



# LUND UNIVERSITY

## En dag på bruket - Studie av temperaturreglering i ångflöde

Eker, Johan; Grundelius, Mattias; Petersson, Mikael

1998

*Document Version:*  
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Eker, J., Grundelius, M., & Petersson, M. (1998). *En dag på bruket - Studie av temperaturreglering i ångflöde*. (Technical Reports TFRT-7580). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

*Total number of authors:*  
3

### 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

ISSN 0280-5316  
ISRN LUTFD2/TFRT--7580--SE

# En dag på bruket

— Studie av temperaturreglering i ångflöde

Johan Eker  
Mattias Grundelius  
Mikael Petersson

Department of Automatic Control  
Lund Institute of Technology  
November 1998

<b>Department of Automatic Control</b> <b>Lund Institute of Technology</b> <b>Box 118</b> <b>S-221 00 Lund Sweden</b>		<i>Document name</i> <b>INTERNAL REPORT</b>	
		<i>Date of issue</i> <b>November 1998</b>	
		<i>Document Number</i> <b>ISBN LUTFD2/TFRT--7580--SE</b>	
<i>Author(s)</i> <b>Johan Eker, Mattias Grundelius, and Mikael Petersson</b>		<i>Supervisor</i> <b>Tore Hägglund</b>	
		<i>Sponsoring organisation</i>	
<i>Title and subtitle</i> <b>En dag på bruket – Studie av temperaturreglering i ångflöde</b> <b>(One day at the mill – Study of temperature control in steamflow)</b>			
<i>Abstract</i> <p>A study has been done of the steam system at the pulp mill of Södra Cell in Mörrum, Sweden.</p> <p>Using step response experiments a process model for the temperature control at one cooling station has been obtained. The present controller is discussed and proposals for improvements are presented.</p>			
<i>Key words</i> <b>Case study, Identification, PID-controller, Field experience</b>			
<i>Classification system and/or index terms (if any)</i>			
<i>Supplementary bibliographical information</i>			
<i>ISSN and key title</i> <b>0280-5316</b>			<i>ISBN</i>
<i>Language</i> <b>Swedish</b>	<i>Number of pages</i> <b>9</b>	<i>Recipient's notes</i>	
<i>Security classification</i>			

The report may be ordered from the Department of Automatic Control or borrowed through:  
University Library 2, Box 3, S-221 00 Lund, Sweden  
Fax +46 46 222 44 22 E-mail ub2@ub2.lu.se

# En Dag På Bruket

## — Studie av temperaturreglering i ångflöde

Johan Eker      Mattias Grundelius  
Mikael Petersson

Institutionen för Reglerteknik, LTH

### 1. Introduktion

Vi har besökt Södra Cells pappersmassafabrik i Mörrum, och studerat en av processerna där. En viktig komponent vid tillverkning av pappersmassa är ånga.

På fabriken finns tre stycken olika sammankopplade ångnät. De olika näten har ångtrycken 57 bar, 11 bar och 3 bar. Ångan produceras till 57 bars nätet och distribueras därifrån till de andra två näten. När man använder ånga vid massatillverkning är det viktigt att den har rätt tryck och rätt temperatur. Det gäller att reglera både ångtryck och temperatur.

Det finns två ångpannor och en sodapanna i systemet som producerar ånga. Dessa levererar ånga till 57 barsnätet, varifrån den sedan reduceras till de övriga trycken. Beroende på hur många konsumenter, t.ex. kokare, som är inkopplade, varierar efterfrågan av ånga i de respektive näten. I normala fall produceras mellantrycksången och lågtrycksången av de två mottrycksturbinerna som producerar el. När behovet av låg- och mellantrycksånga överskrider produktionskapaciteten i turbinerna, används en ackumulatortank för att avhjälpa behov under kort tid och i sista fall kopplas reducerventilerna in.

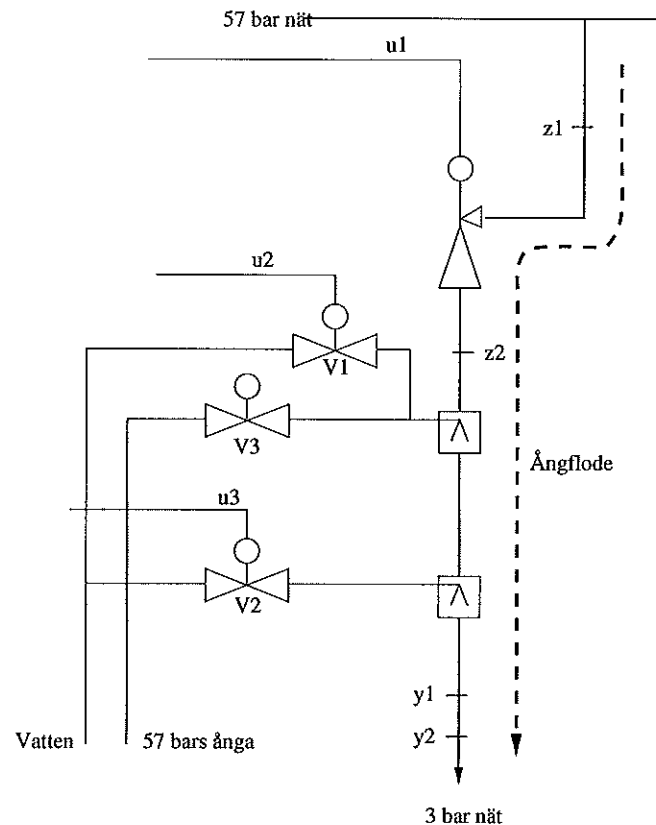
Skulle däremot det produceras mer ånga än det efterfrågas, så finns möjligheten att blåsa ut överskottet.

### 2. Processbeskrivning

Vi studerade en s.k. kylstation, se figur 1, i anslutning till reducerventilen mellan hög- och lågtrycksnätet. I kylstationen kyla ångan från 450 grader ner till cirka 150 grader (exakt vilken temperatur som ångan kyla ned till bestäms av aktuellt börvärde).

För att kyla ångan sprutar man in kallvatten via ventilerna V1 och V2. Ångans temperatur mäts sedan med givarna y1 och y2. I den övre ventilen används 57-bars ånga för att finfördela kylvattnet till en aerosol. Ju mer

finfördelat vattnet är, desto bättre kyleffekt ger det. Det finns en inbyggd tidsfördröjning i system eftersom givarna är placerade en bit ifrån ventilerna (20 ggr rördiametern). Tidsfördröjningen varierar dessutom beroende på flödet.



Figur 1 Turbinanläggning AVD650, Mörrums Bruk.

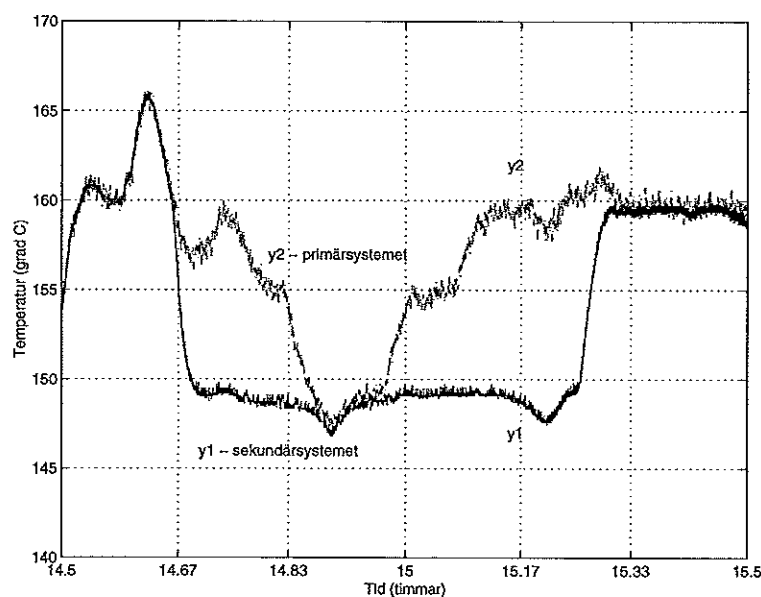
Figur 1 visar ett schema över kylstationen med följande beteckningar:

- y1 – Temperaturgivare 1
- y2 – Temperaturgivare 2
- V1 – Kylvattenventil 1
- V2 – Kylvattenventil 2
- V3 – Ångventil (öppen eller stängd)
- u1 – Styrsignal för flödesreglering
- u2 – Kylvattenreglering 1
- u3 – Kylvattenreglering 2 (backup)
- z1 – Flödesmätning (kg/s)
- z2 – Tryckmätning

Kylregleringen är uppdelad i en huvudloop och en backup-loop. Huvud-loopen använder ventil V1 som styrdon och y2 som insignal, dvs  $u2 = f(y2)$ . Ventilen V3 är alltid öppen under normal reglering. Backup-loopen har y1 som insignal och V2 som styrdon och kopplas in bara då ångtemperaturen börjar bli farligt hög.

### 3. Problem

Ångtemperaturen får absolut inte bli för hög och det är därför man har en backup-loop, som bara används i nödfall. Ett problem är att ibland hamnar småvattendroppar på temperaturgivarna. Dessa kommer då att visa alldeles för låg temperatur, se figur 2. Om det kommer vatten på givaren till huvudloopen kommer ventil V1 att börja stängas. Ångtemperaturen stiger då och backup-loopen aktiveras. Efter ett tag förångas vattnet på givaren och huvudloopen börjar fungera igen. Problemet med vattendroppar på givarna leder till oönskade svängningar i systemet.

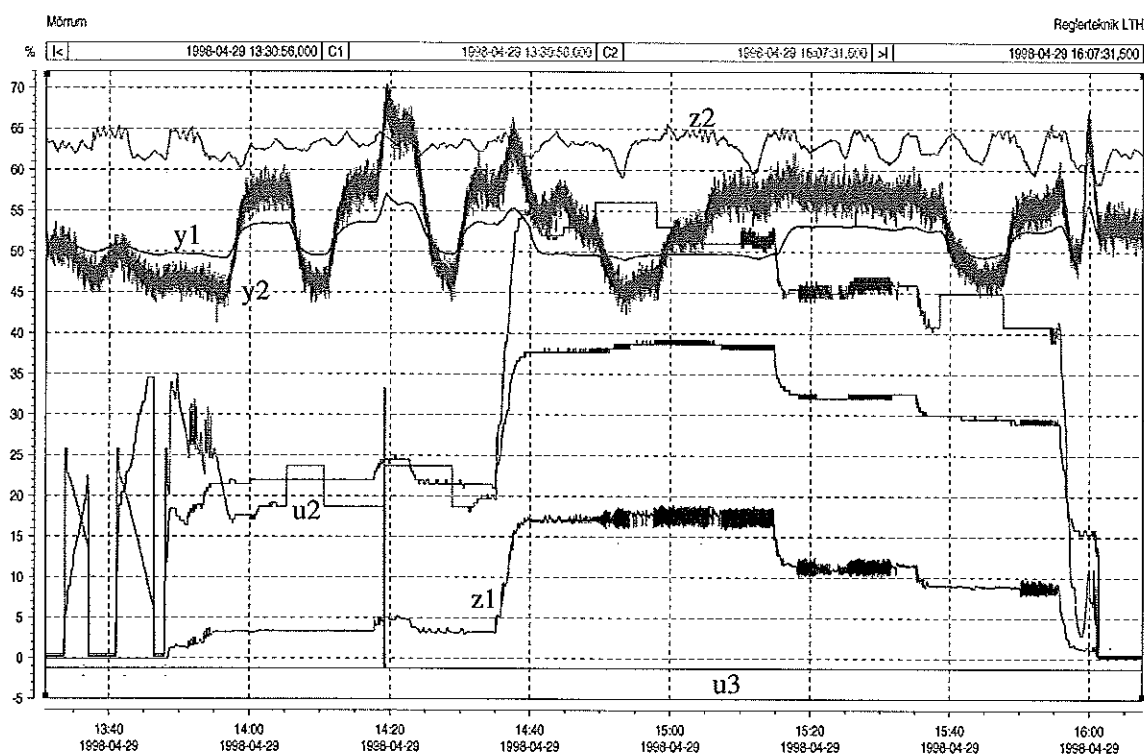


Figur 2 Effekten av vattendroppe på temperaturgivare.

I figur 2 syns hur temperatursignal y1, i reservsystemet, faller ungefär klockan 14:40 då en eller flera vattendroppar har träffat givaren. Tio minuter senare sker en ökning av kylvattenflödet vilket får ångtemperaturen att gå ner. Klockan tre återställs styrsignalen och kvart över tre har vattendropparna på reservsystemet kokat bort. Mätsignalen i reservsystemet, y1, stiger då upp till samma värde som den andra primärsystemets givare, y2, visar. Det är värt att notera att reservsystemet under en dryg halvtimme haft en för låg uppmätt temperatur.

### 4. Experiment

Vi gjorde ett ca 2.5 timmar långt experiment där vi loggade alla signalerna från Figur 1. Vi gjorde stegändringar i öppen loop med ventil V1, dvs i styrsignalen u2. Stegexperimenten gjordes för tre olika flöden (z1): 4 kg/s, 7 kg/s och 10 kg/s.



Figur 3 Mätdata från kylstationen.

Loggbok från mätningar vid Mörrums bruk, Södra Cell AB, 980429.

Tid	Anteckning
13.48	Starta flödet (4.0 kg/s)
14.04	Kylvattenssystemet i läge MAN Utsignalsändring (u2): 18.0 % → 23.0 % (4 kg/s upp) Observerat mätvärde (y2): 156 degC → 145 degC
14.10	u2: 23.0 % → 18.0 % (4 kg/s ner) y2: 145 degC → 156 degC (156 degC är börvärde för 0.3 MPa systemet)
14.17	Flödesreglering i läge AUTO Börvardenändring (BV): 4.0 kg/s → 5.0 kg/s y2: 156 degC → AVBRUTET pga utlöst larm (OBS Primärkylsystemet i läge MAN)
14.22	Flödesreglering BV: 5.0 kg/s → 4.0 kg/s y2: 163 degC → 145 degC
14.29	Kylvattenssys., utsignalsändring

<b>Tid</b>	<b>Anteckning (fortsättning)</b>
	u2: 23.0 % → 18.0 % y2: 145 degC → ??
14.31	Reglering (Primära kylvattensystemet tillbaka till läge AUTO)
14.39	Operatören har dragit upp flödet till 10 kg/s
14.44	Utsignal kylvattenregulatorn u2: 51 % → 52 % Kylvattensystemet till läge MAN
14.49	u2: 52 % → 55 % (10 kg/s upp) y2: 151 degC → (143 degC) → 145 degC (Mättnadstemperaturen för ångan är ca. 142-144 degC)
14.58	Utsignalsändring, kylv. u2: 55 % → 52 % (10 kg/s ner) y2: 145 degC → 150/151 degC
15.04	Utsignalsändring kylvattenregulatorn (för att komma upp i börvärdestemperatur (för AUTO) 155 degC) u2: 52 % → 50 % y2: 150 degC → 155 degC
15.10	Kylvattenreglering i läge AUTO (TC650233)
15.15	Flödesreglering i läge AUTO Börvärdesändring: 10 kg/s → 8 kg/s
15.21	Flödesreglering i läge MAN Utsignal u2: 32.0 % Svängning kvarstår
15.25	Flödesreglering i läge AUTO
15.35	Flödesreglering, börvärdesändring BV: 8 kg/s → 7 kg/s Kylvattenregulatorns utsignal efteråt, u2: 40 %
15.38	Kylvattenreglering i läge MAN Utsignalsändring u2: 40 % → 44 % (7 kg/s upp) y2: 155 degC → 146 degC
15.48	Kylvattenregl. Utsignalsändring, u2: 44 % → 40 % (7 kg/s ner)
15.55	Kylreglering i läge AUTO

## 5. Systemidentifiering

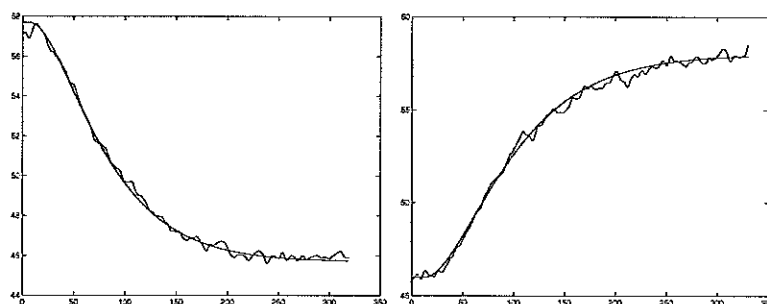
För att kunna göra reglerdesign behöver vi en systemmodell. Vi önskar en så enkel modell som möjligt som samtidigt fångar den mesta dynamiken i systemet. Efter en del experimentande valde vi en andra ordningens modell med tidsfördröjning:

$$G(s) = \frac{K}{(sT + 1)^2} e^{-sL}$$

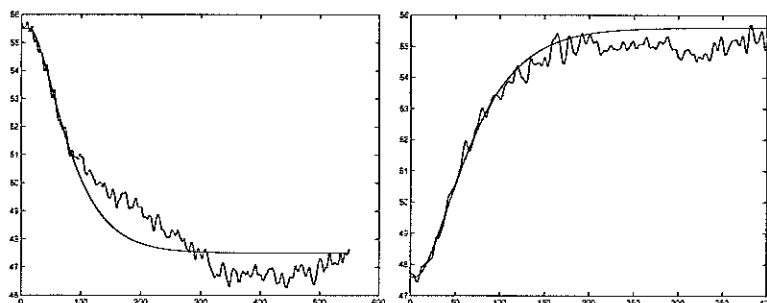
Denna modell, som har en kvadratisk term i nämnaren, visade sig fånga processdynamiken bättre än den enkla tre-parametermodellen. Båda har dock fördelen att ha lika många frihetsgrader som PID-regulatorn.

Systemparametrarna varierar beroende på flöde och riktning på steget. Följande parametrar har identifierats:

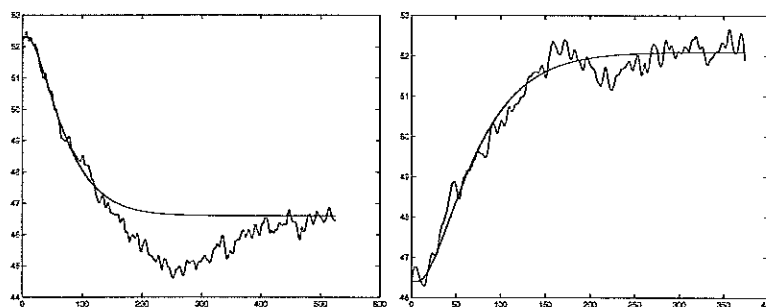
Flöde	Steg	K	T	L
4 kg/s	upp	-2.4	40	7
	ner	-2.4	47	13
7 kg/s	upp	-2.0	38	12
	ner	-2.0	35	5
10 kg/s		-1.9	35	7



**Figur 4** Identifiering vid flödet 4 kg/s. Stegsvär för ångtemperaturen när kylvat-  
tenflödet ökas (vänster) respektive minskas (höger).



**Figur 5** Identifiering vid flödet 7 kg/s.



Figur 6 Identifiering vid flödet 10 kg/s.

## 6. Design

Mörrums Bruk använder sig av ABBs styrsystem Master (numera Advant). Regulatorn som används för ångstyrningen kallas för PIDCON (PID Controller). Den har följande form

$$G(s) = K \left( 1 + \frac{1}{TIs} + \frac{TDs}{1 + TFs} \right)$$

Där  $K$  är förstärkningen,  $TI$  integrationstidskonstanten,  $TD$  derivations-tidskonstanten och  $TF$  filtertidskonstanten för derivatatermen. Regulatorns insignal, reglerfelet, är för PIDCON definierad som mätvärdet subtraherat med börvärdet.

### 6.1 Nuvarande inställning

Regulatorparametrarna är idag inställda så att regulatorn fungerar som en PI regulator.

$$G(s) = 0.4 \left( 1 + \frac{1}{70s} \right)$$

Det slutna systemets stegsvar för de olika driftfallen visas i figur 7.

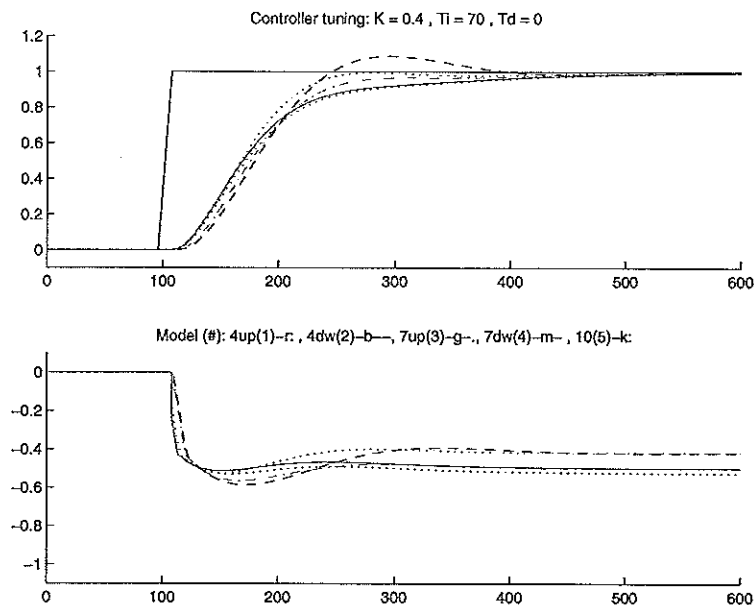
## 7. Förslag till vidare arbete

I detta kapitel redovisas olika förslag till förbättringar för att avhjälpa att vattendroppar träffar givare.

### 7.1 Utnyttjande av båda temperaturgivarna

Då båda givarna mäter samma temperatur, men endast utnyttjas i primär- respektive sekundärkylsystemet, kan det hjälpa om båda sensorerna används i respektive reglerkrets. Med en väljarfunktion kan styrsystem då välja den största signalen av de två.

Denna lösning kräver filtrering och bias-justering av signalerna, samt att signalerna ansluts till separata analoga ingångar i respektive styrsystems hårdvara.



Figur 7 Mörrums befintliga regulatorinställning; Övre figuren visar stegsvaren för de olika driftsfallen. Den undre figuren visar motsvarande styrsignaler.

## 7.2 Börvärdesfiltrering

Då operatören idag gradvis ändrar börvärdet för att undvika det betraktade problemet, kan denna funktion införas direkt i styrsystemet.

Det finns flera sätt att generera referenssignal utifrån en önskad börvärdessignal. Börvärdet kan skickas genom en hastighetbegränsare eller lågpassfiltreras innan det når regulatorn.

En mer avancerad lösning bygger på att skapa en model för hur snabbt vattnet förångas på vägen till givaren. På så sätt kan en maximal tillåten kylvattenmängd räknas fram givet processens tillstånd. En svårighet med detta förslag är att temperaturmätningen är nedströms, och att effekterna av det introducerade kylvattnet, dvs nedkylningen vid kyldysan, måste modelleras. Det senare är beroende av vattendropparnas storlek, vilket inte är känt.

## 7.3 Mekaniskt skydd

Då problemet i grunden är vattendroppar som flödar mot en givare, kan ett mekaniskt skydd, t.ex. ett trekvartscirkulärt rör sättas runt givaren med öppningen nedströms. På detta sätt mäts fortfarande temperaturen, men vattendropparna hamnar på skyddet istället för på givaren.

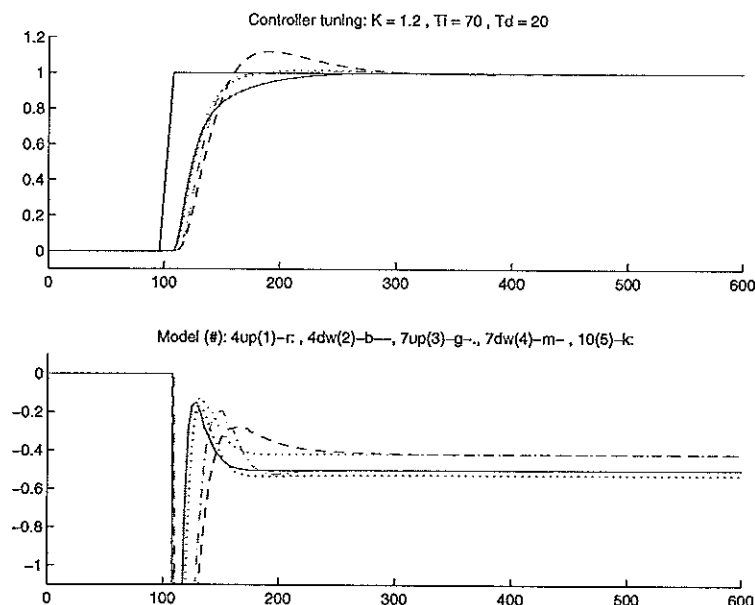
Frågan kvarstår om det i praktiken går att bygga ett sådant skydd. Kan ett skydd placeras in och i så fall till vilken kostnad? Tillåter givaren att ett skydd sätts upp?

## 7.4 Nya regulatorparametrar

Det är möjligt att snabba upp regulatorn genom att öka förstärkning, samt att dämpa stegsvaret genom att införa en derivata-del i regulatorn.

I figur 8 visas stegsvaren för de olika driftsfallen med modifierade regulatorparametrar. Denna regulator är troligen för snabb för processens dynamiska begränsningar.

Processdynamiken måste tas in i designen då ställdonets dynamik begränsar utsignalen samt för att en snabb ökning av kylvattenflödet kan leda till



**Figur 8** Uppsabadd regulator; Övre figuren visar stegsvaren för de olika driftsfallen. Den undre figuren visar motsvarande styrsignaler.

att vattendroppar fälls ut på temperaturgivarna. Detta sker på grund av att mer aerosol sprutas in i systemet än det kan förånga innan dessa når givarna. En annan orsak kan vara att ångan kyls ned under dagpunkten varpå samma effekt erhålls.

## 8. Erfarenheter

Mätutrustningen kopplades upp i ett kopplingsrum som var placerat ute i processen. Det som förvånade var att ingen personal sågs ute i fabriken då driften var normal. Operatörerna styrde processen från kontrollrummet där de hade operatörsstationer och videomonitorer som speglade processen.

Problem uppstod också när mätutrustningen kopplades in. Mätsignalen togs först inte ut från jordpotentialen, varför mätvärdena fluktuerade mycket och visade fel värden. Efter mycket grubblande och provande insåg vi under lunchen vad som var fel och kunde enkelt koppla om mätloggerns kablage.

Efter mätdata var insamlad och analysen påbörjades upptäcktes att vi genomgående hade gjort för korta stegssvarsexperiment. Det som i kontrollrummet såg ut att vara en insvängd process var i själva verket inte så. Detta kan ses i figurerna 4 till 6.

