrivning

Funktionsbeskrivningen följer schemat på sid 8.

Den från generatoren (SM) kommande växelspänningen likriktas (L1) vid mätning. Likspänningen passerar två säkringar (S1) och en kontaktor (ME) innan den omvandlas till värme i en värme patron.

Vid batteriladdning kopplar kontaktor (LE) spänningen till en transformator (T) som sänker spänningen 5 gånger till ca 30 volt. Därefter passerar strömmen säkringar (S2), likriktas (L2), filteras (C) och fördelas till klockan via huvudströmbrytaren (B1), och till batteriet via en säkring (S3) och en frånskiljare (FR)

Vid värmeproduktion matas generatorns fältkrets (F1,F2) via en dämpningsregulator (RM) som ställer in fältströmmen till ett av styrenheten valt börvärde. Fältkretsen som består av två lindningar får då sin effekt från batteriet. Lindningarna är samtidigt parallellkopplade av en kontaktor (MF) för att ge snabbare reglering.

Vid batteriladdning tas fältströmmen från växelströmssidan efter kontaktorn (LE). En batteriladdningsregulator (RL) som arbetar i fältkretsen håller statorns spänning konstant och begränsar strömmen. Fältlindningarna är nu seriekopplade, via kontaktor (LF).

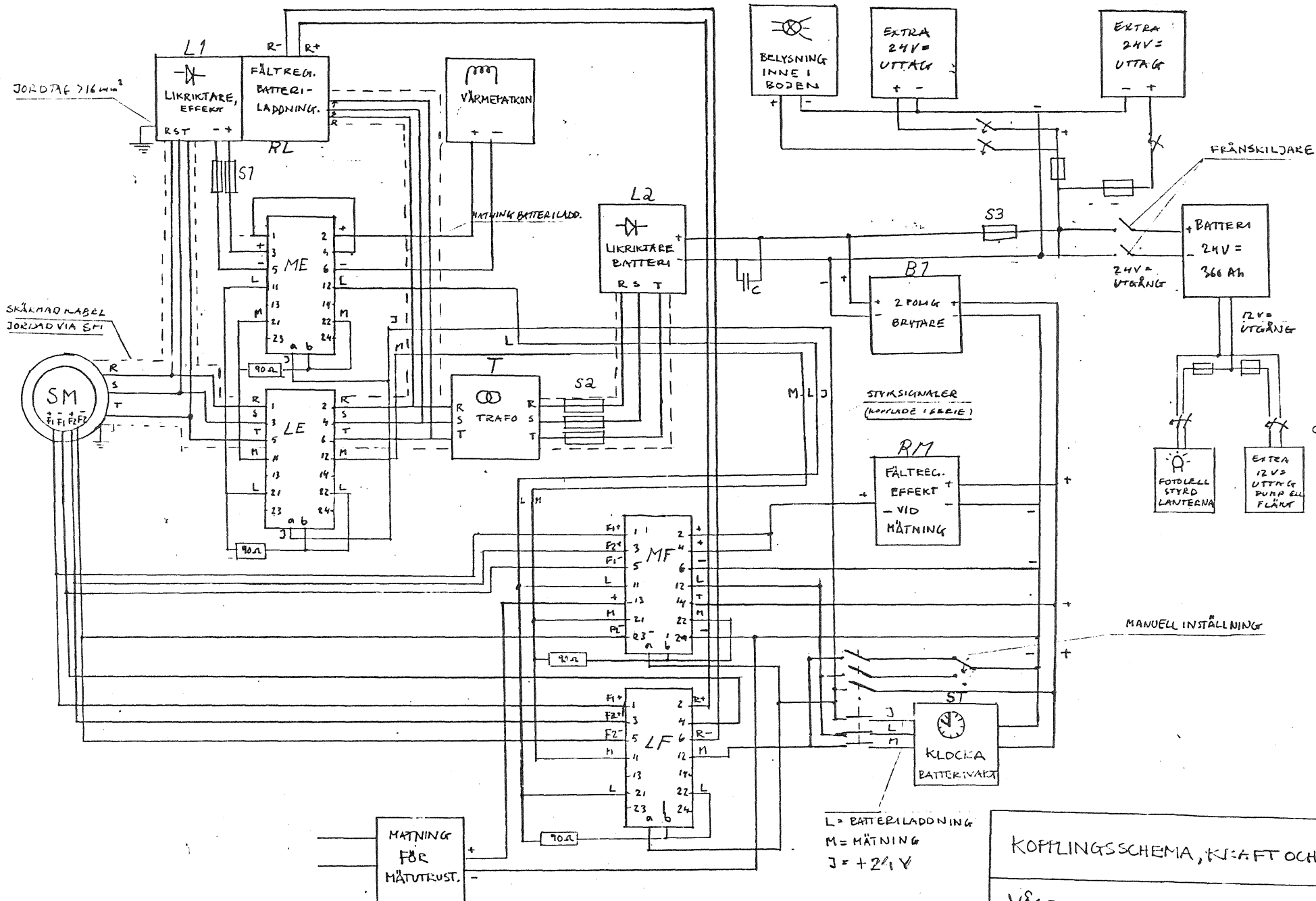
Styrenheten (ST) ger varannan timme manöverspänning och hållström till de fyra kontaktorerna parvis (ME,MF respektive LE,LF). Under mätning varieras dämpningen av bojen genom att styrenheten kopplar in olika börvärden på fältströmmen till dämpningsregulatorn. Styrenheten är försedd med manuell omkoppling för val mellan mätning och laddning.

Under mätning kopplas en radiosändare in via kontaktor (MF). Sändaren överför sex st. pulskodmodulerade signaler till en dator i land.

Batteriet består av sex st, 12 V, 70 Ah marinbatterier, som placerad i en med självdrag ventilerad trälåda, är parvis seriekopplade i tre grenar som parallellkopplats till ett

24V-system med 210 Ah kapacitet.

I övrigt är bojen försedd med invändig belysning, 24 och 12 V uttag, samt en fotocellstyrd lanterna som matas från batterilådan av ett av de sex batterierna. Detta batteri kan ej belastas av den övriga utrustningen men väl laddas tillsammans med övriga batterier.



KOPPLINGSSCHEMA, KRAFT OCH STYR

VÄGENERGI PROJEKT - TRUBADUREN

800717

Inst. för Elektro-
maskinlära

6.3 Komponentbeskrivningar

Generator med växel.

Som generator för att belasta bojen och för kraftmätning till mätsystemet valdes en dansk generator av fabrikat Transmotor, som har en stor användning i marin miljö t ex som generator på fiskebåtar.

Generatoren av synkrontyp är borstlös dvs alla lindningar ligger i statorn varför hela konstruktionen blir robust och relativt underhållsfri.

Lindningarna är extra isolerade med tanke på marin miljö.

Busck o Co kunde leverera en lämplig växel till generatoren.

Data för generatoren och växeln:

Generator: Transmotor typ ACG 220

Genererad effekt 12 kW vid 1500 rpm överlastbar till
17 kW intermittent.

Efter likriktare: 220 V 60 A DC

Max varv: 5000 rpm

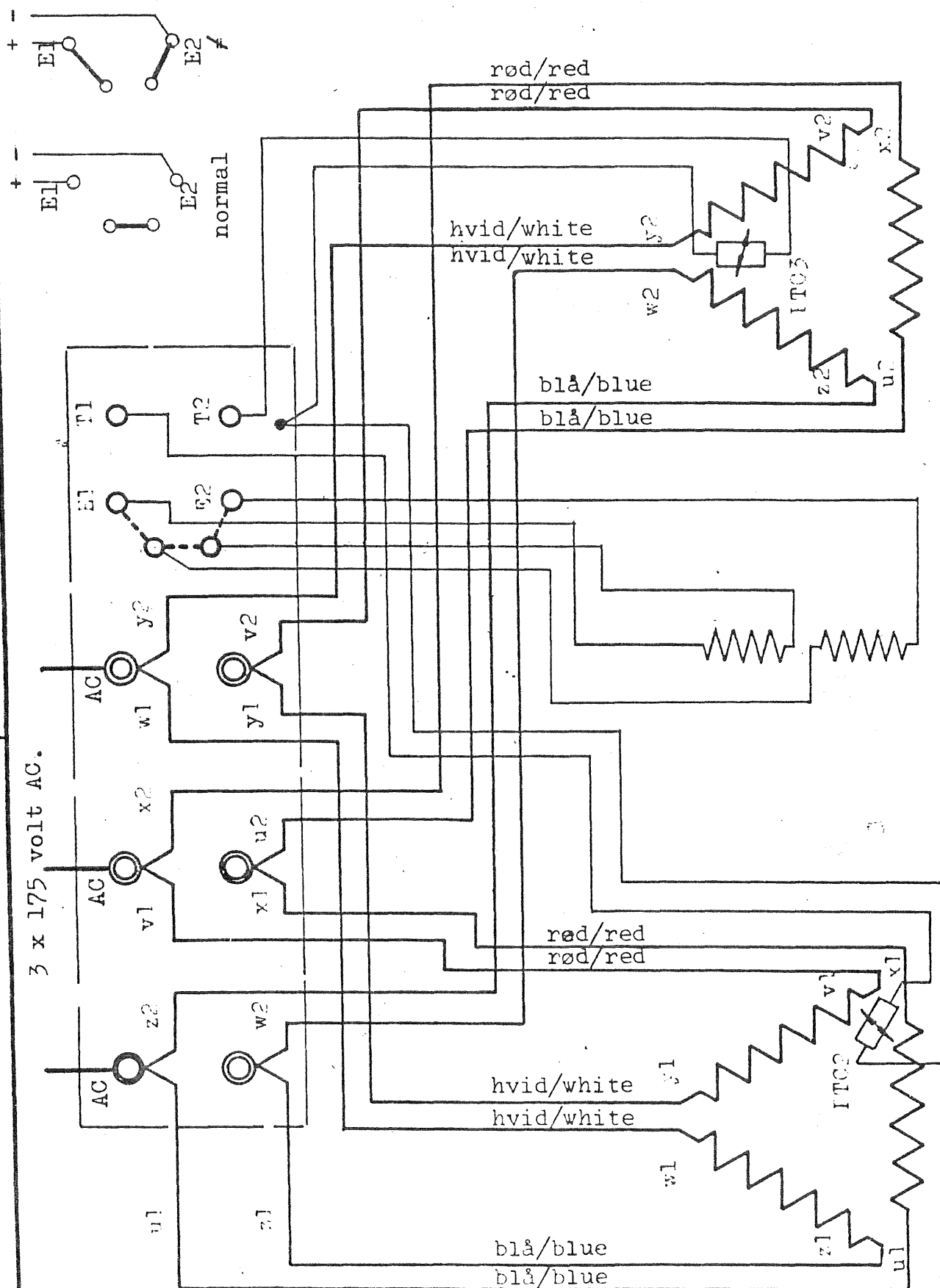
Växel: Nord kuggväxel typ SK 505 utväxling 1:16,2

Generatoren är avsedd att tillsammans med batteriladdningsregulatorn vara helt självförsörjande med spänning. Dvs fältmatningen görs från statorsidan och ej från batterierna. När generatoren skall starta från varvtalet noll krävs ett minsta varvtal på ca 700 rpm för att fältströmmen skall byggas upp med hjälp av det remanenta flödet som finns i järnet. Detta gäller dock bara om generatoren stått stilla i flera sekunder, vilket den förhoppningsvis gör mycket sällan. Under mätning tas fältströmmen från batteriet.

Ett problem uppstår när man försöker reglera i fältkretsen. Denna har nämligen en stor tidskonstant, det tar tid att ändra strömmen. Den batteriladdningsregulator som levererades tillsammans med generatoren var anpassad till en fältkrets avsedd för 24 V och 3 A. Det fanns skäl att förmoda att denna krets skulle vara alldeles för trög för att kunna regleras i takt med vågorna. Därför valdes att, inför konstruktionen av en regulator med uppgift att hålla fältströmmen konstant lika med ett givet värde, dela fältlidningen på två lindningar om 12 V, 3A vardera. Dessa två lidningar parallelelkopplades sedan. Genom att ha kvar 24 V matningen till fältet fick man på detta sätt en krets med dubbla stigtiden på strömmen. Regulatorn begränsar sen strömmen (24V över fältlidningarna, 4 ohm vardera, skulle annars ge 12A).

På de följande sidorna redovisas

- 1) statorns koppling
- 2) Leverantörens testprotokoll
- 3) Generators tomgångskurva vid 735 rpm
- 4) Tabeller över mätvärden vid belastningsprov
- 5) Drivande momentet som funktion av fältströmmen
- 6) Drivande momentet som funktion av varvtalet
- 7) Dämpkonstanten b_1 som funktion av varvtalet



Trekent-serie / Delta-series
3x175 V. AC.

PHONE: National: 01 - 87 98 07 - International: + 45 - 1 87 98 07 - TELEX 22917 TRANS DK

Remarks:

Output: volts Hz. amps k r.p.m. Brushes

Diagram no.:

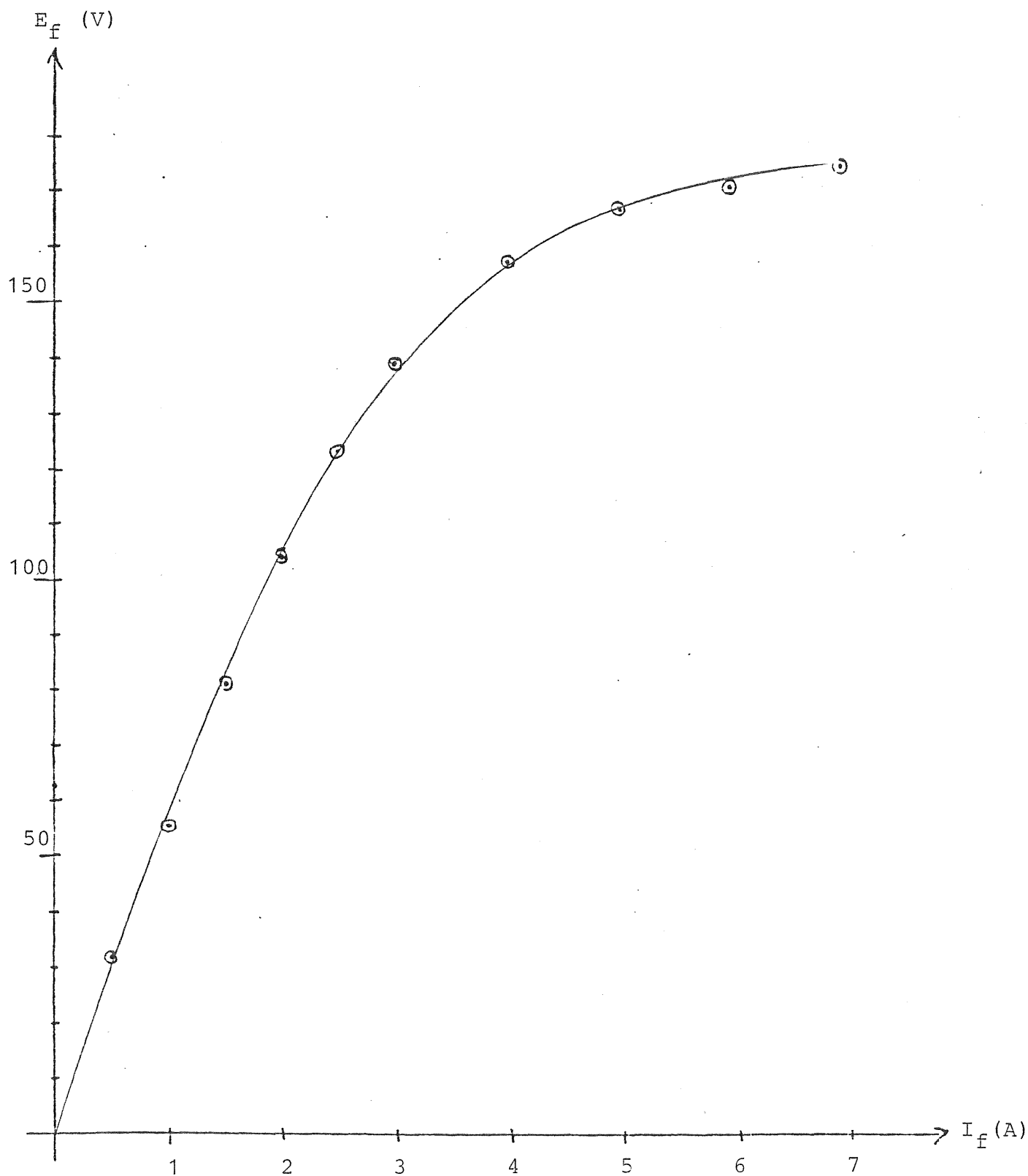
Test panel 18

Date of test 9-7-80

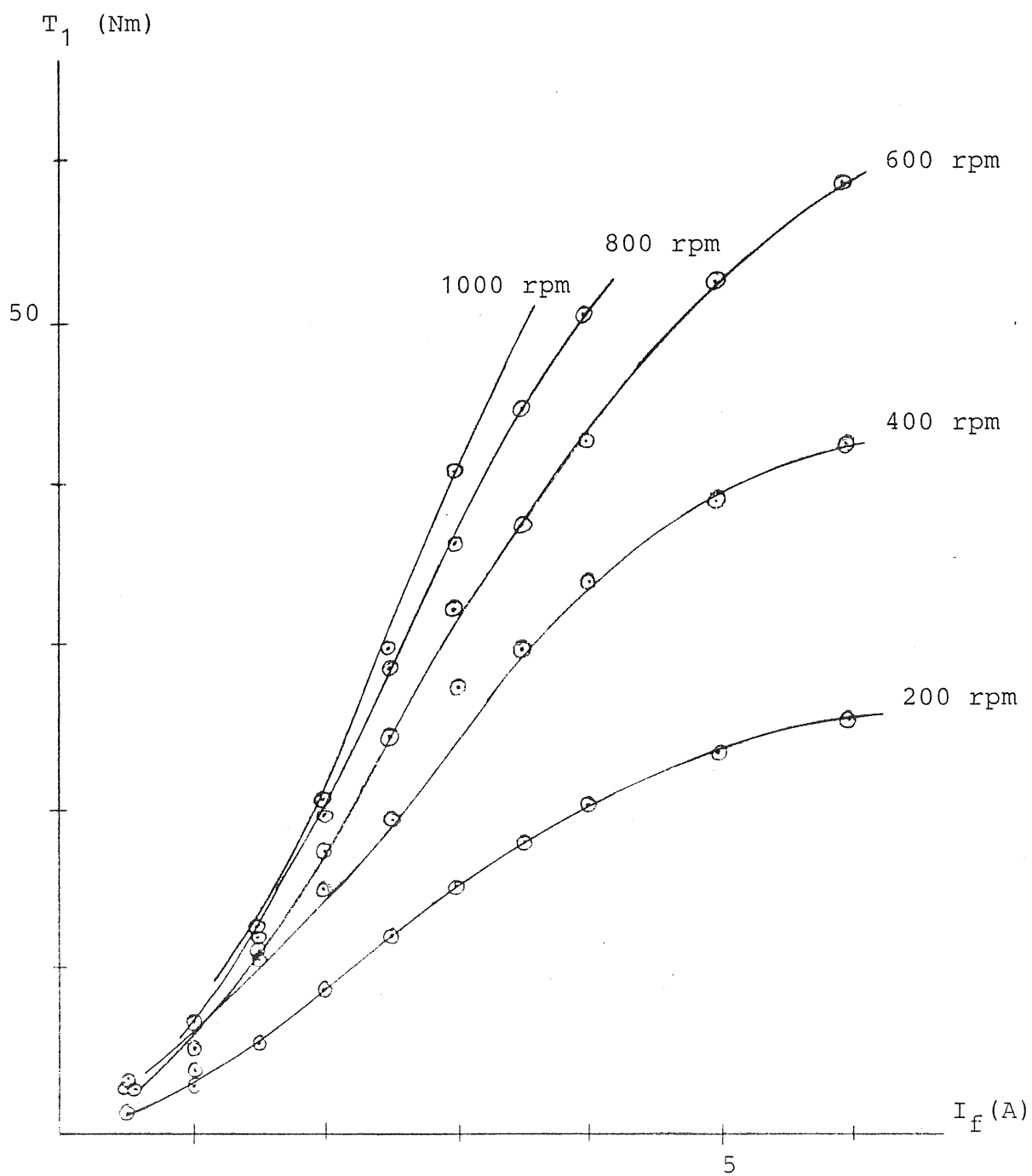
Sign.:

[illegible]

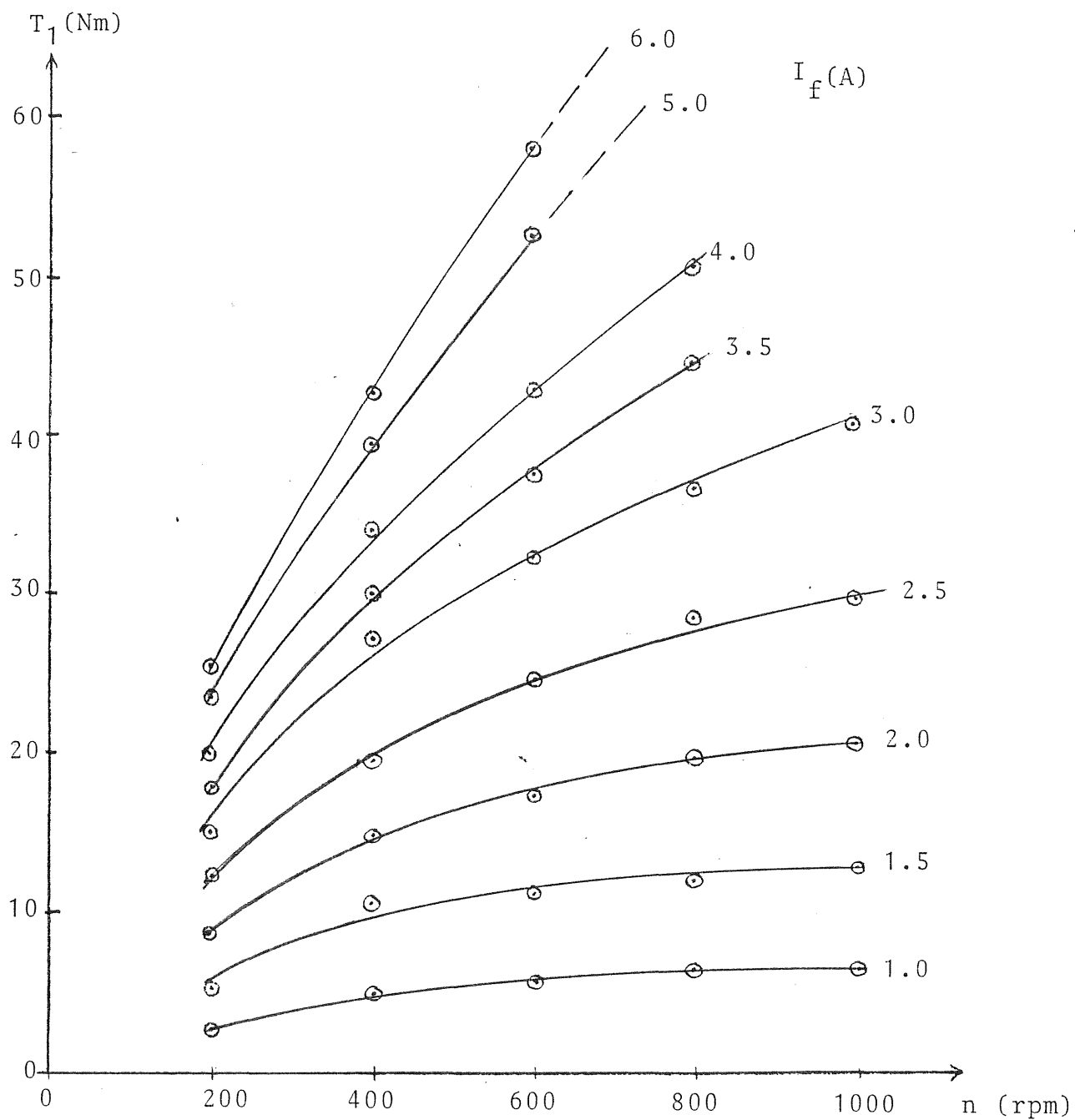
Tomgångsprov med ACG-220, tomgångsspänningen som funktion
av fältströmmen vid 735 rpm.



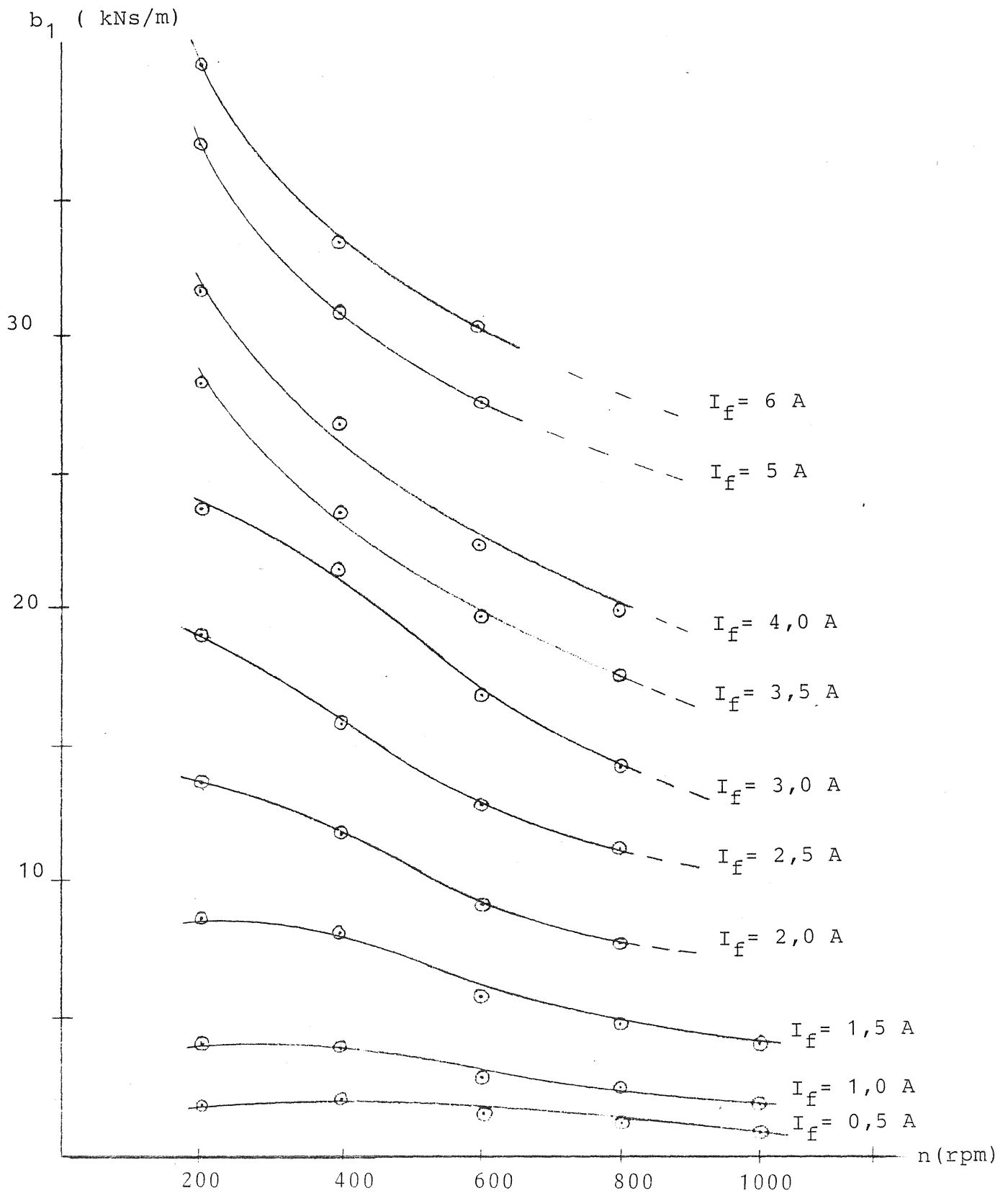
Generatorns axelmoment som funktion av fältström och varv-
tal vid en given last



Generatorns axelmoment T_1 som funktion av varvtalet n för olika fältströmmar I_f .



Yttre dämpkonstanten b_1 som funktion av generatorns parametrar I_f , fältström, och varvtal n



En analys av varför dämpkonstanten b_1 ej är en konstant, oberoende av varvtalet, som antagits från början kan beakta följande:

- 1) Maskinens reaktans är proportionell mot varvtalet varför b_1 minskar med varvtalet, mer ju större reaktansen är.
- 2) Mättningen av järnet vid ökande ankarström leder till minskning av det verksamma flödet (medför att b_1 minskar med ökande ankarström.

Effektlikriktaren L1

L1 är en sexpuls diodbrygga, dimensionerad för 15 kW 220 V likspänning. Den är försedd med filter för att dämpa den likriktade strömmens rippel.

Den var avsedd att ladda ett 220 V batterisystem och levererades tillsammans med batteriladdningsregulatorn i en droppskyddad plåtlåda av Transmotors fabrikat.

Värmepatron

Trefasig värmepatron avsedd för 12 kW vid 220 V växelspanning. Alla tre faserna parallellkopplades för att drivas med likspänning. Resistans: 3,93 ohm.

Ytterligare en värmepatron monterades men kopplades inte in. Den var avsedd för 15 kW, med resistansen 9,6 ohm.

Mätgivare

Spänningen över värmepatronen mätes över en spänningsdelare.

Strömmen till värmepatron mätes med en strömshunt.

Varvtalet mättes med en tachogenerator.

Dessutom fanns två accelerometrar, en för bojen och en för vågmätaren, och en kraftgivare. Dessa presenteras under det avsnitt som handlar om mätutrustningen.

Sändaren

Denna pulskodsmodulerar de sex givarsignalerna och förbrukar 1,5 A vid sändningen.

Laddningsregulatorn RL

Regulatorns uppgift är att reglera generatorns fältström så att en konstant likspänning erhålls över batteriet. Den har konstruerats för att ladda batterier ombord på mindre båtar, typ fiskebåtar. Funktionen beskrivs närmare på sid. 18.

Vid prov i laboratorium visade det sig att regulatorn var för långsam. Den kunde inte hålla spänningen konstant. Ej heller hann den med att begränsa strömmen. När generatorn drevs på ett sätt som skulle efterlikna bojrörelsen, erhöles strömtoppar på ca 40A. Varvtalet var då ca 1000 rpm. Om strömmen ligger över strömgränsen, som inställdes på ca 20A, ca en sekund träder strömbegränsningen in. Eftersom en bojhastighet motsvarande 1000 rpm (ca 0,6 m/s) antogs vara en tämligen ovanlig under sommarhalvåret, ansågs regulatorn kunna duga. En mer noggrann undersökning av regulatorns funktion och anpassning av dess spänning och strömgräns till denna pendlande drift vore bra.

Verkningsgraden vid laddningen sjunker när spänning och ström blir onödigt höga. Gasbildningen ökar. Batteriet placerades i en med självdrag ventilerad trälåda varför ingen explosionsrisk ansågs föreligga (Luften i batterilådan stod ej i förbindelse med den övriga luften i bojen.).

För att få lämplig nivå på strömgränsen lindades regulatorns strömtransformator med ena fasen av laddningstransformatorns sekundärlindning.

En lämplig åtgärd för att förbättra laddning skulle vara att byta regulator. Troligtvis måste en regulator som ska hinna med dessa snabba varavtalsförändringar arbeta i stator kretsen istället för fältkretsen.

Laddningstransformatorn T

Batteriladdningstransformatorns evivalenta schema.

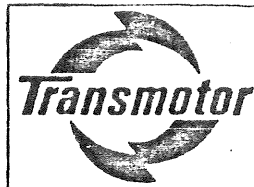
Transformatorns märkdata

500 VA, 177/35, Y-O, $I_{2n} = 8,25A$, 200Hz

$R_1 = 800 \text{ m}\Omega/\text{fas}$ $R_2 = 60 \text{ m}\Omega/\text{fas}$ $R_k = 2.33 \Omega/\text{fas}$

Brushless and transistorized charging and current supply unit

- 18 -



Rectifier/Regulator type AVRR-60 -.

Mode of operation - with reference to schematic diagram S-612.

1.0 The main rectifier is supplied with 3-phase A.C. voltage from the generator via the terminals marked AC-AC-AC. The phase sequence is arbitrary. D 101-106 is the main 3-phase, full wave, bridge rectifier, built up of one or more press-fit silicon diodes per branch, connected in parallel and air cooled by two, three or six heat sinks.

The rectifier supplies D.C. voltage at the terminals marked +ve and -ve and it also blocks any reverse current regardless of whether the unit is acting as a charging unit or as a parallel connected power supply unit.

Rectifiers for high voltage units (110 or 220 volts) are protected against transients by means of varistors marked "MOV".

2.0 The regulator is supplied with an A.C. voltage via the connections, 10, 11 and 12. This voltage is supplied via step-down transformer unit T8 and rectified by the small 3-phase full-wave rectifier D1. This supplies current for the regulator and the excitation windings.

In a 24 volts unit-without transformer-the voltage is rectified by a 3-phase half-wave rectifier D1, (Shown inset), as in this case, the -ve part is common to the main rectifier.

The current flows from D1 to the generator excitation coil via fuse F1 and terminals K1 and K2, across which a switch can be fitted. The excitation current also flows through transistors TR3 and TR7 before reaching the -ve pole. The electronic circuits "A", "B" and "D" are supplied via terminal E1.

2.1 The regulation of the excitation current takes place in the transistors TR3 and TR7, which, in turn, are controlled by regulation circuit "A".

This circuit is supplied with a stabilised 12 volts voltage from a zener diode Z1. The main part of "A" is an integrated circuit, having a highly stabilised reference circuit with appr. 3.2 volts reference voltage, a comparison stage and a stabilised amplifier stage.

The regulator senses the voltage from the main rectifier and this voltage is divided in the voltage divider R8, R9, P2 into appr. 3.2 volts for comparison with the reference voltage of the integrated circuit.

By means of potentiometer P2, the output voltage can be adjusted within plus or minus 10% of the nominal value.

By increasing load and/or decreasing speed, the generator must be supplied with an increased excitation current in order to keep the output voltage constant, from the main rectifier.

This operation takes place when the regulating circuit "A" senses a difference in the sensing voltage (related to the built-in reference voltage), and so applies a higher voltage to the base of TR3 and also to TR7. TR3 and TR7 therefore allow a higher excitation current to flow, so enabling the generator voltage to be kept constant.

2.2. Circuit "B" is a "free wheeling" circuit with a counter voltage to speed up the step-down regulation of the excitation current and at the same time it protects the output transistors. Because of high self-induction in the generator's excitation coil, it limits the speed at which the excitation current can be regulated up or down, without inducing too high a voltage in the windings and therefore in the regulator. As it is essential that step-down regulation takes place in a very short time, e.g. by engine acceleration, the regulator is equipped with circuit "B" in order to obtain a controlled, fast step-down regulation. To limit the duration of the "free wheeling" current in the excitation coil and in TR8, a counter voltage of 33 volts (Z5) is incorporated into the circuit.

2.3 The current limiting circuit "C" is controlled by the voltage across the current transformer T7 and resistor R56.

If the regulator is overloaded, the high voltage produced by the circuit T7 and R56, and, therefore, the current limiter P3, will exceed the reference voltage (3.2 volts) across R9 and P2.

The current sensing circuit will therefore dominate and the regulator will keep the generator's current constant at the adjusted maximum value.

The current limiting effect can be adjusted by means of P3, the method of adjustment being explained in the Manual.

For units mainly intended for battery charging (12 and 24 volts), the current limiter, as described above, acts immediately, but for high voltage units (110 and 220 volts), operating with or without batteries, a time delay stage is built into the current limiting circuit "C".

This enables the generator (providing that it is not running at

minimum speed) to withstand a temporary overload, e.g. when starting up D.C. motors, without the current limiter acting.

2.4 Over-voltage and over-temperature conditions are protected by trigger circuit "D". In case of a fault in the electrical system or the regulator, or by mishandling, the circuit "D" will trigger the thyristor CR1, which will protect the regulator by short-circuiting the current supply to the regulator and blowing fuse F1.

The control circuit "D" has its own sensing circuit and can so react against possible failure in the voltage regulator sensing circuit. The sensing voltage is divided in the voltage divider R3, P1, PTC1, on the main rectifier and PTC2 and 3 in the generator winding, for comparison with a reference voltage of 6.8 volts in circuit "D". PTC1, 2 and 3 are temperature sensitive resistors, protecting the unit.

If the step-down sensing voltage, adjusted on P1 and marked "over-voltage cut off" exceeds the reference voltage because of too high a voltage on the +ve terminal or the resistance value of the PTC increases (from a few ohms below 120°C to several thousand ohms above 120°C), CR1 will be triggered, fuse F1 will blow and protect the unit.

In circuit "D" there is a delay condenser which will prevent this circuit from reacting to short duration voltage spikes, produced by chatter, etc.

This circuit does not prevent over-voltage, but it protects the unit during this condition.

The method of adjustment is explained in the Manual.

2.5 The regulator is also equipped with start-up relay REL.

As the regulator senses directly onto the +ve and -ve terminals, which can be at normal potential, whether the unit is operating or not, it is essential that the self-exciting generator will produce voltage during start.

This is accomplished by the use of resistor R35 which feeds the residual voltage from the generator direct to the base of output transistors TR3 and TR7, allowing these transistors to pass the excitation current.

As soon as current enters Z1 or the matching smoothing condenser (and therefore the REL relay coil), R35 is cut out and the regulator will assume control.



Transmotor

ELECTROTECHNICAL FACTORY

FINSSENSVEJ 6 E
DK-2000 COPENHAGEN F
DENMARK

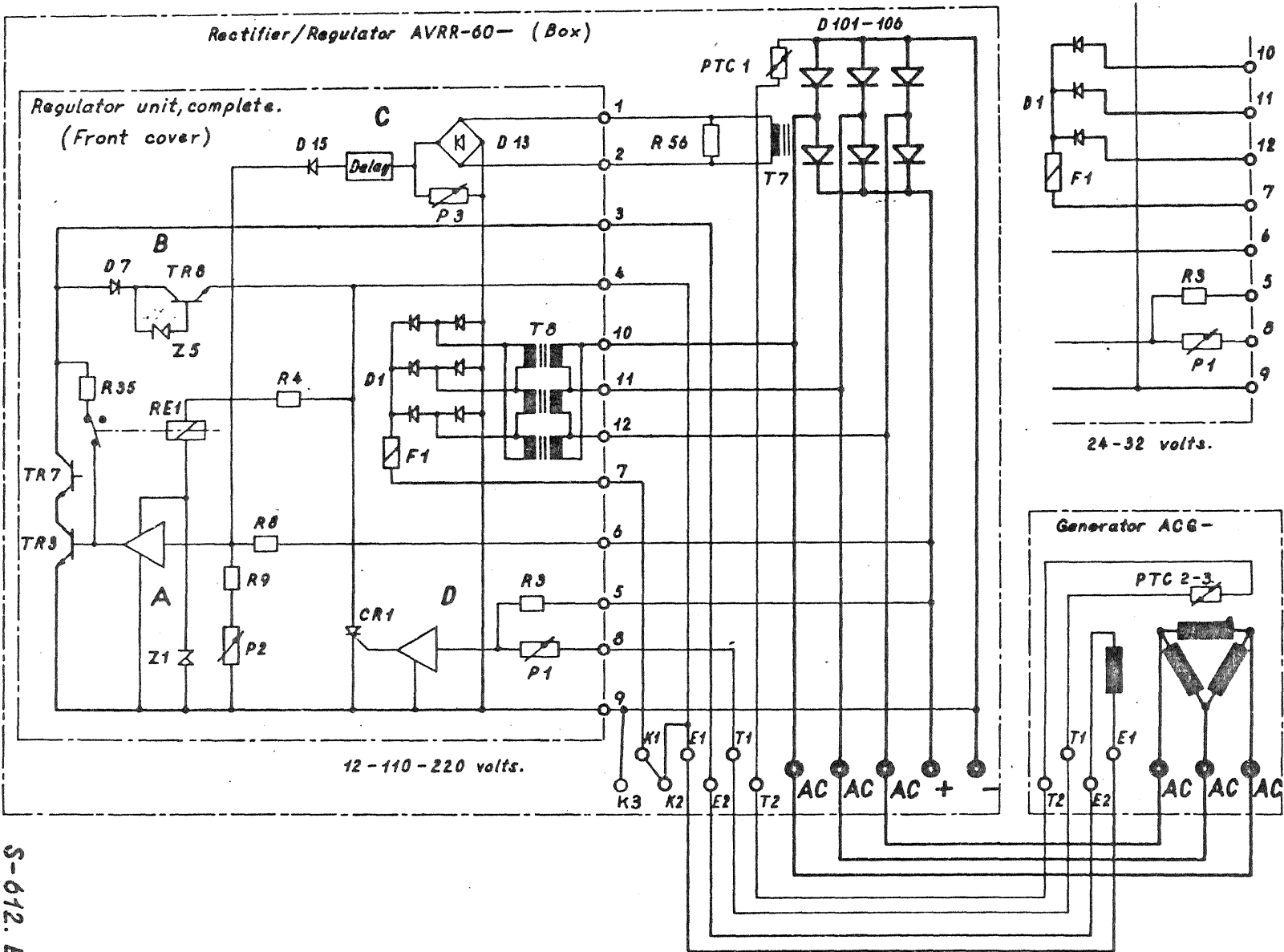
PHONE: (01-32) FASAN 9807
TELEX: 22917 - TRANS dk
CABLES: FORMERTRANS

CODE:
06.6.01 E.

Factory for Rotary Converters, Motor Generators, Frequency Converters, D. C. Dynamos, D. C. Motors, A. C. Generators, Charging Generators, Automatic Starters and Regulators for our Converters

Brushless and transistorized charging and current supply unit

Schematic circuit diagram S-612.E.



S-612.E.



Transmotor
ELECTROTECHNICAL FACTORY

FINSSENSVEJ 6E
DK-2000 COPENHAGEN F
DENMARK

PHONE: (01-32) FASAN 9807
TELEX: 22917 TRANS dk
CABLES: FORMERTANS

CODE:
05.6.01 E

Likriktare L2

Sex-puls diodbrygga. Monterad på två små kylflänsar.

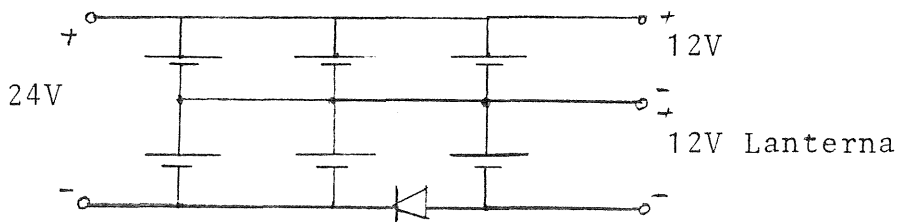
Filterkondensator C

40 V, 22 mF

Brytfrekvensen har ej kunnat beräknas eftersom resistanserna i kretsen ej varit kända. Men kretsen är mycket lågohmig. En uppskattning ger att brytfrekvensen bör ligga någonstans mellan 100 och 1000 Hz. (Ej heller induktanserna i kretsen är kända). Ripplet från L2 har en frekvens på 1200 Hz vid 1000 rpm .

Batterier

Sex stycken 12 V 70 Ah blyackumulatorer(Tudor Marin).
Kopplade enligt nedanstående figur.



Denna koppling har gjorts för att lanternans batteri ej skall urladdas av övrig utrustning, men laddas av generatortorn tillsammans med de övriga.

Batterilådan är försedd med ett separat ventilations system.

Kontaktorer ME, MF, LE, LF

4 st avsedda för 24 V 50 Hz. Ombyggda för likströmsmanöver genom att 90 ohms förkopplingsmotstånd har satts in, för att begränsa strömmen sedan kontaktorerna dragit.

Dragkretsen: 0,24 A hållström, 4,8 A tillslagsström.

PLACERAS I AC-STÄLLVERK

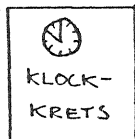
KONTAKTOR 3X 40A, 4X 6A brytförmåga

öppnar (ö) resp sluter (s)
vid ström genom styrsolen (a & b)
Relä 21-22 sluter senare än övriga.

VIPPSTRÖMSTÄLLARE,

3-POLIG, 2-VÄRS OMKOPPL.

JORD
+24V



L=LADDNING (JORDEN)
M=MÄTNING (JORDEN)
J=SIGNAL (+24V)

+24V=SPÄNNING TILL
MÄTUTRÖSTNING
OCH SÄNDARE

FÄLTREG+
EFFEKT

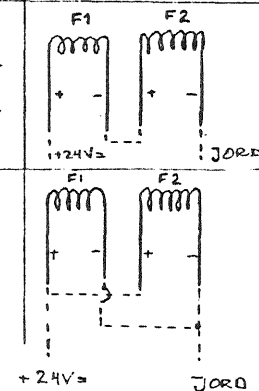
FÄLTREG+ BAT.
F1-
FÄLTREG- BAT.

TRAFÖ - BATTERI LADDNING
+ FÄLTREG. BATTERI LADDNING

FÄLTRETSENS KOPPLING

BATTERI-
LADDNING

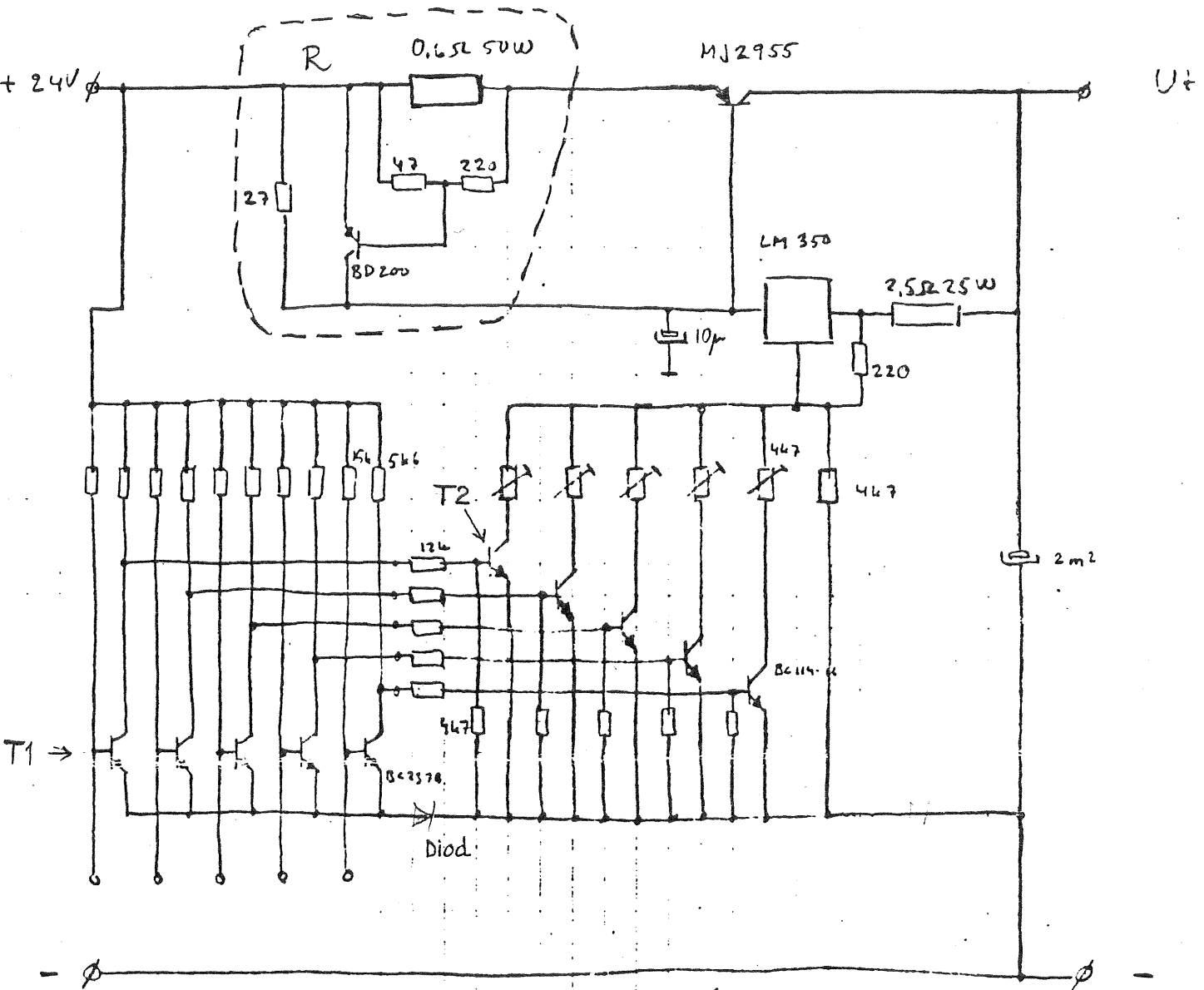
MÄTNING



KONTAKTOR OCH KLOCKKRETS.

VÄGEN OCH PROJEKT-TROBÄUREN

Inst. för Elektro-



Fältströmsvariator

Viehkraft boj

CTH elmask

850 09 04 RGH

Kontaktorerna: Termisk märkström 40 A

Brytförmåga: 15 kW vid 220 V vxsp

ca 10 A vid 24 V likspänning

Inkoppling se nästa sida.

Dämpningsregulatorn RM

Följande beskrivning hänför sig till figur på sid.

När ingångarna 1,2,3,4 eller 5 jordas, strypps transistorerna T1 i respektive gren och motsvarande transistor T2 börjar leda. Via en potentiometer ger denna ström ett börvärde på spänningen på utgången till LM 350. Om spänningarna inte är lika drar LM 350 ström ur basen på pnp transistorn M32955. Denna börjar då också leda mer ström. Dvs den förstärker LM 350:s funktion. Kretsen R är en strömreglering. Om strömmen minskar genom 0,6 ohms motståndet ökar spänningen på basen till BD 200 som då strypps, varigenom Mj 2955 börjar leda mer, respektive tvärt om om strömmen ökar.

Ingångsstegen strypps genom att styrenheten, via en transistor lägger respektive ingång till jord. För att denna transistors kollektor emitterspänning ej skall vara för hög i förhållande till ingångsstegens bas-emitter spänning har en diod satts in som höjer potentialen på emittrarna på ingångsstegen.

Denna regulator ger ej en ren strömstyrning utan strömmen bestäms av spänningen på utgången av LM 350. Därför finns det skäl att byta ut denna regulator mot en ny, som då helst bör sitta i ankar kretsen istället för att bli ytterliggare snabbare. Den kan då gärna ha möjlighet att variera dämpkaraktersistiken. T.ex. förutom linjär dämpning kunde stigande repsektive fallande karaktersistik .med varvtalet provas.

Styrenheten (klockenheten)

Styrenheten består av en oscillator (SAJ 300 R), frekvensdelare och ett effekt steg.

Oscillatorns grundfrekvens (4,194812 MHz) delas ner till pulser var 10,15,20 och 60 minut. Med en omkopplare kan de tre första intervall tidernas pulser på föras en räknare med sex utgångar som blir höga konsekutivt (Räknarens typnummer:14017), varigenom utgångsstegen drar och jordar utgångarna 7,8,9,10,11 och 12. De fem första är anslutna till dämpningsregulatorn. Om pulserna på ingången till räknaren uppträder mer sällan än var 10:de minut hinner inte alla utgångarna dra under den timme grindarna innan utgångsstegen är öppna.

Var 60 minut dras utgångarna 4 respektive 5 till jord via effektsteg, som tillåter 10 A under en knapp sekund och sen 3 A. Utgång 4 drar kontaktorerne ME och MF; utgång 5 LE och LF.(+ matningen till kontaktorerens manöverkretsar tas från samma punkt som matar klockan med positiv spänning)

Följande fältströmmar erhålls:

ST7	-	RL1	medför	$I_f=1$	A
ST8	-	RL3	medför	$I_f=3$	A
ST9	-	RL5	medför	$I_f=5$	A
ST10	-	RL2	medför	$I_f=2$	A
ST11	-	RL4	medför	$I_f=4$	A
ST12	-	-	medför	$I_f=8$	A

Styrenhetens spänningsförsörjning inkopplas vid plintens 1:a (+24 V) och 2:a (jord). (även plintens 3 och 6 är jord)

En batterivakt känner matningsspänningen (batterispänningen) och om denna understiger ett inställt värde (24 V) kan styrenheten ej växla från laddning till mätning utan batterierna laddas under ytterligare en timme.

Undersökning bör göras för optimal inställning av batterivakten. Vid långvarig stilltje kan det finnas skäl att även koppla bort

Batteriladdnings kontakterna (drar 0,5 A tillsammans), för att ej riskera förstöra batterierna.

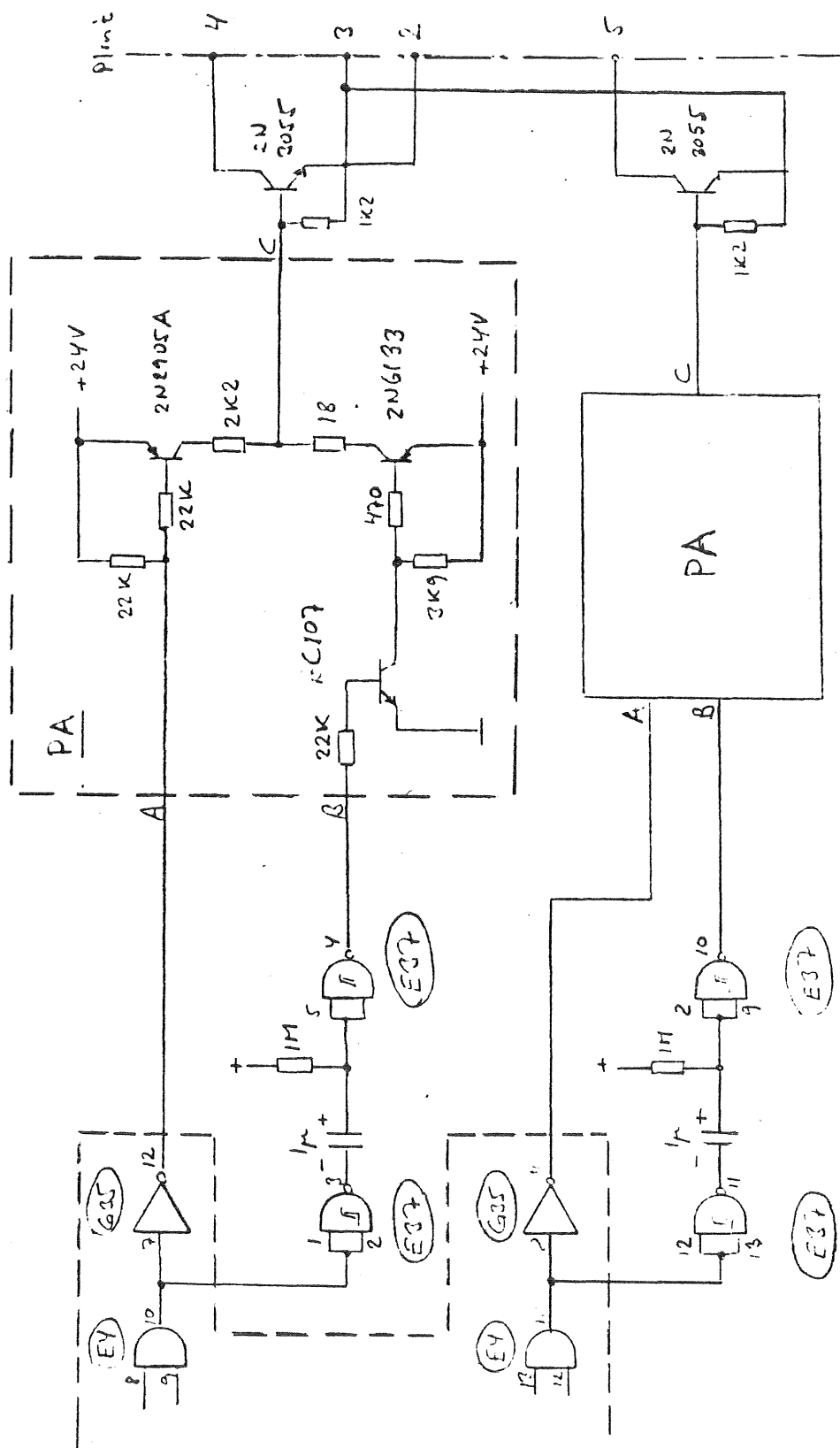
Styrenheten har försetts med två omkopplare. Den ena bryter bort utgångarna 4 och 5 så dessa ej kan dra sina kontakter, den andra möjliggör eget val av driftsätt.

Följande två sidor visar styrenhetens kopplingsschema.

Klockenhet, offelsteg

20.09.02

- 27 -



Säkringar

S1 60 A tröga
S2 16 A tröga
S3 25 A trög
S4 2 A trög

Övriga komponenter

Plastlådor införskaffades för att skydda komponenterna mot korrosion. Följande fyra plastlådor finns:

1. Sändarlåda
2. AC-låda
3. DC-låda
4. Styrenheten

AC-lådan innehåller: ME, LE, S1, L2, C, S2

DC-lådan innehåller: MF, LF, B1, S3, B2, B3

L1 och RL sitter i en droppskyddad plåtlåda. Laddningstransformatorn T är plåtkapslad. RM sitter på en egen kylfläns o-skyddad på grund av kylbehov.

Följande två sidor visar kopplingsschema för plintarna i AC respektive DC lådorna.

Komponentplacering

Lådorna monterades på träskivor. Batterilådan placerades mitt emot generatoren. Till vänster om generatoren (från Batterilådan sett) monterades AC-lådan, transformatorn och plåtlådan med RL och L1. På träskivan till höger om generatoren placerades DC-lådan, Sändaren, Styrenheten och dämpningsregulatorn. En tredje skiva finns över batterilådan. Där sitter batterifrånskiljaren och brytare och kontakt för 12 V extra uttag. (I DC lådan sitter extr utgången för 24 V).

Kablarna mellan de olika objekten placerades i kabelrännor av plast som spikats upp.

7-80 0720

Schema för kopplingsplintarna

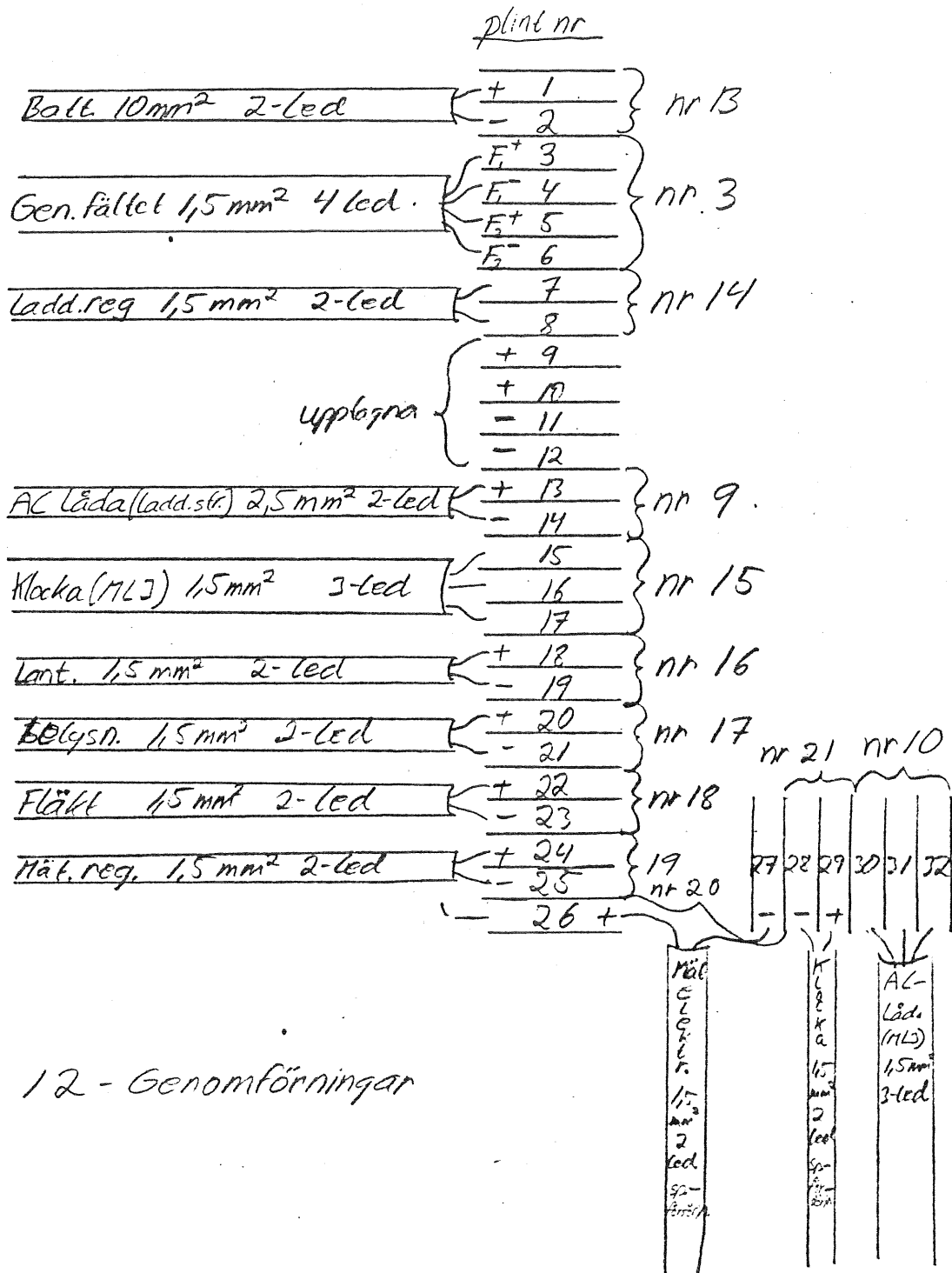
AC-lådan

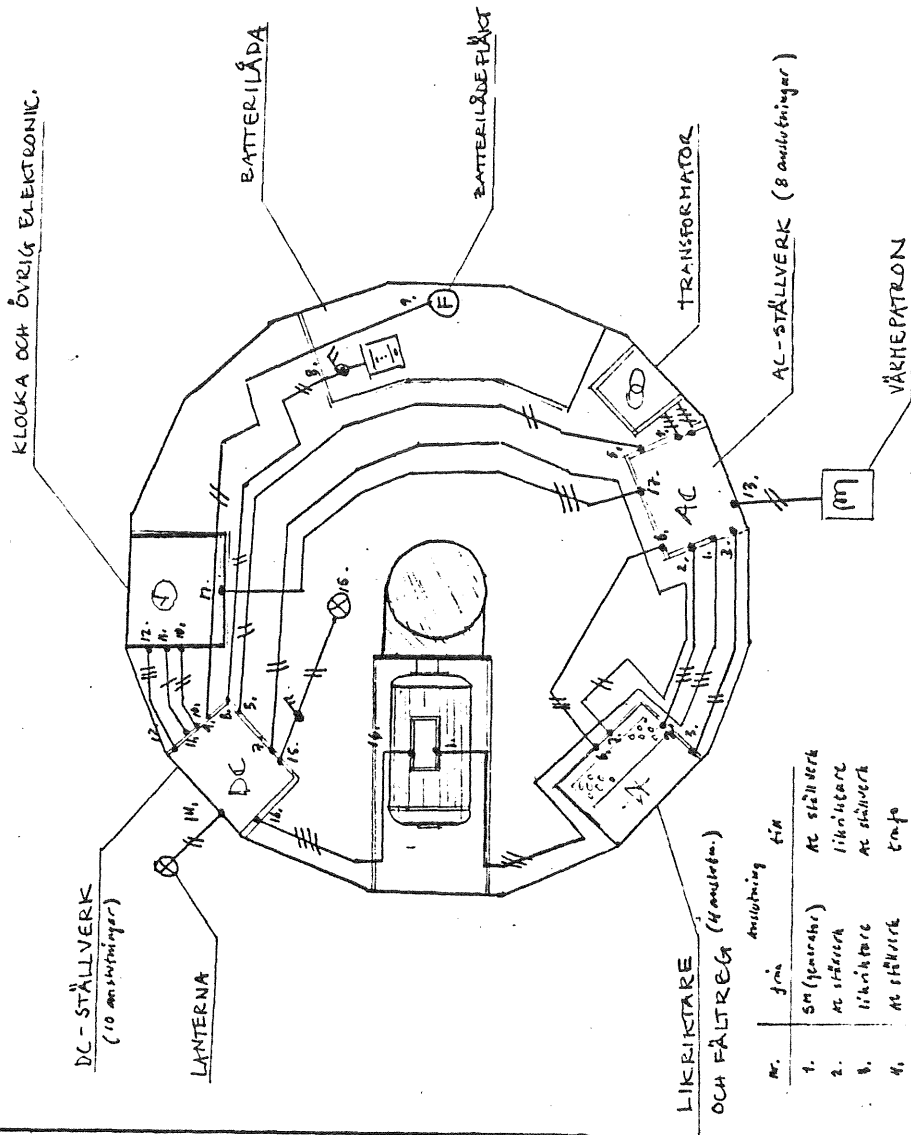
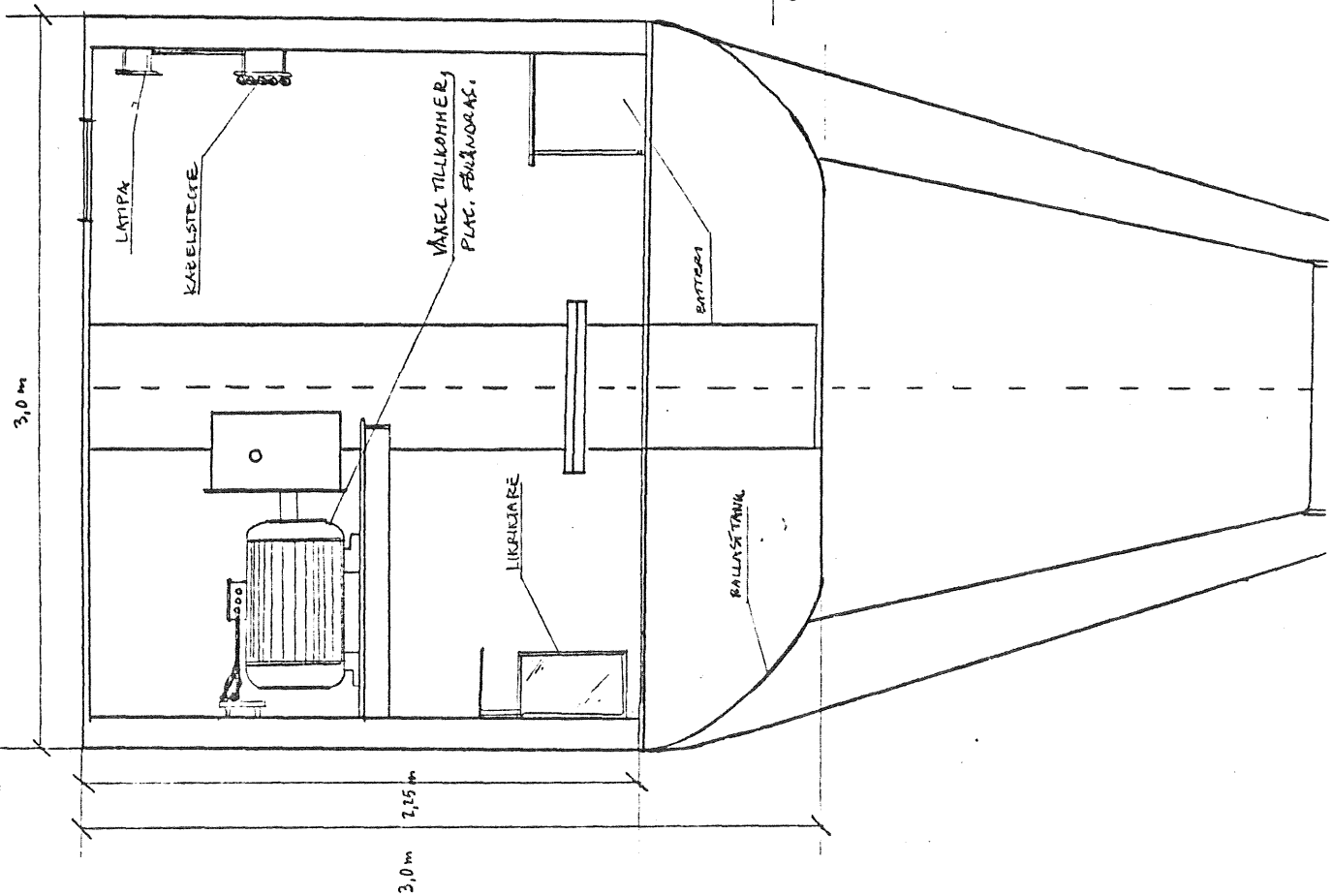
plint nr.

Gen. 1,5 mm ² 3-led. skärm	R 1	nr 7
	S 2	
	T 3	
EFF. Litr. 10 mm ² 2-led	+ 4	nr 4
	- 5	
Ladd.trafo uppsp. 1,5 mm ² 3-led + skärm	R 6	nr 5
	S 7	
	T 8	
Värmepatron 10 mm ² 2-led	+ 9	nr 6
	- 10	
	11	
Ladd.trafo nedsp. 2,5 mm ² 3-led skärm	R 12	nr 7
	S 13	
	T 14	
str.trafo 2,5 mm ² 2-led + skärm	15	nr 8
	16	
	17	
	18	
	19	
	20	
	21	
DC-ladd (ladd. strö) 2,5 mm ² 2-led	+ 22	nr 9
	- 23	
	24	
	25	
	26	
	27	
	28	
	29	
	30	
	31	
	32	
DC-ladd (LH) 1,5 mm ² 3-led	L 33	nr 10
	M 34	
	J 35	

Schema för kopplingsplintarna

DC-lådan





Nr.	från	anslutning	fin
1.	SM (generatör)	AC ställverk	
2.	AC ställverk	likriktare	
3.	likriktare	AC ställverk	
4.	AC ställverk	tempo	
5.	AC ställverk	DC ställverk	
6.	AC ställverk	fältreg. batteriladd.	
7.	fältreg. batteriladd.	DC ställverk	
8.	DC ställverk	batteri	
9.	DC ställverk	batteriladd. fläkt.	
10.	DC ställverk	varmning klocka	
11.	DC ställverk	separat varmning mätutrustn.	
12.	Klocka	DC ställverk	
13.	AC ställverk	varmning panna	
14.	DC ställverk	lampa	
15.	DC ställverk	belgning	
16.	DC ställverk	fältreg. (SM)	
17.	DC ställverk	per. ställverk	

KABELDRAGNING.

VÄRMEPÄTRONPROJEKT-TRADITIONEN

Inst. för Elektr.

KAPITEL 7

7 MÄTSYSTEM OCH SIGNALÖVERFÖRINGSSYSTEM

- 7.1 IPS-bojens mät- och signalöverföringssystem
- 7.2 Kraftgivaren
- 7.3 Tachogeneratoren
- 7.4 Accelerometer
- 7.5 Strömshunten
- 7.6 Spänningsmätningen
- 7.7 Vågmätaren
- 7.8 Mätförstärkare och radioöverföring
- 7.9 Filtret
- 7.10 Datainsamlingssystem
- 7.11 Resultat och erfarenheter

Bilagor

- 7:1 Interprojektbojen Kalibrering av kraftgivare
- 7:2 Kalibrering av accelerometer
- 7:3
- 7:4
- 7:5 Förtöjningsarrangemang för vågmätbojen
- 7:6 8-Kanal-Universal-Messverstärker 8 MV1
- 7:7 Principschema över mätsystemet
- 7:8 Allgemeine Beschreibung
- 7:9 Tillfälligt tillstånd att inneha och använda radiosändare
- 7.10

7 MÄTSYSTEM OCH SIGNALÖVERFÖRINGSSYSTEM

7.1 IPS-bojens mät- och signalöverföringssystem.

Avsikten med mätningarna var framför allt att bekräfta den höga hydrodynamiska verkningsgrad som erhöles under försöken med modellbojen i Lygnern sommaren 1979. Den viktigaste uppgiften var alltså att registrera bojens upptagna effekt och relatera den till vågornas.

Med kännedom om kraften på kolvstången och dess hastighet relativt bojen, kan den upptagna momentana effekten bestämmas.

Vidare ger den till värmepatronen avgivna energin information om energiomvandlingens effektivitet. Ström och spänning mättes därför på likspänningssidan över värmepatronen.

Vi ville också ta vara på möjligheten att verifiera de matematiska samband som tagits fram för modeller av detta bojssystem. Med en accelerometer i bojen, relativhastigheten boj-stång samt vattenytans läge nära bojen från en liten accelerometerboj kan ett samband vågor - bojrörelse tas fram.

7.2 Kraftgivaren

För beräkning av den upptagna hydrodynamiska effekten krävs för den här typen av kraftverk att man känner kraften i stången och relativhastigheten mellan boj och kolvstång. Hastigheten var relativt enkel att mäta då det räckte med en tachogenerator på generatoraxeln.

Däremot var det ej helt lätt att mäta kolvstångskraften, men efter att ha gått igenom de olika alternativ vi hade kommit fram med valdes det arrangemang som visas i kapitel 5.

Själva kraftgivaren är uppbyggd med utgångspunkt från ett ämnesrör, $\emptyset_y = 32 \text{ mm}$, $\emptyset_i = 16 \text{ mm}$, kvalitet SIS 2172. Röret kapades till 216 mm's längd och gängades i båda ändarna för M18-skruv. Röret svarvades ned så att tvärsnittsarean blev 200 mm^2 på en sträcka av 100 mm. Två stycken XY-trådtöjningsgivare limmades symmetriskt på mitten av den svarvade delen och kopplades så

att kraftgivaren blev helt kompenserad för böj- och vridmomentinverkan. Trådtöjningsgivarna och kopplingspunkterna täcktes med en speciell täckmassa. Ett lager silikongummi och slutligen eltejp lades på som mekaniskt skydd.

Kraftgivaren kalibrerades mot en mekanisk våg med mätområdet 2500 kp och noggrannheten 1% av fullt utslag. Vid kalibreringen användes den bryggförstärkare som finns beskriven nedan. Samma kanal som sedan skulle användas för mätningen av kolvstångskraften användes vid kalibreringen. Bryggmatningsspänningen var såväl vid kalibrering som senare vid mätning ± 5.0 volt.

Resultatet av kalibreringen visas i bilaga 7:1.

Som synes är lineariteten god och hysteresen försumbar för dessa mätningar.

7.3 Tachogeneratoren

Generators varvtal och därmed relativhastigheten mellan kraftverksbojen och kolvstången mättes med en tachogenerator monterad direkt på generators fria axelände. Tachogeneratoren är mångpolig och av likströmstyp. Tachogeneratoren kalibrerades på inst för elektromaskinlära på CTH. Kalibreringsfaktorn blev 141.2 rpm/volt.

Eftersom generatorvarvtalet beräknades kunna uppgå till max 1500 rpm och då signalöverföringssystemet klarade ± 1.5 volt delades tachospänningen ner med en faktor 1/12. Således blev den totala kalibereingsfaktorn 1694 rpm/volt.

7.4 Accelerometer

Accelerometers uppgift var att ge information om kraftverkets rörelse i "axiell" led. Accelerometern tejpades fast ovanpå elektroniklådan och var således helt kraftverksfixerad. Detta arrangemang medför att man får en felaktig signal när kraftverket lutar, men vid de små vinklar som vi väntade oss blir denna inverkan nästan försumbar. Emellertid visade det sig att

lutningsvinkeln blev betydligt större än väntat, ända upp till ca 35 grader. Accelerometerarrangemanget ändras förmodligen till nästa försöksomgång, t ex genom att accelerometern fästs i en dämpad pendel.

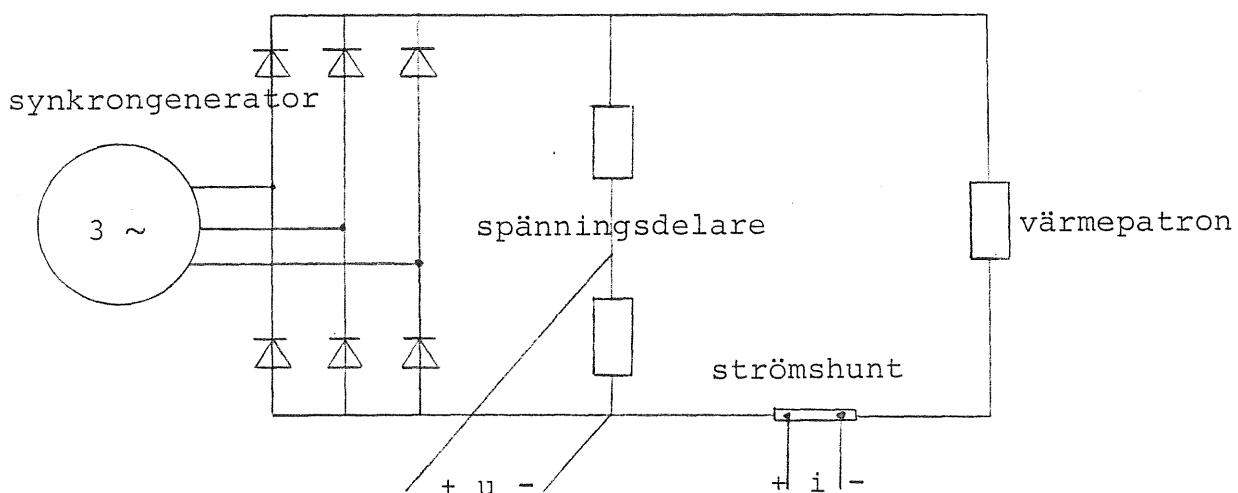
Den accelerometer som använts är av resistiv typ (trådtöjningsgivarbrygga), fabrikat Swema typ SAJ-2, se bilaga 7:2. Accelerometern kalibrerades 800102 med hjälp av ett lutande plan. Resultatet visas i bilaga

7.5 Strömshunt

Strömmätningen gjordes på likspänningssidan med en 0.01Ω mätshunt. Kalibrering enligt bilaga 7:3.

7.6 Spänningsmätningen

Via en spänningsdelare $140 \text{ V} / 1 \text{ V}$ på likspänningssidan matades bryggförstärkaren med värmepatronens matningsspänning, se bilaga 7:4.



Hela mätsystemet svävade alltså på kraftsystemets potential till jord. Men bryggförstärkarens nätbel isolerar förstärkaren från batterierna, så risk för jordströmmar bedömdes som liten.

7.7 Vågmätaren

Vågorna mättes med en accelerometer som monterades inuti en liten mätboj, diameter 0.45 m. Accelerometern var av samma typ och fabrikat som den som användes för mätning av kraftverksrörelsen. Två olika arrangemang för förtöjning av vågmätbojen provades, se bilaga 7:5. Det visade sig vara ett svårt problem att få denna

att ligga utan krängning i den starka ström som ofta rådde. Emellertid fick vi sådana erfarenheter av de här försöken att vi till nästa försöksomgång vet vilka förtöjningsarrangemang som kan fungera tillfredställande.

7.8 Mätförstärkare och radioöverföring

Eftersom flertalet givarsignaler är små, några tiotals mV, samlades signalerna till en 8-kanals bryggförstärkare av fabrikat John+Reilhofer, se bilaga 7:6. Hela mätsystemet visas i blockschema i bilaga 7:7.

En viktig del i mätsystemet var signalöverföringen till land och mottagaren, ca 17 km från bojen. Vi valde ett 8-kanals PCM-system, se bilaga 7:8. 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 sändare och mottagarantenn. Vi valde ordinära TV2-antennerna för både sändare och mottagare. De har en relativt smal lob, 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, för att minska dämpningen av antennsignalen.

För dessa mätningar erhöles ett tidsbegränsat radiotillstånd, se bilaga 7:9.

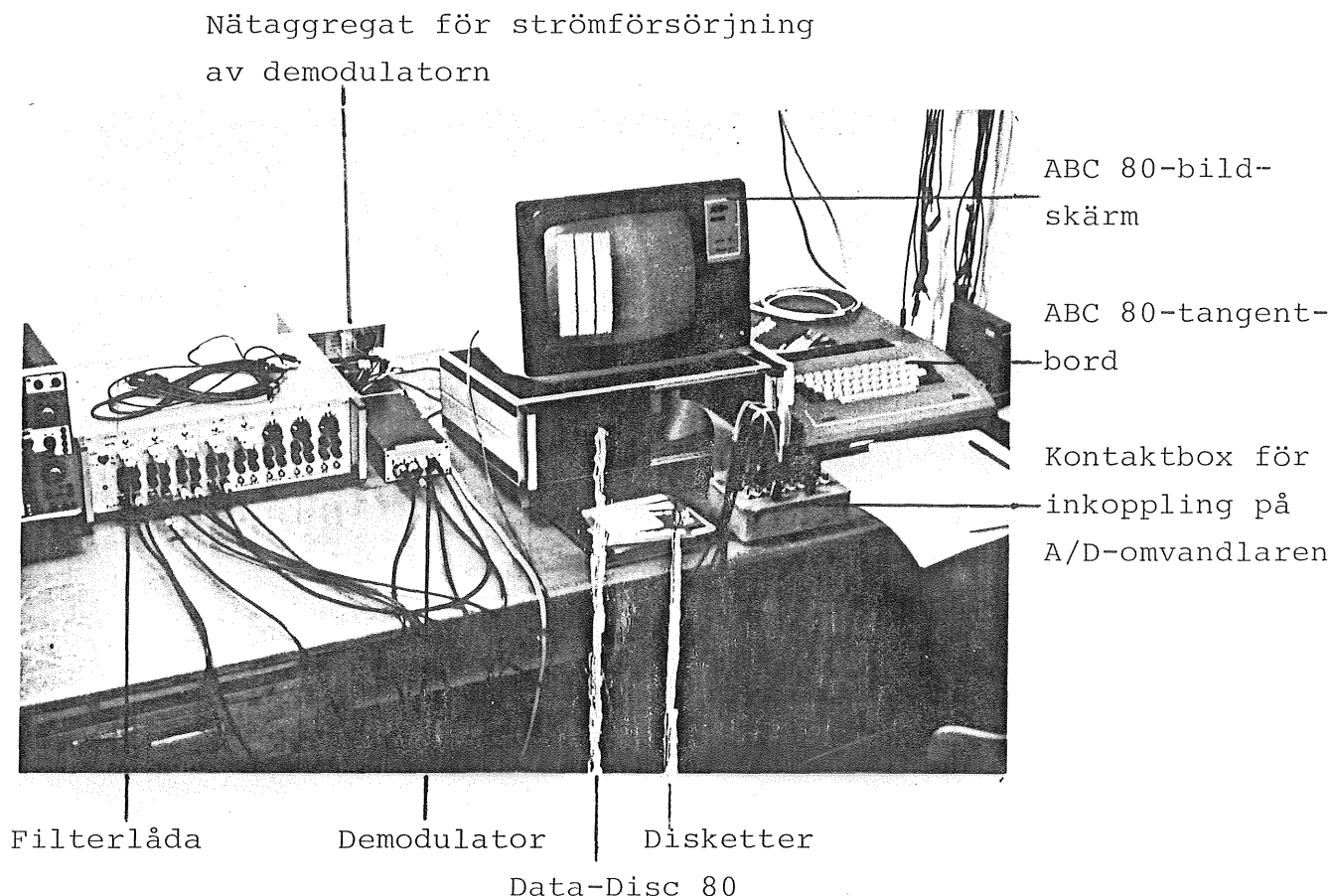
7.9 Filtret

Från mottagarens demodulator gick mätsignalerna till ett variabelt lågpassfilter, typ 3:e ordningens Bessel. Både förstärkningen 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 5Hz finns i filtret. Se bilaga 7:10.

7.10 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-Discen. 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. ABC 80-datorns egen minneskapacitet tillåter drygt 1000 mätvärden per kanal vid fem kanaler som 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 figuren nedan visas mätinsamlingssystemet.



7.11 Resultat och erfarenheter

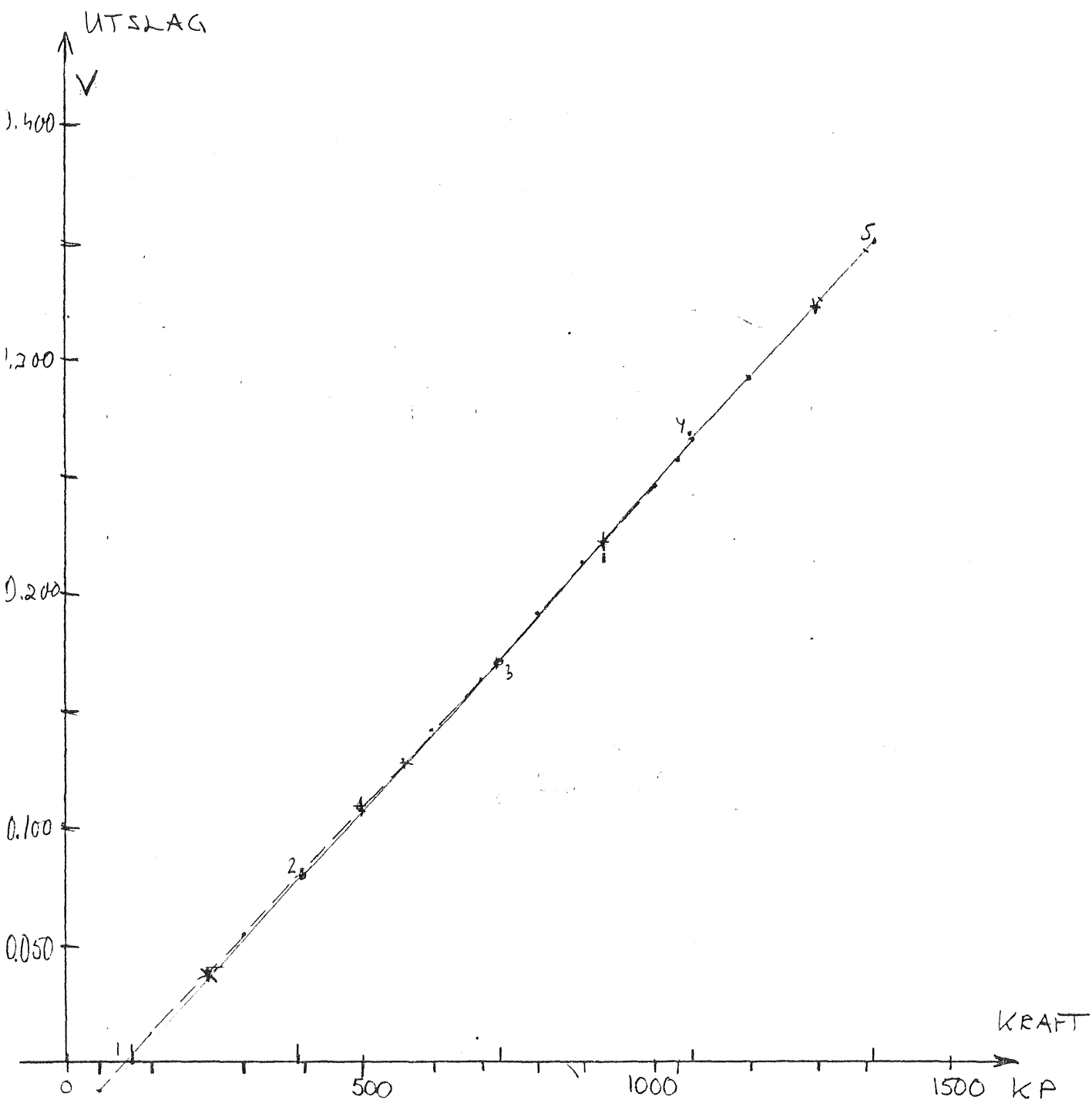
Några egentliga vågenergimätningar gjordes aldrig på mekaniska problem, se kapitel 5. Däremot genomfördes förankringskraftmätningar, se kapitel 8. Härvid noterades vissa problem med bryggförstärkarens funktionssätt. Den är försedd med automatisk nollställning för kompensering av offset-spänningar på osymmetrier i ex-vis givare. Denna automatiska nollställning förutsätter en kortslutning av signalingången under nollställningstiden om bryggmätningen ska bli symmetrisk. Detta är ett krav om man är intresserad av att mäta ev bias givarsignalerna som till exempel förankringskraften. Denna kortslutning kräver en elektroniktillsats som vi inte hade möjlighet att anbringa eftersom problemet upptäcktes först efter sjösättning av kraftverket. Svårigheterna ökade ytterligare när det visade sig att bryggförstärkarna vid tillslag fick en godtycklig offset. Denna egenhet undersöks för närvarande ihop med tillverkaren då det kan tänkas att detta fel uppstått under tiden förstärkarlådan satt i kraftverket.

Radiosystemet fungerade tillfredställande under de mätningar som gjordes. Signalnivån på sändaren uppgick som mest till 5/8 av full nivå. Denna avlästes direkt på sändaren där 8 st lysdioder visar vilken signalnivå man har. Att signalnivån ej var högre beror förmodligen på att anpassningen mellan antenn och antennkabel ej var helt riktig. En rundstrålande antenn inköptes men kunde aldrig provas. Detta kommer att göras på land vintern 80/81.

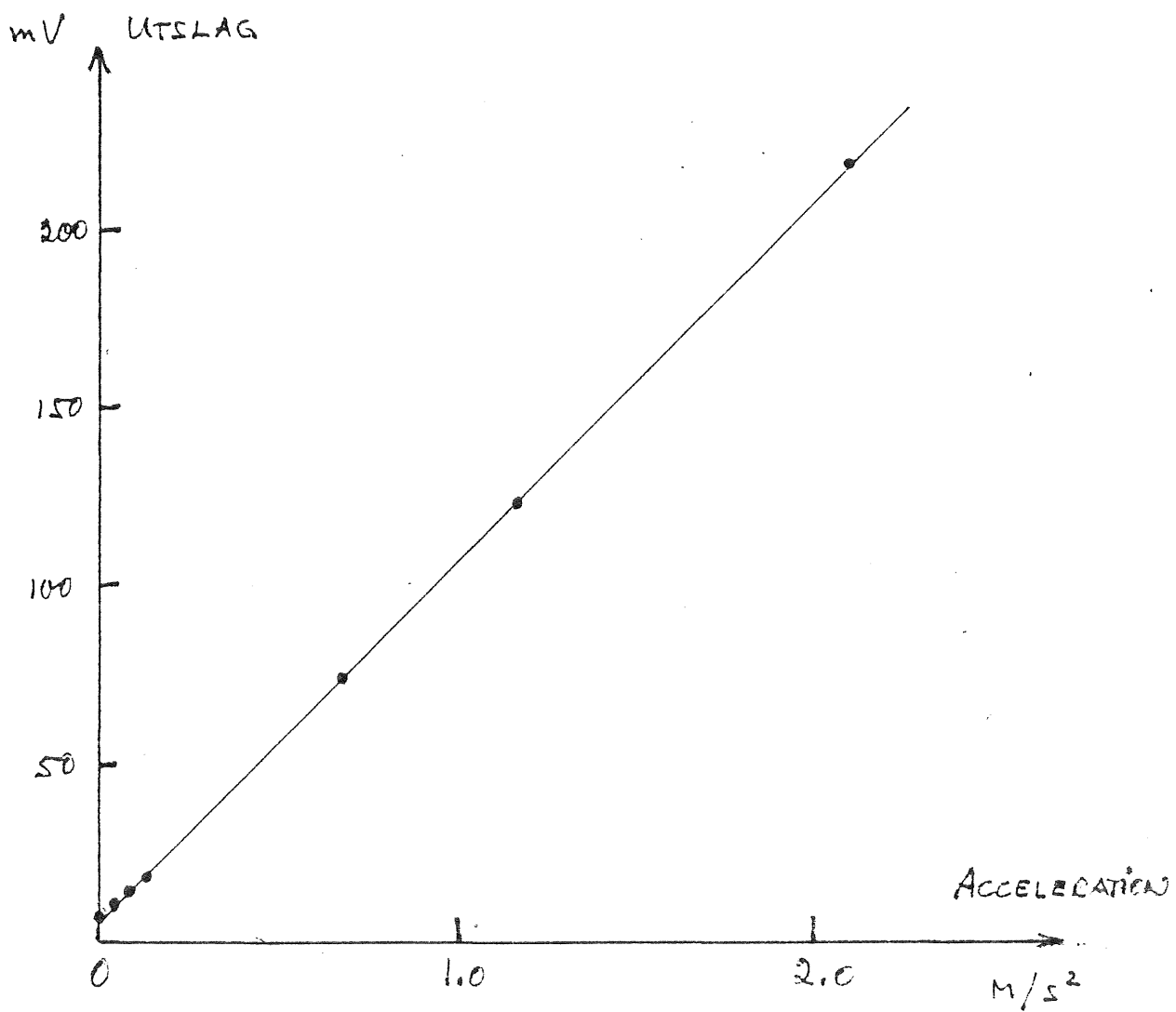
På mottagarsidan var signalnivån 1-2/8 av full nivå. Detta beror givetvis på att avståndet mellan sändare och mottagare var stort samt att det fanns en del hinder för radiosignalen. Förhållandet går ej att åtgärda, men med en bättre signalnivå på sändarsidan bör ju även mottagarsignalen bli starkare.

Datainsamlingssystemet fungerade helt utan fel vid de förankringskraftmätningar som gjordes och kan användas utan ändringar nästa försöksomgång. Dock gäller att om fler än fem signaler ska mätas så måste ABC 80-datorns minneskapacitet utökas.

Interprojekttbogen Kalibrering av kraftgivare



KALIBRERING AV ACCELEROMETER



Strömshunten kalibrerades mot en resistansnormal på 0,00999990 ohm.

I	U _{ref}	U _{shunt}
A	mV	mV
10	99,993	100,006
30	300,03	300,09

Spänningarna mättes med digital voltmeter med 5 siffrors noggrannhet.

$$R_{\text{shunt}} = \frac{U_{\text{shunt}}}{U_{\text{ref}}} \cdot R_{\text{ref}}$$

Medelvärdet gav

$$R_{\text{shunt}} = 0,0100015 \text{ ohm eller } 99,985 \text{ A/V från givaren.}$$

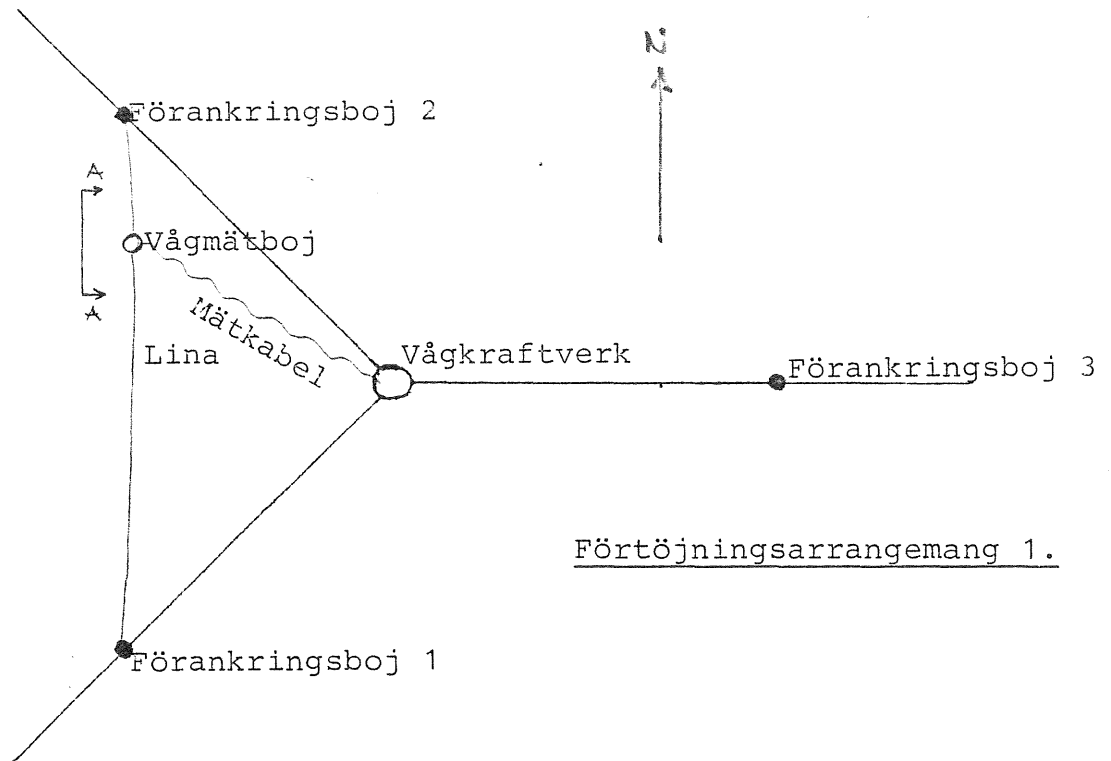
Bilaga 7:4

Spänningsdelaren består av två metallfilmsmotstånd, relativt stabila.

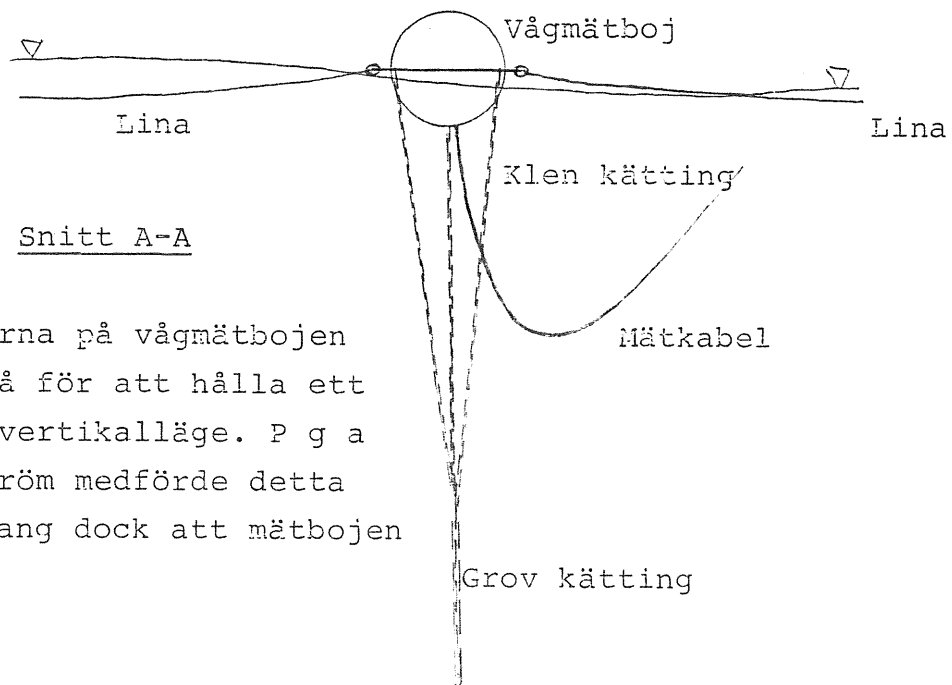
U _{in}	U _{ut}
V	V
133,97	0,9561
269,4	1,944

Skalfaktorn blir 139,4 V/V i givaren.

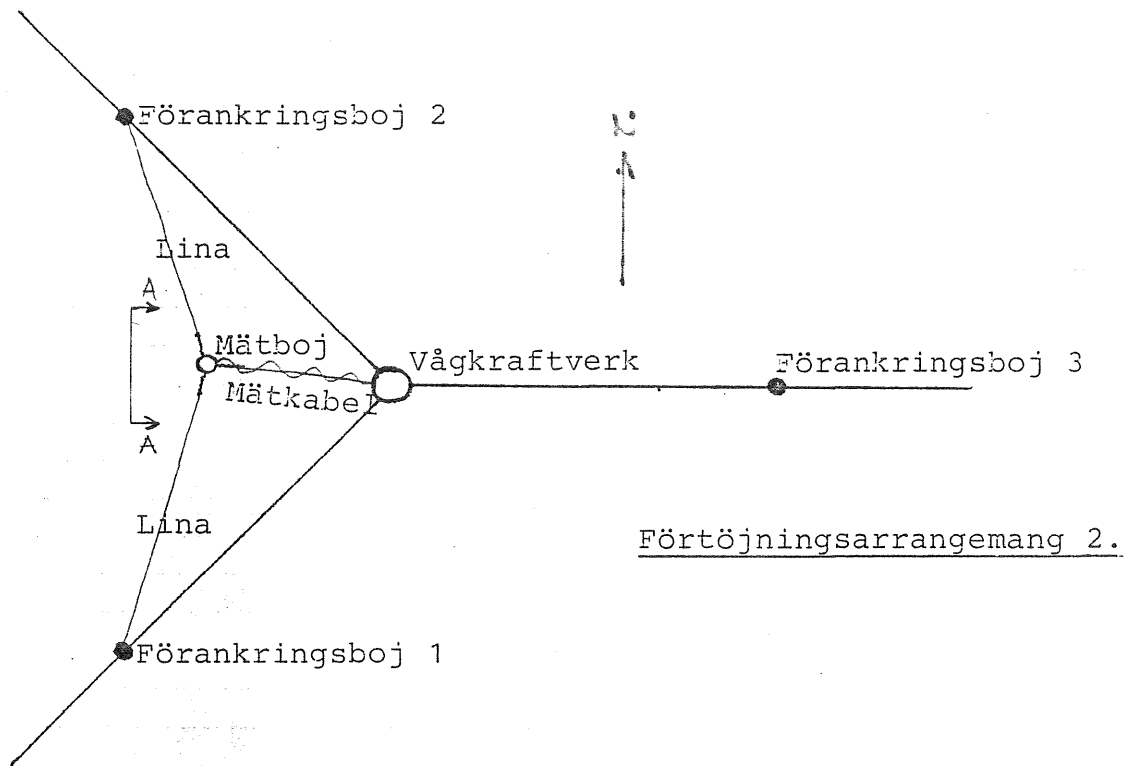
Förtöjningsarrangemang
för vågmätbojen.



Förtöjningsarrangemang 1.

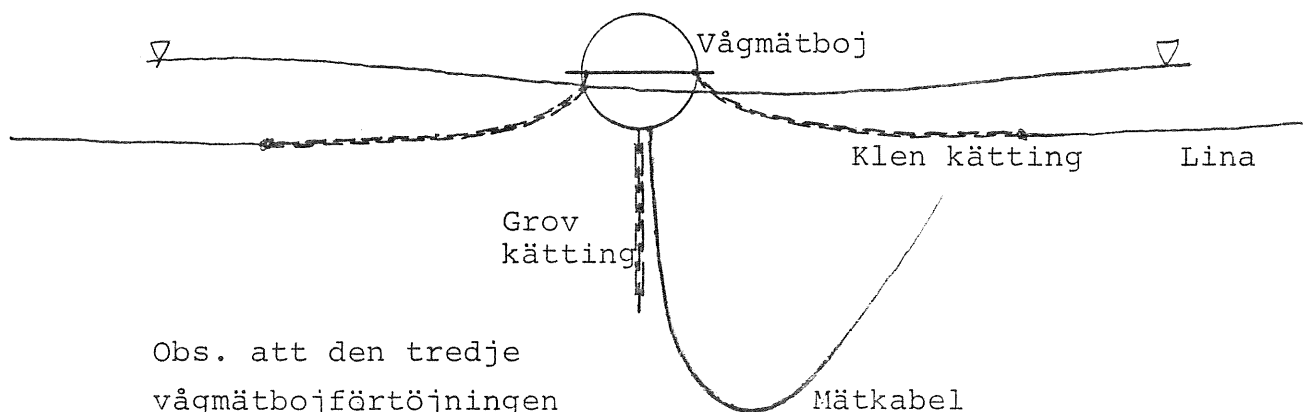


Kättingarna på vågmätbojen sattes på för att hålla ett stabilt vertikalläge. P g a stark ström medförde detta arrangemang dock att mätbojen krängde.

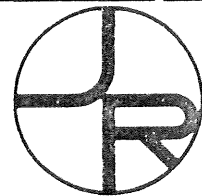


Förtöjningsarrangemang 2.

Snitt A-A



Obs. att den tredje vågmätbojförtöjningen inte syns i denna figur då den sitter på baksidan av bojen. Även detta arrangemang var strömkänsligt, men genom att fästa upp mätkabeln till förtöjningslinan till kraftverket förbättras egenskaperna avsevärt.



8-Kanal-Universal-Meßverstärker 8 MV 1

Eine ideale Ergänzung für Johne + Reilhofer PCM-Systeme stellt der Meßverstärker 8 MV 1 dar, der trotz einfachster Handhabung alle heute erreichbaren Leistungsmerkmale aufweist. Der besonders kompakte und leichte 8-Kanal-Verstärker kann mit 9 verschiedenen Verstärkermodulen bestückt werden.

Für induktive und piezoresistive Meßwertaufnehmer stehen zusätzlich zu den DC-Differenzverstärkern auch Trägerfrequenzverstärker und Ladungsverstärker zur Verfügung. Das Grundgerät erlaubt eine Mischbestückung aller Verstärkertypen. Bei 8 Kanälen beispielsweise: 4 DC-Differenzverstärker, 2 Trägerfrequenzverstärker und 2 Ladungsverstärker.

Jeder Verstärkerkanal ist für eine feste Verstärkung (z. B. 100) ausgelegt, da die nachgeschalteten PCM-Systeme über einen Eingangsteiler verfügen, der sich in 5 Stufen um den Faktor 20 verändern läßt. In Stellung $\pm 0,5$ V für Vollaussteuerung ergibt sich, bezogen auf den Verstärkereingang, eine Meßwertauflösung von $\pm 2,5$ μ V für das 12 Bit-Datenformat.

Optionen

- 1 automatischer Nullabgleich. Verstärker können einzeln oder gemeinsam auf Null abgeglichen werden.
- G zusätzliche galvanische Trennung bis 1000 V, Gleichtakt-Unterdrückung 160 dB.

Testgeräte

TU 8

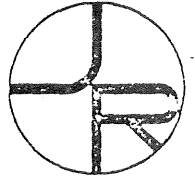
Testeinrichtung für alle Verstärkerfunktionen. Mit Kodierschaltern lassen sich bis zu 99 Meßverstärker (≈ 792 Meßkanäle) anwählen und kanalweise überprüfen.

PCU 8

Mikroprozessor Testeinheit zum vollautomatischen Testen umfangreicher Meßwerterfassungsanlagen vom Meßwertaufnehmer bis zum digitalisierten Meßwert.

Kurzdaten (DC-Differenzverstärker und Grundgerät)

Verstärkungsfaktor	100 (10 ... 200 auf Wunsch)
Genauigkeit	$\pm 0,025\%$
Temperaturdrift (bezogen auf Eingang)	≤ 1 μ V/ $^{\circ}$ C
Eingangswiderstand	5 M Ω
Rauschen	1 μ Vrms max. bis 100 Hz
Brückenspeisung	$\pm 0,5$ V, ± 1 V, $\pm 2,5$ V, ± 5 V
	galvanisch
	getrennt nicht getrennt
Gleichtaktspannung	1000 V ± 5 V min.
Gleichtaktunterdrückung	160 dB min (DC) 140 dB min (50 Hz) 100 dB (50 Hz)
Stromversorgung	110/220 V, 50/60 Hz und 10 ... 40 V DC
Gewicht	ca. 6 kg
Abmessungen	125 x 238 x 380 mm



1. Bedienungselemente und Anschlüsse

1.1 Frontseite 8MV1

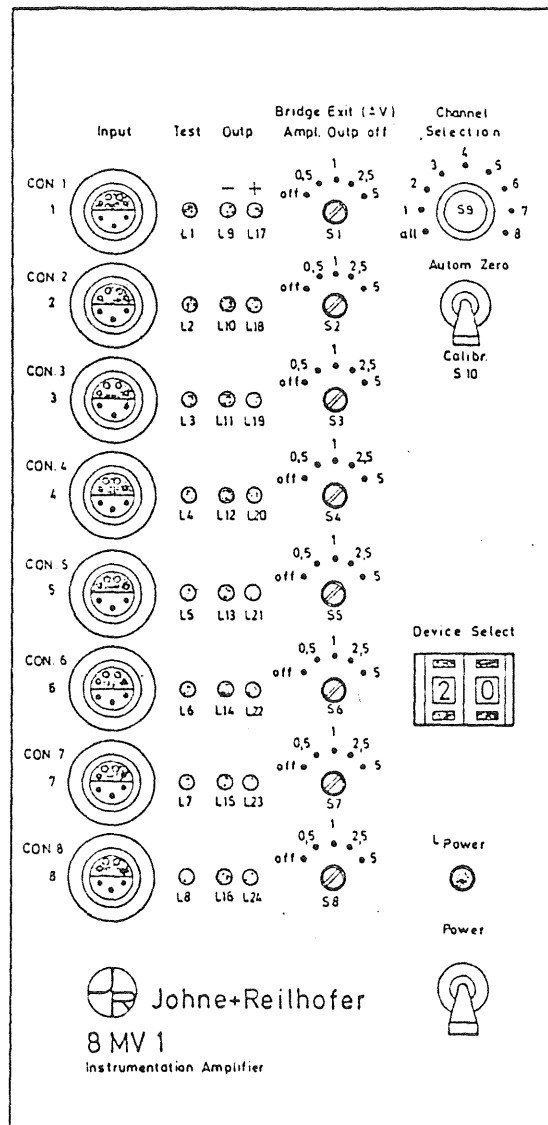
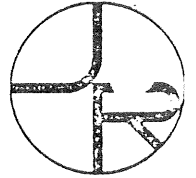


Abb. 1.1 Frontseite 8 MV1

Verstärker-Eingänge:
(Con1 bis Con8, "Input")

Die Buchsen der Verstärkereingänge sind fortlaufend von 1...8 nummeriert. Die Zahlen entsprechen gleichzeitig den Kanalnummern, d.h. das an den Eingang Nr. 1 gelegte Signal erscheint wieder an der Sammelbuchse des Analog-Ausgangs an dem Kanal Nr. 1 zugeordneten Stift. Zur Versorgung passiver Meßwertempfänger (DMS) ist an den gleichen Buchsen die Brückenspeisespannung herausgeführt. Die Stiftbelegungen, desgleichen die Art des Brückenanschlusses sind dem Anhang 8 MV 1 Application G 0123-C01-1 Blatt 1 und G 0123-C01-1 Blatt 2 zu entnehmen.



Brückenspeisung ($\pm$ V)
Verstärkerausgang ab-
geson. (S1 bis S8,
"Bridge exit".
"Amplifier output off")

In Schalterstellung "off" ist der Verstärkerausgang gesperrt und der Eingang mit dem Ausgang verbunden. Von dieser Möglichkeit ist dann Gebrauch zu machen, wenn ein Meßsignal unter Umgehung des Verstärkers einem nachgeschalteten Gerät (z.B. PCM-Gerät) direkt zugeführt werden soll, da andernfalls das Eingangssignal verfälscht wird. Die vier weiteren Stellungen der Schalter S1 bis S3 dienen zur Auswahl der Brückenversorgungsspannung, dabei ist die Versorgung eines Kanals unabhängig von der eines anderen wählbar. Die Schreibweise -5V für eine 10V-Versorgungsspannung rührt von der Symetrie dieser Spannung her.

Taster S 10

Am Taster S10 genügt ein kurzer Druck nach oben ("autom. zero") um den automatischen Nullabgleich zu starten, der innerhalb weniger Sekunden abläuft. In die entgegengesetzte Richtung, in die Stellung "Calibr." gedrückt, aktiviert er die Testfunktion zum Eichén der Brücken; d.h. die Brücken werden positiv verstimmt, entsprechend der Dimensionierung der Eichwiderstände (R42 - R45). Der Spannungspegel läßt sich mittels eines Voltmeters überprüfen. Die letztgenannte Testfunktion findet ihre Anwendung, wenn keine zusätzliche Testeinheit (TU 8) vorhanden ist. Andernfalls wird die Eichfunktion, d.h. eine positive bzw. negative Brückenverstimmung, vom Testgerät aus gestartet.

Ausgang
L9 bis L16, L17 bis
L34 "Output +/-")

Jeweils 8 "positive" und negative" Lämpchen dienen zur Kontrolle des Nullabgleichs. Die positiven Lämpchen (L17 bis L34) leuchten auf, wenn ein positiver Spannungsgrenzwert (+50mV) überschritten, die "negativen" Lämpchen (L9 bis L16), wenn ein negativer Grenzwert (-50mV) unterschritten wird. Die aufgeführten Werte beziehen sich auf den Ausgang des Verstärkers. Als Option ist eine Änderung der Dimensionierung der Spannungsschwellen zu haben.

Testen
(L1 bis L8, "Test")

Die Testlampen L1 bis L8 leuchten auf, wenn der Meßverstärker mit der Testeinheit TU8 verbunden ist und von dieser den Befehl zum Starten einer Testfunktion erhält.

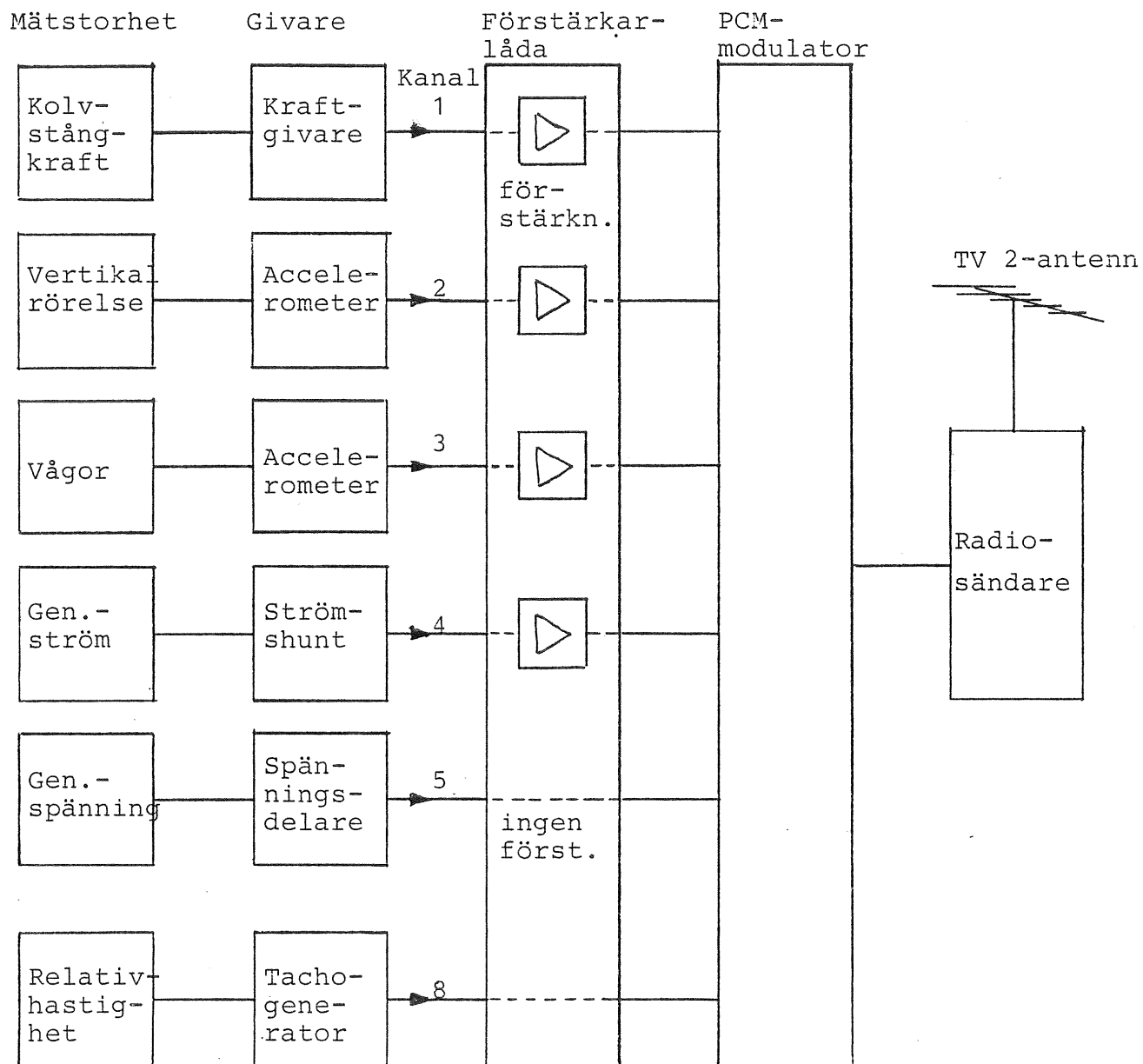
Kanalauswahl
(S9, "Channel Selection")

Die Zahlen 1...8 am Schalter S9 entsprechen den Kanalnummern des Verstärkers. Der Schalter S9 ermöglicht die Wahl des Kanals der einen der beiden Tests (automatischer Nullabgleich und Eichén der Brücken) absolvieren soll. In Stellung "all" werden alle Kanäle gemeinsam getestet.

Geräteauswahl
("Device Select")

Die Testeinheit TU8 kann nur einen 8-Kanal-Verstärker erfassen. Sind mehrere Verstärker vorhanden, so fertigt die Testeinheit ein Gerät nach dem anderen ab. Zum Zweck der eindeutigen Zuordnung ist jeder Verstärker mit einem Zahlenschalter zum Einstellen einer Geräte-Nummer ("Device Select") versehen. Diese Geräte-Nummer macht es der Testeinheit TU8 möglich ein Gerät gezielt anzusprechen.

Principschema över mätsystemet.



Handbuch
mini-din

Johne + Reilhofer GmbH Telemetrie
Dornröschenstraße 18
8000 München 83

HF-Sender KS 433

Allgemeine Beschreibung

Der HF-Sender KS 433 moduliert das eingespeiste PCM-Signal der Trägerfrequenz von 439,850 MHz als Frequenzmodulation auf und strahlt diese mit 1 Watt ab.

Die Kontrolle der Ausgangsleistung erfolgt mittels der LED-Zeile.

Als Nahtstellen stehen zur Verfügung: "Antenne"; Anschluß der Stab- oder Richtantenne.

"Power Supply"; Speisung des HF-Senders mit 0V/+15V (320 mA) und PCM-Eingang.

Steckerbelegung: Stift 1 - nicht belegt
Stift 2 - +15V
Stift 3 - nicht belegt
Stift 4 - Masse
Stift 5 - nicht belegt
Stift 6 - PCM-Eingang
Stift 7 - nicht belegt

Technische Daten

Abmaße: 50 x 120 x 230 mm
HF-Frequenzen: 433,4/433,9/434,4 MHz
Sendeleistung: 1W $\pm$ 1dB
Modulationsart: Frequenzmodulation
Bitrate: $\leq$ 80 kbps
Betriebsspannung: +15V (320 mA)

Handbuch
mini-din

Johne + Reilhofer GmbH Telemetrie
Dornröschenstraße 18
8000 München 83

HF-Empfänger KE 433

Allgemeine Beschreibung

Dieser HF-Empfänger KE 433 verstärkt und demoduliert HF-Signale der
Frequenzbänder 439,850 MHz.

Die empfangene Feldstärke wird durch eine LED-Zeile angezeigt.

Folgende Nahtstellen stehen zur Verfügung:

"Antenne": Anschluß der Stab- oder Richtantenne. An diese BNC-Buchse
kann ein HF-Vorverstärker VEV 433 angeschlossen werden. Der VEV 433
wird über diese Verbindung auch mit der nötigen Betriebsspannung
versorgt.

"PCM-Output": demoduliertes und aufbereitetes PCM-Signal zur Speisung
des nachfolgenden PCM-Demodulators.

"Power-Supply": Speisung des Empfängers mit 0V/+15V (180 mA) und
PCM-Ausgang.

Steckerbelegung: Stift 1 - nicht belegt

Stift 2 - +15V

Stift 3 - nicht belegt

Stift 4 - Masse

Stift 5 - nicht belegt

Stift 6 - PCM-Ausgang

Stift 7 - nicht belegt



TELEVERKETS RADIODIVISION
Frekvenssektionen, Farsta

- 18 -

Tillståndskontoret

Handläggare telefon (direktval)

Datum

1980-07-11

Ert datum

Vår beteckning

Rf 60/80

Er beteckning

Stig Wahlgren, (08) 713 2119

1980-05-14

Chalmers Tekniska Högskola
Institutionen för Skeppshydro-
mekanik
412 96 GÖTEBORG

Tillfälligt tillstånd att inneha och använda radiosändare

Med referens till Er ansökan får vi med stöd av radiolagen (1966:755) och kungörelsen (1967:446) om radiosändare, härigenom meddela Er tillfälligt tillstånd att inneha och använda radiosändare. Följande särskilda bestämmelser skall gälla:

1. Tillståndet gäller under följande två tidsperioder:

Augusti t o m september 1980

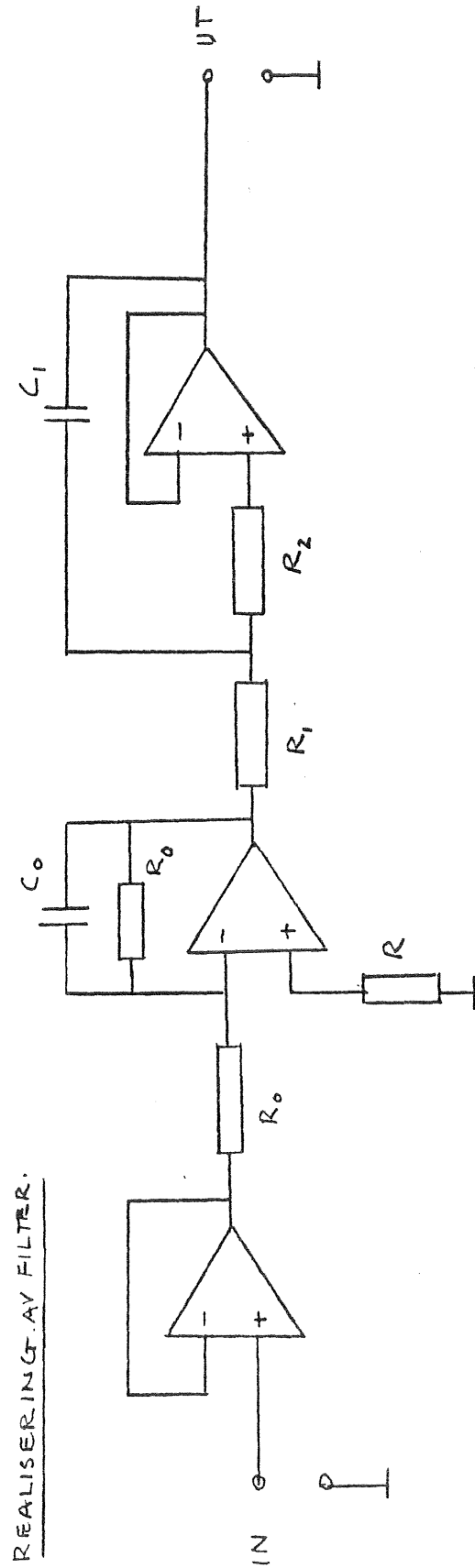
Maj t o m juli 1981

2. Tillståndet omfattar 1 st radiosändare med antennplats belägen vid Kasunfyren Trubaduren SV Göteborg. Sändning anses ske därifrån till mottagare belägen vid Talattagatan, Långedrag, Göteborg.
3. Frekvensen 439,8375 MHz skall användas.
4. Tillståndet gäller radioutrustning av fabrikat John & Reilhofer typ PCMK8K12.
5. Lägsta möjliga sändningseffekt och antennhöjd för ernående av erforderlig förbindelse skall användas.

Högaktningsfullt

e u

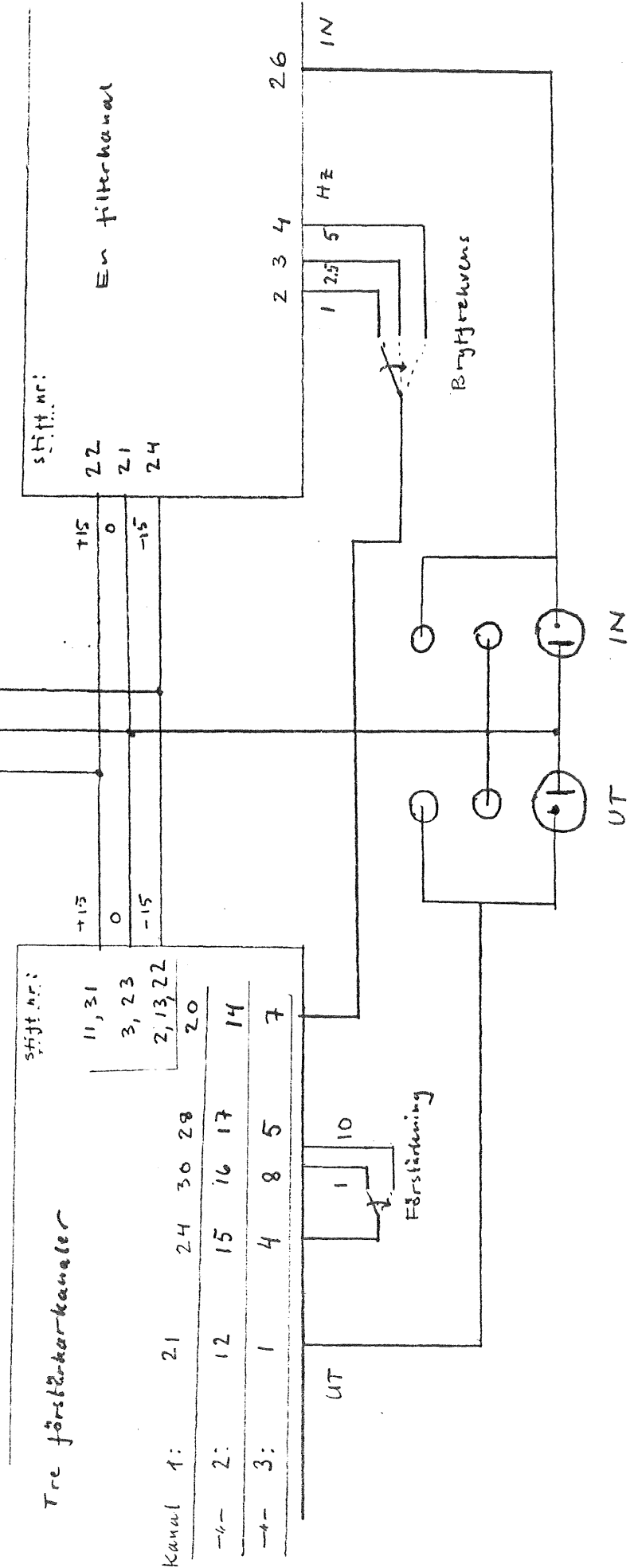
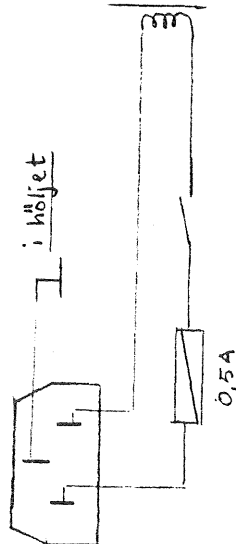

Stig Wahlgren



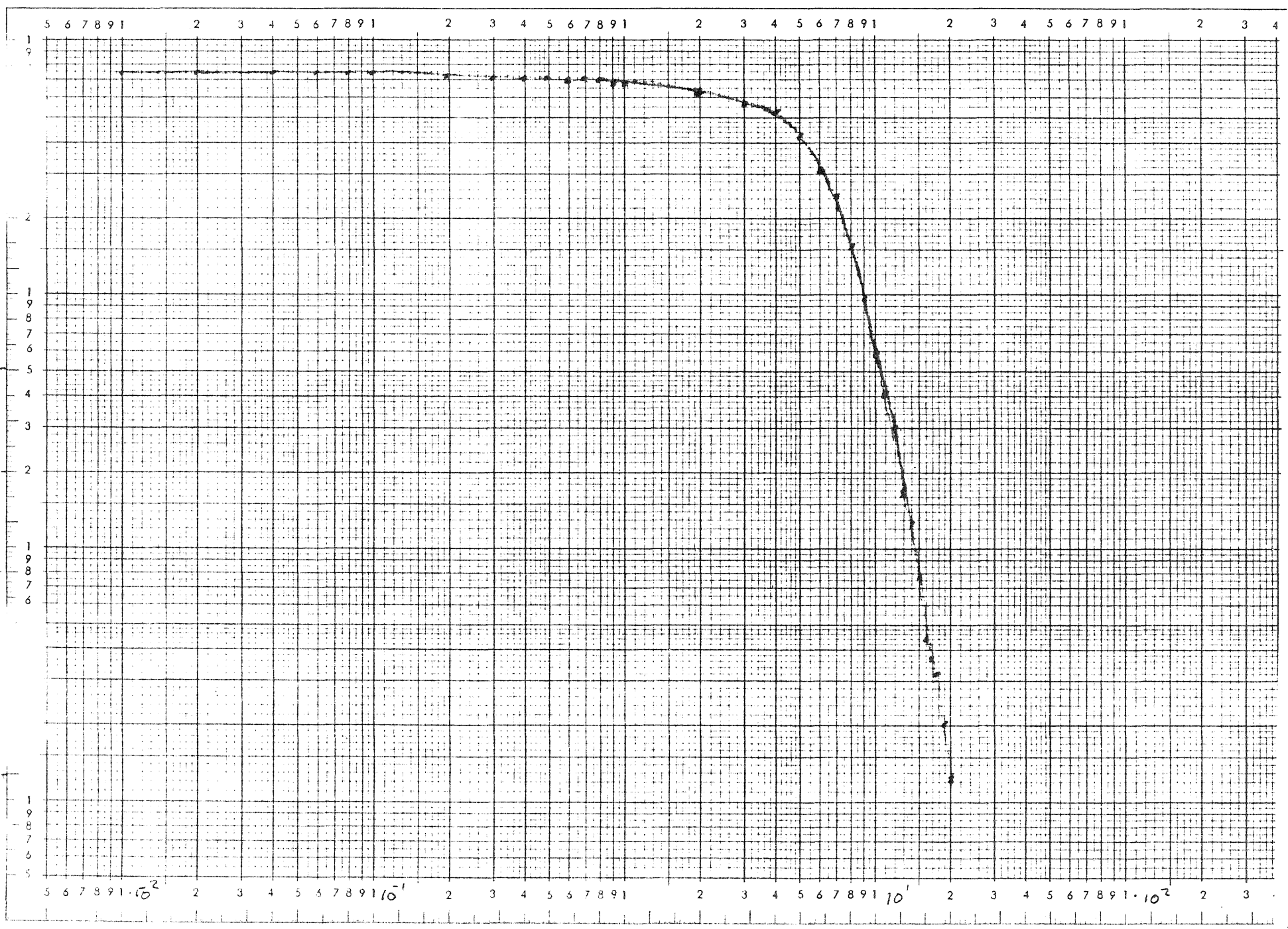
Koppling av ett filterkort och ett förstärkerkort.

8 filterkort.
3 förstärkerkort.
1 nät delskort.

Totalt:



- 21 -
 Frekvenskarakteristik (amplitud)
 3:e ordn. Besselfilter.



Besselfilter

Om ett filter antas ha frekvenskarakteristiken $H(\omega)$ så att:

$$H(\omega) = A(\omega) \cdot e^{j\phi(\omega)}$$

då kallar man:

$A(\omega)$ selektivitetskarakteristiken

$\phi(\omega)$ faskarakteristiken

Man kan skriva:

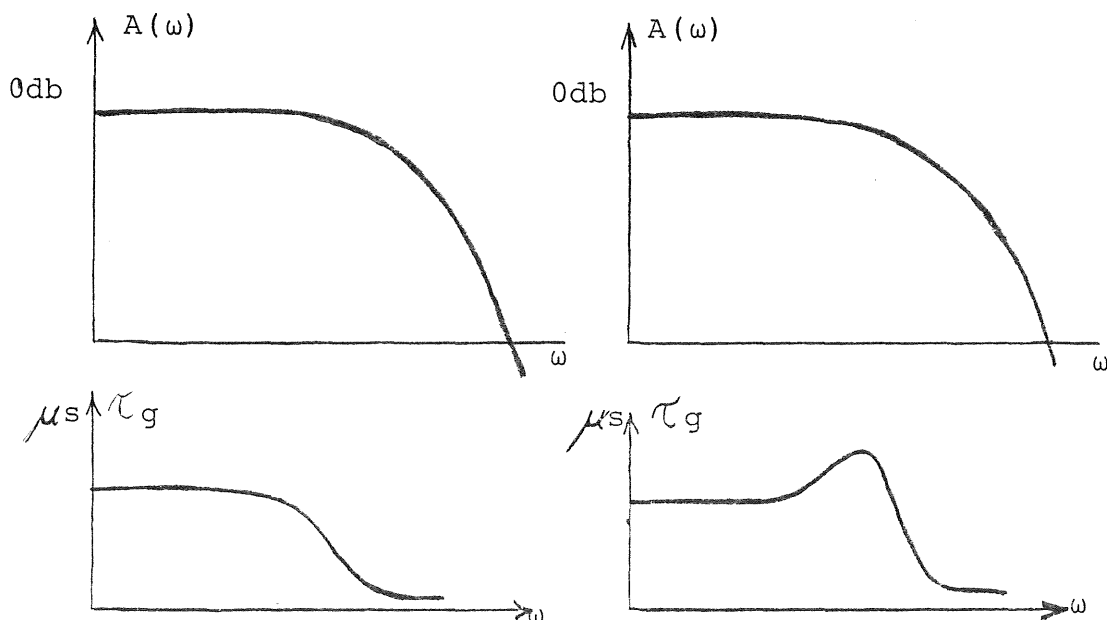
$$\tau_p(\omega) = - \frac{\phi(\omega)}{\omega} \quad \text{fasfördröjning}$$

$$\tau_g(\omega) = - \frac{d}{d\omega} \phi(\omega) \quad \text{grupplöptiden}$$

Besselkarakteristiken, med selektivitetskurvan:

$$A(\omega) = \left\{ \frac{\pi}{2} \cdot \omega^{2n+1} \left[J_{n+\frac{1}{2}}^2(\omega) + J_{-(n+\frac{1}{2})}^2(\omega) \right] \right\}^{-1}$$

där J är Besselfunktionen av första slaget. Den kännetecknas av att dess faskarakteristik är maximalt linjär i samma mening som selektivitetskurvan för Butterworthfiltret är maximalt flat



Besselfilter

Butterworthfilter

KAPITEL 8

8 FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNINGAR

8.1 Förankringskraftmätningar

Bilaga 8:1

Fig 2. Kalibrering IPS-kraftgivare I

Fig 3. Kalibrering IPS-kraftgivare II

Fig 4. Kalibrering IPS-kraftgivare III

Bilaga 8:2

Utförda mätningar av förankringskrafter på IPS-kraftverket.

8 FÖRANKRINGSKRAFTMÄTNINGAR

8.1 Förankringskraftmätningar

Som redan nämnts i tidigare kapitel var ett av ändamålen med försöken vid Trubaduren att mäta kraftverkets förankringskrafter. För detta ändamål byggdes tre stycken kraftgivare, se fig 1 på nästa sida. Kraftgivarna är gjorda på följande sätt: Ett 250 mm långt M24 skruvämne svarvades ned till $\varnothing 19.5$ mm på en sträcka av 100 mm. Två stycken XY-trådtöjningsgivare limmades symmetriskt på mitten av stålet. Givarna kopplades ihop så att vridmoment och böjmoment kompenseras bort och endast krafter i axiell riktning kommer att ge utslag. Trådtöjningsgivarna och lödställena täcktes med speciell silikon-gummimassa som skydd mot vatten. Slutligen lades rikligt med vanligt silikongummi på och utanpå detta flera lager av textiltape. Kraftgivarna blev på detta sätt ordentligt skyddade mot mekaniska påkänningar. Kraftgivarna kalibrerades i en dragprovmaskin på Väg- och vatten, CTH. Resultaten visas i fig 2, 3, 4 i bilaga 8:1.

Kraftgivarna sattes på plats på kraftverket, en i varje förankringsfäste. Då inga hållfasthetsvärden för skruvöglorna fanns tillgängliga sattes en säkerhetskätting mellan de schacklar som kraftgivarna var kopplade med, se fig 1.

Vid detta tillfälle fanns endast fyra stycken bryggförstärkare i mätsystemet i kraftverket. Kraftgivarna tog tre av dessa i anspråk, alltså fanns en bryggförstärkare ledig. Frågan uppstod nu om vågmätaren eller accelerometern i kraftverket (se föregående kapitel) skulle kopplas in. Vi valde vågmätaren då vi ansåg att även om vågdata kunde erhållas från SMHI's fasta vågmätstation så skulle en vågmätning alldeles intill kraftverket ge ytterligt värdefull information. På grund härav finns inte kraftverkets rörelse med i de mätningar som sedan gjordes.

I bilaga 8:2 redovisas de mätningar som gjordes. Någon analys har ej varit möjlig att göra vid denna rapports skrivande; detta beror på vissa nollställningsproblem med bryggförstärkarna. En viss kvalitetskontroll av mätvärdena har dock

gjorts och denna visar endast ett fåtal störningar och orimliga värden. Radioöverföringen fungerade under dessa mätningar alldeles utmärkt trots att vädret stundtals var riktigt dåligt med mycket regn och vind.

Efter ungefär halva mätserien upphörde vågmätaren att fungera. Detta visade sig senare bero på att vågmätbojen gått läck och accelerometern blivit kortsluten.

En ordentlig analys av de registrerade krafterna kommer att ske under vintern 80/81 och redovisas i separat rapport.

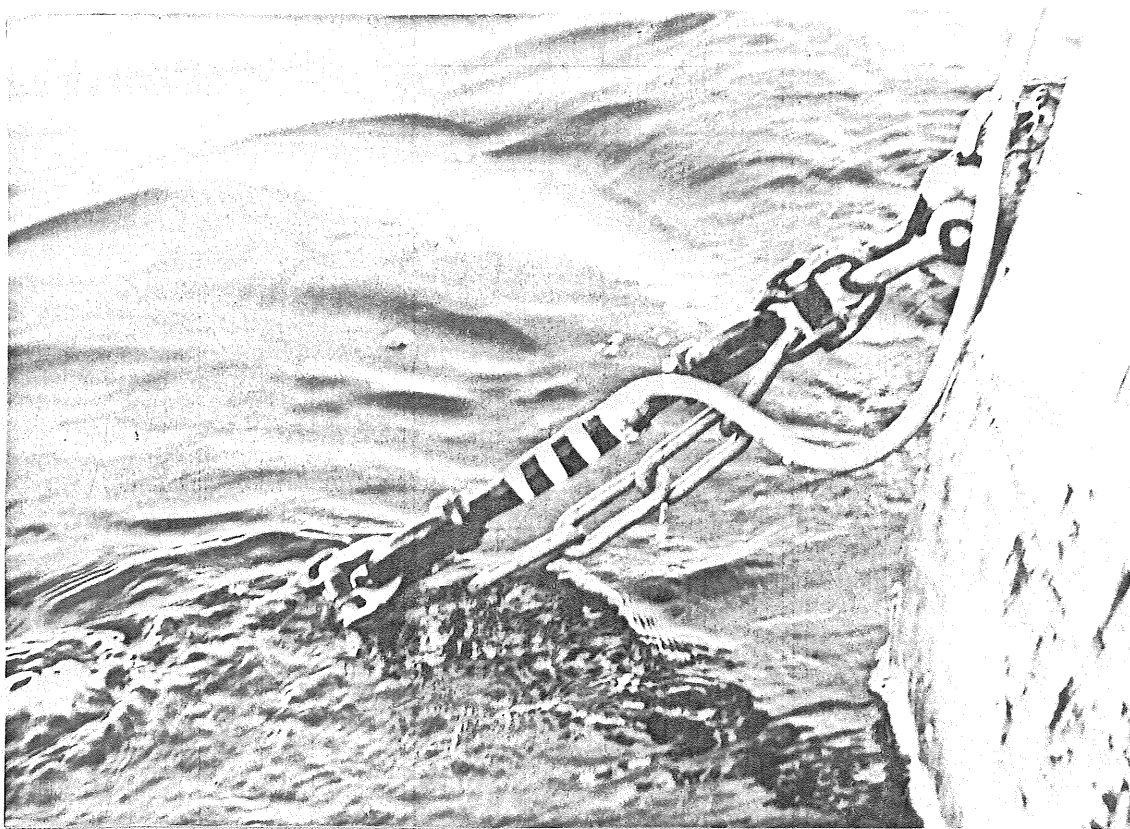


Fig. 1. Förankringskraftgivare nr 3 monterad på kraftverket.
Observera säkerhetskättingen.

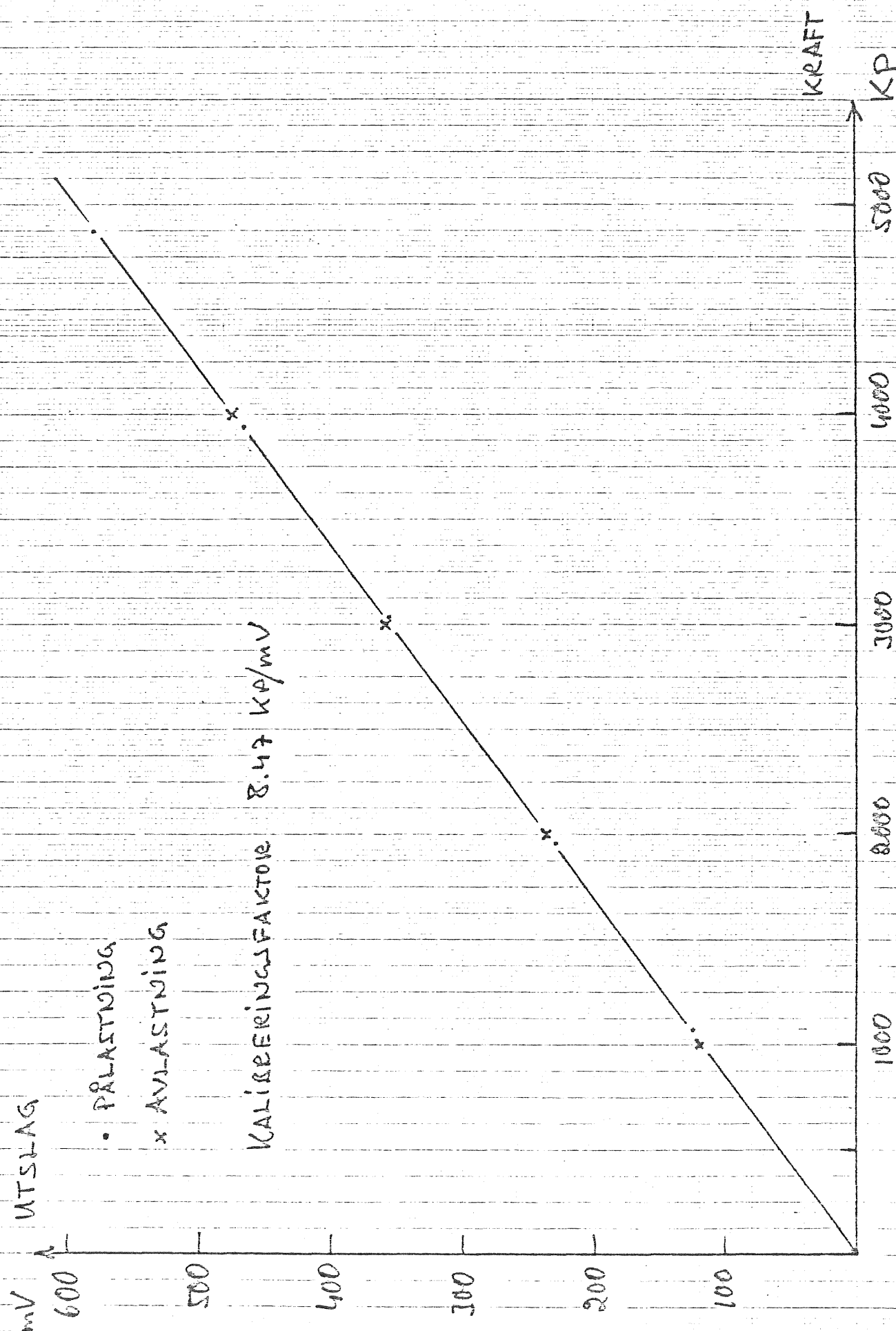
TECHNOCEAN
AR

KALIBRERING IPS-KRAFTGIVARE
NR 1
BRYGGMATNING 5.03 V
FÖRSTÄRKNING 100 G/LR

Bilaga 8:1

Fig. 2.

- 3 -

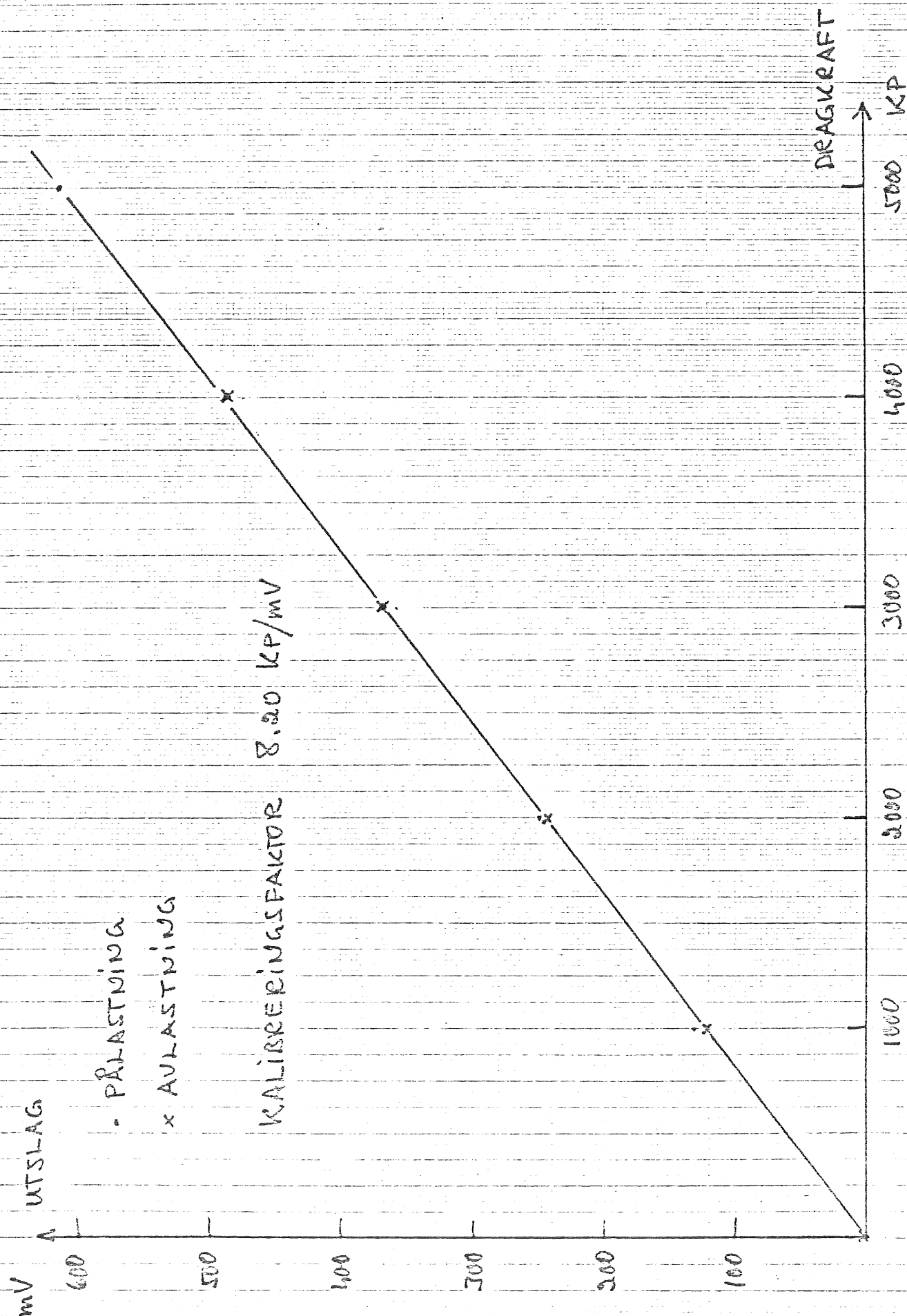


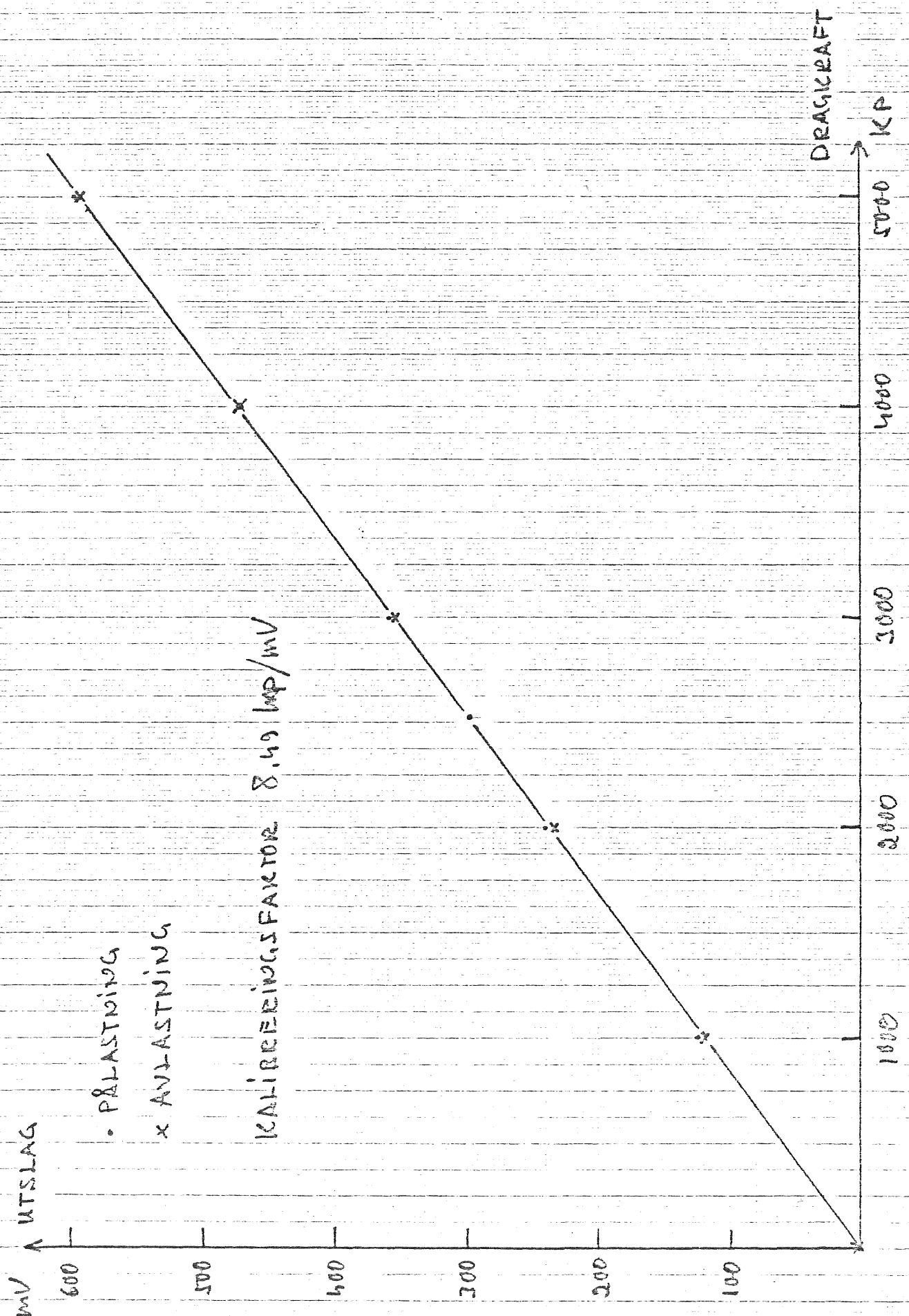
KALIBRERING IPS-KRAFTGIVARE II

Bilaga 8:1

Fig.3.

TECHNOCEAN BRYGGMATNING 5.03 V - 4 -
AB FÖRSTÄRKNING 100 GGR





Utförda mätningar av förankringskrafter på IPS-kraftverket.

Datum	Mätnummer	Tid	Vindriktn.	Vindhast.	Signifikant våghöjd
801022	o211	2100	O	8.5 m/s	0.56m
	o212	2230	O	7.9	0.52
801023	o221	1530	O	10.8	0.65
	o232	1615	O	10.7	0.58
	o233	1645	O	9.5	0.58
801024	o241	1045	S	7.0	0.91
	o242	1115	S	7.0	0.91
	o243	1145	S	7.5	1.06
801026	o261	1515	lugnt		0.38
801027	o271	1100	SO	11.3	1.27
	o272	1205	SO	12	
	o273	1325	SO	13.2	1.52
	o274	1405	SO	14	1.53
	o275	1430	SO	14.7	1.69
	o276	1445	SO	15.4	1.85
	o277	1532	SSO	14.9	1.92
	o278	1547	SSO	14.3	2.00
	o279	1616	SSO	14.4	2.02
801028	o281	1955	SSV	9.8	0.73
	o282	2005	SSV	9.8	0.73
	o283	2015	SSV	9.8	0.73

Förklaringar: Mätnummer o271 står för oktober den 27:e nr. 1

För mätningarna 801022 och i viss mån även 801023 gäller att två vädersystem härskade på västkusten. På Kattegatt var vinden måttlig till frisk SV och på Skagerrak var den måttlig till frisk O. Detta ger förstås upphov till två vågsystem, ett från O med hög frekvens och liten våghöjd och ett från SV med lägre frekvens men större våghöjd (stryklängderna!).

De flesta mätningarna är gjorda med samplingsintervallet 0.5 s. Samtliga mätningar innehåller 1024 samplingar.

KAPITEL 9

9 SAMMANFATTNING AV PRAKTISKA ERFARENHETER

9 SAMMANFATTNING AV PRAKTISKA ERFARENHETER

Försöksserien har gett oss en mängd erfarenheter som är värdefulla inte bara vid ytterligare försöksomgångar med vågkraftverk utan även för andra typer av försök som omfattar framtagna konstruktioner för provning direkt i havet.

På planeringssidan fann vi att tidsåtgången och kostnaden för montering, servicearbete och reparationer till sjöss var väsentligt underskattad. Detta har sin förklaring i att många arbetsuppgifter var av ovanlig art och att de ofta måste utföras under obekväma förhållanden t ex i den gungande bojen.

Kostnaderna för denna del av arbetet kom således att överstiga de i kalkylen förutsedda.

Vi fann att bojens dimensioner inte enbart var en fråga om uppskalning utan att vissa praktiska hänsyn kom in i bilden. Exempel på detta är följande

- bojens yttermått tillät precis att den gick att få ut ur Test-Service verkstad men var några centimeter för stort för att bojen skulle gå att få in genom porten på vattenbyggnads laboratorium. (Detta medförde att dörrkarm samt en del av tegelväggen fick tas ner).
- röret var precis så långt att boj plus rör fick plats på John E Olsens däck vid uttransporten.
- de ursprungliga betongankarna visade sig för tunga för Virgos kranar varför de fick kapas ner till en vikt på ca 4 ton.
- bojskrovet kunde transporteras med gaffeltruck. Storleken utgjorde ingen begränsning m a p transportvägarna. Följebilar med skyltar "bred last" erfordrades dock.

Vid genomgång av konstruktionsritningarna med tillverkaren bestämdes ett flertal ändringar vilka avsevärt sänkte tillverkningskostnaden. T ex ändrades de ursprungligen komplicerade benen till fyrkantprofiler. Ur leveranstids- och kostnadssynpunkt var det nödvändigt att ta hänsyn till lagerhållning mm av konstruktionsstål.

Under tillverkningens gång kunde vi efter hand ge anvisningar om kompletteringar och ändringar. Den goda kontakt som upprättades med Test-Service var av stort praktiskt värde även vid montagearbetet i slutskedet.

Installation av maskineri gjorde vi själva. Generator och växel lyftes upp med hjälp av gaffeltruck, block och talja. Uppriktningen av axeln var ett svårare problem än vi trott.

De elektriska komponenterna samt sändarutrustningen byggdes och utprovades på CTH och monterades sedan in i bojen när den stod upprätt på Test-Service område. Det goda utrymmet i bojen underlättade montering och kabeldragning. Alla skåp monterades på ett överskådligt sätt på plywoodskivor utmed bojens vägg.

Montage av boj och rör gick problemfritt mycket tack vare tillgång till egen truckförare.

Utläggningen skedde under perfekta väderleksförhållanden med hjälp av pontonkranen John E Olsen. Det var vissa problem med att lasta av kraftverket. Bl a släppte svepet vid ett tillfälle så att rörets ena ände föll i däckets från ca 3 m:s höjd. Röret tog dock ingen skada av detta.

Utläggningen försvårades av att kranen endast fick kränga 4°. Detta i kombination med rådande ström medförde dels att kranen måste hålla propellrarna i gång för styrning vilket medförde vissa risker för dykarna dels att bojen inte kom ut tillräckligt långt från kranens skrov utan slog emot detta flera gånger. Kranens ok slog

emot räcket på bojen och krökte en mantågsstötta. Sedan bojen frigjorts från pontonkranen bogserades den av vår arbetsbåt ut till mätplatsen där den fästes i förankringslinorna. Lysbojen som tidigare legat där plockades upp av Virgo.

För transporter till och från kraftverket använde vi Technoceans 24-fots motorbåt. Den har en dieselmotor på 130 hk och är utrustad med ekolod och kran i aktern. Max fart med 3 passagerare ca 20 knop vilket var nödvändigt m h t avståndet (8 distansminuter) till mätplatsen.

Angöringen av bojen var i praktiken ej möjlig vid högre vågor än ca 0,5 m. Vid sjögång spände vi en lina från en av blåsorna till bojen och förhalade oss med hjälp av denna - endera hela motorbåten (med avslagen motor) eller med en liten gummiflotte (1-mans). Även den ibland kraftiga strömmen kunde orsaka svårigheter vid angöring.

Anordningen med vajrar ut till tre blåsor gjorde att det bara var möjligt att nalkas bojen med en relativt liten båt.

För att få över grejor från bojen till båten användes - vid sjögång - principen med linbana.

Vi måste vid ett flertal tillfällen utföra reparationsarbeten på och i bojen. Detta var fullt möjligt men arbetsplatsen var obekvämt och ibland obehaglig på grund av att bojen lutade och hävde. Lutningen påverkades starkt av var vi befann oss på bojen vilket tydde på en otillfredställande stabilitet. Denna förbättrades kraftigt sedan kolvstången sjunkit i djupet.

Mekaniskt arbete såsom mutterdragning och dylikt gick relativt bra att utföra medan lödning var svårare.

Vid reparationsförsöken ute på kraftverket fick man klart för sig vilka stora krafter som var i spel även vid små vågor.

Tillgängligheten till kraftverket avgjordes av sjöhävning och vind samt i viss mån ström medan temperaturen spelade mindre roll p g a att arbetsbåten är helt ruffad och försedd med värmesystem.

Radiokommunikation upprätthölls via kom-radio med Långedrag. Ofta var förbindelsen för dålig och anrop fick göras via lotsplatsen på Vinga och telefon. En VHF-radio synes önskvärd att använda.

Utläggningen av förankringarna underlättades av närheten till Trubaduren. Fyren utgjorde en fast punkt från vilken positionsbestämningar kunde göras. I princip skulle fyren även kunna utnyttjas som plattform för fotografering/filmning av kraftverket under driftsförhållanden vilket skulle vara av stort värde.

Reparations- och inspektionstillfällen valdes mha uppgifter från Vinga som har möjlighet att direktavläsa mätresultat från SMHI:s vågmätare på platsen. En klar fördel var också att lotsarna kunde se kraftverket från stationen och bl a ge upplysning om huruvida lanternan fungerade. vid ett tillfälle fick de gå ut och montera en ljusfyr sedan vi p g a dåligt väder ej kommit åt att byta batterier i tid.

Under hela projektets gång inträffade inga nämnvärda olyckshändelser eller itrillningar.

Dykarna hade vissa problem vid kontroll av förankringarna som ligger på 35-40 m djup. En lätt dykare kan vistas bara någon minut på detta djup. Det framkom att bättre dykutrustning (tung dykare eller luft från ytan) för stora djup behövdes liksom en effektivare dykledning, särskilt med tanke på säkerhetskraven.

Upptagningen av bojen ombesörjdes på ett elegant sätt av Virgo och dess besättning, genom att kraftverket helt enkelt hängdes utefter fartygets sida i dess förliga resp akterliga kran. En ny utläggning bör ske på motsvarande sätt. Kolvstången fick ligga kvar på botten liksom ankarna och förankringslinorna. Dessa sänktes på ett sådant sätt att de lätt kan fiskas upp igen.

Bojen lades först på Gullbergskajen. Dess botten bar tydliga spår efter hårda slag från kolvstången. Bevaxningen var obetydlig liksom korrosionen med undantag av doppvärmarnas aluminiumdosor.

Bojen transporterades till vattenbyggnadslaboratoriet på CTH där den efter viss möda kunde tas in.

Röret avses bli forslat till ett skjul i Frihamnen.

Förvaringsplatserna är valda med tanke på de kompletteringsarbeten som planeras.

