



# LUND UNIVERSITY

## Simulering av hjälpmatarvattensystemet till Oskarshamn 1

### Projektarbete i systemteknik våren 1981

Bengtsson, Thomas; Bengtsson, Mats; Bergström, Magnus; Hedar, Nils; Lie, Morten; Christiansen, Tommy; Moustakas, Thomas; Skeppe, Håkan; Lundgren, Bengt; Karavas, Dimitrios

1981

*Document Version:*  
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Bengtsson, T., Bengtsson, M., Bergström, M., Hedar, N., Lie, M., Christiansen, T., Moustakas, T., Skeppe, H., Lundgren, B., & Karavas, D. (1981). *Simulering av hjälpmatarvattensystemet till Oskarshamn 1: Projektarbete i systemteknik våren 1981*. (Technical Reports TFRT-7221). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

*Total number of authors:*  
10

#### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:  
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

#### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

SIMULERING AV HJÄLPMATARVATTENSYSTEMET TILL OSKARSHAMN 1

PROJEKTARBETE I SYSTEMTEKNIK VÅREN 1981

THOMAS BENGTSSON  
MATS BENGTSSON  
MAGNUS BERGSTRÖM  
NILS HEDAR  
MORTEN LIE  
TOMMY CHRISTIANSEN  
THOMAS MOUSTAKAS  
HÅKAN SKEPPE  
BENGT LUNDGREN  
DIMITRIOS KARAVAS

INSTITUTIONEN FÖR REGLERTEKNIK  
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA  
JUNI 1981

S I M U L E R I N G   A V  
H J Ä L P M A T A R V A T T E N S Y S T E M E T  
T I L L   O S K A R S H A M N 1

Projektarbete i systemteknik, vt-81.

utfört av:

Thomas Bengtsson	M-77
Mats Bengtsson	M-76
Magnus Bergström	M-76
Nils Hedar	M-77
Morten Lie	M-77
Tommy Christiansen	M-75
Thomas Moustakas	M-77
Håkan Skeppe	M-77
Bert Lundgren	M-77
Dimitrios Karavas	M-77

Handledare  
Lars Pernebo

<b>LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY</b> DEPARTMENT OF AUTOMATIC CONTROL Box 725 S 220 07 Lund 7 Sweden		Document name Internal report	
		Date of issue June 1981	
		Document number CODEN: LUTFD2/(TFRT-7221)/1-59/(1981)	
Author(s) T. Bengtsson      T. Christiansen M. Bengtsson      T. Moustakas M. Bergström      H. Skeppe N. Hedar            B. Lundgren M. Lie                D. Karavas		Supervisor Lars Pernebo	
		Sponsoring organization	
Title and subtitle Projektarbete i Systemteknik våren 1981. Simulering av hjälpmatarvattenssystemet till kärnreaktorn Oskarshamn 1. (Independent studies in Systems Engineering 1981. Simulation of the feedwater system in the nuclear reactor Oskarshamn 1).			
Abstract  This is one of two independent studies that were performed in the undergraduate course of Systems Engineering (Reglerteknik-Systemteknik) during spring 1981. A mathematical model was constructed for the feedwater system, that is used at low powers, in the nuclear reactor Oskarshamn 1. A number of computer simulations illustrate the performance of the model.			
Key words			
Classification system and/or index terms (if any)			
Supplementary bibliographical information			
ISSN and key title			ISBN
Language Swedish	Number of pages 59	Recipient's notes	
Security classification			

DOKUMENTDATABLAD RT 3/81

Distribution: The report may be ordered from the Department of Automatic Control or borrowed through the University Library 2, Box 1010, S-221 03 Lund, Sweden, Telex: 33248 lubbis lund.

## 0. INLEDNING

I kursen systemteknik som har hållits av Lars Pernebo, vid LTH, ingår bl.a att utföra en större projektuppgift. Detta är kom denna uppgift att hämtas från Sydkraft och presenterades av Sten Bergman, Sydkraft, den 19/12 för oss, 10 teknologer.

Uppgiften gick ut på att m.h.a simuleringsspråket SIMNON, utvecklat vid institutionen för reglerteknik, försöka konstruera en modell över hjälpmatarvattenanläggningen till kokarvattenreaktorn vid Oskarshamn 1. Hjälpmatarvattenanläggningens uppgift är att hålla konstant nivå i reaktorn, då det ordinarie systemet av någon anledning är satt ur spel, samt vid normalt start och stopp av reaktorn, då matarvattenbehovet är litet. I uppgiften ingick vidare att, m.h.a modellen studera hjälpmatarvattenanläggningens uppträdande vid olika typer av störningar, som t.ex en plötslig stegring av reaktortrycket. Slutligen har vi också försökt att undersöka reglersystemets kvalitativa uppförande m.h.a olika parameterintervall. Däremot har vi inte lyckats få fram de pendlingar i det parallellkopplade systemet, som enligt Sten Bergman ibland uppträder vid drift.

Arbetet med framtagandet av modellen har delats upp i tre delar. En grupp behandlade rörsystemets och ventilernas dynamik en annan pumpregleringen och en tredje grupp behandlade ventilregleringen. Dessa tre delar justerades var för sig till dess att de fungerade och kopplades därefter ihop till ett enda system.

Vi försökte också koppla ihop detta system med en modell av reaktorn, framtagen av Sten Bergman, men lyckades aldrig få det att fungera.

Resultatet av projektuppgiften är föreliggande rapport. Rapporten är organiserad på följande sätt. Efter inledningen följer som kapitel 1 de papper som vi fick av Sten Bergman med bl.a ett schema över hjälpmatarvattenanläggningen. I kapitel 2, 3 och 4 redogör de olika grupperna för sitt arbete med framtagandet av delsystemen. Där ges också resultaten från simuleringarna.

I kapitel 5 ges resultat från simuleringar med det sammankopplade systemet utan reaktor, med olika typer av störningar på insignalerna. I kapitel 6 slutligen presenteras resultaten från försöken med att simulera det totala systemet.

Vi vill slutligen tacka Lars Pernebo och Sten Bergman för god handledning och hjälp vid utförandet av projektet.

PROJEKTSTUDIE LTH 1981Hjälpmatarvattenreglering i en BWR anläggning

Hjälpmatarvattenregleringen i en svensk kokarreaktor (Oskarshamn 1) skall ombesörja vattentillförsel till reaktorn vid fel då det ordinarie matarvattensystemet ej kan tillgodräknas. Vidare skall systemet kunna användas för normal start och stopp av anläggningen då matarvattenbehovet är litet.

Systemet består av två parallella stråkar innehållande pump, reglerventil, backventil och motormanövrerad avstängningsventil. (Se fig 1). Sugledningen ansluter till den stora stamledningen i systemet för totalavsaltat vatten.

Pumparna i systemet är av centrifugaltyp och är varvtalsreglerade med hjälp av hydraulkopplingar. Pumpmotorerna är luftkylda. Pumparnas minflöde leds via ventilerna V107 (207) tillbaka till systemet för totalavsaltat vatten.

Reaktornivåprocessen

Dynamiken hos reaktornivån har en central betydelse för regleringen.

Hjälpmatarvattnet tillföres reaktorn via spridarna och förs sedan ned i fallspalten. Genom blandning mellan det kalla hjälpmatarvattnet (+60°C) och det cirkulerade vattnet (se fig 2) erhålles en underkylning till reaktorvattnet om några grader.

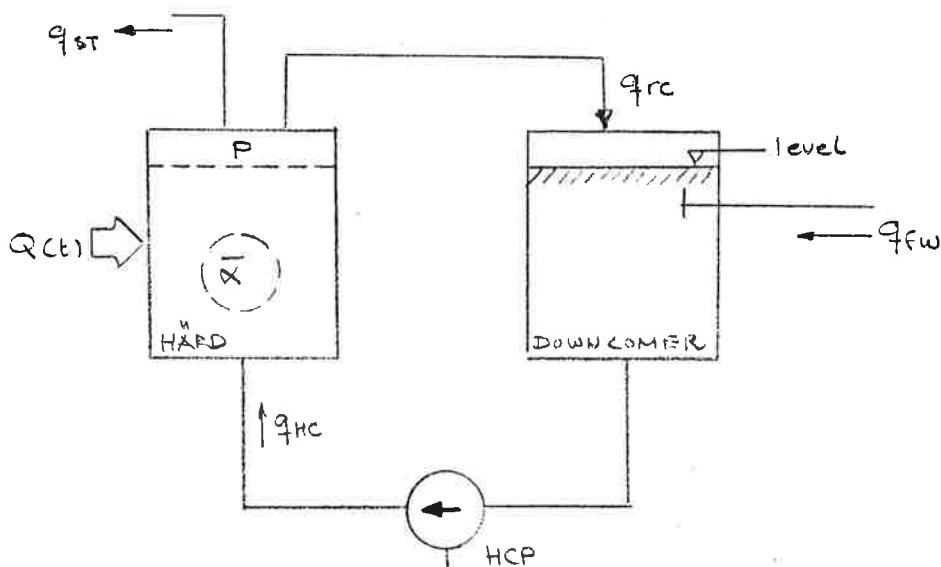


Fig 2.

### Reglering

Reglersystemets uppgift är att hålla reaktornivån konstant vid ett givet börvärde. Reglering av hjälpmatarvattenflödet sker genom kombinerad stryp- och varvtalsreglering med hjälp av 327 V103, V203 respektive 327 HK1, HK2.

Varvtalsregulatorn reglerar på ett fast inställt börvärde för differenstrycket över reglerventilen. Vid reaktortryck lägre än 20 bar har pumpen nått sitt minsta varvtal och reglering sker då helt med strypreglering.

I reglersystemet är inlagt en begränsning av flödet till 120 % av nominellt flöde (dvs 18 kg/s).

Regleringen kan kopplas ur och det är då möjligt att manuellt köra såväl reglerventil samt objektregulator på hydraulkopplingen.

### Automatikfunktioner

När extra låg nivå i reaktortanken indikeras (2 av 4 koppling) startar efter 10 sek båda pumparna i systemet och ventilen V101, V201 öppnar.

När extra hög nivå i reaktortanken indikeras ges stängaorder till V101, V201.

Om lågt sugtryck erhålles före pumparna stoppar P2 efter 15 sek. Kvarstår det låga sugtrycket efter ytterligare en tidsfördröjning stoppar även P1.

### Reglersystemets utformning

Reglerutrustningen är uppbyggd av enheter ur ASEA's analoga reglersystem Combitrol, med tillhörande Manuell/Automatik-enhet (M/A-enhet) samt ett elektriskt ställdon. Processärvärdena erhålls från system 541. Ställdonshastighet för hydraulkopplingar går dock direkt till regulatorskåpet. Börvärdena ställs med potentiometrar i regulatorerna.

M/A-enheten, som placeras invid reglerat objekt i kontrolltavlan/pulpeten, innehåller tryckknappar för omkoppling automatik/manuell samt tryckknappar för öka/minska vid manuell manövrering av ställdonet. Vidare innehåller enheten signallampor för man- och autoläge.

I M/A-enheten ingår också visarinstrument för ställdonsläge och regleravvikelse.



Till varje regulator hör en logiktrustning för att kunna mottaga påtvingna styrkommandon. Dessa signaer kan ge följande beordringar:

- automatisk nedkoppling till manuell
- automatisk överkoppling till automatik

Apparaterna tillhörande en reglerkrets är sammanförda till en funktionsenhet i respektive skåp.

Signalutbytet med CK följer de allmänna principerna. Detta innebär att då lokal/central-omkopplaren, som är placerad i reläskåpen i RKB, står i läge central är endast manöver möjlig från M/A-enheten i CK. På motsvarande sätt är endast manöver från RK möjlig då lokal/central-omkopplaren står i läge lokal.

### Reglersystemets parameterinställning

#### Pumpreglering

Mätområde $\Delta p$ över reglerventil: (= 0-10 V)	0-20 bar
Tryckbörvärde:	5 bar
P1-regulatorns inställning:	K = 2,9 T = 10 sek
Ställdonshastighetsåterföring:	K = 0,3
Ställdonets gångtid:	0-100 % på <del>30</del> sek 40 sek

#### Ventilreglering

Mätområde nivå:	1,4 - 4,4 m
Nivåbörvärde:	3,15 m
P-regulatorn för nivå:	K = 50
Mätområde stråkflöde:	0 - 20 kg/s
Max tillåtet värde:	120 % = 18 kg/s
P-regulatorn för flödesbegränsning:	K = 35 ggr
Filter för nivå tidskonstant:	5 sek
Ställdonets gångtid:	0-100 % på 60 sek

#### Reglerproblematiken

Det har vid drift av systemet visat sig att man ibland får stora pendlingar. Systemet blir mer eller mindre instabilt och relativt kraftiga tryckpendlingar uppstår över reglerventilerna.

Ett av skälen kan vara det automatiska tryckhållningssystemet på pumparnas sug sida som ibland kommer in och ger tryckstörningar vilka fortplantar sig till regleringen. Den andra delen av reglerproblemet kan härröra från dynamiska effekter hos styrsteg, mätgivare m m samt närvaron av eventuella *olinj*. Glapp, hysteres i ventil och pumpservo etc, samt det faktum att de båda stammarna är hydrauliskt kopplade med varandra.

### Projektuppgift

Projektet innebär att modellera systemet i språket SIMNON och studera reglerproblematik vid olika typer av störningar. Dessa störningar skall bl a omfatta tryckstörningar både på pumparnas sug sida och tryckstörningar i reaktortrycket. Vidare skall i uppgiften ingå att analysera regleringens uppförande (kvalitativt med olika val av reglerparametrar). I mån av tid kan även eventuell processadaptivitet studeras i t ex tryckregulatorn.

Resultatet redovisas i en teknisk rapport.

Handledare

Lars Pernebo, LTH  
Sten Bergman, Sydkraft

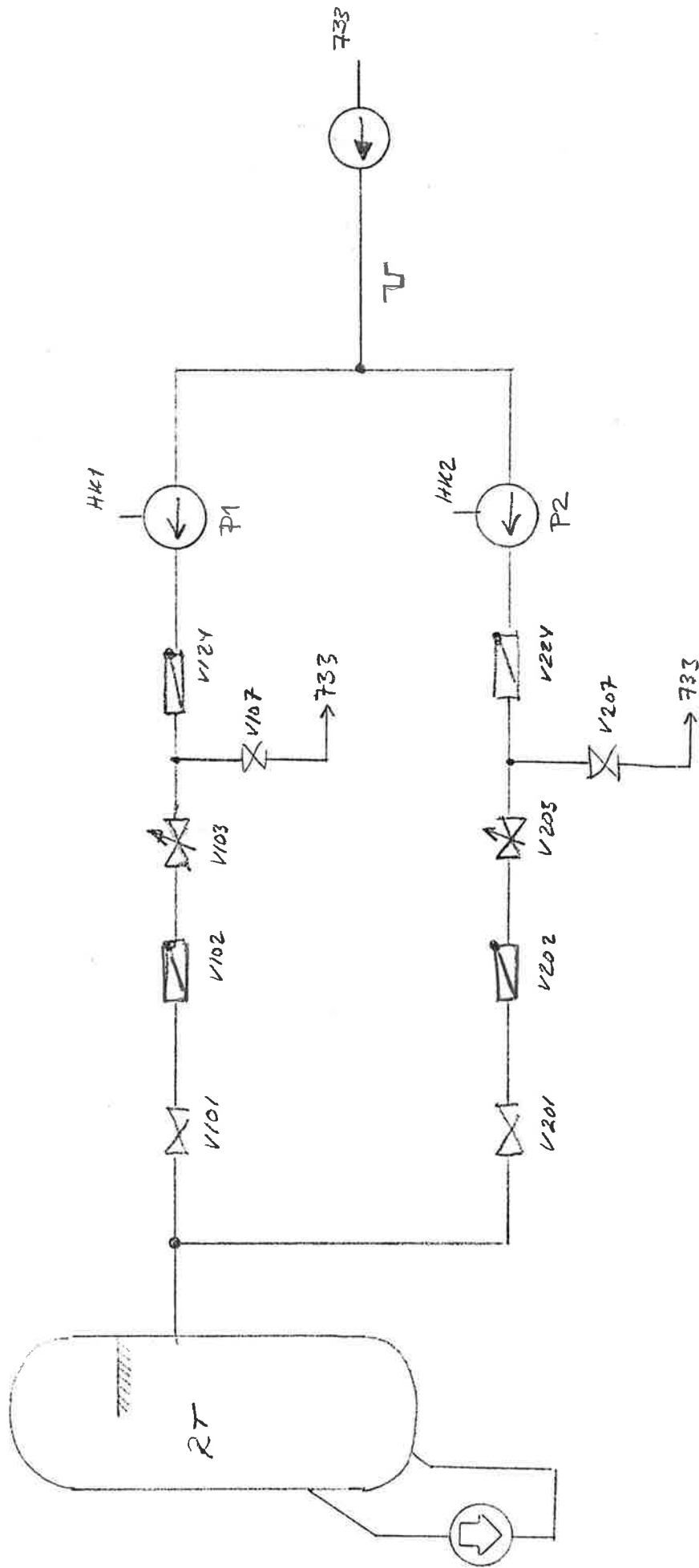
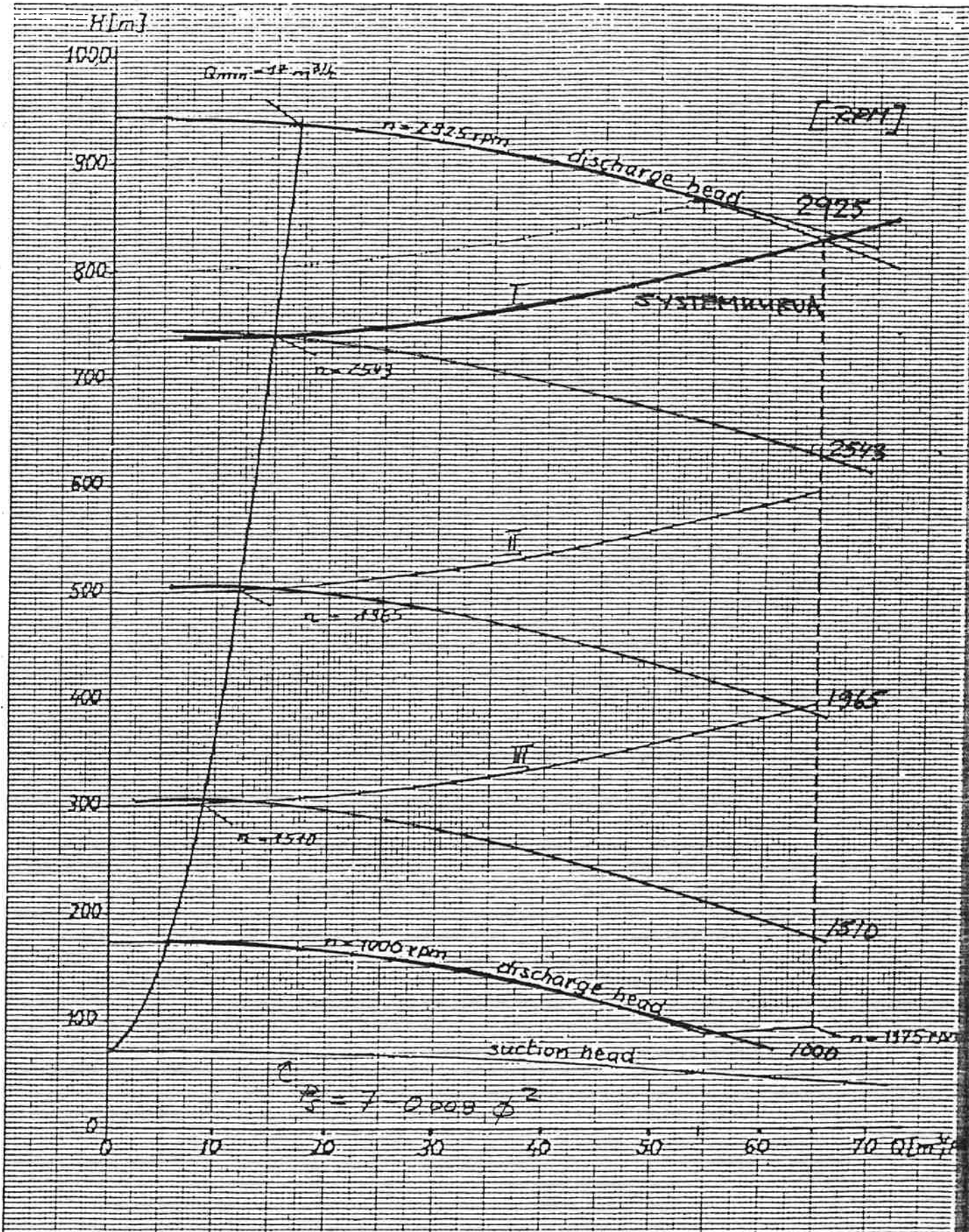


Fig 1: OSWÄRCHHAMN I - SYSTEM 527

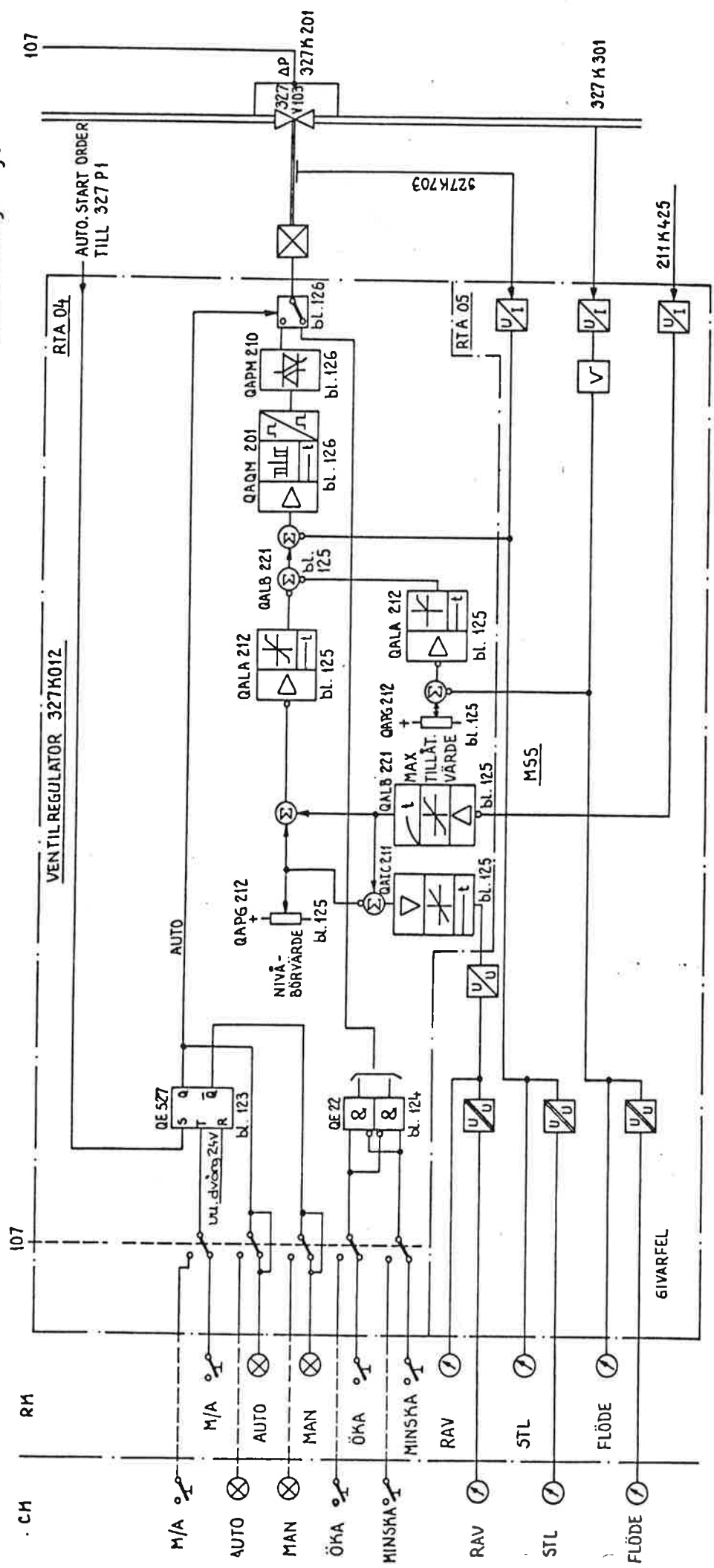


KSB-project-no. 801/39/0026

type	no. of stages	temp./spec. grav.	speed	date	curve no.
HDBR 80	11	30°C / 1 $\frac{t}{m^3}$	max 2925 rpm	3.8.78 Schw.	d/329 218

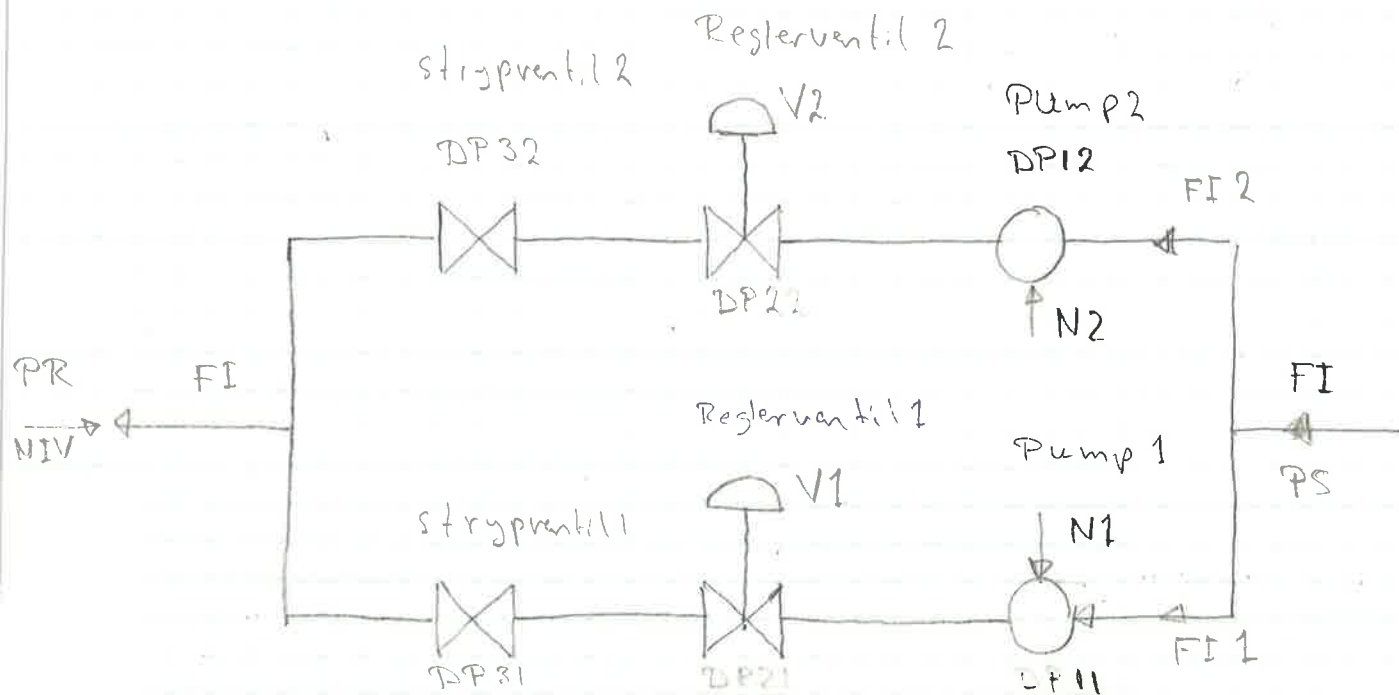


Reaktornivåreglering



## 2. SYSTEM TUBE

### 2.1 Modellbygge: Rörsystem



Blockschema över modellen med beteckningar i enlighet med SIMNON-programmet.  
För betydelsen av beteckningar se SIMNON-programmet TUBE.  
Schemat är i princip givet av Sydkraft.

För gren 1 gäller följande differentialekvation:

$$\frac{L1}{\rho g A} \frac{dFI1}{dt} = PS - PR + DP11 - DP21 - DP31$$

dvs ändringen i flöde = totala tryckskillnaden.

L1 betecknar längden av grenledningen  
A betecknar arean av grenledningen  
 $\rho$  betecknar densiteten för vatten

$$FI = FI1 + FI2$$

Motsvarande gäller för grenledning 2 med motsvarande beteckningar.

Enligt Sydkraft gäller:  $P_s = 7 - 0.008 \cdot F_I^2$

För pump 1 och 2 gäller samband mellan varvtal och tryckfall dvs N och DP enligt pumpkurvor från Sydkraft, se kapitel 1. Pumpkurvorna approximeras med andragradspolynom.

$$DP_{11} = A N^2 + B N F_I + G F_I^2$$

Detta ger med DP i bar och N i varv/min:

$$A = 10.82 \cdot 10^{-6}$$

$$B = 123 \cdot 10^{-6}$$

$$G = -48.6 \cdot 10^{-3}$$

För reglerventilen gäller, enligt Sydkraft,  $F_I = K_2 \cdot \sqrt{DP_{21}}$   
Vidare antas  $F_{I1} = \text{konst} \cdot A$  samt  $A = \text{konst} \cdot V_1$ . Detta ger

$$DP_{21} = F_{I1}^2 / (K_2^2 V_1^2)$$

där  $V_1$  varierar mellan 0 och 1 med  $V_1 = 1$  för helt öppen ventil  
Motsvarande gäller för grenledning 2.

För stypventilen gäller:  $DP_{31} = K_3 F_{I1}^2$

Man får nu differentialekvationen till

$$\frac{dF_{I1}}{dt} = \frac{e g A}{L_1} (7 - 0.08(F_{I1} + F_{I2}) - PR + A N_1^2 + B N_1 F_{I1} + G F_{I1}^2 - \frac{F_{I1}^2}{K_2^2 V_1^2} - K_3 F_{I1}^2)$$

$$\text{där } K_2 = 23.7$$

$$K_3 = 10.0$$

$K_2$  är givet av Sydkraft.  $K_3$  fås ur önskemålet om att  $DP_{31}$  skall vara 1-2 bar. Givna av Sydkraft är också konstanterna

$$L_1 = 120 \text{ m} \text{ samt } A = \pi \cdot 0.01^2 / 4$$

Detta ger konstanten  $g g A / L_1 = 0.642$

Vi la också in en begränsning i ventilläget så att den aldrig stänger helt.

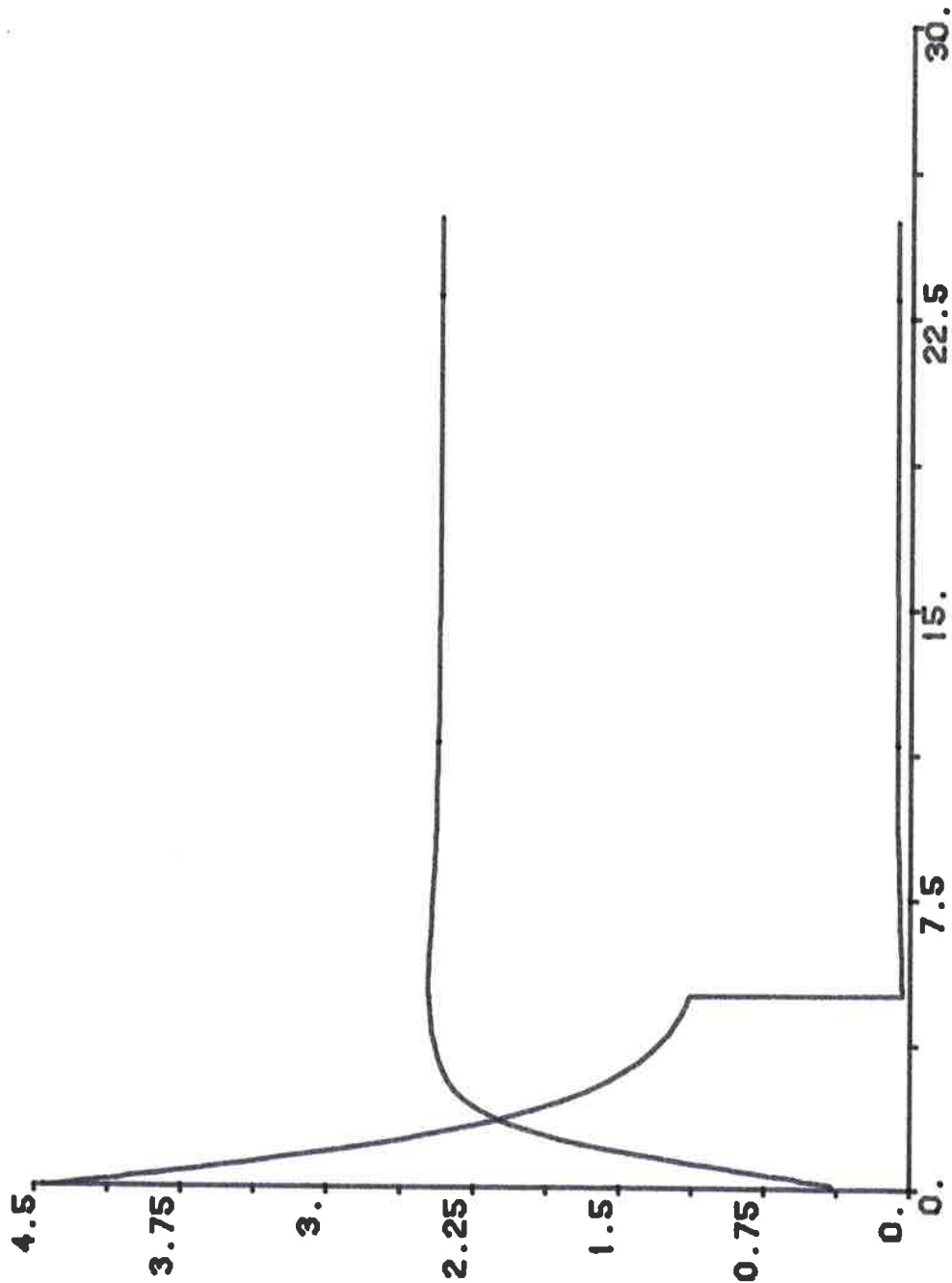


PR, vilket är trycket i reaktorn, är givet till ca 70 bar. Med alla dessa värden instoppade i differentialekvationen är vi nu färdiga för att skriva programmet i SIMNON. Det färdiga programmet är listat i bilaga 1.

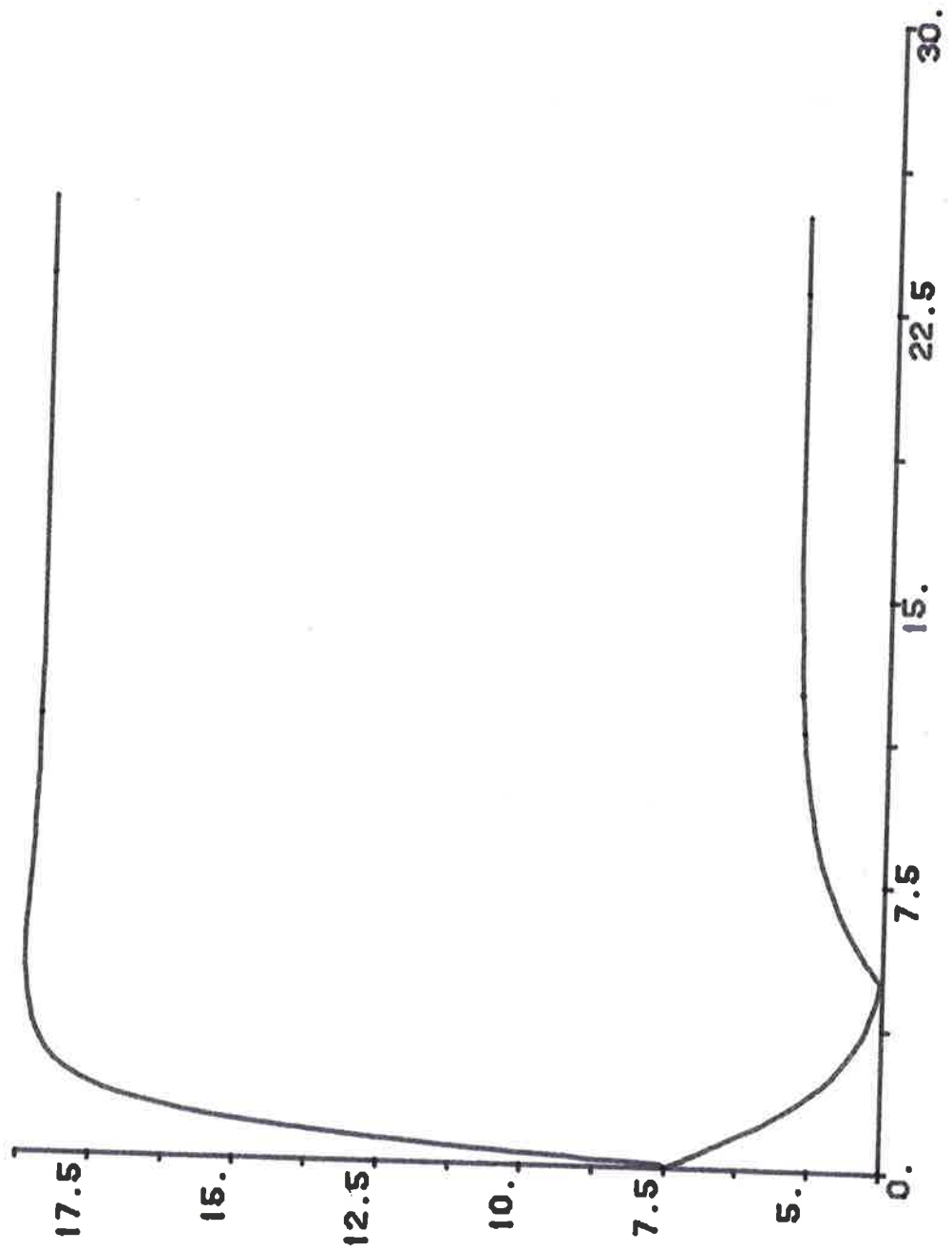
## 2.2 Simuleringsresultat: Rörsystem

Resultatet av simuleringen av TUBE visas med kurvor som visar hur FI1 och FI2 samt DP21 och DP22 varierar. Här har vi i gren 1 lagt in ett steg i ventilläget V1 och i gren 2 ett steg i varvtalet N2.

Figur 2.1 Trycket över reglerventilerna i gren 1 (DP24) och gren 2 (DP22) som funktion av tiden.



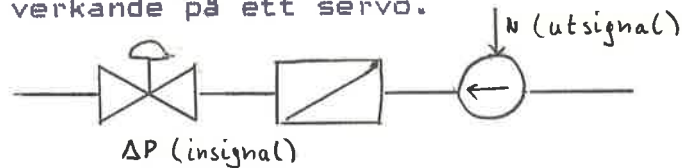
Figur 2.2 Flödet i gren 1 (FI1) och gren 2 (FI2) som funktion av tiden.



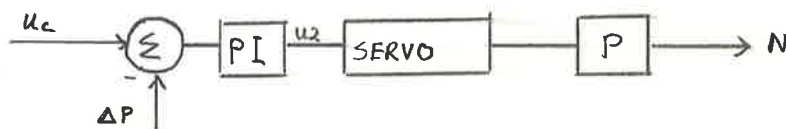
### 3 SYSTEM PUMPONE, PUMPTWO

#### 3.1 Modellbygge: Pumpreglering

Man önskar hålla ett konstant differenstryck över reglerventilen och för detta ändamål används en PI-regulator verkande på ett servo.



I form av blockschema får ovanstående figur följande utseende:



$u_c$ =börvärde

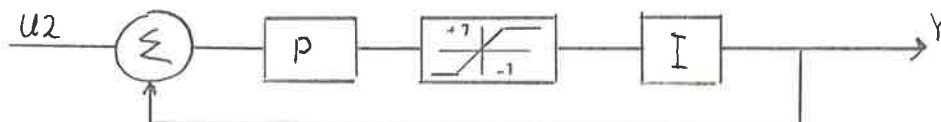
$\delta p$ =differenstrycket över reglerventilen

$u_2$ =styrsignal till servot

$N$ =varvtal till pumpen

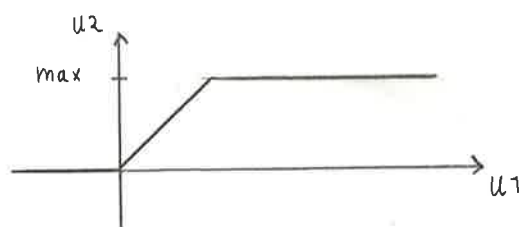
PI-regulatorn reagerar på differensen mellan  $u_c$  och  $\delta p$  och ger styrsignal till servot som i sin tur påverkar pumpvarvtalet så att  $\delta p$  regleras mot sitt börvärde  $u_c=5$  bar.

Beskrivning av servot

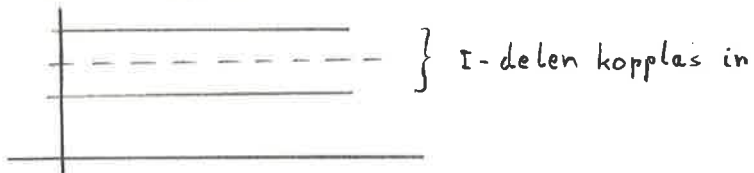


P-delen har till uppgift att förstärka skillnaden mellan insignalen ( $u_2$ ) och utsignalen ( $y$ ). Servot har en snabbaste inställningstid och för att ej överskrida denna införes en begränsare som håller insignalen till I-delen mellan  $+1$  och  $-1$ . I-delen har till uppgift att reglera utsignalen så att servots gångtid blir 0-100 procent på 30 sekunder. Servots utsignal transformeras till vavtal genom ren proportionell förstärkning.

För att insignalen till servot inte skall bli för stor utan hålla sig mellan min-max värde införes en begränsare enl



$U_1$  är utsignalen från en PI-regulator och vid stora skillnader mellan  $u_c$  och  $\delta p$  blir integratortermen stor vilket medför att  $u_1 \gg u_2$ . För att något begränsa att I-delen växte upp i sådan omfattning infördes villkorlig integrering enl



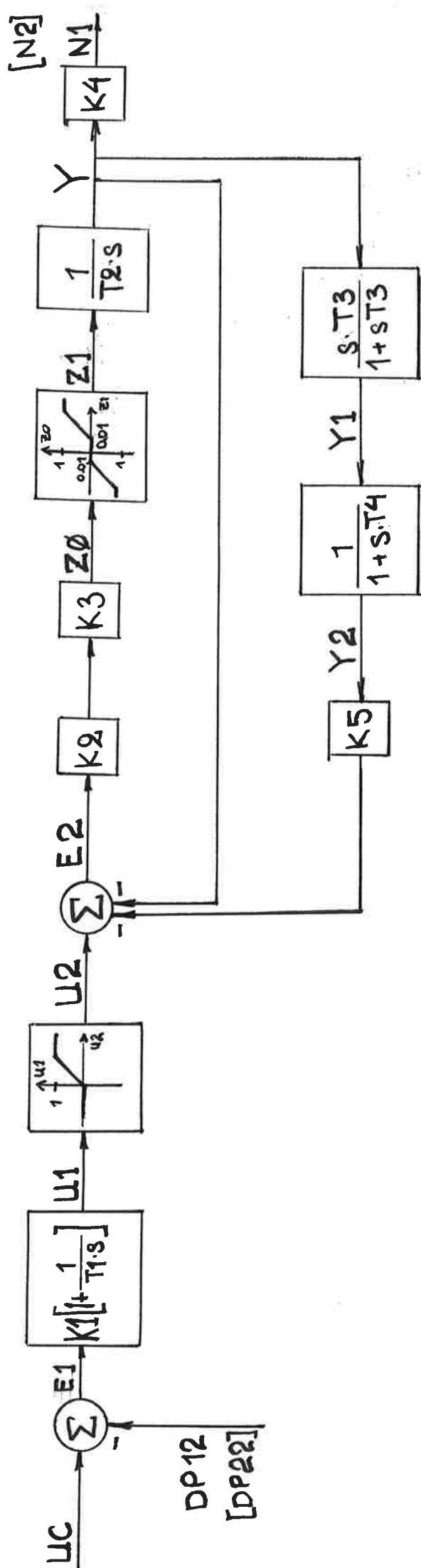
I-delen sätts till noll då felet är större än 1 bar.

För att få servot stabilare vid insvängningsförloppet infördes ytterligare en återkopplingslänk med filtrering av derivatatermen, vilken i stationärt tillstånd är noll.

Systemets konstanter i såväl tid som förstärkning har till stor del varit givna.

Efter ovan angivna förändringar erhöles följande blockschema.

PUMPSPEEDREGULATIONS SYSTEM PUMPTWO [PUMPTWO]



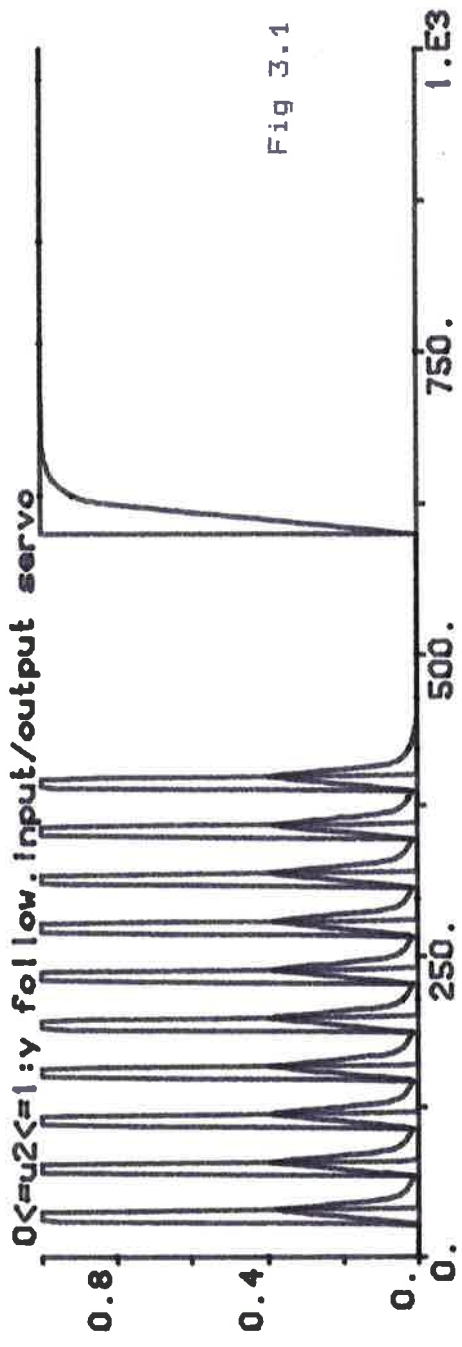


Fig 3.1 Insignalen till servot som är begränsad mellan 0 och 1. Utsignalen följer.

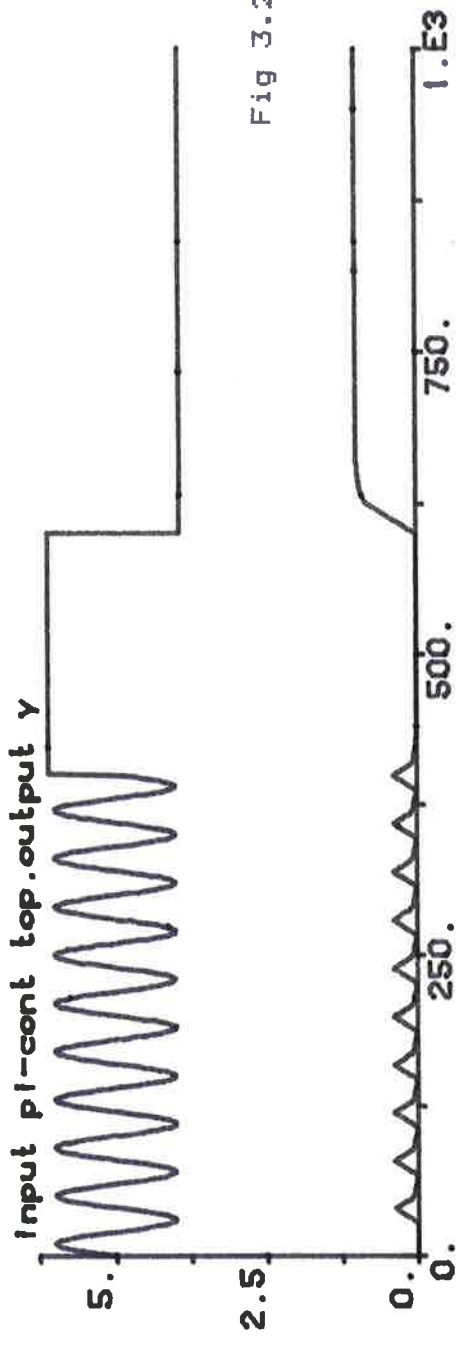


Fig 3.2 Insignalen  $\delta p$  så att om tiden  $T < 400$  är  $\delta p = 5 + \sin \omega T$   $400 < T < 600$  är  $\delta p = 6.1$  bar  $600 < T < 1000$  är  $\delta p = 3.9$  bar Figuren visar hur utsignalen från servot följer  $\delta p$ .

81.05.20 - 14:48:00 nr: 2  
hcopy

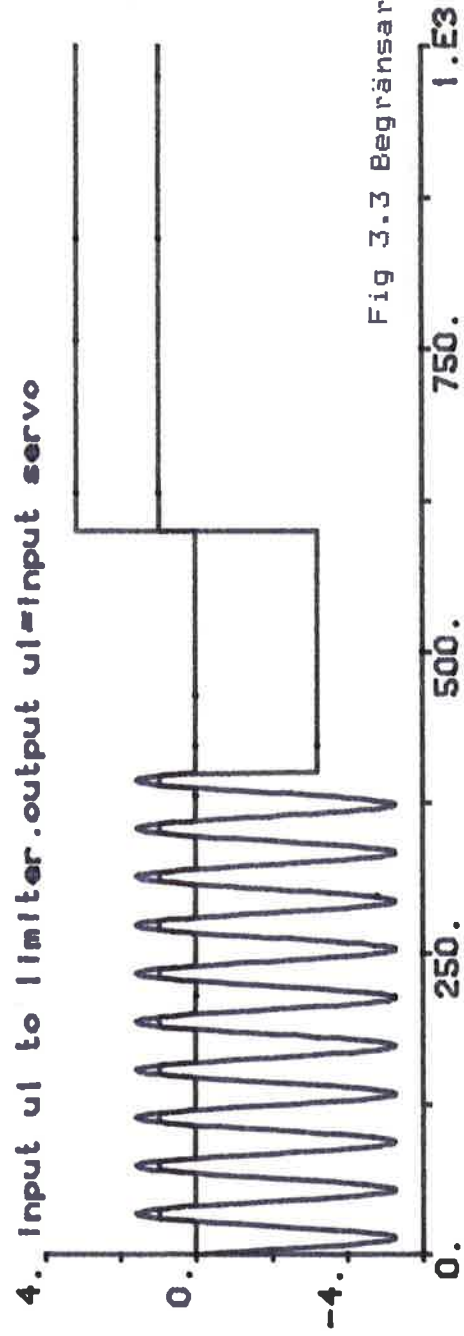


Fig 3.3 Begränsarens funktion efter PI-regulatorn.

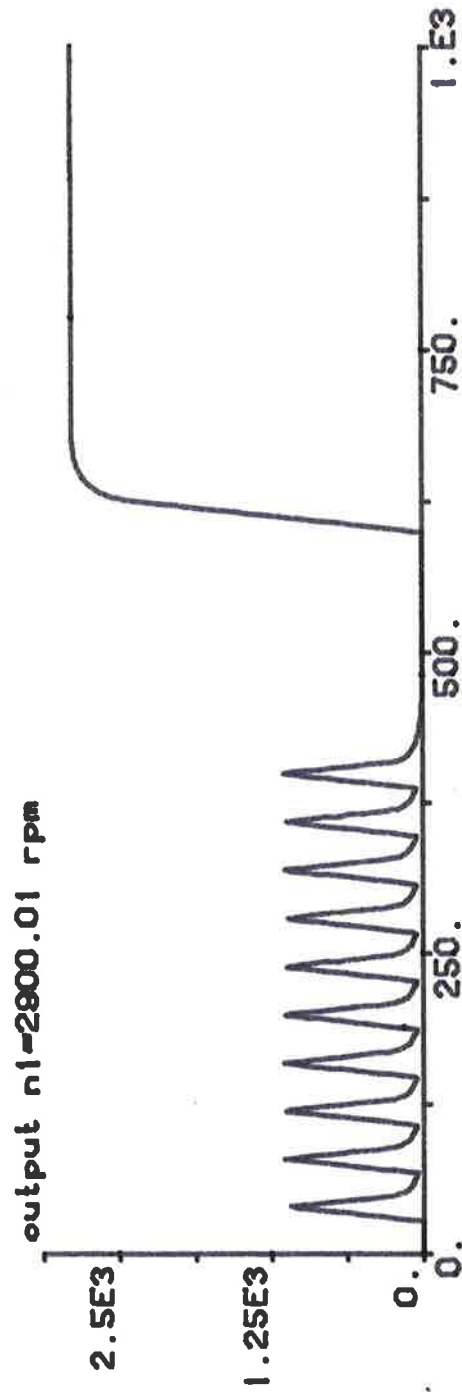


Fig 3.4 Varvtalet till pumpen.  
N kan variera från 0-2900 varv/min  
på 30 sekunder.



## 4 SYSTEM LINJE1 LINJE2

### 4.1 Modellbygge:Nivåregleringssystem

Nivån i reaktorn styrs enligt följande princip. Ett fel i nivån påverkar ventilläget i reglerventilen V103 via en P-regulator och ett servo. Ventilläget bestämmer direkt flödet i matarvattenledningen eftersom trycket över V103 hålles konstant av den tidigare nämnda tryckregulatorn.

Reglerventilen V205 i den andra grenen styrs på samma sätt.

Som insignaler till systemen kallade, LINJE1 respektive LINJE2 har vi från reaktormodellen nivån på vattnet i reaktorkärlet, samt flödet i matarvattenledningen.

Utsignalerna från LINJE är ventilläget V, som varierar mellan 0 och 1. 0 Betyder stängd och 1 betyder öppen. Vårt system LINJE är indelat i delsystemen P-regulator, Flödesvakt, och Ventilservo, dessa delsystem beskrives närmare nedan; se även figur 4.1 .

#### P-regulatorn

I SIMNON programmet heter denna del HUGO. Insignal till P-regulatorn är NIVA, som jämförs med ett börvärde BOR=3.15. NIVA passerar ett filter som tar bort eventuellt brus. Signalen förstärks 10 gånger för närvarande, men kan givetvis ändras. Signalen, kallad GUSTAF i SIMNON, är utsignal från p-regulatorn.

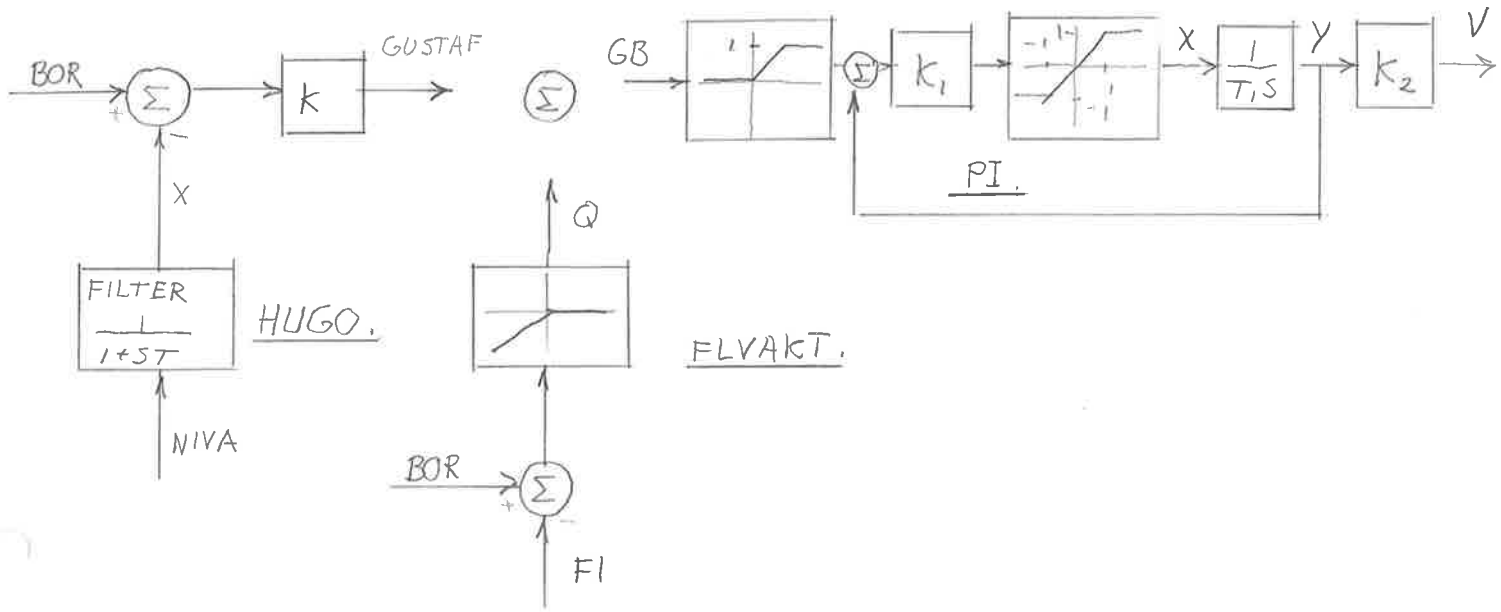
#### Flödesvakt

Flödesvakten kallas FLVVAKT i SIMNON-programmet. Insignalen är flödet FI som jämförs med ett börvärde BOR=18 kg/s. Signalen förstärks 35 gånger samtidigt som den passerar en begränsare vars uppgift är att stänga ventilen om flödet överskrider 18 kg/s. Utsignalen från flödesvakten kallas Q.

#### Ventilservo

P1 är namnet på ventilservot i SIMNON. Insignalen GB passerar en begränsare som ser till att signalen ligger mellan 0 och 1. Signalen har en dynamik och kan stiga från 0 till 1 på som snabbast 60 sekunder. Signalen passerar därefter en begränsare och en integrerande del. Denna signal återkopplas enligt figur 4.1. Utsignalen från ventilservot är ventilläget V, se figur 4.1, och varierar följaktligen mellan 0 och 1.

LINJE.

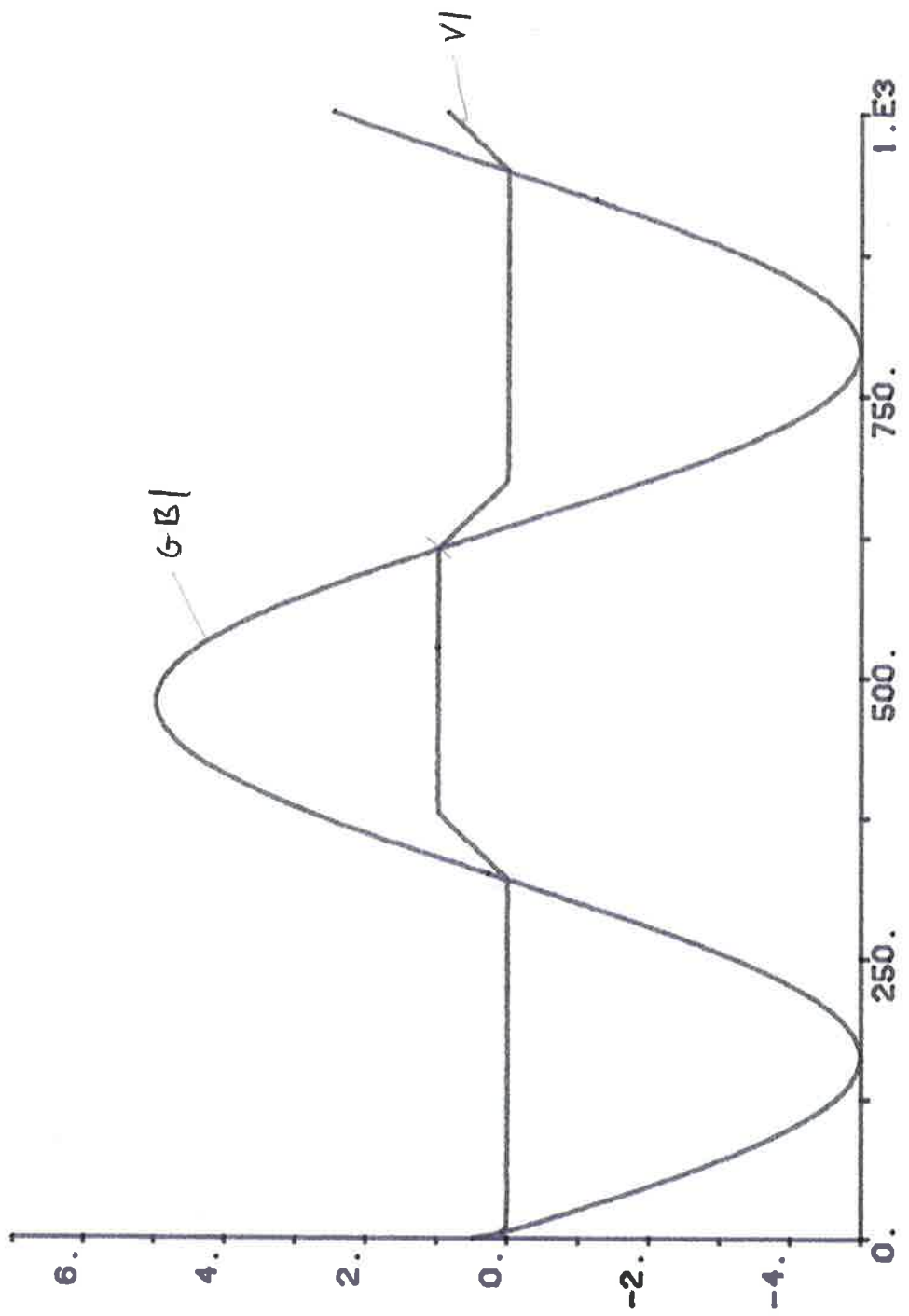


Figur 4.1 Blockschema över system LINJE.

#### 4.2 Simuleringsresultat: Nivåreglering

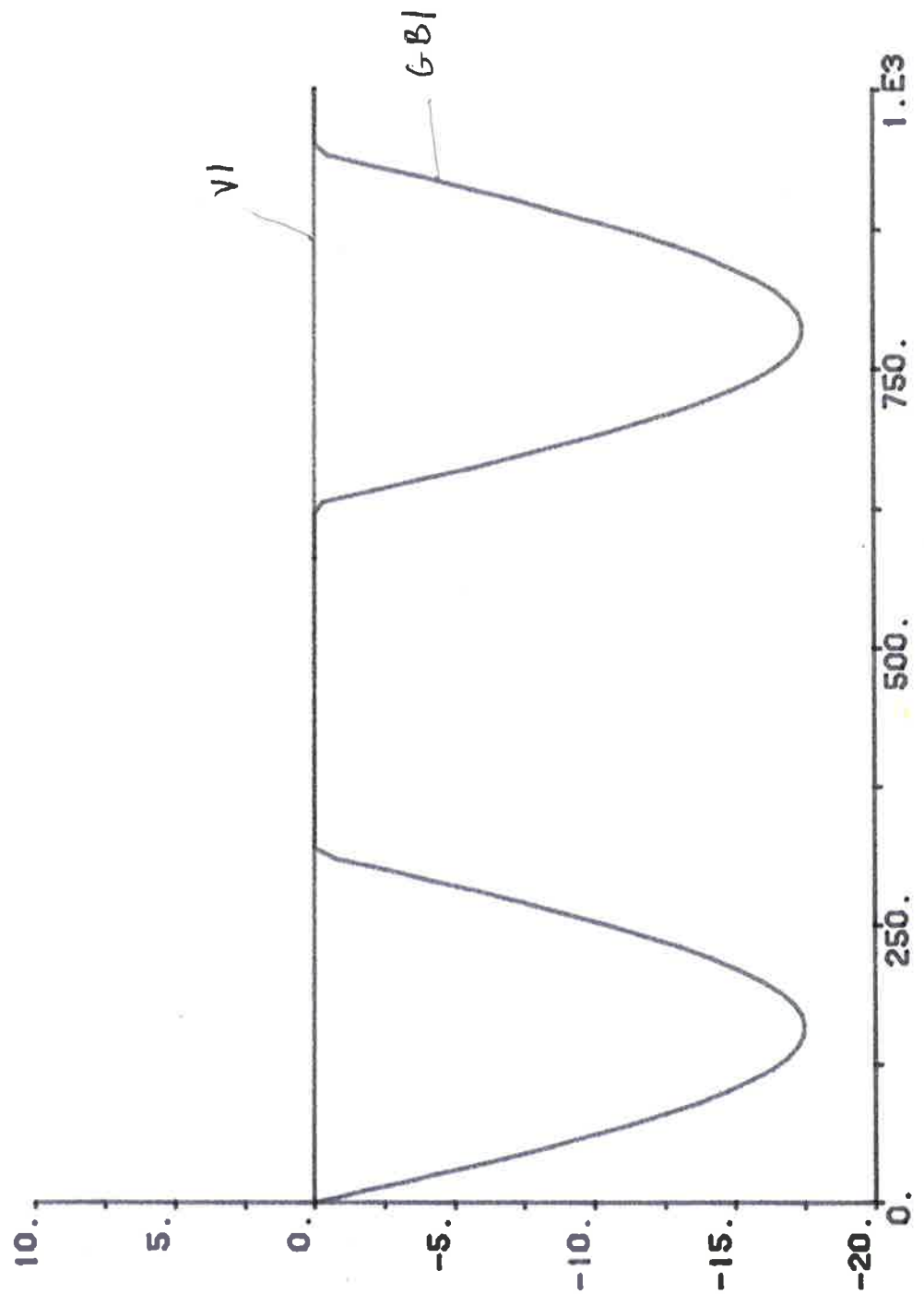
Vi testade våra system genom att i LINJE1 dels ha NIVA1 konstant och variera FI1 som en sinussignal, och dels ha FI1 konstant och variera NIVA1 som en sinussignal. Vi tittade sedan på utsignalen: ventilläget V1.

Svaret på ändringarna i NIVA1 respektive FI1 blev som väntat, dvs det tog cirka 60 sekunder att öppna ventilläget från 0 till 1. Se figur 4.2-4.4 .

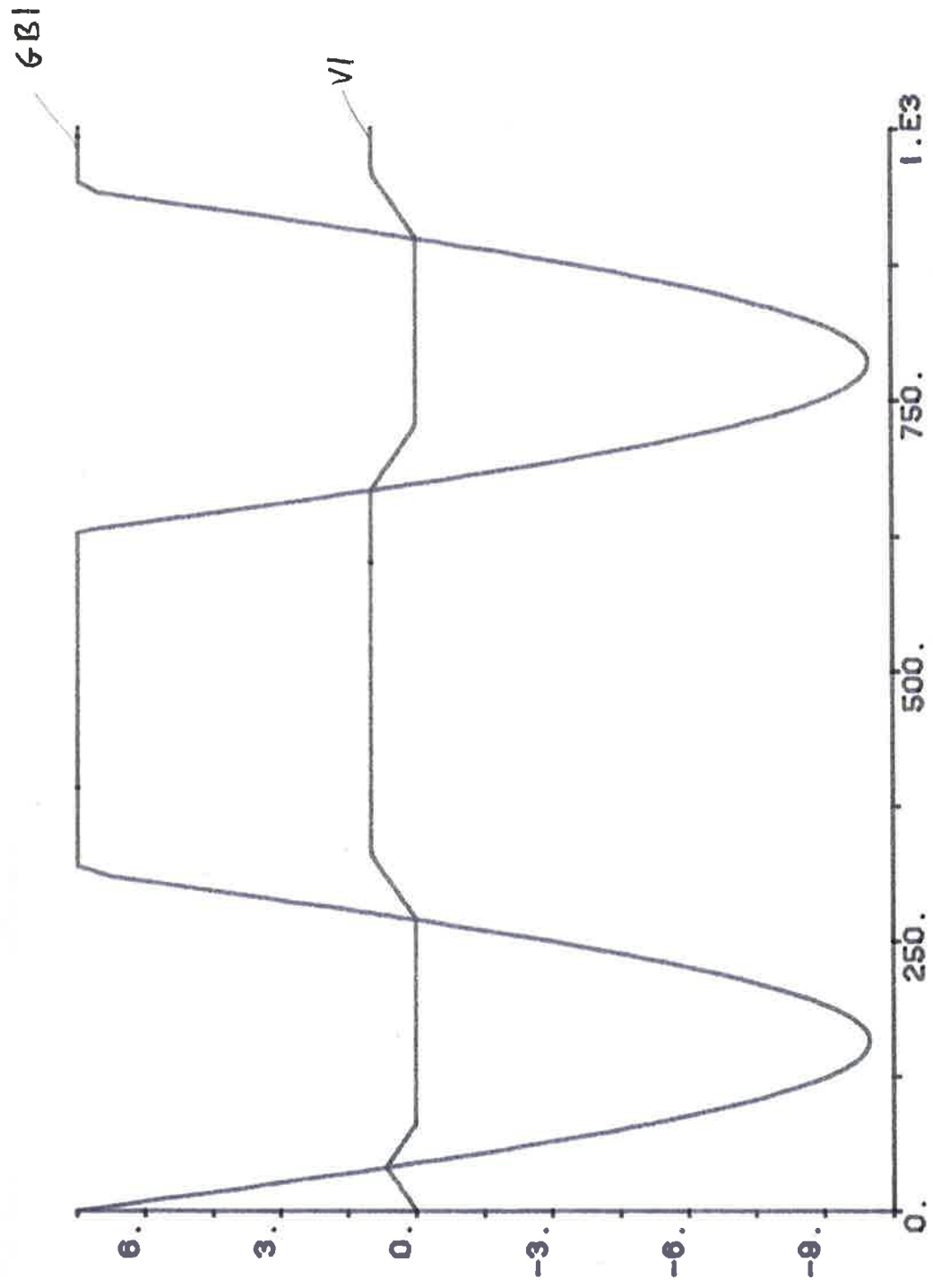


Figur 4.2 V1 vid simulering av LINJE, GB1 sinusformad insignal.





Figur 4.3 V1 vid simulering av LINJE, GB1 sinusformed insignal.



Figur 4.4 V1 vid simulering av LINJE, GB1 sinusformad insignal.

## 5 SIMULERING AV HELA SYSTEMET UTAN REAKTORMODELL

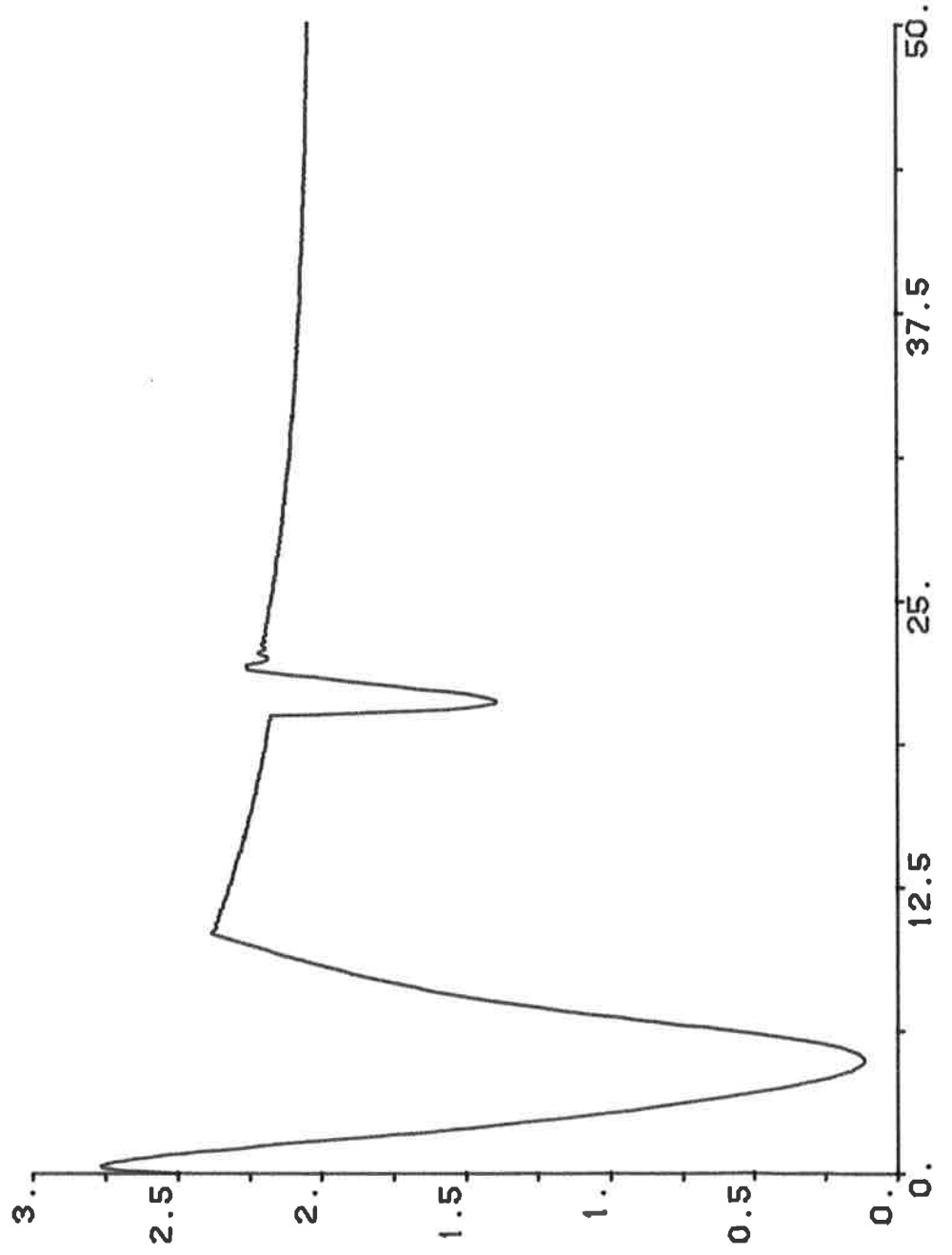
### 5.1 Simuleringsresultat: Steg i PR

PR=Mottrycket från reaktorn.

Resultatet av simulering där vi vid  $t=20$  la in ett steg i reaktortrycket PR från 69 till 75 bar.

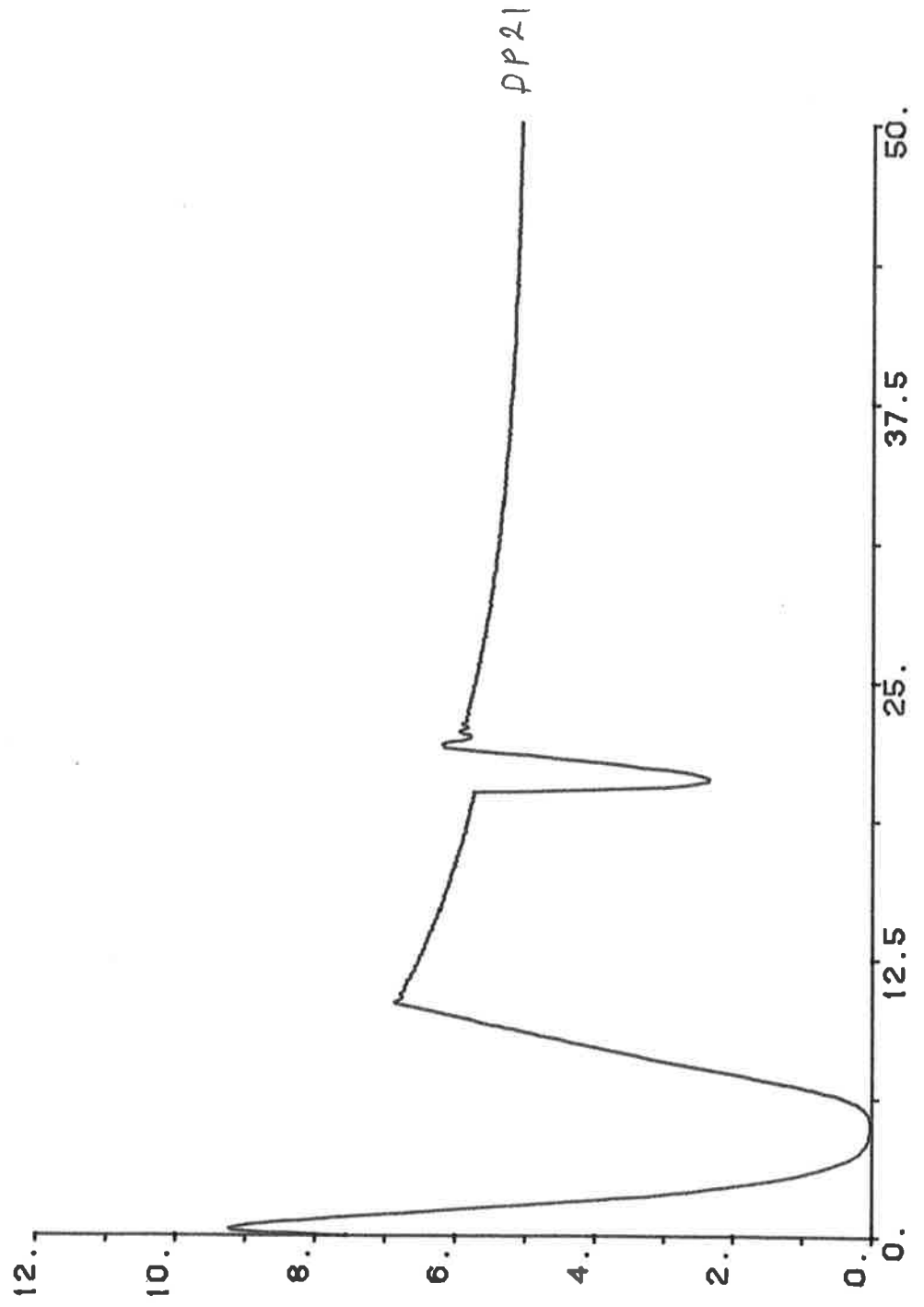
Man ser att flödet FI1 till att börja med sjunker på grund av olämpliga initialvärde, men regleras in till rätt nivå igen se figur 5.1. Figur 5.2 visar DP21 som reagerar på motsvarande sätt. Varvtalet N1, figur 5.3, höjs slutligen för att ge samma flöde vid det högre mottrycket från reaktorn.

Figur 5.1 FI1:s insvängningsförlopp vid steg i PR.

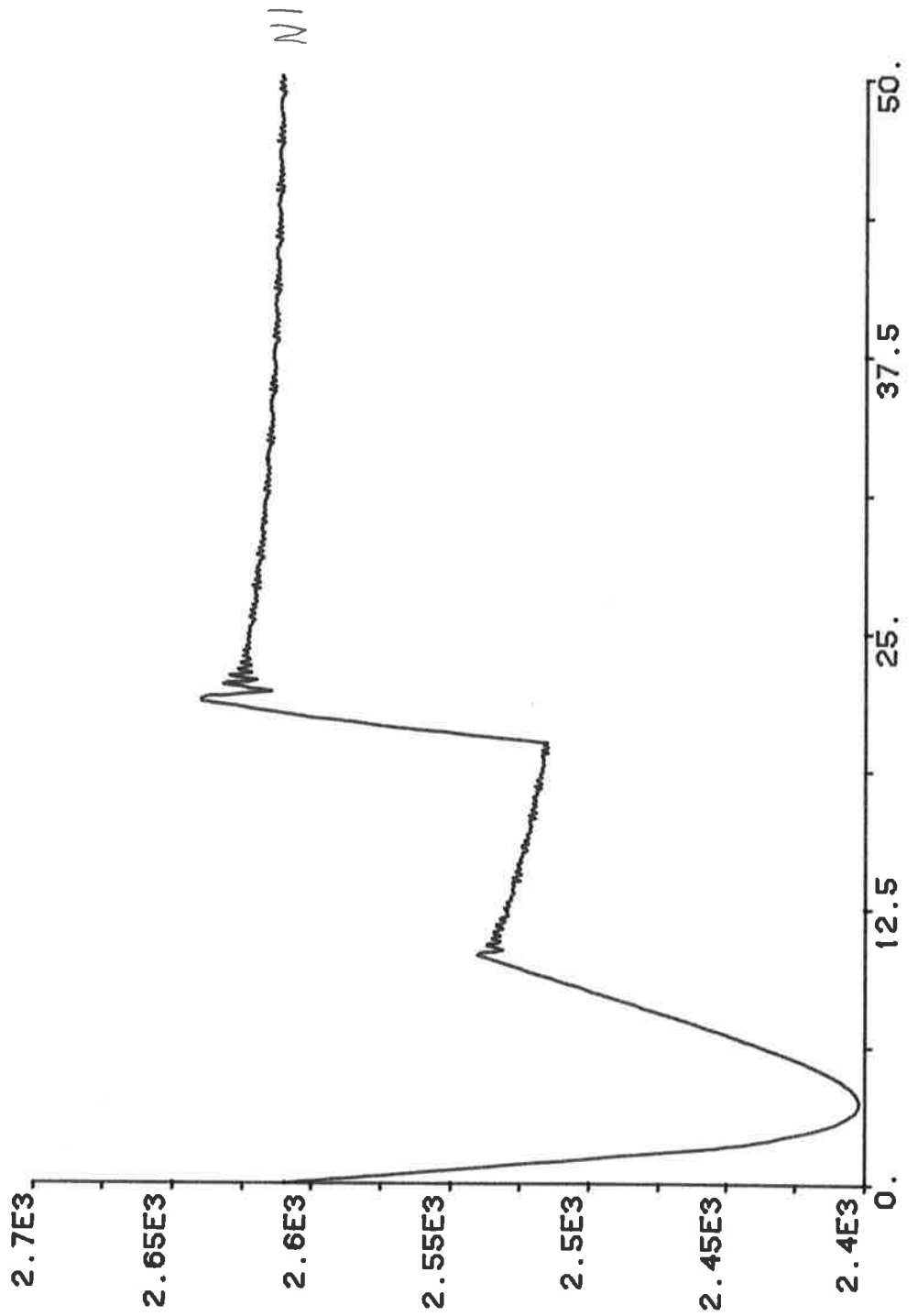




Figur 5.2 DP21:s insvängningsförlopp vid steg i PR.



Figur 5.3 N1:s insvängningsförlopp vid steg i PR.



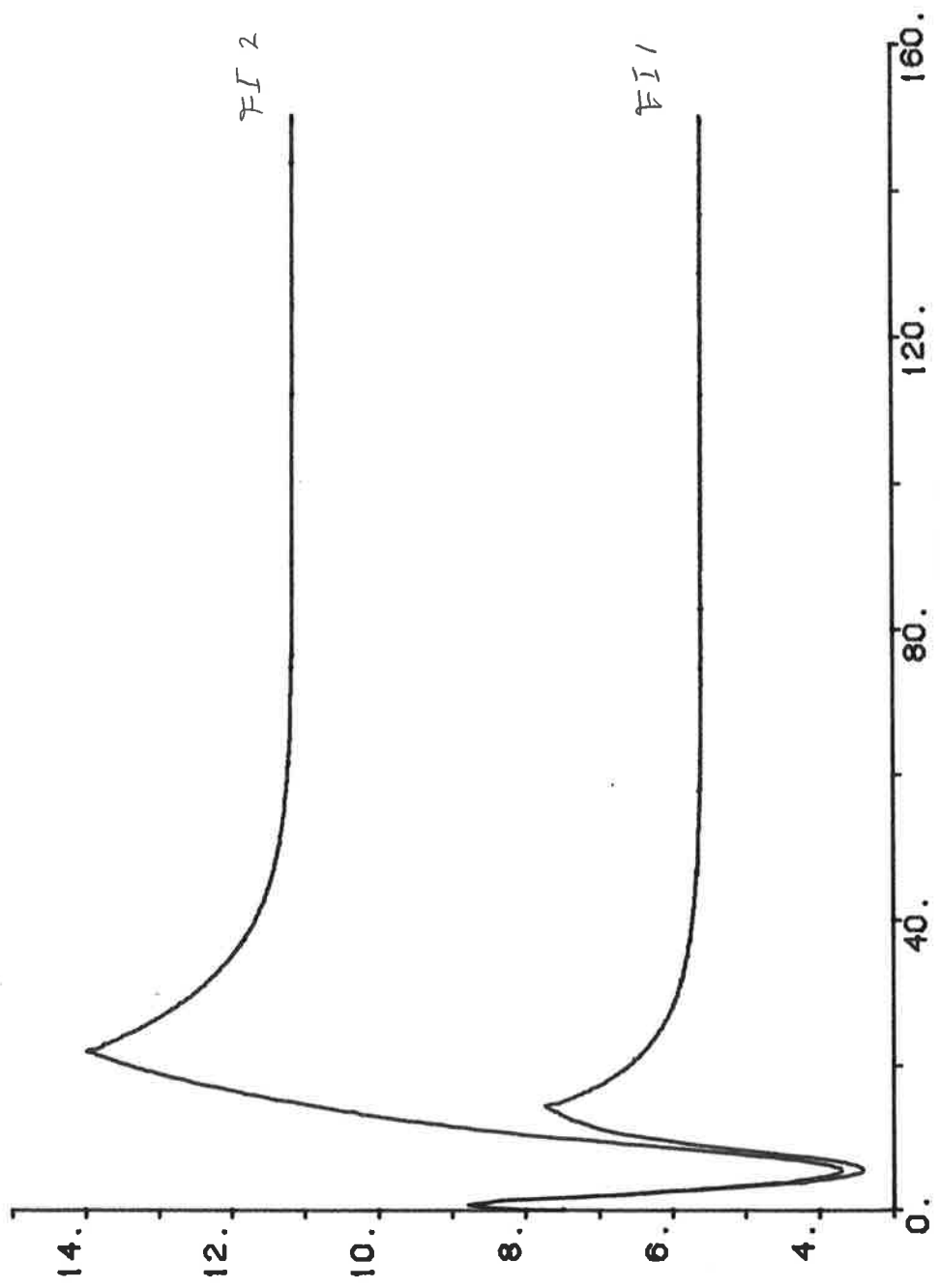
## 5.2 Simuleringsresultat: Störning i PS

PS=Trycket på sugsidan.

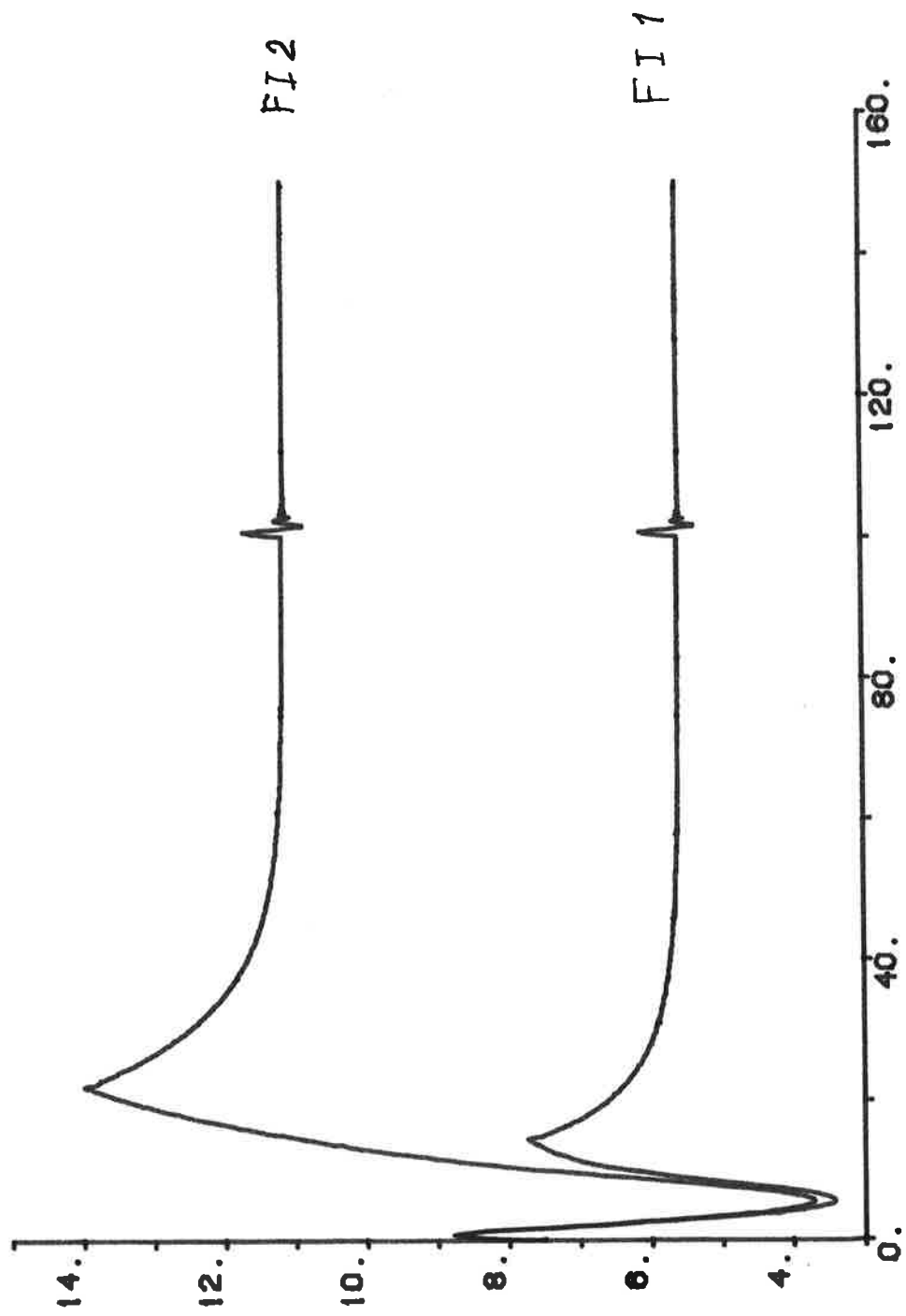
I detta fall provade vi med dels en stegstörning i PS och dels en sinusformad störning i PS. Steget var på +4 bar, detta för att tydligt illustrera inverkan på systemet, sinus vågen hade amplituden 2 bar.

I båda fallen visades att systemet hade en god följsamhet. Endast steget kunde påvisa en inverkan i flödet vilken dämpades ut efter hand. Sinusvågens inverkan i flödet reglerades helt bort av pumpregleringen figur 5.5. Ventilläget V1 påverkades inte här.

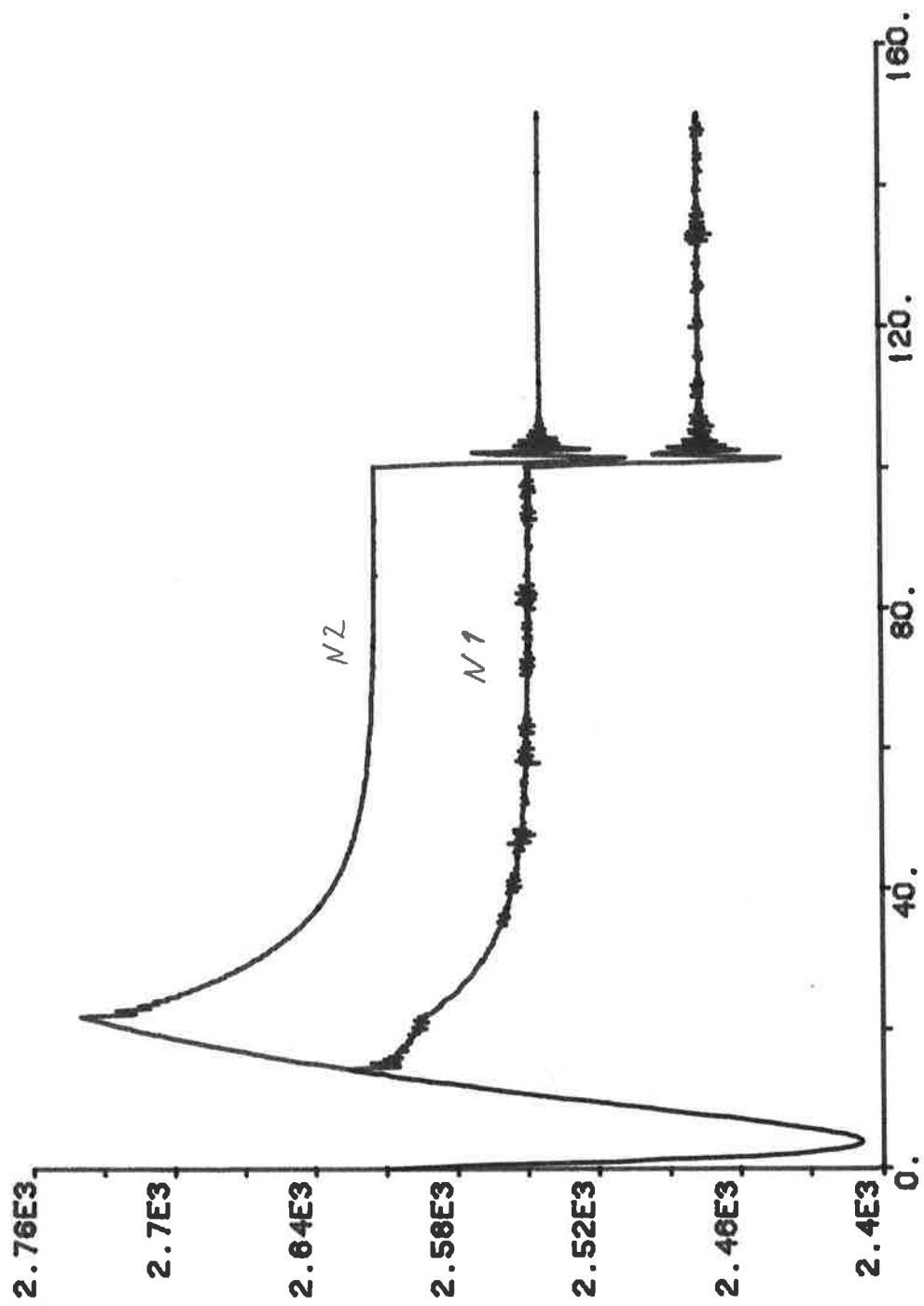
Figur 5.4 visar det ostörda insvängningsförloppet. Figurerna 5.5 och 5.6 stegsvaren. Figurerna 5.7-5.9 visar sinusvågens inverkan. Skillnaden i flödet hänföres till att vi ansatte olika avvikelser på nivån i reaktormodellen. Alla störningarna inträder vid  $t=100$  sekunder.



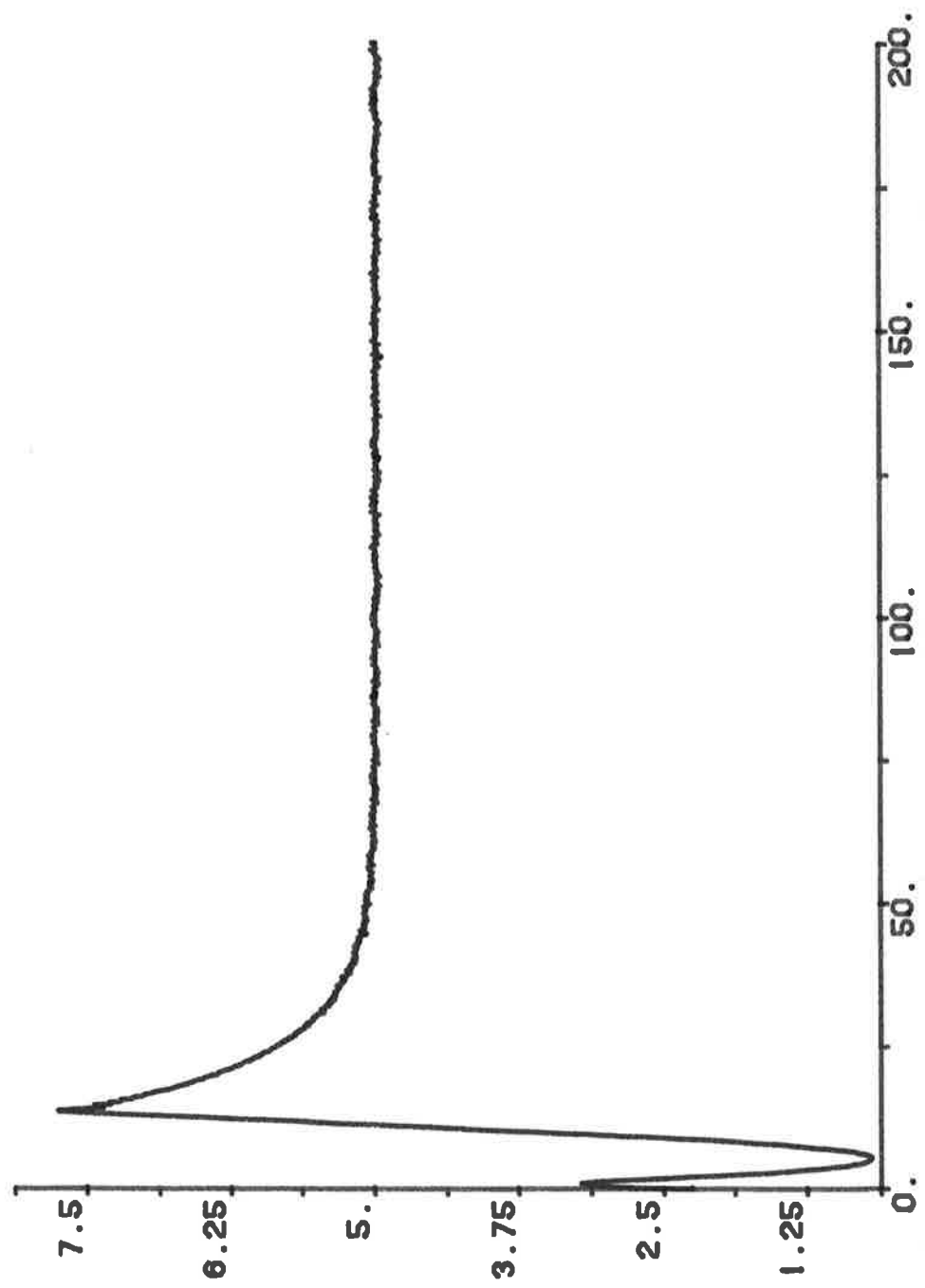
Figur 5.4 Ostörda insvängningsförloppet.



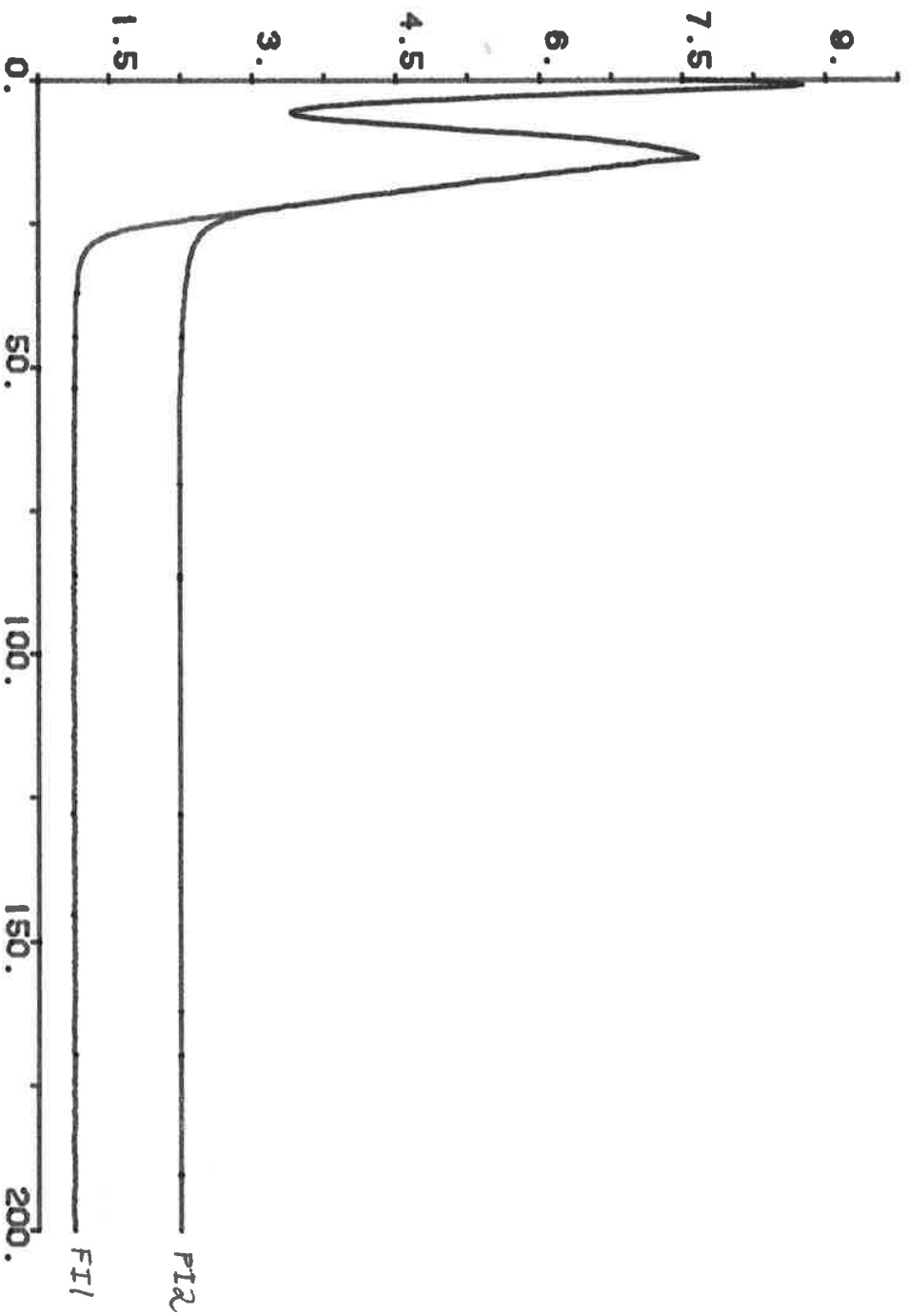
Figur 5.5 FI1,FI2 vid steg i PS.



Figur 5.6 N1,N2 vid steg i PS.

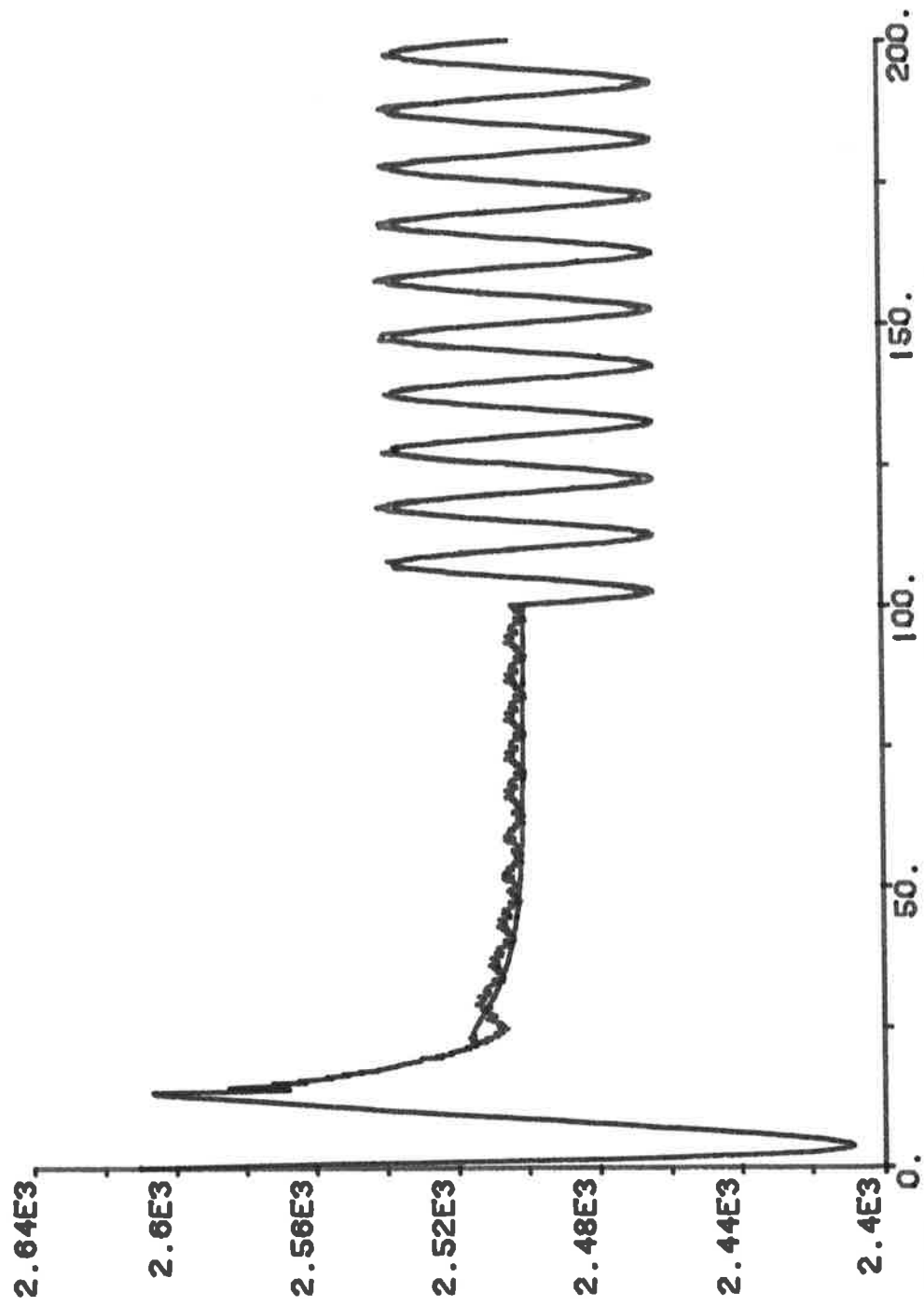


Figur 5.7 DP21,DP22 vid sinusstörning i PS.



Figur 5.8 FI1,FI2 vid sinusstörning i PS.





Figur 5.9 N1,N2 vid sinusstörning i PS.

## 6\_KOPPLING\_MOT\_REAKTORMODELLEN\_\_

### 6.1\_Beskrivning\_av\_reaktormodellen\_\_

Då alla delsystem testats för sig var det dags att koppla ihop dem med reaktormodellen. Reaktormodellen har skrivits av Sydkraft:s Sten Bergman.

Reaktormodellen består av två delsystem CORE1 som innehåller neutronkinetik och bränsledynamik samt BOIL1 innehållande termohydraulik .

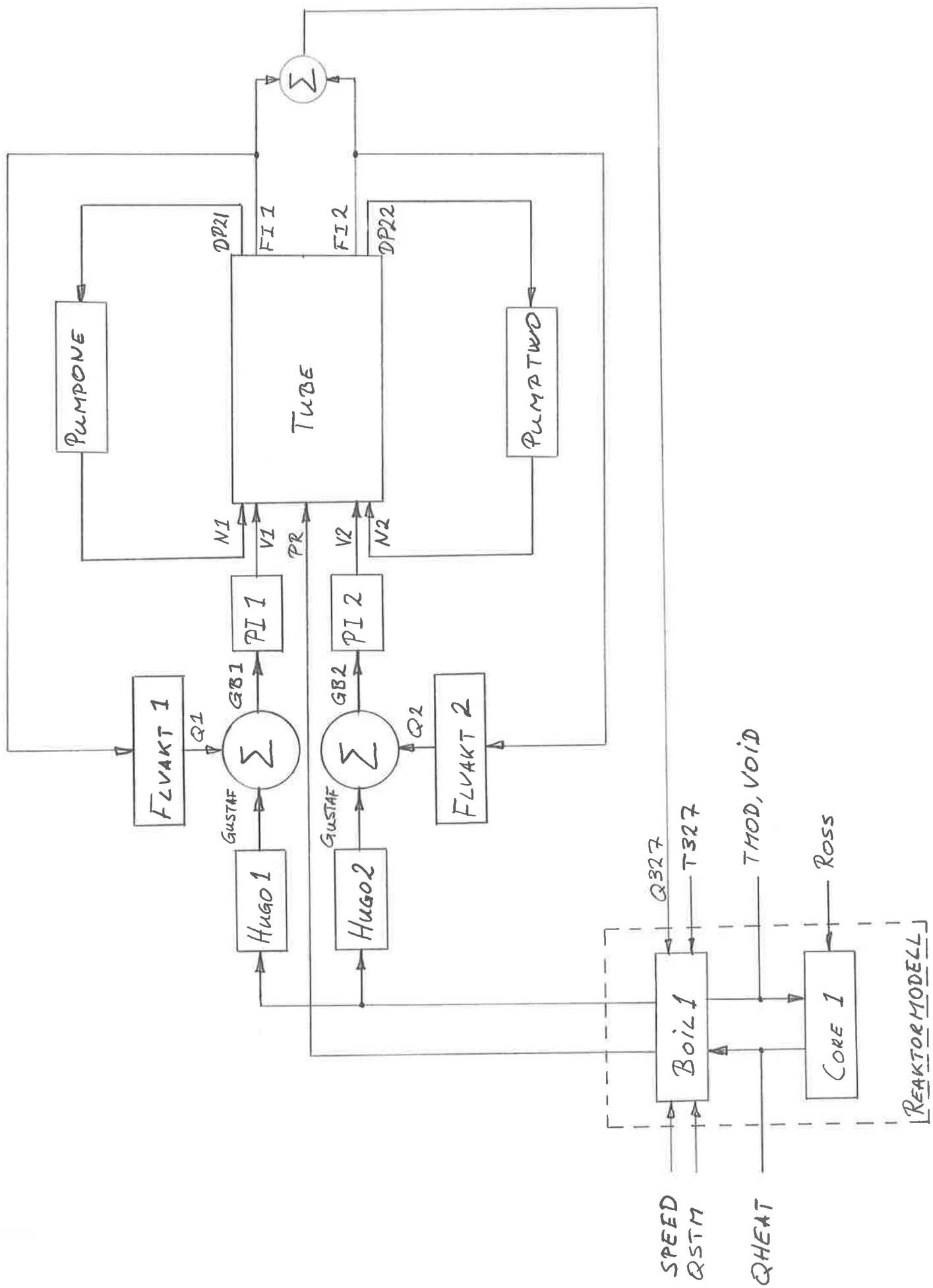
Hopkopplingen av delsystemen gjordes i ett Connectingsystem BARSE, för att ge initialvärde för simuleringen bildades ett Macro INIBW1. Blockschemat över BARSE finns i bilaga 1 sid W och figur 6.1.

### 6.2\_Simuleringsresultat:Reaktormodellen\_\_

Efter ett antal simuleringar, samt justeringar i reaktormodellen kunde slutligen systemet simuleras i 50 sekunder.

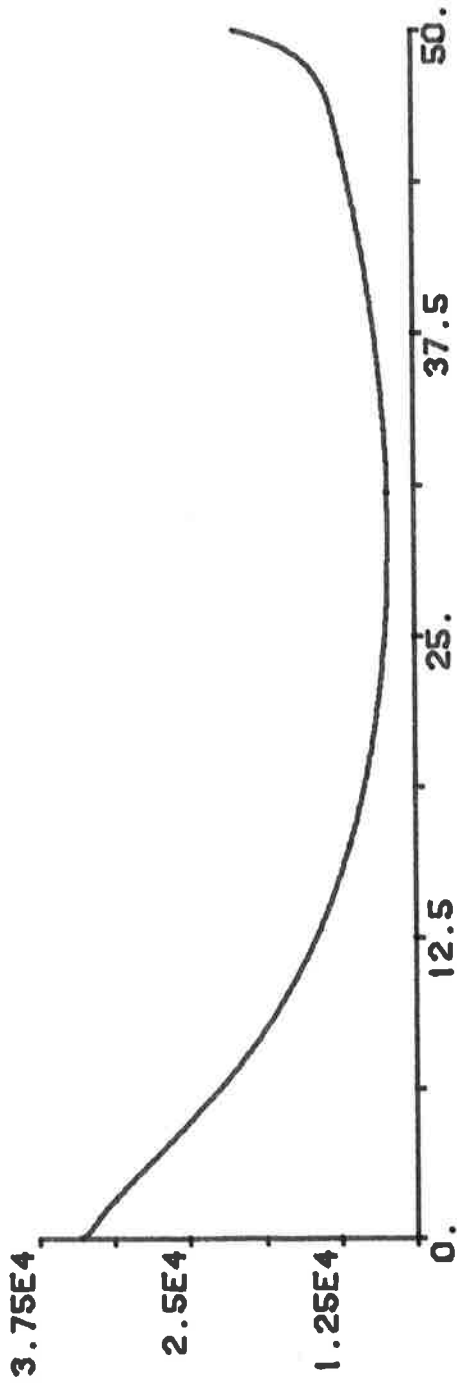
Systemet visade sig vara mycket slängigt och fortsatta förbättringar i reglersystemet kunde ej göras då det visade sig, att hur man än varierade parametrar och initialvärden så gick QHEAT mot oändligheten efter 50 sekunder. Att QHEAT går mot oändligheten beror troligtvis på något fel i reaktormodellen se figur 6.2 .

# CONNECTING SYSTEM BARSE

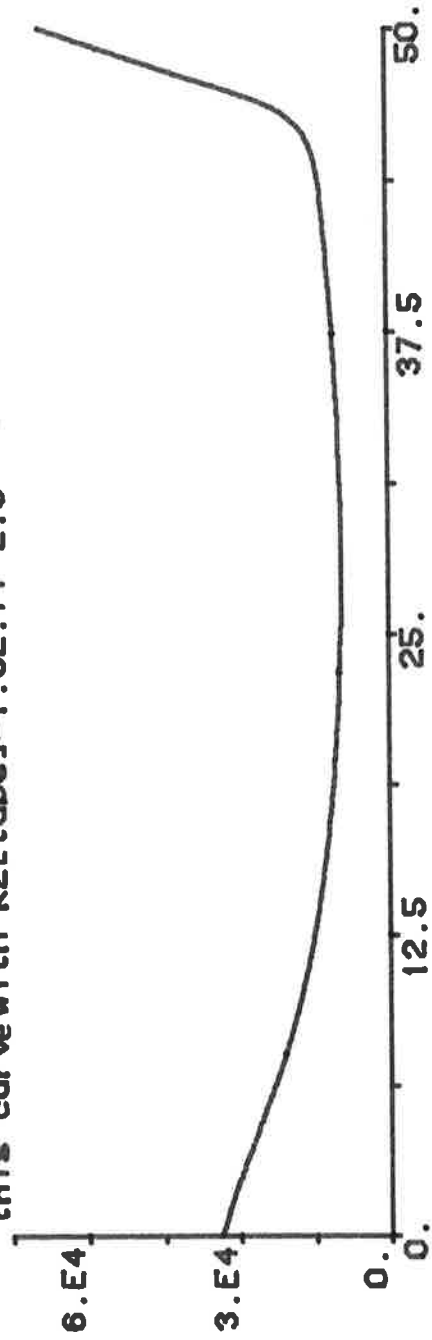


Figur 6.1 Blockschema över hela systemet med reaktormodell.

81.05.20 - 14:59:24 nr: 6.2  
hcopy "shows that qheat runs to heaven



this curve with k2[tube]=1.82. f1=2.5



```
CONNECTING SYSTEM BARSE  
TIME T  
N1[TUBE]=N1[PUMPONE]  
N2[TUBE]=N2[PUMPTWO]  
V1[TUBE]=V1[PI1]  
V2[TUBE]=V2[PI2]  
PR[TUBE]=IF T<20 THEN 70 ELSE 76  
DP12[PUMPONE]=DP21[TUBE]  
DP22[PUMPTWO]=DP22[TUBE]  
NIVA1[HUGO1]=3.14  
NIVA1[HUGO2]=3.14  
FI1[FLVAKT1]=FI1[TUBE]  
FI2[FLVAKT2]=FI2[TUBE]  
GB1[PI1]=GUSTAF[HUGO1]+Q1[FLVAKT1]  
GB2[PI2]=GUSTAF[HUGO2]+Q2[FLVAKT2]  
END
```

```
CONNECTING SYSTEM BARSE
TIME T
N1[TUBE]=N1[PUMPONE]
N2[TUBE]=N2[PUMPTWO]
V1[TUBE]=V1[PI1]
V2[TUBE]=V2[PI2]
PR[TUBE]=PR[BOIL1]
DP12[PUMPONE]=DP21[TUBE]
DP22[PUMPTWO]=DP22[TUBE]
NIVA1[HUGO1]=LEV[BOIL1]
NIVA1[HUGO2]=LEV[BOIL1]
FI1[FLVAKT1]=FI1[TUBE]
FI2[FLVAKT2]=FI2[TUBE]
GB1[PI1]=GUSTAF[HUGO1]+Q1[FLVAKT1]
GB2[PI2]=GUSTAF[HUGO2]+Q2[FLVAKT2]
ROSS[CORE1]=ROSS
ROSS:1.24154E5
TMOD[CORE1]=TMOD[BOIL1]
VOID[CORE1]=VOID[BOIL1]
QHEAT[BOIL1]=QHEAT[CORE1]
NHCP[BOIL1]=SPEED
SPEED:300
QSTM[BOIL1]=STEAM
STEAM:18.888
Q327[BOIL1]=FI1[TUBE]+FI2[TUBE]
T327[BOIL1]=TEMP
TEMP:60
END
```

-----

```
MACRO INIBW1
```

```
"MACRO FOR STATIC INITIALISATION
"OF CORE1-BOIL1 SUBMODELS AT THE
"POWER LEVEL AT Q=2%
```

```
INIT FLUX[CORE1]:0.02
INIT C:1.883
INIT TF:310.
INIT QHEAT:34.E3
INIT XR:9.444E-3
INIT PR:70.
INIT VDC:95.8
INIT QHC:2000.
INIT TDCO:283.71
END
```

## CONTINUOUS SYSTEM BOIL1

"FILE:BOIL1

"

"AUTHOR: STEN BERGMAN

" SYDKRAFT AB

" FACK 21701 MALMÖE

"

## "DESCRIPTION:

" MODELS THE THERMOHYDRAULICS OF A BOILING

" WATER REACTOR THE MODEL IS A GLOBAL SIMPLIFIED

" POINT MODEL CONTAINING NODES FOR :

" STEAM-QUALITY DYNAMICS

" REACTOR DOME PRESSURE DYNAMIS

" MASS-AND ENERGY-BALANCE OF WATER IN THE DOWNCOMER.

" VOID-COLLAPSE EFFECT IN THE CORE NODE.

## "ASSUMPTIONS:

" 1. A LINEAR STEAM-QUALITY DISTRIBUTION ALONG THE BOILING SECTION

" 2. A LINEAR VOID-STEAM/QUALITY FUNCTION

" 3. SMALL PRESSURE VARIATIONS AROUND P=70 BAR

" 4. A LUMPED CIRCULATION FLOW PATH

" 5. A SMOOTHED TEMPERATURE MIXING IN DOWNCOMER

" 6. A NONLINEAR FLOW AREA DISTRIBUTION IN DOWNCOMER

## "REFERENCES:

"

"

INPUT QHEAT NHCP QSTM Q327 T327

OUTPUT VOID TMOD LEV QP

STATE XR PR VDC QHC TDCO

DER DXR DPR DVDC DQHC DTDCO

## "INPUTS:

"	QHEAT	HEAT FLOW FROM FUEL [KW]
"	NHCP	CIRCULATION PUMP SPEED [RPM]
"	QSTM	STEAM OUTLET FLOW [KG/S]
"	Q327	FEEDWATER FLOW [KG/S]
"	T327	FEEDWATER TEMPERATURE [DEGC]

"

## "STATES:

"	XR	STEAM QUALITY	[PU]
"	PR	REACTOR DOME PRESSURE	[BAR]
"	VDC	WATER VOLYME IN DOWNCOMER	[M3]
"	QHC	CIRCULATION FLOW RATE	[KG/S]
"	TDCO	OUTLET TEMPERATURE DOWNCOMER	[DEGC]

"

"

TS=104.409\*PR<sup>0.237</sup>

ZX=QHC\*CP\*G\*(TS-TDCO)/QHEAT

A1=(XR\*(ROW-RDS)+RDS)/RDS

ZL=MIN(MAX(ZX,0),1)

A2=RDS\*LN(A1)/(XR\*(ROW-RDS))

A3=ROW\*(1.-A2)/(ROW-RDS)

VAPX=VAO+KA\*XR

VOID=A3\*(1.-ZL)

DPR=(QHC\*XR\*G-QSTM)/(VS\*DRDP)

Z1=QHEAT-HC\*XR\*QHC\*G-QHC\*CP\*(TS-TDCO)

Z2=(HC\*(1.-XR)+RDS\*DHSR)\*VOID\*VR\*DRDP\*DPR

T1=HC\*((1.-XR)\*RDS+XR\*ROW)\*VR\*KA

ZXR=(Z1-Z2)/T1

DXR= IF XR < EPS THEN( IF ZXR<0 THEN 0. ELSE ZXR) ELSE ZXR

"MASS-FLOW CALCULATIONS

QP=QHC\*G\*XR

QU1=QHC\*(1.-G\*XR)-VR\*ROW\*KA\*DXR

QUT=MAX(QU1,0.)

DVDC=(QUT+Q327-QHC)/ROW

"ENERGY BALANCE IN DOWNCOMER

TUT=(QUT\*TS+Q327\*T327)/QHC

DTDCO=(TUT-TDCO)/TAUD

"MODERATOR TEMPERATURE CALCULATION

TMOD=TS\*(1.-ZL/2.)+T327\*ZL/2.

"CIRCULATION FLOW SYSTEM

DPB=(ROW-ROS)\*GA\*L\*VOID/KP

QCP=QHC/4.

DPHC=ALFA\*NHCP\*NHCP+BETA\*NHCP\*QCP+GAMA\*QCP\*QCP

DQHC=(DPHC+DPB-KE\*QHC\*QHC)/TAUHC

"REACTOR LEVEL CALCULATION

AZ1=IF VDC < VOL1 THEN AR1 ELSE AR4

AZ2=IF VDC < VOL2 THEN AR2 ELSE AZ1

AZ3=IF VDC < VOL3 THEN AR3 ELSE AZ2

LEV=VDC/AZ3

"CONSTANTS:

- "
- ALFA:1.966E-6 "PUMP CURVE PARAMETER
- BETA:1.647E-6 "
- GAMA:-1.535E-6 "
- VA0:0.06 "VOID CONSTANT APPRX MODEL
- KE:0.5E-8 "GLOBAL PRESSURE DROP CORE+HC
- KP:1.E5 "PRESSURE CONSTANT [BAR/M]
- G:0.9 "BOX FLOW FACTOR
- CP:4.22 "SPECIFIC ENTALPY OF WATER
- ROW:740.03 "DENSITY OF WATER
- ROS:36.53 "DENSITY OF STEAM
- HS:2773. "ENTHALPY OF STEAM
- HW:1276. "ENTALPY OF WATER
- HC:1497 "CONDENSATION ENTALPY
- L:3.71 "CORE FLOW LENGHT [M]
- KA:10.0 "DADX-GAIN FACTOR
- VR:16.87 "CORE VOLUME [M3]
- VS:105.02 "STEAM DOME VOLUME [M3]
- GA:9.815 "GRAVITATION CONSTANT
- EPS:1.E-8
- DRDP:.59 "STEAM DENSITY DER. RESP. TO PRESSURE



```
DHSDR:-1.3          "ENTALPY DER. RESP. TO DENSITY
TAUHC:1.E-3        "TIME CONSTANT HC-LOOP      [SEC]
TAUD:3.0           "TIME CONSTANT IN DOWNCOMER  [SEC]

AR1:14.0           "FLOW AREA 1  [M2]
AR2:16.0           "      AREA 2
AR3:7.0            "      AREA 3

AR4:18.0           "UPPER FLOW AREA

VOL1:90.4          "WATER VOLUME CSP A1  [M3]
VOL2:73.6
VOL3:59.2
```

```
END
```

CONTINUOUS SYSTEM CORE1

"  
"

"FILE: CORE1

"

"AUTHOR: STEN BERGMAN

" SYDKRAFT AB

" FACK 21701 MALMOE

"

"DESCRIPTION:

" MODELS THE NEUTRON KINETICS OF A BOILING  
" WATER REACTOR AS A POINT-MODEL. THE  
" POPULATION DYNAMICS IS APPROXIMATED WITH  
" A SINGLE MEAN-GROUP OF PRECURSORS. THE  
" REACTIVITY FEEDBACK IS CALCULATED FROM  
" DOPPLER-FEEDBACK. STATIC PARAMETERS AS FUEL-  
" REACTIVITY AND XENON-POISONING ARE INCLUDED.  
" INPUT PARAMETER: CONTROL-ROD REACTIVITY.

"REFERENCES:

" S. BERGMAN : REACTOR CONTROL AND INSTRUMENTATION  
" CTH 1980

INPUT ROSS TMOD VOID  
STATE FLUX C TF QHEAT  
DER DFLUX DC DTF DQHEAT

"INPUTS:

" ROSS CONTROL ROD REACTIVITY [PCM]  
" TMOD MODERATOR TEMPERATURE [DEG C]  
" VOID MMEAN VOID CONTENT [PU]

"STATES:

" FLUX NEUTRON POPULATION DENSITY [PU]  
" C CONCENTRATION OFF MEAN GROU PRECURSOR [PU]  
" TF FUEL MEAN TEMPERATURE [DEG C]  
" QHEAT HEAT TRANSFER TO COOLANT [KW]

"COMPUTATION OF NET REACTIVITY

"

RON=ROF-ROXE-ROSS+GAMMA1\*VOID\*100.+GAMMA2\*TMOD+GAMMA3\*TF

RO =RON\*K

DC =BETA\*FLUX/LAMBDA-LAM\*C

"

DFLUX=(RO-BETA)\*FLUX/LAMBDA+LAM\*C

DTF = (FLUX\*KB+TFO-TF)/TAUF

DQHEAT=(FLUX\*KH-QHEAT)/TAUH

"CONSTANTS:

GAMMA1:-100. "VOID COEFFICIENT [PCM/%VOID]  
GAMMA2:-20. "MODERATOR TEMP. COEFF [PCM/DEG C]  
GAMMA3:-2.5 "DOPPLER COEFFICIENT [PCM/DEG C]

BETA:7.5E-3 "DELAYED NEUTRON FRACTION [PU]  
LAMBDA:1.E-3 "GENERATION TIME FOR NEUTRONS [SEC]  
LAM:7.9648E-2 "MEAN GROUP DECAY CONSTANT [SEC]

ROXE:1642.  
ROF:1.33E5

"XENON POISONING [PCM]  
"FUEL REACTIVITY [PCM]

K:1E-5

"SCALE CONSTANT

TAUF:1.0  
TAUH:10.0

"DOPPLER FUEL TIME CONSTANT [SEC]  
"HEAT TRANSFER TIME CONSTANT [SEC]

KB:500.  
KH:1.7E5

"FUEL TEMP CONSTANT [DEG C]  
"HEAT FLOW CONSTANT [KW]

TF0:300.  
END

"FUEL ZERO TEMPERATURE [DEG C]

TUBE.T;1

20-MAY-1981 17:56:55.57

Page 1

## CONTINUOUS SYSTEM TUBE

"TUBE IS A SYSTEM REPRESENTING THE FLOW IN THE TWO  
"BRANCHES OF THE TUBESYSTEM

"INPUTS PR REACTORPRESSURE (BAR)  
" N1 PUMPONE RPM  
" N2 PUMPTWO RPM  
" V1 CONTROLVALVE 1 POSITION (0-1)  
" V2 CONTROLVALVE 2 POSITION (0-1)  
"OUTPUTS DP21 PRESSUREDROP OVER C.VALVE 1 (BAR)  
" DP22 PRESSUREDROP OVER C.VALVE 2 (BAR)  
"STATES FI1 MASSFLOW IN BRANCH 1 (KG/S)  
" FI2 MASSFLOW IN BRANCH 2 (KG/S)  
"PAR DP11 PRESSUREINCREASE OVER PUMP 1 (BAR)  
" DP12 PRESSUREINCREASE OVER PUMP 2 (BAR)  
" DP31 PRESSUREDROP OVER THROTTLING VALVE 1 (BAR)  
" DP32 PRESSUREDROP OVER THROTTLING VALVE 2 (BAR)  
" PS PRESSURE AT THE PUMPS SUCTIONSIDE (BAR)

INPUT PR T N1 N2 V1 V2

OUTPUT DP21 DP22

STATE FI1 FI2

DER DF11 DF12

R1=N1

R2=N2

DP11=A\*R1\*R1+B\*R1\*FI1+G\*FI1\*FI1

W1=IF V1&lt;EPS THEN EPS ELSE V1

DP21=FI1\*FI1/(K2\*K2\*W1\*W1)

DP31=FI1\*FI1/(K3\*K3)

DP12=A\*R2\*R2+B\*R2\*FI2+G\*FI2\*FI2

W2=IF V2&lt;EPS THEN EPS ELSE V2

DP22=FI2\*FI2/(K2\*K2\*W2\*W2)

DP32=FI2\*FI2/(K3\*K3)

PS=7.0-0.008\*(FI1+FI2)\*(FI1+FI2)

DF11=KONST\*(PS-PR+DP11-DP21-DP31)

DF12=KONST\*(PS-PR+DP12-DP22-DP32)

"

"CONSTANTS

"

EPS:0.01

A:10.82E-6

B:123.08E-6

G:-48.6E-3

KONST:0.642

K2:23.7

K3:10.0

"

"INITIAL VALUES

"

FI1:7.5

FI2:7.5

END

```
CONNECTING SYSTEM FLENS  
TIME T  
PR(TUBE)=70  
N1(TUBE)=2500  
N2(TUBE)=IF T<0.1 THEN 2500 ELSE 2500+280  
V1(TUBE)=IF T<5 THEN 0.15 ELSE 0.85  
V2(TUBE)=.5  
END
```

```
CONTINUOUS SYSTEM HUGO1
INPUT NIVA1
OUTPUT GUSTAF
STATE X
DER DX
DX=-X/T+NIVA1/T
GUSTAF=K*(BOR-X)
BOR:3.15
K:50
T:5
END
```

```
CONTINUOUS SYSTEM HUGO2  
INPUT NIVA1  
OUTPUT GUSTAF  
STATE X  
DER DX  
BOR:3.15  
DX=-X/T+NIVA1/T  
GUSTAF=K*(BOR-X)  
K:50  
T:5  
END
```

```
CONTINUOUS SYSTEM FLVAKT1  
INPUT FI1  
OUTPUT Q1  
Q1=IF (BOR-FI1)<0 THEN (BOR-FI1)*K3 ELSE 0  
K3:35  
BOR:18  
END
```



```
CONTINUOUS SYSTEM FLVAKT2  
INPUT FI2  
OUTPUT Q2  
Q2=IF (BOR-FI2) < 0 THEN (BOR-FI2)*K3 ELSE 0  
K3:35  
BOR:18  
END
```

```
CONTINUOUS SYSTEM PI1
INPUT GB1
OUTPUT V1
STATE Y
DER DY
G1=IF GB1<0 THEN 0 ELSE IF GB1>1 THEN 1 ELSE GB1
X=IF (G1-Y)*K1<-1 THEN -1 ELSE IF (G1-Y)*K1>1 THEN 1 ELSE (G1-Y)*K1
DY=X/TI
V1=K2*Y
K1:30
K2:1
TI:60
END
```

CONTINUOUS SYSTEM P12

INPUT GB2

OUTPUT V2

STATE Y

DER DY

G2=IF GB2<0 THEN 0 ELSE IF GB2>1 THEN 1 ELSE GB2

X=IF (G2-Y)\*K1<-1 THEN -1 ELSE IF (G2-Y)\*K1>1 THEN 1 ELSE (G2-Y)\*K1

DY=X/TI

V2=K2\*Y

K1:30

K2:1

TI:60

END

## CONTINUOUS SYSTEM PUMPONE

"FILE:PUMPONE

"

"AUTHOR:SYSTEMTEKNIK REGLERTEKNIK

" LUNDS TEKNISKA HOGSKOLA

"

"DESCRIPTION:

"

" MODELS THE PUMPSPEEDCONTROL TO CONTROL  
" THE VALVEPRESSUREDIFFERENCE TO A FIX VALUE.

"

"

"

INPUT DP12 "VALVEPRESSURE DIFFERENCE

OUTPUT N1 "PUMPREV.(0-2900 RPM)

STATE Y X1 X2 X3

DER DY DX1 DX2 DX3

"

"

DY=Z1/T2

DX1=IF ABS(E1)&gt;1 THEN 0 ELSE K1\*E1/T1

DX2=-X2/T3+Y/T3

DX3=-X3/T4+Y1/T4

"

Y1=-X2+Y

Y2=X3

"

Z0=K2\*K3\*E2

Z01=Z0+0.01

Z02=Z0-0.01

Z1=IF ABS(Z0)&lt;0.01 THEN 0 ELSE IF Z01&lt;-1 THEN -1 ELSE IF Z02&gt;1 THEN 1 ELSE Z0

" Z1 LIMITS THE INPUT VALUE TO SERVO

" INCLUDING A DELAY ON Z0

"

E1=UC-DP12 "INPUT DEVIATION

E2=U2-K5\*Y2-Y "SERVO DEVIATION

"

U1=X1+K1\*E1

U2=IF U1&lt;0 THEN 0 ELSE IF U1&gt;1 THEN 1 ELSE U1

"

" U2 INPUT TO SERVO [0&lt;=U2&lt;=1]

"

"

N1=Y\*K4 "OUTPUT

"

"CONSTANTS

"

UC:5 "SETPOINT FOR PRESSURE DIFFERENCE

K1:2.9 "GAIN OF PI CONTROLLER

K2:1

K3:10 "K2 AND K3 AMPLIFIES SERVO DEVIATION

K4:2900 "CONVERTS Y TO N1 IN RPM

K5:0.3 "SERVORETURNSPEED

"

T1:10 "INTEGRATIONTIME OF PI CONTROLLER

T2:30 "TIMECONSTANT FOR SERVO;0-100% IN 30 SEKUNDS

T3:10 "TIMECONSTANT IN SERVO

"

"INITIAL VALUES

```
"
Y:0.9
END
```

```
-----
CONTINUOUS SYSTEM PUMPTWO
```

```
"FILE:PUMPTWO
```

```
"
```

```
"AUTHOR:SYSTEMTEKNIK REGLERTEKNIK
"      LUNDS TEKNISKA HOGSKOLA
```

```
"
```

```
"DESCRIPTION:
```

```
"
```

```
"      MODELS THE PUMPSPEEDCONTROL TO CONTROL
"      THE VALVEPRESSUREDIFFERENCE TO A FIX VALUE.
```

```
"
```

```
"
```

```
"
```

```
"
```

```
INPUT DP22           "VALVEPRESSURE DIFFERENCE
```

```
OUTPUT N2           "PUMPREV.(0-2900 RPM)
```

```
STATE Y X1 X2 X3
```

```
DER DY DX1 DX2 DX3
```

```
"
```

```
"
```

```
DY=Z1/T2
```

```
DX1=IF ABS(E1)>1 THEN 0 ELSE K1*E1/T1
```

```
DX2=-X2/T3+Y/T3
```

```
DX3=-X3/T4+Y1/T4
```

```
"
```

```
Y1=-X2+Y
```

```
Y2=X3
```

```
"
```

```
Z0=K2*K3*E2
```

```
Z01=Z0+0.01
```

```
Z02=Z0-0.01
```

```
Z1=IF ABS(Z0)<0.01 THEN 0 ELSE IF Z01<-1 THEN -1 ELSE IF Z02>1 THEN 1 ELSE Z0
```

```
"      Z1 LIMITS THE INPUT VALUE TO SERVO
```

```
"      INCLUDING A DELAY ON Z0
```

```
"
```

```
E1=UC-DP22          "INPUT DEVIATION
```

```
E2=U2-K5*Y2-Y      "SERVO DEVIATION
```

```
"
```

```
U1=X1+K1*E1
```

```
U2=IF U1<0 THEN 0 ELSE IF U1>1 THEN 1 ELSE U1
```

```
"
```

```
"      U2 INPUT TO SERVO [0<=U2<=1]
```

```
"
```

```
"
```

```
N2=Y*K4            "OUTPUT
```

```
"
```

```
"CONSTANTS
```

```
"
```

```
UC:5              "SETPOINT FOR PRESSURE DIFFERENCE
```

```
K1:2.9           "GAIN OF PI CONTROLLER
```

```
K2:1
```

```
K3:10            "K2 AND K3 AMPLIFIES SERVO DEVIATION
```

```
K4:2900          "CONVERTS Y TO N1 IN RPM
```

```
K5:0.3           "SERVORETURNSPEED
```

```
"
```

```
T1:10      "INTEGRATIONTIME OF PI CONTROLLER
T2:30      "TIMECONSTANT FOR SERVO;0-100% IN 30 SEKUNDS
T3:10      "TIMECONSTANT IN SERVO
T4:0.1
"
"INITIAL VALUES
"
Y:0.9
END
```