

**CODEN: LUTFD2/(TFRT-5343)/1-57/(1985)**

# **Simulering av en reaktionskalorimeter**

**Udo Hinz**

**Institutionen för Reglerteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
December 1985**

<b>Department of Automatic Control</b> <b>Lund Institute of Technology</b> P.O. Box 118 S-221 00 Lund Sweden	<i>Document name</i> <b>MASTER THESIS</b>	
	<i>Date of issue</i> <b>December 1985</b>	
	<i>Document Number</i> <b>CODEN: LUTFD2/(TFRT-5343)/1-57./(1985)</b>	
<i>Author(s)</i> <b>Udo Hins</b>	<i>Supervisor</i> <b>Per Hagander, Christer Silvegren</b>	
	<i>Sponsoring organisation</i>	
<i>Title and subtitle</i> <b>Simulering av en reaktionskalorimeter (Simulation of a reaction calorimeter)</b>		
<i>Abstract</i> <p>This report treats the use of computer simulation to estimate the temperature timeconstants of a reactor model. The masses of the reactor parts are quite easy measure, while the heat transfer coefficients are determined using dynamic experiments.</p> <p>The reactor model compared with the real reactor measurement data ensures that there is good coherence between the participating reactor parts. The only exception is the peripheral reactor flange. However this was of less importance compared with the other reactor parts.</p>		
<i>Key words</i>		
<i>Classification system and/or index terms (if any)</i>		
<i>Supplementary bibliographical information</i>		
<i>ISSN and key title</i>		<i>ISBN</i>
<i>Language</i> <b>Swedish</b>	<i>Number of pages</i> <b>57</b>	<i>Recipient's notes</i>
<i>Security classification</i>		

Simulering av en reaktions  
kalorimeter.

av Udo Hinz

Examens arbete utfört på  
avdelningen för Kemisk Teknologi  
Lunds Tekniska Högskola 1985.

Handledare

Doc Per Hagander

Tekn D Christer Silvegren

## Innehållsförteckning.

<u>Kapitel.</u>	<u>Sida.</u>
Inledning.	1
Referat.	2
Modell beskrivning.	4
Matematisk modell.	7
Problemställning.	
Mätserier.	12
Simulering med delmodeller.	16
Reaktor delmodell 1	
Reaktor delmodell 2	
Reaktor delmodell 3	
Simulering av hela modellen.	23
Stationär beräkning.	
Framtagning av effekten i värmaren med minsta kvadrat metoden.	28
Resultat analys.	32
Litteraturförteckning.	34
Bilaga 1 ("SIMNON").	1
Bilaga 2 (Kalibrering).	8
Bilaga 3 (Min-kvadrat).	13
Bilaga 4 (PID).	20
Bilaga 5. ("STAT").	21

## Inledning.

Rapporten beskriver simuleringar av händelseförloppet i en reaktionskalorimeter. Simuleringens överensstämmelse med det verkliga skeendet (mätserien) anpassas. Tanken är den att reaktorprocessen som regleras med en PID-regulator skall kunna styras utgående från effektutvecklingen. Mätserie kallas de körningar på reaktionskalorimetern som ligger till grund för alla kommande simuleringar. Processen övervakas med en dator som upptar mätpunkter i ekvidistanta intervall. Rapportens huvudinnehåll kan dock sägas behandla optimering av parametrar, med hjälp av simulering. Hjälpmedel vid simuleringarna har varit språken "SIMNON", "PASCAL" och "IDPAC".

Reaktorn är utvecklad av H.Nilsson och C.Silvegren vid avdelningen för Kemisk Teknologi, Lunds Tekniska Högskola och ingår i deras avhandling "STUDIES ON THE MANUFACTURE OF PVC RESINS" (H.Nilsson,C.Silvegren,1982). Reaktorn används för kinetiska studier av heterogena polymerisationer.

### Tab.1 Reaktor data.

Effektutveckling	0-25	W
Upplösning	10	mW
Volume	225	ml
Temp. omr.	0-70	°C

Reaktorn är nedsänkt i ett väl tempererat vattenbad som tjänstgör som temperaturreferens.

## Disposition.

Rapportens uppläggning följer ordningen modellbeskrivning, matematiska samband, simulering av mätserie värden, simulering med optimerade parametrar, simulering m.a.p effekten, resultat och slutsatser.

Referat.

Arbetet behandlar framtagning av tidskonstanter till nedanstående reaktormodell med hjälp av simulering.

A=Autoklav

E=Värmare

O=Omgivning (Vattenbad)

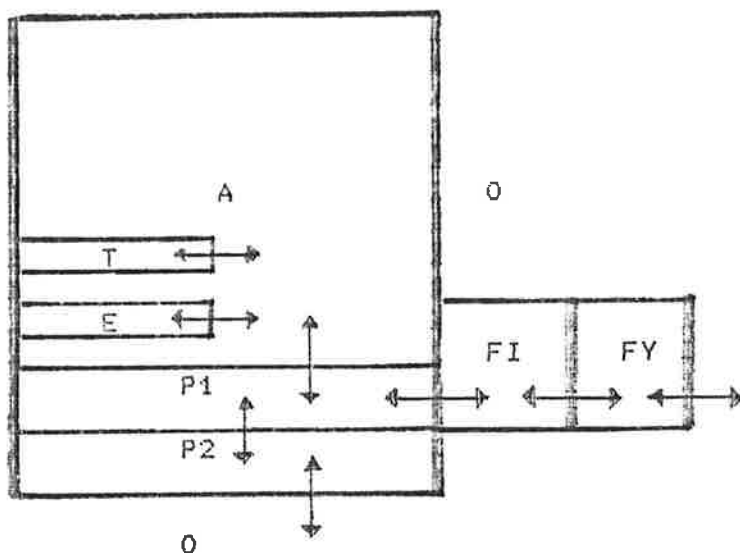
T=Temperatur sensor

FI=Fläns-inner

FY=Fläns-ytter

P1=Peltierelements del-1

P2=Peltierelements del-2



Pilarna betecknar värme övergångar med värmeövergångstalen  $K_{X,Y}$  [W/°K], nedan följer dess matematiska motsvarighet,  $\Theta_X$  står för temperaturer och  $t$  betecknar tid.

$$\frac{d\Theta}{dt} A = (\Theta_{FI} * 1/\tau_1 + \Theta_{P1} * 1/\tau_2 + \Theta_E * 1/\tau_3 + \Theta_T * 1/\tau_4) -$$

$$\Theta_A * (1/\tau_1 + 1/\tau_2 + 1/\tau_3 + 1/\tau_4)$$

$$\frac{d\Theta}{dt}E = (\Theta_A - \Theta_E) * 1/\tau_5 + P_E / C_E$$

$$\frac{d\Theta}{dt}T = (\Theta_A - \Theta_T) * 1/\tau_6$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Theta}{dt}P_1 = & (\Theta_A * 1/\tau_7 + \Theta_{P_2} * 1/\tau_8 + \Theta_{FI} * 1/\tau_9 + P_{P_1} / C_{P_1}) - \\ & \Theta_{P_1} * (1/\tau_7 + 1/\tau_8 + 1/\tau_9) \end{aligned}$$

$$\frac{d\Theta}{dt}P_2 = (\Theta_{P_1} * 1/\tau_{10} + \Theta_0 * 1/\tau_{11} + P_{P_2} / C_{P_2}) - \Theta_{1,P} * (1/\tau_{10} + 1/\tau_{11})$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Theta}{dt}FI = & (\Theta_A * 1/\tau_{12} + \Theta_{P_1} * 1/\tau_{13} + \Theta_{FY} * 1/\tau_{14}) - \\ & \Theta_{FI} * (1/\tau_{12} + 1/\tau_{13} + 1/\tau_{14}) \end{aligned}$$

$$\frac{d\Theta}{dt}FY = (\Theta_{FI} * 1/\tau_{15} + \Theta_0 * 1/\tau_{16}) - \Theta_{FY} * (1/\tau_{15} + 1/\tau_{16})$$

Simuleringarna resulterade i följande tidskonstanter  
 $\tau_1 \approx 188s$ ,  $\tau_2 \approx 143s$ ,  $\tau_3 \approx 782s$ ,  $\tau_4 \approx 430s$ ,  $\tau_5 \approx 7.3s$ ,  $\tau_6 \approx 4.0s$   
 $\tau_7 \approx 10.0s$ ,  $\tau_8 \approx 200s$ ,  $\tau_9 \approx 750s$ ,  $\tau_{10} \approx 200s$ ,  $\tau_{11} \approx 5.4s$ ,  $\tau_{12} \approx$   
 $\tau_{13} \approx 1500s$ ,  $\tau_{14} \approx 9.2s$ ,  $\tau_{15} \approx 9.2s$ ,  $\tau_{16} \approx 1.5s$ .

Modellen har god överensstämmelse med skeendet i och omkring reaktorn. Ett undantag utgör reaktorflänsen i modellens preferi. Där är emellertid temperaturvariationerna ganska betydelselösa och återverkar inte nämnvärt på reaktorns övriga delar.

### Modellbeskrivning.

Den modell som användes kan betecknas som verkligheten trogen, på det sättet att den inte är abstrakt, utan återger varje reaktordel av betydelse för simuleringen se figur 1.

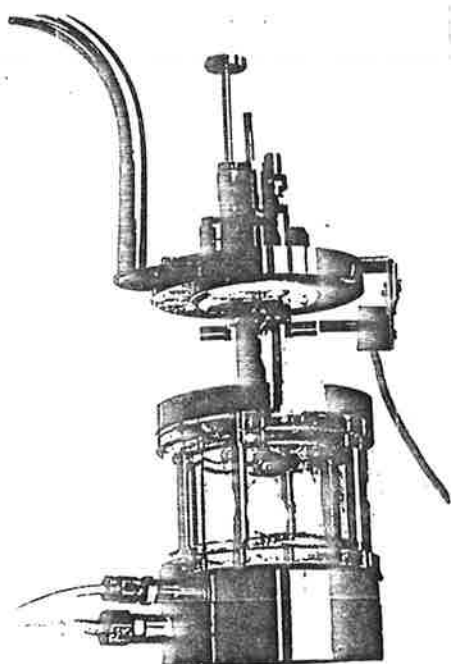


Fig.1. Reaktorn.

Modellen är tagen ur (H.Nilsson,C.Silvegren,1982) se fig.2.

A=Autoklav

E=Värmare

FI=Fläns-ytter

FY=Fläns-inner

O=Omgivning

P1=Peltierelement-del1

P2=Peltierelement-del2

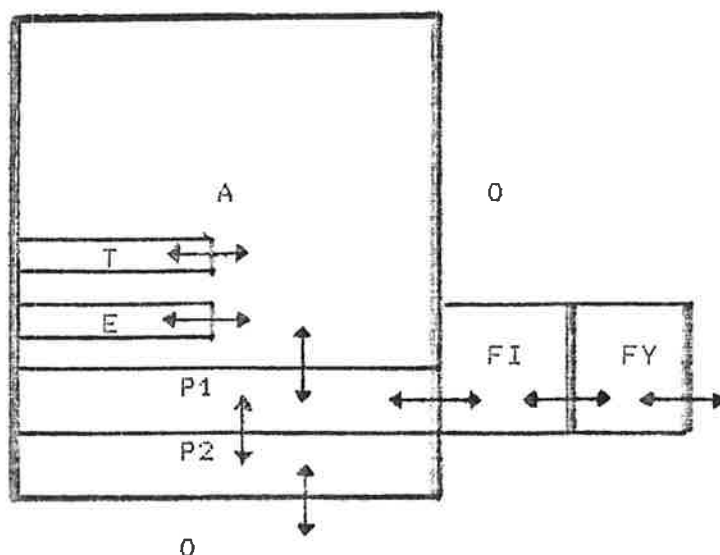


Fig.2. Reaktormodell.



Pilarna vid gränsytorna till de olika reaktordelarna anger var värmeövergångarna sker. Värmeövergångstalen  $K$  är indexerade med de olika reaktordelarna. Elementen P1 och P2 kräver en närmare förklaring de utgör samma del i reaktorn ett s.k. peltierelement. Beroende på strömriktningen genom elementet, har det antingen en kylande eller värmande effekt på deelementen P1 och P2. Båda elementen uppvisar aldrig samma egenskaper utan alltid motsatta. Peltierelementet kyler eller värmer alltså autoklav innehållet. Strömmen till peltierelementet regleras av en PID-regulator. Värmaren E är till för att simulera effektutvecklingen i en fingerad polymerisation. Reaktor innehållet kan då vara t.ex. vatten. Med hjälp av värmaren kan man initiera valfria effektsteg se fig.3.

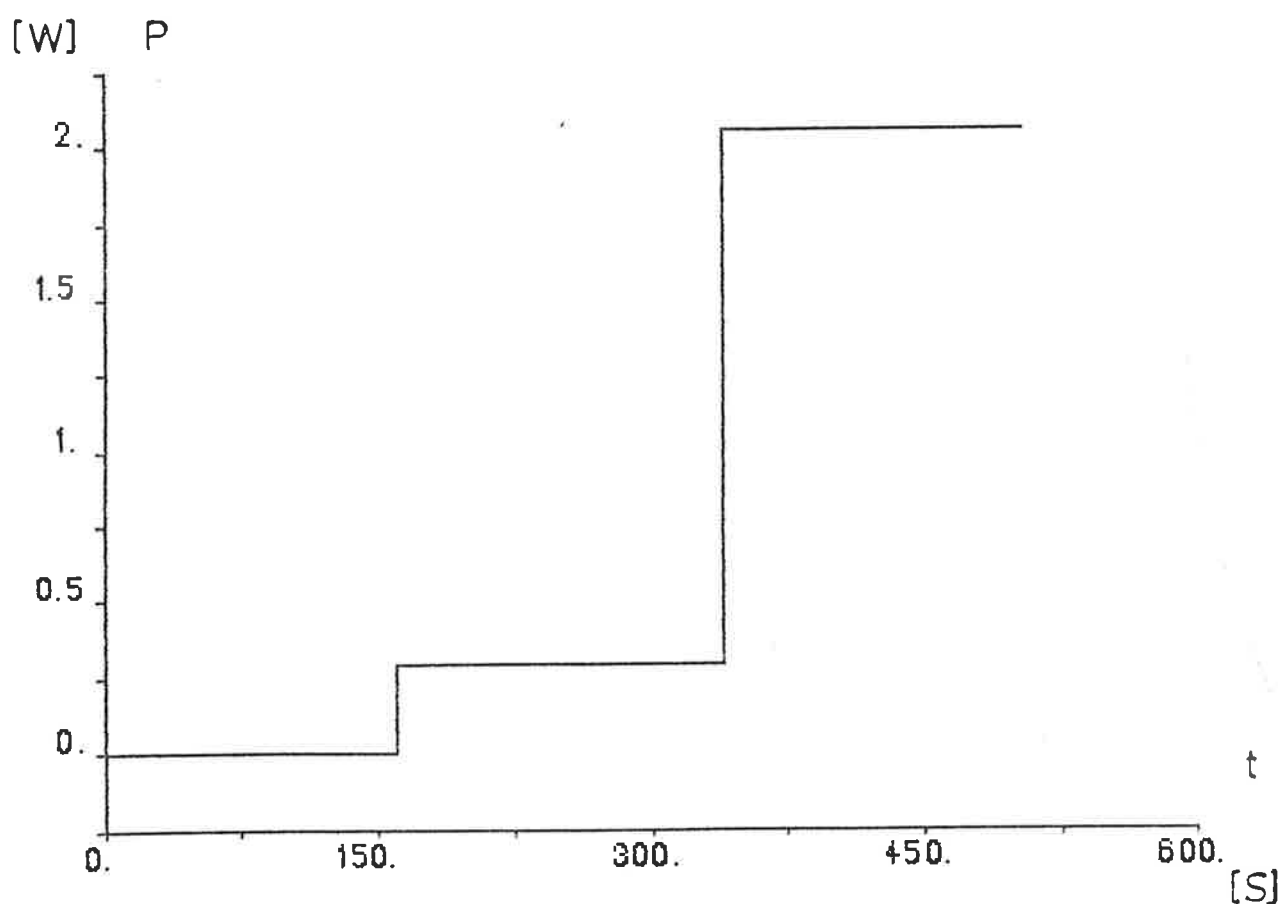


Fig.3 Exempel på effektsteg.

Mätserien upptar temperaturgradienterna i bestämda punkter se fig.4. Temperaturen i autoklaven mätes dock direkt med temperatursensorn T se fig.2.

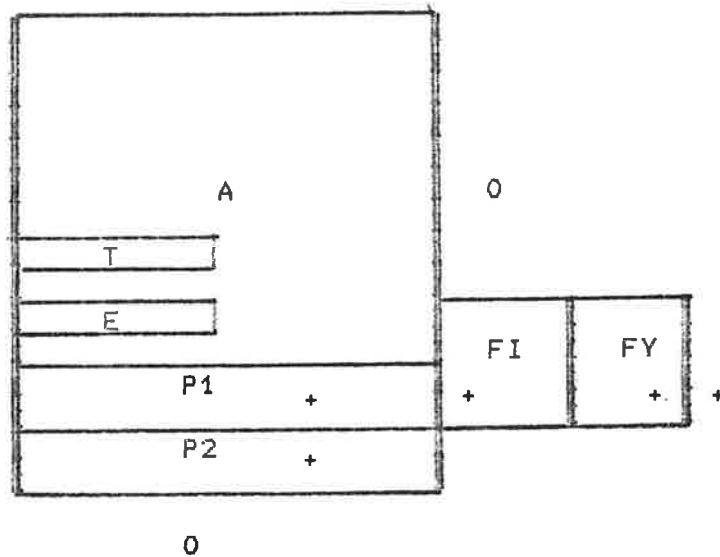


Fig.4 Mätpunkter för temperaturgradienter.  
+=mätpunkt.

Omgivningens temperatur  $\Theta_0$  antages vara konstant. Omgivningen är det vattenbad som reaktorn är nedsänkt i. Mellan autoklaven och omgivningen sker inget värmeutbyte. Reaktorglasat är dubbelt med luft som mellanrum och detta innebär att värmeövergångarna är närmast obefintliga.

Matematisk modell.

Föpjande matematiska modell ansätts (H.Nilsson, C.Silvegren,1982).

$$\frac{d\Theta}{dt}A = (\Theta_{FI} * K_{A,FI} + \Theta_{P1} * K_{A,P1} + \Theta_E * K_{A,E} + \Theta_T * K_{A,T}) / C_A -$$

$$\Theta_A * (K_{A,FI} + K_{A,P1} + K_{A,E} + K_{A,T}) / C_A$$

$$\frac{d\Theta}{dt}E = (\Theta_A - \Theta_E) * K_{A,E} / C_E + P_E / C_E$$

$$\frac{d\Theta}{dt}T = (\Theta_A - \Theta_T) * K_{A,T} / C_T$$

$$\frac{d\Theta}{dt}P1 = (\Theta_A * K_{A,P1} + \Theta_{P2} * K_{P1,P2} + \Theta_{FI} * K_{P1,FI} + P_{P1}) / C_{P1} -$$

$$\Theta_{P1} * (K_{A,P1} + K_{P1,P2} + K_{P1,FI}) / C_{P1}$$

$$\frac{d\Theta}{dt}P2 = (\Theta_{P1} * K_{P1,P2} + \Theta_0 * K_{P2,0} + P_{P2}) / C_{P2} - \Theta_{P2} * (K_{P1,P2} + K_{P2,0}) / C_{P2}$$

$$\frac{d\Theta}{dt}FI = (\Theta_A * K_{A,FI} + \Theta_{P1} * K_{P1,FI} + \Theta_{FY} * K_{FI,FY}) / C_{FI} -$$

$$\Theta_{FI} * (K_{A,FI} + K_{P1,FI} + K_{FI,FY}) / C_{FI}$$

$$\frac{d\Theta}{dt}FY = (\Theta_{FI} * K_{FI,FY} + \Theta_0 * K_{FY,0}) / C_{FY} - \Theta_{FY} * (K_{FI,FY} + K_{FY,0}) / C_{FY}$$

Se fig.3 vars värmeövergångar skall stämma med dessa uttryck.

Variablerna  $P_{P1}$  och  $P_{P2}$  representerar tillförd effekt i respektive peltierelements del. Uttrycken för dessa är följande.

$$P_{P1} = (-0.05212 * (\Theta_{P1} + 273.15) * I + R_{P1} * I^2$$

$$P_{P2} = (0.05212 * (\Theta_{P2} + 273.15) * I - R_{P2} * I^2$$

Peltierelementens inre resistanser är.

$$R_{P1} = 0.667 + 0.004 * \Theta_{P1} \quad \text{respektive} \quad R_{P2} = 0.667 + 0.0004 * \Theta_{P2}.$$

Förklaring till variablerna ges i tabell 2.

<u>Tab.2</u>	<u>Benämning</u>	<u>Dimension</u>
$C_X$	<--> Värme kapacivitet	[J/Kg* <sup>0</sup> K]
$K_X$	<--> Värmeövergångstal	[W/ <sup>0</sup> K]
$\Theta$	<--> Temperatur	[ <sup>0</sup> K]
$t$	<--> Tid	[s]
$P_X$	<--> Effekt	[W]
$I$	<--> Ström	[A]

I datorprogrammen har  $\Theta$  ersatts med T(reaktordel) t.ex TA där A står för autoklav.

Strömmen till peltierelementen regleras av en PID-regulator. Den PID-regulator som har använts för kalibreringarna lämnar maximalt en ström av  $\pm 5A$ . PID-regulatorn gavs på laplacetransformen (H.Nilsson, C.Silvegren, 1982).

$$i(s) = \left[ 1 + \frac{I}{\tau_I} D / (1 + s\tau_2) + 1 / s\tau_I + \frac{s\tau_0}{(1 + s\tau_2)} \right] \frac{K}{(1 + s\tau_3)} e(s)$$

$\tau_X$  betecknar tidskonstanter och  $e$  är reglerfelet som är skillnaden mellan vattenbadstemperaturen och temperaturen i varje enskild mätpunkt. Tidsuttrycket för PID-regulatorn blir:

$$\frac{d^2 I}{dt^2} (\tau_2 - \tau_3) + \frac{dI}{dt} (\tau_2 + \tau_3) + I = E(1 + \tau_D \frac{d}{dt}) + \frac{1}{\tau_I} \int E dt + \tau_D \frac{dE}{dt}$$

Tids uttrycket för PID:en härleds i bilaga 4.

Nästa steg blir att översätta de matematiska uttrycken till ett dator program. Programmet är skrivet i "SIMNON". Språket är utvecklat på Institutionen för Reglerteknik, Lunds Tekniska Högskola. Simnon är speciellt användbart för simulering av dynamiska system och finns beskrivet i "A SIMNON TUTORIAL" (Åström, 1982). Ett system för grafisk återgivning av simuleringar är inbyggt i simnon. Simnon programmen för systemet, finns i bilaga 1.

#### Problemställning.

Huvudproblemet blir nu att bestämma alla  $C_X$  eller deras tidskonstanter  $\tau = C_X / K_X$ . Det visar sig vara en besvärlig uppgift. Inte mindre än 16 parametrar skall bestämmas. Riktigt så illa är det inte. Vissa värmekapaciteter som t.ex  $C_A$  kan fås ur kemiska samband och en del tidskonstanter är så små att de föga inverkar på simuleringens resultatet. Exempelvis  $C_A$  beräknas så här:

Reaktorn har i mätserierna genomgående fyllts med 100 gram vatten. För att värma 1Kg vatten 1 grad åtgår det en energi av c.a 4.18 KJ detta ger till resultat att

$$C_A = ((\text{gramvatten})4.18 + 10) \text{J/Kg}^{\circ}\text{K} \rightarrow C_A = 430 \text{J/Kg}^{\circ}\text{K}$$

termen 10 kommer från reaktor omröraren.

Alla parametrar kan ges mer eller mindre exakta utgångsvärden med hjälp av reaktorns dimensioner och tabellverk. Följande parametrar anses fastlagda  $C_A$ ,  $C_E$  och  $C_T$ . Av detta följer att 13 parametrar återstår att bestämma. Dessa har tilldelats utgångsvärden enligt tabell 3

<u>Tab.3</u>	Parametrar	Värde	Dimension
	$C_A$	430.0	J/Kg °K
	$C_E$	4.0	---
	$C_T$	4.0	---
	$C_{FI}$	60.0	---
	$C_{FY}$	60.0	---
	$C_{P1}$	40.0	---
	$C_{P2}$	40.0	---
	$K_{A,E}$	2.0	W/°K
	$K_{A,FI}$	2.6	---
	$K_{A,P1}$	3.3	---
	$K_{A,T}$	2.0	---
	$K_{FY,0}$	2.5	---
	$K_{FI,FY}$	4.5	---
	$K_{P1,FI}$	0.5	---
	$K_{P1,P2}$	0.6	---
	$K_{P2,0}$	2.6	---

På nästa sida i fig.5 visas resultatet av en simulering med utgångsvärdena, jämför med figur 15 sidan 23.

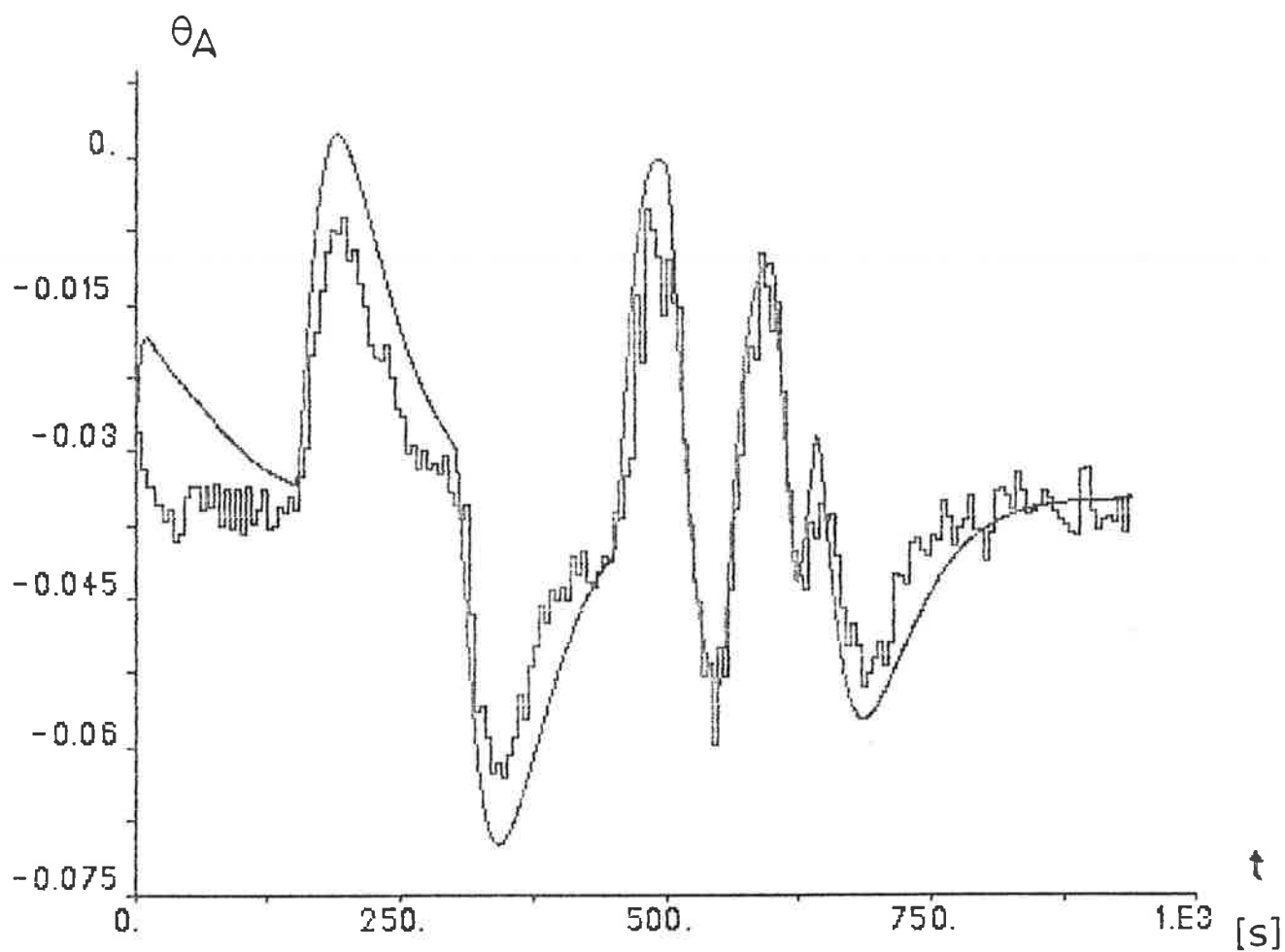



Fig.5 Simulerad och kalibrerad autoklav temperatur  $\theta_A$ .

Kalibrerad = 

simulerad = 

### Mätserier.

Mätserierna ligger till grund för gjorda simuleringar. Med mätserie menas körningar på reaktorn där mätdata upptogs i ekvidistanta punkter. Tidsavståndet  $\Delta t$  mellan mätpunkterna är här 5s. Effekten i reaktorns värmare varierar i olika steg under kalibreringen. Mätvärdena läses in på en diskett och göres tillgängliga för "SIMNON". Reaktorn måste vara igång helst någon dag för att jämviktstillstånd skall råda d.v.s att "badtemperaturen" har stabiliserat sig. Denna utgör referenstemperatur för gjorda kalibreringar. Eventuella offset signaler måste också justeras. Offset signalerna var ett stort problem i simuleringarna. Detta resulterade i att ett antal extra kalibreringar fick göras. Simuleringarna i rapporten hänför sig till kalibreringarna 3,5 och 6. Mätvärdena upptogs på diskett alla i sorten mV. För att omvandla mV till temperaturer, effekter och andra storheter skrevs ett pascal program. Programmet och omvandlingarna återfinns i bilaga 2. Med pascalprogramet "UTKD" öppnas en fil som göres tillgänglig för "SIMNON". De kalibrerade värdena används sedan som "INPUT" variabler till "SIMNON", så att uppmätta och simulerade värden kan jämföras. Nedan följer tabeller och figurer över kalibreringarna UKAL3, UKAL5 och UKAL6.



Tab.4

UKAL3.

<u>Tid.</u> [s]	<u>Effekt.</u> [W]
0 ---> 180	0.00
180 ---> 360	0.29
360 ---> 520	2.05

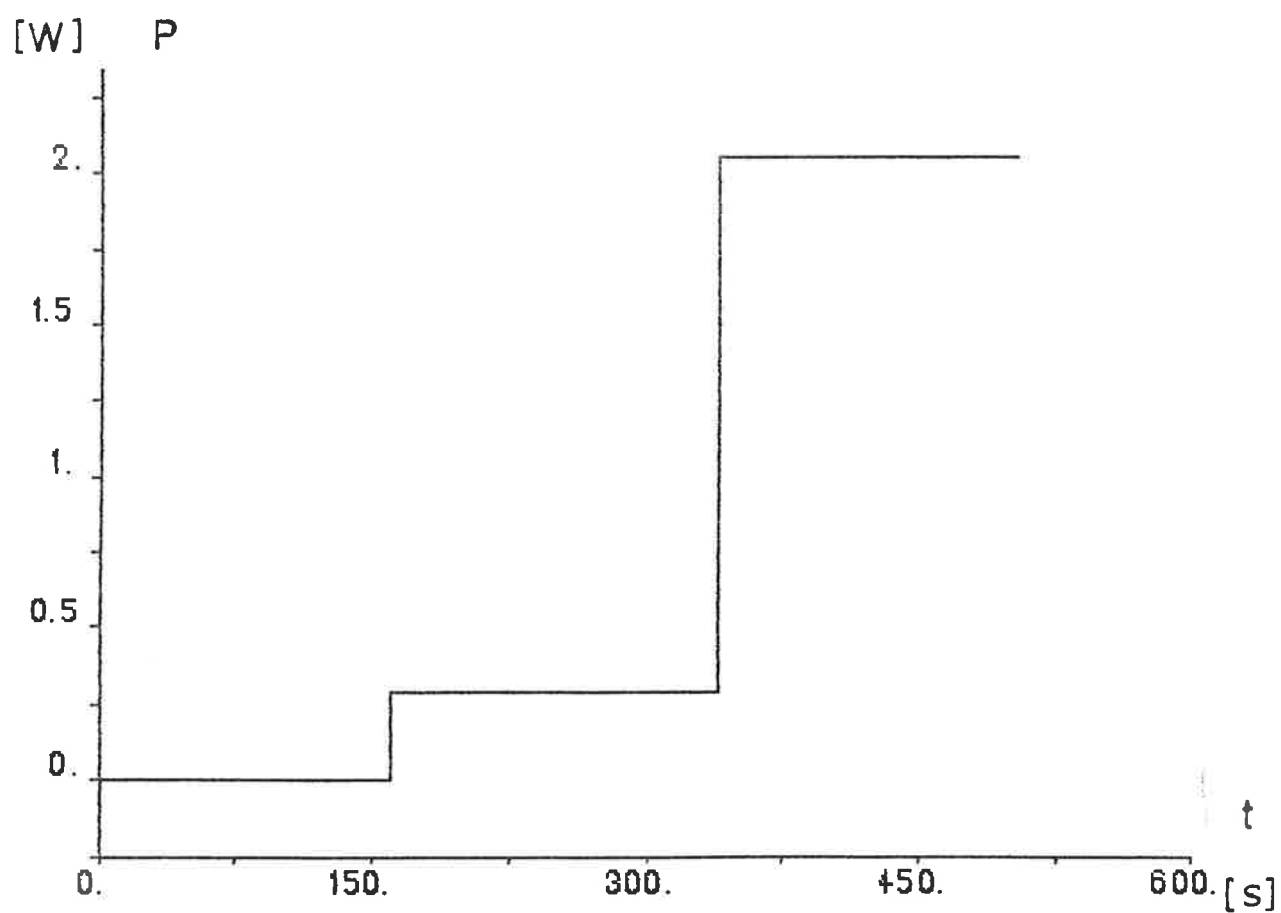


Fig.6 Effektsteg i UKAL3.

Tab.5

UKAL5.

	<u>Tid.</u> [s]	<u>Effekt.</u> [W]
0	---> 150	0.74
150	---> 300	1.46
300	---> 450	2.37
450	---> 600	3.29
600	---> 750	2.37
750	---> 900	1.46
900	---> 1050	0.74

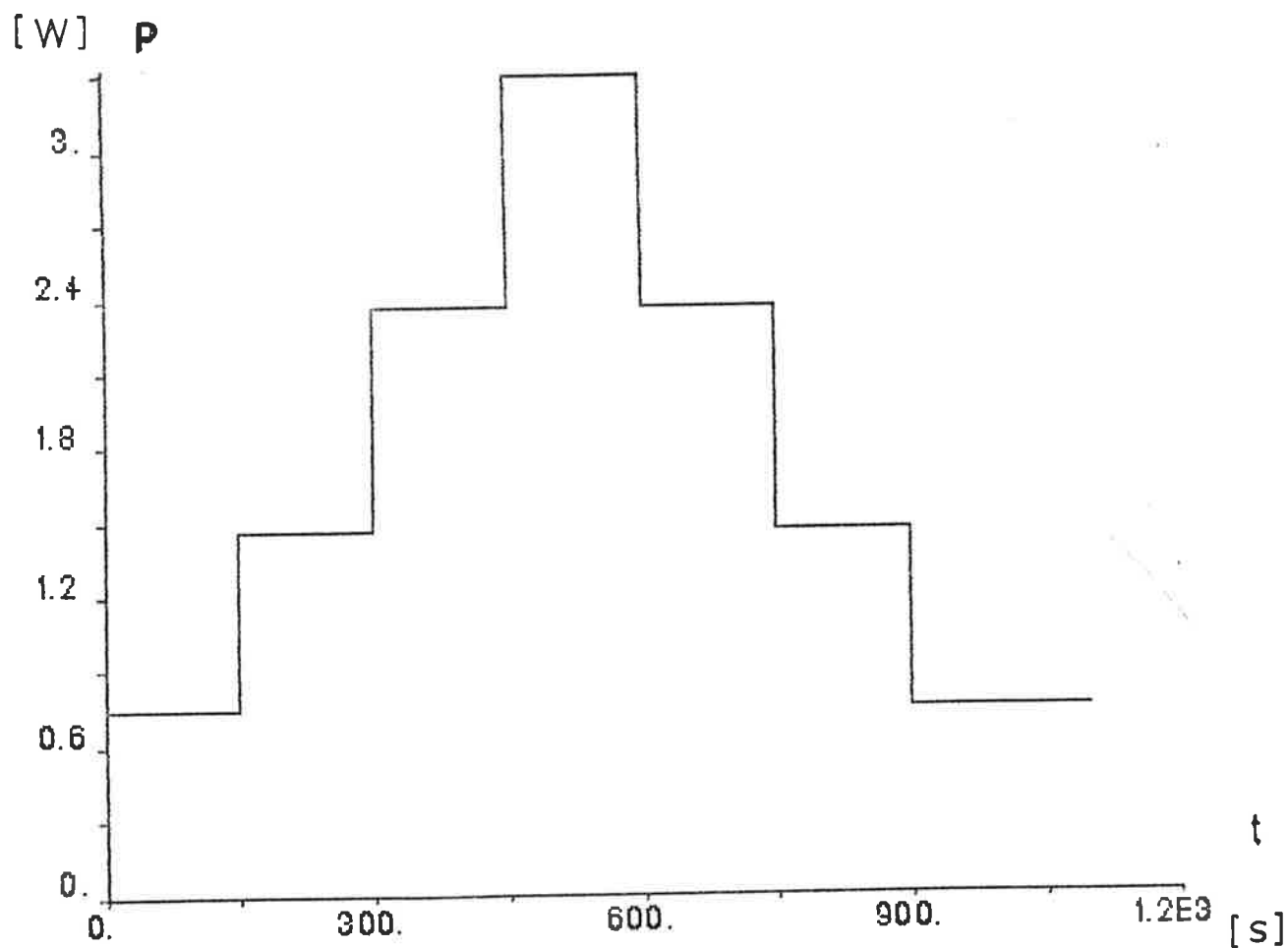


Fig.7 Effektstegen i UKAL5.

Tab.6

UKAL6.

<u>Tid.</u> [s]		<u>Effekt.</u> [W]
0	---> 150	1.46
150	---> 300	2.37
300	---> 450	1.46
450	---> 500	2.37
500	---> 550	1.46
550	---> 600	2.37
600	---> 620	1.46
620	---> 640	2.37
640	---> 940	1.46

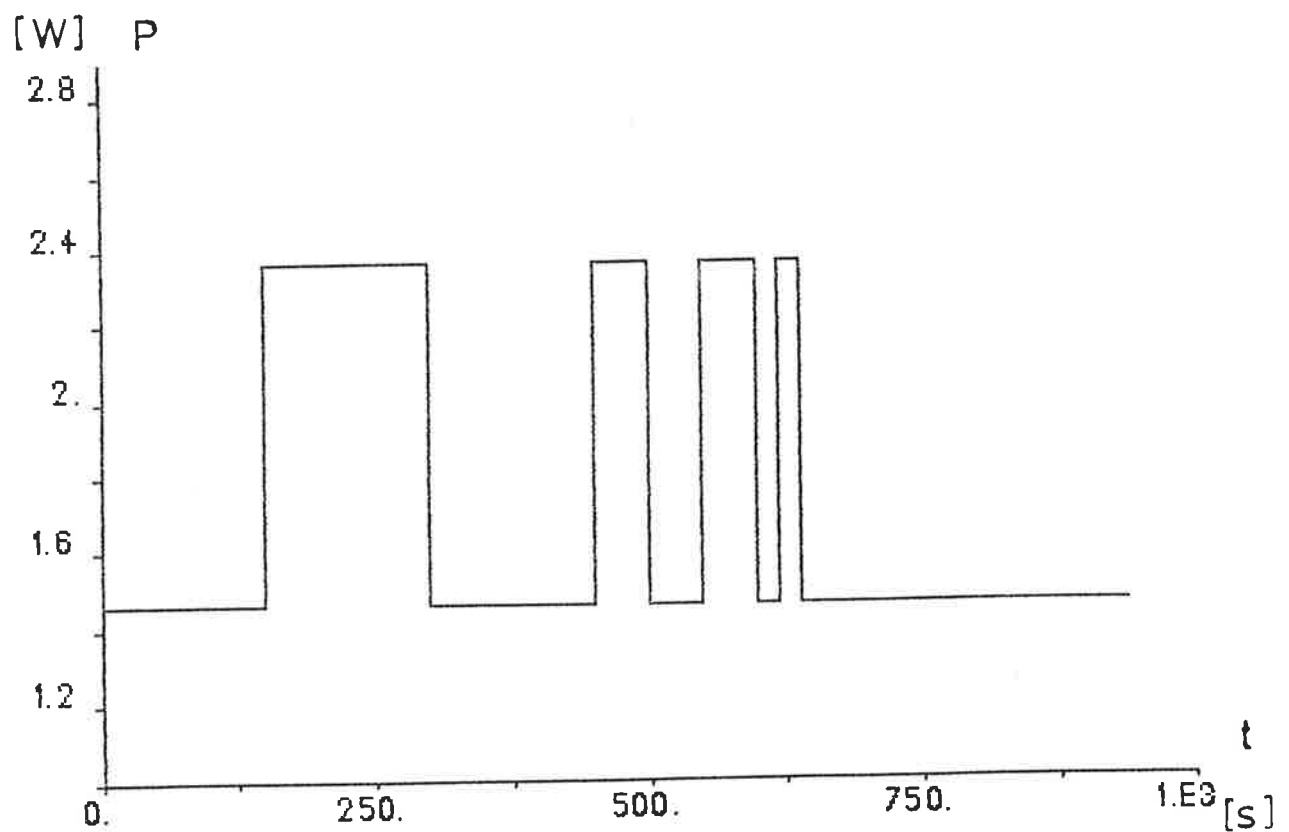


Fig.8 Effektsteg i UKAL6.

### Simulering med delmodeller.

De programmeringstekniska detaljerna redovisas inte här utan i bilagorna. I delmodellerna användes kalibrering UKAL3 för framtagnig av parametrarna. Simuleringarna går ut på att "för hand" bestämma de olika parametrarna. Med "för hand" menas här att simuleringarna upprepas och att parametrarna förnyas med hjälp av den känsla som man utvecklar under simuleringen för avvikelser mellan mätserie kurvor och simulerade kurvor. Modellen brytes ner i mindre delar på så sätt minskas antalet parametrar som skall bestämmas till ett fåtal i varje delmodell. Tyvärr var UKAL3 en något felaktig kalibrering men den ger ändå så goda värden att man kan använda dem vid simulering av hela modellen. I nedanstående reaktordelmodeller används mätserie värden som "INPUT" till "SIMNON", framsimulering sker endast av variabler som ej ingår i mätserien,  $\Theta_E$  och  $\Theta_A$  eller av de variabler som tillkommer vid utökning av modellen steg för steg.

### Reaktor delmodell 1.

Modell 1 utgörs av autoklaven och dess kommunikation med omgivningen. Med omgivningen menas peltierelementet P1 och innerflänsen se figur 9.

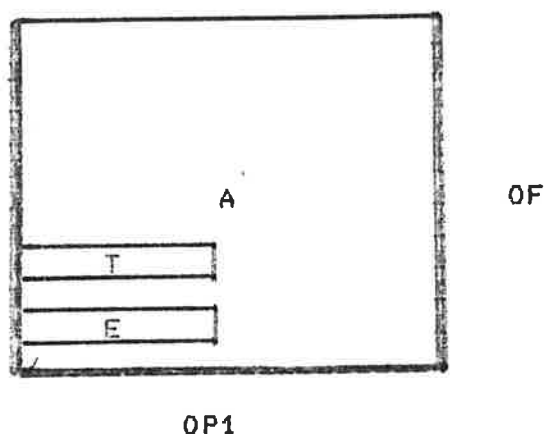


Fig.9 Delmodell 1.

De matematiska uttrycken för modell 1 blir följande.

$$\frac{d\Theta}{dt}A = (\Theta_{FI} * K_{A,FI} + \Theta_{P1} * K_{A,P1} + \Theta_E * K_{A,E} + \Theta_T * K_{A,T}) / C_A -$$

$$\Theta_A * (K_{A,FI} + K_{A,P1} + K_{A,E} + K_{A,T}) / C_A$$

$$\frac{d\Theta}{dt}E = (\Theta_A - \Theta_E) * K_{A,E} / C_E + P_E / C_E$$

$$\frac{d\Theta}{dt}T = (\Theta_A - \Theta_T) * K_{A,T} / C_T$$

I simuleringen med delmodell 1 används  $\Theta_T$ ,  $\Theta_{FI}$  och  $\Theta_{P1}$  som "INPUT"-variabler till "SIMNON",  $\Theta_A$  är den variabel som framsimuleras.  $\Theta_A$  följer  $\Theta_T$  väl ty temperatursensorn mäter ju temperaturen i autoklaven.

Nytta har man av formeln:

$$\frac{d\Theta}{dt}E = (\Theta_A - \Theta_E) * K_{A,E} / C_E + P_E / C_E$$

Man kan se att  $K_{A,E}$  ensamt påverkar den simulerade kurvans form. Det bekräftas av en simulering, skillnaden mellan topparna i kalibrerad och simulerad kurva regleras med  $K_{A,E}$  som bestäms till  $0.6 \text{ W/}^{\circ}\text{K}$ . De resterande parametrarna bestäms "för hand" till  $K_{A,P1} = 2.93 \text{ W/}^{\circ}\text{K}$  och  $K_{A,FI} = 2.33 \text{ W/}^{\circ}\text{K}$  se figur 10.

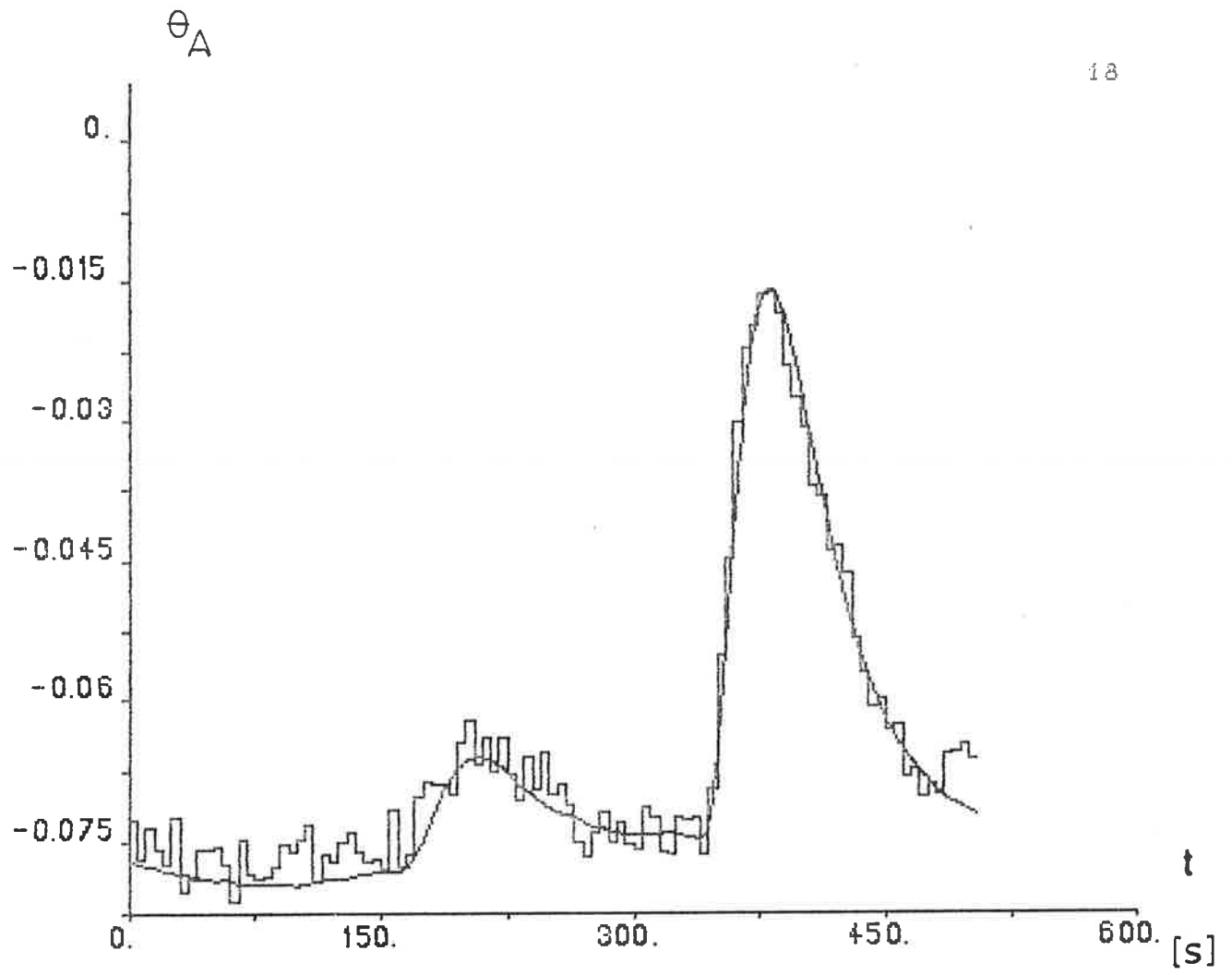


Fig.10 Figuren visar anpassningen av autoklav temperaturen

$\theta_A$

mellan simulerade och kalibrerade värden.

kalibrerad= , simulerad=

Reaktor delmodell 2.

Modellen utökas ett steg med peltierelement delen P1 se figur 11. I delmodell 1 såg man till att anpassa autoklavtemperaturerna enl. fig 10. Nu när P1 har tillkommit anpassas temperaturen  $\Theta_{P1}$  mellan simuleringen och kalibreringen. Det utgör ingen begränsning. Anpassningen av  $\Theta_A$  gäller fortfarande och kontrolleras. Nu är  $\Theta_T$ ,  $\Theta_{FI}$  och  $\Theta_{P2}$  "INPUT":variabler,  $\Theta_{P1}$  framsimuleras.

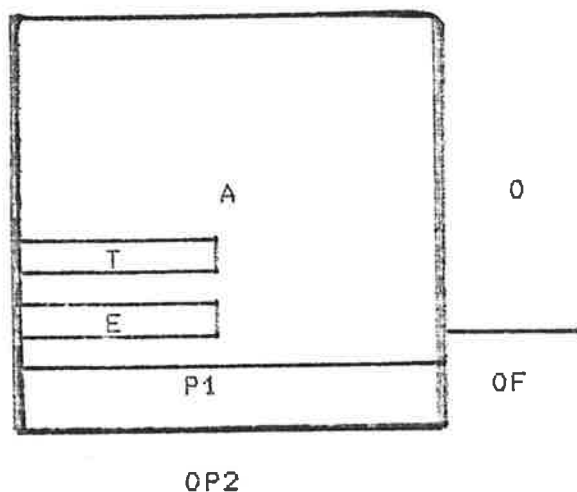


Fig.11 Delmodell 2.

De matematiska uttrycken för modell 2 blir följande.

$$\frac{d\Theta}{dt}A = (\Theta_{FI} * K_{A,FI} + \Theta_{P1} * K_{A,P1} + \Theta_E * K_{A,E} + \Theta_T * K_{A,T}) / C_A -$$

$$\Theta_A * (K_{A,FI} + K_{A,P1} + K_{A,E} + K_{A,T}) / C_A$$

$$\frac{d\Theta}{dt}E = (\Theta_A - \Theta_E) * K_{A,E} / C_E + P_E / C_E$$

$$\frac{d\Theta}{dt}T = (\Theta_A - \Theta_T) * K_{A,T} / C_T$$

$$\frac{d\Theta}{dt}P1 = (\Theta_A * K_{A,P1} + \Theta_{P2} * K_{P1,P2} + \Theta_{FI} * K_{P1,FI} + P_{P1}) / C_{P1} -$$

$$\Theta_{P1} * (K_{A,P1} + K_{P1,P2} + K_{P1,FI}) / C_{P1}$$

Ur denna modell erhöles parametrarna  $K_{P1,FI}$  och  $K_{P1,P2}$  deras värden blev 0.40 resp 0.55 se figur 12.

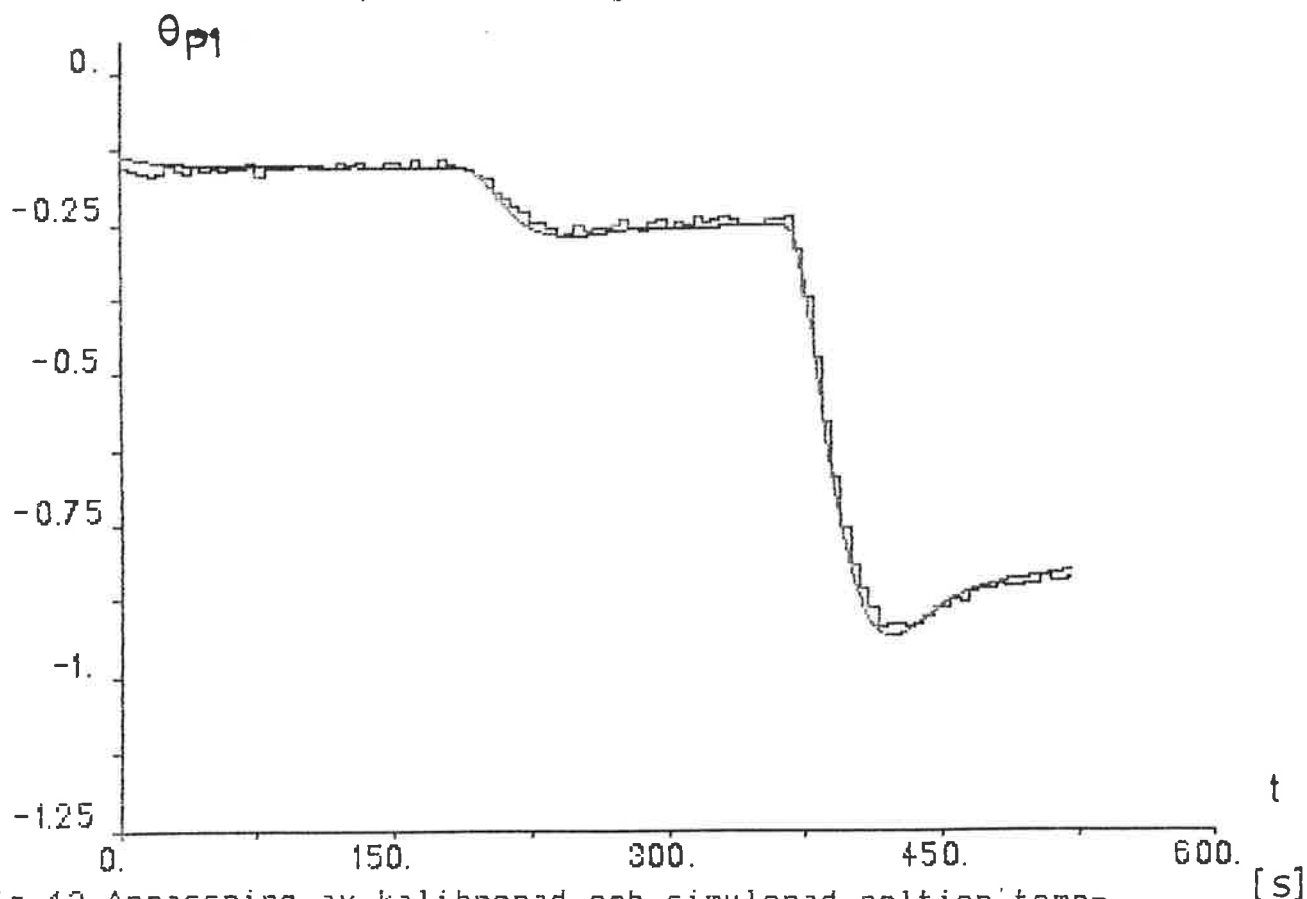


Fig.12 Anpassning av kalibrerad och simulerad peltier temperatur i peltier del-1  $\Theta_{P1}$ .



### Reaktor delmodell 3.

Denna modell innefattar nu hela reaktorn. Som "INPUT":variabler används nu  $\Theta_T$ ,  $\Theta_{P1}$ ,  $\Theta_{FY}$ . Temperaturerna  $\Theta_{P2}$  och  $\Theta_{FI}$  anpassas se figur 13 resp 14. Formlerna för delmodell 3 återfinns i kapitlet matematisk modell. Som resultat erhöles  $K_{FI,FY}$ ,  $K_{P2,0}$  och  $C_{P2}$  till 5.5, 5.4 W/°K resp. 10 J/Kg °K. Pågrund av felaktigheten i kalibreringen erhöles också nya värden på  $K_{P1,FI}$  och  $K_{P1,P2}$  till 0.40 och 0.85.

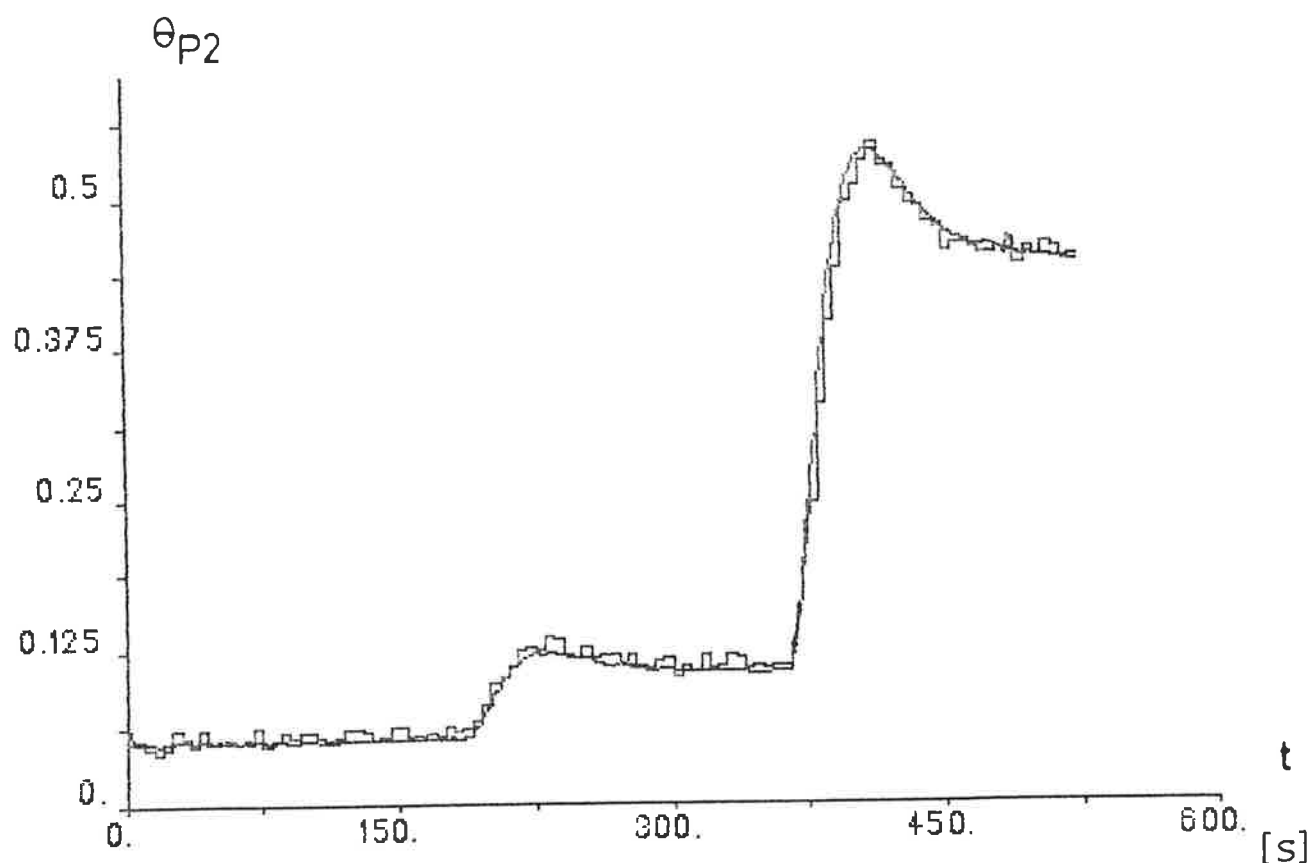


Fig.13 Anpassning av peltiertemperaturen i peltier element del-2.

Figur 14 som visar fläns-inner temperaturen är inte bra. Felet beror på den störda mätserien "UKAL3", för ytterligare kommentarer se resultatanalysen sidan 33.

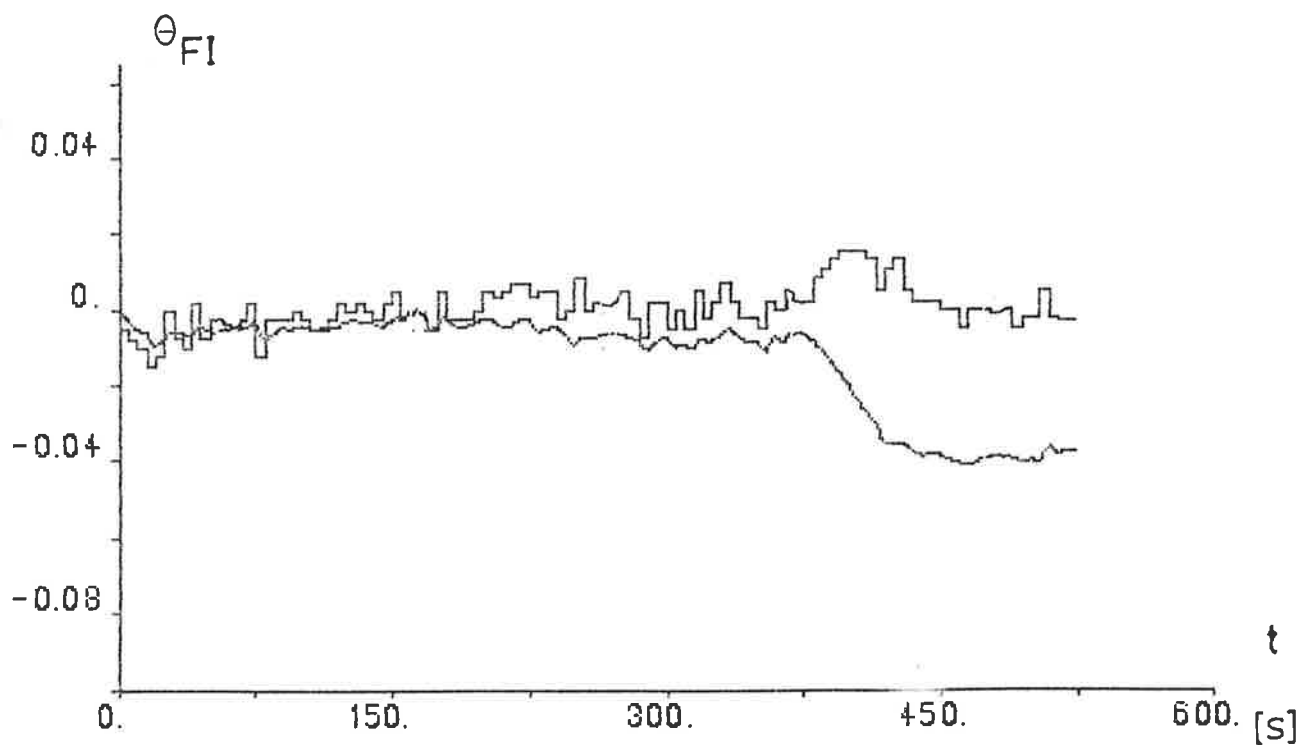


Fig.14 Anpassning av fläns-inner temperaturen.

Simulering av hela modellen.

Med rubriken menas simulering av systemet utan att SIMNON:s INPUT:variabler deltar i simuleringen, som ju var fallet i simuleringen av delmodellerna. INPUT:variablerna kommer från mätserierna. Detta är en form av test för parametrarna. Man kommer att se hur väl dessa anpassar den simulerade kurvan till mätserie kurvan. Mätserierna "UKAL5" och "UKAL6" används. Justeringar av parametrarna göres. Det visar sig att även hela modellen är hanterbar när man har fått bra startvärden och känsla för modellen. För enkelhetens skull ritas endast figurer för UKAL6 undantaget autoklavtemperaturen  $\theta_A$  som ges för båda.

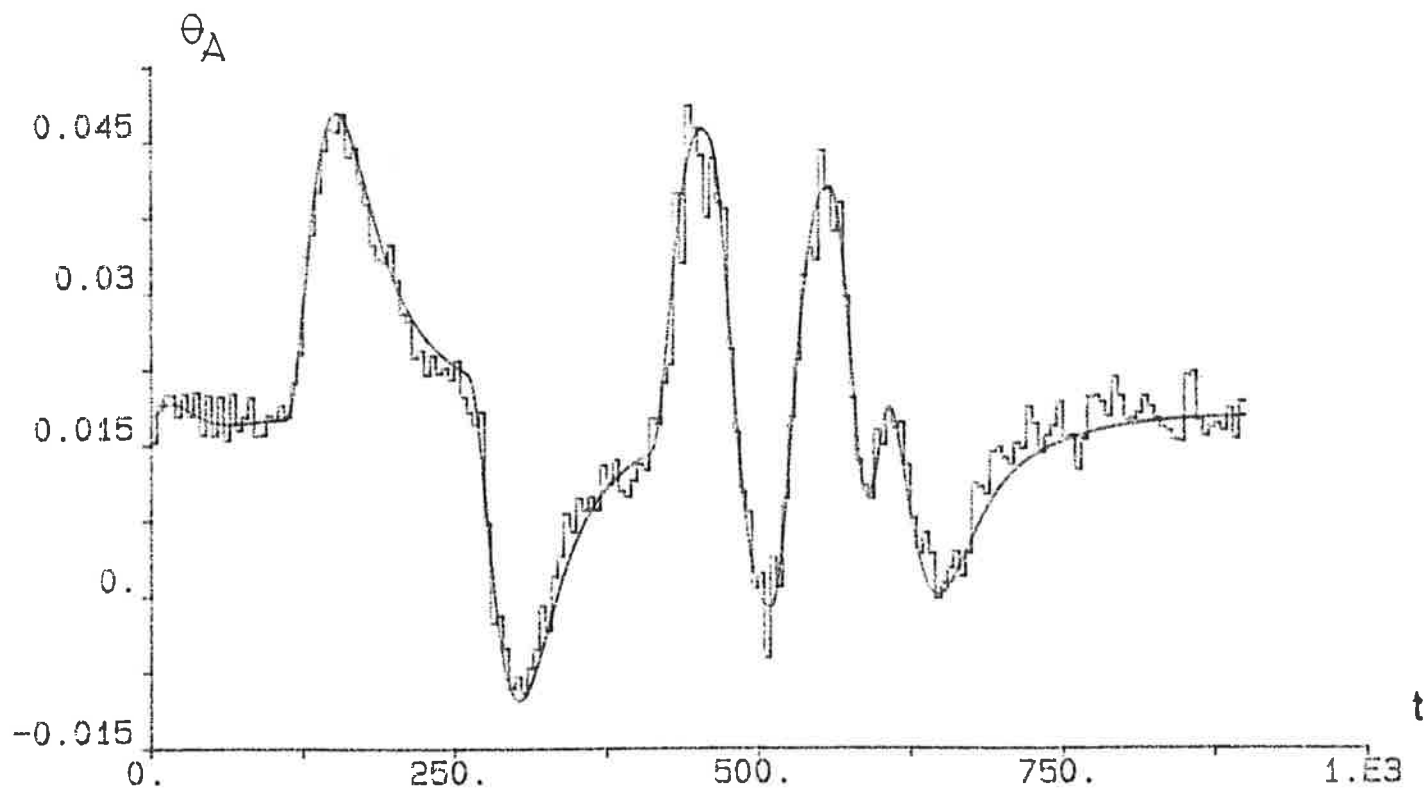


Fig.15 Grafen föreställer anpassning av autoklavtemperaturen i "UKAL6". Simulerad=—, kalibrerad=~~~~~

[s]

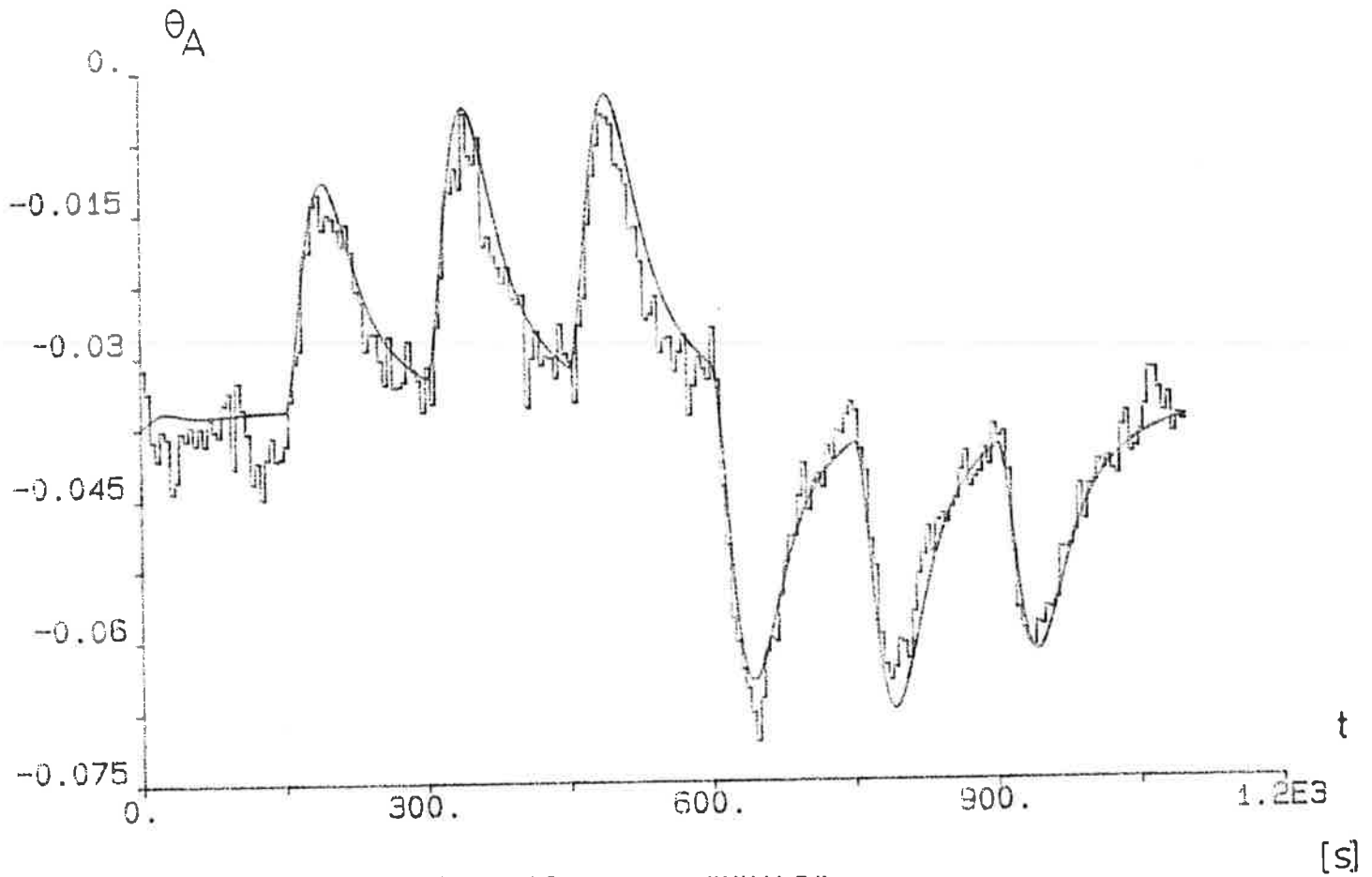


Fig.16 Samma som figur 15 men ur "UKAL5".

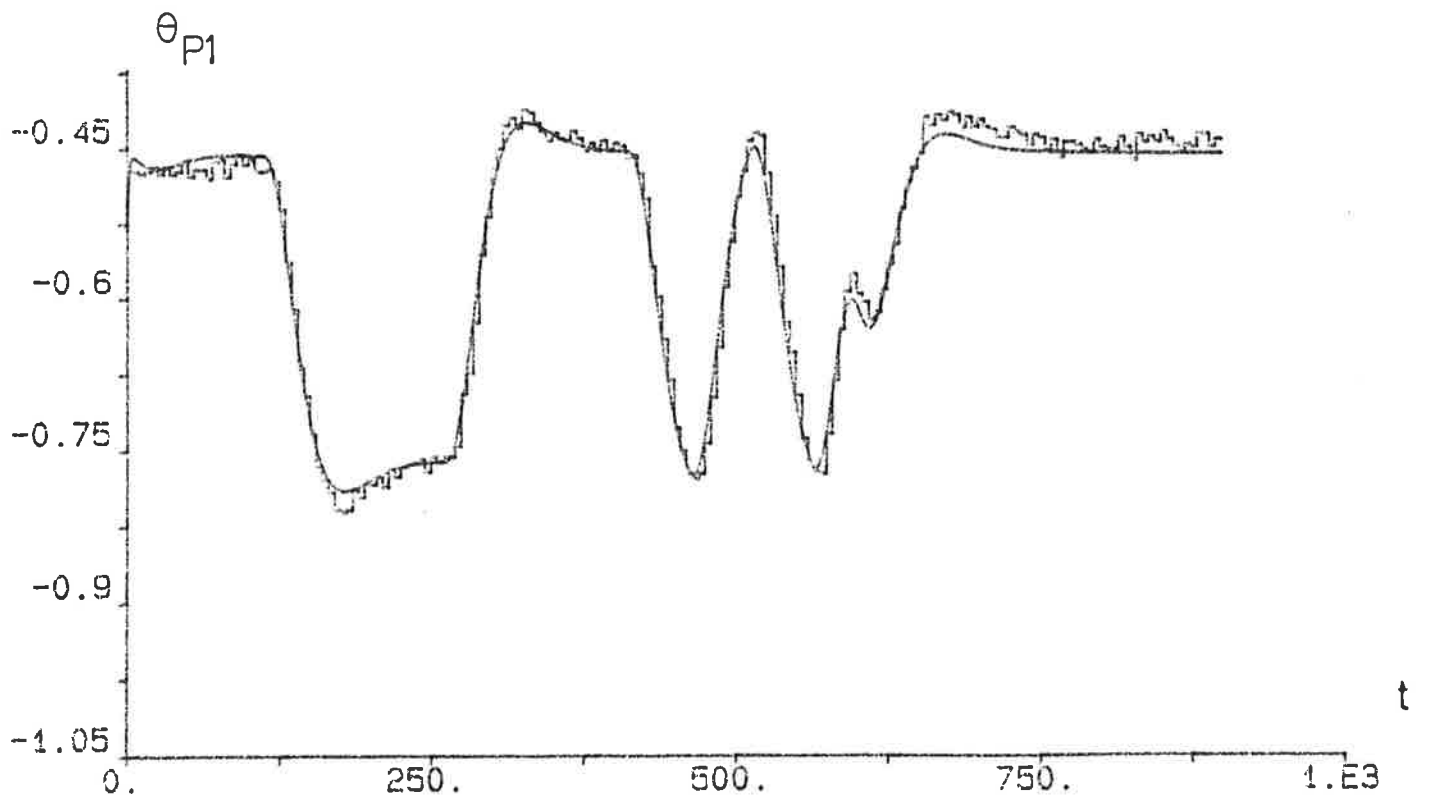


Fig.17 Temperaturen i peltierelement del-1  $\theta_{P1}$  "UKAL6".

Simulerad = ———— , kalibrerad = ————

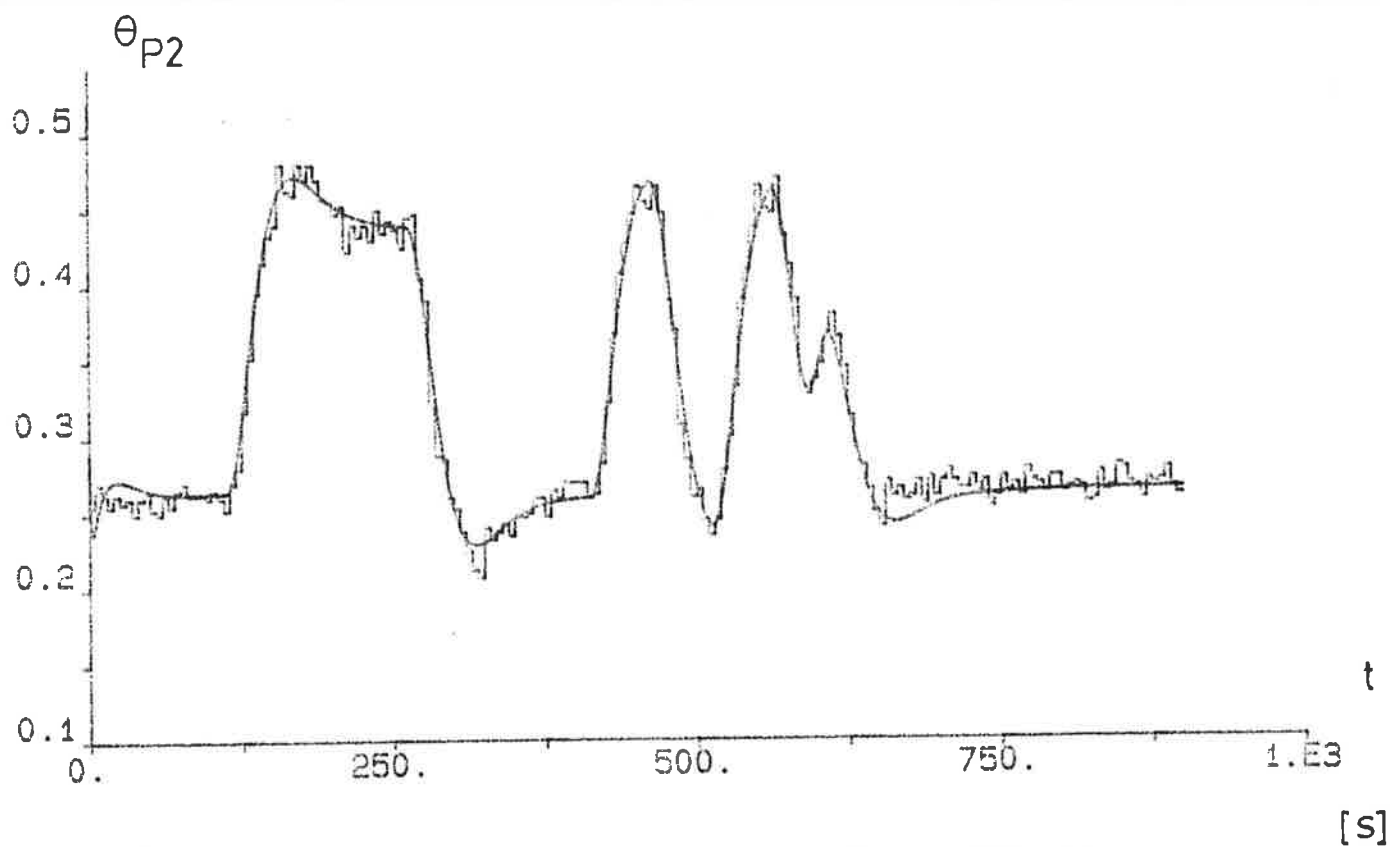




Fig.18 Temperaturen i peltierelement del-2  $\theta_{P2}$  "UKAL6".

Simulerad = , kalibrerad = 

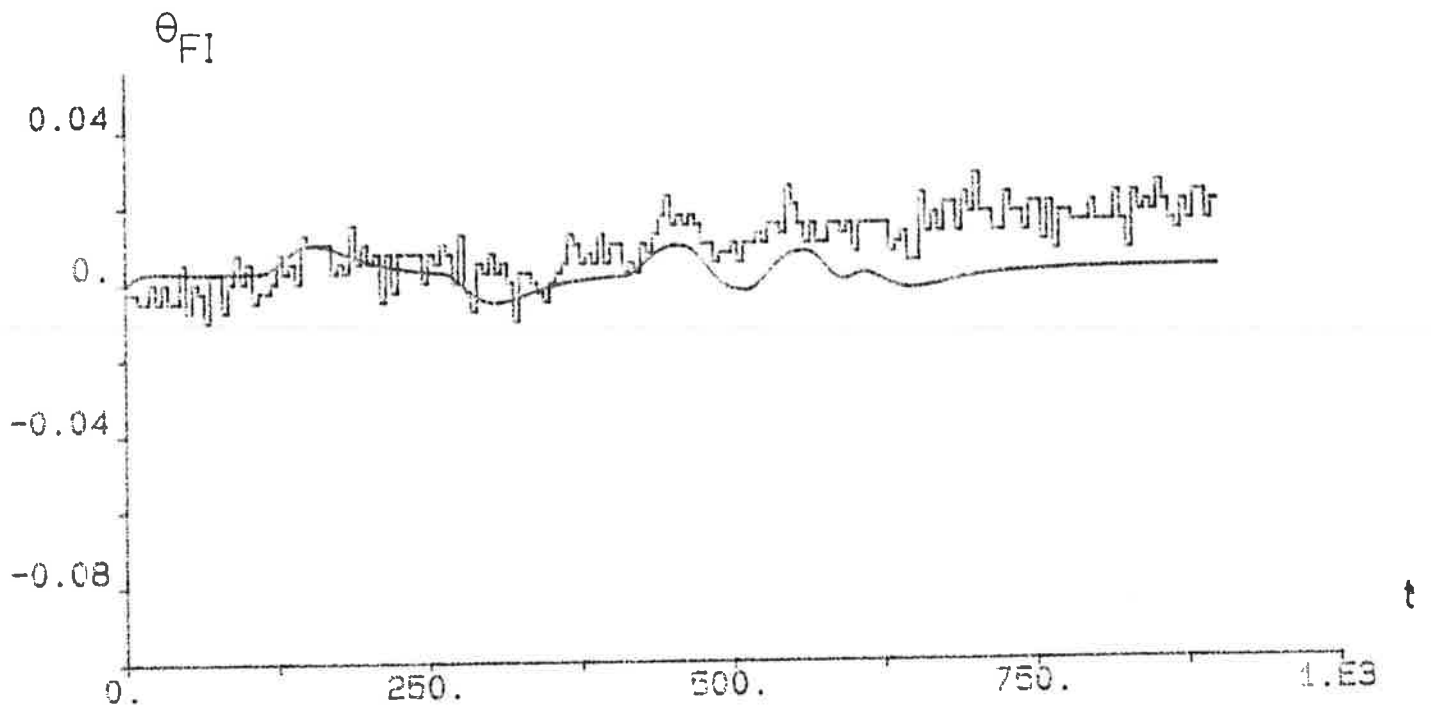


Fig.19 Fläns-inner temperatur  $\theta_{FI}$  "UKAL6".

[S]

Simulerad = ————— , kalibrerad = ~~~~~~

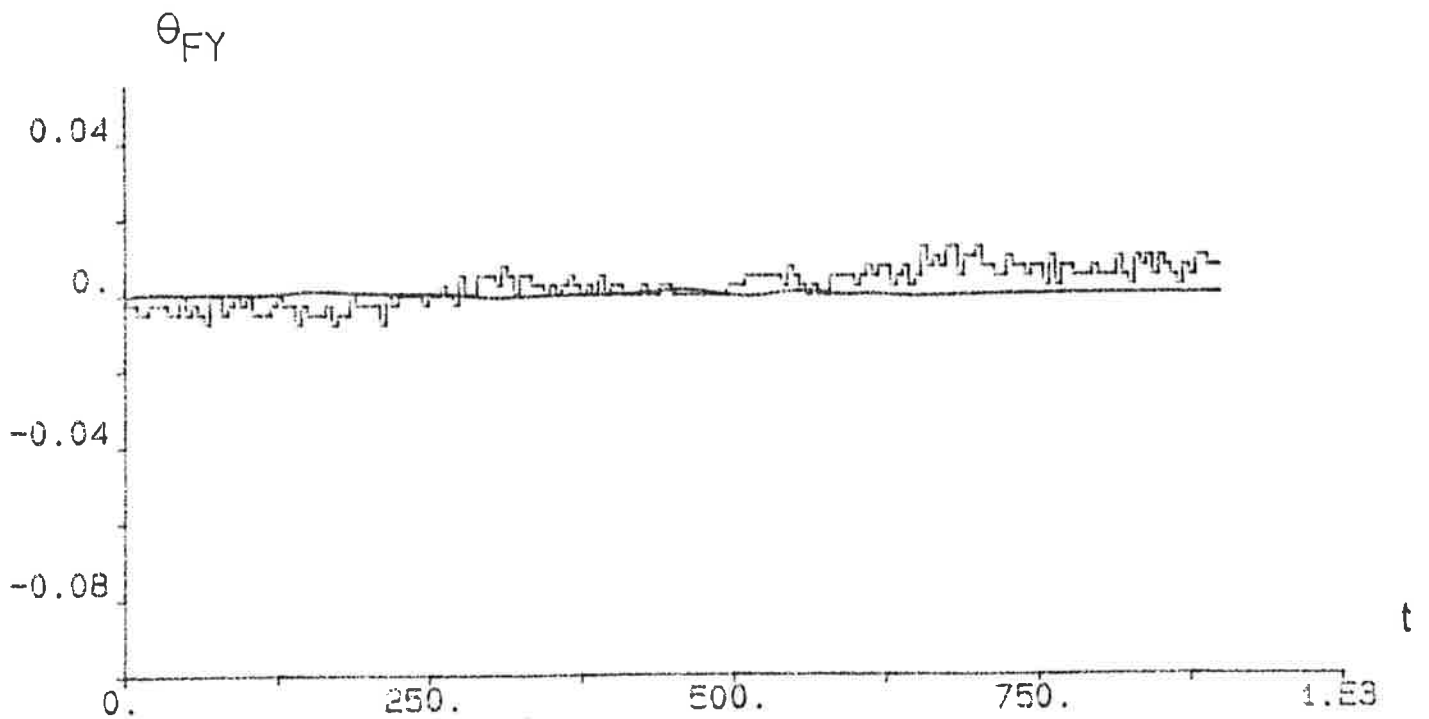


Fig.20 Fläns-ytter temperatur  $\theta_{FY}$  "UKAL6".

[S]

Simulerad = ————— , kalibrerad = ~~~~~~

Beräkning av stationära värden.

Med hjälp av att  $\Theta_A \approx \Theta_T$  då ett effektsteg har stabiliserat sig under en längre tid erhålls en förenkling av nedanstående uttryck.

$$\frac{d\Theta}{dt} = (\Theta_{FI} * K_{A,FI} + \Theta_{P1} * K_{A,P1} + \Theta_E * K_{A,E} + \Theta_T * K_{A,T}) / C_A -$$

$$\Theta_A * (K_{A,FI} + K_{A,P1} + K_{A,E} + K_{A,T}) / C_A$$

Förenkling:

$$K_{A,P1} = K_{A,FI} * ((\Theta_A - \Theta_{FI}) / (\Theta_{P1} - \Theta_A)) -$$

$$P_E / (\Theta_{P1} - \Theta_A)$$

Här är  $K_{A,FI}$  fastlaggd till 2.6 W/K. Med rutinen "STAT" i "IDPAC" (se bilaga 5) fås medeltemperaturerna till  $\Theta_A$ ,  $\Theta_{P1}$  och  $\Theta_{FI}$  i det aktuella effektintervallet. Här har den sista delen av intervallet 640 ---> 940 sek. i mätserien UKAL6 valts. Följande temperaturmedelvärden erhöles  $\Theta_A \approx 0.01$ ,  $\Theta_{P1} \approx -0.56$  och  $\Theta_{FI} \approx -0.008$ . Effekten i steget är  $P_E = 1.46$  W. Insett i det förenklade uttrycket erhåller man  $K_{A,P1}$  till 2.56 W/K. Manuellsimulering gav värdet 3.0 W/K.

Framtagning av effekten i värmaren med minsta kvadrat metoden.

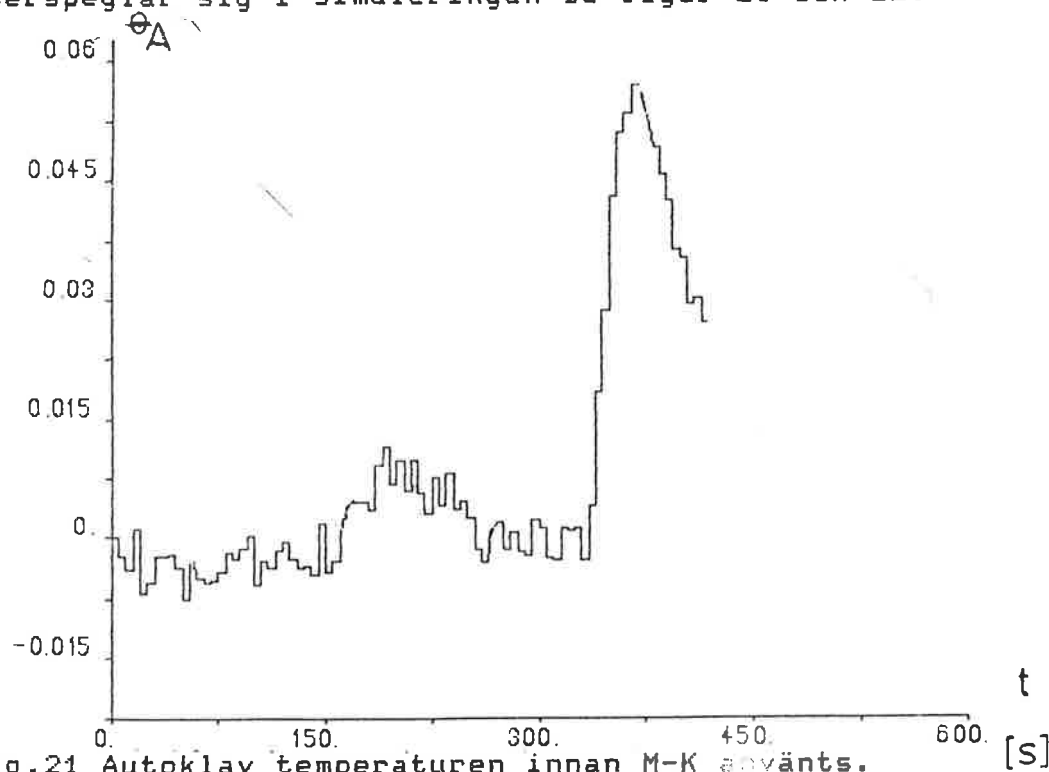
Tidigare har parametrarna framtagits. Då har effekten och de kalibrerade reaktortemperaturerna använts som invariabler. Nu skall effekten i värmaren simuleras fram utgående från temperaturvariablerna och de framtagna parametrarna. Formeln där effekten ingår är:

$$\frac{d\Theta_E}{dt} = (\Theta_A - \Theta_E) * K_{A,E} / C_E + P_E / C_E$$

<----->

$$P_E = C_E * \frac{d\Theta_E}{dt} - (\Theta_A - \Theta_E) * K_{A,E}$$

Härtill används ett pascal program som läser in alla variabler från datafilen UTKAL.DAT och beräknar resultaten. Den grafiska utskriften sker med simnon. Alla temperaturer anpassas med minsta-kvadrat metoden (M-K). På det viset minskas de kalibrerade temperaturernas fluktuationer vilket återspeglar sig i simuleringen se figur 21 och 22.





Här följer en beskrivning av den använda M-K metoden, pascal programmet finns i bilaga 3 allmänt om M-K (Ekman,1978). Nio mätpunkter åt gången väljes, den minimerade mätpunkten användes sedan som mittpunkt i nästa serie av mätpunkter o.s.v tills alla mätpunkter har minimerats. Ansätt en 2:grads funktion

$$f^*(X) = C_1 + C_2 * X + C_3 * X^2$$

uttrycket  $\sum_{k=0}^n [f^*(X) - f(X)]^2$  skall minimeras  $f(X)$  är den exakta lösningen och  $f^*(X)$  är den approximerade.  $C_0, C_1, C_2 \dots C_n$  är lösningsvektor till problemet

$$A^T * A * C = A^T * f \quad (T = \text{transponat}).$$

Systemet blir då (se nästa sida).

$$\begin{array}{ccc}
 A = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 \\ 1 & x_2 & x_2^2 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_9 & x_9^2 \end{pmatrix} & C = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ c_9 \end{pmatrix} & f = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ f_9 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$A^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 1 \\ x_1 & x_2 & x_3 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & x_9 \\ x_1^2 & x_2^2 & x_3^2 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & x_9^2 \end{pmatrix}$$

Multiplikation med  $A^T$  göres för att själva grund systemet är överbestämt. Man har 9 ekvationer men endast 3 obekanta systemet har därför ingen matematisk lösning. Multiplikation med  $A^T$  överför systemet på kvadratisk form d.v.s 3 ekvationer och 3 obekanta i detta fall. Nedanstående figurer visar resultatet av en körning med UKAL3.

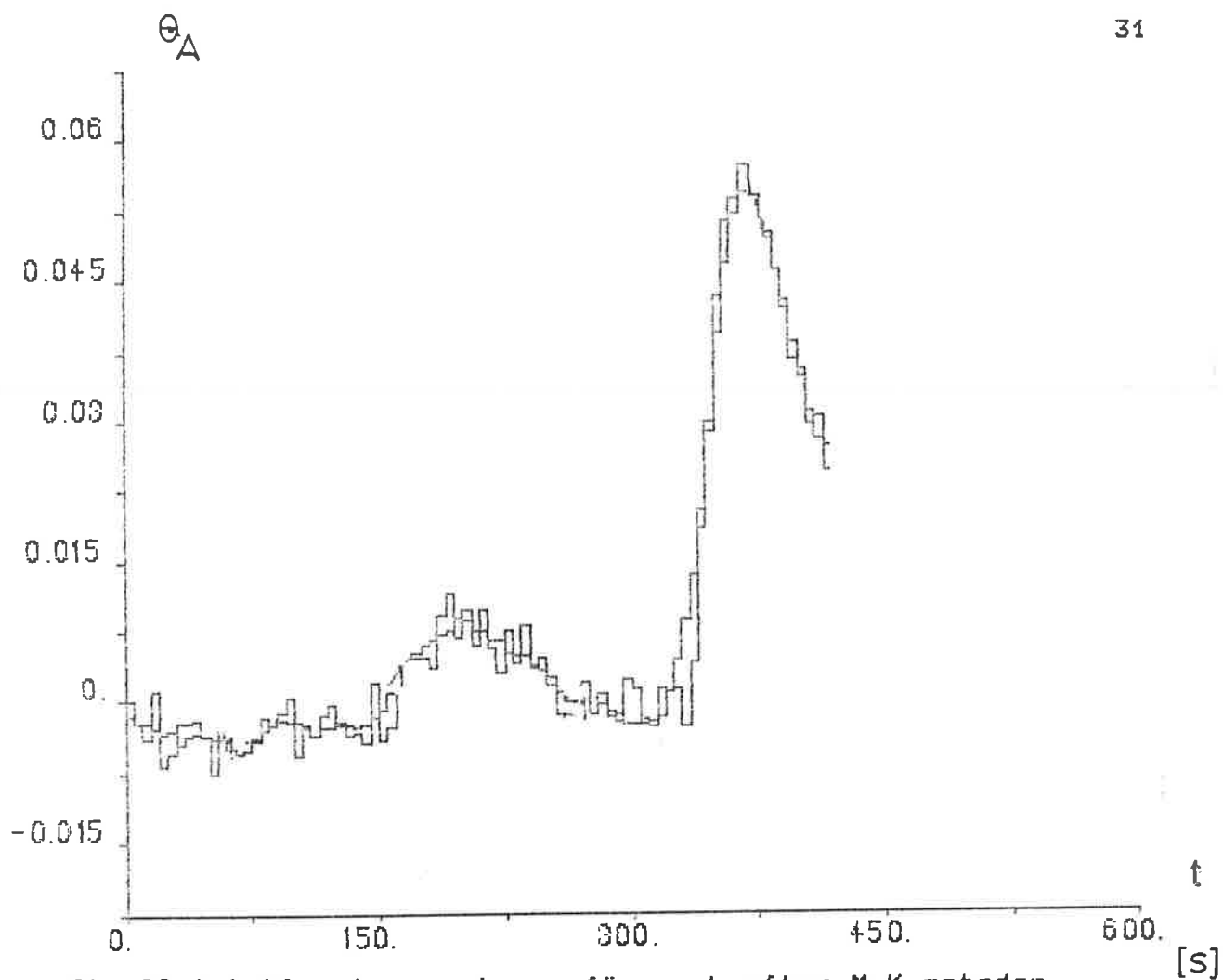


Fig.22 Autoklav temperaturen före och efter M-K metoden.

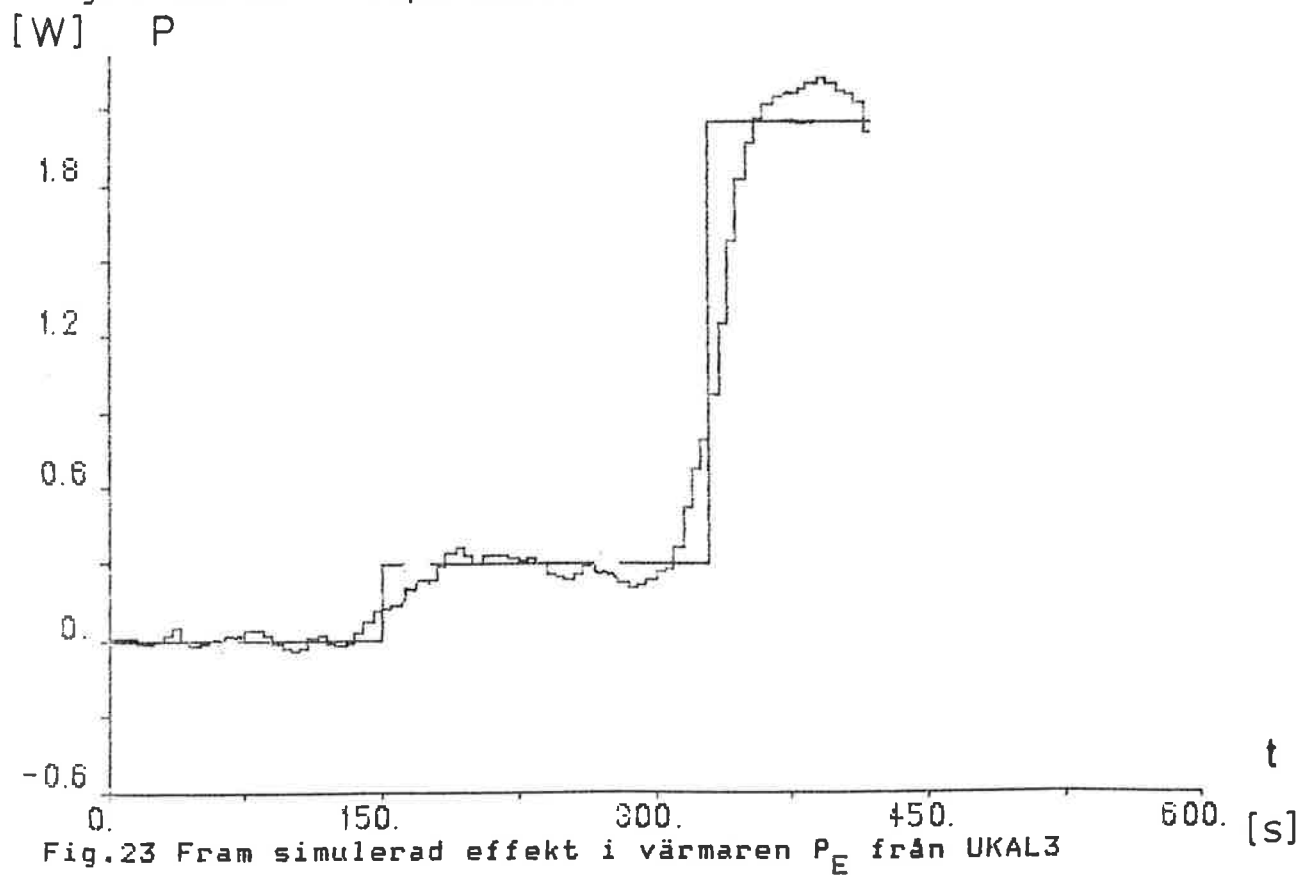


Fig.23 Fram simulerad effekt i värmaren  $P_E$  från UKAL3

Resultat analys.

Simuleringen med delmodeller gav användbara resultat för vidare simulering med hela modellen. Tyvärr var som tidigare påpekats kalibrering UKAL3 dålig man fick värdena  $K_{A,FI}$  och  $K_{P1,P2}$  till 0.40 resp. 0.55 eller 0.40 resp 0.85, fläns-  
inner temperaturen gick inte heller att anpassa. Vid simulering med hela modellen erhöles  $K_{A,FI}$  och  $K_{P1,P2}$  till 0.04 resp. 0.15 W/K.

Simulering utan invariabler gav följande tidskonstanter till resultat se tabell 9.

<u>Tab.9</u>	Tidskonstanter	[s]
$\tau_1$	$= C_A / K_{A,FI} = 430 / 2.29$	$\approx 188.0$
$\tau_2$	$= C_A / K_{A,P1} = 430 / 3.01$	$\approx 143.0$
$\tau_3$	$= C_A / K_{A,E} = 430 / 0.55$	$\approx 782.0$
$\tau_4$	$= C_A / K_{A,T} = 430 / 1.00$	$\approx 430.0$
$\tau_5$	$= C_E / K_{A,E} = 4 / 0.55$	$\approx 7.3$
$\tau_6$	$= C_T / K_{A,T} = 4 / 1.00$	$\approx 4.0$
$\tau_7$	$= C_{P1} / K_{A,P1} = 30 / 3.01$	$\approx 10.0$
$\tau_8$	$= C_{P1} / K_{P1,P2} = 30 / 0.15$	$\approx 200.0$
$\tau_9$	$= C_{P1} / K_{P1,FI} = 30 / 0.04$	$\approx 750.0$
$\tau_{10}$	$= C_{P2} / K_{P1,P2} = 30 / 0.15$	$\approx 200.0$
$\tau_{11}$	$= C_{P2} / K_{P,20} = 30 / 5.55$	$\approx 5.4$
$\tau_{12}$	$= C_{FI} / K_{A,FI} = 60 / 2.29$	$\approx 26.2$
$\tau_{13}$	$= C_{FI} / K_{P1,FI} = 60 / 0.04$	$\approx 1500.0$
$\tau_{14}$	$= C_{FI} / K_{FI,FY} = 60 / 6.5$	$\approx 9.2$
$\tau_{15}$	$= C_{FY} / K_{FI,FY} = 60 / 6.5$	$\approx 9.2$
$\tau_{16}$	$= C_{FY} / K_{FY,0} = 60 / 40$	$\approx 1.5$

Tidskonstanten  $\tau_5 = 7.3$  s kan synas något stor, utgångsvärdet på  $K_{A,E}$  var  $2.0 \text{ W/}^\circ\text{K}$  som skilljer sig ganska mycket från det framsimulerade  $0.55 \text{ W/}^\circ\text{K}$ , men simuleringarna visade att sistnämnda värde gav bra resultat. Om man använder det andra värdet får man dålig anpassning av kurvorna.  $K_{P1,FI} = 0.04 \text{ W/}^\circ\text{K}$  som ger  $\tau_{13} = 1500$  s kan också vara diskutabelt men här gäller samma resonemang som ovan.

Reaktorflänsens temperaturkurvor är inte av bra kvalitet men dessa temperaturvariationer inverkar föga på övriga reaktordelar.

Framtagningen av effekten i värmaren med minsta kvadrat metoden (se sidan 27) var ett försök som inte gav ett helt tillfredsställande resultat. Parameteruppskattningen tog mycket tid i anspråk och någon större möda att leta fram kraftfullare numeriska metoder gjordes ej. Ett annat sätt är att filtrera temperatursignalerna med t.ex ett första ordningens lågpasfilter innan man deriverar fram effekten.

Om man gör antaganden om hur effekten varierar, t.ex stegvis som här, kan man med Kalman filterliknande metoder arbeta direkt på de mätta temperaturerna för att filtrera effekten. Detta är emellertid utanför examensarbetets ram.

Den inte alltför goda överensstämmelsen mellan stationärt och simulerat  $K_{A,P1}$  avstår jag från att kommentera, då detta kräver en grundläggare analys än examensarbetet tillåter.

Litteraturförteckning.Bok

Ekman, Torgil: NUMERISKA METODER PÅ DATOR OCH DOSA.  
Lund ( SIGMA-TRYCK TLTH) 1978

Avhandling

Nilsson, Holger, Silvegren, Christer: STUDIES ON THE  
MANUFACTURE OF PVC RESINS. Lund (Avdelningen för kemisk tek-  
nologi) 1982.

Manual

Aström, Karl, Johan: A SIMNON TUTORIAL.  
Lund (Institutionen för reglerteknik) 1982.

Bilaga 1.

"SIMNON" (Aström,1982) har ofta nämnts i rapporten. Program-paketet har varit till mycken hjälp. Man måste också känna till flera system som kan kopplas till "SIMNON" speciellt "IDPAC" och "IFILE". Nedan följer en beskrivning av modellen översatt till "SIMNON". Huvudprogrammet finns i programdelen "REAK", PID-regulatorn i "CPID", programdelarna binds samman med "CONC". "IDPAC" används för att omvandla data i den fil (kallad UTKAL) där simnon läser in sina "INPUT" variabler (se INPUT i REAK). Data omvandlas på följande sätt.

1. Gå in i idpac.

```
$ IDPAC (return)
```

2. I idpac gör konverteringen av din fil. (här filen utkal).

```
> Conv utkal<utkal (1 2 3) 3 5 (return)
```

Parentesen anger kolumnerna i filen utkal därefter antalet kolumner och till sist tidssteget mellan de olika mädata i utkal.

3. lämna idpac.

```
> Stop (return)
```

Körningarna i rapporten har skett med s.k macro instruktioner (Aström,1982). Konverteringen i "IDPAC" måste kompletteras med "IFILE" för inläsning av invariablerna till simnon. Infoga följande sekvens i macro:t.

```
LET N.IFILE=3 (antalet kolumner)
```

```
LET FNAME.IFILE=UTKAL (namn på indata filen)
```

I simmons "SYST" komando måste "IFILE" anges t.ex

```
SYST REAK IFILE CPID CONC
```

Tidsavståndet mellan in variablerna anges enl.

```
PAR dt[IFILE]:5
```

i "CONC" anges också "IFILE". Simnonprogrammet kan på kommande sidor följas i sin helhet.



CONTINUOUS SYSTEM REAK  
 TIME T  
 INPUT V TTK TP1K TFIK TFK TP2K PEK

"

"

"

REAKTORMODELL

"

"

"

"

"

"

"

"

"

"

"

"

"

"

"

"

"

"

"

"

"

"A=Autoklav.

"E=Värmare.

"FI=Fläns-inner.

"FY=Fläns-ytter.

"O=Omgivningen.

"P1=Peltierelement del-1.

"P2=Peltierelement del-2.

"T=Temperatursensor.

" T i ekvationerna står för temperatur variabel.

STATE TA TE TT TP1 TP2 TFI TFK  
 DER DTA DTE DTT DTP1 DTP2 DTFI DTFK

"Temperatur derivator.

$DTA = TFI * F1 + TP1 * F2 + TE * F3 + TT * F4 - TA * (F1 + F2 + F3 + F4)$

$DTE = (TA - TE) * F5 + PEK / CE$

$DTT = (TA - TT) * F6$

$DTP1 = (TA * F7) + (TP2 * F8) + (TFI * F9) + (PP1 / CP1) - TP1 * (F7 + F8 + F9)$

$DTP2 = (TP1 * F10) + (TO * F11) + (PP2 / CP2) - TP2 * (F10 + F11)$

$DTFI = (TA * F12 + TP1 * F13 + TFK * F14) - TFI * (F12 + F13 + F14)$

DTFY=(TFI\*F15+T0\*F16)-TFY\*(F15+F16)

"Offset.

OFT:0.145
OFFI:0.0
OFFY:0.0
OFP1:0.0
OFP2:0.0
TEMP=TTK+OFT
FI=TFIK+OFFI
FY=TFYK+OFFY
P1=TP1K+OFP1
P2=TP2K+OFP2

"Omgivningens temp..

T0=0.0

"Inversa tidskonstanter.

F1=KAFI/CA
F2=KAP1/CA
F3=KAE/CA
F4=KAT/CA
F5=KAE/CE
F6=KAT/CT
F7=KAP1/CP1
F8=KP1P2/CP1
F9=KP1FI/CP1
F10=KP1P2/CP2
F11=KP20/CP2
F12=KAFI/CFI
F13=KP1FI/CFI
F14=KFIFY/CFI
F15=KFIFY/CFY
F16=KFY0/CFY

"Tillförd el-effekt (peltierelementet).

PP1=((-0.05212\*(TP1+273.15))\*I)+(R1\*I\*I)
PP2=((0.05212\*(TP2+273.15))\*I)+(R2\*I\*I)

"Ström till peltierelementet maximalt beloppet av 5 ampere.

I=IF V>5 THEN 5 ELSE IF V<-5 THEN -5 ELSE V



"Peltierelementets resistanser.

R1=0.667+0.004\*TP1
R2=0.667+0.004\*TP2

CP1:30
CP2:10
CFI:60
CFY:60
KFY0:6.0
KFIFY:5.5
KAFI:2.29
KAP1:2.97
KAE:0.45
KAT:3.54
KP1P2:0.1
KP1FI:0.03
KP20:5.4
END

"Värme övergångs konstanter.

CA:430
CE:4
CT:4



```

MACRO SIMKAL6
LET N.IFILE=6
, FNAME.IFILE=UTKAL6
SYST REAK IFILE CPID6 CONC6
par dtAIfileA:5
INIT TAAREAKA:0.018
, TTAREAKA:0.018
, TEAREAKA:3.0
, TP1:-0.53
, TP2:0.29
, TFI:0.0
, TFY:-0.0025

```

"PID-regulatorns initialvärden.

```
INIT X2ACPID6A:0.0555
```

```

PAR CA:430
, CE:4
, CTAREAKA:4
, CP1:30
, CP2:30
, CFI:60
, CFY:60
, KFY0:40
, KFIFY:6.5
, KAFI:2.29
, KAP1:3.01
, KAE:0.55
, KATAREAKA:1.00
, KP1P2:0.15
, KP1FI:0.04
, KP20:5.55

```

"Offset.

```

PAR OFT:0.0075
, OFFI:0.025
, OFFY:0.0
, OFP1:0.11
, OFP2:-0.035

```

```

SWITCH GRAPH ON
PLOT TTAREAKA TEMPAREAKA
AXES H 0 980 V -0.015 0.060
"TEXT ' Autoklav temp. UKAL6.'
"PLOT P1AREAKA TP1AREAKA
"AXES H 0 980 V -1 -0.2
"TEXT ' Peltiertemp. kall-del.'
"PLOT P2AREAKA TP2AREAKA
"AXES H 0 980 V 0.125 0.6
"TEXT ' Peltiertemp. varm-del.'
"PLOT FIAREAKA TFIAREAKA
"AXES H 0 980 V -0.10 0.10
"TEXT ' Flänsinner temp.'
"PLOT FYAREAKA TFYAREAKA

```

```

"AXES H 0 980 V -0.10 0.10
"TEXT '                               Flänsytter temp.'
"PLOT TEAREAKA
"AXES H 0 980 V 0.01 5
"TEXT '                               Värmarens temp.'
"PLOT PEKAREAKA
"AXES H 0 980 V 1.0 3.0
"TEXT '                               Effektsteg.'
SIMU 0 980
END

```

```

CONTINUOUS SYSTEM CPID6
TIME T
INPUT TT TTREF
OUTPUT V
STATE X1 X2 X3
DER DX1 DX2 DX3

```

"Reglerfelet.

E=TT-TTREF

DX1=1/T2\*(E-X1)

DX2=E/T1

DX3=1/T3\*(Z-X3)

"Integraldelen X2 kan ej bli större än beloppet av 5.

X=IF X2>5 THEN 5 ELSE IF X2<-5 THEN -5 ELSE X2

Z=E+X+(TD/T1)\*X1+(TD/T2)\*(E-X1)

"V är strömmen som levereras till peltierelementen i REAK.

V=K\*X3

T1:70

TD:3.3

T2:0.8

T3:1.3

K:2.0

END

```
CONNECTING SYSTEM CONC6  
TIME T  
TTREFACPID6A=0.018  
TTACPID6A=TTAREAKA  
VAREAKA=VACPID6A  
TTKAREAKA=C1XIFILEA  
TP1KAREAKA=C2XIFILEA  
TFIKAREAKA=C3XIFILEA  
TFYKAREAKA=C4XIFILEA  
TP2KAREAKA=C5XIFILEA  
PEKAREAKA=C6XIFILEA
```

```
END
```

Bilaga 2.

Här behandlas inläsningen av data från den kalibrerade filen som sker med pascal programmet utkd.pas där mV omvandlas till dess rättadimensioner. Programmet användes sedan till att öppna filen "UTKAL" den fil där simnon hämtar sina invariabler. Följande variabler i utkd.pas behöver förklaras.

Variablerna ges i mV.

PKPV=Peltierdel 1-Peltierdel 2

FIPK=Flänsinner-Peltierdel 1

FYFI=Flänsytter-Flänsinner

BFY=Bad-Flänsytter (Bad=omgivningen=referenstemperatur)

RESI1=Resistansen i peltierdel 1

RESI2=Resistansen i peltierdel 2

Förutom resistanserna utgör variablerna s.k temperatur gradienter. Nedan följer utkd.pas och den fil som utkd läser utkal.dat.

```
Program utkd (input,output);
```

```
Var
```

```

BPI,TR,PKPV,FIPK,FYFI,BFY,TA1,TFY,TFI,RESI1,PP1,OFFS,PE:Real;
RPM,I,TA,DT,R,TID,I1,MOM,TRYCK,RPM1,TPK,TPV,RESI2,PP2:Real;
K,RANGE                                     :Integer;
Koll                                         :Boolean;

```

```
begin
```

```
  K:=0;
```

```
  Koll:=False;
```

```
  Repeat
```

```
    if not koll then
```

```
      begin
```

```
        Readln;
```

```
        Readln (TR);
```

```
        Readln (BPI);
```

```
        Readln (RANGE);
```

```
        Koll:=True;
```

```
      end;
```

```
      K:=K+1;
```

```
      Readln (TA1);
```

```
      Readln (I1);
```

```
      Readln (MOM);
```

```
      Readln (TRYCK);
```

```
      Readln (RPM);
```

```
      Readln (PKPV);
```

```
      Readln (FIPK);
```

```
      Readln (FYFI);
```

```
      Readln (BFY);
```

```
      Readln;
```

```
      Readln;
```

```
      Readln (TID );
```

```
      DT:=exp(-3.79917+(3597.91)/(TR+273.15));
```

```
      R:=(4*DT*TA1/(0.508*150*BPI-(2*TA1)))+DT;
```

```
      I:=-I1/0.1;
```

```
      RPM:=-RPM1*10000;
```

```
      TA:=((3597.91/(ln(R)+3.79917))-273.15)-TR;
```

```
      TFY:=(0-(BFY/0.0004));
```

```
      TFI:=(TFY-(FYFI/0.0004));
```

```
      TPK:=(TFI-(FIPK/0.0004));
```

```
      TPV:=(TPK+(PKPV/0.0004));
```

```
      RESI1:=0.667+0.004*TPK;
```

```
      RESI2:=0.667+0.004*TPV;
```

```
      PP1:=(-0.05212*(TPK+TR+273.15)*I+RESI1*I*I);
```

```
      PP2:=(0.05212*(TPV+TR+273.15)*I+RESI2*I*I);
```

```
if (TID<181) then
  PE:=0.0;
if (TID>=181) and (TID<361) THEN
  PE:=0.0429*6.80;
if (TID>=361) and (TID<620) THEN
  PE:=0.1137*18.06;
if (TID>=620) and (TID<655) THEN
  PE:=0.1134*18.01;
if (TID>=655) and (TID<740) THEN
  PE:=0.1102*17.50;
if (TID>=740) and (TID<1200) THEN
  PE:=0.0429*6.80;
writeln(TA,' ',TPK,' ',TFI,' ',TFY,' ',TPV,
' ',PE:4:3);
Until EOF;

end.
```



UTKAL6

$\theta_A$	$\theta_{P1}$	$\theta_{F1}$	$\theta_{FY}$	$\theta_{P2}$	$P_E$
9.52911E-03	-8.65000E-01	-1.75000E-02	0.00000E+00	4.82500E-01	1.464
1.07803E-02	-8.55000E-01	-2.50000E-02	-2.50000E-03	4.40000E-01	1.464
-2.05994E-04	-8.02500E-01	-1.25000E-02	5.00000E-03	4.25000E-01	1.464
-1.00632E-02	-7.82500E-01	-2.75000E-02	0.00000E+00	3.55000E-01	1.464
-0.36127E-03	-7.32500E-01	-3.25000E-02	0.00000E+00	3.22500E-01	1.464
-0.25656E-02	-6.65000E-01	-2.00000E-02	5.00000E-03	3.20000E-01	1.464
-1.64413E-02	-6.27500E-01	-2.25000E-02	5.00000E-03	2.95000E-01	1.464
-1.54037E-02	-5.80000E-01	-1.75000E-02	5.00000E-03	2.87500E-01	1.464
-1.70212E-02	-5.60000E-01	-2.25000E-02	2.50000E-03	2.72500E-01	1.464
-1.45187E-02	-5.37500E-01	-2.00000E-02	7.50000E-03	2.60000E-01	1.464
-1.26877E-02	-5.30000E-01	-2.50000E-02	5.00000E-03	2.47500E-01	1.464
-8.41522E-03	-5.40000E-01	-3.50000E-02	0.00000E+00	2.42500E-01	1.464
-1.07651E-02	-5.22500E-01	-2.25000E-02	5.00000E-03	2.75000E-01	1.464
-5.51605E-03	-5.25000E-01	-2.25000E-02	5.00000E-03	2.67500E-01	1.464
-3.50189E-03	-5.35000E-01	-2.50000E-02	2.50000E-03	2.72500E-01	1.464
6.48499E-04	-5.42500E-01	-2.75000E-02	2.50000E-03	2.77500E-01	1.464
-1.09100E-03	-5.52500E-01	-3.00000E-02	0.00000E+00	2.70000E-01	1.464
2.14386E-03	-5.45000E-01	-2.50000E-02	2.50000E-03	2.82500E-01	1.464
1.01471E-03	-5.50000E-01	-2.25000E-02	0.00000E+00	2.82500E-01	1.464
2.32697E-03	-5.52500E-01	-2.00000E-02	2.50000E-03	2.85000E-01	1.464
1.07574E-03	-5.42500E-01	-1.25000E-02	5.00000E-03	2.95000E-01	1.464
5.43976E-03	-5.50000E-01	-1.50000E-02	2.50000E-03	2.95000E-01	1.464
3.60870E-03	-5.62500E-01	-2.00000E-02	0.00000E+00	2.82500E-01	1.464
5.98907E-03	-5.55000E-01	-1.75000E-02	2.50000E-03	3.00000E-01	1.464
2.90680E-03	-5.62500E-01	-2.00000E-02	0.00000E+00	2.95000E-01	1.464
2.38800E-03	-5.52500E-01	-1.25000E-02	5.00000E-03	3.05000E-01	1.464
3.94440E-03	-5.62500E-01	-2.00000E-02	0.00000E+00	3.05000E-01	1.464
5.56183E-03	-5.55000E-01	-1.50000E-02	2.50000E-03	3.05000E-01	1.464
5.01251E-03	-5.57500E-01	-1.50000E-02	2.50000E-03	3.05000E-01	1.464
1.01395E-02	-5.70000E-01	-2.25000E-02	0.00000E+00	2.95000E-01	2.367
9.59015E-03	-5.67500E-01	-2.00000E-02	0.00000E+00	2.97500E-01	2.367
1.36795E-02	-5.85000E-01	-2.25000E-02	0.00000E+00	3.17500E-01	2.367
1.55106E-02	-6.10000E-01	-1.50000E-02	2.50000E-03	3.57500E-01	2.367
3.23563E-02	-6.77500E-01	-1.75000E-02	0.00000E+00	4.02500E-01	2.367
2.55203E-02	-7.07500E-01	-1.25000E-02	0.00000E+00	4.42500E-01	2.367
4.10843E-02	-7.50000E-01	-7.50000E-03	2.50000E-03	4.62500E-01	2.367
3.88870E-02	-7.90000E-01	-2.50000E-03	2.50000E-03	4.82500E-01	2.367
3.61710E-02	-8.37500E-01	-1.00000E-02	0.00000E+00	5.00000E-01	2.367
3.00674E-02	-8.60000E-01	-7.50000E-03	0.00000E+00	4.90000E-01	2.367
3.58658E-02	-8.82500E-01	-1.00000E-02	0.00000E+00	4.85000E-01	1.464
3.14713E-02	-8.87500E-01	-7.50000E-03	0.00000E+00	5.00000E-01	1.464
3.08304E-02	-8.82500E-01	-1.00000E-02	0.00000E+00	4.82500E-01	1.464
1.70059E-02	-8.52500E-01	-1.50000E-02	0.00000E+00	4.25000E-01	1.464
8.70514E-03	-8.07500E-01	-1.50000E-02	0.00000E+00	4.05000E-01	1.464
2.84576E-03	-7.57500E-01	-2.00000E-02	0.00000E+00	3.42500E-01	1.464
8.62122E-04	-6.97500E-01	-1.75000E-02	0.00000E+00	3.20000E-01	1.464
-6.64520E-03	-6.52500E-01	-1.75000E-02	2.50000E-03	2.95000E-01	1.464
-5.24139E-03	-6.07500E-01	-1.50000E-02	2.50000E-03	3.00000E-01	1.464
-1.35117E-02	-5.82500E-01	-2.00000E-02	2.50000E-03	2.80000E-01	1.464
-3.74603E-03	-5.52500E-01	-1.50000E-02	5.00000E-03	2.70000E-01	2.367
-6.49261E-03	-5.45000E-01	-1.50000E-02	5.00000E-03	2.80000E-01	2.367
2.23541E-03	-5.47500E-01	-1.25000E-02	5.00000E-03	3.12500E-01	2.367
1.02615E-02	-5.85000E-01	-1.50000E-02	5.00000E-03	3.35000E-01	2.367
1.59073E-02	-6.27500E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	3.67500E-01	2.367
2.42386E-02	-6.77500E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	4.25000E-01	2.367
2.69241E-02	-7.32500E-01	-1.25000E-02	2.50000E-03	4.45000E-01	2.367
2.57645E-02	-7.62500E-01	0.00000E+00	7.50000E-03	4.72500E-01	2.367
3.65677E-02	-8.05000E-01	-5.00000E-03	5.00000E-03	5.00000E-01	2.367
3.29666E-02	-8.47500E-01	-1.00000E-02	2.50000E-03	4.85000E-01	2.367
2.86331E-02	-8.77500E-01	-1.50000E-02	0.00000E+00	4.82500E-01	1.464
3.14407E-02	-8.80000E-01	-1.00000E-02	2.50000E-03	5.05000E-01	1.464

2.21329E-02	-8.82500E-01	-1.50000E-02	0.00000E+00	4.67500E-01	1.464
1.21231E-02	-8.42500E-01	-1.50000E-02	0.00000E+00	4.47500E-01	1.464
5.95856E-03	-7.90000E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	4.25000E-01	2.367
3.45612E-03	-7.40000E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	3.67500E-01	2.367
2.17438E-03	-7.02500E-01	-1.25000E-02	5.00000E-03	3.62500E-01	2.367
8.88824E-03	-6.85000E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	3.72500E-01	2.367
7.48444E-03	-7.05000E-01	-1.75000E-02	2.50000E-03	3.82500E-01	1.464
1.08414E-02	-7.12500E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	4.02500E-01	1.464
9.19342E-03	-7.30000E-01	-1.00000E-02	7.50000E-03	4.15000E-01	1.464
9.68170E-03	-7.22500E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	4.00000E-01	1.464
5.43976E-03	-7.00000E-01	-1.00000E-02	7.50000E-03	3.80000E-01	1.464
2.51770E-04	-6.75000E-01	-1.00000E-02	7.50000E-03	3.47500E-01	1.464
-3.28827E-03	-6.55000E-01	-1.75000E-02	2.50000E-03	3.17500E-01	1.464
-1.27411E-03	-6.20000E-01	-1.50000E-02	5.00000E-03	3.15000E-01	1.464
-3.31879E-03	-5.92500E-01	-1.25000E-02	7.50000E-03	3.00000E-01	1.464
-7.65228E-03	-5.80000E-01	-2.00000E-02	2.50000E-03	2.85000E-01	1.464
-6.21796E-03	-5.65000E-01	-2.00000E-02	5.00000E-03	2.75000E-01	1.464
-4.69208E-03	-5.30000E-01	-2.50000E-03	1.25000E-02	3.05000E-01	1.464
-3.13568E-03	-5.37500E-01	-1.25000E-02	7.50000E-03	2.95000E-01	1.464
-5.48553E-03	-5.27500E-01	-7.50000E-03	1.00000E-02	3.00000E-01	1.464
-3.19672E-03	-5.32500E-01	-1.25000E-02	7.50000E-03	2.92500E-01	1.464
3.66974E-03	-5.25000E-01	-5.00000E-03	1.25000E-02	2.95000E-01	1.464
3.33405E-03	-5.27500E-01	-5.00000E-03	1.25000E-02	3.05000E-01	1.464
2.60162E-03	-5.40000E-01	-1.25000E-02	5.00000E-03	2.90000E-01	1.464
6.81305E-03	-5.30000E-01	-2.50000E-03	1.00000E-02	3.07500E-01	1.464
7.30133E-03	-5.40000E-01	-7.50000E-03	1.00000E-02	2.95000E-01	1.464
6.17218E-03	-5.32500E-01	2.50000E-03	1.25000E-02	3.05000E-01	1.464
5.50079E-03	-5.40000E-01	-7.50000E-03	7.50000E-03	3.12500E-01	1.464
7.57599E-03	-5.42500E-01	-7.50000E-03	7.50000E-03	3.05000E-01	1.464
7.11823E-03	-5.50000E-01	-1.25000E-02	5.00000E-03	3.00000E-01	1.464
1.12076E-02	-5.50000E-01	-1.25000E-02	5.00000E-03	3.00000E-01	1.464
9.55963E-03	-5.40000E-01	-2.50000E-03	1.00000E-02	3.07500E-01	1.464
6.72150E-03	-5.45000E-01	-7.50000E-03	7.50000E-03	2.97500E-01	1.464
8.39996E-03	-5.47500E-01	-7.50000E-03	7.50000E-03	3.05000E-01	1.464
9.31549E-03	-5.57500E-01	-1.25000E-02	5.00000E-03	2.87500E-01	1.464
1.16653E-02	-5.47500E-01	-5.00000E-03	7.50000E-03	2.95000E-01	1.464
8.27789E-03	-5.50000E-01	-5.00000E-03	7.50000E-03	3.07500E-01	1.464
8.33893E-03	-5.62500E-01	-1.50000E-02	2.50000E-03	2.97500E-01	1.464
5.01251E-03	-5.52500E-01	-5.00000E-03	1.00000E-02	3.02500E-01	1.464
8.00323E-03	-5.70000E-01	-1.75000E-02	2.50000E-03	2.95000E-01	1.464
1.21536E-02	-5.55000E-01	-7.50000E-03	7.50000E-03	3.12500E-01	1.464
1.23367E-02	-5.55000E-01	-7.50000E-03	7.50000E-03	3.05000E-01	1.464
1.16653E-02	-5.57500E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	3.02500E-01	1.464
1.02921E-02	-5.62500E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	2.97500E-01	1.464
1.41373E-02	-5.65000E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	3.07500E-01	1.464
1.22757E-02	-5.52500E-01	-5.00000E-03	7.50000E-03	3.07500E-01	1.464
9.80377E-03	-5.60000E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	2.97500E-01	1.464
1.00174E-02	-5.62500E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	3.00000E-01	1.464
1.05972E-02	-5.62500E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	3.02500E-01	1.464
1.22757E-02	-5.50000E-01	-2.50000E-03	1.00000E-02	3.00000E-01	1.464
1.12381E-02	-5.60000E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	2.90000E-01	1.464
1.00174E-02	-5.72500E-01	-1.75000E-02	2.50000E-03	2.92500E-01	1.464
9.16290E-03	-5.47500E-01	-2.50000E-03	1.00000E-02	3.10000E-01	1.464
8.82721E-03	-5.55000E-01	-7.50000E-03	7.50000E-03	2.97500E-01	1.464
7.97272E-03	-5.50000E-01	-5.00000E-03	1.00000E-02	3.00000E-01	1.464
7.78961E-03	-5.55000E-01	-7.50000E-03	5.00000E-03	3.15000E-01	1.464
1.43204E-02	-5.45000E-01	0.00000E+00	1.00000E-02	3.12500E-01	1.464
1.46866E-02	-5.52500E-01	-5.00000E-03	7.50000E-03	3.02500E-01	1.464
9.92584E-03	-5.60000E-01	-1.00000E-02	5.00000E-03	3.00000E-01	1.464
8.33893E-03	-5.65000E-01	-1.25000E-02	2.50000E-03	2.92500E-01	1.464
9.22394E-03	-5.57500E-01	-5.00000E-03	7.50000E-03	3.05000E-01	1.464

Bilaga 3.

Programmet som presenteras här i bilaga 3 är samma som i bilaga 2 men utökat med minsta kvadrat metoden, se nästa sida (Å och Å ersätter hakparanteserna [ resp. ]).

```
Program Utkd (input,output);
```

```
Const
```

```
  DELTA1=10;
  DELTA2=40;
  SAMPEL=150;
  VIKT=100;
  KJOUL=4.2;
  CE=4.0;
  ANTFUNKV=11;
  DIM=3;
```

```
Type
```

```
  Temp=Array A1..SAMPELA of Double;
  Matris1=Array A1..ANTFUNKV,1..DIMA Of Double;
  Matris2=Array A1..DIM,1..DIMA Of Double;
  Matris3=Array A1..DIM,1..ANTFUNKVA Of Double;
  Matris4=Array A1..DIM,1..DIM+1A Of Double;
  Vektor1=Array A1..DIMA Of Double;
  Vektor2=Array A1..ANTFUNKVA Of Double;
```

```
Var
```

```
  BPI,TR,PKPV,FIPK,FYFI,BFY,TT1,RESI1,PP1,OFFS:Double;
  RPM,I,DT,R,TID,I1,MOM,TRYCK,RPM1,RESI2,PP2 :Double;
  K,RANGE,Q,L :Integer;
  Koll :Boolean;
  TT,TTM,TFY,TFI,TFIM,TPK,TPKM,TPV,PE :Temp;
  DERTT,DERTF,DERTP,TA,TE :Temp;
```

```
Procedure PIVOTERING (Var ATAF:Matris4; K:Integer);
```

```
Var
```

```
  I,L:Integer;
  HJ :Array A1..DIM+1A Of Double;
```

```
Begin
```

```
  For I:=k+1 To DIM Do
```

```
    Begin
```

```
      If (ABS(ATAFAI,KA)>=ABS(ATAFAK,KA)) Then
```

```
        Begin
```

```
          For L:=1 To DIM+1 Do
```

```
            Begin
```

```
              HJALA:=ATAFAI,LA;
```

```
              ATAFAI,LA:=ATAFAK,LA;
```

```
              ATAFAK,LA:=HJALA;
```

```
            End;
```

```
          End;
```

```
        End;
```

```
    End;
```

```
Procedure GAUSSELI (Var ATA:Matris2;Var ATF,C:Vektor1);
```

```
Var
```

```
  I,J,K:Integer;
  ATAF :Matris4;
```

```
Begin
```

```
  For I:=1 To DIM Do
```

```
    Begin
```

```
      ATAFAI,DIM+1A:=ATFAIA;
```

```
    End;
```

```
  FOR I:=1 TO DIM DO
```

```
    BEGIN
```

```

FOR K:=1 TO DIM DO
  Begin
    ATAF $\bar{A}$ I,KA:=ATA $\bar{A}$ I,KA;
  End;
END;
For K:=1 To DIM Do
  Begin
    (* ATAF = ATA+ATF. *)

    PIVOTERING (ATAF,K);
    For J:=DIM+1 Downto K Do
      ATAF $\bar{A}$ K,JA:=ATAF $\bar{A}$ K,JA/ATAF $\bar{A}$ K,KA;
    For I:=K+1 To DIM Do
      Begin
        For J:=K+1 To DIM+1 Do
          ATAF $\bar{A}$ I,JA:=ATAF $\bar{A}$ I,JA-ATAF $\bar{A}$ I,KA*ATAF $\bar{A}$ K,JA;
        End;
      End; (* Slut eliminationen. *)
    For I:=DIM Downto 1 Do
      Begin
        CAIA:=ATAF $\bar{A}$ I,DIM+1 $\bar{A}$ ;
        For K:=I+1 To DIM Do
          CAIA:=CAIA-ATAF $\bar{A}$ I,KA*CAKA;
        End; (* Slut bak. substitutionen. *)
      End;
    End;

Procedure ATRANSPONAT (Var A:Matris1;Var AT:Matris3);

Var
  I,K:Integer;

Begin
  For I:=1 To DIM Do
    Begin
      For K:=1 To ANTFUNKV Do
        Begin
          If I=1 Then
            AT $\bar{A}$ I,KA:=A $\bar{A}$ K,DIMA;
          If I=2 Then
            AT $\bar{A}$ I,KA:=A $\bar{A}$ K,DIM-1 $\bar{A}$ ;
          If I=3 Then
            AT $\bar{A}$ I,KA:=A $\bar{A}$ K,DIM-2 $\bar{A}$ ;
          End;
        End;
      End;
    End;

  (* Minsta kvadrat av funktionen C1+C2*X+C3*X*X=F* *)
  (* Matris ekvationen AT*A*C=AT*F ger C. *)
  (* AT,A =matriser *)

Procedure MINKVA (Var THJ,DTHJ:Temp; K:Integer);

Var
  SUMX,SUMATA,SUMATF           :Double;
  I,L,M,N,O,S,R,Z           :Integer;
  A                           :Matris1;
  ATA                         :Matris2;
  AT                          :Matris3;
  ATF,C                       :Vektor1;

```

```

F,X,XX                :Vektor2;
THJ1                  :Temp;
Begin
  SUMX:=0.0;
  I:=0;
  Repeat
    For M:=1 To DIM Do
      Begin
        For N:=1 To ANTFUNKV Do
          Begin
            If M=(DIM-2) Then
              Begin
                AAN,MA:=1.0;
              End;
            If M=(DIM-1) Then
              Begin
                AAN,MA:=(SUMX);
                XANA:=(SUMX);
                SUMX:=SUMX+DELTA1/2;
              End;
            If (M=DIM) Then
              Begin
                AAN,MA:=XANA*XANA;
                XXANA:=XANA*XANA;
              End;
            End;
          End;
        SUMX:=(SUMX-((ANTFUNKV-1)*DELTA1/2));
        ATRANSPONAT (A,AT);
        Z:=0;
        I:=I+1;
        If (I<=K) Then
          Begin
            For S:=I To (I+ANTFUNKV-1) Do
              Begin
                Z:=Z+1;
                FAXA:=THJASA;
              End;
            End;
          End;
          Z:=0;

          (* AT*A och AT*F *)

          For L:=1 To DIM Do
            Begin
              For O:=1 To DIM Do
                Begin
                  SUMATA:=0.0;
                  SUMATF:=0.0;
                  For N:=1 To ANTFUNKV Do
                    Begin
                      SUMATA:=SUMATA+ATAO,NA*AAN,LA;
                      If L=1 Then
                        SUMATF:=SUMATF+ATAO,NA*FANA;
                    End;
                  If L=1 Then
                    ATFAOA:=SUMATF;
                    ATAEO,LA:=SUMATA;
                End;
              End;
            End;
          End;
        GAUSSELI (ATA,ATF,C);

```

```

    If I<=K Then
    Begin
        (* Den approximativa funktionen. *)

        THJ1AIA:=CA1A+CA2A*XA3A+CA3A*XXA3A;

        (* THJ:s derivata i varjepunkt *)

        DTHJAIA:=CA2A+2*(CA3A*XA3A);
    End;
    Until I=K;
    For L:=1 To k Do
        THJALA:=THJ1ALA;
    End;

    Procedure Derivata (Var TTM,TFIM,TPKM,PE,TT,DERTT:Temp; K:Integer);

    Var
        I,R                               :Integer;
        CA,F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7         :Double;
        DERTA,DERTE,PESIM                :Temp;

    Begin
        CA:=(VIKT*KJOUL)+10;
        F1:=2.29/CA;
        F2:=2.97/CA;
        F3:=0.50/CA;
        F4:=1.00/CA;
        F5:=0.50/CE;
        F6:=1.00/CE;
        F7:=F1+F2+F3+F4;
        For I:=1 to K Do
            TAAIA:=DERTTAIA/F6+TTMAIA;
            DERTAAIA:=((TAAI+1A-TAAI-1A)/DELTA1+(TAAI+2A-TAAI-2A)/DELTA2)/2;
            For I:=1 to K Do
                TEAIA:=(DERTAAIA-(TFIMAAIA*F1+TPKMAIA*F2+TTMAIA*F4)+TAAIA*F7)/F3;
                DERTEAIA:=((TEAI+1A-TEAI-1A)/DELTA1+(TEAI+2A-TEAI-2A)/DELTA2)/2;
                R:=ROUND(((ANTFUNKV-1)/2)-2);
                For I:=1 To K Do
                    PESIMAAIA:=(DERTEAIA-(TAAIA-TEAIA)*F5)*CE;
                For I:=1 To K-4 Do
                    WriteLn (PEAIA:7:5,' ',PESIMAI+RA:7:5,' ',TTAIA:7:5
                        ,',',TTMAI+RA:7:5,',',ABS(TTAIA-TTMAI+RA):7:5);
            End;

        (* Huvudprogram *)

    Begin
        K:=0;
        Koll:=False;
        Q:=Round(((ANTFUNKV-1)/2));
        Repeat
            If not koll Then
            Begin
                ReadLn (OFFS);
                ReadLn;
                ReadLn (TR);
                ReadLn (BPI);
                ReadLn (RANGE);
                Koll:=True;
            End;
        End;
    End;

```

```

K:=K+1;
Readln (TT1);
Readln (I1);
Readln (MOM);
Readln (TRYCK);
Readln (RPM);
Readln (PKPV);
Readln (FIPK);
Readln (FYFI);
Readln (BFY);
Readln;
Readln;
Readln (TID );
DT:=exp(-3.79917+(3597.91)/(TR+273.15));
R:=(4*DT*TT1/(0.508*150*BPI-(2*TT1)))+DT;
I:=-I1/0.1;
RPM:=-RPM1*10000;
TTAK+QA:=((3597.91/(ln(R)+3.79917))-273.15)-TR;
TTMAK+QA:=TTAKA;
TFYAK+QA:=(0-(BFY/0.0004));
TFIAK+QA:=(TFYAKA-(FYFI/0.0004));
TFIMAK+QA:=TFIAKA;
TPKAK+QA:=(TFIAKA-(FIPK/0.0004))+0.13;
TPKMAK+QA:=TPKAKA;
TPVAK+QA:=(TPKAKA+(PKPV/0.0004));
RESI1:=0.667+0.004*TPKAK+QA;
RESI2:=0.667+0.004*TPVAK+QA;
PP1:=(-0.05212*(TPKAK+QA+TR+273.15)*I+RESI1*I*I);
PP2:=(0.05212*(TPVAK+QA+TR+273.15)*I+RESI2*I*I);
if (TID<181) then
  PEAKA:=0.0;
if (TID>=181) and (TID<361) Then
  PEAKA:=0.0429*6.80;
if (TID>=361) and (TID<620) Then
  PEAKA:=0.1137*18.06;
if (TID>=620) and (TID<655) Then
  PEAKA:=0.1134*18.01;
if (TID>=655) and (TID<740) Then
  PEAKA:=0.1102*17.50;
if (TID>=740) and (TID<1200) Then
  PEAKA:=0.0429*6.80;

Until Eof;

(* Utfyllnad med aend punkter *)

For L:=1 To Q Do
Begin
  TTALA:=TTAQ+1A;
  TTMALA:=TTMAQ+1A;
  TFYALA:=TFYAQ+1A;
  TFIALA:=TFIAQ+1A;
  TFIMALA:=TFIMAQ+1A;
  TPKALA:=TPKAQ+1A;
  TPKMALA:=TPKMAQ+1A;
  TPVALA:=TPKAQ+1A;
End;
For L:=1 To ANTFUNKV Do
Begin
  TTAL+KA:=TTAKA;
  TTMAL+KA:=TTMAKA;

```



```
TFYÄL+KÄ:=TFYÄKÄ;  
TFIÄL+KÄ:=TFIÄKÄ;  
TFIMÄL+KÄ:=TFIMÄKÄ;  
TPKÄL+KÄ:=TPKÄKÄ;  
TPKMÄL+KÄ:=TPKMÄKÄ;  
TPVÄL+KÄ:=TPKÄKÄ;
```

End;

(\* TTM t.ex indikerar minsta kvadrat minimerad variabel \*)

```
Minkva (TTM,DERTT,K);  
Minkva (TFIM,DERTF,K);  
Minkva (TPKM,DERTP,K);  
Derivata (TTM,TFIM,TPKM,PE,TT,DERTT,K);
```

End.

Bilaga 4.

PID-regulatorns tidsform härleds ur laplace transformen.

$$i(s) = K / (1 + s\tau_3) [1 + \tau_D / \tau_I (1 + s\tau_2) + 1/s\tau_I + s\tau_D / (1 + s\tau_2)] e(s)$$

där:

$$x_1(s) = e(s) / (1 + s\tau_2)$$

$$x_2(s) = e(s) / s\tau_I$$

$$z(s) = e(s) + x_2(s) + \tau_D / \tau_I x_1(s) + \tau_D / \tau_2 (e(s) - x_1(s))$$

$$x_3(s) = z(s) / (1 + s\tau_3)$$

$$i(s) = K * x_3(s)$$

I tiden:

$$\frac{dX_1}{dt} = 1/\tau_2 (E - X_1(t))$$

$$\frac{dX_2}{dt} = E/\tau_I$$

$$\frac{dX_3}{dt} = 1/\tau_3 (Z(t) - X_3(t))$$

$$Z = E(t) + X_2(t) + \tau_D / \tau_I X_1(t) + \tau_D / \tau_2 [E(t) - X_1(t)]$$

$$I = K * X_3(t)$$

Med dessa uttryck har PID-regulatorn byggts upp i "SIMNON",  
regulatorn lämnar strömmen I.

Bilaga 5.

Av intresse att nämna är ett statistik program i "IDPAC" kallat "STAT" som kan användas efter konverteringen av utkal  
Ex.

Man vill ha statistik på kolumn 1 i utkal gör följande inuti "IDPAC".

```
> Stat utkal (1) (return)
```

På skärmen visas medelvärde, varians, korrelation och antalet mätpunkter på in variabeln i kolumn 1. Övriga upplysningar om programpaketet i simnon och idpac fås med help komandot.