



# LUND UNIVERSITY

## Självinställande nivåreglering i massakokeri

Sternby, Jan

1982

*Document Version:*  
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*  
Sternby, J. (1982). *Självinställande nivåreglering i massakokeri*. (Technical Reports TFRT-7238). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

*Total number of authors:*  
1

### 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

CODEN: LUTFD2/(TFRT-7238)/1-020/(1982)

SJÄLVINSTÄLLANDE NIVAREGLERING I MASSAKOKERI

JAN STERNBY

INSTITUTIONEN FÖR REGLERTEKNIK  
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA

MARS 1982

<b>LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY</b> DEPARTMENT OF AUTOMATIC CONTROL Box 725 S 220 07 Lund 7 Sweden		Document name	REPORT
		Date of issue	March
Author(s)  J Sternby		Document number	CODEN:LUTFD2/(TFRT-7238)/1-20/(1982)
		Supervisor	
Title and subtitle Självinställande nivåreglering i massakokeri. (Selftuning level control in a pulp factory.)		Sponsoring organization	
<b>Abstract</b> Selftuning controllers of minimum variance type have been tested on a level control loop in a pulp factory. Using a PID structure it was easy to make the controller work properly. To improve the performance with more complex structures it is important to choose good values for e.g. sample interval, time delay, leading b-parameter and number of parameters. It is also important for an industrial selftuner to be able to handle extreme situations, as e.g. saturation in the sensors, without destroying its process model.			
<b>Key words</b>			
Classification system and/or index terms (if any)			
Supplementary bibliographical information			
ISSN and key title		ISBN	
Language	Number of pages	Recipient's notes	
Swedish	17 + figures		
Security classification			

SJÄLVINSTÄLLANDE NIVAREGLERING I MASSAKOKERI

Jan Sternby

Department of Automatic Control

Lund Institute of Technology

Juni 1982

## 1. INLEDNING

Denna rapport beskriver ett samarbetsprojekt mellan Institutionen för reglerteknik vid LTH och AB Kamyr i Karlstad. Arbetet går ut på att prova de av institutionen utvecklade självinställande regulatorerna på några loopar i ett kontinuerligt massakokeri. Det ingår i institutionens STU-stödda projekt 'Adaptiv reglering' att föra ut forskningsresultaten till den svenska industrin, och därigenom få praktisk erfarenhet av dessa nya regulatorer. Samtidigt är förhoppningen naturligtvis att regleringen av massakokeriet skall bli bättre med dessa nya metoder än med konventionella regulatorer.

## 2. PROCESSEN

En översiktlig bild av processen visas i figur 1. Det är tre variabler som i huvudsak bestämmer resultatet av kokningen: Temperaturen, kemikaliekoncentrationen och koktiden, som bestäms av produktionen. Regleringen går alltså ut på att hålla dessa tre storheter under kontroll.

Flisen matas via flisskruven först in i toppen av förimpregneringskärlet där den impregneras med lut. Från botten av detta pumpas flisen sedan med hjälp av ett lutflöde till toppen av själva kokaren. Dit tillförs också ånga för att hålla temperaturen lagom hög, kring 160 grader. Flisen kokes sedan under transporten ner genom kokaren. För att få kokningen mera homogen tas en del lut ut en bit ner, värms upp och pumpas sedan tillbaka in i kokaren. Kokluten

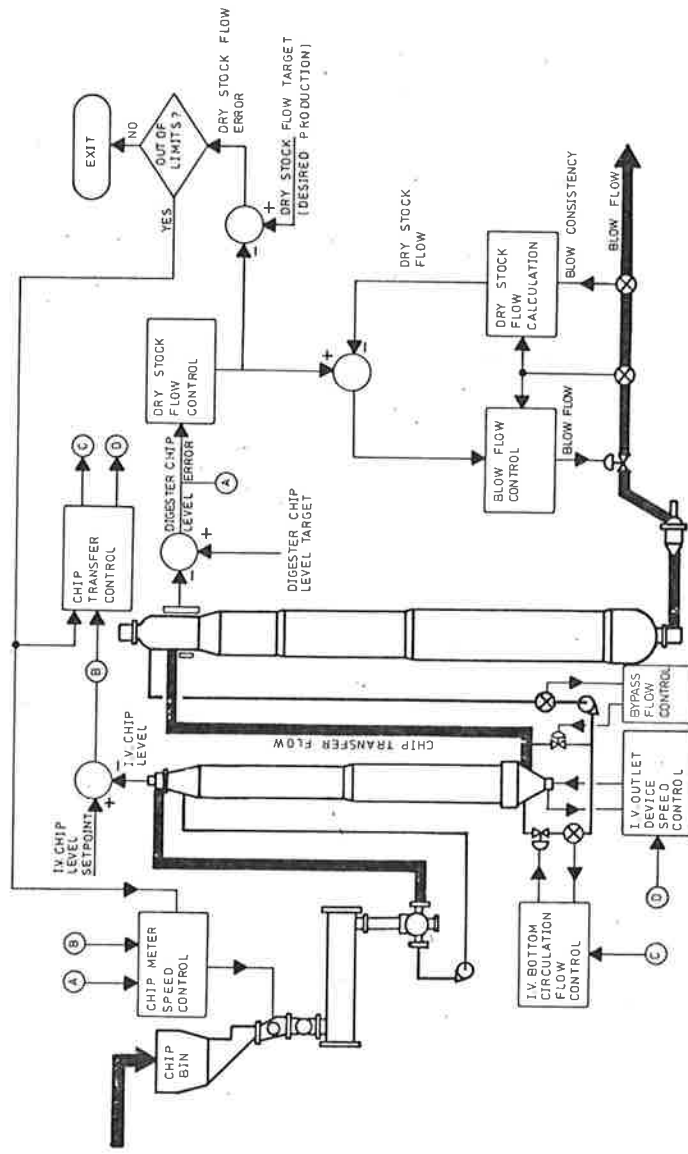


Fig. 1 - Principiell bild av ett massakokeri.

suges sedan ut ännu en bit längre ner, och massan möter då ett tvättflöde av lut som pumpas in nerifrån och får gå motströms massan. Meningen är att massan skall kylas av så att kokningen avstannar i rätt ögonblick. Efter kokaren vidarebehandlas massan, men endast själva kokningen behandlas i detta projekt.

Den totala produktionen av massa styrs med flisinmatningen, och övriga variabler måste anpassas till denna. Flisnivåerna i impregneringskärl och kokare regleras

med hjälp av bottenuttagen från resp. kärl. Dessutom påverkar kokarens flisnivå flisinmatningen. Lutnivån i kokaren hålles konstant genom att det s.k. avdragsflödet av lut regleras.

Målet med kokningen är att man skall få ner lignininnehållet i massan till en lämplig nivå för t.ex. pappersframställning. Lignininnehållet beskrivs med det s.k. kappatalet. För att styra kappatalet till sitt börvärde regleras temperaturen i kokzonen i toppen på kokaren. Kappatalet mätes genom att operatören tar ut ett massaprov varannan timme och gör en kemisk analys som tar ca tre kvart. Denna reglerkrets är mycket långsam med en ren tidsfördröjning på ungefär 10 timmar. Tidsskalan gör att det är svårt att ställa in en regulator för hand, och en självinställande regulator skulle vara till stor hjälp.

### 3. NIVAREGLERING AV FÖRIMPREGNERINGSKÄRL

I detta projekt undersöktes först regleringen av flisnivån i impregneringskärlet. För nivåmätningen används en propellerliknande anordning som sticker ner i flismassan och roteras med en motor. Torsionen i axeln tas som mått på flisnivån.

Utmatningen av flis i botten av kärlet sker med hjälp av ett roterande utmatningsbord. Utmatningen underlättas av ett extra lutflöde in i impregneringskärlet och genom utmatningsbordet. Mängden utmatad flis kan styras med varvtalet hos utmatningsbordet och storleken på det extra lutflödet, det s.k. blåsflödet.

I nuvarande system sitter en proportionell regulator som styr utmatningsbordets varvtal från mätning av flisnivån i kokare och förimpregneringskärl. Blåsflödet bestäms av en proportionell term från kokarens flisnivå, en PID-del från förimpregneringskärlets flisnivå och en framkopplingsterm från flisinmatningen. Samplingstiden är 5 sekunder.

Blåsflödesregulatorn ger endast ett börvärde till en analog flödesregulator. Detta börvärde ställs in med hjälp av pulser till en stegmotor. Det bestämdes att den självinställande regulatorn skulle inräkna den analoga flödesregulatorn och omräkningen till pulser i processen.

#### 4. GJORDA EXPERIMENT

Vår självinställande regulator kan inte på ett enkelt sätt hantera två utsignaler och vi tog därför bort kopplingen från kokarnivå till blåsflöde och utmatningsbord. Vi ansåg också att samplingsintervallet skulle vara längre än 5 sekunder och fick då justera återkopplingen i pulsuträkningen.

En PID-reglering av nivån med hjälp av blåsflödet fungerar ganska bra. I figurerna 2-3 visas blåsflöde och nivåfel i en 530 minuter lång serie (samplingsintervall 1 minut).

Den självinställande regulatorn bygger på minsta kvadrat identifiering av modellen



$$\begin{aligned}
 y(t) &= a_1 y(t-k-1) - \dots - a_{n_a} y(t-k-n_a) = \\
 &= b_0 * [u(t-k-1) + b_1 u(t-k-2) + \dots + b_{n_b} u(t-k-n_b-1)] + \\
 &\quad c_1 v(t-k-1) + \dots + c_{n_c} v(t-k-n_c)
 \end{aligned}$$

där  $b_0$  antas känd och  $v$  är en framkopplingsignal. Styrsignalen beräknas från

$$\begin{aligned}
 b_0 u(t) &= -a_1 y(t) - \dots - a_{n_a} y(t-n_a+1) - \\
 &= b_0 * [b_1 u(t-1) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b)] - \\
 &\quad - c_1 v(t) - \dots - c_{n_c} v(t-n_c+1).
 \end{aligned}$$

För att ta hand om signalnivåerna införs en integrator genom att låta  $u(t)$  betyda ändring i blåsflöde istället för blåsflödet i sig.

#### Experiment\_1 (25/10 1979)

För att använda en självinställare måste samplingsintervallet, tidsfördröjningen och antalet parametrar bestämmas och dessutom glömskefaktor, värdet på  $b_0$  och startvärdet på parametrar och kovarianser. Det ansågs att det längsta tänkbara samplingsintervallet var 20-30 sekunder, så 20 sekunder valdes för detta första experiment. Tidsfördröjningen troddes vara högst en halv minut, vilket approximerades med 2 samplingsintervall. Som första experiment ville vi se om självinställaren kunde hitta en bra inställning av PID-regulatorn. Vi satte därför  $N_A = 3$  och  $N_B = 0$ . Vi hade också kvar framkopplingen från flisinsmatningen genom att ta  $N_C = 1$ . Framkopplingsparametern hölls dock konstant genom att dess begynnelsekovarians

sattes till noll.

Den första b-parametern  $b_0$  valdes för säkerhets skull så stor som  $b_0 = 100$ . Som startvärdet på parameterskattningarna togs den PID-regulator som använts förut. För att starta försiktigt började vi med att sätta kovariansen  $P = 0$ . Glömskefaktorn valdes till 0.99. Efter en stund släpptes parametrarna genom att sätta  $P = 0.1 \cdot I$  (c-parametern ej skattad). Parametrarna såg ut att röra sig långsamt och bra, så glömskefaktorn minskades först till 0.98 och sedan till 0.96.

Styrningen var bra hela tiden, kovarianserna stabiliserades kring 0.1, men parametrarna drev långsamt iväg ända tills experimentet avbröts p.g.a. ett driftstopp. Samma parameteruppsättning användes sedan i ett nytt experiment med origo som startpunkt för skattningarna. Regleringen blev inte bra, någon bra modell hittades aldrig. Vi misstänkte då att samplingsintervall och tidsfördröjning var illa valda, och gjorde ett litet experiment genom att manuellt ändra blåsflödets börvärde i steg upp och ner. Tidsfördröjningen verkade vara 2-3 minuter. Enligt operatörerna händer ingenting inom 2 minuter. Samplingsintervallet sattes därför till 1 minut.

Experiment\_2 (25/10 1979)

Följande parameteruppsättning användes nu:

```

Ts = 1 min; NA = 3 ; NB = 0 ; NC = 1
k = 3 ; b0 = 100; λ = 0.98; P0 = 10*I (utom c)

```

Skattningarna fick starta i origo, och uppdaterades en stund i början under PID-reglering. Självinställaren konvergerade ganska snart in mot nästan samma PID-regulator som använts i processen tidigare (D-delen blev något mindre).

#### Experiment\_3 (26/10 1979)

För att om möjligt förbättra regleringen lade vi nu till två b-parametrar (NB=2) med startvärdet noll. För a-parametrarna användes samma startvärden som förut. Begynnelsekovarianserna sattes till 1 för a-parametrar och 0.1 för b-parametrar. Glömskefaktorn var 0.99 i fem steg, sedan 0.96 i femton steg tills skattningarna stabiliserats, och därefter 0.99 igen. Detta gav väldigt dålig reglering med stora långsamma svängningar varför experimentet måste avbrytas.

#### Experiment\_4 (26/10 1979)

Svängningarna skulle kunna bero på att tidsfördröjningen underskattats och vi satte därför nu  $k = 5$ . Dessutom ansågs det riskfritt att sätta  $b_0 = 50$  för att förbättra insvängningsförloppet. Startvärdet på skattningar och kovarianser valdes som i föregående experiment och glömskefaktorn sattes till 0.95. Detta verkade vara det bästa försöket dittills, men en produktionsomställning mitt i den två timmar långa serien gör det svårt att utvärdera resultatet. Nivåfelet visas i

fig. 4, självinställarens utsignal i fig. 5, blåflödet i fig. 6, a-parametrarna i fig. 7-9 och b-parametrarna i fig. 10-11. Mellan kl. 13:14 och 13:40 ökades produktionen. Flismätarens varvtal ändrades från ca 8 varv/min till 11 varv/min.

#### Experiment\_5 (8/11 1979)

Eftersom experiment 4 gick ganska bra behöll vi ungefär samma parametrar, men med  $b_0 = 10$ . Vi försökte nu införa en adaptiv framkoppling från flismatningen med två skattade c-parametrar. Som framkopplingssignal användes ändringen i flismätarsignalen förstärkt 10 gånger. Parametrarna var

$$T_s = 1 \text{ min}; \quad NA = 3; \quad NB = 2; \quad NC = 2$$

$$k = 4; \quad b_0 = 10; \quad \lambda = 0.98; \quad p_0 = 10 * I$$

Försöket började med enbart parameterskattning under PID-reglering i ca 35 min, varefter självinställaren kopplades in. Parametrarna verkade konvergera mot en regulator som ger dålig reglering, med stora svängningar med en periodtid på ca 18 min. Resultatet visas i fig. 12-22. Vi provade också med  $k = 5$  med lika dåligt resultat.

#### Experiment\_6 (8/11 1979)

För att få bort svängningarna använde vi åter samma parameteruppsättning som i experiment 5, men med  $k = 6$ . För att få snabbare konvergens sattes glömskefaktorn till 0.95. Inverkan av framkopplingen verkade vara liten, men kovariansen för framkopplingsparametrarna växte upp p.g.a.

det låga värdet på glömskefaktorn. För att renodla problemet med svängningarna plockades därför framkopplingen bort igen efter ca 30 min genom att motsvarande kovarianser sattes till noll. Efter ytterligare ca 30 min ökades glömskefaktorn till 0.98. Resultatet visas i fig. 23-33. Även i detta experiment uppstod en svängning i utsignalen, men med kortare periodtid. Parametrarna hade inte hunnit stabilisera sig när experimentet fick avbrytas, så det är tänkbart att svängningen skulle ha försvunnit senare.

#### Experiment\_2 (9/11 1979)

När man samplar ett system med tidsfördröjning finns en risk att det tidsdiskreta systemet blir icke-minimumfas. Om svängningarna beror på detta kan det hjälpa att ändra samplingsintervallet. Vi ökade därför detta till 2 min, och hade då

$$T_s = 2 \text{ min}; \quad NA = 3; \quad NB = 2; \quad NC = 0$$

$$k = 3; \quad b_0 = 10; \quad \lambda = 0.96; \quad P_0 = 10 \cdot I$$

Efter en kort stunds loggning med parameterskattning fick självinställaren reglera. Glömskefaktorn ökades till 0.99 efter ca 30 min, och sedan till 0.995 ca 75 min därefter. Resultatet visas i fig. 34-41. Utsignalen varierar ganska mycket, med en tendens till svängning, men parametrarna har förmodligen inte hunnit stabilisera sig riktigt ännu vid experimentets slut.

Under experiment 1 - 7 var blåsflödet lokalt flödesreglerat. Flödesregleringen fungerade emellertid ej när följande experiment skulle genomföras, och vi fick

därför direkt styra ventilläget. Detta ger naturligtvis en extra olinjäritet i processen och resultaten är därför inte helt jämförbara.

#### Experiment\_8 (10/3-11/3 1980)

Först gjordes försök med ett större antal b-parametrar med

$$T_s = 1 \text{ min}; \quad NA = 3; \quad NB = 5; \quad NC = 0$$

$$k = 4; \quad b_0 = 10; \quad \lambda = 0.98; \quad P_0 = 10 \cdot I$$

Skattningarnas startades som ursprungliga PID-regulatorn, och  $\lambda$  ändrades till 0.96 efter en stund. Detta gav en kraftig periodisk svängning i styrsignalen. Vi misstänkte att detta kunde bero på ett för litet  $b_0$ , och satte därför  $b_0 = 100$  och startade om med variansen 1000 för a-parametrar och 10 för b-parametrar. Resultatet visas i fig. 42-53.

En svängning initieras av att nivån i kokaren blir för hög. Därigenom stängs flisinmatningen och vår nivå i förimpregneringskärlet sjunker. P.g.a. olinjäriteten minskar då inte blåsflödet tillräckligt snabbt.

Ett misslyckat försök gjordes också att införa framkoppling från flisinmatningen i denna struktur.

#### Experiment\_9 (11/3 1980)

Som kontroll gjordes ett experiment med ren PID-struktur för den nya situationen med direkt styrning av ventilläget. Parametrarna var

$$T_s = 1 \text{ min}; \quad NA = 3 \quad ; \quad NB = NC = 0$$

$$k = 4 \quad ; \quad b_0 = 100; \quad \lambda = 0.99; \quad P_0 = 1000 * I$$

Skattningarna startades från origo. Detta gav en ganska bra regulator, men en störning på flisinmatningen kopplade ur datorregleringen mitt i försöket, vilket till viss del förstörde modellen.

#### Experiment\_10 (11/3-12/3 1980)

Ett försök gjordes också att få bättre reglering med enbart flera a-parametrar och framkoppling.

$$T_s = 1 \text{ min}; \quad NA = 5 \quad ; \quad NB = 0 \quad ; \quad NC = 1$$

$$k = 4 \quad ; \quad b_0 = 100; \quad \lambda = 0.96; \quad P_0 = 1000 * I$$

Skattningarna startades från origo, och gav bra reglering som visas i fig. 54-64. Alla parametrarna, även framkopplingen konvergerade snabbt till rimliga värden.

Den erhållna regulatorn fixerades, och fick styra processen över natten. Det gick mycket bra, med nivån hela tiden mellan 20 och 30 procent, i ca 6 timmar, tills produktionen fick nöändras till hälften. De variationer som då blev var emellertid också helt acceptabla.

Ett försök gjordes på morgonen att ånyo släppa parametrarna fria för att få regulatorn att anpassa sig till den nya, låga produktionen. Det gick ganska dåligt, men är ett svårt fall. Ventilen varierar hastigt mellan helt stängd och öppen till 1/3. Vi får dessutom en extra olinjäritet när ventilen stänger helt. Förmodligen hade PID-regulatorn inte heller klarat detta så bra, utan vi skulle här behövt den

lokala flödesregleringen.

### Experiment\_11 (12/3 1980)

Ett försök gjordes också med många b-parametrar med

$$T_s = 1 \text{ min}; \quad NA = 3; \quad NB = 8; \quad NC = 1$$

$$k = 6; \quad b_0 = 100; \quad \lambda = 0.96$$

Det verkades gå bra, men skrivaren fungerade inte, och vi började få tidsbrist, så vi hann inte testa detta fall tillräckligt.

### 5. SLUTSATSER

Experimenten kan sammanfattas som i tabell 1. Experiment 5-8 visar att 10 är för lågt värde på  $b_0$ . Det verkar däremot gå bra med  $b_0 = 50$  eller 100.

Tidsfördröjningen är förmodligen åtminstone 3 minuter. Det förklarar varför experiment 1 gick dåligt. Men även  $k = 3$  kan vara vanskligt, speciellt om produktionstakten minskar. Man bör nog därför välja  $k = 4$  eller 5.

Eftersom vi lät självinställaren arbeta på inkrement i blåflödet, innehåller PID-strukturen 3 a-parametrar, men ingen b-parameter. Det verkade som om PID-strukturen var okänsligare för fel i samplingsintervall eller tidsfördröjning än om NB ej är noll. Se t.ex. exp. 2 där k endast var 3. Om detta är en riktig iakttagelse, så kan det bero på att med  $NB = 0$  kan inte regulatorn åstadkomma någon förkortning av systemets eventuella instabila nollställen.



Tabell 1

Exp nr	$T_s$ (min)	$b_0$	NA	NB	NC	k	$\lambda$	funktion
1	1/3	100	3	0	1	2	{0.99 {0.98 (0.96	dalig
2	1	100	3	0	1	3	0.98	bra & PID
3	1	100	3	2	1	3	{0.99 {0.96 (0.99	dalig
4	1	50	3	2	1	5	0.95	bra
5	1	10	3	2	2	{4 (5	0.98	dalig
6	1	10	3	2	{2 (0	6	{0.95 (0.98	dalig
7	2	10	3	2	0	3	{0.96 {0.99 (0.995	dalig
8	1	{10 (100	3	5	0	4	{0.98 (0.96	dalig
9	1	100	3	0	0	4	0.99	bra
10	1	100	5	0	1	4	0.96	bra
11	1	100	3	8	1	6	0.96	?

Med ovanstående parametrar bestämda konvergerade självinställaren med PID-struktur lätt in till en bra regulator från start i origo. Detta bekräftar möjligheten att använda självinställare för att starta upp PID-regulatorer i en process, och sedan kanske då och då gå in och korrigera regulatorinställningarna.

Regleringen kan ytterligare förbättras genom att stoppa in fler  $a$ -parametrar, som visas av exp. 10. Med riktiga värden på  $k$  och  $b_0$  kan även  $b$ -parametrar vara till hjälp, men deras effekt är förmodligen ganska liten, och det är större risk för stabilitetsproblem.

Även effekten av framkoppling verkar vara liten. Den skulle dock behöva studeras mera.

#### 6. NÅGRA PRAKTISKA SYNPKUNKTER

Det visade sig vara svårt att få självinställaren att fungera utan att ha någon kännedom om systemet. Man bör veta så mycket i förväg att man kan välja ett samplingsintervall som är någorlunda anpassat till processens snabbhet. Man måste också kunna uppskatta processens tidsfördröjning och  $b_0$ . Här var operatörerna till stor hjälp som komplement till en enkel stegvarsundersökning på processen. Det är sedan enklare att få igång en självinställare med PID-struktur, som, om man använder inkrementell styrsignal, bara innehåller  $a$ -parametrar. En bra början är då att som startvärdet för parametrarna ta en ev. tidigare använd PID-regulator. Om man använder inkrementell styrsignal är det heller inte så farligt att starta med alla

parameterskattningar i origo, men man får då kontrollera att regulatorn inte driver iväg i en ogynnsam riktning.

När glömskefaktorn är liten måste man akta sig så att inte kovarianserna växer upp för mycket. Skattningarna blir ju också känsliga för fel i mätsignalen. Man bör därför inte ha glömskefaktorn liten mer än några få steg i början för att snabba upp konvergensen.

Med en självinställande regulator får man större problem med fel i mätsignalen än med en konstant regulator. Förutom att styrsignalen måste vara vettig, så har man ju också en processmodell som måste hållas bra för att inte senare styr signaler skall bli konstiga. Detta innebär att det kan vara bra att stoppa uppdateringen av modellen så fort man misstänker att mätsignalen inte är ett normalt svar på insignalen. Om t.ex. mätgivaren har nått sitt ena ändläge kan man stoppa uppdateringen, och använda självinställaren som en konstant regulator tills mätvärdet blir representativt igen.

Det vore önskvärt att man vid en installation av självinställare hade tillgång till en åtgärds katalog, som kunde tala om vilken eller vilka parametrar som är felvalda när det inte fungerar. En sådan katalog skulle tala om vilka loggningar av kovarianser m.m. som bör göras, och hur dessa signaler ser ut i olika fall. Grunden för detta skulle vara en systematisk undersökning av vad som händer vid felaktigt val av parametrar som  $T_s$ ,  $k$ ,  $b$ ,  $0$ ,  $NA$ ,  $NB$  osv., dels på simulerade och dels på verkliga data. Injusteringen av fungerande självinställare skulle väsentligt underlättas och snabbas upp, vilket är en nödvändig förutsättning för deras

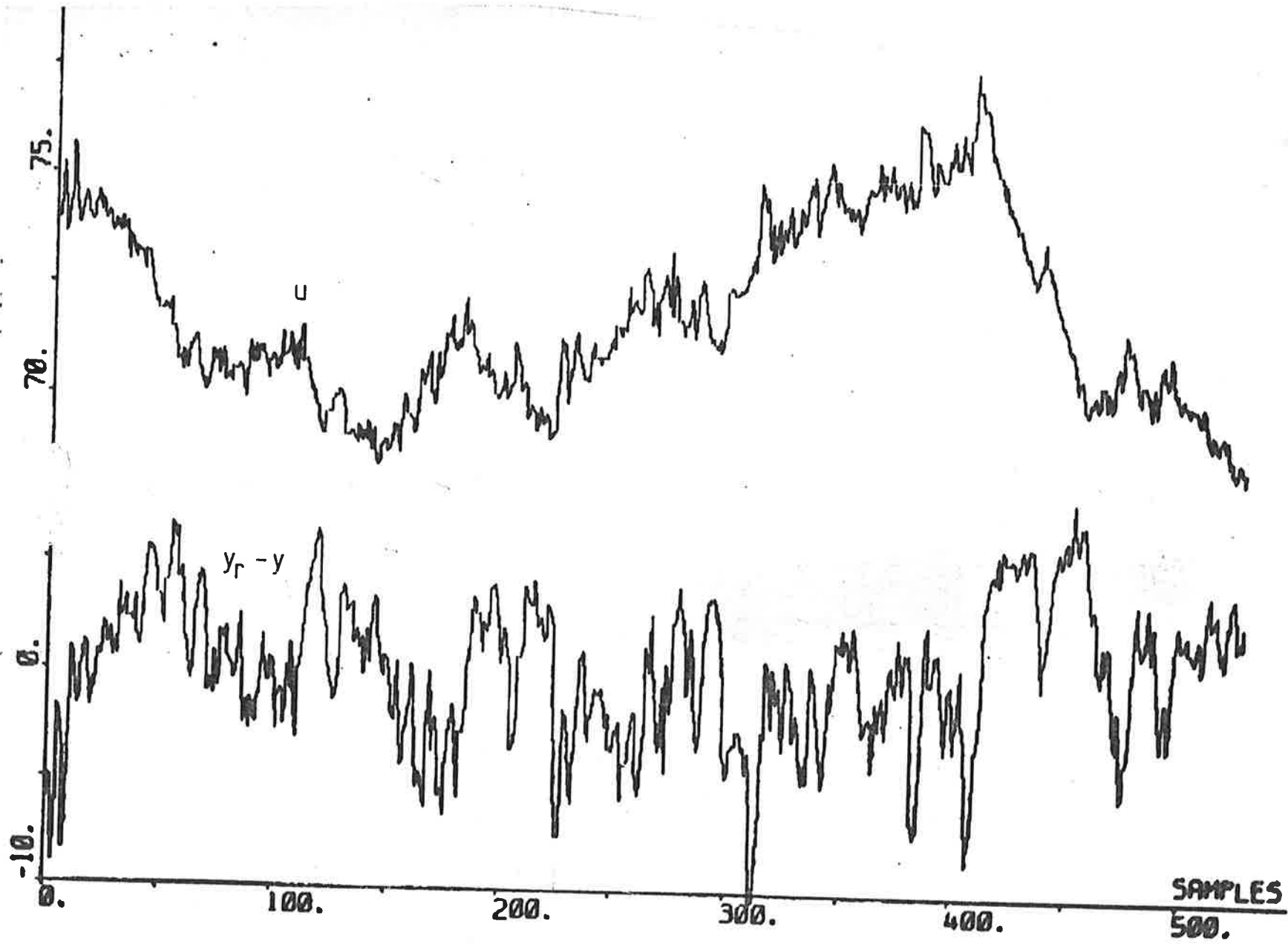


Fig. 2-3 Insignal (blåsflödesbörvärde) överst och utsignal (nivåfelet) underst under PID-reglering med 1 minuts samplingsintervall.

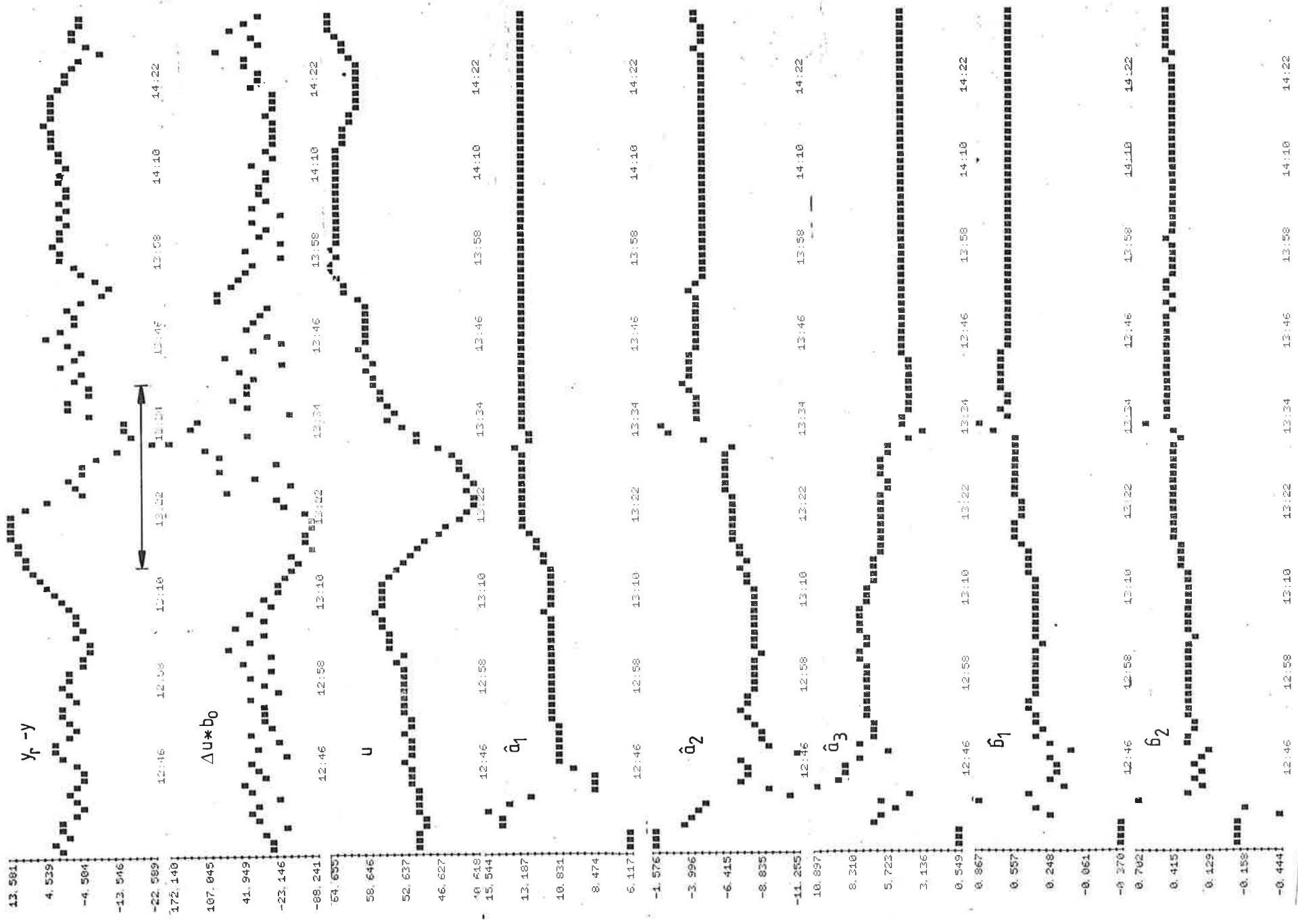


Fig. 4-11 Experiment 4.

Nivåfel, styrsignal  $\Delta u \cdot b_0$ , blåsflödesbörvärde  $u$  och fem parameterskattningar. Produktionsomställning markerad med pil i översta figuren.

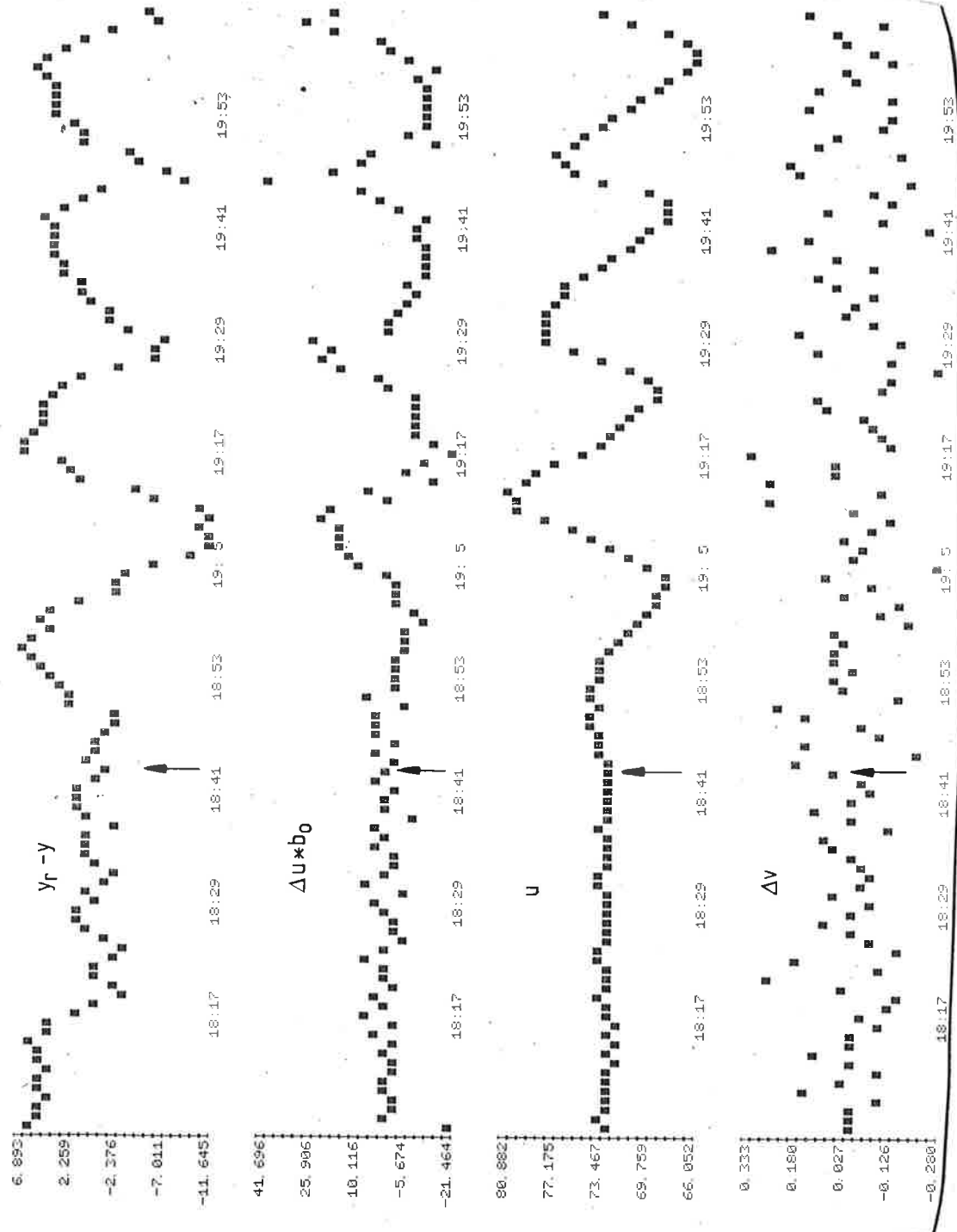


Fig. 12-15 Experiment 5.

Nivåfel, styrsignal  $\Delta u \cdot b_0$ , blåsflödesbörvärde  $u$  och ändring i flisinnmatning  $\Delta v$  (framkopplingssignal). Självinställaren styr fr.o.m. kl. 18:44 (pilen).

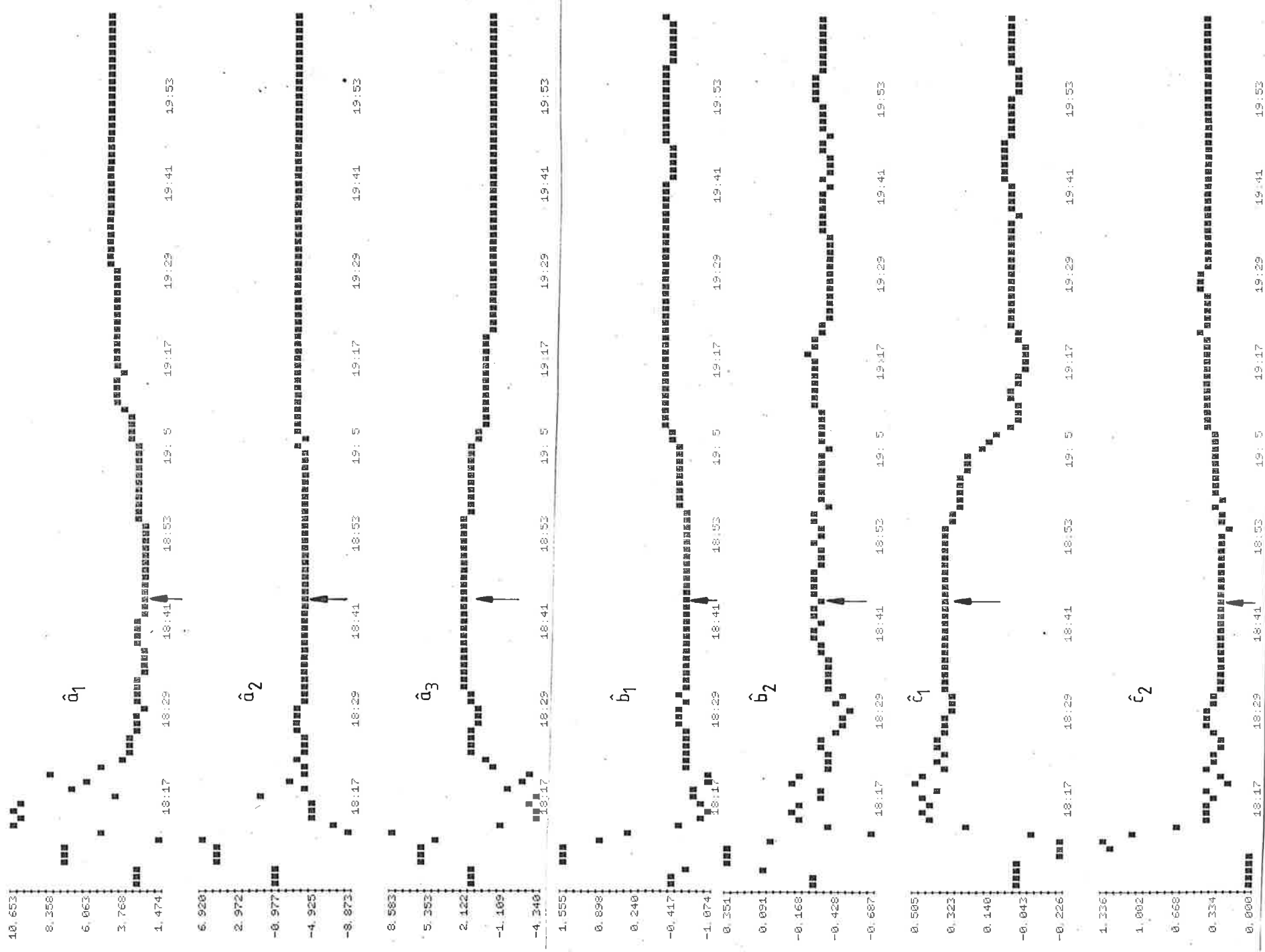


Fig. 16.22 Experiment 5.

Parameterskötningarna. Självinställaren styr fr.o.m. kl.

18:44 (pilen).

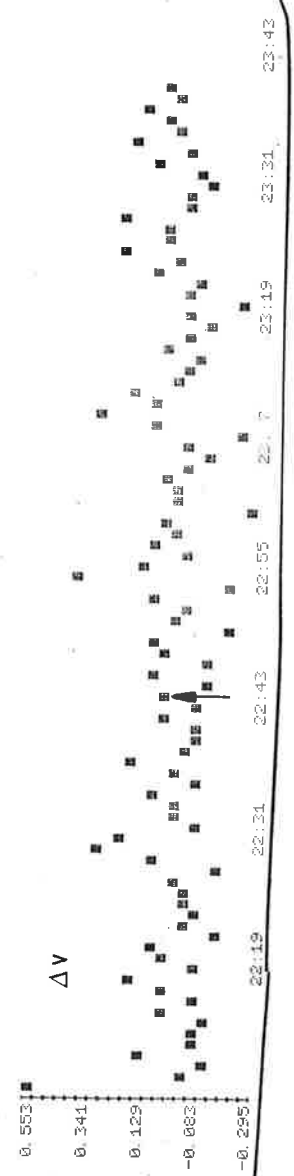
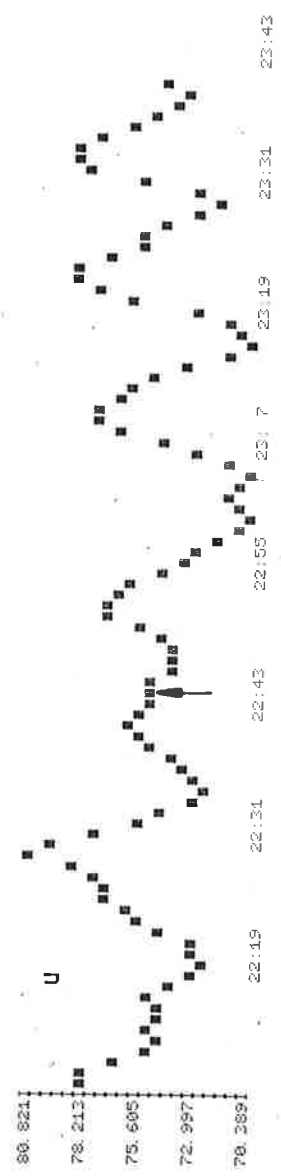
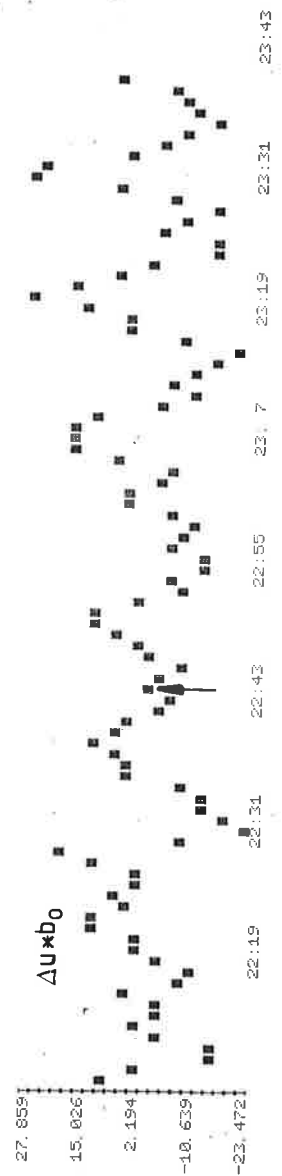
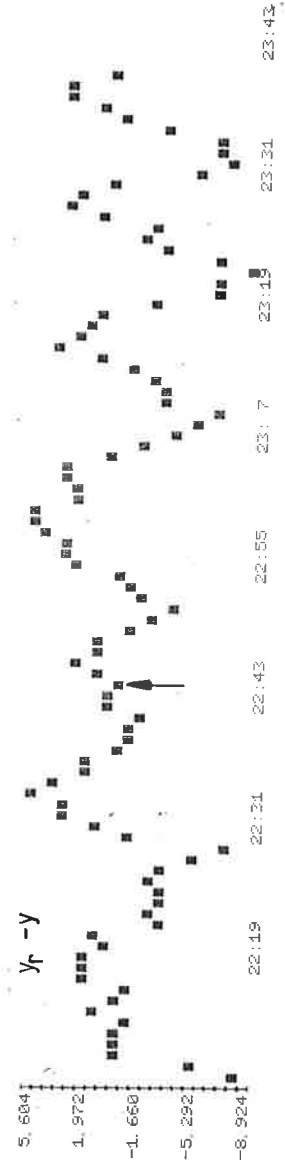


Fig. 23-26 Experiment 6.  
 Nivåfel, styrsignal  $\Delta u \cdot b_0$ , blåsflödesbörvärde u och ändring i flisimätning  $\Delta v$  (framkopplingssignal). Framkopplingen urkopplad kl. 22:43 (pilen).



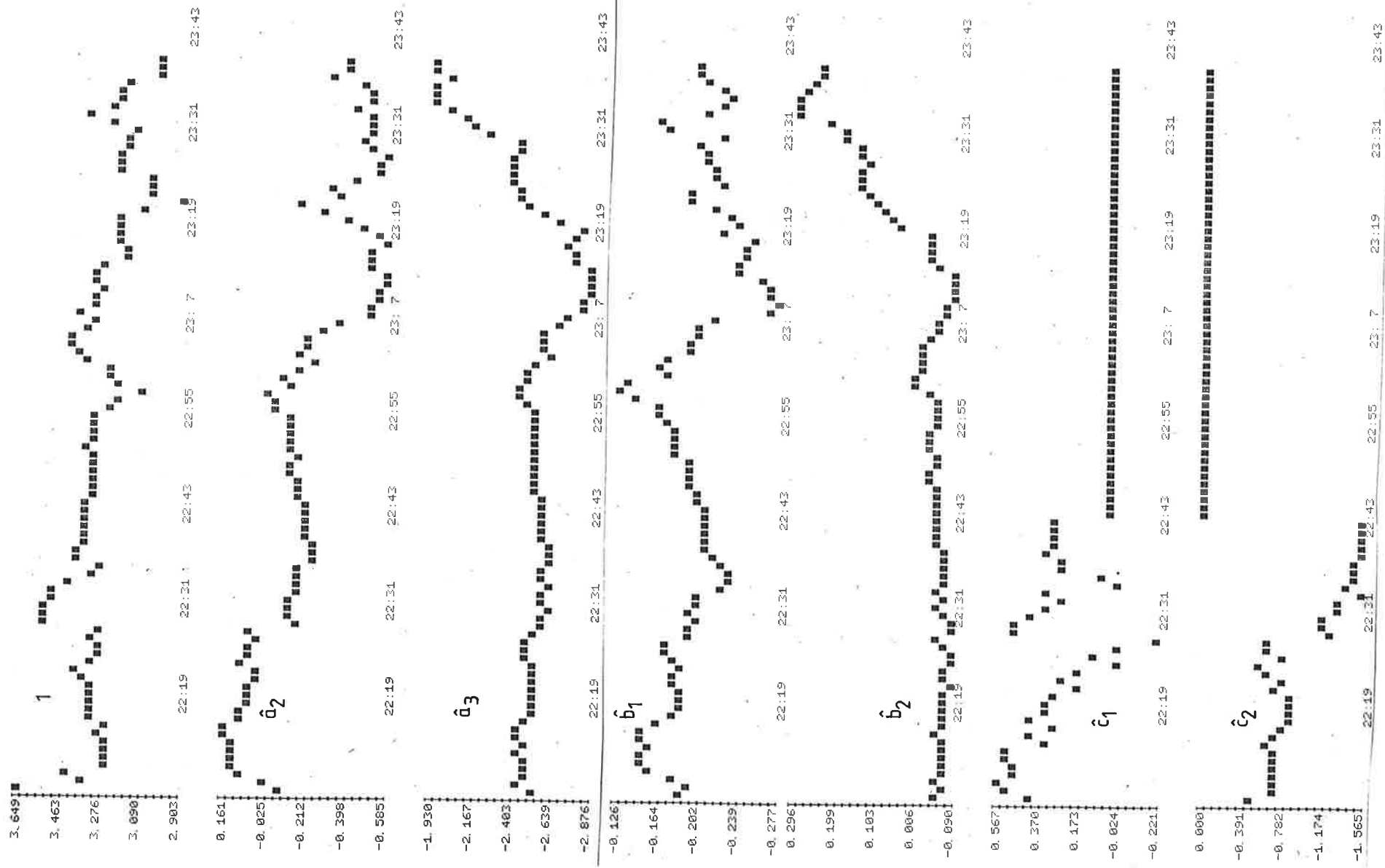


Fig. 27. 33 Experiment 6.

Parameterskattningarna. Framkopplingen urkopplad kl 22:43.

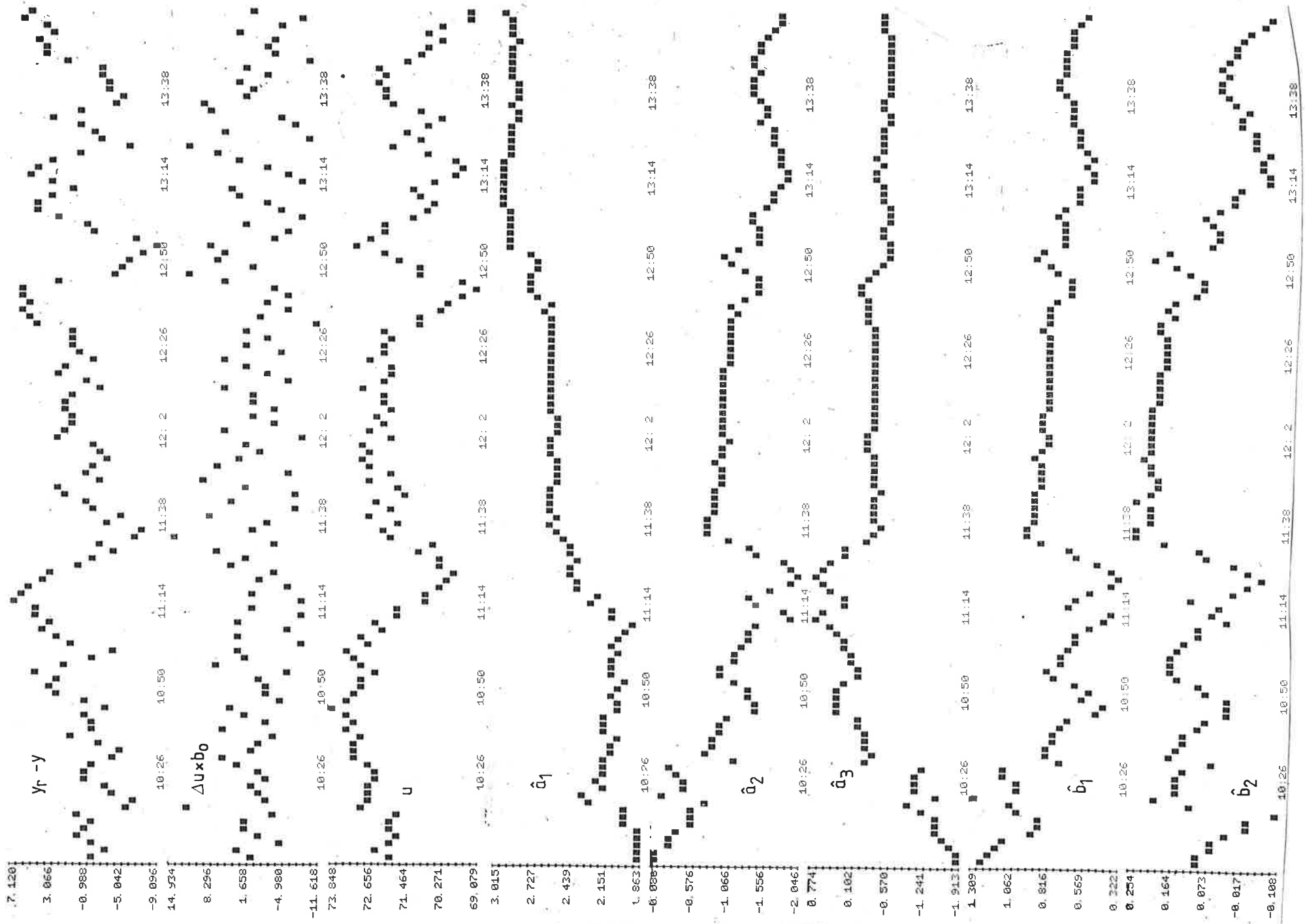


Fig. 34-41 Experiment 7.

Nivåfel, styrsignal  $\Delta u_{xb0}$ , blasflödesbörvärde  $u$  och fem parameterskattningar.

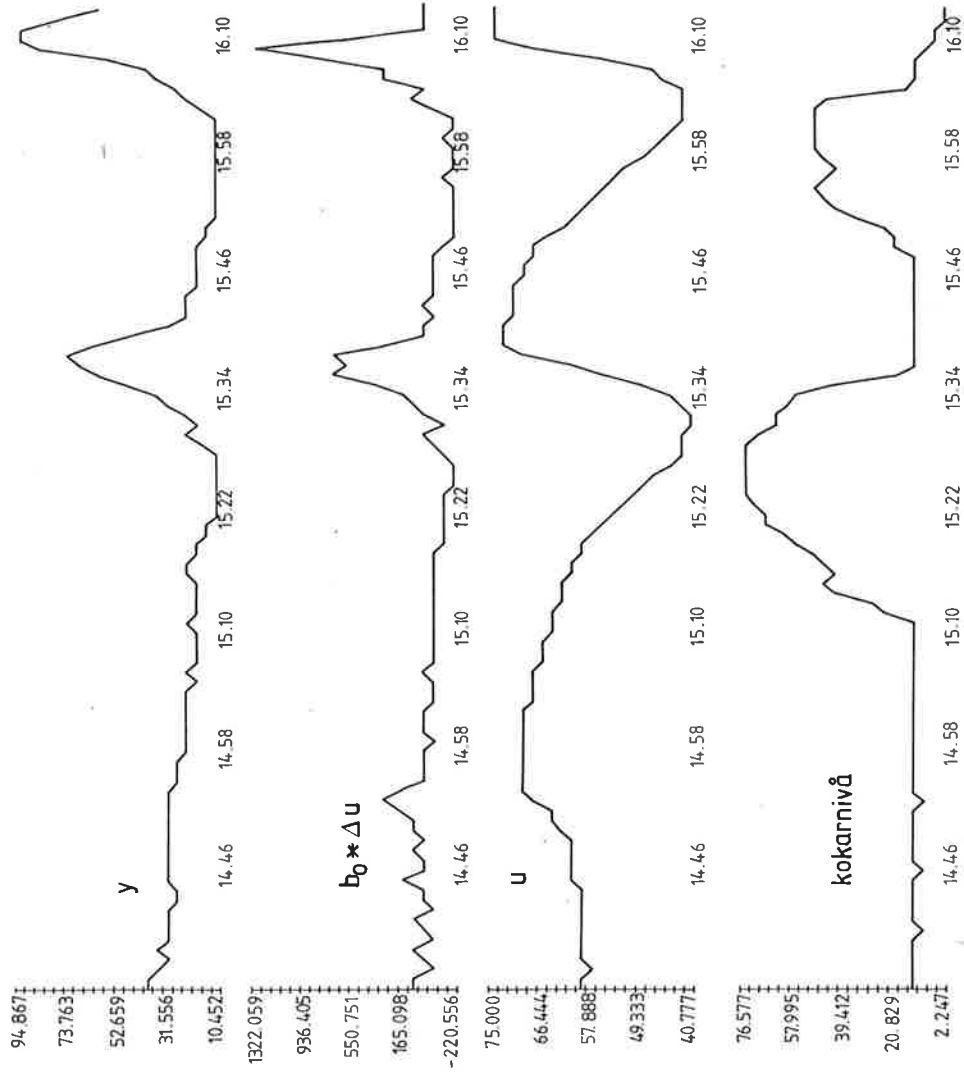


Fig. 42-45 Experiment 8.

Nivå, styrsignal  $\Delta u$ , blåsflöde u och kokarnivå.

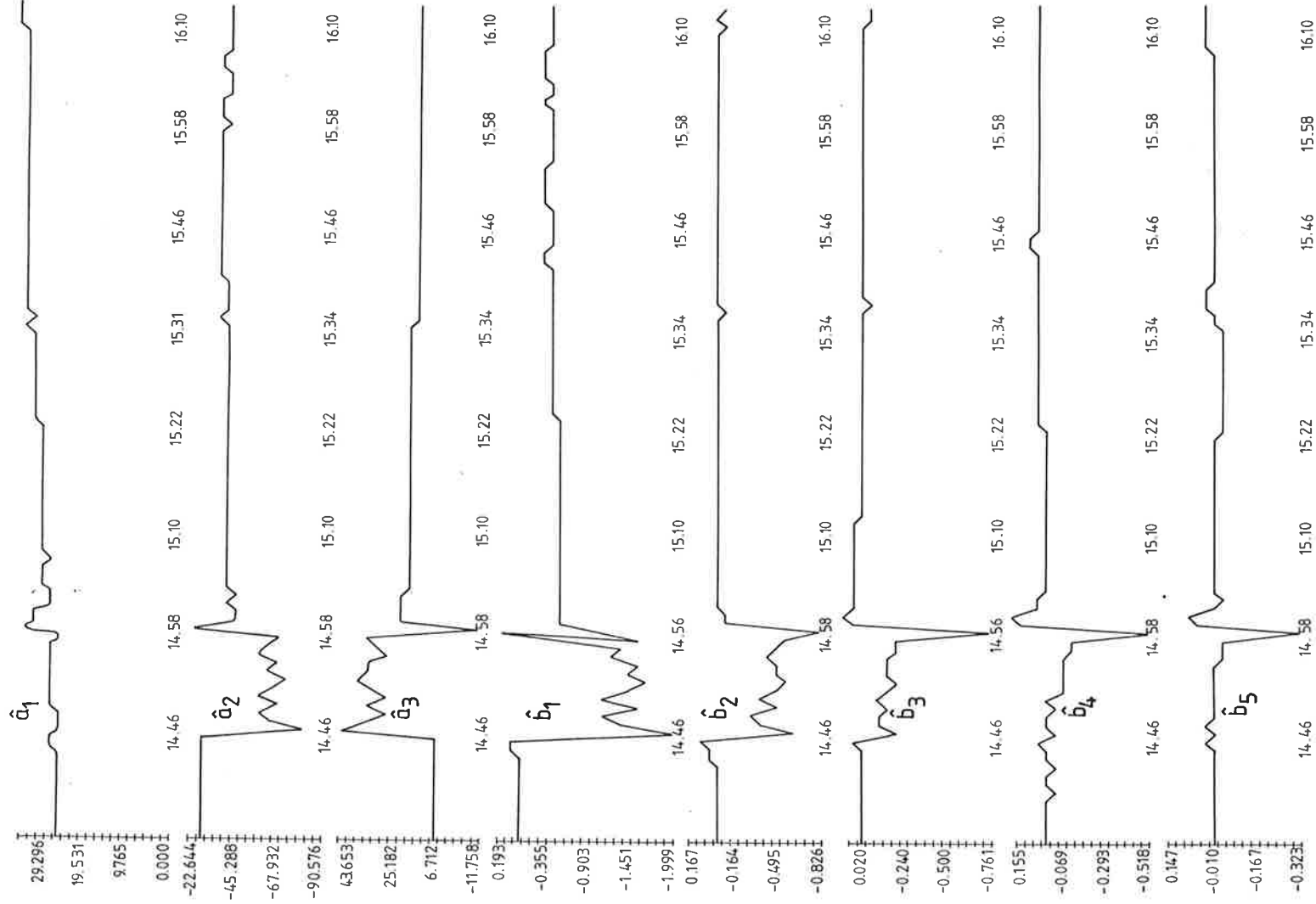


Fig. 46--53 Experiment 8.  
Parameterskattningarna  $\hat{a}_1 - \hat{a}_3$  och  $\hat{b}_1 - \hat{b}_5$ .

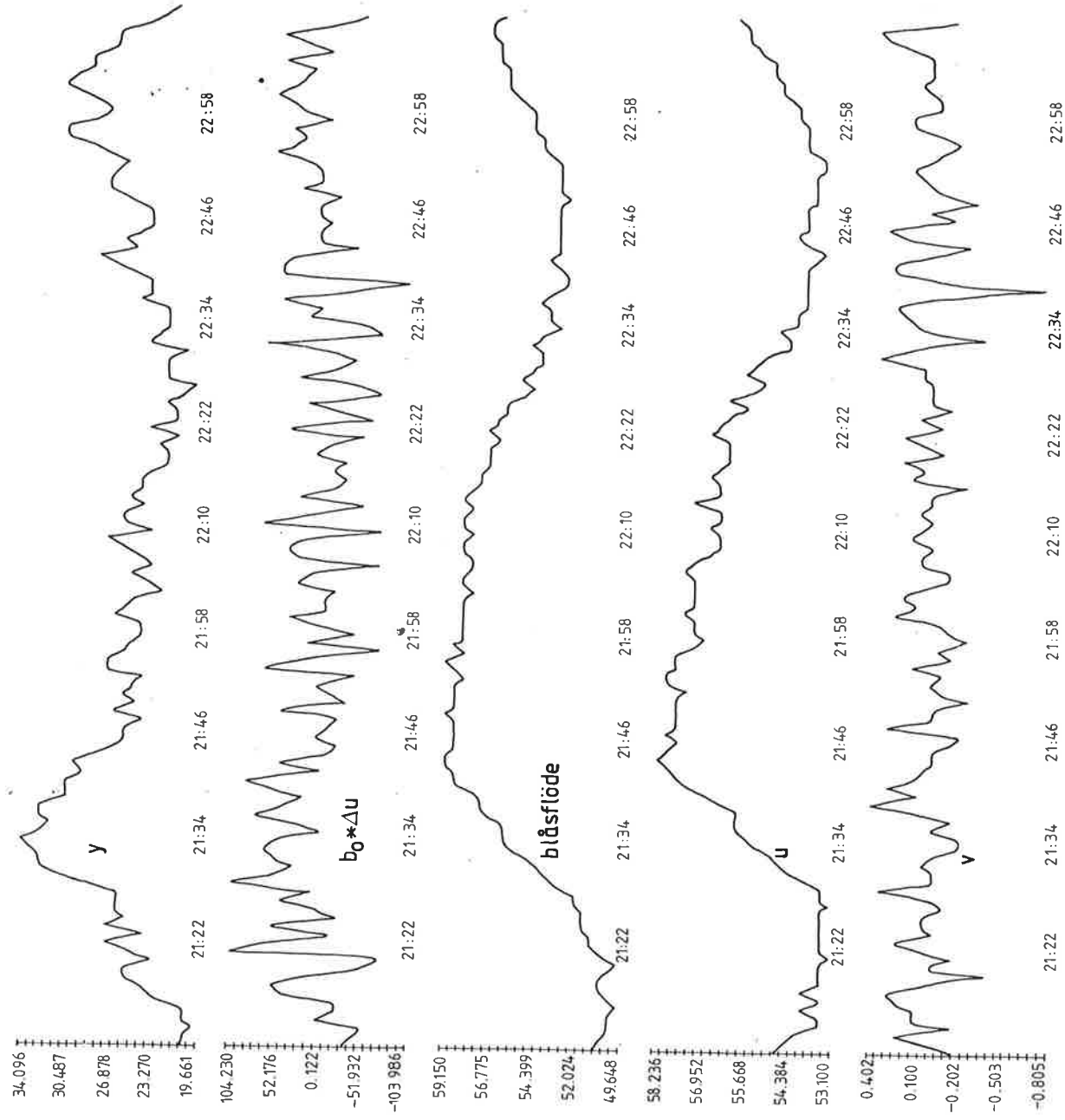


Fig. 54 - 58 Experiment 10.

Nivå, styrsignal  $\Delta u * b_0$ , önskat blåsflöde  $u$ , verkligt blåsflöde och framkopplingsignal  $\Delta v$ .

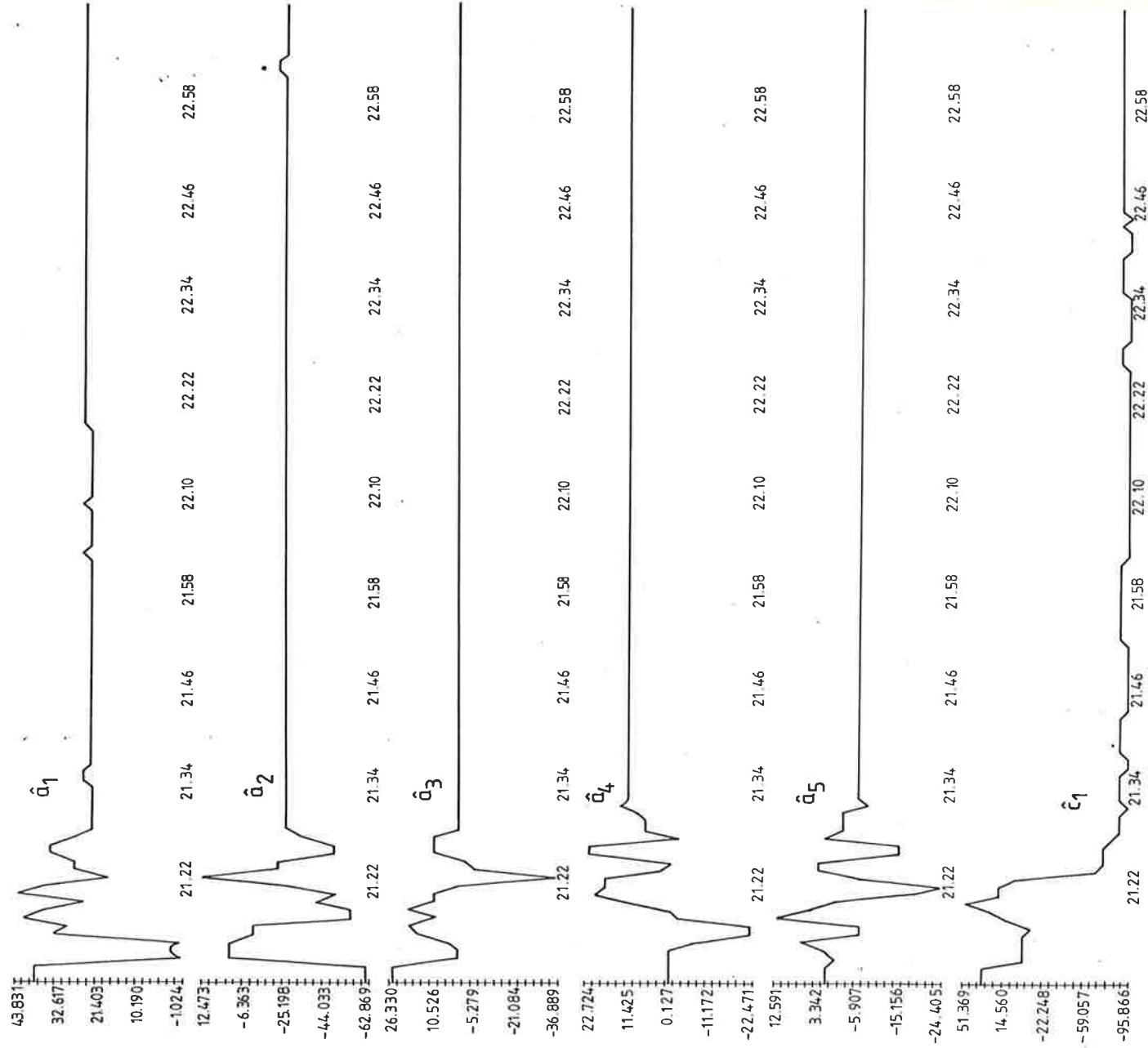


Fig. 52--64 Experiment 10.  
Parameterskattningarna  $\hat{a}_1$  -  $\hat{a}_3$  och  $\hat{c}_1$ .