

STABILITETSUNDERSÖKNING
AV
TRYCKSIMULATOR

KRISTIAN SUNDSTRÖM

RAPPORT RE-99, oktober 1971

TILLHÖR REFERENSBIBLIOTEKET

UTLÄNAS EJ

STABILITETSUNDERSÖKNING
AV
TRYCKSIMULATOR

Examensarbete i reglerteknik
utfört av Kristian Sundström

Ansvarig handledare: _____
Jan Hälldin, Alfa-Laval AB

10.9 1971

Ärende		Ref.-nr		
		Reg.		
Utfärdare	Fj.-ställe	Datum	Blad nr	Antal blad

Kristian Sundström/Sdc

Distribution, Mottagare

Kommentarer

ABSTRACT

The present report presents the results of an investigation concerning stability of a pressure simulator as a part of the project called MULTITHERM within Alfa-Laval Company as well as the master thesis in Automatic Control at Lund Institute of Technology. The aim of this investigation is the prediction of the behaviour of a pilot plant under various disturbances from experiments and a mathematical model for the small scale model called pressure simulator. Experiments have shown that disturbances causing temperature rising are great risks for the stability, which can be partly prohibited by special arrangements. The sensibility has been investigated applying step inputs in the pressure supply both experimentally and theoretically with the mathematical model, the validity of which has been verified for its approximation. Experiments and simulation have shown that the system is stable under applied inputs. The mathematical model enables the constructor of the pilot plant to get information of the effect of presumptive disturbances through analog or digital simulation.

Ärende/Subject	Ref.-nr/Ref.No.		
	Reg		

Utfärdare/Issued by	Tj.-ställe/Dept.	Datum/Date	Blad nr/Page No.	Antal blad/No of p
---------------------	------------------	------------	------------------	--------------------

Kristian Sundström/Sdc

Distribution/Mottagare/Recipient	Kommentarer/Comments
----------------------------------	----------------------

SAMMANDRAG

Föreliggande rapport behandlar stabilitetsundersökning av en trycksimulator inom Multitherm-projektet utförd som examensarbete i reglerteknik, LTH. Avsikten med undersökningen är att genom experiment med och uppställande av en matematisk modell för trycksimulatorens få en uppfattning om fullskaleanläggningens uppförande för olika störningar. Experiment har visat att temperaturhöjande störningar är en stor stabilitetsrisk, vilken i viss mån kan minskas genom införande av strypanordningar. Störningskänsligheten har undersökts med stegstörningar i matningstrycket dels experimentellt dels teoretiskt i den matematiska modell, som uppställdes och verifierats (i approximerad form). Såväl experiment som simuleringar har givit till resultat att systemet för undersökta stegstörningar är stabilt. Den matematiska modellen ger även möjligheter att genom simuleringar kartlägga inverkan av andra tänkbara tryckstörningar.

12.70/100.000 Allmän rapportblankett

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning, beskrivning av apparat och utrustning.
2. Undersökning av lämpliga testsignaler.
3. Tryckstörningsexperiment och analys av dessa.
4. Modellförsök.
5. Anvisningar för uppskalning.
6. Kvalitativ undersökning av kokningsförlopp.
7. Slutsatser och förslag till fortsatta undersökningar.

Appendix: Ritningar, data.

Referenser

INLEDNING, BESKRIVNING AV APPARAT OCH UTRUSTNING

Inom ALFA-LAVAL är för närvarande ett helt nytt system för hållbarhetsbehandling av livsmedel under utveckling i projektet Multitherm. Vid utformandet av de i systemet ingående processenheterna tas stor hänsyn till styr- och reglertekniska synpunkter. Avsikten är därvid att i så stor utsträckning som möjligt förenkla styrsystemet trots att kraven på noggrannhet hos tryck- och temperaturreglering är relativt stora.

Vissa delproblem, när det gäller styrsystemets utformning, kan isoleras och undersökas separat, ibland rent teoretiskt, ibland praktiskt-teoretiskt på speciellt för ändamålet tillverkade apparater. Ett sådant delproblem avser stabilitetsundersökning av en apparat, som fått arbetsnamnet trycksimulator.

Denna konstruktion, som är en förminskad modell av en del av den fullständiga processanläggningen, har framtagits för att som förberedelse till konstruktionen av en pilot plant studera den principiella konfigurationen av grundmoduler i modellskala. Den fullständiga Multithermanläggningen är avsedd att ge ett ändlöst band av förpackade livsmedelsportioner en viss hållbarhetsbefrämjande värmebehandling under transporten genom de seriekopplade torn, som innehåller luft, vatten, uppvärmningsapparat etc.

Undersökningen är utförd som examensarbete i reglerteknik och utgör en rapport om trycksimulatorens inom Multithermprojektet. Den består av dels praktiska dels teoretiska avsnitt. Undersökningen av trycksimulatorens syftar till att i modellskala ge en uppfattning om vad som händer i ett system av denna typ, då tryck- och/eller temperaturstörningar inträffar dels genom experimentella undersökningar, dels genom uppställande av en matematisk modell.

Examensarbetet omfattar inledande försök med stegstörningar i mätningstryck och val av lämplig testsignal för experimenten, vilka består av testkörning med tryck- och temperaturstörningar. Detta redovisas i kapitlen "Undersökning av lämpliga testsignaler" respektive "Experiment och analys därav".

För att överföra erfarenheterna av trycksimulatorens till full-

skaleanläggningen uppställs en matematisk modell. I denna kan införas fullskaleanläggningens parametrar beroende på dess geometriska förhållanden och övriga konstruktion. Modellens riktighet kontrolleras genom simulering och jämförelse med experimentella resultat. Simuleringarna redovisas tillsammans med modellen i kapitlet "Modellförsök".

"Anvisningar för uppskalning" innehåller en sammanställning av vad som bör iakttas vid tillämpningen av modellen på fullskaleanläggningen och hur olika parametrar bör beräknas. En experimentell undersökning av vad som händer, då kokning startar i någon del av trycksimulatoren, redovisas i kapitlet "Kvalitativ undersökning av kokningsförlopp".

En sammanfattning av vunna erfarenheter liksom förslag till fortsatta undersökningar ges i det sista kapitlet. Appendix innehåller dels trycksimulators och andra data, dels ritningar. Dessa ingår endast i vissa exemplar av redogörelsen men kan erhållas efter hänvändelse till Alfa-Laval AB, T-staben eller författaren.

Trycksimulatoren, vars konstruktion framgår av ritningar TG 70192 och TG 70193, består i princip av ett antal seriekopplade torn innehållande omväxlande luft och vatten. Den sammanlagda vattenpelaren balanseras av ett pneumatiskt mottryck anbringat i trycksimulators ena ände. I den andra råder atmosfärstryck. De torn, som innehåller vatten, är försedda med uppvärmningsanordning för

att kunna ge önskad temperatur. Denna anordning medger ej anbringande av någon annan (temperatur-) störsignal än att låta temperaturen långsamt stiga genom uppvärmningen. Varje torn innehållande luft är försett med tryckgivare, som registreras på skrivare liksom signalerna från termoelementen i vattenpelarna. I den horisontella delen av vattenpelarna sitter en strypning och dess utformning kan vara dels enligt ritning, dels med en bricka isatt. Denna bricka har två öppningar och beskrivs i appendix under "Data". Den mindre öppningen är avsedd släppa igenom luft för bestämningen av den mindre nivån för vattenpelaren medan den större i fullskala motsvaras av den öppning, där por-

tionsbanan skall passera. Vanligen användes brickan och detta omnämnes nedan som normalfall. En skiss över trycksimulators principiella uppbyggnad återfinnes i figur 4.1.

För registrering av tryck har använts tryckgivare Arenco Electronics AREL 1603, 0 - 2.5 kg/cm². Appendix innehåller specifikation och beskrivning av denna. Väsentligaste uppgift är givarens tidskonstant, som uppges vara 20 msek. Det betyder att den klarar förlopp av frekvens upp till ca 7 Hz.

KAPITEL 2

UNDERSÖKNING AV LÄMPLIGA TESTSIGNALER

Ett pneumatiskt-hydrauliskt system skiljer sig avsevärt från t ex ett elektriskt dito vad det gäller att applicera styr-signalerna. Medan möjligheterna för ett elektriskt väsentligen begränsas av tillgången på lämpliga signalgeneratorer, stöter man på andra svårigheter i system av en art som det här betraktade. Man inser genast att om man här väljer trycket i den första luftpelaren som insignal, får man nackdelen att denna blir beroende av systemets uppförande under påverkan av insignalen, vilket man slipper t ex vid hög-impediva elektriska system. Detta insignalens beroende av systemets uppförande beror givetvis på att luft- och vattenpelarna sätts i rörelse av en applicerad tryckstörning, varvid volymen av den första luftpelaren ändras och därmed trycket däri.

Vilken annan insignal kan då väljas? Man kan givetvis välja någon geometrisk storhet, t ex nivån i någon vattenpelare, men då strandar testmöjligheterna på problemen att styra den på lämpligt sätt på rent praktiska detaljer.

Återstår då trycken i luftpelarna. För att göra insignalen oberoende av systemet fordras då att kunna applicera ett tryck i den första luftpelaren. Dess volym är cirka 18 l.

Man har i allmänhet vid undersökning av systemdynamiken väsentligen tre enkla möjligheter: stegsvarsanalys, frekvensanalys och användning av impulsfunktionen.

Frekvensanalysen innebär att man applicerar sinusformiga insignaler av olika frekvens och mäter argument och amplitud hos utsignalen och därur konstruerar Bode-diagram för att i frekvensplanet erhålla karakteristiken för systemet, dess överföringsfunktion. Sinusformiga signaler i det betraktade systemet får anses orealistiskt.

Använder man sig av impulsfunktionen får man ur utsignalen direkt systemets tidsfunktion, ty $y(t) = \int_0^t h(t-s) u(s) ds$ där insignalen då är Diracs deltafunktion och därmed

$$y(t) = \int_{-\infty}^t h(t-s)\delta(s) ds = h(t).$$

Applicerande av impulsfunktionen kan i praktiken endast bli approximativ, enär den formellt har oändlig amplitud och endast är skild från noll i nollan. Man skulle kunna approximera den med en rektangelpuls med stor amplitud och kort varaktighet, men denna skall då vara kort i förhållande till systemets tidskonstant, vilket preliminära försök visar skulle vara praktiskt ogenomförbart. En sådan kort rektangelpuls skulle kräva en switch mellan ett stort övertryck och en därpå följande snabb trycksänkning till ursprungstryck.

Vad som återstår är stegsvarsanalys. Den är dock ej utan problem p g a tidigare nämnda inverkan av systemet på signalen. För att kunna åstadkomma en snabb tryckändring monterades en 3/4" ventil av fabrikat Sjöman på inloppet till första luftpelaren. Ventilens karakteristik skulle enligt uppgift vara gynnsam för att kunna åstadkomma något som kan anses vara ett steg. Den anges även kunna ge ett bra flöde, vilket är nödvändigt för att snabbt kunna ändra trycket i första luftpelaren. Ventilens funktion är således väsentligen av typ on-off.

Tillgången på luft under olika tryck och en ventil med god öppningskaraktistik är dock inte tillfyllest. För att trycket i första luftpelaren skall kunna styras, fordras en i förhållande till denna stor luftmängd bakom ventilen och detta åstadkommes med en tank av ungefärliga volymen 40 liter mot luftpelarens ca 18 liter.

Figurerna på följande sidor visar exempel på neg. steg av olika amplitud. Som synes kan man ej helt eliminera den diskuterade inverkan från systemet på signalen. Då systemet svänger, kan man se en tydlig inverkan på signalen, trycket i första pelaren, t ex fig 2.3, 2.5, 2.6 . (Svängningarna erhöles, då en måttligare strypning användes.)

Motsvarande inverkan kan även märkas på positiva stegen.

Med hänsyn till praktiska begränsningar och den i förhållande

till systemets tidskonstanter korta stigtiden ($< 0,1$ sek) får det uppnådda steget anses vara acceptabelt för användning som styrsignal vid undersökning av systemets egenskaper.

Figur 2.1

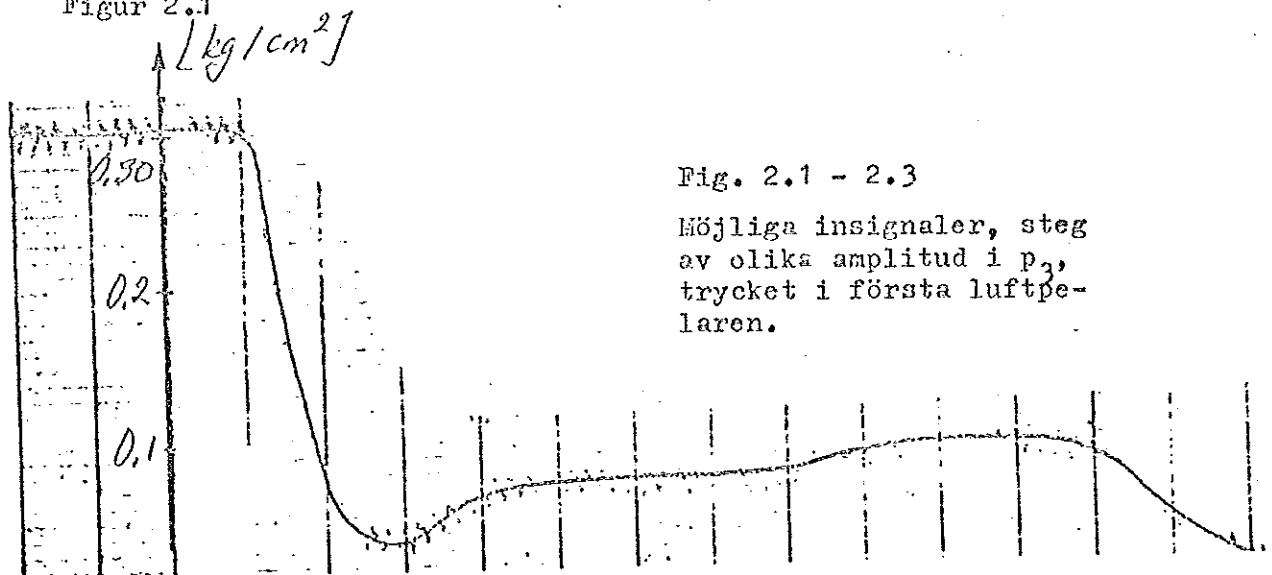
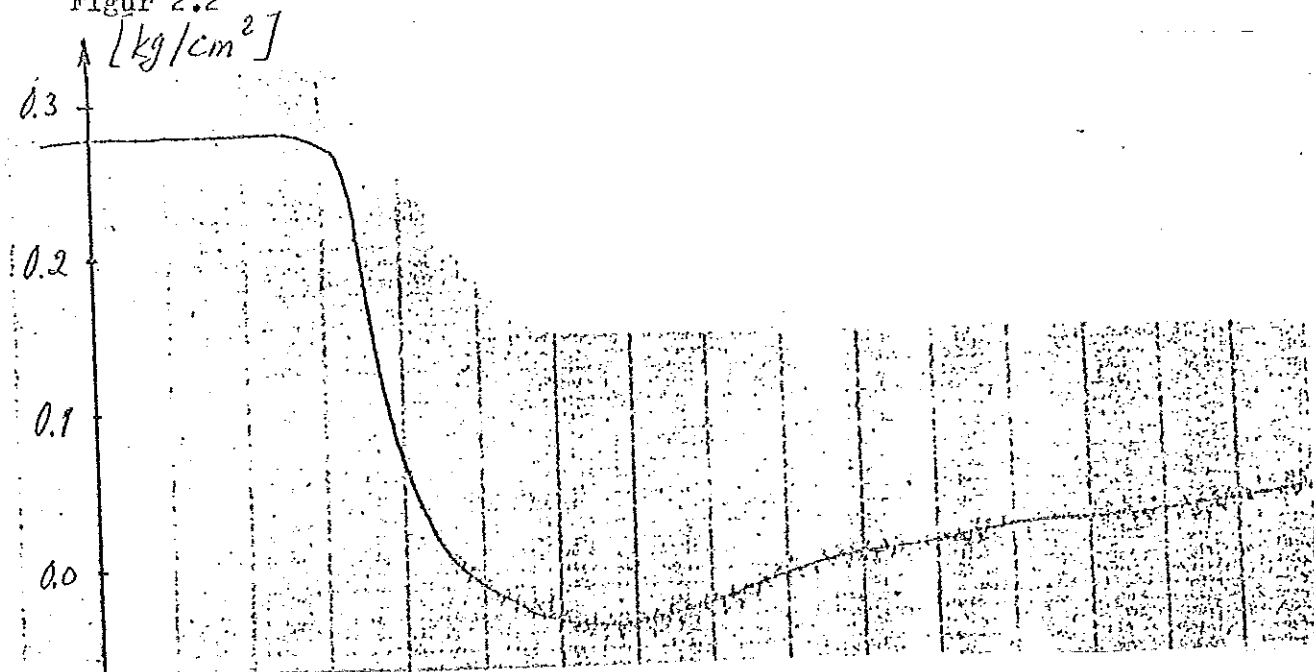
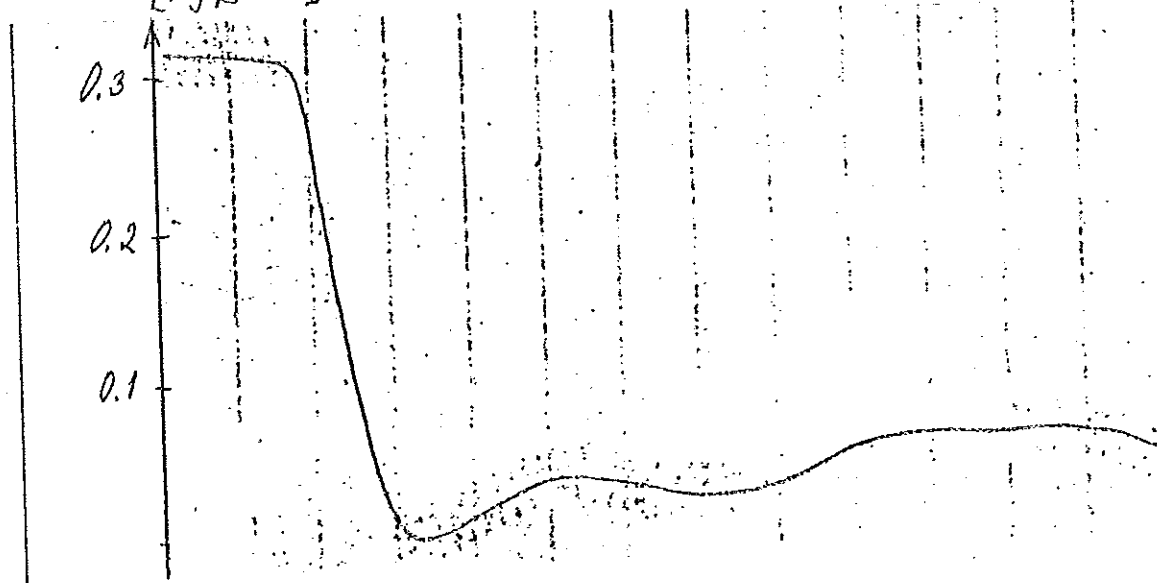


Fig. 2.1 - 2.3

Möjliga insignaler, steg av olika amplitud i p_3 , trycket i första luftpe-laren.

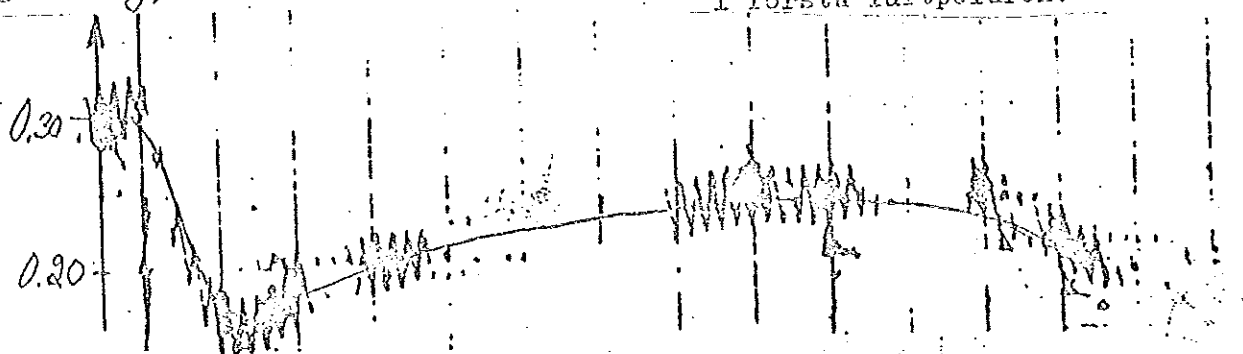
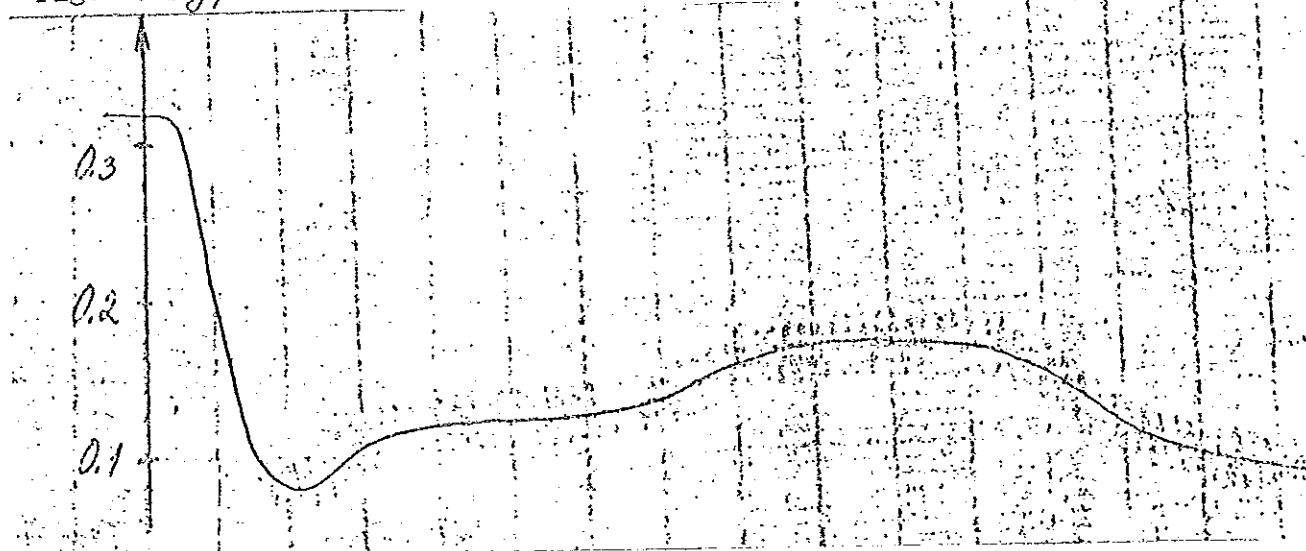
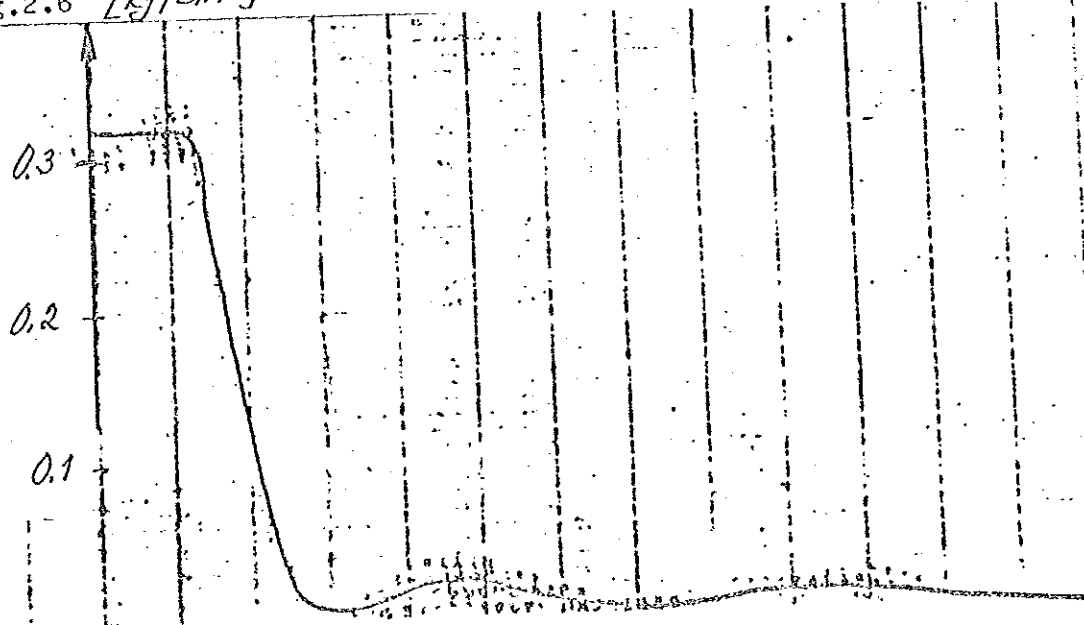
Figur 2.2

Figur 2.3 $[\text{kg/cm}^2]$ 

Tidsskala: 0.1 sek/cm.

Fig.2.4 - 2.6

Möjliga insignaler, steg av olika amplitud i p_3 , trycket i första luftpelaren.

Fig.2.4 [kg/cm²]Fig.2.5 [kg/cm²]Fig.2.6 [kg/cm²]

Tidskala: 0.1 sek/cm.

KAPITEL 3

TRYCKSTÖRNINGSEXPERIMENT OCH ANALYS AV DESSA

Undersökningen avser ge en uppfattning om den föreliggande trycksimulatorns egenskaper och uppförande vid applicerandet av olika störningar i matningstrycket, vilka betecknas p_3 . De rent dynamiska egenskaperna har undersökts med trycksimulatorens i kallt tillstånd, dvs uppvärmningsanordningarna användes ej. Enligt tidigare utredning föreligger endast möjlighet att studera stegstörningars inverkan. Dessa kan dels vara positiva, dvs innebära tryckförhöjning, dels negativa innebära tryckfall, vilket är en mycket sannolik situation.

Systemet med luft- och vattenpelare, som balanseras av ett pneumatiskt mottryck, är ett dynamiskt system och dess egenskaper önskas kartlagda. Det är här viktigt att lägga märke till en väsentlig svårighet ur reglerteknisk synpunkt, nämligen att systemet under vissa omständigheter inte längre är tidsinvariant. Dess fysikaliska karakteristika förändras och därmed de dynamiska egenskaperna, om den situationen inträffar att vatten förs från en vattenpelare till en annan eller försvinner från den sista över bräddavloppet. Det är därför en väsentlig inskränkning, som måste göras: den övre ytan får ej överstiga övre bräddavloppet. Detta kan uppstå vid resonanssvängning samt uppträder givetvis då matningstrycket stiger, dvs för positiva p_3 . Icke desto mindre är det väsentligt för den framtida konstruktionen av fullskaleanläggningen att känna till systemets uppförande för positiva tryckstörningar. Det är väsentligt för t ex dimensionering av regulatorn för matningstryck, val av utförande på strypning, geometriska dimensioner, som bestämmer frekvensegenskaper osv. För den skull har gjorts ett antal experiment med positiva stegstörningar i matningstrycket, vilket redovisas så gott som helt kvalitativt, enär det på detta stadium är svårt att förutse vilka specifikationer, som är önskvärda. Inverkan av negativa stegstörningar analyseras i avsikt att få upp en viktsfunktion åtminstone för något av de två uppmätta trycken.

Experimenten har för $p_3 < 0$ utförts dels med isatt strypbricka dels utan och för $p_3 > 0$ med brickor. Strömningsareorna definieras av givna data i appendix. Först redovisas tryckkurvor för negativa tryckstörningar med och utan strypbrickor, därefter motsvarande för positiva p_3 .

För samtliga experiment gäller att de nya jämviktstrycken $p_{10} + p_1$ och $p_{20} + p_2$ förhåller sig till $p_{30} + p_3$ som 1:3 respektive 2:3, vilket står i överensstämmelse med fysikaliska lagar. Därmed gäller även att p_1 och p_2 förhåller sig till p_3 som 1:3 respektive 2:3.

$p_3 < 0$ och svag strypning:

Av de två trycken p_1 och p_2 verkar det enligt följande figurer vara lämpligast att behandla p_1 , enär dess uppförande verkar nästan sinusformigt och sålunda skulle motsvara ett system, som är lineärt. Antagandet om linearitet stöds av det faktum att dämpningen ej varierar med stegets amplitud. Möjligheter föreligger därför att via stegsvaret för p_1 få upp en tidsfunktion för detta system eller dess linjarisering, som sedan ger viktsfunktionen med p_3 som insignal och p_1 som utsignal.

För stegstörning $p_3 = -0.05 \text{ kp/cm}^2$ enligt Fig. 3.3 erhålles vinkelfrekvensen $\omega = 10.4 \text{ rad/sek}$ och dämpningen 0.5 på en period, 0.6 sek. Därmed kan man ansätta en tidsfunktion för p_1 :

$$p_1(t) = -\frac{1}{70} [1 - a e^{-1.2t} \sin(10.4t - b)]$$

Fasen är noll efter 0.8 sek. Detta ger $b = 2.04$. Anpassas så funktionens värde för $t = 0.65 \text{ sek}$ fås $a = 0.91$ och därmed tidsfunktionen

$$p_1(t) = -\frac{1}{70} [1 + 0.91 e^{-1.2t} \sin(10.4t - 2.04)]$$

Kontroll av tidsfunktionen i några punkter visar att noggrannheten i överensstämmelsen är av samma storlek som i tryckgivarens signal.

$$Y(s) = G(s) \cdot U(s) = -\frac{0.05}{s} G(s)$$

$$\text{så } G(s) = -20s Y(s)$$

$$\text{vilket medför att } h(t) = -20 \frac{d}{dt} y(t).$$

Därmed fås för fig 3.3:

$$h_1(t) = 0,26 e^{-1,2t} (3,65 \cos 10,4t - 9,81 \sin 10,4t)$$

I fig 3.2 är insignalen en stegstörning $p_3 = -0,2 \text{ kp/cm}^2$ och här erhålles en period på 0,6 sek, vilket ger frekvensen 10,4 rad/sek. Dämpningen är även här 0,5 på en period. Därmed fås en liknande ansats för tidsfunktionen för p_1 som i 3.3 :

$$p_1(t) = -\frac{1}{30} [1 - a e^{-1,2t} \sin(10,4t - b)]$$

Svängningen har fasen noll för $t = 0,8$ sek. Anpassas så funktionens värde för $t = 0,65$ sek fås

$$p_1(t) = -\frac{1}{30} [1 + 1,36 e^{-1,2t} \sin(10,4t - 2,04)]$$

På samma sätt som i fig 3.3 fås, när insignalen är ett steg $p_3 = -0,2 \text{ kp/cm}^2$

$$h_1(t) = 0,23 e^{-1,2t} (3,65 \cos 10,4t - 9,81 \sin 10,4t)$$

Kontroll i några punkter visar att tidsfunktionen stämmer.

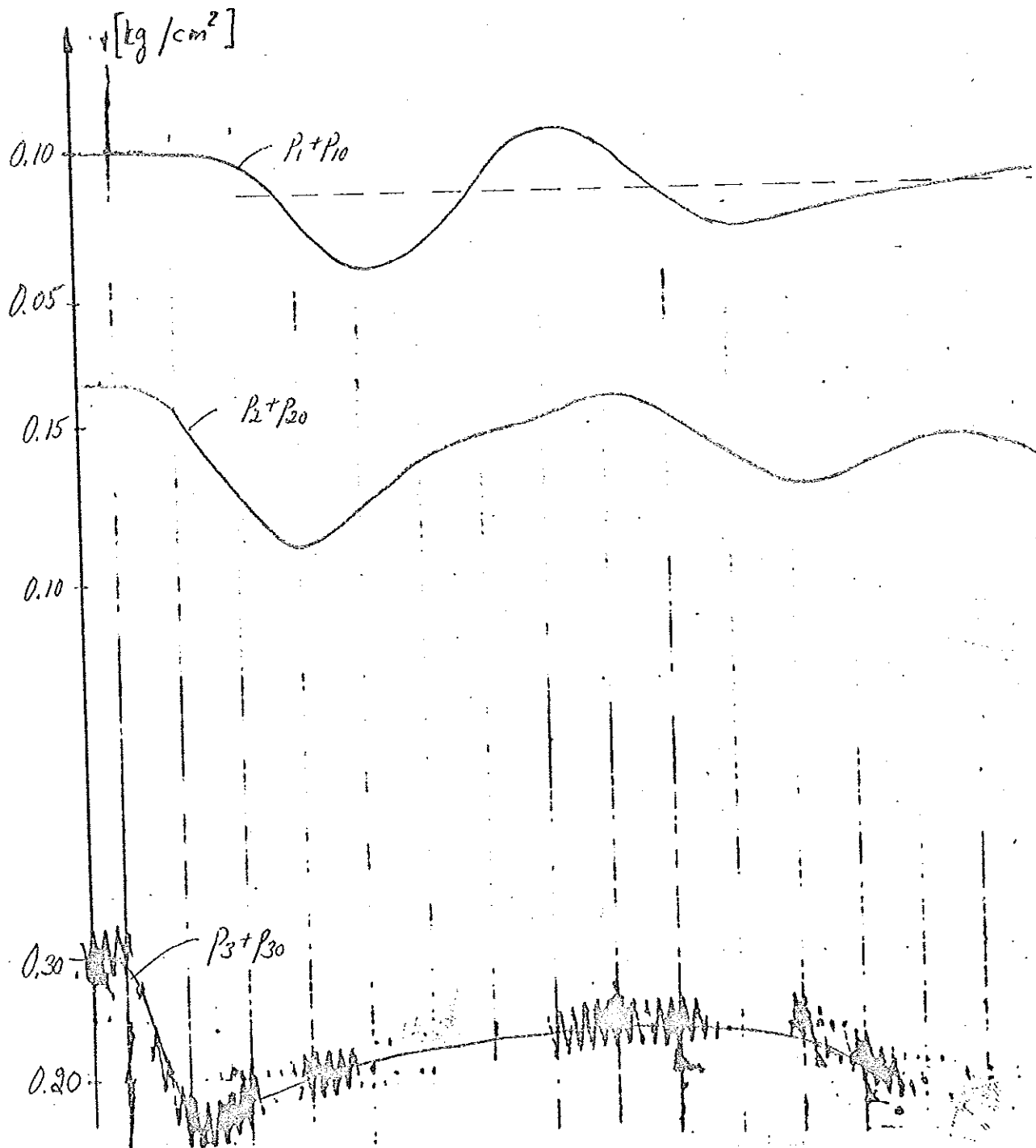
I 3.1 har applicerats stegstörningen $p_3 = -0,1 \text{ kp/cm}^2$. Samma dämpning och frekvens erhålles, varför på motsvarande sätt

$$h_1(t) = 0,18 e^{-1,2t} (3,65 \cos 10,4t - 9,81 \sin 10,4t)$$

De erhållna viktsfunktionerna skiljer sig endast vad gäller förstärkningen. När det i jämvikt alltid gäller att $3p_1 = 2p_2 = p_3$ borde förstärkningen bli 0,33 i viktsfunktionen med p_3 som in- och p_1 som utsignal. Att bästa överensstämmelse erhålles med den minsta insignalen förklaras av att större insignaler blir ofullkomliga p g a påverkan från systemet enligt kap 2.

Från analys av uppförandet hos p_2 avstås, när stegsvaret för detta tryck visar ett utseende, som inte låter sig beskrivas på ett enkelt sätt och inte kan antas härröra från något, som kan analyseras utgående från linearitet.

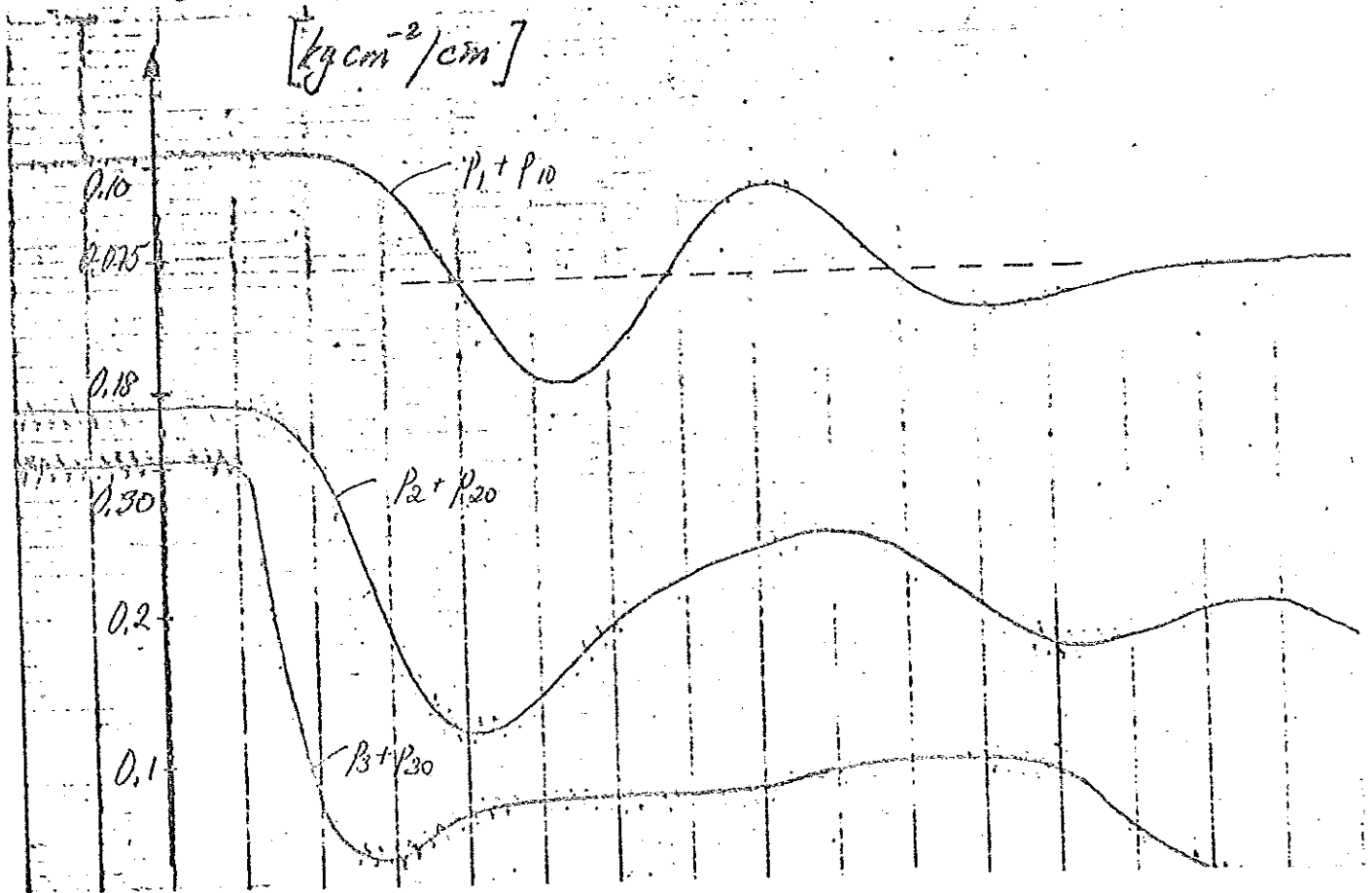
Figur 3.1

Stegstörning: $p_3 = -0.1 \text{ kp/cm}^2$ 

Tidsskala: 0,1 cm/sek.

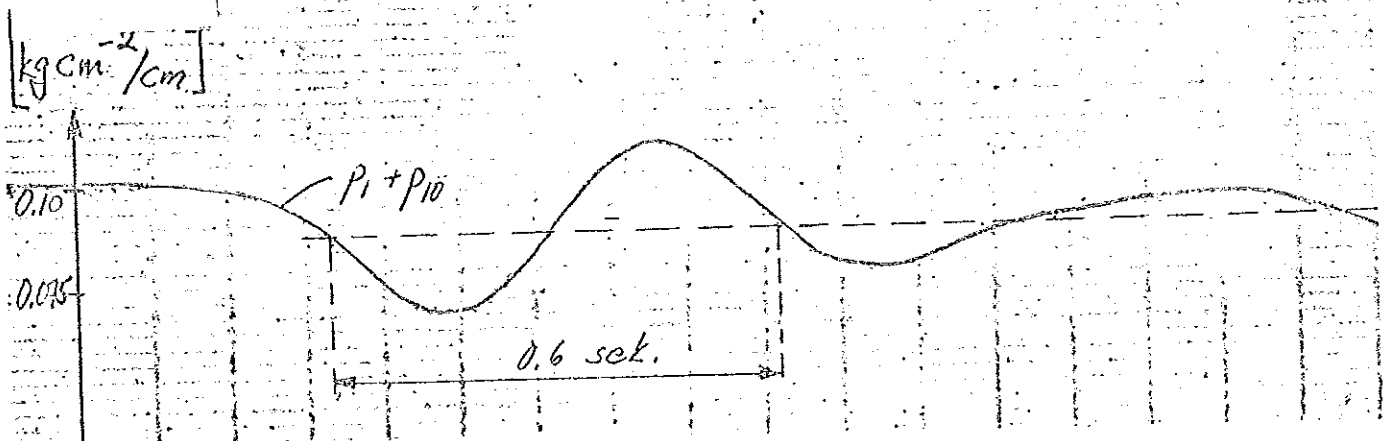
Figur 3.2

Stegstörning: $p_3 = -0.2 \text{ kp/cm}^2$



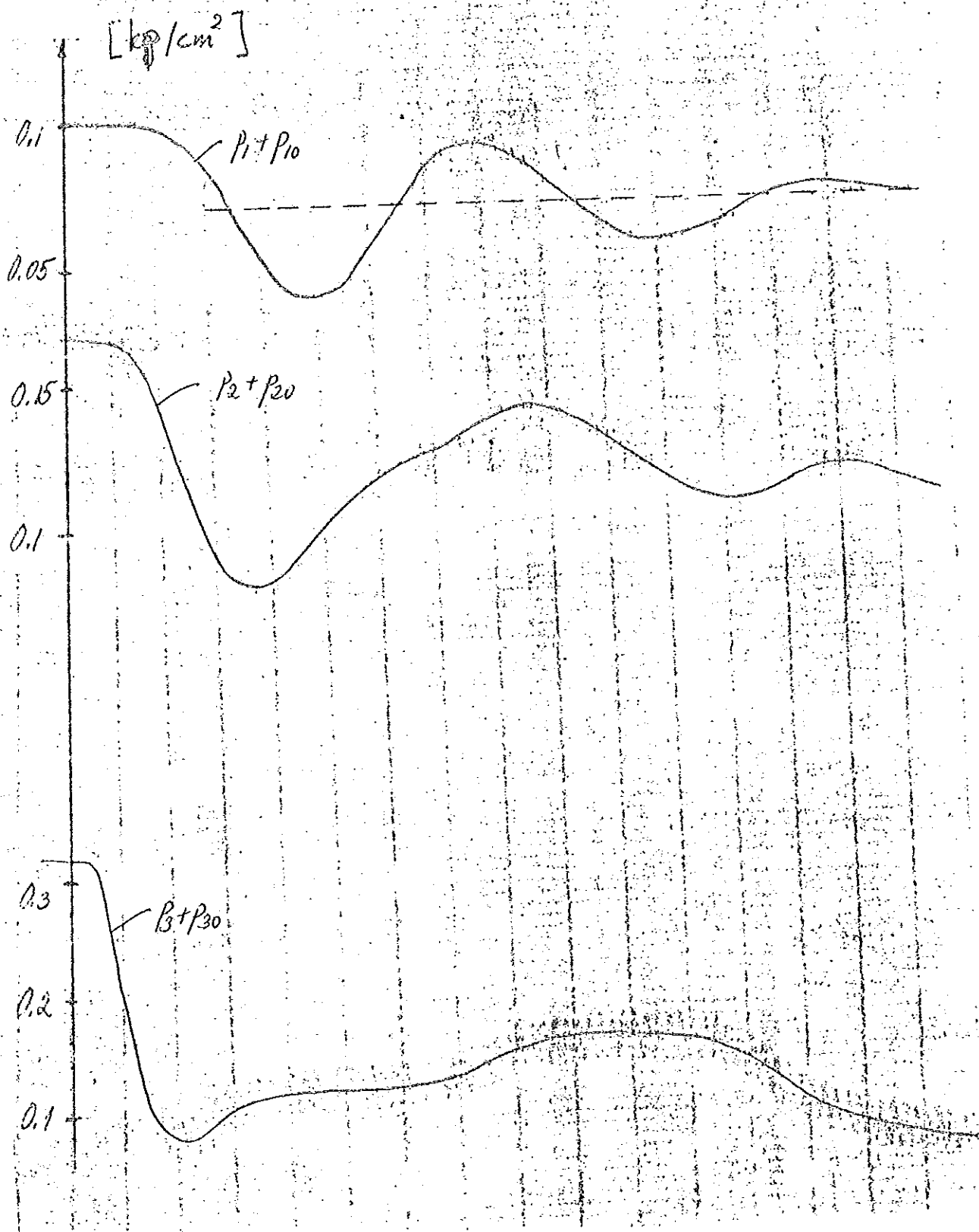
Figur 3.3

Stegstörning: $p_3 = -0.05 \text{ kp/cm}^2$



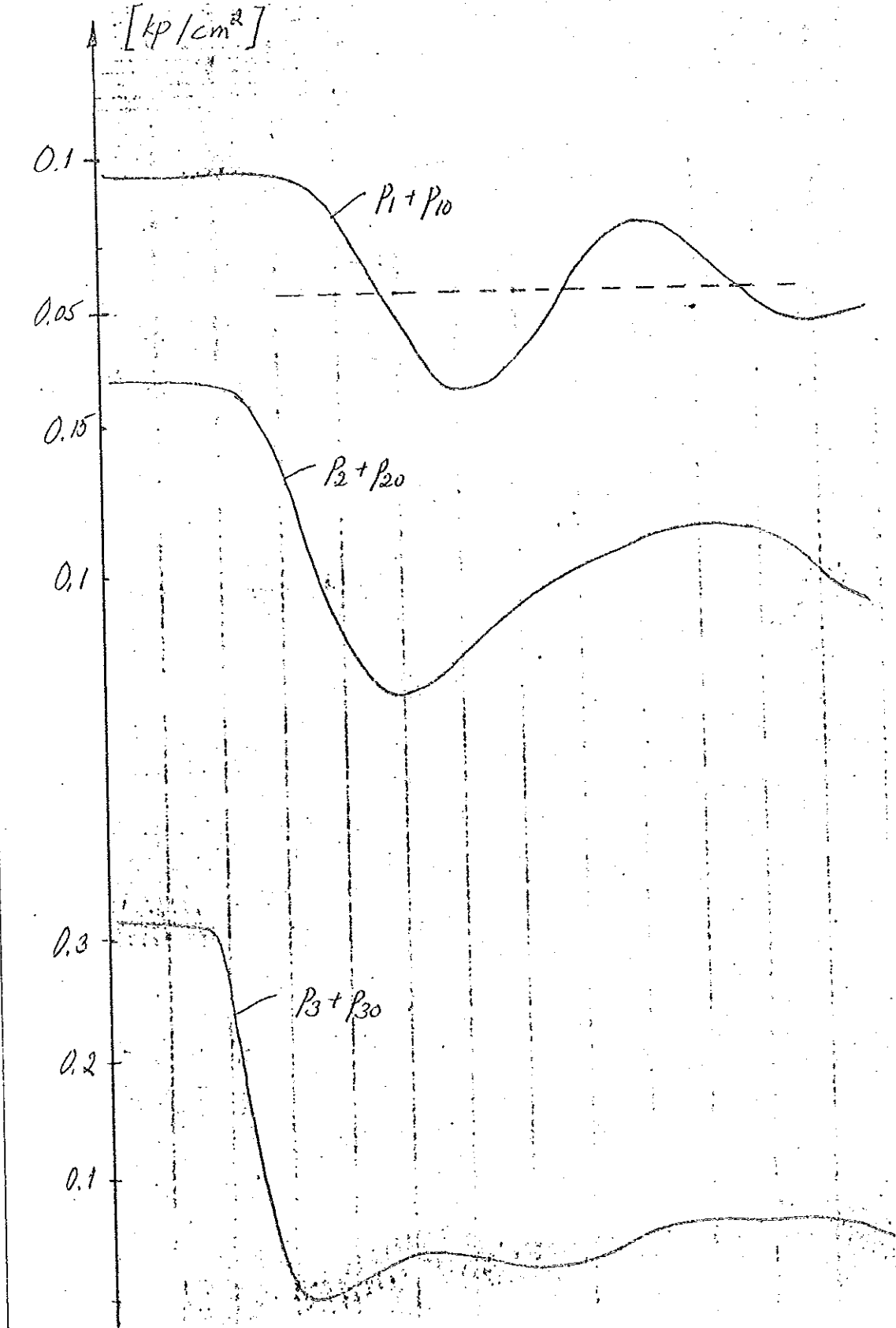
Tidsskala: 0.1 sek/cm.

Figur 3.4
Stegstörning: $p_3 = -0.2 \text{ kp/cm}^2$



Tidskala: 0.1 sek/cm.

Figur 3.5

Stegstörning: $p_3 = -0.3 \text{ kp/cm}^2$ 

Tidsskala: 0.1 sek/cm.

$p_3 < 0$ och kraftig strypning:

Dessa experiment är gjorda med en strypbricka isatt i vardera horisontella delen av vattenpelarna. Dess strömningshål definieras av data i appendix. Den är dessutom försedd med ett hål \emptyset 3 mm för luftens passage i jämviktstillstånd. Ett antal experiment har gjorts med steg av olika amplitud och resultatet visas i fig 3.6 - 3.10.

På grund av den starka dämpningen såväl för p_1 som p_2 är det lämpligast att arbeta i frekvensplanet. Förloppet liknar ett tvåkapacitivt system, varför den sedvanliga approximationen göres, nämligen att betrakta förloppet för små t som en ren transportfördröjning och anta att kurvan börjar avvika från noll först i den punkt, där tangenten i inflexionspunkten skär ursprungsnivån. Se figur 3.10. För p_1 fås följande Laplacetransform för tidsfunktionen enligt figur

$$P_1 = 0,034 e^{-0,15s} \frac{8}{s(s+8)}$$

Enär insignalen är ett steg med amplitud enligt figur fås överföringsfunktionen från p_3 till P_1 :

$$G_1(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = 0,97 e^{-0,15s} \frac{1}{s+8}$$

vilket motsvarar viktsfunktionen

$$h_1(t) = \begin{cases} 0 & t < 0,15 \text{ sek} \\ 0,97 e^{-8(t-0,15)} & t > 0,15 \text{ sek} \end{cases}$$

På samma sätt fås med andra steg enligt figur 3.8 - 3.9 för p_1 :

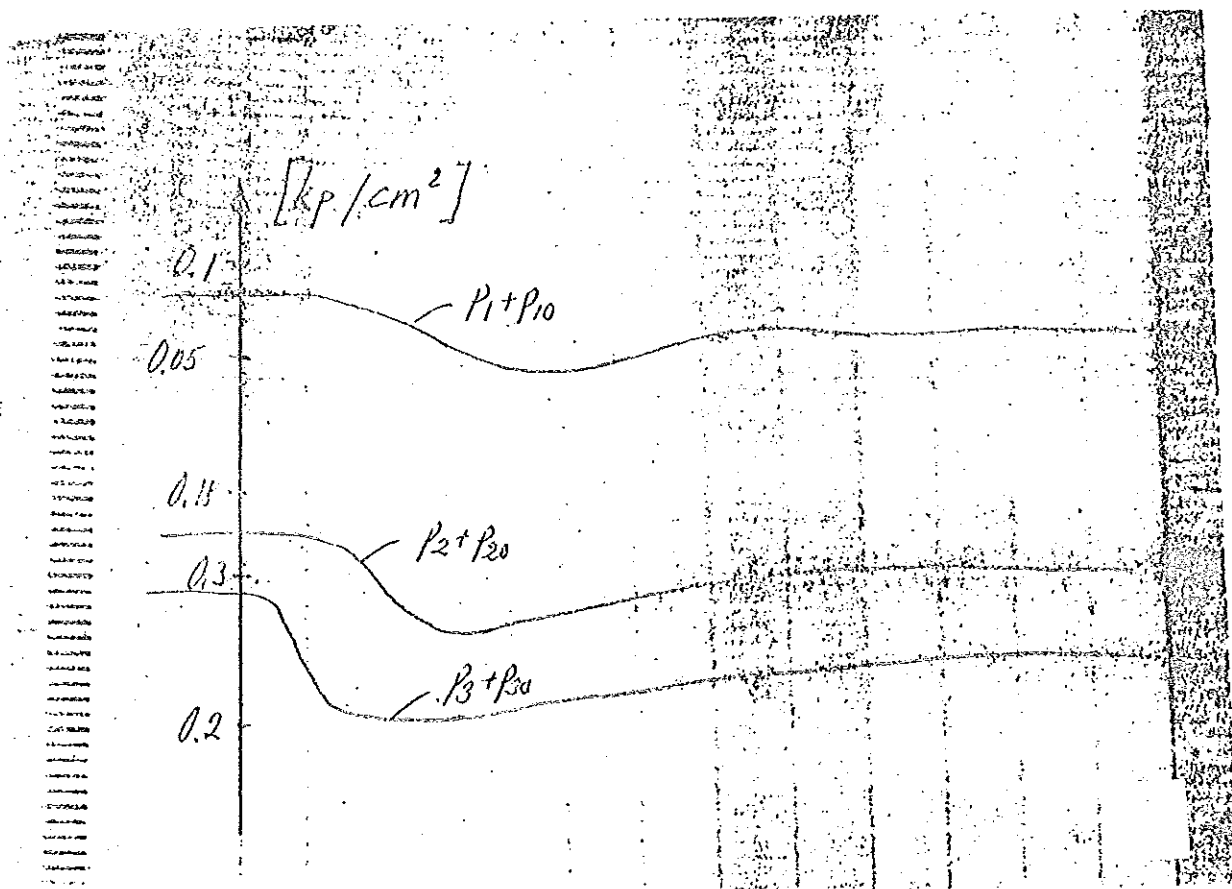
$$h_1(t) = \begin{cases} 0 & t < 0,16 \text{ sek} \\ 1,17 e^{-8,5(t-0,16)} & t > 0,16 \text{ sek} \end{cases}$$

respektive

$$h_1(t) = \begin{cases} 0 & t < 0,17 \text{ sek} \\ 0,93 e^{-7,5(t-0,17)} & t > 0,17 \text{ sek} \end{cases}$$

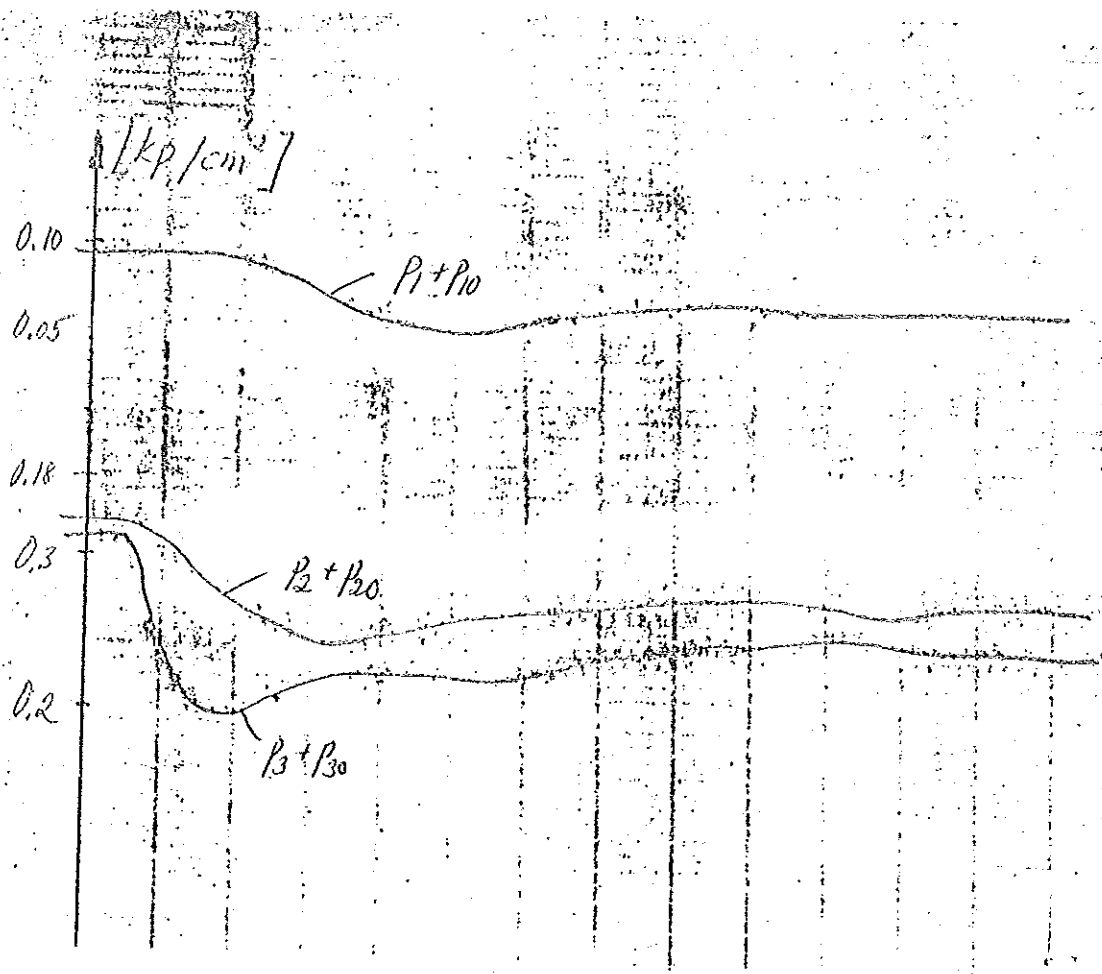
På samma sätt erhålles tidsfunktionen för p_2 enligt samma figurer.

Figur 3.6

Stegstörning: $p_3 = -0.05 \text{ kp/cm}^2$.

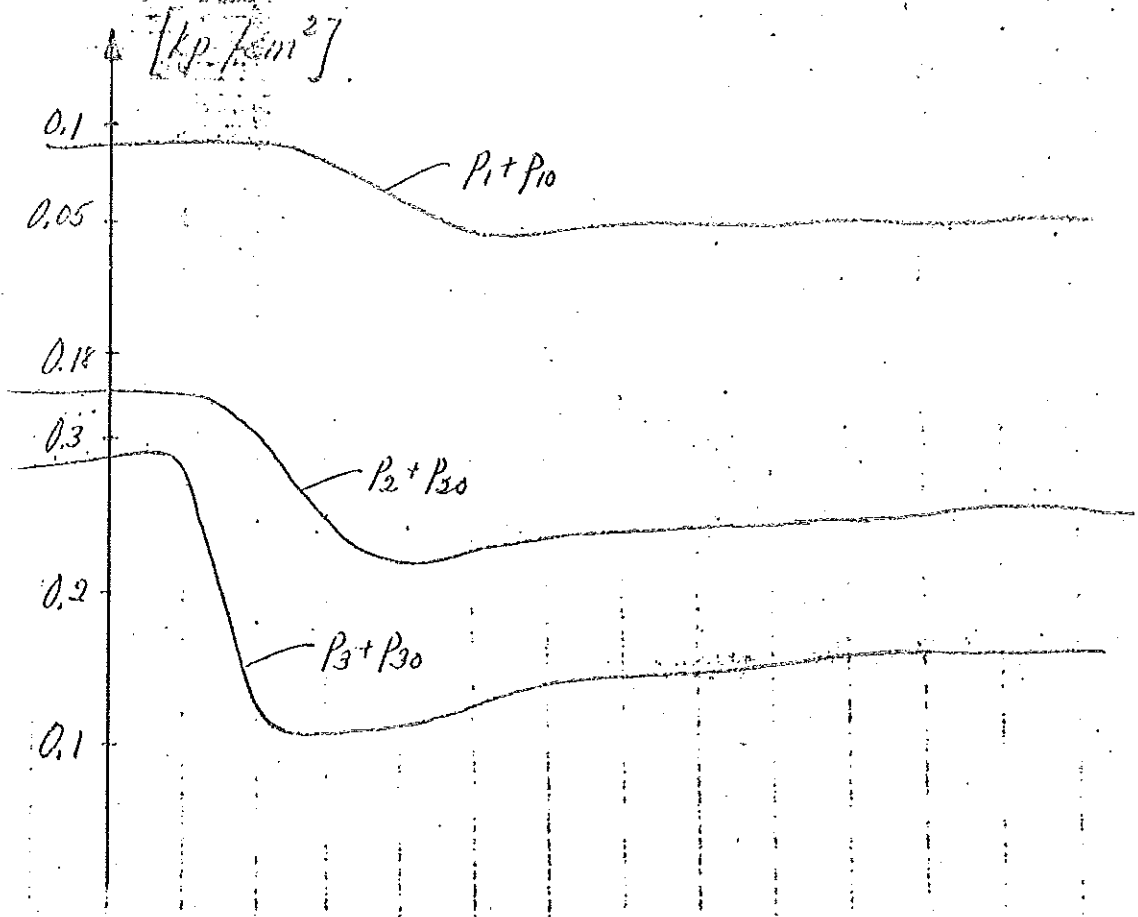
Tidsekala: 0.1 sek/cm.

Figur 3.7
Stegstörning: $p_3 = -0.1 \text{ kp/cm}^2$.



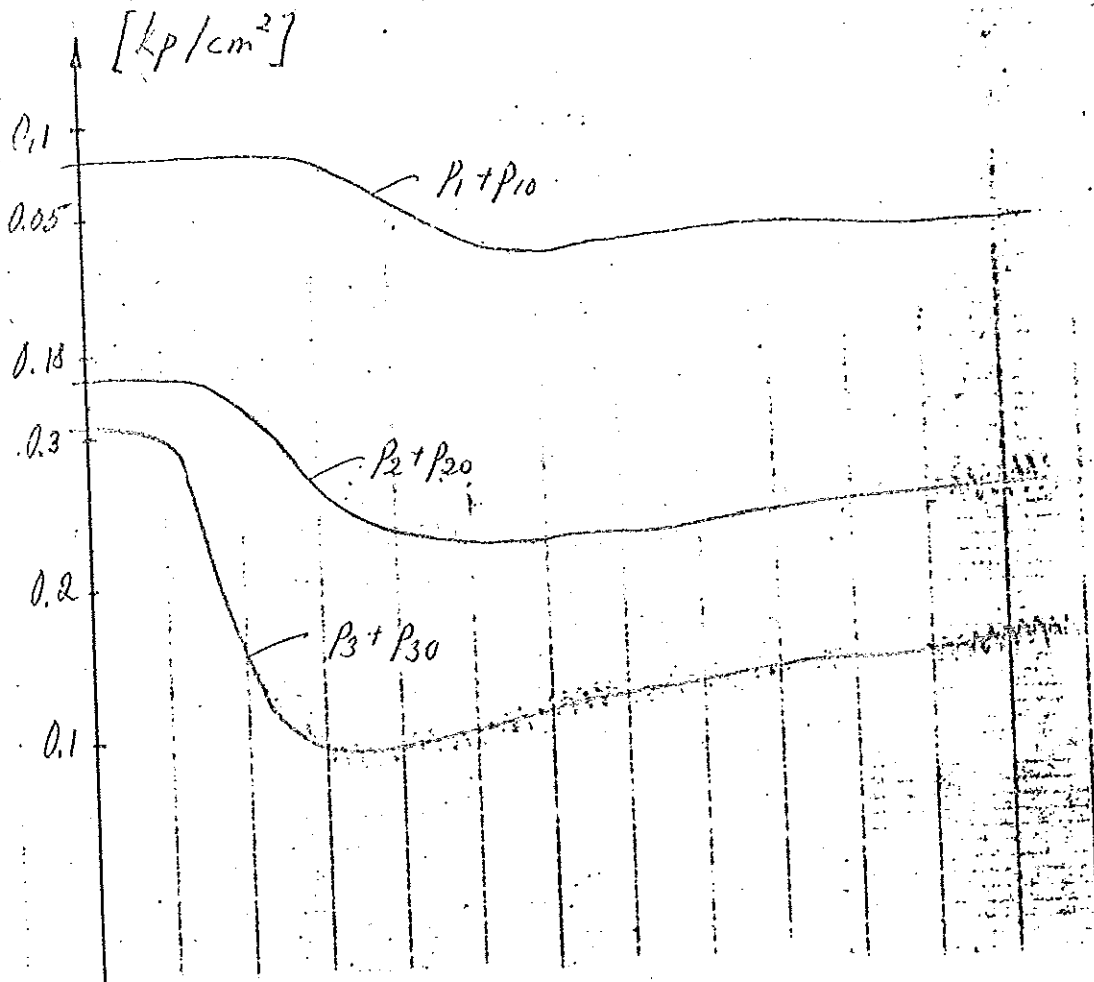
Tidsskala: 0.1 sek/cm.

Figur 3.8

Stegstörning: $p_3 = -0.17 \text{ kp/cm}^2$.

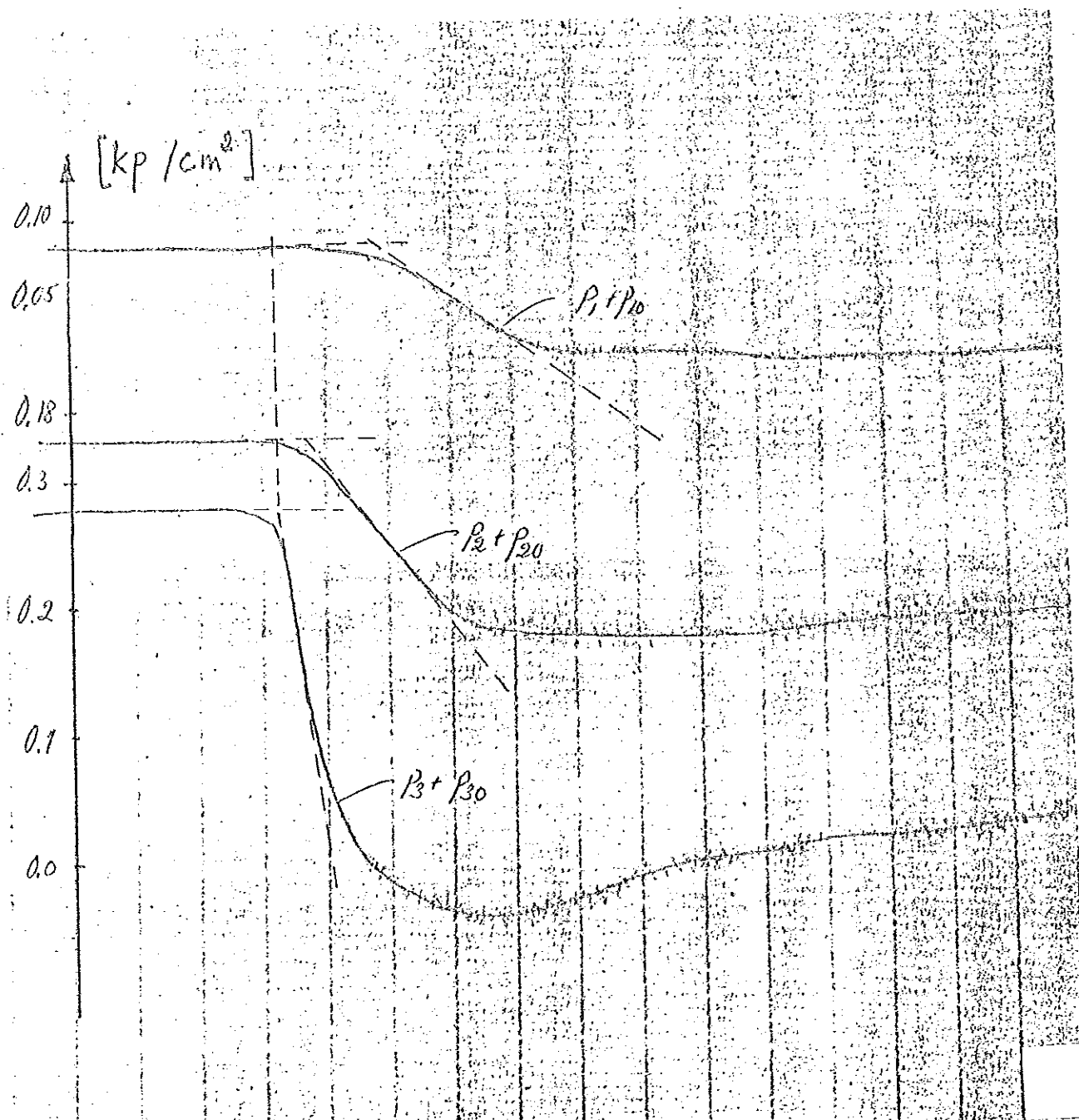
Tidsskala: 0.1 sek/cm.

Figur 3.9

Stegstörning: $p_3 = -0.2 \text{ kp/cm}^2$.

Tidsskala: 0.1 sek/cm.

Figur 3.10

Stegstörning: $p_3 = -0.3 \text{ kp/cm}^2$.

Tidsskala: 0.1 sek/cm.

$$h_2(t) = \begin{cases} 0 & t < 0,04 \text{ sek} \\ 0,93 e^{-3,6(t - 0,04)} & t > 0,04 \text{ sek} \end{cases}$$

$$h_2(t) = \begin{cases} 0 & t < 0,05 \text{ sek} \\ 1,25 e^{-5(t - 0,05)} & t > 0,05 \text{ sek} \end{cases}$$

$$h_2(t) = \begin{cases} 0 & t < 0,08 \text{ sek} \\ 0,84 e^{-4(t - 0,08)} & t > 0,08 \text{ sek} \end{cases}$$

Med hänsyn till den noggrannhet man kan begära i mätningarna synes resultaten inte motsägande. Man måste dessutom räkna med en viss felkälla i vattenytornas ursprungliga inställning, deras uppförande under rörelsen (eventuell skvalpning) osv.

$p_3 > 0$ och kraftig strypning

Försöken med positiv tryckstörning har skett med bricka isatt, vilket innebär en kraftig strypning i den horisontella delen av vattenpelarna. Denna tryckhöjning har skett i form av ett steg ovanpå ursprungstrycket. Några olika amplituder på steget har använts. Resultatet visas i fig 3.11 - 3.15.

Förhållandevis små stegstörningar har applicerats, enär preliminära försök visat, att förloppen ändå blir ganska våldsamma. Sålunda har stegens amplituder varierats med ungefär 10 - 25% störning i vilotrycket $p_3 = 0,33 \text{ kp/cm}^2$.

Vad det gäller positiva p_3 bör ihågkommas att en höjning av trycket innebär att detta förmår balansera en större vattenpelare, dvs den undre begränsningsytan sjunker, medan den övre stiger. Det innebär att vatten strömmar från en vattenpelare till nästa. Så länge påfyllning upprätthålles förblir systemet i sitt ursprungliga skick, men denna förutan förändras systemets karaktär, enär vattenmängden minskar i den pelare som utsätts för det ökade trycket. (Övriga pelare får en vattentransport men ingen ändring av vattenmängden, om tryckhöjningen sker så långsamt, att ingen svängning uppstår.) Systemet är således för positiva tryckstörningar tidsvariant. Detta innebär att den matematiska behandlingens möjligheter begränsas för att inte säga omöjliggörs. Därför begränsas behandlingen här till några kvalitativa konstateranden

och diskussion av systemets uppförande strax efter det pålagda steget.

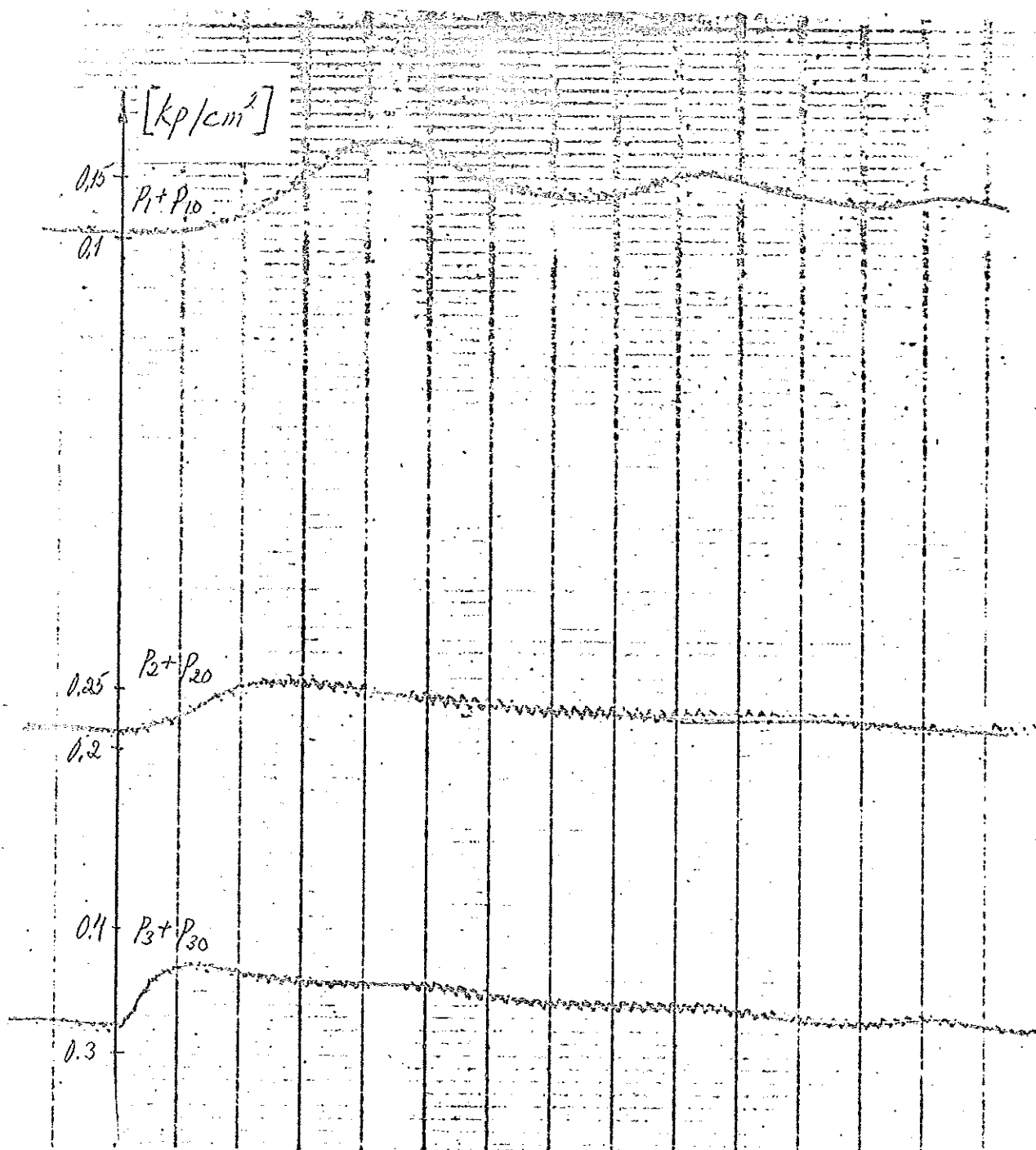
Figurerna 3.11-15 visar, att det pålagda steget inte är oberoende av vad som händer med systemet. Ju större amplitud på steget desto mer sjunker trycket beroende på att mer vatten trycks ut ur trycksimulatorens. Detta är också den enda märkbara skillnaden mellan förlopp, då steg med olika amplitud pålagts.

Tryckstörningen p_3 i första luftpelaren fortplantas till den andra luftpelaren med en viss fördröjning. Efter ungefär 0.1 sekund börjar trycket p_2 stiga och ungefär den dubbla tiden dröjer det tills p_1 börjar stiga. Då steget pålagges sker den ovan omtalade transporten av vatten genom systemet. Då vattenpelarna svänger tillbaka i sina respektive torn synes en trycksänkning uppstå beroende på att summan av de vattenpelare, som nu skall "tryckas upp", har minskat. Det syns på jämviktsnivåerna för trycken. De är ej av samma storlek, som förväntats om systemet varit tidsinvariant.

På grund av den minskade vattenmassan i den tredje pelaren synes en viss höjning ske av frekvensen hos svängningarna i p_1 . Denna svängning är dessutom mer uttalad i p_1 än i p_2 , enär p_1 motsvarar trycket i den luftpelare, som är ansluten till den sista vattenpelaren.

Av stort intresse i detta sammanhang är utformningen av hålet för luft intill strypningen. Det är det hål, som bestämmer ursprungsnivån för den undre ytan av vattenpelaren genom att släppa igenom luft då vattenytan sjunker under hålets nivå. I dessa undersökningar har använts ett cirkulärt hål \emptyset 3 mm. Hålets yta är jämfört med öppningen för strömningen av vatten försumbar och antas inte ge något bidrag till flödet, då dess nivå överskrides av vattenytan. Då dess nivå däremot underskrides är hålets dimension och utseende säkert av vital betydelse för hela uppförandet, då det bestämmer luftflödet. En undersökning av hålets inverkan och dess lämpliga utformning ligger utanför ramen för denna undersökning men kommer att utföras separat inom Multithermprojektet. Erfarenheterna från en sådan undersökning behövs för dimensioneringen av tryckregulatorer för en kommande Multithermanläggning och eventuella framsteg vid utformningen av denna luftpassage kommer att påverka många parametrar i gynnsam riktning.

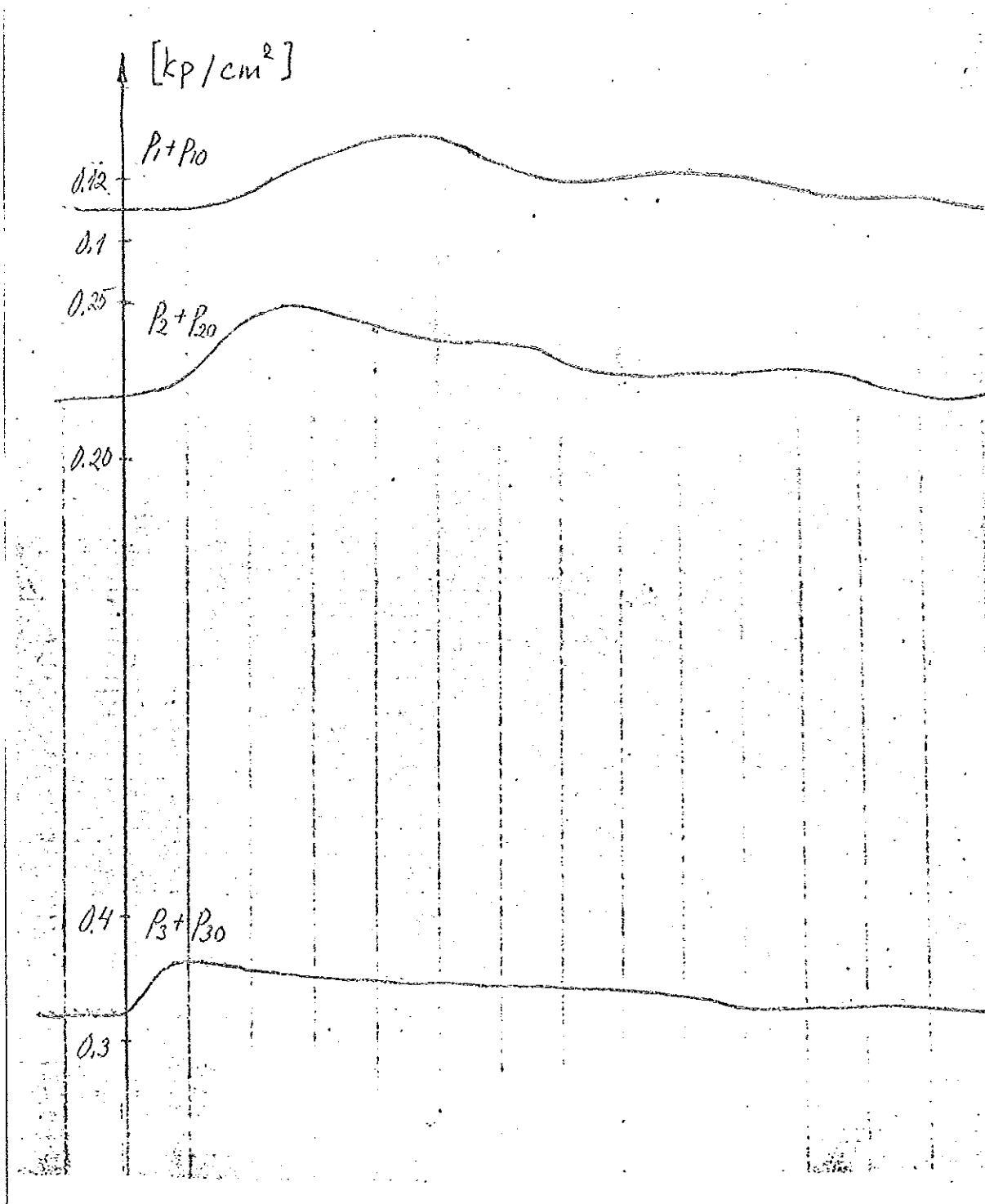
Figur 3.11

Stegstörning: $p_3 = 0.03 \text{ kp/cm}^2$ 

Tidsskala: 0.1 sek/cm

Figur 3.12

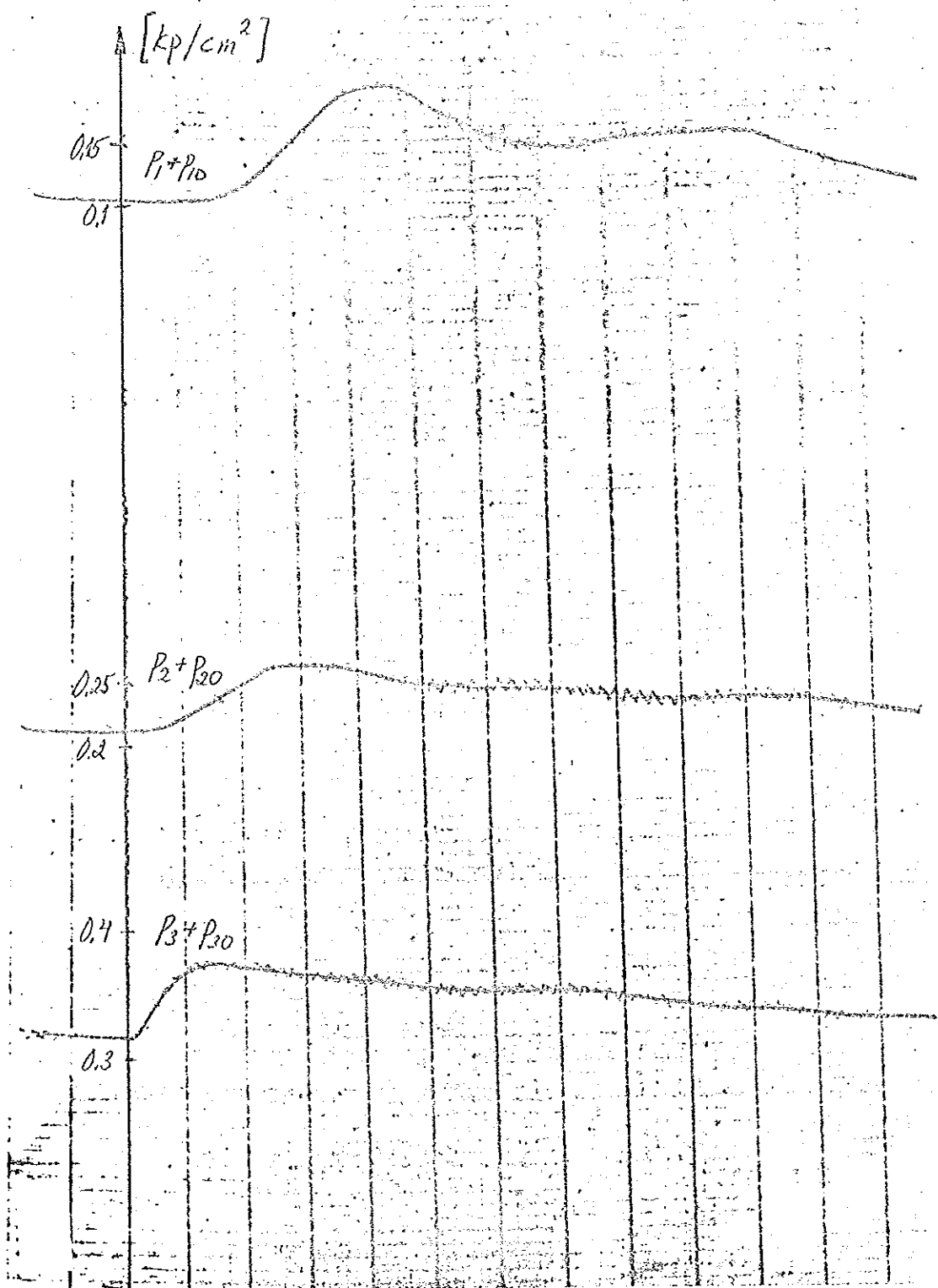
Stegstörning: $P_3 = 0.04 \text{ kp/cm}^2$.



Tidsskala: 0.1 sek/cm.

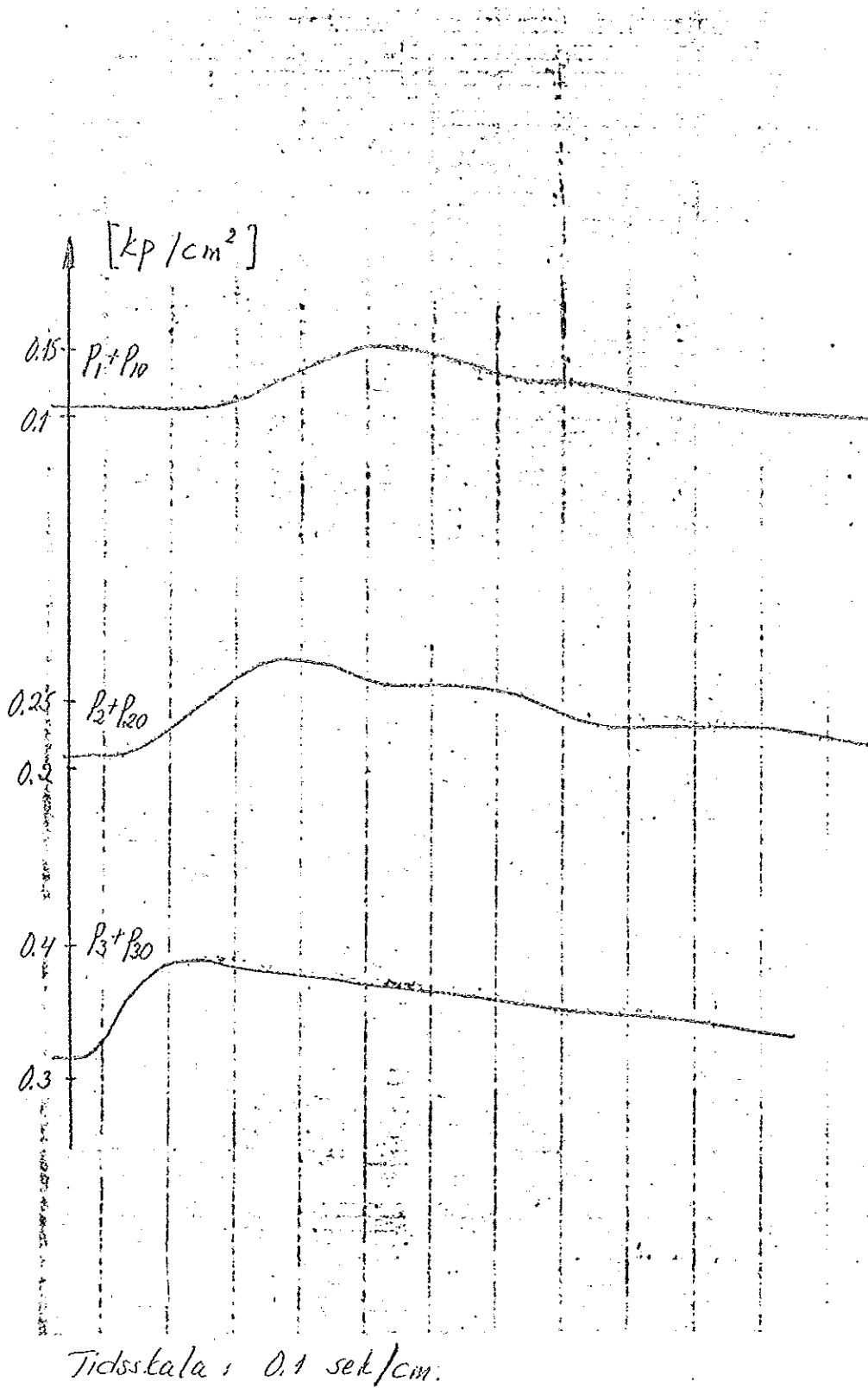
Figur 3.13

Stegstyrning: $P_3 = 0.05 \text{ kp/cm}^2$

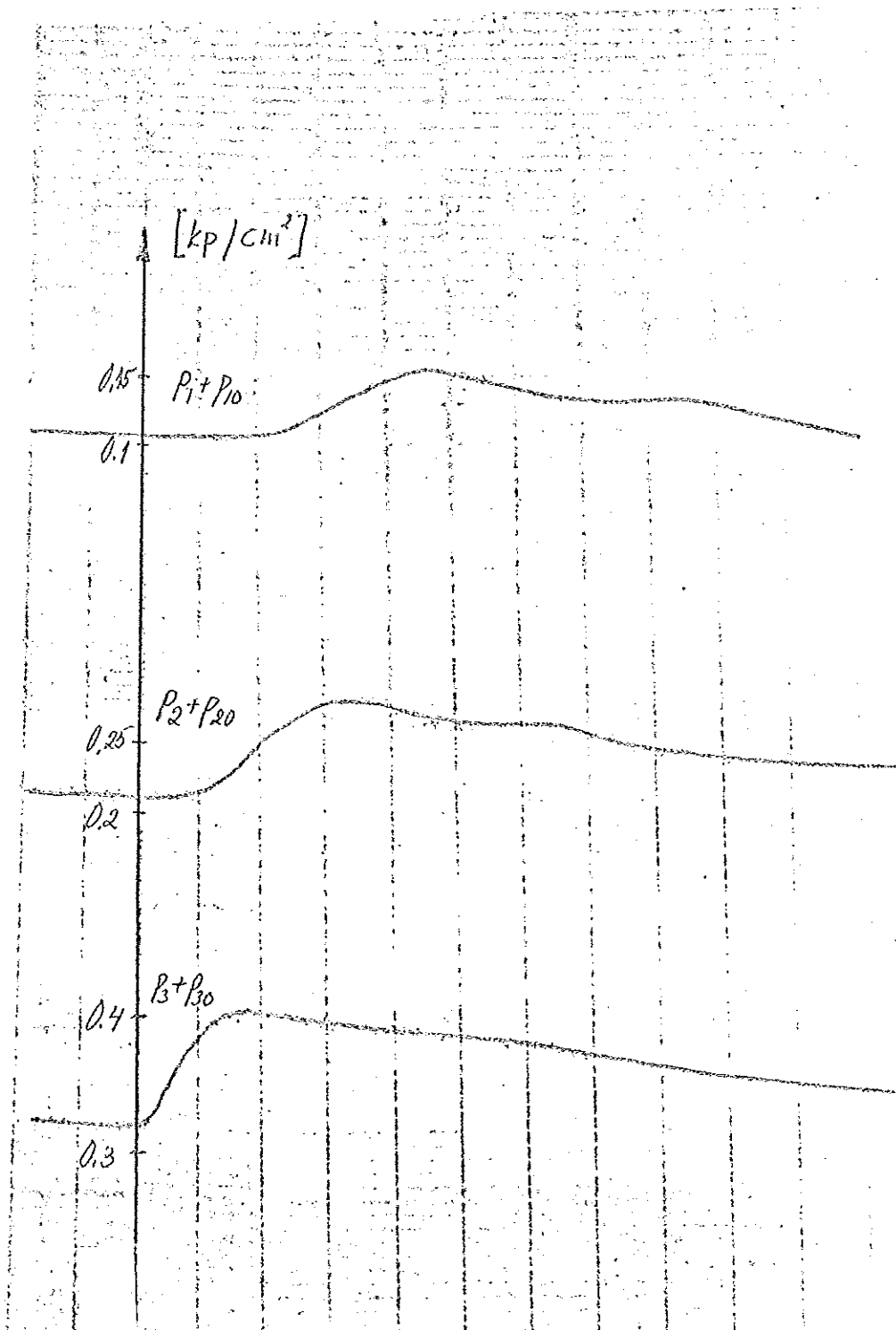


Tidsskala: 0.1 sek/cm.

Figur 3.14

Stegstörning: $p_3 = 0.08 \text{ kp/cm}^2$ 

Figur 3.15
stegstörning: $P_3 = 0.08 \text{ kp/cm}^2$



Tidsskala: 0.1 sek/cm.

MODELLFÖRSÖKInledning

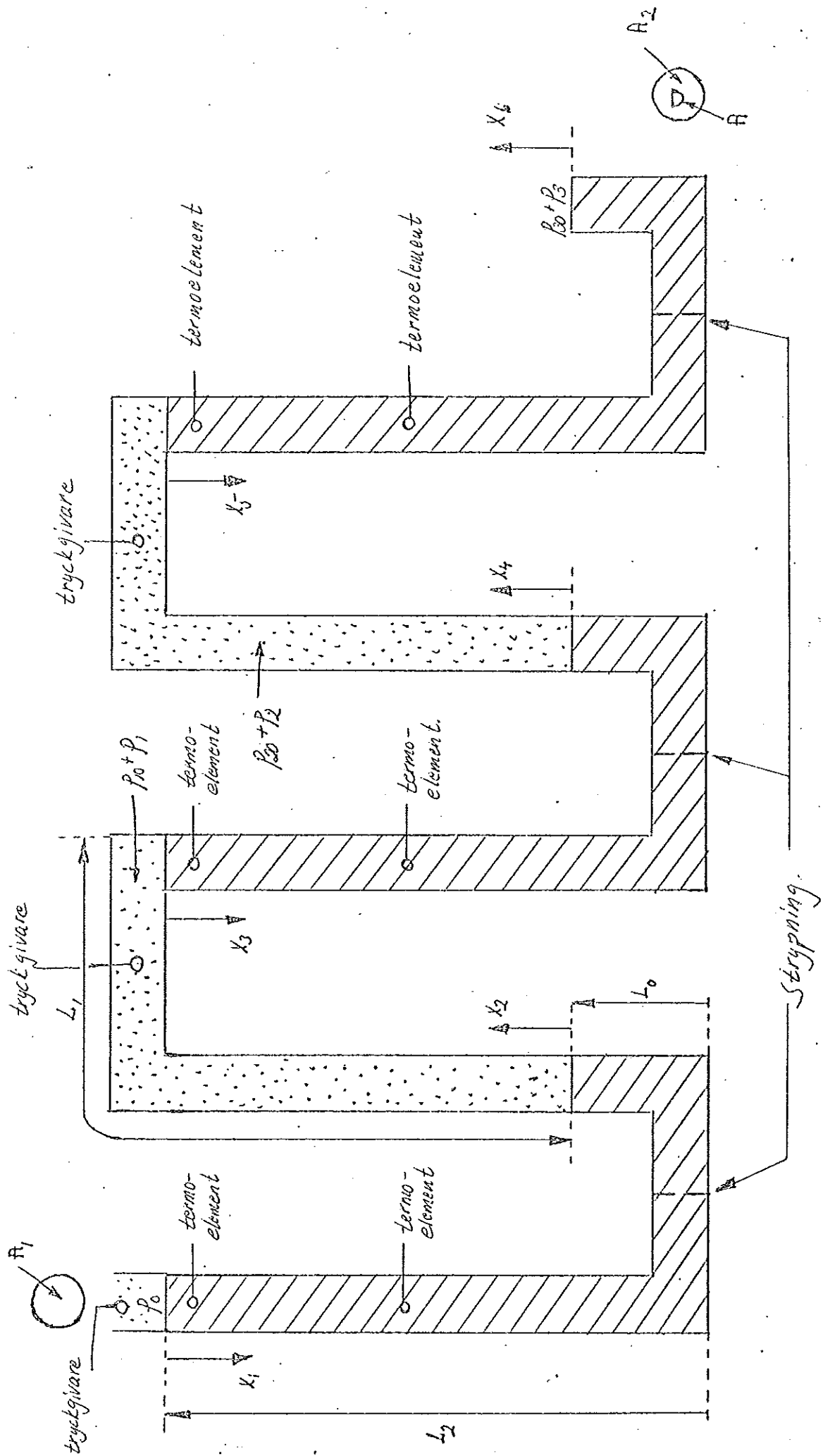
Den undersökta sk trycksimulatorn är en förminskad modell av en del av den anläggning, som skall ingå i Multithermprojektet. För att i förväg kunna få något grepp om en kommande pilotplant's uppförande, önskas en matematisk modell för trycksimulatorn och därefter en uppskalning av denna modell till pilotplant, om möjligt.

Som verifikation av modellens validitet får tjäna tidigare erhållna mätdata vid experiment med den verkliga modellen. Dessa finns dokumenterade i redogörelsen för den praktiska delen. Geometriska data definieras av ritningar TG 70192 och TG 70193. Dessa återfinnes i vissa upplagor i appendix.

Trycksimulatorn består av tre stycken vattenpelare i lika många U-rör. Dessa U-rör är förbundna med varandra via U-rör innehållande luft. Ett av de yttre U-rörens fria skänkel pålägges ett övertryck, vilket väljes så stort, att det förmår balansera summan av vattenpelarna, vilkas extremlägen definieras av respektive bräddavlopp. För att motverka vattenpelarnas svängningar vid inträffade störningar från jämviktssläget, sitter i den horisontella delen av U-rören, innehållande vatten, en strypning, vars inverkan på systemet även är av intresse.

Strypningens inverkan på systemet är troligen en väsentlig detalj i en kommande anläggning, varför den på lämpligt sätt bör ingå i modellen.

I figur 4.1 visas en enkel skiss av trycksimulatorns principiella uppbyggnad och den definierar även använda beteckningar. Således betecknas atmosfärstrycket p_0 ursprungstrycken då systemet befinner sig i jämviktstillståndet p_{10} respektive p_{20} och p_{30} . Tryckvariationerna i luftpelarna som betecknas p_1 respektive p_2 och p_3 beskriver den tryckstörning, som utgör in-signalen. Införda koordinater x_1, \dots, x_6 betecknar respektive nivå's avvikelse från ursprungsläge i jämviktstillståndet. U-rörens skänklar har tvärsnittsarean A_1 , deras horisontella del A_2 och strypningens öppning ytan A . Vattenpelarnas ursprungliga höjd betecknas L_0 och L_2 , luftpelarens L_1 . Observera att det är oväsentligt från



Figur 4.1
 Trycksimulators principiella
 uppbyggnad.

vilken nivå dessa höjder räknas, enär det endast är skillnaden mellan nivåerna, den upptryckta vattenpelarens höjd, som bestämmer kraftbidraget. För att kunna relatera luftvolymens kompression/expansion till koordinaterna har en för luftpelaren ekvivalent ursprungslängd uträknats, enär tvärsnittsarean ej är konstant över luftpelaren.

Data för modellen

I och II

$$A_1 = 1.094 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2.011 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$m = 20.6 \text{ kg}$$

(ej korrigerad för strypningen)

$$\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

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

$$P_0 = 1.013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$P_{10} = 1.121 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$P_{20} = 1.229 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$P_{30} = 1.337 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$L_1 = 1.337 \text{ m}$$

$$L_2 - L_0 = 1.125$$

I

$$A = 3.53 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$K = 70.5 \text{ N/m}^2/\text{m}^2/\text{s}^2$$

$$m = 21.4 \text{ kg}$$

II

$$A = 2.69 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$K = 167 \text{ N/m}^2/\text{m}^2/\text{s}^2$$

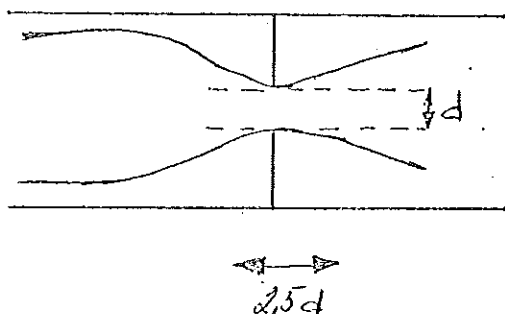
$$m = 21.8 \text{ kg}$$

I strypningen sker ett tryckfall, vilket är proportionellt mot kvadraten på hastigheten i öppningen. För att få en uppfattning om denna strypnings inverkan gjordes en mätning av tryckdifferensen mellan en punkt före strypningen och en efter. Ett antal olika hastigheter med motsvarande tryckhastigheter undersöktes genom att variera flödet och mäta detta enligt metoden med hink och klocka. För den kraftigare strypningen presenteras samman-

hörande värden på tryckdifferens och hastighetskvadrat i figur 4.2, vilket ger proportionalitetskonstanten $K = 70.5 \text{ [N/m}^2 / \text{m}^2/\text{s}^2]$. För den svagare strypningen erhöles så stora flöden och små tryckdifferenser att grafisk presentation över det lilla variationsområdet vore meningslös. Antages istället den räta linjen gå genom origo och användes $\Delta P = 10 \text{ [mm H}_2\text{O]}$ och $v = 0.767 \text{ [m/s]}$ erhöles ett värde på $K = 167$ som något av ett riktvärde, kring vilket K kan varieras vid simulering för anpassning till överensstämmelse med praktiska mätningar.

Strypningen

I strypningen sker en hastighetssökning och således fås ett större bidrag till tröghetskraften i denna del. I termodynamiken beräknas denna höga hastighet råda inom en volym som har öppningens tvärsnittsarea och en längd av ungefär $2.5 d$, där d är öppningens diameter enligt nedanstående figur.



Hastigheten i öppningen relateras till hastigheten i den grövre dimensionen som inversa förhållandet mellan respektive tvärsnittsareor. Betecknas totala massan i vattenpelaren m och hastigheten i grövre dimensionen v_1 , samt hastigheten i öppningen v_2 fås totala tröghetskraften:

$$m_{\text{ekv}} v_1 = (m - \rho \frac{\pi d^2}{4} 2.5 d) v_1 + \rho \frac{\pi d^2}{4} 2.5 d v_2$$

Men nu gäller $A_1 v_1 = A v_2$ varför

$$m_{\text{ekv}} v_1 = (m - \frac{5\pi \rho d^3}{8}) v_1 + \frac{5\pi \rho d^3}{8} \frac{A_1}{A} v_1$$

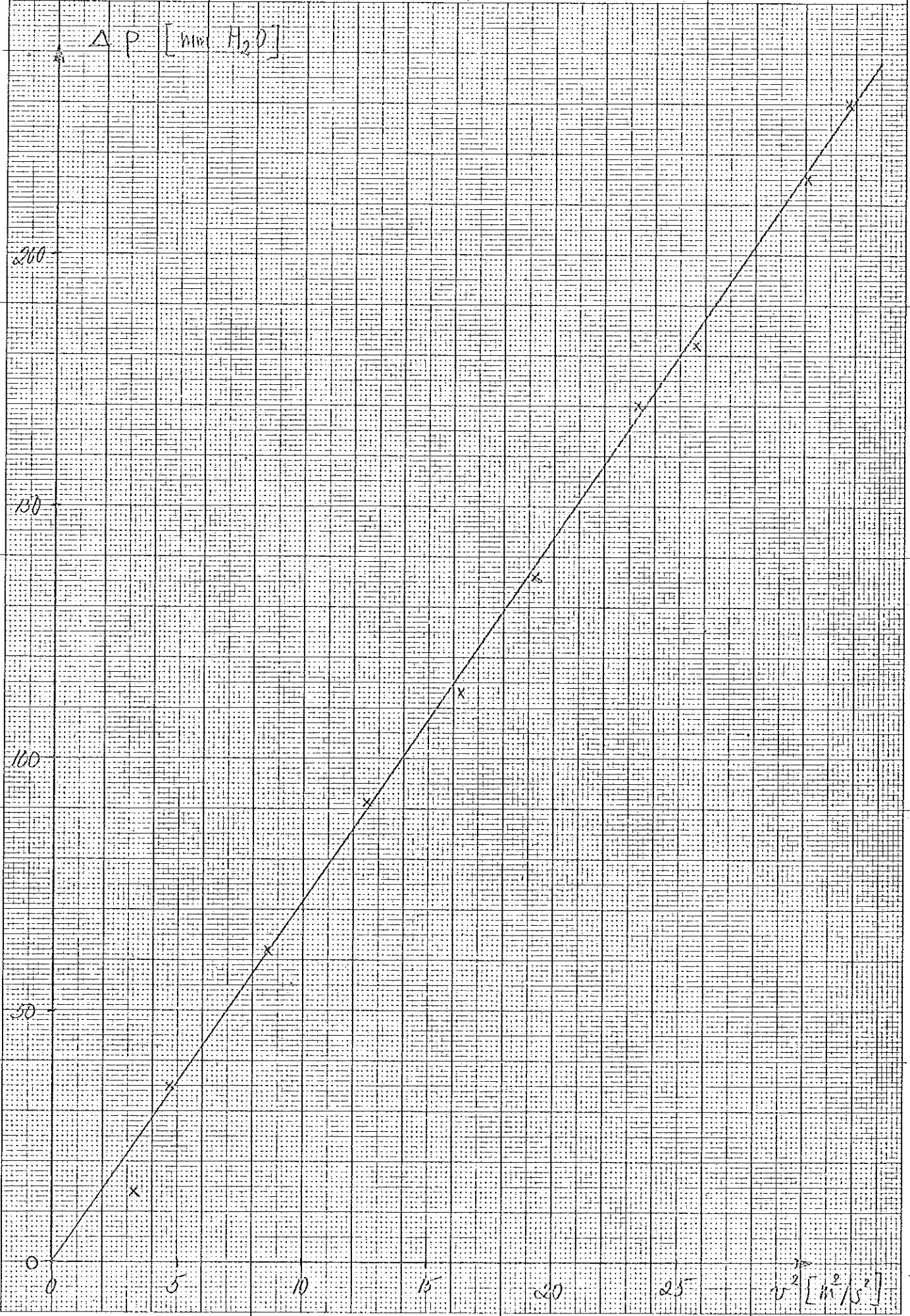
$$m_{\text{ekv}} = m + \frac{5\pi \rho d^3}{8} \left(\frac{A_1}{A} - 1 \right)$$

Ekvationer

För att beskriva rörelsen hos vattenpelarna antages dessa vara



Δp mot v^2
 Mätning av tryckfallet vid
 stoppläns, med yta ent. t.v.



ekvivalenta med en massa och användes kraftekvationen. För t ex den första vattenmassan erhålles då

$$A_1 [p_0 + \rho g(L_2 - x_1) - p_{10} - p_1 - \rho g(L_0 + x_2)] - A_2 K \left(\frac{A_1}{A} \dot{x}_1 \right)^2 \text{sign } \dot{x}_1 = m \ddot{x}_1$$

där massan är den uträknade ekvivalenta och övriga beteckningar enligt ovan.

För de övriga vattenmassorna erhålles på liknande sätt och reducerat:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_0 + \rho g(L_2 - L_0 - 2x_1) - p_{10} - p_1 - \frac{A_2 A_1}{A^2} \dot{x}_1^2 \text{sign } \dot{x}_1 = \frac{m}{A_1} \ddot{x}_1 \\ p_{10} + p_1 + \rho g(L_2 - L_0 - 2x_3) - p_{20} - p_2 - \frac{A_2 A_1}{A^2} \dot{x}_3^2 \text{sign } \dot{x}_3 = \frac{m}{A_1} \ddot{x}_3 \\ p_{20} + p_2 + \rho g(L_2 - L_0 - 2x_5) - p_{30} - p_3 - \frac{A_2 A_1}{A^2} \dot{x}_5^2 \text{sign } \dot{x}_5 = \frac{m}{A_1} \ddot{x}_5 \end{array} \right.$$

enär $x_1 = x_2$, $x_3 = x_4$ och $x_5 = x_6$ på grund av vattnets inkompressibilitet.

Dessa tre differentialekvationer för rörelsen hos de tre pelarna är kopplade till varandra via trycken i mellanliggande luftpelare ($p_{20} + p_2$) respektive ($p_{10} + p_1$) vilka tryck relateras till koordinaterna via volymen i tillståndslagen för luften. För denna gäller reversibelt adiabatiskt $p V^\kappa = \text{konstant}$, där $\kappa = 1.4$.

$$\Rightarrow A_1^\kappa (L_1 + x_3 - x_2)^\kappa (p_{10} + p_1) = A_1^\kappa L_1^\kappa p_{10}$$

$$\text{varför } p_1 = p_{10} \left[\left(\frac{1}{1 - \frac{x_2 - x_3}{L_1}} \right)^\kappa - 1 \right]$$

och motsvarande för p_2 .

För att möjliggöra simulering på analogmaskin med begränsat antal funktionsgivare framtvingas här en linjarisering. Betrakta därför

$$f(x) = \left(\frac{1}{1-x} \right)^\kappa - 1$$

Av fysikaliska skäl linjariseras kring origo, jämviktsläget.

$$f'(x) = \kappa \left(\frac{1}{1-x} \right)^{\kappa-1} \cdot \frac{1}{(1-x)^2}$$

varför $f'(0) = h$

MacLaurin-utveckling till och med den linjära termen ger därför:

$$f(x) = f(0) + f'(0) \cdot x = h \cdot x$$

och därmed den linjära approximationen för trycken:

$$\begin{cases} p_1 = \frac{h P_{10}}{L_1} (x_1 - x_3) = \frac{1.4 P_{10}}{L_1} (x_1 - x_3) \\ p_2 = \frac{h P_{20}}{L_1} (x_3 - x_5) = \frac{1.4 P_{20}}{L_1} (x_3 - x_5) \end{cases}$$

I figur 4.3 åskådliggöres den linjära approximationens avvikelse från funktionssambandet.

Sättes $L_2 = L_0 = 2x_i = -2z_i$, $i = 1, 3, 5$.

och insättes den linjariserade gaslagen erhålles efter reducering:

$$\begin{cases} \ddot{z}_1 = \frac{A_1}{m} \left[p_0 - p_{10} - z_1 (2\rho g + \frac{P_{10}}{L_1}) + \frac{P_{10}}{L_1} z_3 - \frac{A_2 A_1}{A^2} K \dot{z}_1 \cdot |\dot{z}_1| \right] \\ \ddot{z}_3 = \frac{A_1}{m} \left[p_{10} - p_{20} - z_3 (2\rho g + \frac{P_{10}}{L_1}) + \frac{P_{10}}{L_1} z_1 + \frac{P_{20}}{L_1} z_5 - \frac{A_2 A_1}{A^2} K \dot{z}_3 \cdot |\dot{z}_3| \right] \\ \ddot{z}_5 = \frac{A_1}{m} \left[p_{20} - p_{30} - z_5 (2\rho g + \frac{P_{20}}{L_1}) + \frac{P_{20}}{L_1} z_3 - p_3 - \frac{A_2 A_1}{A^2} K \dot{z}_5 \cdot |\dot{z}_5| \right] \\ p_1 = \frac{h P_{10}}{L_1} (z_1 - z_3) \\ p_2 = \frac{h P_{20}}{L_1} (z_3 - z_5) \end{cases}$$

Fall_I: Kraftig strypning

$$K = 70.5 \quad [\text{N/m}^2 / \text{m}^2/\text{s}^2]$$

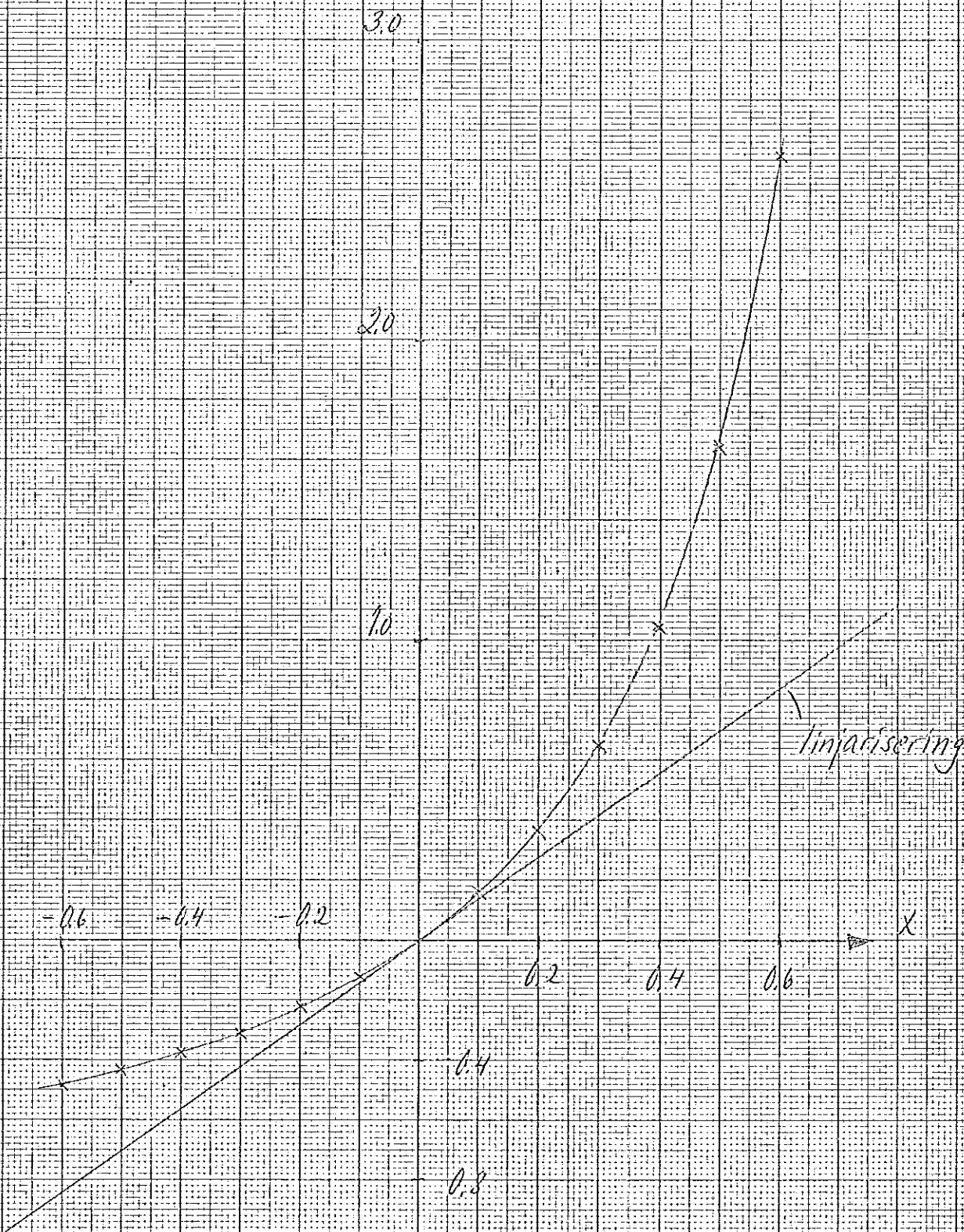
$$m = 21.4 \text{ kg}$$

$$A = 3.53 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\begin{cases} \ddot{z}_1 = -70.04 z_1 + 60.02 z_3 - 62.47 \dot{z}_1 \cdot |\dot{z}_1| \\ \ddot{z}_3 = -135.8 z_3 + 60.02 z_1 + 65.79 z_5 - 62.47 \dot{z}_3 \cdot |\dot{z}_3| \end{cases}$$

Inverkan av linjäriseringen av gaslagen.

$$f(x) = \left(\frac{1}{1-x}\right)^{1.4}$$



$$\begin{cases} \ddot{z}_5 = -75.81 z_5 + 65.79 z_3 - 62.47 \dot{z}_5 |z_5| - 0.0511 p_3 \\ p_1 = 11.97 (z_1 - z_3) \\ p_2 = 13.12 (z_3 - z_5) \end{cases}$$

där trycken är uttryckta i hp/cm^2 .

För simuleringen skalas tiden 10 gånger så att 1 sekund i maskinen motsvarar 10 i verkligheten.

$$|z_i|_{\max} \approx 0.6$$

\Rightarrow skalfaktorerna för koordinaterna väljes $\alpha_{z_i} = 100$.

Därmed erhålles de skalade ekvationerna:

$$\begin{cases} \frac{d^2(100z_1)}{d(10t)^2} = -0.7004(100z_1) + 0.6002(100z_3) - 0.6247(100\dot{z}_1) \cdot |100\dot{z}_1| \\ \frac{d^2(100z_3)}{d(10t)^2} = -1.358(100z_3) + 0.6002(100z_1) + 0.6579(100z_5) - \\ \quad - 0.6247(100\dot{z}_3) \cdot |100\dot{z}_3| \\ \frac{d^2(100z_5)}{d(10t)^2} = 0.7581(100z_5) + 0.6579(100z_3) - 0.6247(100\dot{z}_3) \cdot |100\dot{z}_3| - \\ \quad - 0.0511 p_3 \\ p_1 = 0.1197(100z_1 - 100z_3) \\ p_2 = 0.1312(100z_3 - 100z_5) \end{cases}$$

Systemet utgöres alltså av tre kopplade differentialekvationer och två ekvationer, som ur koordinaterna approximativt "rekonstruerar" trycken. Detta kan åskådliggöras med blockschema i figur 4.4 och ett kopplingschema i fig 4.5 som visar vardera differentialekvations principiella koppling. Nederst visas den koppling som åstadkommer funktionen $-x \cdot |x|$. Därmed blir det fullständiga kopplingschemat enligt den stora figuren. I den följande figur 4.6 visas karakteristikerna för de olinjära funktionerna. På grund av begynnande ålderdom hos analogmaskinen tvingade den fram en realisering av $-x \cdot |x|$ på tre olika sätt, dels med servo- och elektronisk multiplikator, dels med diodfunktionsgivare. Till elektroniska multiplikatorn behövdes då även en komparator för bestäm-

Schemata för analog simulering.
 1. Blockschema. 2. Diff. ekvationernas
 principiella koppling. 3. $+X \cdot |X|$ med servo.

Diff. ekv. för z_1

Approximativt
 samband
 tryck-board.

P_1

Diff. ekv. för z_3

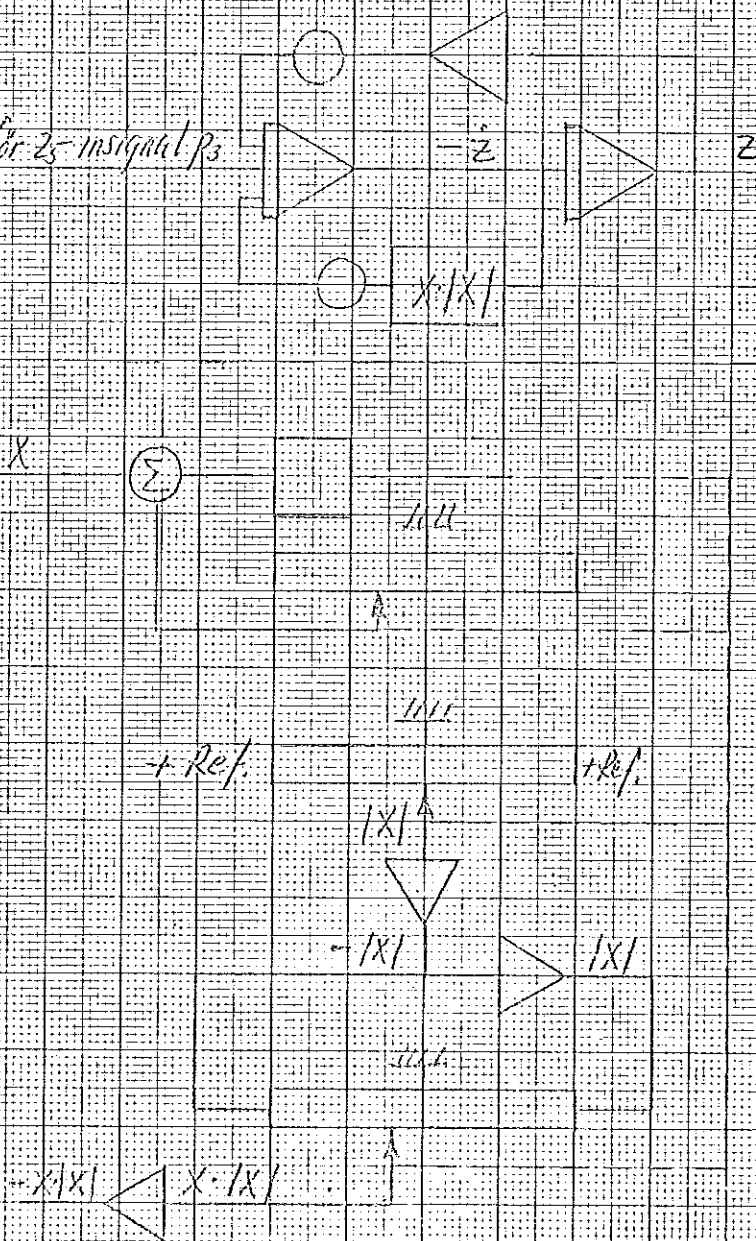
Approximativt
 samband
 tryck-board.

P_2

Diff. ekv. för z_5

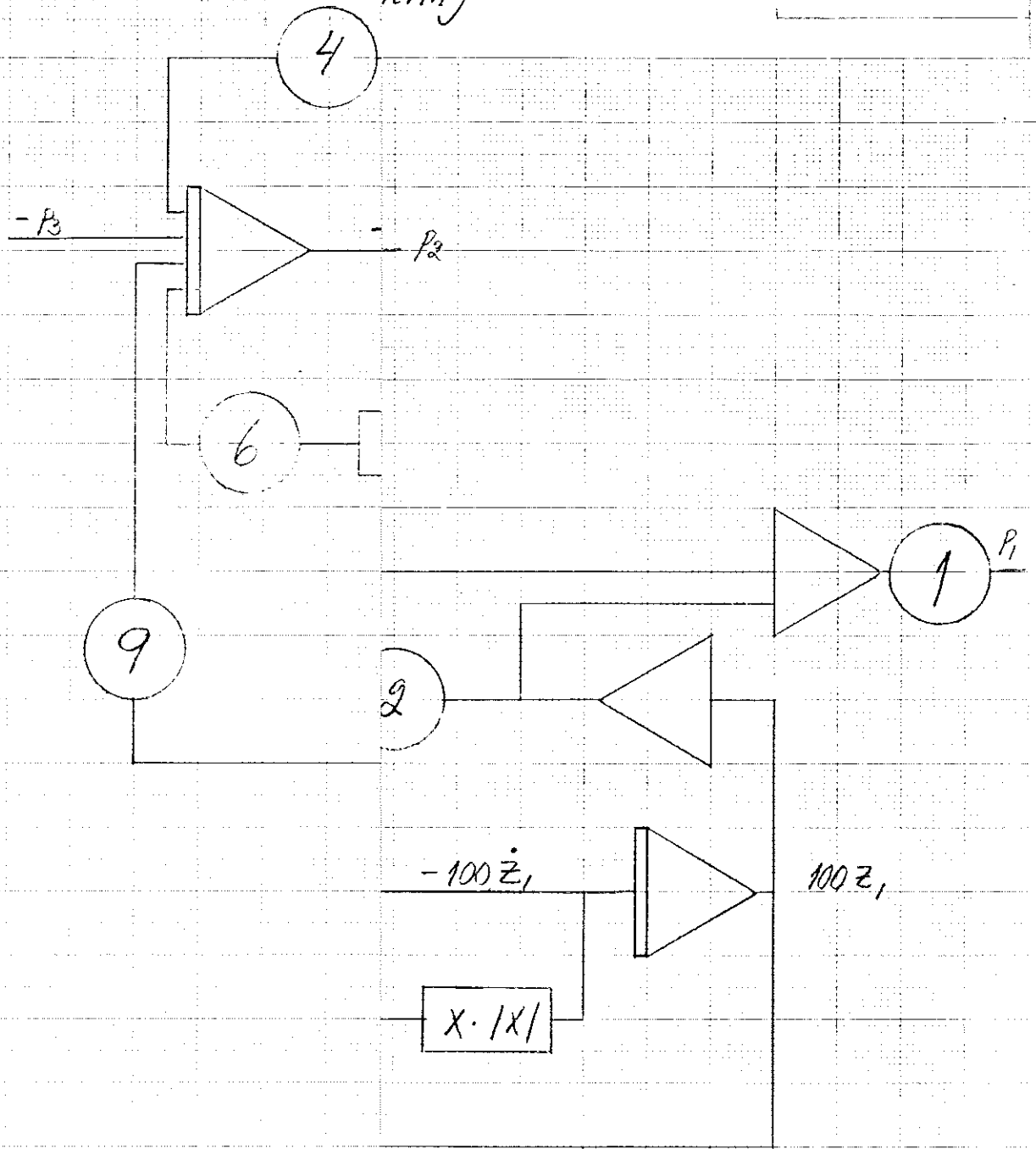
P_3

för z_5 insignal P_3



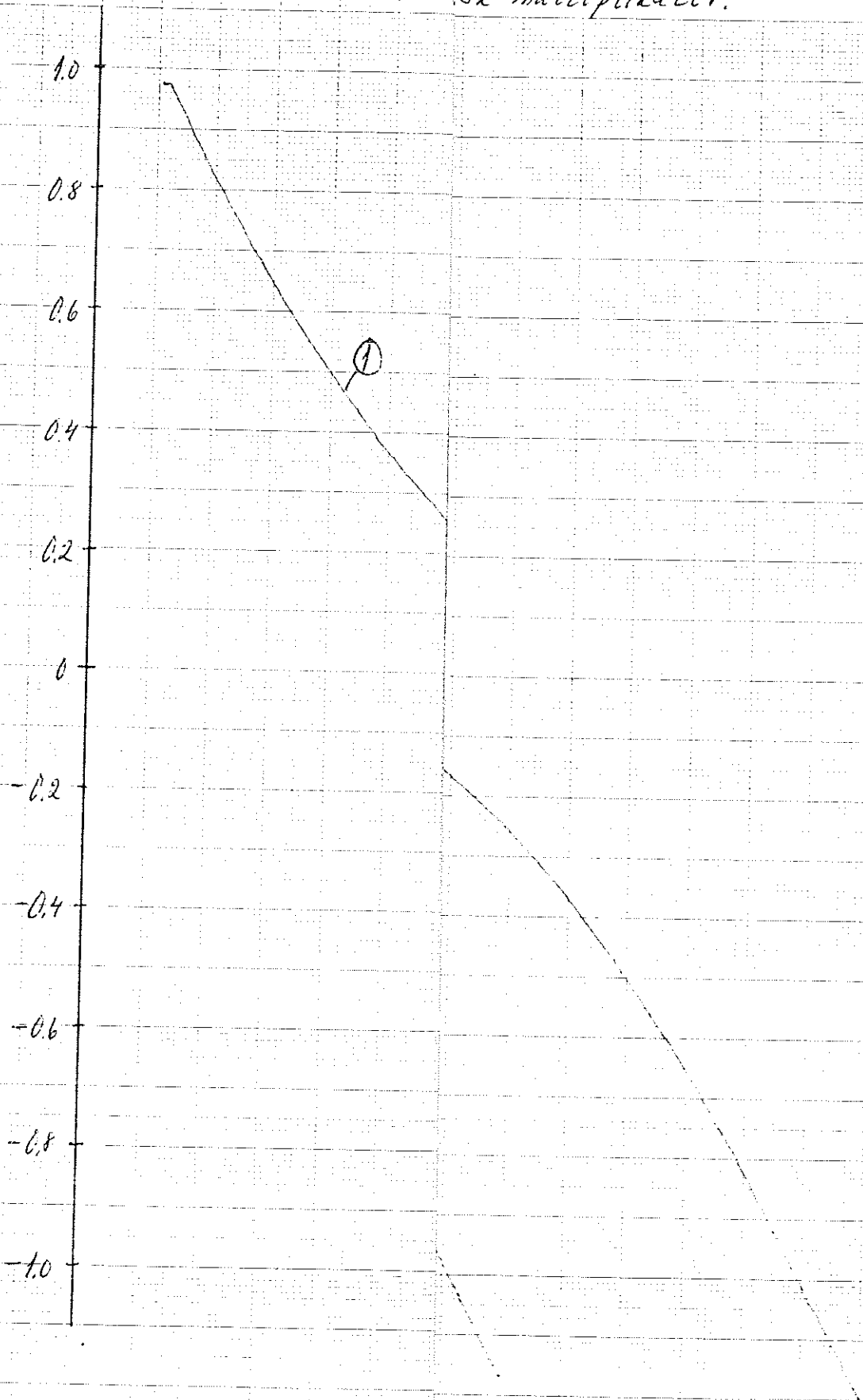
Figur 4.5

ema för
lering



energers karakteristikk.
multiplikator.
lionsgivare.
sk multiplikator.

Figur 4.6



ningen av tecken. Diodfunktionsgivarens karakteristik avslöjar hur den önskade funktionen får approximeras med ett antal räta linjer, i detta fall 20.

Fall II: Svagare strypning.

$$K = 167 \text{ |N/m}^2 \text{ / m}^2\text{/s}^2\text{ |}$$

$$m = 21.8 \text{ kg}$$

$$A = 2.69 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Med den svagare strypningen erhålles på motsvarande sätt och med samma skalning:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2(100z_1)}{d(10t)^2} = -0.6875(100z_1) + 0.5892(100z_3) - 1.526 \cdot 10^{-4} K(100\dot{z}_1) \cdot |100\dot{z}_1| \\ \frac{d^2(100z_3)}{d(10t)^2} = -1.333(100z_3) + 0.5892(100z_1) + 0.6458(100z_5) - 1.526 \cdot 10^{-4} K(100\dot{z}_3) |100\dot{z}_3| \\ \frac{d^2(100z_5)}{d(10t)^2} = -0.7442(100z_5) + 0.6458(100z_3) - 1.526 \cdot 10^{-4} K \dot{z}_5 |\dot{z}_5| - 0.0502 p_3 \\ p_1 = 0.1197(100z_1 - 100z_3) \\ p_2 = 0.1312(100z_3 - 100z_5) \end{array} \right.$$

Härmed fås den fullständiga potentiometerlistan för de båda fallen:

Potentiometerlista:

<u>Nr i fig</u>	<u>Till ingång</u>	<u>Värde I</u>	<u>Värde II</u>	<u>Betydelse</u>
1	1	0.1197	0.1197	$\frac{\mathcal{L} P_{10}}{L_1}$
2	1	0.7004	0.6875	$\frac{A_1}{m}(2\rho g + \frac{\mathcal{L} P_{10}}{L_1})$
3	1	0.6247	0.0254	$\frac{A_2 A_1^2}{mA^2} K$
4	1	0.7581	0.7442	$\frac{A_1}{m}(2\rho g + \frac{\mathcal{L} P_{20}}{L_1})$
5	1	0.6247	0.0254	$\frac{A_2 A_1^2}{mA^2} K$
6	1	0.6247	0.0254	"-
7	1	0.1312	0.1312	$\frac{\mathcal{L} P_{20}}{L_1}$
8	10	0.1358	0.1333	$\frac{A_1}{m}(2\rho g + \frac{\mathcal{L} P_{10}}{L_1} + \frac{\mathcal{L} P_{20}}{L_1})$
9	1	0.6579	0.6458	$\frac{A_1 \mathcal{L} P_{20}}{m L_1}$
10	1	0.6579	0.6458	"-
11	1	0.6002	0.5892	$\frac{A_1 \mathcal{L} P_{10}}{m L_1}$
12	1	0.6002	0.5892	"-

Simuleringsresultat

I Kraftigt strypta systemet

För att få en kontroll av kopplingen undersöktes först varje delsystem enligt ovan med avseende på stabilitet. Därvid var respektive differentialekvation fri från koppling till övriga. Insignalen valdes till steg på 5.11 V, vilket för det fullständiga systemet motsvarar 1 hp/cm². Denna insignal applicerades som ett tryck, varför den principiella karaktären var av

$$\ddot{x} = -Ax - B\dot{x} - u$$

där u är insignal och konstanterna framgår av ovanstående fullständiga differentialekvationssamband. Observera att dessa okopplade differentialekvationer ej motsvarar fria vattenpelare, enär det endast är kopplingen via koordinaterna och inte via trycken, som matematiskt negligerats. Koordinaterna vid nämnda simulering redovisas i fig 4.7. Härav framgår att respektive differentialekvation för sig är stabil för den applicerade insignalen. (Det är viktigt att komma ihåg i sammanhanget att systemet är olinjärt.)

Fasplaneanalys är oanvändbar i detta sammanhang, enär systemet består av tre (kopplade) andra ordningens system, vilket ger sjätte ordningen på systemet och fasplaneanalys endast är användbar för andra ordningens system.

För det fullständiga systemet har gjorts ett antal simuleringar för stegsvar. I fig 4.8 - 4.11 redovisas stegsvaret för p_1 och p_2 , de båda trycken i vattenpelarna förbindande luftvolymerna och koordinaterna för vattenpelarnas nivåer räknade från jämviktsläget. Simuleringsresultaten skall jämföras med de experimentella mätningarna. För steget 0.05 kp/cm² kan man lägga märke till att p_1 och p_2 förhåller sig som 1:2, vilket överensstämmer med teorin. I p_1 erhålles en liten översläng men mycket stor dämpning som i p_2 . Koordinaternas uppförande är det man skulle vänta sig: z_5 reagerar snabbast, varpå z_3 och z_1 kommer något långsammare, vilket är fysikaliskt rimligt, enär det är i luften vid z_5 , som stegstörningen i trycket appliceras. Jämfört med experimentella resultatet synes simuleringen ge hyfsad överensstäm-

melse. Experimentets något dåliga steg synes medföra en alltför kraftig påverkan på p_1 och p_2 . I modellen är annars snabbheten ungefär densamma som i experimentella mätningarna (vad gäller trycken).

För steget $- 0.1 \text{ kp/cm}^2$ och större gäller motsvarande enligt ovan för koordinaterna, medan ändringen från jämviktstillståndet blir större med ökande steg. För trycken gäller att de med ökande steg alltmer avviker från förhållandet 1:2. Detta har säkerligen att göra med den använda approximationen för trycken. Ju större avvikelse från noll desto större avvikelse från det exakta uttrycket för trycken. Nivåerna för det nya jämviktstillståndets tryck blir därmed också felaktiga.

Snabbheten för trycken tycks i modellen avta med stigande steg jämfört med experiment. Således gäller för steget $- 0.2 \text{ kp/cm}^2$ att p_2 når 90% av slutvärdet på ungefär 0.3 sekunder i experimenten trots det dåliga steget medan det i modellen tar upp mot den dubbla tiden. För steget $- 0.3 \text{ kp/cm}^2$ är förhållandet än mer uttalat. Snabbheten för modellen tycks alltså bli allt mer för liten med ökande steg i trycket. Det är åter approximationen av trycken som inverkar. Den gjorda approximationen innebär ju att det olinjära uttrycket $(\frac{1}{1-x})^k - 1$ ersatts med kx , där $k = 1.4$. Fysikaliskt betyder detta, att trycken, som kan liknas vid en vattenpelarna förbindande fjäder med progressiv fjäderkonstant i den mekaniska analogin, har ersatts med en fjäder med linjär karakteristisk. Tryckens inverkan ersätts därmed med en fjäderkonstant.

Ur figuren 4.3 över approximationens avvikelse från det exakta funktionssambandet inses att med ökande kompression ett alltför dåligt "svar" erhålles från luftvolymen i modellen. Vid motsvarande utvidgning av luftvolymen erhålles med den använda approximationen ett alltför stort negativt tryck, vilket ökar snabbheten i modellen (större fjäderkonstant i den mekaniska analogin ger högre frekvens). Modellen skulle då för negativa tryckstörningar, vilka ju ger negativa p_1 och p_2 , ge en för stor snabbhet, vilket ej är fallet, enär modellen tvärtom är för långsam. Härtill återkommes i sammanfattningen av slutsatser dragna ur simuleringar med både kraftigare och svagare strypning.

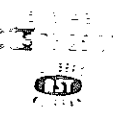
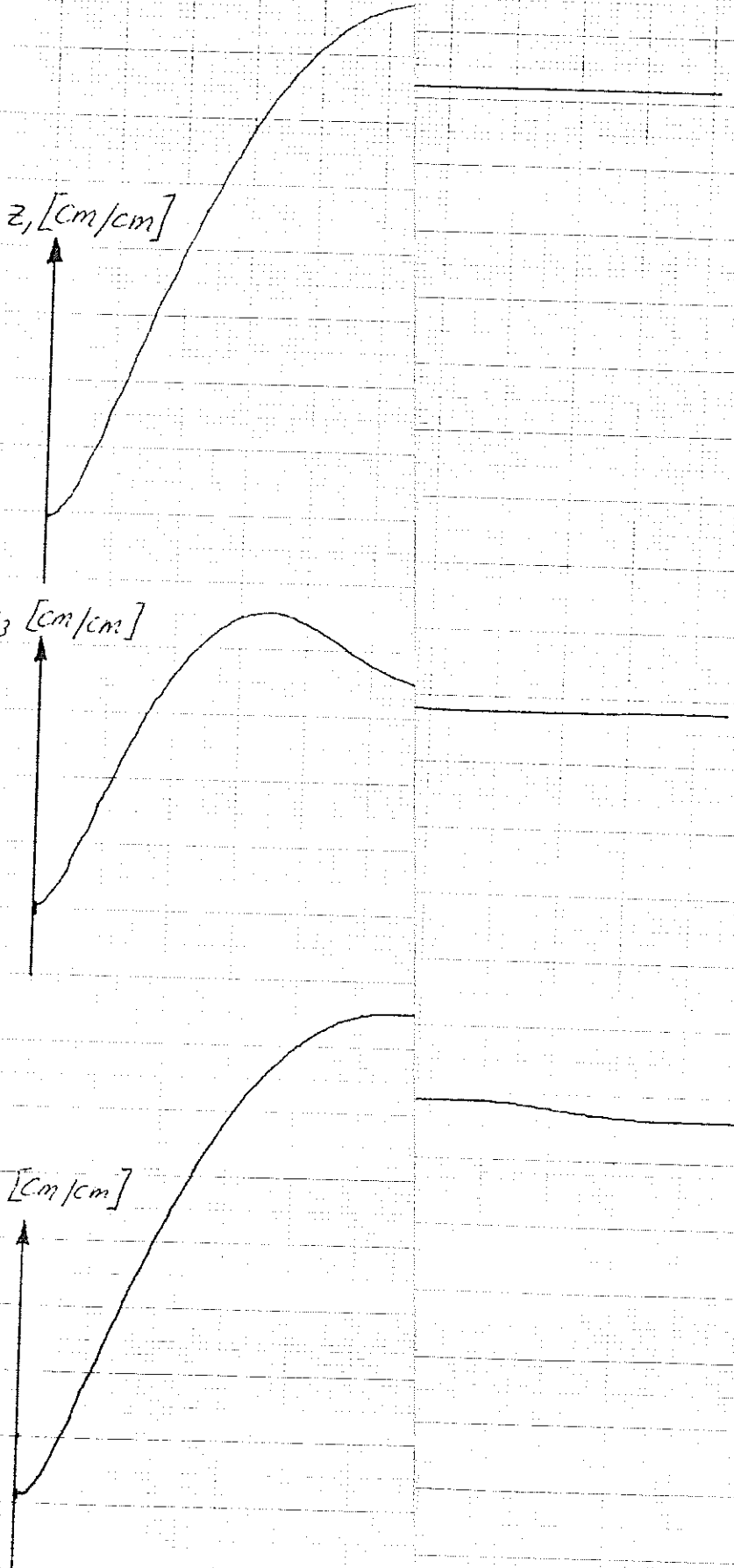
Figur 4.7

gj med varje delsys-
sig, stegsvar.
5.11 V med v. 0.1 Mp/cm²

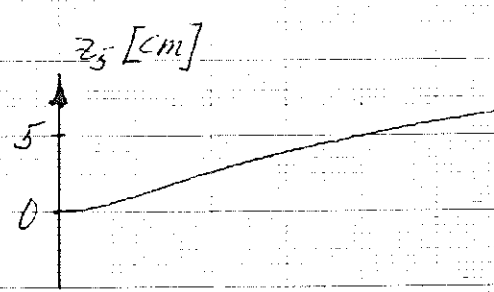
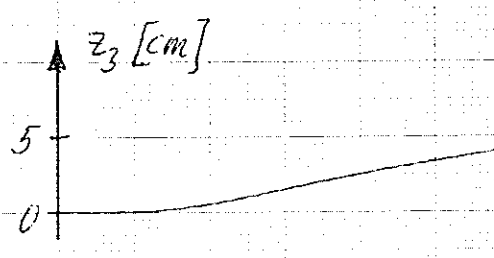
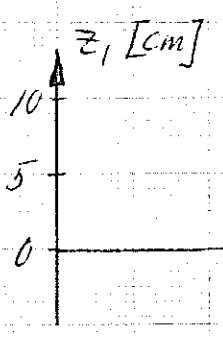
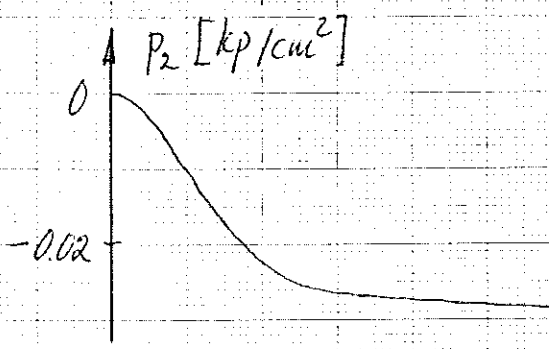
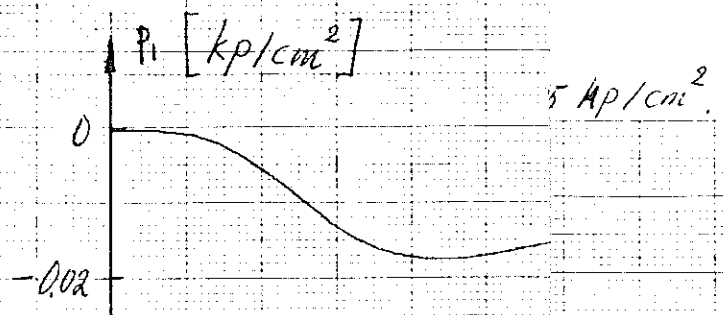
z_1 [cm/cm]

z_3 [cm/cm]

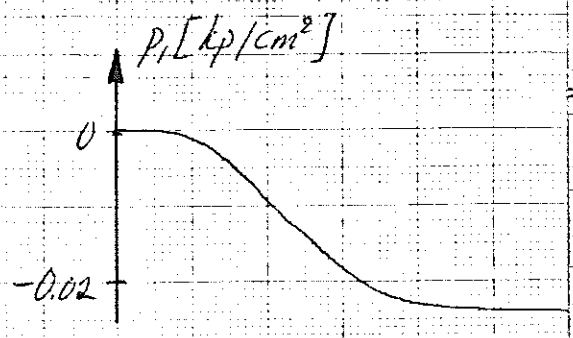
z_5 [cm/cm]



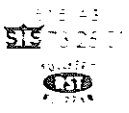
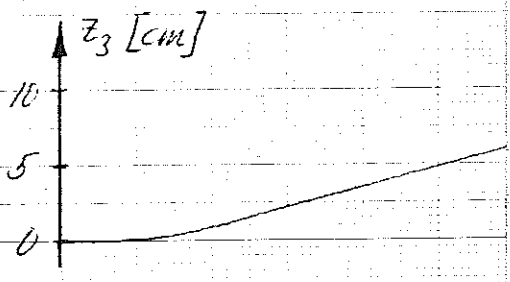
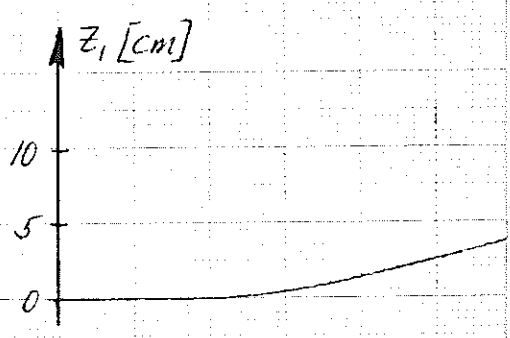
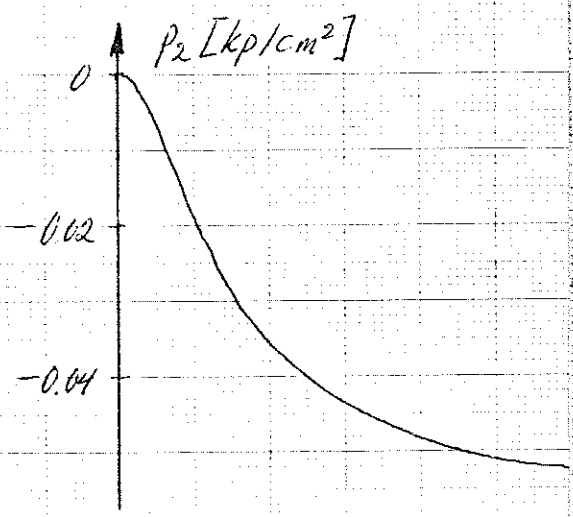
Figur 4.8



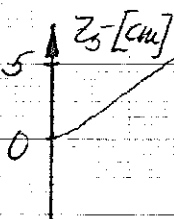
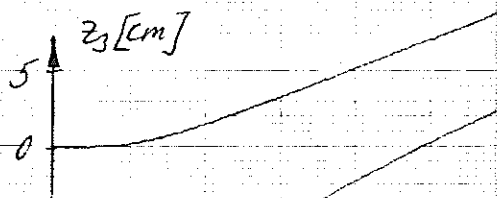
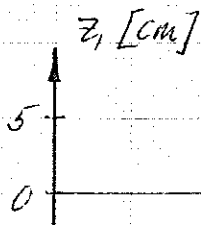
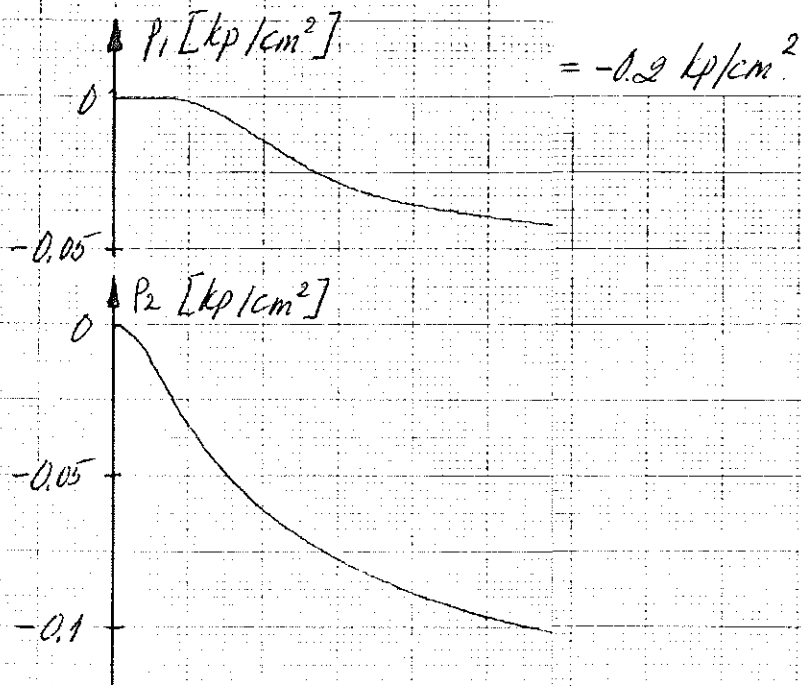
Figur 4.9



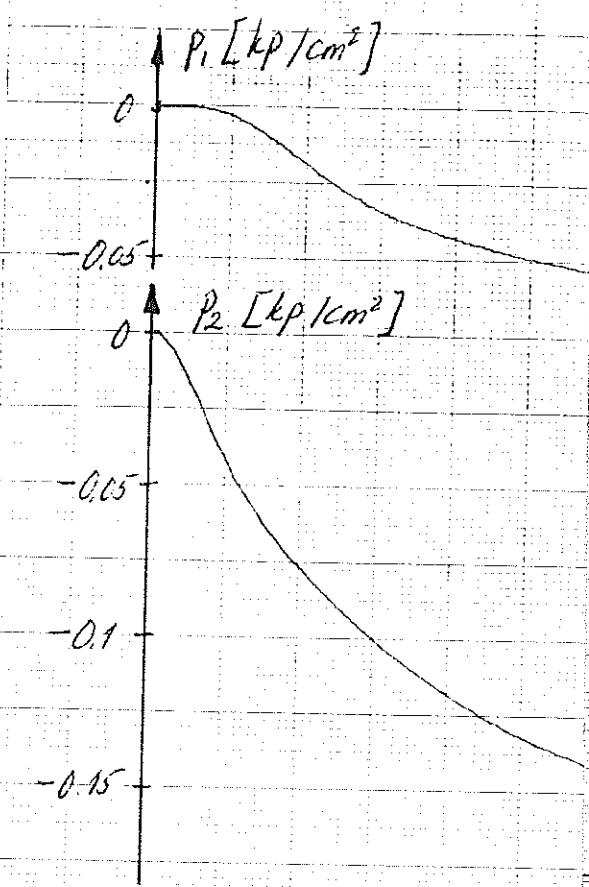
$= -0.1 kp/cm^2$



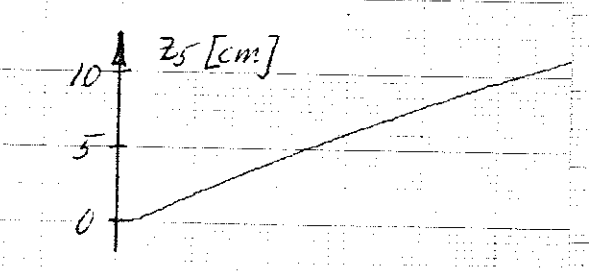
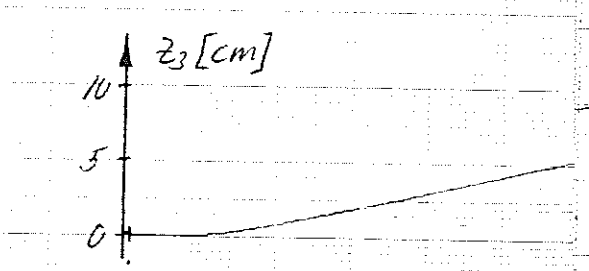
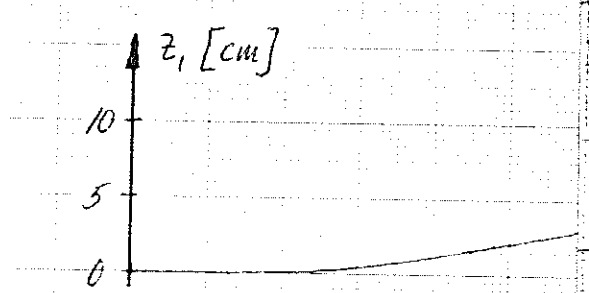
Figur 4.10



Figur 4.11



$= -0.3 \text{ kp/cm}^2$



II Svagt strypta systemet.

Med den svagare strypningen blir differentialekvationssambanden enligt ovan och det enda, som skiljer det från det kraftigt strypta, är koefficienterna beroende på de ändrade geometriska förhållandena i strypningen och den därmed ändrade ekvivalenta massan.

För att kontrollera de enskilda differentialekvationernas uppträdande har även här gjorts en simulering utan koppling mellan ekvationerna. I figur 4.12 visas varje koordinats uppförande vid en insignal av 5.11 V motsvarande 1 hp/cm^2 . Resultatet visar att, liksom i fall I, varje differentialekvation är stabil för den insignal som applicerats. Observera att som i I dessa simuleringar ej beskriver den enskilda vattenpelarens rörelse utan inverkan från de övriga, utan endast hur vardera delsystemet uppför sig utan koppling till de andra enligt ovan givna schema.

Liksom i I har för det svagare dämpade systemet gjorts simuleringar med insignalen p_3 bestående av stegfunktion med amplituder varierande mellan -0.05 och -0.3 kp/cm^2 . Figur 4.13 - 4.16 visar tryckens och koordinaternas uppförande vid nämnda stegstörningar.

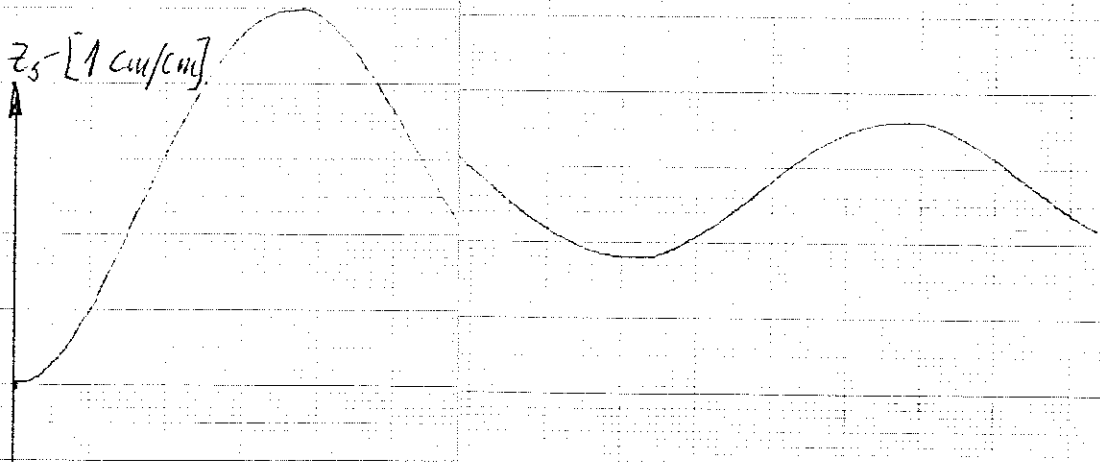
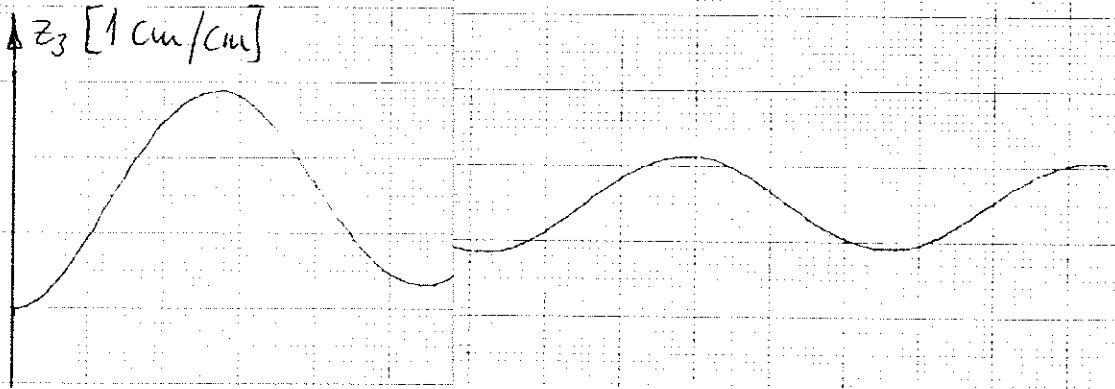
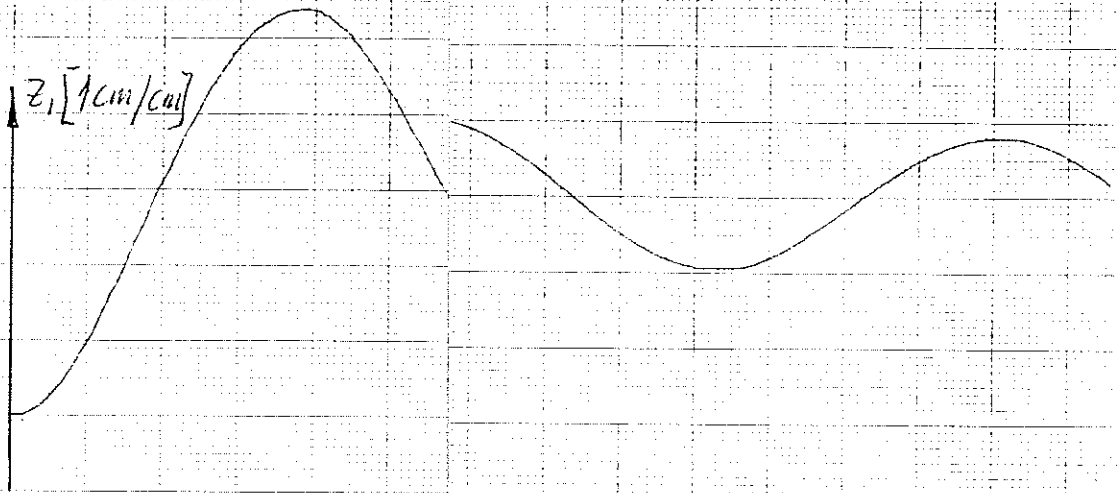
Vad gäller vattenpelarnas nivåer (koordinaterna) uppför de sig i startögonblicken på samma sätt som i I, dvs z_5 reagerar snabbast osv. Skillnaden gentemot I är, naturligt nog, att hastigheten för vattenpelarna blir högre. Hastigheten fås som tidsderivatan av koordinatkurvorna, deras lutning i figur. Den högre hastigheten hänger samman med den svagare strypningen, vilken ger en mindre dämpning i systemet. Simuleringarna har gjorts dels med det ur flödesmätningarna enligt ovan bestämda värdet på strypningen $K = 167$ och dels med något svagare dämpat med $K = 70$ samt en simulering med mycket kraftig dämpning $K = 300$. Dess inverkan framgår tydligt ur både tryck- och koordinatkurvor. I figurerna har markerats K -värdena för p_1 , medan motsvarande gäller för p_2 och koordinaterna.

Stegsvaret är för alla undersökta steg oscillativt med varierande

av varje delsystem
svar.

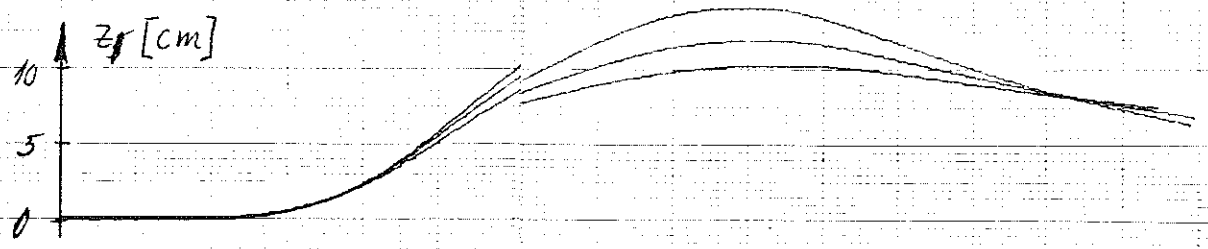
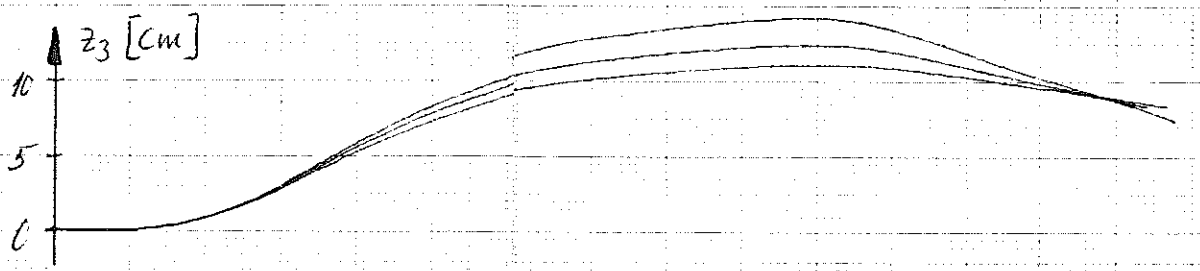
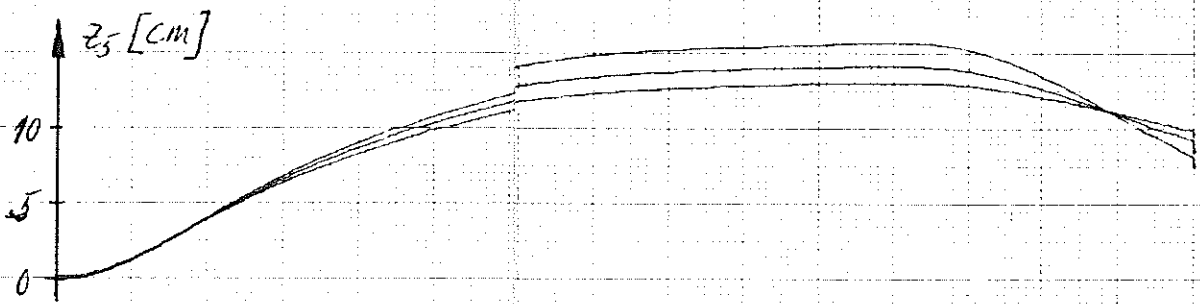
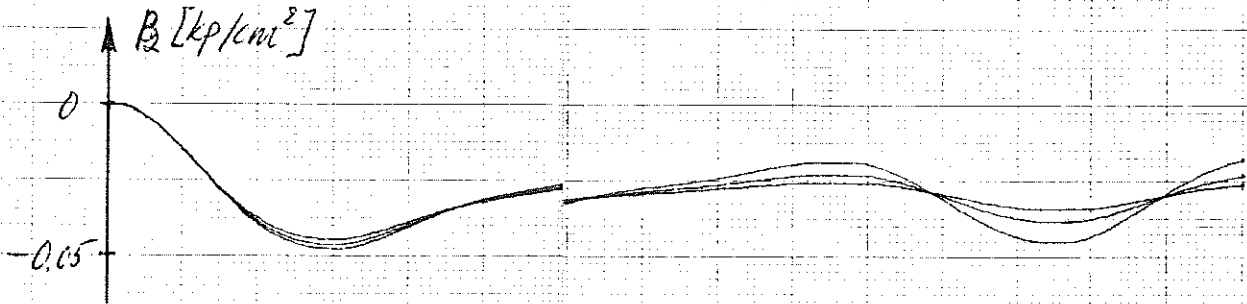
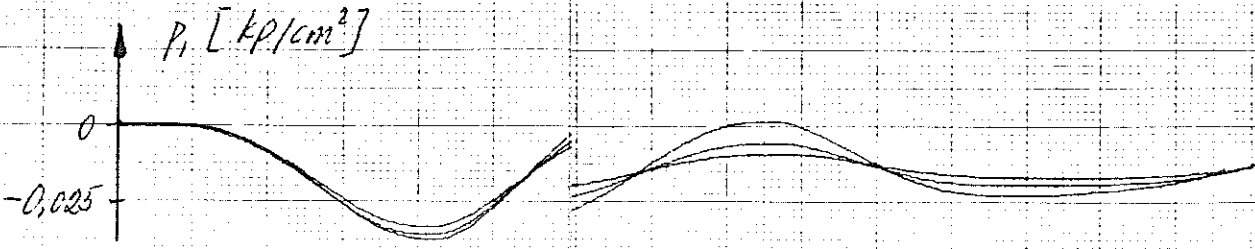
Figur 4.12

V motsv. 0.1 kp/cm^2

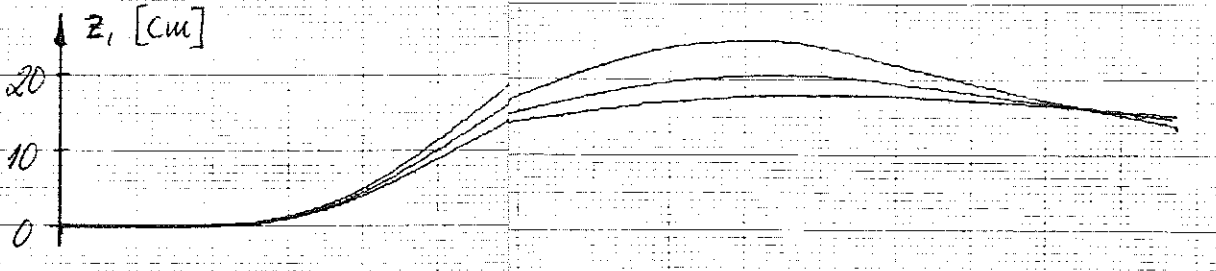
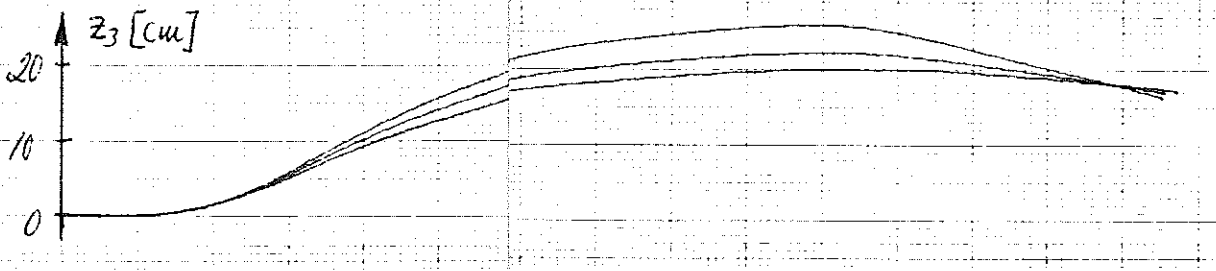
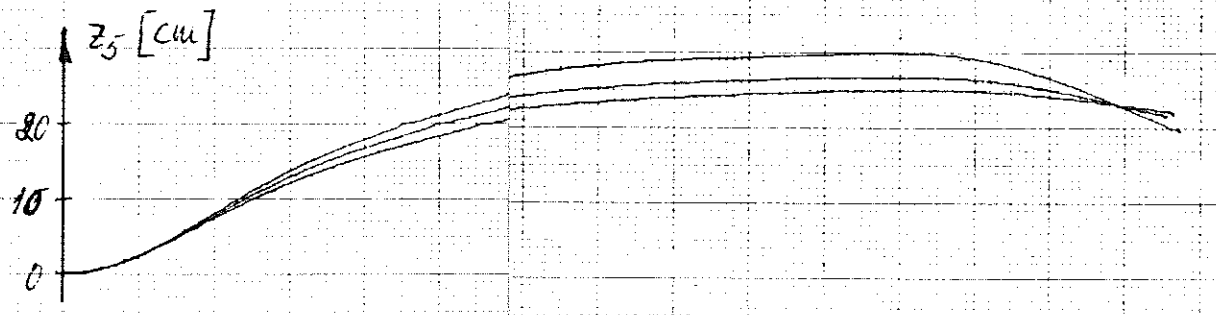
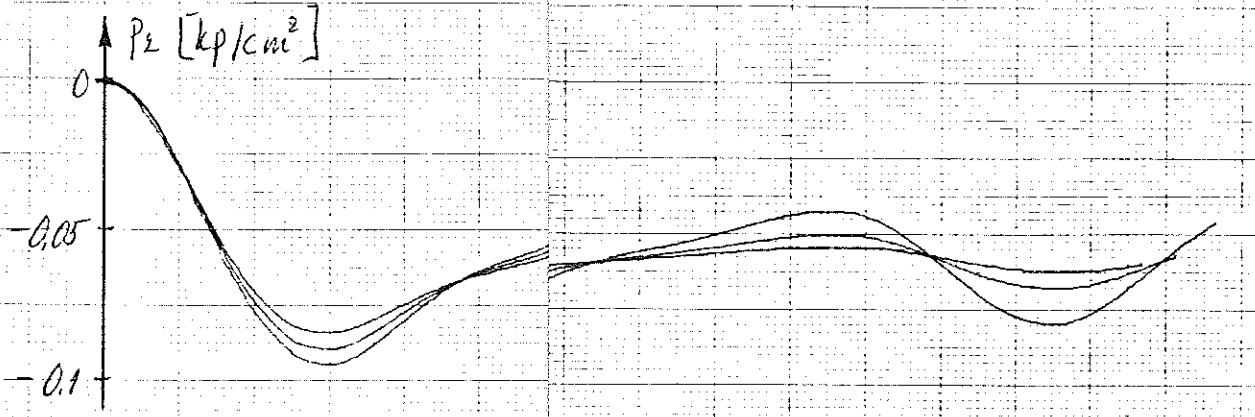
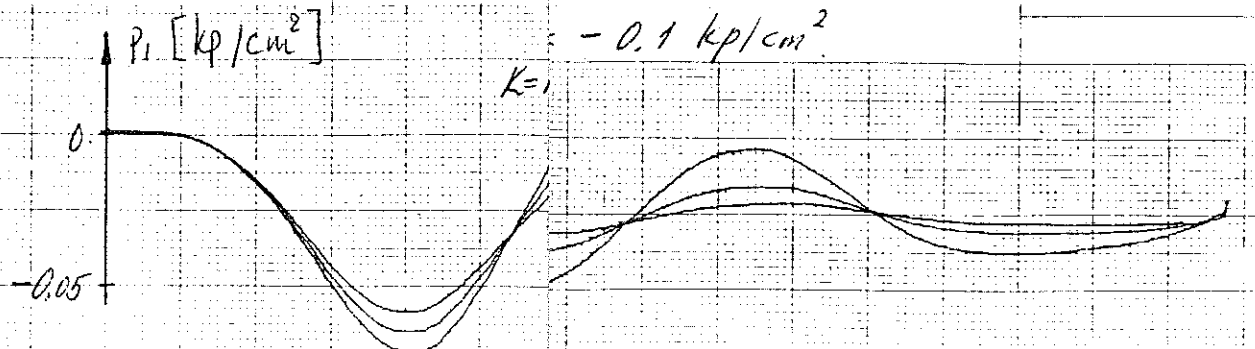


Figur 4.13

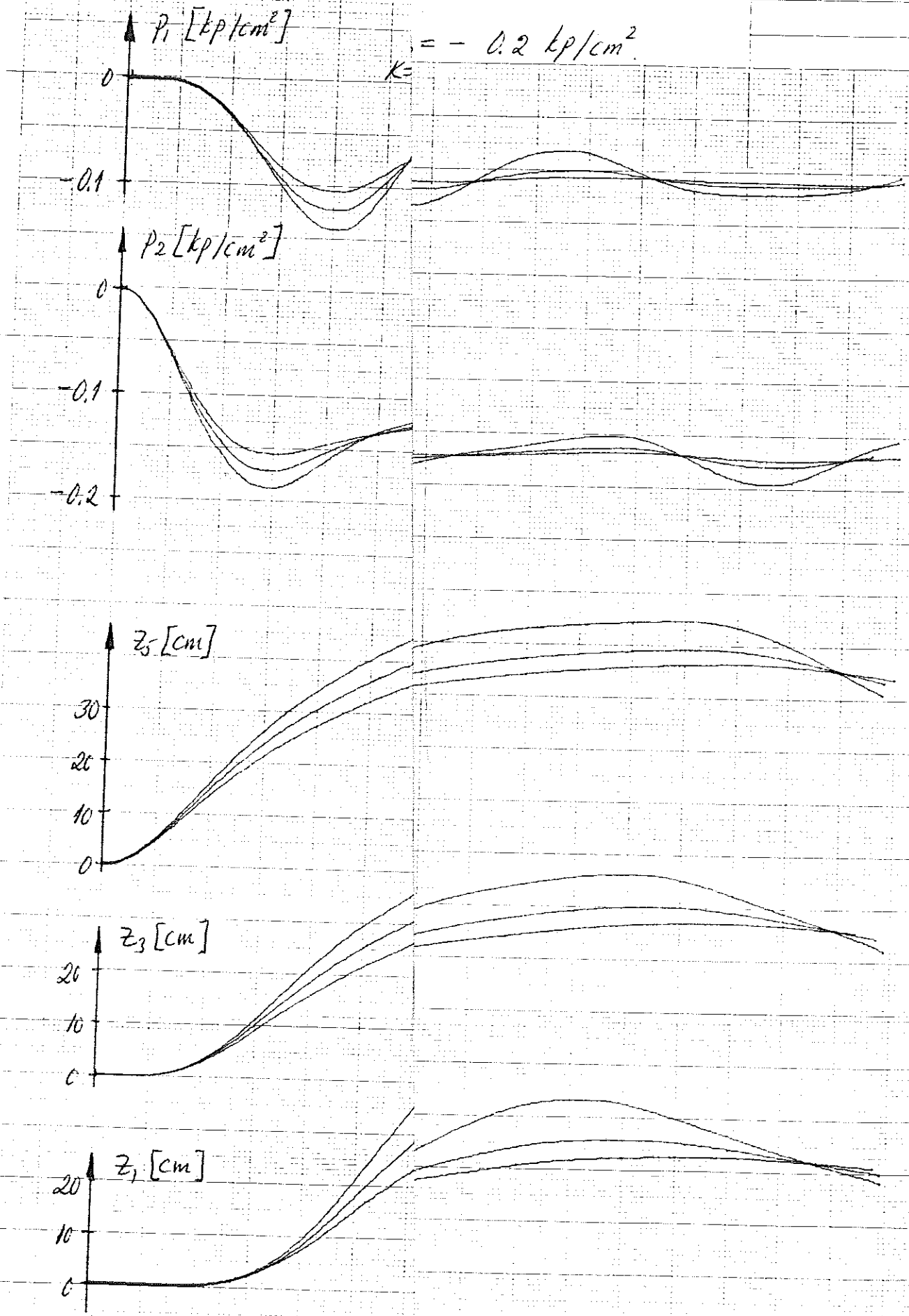
- 0.05 kp/cm².



Figur 4.14

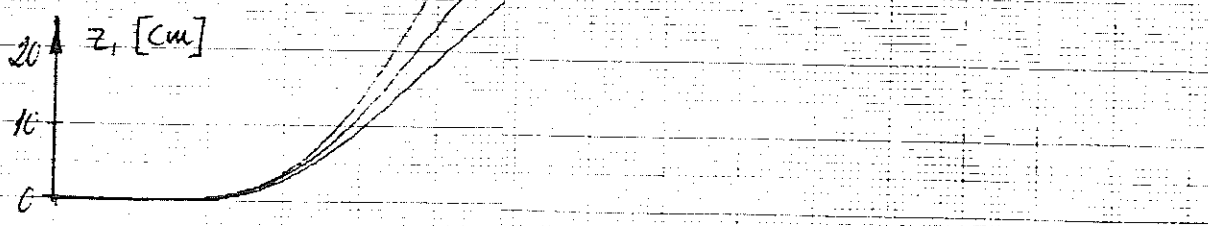
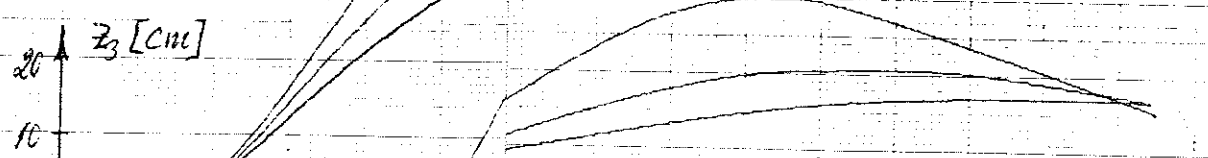
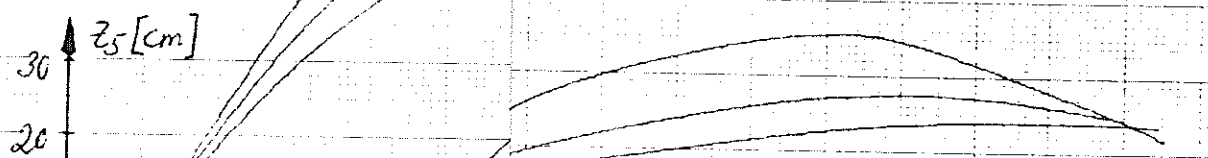
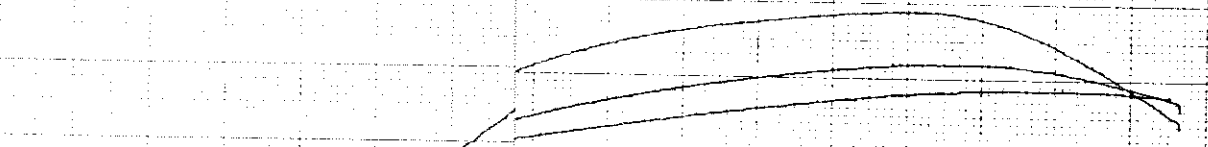
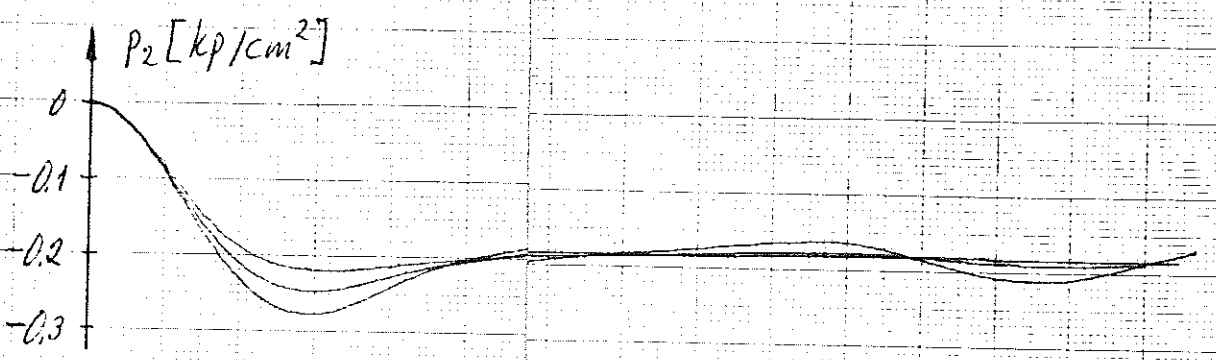
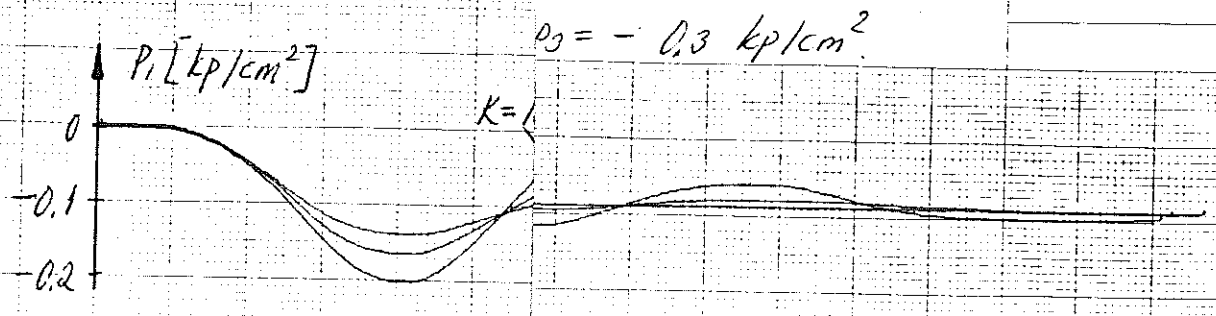


Figur 4.15



FILE AS
E15 73 25 01
TST
2011

Figur 4.16



dämpning. För ett linjärt dämpat system ser motsvarande rörelseekvation ut på följande principiella sätt.

$$m \ddot{x} = - 2k \dot{x} - \alpha x$$

dvs man får för stegsvaret lösningar av formen

$$x(t) = 1 - \exp\left(-\frac{k}{m} t + i \sqrt{\frac{\alpha}{m} - \frac{k^2}{m^2}}\right)$$

Härur framgår att för ett linjärt dämpat system dämpningen såväl som frekvensen beror av massan. Intuitivt bör därför även för ett olinjärt dämpat system dämpningen bero av massan. Fysikaliskt är det välmotiverat. Jämför därför nedan, där massan diskuteras.

Med den mindre dämpningen $K = 70$ erhålles mycket långsam utdämpning och för ett litet steg - se t ex stegsvaret för $p_3 = - 0.05 \text{ kp/cm}^2$ - är detta särskilt utpräglad. Det torde hänga samman med karaktären av dämptermen. Den är kvadratisk och därför nära origo - vid små hastigheter - mycket liten. I det fysikaliska systemet spelar här säkert den viskösa dämpningen en viss roll. Man skulle t o m kunna tänka sig någon form av dämpning i stil med den mekaniska startfriktionen. Den viskösa dämpningen, som i allmänhet kan anses vara direkt proportionell mot hastigheten, skulle för små hastigheter dämpa mer än strypningen, den kvadratiske dämpningen, varför med en sådan additiv hastighetsproportionell dämpterm en mer verklighetsanpassad modell skulle kunna erhållas. Se vidare nedan, där vidare lämpliga undersökningar diskuteras. Den frekvens i oscillationerna, som erhålles med olika dämpningar och olika stora steg, håller sig praktiskt taget konstant. Periodtiden är för p_1 0.56 sekunder jämfört med 0.60 sekunder enligt experimenten, vilket får anses vara en god överensstämmelse. Vad gäller dämpningen ligger den vid större insignaler på ungefär 0.7 mot 0.5 vid experimentella undersökningen. Härmed avses att oscillationens amplitud på en period minskat från 1 till 0.7 respektive 0.5. Att dämpningen i simuleringen inte är lika kraftig som i experimenten tyder på att en för stor massa använts i den matematiska modellen. Alternativt eller samtidigt, vilket är det troliga, är det andra dämpkrafter, som griper in. Se vidare nedan. Som motargument till användandet av en mindre massa

kan anföras förhållandet mellan frekvenserna i modellen och i verkligheten. En mindre massa skulle höja frekvensen, som enligt ovan redan är något för hög.

Slutsatser ur simuleringar:

Den använda approximerade matematiska modellen synes vara i god överensstämmelse med experimentella undersökningar vad gäller storleksordning för dämpning, frekvensegenskaper och uppförande vid applicerande av stegstörningar innebärande trycksänkning. Den använda strypningens inverkan är i modell och experiment i god överensstämmelse.

Som kvantitativ sammanfattning kan sägas, att det kraftigt stryp- ta systemet indikerar korrektion av massan till en något mindre, medan det svagare stryp- ta visar, att andra dämpkrafter förefinnes. Införande av dessa i modellen skulle sänka frekvensen i oscillationerna medan en reducering av massan skulle verka i motsatt riktning. Möjligen finns det en skärningspunkt mellan dessa krav, som låter sig anpassas till experimentella resultat. Det är inte samma ekvivalenta massa för de båda olika strypningarna. Man bör här hålla i minnet också den approximation som gjorts i modellen.

Vidare lämpliga undersökningar:

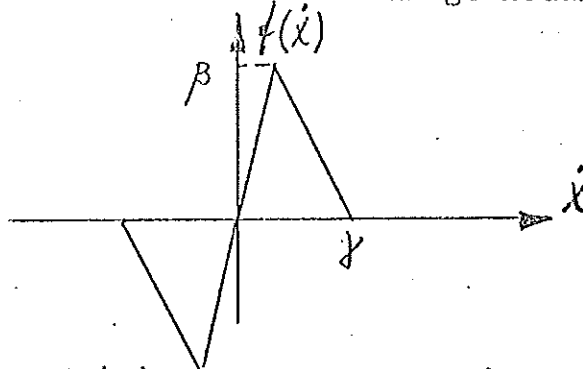
För att i möjligaste mån uppnå överensstämmelse mellan experiment och uppförande hos den matematiska modellen torde en digital simulering av den icke approximerade modellen kunna ge ytterligare värdefull information, enär tillgänglig analog utrustning inte ger utrymme för undersökning av modellen med det riktiga funktionssambandet för trycken. Den fullständiga modellen skulle då bli

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{x}_1 = \frac{A_1}{m} \left[p_0 - p_{10} \left(\frac{L_1}{L_1 - x_2 + x_3} \right)^k + \rho g (L_2 - L_0 - 2x_1) - \frac{A_2 A_1}{A^2} \dot{x}_1 |\dot{x}_1| \right] \\ \ddot{x}_3 = \frac{A_1}{m} \left[p_{10} \left(\frac{L_1}{L_1 - x_2 + x_3} \right)^k - p_{20} \left(\frac{L_1}{L_1 - x_4 + x_5} \right)^k + \rho g (L_2 - L_0 - 2x_3) - \frac{A_2 A_1}{A^2} \dot{x}_3 |\dot{x}_3| \right] \\ \ddot{x}_5 = \frac{A_1}{m} \left[p_{20} \left(\frac{L_1}{L_1 - x_4 + x_5} \right)^k - p_3 - p_{30} + \rho g (L_2 - L_0 - 2x_5) - \frac{A_2 A_1}{A^2} \dot{x}_5 |\dot{x}_5| \right] \end{array} \right.$$

och trycken fås ur

$$\begin{cases} P_1 = P_{10} \left[\left(\frac{L_1}{L_1 - x_2 + x_3} \right)^K - 1 \right] \\ P_2 = P_{20} \left[\left(\frac{L_1}{L_1 - x_4 + x_5} \right)^K - 1 \right] \end{cases}$$

De ytterligare termer, som kunde tänkas införas enligt resonemanget ovan, skulle vara dämpstermer att adderas till högerleden i differentialekvationerna. Den viskösa dämpningen kan sättas $-\alpha x$. För att införa någon term analog med startfriktion skulle erfordras en karakteristik enligt nedan.



Därmed skulle de additiva dämptermerna få utseendet $-\alpha x - f(\dot{x})$, där α, β och γ får anpassas till överensstämmelse liksom massan. Vad gäller massan skulle det enligt tidigare diskussion vara lämpligt att ändra på denna med hänsyn till snabbhet, dämpning och frekvens.

För att få ett utgångsvärde torde man kunna utnyttja följande tankegång. Dimensionerna i de horisontella delarna av vattenpelarna är inte desamma som i de vertikala. Eftersom de horisontella delarna har större tvärsnittsareå kommer de att ha något av funktionen hos en reservoar, dvs det är endast en vattenpelare med tvärsnittsareå som den vertikala delens, som kommer att delta i rörelsen och därmed ge bidrag till tröghetskraften. Om hänsyn tages till strypningens inverkan på accelerationen på samma sätt som tidigare och ovanstående resonemang tillämpas, erhålles ekvivalenta massorna 16.3 och 19.3 kg för fall I respektive II. Dessa värden kan åtminstone användas som utgångspunkt, senare kanske anpassas tillsammans med konstanterna α, β och γ för att i den exakta modellen ge exaktare resultat och bättre anpassning till experimentella resultat. Möjligheter föreligger då att i ett kommande skede undersöka inverkan av andra intressanta och tro-

liga störningar såsom brus av viss spektraltäthet, vilket konstaterats förefinnas.

Slutsatser om modellen:

I sin approximerade form och som den använts vid simuleringarna synes den uppställda matematiska modellen på ett godtagbart sätt beskriva dynamiken i trycksimulatorens under förutsättning att insignalerna innebär trycksänkning och därmed endast "halva" området betraktas.

ANVISNINGAR FÖR UPPSKALNING

Från den från början avsedda uppskalningen av den matematiska modellen för trycksimulatorn avstås, emedan den definitiva utformningen av anläggningen i full skala ännu ej är helt klar. Istället redogöres för de data, som måste ligga till grund för användningen av den uppställda matematiska modellen på anläggningen i full skala.

De data som använts för modellen redovisas i appendix under rubrik "Data".

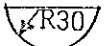
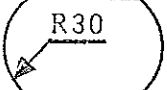
Geometriska storheter äger sin motsvarighet i de ritningar, som definierar fullskalan. Ursprungstrycken bestäms av höjdskillnaden mellan vattenpelarnas begränsningsytor och dessa beror av bräddavloppets respektive lufthålets placering. Strypningens dämpande inverkan ligger i den i modellen införda konstanten K , vilken för varje strypnings utformning får mätas på liknande sätt, som beskrivs i kapitlet "Modellförsök". Eventuellt kan flödesmätningen ersättas med en simuleringsanpassning, dvs konstanten väljes så, att anläggningens uppförande motsvaras av modellens vid viss insignal. Ytterligare ett antal termer kan införas i differentialekvationerna enligt vad som diskuterades i kapitlet "Modellförsök". I så fall kompliceras anpassningsförfarandet, varför flödesmätningen torde vara att föredra, när den enligt gjorda simuleringar med modellen för trycksimulatorn visat sig ge bra resultat.

Införandet av ytterligare dämpstermer av olika utseende torde i fullskaleanläggningen vara ofrånkomligt, när denna dessutom förses med anordning för portionsbanetransporten och diverse reglerutrustning, vilket kommer att komplicera strömningsförhållandena i tornen. Förslag till denna utvidgning och komplettering av modellen finns redovisade i "Modellförsök"-kapitlet.

Den ekvivalenta massan bestämmas dels av tornens geometri, dels av strypningens utformning men beräknas på analogt sätt.

KVALITATIV UNDERSÖKNING AV KOKNINGSFÖRLOPP

Förutsättningar: I den pelare med vatten, som är närmast högsta trycket är temperaturen $\sim 104^{\circ}\text{C}$. Kokpunkten vid minsta tryck i pelaren, $1,3 \text{ kg/cm}^2$, är $\sim 106^{\circ}\text{C}$. I mot lägre tryck närmaste vattenpelare hålles temperaturen $\sim 102^{\circ}\text{C}$. Motsvarande kokpunkt vid lägsta tryck, $1,2 \text{ kg/cm}^2$, i denna pelare är $\sim 104^{\circ}\text{C}$. Den tredje vattenpelaren, i den ände där lägsta tryck råder, antar i stationärt tillstånd cirka 80°C .

Undersökningen avser eventuella skillnader i uppförandet hos systemet med respektive utan s k strypbrickor. Med dessa är strömningshålet av dimension  samt innehåller strypbrickan ett hål $\emptyset 3 \text{ mm}$ för luft. Utan strypbrickor är strömningshålet av dimensioner 

Störningar:

1. Sänkning av trycket i första pelaren (närmast högsta trycket) till just under kritiskt tryck vid aktuell temperatur.
2. Tryckfall i tredje vattenpelaren genom att vattenpelaren minskas tills något händer, kokning.
3. Temperaturen i första tornet höjes tills kokning inträder i detta.
4. Temperaturen i andra tornet höjes tills kokning inträder i detta.

Experiment:

I Inga brickor inmonterade.

Störning 1 medför givetvis att tryckfallet fortplantar sig till andra tornet och kokning inträder, om temperaturmarginalen ej är tillräcklig. Kokning sker då i båda de två första tornen med våldsam vattenutkastning som följd.

Störning 2 har samma inverkan som störning 1.

Störning 3 åstadkommer genom den begynnande kokningen i första vattenpelaren att vatten transporteras till andra vattenpelaren och där startar kokning, om temperaturmarginalen ej är tillräcklig. Förloppet blir våldsamt med vattenutkastning.

Störning 4 ger vid den begynnande kokningen i andra vattenpelaren ett lugnt förlopp; temperaturstörningen är av fysikaliska skäl sådan att den ej ger upphov till häftig kokning. Vatten-

transporten till tredje vattenpelaren medför ej någon fortplantning av kokningen på grund av värmesänkan därstädes.

II Normalfall

Störning 2-4 medför ungefär samma inverkan på systemet som under punkt I, möjligen något lugnare. Störning 1 ger endast en jämn vattentransport från den kokande pelaren i ett lugnt förlopp.

Slutsatser:

Trycksänkningar är, om så stora att det kritiska trycket för kokning underskrides, katastrofala oberoende av i vilket torn de inträffar. Häftig kokning inträder, systemet tömmes delvis. Betr tryckhöjningar, se annan utläggning härom.

Temperaturförhöjningar till kokpunkten kan bemästras, om temperaturdifferensen mellan successiva torn är tillräckligt tilltagen. Kokningen fortplantas då ej, enär värmestillskottet på grund av vattentransporten blir lägt vid den lugna överkokningen med strypbrickor.

Reglertekniska hänsyn och observationer:

Tryckregulatorerna i det stora systemet bör vara snabba för negativa tryckstörningar i mätningstrycket och måste kunna ingripa med t ex avstängning av systemet från matningsledning eller inkoppling av reservmatning. Eventuellt kan marginalen till kritiskt tryck överdrivas för att öka säkerheten och minska (rimliggöra) kraven på tryckregulatorerna.

Kraven på säkerhet mot katastrof för systemet vid temperaturstörningar (temperaturen stiger på grund av fel i temperaturregulator) torde endast kunna uppfyllas genom stor temperaturdifferens mellan successiva torn. Ett sådant fel med temperaturförhöjning och kokning som följd skulle då i viss mån motverkas av den lugna överströmningen till följande svalare torn av varmt vatten och bli mindre kritisk med stor temperaturdifferens mellan tornen. Speciell uppmärksamhet bör ägnas denna aspekt vad gäller tornen i den del av anläggningen, där "hålltiden" åstadkommes.

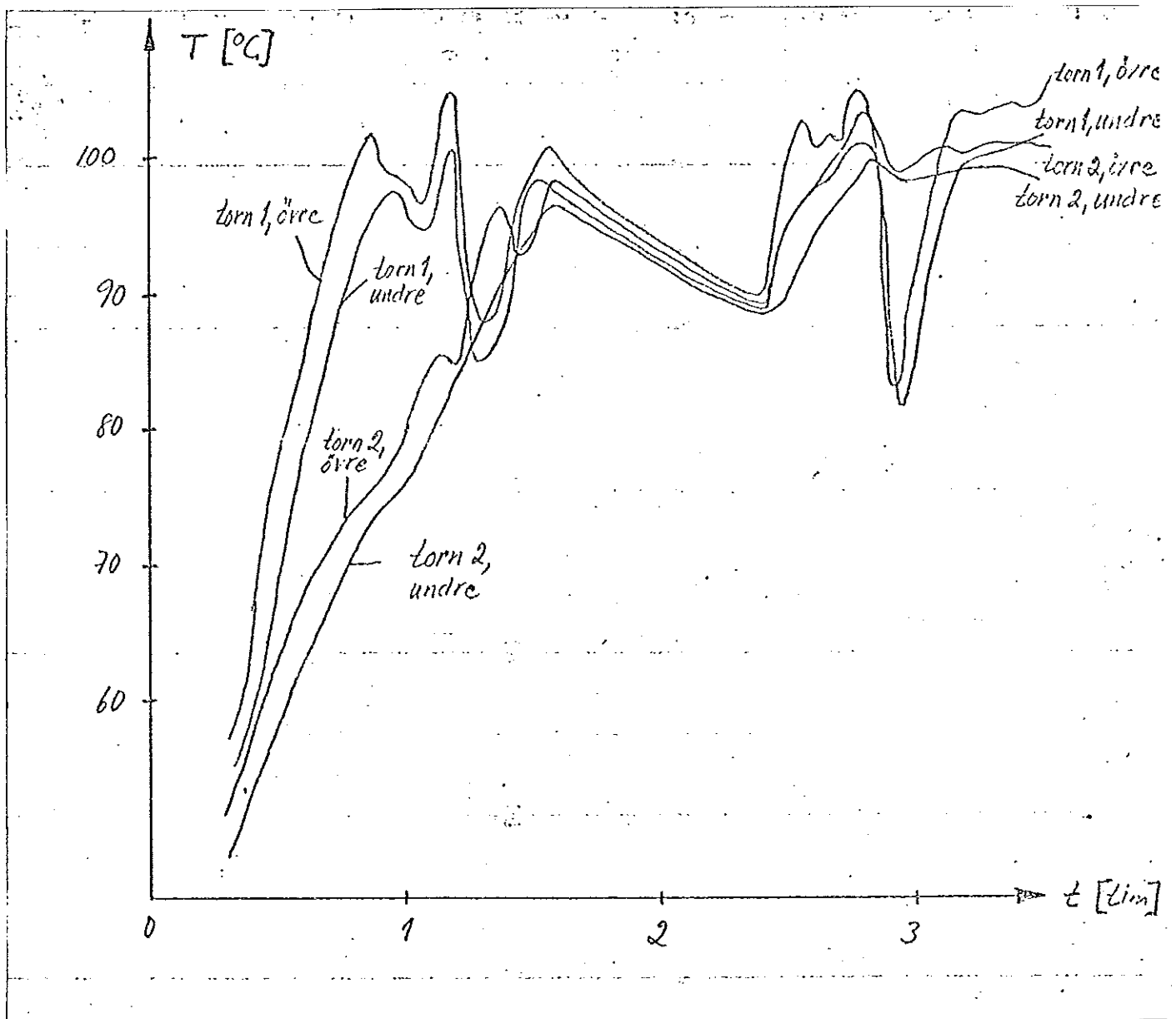
Efter det att portionsbanan passerat mikrovågsdelen av anläggningen, där den önskade temperaturfördelningen åstadkommes, skall för uppnående av åsyftad värmebehandling vid vald temperatur förpacknings-

banan passera så många torn med denna temperatur, att den erforderliga tiden erhålles med portionen vid nämnda temperatur.

Strypbrickornas inverkan torde vara gynnsam då kokning inträder på grund av trycksänkning i ett torn; en förutsättning är att denna trycksänkning, som givetvis fortplantas i systemet av luft- och vattenpelare, i sig ej medför kokning i andra. Skulle trycksänkningen vara av sådan storlek att dess spridning medför kokning i flera torn skulle troligen strypbrickornas inverkan för att lugna förloppet ej vara tillfyllest.

Följande figur visar typiska temperaturförlopp på de ställen i torn 1 och 2, där termoelement anbringats. Avsvalningen beror på att värmeförseln avbrutits för att få temperaturutjämning mellan respektive torns övre och undre delar. De hastiga temperatursänkningarna i torn 1 uppstår på grund av påfyllning av vatten av lägre temperatur i torn 1; det är nämligen svårare att få upp temperaturen i torn 2, varför temperaturhöjningar i torn 1 måste dämpas tills torn 2 hunnit med. Detta i sin tur för att uppnå de förutsättningar, som angivits ovan, vad gäller temperaturen i tornen i förhållande till respektive kokpunkter. Den kurva, som visas, har upptagits då temperaturen i torn 1 tillåtit stiga till kokpunkten.

Figur 6.1



Temperaturförloppet vid värming för undersökning av kokningsförlopp.

KAPITEL 7

SLUTSATSER OCH FÖRSLAG TILL FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR

En förutsättning för experimenten med trycksimulatorens har varit möjligheten att applicera lämpliga test signaler för att därur kunna dra slutsatser om stabiliteten. Den apparatmässigt enda möjliga temperaturstörningen, långsamt stigande temperatur till kokning i något torn, visade sig vara katastrofal för systemet. Införandet av strypbricka med hål för luftpassage och därmed bestämning av undre vattennivå hade viss stabiliserande verkan men endast vid lokal kokning isolerad till ett torn. En annorlunda utformning av luftpassagen än det här använda cirkulära hålet, \emptyset 3 mm, kan troligen ha en mer stabiliserande inverkan vid begynnande kokning och motiverar därför noggrannare undersökningar.

Tryckstörningarna har efter inventering av möjligheterna till realisering applicerats som steg av varierande amplituder innebärande både höjning och sänkning av matningstrycket. För tryckhöjningar har simulatorens konstaterats utgöra ett tidsvariant system, varför endast kvalitativa slutsatser kan dras ur dessa försök. Det sker en transportfördröjning av tryckhöjningen i systemet. Den är ungefär dubbelt så stor till andra luftpelaren som till den första. De svängningar, som uppstår i trycken, mest uttalade i andra pelaren, konstaterades vara av en frekvens, som ökar efterhand som vatten lämnar systemet och höjer egenfrekvensen. Ett sådant förlopp är inte möjligt att behandla teoretiskt på grund av tidsvariansen. De positiva tryckstörningar, som applicerats, är inte orimligt stora, medan det luftflöde, som erhålls är mycket stort i förhållande till vad man kan vänta som en praktisk störning. Strypbrickornas utformning är vid tryckhöjande störningar särskilt viktig vad gäller luftpassagens utseende. Vid tryckförhöjning sjunker den undre nivån under lufthålets nivå, luft passerar genom systemet och ger på så sätt en tryckutjämnning. Brickornas utformning föreslås undersökt. Eftersom en ökad luftpassage krävs för större tryckhöjningar borde öppningen vidgas nedtill, eventuellt i form av en triangelformad slits.

Med trycksänkande stegstörningar har trycksimulatorens undersökts dels i normalt utförande, dvs med strypbricka, dels utan sådan. Det visade sig, att dessa stegstörningar endast medförde att vattennivå-

erna ställde in sig i nya jämviktslägen så, att det nya matningstrycket motsvarar trycket från summan av de "nya" vattenpelarna. Med det normala utförandet på strypningen erhöles ett aperiodiskt förlopp, medan den svagare strypningen, brickan bortmonterad, gav svängningar med ungefär frekvensen 2 Hz. En nackdel har varit att vattennivåerna på grund av simulatorns konstruktion ej kunnat kontrolleras. Nivågivare har ej använts. En möjlighet att "rekonstruera" nivåernas uppförande vid pålagda tryckstörningar har framtagits i och med uppställandet av den matematiska modellen för systemet. Denna visar, att inga svängningar uppstår, som svänger så våldsamt, att den övre vattennivån passerar övre bräddavloppet ens för stora amplituder på stegen.

Avsikten med modellstudien har varit att för simulatorns kalla tillstånd beskriva tryckförhållandena i tornen. Modellen har endast verifierats för trycken, medan nivåytornas uppförande endast har konstaterats vara fysikaliskt troligt. Modellen har ställts upp utgående från kraftekvationen med hänsyn tagen till det som en dämpning verkande tryckfallet i strypningen. Tryckfallet har genom flödesmätningar konstaterats vara proportionellt mot kvadraten på hastigheten i strypningen och för respektive strypning har proportionalitetskonstanten beräknats ur mätningarna. Med dessa och geometriska data insatta har modellens riktighet testats. Modellens stegsvar har genom simulering på analogmaskin visat sig motsvara vad som uppmätts genom experiment med trycksimulatorn. Modellen har testats i approximerad form, men har ändå givit en riktig beskrivning av strypningens betydelse. Genom att modellens parametrar endast beror av simulatorns geometriska förhållanden och strypningens utförande kan den appliceras på fullskaleanläggningen. Möjligen skulle i differentialekvationerna ytterligare mot fysikaliska fenomen svarande termer, med dämpande inverkan, kunna adderas. Därför föreslås kombinerade experiment och simuleringar, då fullskaleanläggningen föreligger.

Den undersökta trycksimulatorn har således genom experiment visats vara instabil för temperaturhöjande störningar, om marginalen till kokpunkten är för liten. Tryckhöjningar är likaså en stabilitetsrisk i nuvarande utformning, medan trycksänkningar både genom experiment och simuleringar av modellen visats vara praktiskt taget riskfria vad gäller stabiliteten i kallt tillstånd.

DataI och II

$$A_1 = 1.094 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2.011 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$m = 20.6 \text{ kg}$$

$$\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

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

$$P_0 = 1.013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$P_{10} = 1.121 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$P_{20} = 1.229 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$P_{30} = 1.337 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$L_1 = 1.337 \text{ m}$$

$$L_2 - L_0 = 1.125$$

(ej korrigerad för strypningen)

I (kraftig strypning)

$$A = 3.53 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$K = 70.5 \text{ N/m}^2/\text{m}^2/\text{s}^2$$

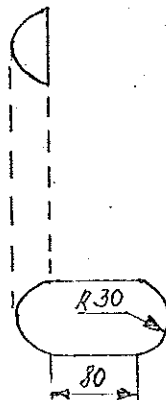
$$m = 21.4 \text{ kg}$$

II (svag strypning)

$$A = 2.69 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$K = 167 \text{ N/m}^2/\text{m}^2/\text{s}^2$$

$$m = 21.8 \text{ kg}$$

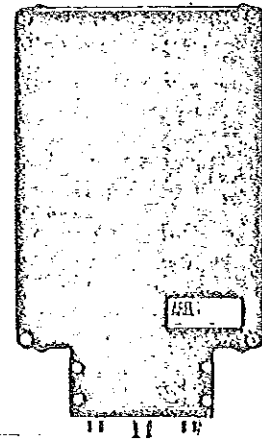


Tryckgivare

SPECIFIKATION TRYCKGIVARE AREL 1603

Mätområden:	Tryckgivare	Diff. tryckgivare
	0— 1 kg/cm ²	± 1 kg/cm ²
	0— 2,5 "	± 2,5 "
	0— 4 "	± 4 "
	0— 6 "	± 6 "
	0—10 "	±10 "
	0—15 "	±15 "
	0—20 "	±20 "
	0—25 "	±25 "
	0—30 "	±30 "
	0— -1 " (vacuum)	

TYP AREL 1603



Utgångssignal: Likspänning
Rippel:
standardutförande max 200 mV
med filter max 10 mV

Linjaritet: bättre än ±0,5 %

Uteffekt: 0,5 mW utan förstärkning

Utimpedans: 300 Ω

Nätanslutning: 220 V, 50 alt 60 Hz
22 V, 50 alt 60 Hz
För specificerade data erfordras stabil matningsspänning. Tillåten spänningsvariation ±0,5 %

Omgivn.temperatur: -30° C — +70° C

Nollpunktsdrift: Standardutförande 0,015 %/°C
Specialutförande 0,007 %/°C

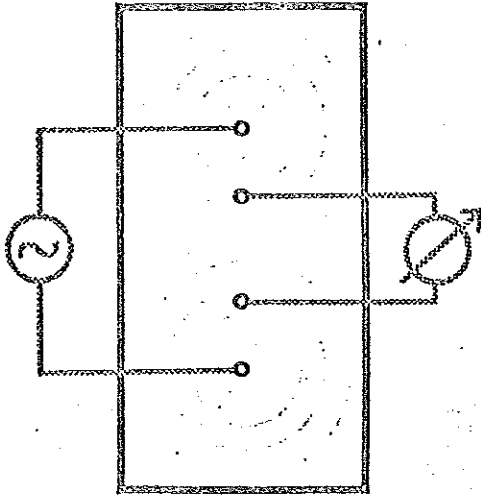
Gradient: Standardutförande 0,007 %/°C
Specialutförande 0,003 %/°C

Tryckgivarna själva har i standardutförande en tidskonstant av endast 20_msek

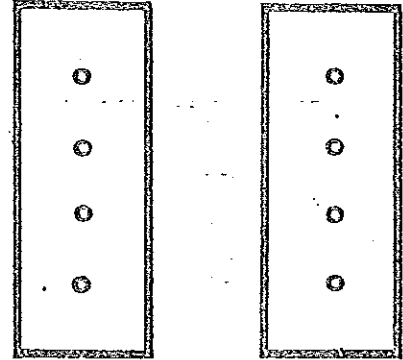
FUNKTION:

Den magnetoelastiska givarens princip bygger på att vissa ferromagnetiska ämnens permeabilitet vid belastning minskar i tryckriktningen och ökar i tvärriktningen.

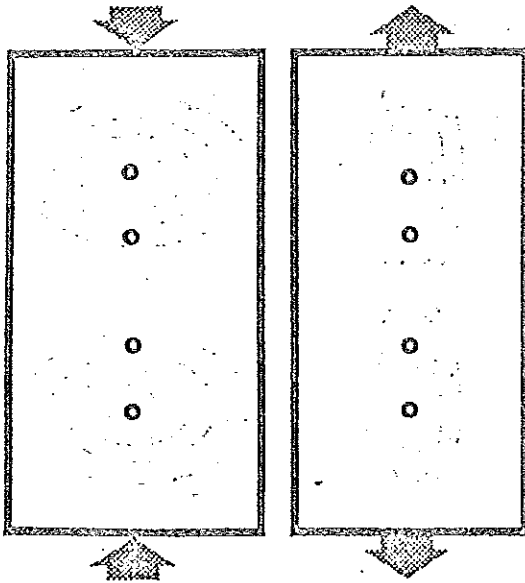
Denna förändring av den magnetiska ledningsförmågan (permeabiliteten) kan utnyttjas vid koppling mellan två genom materialet införda lindningar.



För praktiskt bruk är det önskvärt att givarnas utspänning är noll i obelastat tillstånd. För att uppnå detta förhållande och samtidigt erhålla en med belastningen linjär utspänning inom givarens hela arbetsområde användes i AREL tryckgivare två magnetoelastiska givarelement kopplade i serie så att nollspänningen elimineras samtidigt som känsligheten/utspänningen fördubblas.



I obelastat tillstånd kommer kraftlinjerna från den till en växelspanningskälla anslutna primärlindningen att till en del omslutas av sekundärlindningen och därvid ge upphov till en viss spänning.



Vid en tryckbelastning kommer ett minskat antal kraftlinjer att omslutas av sekundärlindningen och sekundärspänningen sjunker.

Vid en dragpåkning kommer omvänt ett ökat antal kraftlinjer att omslutas och spänningen ökar.

Referenser

Åström, K J: Reglerteori, Almqvist&Wiksell, Uppsala 1968.

Åström, K J: Olinjära system, TLTH/VBV, Lund 1970.

Tyllered, G: Mekanisk värmeteori, LTH, Lund 1970.

Andersson, L-E: Praktisk reglerteknik, Läromedelsför-
lagen, 1969.

Holmberg, B: Mekanik, del 2, Göteborg 1966.

Analogmaskinen och simulering beskrivs i

SAMS-Analog Programming Handbook, FOA, div.290, Stockholm.

Wittenmark, B: Analogmaskiner, Reglerteknik LTH, Lund 1969.

Praktiska anvisningar för simuleringarna har hämtats i manua-
len till PACE 231 R

Computer Console 231 R.