

IDENTIFIERING AV DYNAMIKEN I EN GRANULERINGSPROCESS

Carl Johan Cronstedt

Leif Salmberg

IDENTIFIERING AV DYNAMIKEN I EN GRANULERINGSPROCESS

Carl Johan Cronstedt

Leif Salmberg

ANSVARIG HANDEDARE: Gustaf Olsson

ABSTRACT

In this thesis different approaches have been made to make dynamic models of a granulating process at a NPK-fertilizer plant. Experiments have been performed at the Supra NPK:plant in Landskrona, Sweden. The process was deliberately disturbed by varying the product output flow rate, and a number of variables were recorded on-line and off-line, i.e. temperatures, moisture and grain sizes.

All models are time-discrete with disturbances described a stochastic variables. Two basicly different structures have been tested, one multiple-input - single-output parameter model and one multivariable state model structure. The models have been identified based on the experimental data by use of the ML-method.

Some measurement problems make the model accuracy not satisfactory. In order to better describe how the fractions of grain sizes after the granulator depend on the sizes before the granulator, the material flow mass must be measured after the granulator. It is also difficult to accurately measure the product flow rate, because no meter is placed directly at the product output.

The models describe how the grain sizes depend on each other dynamically.

SAMMANFATTNING

Detta examensarbete är ett försök att, från olika förutsättningar beträffande grundläggande systemstruktur, bygga en dynamisk modell som beskriver granuleringsprocessen vid en NPK-gödselmedelfabrik. Arbetet grundar sig på experimentella data från NPK-fabriken vid Supra i Landskrona. Under experimentet, då variabler såsom granulfraktioner och slamtemperatur mm uppmättes, stördes processen medvetet genom variationer i produktutmatningen.

De framtagna modellerna är alla tidsdiskreta med störningar som kan karakteriseras som stokastiska variabler. Försök har gjorts med två fundamentalt olika modeller, dels en med flera insignaler och en utsignal dels en flervariabel med flera insignaler och flera utsignaler. Modellerna har anpassats till uppmätta data med hjälp av Maximum-Likelihood-metoden.

Vissa mättekniska problem gör det svårt att få god noggrannhet i modellerna. För att bättre kunna beskriva hur andelen kornfraktioner efter granulatorn beror av kornstorlekar före granulatorn måste materialströmmen efter granulatorn kunna vägas. Det är likaså svårt att noggrant fastställa produktflödets momentana värden, eftersom ingen våg finnes vid produktfickorna.

Modellerna ger dynamiska relationer mellan kornfraktionerna i tiden.

Ett stort tack till Bängt Avenberg, Lars Tede, Kornel Horvath, Ewald Carlsson och övrig personal vid Supra i Landskrona utan vars värdefulla hjälp och medverkan detta arbete inte hade varit möjligt att genomföra. Ett stort tack också till universitetslektor Gustaf Olsson och civilingenjör Claes Källström, Staffan Selander och Jan Holst för alltid lika entusiastisk hjälp och handledning.

Carl-Johan Cronstedt

Leif Salmberg

IDENTIFIERING AV DYNAMIKEN I EN GRANULERINGSPROCESS

Innehåll:	Sid.	
1.	Inledning och problemställning	1
2.	Identifieringsexperiment	3
2.1	Experimentförhållanden	4
2.2	Störsignal vid produktfickorna	7
2.3	Registrerade variabler	10
2.3.1	Kornfraktioner	10
2.3.2	Fuktprover	10
2.3.3	Temperaturer	10
2.3.4	Materialflöden	11
2.4	Experimentets utförande	17
2.5	Utvärdering av data	21
2.6	Preliminär diskussion av experimentella resultat	23
3.	Preliminär analys av data	24
3.1	Kovariansberäkningar och spektraltäthet	24
3.2	Kovarianser för de viktigaste variablerna	25
3.3	Uppskattning av impulssvaret med användning av snabb fourier transform	27
3.4	Resultat av impulsanalysen	28
3.5	Beräkning av massflöden	45
4.	ML-skattningar	50
4.1	Granulatorn	52
4.2	Modell med absoluta massflöden	54
4.2.1	Underkornsmodeller	57
4.2.2	Produktkornsmodeller	70
4.2.3	Överkornsmodeller	86
4.3	Modell med procentuella massflöden	93
4.4	Modell över kyltrummorna	100
4.5	Recirkulationsdelen	105
4.6	Modell med absoluta massflöden för recirkulationsdelen	106
4.7	Modell över slutna systemet med absoluta massflöden	137

	Sid.	
5.	Identifiering av tillståndsmodeller	160
5.1	Beskrivning av identifieringsmetoden	160
5.2	Öppna modellen	162
5.3	Val och beräkning av parametrar	162
5.4	Simulering	165
5.5	Jämförelse mellan de enkelvariabla och flervariabla identifieringarna	168
5.6	Slutna modellen	170
5.7	Val och beräkning av parametrar	171
5.8	Simulering	175
5.9	Jämförelse mellan de enkelvariabla och fler- variabla identifieringarna.	179
6.	Litteraturstudie	183
7.	Slutsatser	189
8.	Referenser	192

APPENDIX

1. Experimentella data, plottar	194
2. Program	228

1. INLEDNING OCH PROBLEMSTÄLLNING

Avsikten med detta examensarbete var att ta fram dynamiska modeller över granuleringsprocessen vid NPK-gödselmedelfabriken hos Supra i Landskrona. Förhoppningsvis skall modellerna leda fram till en bättre förståelse för hur störningar inverkar på processen samt hur dessa skulle kunna regleras bort.

Detta examensarbete kan betraktas som en fortsättning av Per Gabrielssons och Staffan Luterkorts examensarbete "Granulering - ett dynamiskt betraktelsesätt" och förutsättningarna är desamma om inget annat nämns.

Deras processkunskap och erfarenheter av processmätningarna var till stor hjälp vid planerandet och genomförandet av vår mätserie som togs den 24:e januari 1973.

Det ökade intresse, som produktionsledningen inom Supra visat för våra experiment medförde att vi denna gång hade möjlighet att generera egna störningar på processen. Detta gjorde vi för att få ett klarare samband mellan in- och utsignaler än om man endast mätt helt på processens naturliga störningar.

Syftet med vår provtagning var att efter utvärdering av data göra en preliminär analys för att finna vilka samband och vilka transporttider som råder mellan tidsserierna. Efter detta blev data anpassat till en dynamisk modell med flera insignaler och en utsignal med hjälp av institutionens dator PDP-15 och ett nytt identifieringsprogram. Idpac, som innehåller, förutom Maximum-Likelihood metoden, en rad statistiska tester på modeller och data.

En mera komplex modell erhålles om man tillåter mer än en utsignal, med koppling av sådan typ, att en viss insignal kommer att påverka flera utsignaler. Ett lämpligt sätt att beskriva ett system av detta slag är med s.k. tillståndsrepresentation. För dessa flervariabla system på tillståndsform har institutionen utarbetat ett identifieringsprogram, Strid, för UNIVAC 1108 vid Lunds datacentral. Även detta bygger på Maximum-Likelihood-metoden. Med hjälp av programmet Strid har två modeller framtagits, en "öppen" över granulatorn och en "sluten" över hela processen.

I syfte att utröna om det i litteraturen finns beskrivet dynamiska modeller över granuleringsprocessen gjordes även en litteraturstudie.

2. IDENTIFIERINGSEXPERIMENT

Mätningen på processen skulle göras på NPK fabriken i Landskrona. Mätningar skulle utföras på båda sidor om granulatorens för att i första hand identifiera dynamiken i denna. Då slam och recirkulerat gods blandas i granulatorens måste vi mäta både på recirkulerat gods och på slammet.

Genom att använda mätvärden efter granulatorens som insignaler och mätvärden före granulatorens som utsignaler kan vi sedan identifiera den återstående delen av processen. Denna del kallas recirkulationsdelen. Detta är inte helt riktigt, eftersom produkten avgår från det recirkulerade massflödet.

Det var inte möjligt för oss att kontinuerligt mäta olika kornfraktioners massa samt fukthalter, utan vi var tvungna att ta materialprover och i efterhand sikta ner och väga upp proverna. Detta går emellertid bra, då vi använder system med samplad form. Vi antar då att mätvärdena är konstanta i samplingsintervallet.

Processbeskrivning se ref. (2).

2.1 EXPERIMENTFÖRHÅLLANDEN

Mätningarna utfördes den 24.1.73. Den gödselsort som producerades var NPK 14.6.17. Fig. 2.1 visar processens materialbalansschema. I motsats till mätningarna i förra examensarbetet gick den recirkulerade delen produktkorn efter produktfickorna direkt tillbaka till granulatorens och ej över krossen.

Nedan visas recept på NPK 14.6.17 samt dosering av råvaror vid 1100 ton prod/dygn.

Recept NPK 14.6.17 72-01-24.

Sammansättning i 1 ton NPK

Ammoniumfosfat	25,63 %)	
Ammoniumnitrat	8,10 %)	slam
Ammoniumsulfat	25,41 %)	
Kaliumklorid	33,14 %		
Kieserit	4,55 %		
Colemanit	0,22 %		
Dragering	2,55 %		
Fukt	0,40 %		

Dosering av råvara vid 1100 ton prod/dygn = 45,83 ton/h

Svavelsyra 96%	26,3 l/min	
Salpetersyra 56%	203,6 l/min	
Fosforsyra -svag	195 l/min	(80 % P-mängd
-ind.	31 l/min	(20 % P-mängd
NH ₃	88,7 kg/min	
KCl	253,2 kg/min	
Kies	34,8 kg/min	
Col	1,7 kg/min	
Dragering	19,5 kg/min	

MATERIALBALANSER

$$(1) \quad FD + SD + RM = GG \qquad 17,4 + 29,5 + 157,6 = 204,5 \text{ ton/h}$$

$$(2) \quad R\text{-tal} = \frac{RM}{DOS} \qquad R\text{-tal} = \frac{157,6}{44,7} = 3,5$$

$$(3) \quad FD + SD\left(1 - \frac{H_2O}{100}\right) + H_2O_{\text{prod}} = DOS \qquad 17,4 + 29,5(1 - 0,08) + 0,2 = 44,7 \text{ ton/h}$$

$$(4) \quad R\text{-våg} = RM + FD \qquad R\text{-våg} = 157,6 + 17,4 = 175 \text{ ton/h}$$

Vattenbalans

$$(5) \quad RM \cdot f_{RM} + FD \cdot f_{FD} + SD \cdot f_{SD} = GG \cdot f_{GG} - f_{\text{avd}}$$

ex.

$$157,6 \cdot \frac{0,4}{100} + 17,4 \cdot \frac{0,4}{100} + 29,5 \cdot \frac{8}{100} = 204,5 \cdot \frac{1,50}{100} = 3,06 \text{ ton/h}$$

Teckenförklaring:

FD = dosering av fasta råvaror

SD = dosering av slam

RM = recirkulerat gods

GG = gods efter granulatorn

R-tal = recirkulationstal

DOS = total dosering

f_{RM} = fukthalt på RM

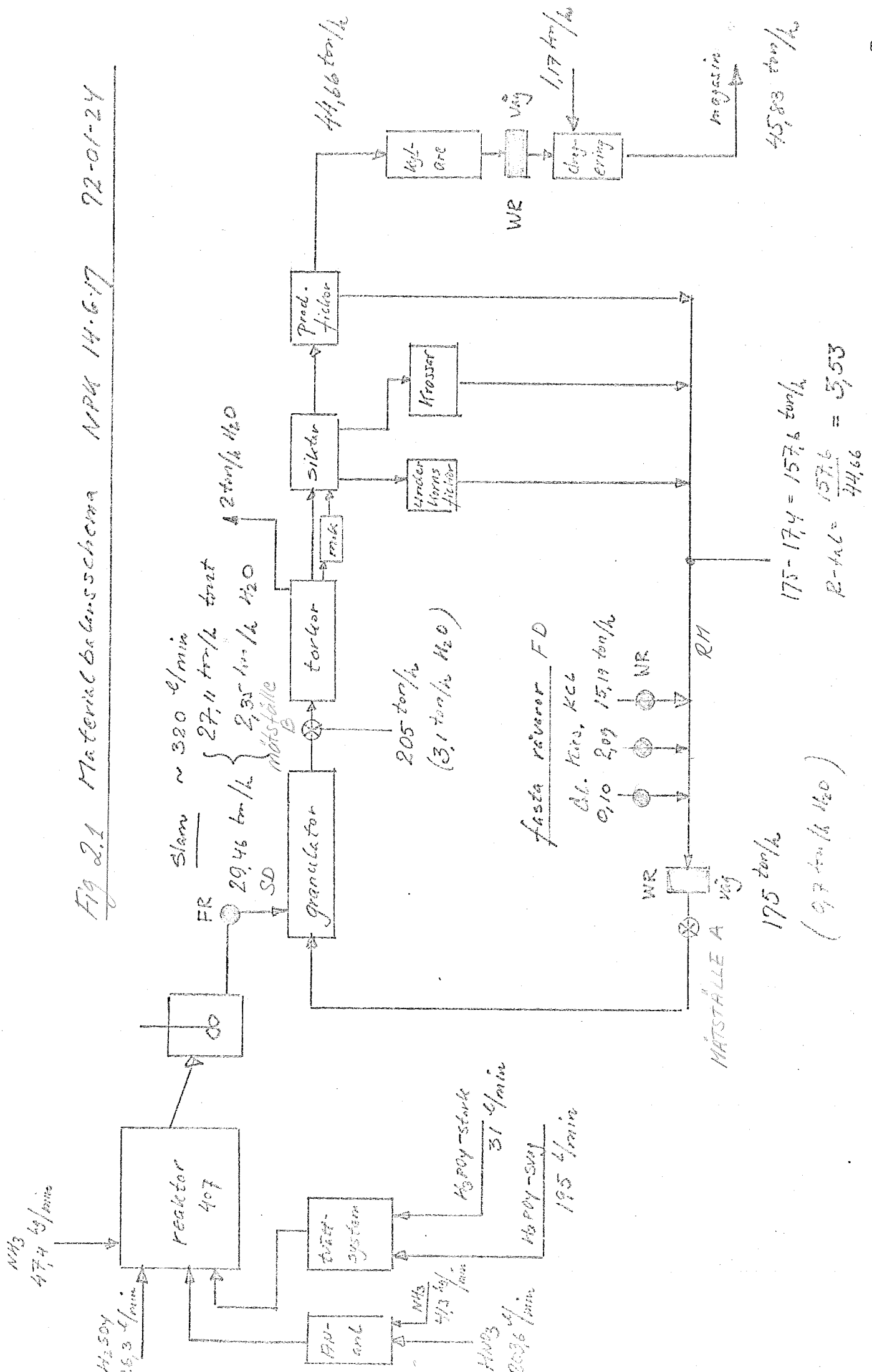
f_{FD} = fukthalt på FD

f_{SD} = fukthalt på SD

f_{GG} = fukthalt på GG

f_{avd} = avdunstad mängd vatten i granulator

Fig 2.1 Material balansschema NPK 14.6.17 72-01-24



2.2 STÖRSIGNAL VID PRODUKTFICKORNA

Vår önskan var att störa processen efter ett uppgjort schema samt att hålla övriga variabler konstanta. Detta för att vi skulle kunna studera processens egenskaper vid denna kända störning och då bättre kunna identifiera processen. Störsignalen skall dessutom vara lämplig att använda som en tänkt styrsignal för processen. 2 minuters samplingstid valdes, då detta bör motsvara processens kortaste tidskonstant. Störsignalen bör därför ej ändras med mindre intervall än 2 min.

Vi valde att variera produktutmatningen. Detta var ett effektivt sätt att ändra mängden granuler i granulatore.

Från början var meningen att vi skulle variera alla de tre luckorna vid produktutmatningen, men då var risken överhängande att processen skulle gå snett, på grund av för starka störningar. Fukthalten i granulatore kan ökas drastiskt om för liten mängd återcirkuleras. Då erhålls en för stor slamhalt i granulatore, vilket kan medföra att granulerna grötas samman i granulatore. Om för stora mängder återcirkuleras kan systemet bli överbelastat med för mycket material. Registreringarna blir då också dåliga, eftersom skrivarna går itopp.

Därför beslöt vi behålla produktutmatningsluckorna nr 2 och 3 vid ett konstant läge och sedan variera lucka nr 1 genom att öppna och stänga denna efter ett uppgjort schema.

Insignalen bör innehålla processens väsentligaste frekvenser. I det allmänna fallet är processdynamiken av betydelse endast inom ett visst frekvensintervall. På grund av detta, är det önskvärt att insignalens spektraltäthet nästan är konstant i detta intervall.

En typ av insignal som uppfyller de ovanstående villkoren är PRBS (Pseudo Random Binary Sequence). Denna typ av insignal har ofta använts. /Ref. I/.

Några speciella egenskaper är:

- amplituden är $+a$ eller $-a$ (öppen eller stängd produktutmatningslucka)
- tecknet ändras vid tidpunkter som är ett heltal multiplicerat med sampelsintervallet T_p ,
- är periodisk med perioden $N \cdot T_p$ där N är maximala längden av mätserien,
- den normaliserade autokovariansfunktionen är

$$r(\tau) \begin{cases} 1 \text{ om } \tau = k \cdot N, k = 0, 1, -1, \dots \\ -1/N \text{ annars} \end{cases}$$

Som ett exempel visas en PRBS med längden $N = 7$ i fig. 2.2.

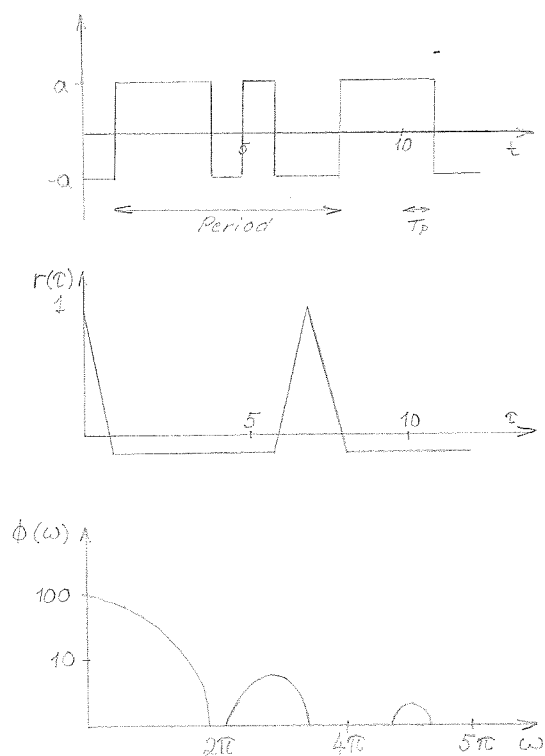


Fig. 2.2 Exempel på PRBS signal.

Följande regler används för att välja r och N , där r är den längsta delen av en rektangelpuls och N är periodiciteten.

$$\text{Välj 1: } N \cdot T_p = 5 \cdot T_{\max}$$

$$2: r \cdot T_p = 3 \cdot T_{\max}$$

och där T_{\max} är den maximala tidskonstanten som finns i processdynamiken.

Enligt regel (2)

$$r \cdot T_p \approx 80-90 \text{ min}$$

dvs luckan konstant under 80-90 min maximalt. Denna längd är dock alldeles för lång och skulle orsaka överbelastning. Maximal puls har vi därför satt till 10 min, $T_p = 2$ min och NT_p har vi valt till 254 min.

Det slutliga valet av insignal blev tidsserien enligt fig. 2.12.

2.3 REGISTRERADE VARIABLER

Vi önskade registrera värden på kornfraktioner, massflöden, temperaturer och fukthalter, då dessa variabler i första hand kunde tänkas påverka processdynamiken.

2.3.1 KORNFRAKTIONER

Av största vikt var att mäta granulernas storlek i retur och utflöde. Detta kunde vi göra vid diskreta tidpunkter genom att sticka in en skopa i materialflödet och sedan sikta ner proverna i önskade storlekar. Vid den preliminära uppläggnigen var våra planer att ta materialprover dels före granulatorens, dels efter torktrummorna för att betrakta granulatorens, stabiliseringsband och torktrummor som ett system. Torktrummorna kan dels krossa ner kornen något dels kan de tjänstgöra som granulatorer så att granulerna ökar i storlek. Av denna anledning ville vi ha med torktrummorna i vår granulatorordning. Det visade sig emellertid att transporttiderna skiljer sig i de två torktrummorna vilket skulle betyda att modellen blev osäkrare.

Med utgångspunkt från detta valde vi därför slutgiltigt att ta materialprover vid recirkulationsvägen före granulatorens (mätställe A) och efter stabiliseringsbandet vid fallet ner i torktrummorna (mätställe B.)

2.3.2 FUKTPROVER

Fuktprover togs var 20:e minut dels vid mätställena före och efter granulatorens dels i bireaktorn. Fuktproverna av slammet sögs upp i gummislang för att vattnet ej skulle kunna avgå vid stelmandet. För att fukthalten i granulerna ej skulle förändras samlades dessa upp i små plastburkar.

2.3.3 TEMPERATURER

Samtliga temperaturer registrerades kontinuerligt på skrivare. Givare fanns vid de tre mätställena och i torktrummorna.

För att få en uppskattning om temperaturgivarnas mätnoggrannhet togs materialprover i hinkar och temperaturen mättes med termometer. Beroende på hur mycket gods som recirkuleras mäter givaren vid mätställe A (fig. 2.1) på olika djup i godset. Det händer till och med att den ibland svävar fritt i luften.

De tillförda råvarorna som har betydligt lägre temperatur än recirkulerat gods, blandas inte nämnvärt innan temperaturgivaren. Detta medför att givaren inte registrerar ett medelvärde av massflödets temperatur utan vad som för tillfället befinner sig närmast givaren.

Våra manuella temperaturprover visade stora variationer, upp till 10°C , beroende på var i hinken vi mätte.

Vid mätstället efter granulation varierade inte temperaturen nämnvärt i godset, vilket medförde en större säkerhet vid temperaturregistreringen. Diagram visande temperaturerna före granulatorens, efter granulatorens och slamtemperaturen i fig. 2.6. Torktrummornas temperaturer i fig. 2.7.

2.3.4. MATERIALFLÖDEN

För att kunna räkna fram absoluta mängder av de olika fraktioner som passerade dessa mätställen var vi tvungna att känna massflödena vid mätställena för kornfraktioner. Tyvärr fanns det ej någon våg efter granulatorens vid mätställe B, utan vi blev tvungna att rekonstruera massflödet vid detta mätställe med utgångspunkt från massflödet vid mätställe A. Den vågen är placerad alldeles efter tillsatsen av råvaror. Materialet ligger ojämnt fördelat längs bandbredden, vilket kan påverka givaren till vågen, som är belägen mitt under transportbandet. Vågen är statistiskt kalibrerad men vi vet inte hur väl den följer materialsvängningarna. Figur 2.8 visar diagram från vågen vid mätställe A före granulatorens.

Det var också av stor vikt att mäta flödet vid produktuttaget. Där fanns det ej heller någon våg, så även där blev vi tvungna att

rekonstruera flödet med hjälp av flödet vid vågen efter kyltrummorna, se fig. 2.9, eller med hjälp av vår insignal och flödet vid mätställe A före granulatore. (Se vidare avsnitt 3.5) Slamflödet till granulatore registrerades också på skrivare fig. 2.10.

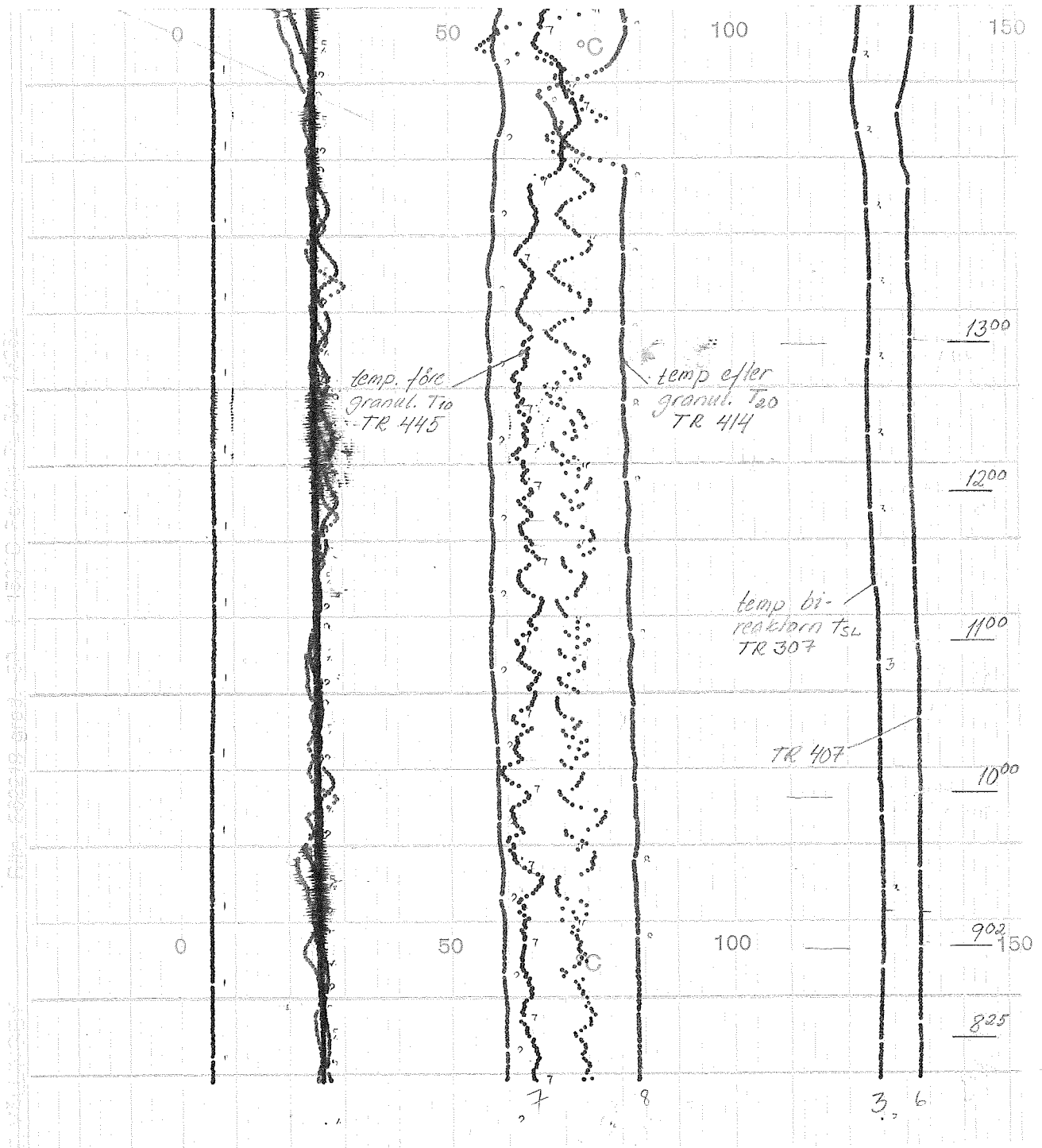


Fig. 2.6 Här visas bl.a. slamtemperaturen, temperaturen på recirkulationsflödet vid mätställe A, samt temperaturen på flödet efter granulatorens vid mätställe B. Registreringen är gjord 24.1.73 mellan kl. 8.25 och 13.00.

bid 100 % = 150°C. röd 100 % = 400°C

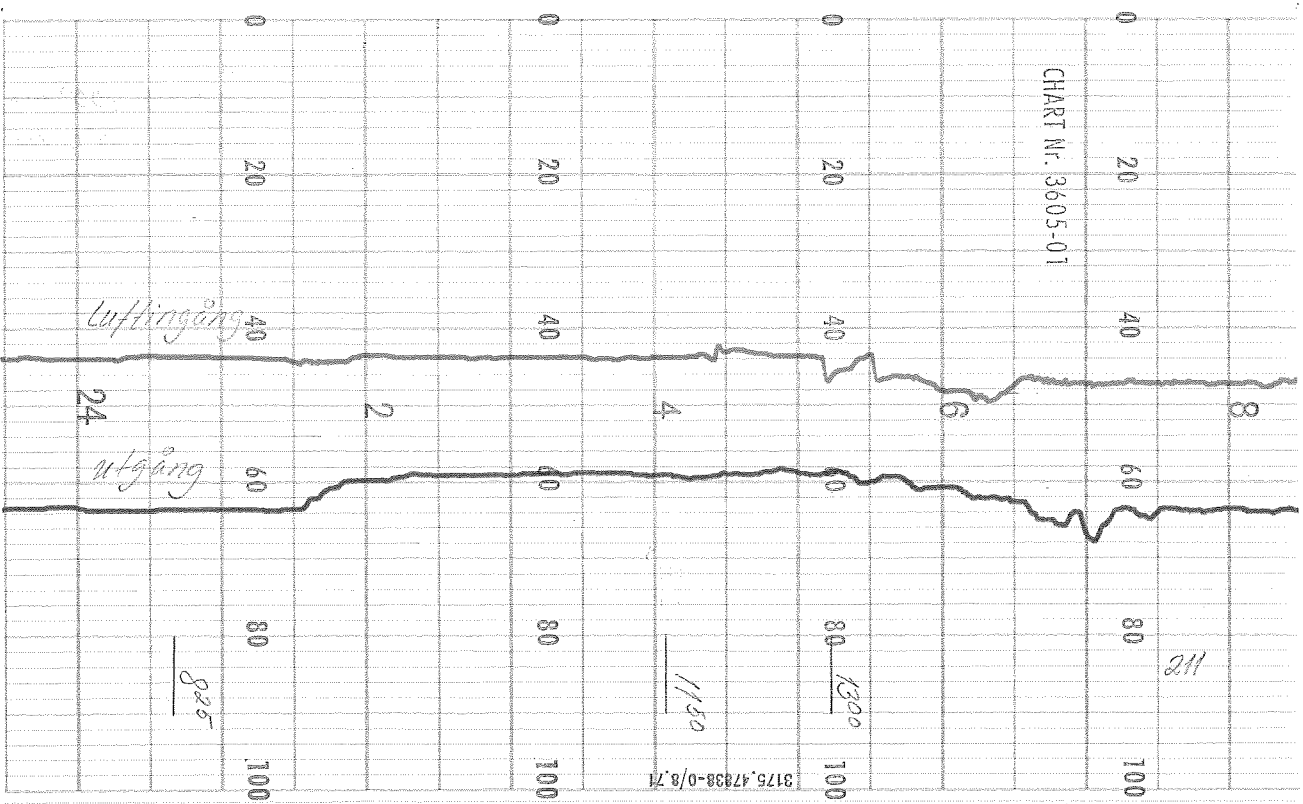
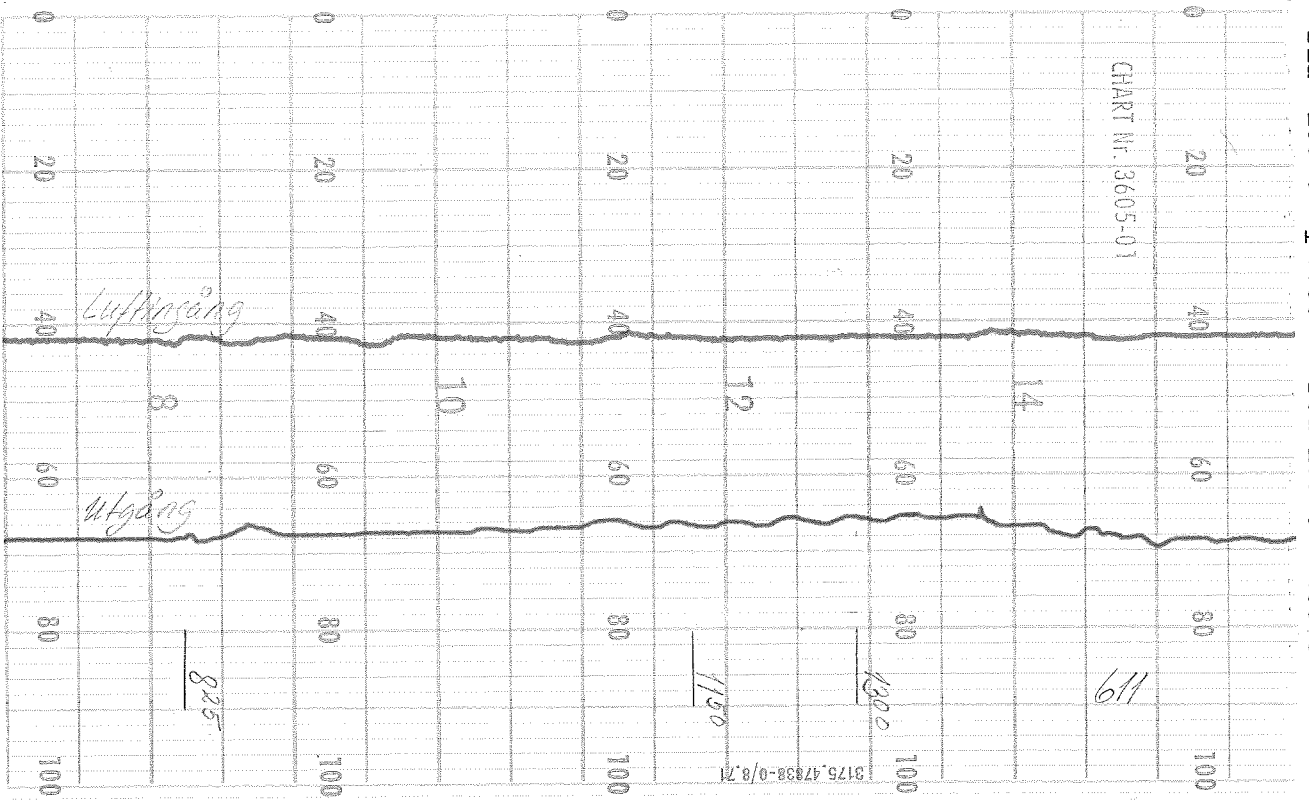


Fig. 2.7 Temperaturer i torcktrummon.

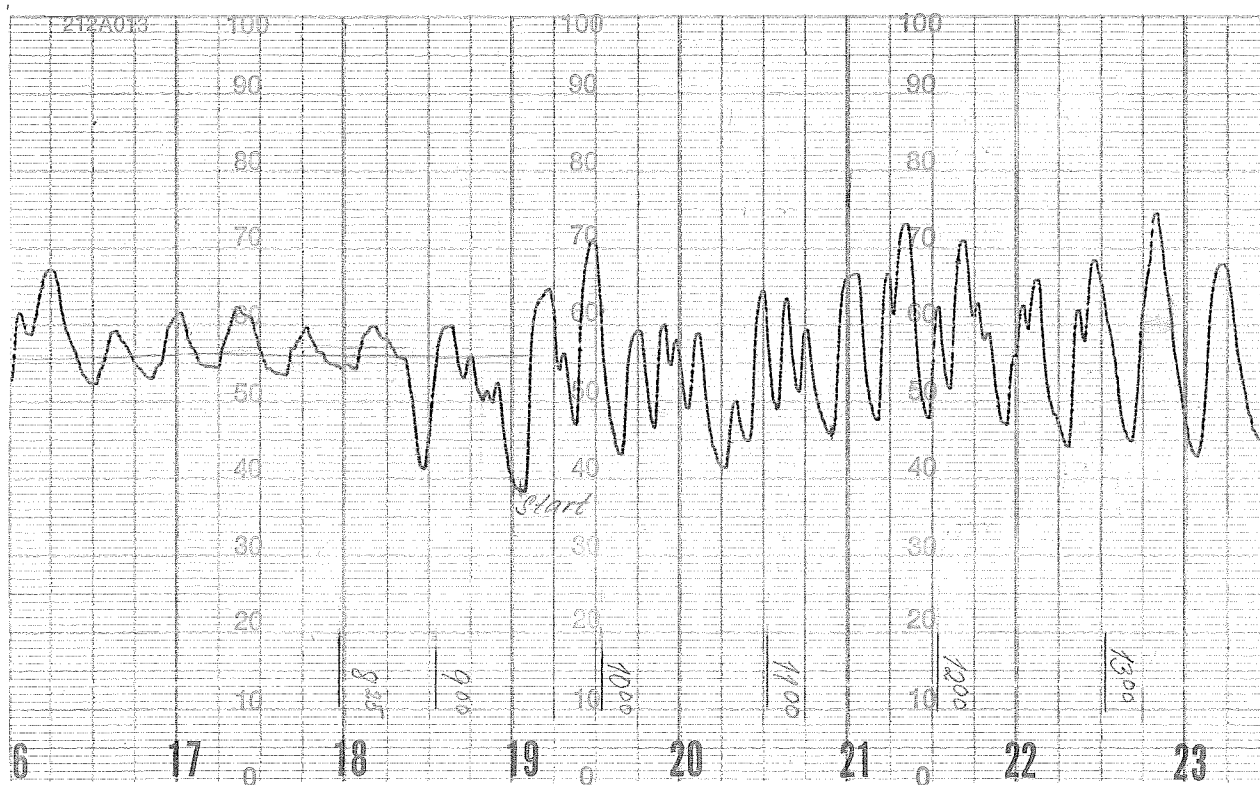


Fig. 2.8 Produktflödet efter kyltrummor.
 Gradning i %.
 100 % = 80 ton/h. Registreringen utförd 24.1.73.
 mellan kl. 8.25 - 13.00.

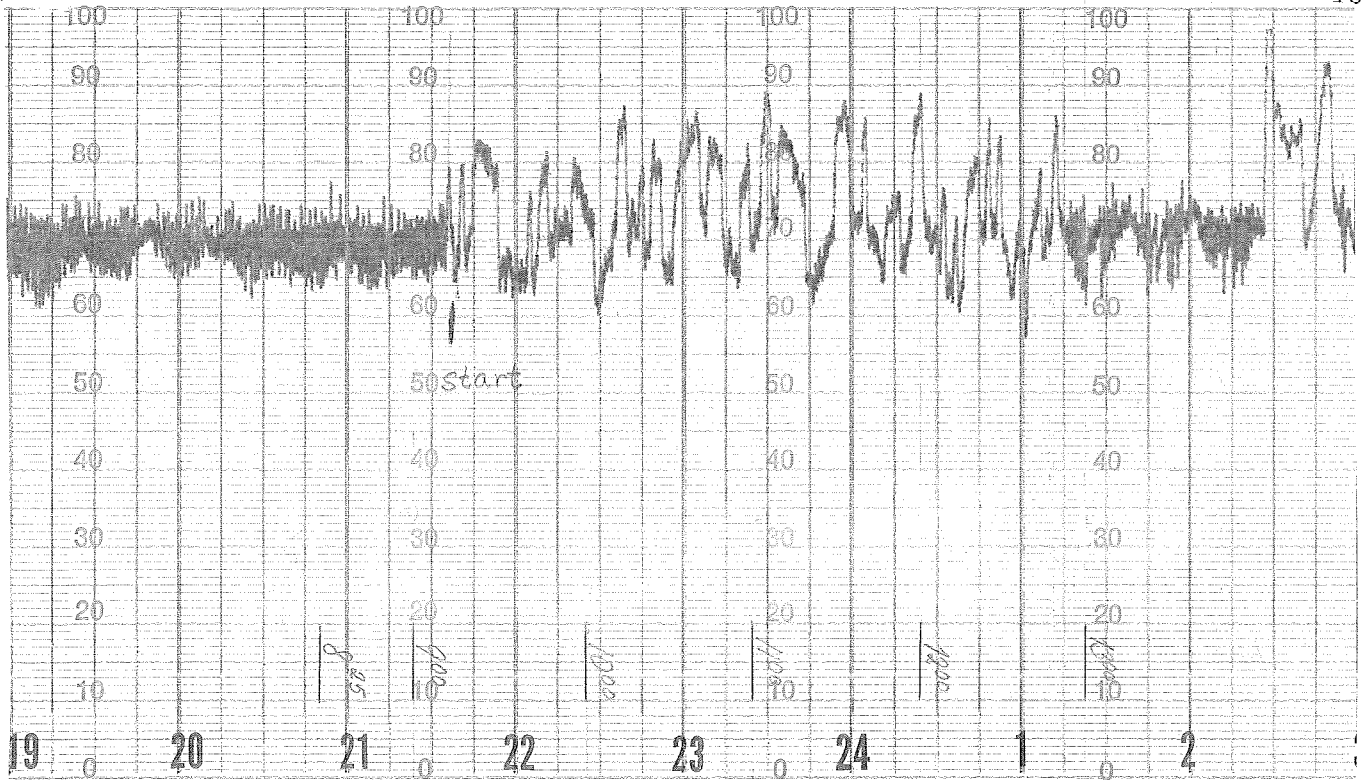


Fig. 2.9 Recirkulationsflödet.
 Gradningen i %.
 100 % = 250 ton/h. Registreringen utförd 24.1.73
 mellan kl. 8.25 och 13.00.

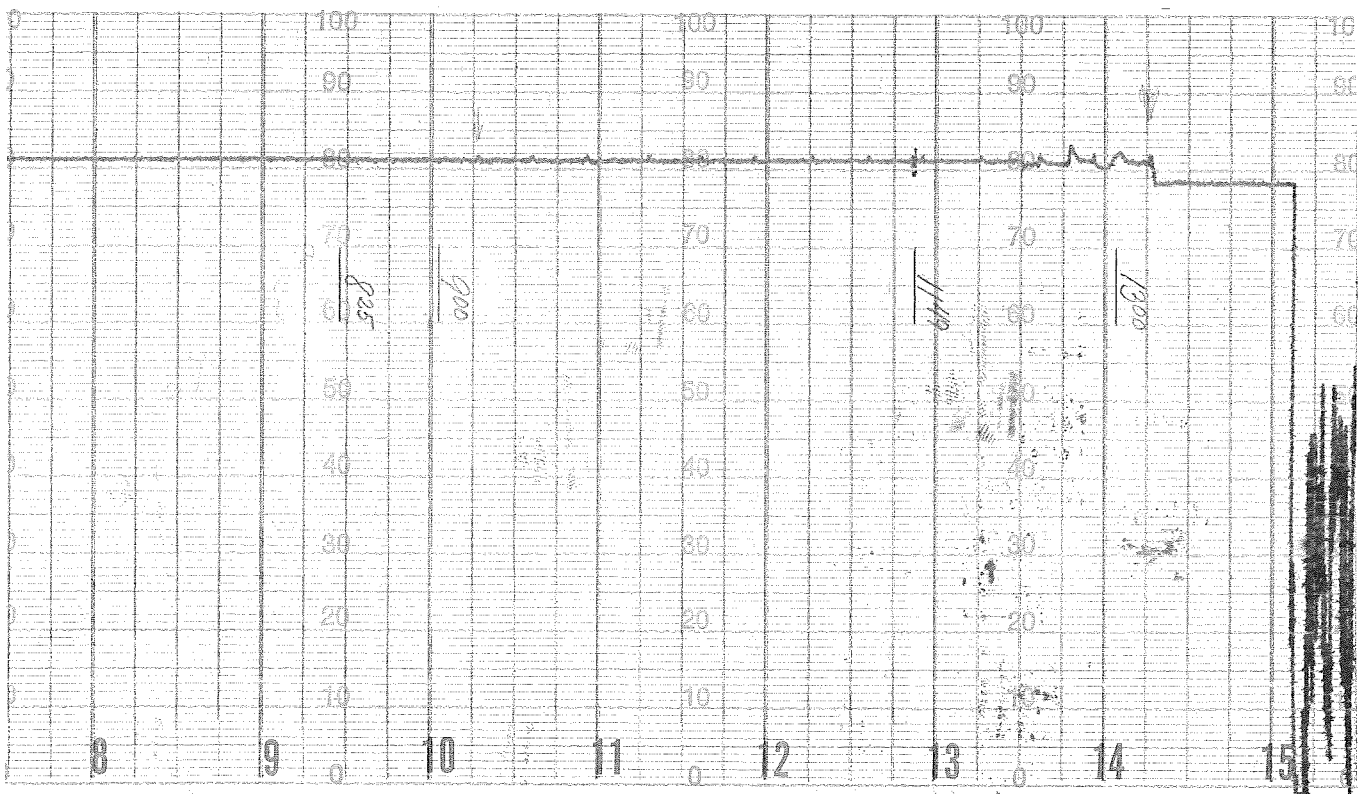


Fig. 2.10 Slamflödet.
 Graderingen i %
 100 % = 80 ton/h.
 Registreringen utförd 24.1.73 mellan kl. 8.25 och 13.00.

2.4 EXPERIMENTETS UTFÖRANDE

På morgonen den 24.1, uppförde sig processen lugnt och vi beslöt att börja med provtagningen kl. 9.12. Vid provställena före granulatorens vid recirkulationsvågen och efter stabiliseringsbandet tog två man prov på resp. ställe. Prover togs varannan minut i skopa (se fig. 2.11)

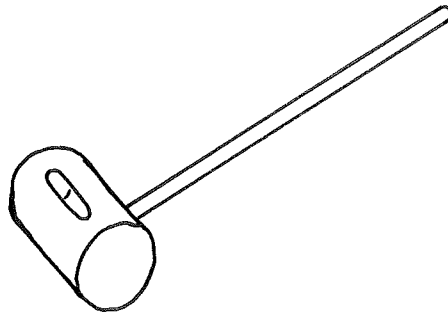


Fig 2.11 Cylindrisk behållare med skåra, för att ett representativt materialprov skulle kunna erhållas.

Genom att föra skopan fram och tillbaka i materialströmmen ansåg vi oss erhålla ett representativt prov. Vi samlade sedan proven i plasthinkar innan de hälldes upp i plastpåsar.

Fuktprover togs var 20:e minut vid de två provställena A och B, i små plastburkar med tättslutande lock för att granulerna skulle behålla sin fukthalt. Vid bireaktorn togs också fuktprover var 20:e minut genom att slammet sögs upp i gummislangar vilkas bägge ändar tillslöts med klämmor.

I kontrollrummet märktes alla skrivarpapper som var av intresse för identifieringen. Här skulle också produktfickorna styras. Spjällen på produktutmatningsluckorna nr 2 och 3 justerades så att en kons-

tant materialström skulle passera dessa.

Produktfickan nr 1 styrs automatiskt med en PID-regulator som mäter på recirkulationsvågen. Denna automatik slogs ifrån och vi kunde därefter styra den manuellt från kontrollrummet efter vårt uppgjorda styrschema.

Det visade sig emellertid att svängningarna ibland blev oroväckande stora och därför ändrades styrschemat något (se fig. 2.12)

Klockan 12.36 uppträdde en ordentlig nedgång i materialflödet så att styrsignalen fick ändras efter en halv minut (Se fig. 2.9) Denna puls på en halv minut har jag ej kunnat ta med i beräkningarna eftersom vi har ett fixt samplingsintervall på 2 minuter. Vi styrde med störsignalen i 3.40 timmar tills kl. 12.52 då produktutmatningsluckorna nr 2 och 3 öppnades och automatiken slogs på lucka nr 1.

Ett protokoll fördes i kontrollrummet på förändringar i processen som ej registrerades på annat sätt.

NPK-fabriken (kontrollrum) 24.1.73.

Klockan 8.15 Mellankylaren igång. Recirkulerad mängd produktkorn går ej via krossarna.

Total dosering 1100 ton/dag

Ingen ångkylflukt i 307

Underkornsskruvar 4,5 r/m, 5,0 l/m

Granulatorfläkt 950 rpm

Råvarudosering:

Svavelsyra 26 l/min 19 %

Fosforsyra 195 l/min, 31 l/min, 25 %

Salpetersyra 203 l/min 50 %

Kaliumklorid 253 kg/min 64 %

Kiserit 34 kg/min 65 %

Klockan 9.00 Produktuttagsspäll nr 2 70 % resp nr 3 55 %
 Kiserit 69 %
 Kaliumklorid 66 %

Klockan 9.12 Automatiken slås av från produktutmatningsfickan nr 1 och störsignalen används för att styra denna.

Klockan 10.00 Granulatorfläktens varvtal ändras till 1000 rpm

Klockan 12.52 Automatiken sätts på produktutmatnings-spjället nr 1.

PLOT NIST UN UR- ANVAND OCH PLANERAD STORSIGNAL

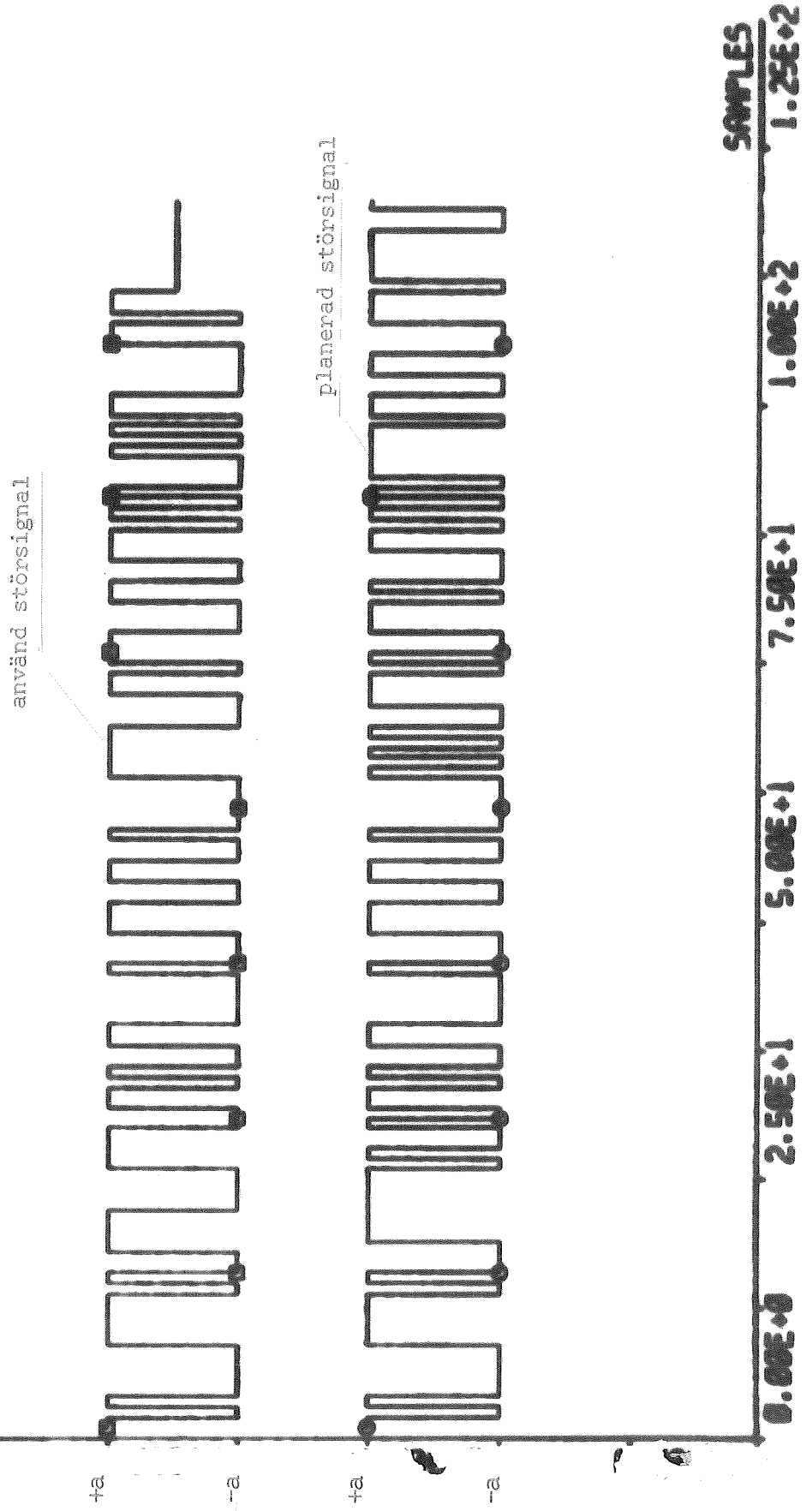


Fig. 2.12 Använd och planerad störsignal.

2.5 UTVÄRDERING AV DATA

Proverna av granuler delades upp i två delar och siktades sedan i två siktar till siktfraktionerna, underkorn (< 2 mm), produktkorn (2-4 mm) och överkorn (> 2 mm).

Det var den naturliga uppdelningen eftersom de fasta siktarna siktar i ovanstående siktfraktioner.

Två siktapparater och 3 par siktuppsättningar användes.

När cirka hälften av proverna var siktade upptäckte vi att en av siktarna var något deformerad och släppte igenom något för stora korn, vilket medförde att andelen underkorn blev något högre och andelen produktkorn något lägre på de prov som siktades med denna sats.

Då siktordningen bland proverna var helt slumpmässig kunde vi ej direkt peka ut vilka prov som blev siktade med den defekta sikten. Antalet uppskattades till cirka tio stycken från vardera mätställe.

Felet uppskattades genom att upprepade siktningar gjordes med defekt sikt och de övriga siktarna och vi fann att den defekta gav cirka 8 % högre andel underkorn.

För att få en så noggrann uppskattning av massflödet före granulatorn som möjligt förstörades skrivarpappret upp fotografiskt och sedan plottades skrivarens utslag på ett millimeterpapper, 1,3 meter långt, och avlästes. Skrivarpappret i fig. 2.8.

Produktflödet och temperaturerna avlästes direkt från skrivarpappren.

Fuktproverna nerkrossades och undersöktes med Karl Fischer-metoden. Resultat i fig. 2.13.

Samtliga värden stansades sedan och lästes in i ett program som räknade ut procentuella andelar underkorn, produktkorn och överkorn

vid de olika mätställena.

Fuktvärdena mellan fuktproverna interpolerades fram linjärt. Programmet omvandlade sedan värdena till binär form och de lagrades på magnetband, klara för anrop av identifieringsprogrammet.

Listning av programmen finns i appendix 2.

Samtliga värden finns listade i appendix 1.

<u>F U K T P R O V E R</u> Mätningar 24.1.73					
<u>Mätställe A</u>		<u>Mätställe B</u>		<u>Slam</u>	
Prov	Fukthalt	Prov	Fukthalt	Prov	Fukthalt
1	0,41	1	1,65	1	7,85
11	0,41	11	1,54	11	7,59
21	0,42	21	1,46	21	7,67
31	0,39	31	1,70	31	7,55
41	0,35	41	1,65	41	8,44
51	0,31	51	1,69	51	7,40
61	0,38	61	1,63	61	7,73
71	0,44	71	1,95	71	8,20
81	0,39	81	1,86	81	7,59
91	0,38	91	1,81	91	8,20
101	0,42	101	1,73	101	8,21
111	0,36	111	1,94	111	8,18
121	0,43	121	1,97	121	8,38
Fel gränser	$0,4 \pm 0,05$		$1,8 \pm 0,15$		$8 \pm 0,25$

Fig. 2.13 Fuktprover vid de olika mätställena.

2.6 PRELIMINÄR DISKUSSION AV EXPERIMENTELLA RESULTAT

Man ser tydligt störsignalens utseende på massflödet före granulatore, fig. 2.9, medan det är svårare att följa störsignalens utseende på produktvågen. Det betyder att massorna måste jämnas ut i kyltrumorna, där transporttiden är cirka 17 minuter.

Både slamtemperatur och temperaturen efter granulatore varierade obetydligt, medan däremot temperaturen före granulatore uppvisade tydliga svängningar, då störsignalen började. Det beror på att granulerna och råvarorna har olika temperaturer och då massflödet ändras så varierar den procentuella andelen råvaror som ju tillsättes med konstant flöde.

3. PRELIMINÄR ANALYS AV DATA

I detta kapitel redogöres för olika metoder att klargöra orsakssamband och transporttider mellan olika mätvariabler. Denna preliminära analys är till stor hjälp vid Maximum-Likelihood identifieringen.

Det är av stor vikt att finna rätta transportfördröjningar. Detta har kunnat genomföras med kovariansberäkningar samt genom uppskattning av impulssvaret.

3.1 KOVARIANSBERÄKNINGAR OCH SPEKTRALTÄTHETSBERÄKNINGAR

En kovariansfunktion beskriver storleken av den samvariation som äger rum mellan två stokastiska processer. Korskovariansen visar hur två tids-serier samvarierar med varandra vid olika tidpunkter, medan autokovarians-funktionen visar hur en tidsserie samvarierar vid olika tidpunkter.

Korskorrelationsfunktionen och autokorrelationsfunktionen är de normera-de funktionerna.

Korskovariansen definieras för processerna $\{ x(t) \}$ och $\{ y(t) \}$ som

$$r_{x,y}(s,t) = E \{ x(s) - E x(s) \} \{ y(t) - E y(t) \} \quad r_{xy}(s,t)$$

Autokovariansen definieras för processen $\{ x(t) \}$ som

$$r_{x,x}(s,t) = E \{ x(s) - E x(s) \} \{ x(t) - E x(t) \} \quad r_{xx}(s,t)$$

Spektraltätheten och kovariansen är två helt komplementära sätt att beskriva stokastiska processer. Spektraltäthetsfunktionen anger vilka frekvenser som är de mest dominerande.

Sambandet mellan kovariansfunktionen och spektraltäthetsfunktionen

$$\phi(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} r(n) e^{-tn\omega} \text{ där } \omega = \text{frekvensen.}$$

3.2 KOVARIANSER FÖR DE VIKTIGASTE VARIABLERNA

Av autokorrelationen för kornfraktionerna efter granulatorens (se fig. 3.1) framgår att de samvarierar kraftigt vid en periodtid av 13 samplingsintervall eller 26 minuter, varför vi kan sluta oss till att cirkulationstiden är 26 minuter. Vi ser också att det tar ungefär tre och en halv timma för en störning att klinga ut.

Fig. 3.2 visar spektraltätheten för massflödena efter granulatorens. Vi har där en "spik" vid den 17 frekvensen och det betyder att den frekvensen är den mest dominerande. Massflödet antas svänga med en periodtid som motsvarar cirkulationstiden för en loop. Genom att omräkna 17:e frekvensen till tid mellan två toppar erhåller vi 26 minuter, vilket också bekräftar cirkulationstiden.

Formel för omräkning av frekvensen till cirkulationstid är $\frac{2 \cdot 100 \cdot \Delta T}{\omega}$ minuter då ΔT är samplingsintervallet i minuter och ω den dominerande frekvensen.

Figur 3.3 visar kovarianserna för kornfraktioner före granulatorens och fig 3.4 visar autospektrum för kornfraktioner före granulatorens. Där blir den 17:e frekvensen helt dold av den kraftiga störsignal som vi lägger på massflödet. Däremot slår samma frekvens igenom på massflödet före granulatorens fig. 3.5.

Fig. 3.1 och 3.3 visar också att granulatorens tjänstgör såsom ett effektivt lågpasfilter för massflödet. De snabba svängningarna, som orsakas av att störsignalen släcks ut men att de långsamma svängningarna med en periodtid på 26 minuter går oförändrade igenom.

Ett steg på materialflödet in i granulatorens skulle resultera i ett avrundat stegsvar ut ur granulatorens. Se fig. 3.6.

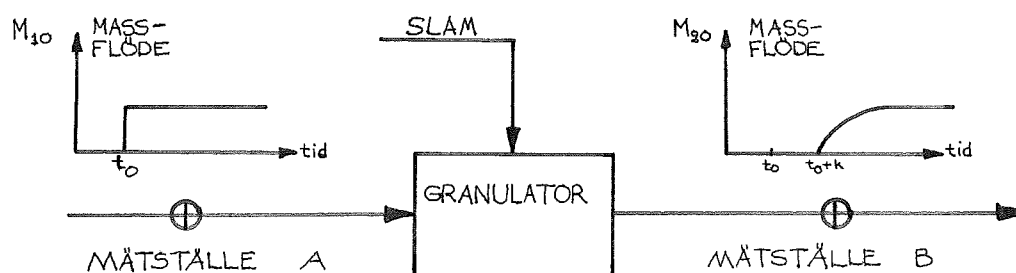


Fig 3.6 uppskattat utseende på massflöde ut ur granulatorens vid steg på massflöde in.

Variabelförteckningar finnes ytterligare förklarade i kap. 4.1

Störsignalen u och massflödet före granulatorens M_{10} uppvisar helt naturligt en stark samvariation vid samma tidpunkt. Fig. 3.7.

Störsignalen har ingen inverkan på X_{11} se fig. 3.8, däremot har den en markerad inverkan på X_{12} fig. 3.9, vilket är helt naturligt. Det är intressant att se att störsignalen samvarierar så tydligt med produktkorn efter granulatorens, se fig. 3.11. Samvariationen mellan U och X_{23} , överkorn efter granulatorens är också markerad, dock ej i samma grad som med X_{22} , se fig. 3.12. På samma sätt samvarierar M_{10} och temperaturen före granulatorens T_{10} , se fig. 3.13. Detta beror på att om massflödet är litet så blir den procentuella andelen råvara, som har en betydligt lägre temperatur än massflödet av granuler, större.

Vi är intresserade av att bestämma transporttiden noggrant. Granulator-dynamiken skulle kunna approximeras som ett system med transporttid $= k$, se fig. 3.6.

Vi använder oss av korskovariansen mellan en tidsserie före granulatorens och en tidsserie efter granulatorens och ser när dessa samvarierar mest. Här får man dock vara försiktig eftersom en stark autokovarians i tidsserierna helt kan dölja den önskade informationen.

Nu är emellertid insignalen u nära vitt brus. Korskovariansen visar ungefär hur impulssvaret från u till en mätpunkt efter granulatorens ser ut. Korskovariansen mellan störsignalen u och produktkorn efter granulatorens X_{22} , se fig. 3.11, visar på en transporttid på 4 samplingsintervall, eller 8 minuter, och det överensstämmer mycket väl med den uppmätta tiden på tre till fyra minuter i granulatorens, en minut på bandet före granulatorens och två minuter och femtio sekunder på stabiliseringsbandet. I korskovariansen mellan produktkorn före granulatorens X_{12} och produktkorn efter granulatorens X_{22} (fig. 3.14) finner vi också samma transporttid, men här ser vi också hur autokovariansen slår igenom med en periodicitet av 26 minuter. Recirkulationstiden blir $26-8 = 18$ minuter.

För att erhålla transporttiden för produktkorn från produktfickorna

till produktvågen efter kyltrummorna, testade vi med korskovariansen mellan störssignalen u och produktvågens utslag P_{10} .

Vi fann (fig. 3.15) en första kraftig samvariation efter 8 minuters transportfördröjning och en andra efter 26 minuter. Det är emellertid möjligt att autokovariansen hos P_{10} (fig. 3.16) slår så kraftigt igenom att vi blir vilseledda av resultatet. Uppmätt värde på transporttiden har gett ca 20-22 minuter.

3.3 UPPSKATTNING AV IMPULSSVARET MED ANVÄNDNING AV SNABB FOURIER-TRANSFORMATION

På grund av den starka autokovariansen mellan vissa tidsserier, kommer önskad information om samvariation med korskovariansberäkningar att effektivt döljas bakom denna.

I stället uppskattar vi impulssvaret och använder en snabb fourier-transformationsteknik. Vi vill uppskatta parametrarna i U_r genom sambandet

$$Y_k = \sum_{r=-\infty}^{+\infty} h_r U_{k-r}$$

som inte antar ett enkelt orsakssamband från tidsserierna $\{U_k\}$ till $\{Y_k\}$. Under en kort tid sammanfaller brusgången $\{U_k\}$ h_r med korskovariansfunktionen mellan $\{Y_k\}$ och $\{U_k\}$.

Den diskreta fourier-transformen /DFT/ av $\{U_k\}$ kan formuleras:

$$U_s = \sum_{k=0}^{N-1} U_k e^{-2\pi i k s/N}$$

$$Y_s = \sum_{k=0}^{N-1} Y_k e^{-2\pi i k s/N} \quad N = \text{antal data}$$

Sedan formuleras inverstransformen av kvoten

$$h_k = \frac{1}{N} \sum_{s=0}^{N-1} \frac{Y_s}{U_s} e^{2\pi i k s/N}$$

Nu är h_k en asymptotiskt opartisk uppskattning av den tidigare omnämnda h_r .

Metoden är beskriven i /3/ och programmet har skrivits av Lennart Ljung.

3.4 RESULTAT AV IMPULSANALYSEN

Metoden som beskrevs i avsnitt 3.3 har beräknats på Lunds datacentrals UNIVAC, och tillämpats på en mängd par av tidsserier. För varje par har två uppskattningar gjorts, eftersom vi undersöker de två systemen "granulator" och "recirkulationen".

PLOT A1 A2 A3 - AUTOCORRELATIONS OF X21 X22 X23 (%)

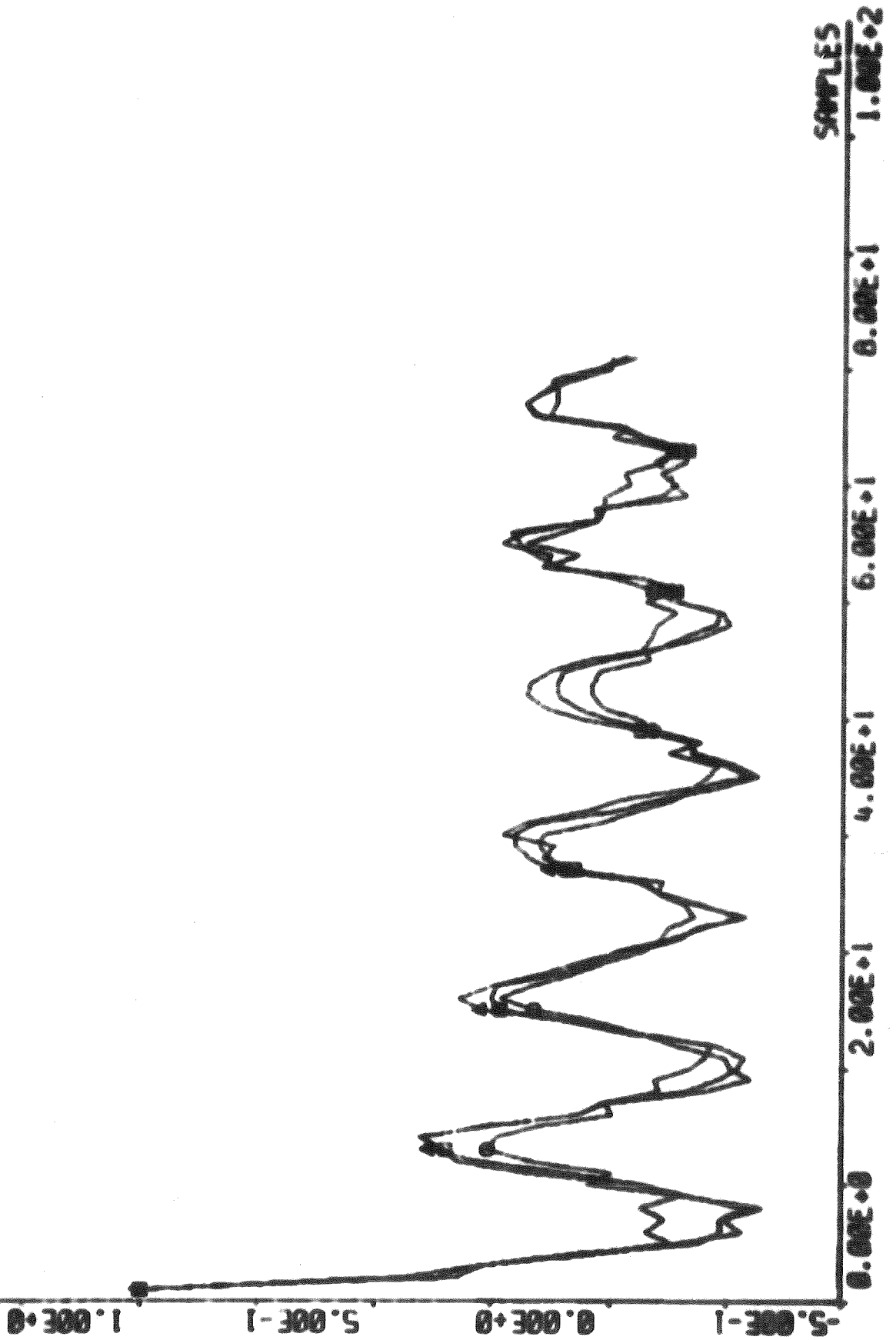


Fig. 3.1 Autokorrelationer för underkorn, produktkorn och överkorn efter granulatore. Kornfraktionerna i procentuella andelar.

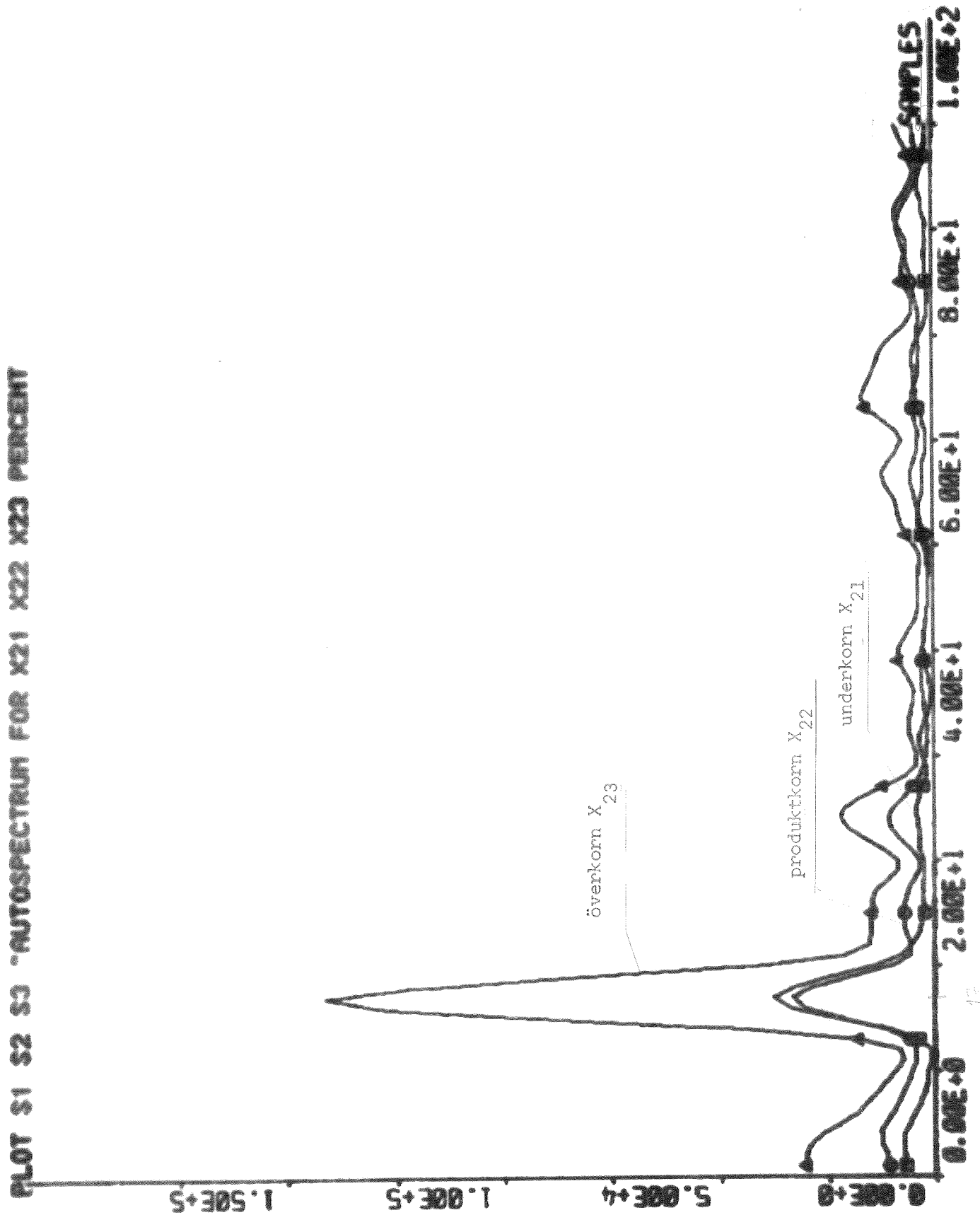


Fig. 3.2 Autospektrum för underkorn, produktkorn, överkorn efter granulatore. Kornfraktioner i procentuella andelar.

ACOF X11 X12 X13 %

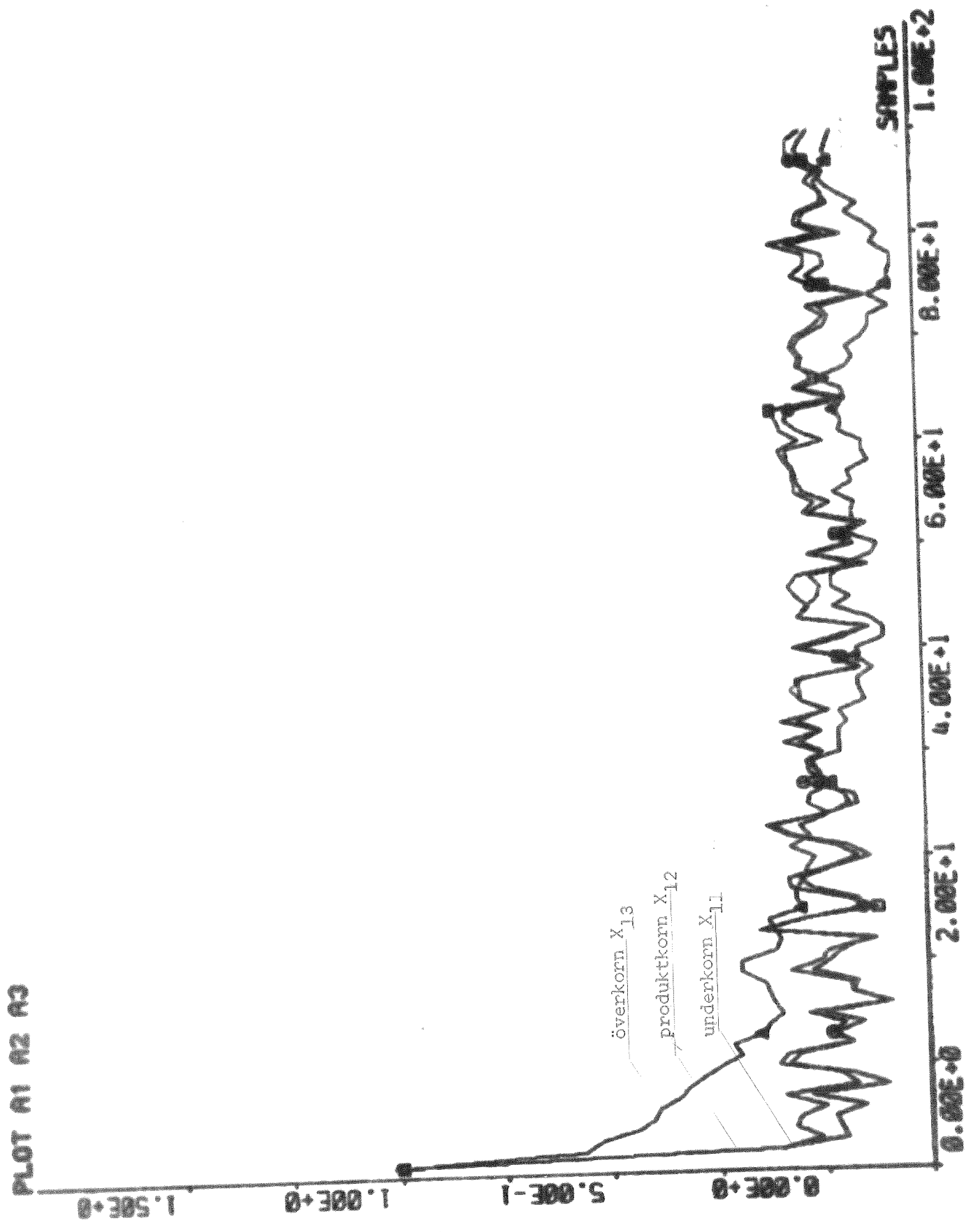


Fig. 3.3 Autokorrelationer för underkorn, produktkorn och överkorn före granulatorn. Kornfraktionerna i procentuella andelar.

PLOT 01 02 03 "AUTOSPECTRUM FOR X11 X12 X13 PERCENT

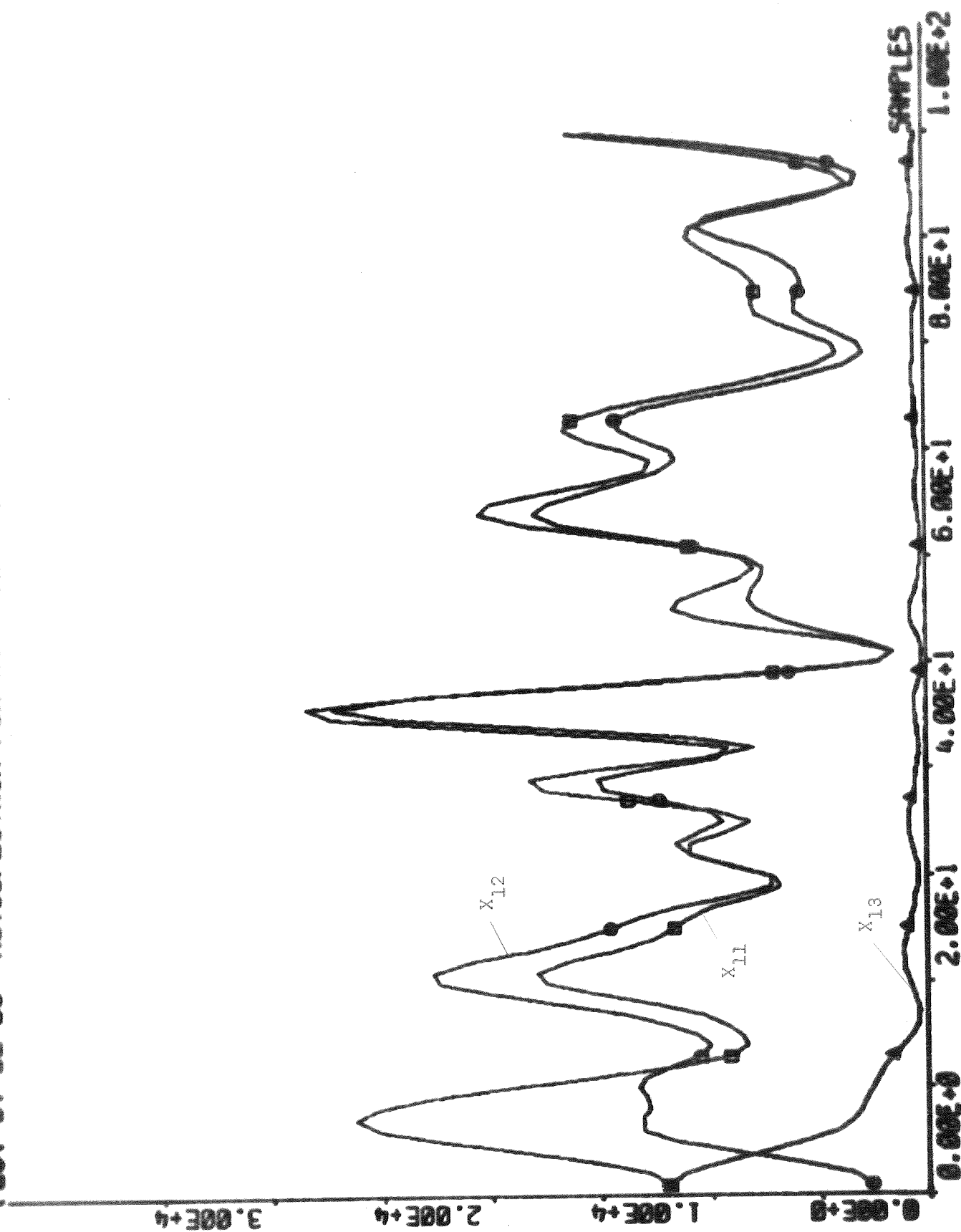


Fig. 3.4 Autospektrum för underkorn, produktkorn, överkorn före granulatorn. Kornfraktionerna i procentuella andelar.

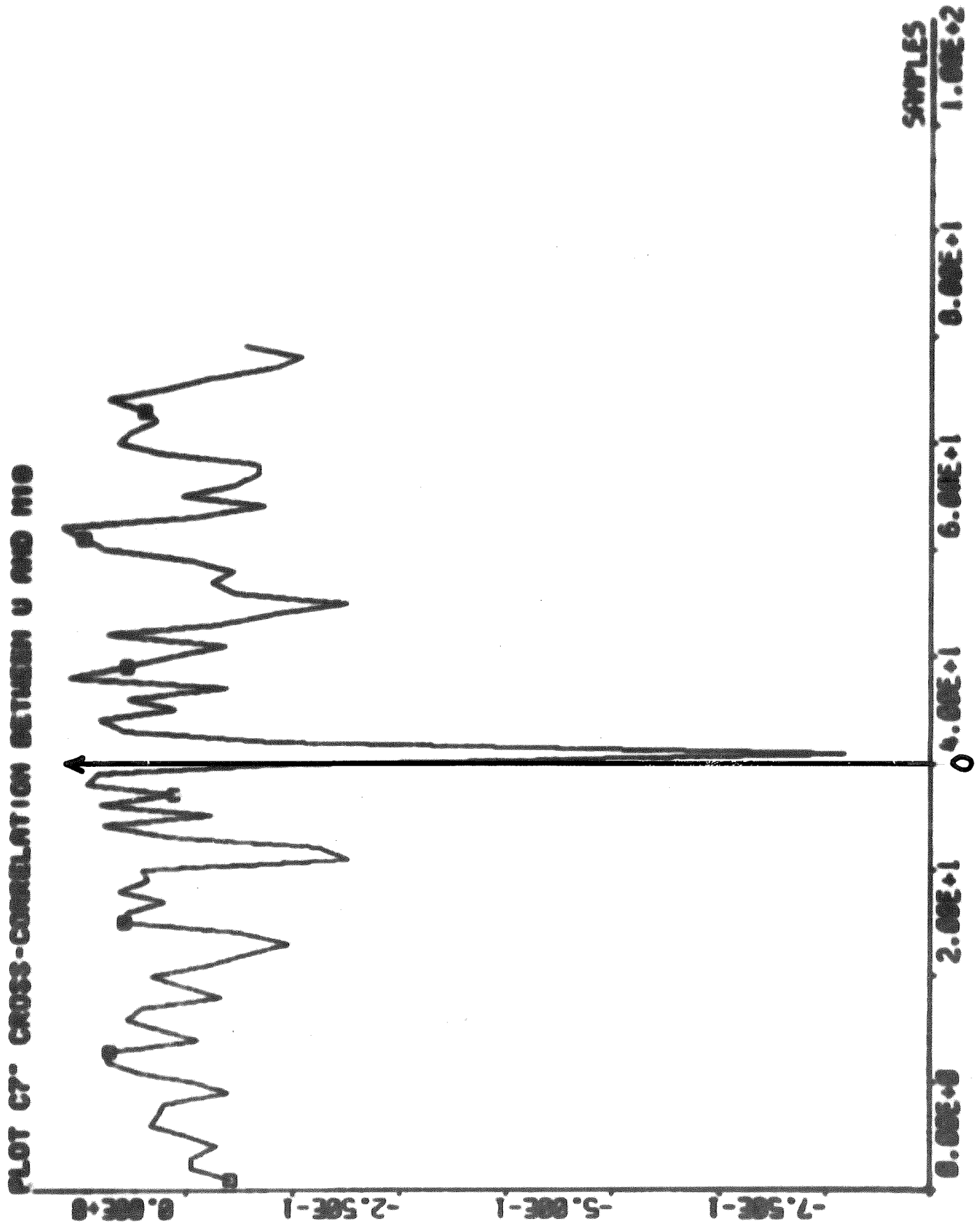


Fig. 3.7 Korskorrelationen mellan U och M

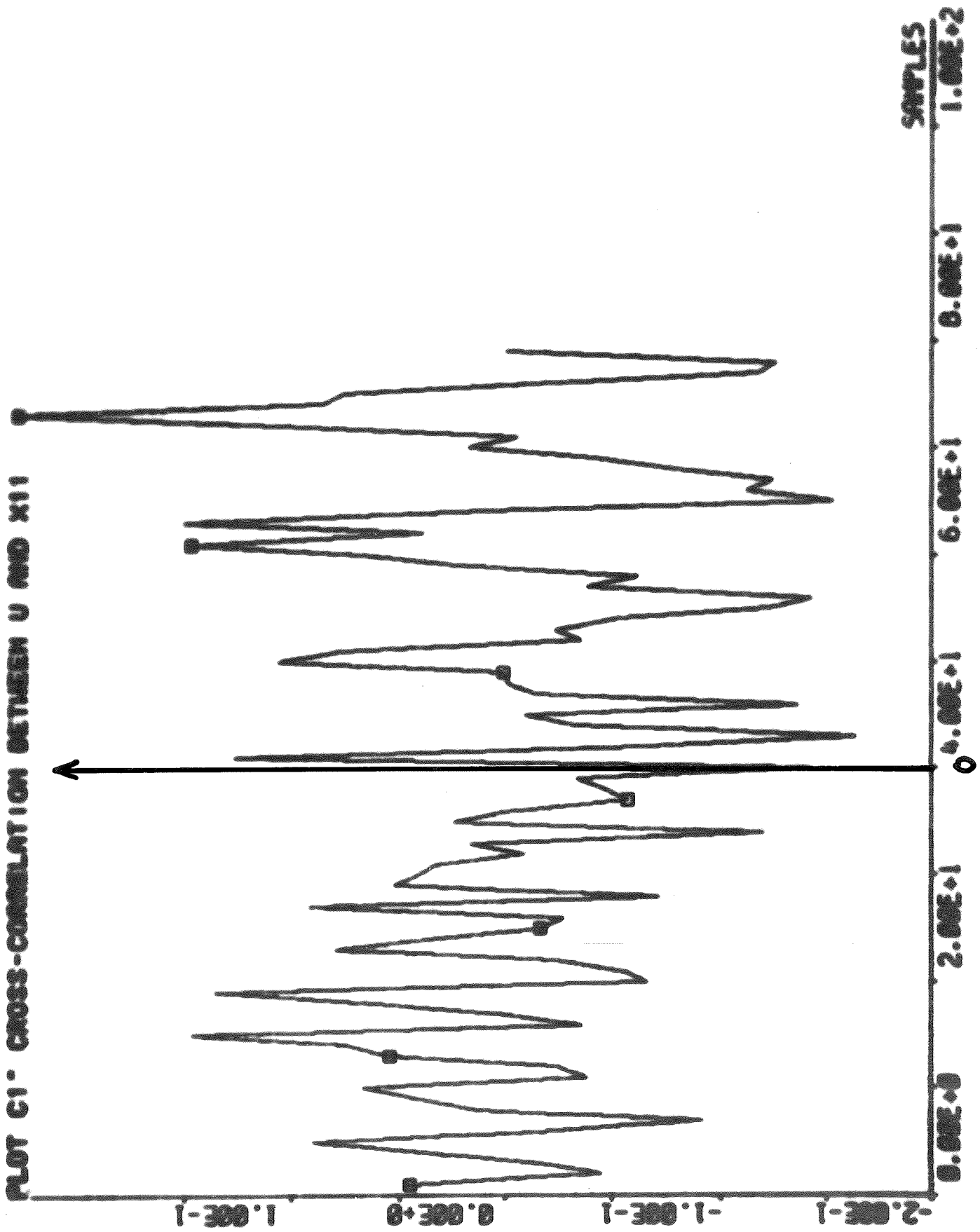


Fig. 3.8 Korskorrelationen mellan U och X₁₁.

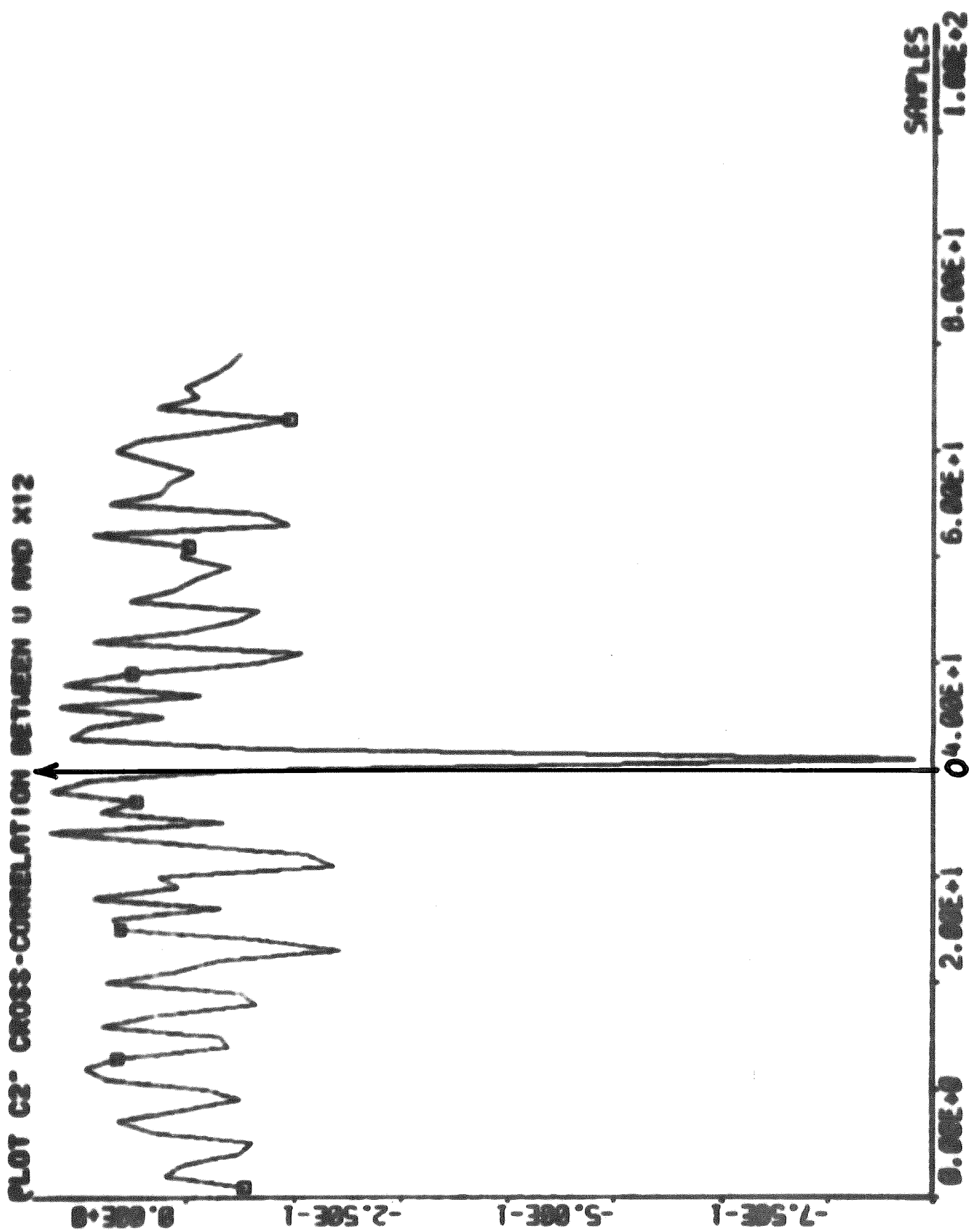


Fig. 3.9 Korskorrelationen mellan U och X_{12} .

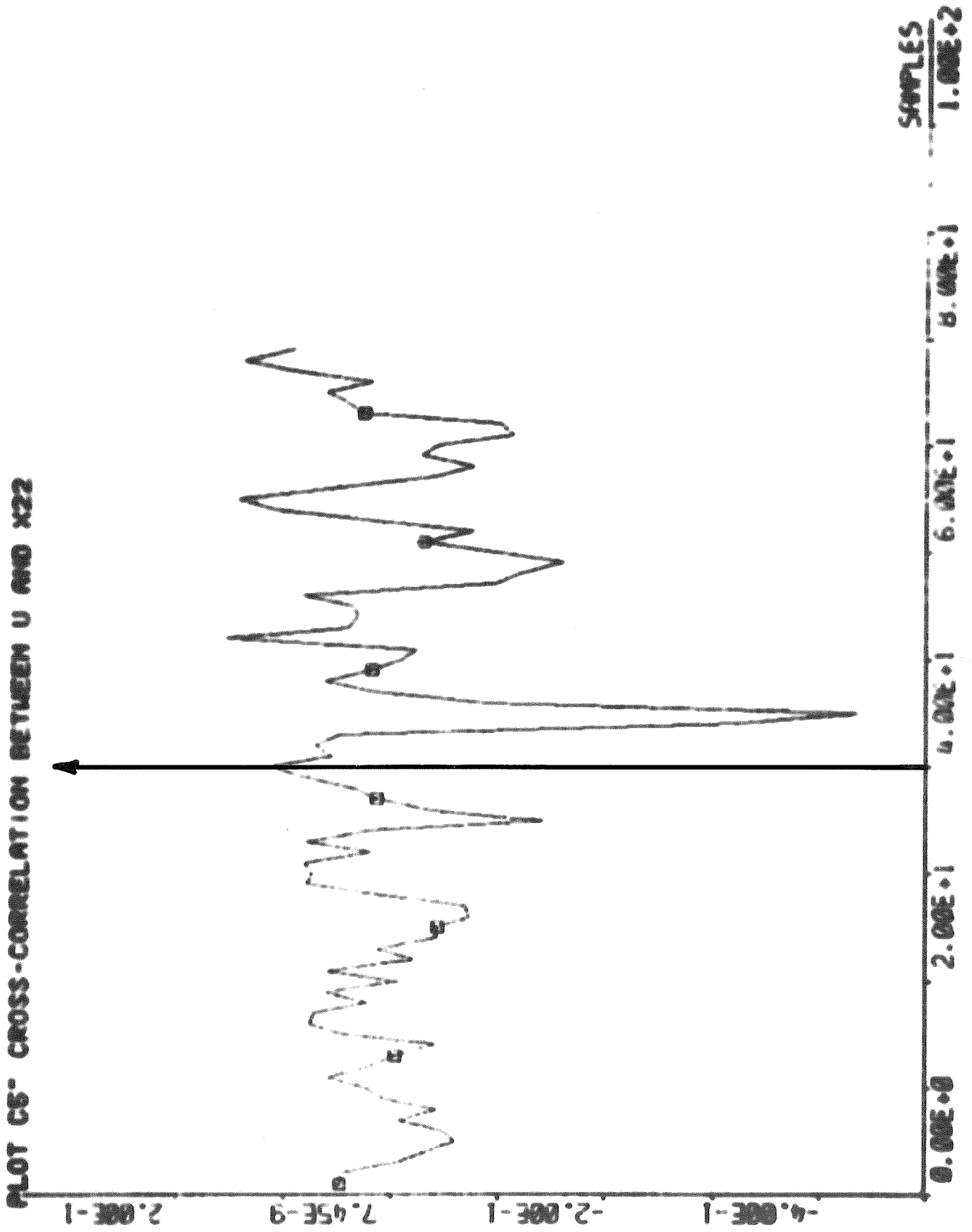


Fig. 3.11 Korskorrelationen mellan U och X₂₂.

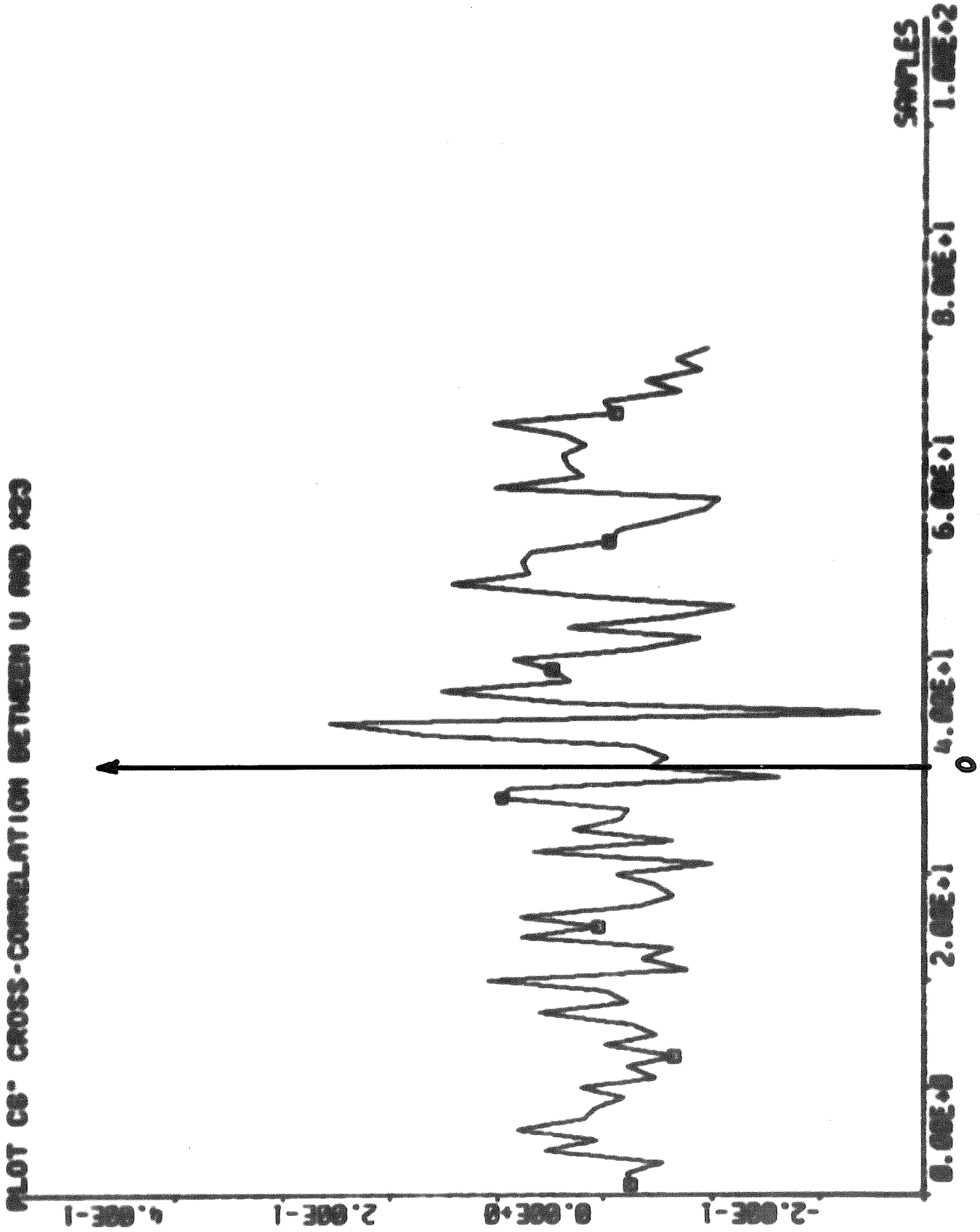


Fig. 3.12 Korskorrelationen mellan U och X₂₃.

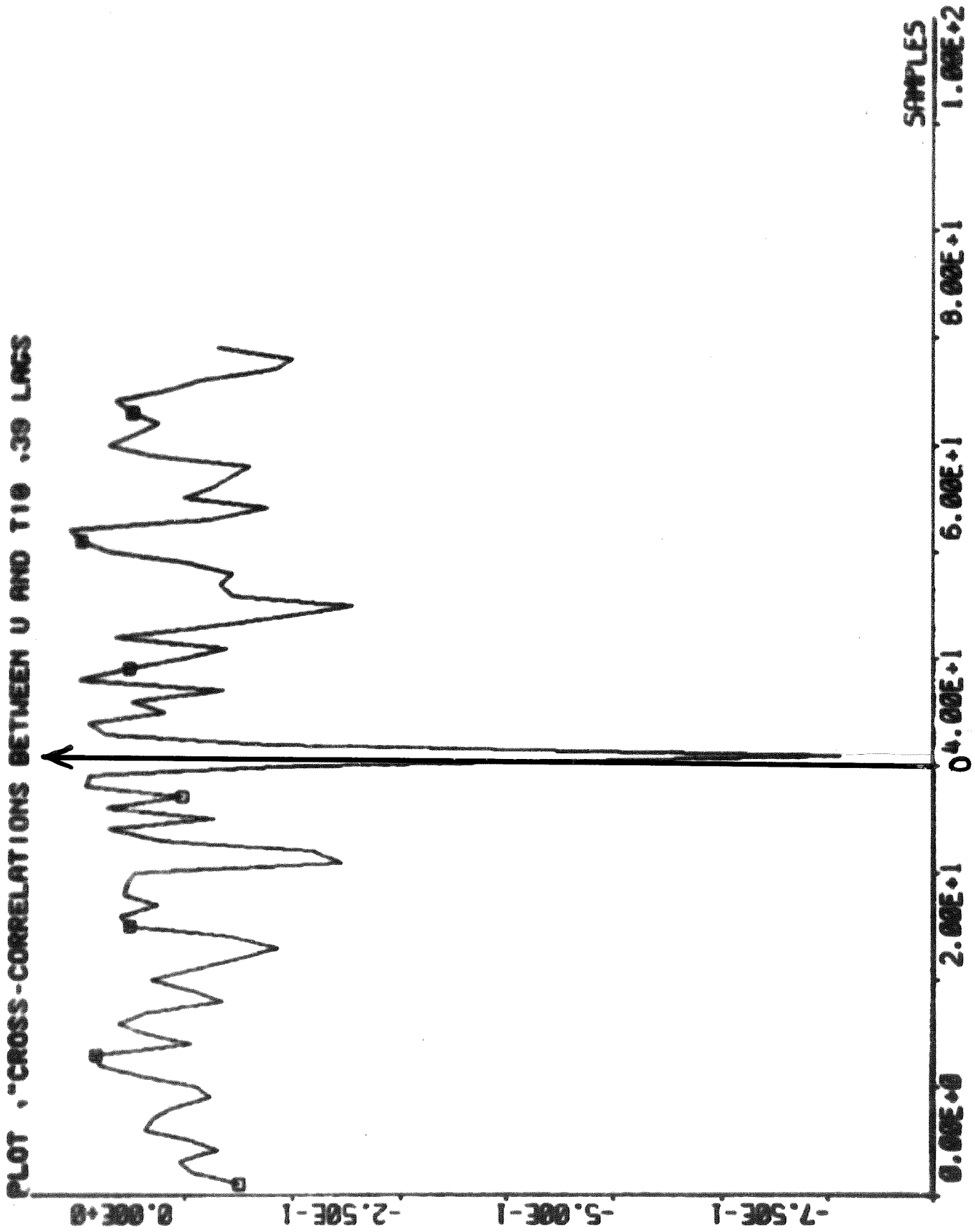


Fig. 3.13 Korskorrelationen mellan U och T₁₀

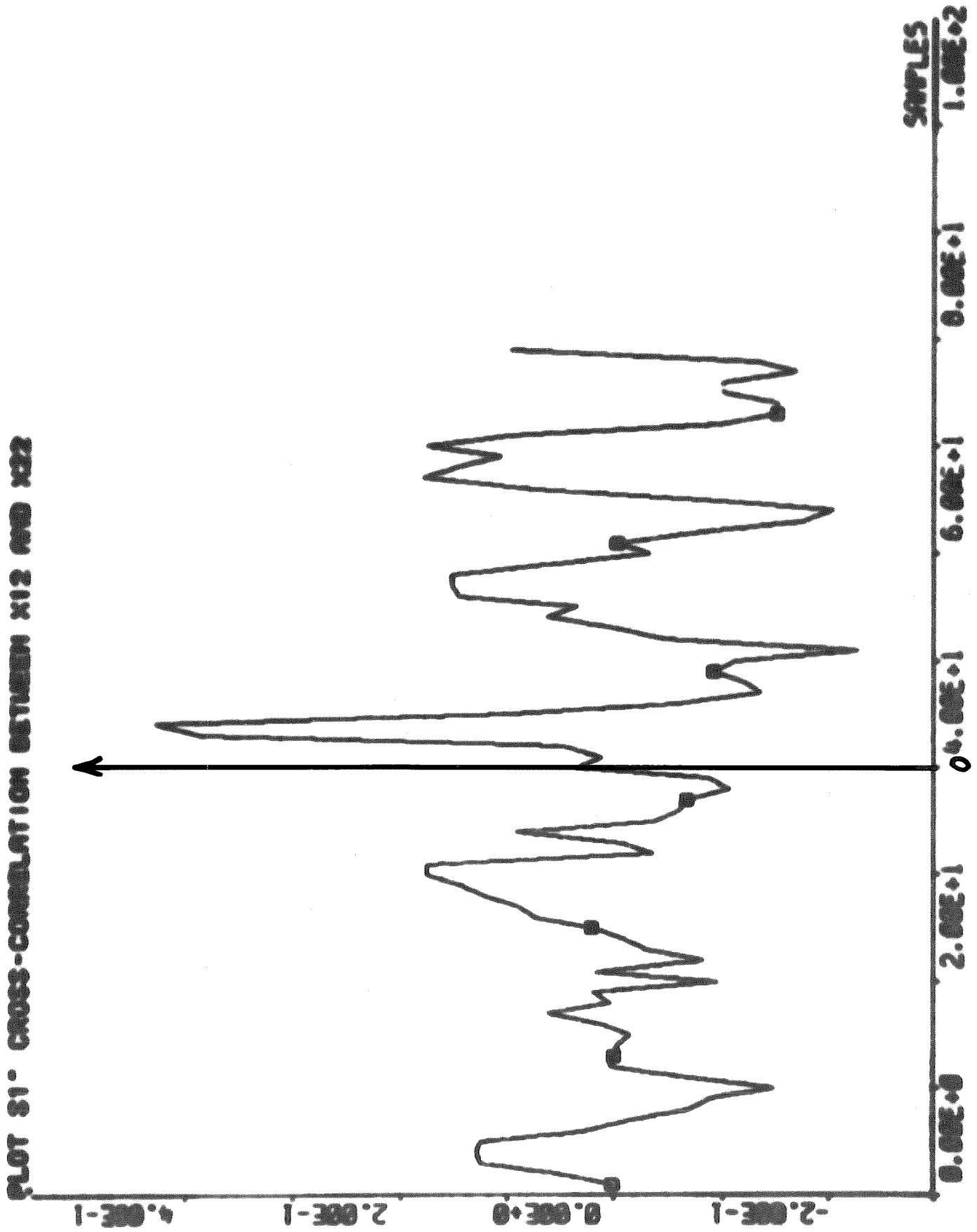


Fig. 3.14 Korskorrelationen mellan X_{12} och X_{22} .

PLOT. "AUTO-CORRELATION BETWEEN U AND P10 TRP. TIME 20M 35LACS

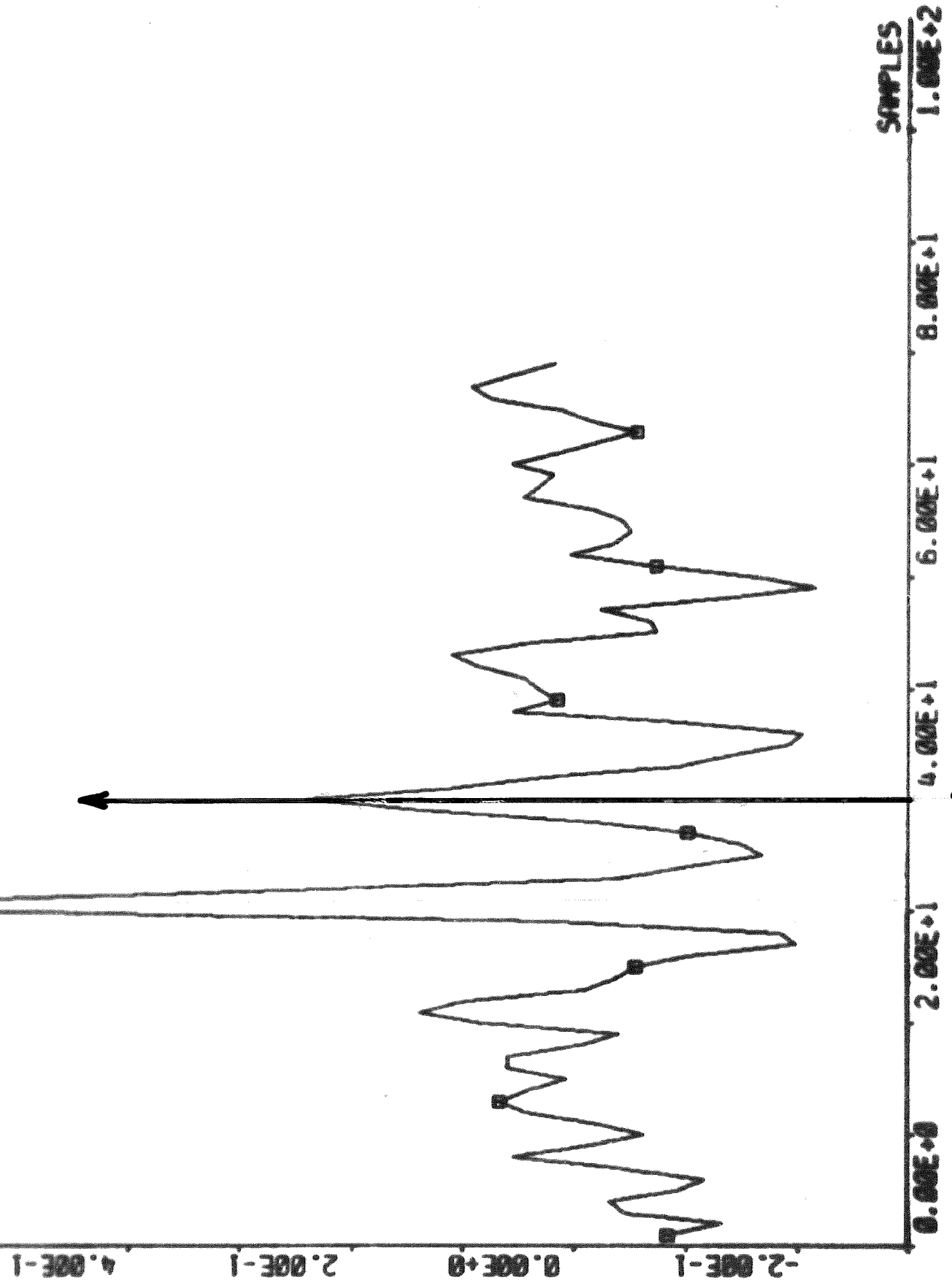


Fig. 3.15 Korskorrelation mellan störsignal U och produktvågens utslag P₁₀.

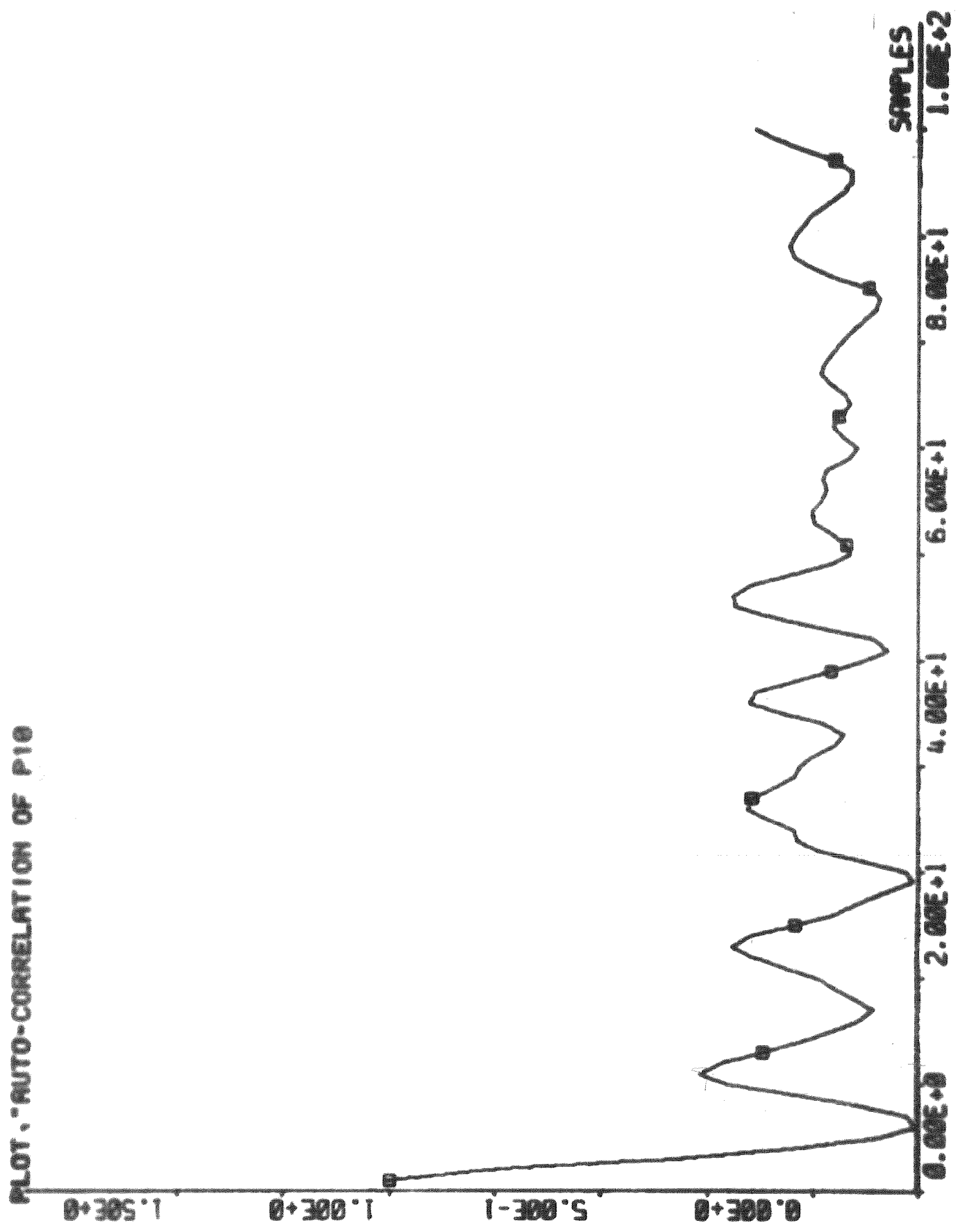


Fig. 3.16 Autokorrelationen av produktvägens utslag.

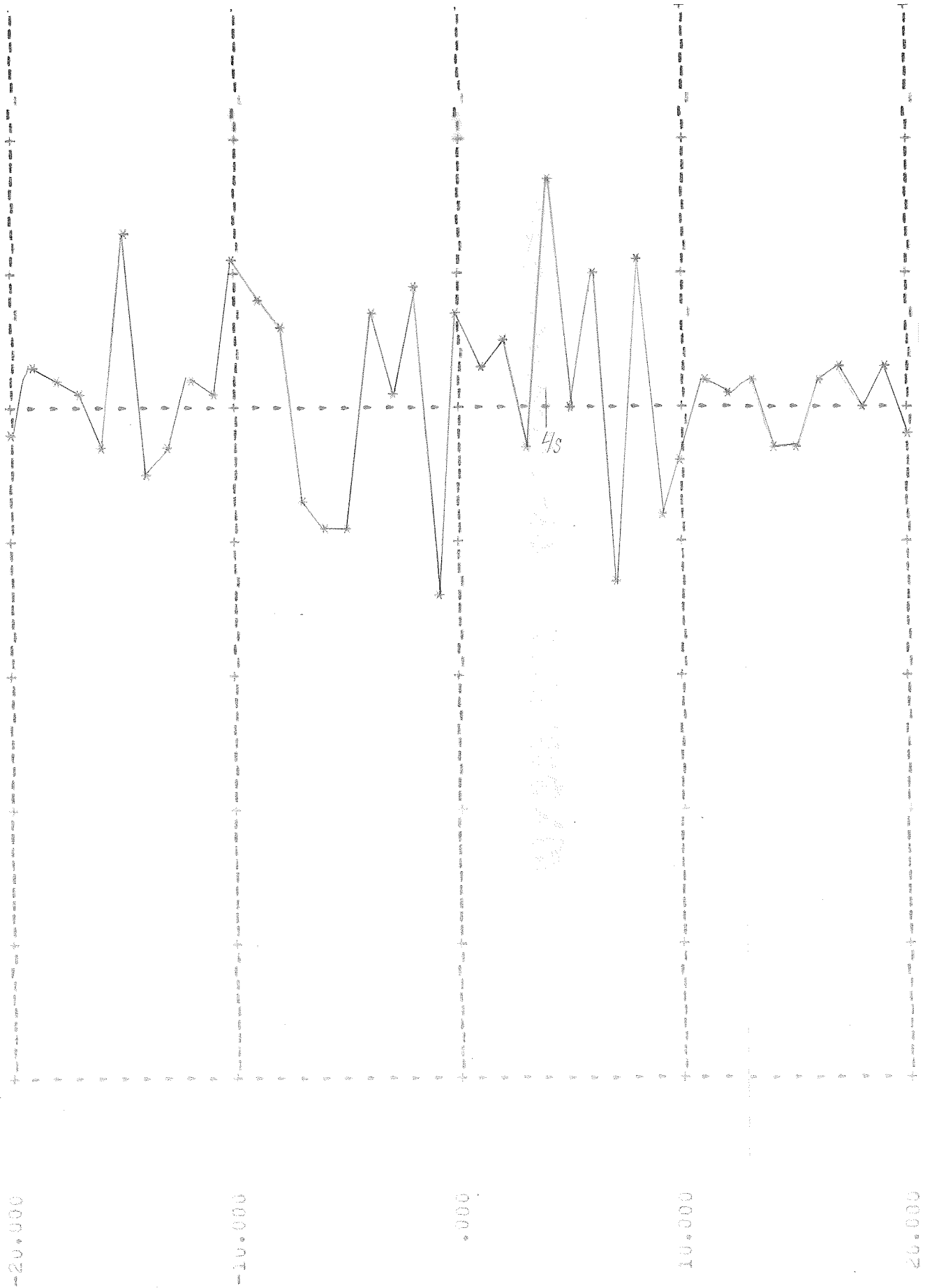


Fig. 3.17 Impulssvar från X_{11} till X_{21} . (Absoluta värden)

Vi ser bland kraftiga störningar en största samvariation efter 4 samplingsintervaller (8 minuter).

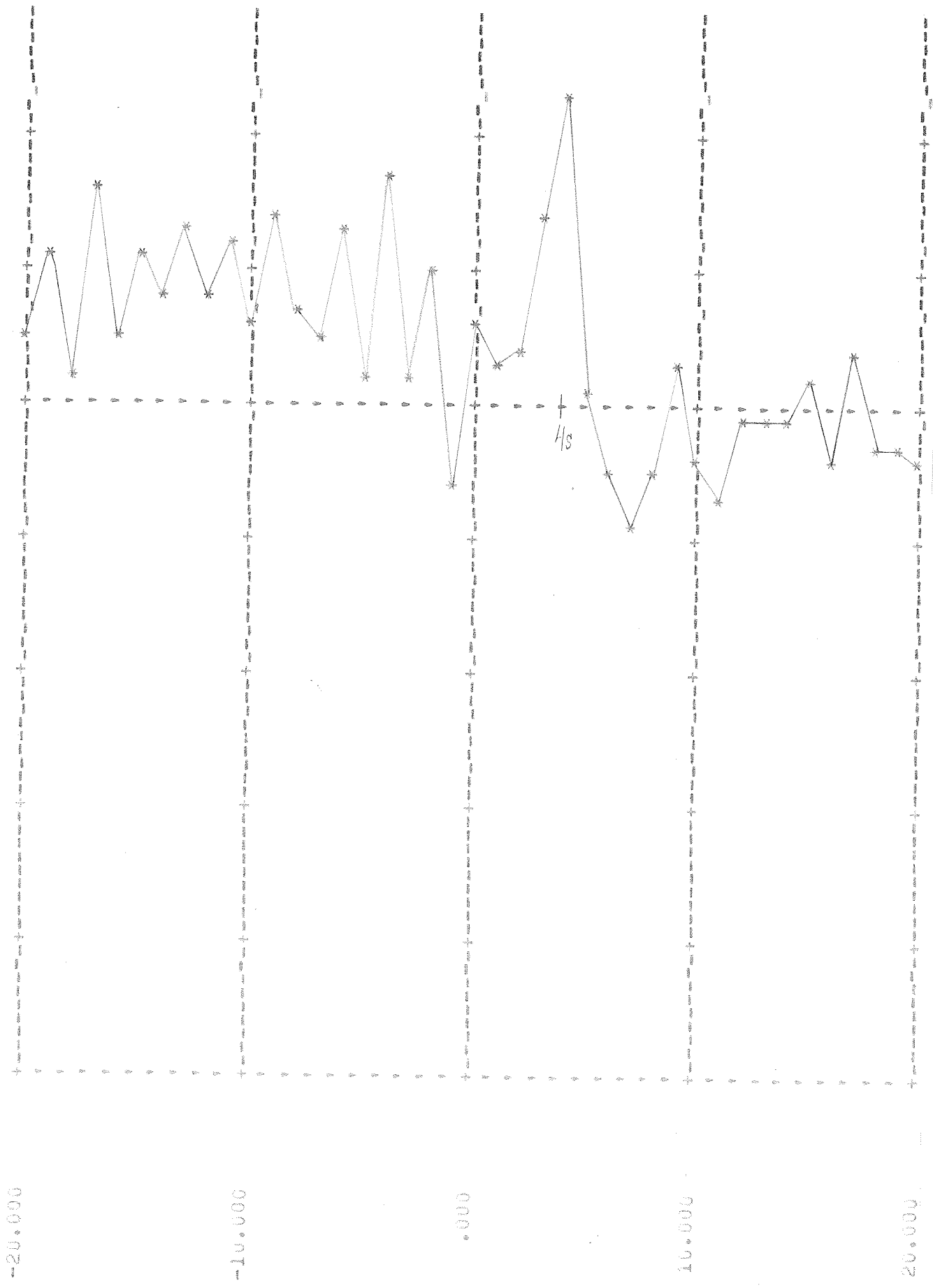


Fig. 3.18 Impulssvaret från X_{12} till X_{22} . Här kan urskiljas en starkare samvariation mellan produktkorn före och efter granulatorn.

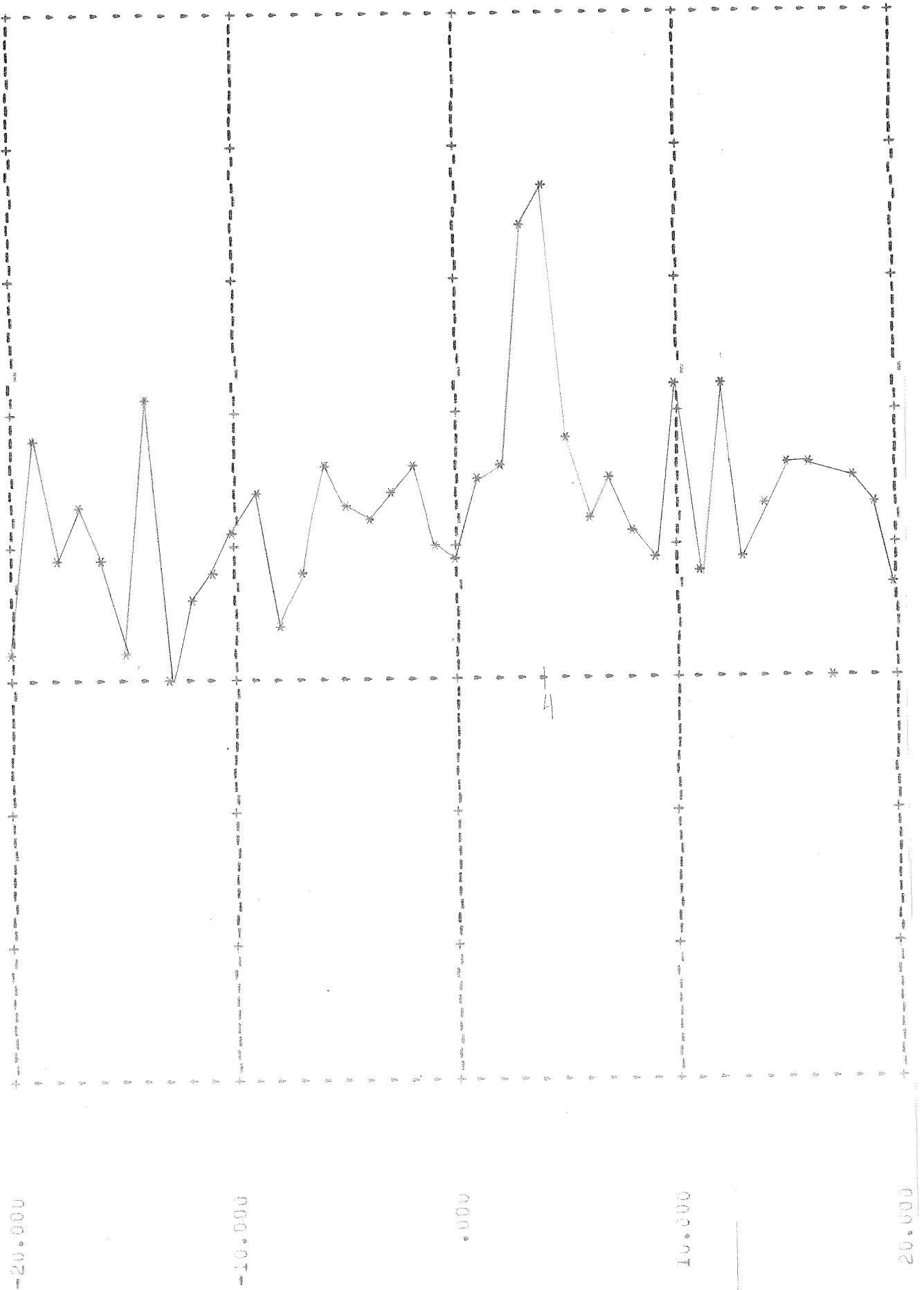


Fig. 3.19 Impulssvaret från M_{10} till X_{22} . En stark samvariation kan urskiljas efter 3-4 samplingsintervaller med recirkulerat gods som insignal och produktkort ut som utsignal.

3.5 BERÄKNING AV MASSFLÖDEN

Tre olika metoder har använts för att rekonstruera massflödet vid mätställe B efter granulatorens.

Rekonstr.A.

Vid den första rekonstruktionen gjordes antagandet att massflödet efter granulatorens var detsamma som massflödet före granulatorens sammanslaget med slamflödet, som i mätningen var konstant, se fig. 3.25.

Som tidigare nämnts utgör granulatorens ett effektivt lågpasfilter för såväl massflödet som de enskilda kornfraktionerna och släcker alltså ut de korta svängningarna.

Rekonstr.B.

Det föll sig då naturligt att sända värdena från massflödet före granulatorens genom ett lämpligt lågpasfilter och sedan använda utsignalen som ett värde på massflödet ut ur granulatorens (se fig. 3.2.6) Här uppstod problemet att finna rätt tidskonstant och som en grov gissning uppskattades den till 3 minuter. Lågpasfiltret har formen $G(s) = \frac{1}{1+Ts}$ där $T = 3$ min.

i samplad form

$$M_{20}(t+1) = e^{-2/3} M_{20}(t) + \frac{e^{-2/3}}{3} \int_0^2 e^{-s/3} ds \cdot M_{10}(t)$$

där M_{10} = massflödet före granulatorens

M_{20} = massflödet efter granulatorens

Rekonstr.C.

Den tredje rekonstruktionen gjordes bakvägen över cirkulationsdelen genom att från massflödet före granulatorens dra ifrån tillsatta råvaror och lägga till uttagen produkt genom sambandet

$$M_{20}(t) = M_{10}(t + 18) - \text{råvaror} + P(t + 18)$$

där t mätes i minuter och där P är uttagen produktmängd vid produktfickorna och råvaror är en konstant storhet.

Ett stort problem var att rekonstruera P eftersom vi inte hade någon våg vid produktuttaget utan först efter det att uttagen produkt passerat kyltrummor finns det en våg.

Vi uppskattade här P_{10} och konstruerade massflödet efter granulatorens från diagrammet av massflödet före granulatorens fig. 3.27.

Produktflödet efter utmatningsfickorna kan rekonstrueras på olika sätt. Då produktutmatningsfickan nr 1 är stängd passerar en ungefärligt konstant mängd genom fickorna nr 2 och 3 och när fickan nr 1 är öppen passerar en annan nästan konstant mängd ut.

En hygglig uppskattning borde då bli $k_1 + k_2 U(t)$, där k_1 och k_2 är konstanter, som har uppskattats med hjälp av produktflödena efter kyltrummorna och före granulatorens.

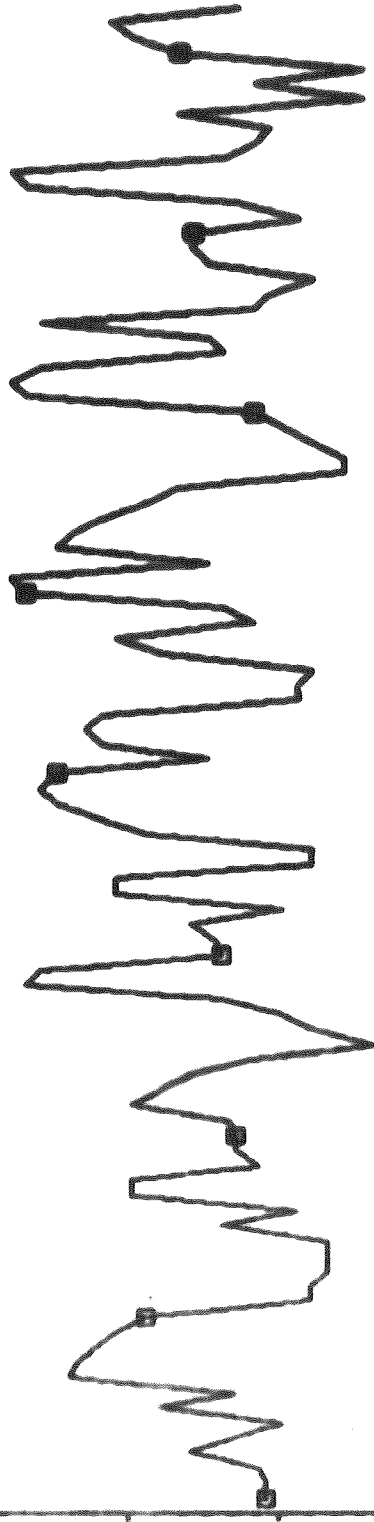
Vi vet att tidsmedelvärdet för uttagen produkt är 44.6 ton/timme. k_2 uppskattades till 29 ton/timme, vilket medför att k_1 blir 30.5 ton/timme.

När luckan är stängd matas det ut ca 30 ton/timme och då luckan var öppen ca 60 ton/timme.

Ett annat sätt att rekonstruera massan efter produktfickorna är att använda sig av värdena från vägen efter kyltrummorna, och translaterade den i tiden till efter produktutmatningsfickorna. Produkten har då passerat de två kyltrummorna med en transporttid på ca 22 minuter, och har under tiden ändrat utseende.

PLOT MM(3)-REX A

1.00E+2
1.50E+2
2.00E+2
2.50E+2



SUM = 25800.7
MEAN = 213.229
VARIANCE = 246.928
ST. DEV. = 15.7140
MINIMUM = 184.500
MAXIMUM = 244.500

0.00E+0 2.00E+1 4.00E+1 6.00E+1 1.00E+2

SAMPLES
1.00E+2

Fig. 3.25 Rekonstruktion A av massflödet efter granulatore.

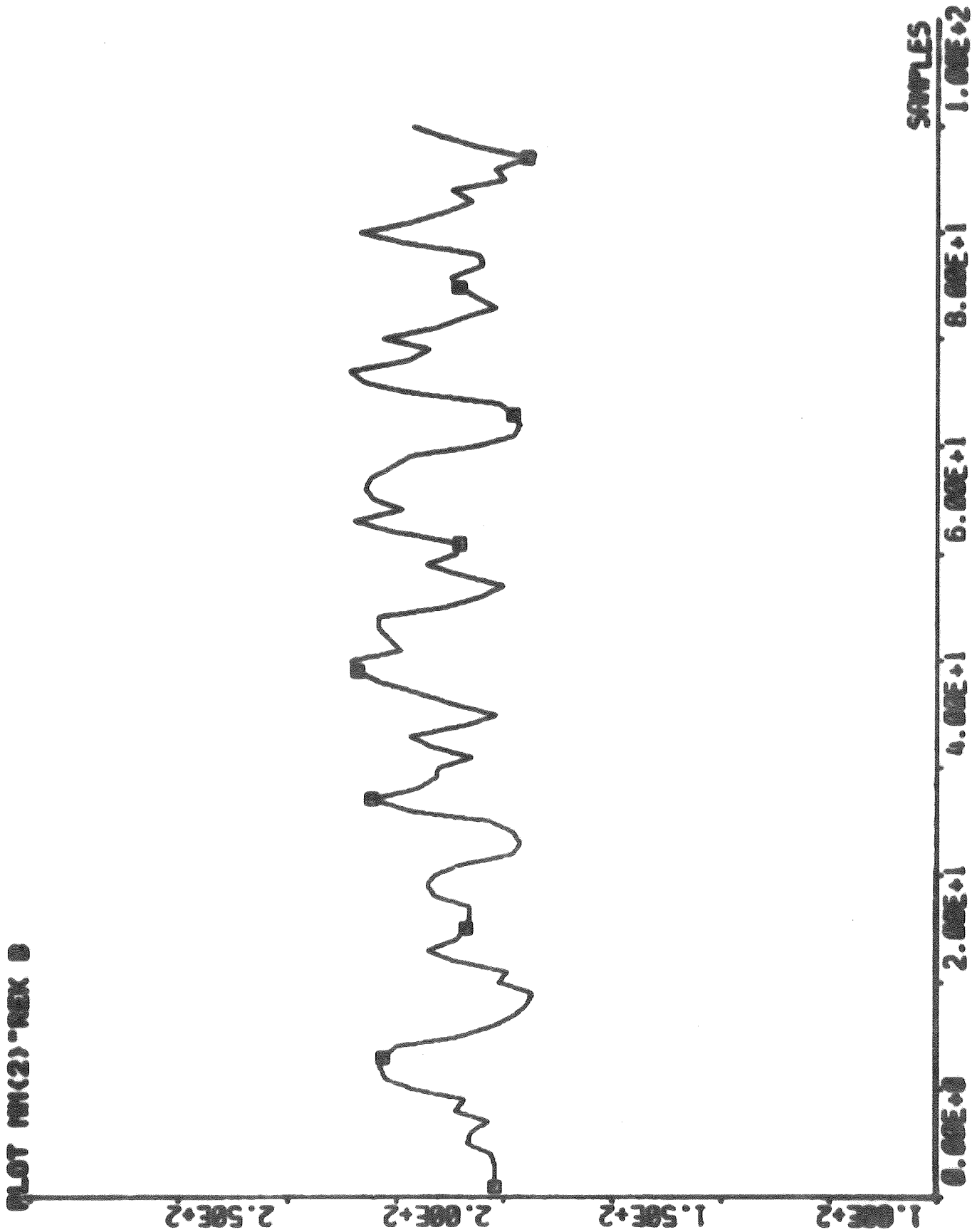


Fig. 3.26 Rekonstruktion B av massflödet efter granulatom.

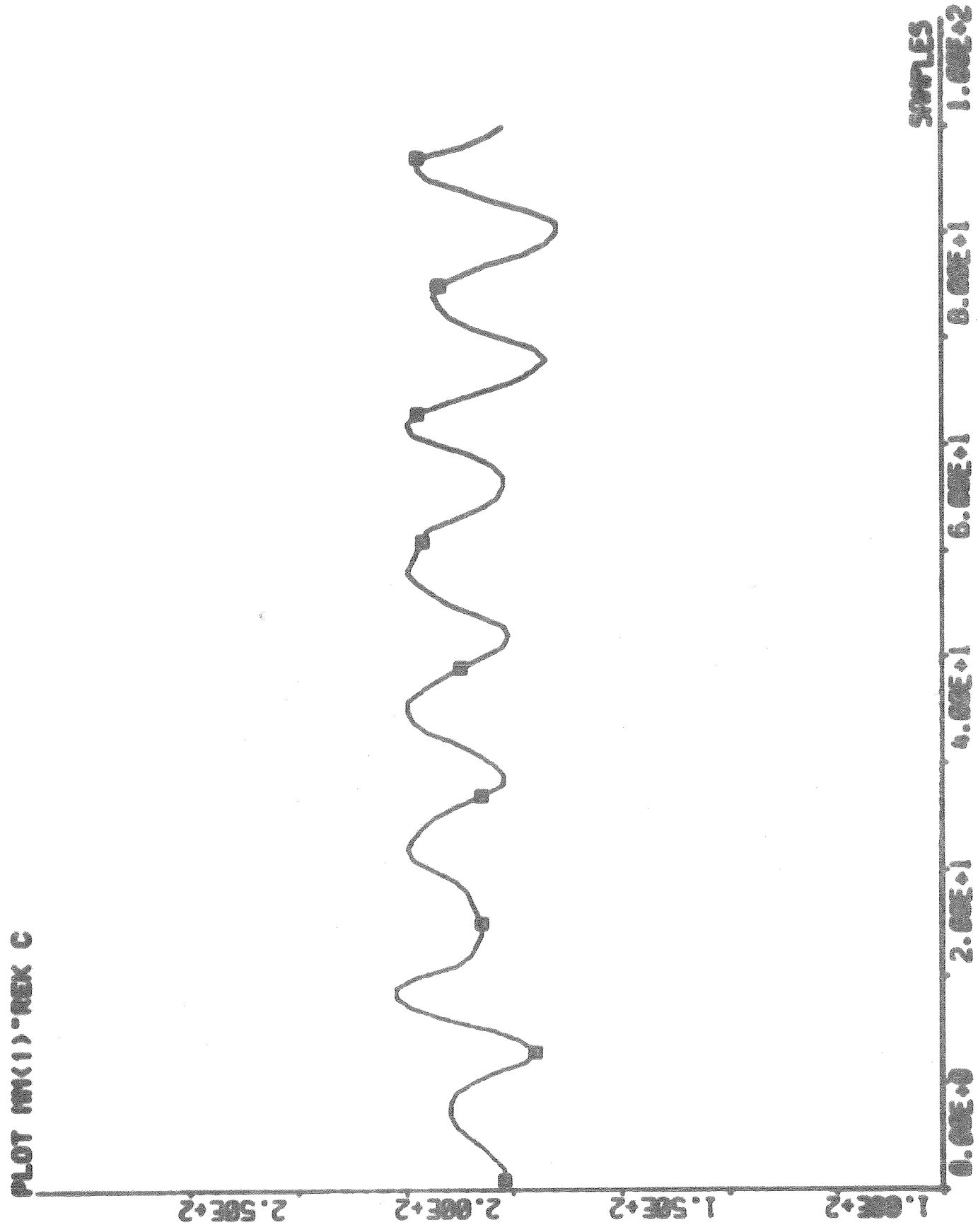


Fig. 3.27 Rekonstruktion C av massflödet efter granulatore.

4. ML-SKATTNING

Vårt problem är att uppskatta ett antal okända parametrar i en modell med känd struktur.

Den tillgängliga informationen består av processens uppmätta värden av insignalen

$$\{ u(t), t = 1, 2, \dots, N \} \text{ och utsignalen } \{ y(t), t=1 \dots N \}$$

När man använder Maximum Likelihood metoden antar man att processen kan beskrivas av en linjär modell av n:te ordningen och att störningen består av färgat rationellt brus.

En allmän modell med dessa antaganden är

$$A^* (q^{-1}) y(t) = B^* (q^{-1}) u(t) + \lambda C^*(q^{-1}) e(t)$$

$e(t)$ är en sekvens av oberoende normalfördelade (0.1) slumpstal och q betecknar skiftoperatorn

$$qx(t) = x(t+1)$$

Polynomen A^* , B^* och C^* definieras som

$$A^* (z) = 1 + a_1 z + \dots + a_n z^n$$

$$B^* (z) = b_1 z + b_2 z^2 + \dots + b_n z^n$$

$$C^* (z) = 1 + c_1 z + \dots + c_n z^n$$

Parametern λ i modellen kontrollerar variansen i bruset eftersom var $\{ e(t) \}$ är normaliserad till 1.

Problemet består i att minimera förlustfunktionen (lossfunction)

$$V(\theta) = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^N \epsilon^2(t)$$

där residualerna $\epsilon(t)$ fås ur

$$C^*(q^{-1}) \epsilon(t) = A^*(q^{-1}) y(t) - B^*(q^{-1}) u(t)$$

och A, B och C är uppskattningarna av polynomen A, B och C.

Om man känner minsta värde $V(\theta)$ av förlustfunktionen uppskattas som

$$\lambda^2 = \frac{2}{N} V(\theta)$$

Modellens ordning är inte känd på förhand utan man får pröva sig fram med ökande ordning.

Låt V_i vara förlustfunktionen för i:te ordningens modell.

Nollhypotesen är att modellen är av ordning n. Testkvantiteten är

$$F_{n+1,n} = \frac{V_n - V_{n+1}}{V_{n+1}} \cdot \frac{N - 3(n+1)}{3}$$

där N är antalet värden i filerna. Om testkvantiteten är större än 2.6 förkastar man nollhypotesen med mindre än 5% risk.

Metoden är vidare beskriven t ex i /4/.

4.1 GRANULATOR

Den recirkulerade delen av produkterna från produktutmatningen sammanförs med granuler från krossen och underkrossfickor. Innan granulatorn tillsätts också torra råvaror. Detta massflöde vägs, temperaturen registreras kontinuerligt på skrivare och material och fuktprover tas vid diskreta tidpunkter. Från mätställe A transporteras godset in i granulatorn. Inne i granulatorn sprayas slammet på det recirkulerade godset, som tjänstgör som kondensationskärnor. Uppehållstiden i granulatorn är ungefär 3-4 minuter. Massflödet faller ut på stabiliseringsbandet där uppehållstiden är två minuter och femtio sekunder. På detta band kan en viss kristallisation ske och med denna temperaturen höjas. Av denna anledning har vi tagit med stabiliseringsbandet i vår modell över granulatorn.

I slutet av bandet mäts temperaturen och registreras på skrivare. I fallet från bandet ner till torktrummorna togs materialproverna och fuktproverna (mätställe B). På den våta delen registrerades temperatur och slammängd på skrivare. Vid bireaktorn togs fuktprover.

Vi hade tillgång till följande insignaler:

Mätställe A

underkorn	X_{11}
produktkorn	X_{12}
överkorn	X_{13}
mängd recirkul.gods	M_{10}
temperatur	T_{10}
fukthalt	F_{10}

Produktutmatningsfickorna:

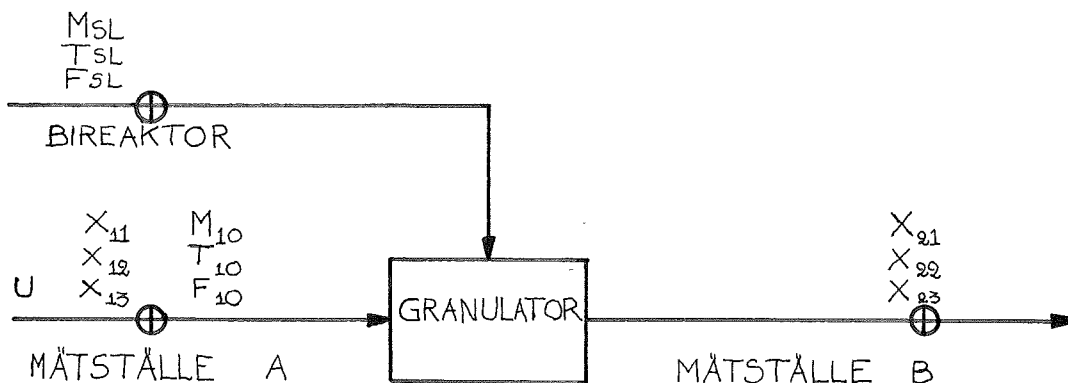
Läge på produktutmatningsluckan nr 1, störsignalen

Våta sidan vid bireaktorn:

Slamflöde	M_{SL}
Temperatur	T_{SL}
Fukthalt	F_{SL}

Som ut signaler användes mätvärden från mätställe B

underkorn	X_{21}
produktkorn	X_{22}
överkorn	X_{23}



Eftersom vi endast var intresserade av avvikelserna från medelvärdena gav oss konstanta tidsserier inget ytterligare bidrag, vilket var fallet med slamflödet och slamtemperaturen.

Fukthalterna har ej använts i ML-skattningarna då utslagen låg innanför mätfelet. Massflödet innan granulatorens kan däremot utgöra ett mått på fukthalten eftersom fukten ändras kraftigt med förhållandet mellan torrt gods (recirkulerat gods) och slam i granulatorens.

Ett naturligt antagande är att granulerna endast öka i storlek i granulatorens och att således en kornfraktion efter granulatorens beror på kornfraktioner av mindre eller lika storlek före granulatorens.

Med hjälp av kovariansanalys, se kap. 3 och genom att prova med ML-skattningar med olika transporttider genom granulatorens har vi kommit fram till 8 minuters transportfördröjning mellan mätställena A och B.

4.2 MODELL MED ABSOLUTA MASSFLÖDEN

I denna modell har dels använts rekonstruktion A, dels rekonstruktion B, (se kap. 3.5) för att kunna uppskatta massflödet efter granulatorens.

Rekonstruktion A innebar att vi antog att utseendet av massflödet efter granulatorens var lika med utseendet på massflödet av recirkulerat gods. De modeller med denna rekonstruktion benämns G_A , där G står för granulatorensmodell och A för rekonstruktion A.

Vid rekonstruktion B, utjämnade vi massflödet något på grund av att granulatorens utjämnar de snabba svängningarna.

De modeller där rekonstruktion B använts benämns G_B .

Genom att göra försök med olika insignaler har vi fått ett mått på olika variablers beroende av varandra.

x₁₁ underkorn f. granulator

SUM = 11470.1
 MEAN = 114.701
 VARIANCE = 130.588
 ST.DEV. = 11.4275
 MINIMUM = 90.3013
 MAXIMUM = 143.680

x₂₁ underkorn efter gran.

SUM = 2955.05
 MEAN = 29.5505
 VARIANCE = 95.5860
 ST.DEV. = 9.77681
 MINIMUM = 11.3093
 MAXIMUM = 58.2438

x₁₂ produktkorn f. gran.

SUM = 5713.92
 MEAN = 57.1392
 VARIANCE = 270.612
 ST.DEV. = 16.4503
 MINIMUM = 29.3741
 MAXIMUM = 90.4432

x₂₂ produktkorn efter gran.

SUM = 10120.1
 MEAN = 101.201
 VARIANCE = 215.550
 ST.DEV. = 14.6816
 MINIMUM = 65.8450
 MAXIMUM = 132.268

x₁₃ överkorn f. gran.

SUM = 1319.72
 MEAN = 13.1972
 VARIANCE = 13.8323
 ST.DEV. = 3.71918
 MINIMUM = 6.70705
 MAXIMUM = 22.4677

x₂₃ produktkorn efter gran.

SUM = 8378.58
 MEAN = 83.7858
 VARIANCE = 211.224
 ST.DEV. = 14.5336
 MINIMUM = 58.6918
 MAXIMUM = 120.913

M₁₀ massflödet av recirkulerat gods

SUM = 18503.7
 MEAN = 185.037
 VARIANCE = 270.109
 ST.DEV. = 16.4350
 MINIMUM = 155.000
 MAXIMUM = 215.000

Statistiska data för mätvärden i G_A

baserad på 100 mätvärden.

Insignaler i vänstra ledet och
 utsignaler i högra.

T₁₀ temperatur f. gran.

SUM = 6296.30
 MEAN = 62.9630
 VARIANCE = 2.63648
 ST.DEV. = 1.62372
 MINIMUM = 58.5000
 MAXIMUM = 66.0000

U läge på produktutmatningsfickan nr 1, störsignal.

SUM = 49.0000
 MEAN = 0.490000
 VARIANCE = 0.249900
 ST.DEV. = 0.499900
 MINIMUM = 0.000000
 MAXIMUM = 1.000000

x₁₁ underkorn f. granulator

SUM	=	11470.1
MEAN	=	114.701
VARIANCE	=	130.588
ST.DEV.	=	11.4275
MINIMUM	=	90.3013
MAXIMUM	=	143.680

x₂₁ underkorn efter gran.

SUM	=	2937.90
MEAN	=	29.3790
VARIANCE	=	82.7968
ST.DEV.	=	9.09927
MINIMUM	=	12.2629
MAXIMUM	=	54.8136

x₁₂ produktkorn f gran.

SUM	=	5713.92
MEAN	=	57.1392
VARIANCE	=	270.612
ST.DEV.	=	16.4503
MINIMUM	=	29.3741
MAXIMUM	=	90.4432

x₂₂ produktkorn efter gran.

SUM	=	10095.6
MEAN	=	100.956
VARIANCE	=	145.765
ST.DEV.	=	12.0733
MINIMUM	=	67.7150
MAXIMUM	=	124.284

x₁₃ överkorn f gran.

SUM	=	1319.72
MEAN	=	13.1972
VARIANCE	=	13.8323
ST.DEV.	=	3.71918
MINIMUM	=	6.70705
MAXIMUM	=	22.4677

x₂₃ produktkorn efter gran.

SUM	=	8411.47
MEAN	=	84.1147
VARIANCE	=	253.084
ST.DEV.	=	15.9086
MINIMUM	=	54.1412
MAXIMUM	=	129.951

M₁₀ massflödet av recirkulerat gods

SUM	=	18503.7
MEAN	=	185.037
VARIANCE	=	270.109
ST.DEV.	=	16.4350
MINIMUM	=	155.000
MAXIMUM	=	215.000

Statistiska data för mätvärden i G_B
baserad på 100 mätvärden.
Insignaler i vänstra ledet och
utsignaler i högra.

T₁₀ temperatur f.gran.

SUM	=	6296.30
MEAN	=	62.9630
VARIANCE	=	2.63648
ST.DEV.	=	1.62372
MINIMUM	=	58.5000
MAXIMUM	=	66.0000

U läge på produktutmatningsfickan nr 1, störsignal.

SUM	=	49.0000
MEAN	=	0.490000
VARIANCE	=	0.249900
ST.DEV.	=	0.499900
MINIMUM	=	0.000000
MAXIMUM	=	1.000000

4.2.1 UNDERKORNSMODELLER

Betrakta tabell 4.1, som visar några av de framtagna underkornsmodellerna. När x_{11} används som insignal ger den en förlustfunktion (loss function) på 3535 med en något osäker c-parameter. Den simulerade utsignalen är plottad tillsammans med verklig utsignal i fig. 4.1. Jämför denna med G_B modellen med samma insignal. C-parametern är även där osäker. I rekonstruktion B har vi slätat ut svängningarna och då blir förlustfunktionen lägre på grund av mindre varians i mätvärdena. Model output är plottad i fig. 4.8.

En förlustfunktion på 3350 erhöles med M_{10} som insignal i G_A -modellen. Det lönade sig inte att öka ordningen på modellen i detta fall. Testkvantiteten blev endast 0.82. Model output är plottad i fig. 4.2 för första ordningens modell.

Genom att använda både x_{11} och M_{10} som insignal sjönk ytterligare förlustfunktionen till 2927. Model output följer uppmätt utsignal bättre. Vi ser i fig. 4.4 autokovariansen för residualerna. De är ej tillfredsställande, ty åtskilligt mer än 5% av punkterna i kurvan faller utanför 5% toleransgränsen. Korskovariansen mellan residualer och insignaler finns plottade i fig. 4.5 och 4.6.

Förlustfunktionen i G_B modellen blev 2890. I båda fallen blev c-parametern osäker.

Som jag tidigare nämnt beror fukthalten i granulatorens starkt på förhållandet torrt gods och slam i granulatorens.

Att massflödet M_{10} har stor inverkan på underkorn ut kan alltså visa på att fukthalten i granulatorens har stor inverkan på mängd underkorn ut ur granulatorens.

I G_A modellerna har M_{10} sedan bytts ut mot störsignalen M vilket resulterade i en något högre förlustfunktion. C-parametern blev däremot

något bättre. Model output i fig. 4.7. En andra ordningens modell togs fram med en testkvantitet på 3.35 i jämförelse med första ordningens modell. Parametrarna b_{12} och b_{21} fick sättas fixa till noll då de ännu visat sig vara osäkra.

G_B modellen $x_{21} = F(M_{10}, T_{10})$ gav bra parametrar. Det har emellertid visat sig annars att det var svårt att få signifikanta parametrar framför T_{10} -termen.

Eftersom plottningarna av x_{11} och x_{21} liknar varandra mycket (se appendix I) har jag utan hjälp av ML-skattning uppskattat en modell med ren förstärkning av x_{11} . Modellen som uppskattades blev

$$x_{21}(t) = 0.6x_{11}(t-4) - 85.3.$$

Model output och verklig utsignal är plottade i fig. 4.10.

Sammanfattningsvis ser alltså den bästa modellen ut att komma ut av x_{11} och M_{10} som insignaler, för både rekonstruktion A och B. Totala massan M_{10} synes alltså vara en väsentlig insignal för att känna underkornens dynamik, men kunskap om andelen underkorn före granulatorens är också mycket viktig. Det lönar sig dock sällan att bestämma högre ordningstal än 1, vilket hänger samman med störningarnas amplitud i förhållande till signalerna. Modellen är således

$$x_{21}(t) = 0.331x_{21}(t-1) + 0.289x_{11}(t-4) + 0.267M_{10}(t-4) + \\ + 7.73 \{e(t) + 0.034e(t-1)\}$$

$$x_{21}(t) = 0.211x_{21}(t-1) + 0.280x_{11}(t-4) + 0.130M_{10}(t-4) + \\ + 7.68\{e(t) - 0.169e(t-1)\}$$

där värdena 7.73 resp. 7.68 betyder följande: mängden underkorn kan uppskattas 2 minuter fram i tiden av modellerna med i medeltal en osäkerhet på 7.73 resp. 7.68 ton/timme.

modell	k	M	$\frac{p}{g}$	a_1 a_2	b_{11} b_{12}	b_{21} b_{22}	b_{31} b_{32}	c_1 c_2	Loss funk	λ	anm
$X_{21} = F(X_{11})$		G_A	1	-0.404+0.143	0.276+0.082			-0.189+0.143	3535	8.49	Osäker C-par. nodo fig.4.1
$X_{21} = F(M_{10})$				-0.223+0.165	0.263+0.062			-0.098+0.161	3350	8.27	Nodo fig.4.2
				0.471+0.263	0.254+0.063			0.630+0.264	3264	8.16	TQ=0.82
				-0.295+0.141	0.124+0.101			-0.107+0.132			
$X_{21} = F(X_{11}, M_{10})$				0.331+0.177	0.289+0.079	0.267+0.0060		0.034+0.183	2927	7.73	Nodo fig.4.3 resid.4.4-4.6
$X_{21} = F(X_{11}, U)$				-0.436+0.127	0.249+0.079	-2.792+1.742		-0.268+0.138	3449	8.39	Nodo fig 4.7
				-0.374+0.386	0.291+0.090	0.0		-0.182+0.372	3217	8.10	TQ=3.35
				0.155+0.237	0.0	-3.301+1.638		0.332+0.174			
$X_{21} = F(X_{11})$		G_B		-0.337+0.165	0.301+0.079			-0.187+0.171	3078	7.93	Osäker C-par. nodo fig.4.8
$X_{21} = F(X_{11}, M_{10})$		G_B		-0.211+0.169	0.280+0.080	0.130+0.052		-0.169+0.179	2890	7.68	Nodo fig.4.9
$X_{21} = F(M_{10}, T_{10})$		G_B		-0.553+0.133	0.165+0.051	-0.575+0.361		-0.436+0.141	3257	8.15	
$X_{21} = F(X_{11})$		G_B		0.0	0.6			0.062+0.095	3512	8.47	Nodo fig.4.10

PLOT M1 - X21-F(X11) CA 21A

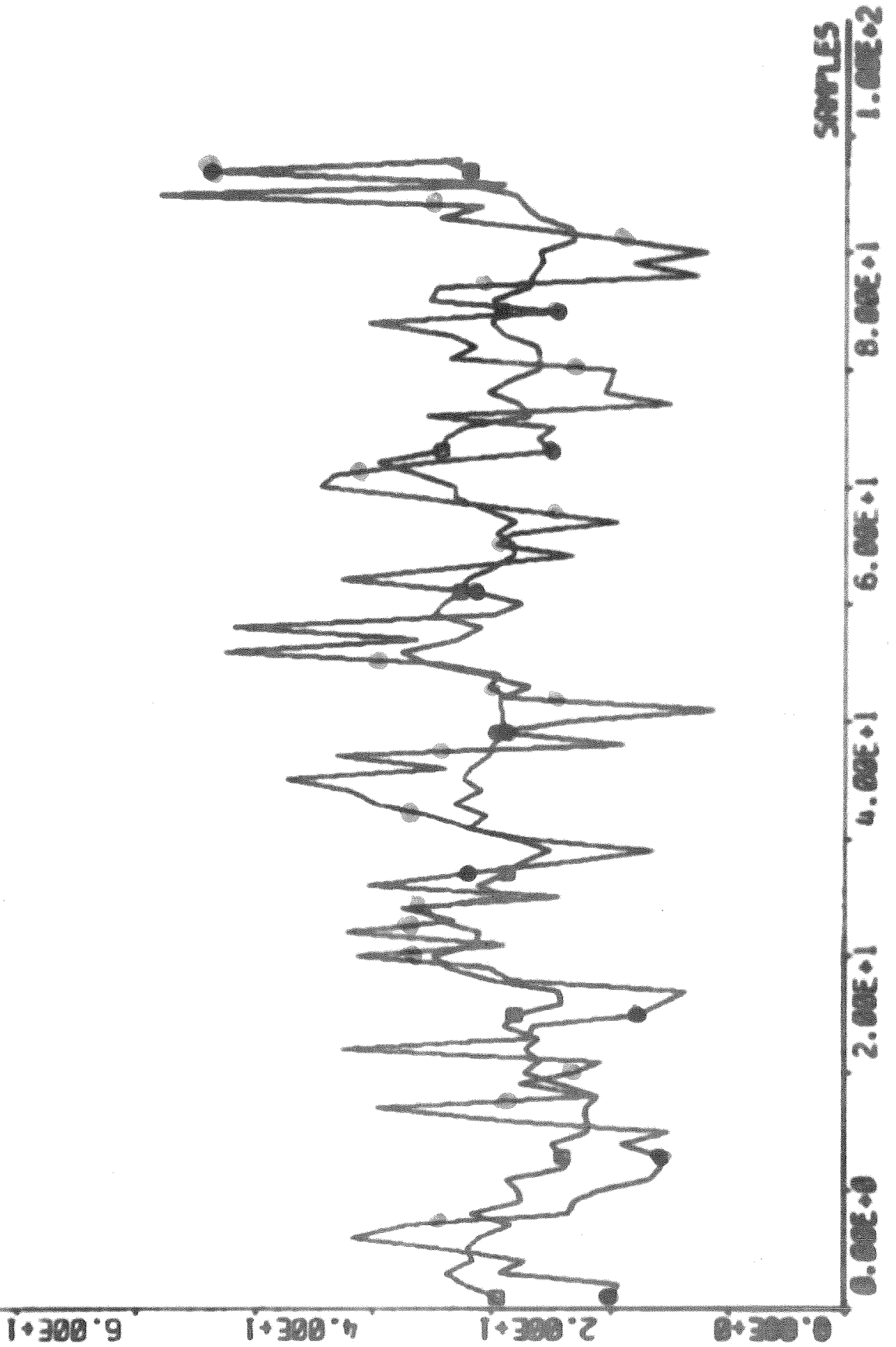


Fig. 4.1 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell $G_A X_{21} = F(X_{11})$ 2:a ordn.

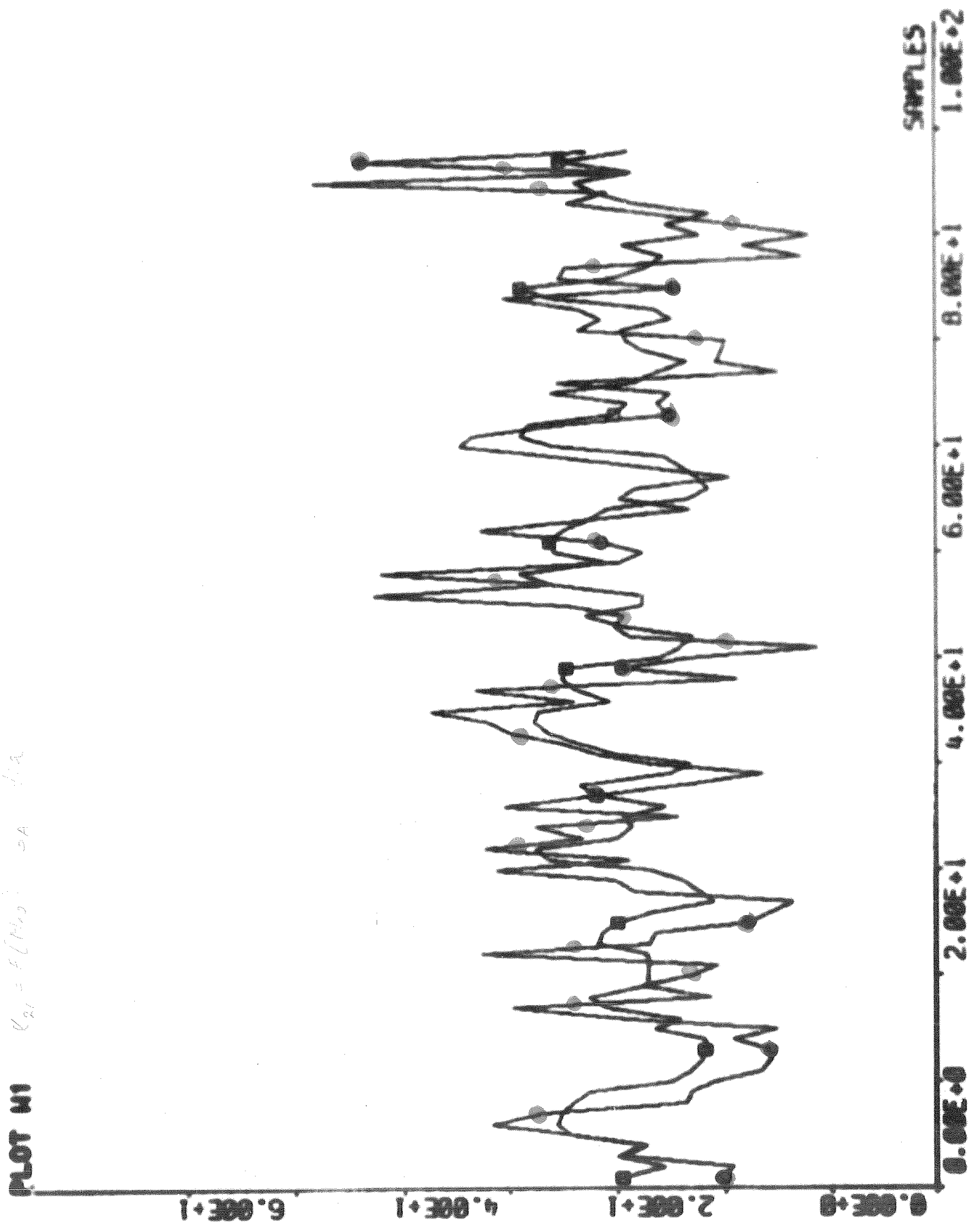


Fig.4.2. Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell G_A $X_{21} = F(M_{10})$ 1:a ordn.

PLOT M1 - X21-F(X11,M10) 1:1R GR

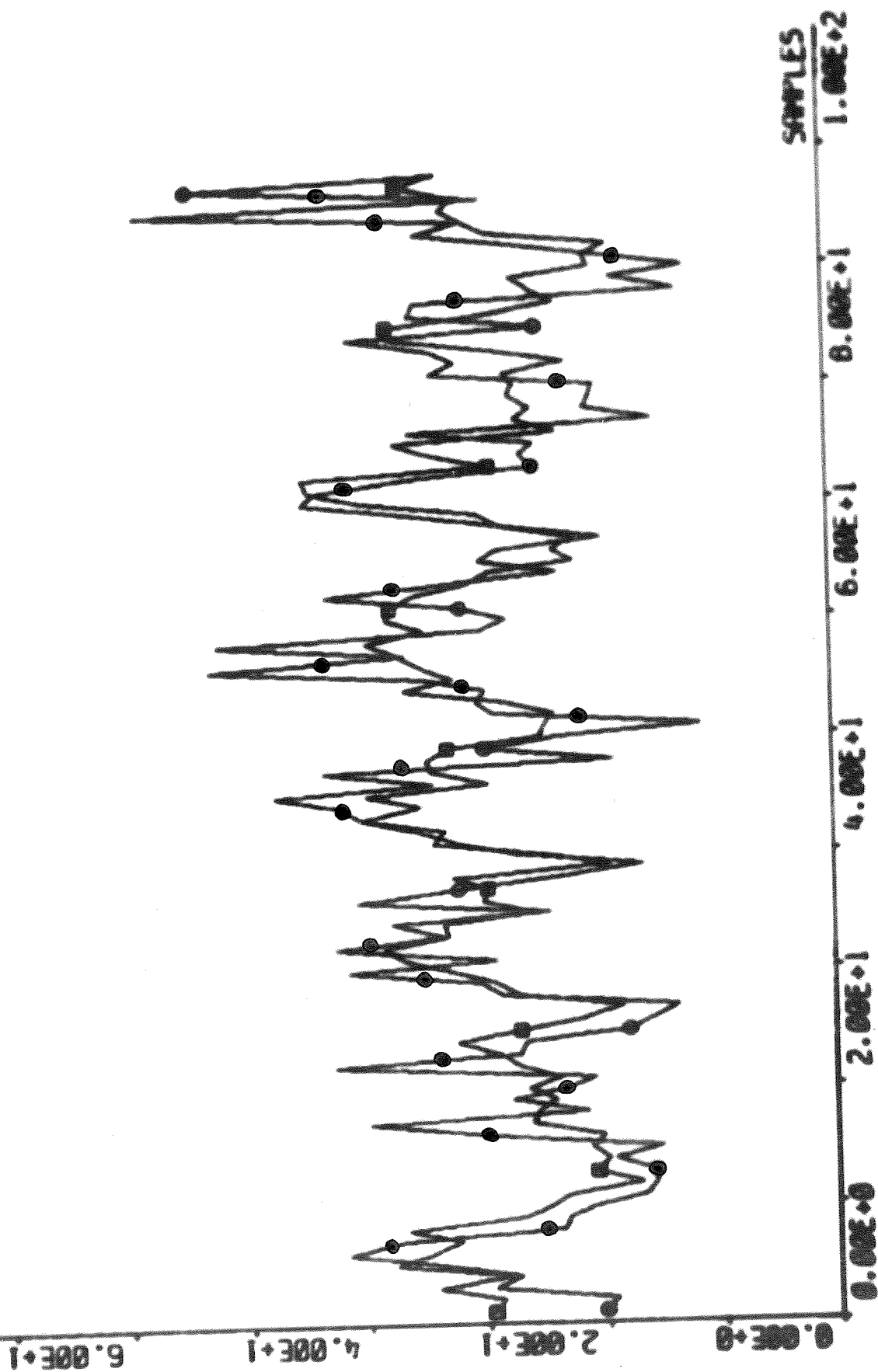


Fig.4.3 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell $G_A X_{21} = F(X_{11}, M_{10})$ 1:a ordn.

NUMBER OF CHANGES OF SIGN OF THE RESIDUALS . 26

6 PERCENT TOLERANCE LIMITS 30 50

TEST OF INDEPENDENCE OF THE RESIDUALS

$E(\text{RES}(T) \cdot \text{RES}(T + \tau))$ FOR $\tau = 1, 6$

TEST QUANTITY 92.582 DEGREES OF FREEDOM 6

TEST OF NORMALITY

TEST QUANTITY 16.260 DEGREES OF FREEDOM 17

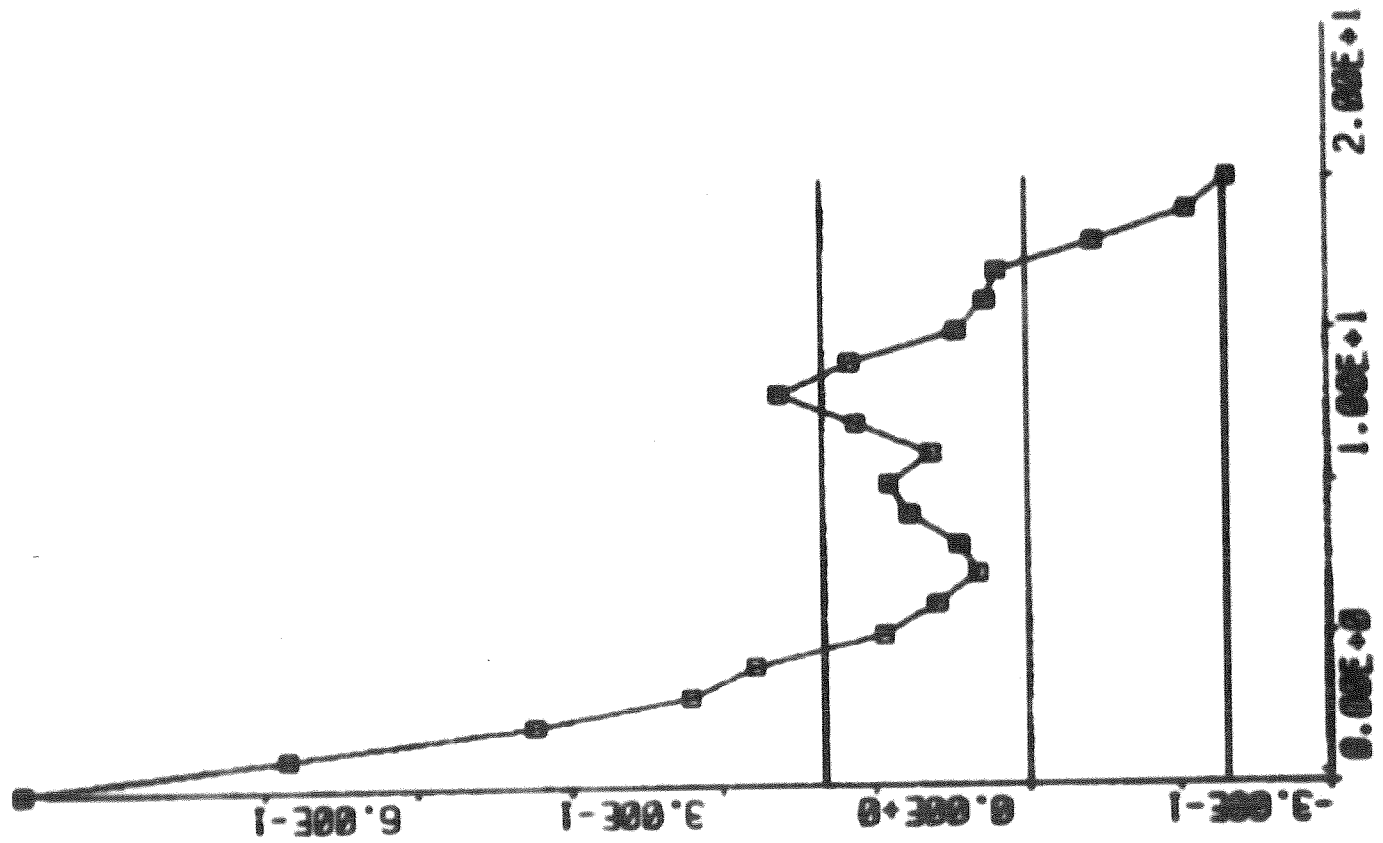


Fig.4.4 Residualtest
 Modell $G_A X_{21} = F(X_{11}, M_{10})$ 1:a ordn.

TEST OF INDEPENDENCE BETWEEN
RESIDUALS AND INPUT 1
E(RES(T)MU(T+TAU)) FOR TAU= 3, 7
TEST QUANTITY 29.147
DEGREES OF FREEDOM 5
E(RES(T)MU(T+TAU)) FOR TAU=-4, 0
TEST QUANTITY 0.4212
DEGREES OF FREEDOM 5

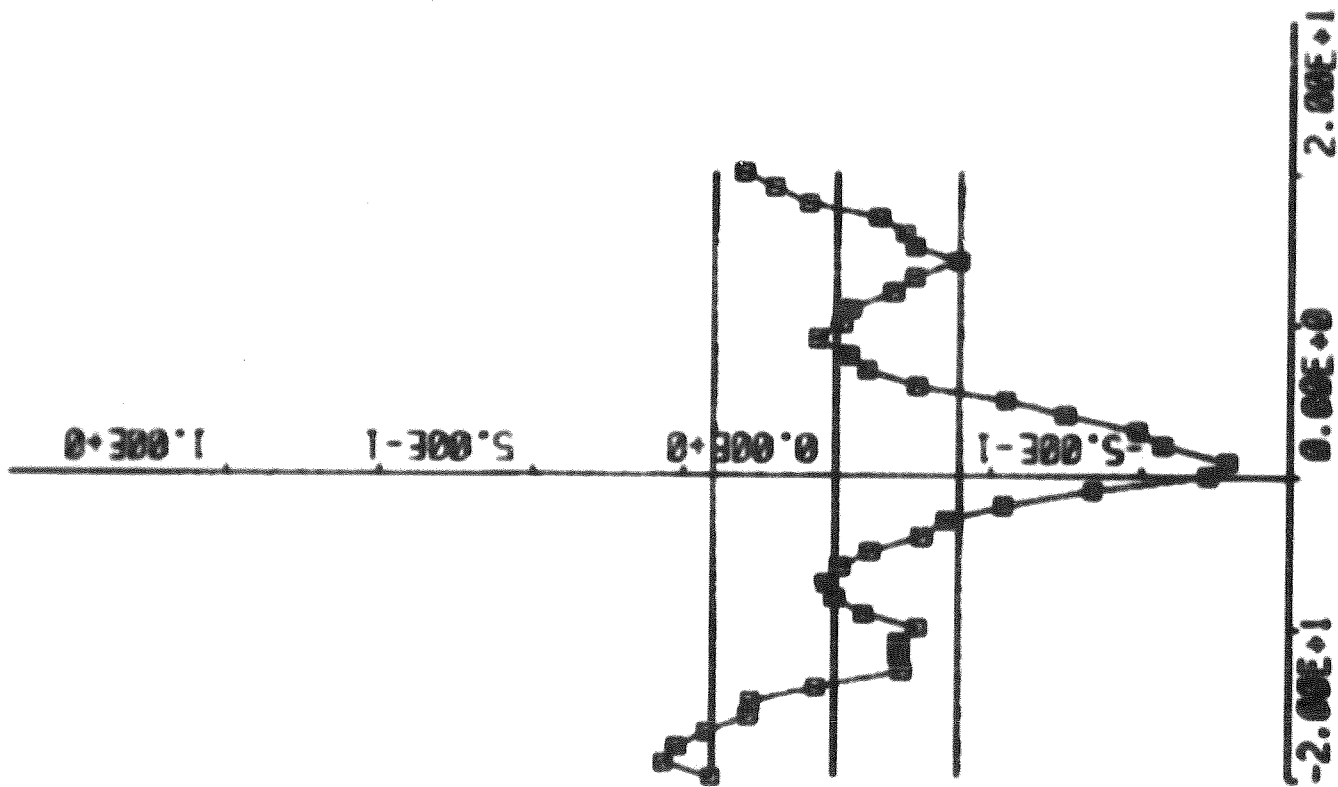


Fig.4.5 Residualtest
Modell $G_A X_{21} = F(X_{11}, M_{10})$ 1:a ordn.

TEST OF INDEPENDENCE BETWEEN
RESIDUALS AND INPUT 2
E(RES(T)MU(T+TAU)) FOR TAU= 3, 7
TEST QUANTITY 0.7111
DEGREES OF FREEDOM 5
E(RES(T)MU(T+TAU)) FOR TAU=-4, 0
TEST QUANTITY 4.4869
DEGREES OF FREEDOM 5

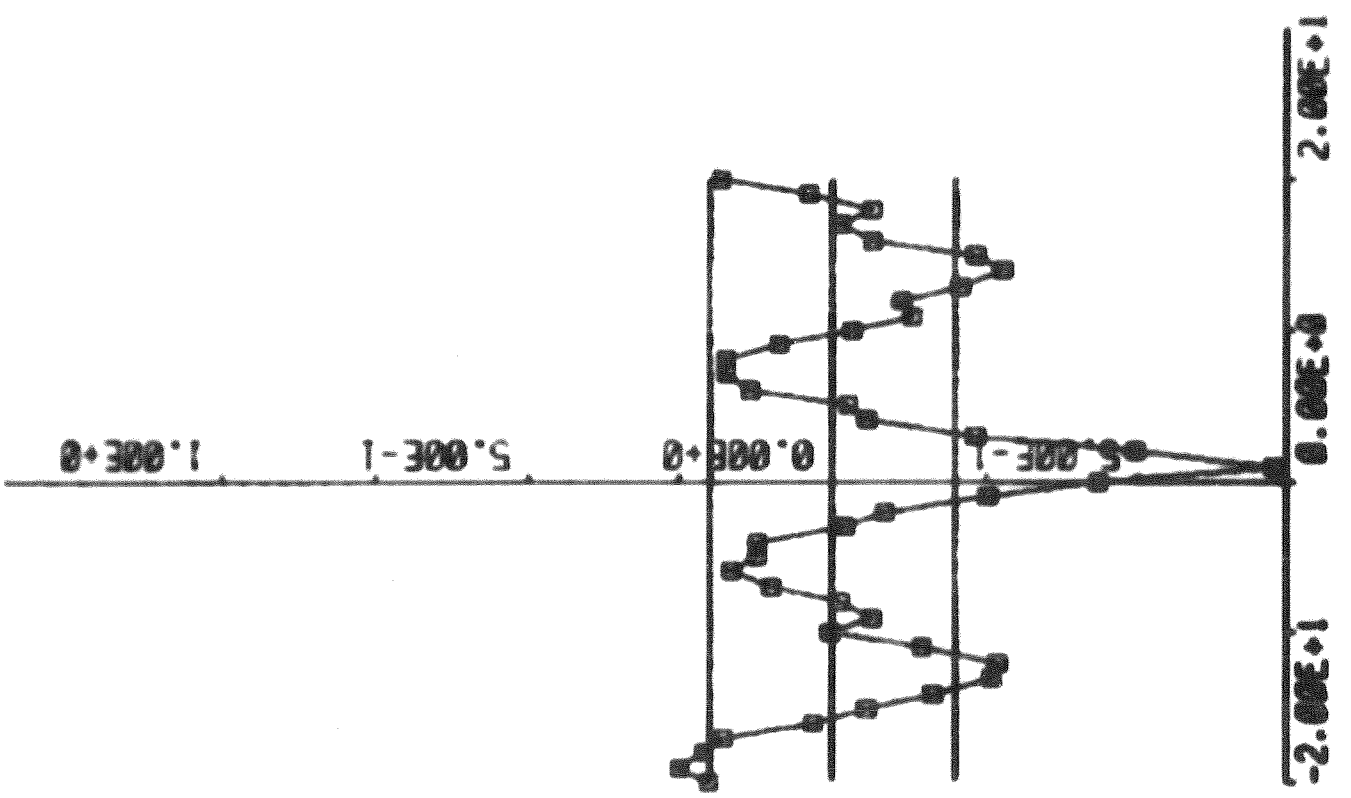


Fig.4.6 Residualtest
Modell $G_A X_{21} = F(X_{11}, M_{10})$ 1:a ordn.

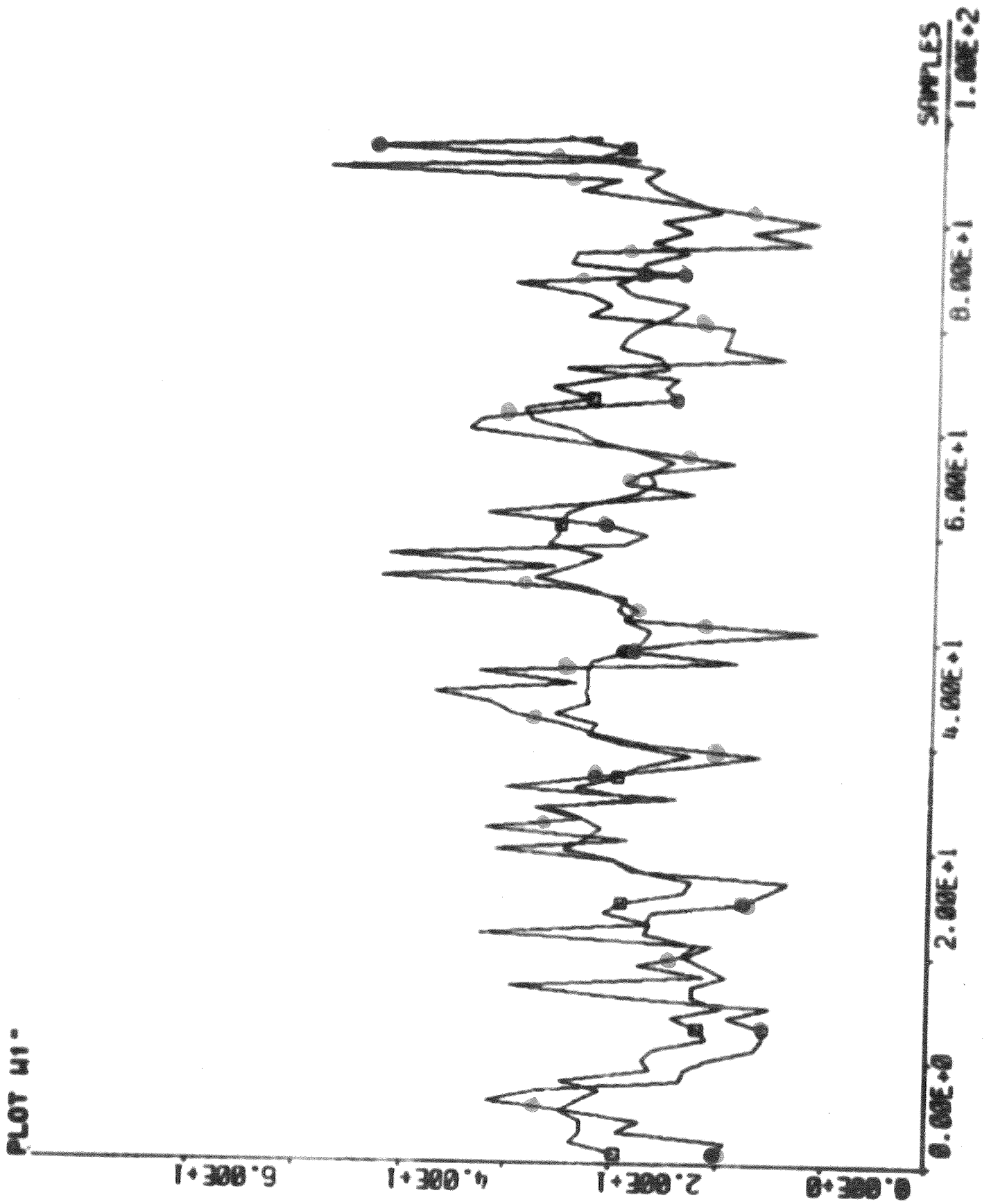


Fig.4.7 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell G_A $X_{21} = F(X_{11}, U)$ 1:a ordn.

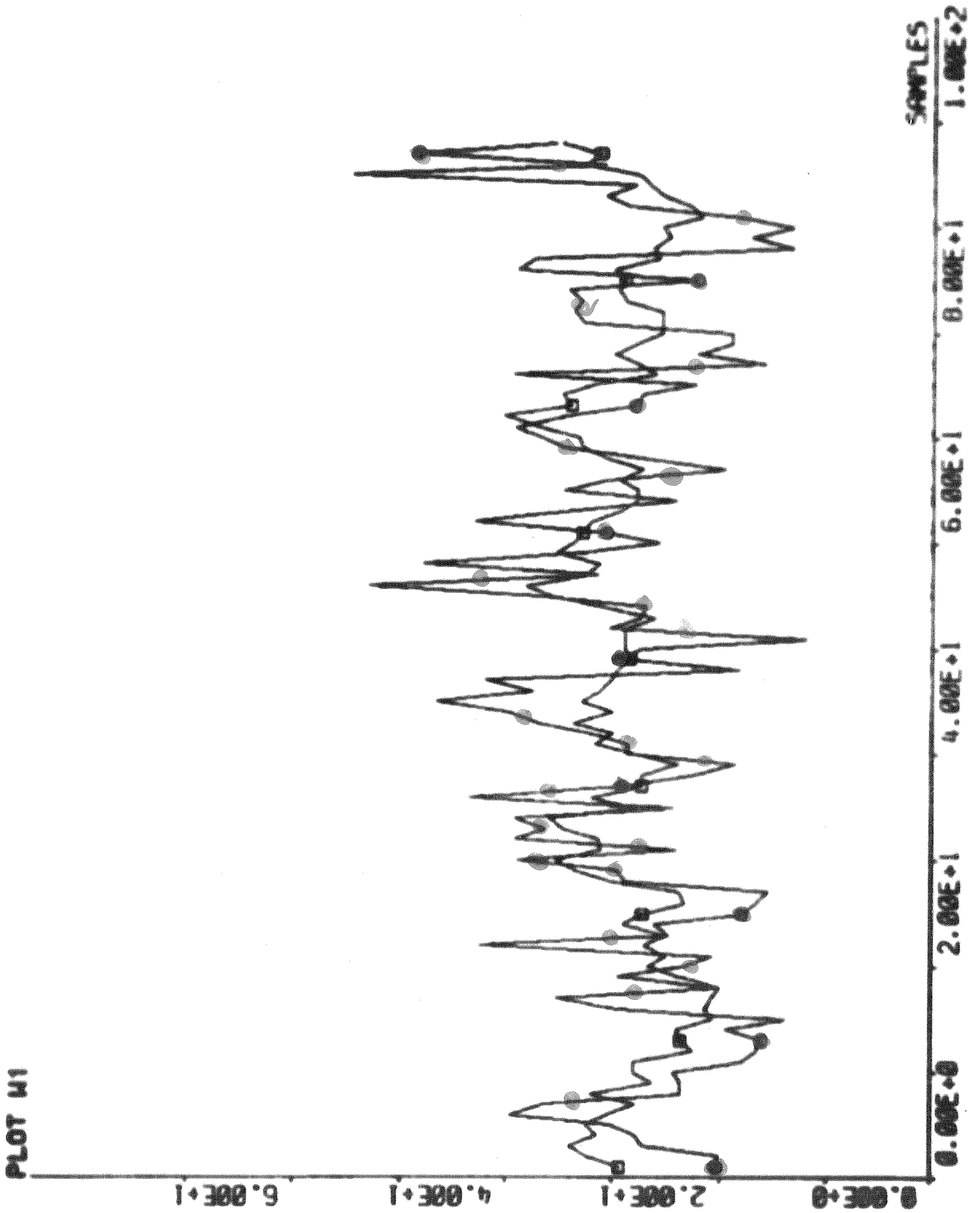


Fig.4.8 Model output Samt uppmätt utsignal.
Modell $G_{B21} X_{11} = F(X_{11})$ 1:a ordn.

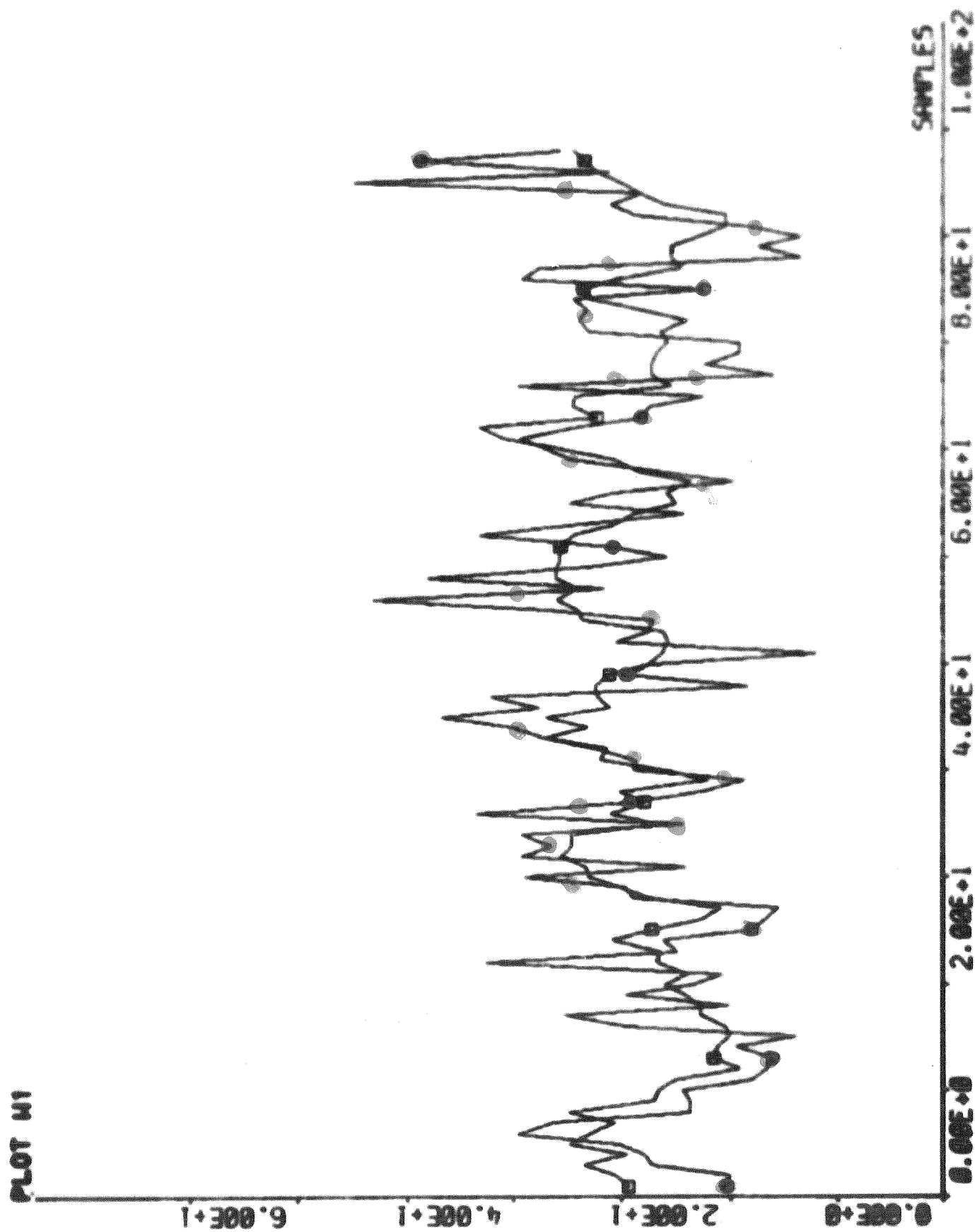


Fig.4.9 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell $G_{B^2}X_{21}=F(X_{11}, M_{10})$ 1:a ordn.

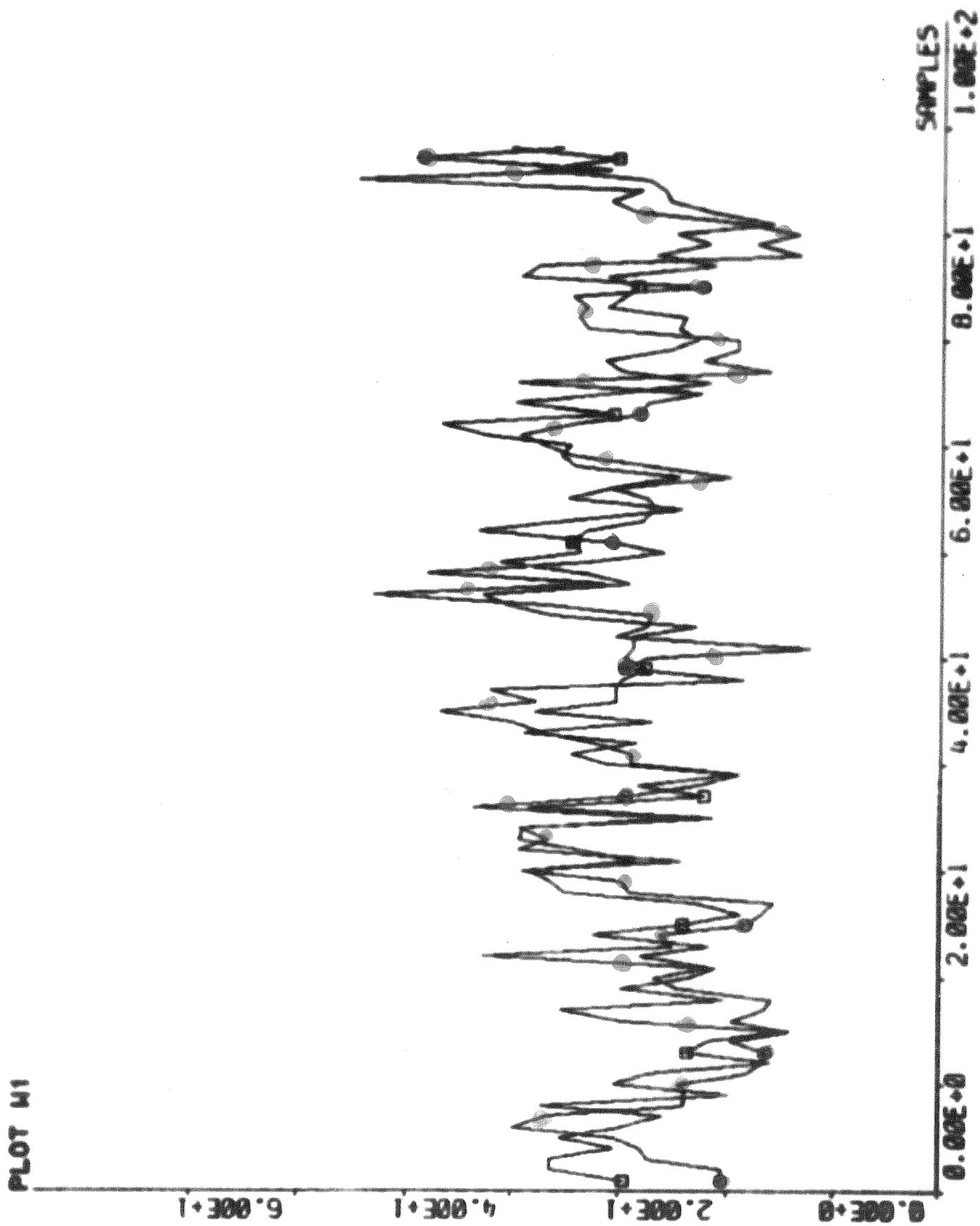


Fig.4.10 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell $G_B X_{21} = F(0.6X_{11})$ 1:a ordn.

4.2.2. PRODUKTKORNSMODELLER

I tabell 4.2 redovisas produktkornsmodeller med rekonstruktion A.

Modellen med x_{11} som insignal gav en förlustfunktion på 6013. C-parametern blev osäker. Med x_{12} som insignal sjönk förlustfunktionen till 5776. Model output finns plottad i fig. 4.11. Den simulerade utsignalen följer endast de större svängningarna. Andra ordningens modell gav bra parametrar med en testkvantitet på 7.01 i förhållande till första ordningens modell.

Fig. 3.11 i avsnitt 3.2 visar på ett starkt orsakssamband mellan insignalen K och utsignalen x_{22} . Modeller med dessa variabler har också gett goda modelluppskattningar.

Första ordningens modell medförde en förlustfunktion på 4476. Parametrarna är signifikanta. Andra ordningens modell medförde att förlustfunktionen sjönk till 3721. Testkvantiteten blev 6.29. Model output följer uppmätt utsignal bra och följer även de snabba svängningarna.

En ytterligare förbättring erhöles då två insignaler användes. Med x_{11} och x_{12} som insignal medförde osäkra a- och c-parametrar, men förlustfunktionen blev förhållandevis låg. Genom att sätta a-parametern till noll höjdes endast förlustfunktionen något. Model output i fig. 4.13. Vi ser att den simulerade utsignalen följer uppmätt utsignal mycket väl.

Förlustfunktionen steg då x_{12} byttes ut mot störsignalen U i modellen men parametrarna blev signifikanta.

En mycket låg förlustfunktion erhöles då M_{10} och U användes som insignal. C-parametern var emellertid osäker och därför sattes den till noll. Modellen kan förklara verkliga svängningar mycket bra, se fig. 4.14. Residualernas autokovarians är plottad i fig. 4.15 och residualernas samvariation med M_{10} är plottad i fig. 4.16.

Stegsvaret för andra ordningens system i fig. 4.17 är mycket intressant.

Observera att vi inte är intresserade av längre tider än 10-15 minuter, eftersom granulatorens ses som en separat enhet, där ingen hänsyn tagits till recirkulationen.

Stegsvaret i fig. 4.17 är intressant. Det visar att modellen är en icke minimum-fas modell. Detta kan tolkas fysikaliskt: antag att man öppnar produktuttaget, vilke skulle innebära att mängden in i granulatorens skulle minska. Detta skulle till en början (efter 8 till 10 minuter) medföra att mängden produktkorn ut ur granulatorens minskades. Fukthalten skulle ökas med minskad mängd recirkulationsgods, vilket skulle medföra att korntillväxten ökades i granulatorens. Därmed skulle fler underkorn bli till produktkorn och mängden produktkorn skulle åter öka (efter 10 min.)

Försök har även gjorts med tre insignaler. Den bästa erhöles med x_{11} , x_{12} och u som insignaler. Den gav en förlustfunktion på 2806 och en osäker c -parameter. Av fig. 4.18 ser vi att model output följer den uppmätta utsignalen mycket väl, men det är svårt att avgöra huruvida den är bättre än modeller med endast två insignaler.

Betrakta nu tabell 4.3. Här visas de bästa av G_B modellerna med rekonstruktion B av massflödet. Förlustfunktionen blev i motsats till G_A -modellerna lägre för modeller med x_{11} som insignal än för modeller med u som insignal. Model output är plottad i fig. 4.10 för modellen med u som insignal, och vi ser att den simulerade utsignalen endast följer de långsamma svängningarna.

Anpassningen blev bättre genom att använda båda insignalerna x_{11} och u i modelluppskattningen, fig. 4.20. Förlustfunktionen har sjunkit till 3441, och parametrarna är signifikanta.

Förlustfunktionen steg något då underkorn och produktkorn användes som insignaler.

God anpassning mellan model output och uppmätt utsignal gav modellen

med x_{11} och M_{10} som insignaler. Model output och uppmätt utsignal är plottad i fig. 4.21.

De modeller som är kandidater på att vara bäst är $x_{22} = f(u)$ samt $x_{22} = f(x_{11}, u)$ samt $x_{22} = f(M_{10}, u)$ samt slutligen $x_{22} = f(x_{11}, x_{12}, u)$.

För den första gäller att man rekommenderar hellre modellordning 1 än 2, beroende på att parametrarnas osäkerhet är alltför stor för ordningstalet 2, även om förlustfunktionen sjunker signifikant från ordning 1 till 2. Fördelen med denna modell är att u så lätt kan mätas, endast luckans läge för produktutmatningen.

Den andra modellen $x_{22} = f(x_{11}, u)$ visar en lägre förlustfunktion än den föregående men har en parameternoggrannhet som är jämförbar med den första. Svårigheten här blir nu att mäta x_{11} on-line. Den tredje modellen visar ett betydligt bättre uppträdande och är intressant därför att både M_{10} och u kan mätas on-line. Parametrarna är dessutom acceptabelt noggranna.

Den sista modellen med tre insignaler har också bra värde på förlustfunktionen. Nackdelen är emellertid det stora antal variabler som ingår i modellen och gör den komplex. Frågan är naturligtvis om modellens noggrannhet uppväger den extra komplexiteten.

Sammanfattningsvis kan vi därför rekommendera modellen $x_{22} = f(M_{10}, u)$ som den bästa produktkornsmodellen.

modell	k	M	D	a_1 a_2	b_{11} b_{12}	b_{21} b_{22}	c_1 c_2	Loss funkt	λ	anm.
$X_{22} = F(X_{11})$		G _A	1	-0.509±0.109	0.290±0.110		0.049±0.142	6013	11.08	Osäker C-param.
$X_{22} = F(X_{12})$		G _A	1	-0.408±0.120	0.248±0.074		0.137±0.128	5776	10.86	Modo fig.4.11
			2	-1.261±0.236 0.439±0.160	0.193±0.071 -0.384±0.066		-0.771±0.229 0.378±0.147	4710	9.80	TQ=7.01
$X_{22} = F(U)$		G _A	1	-0.661±0.065	-13.34±1.926		-0.171±0.099	4476	9.56	
		G _A	2	-0.405±0.237 0.033±0.185	-11.41±1.733 -8.748±3.627		0.059±0.261 0.336±0.116	3721	8.71	TQ=6.29 modo fig.4.12
$X_{22} = F(X_{11}, X_{12})$		G _A	1	-0.054±0.091	0.835±0.104	0.623±0.076	-0.046±0.099	3558	8.52	Osäker A- och C-param.
			1	0.0	0.873±0.083	0.651±0.060	-0.028±0.095	3564	8.54	Osäker C-param. Modo 4.13
$X_{22} = F(X_{11}, U)$		G _A	1	-0.608±0.062	0.223±0.083	-12.81±1.835	-0.262±0.103	4193	9.25	
		G _A	1	-0.188±0.088	0.527±0.069	-9.584±1.596	0.018±0.104	2843	7.62	Modo fig. 4.14 Osäker C-parameter
			1	-0.196±0.074	0.524±0.067	-9.567±1.595	0.0	2844	7.62	Residualtester 4J5,4.16
$X_{22} = F(X_{11}, X_{12}, U)$		G _A	1	-0.142±0.088	0.663±0.099	0.520±0.072	-0.033±0.099	2806	7.57	Modo fig.4.18 Osäker C-param.

$b_{31} = -8.394 \pm 1.638$

TABELL 4.2.

$$y(t) + a_1 y(t-1) + a_2 y(t-2) = b_{11} u_1(t-k) + b_{12} u_1(t-k-1) + b_{21} u_2(t-k) + b_{22} u_2(t-k-1) + b_{31} u_3(t-k) + b_{32} u_3(t-k-1) + \lambda \{e(t) + c_1 e(t-1) + c_2 e(t-2)\}$$

modell	k	m	$\frac{p}{q}$	$\begin{matrix} a_1 \\ a_2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} b_{11} \\ b_{12} \end{matrix}$	$\begin{matrix} b_{21} \\ b_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} b_{31} \\ b_{32} \end{matrix}$	$\begin{matrix} c_1 \\ c_2 \end{matrix}$	Loss funk	λ	anm
$X_{22} = F(X_{11})$		G_B	1	-0.606 ± 0.090	0.356 ± 0.077			-0.342 ± 0.114	4161	9.22	
$X_{22} = F(U)$		G_B	1	-0.749 ± 0.076	-8.253 ± 1.714			-0.397 ± 0.115	4193	9.25	Modo fig. 4.19
$X_{22} = F(X_{11}, U)$		G_B	1	-0.656 ± 0.067	0.280 ± 0.063	-7.201 ± 1.525		-0.486 ± 0.109	3441	8.38	modo fig. 4.20
$X_{22} = F(X_{11}, X_{12})$		G_B	1	-0.526 ± 0.076	0.491 ± 0.070	0.226 ± 0.056		-0.514 ± 0.107	3631	8.61	
$X_{22} = F(X_{11}, M_{10})$		G_B	1	-0.549 ± 0.075	0.246 ± 0.068	0.219 ± 0.052		-0.527 ± 0.106	3598	8.57	modo fig. 4.21

TABELL 4.3

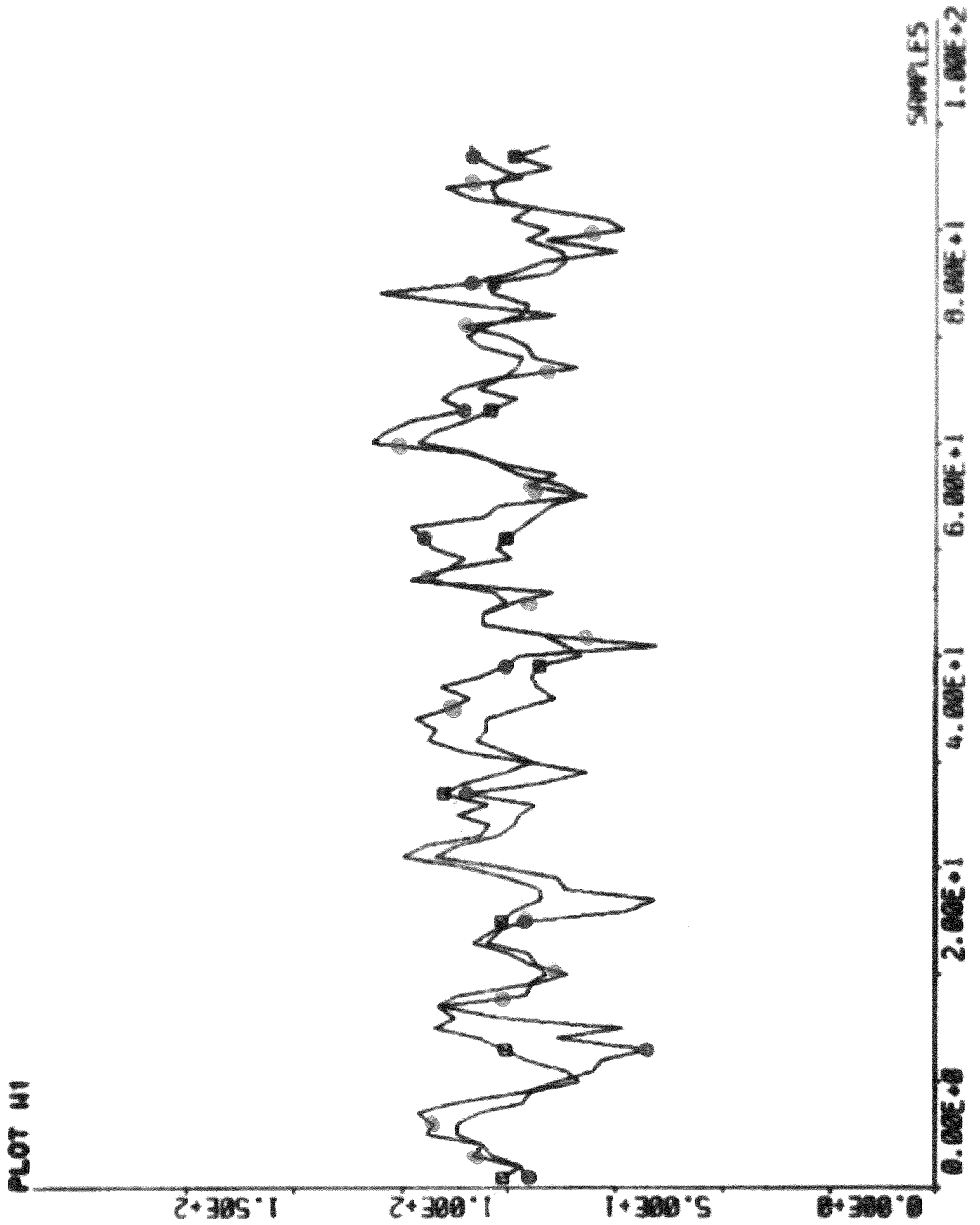


Fig.4.11 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell G_A $X_{22} = F(X_2)$ 2:a ordn.

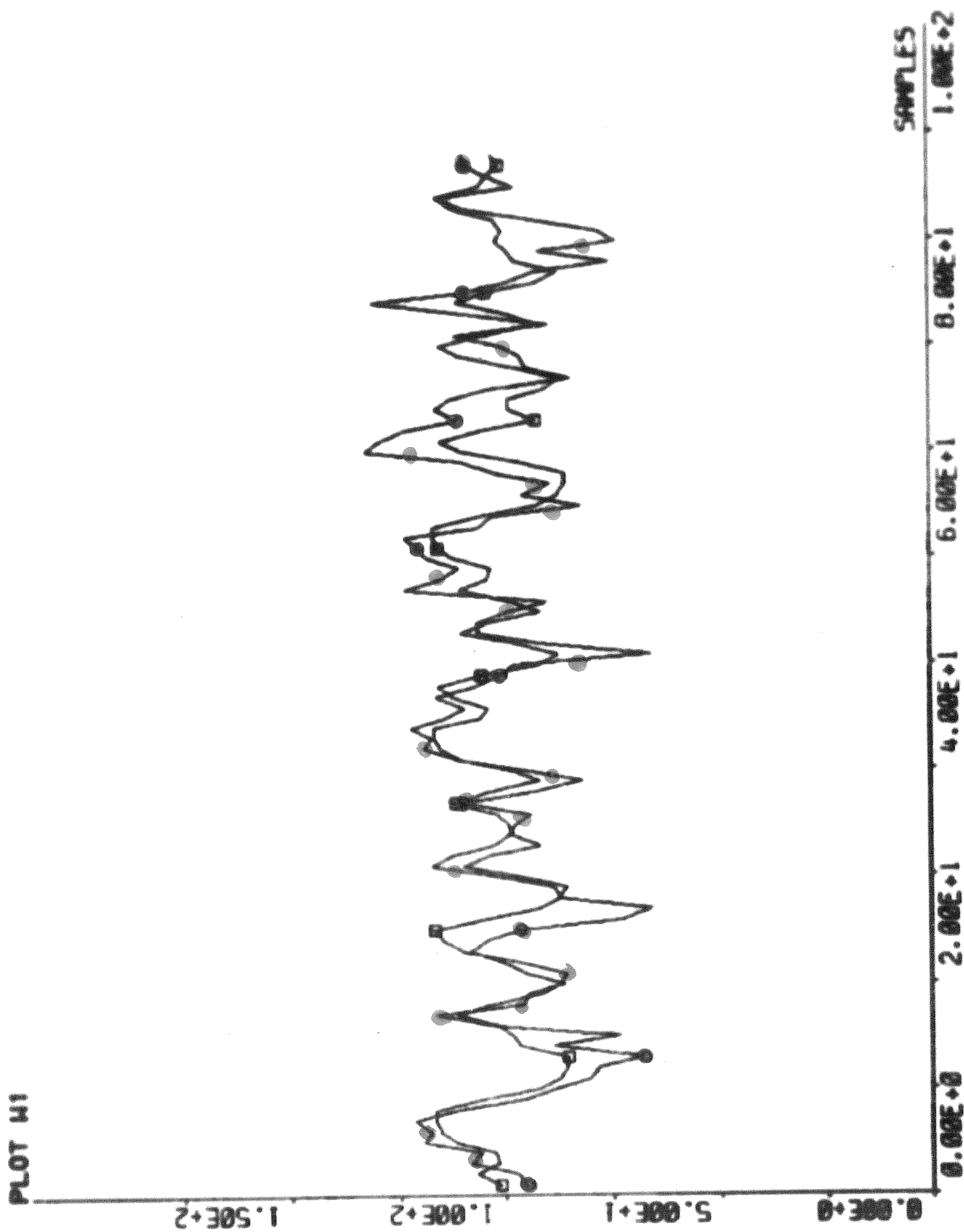


Fig.4.12 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell $G_A X_{22} = F(U)$ 2:a ordn.

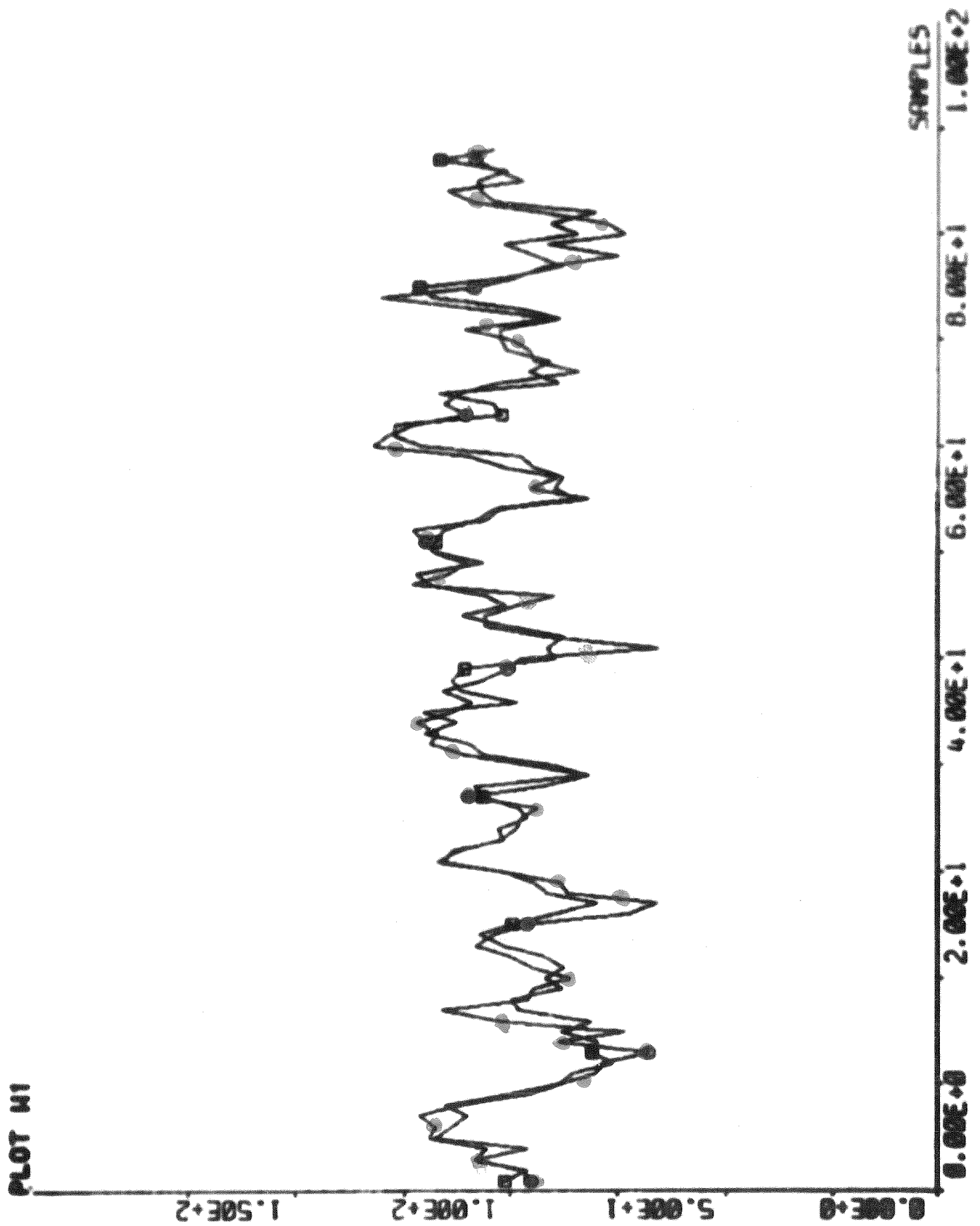


Fig.4.13 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell $G_A X_{22} = F(X_{11}, X_{12}) A_1 = 0$ 1:a ordn.

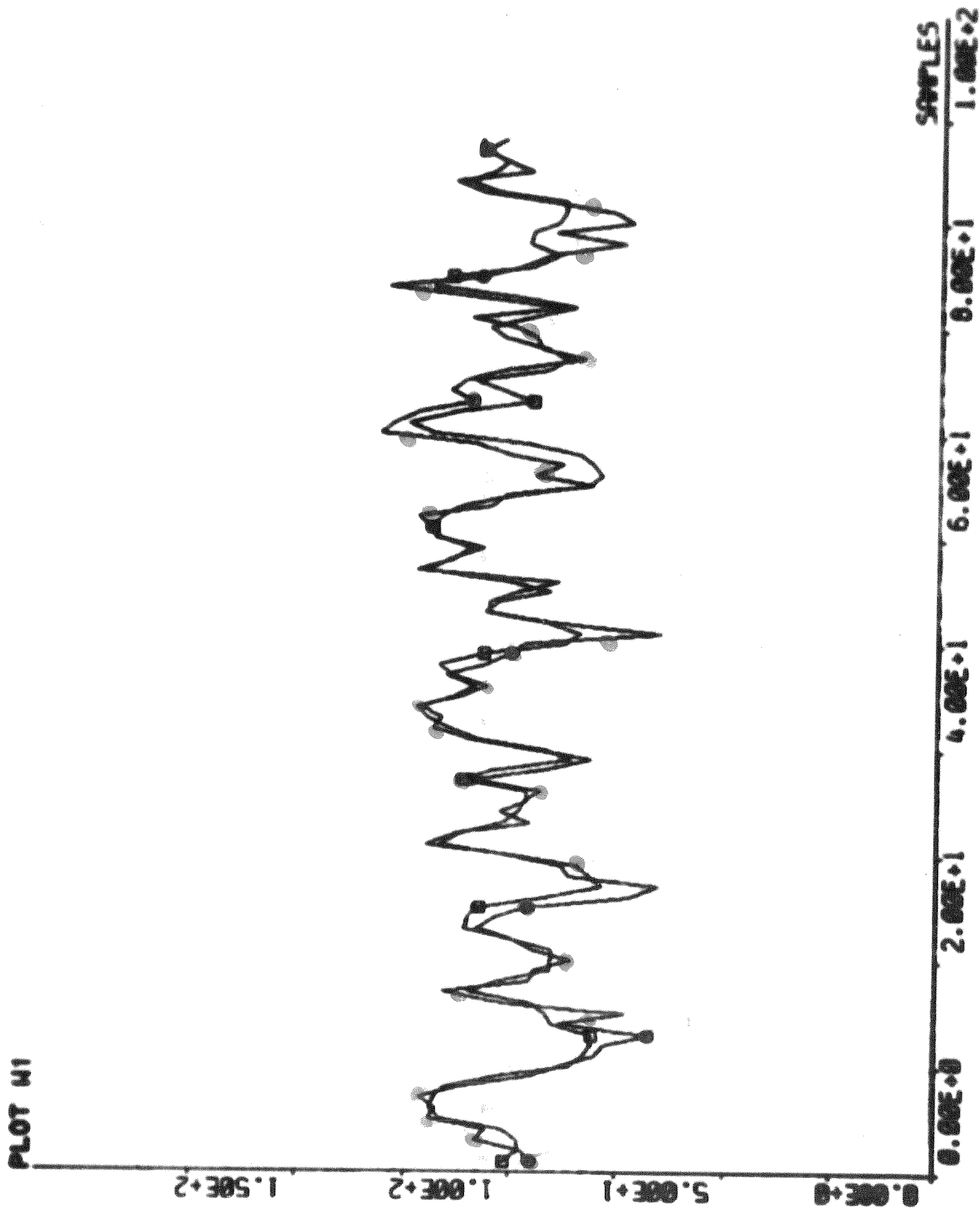


Fig.4.14 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell $G_A X_{22} = F(M_{10}, U) C_1 = 0$ 1:a ordn.

NUMBER OF CHANGES OF SIGN OF THE
RESIDUALS . 28

5 PERCENT TOLERANCE LIMITS
30 58

TEST OF INDEPENDENCE OF THE
RESIDUALS

$E(\text{RES}(T) \cdot \text{RES}(T+\text{TAU}))$ FOR $\text{TAU}=1, 6$

TEST QUANTITY 40.591
DEGREES OF FREEDOM 5

TEST OF NORMALITY

TEST QUANTITY 11.566
DEGREES OF FREEDOM 17

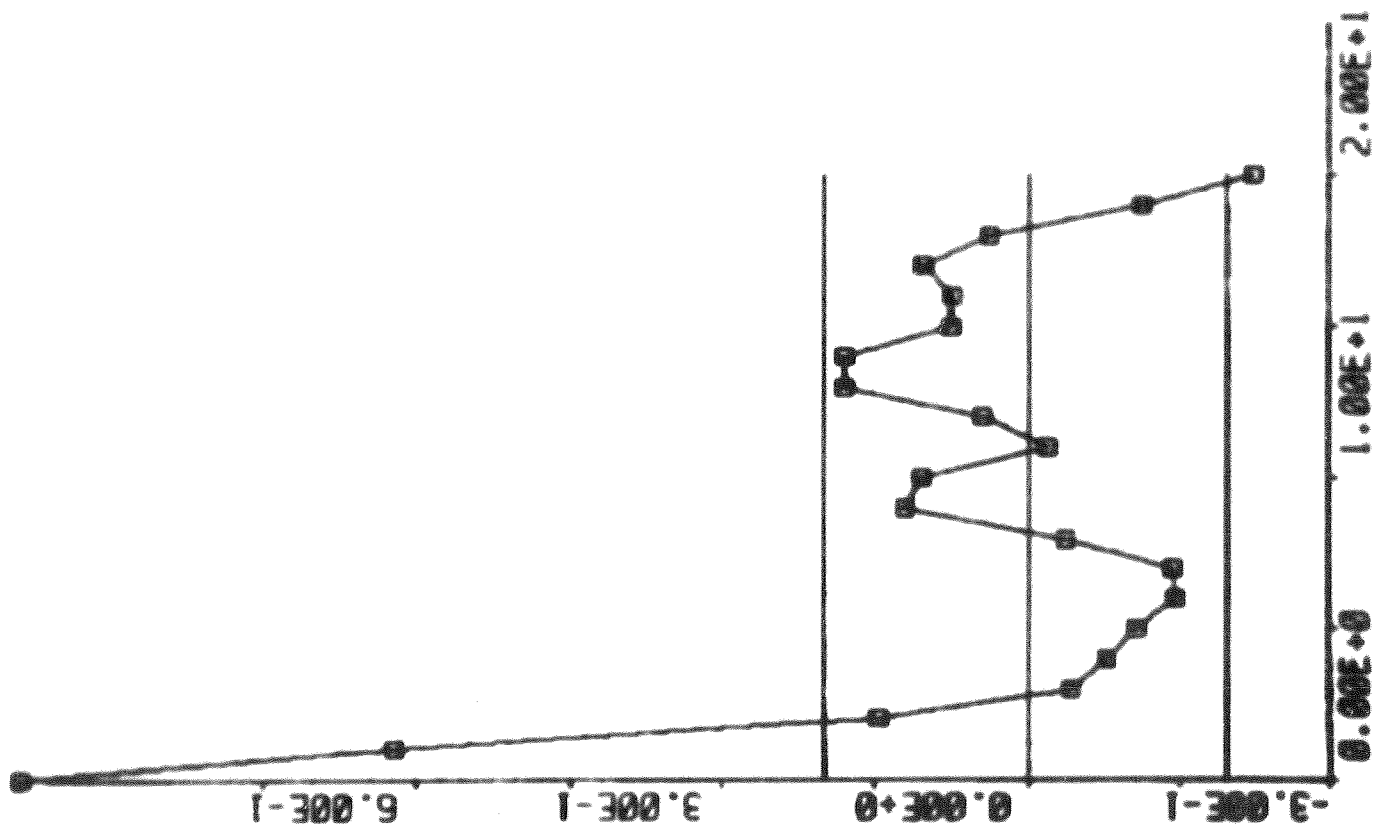


Fig.4.15 Residualtest
Modell $G_A X_{22} = F(M_{10}, U) C_1 = 0$ 1:a ordn.

**TEST OF INDEPENDENCE BETWEEN
RESIDUALS AND INPUT 1**

E(RES(T)MU(T+TAU)) FOR TAU= 3. 7

**TEST QUANTITY 4.7981
DEGREES OF FREEDOM 5**

E(RES(T)MU(T+TAU)) FOR TAU= 4. 0

**TEST QUANTITY 6.6947
DEGREES OF FREEDOM 5**

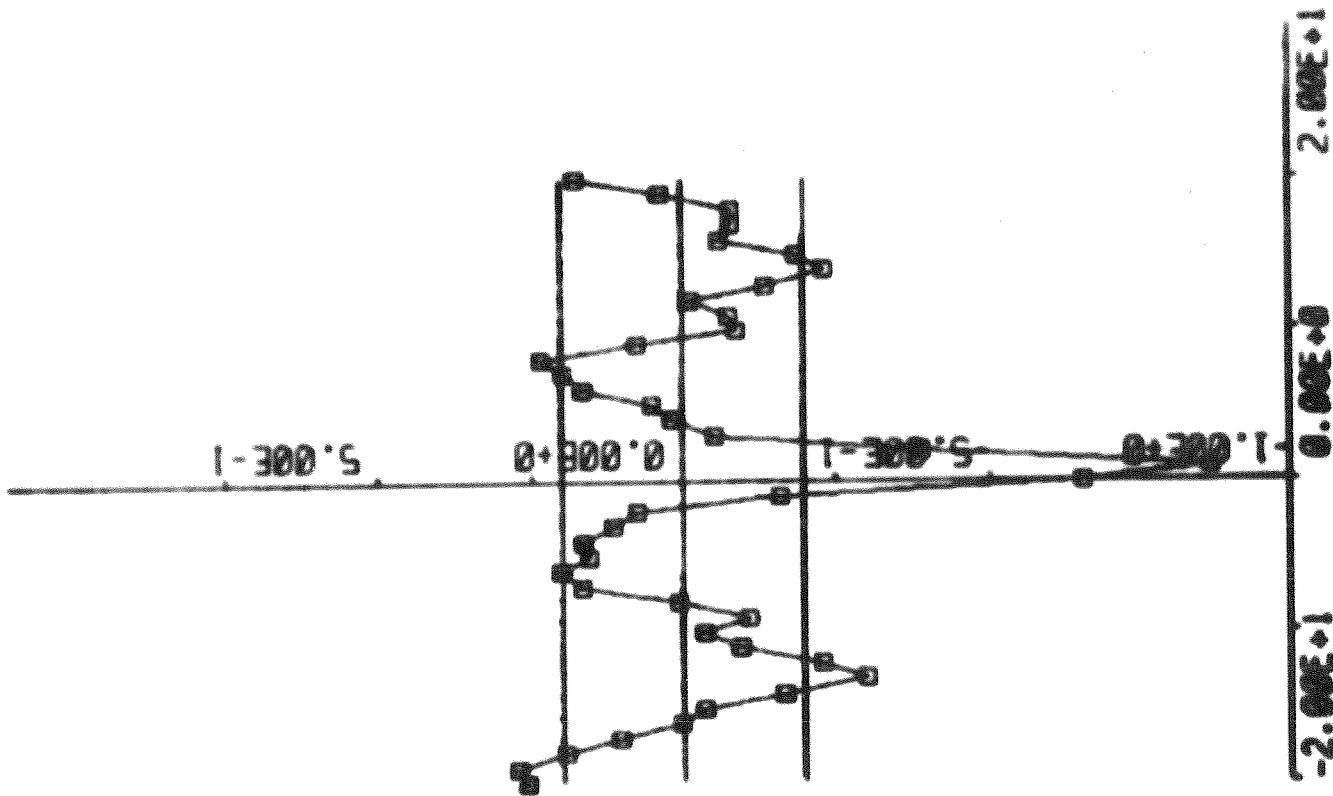


Fig.4.16 Residualtest
Modell $G_A X_{22} = F(M_{10}^U) C_1 = 0 \cdot 1 : a \text{ ordn.}$

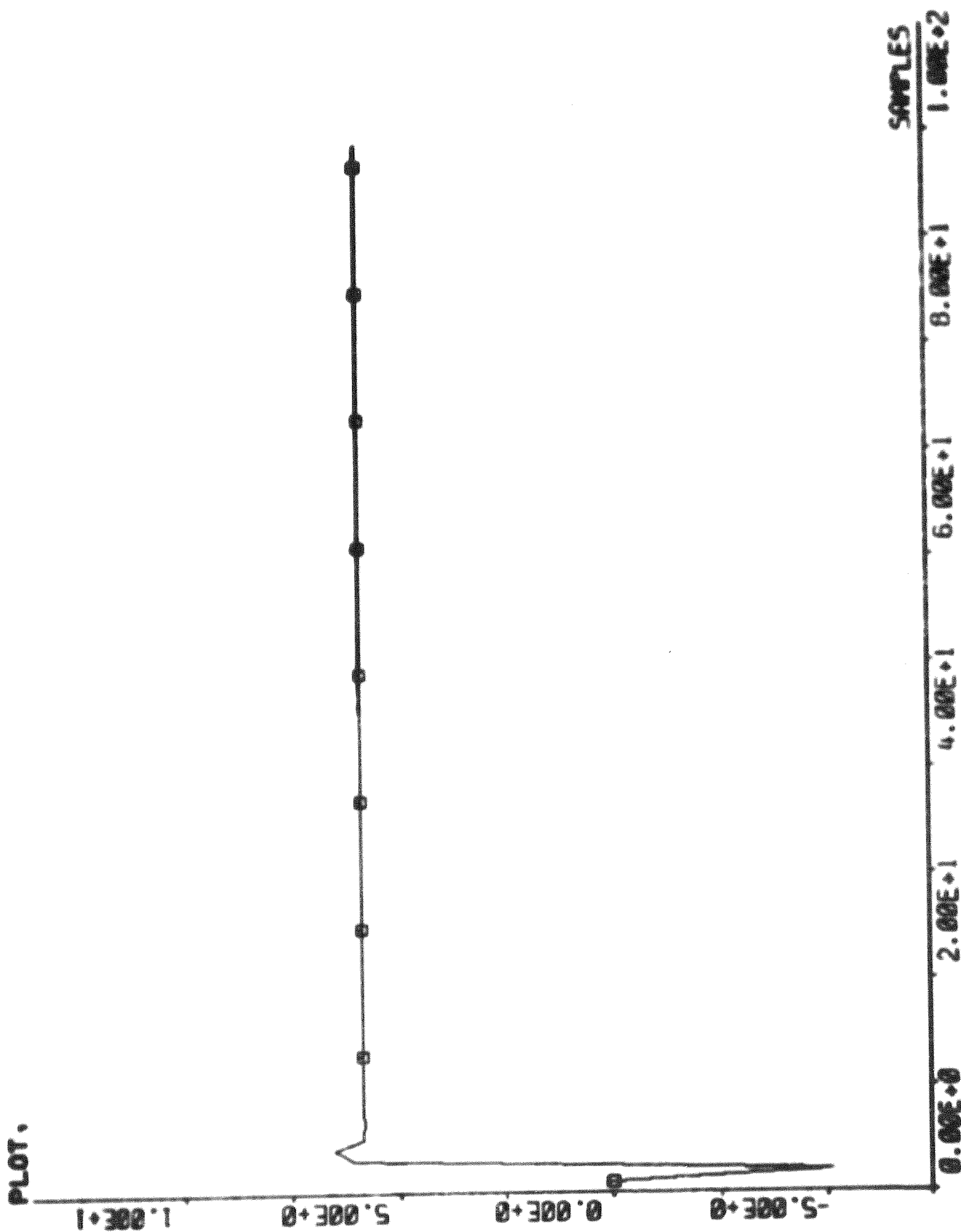


Fig. 4.17 Stegsvär
 Modell $G_A X_{22} = F(M_{10}, U)$ 2:a ordn.

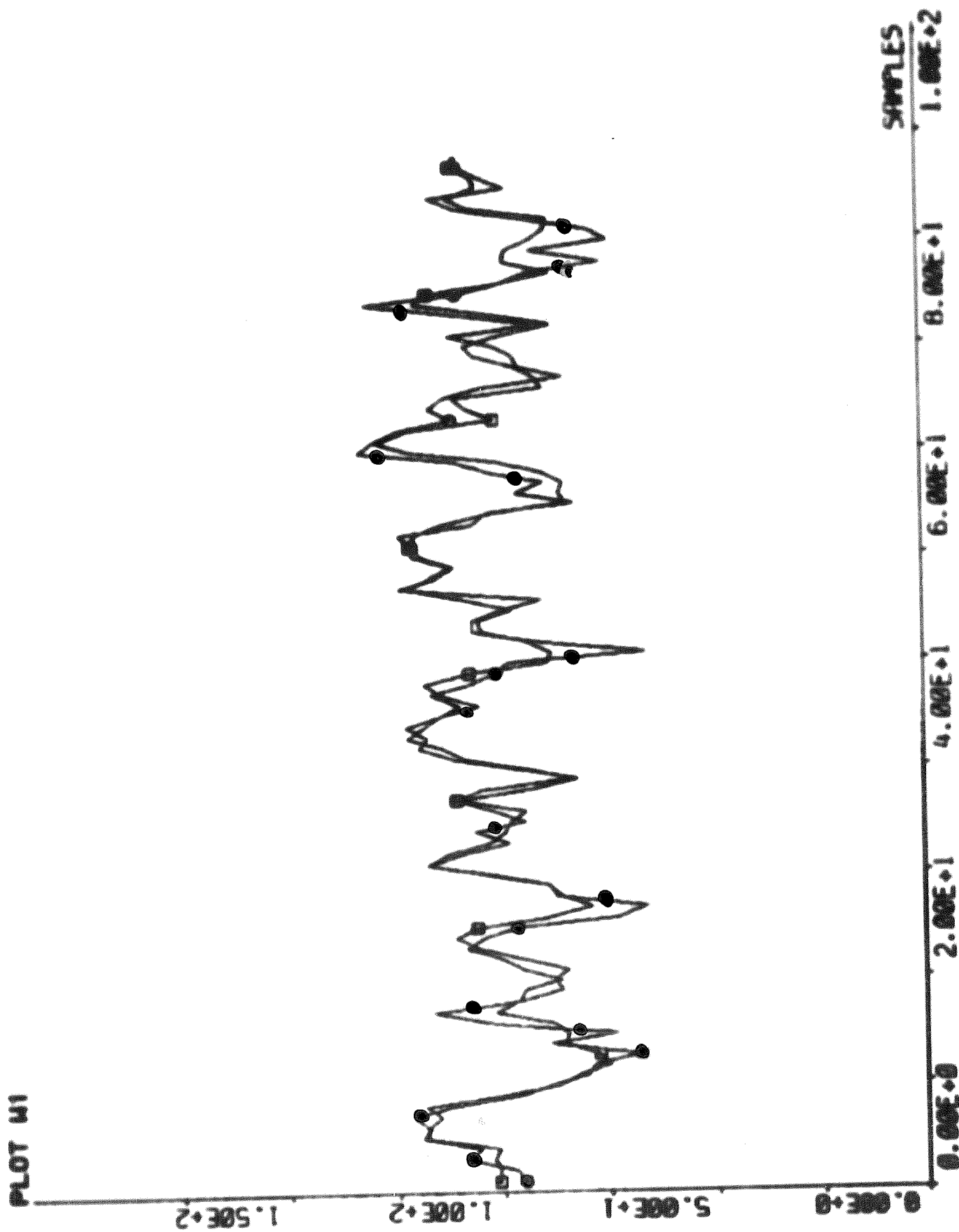


Fig.4.18 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell $G_A X_{22} = F(X_{11}, X_{12}, U)$ 1:a ordn.

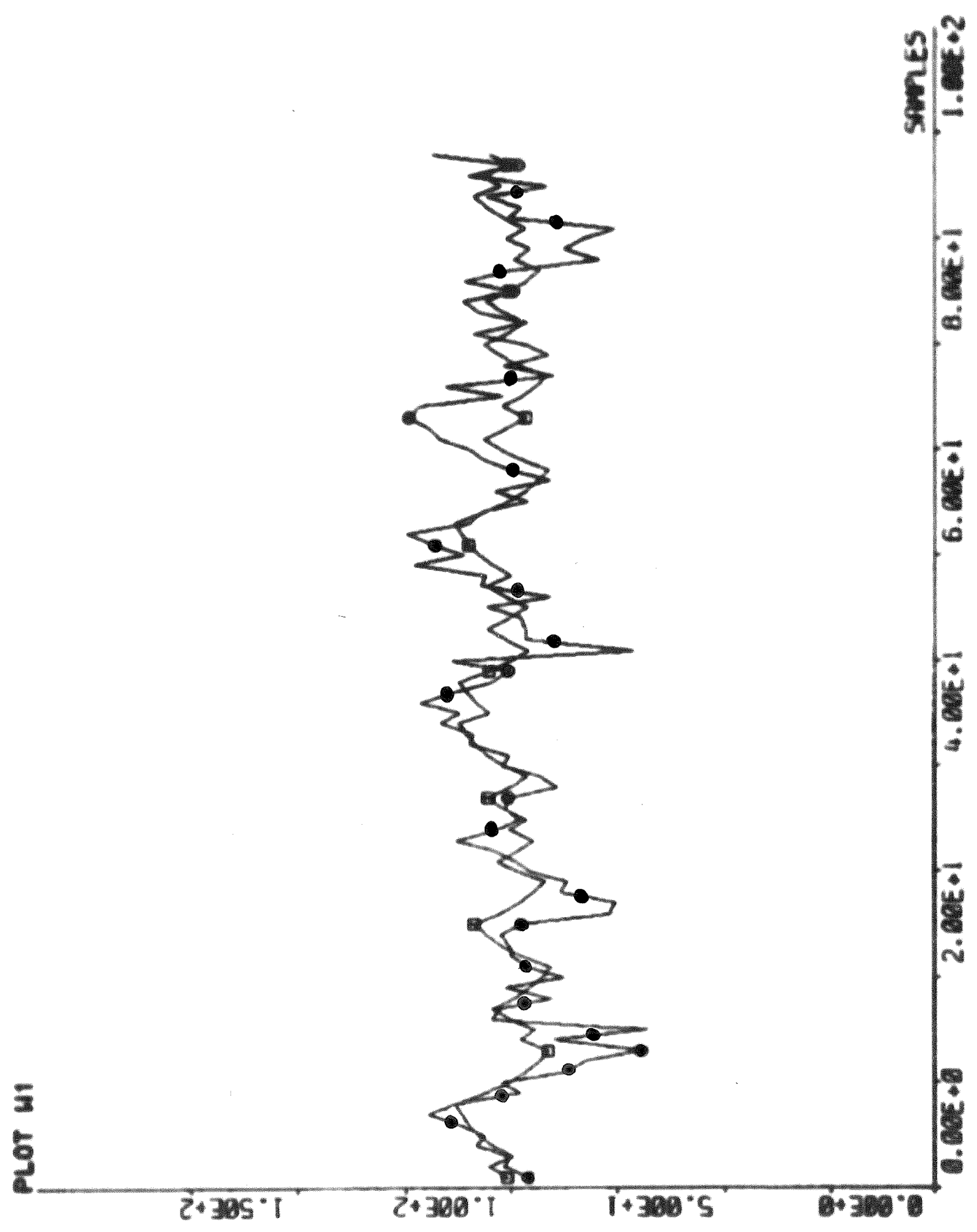


Fig. 4.19 Model output samt uppmätt utsignal

Modell $G_B X_{22} = F(U)$ 1:a ordn.

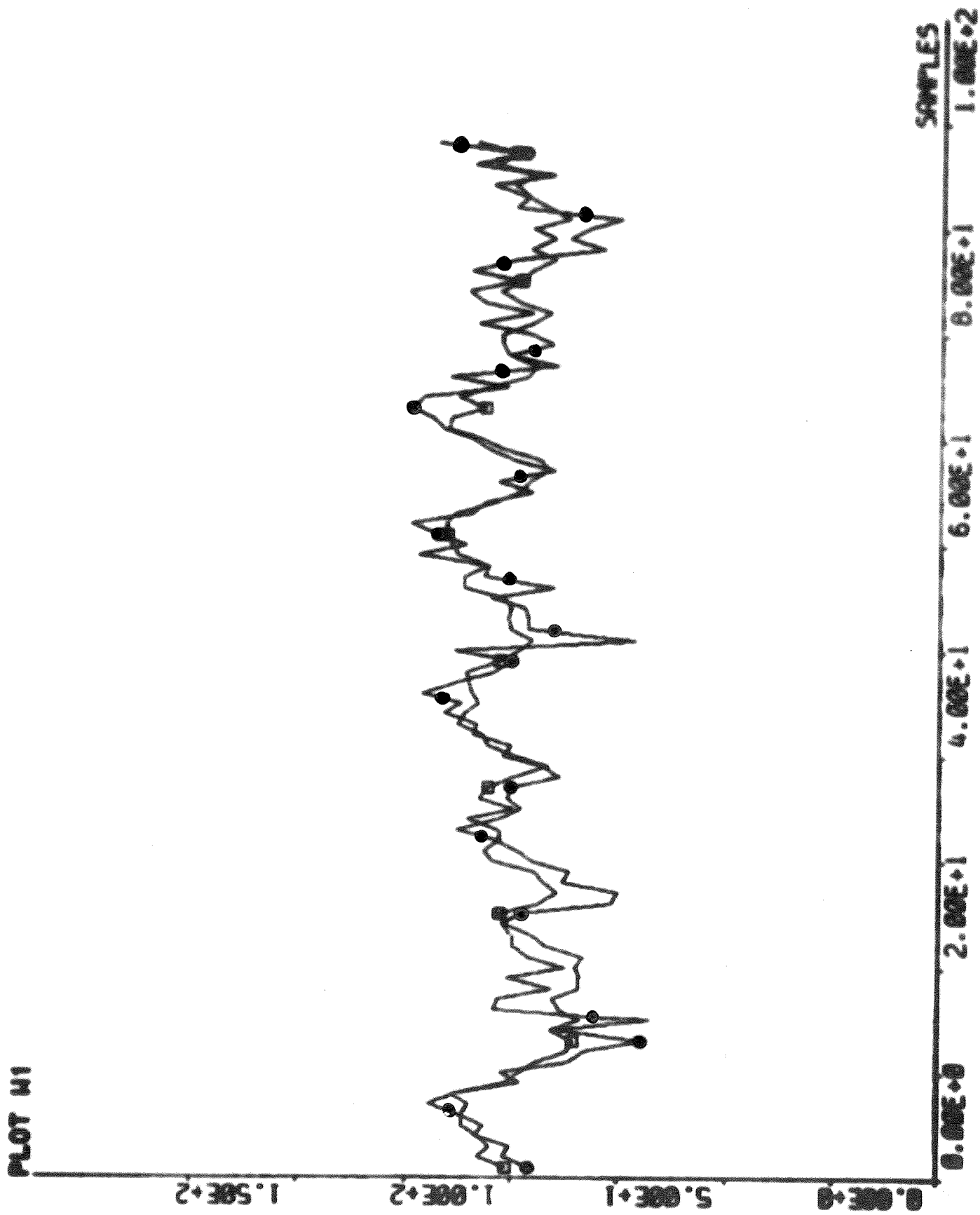


Fig. 4.20 Model output samt uppmätt utsignal.

Modell G_B $X_{22} = F(X_{11}, u)$ 1:a ordn.

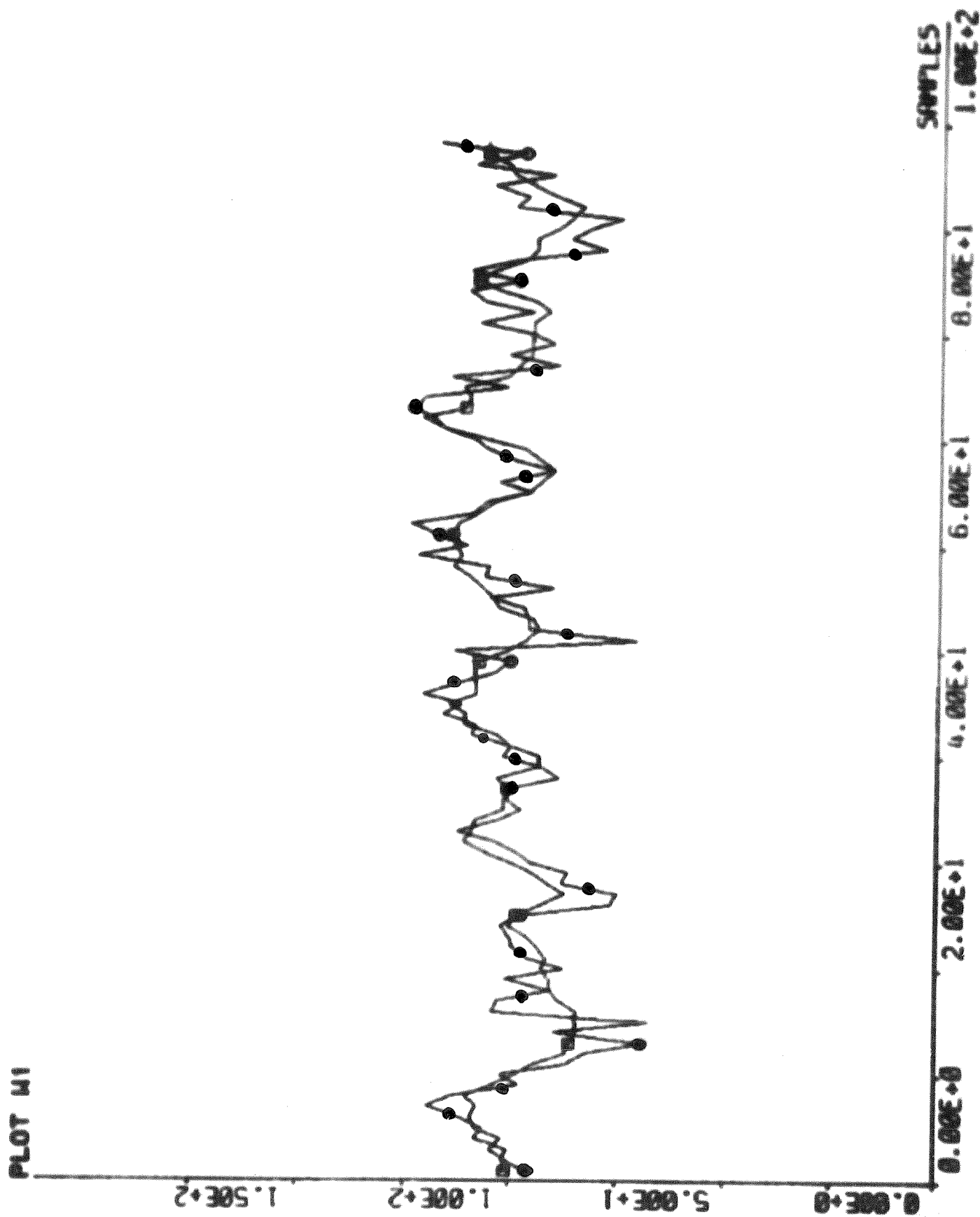


Fig. 4.21 Model output samt uppmätt utsignal.

Modell G_B $X_{22} = F(X_{11}, M_{10})$ 1:a ordn.

4.2.3 ÖVERKORNSMODELLER

Det har varit svårast att finna signifikanta modeller för överkorn bland granulatormodellerna.

Tabell 4.4 upplyser oss om att ifall x_{11} används såsom insignal så blir parametrarna osäkra och förlustfunktionen hög. Detta gäller för både G_A och G_B -modeller. Om a och c -parametern i G_A modellen sätts fixa till 0 ökar inte förlustfunktionen nämnvärt. Detta skulle betyda att man med insignalen x_{11} bäst kan förklara sambandet genom en modell med ren förstärkning. Model output i fig. 4.22.

Då x_{11} och u är insignaler sjunker förlustfunktionen betydligt. Samtliga av G_A -modellens parametrar är bra. Däremot blev c -parametern i G_B -modellen osäker vilket medförde att denna sattes till noll. Det visade sig att förlustfunktionen inte steg vid den modellen.

Model output följer den uppmätta utsignalen relativt väl i både G_A och G_B modellen, se fig. 4.23 och 4.26. Residualernas autokovarians är plottad i fig. 4.24 och korskovariansen mellan residualerna och input 1 (x_{11}) är plottad i fig. 4.25.

Modeller med x_{13} som insignal har visat störa förlustfunktioner i storleksordningen 10 000 och modeller med x_{12} osäkra a -parametrar.

Det har visat sig svårt att få pålitliga överkornsmodeller över enbart granulatorn. Troligen beror detta på att variationerna i överkornsmängd varit för små för att man kunnat skilja dessa väsentligt från stokastiska störningar.

$$y(t) + a_1 y(t-1) + a_2 y(t-2) = b_{11} u_1(t-k) + b_{12} u_1(t-k-1) + b_{21} u_2(t-k) + b_{22} u_2(t-k-1) + \lambda \{ e(t) + c_1 e(t-1) + c_2 e(t-2) \}$$

modell	k	$\frac{a_1}{a_2}$	$\frac{b_{11}}{b_{12}}$	$\frac{b_{21}}{b_{22}}$	$\frac{c_1}{c_2}$	Loss funkt	λ	anm.
$X_{23} = F(X_{11})$	G_A	-0.317+0.386	-0.193+0.149		-0.262+0.360	10.066	14.19	Osäkra param.
$X_{23} = F(X_{13})$	G_A	-0.671+0.267	0.333+0.244		-0.599+0.355	10.063	14.19	
$X_{23} = F(X_{13}, T_{10})$	G_A	-0.765+0.132	0.53 +0.246	0.819+0.493	-0.741+0.171	9.715	13.94	Modofig.4.22
$X_{23} = (FX_{12}, U)$	G_A	-0.742+0.160 0.610+0.135	0.0 0.240+0.046	-12.91+1.647 7.930+2.561	-0.546+0.122 0.828+0.082	8.810	12.89	Residualer Modo fig.4.23 Residualtest fig.1.24-4.26
$X_{23} = F(X_{11})$	G_A	-0.019+0.188	-0.592+0.126		-0.035+0.208	8308	13.02	Osäker a och c-param
	I	0.0	-0.594+0.116		0.0	8311	13.02	modo fig.4.22
$X_{23} = F(X_{11}, U)$	G_A	0.285 +0.156	-0.449+0.158	10.39+2.557	0.342+0.252	7282	12.19	modo fig.4.23 residualtester fig.4.24 4.25
$X_{23} = F(X_{11})/$	G_H	-0.260+0.166	-0.489+0.135		0.020+0.179	9318	13.79	osäker c-param
$X_{23} = F(X_{11}, U)$	G_H	-0.212+0.129	-0.419+0.123	10.45+2.734	-0.008+0.141	8111	12.87	osäker c-param
	I	-0.206+0.088	-0.419+0.123	10.45+2.736	0.0	8111	12.87	modo fig.4.26

TABELL 4.4

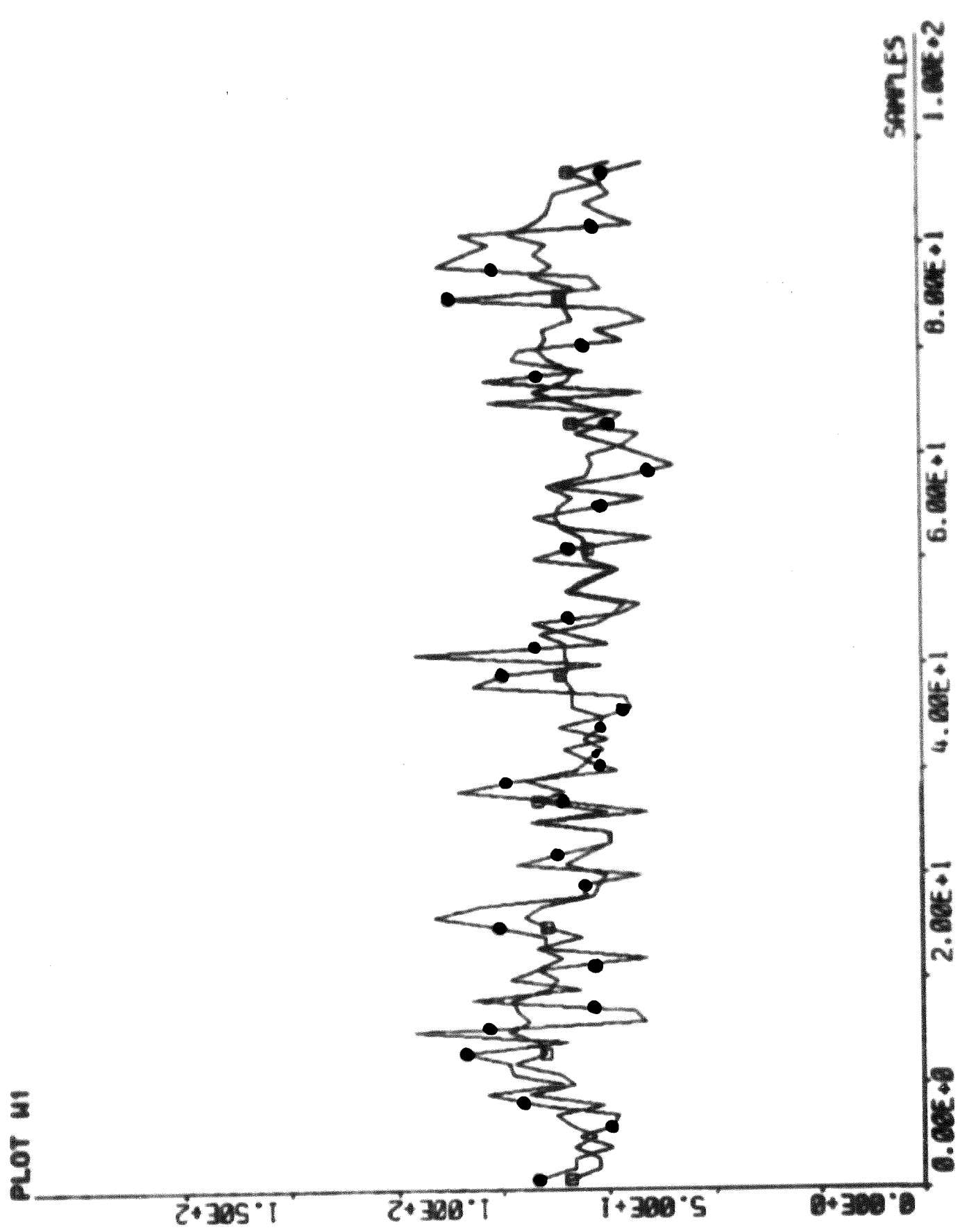


Fig.4.22 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell $G_A X_{23} = F(X_{11}) A_1 = C_1 = 0$ 1:a ordn.

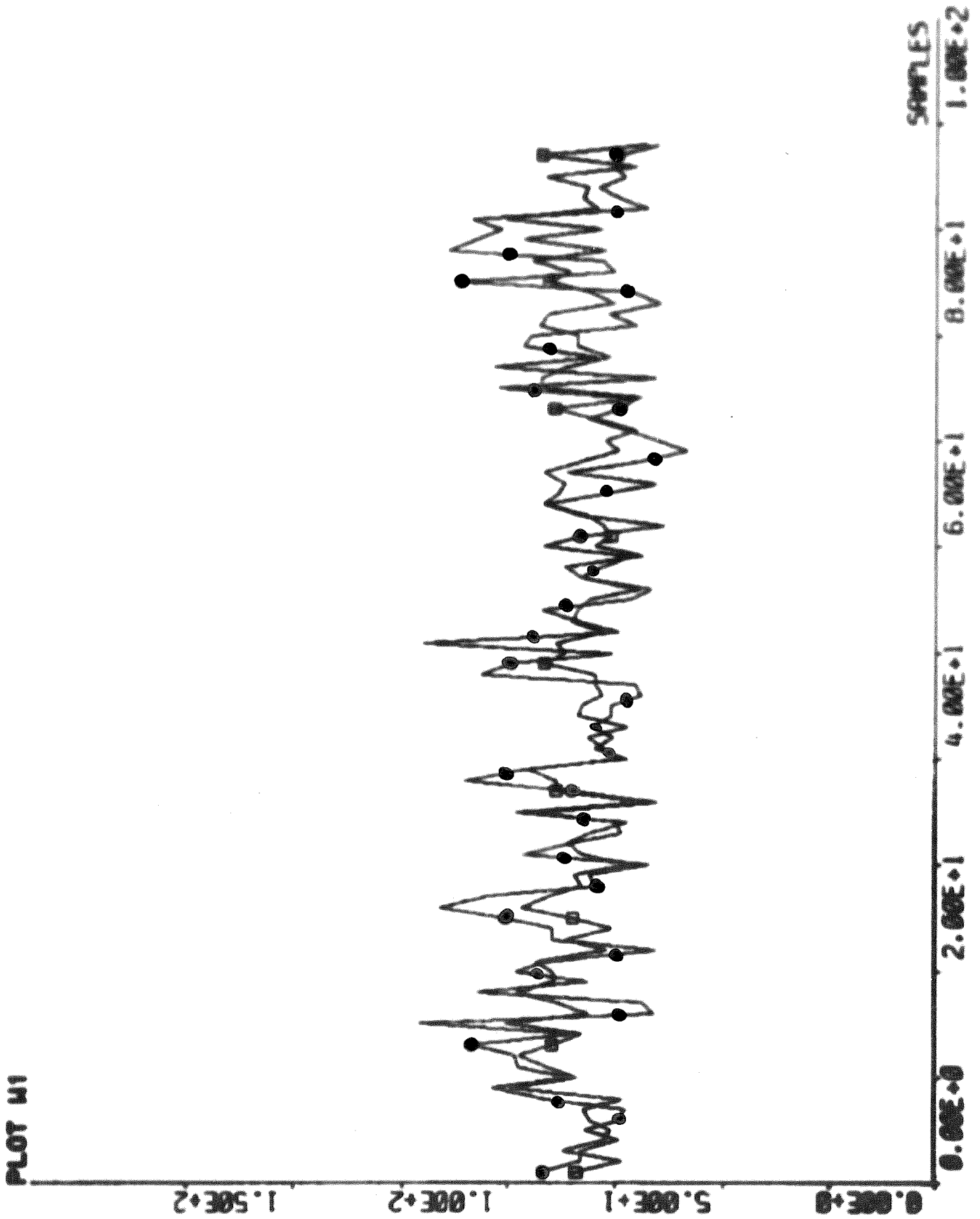


Fig. 4.23 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell G_A $X_{23} = F(X_{11}, U)$ 1:a ordn.

NUMBER OF CHANGES OF SIGN OF THE
RESIDUALS : 55

5 PERCENT TOLERANCE LIMITS
38 58

TEST OF INDEPENDENCE OF THE
RESIDUALS

$E(\text{RES}(T) \cdot \text{RES}(T+\tau))$ FOR $\tau=1, 5$

TEST QUANTITY 11.754
DEGREES OF FREEDOM 5

TEST OF NORMALITY

TEST QUANTITY 16.483
DEGREES OF FREEDOM 17

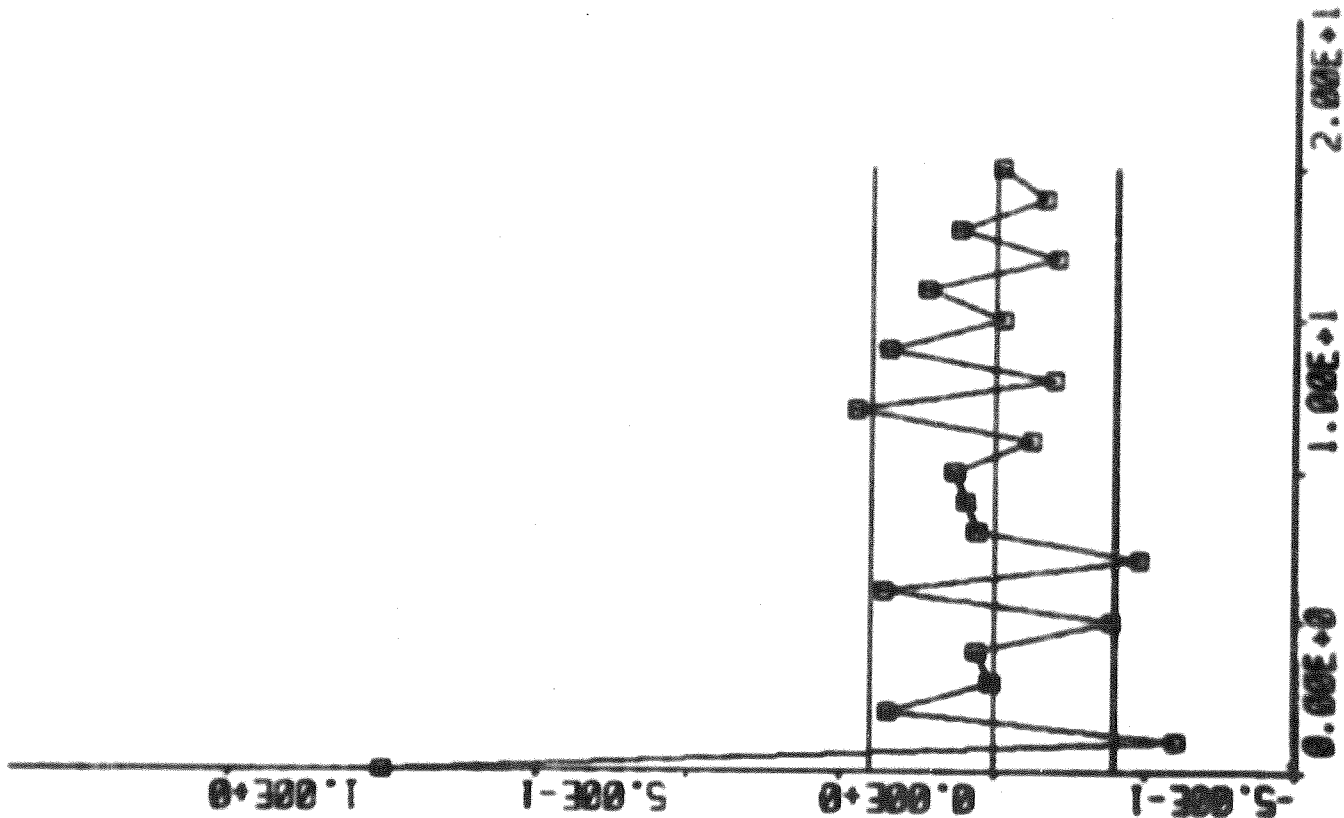


Fig. 4.24 Residualtest

Modell G_A $X_{23} = F(X_{11}, U)$ 1:a ordn.

**TEST OF INDEPENDENCE BETWEEN
RESIDUALS AND INPUT 1**

E(RES(T)MU(T+TAU)) FOR TAU= 3, 7

**TEST QUANTITY 6.6721
DEGREES OF FREEDOM 5**

E(RES(T)MU(T+TAU)) FOR TAU=-4, 0

**TEST QUANTITY 8.5887
DEGREES OF FREEDOM 5**

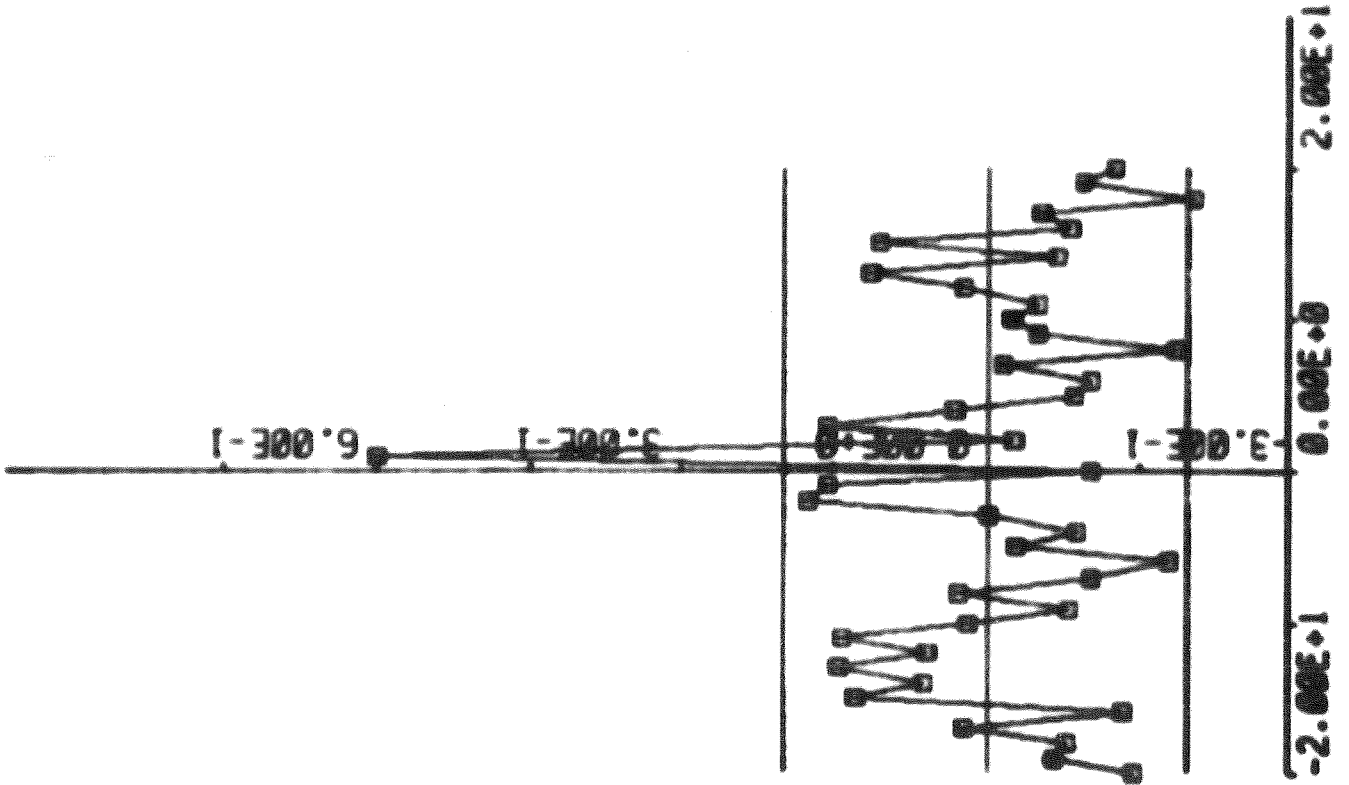


Fig.4.25 Residualtest

Modell $G_A X_{23} = F(X_{11}, U)$ 1:a ordn.

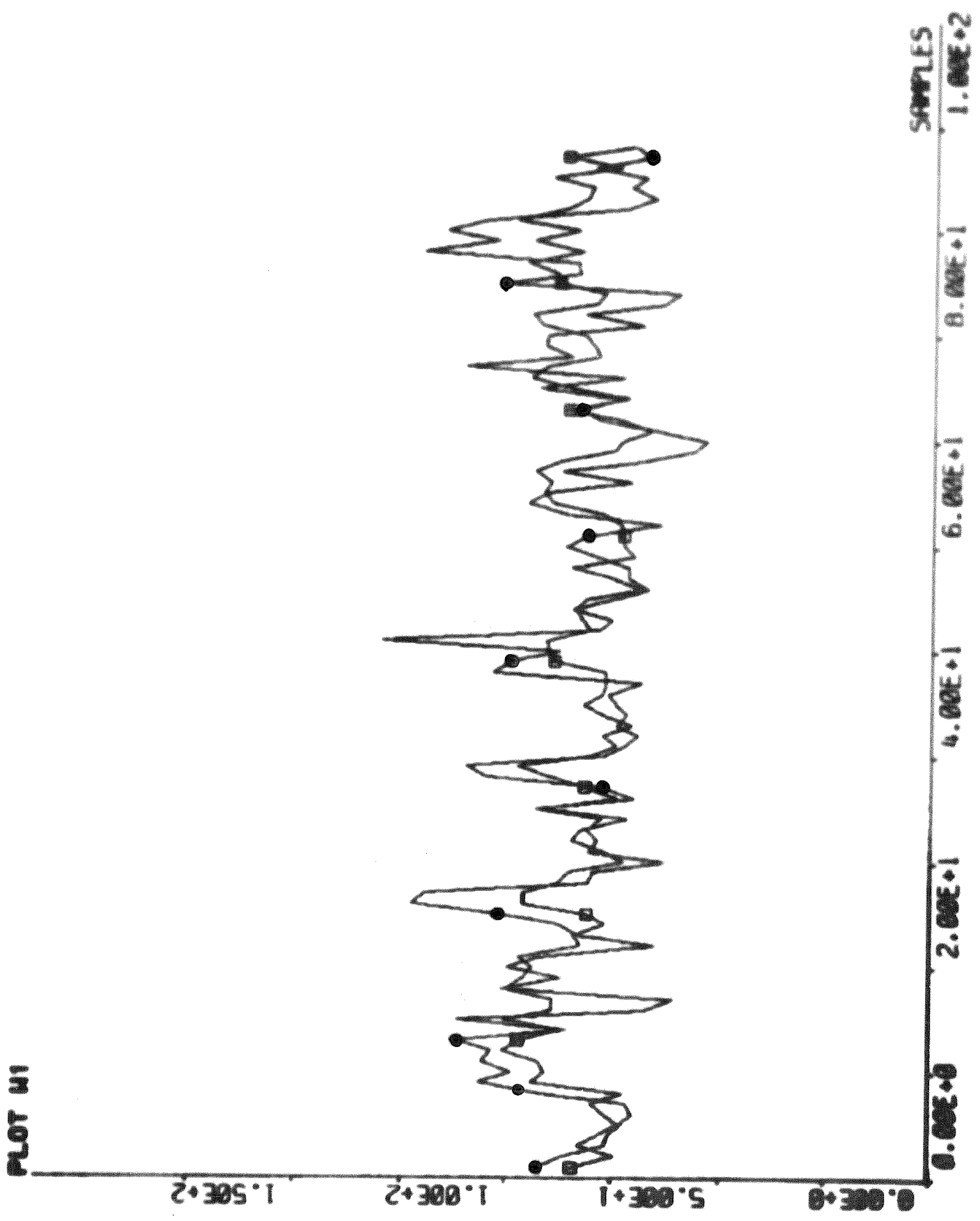


Fig. 4.26 Model output samt uppmätt utsignal.
Modell $G_B X_{23} = F(X_{11}, U)$ 1:a ordn.

$$y(t) + a_1 y(t-1) + a_2 y(t-2) = b_{11} u_1(t-k) + b_{12} u_1(t-k-1) + b_{21} u_2(t-k) + b_{22} u_2(t-k-1) + b_{31} u_3(t-k) + b_{32} u_3(t-k-1) + \lambda(e(t) + c_1 e(t-1) + c_2 e(t-2))$$

modell	k	M	G	a ₁ a ₂	b ₁₁ b ₁₂	b ₂₁ b ₂₂	b ₃₁ b ₃₂	c ₁ c ₂	Loss funk	λ	anm
X ₂₁ = F(X ₁₁ , 29U/M ₁₀)	G	1	1	-0.282 ± 0.213	0.099 ± 0.073	0.065 ± 0.037		-0.076 ± 0.174	840	3.98	osäkra param.
	P										
X ₂₁ = F(X ₁₁ , 30/M ₁₀)	G	2	1	-1.005 ± 0.053 0.782 ± 0.053	0.146 ± 0.032 0.0	0.078 ± 0.013 0.0		-0.809 ± 0.084 0.695 ± 0.053	728	3.71	testkvant 7.69
	P										
X ₂₁ = F(X ₁₁ , 30/M ₁₀)	G	1	1	-0.546 ± 0.154	0.012 ± 0.054	0.354 ± 0.782		-0.236 ± 0.640	863	4.04	osäkra b-param.
	P										
X ₂₁ = F(29U/M ₁₀ , 30/M ₁₀)	G	2	1	-0.772 ± 0.260 0.493 ± 0.174	0.0 0.102 ± 0.048	1.652 ± 0.670 -1.259 ± 0.741		-0.499 ± 0.235	750	3.76	testkvant 5.02.
	P										
X ₂₁ = F(29U/M ₁₀ , 30/M ₁₀)	G	1	1	-0.439 ± 0.170	0.045 ± 0.027	-0.472 ± 0.215		-0.206 ± 0.161	818	3.93	
	P										
X ₂₁ = F(M ₁₀ , T ₁₀ , U)	G	1	1	0.418 ± 0.129	0.067 ± 0.018	-1.115 ± 0.436		0.546 ± 0.112	683	3.59	testkvant 6.52
	P										
X ₂₁ = F(M ₁₀ , T ₁₀ , U)	G	1	1	-0.420 ± 0.153	0.054 ± 0.027	-0.518 ± 0.221	0.917 ± 0.774	-0.183 ± 0.141	807	3.90	
	P										
X ₂₁ = F(M ₁₀ , T ₁₀ , U)	G	2	1	0.464 ± 0.108 0.475 ± 0.086	0.213 ± 0.045 0.056 ± 0.027	0.0 -0.689 ± 0.383	1.906 ± 0.796 6.121 ± 1.410	0.627 ± 0.103 0.885 ± 0.069	619	3.42	testkvant 7.4
	P										

TABELL 4.5

TABELL 4.5

PL0T M1 - MODELL GP X21 = F(M10, T10, U) 021 = 0 21A

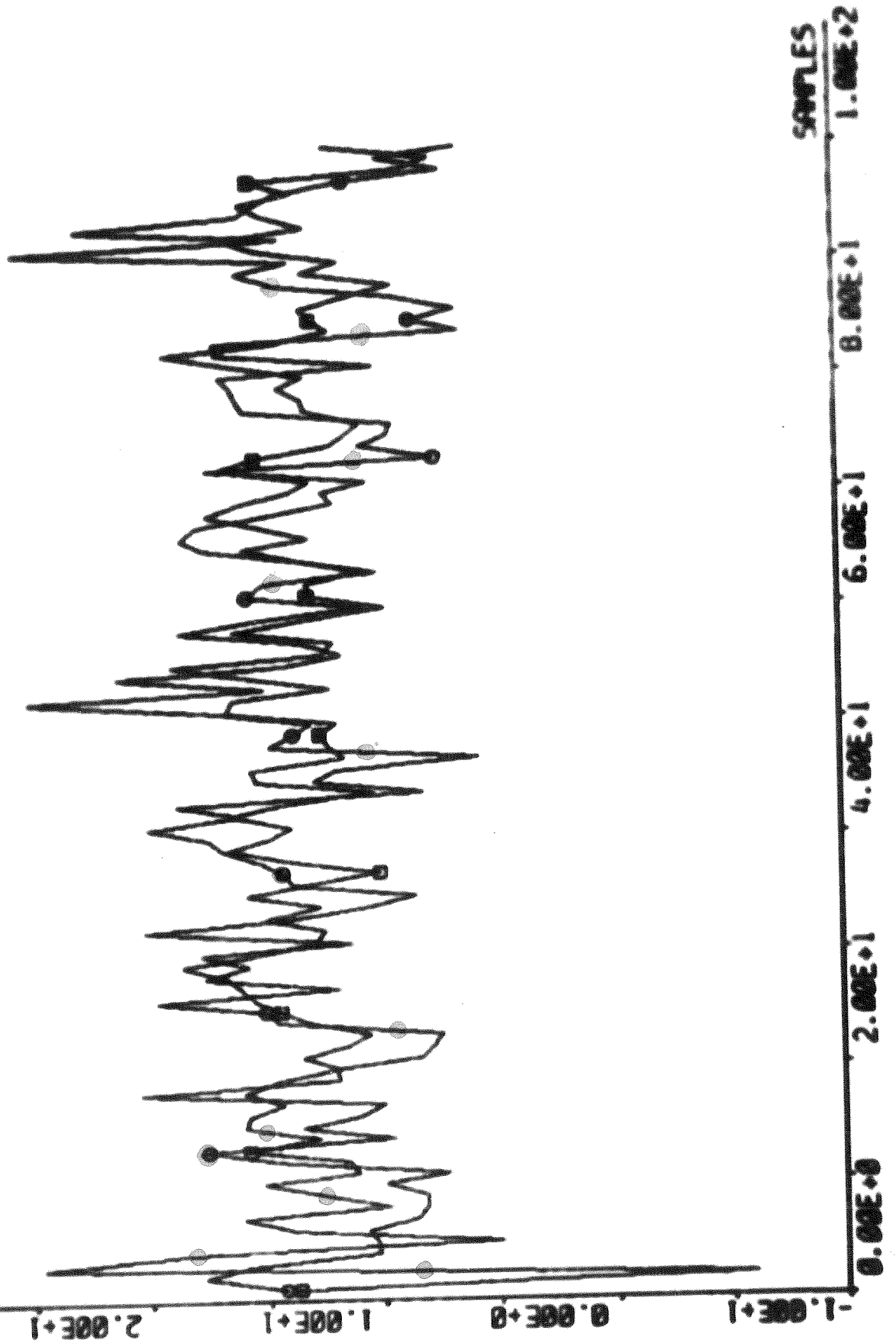


Fig. 4.27 Model output samt uppmätt utsignal.
Modell G_P $X_{21} = F(M_{10}, T_{10}, U)$ $b_{21} = 0$. 2:a ordn.

$$y(t) + a_1 y(t-1) + a_2 y(t-2) = b_{11} u_1(t-k) + b_{12} u_1(t-k-1) + b_{21} u_2(t-k) + b_{22} u_2(t-k-1) + \lambda \{e(t) + c_1 e(t-1) + c_2 e(t-2)\}$$

modell	k	M	$\frac{p}{q}$	$\begin{matrix} a_1 \\ a_2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} b_{11} \\ b_{12} \end{matrix}$	$\begin{matrix} b_{21} \\ b_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} c_1 \\ c_2 \end{matrix}$	Loss funk	λ	anm.
$X_{22} = F(X_{11})$		G_P	1	-0.720±0.119	0.096±0.053		-0.458±0.171	883	4.20	2:a ordn. modell ger osäker b-param.
$X_{22} = F(X_{12})$		G_P	1	-0.737±0.132	-0.083±0.060		-0.450±0.176	894	4.23	"-
$X_{22} = F(29U/M_{10})$		G_P	1	-0.663±0.150	0.018±0.057		-0.336±0.162	929	4.31	osäker b-param.
		G_P	2	-0.764±0.151 0.452±0.192	0.0 0.064±0.035		-0.544±0.140 0.725±0.173	854	4.13	TQ=4.28
$X_{23} = F(X_{11})$		G_P	1	-0.639±0.133	-0.100±0.097		-0.284±0.168	2349	6.85	osäker B-param.
$X_{23} = F(X_{11}, 30/M_{10})$		G_P	1	0.245±0.287	-0.229±0.734	1.574±0.947	0.028±0.260	2293	6.77	osäkra A o.c.-param.

TABELL 4.6

4.4. MODELL ÖVER KYLTRUMMORNA

Det är av stor betydelse att veta hur mycket produkt som tas ut i varje tidpunkt för att göra en riktig modell över recirkulationsdelen. Eftersom det ej finns någon våg efter produktutmatningsfickorna har vi uppskattat uttagen produkt till $30.5 + 29U(t)$, där $U(t)$ är störsignalen som antar värdena noll eller ett, se avsnitt 3.5.

Efter kyltrummorna finns en våg vars utslag vi registrerat. Fig.4.28 visar denna tillsammans med störsignalen. Kurvorna är förskjutna 22 minuter i förhållande till varandra. Vi kan nu göra en modell med denna rekonstruktion av massflödet som insignal och värdet från vågen av massflödet efter granulatorens utsignal.

Vid modellerna har vi antagit en transportfördröjning på 22 minuter mellan produktutmatningsfickorna och vågen efter kyltrummorna. Modellerna finns redovisade i tabell 4.6. Av denna framgår att den lägsta förlustfunktionen har erhållits med en andra ordningens modell med termen framför $U(t-12)$ till noll. Model output följer verklig utsignal dåligt, fig. 4.29. Stegsvaret är plottat i fig. 4.6. Modellen med a-parametrarna satta till noll gav också låg förlustfunktion. Denna modell beskriver systemet över kyltrummorna som ett system med ren förstärkning.

$$y(t) + a_1 y(t-1) + a_2 y(t-2) = b_{11} u_1(t-k) + b_{12} u_1(t-k-1) + b_{21} u_2(t-k) + b_{22} u_2(t-k-1) + \lambda \{e(t) + c_1 e(t-1) + c_2 e(t-2)\}$$

modell	k	M	\sum	a_1 a_2	b_{11} b_{12}	b_{21} b_{22}	c_1 c_2	loss funk	λ	anm.
$P_{10} = F(U)$	K4	1	0	-0.508±0.104	0.895±0.811		0.497±0.103	825	4.04	Dålig b-param.
	K4	2	2	-1.185±0.185 0.484±0.122	1.431±0.783 0.0		-0.175±0.199 -0.199±0.139	777	3.92	Modo fig.D
$P_{10} = F(U)$	K4	1	0	0.0	-0.202±0.672		0.765±0.057	976	4.40	
	K4	2	2	0.0 0.0	1.554±0.773 1.752±0.788		0.972±0.080 0.420±0.113	800	3.98	

TABELL 4.6

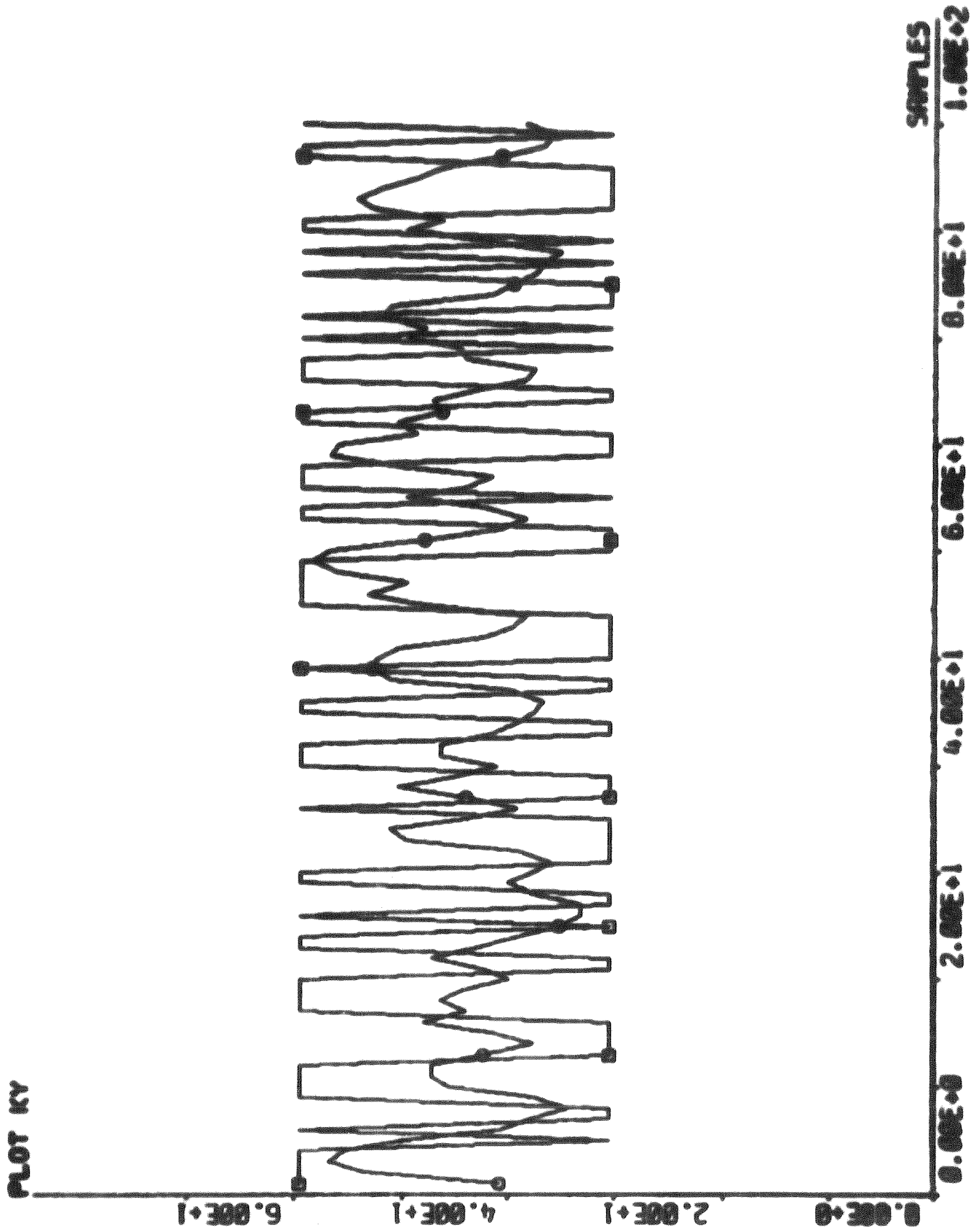


Fig. 4.28 Rekonstruerat massflöde vid produktutmatningsfickorna samt massflöde efter kyltrummorna. Kurvorna är förskjutna 22 minuter i förhållande till varandra.

PLOT INK- SIMULERING. VERKLIG P10-F(U) 2:a ORDEN 02-0 NY.

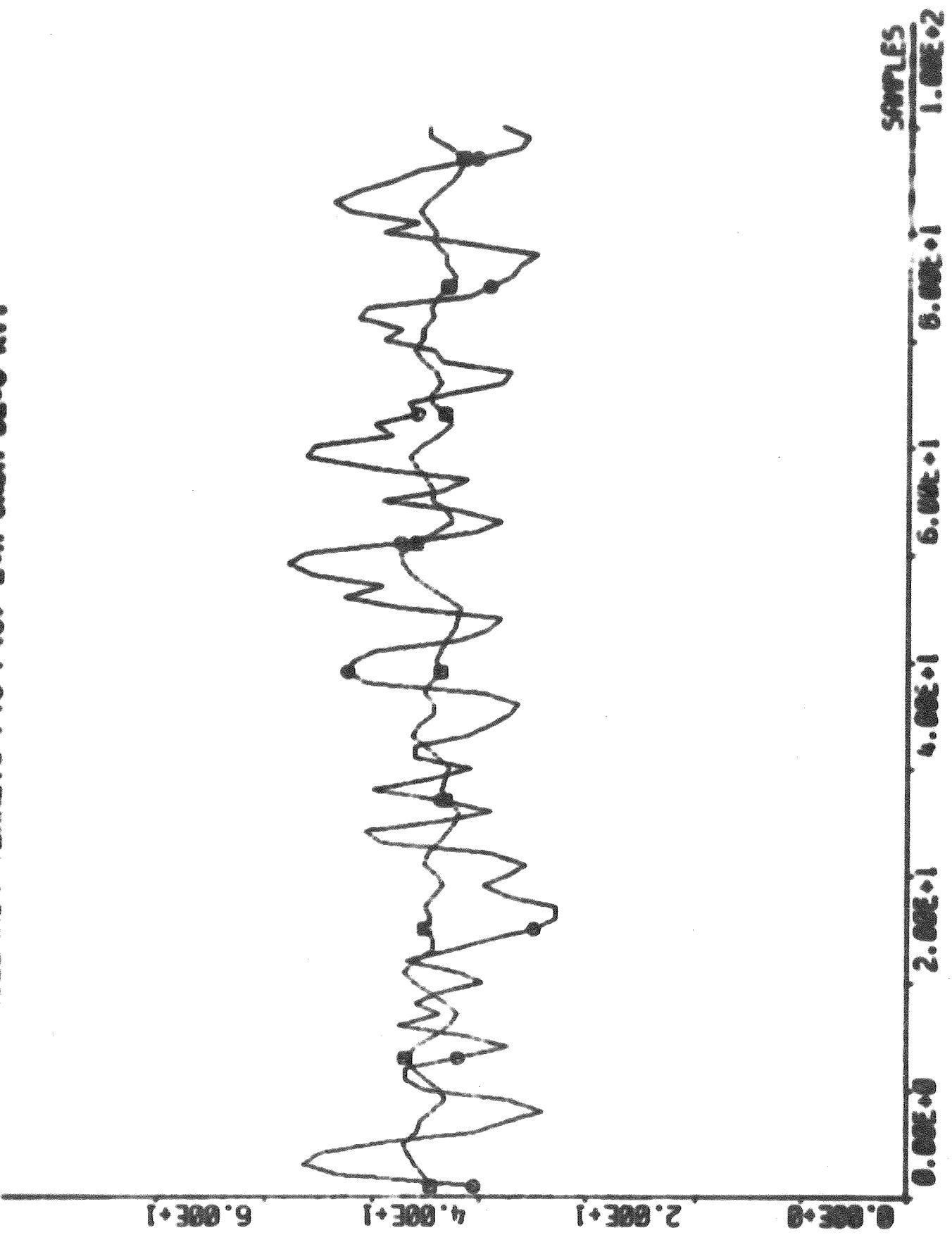


Fig. 4.29 Model output samt uppmätt utsignal
Modell $P_{10} = F(U)$ $b_{12}=0$ 2:a ordn.

PLOT S1- STEGSVAR P10-F(U) 2:a ORDEN B12=0 KV.

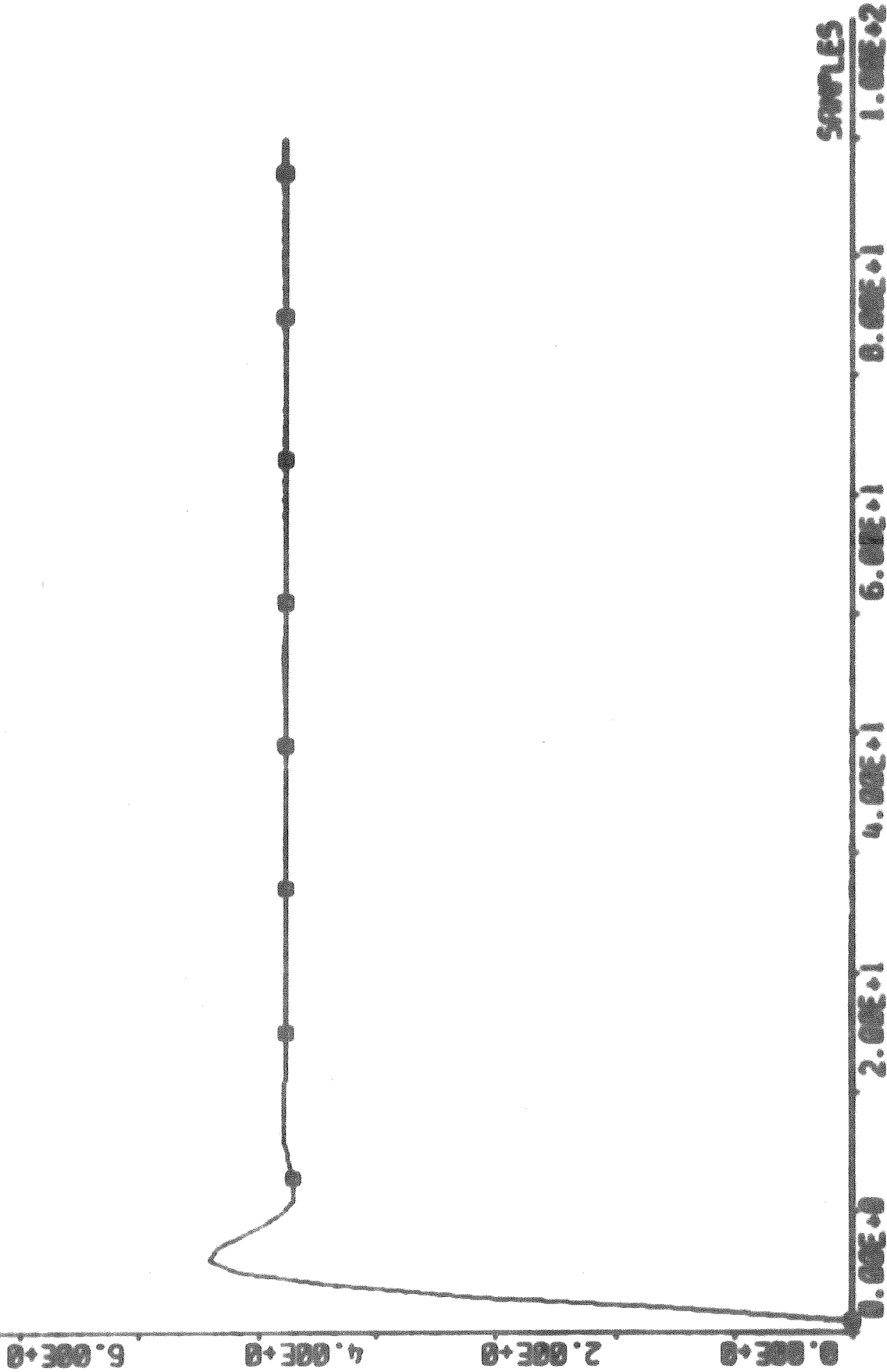


Fig. 4.30 Stegsvar.
 Modell $P_{10} = F(U)$ $b_{12} = 0$ 2:a ordn.

4.5. RECIRKULATIONSDELEN

Vid denna del genomgår ej granulerna någon kemisk process, utan endast transporterering, krossning och siktning. Vi har emellertid en hel del problem i denna del av processen. Här vill vi nämna några:

De två torktrummorna har olika transportfördröjningar, det sker en massutjämnning i dem och de kan både granulera kornen och krossa dem. Siktarna siktar inte ner kornen i exakta storlekar vilket t ex medför att granulerna i "produktflödet" innehåller andra korn än 2-4 mm diameter vilket man kan förvissa sig om, om man undersöker färdig produkt. Krossens effektivitet känner vi inte heller till när den utsätts för varierande massmängder.

Från granulatorens går massflödet genom torktrummorna till siktarna, där sedan underkornen transporteras via underkornsfickan tillbaka till granulatorens. Produktkornen transporteras till produktutmatningsfickorna där en viss del tas ut på produktbandet och resten transporteras tillbaka till granulatorens. Överkornen krossas ner i krossen till i huvudsak underkorn och fraktas sedan tillbaka till returflödet till granulatorens se fig.2.1. Innan granulerna återvänder till granulatorens tillsätts råvaror och massflödet vägs vid mätstället A före granulatorens.

Då vi ej hade någon våg efter produktutmatningsfickorna har jag antagit uttagen produkt till $k_1 + k_2 U(t)$ där $k_1 = 30.5$, och $k_2 = 29.0$ och $u(t)$ är störsignalen som antar värdena ett eller noll, se avsnitt 3.5.

Vid modellerna över recirkulationsdelen har vi haft tillgång till följande insignaler:

X_{21}	underkorn efter granulatore	
X_{22}	produktkorn	"
X_{23}	överkorn	"
T_{20}	temperatur	"
F_{20}	fukthalt	"
U	störnsignal, läge på produktutmatningsficka nr 1	

Som utsignaler har jag använt kornfraktionerna före granulatore. Dessa är

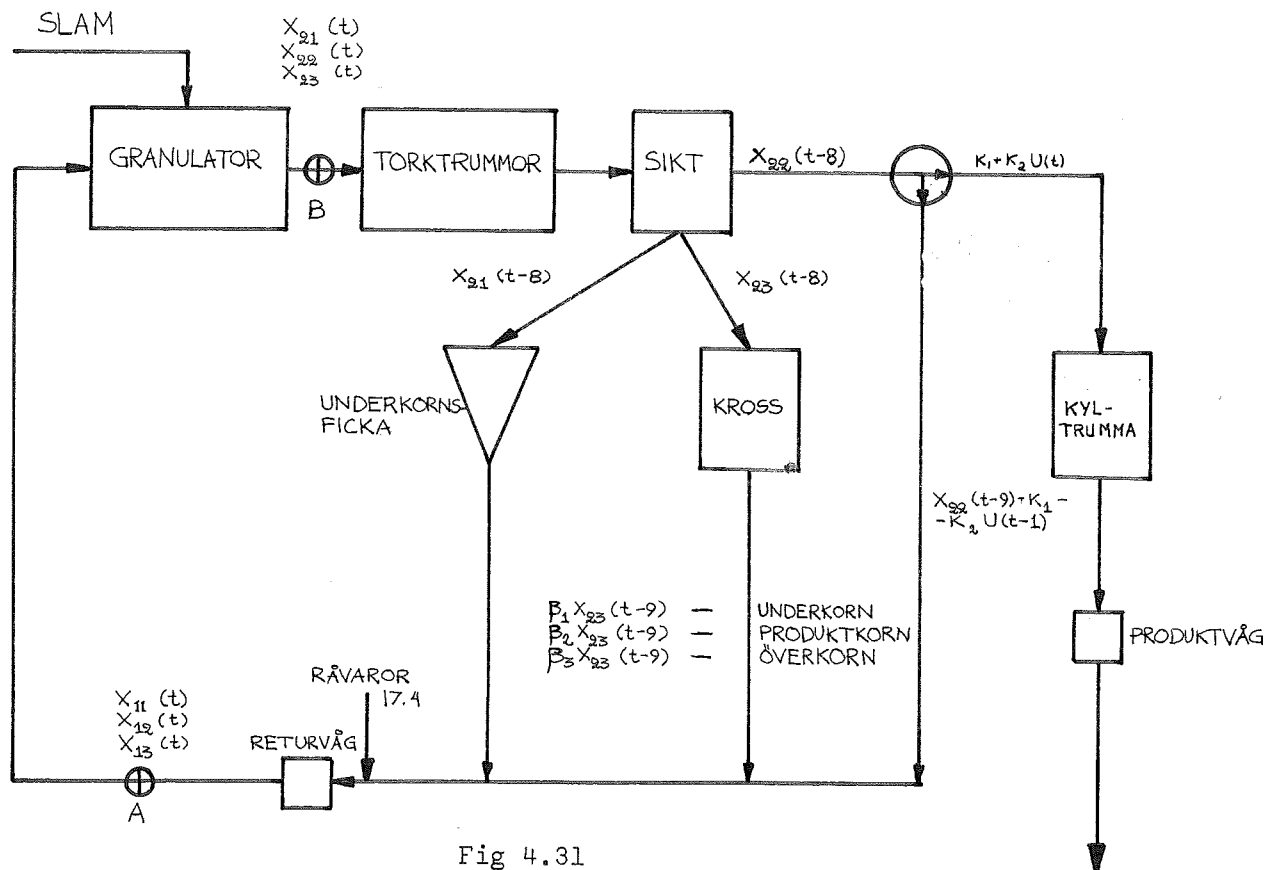
X_{11}	underkorn
X_{12}	produktkorn
X_{13}	överkorn

Transportfördröjningen mellan mätställe B till mätställe A före granulatore har vi antagit till 9 samplingsintervaller eller 18 minuter.

4.6 MODELL MED ABSOLUTA MASSFLÖDEN FÖR RECIRKULATIONSDELEN

Som värde på massflödet efter granulatore har vi använt rekonstruktion A och rekonstruktion B. Dessa modeller benämns R_A resp. R_B , där R står för recirkulationsdelen.

Som en första modellapproximation och för att klargöra orsakssambanden har vi satt upp en modell med ren förstärkning utan någon dynamik. Vi har bland annat antagit att de fasta siktarna har siktat ner granulerna exakt i lika fördelning som vi gjorde med våra prover. Krossen krossar ner överkornen i β_1 % underkorn β_2 % produktkorn och β_3 % överkorn. Se fig. 4.31.



vi känner följande medelvärden:

$$\begin{aligned}
 E(k_1 + k_2 U(t)) &= 44.66 \text{ ton/h} \\
 E(X_{11}) &= 114.7 \text{ ton/h} & E(X_{21}) &= 29.0 \text{ ton/h} \\
 E(X_{12}) &= 57.3 \text{ ton/h} & E(X_{22}) &= 101.7 \text{ ton/h} \\
 E(X_{13}) &= 12.9 \text{ ton/h} & E(X_{23}) &= 84.0 \text{ ton/h}
 \end{aligned}$$

Råvaror 17.4 ton/h.

Om vi nu räknar med medelvärden i våra modeller erhåller vi följande värden på beta-parametrarna.

$$\beta_1 = 0.812 \qquad \beta_2 = 0.004 \qquad \beta_3 = 0.153$$

Summan av dessa skulle enligt teorin bli 1 men blir här 0.97 vilket är bra med hänsyn till grova antaganden som vi gjort i modellen.

Modellerna skulle således bli enligt teorin: (k_1 och råvaror är bortplockade eftersom de inte har någon inverkan vid identifieringen).

$$X_{11}(t) = 1 \cdot X_{21}(t-9) + 0.81 X_{23}(t-9) \quad 4.1$$

$$X_{12}(t) = 1 \cdot X_{22}(t-9) - 29U(t-1) + 0.004 X_{23}(t-9) \quad 4.2$$

$$X_{13}(t) = 0.15 \cdot X_{23}(t-9) \quad 4.3$$

Dessa modeller visar att krossen mal ner 81 % till underkorn medan 15 % ej krossas ner under överkornsstorlek. Endast 0.4 % skulle malas ner till produktkorn.

En jämförelse med ML-uppskattade modeller ger:

R_A -modeller

$$X_{11}(t) = 1 \cdot X_{21}(t-9) + 0.37 \cdot X_{23}(t-9)$$

$$X_{12}(t) = 1 \cdot X_{22}(t-9) - 29 \cdot U(t-1) + 0.29 \cdot X_{23}(t-9)$$

$$X_{13}(t) = 0.03 \cdot X_{23}(t-9)$$

R_B -modeller

$$X_{11}(t) = 1 \cdot X_{21}(t-9) + 0.32 \cdot X_{23}(t-9)$$

$$X_{12}(t) = 1 \cdot X_{22}(t-9) - 30U(t) + 0.32 \cdot X_{23}(t-9)$$

$$X_{13}(t) = 0.02 \cdot X_{23}(t-9)$$

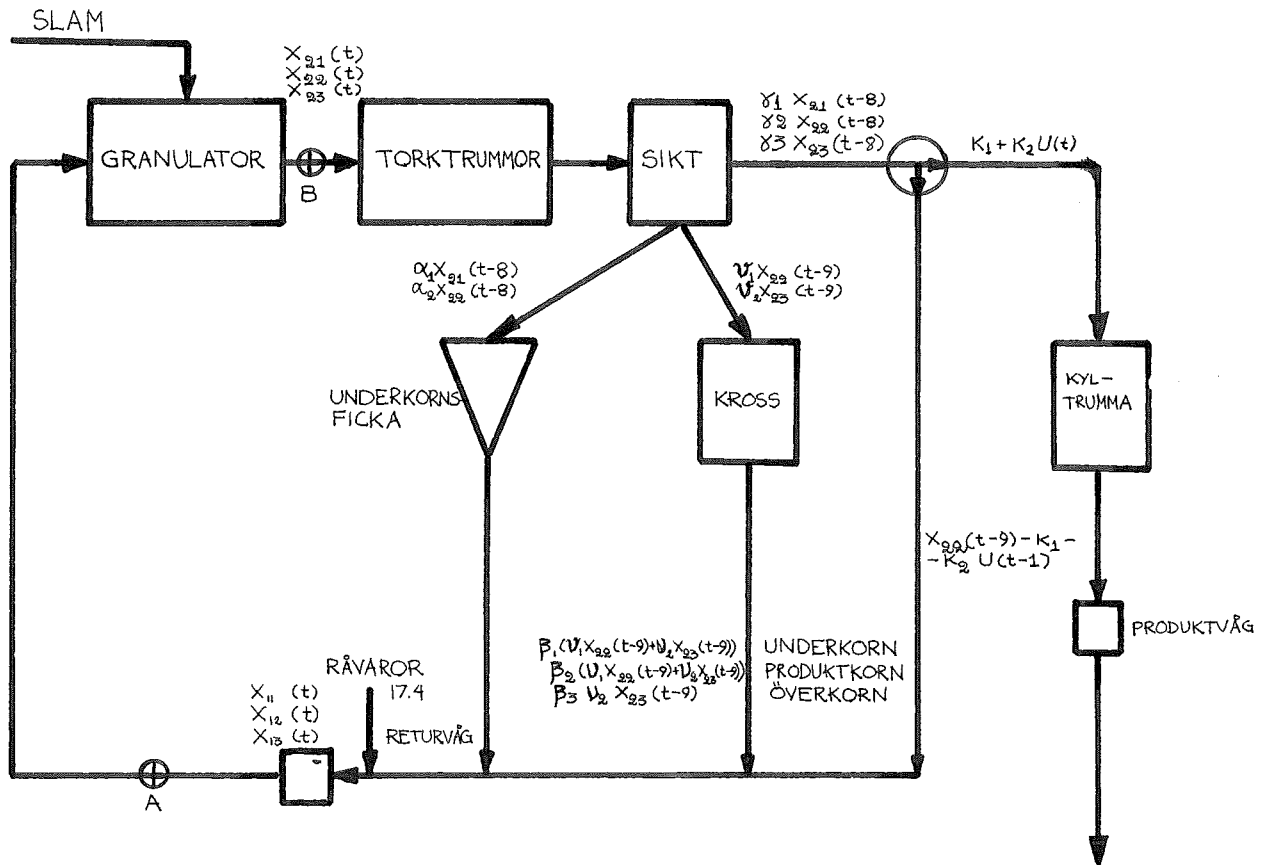
I figurerna 4.33 - 4.38 är de simulerade utsignalerna samt uppmätta utsignalerna plottade. R_B -modellerna är inte plottade på grund av att parametrarna inte skiljer sig nämnvärt från R_A -modellerna och således skiljer sig inte model output för de två olika modellerna speciellt mycket.

Överensstämmelsen mellan de teoretiska modellerna som vi fått fram på statistisk väg och dessa ML-modeller är som synes inte alls tillfredsställande. Ur dynamisk synpunkt skall man naturligtvis lita mest på ML-modellerna. Underkornsmodellerna fig. 4.33 och 4.36 visar klart skillnaden i antagandet. Termen 0.81 i statistiska modellen och 0.37 gör att den teoretiska (statiska) modellen visar känsligare beteende. Att den skulle vara bättre än ML-modellen är dock inte alls säkert.

Produktkornmodellernas ut signaler fig. 4.34 och 4.37 följer verklig utsignal väl. Det är svårt att här uttala sig om vilken av modellerna som är bäst.

Den dominerande termen är störssignalen som ger den fina följsamheten. Den teoretiska överkornsmodellens utsignal fig. 4.35 följer uppmätt utsignal något bättre än den ML-uppskattade modellens utsignal gör fig. 4.38. Denna uppställning tycks inte ha funnit någon modell som kan förklara svängningarna hos överkornen.

I nästa modell antar vi att siktarna inte är perfekta, utan att det i produktflödet följer med en viss andel överkorn samt underkorn med produktkornen. Likaså följer en viss andel produktkorn med till underkornsfickan, och till krossen kommer det förutom överkorn, även lite produktkorn. Se fig. 4.32.



Modellen blir

$$X_{11}(t) = (\alpha_1 + \gamma_1) X_{21}(t-9) + \beta_1 v_1 \cdot X_{22}(t-9) + \beta_1 v_2 X_{23}(t-9) - 0.20k_2 U(t-1) - 6 + 17.4 \quad 4.4$$

$$X_{12}(t) = (\alpha_2 + \beta_2 v_2 + \gamma_2) X_{22}(t-9) + \beta_2 v_2 X_{23}(t-9) - 0.75k_2 U(t-1) - 22.5 \quad 4.5$$

$$X_{13}(t) = (\beta_3 v_2 + \gamma_3) X_{23}(t-9) - 0.005k_2 U(t-1) - 1.5 \quad 4.6$$

Analys av färdig produkt har visat att den innehåller 20 % underkorn 75 % produktkorn och 5 % överkorn. Total mängd som i medeltal transporteras i produktflödet blir då

$$\gamma_1 E(X_{21}) + \gamma_2 E(X_{22}) + \gamma_3 E(X_{23})$$

och följande samband fås

$$0.20 \cdot \text{total mängd} = \gamma_1 \cdot E(X_{21})$$

$$0.75 \cdot \text{total mängd} = \gamma_2 E(X_{22})$$

$$0.05 \cdot \text{total mängd} = \gamma_3 E(X_{23})$$

Detta ger $\gamma_1 = 0.70$

$$\gamma_2 = 0.74$$

$$\gamma_3 = 0.06$$

Det medför $v_2 = 0.94$

$$\alpha_1 = 0.30$$

Från resultatet av analysen uppskattas α_2 till 0.05 på grund av att 5 % större korn går genom produktsikten. Detta ger i sin tur α_1 till 0.21.

Dessa konstanter ger insatt i ekvationerna 4.4 - 4.6 de tre β -parametrarna till $\beta_1 = 0.804$ $\beta_2 = 0.386$ $\beta_3 = 0.098$. Deras summa blir 1.29.

Med konstanterna insatta ger det

$$x_{11}(t) = 1 \cdot x_{21}(t-9) + 0.17x_{22}(t-9) + 0.76x_{23}(t-9) - 5.8 \cdot U(t-1)$$

$$x_{12}(t) = 0.87x_{22}(t-9) + 0.36x_{23}(t-9) - 21.8 \cdot U(t-1)$$

$$x_{13}(t) = 0.15x_{23}(t-9) - 1.45 \cdot U(t-1)$$

Med ML-uppskattning erhöjls

$$x_{11}(t) = 1 \cdot x_{21}(t-9) - 0.10x_{22}(t-9) + 0.34x_{23}(t-9) + 3.83 U(t-1)$$

$$x_{12}(t) = 0.28x_{22}(t-9) - 0.10x_{23}(t-9) - 30.13 U(t-1)$$

$$x_{13}(t) = 0.01x_{23}(t-9) - 0.66 U(t-1)$$

Vi ser således att koefficienterna mellan statistiska och dynamiska modellerna inte alls är jämförbart stora.

Modellerna jämföres bäst genom att studera fig. 4.39 till 4.44, hur väl model output följer uppmätt utsignal. Genom att tillföra x_{22} och U som insignaler till underkornsmodellerna medför ingen förbättring i följsamheten i simuleringen. Se fig. 4.39 och 4.42. Model output följer uppmätt utsignal väsentligt bättre i fig. 4.43 (ML-uppskattade modellen) än i fig. 4.40 (den teoretiska modellen). Detta på grund av att parametern före $U(t-1)$ i den teoretiska modellen är för liten, vilket skulle tyda på att en större mängd produktkorn än den antagna cirkulerar i "produktströmmen". Genom att använda störsignalen som ytterligare insignal i överkornsmodeller erhöles ingen bättre anpassning av model output till uppmätt utsignal. Se fig. 4.41 och fig. 4.42.

Tabell 4.7, 4.8 och 4.9 visar en uppställning på modeller från recirkulationsdelen.

Bland underkornen tabell 4.7, ger modellerna med fyra insignaler något lägre förlustfunktion än med modeller med två insignaler (x_{21} , x_{23}). Denna sänkning av förlustfunktionen är emellertid för liten för att motivera användandet av fler insignaler. R_B -modellerna har visat sig ge något högre förlustfunktioner i allmänhet med parametrar som inte skiljer sig nämnvärt från R_A -modellerna. Identifieringar har gjorts dels med att låta alla parametrarna vara fria dels med att sätta a -parametern till 0 (ren förstärkning) och b_1 -termen till ett, enligt teoretiska modellen. Model outputs är plottade för R_A -modellerna $x_{11} = F(x_{21}, x_{23})$ då samtliga parametrar var fria fig. 4.45, vid ren förstärkning fig. 4.46 samt vid ren förstärkning och parametern $b_{11} = 0$ i fig. 4.39.

I tabell 4.8 är produktkornsmodeller uppställda. Med x_{22} , x_{23} och U som insignaler gav R_A -modellen en förlustfunktion på 2012. Denna sänktes inte då a -parametern sattes till noll, vilket tyder på att det är ett system som kan förklaras med en statisk modell. Genom att ta bort x_{23} som insignal erhöles endast en något högre förlustfunktion. C -parametrarna blev osäkra i samtliga av de tre modellerna.

Då b_{11} -parametern sattes till ett i modellen $x_{12} = F(x_{22}, x_{23}, u)$ blev däremot C-parametern bättre men förlustfunktionen steg till 5489. R_B -modellerna gav liknande resultat med förlustfunktioner i samma storleksordning.

Tabell 4.9 visar några överkornsmodeller. Förlustfunktionerna är låga beroende på att mängden överkorn före granulatorn är liten, vilket medför en låg varians. Samtliga modeller har givit osäkra b-parametrar. ML-programmet har inte funnit några signifikanta modeller med överkorn som utsignal.

Sammanfattningsvis kan följande modeller för recirkulationsdelen rekommenderas. För underkornsmodellen lönar det sig definitivt att antaga en dynamik för underkornen också i recirkulationsdelen, detta beroende på underkornsfickan. Detta gör att modellen (se tabell 4.7.) visar relativt bra beteende:

$$x_{11}(t+1) = 0.607x_{11}(t) + 0.468x_{21}(t-9) + 0.208x_{23}(t-9) \\ + 9.51 \{e(t+1) - 0.314e(t)\}$$

För produktkornen behöver man däremot uppenbarligen ej antaga någon dynamik, vilket ju stämmer med strukturen på processen. Eftersom vi samtidigt eftersträvar en minsta komplexitet i modellen rekommenderas modellen (se tabell 4.8)

$$x_{12}(t+1) = 0.271 x_{22}(t-9) - 29.61 u(t) + 6.74(e(t+1) + \\ + 0.036e(t))$$

Två intressanta modeller mellan produktutmatningsfickorna och mätställe A har uppskattats.

Den första modellen ger en uppfattning om hur produktutmatningsfickans läge påverkar mängd produktkorn.

Vi antog en ren förstärkning och erhöill modellen:

$$x_{12}(t) = -29.5 U(t-1) + 7.59((e(t) + 0.24e(t-1)))$$

Model. output och verklig utsignal x_{12} är plottad i fig. 4.40.

Vi ser av denna att model output följer den verkliga utsignalen mycket väl och följaktligen har vi erhållit en bra modell, som också kan verifiera min rekonstruktion av utgående mängd produktkorn som proportionell mot fickans läge U.

Den andra modellen har jag massflödet av recirkulerat gods som funktion av produktfickans läge. Den modellen följer också väl den verkliga M_{10} se fig. 4.49.

Modellen:

$$M_{10}(t) = 0.14 M_{10}(t-1) - 25.70 U(t-1) + 6.32(e(t) + 0.66 e(t-1))$$

Modellen skulle kunna användas för anpassning av regulatorn vid produktfickan.

x₂₁ underkorn efter gran.

SUM	=	2611.60
MEAN	=	29.0178
VARIANCE	=	83.7130
ST.DEV.	=	9.14948
MINIMUM	=	11.3093
MAXIMUM	=	52.6375

x₁₁ underkorn f gran.

SUM	=	10298.9
MEAN	=	114.432
VARIANCE	=	135.288
ST.DEV.	=	11.6313
MINIMUM	=	90.3013
MAXIMUM	=	143.680

x₂₂ produktkorn efter gran.

SUM	=	9148.84
MEAN	=	101.654
VARIANCE	=	206.118
ST.DEV.	=	14.3568
MINIMUM	=	65.8450
MAXIMUM	=	132.268

x₁₂ produktkorn f gran.

SUM	=	5121.35
MEAN	=	56.9039
VARIANCE	=	275.734
ST.DEV.	=	16.6053
MINIMUM	=	29.3741
MAXIMUM	=	90.4432

x₂₃ produktkorn efter gran.

SUM	=	7559.55
MEAN	=	83.9950
VARIANCE	=	200.890
ST.DEV.	=	14.1736
MINIMUM	=	58.6918
MAXIMUM	=	120.913

x₁₃ överkorn f gran

SUM	=	1197.29
MEAN	=	13.3032
VARIANCE	=	14.4826
ST.DEV.	=	3.80560
MINIMUM	=	6.70705
MAXIMUM	=	22.4677

M₁₀ massflödet av recirkulerat gods

SUM	=	16617.5
MEAN	=	184.639
VARIANCE	=	280.217
ST.DEV.	=	16.7397
MINIMUM	=	155.000
MAXIMUM	=	215.000

Statistiska data för mätvärden i R_A
baserat på 90 mätvärden.

Insignaler i vänstra ledet och
utsignaler i högra.

T₁₀ temperatur f. gran.

SUM	=	5660.00
MEAN	=	62.8889
VARIANCE	=	2.67095
ST.DEV.	=	1.63430
MINIMUM	=	58.5000
MAXIMUM	=	66.0000

U läge på produktutmatningsfickan nr 1, störsignal.

SUM	=	45.0000
MEAN	=	0.500000
VARIANCE	=	0.250000
ST.DEV.	=	0.500000
MINIMUM	=	0.000000
MAXIMUM	=	1.00000

x₂₁ underkorn efter gran.

SUM	=	2595.90
MEAN	=	28.8433
VARIANCE	=	74.4994
ST.DEV.	=	8.63130
MINIMUM	=	12.2629
MAXIMUM	=	53.1292

x₁₁ underkorn f gran.

SUM	=	10298.9
MEAN	=	114.432
VARIANCE	=	135.288
ST.DEV.	=	11.6313
MINIMUM	=	90.3013
MAXIMUM	=	143.680

x₂₂ produktkorn efter gran.

SUM	=	9112.18
MEAN	=	101.246
VARIANCE	=	139.622
ST.DEV.	=	11.8162
MINIMUM	=	67.7150
MAXIMUM	=	124.284

x₁₂ produktkorn f gran.

SUM	=	5121.35
MEAN	=	56.9039
VARIANCE	=	275.734
ST.DEV.	=	16.6053
MINIMUM	=	29.3741
MAXIMUM	=	90.4432

x₂₃ produktkorn efter gran.

SUM	=	7571.00
MEAN	=	84.1222
VARIANCE	=	232.563
ST.DEV.	=	15.2500
MINIMUM	=	54.1412
MAXIMUM	=	129.951

x₁₃ överkorn f gran.

SUM	=	1197.29
MEAN	=	13.3032
VARIANCE	=	14.4826
ST.DEV.	=	3.80560
MINIMUM	=	6.70705
MAXIMUM	=	22.4677

M₁₀ massflödet av recirkulerat gods

SUM	=	16617.0
MEAN	=	184.639
VARIANCE	=	280.217
ST.DEV.	=	16.7397
MINIMUM	=	155.000
MAXIMUM	=	215.000

Statistiska data för mätvärden i R_B
baserat på 90 mätvärden.

Insignaler i vänstra ledet och
utsignaler i högra.

T₁₀ temperatur f gran.

SUM	=	5660.00
MEAN	=	62.8889
VARIANCE	=	2.67095
ST.DEV.	=	1.63430
MINIMUM	=	58.5000
MAXIMUM	=	66.0000

U läge på produktutmatningsfickan nr 1, störsignal.

SUM	=	45.0000
MEAN	=	0.500000
VARIANCE	=	0.250000
ST.DEV.	=	0.500000
MINIMUM	=	0.000000
MAXIMUM	=	1.000000

TABELL 4.7. Underkornsmodeller för recirkulationsdelen.

$$y(t) + a_1 y(t-1) + a_2 y(t-2) = b_1 u_1(t-k) + b_2 u_1(t-k-1) + b_{21} u_2(t-k) + b_{22} u_2(t-k-1) + \lambda \{e(t) + c_1 e(t-1) + c_2 e(t-2)\}$$

modell	k	M	$\frac{p}{q}$	a_1 a_2	b_{11} b_{12}	b_{21} b_{22}	c_1 c_2	Loss funkt	λ	anm.
$X_{11} = F(X_{21}, X_{23})$										
	RA	1		-0.607+0.141	0.468+0.178	0.208+ 0.107	-0.314+0.150	4066	9.51	Modo fig. 4.45
	RA	1		0.0	0.693+0.185	0.235+0.110	0.206+0.090	4506	10.01	TQ 2.65 Modo fig. 4.46
	RA	1		0.0	1.0	0.37+0.076	0.153+0.085	4643	10.16	Modo fig. 4.39
$X_{11} = F(X_{21}, X_{22}, X_{23})$ U)										
	RA	1		-0.651+0.111	0.665+0.184 $B_{31}=0.191+0.104$	-0.181+0.080 $B_{41}=3.4851+1.876$	-0.379+0.138	3739	9.12	
	RA	1		0.0	0.706+0.209 $B_{31}=0.241+0.108$	-0.025+0.105 $B_{41}=3.971+2.131$	0.230+0.091	4333	9.81	osäker b_{21} _param.
	RA	1		0.0	1.0 $B_{31}=0.337+0.085$	-0.097+0.092 $B_{41}=3.831+2.151$	0.167+0.083	4425	9.92	Modo fig. 4.45
$X_{11} = F(X_{21}, X_{23})$										
	R _B	1		-0.688+0.138	0.241+0.201	0.038+0.097	-0.341+0.148	4295	9.77	
	R _B	1		0.0	0.555+0.213	0.130+0.119	0.273+0.089	4773	10.30	
	R _B	1		0.0	1.0	0.322+0.077	0.236+0.091	5002	10.54	Modo fig. 4.35
$X_{11} = F(X_{21}, X_{22}, X_{23})$ U)										
	R _B	1		0.0	1.0 $B_{31}=0.254+0.109$	-0.152+0.145 $b_{41}=3.545+2.225$	0.219 +0.094	4801	10.33	

TABELL 4.8. Produktkornsmodeller för recirkulationsdelen.

modell	k	M	ρ	a_1 a_2	b_{11} b_{12}	b_{21} b_{22}	b_{31} b_{32}	c_1 c_2	Loss funk	λ	anm
$y(t)+a_1y(t-1)+a_2y(t-2)=b_{11}u_1(t-k)+b_{12}u_1(t-k-1)+b_{21}u_2(t-k)+b_{22}u_2(t-k-1)+b_{31}u_3(t-k)+b_{32}u_3(t-k-1)+\lambda f e(t)+c_1e(t-1)+c_2e(t-2)$											
$X_{12}=F(X_{22}, X_{23}, U)$	R_A	1	1	0.0047+0.048	0.237+0.000	-0.071+0.059	-29.71+1.436	0.031+0.115	2012	6.69	dåliga A o.C-param.
"	R_A	1	1	0.0	0.236+0.060	-0.071+0.059	-29.69+1.428	0.027+0.104	2012	6.69	dålig C-param.
"	R_A	1	1	0.0	1.0	0.289+0.081	-29.08+2.353	0.299+0.104	5489	10.04	modo fig.4#0
$X_{12}=F(X_{22}, U)$	R_A	1	1	0.0	0.271+0.052		-29.61+1.436	0.036+0.107	2045	6.74	dålig C-param.
$X_{12}=F(X_{22}, X_{23}, U)$	R_B	1	1	0.0052+0.047	0.282+0.082	-0.065+0.062	-29.89+1.438	0.014+0.112	2014	6.69	dåliga A- o C param.
	R_B	1	1	0.0	0.281+0.081	-0.065+0.062	-29.87+1.427	0.0094+0.103	2014	6.69	dålig C-param.
	R_B	1	1	0.0	1.0	0.320+0.068	-30.13+1.951	0.148+0.089	3728	9.10	
$X_{12}=F(X_{22}, U)$	R_B	1	1	0.0	1.0		-30.71+2.187	0.096+0.083	4696	10.21	
	R_B	1	1	0.0	0.334+0.064		-29.85+1.436	0.024+0.103	2039	6.73	

TABELL 4.9. Överkornsmodeller för recirkulationsdelen.

modell	k	M	\sum_0	a_1 a_2	b_{11} b_{12}	b_{21} b_{22}	c_1 c_2	Loss funk	λ	anm.
$X_{13} = F(X_{23}, U)$	R_A	1	1	-0.898±0.081	0.0057±0.0180		-0.567±0.164	419	3.05	instabil 2:a ordn.
$X_{13} = F(X_{23}, U)$	R_A	1	1	0.0	0.012±0.024	-0.663±0.695	0.424±0.082	508	3.36	dåliga b-param. modo fig. 4.47
$X_{13} = F(X_{23}, U)$	R_B	1	1	-0.909±0.079	-0.0039±0.015		-0.583±0.162	419	3.05	dåliga param.
$X_{13} = F(X_{23}, U)$	R_B	1	1	0.0	0.015±0.026		0.414±0.083	514	3.38	dålig b-param.
$X_{13} = F(X_{23}, U)$	R_B	1	1	0.0	-0.008±0.025	-0.685±0.695	0.422±0.082	508	3.36	dålig b-param.

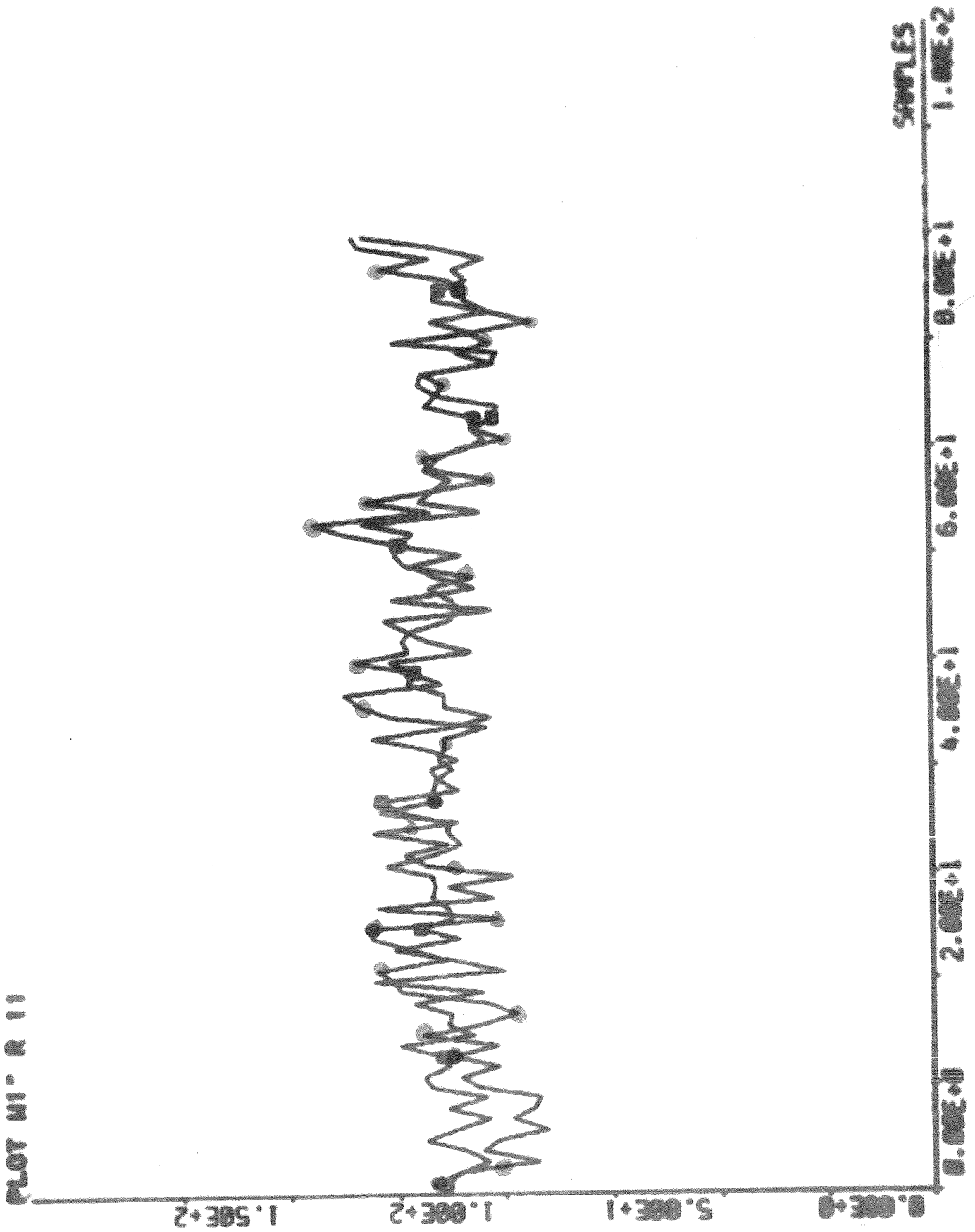


Fig.4.33 Model output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell: } x_{11}(t) = 1 \cdot x_{21}(t-9) + 0.81 x_{23}(t-9)$$

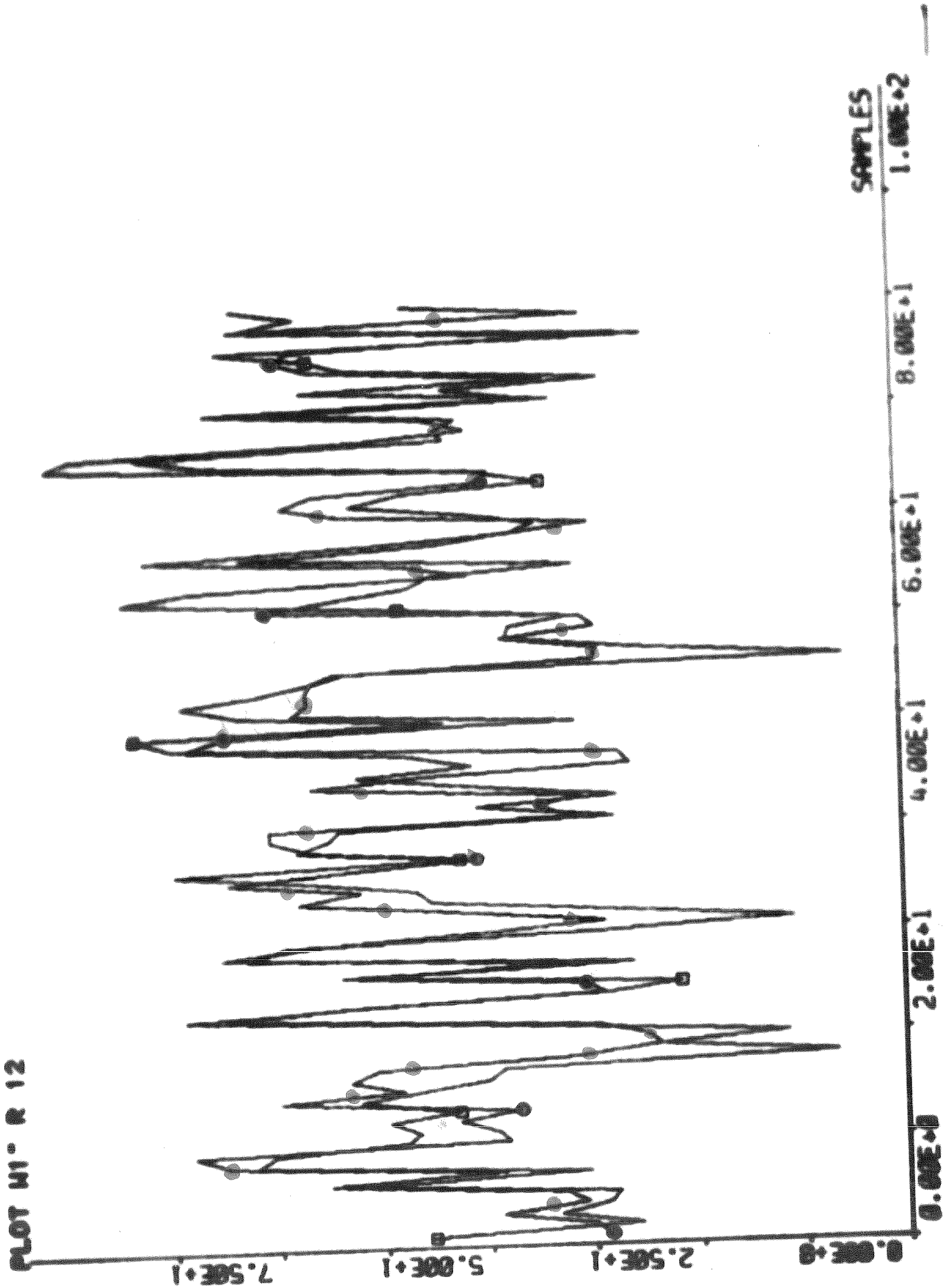


Fig. 4.34 Model output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell: } x_{12}(t) =$$

$$= 1 \cdot x_{22}(t-9) - 29U(t) + 0.004x_{23}(t-9)$$

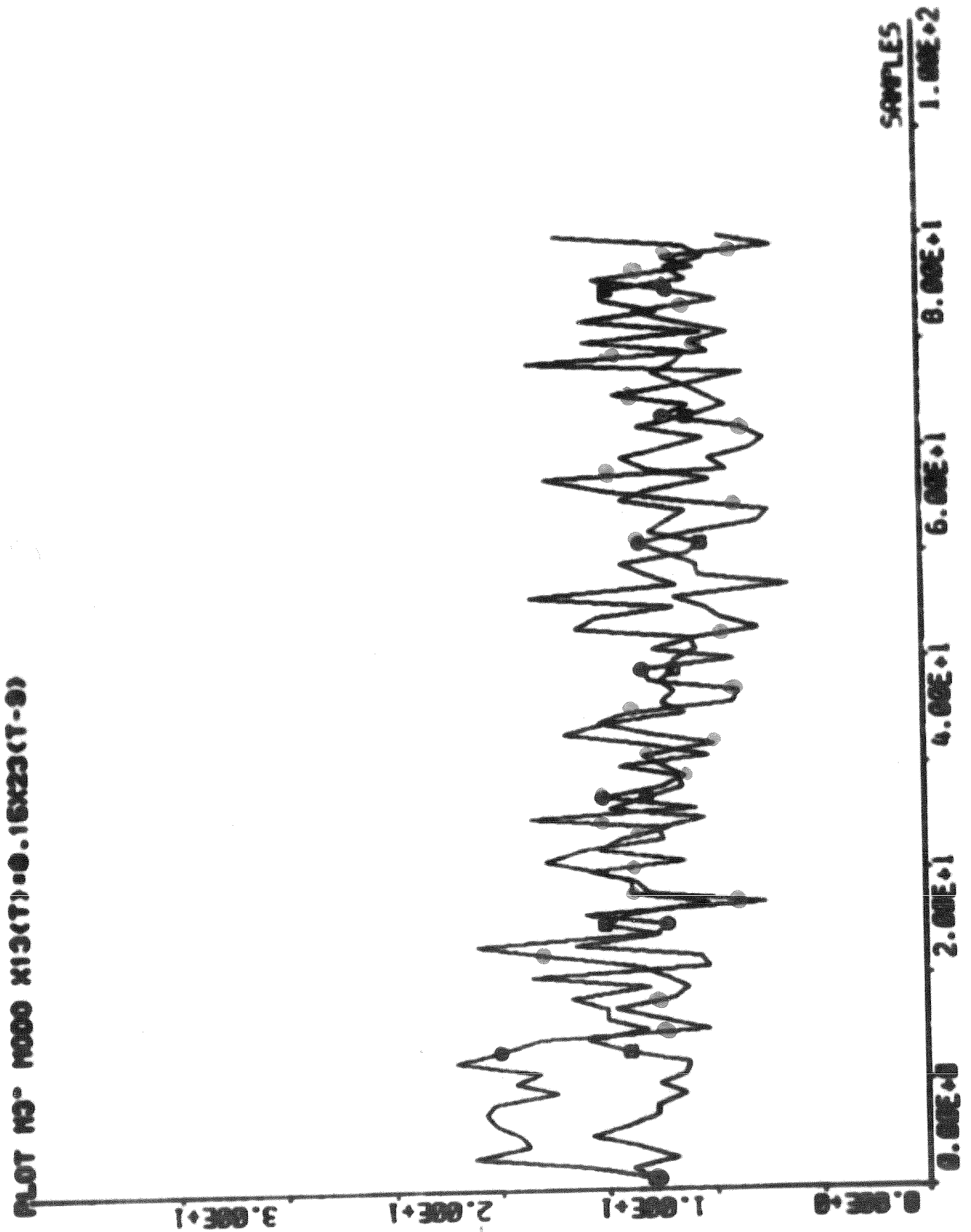


Fig.4.35 Model output
 Model1: $x_{13}(t)=0.15 \cdot x_{23}(t-9)$

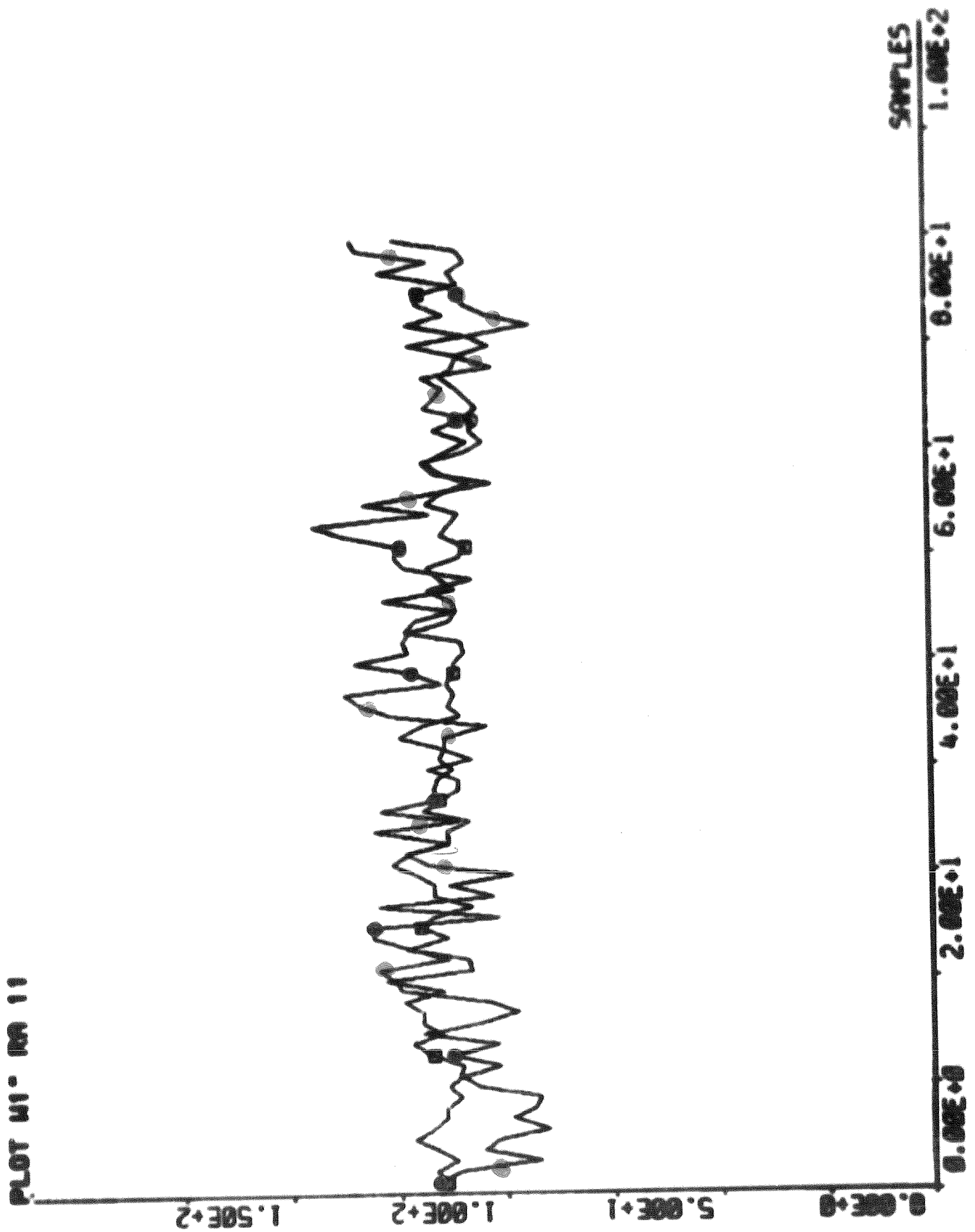


Fig 4.36 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell: $R_A: x_{11}(t) = 1 \cdot x_{21}(t-9) + 0.37x_{23}(t-9)$

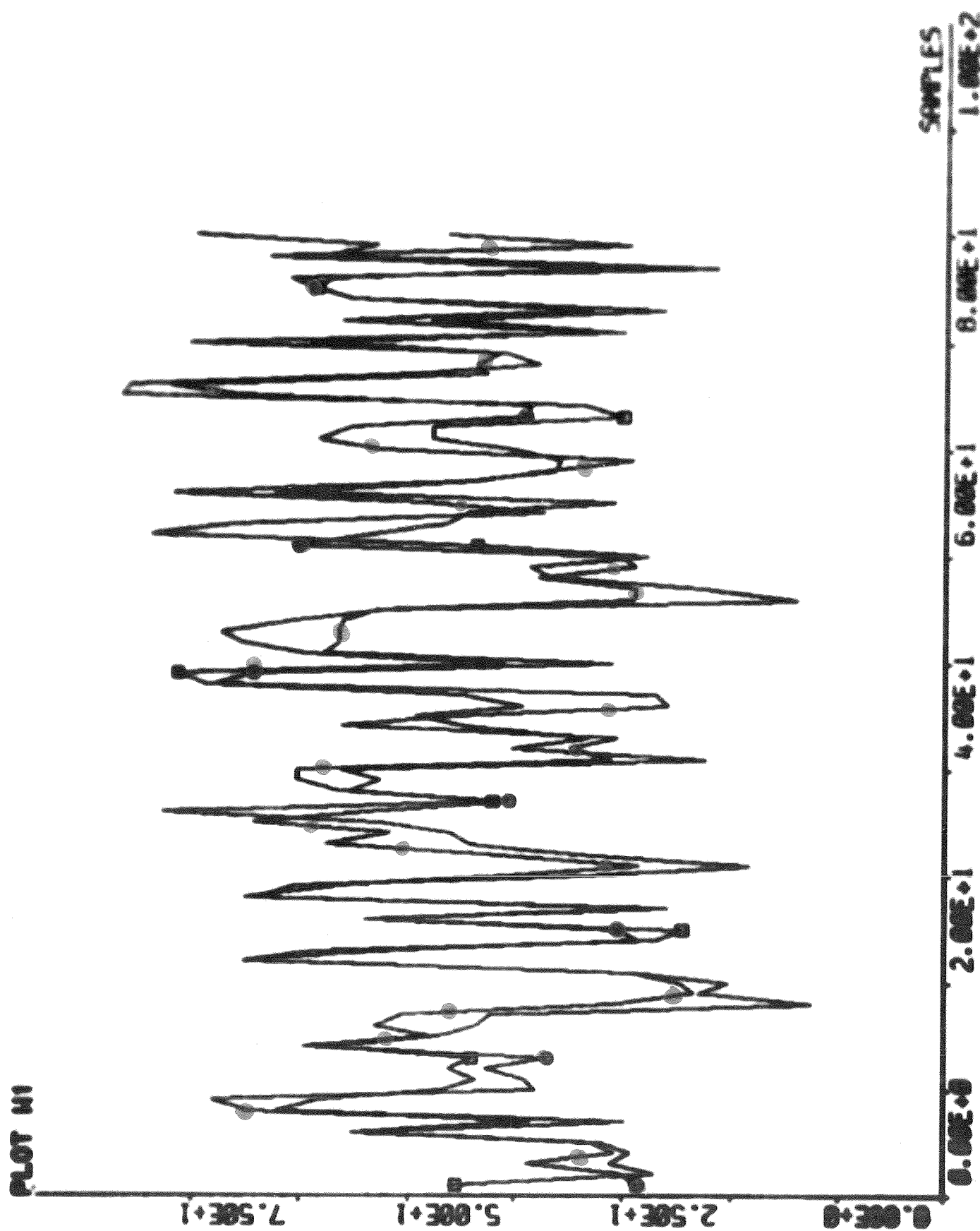


Fig. 4.37 Model output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell } X_{12}(t) = 1 \cdot X_{22}(t-9) - 29U(t) + 0.29X_{23}(t-9)$$

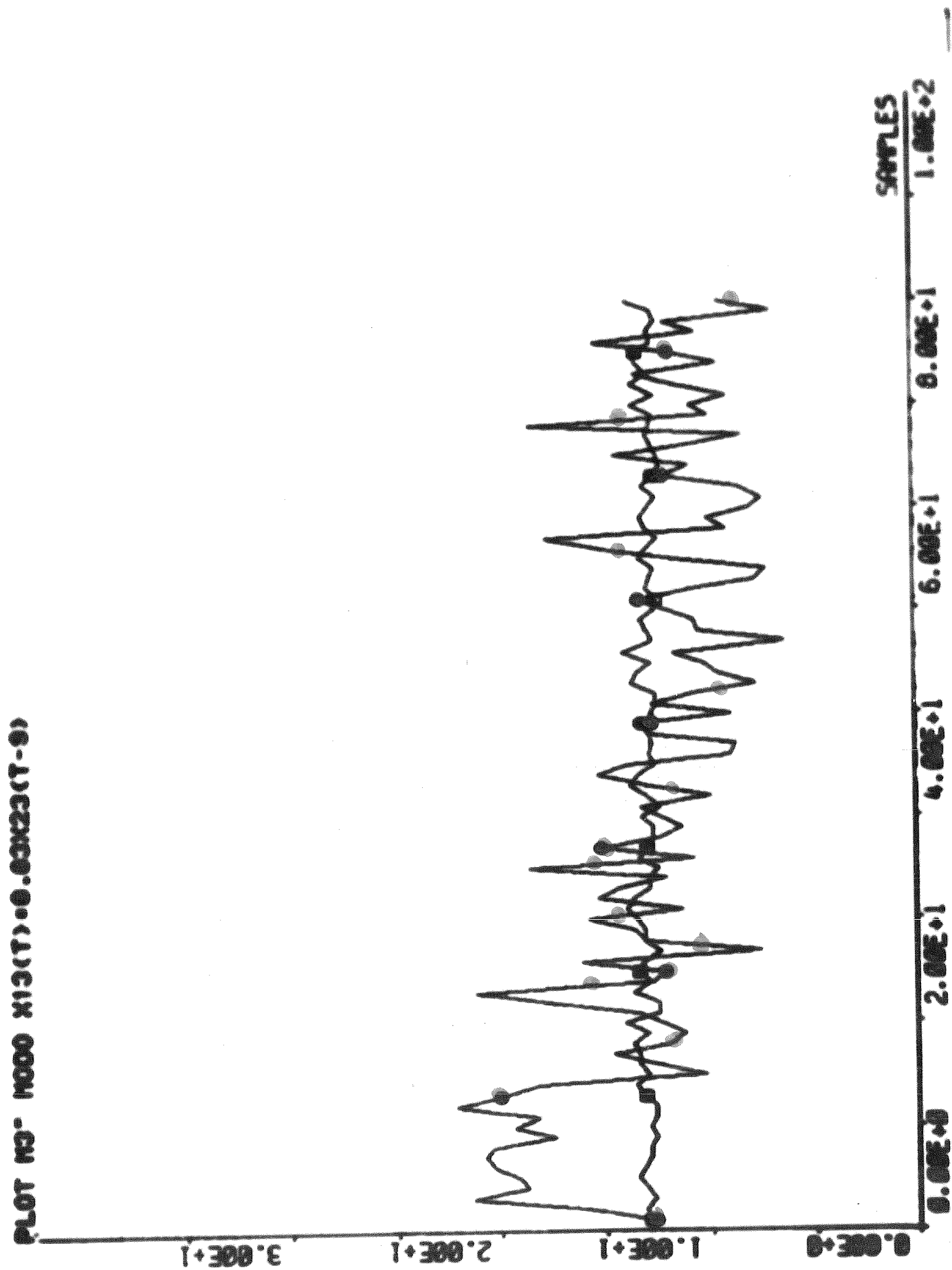


Fig.4.38 Modell output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell } R_A X_{13}(t) = 0.03x_{23}(t-9).$$

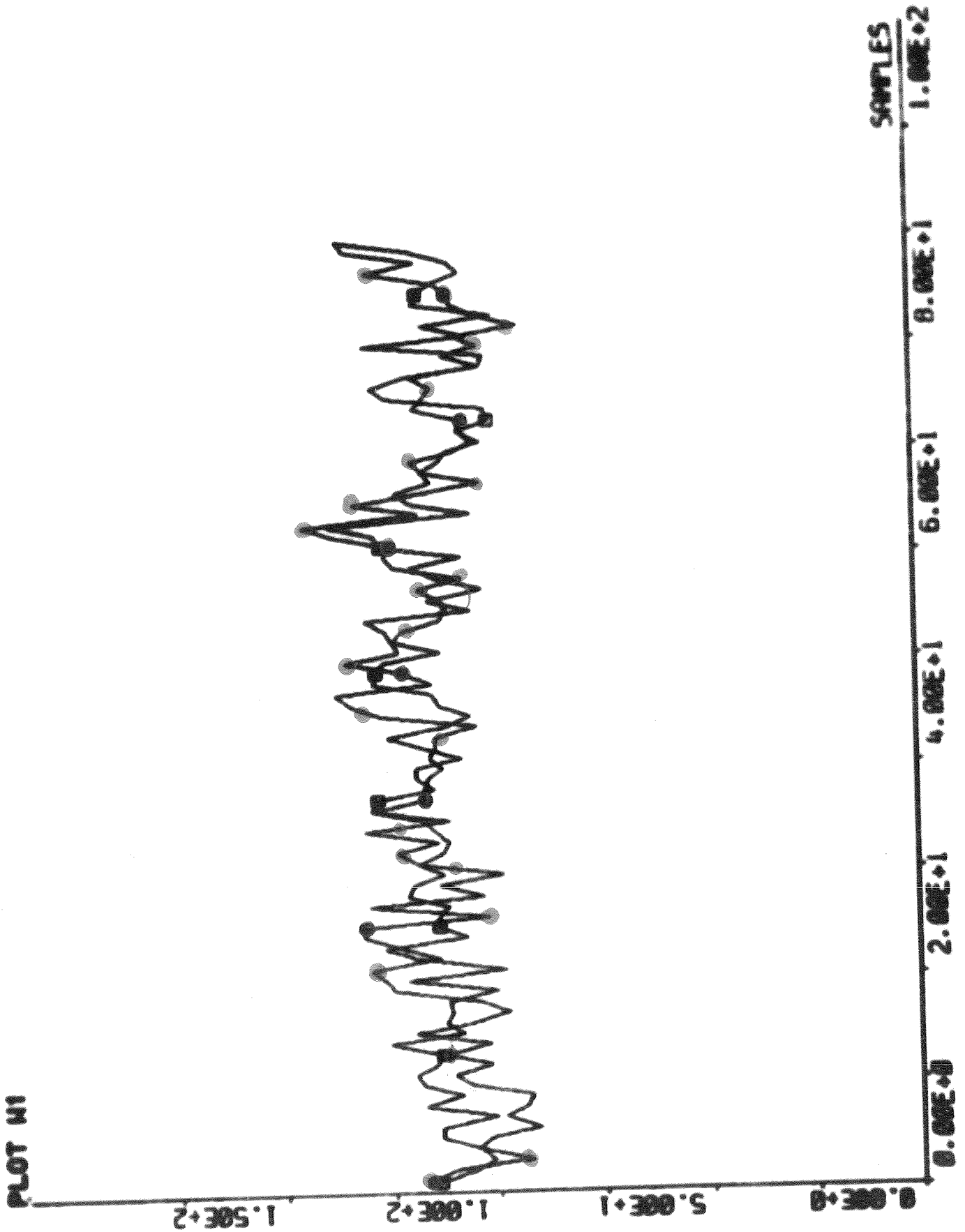


Fig.4.39 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell: $X_{11}(t) = 1.X_{21}(t-9) + 0.17X_{22}(t-9) + 0.76X_{23}(t-9) - 5.8U(t)$

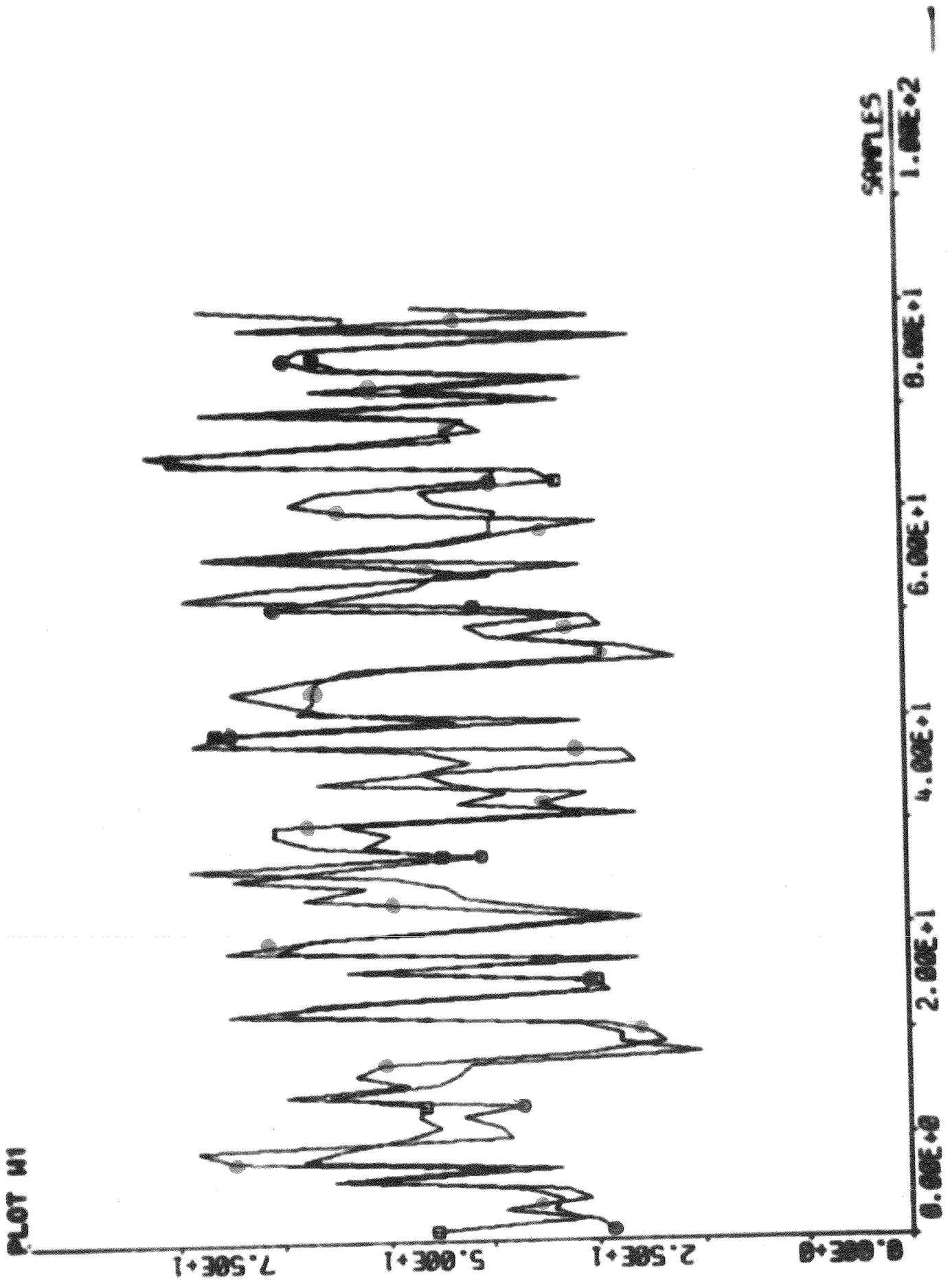


Fig.4.40 Model output samt uppmätt utsignal.
 Modell $X_{12}(t) = 0.87X_{22}(t-9) + 0.36X_{23}(t-9) - 21.8U(t)$.

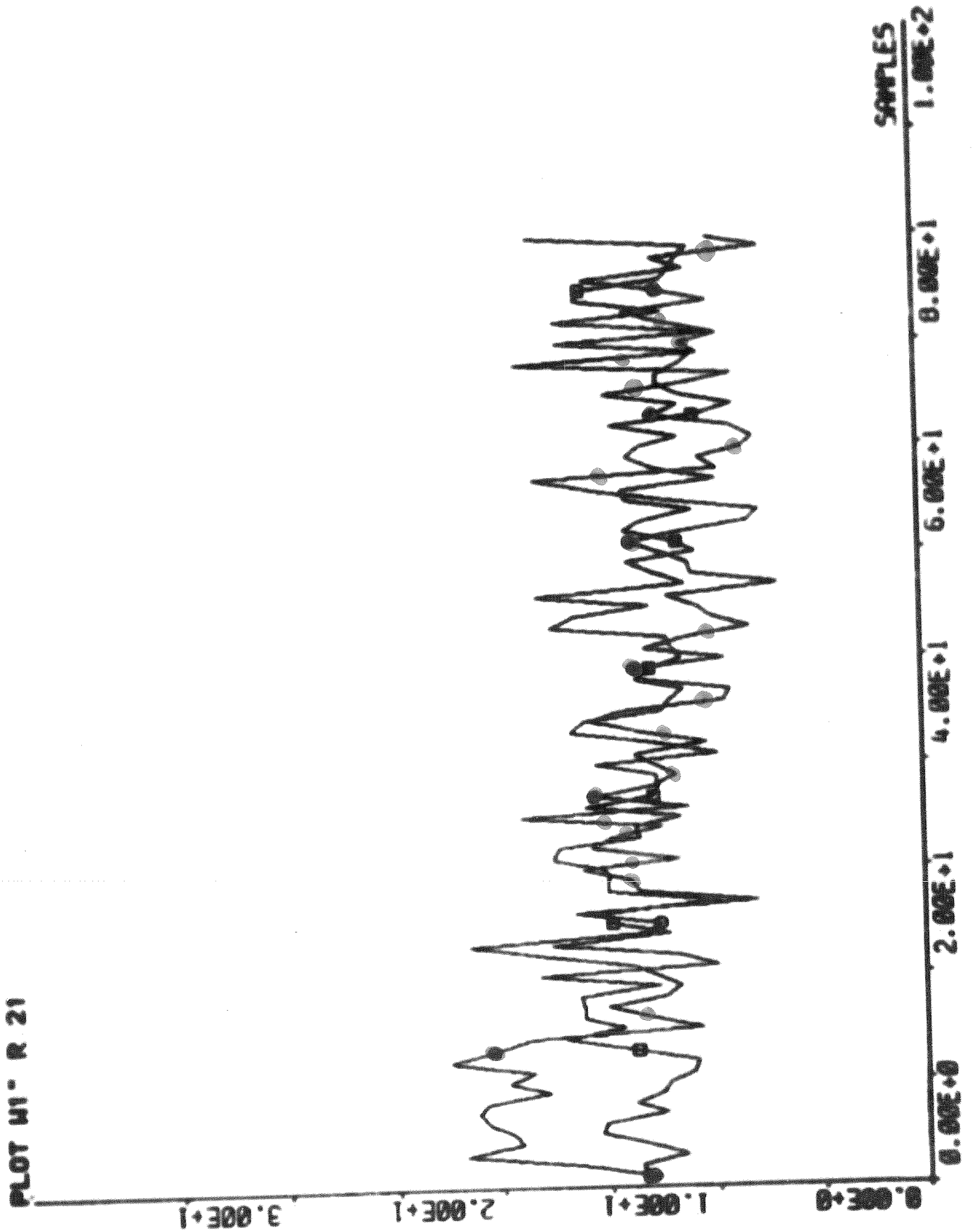


Fig.4.41 Model output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell } X_{13}(t) = 0.15X_{23}(t-9) - 1.45U(t)$$

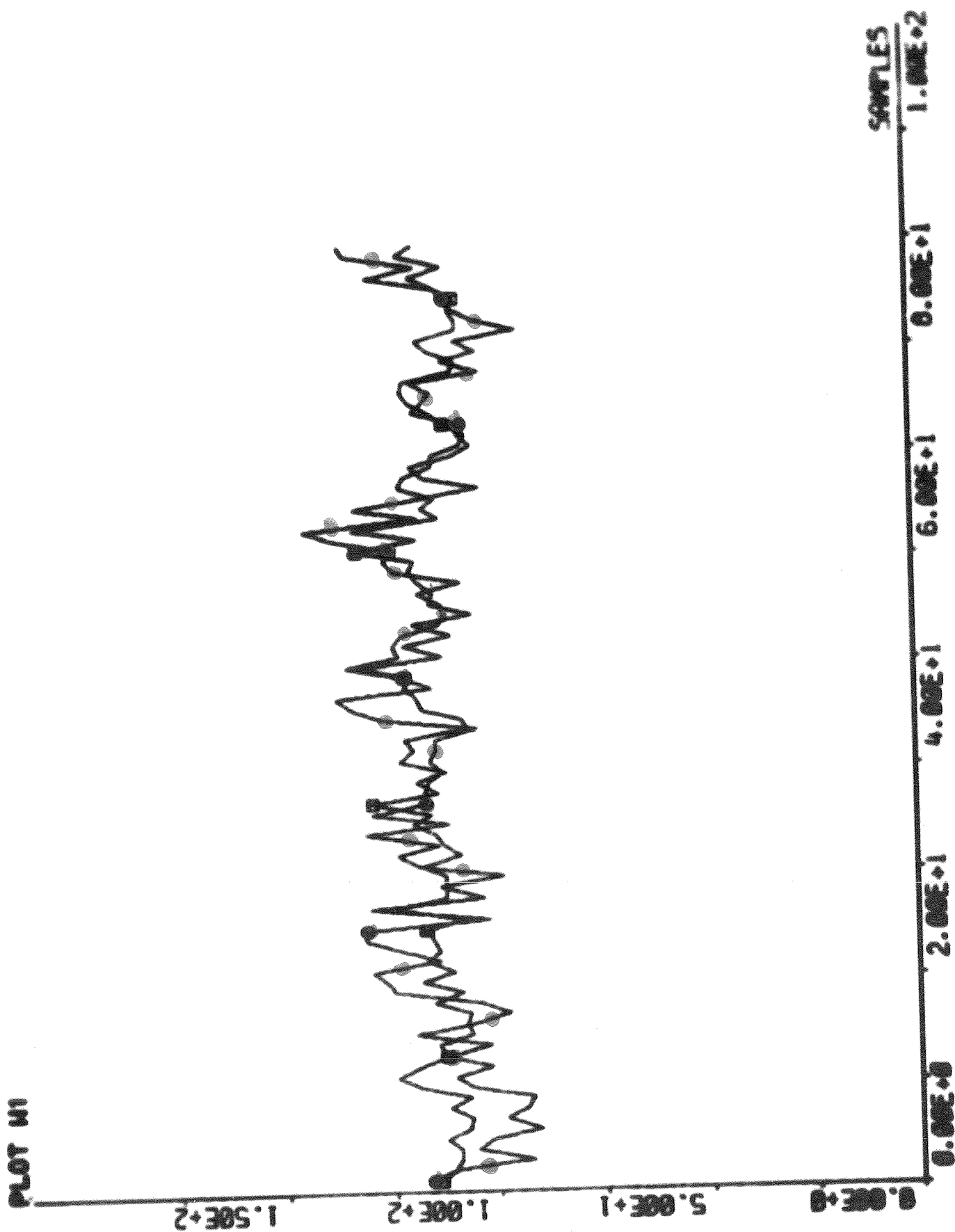


Fig.4.42 Model output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell: } R_A X_{11}(t) = 1.X_{21}(t-9) - 0.10X_{22}(t-9) + 0.34X_{23}(t-9) + 3.83U(t).$$

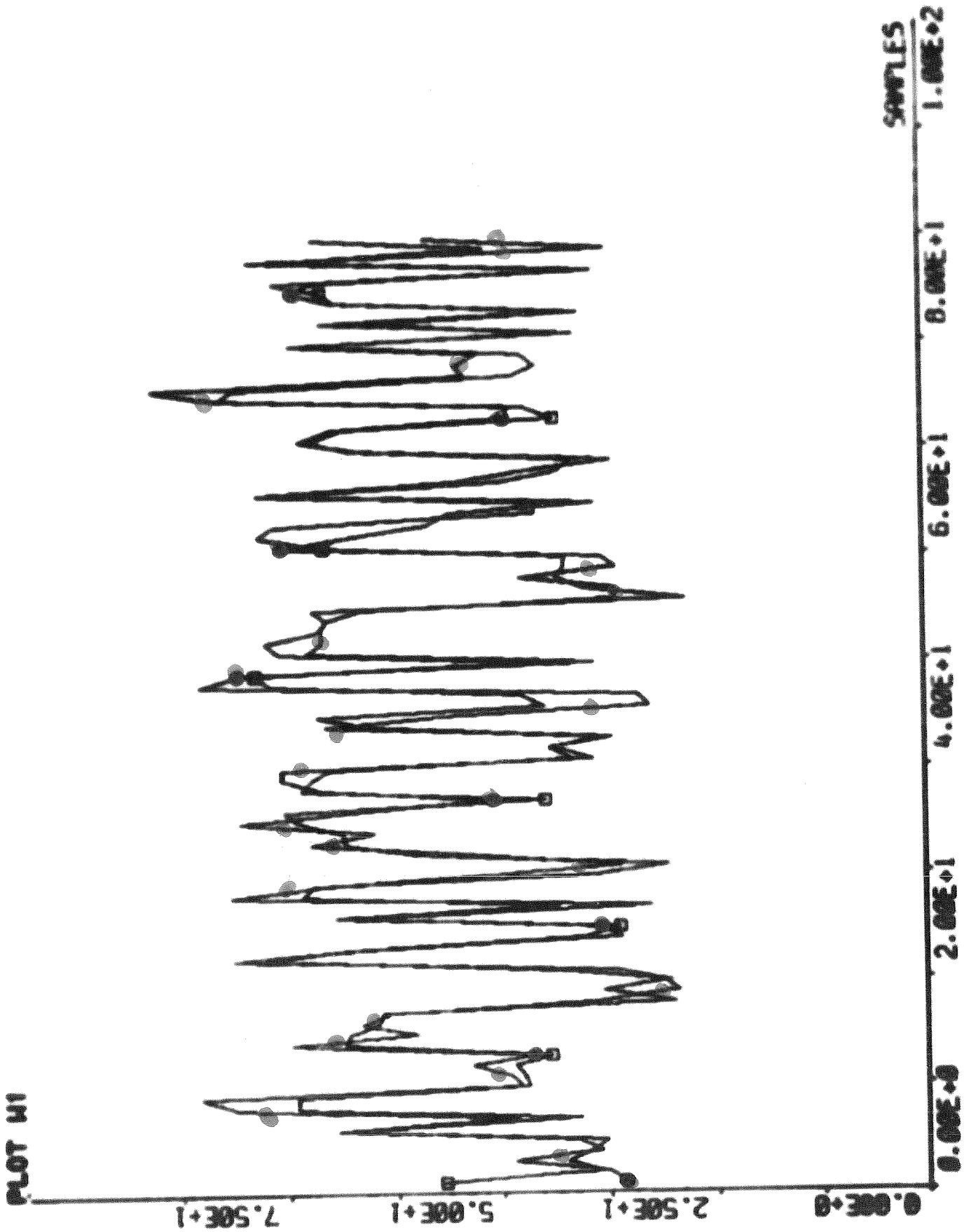


Fig. 4:43 Model output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell: } R_A X_{12}(t) = 0.28X_{22}(t-9) - 0.10X_{23}(t-9) - 30.13 U(t).$$

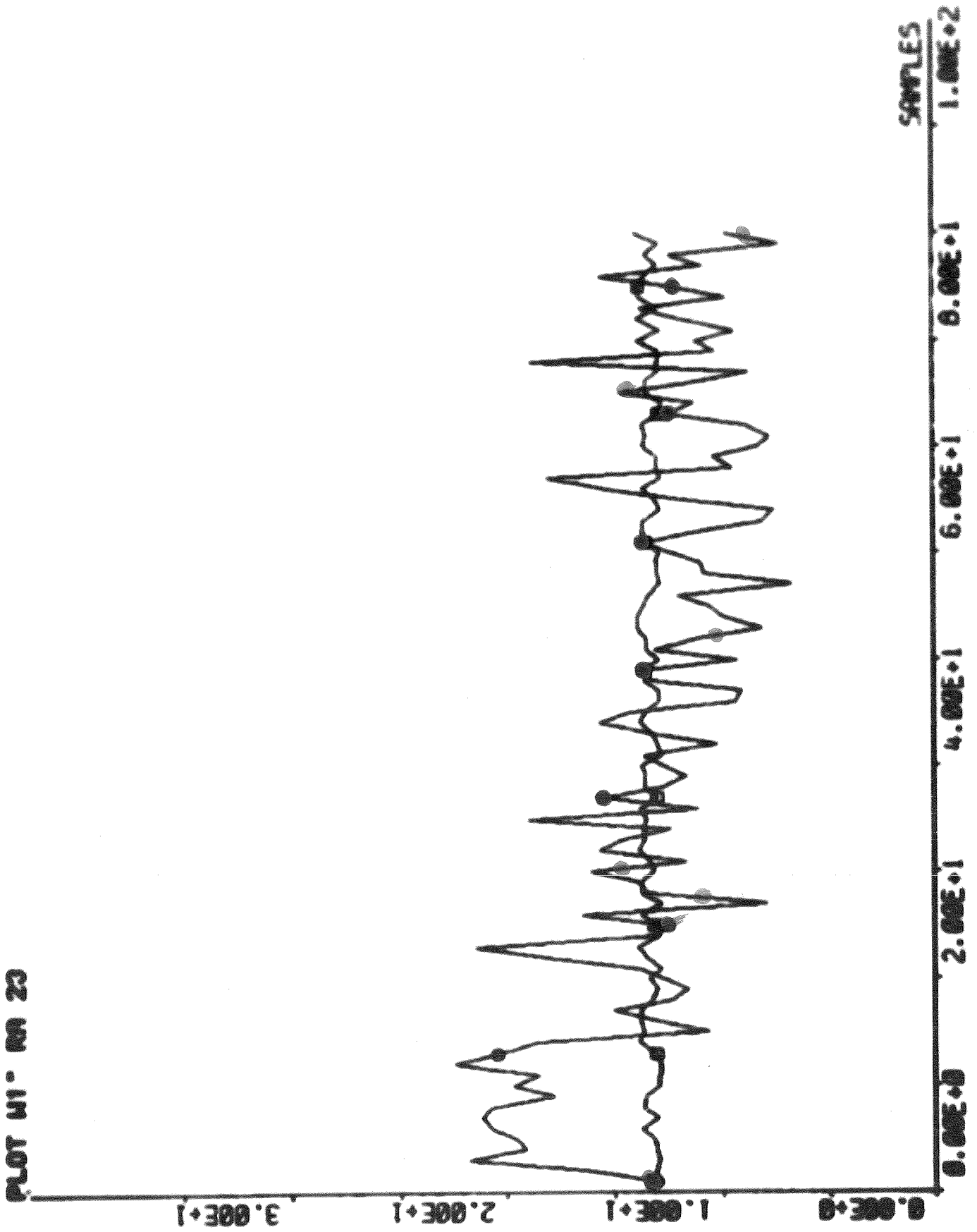


Fig. 4.44 Modell output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell } R_A \quad X_{13}(t) = 0.01X_{23}(t-9) - 0.66U(t).$$

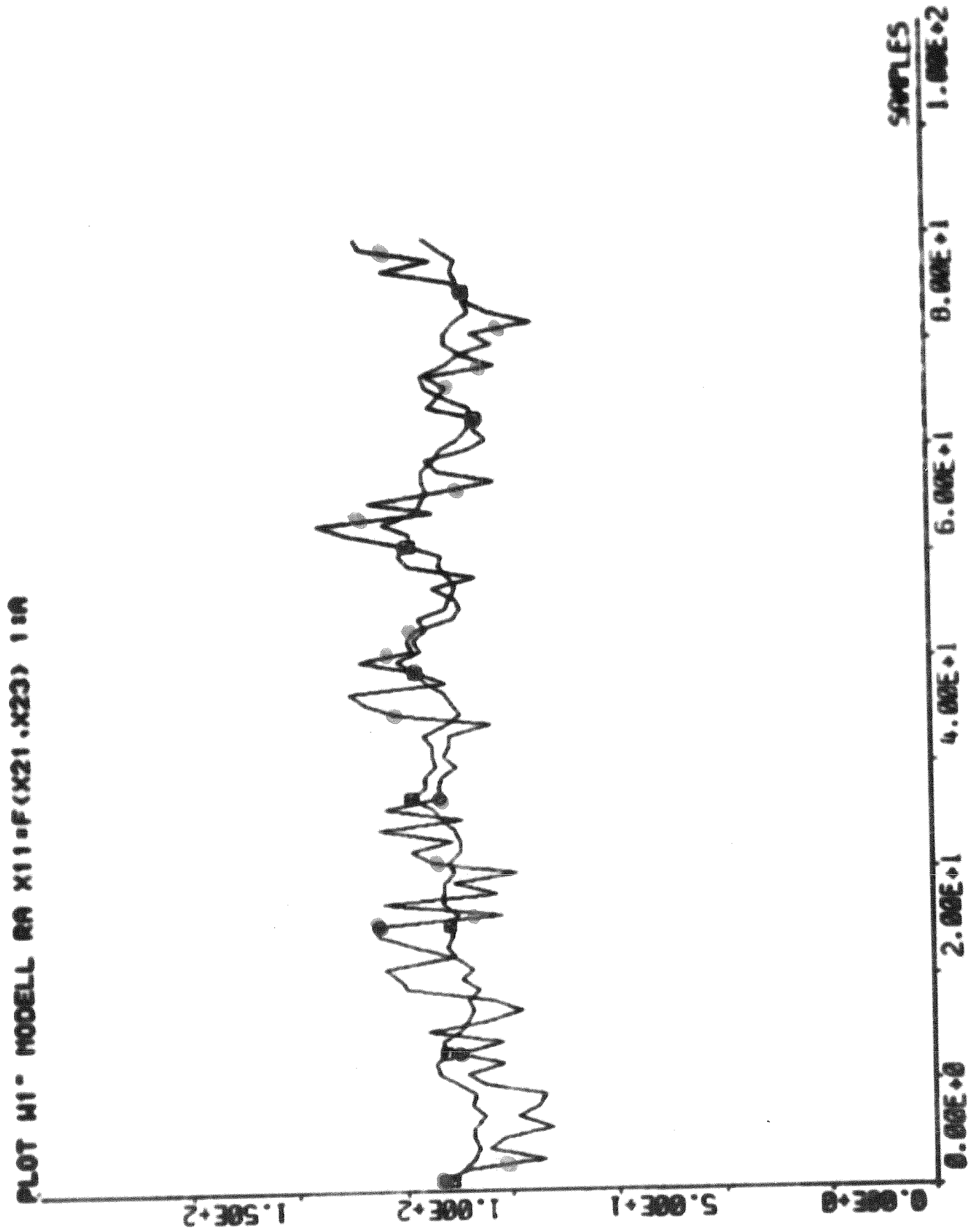


Fig.4.45 Model output samt uppmätt utsignal.

Modell R_A $X_{11} = F(X_{21}, X_{23})$ 1:a ordn.

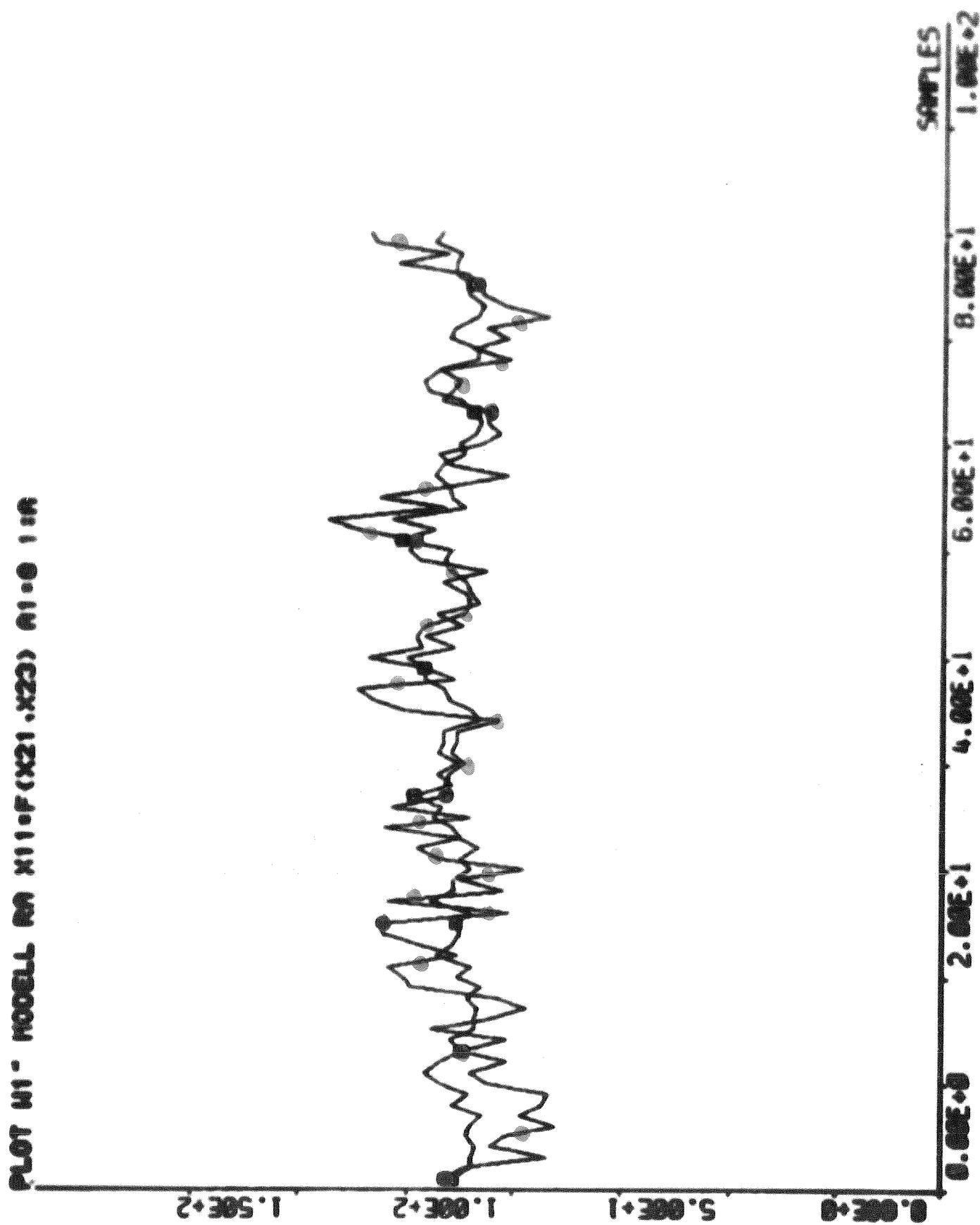


Fig. 4.46 Model output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell } R_A \quad X_{11} = F(X_{21}, X_{23}) \quad a_1 = 0 \quad 1:\text{a ordn.}$$

PLOT S1 ESA(0) - SIMULERING. VERKLIG X12-F(U) M1=0.

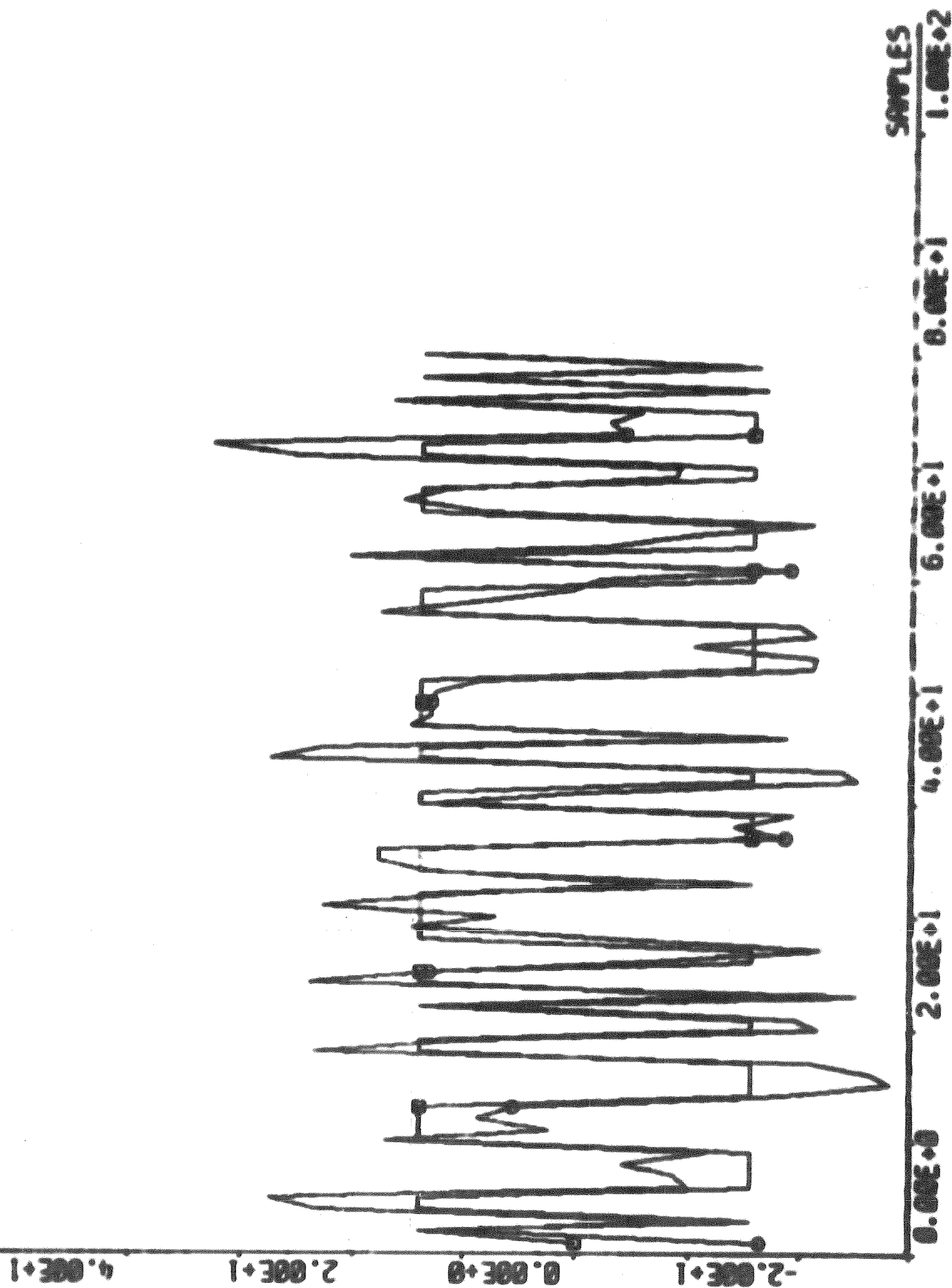


Fig. 4.48 Modell output samt verklig utsignal.
 Modell $x_{12} = F(U)$ $A_1 = 0$ 1:a ordn.

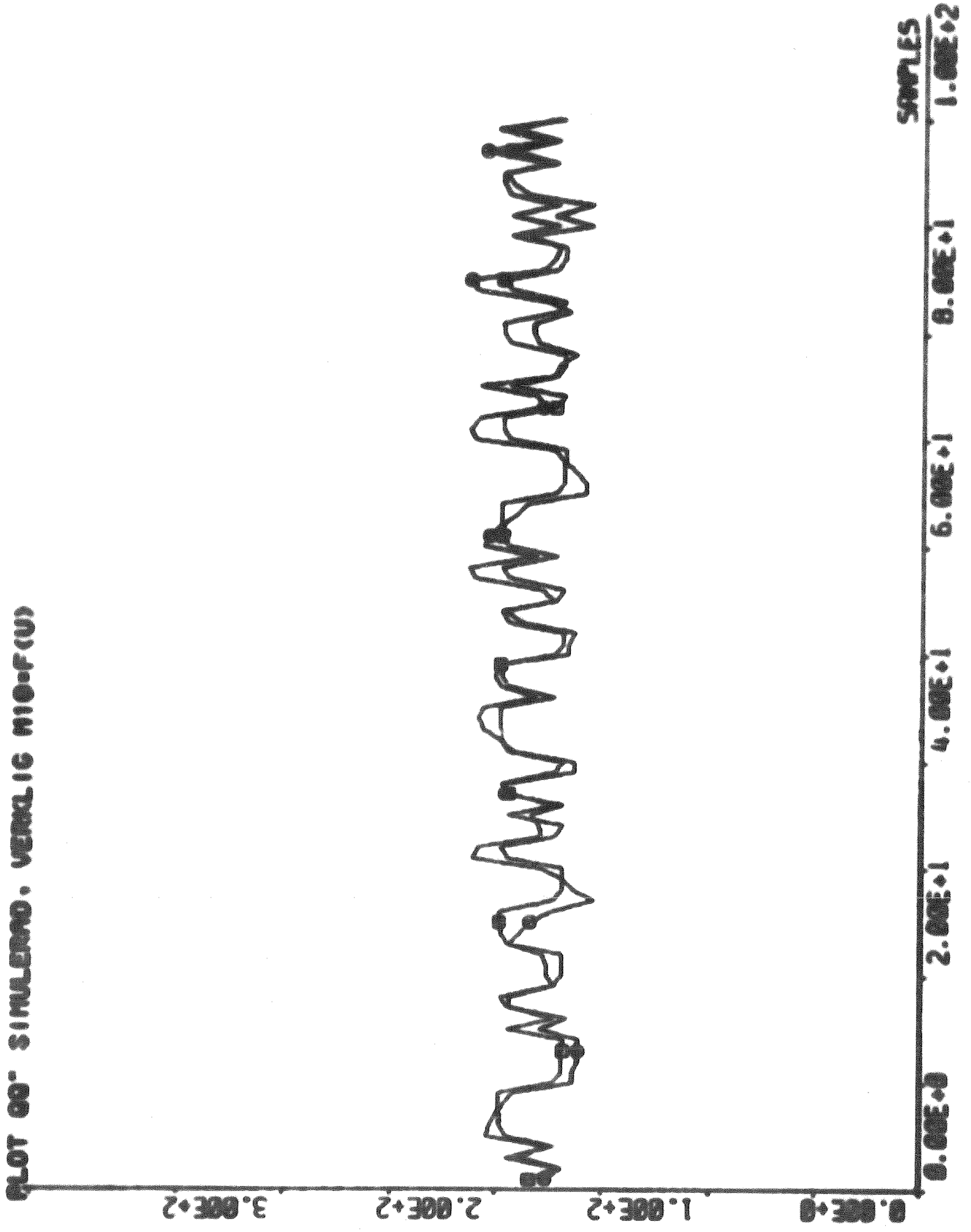


Fig. 4.49 Modell output samt verklig utsignal.
Modell $M_{10} = F(U)$ 1:a ordn.

4.7. MODELLER ÖVER SLUTNA SYSTEMET MED ABSOLUTA MASSFLÖDEN

Modeller över slutna systemet kan erhållas på två sätt. Genom att slå inop modeller över granulatorens och modeller över recirkulationsdelen och eliminera bort kornfraktioner före granulatorens erhåller man en modell över slutna systemet.

Den andra metoden är att direkt ML-uppskatta modeller med insignaler av kornfraktioner vid mätställe B och som utsignal använda kornfraktioner vid samma mätställe varvet efter.

Modellerna kallas S_A med rekonstruktion A, S_B och rekonstruktion B.

Transportfördröjningen för en loop har vi antagit till B samplingsintervaller eller 26 minuter.

S_A

x₂₁ underkorn efter gran.
 SUM = 2337.09
 MEAN = 29.2136
 VARIANCE = 85.8949
 ST.DEV. = 9.26795
 MINIMUM = 11.3093
 MAXIMUM = 52.6375

x₂₁ underkorn efter gran.
 SUM = 2339.66
 MEAN = 29.2458
 VARIANCE = 89.3131
 ST.DEV. = 9.45056
 MINIMUM = 11.3093
 MAXIMUM = 52.6375

x₂₂ produktkorn efter gran.

SUM = 8129.13
 MEAN = 101.614
 VARIANCE = 212.095
 ST.DEV. = 14.5635
 MINIMUM = 65.8450
 MAXIMUM = 132.268

x₂₂ produktkorn efter gran.

SUM = 8053.85
 MEAN = 100.673
 VARIANCE = 224.708
 ST.DEV. = 14.9903
 MINIMUM = 65.8450
 MAXIMUM = 132.268

x₂₃ produktkorn efter gran.

SUM = 6716.28
 MEAN = 83.9535
 VARIANCE = 197.971
 ST.DEV. = 14.0702
 MINIMUM = 58.6918
 MAXIMUM = 120.913

x₂₃ produktkorn efter gran.

SUM = 6747.74
 MEAN = 84.3468
 VARIANCE = 228.638
 ST.DEV. = 15.1208
 MINIMUM = 58.6918
 MAXIMUM = 120.913

M₁₀ massflödet av recirkulerat gods

SUM = 14781.2
 MEAN = 184.766
 VARIANCE = 279.926
 ST.DEV. = 16.7310
 MINIMUM = 155.000
 MAXIMUM = 215.000

Statistiska data för mätvärden i S_A
 baserad på 80 mätvärden.

Insignaler i vänstra ledet och
 utsignaler i högra.

T₁₀ temperatur f.gran.

SUM = 5030.20
 MEAN = 62.8775
 VARIANCE = 2.91614
 ST.DEV. = 1.70767
 MINIMUM = 58.5000
 MAXIMUM = 66.0000

U läge på produktutmatningsfickan nr 1, störsignal.

SUM = 41.0000
 MEAN = 0.512500
 VARIANCE = 0.249844
 ST.DEV. = 0.499844
 MINIMUM = 0.000000
 MAXIMUM = 1.00000

S_B

x₂₁ underkorn efter gran.
 SUM = 2322.82
 MEAN = 29.0353
 VARIANCE = 75.9009
 ST.DEV. = 8.71211
 MINIMUM = 12.2629
 MAXIMUM = 53.1292

x₂₁ underkorn efter gran.
 SUM = 2334.04
 MEAN = 29.1755
 VARIANCE = 80.4448
 ST.DEV. = 8.96910
 MINIMUM = 12.2629
 MAXIMUM = 53.1292

x₂₂ produktkorn efter gran.
 SUM = 8100.31
 MEAN = 101.254
 VARIANCE = 150.057
 ST.DEV. = 12.2498
 MINIMUM = 67.7150
 MAXIMUM = 124.284

x₂₂ produktkorn efter gran.
 SUM = 8049.07
 MEAN = 100.613
 VARIANCE = 152.775
 ST.DEV. = 12.3602
 MINIMUM = 67.7150
 MAXIMUM = 124.284

x₂₃ produktkorn efter gran.
 SUM = 6729.17
 MEAN = 84.1146
 VARIANCE = 232.853
 ST.DEV. = 15.2595
 MINIMUM = 54.1412
 MAXIMUM = 129.951

x₂₃ produktkorn efter gran.
 SUM = 6784.35
 MEAN = 84.8044
 VARIANCE = 263.605
 ST.DEV. = 16.2359
 MINIMUM = 54.1412

M₁₀ massflödet av recirkulerat gods

SUM = 14781.2
 MEAN = 184.766
 VARIANCE = 279.926
 ST.DEV. = 16.7310
 MINIMUM = 155.000
 MAXIMUM = 215.000

Statistiska data för mätvärden i S_B
 baserad på 80 mätvärden.

Insignaler i vänstra ledet och
 utsignaler i högra.

T₁₀ temperatur f. gran.

SUM = 5030.20
 MEAN = 62.8775
 VARIANCE = 2.91614
 ST.DEV. = 1.70767
 MINIMUM = 58.5000
 MAXIMUM = 66.0000

U läge på produktutmatningsfickan nr 1, störsignal

SUM = 41.0000
 MEAN = 0.512500
 VARIANCE = 0.249844
 ST.DEV. = 0.499844
 MINIMUM = 0.000000
 MAXIMUM = 1.000000

Några av de bättre modellerna från granulatormodellerna G_A och recirkulationsdelen R_A har parats ihop för att jämföras med modeller som uppskattas direkt över slutna systemet.

Modellerna som parats inop är

$$X_{21} = F(X_{11}, U) \quad - \quad X_{11} = F(X_{21}, X_{23})$$

$$X_{22} = F(X_{12}, U) \quad - \quad X_{12} = F(X_{22}, U)$$

$$X_{23} = F(X_{11}, U) \quad - \quad X_{11} = F(X_{21}, X_{23})$$

vilket har resulterat i följande modeller

$$X_{21}(t) = 0.44X_{21}(t-1) + 0.17X_{21}(t-13) + 0.06X_{23}(t-13) - 2.79U(t-4) + \text{störn}$$

$$X_{22}(t) = 0.61X_{22}(t-1) + 0.06X_{22}(t-13) - 19.35U(t-4) + \text{störn.}$$

$$X_{23}(t) = -0.29X_{23}(t-1) - 0.10X_{23}(t-13) - 0.31X_{21}(t-13) + 10.39U(t-4) + \text{störn.}$$

Motsvarande modeller som uppskattats direkt har erhållit följande parametrar:

$$X_{21}(t) = 0.27X_{21}(t-1) + 0.50X_{21}(t-13) + 0.09X_{23}(t-13) - 5.04U(t-4)$$

$$X_{22}(t) = 0.58X_{22}(t-1) + 0.23X_{22}(t-13) - 15.34U(t-4) + \text{störn.}$$

$$X_{23} = -0.46X_{23}(t-1) + 0.01X_{23}(t-13) - 0.51X_{21}(t-13) + 16.32U(t-4) + \text{störn}$$

På figur 4.50 till figur 4.55 är model output samt uppmätt utsignal plottade för modellerna ovan.

Den sammanslagna underkornmodellens utsignal följer uppmätt utsignal betydligt sämre än den direkt uppskattade modellens utsignal se figur 4.50 och 4.53. Detta kan bero på att de två modellerna över granulatorn och recirkulationen inte kan ta hänsyn till att vågtoppar och vågdalar återkommer efter en loop.

Båda produktkorns-modellerna följer emellertid uppmätt utsignal mycket väl, se figur 4.51 och 4.54. Störsignalen v har en dominerande inverkan på dessa modeller.

Av de två överkornsmodellerna tycks den model output som är uppskattad genom S_A -modellen följa uppmätt utsignal bäst. Intressant är att se att tecknet före störsignalen är positivt.

Om produktutmatningsluckan öppnas ($u = 1$) och mängd recirkulerat gods minskas så ökas mängd överkorn ut ur granulatorens. Detta bör tyda på att om liten mängd granuler recirkuleras till granulatorens så ökas fukthalten i denna och recirkulerat gods och råvaror klumpas ihop till överkorn. Jämför modeller över granulatorer som visar samma tendens.

I tabell 4.10 finns underkornsmodellerna för slutna systemet redovisat.

Med X_{21} underkorn som insignal och X_{21} som utsignal varvet efter, erhöles bra parametrar med undantag av c -parametern som blev osäker. Förlustfunktionen fick värdet 2290. Något högre blev den med användande av rekonstruktion B i S_B modellen:

Med X_{21} , X_{23} och U som insignaler blev termen framför $X_{23}(t-13)$ osäker och C -parametern blev också osäker. Vid S_B -modellen blev a -parametern också osäker. Model output är plottad för S_A modellen i 4.53 och för S_B modellen i fig. 4.58. Model output följer uppmätt utsignal väl men den har svårt att förklara de korta svängningarna.

Parametrarna förändrades inte mycket då X_{23} plockades bort och förlustfunktionen steg endast från 2014 till 2040. C -parametern var fortfarande osäker. Model output förändrades inte nämnvärt. Jämför fig. 4.56 och 4.53.

S_B modellen med X_{23} som insignal medförde bra parametrar med en förlustfunktion på 2485. Detta är något högre än för modellen med insignal X_{11} . Model output i fig. 4.57 följer endast uppmätta utsignalens långa svängningar.

Tabell 4.11 visar resultat från produktkornsmodeller och överkornsmodeller. Betrakta först produktkornsmodellerna.

S_A modellen med X_{21} och X_{22} som insignaler medförde osäker term framför $X_{23}(t-13)$ och osäker c-parameter. Vid modell med insignalerna X_{22} och U sjönk förlustfunktionen i förhållande till föregående modell från 4814 till 2887. Model output följer uppmätt utsignal mycket väl, fig. 4.59.

S_B modellerna med samma insignaler visade inte samma kraftiga sänkning av förlustfunktionen. Parametrarna var bra i båda modellerna. Model output är plottade för de två modellerna i figur 4.60 och 4.61.

Överkornsmodellen med insignalerna X_{23} och U gav bra parametrar. Model output i fig. 4.62 visar att simulerade utsignalen följer uppmätt utsignal rätt så väl. Bättre är anpassningen i S_B modellen, se fig. 4.63, trots att a, b_{11} och c-parametrarna är osäkra. Försök gjordes också med att sätta a-parametern till noll, alltså en modell med ren förstärkning. Denna modell höjde endast förlustfunktionen obetydligt.

Modeller från slutna systemet har resulterat i förhållandevis goda modellenanpassningar. Störnsignalen har emellertid varit dominerande i många modeller.

Sammanfattningsvis kan följande sägas om slutna systemets modeller. Av underkornsmodellerna är antingen $X_{21} = f(X_{21}, X_{23}, U)$ eller $X_{21} = f(X_{21}, U)$ kandidater till bästa modellerna. På grund av den mindre komplexiteten i modellen rekommenderar vi emellertid den senare (se tabell 4.10) eftersom skillnaden i förlustfunktionerna mellan modellerna är obetydlig. Den rekommenderade modellen blir således:

$$X_{21}(t+1) = 0.290X_{21}(t) + 0.399X_{21}(t-13) - 5.061 U(t-4) + \\ + 7.23(e(t+1) - 0.121e(t))$$

Den rekommenderade produktkornsmodellen blir (se tabell 4.11)

$$X_{22}(t+1) = 0.576X_{22}(t) + 0.235X_{12}(t-13) - 15.33U(t-4) + \\ + 0.60(e(t+1) - 0.220e(t))$$

Den överkornsmodell som kan rekommenderas ut ur tabell 4.11 är

$$X_{23}(t+1) = -0.462X_{22}(t) + 0.183X_{23}(t-13) + 15.96U(t-4) + 12.17(e(t+1) + \\ + 0.529e(t))$$

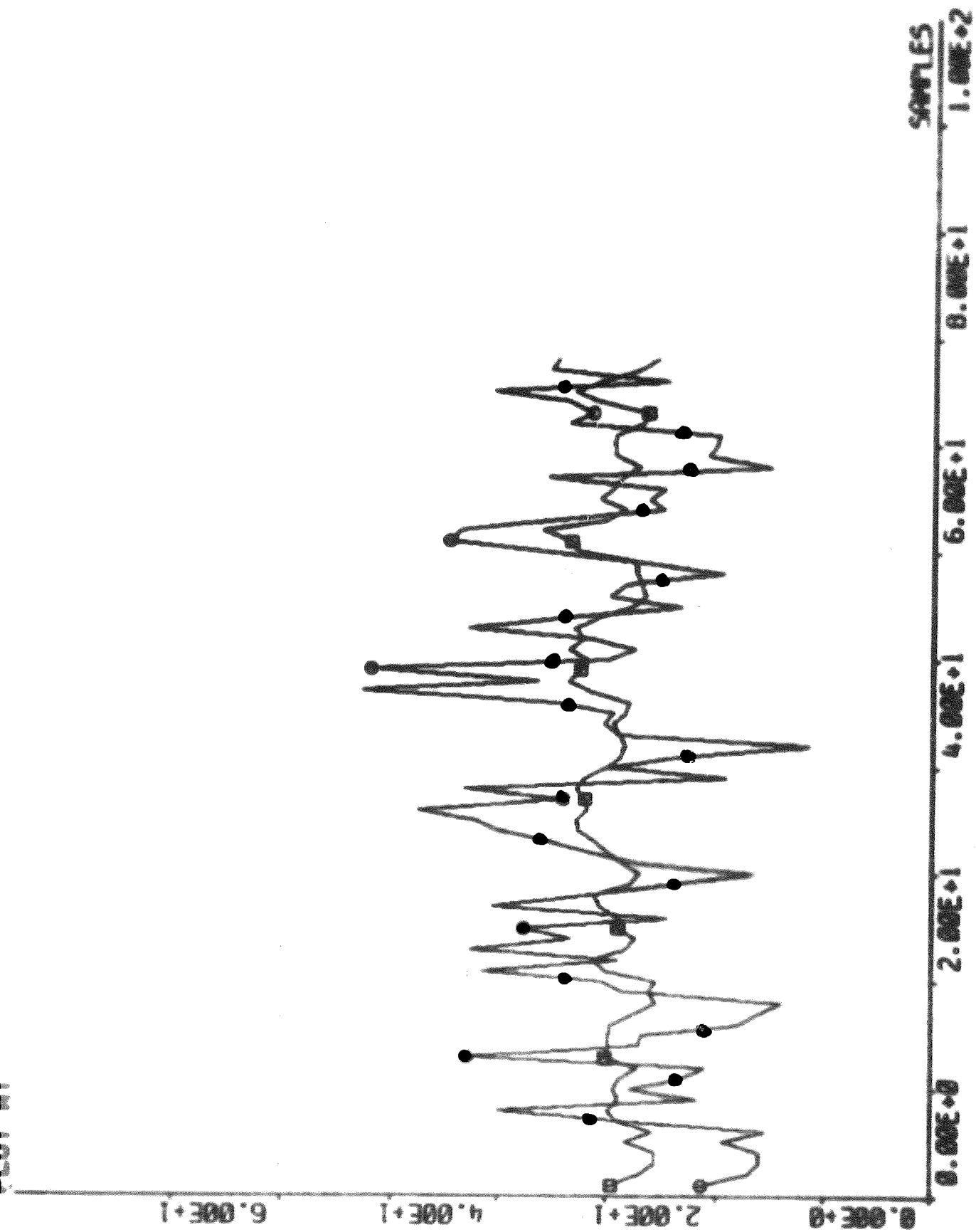


Fig.4.50 Model output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell } X_{21}(t) = 0.44X_{21}(t-1) + 0.17X_{21}(t-13) + 0.06X_{22}(t-13) - 2.79 U(t-4)$$

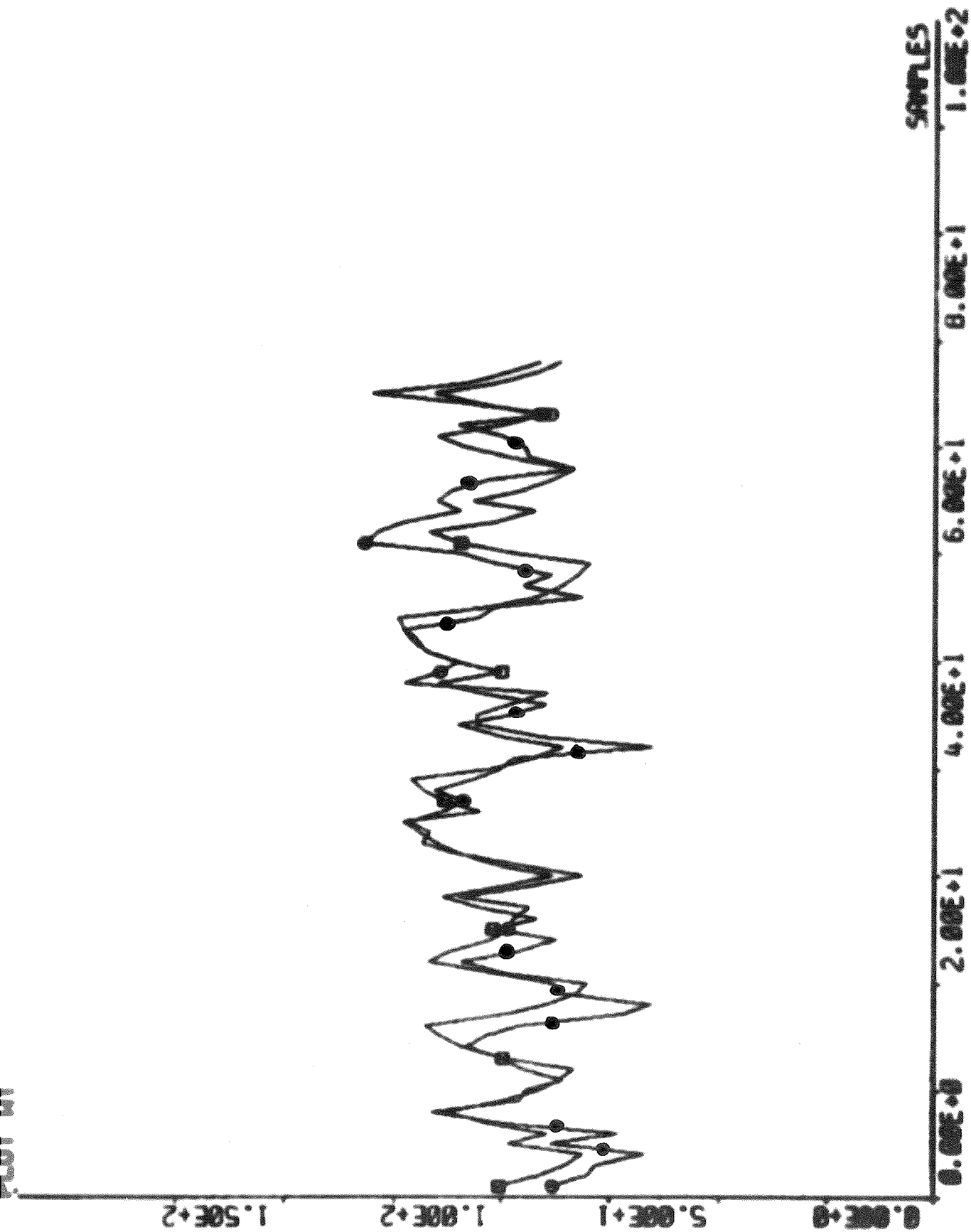


Fig.4.51 Model output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell } X_{22}(t) = 0.61X_{22}(t-1) + 0.06X_{22}(t-13) - 19.35U(t-4)$$

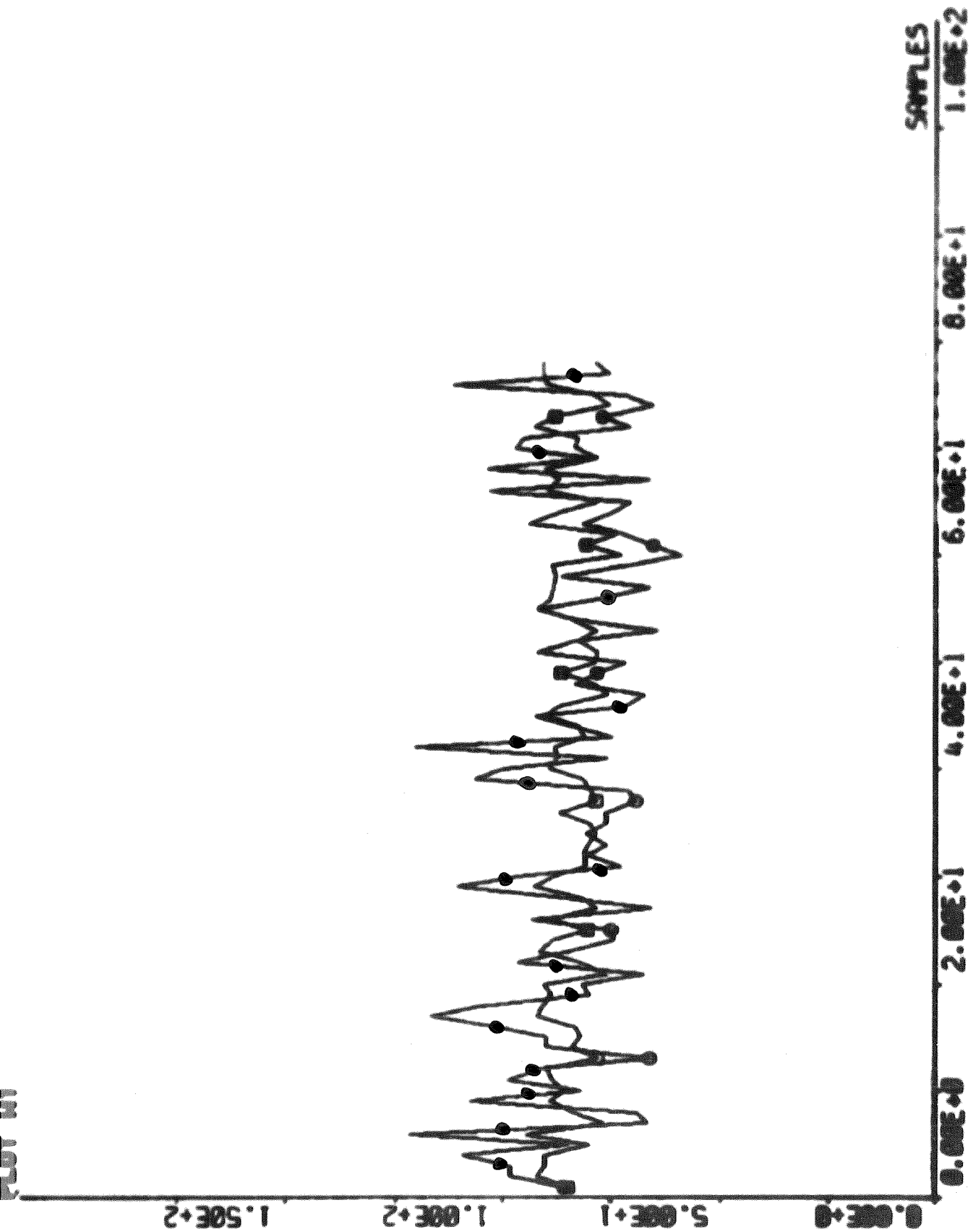


Fig.4.52 Model output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell } X_{23}(t) = -0.29X_{23}(t-1) - 0.10X_{23}(t-13) - 0.31X_{21}(t-13) + 10.39U(t-4)$$

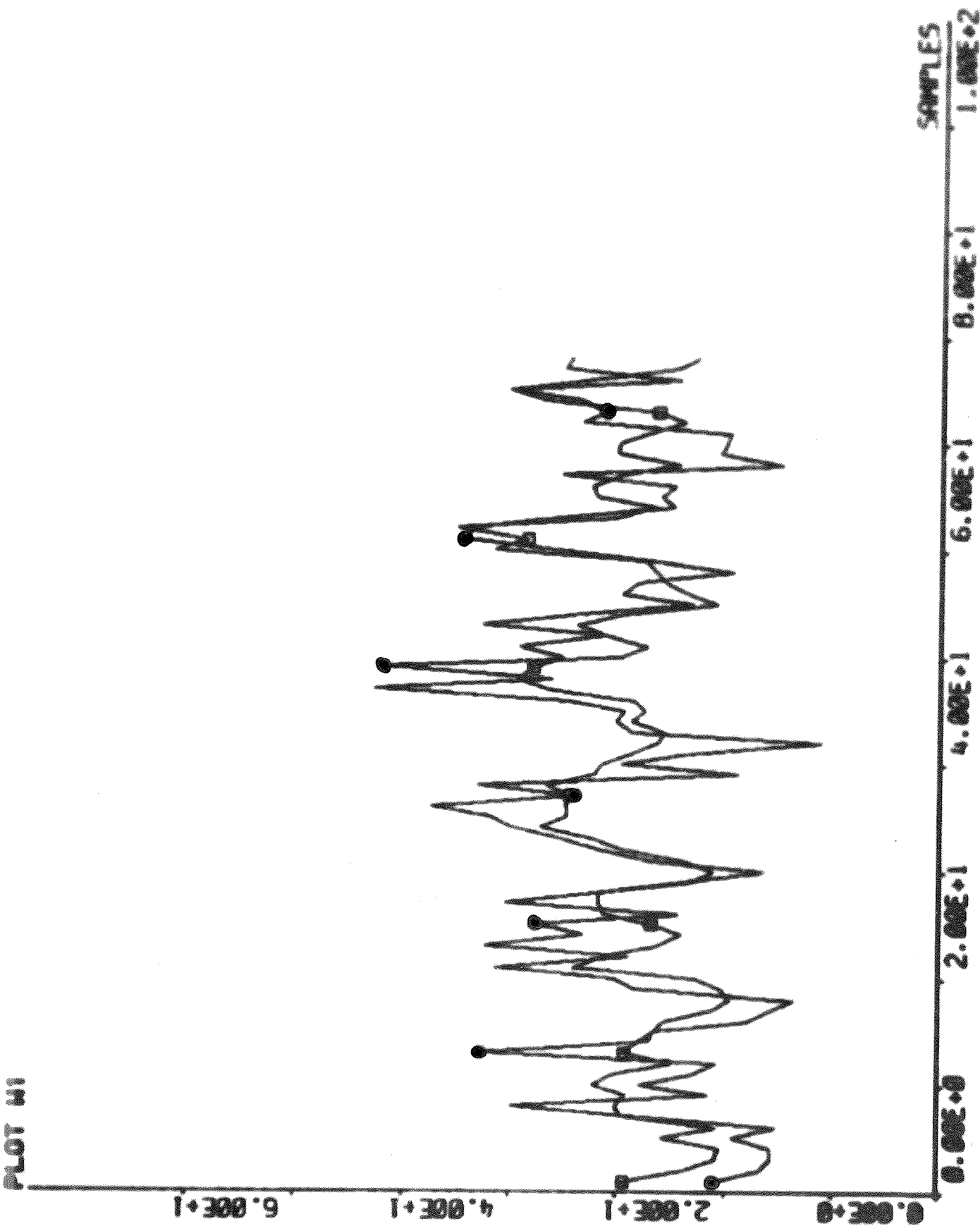


Fig.4.53 Model output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell S } X_{21}(t) = 0.27X_{21}(t-1) + 0.50X_{21}(t-13) + 0.09X_{23}^A(t-13) - 5.04U(t-4)$$

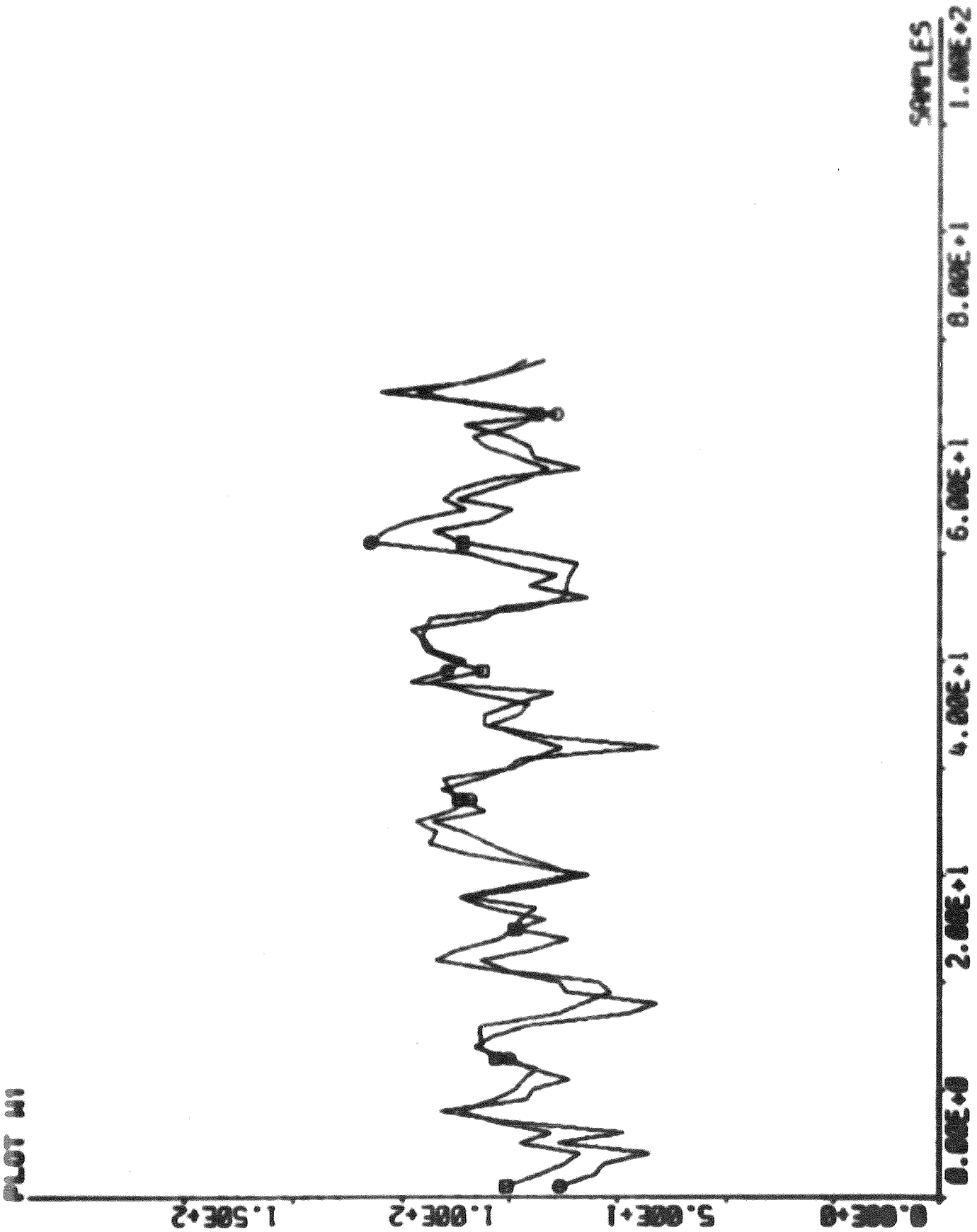
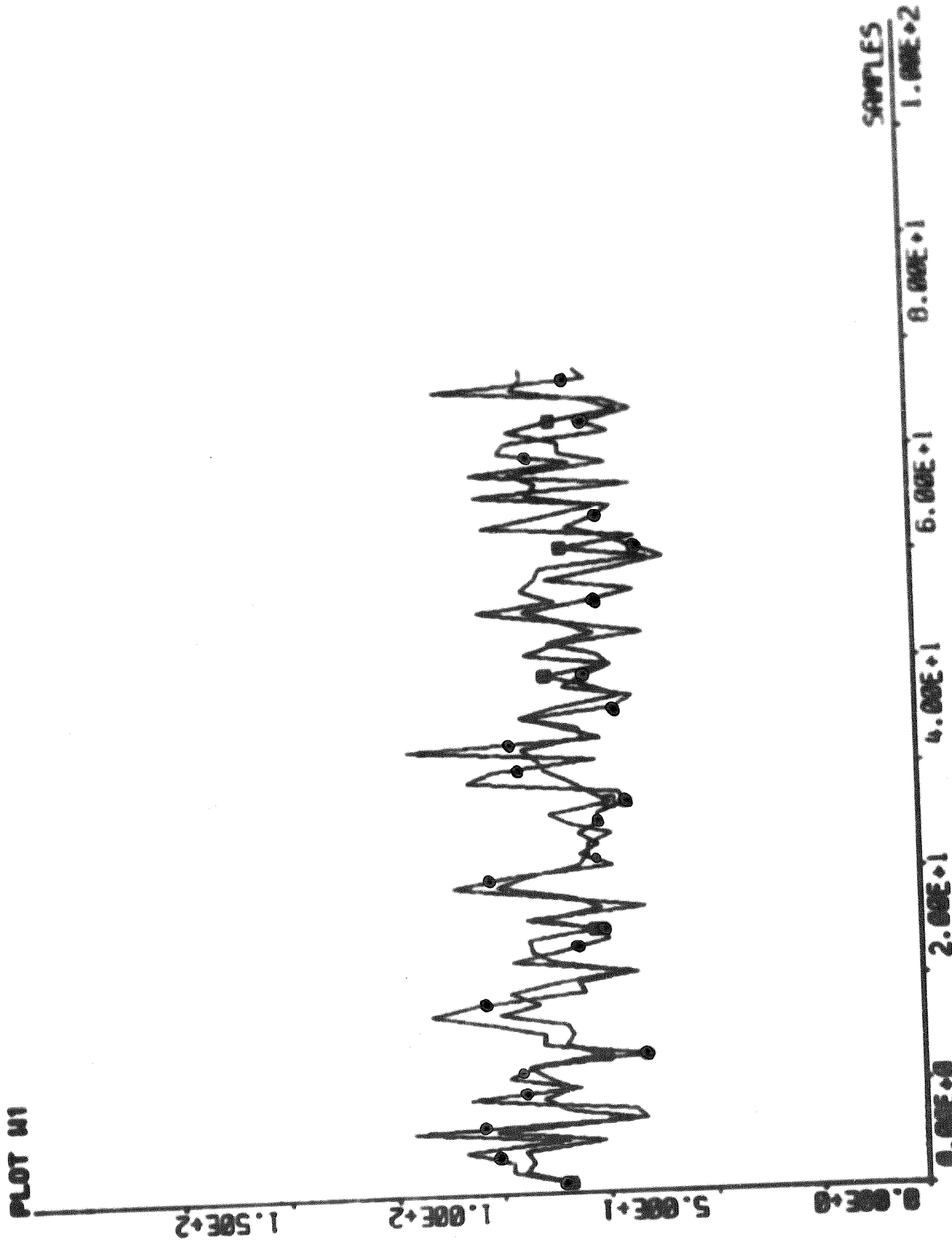


Fig.4.54 Modell output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell } S_A X_{22}(t) - 0.58X_{22}(t-1) + 0.23X_{22}(t-13) - 15.34U(t-4)$$



Model output samt uppmätt utsignal.

$$\text{Modell } S_A \quad X_{23}(t) = -0.46X_{23}(t-1) + 0.01X_{23}(t-13) - \\ -0.51X_{21}(t-13) + 16.32U(t-4)$$

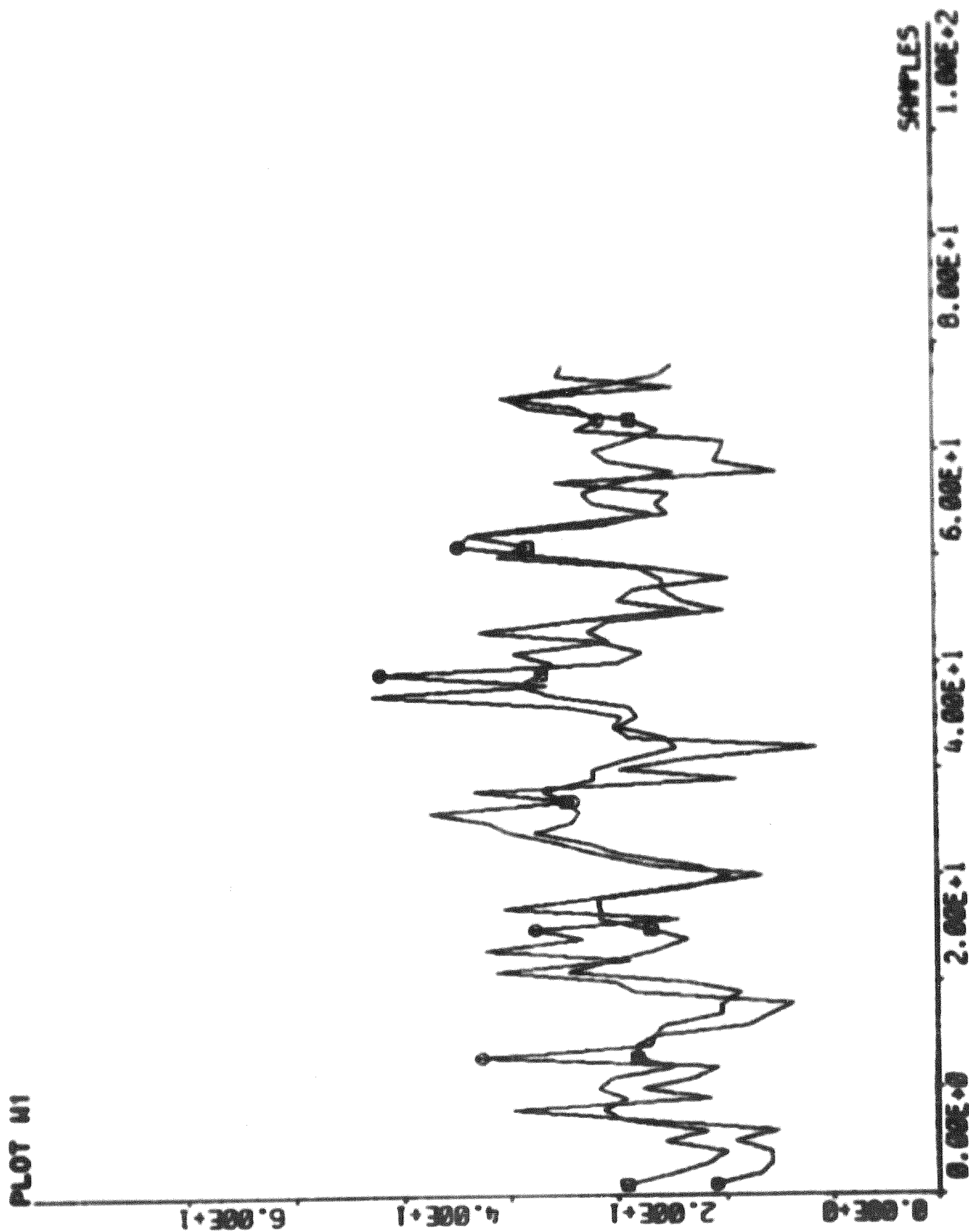


Fig. 4.56 Model output -samt uppmätt utsignal.

Modell S_A $X_{21} = F(X_{21}, U)$ 1:a ordn.

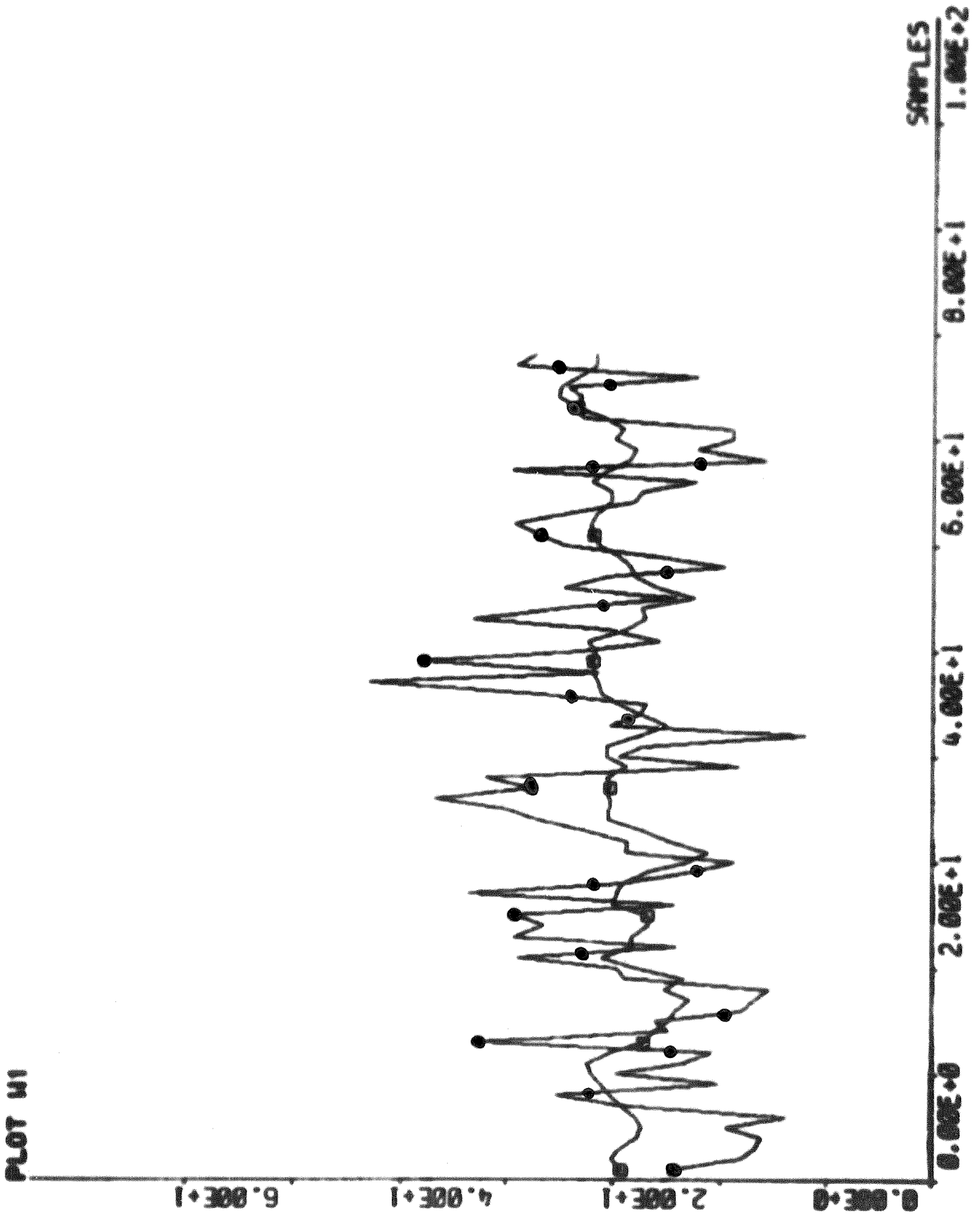


Fig.4.57 Model output samt uppmätt utsignal.

Modell $S_B X_{21} = F(X_{23})$ 1:a ordn.

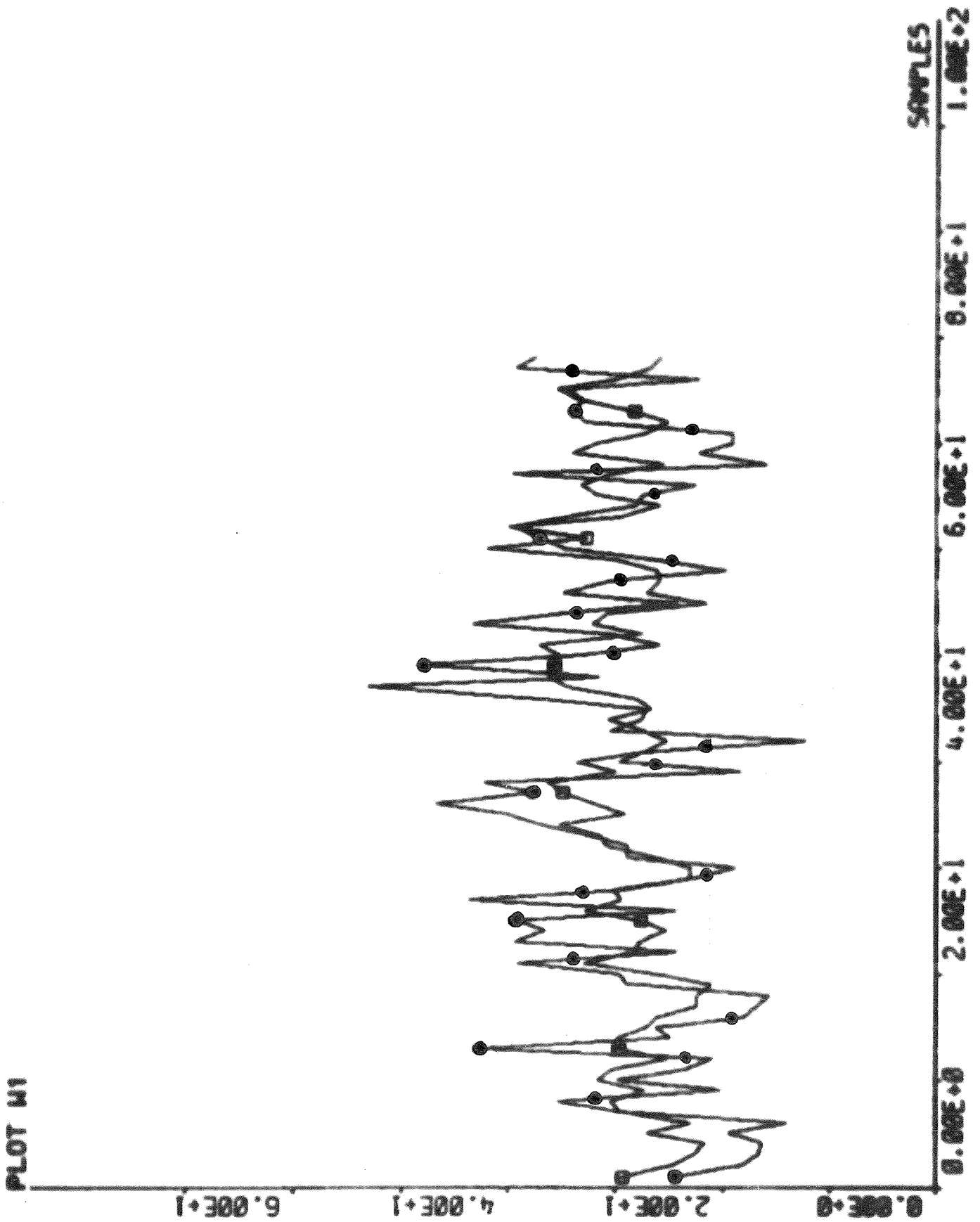


Fig. 4.58 Model output samt uppmätt utsignal.

Modell S_B $X_{21} = F(X_{21}, X_{23}, U)$ 1:a ordn.

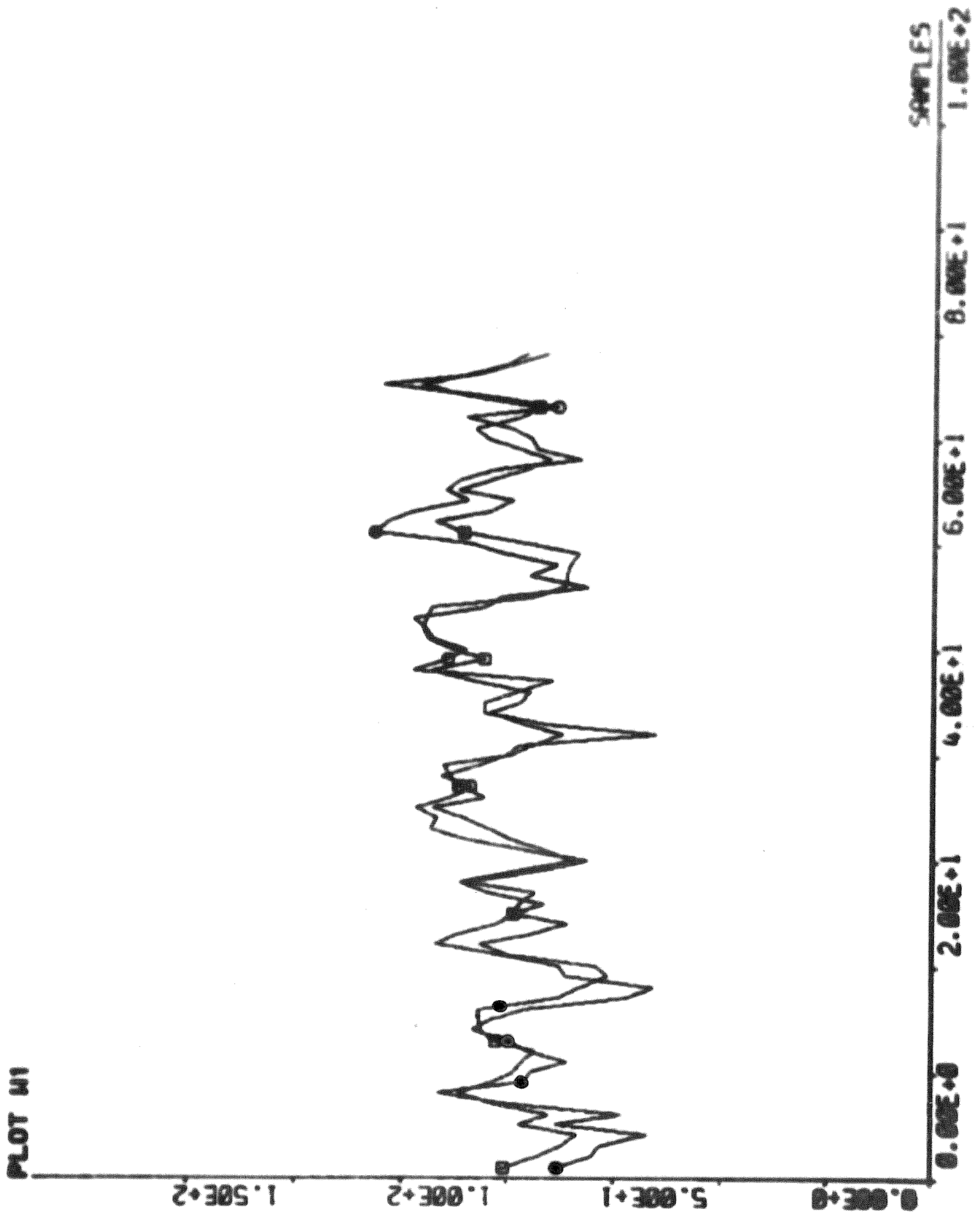


Fig.4.59 Model output samt uppmätt utsignal.

Modell S_A $X_{22} = F(X_{22}, U)$

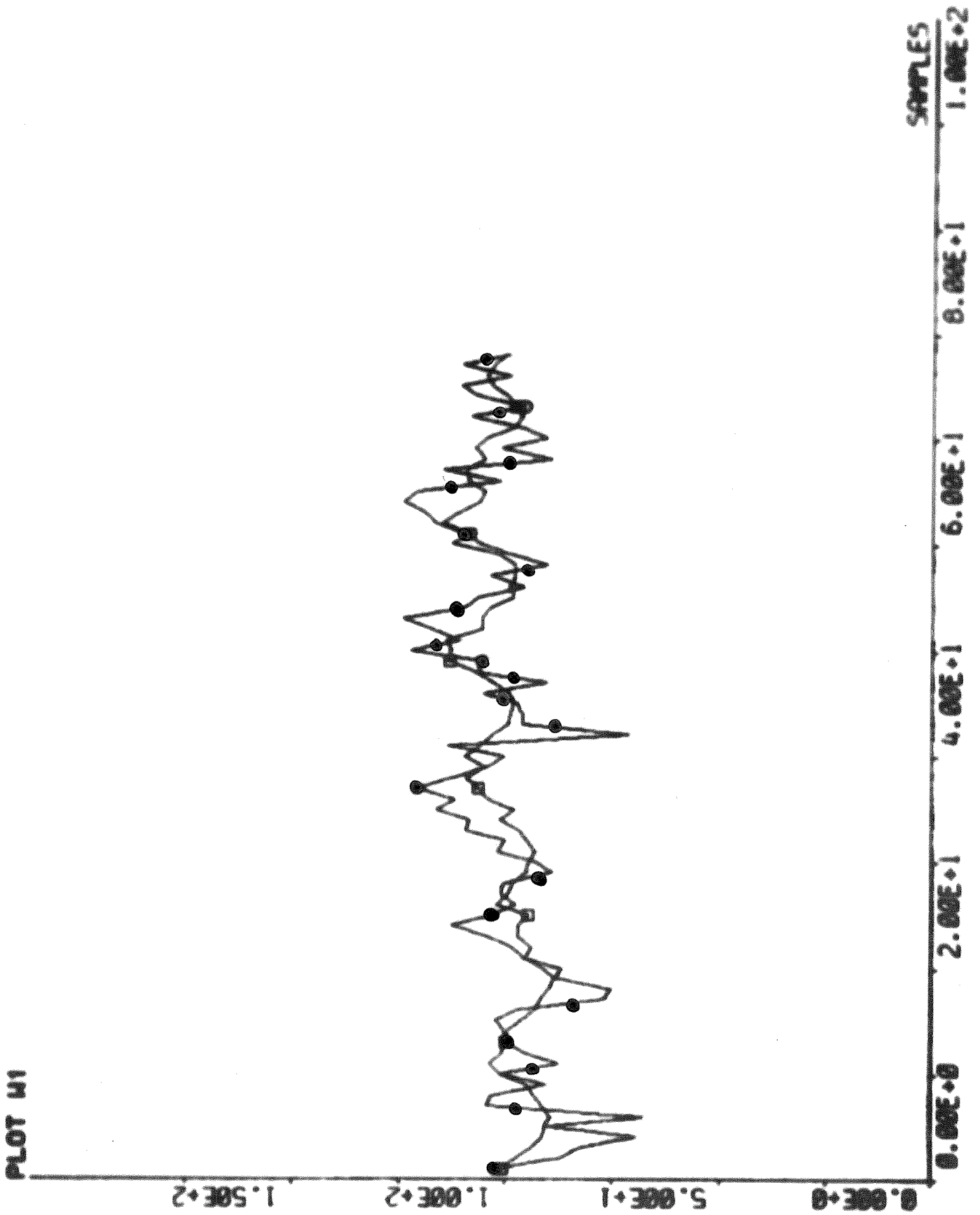


Fig. 4.60 Model output samt uppmätt utsignal.

Modell S_B $X_{22} = F(X_{21}X_{22})$ 1:a ordn.

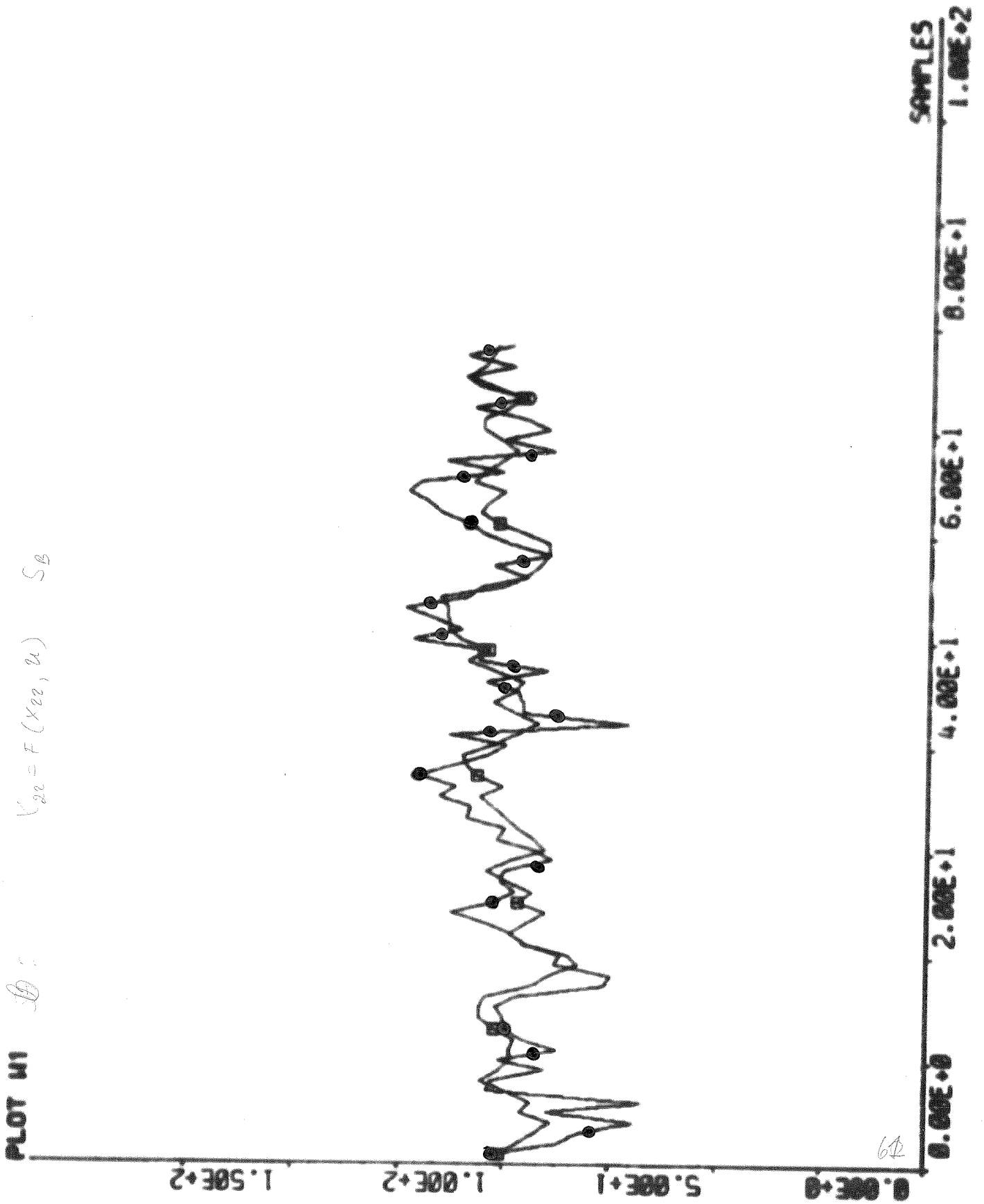


Fig. 4.61 Model output samt uppmät utsignal.

Fig. S_B $X_{22} = F(X_{22}, U)$ 1:a ordn.

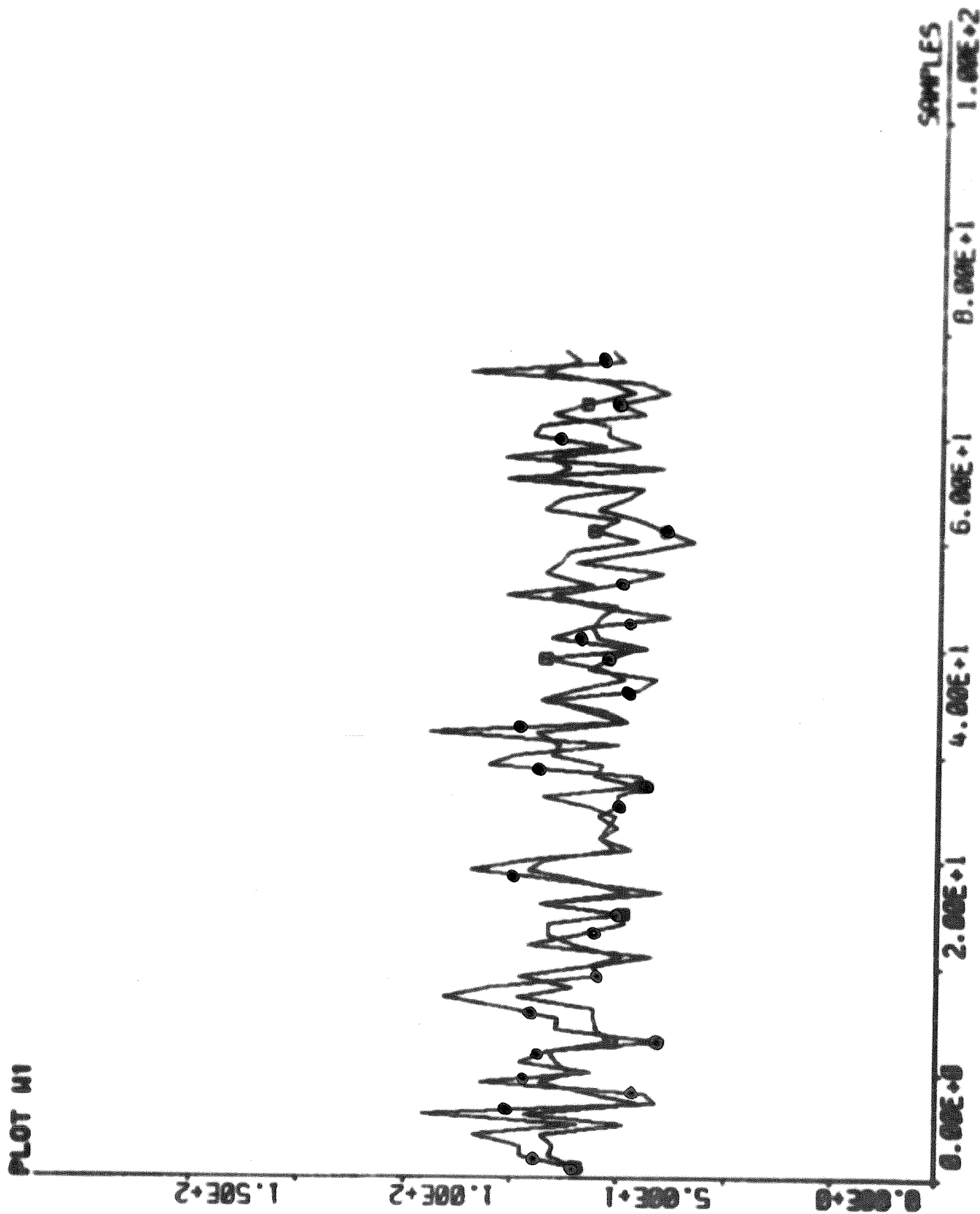


Fig. 4.62 Model output samt uppmätt utsignal.

Modell S_A $X_{23} = F(X_{23}, U)$

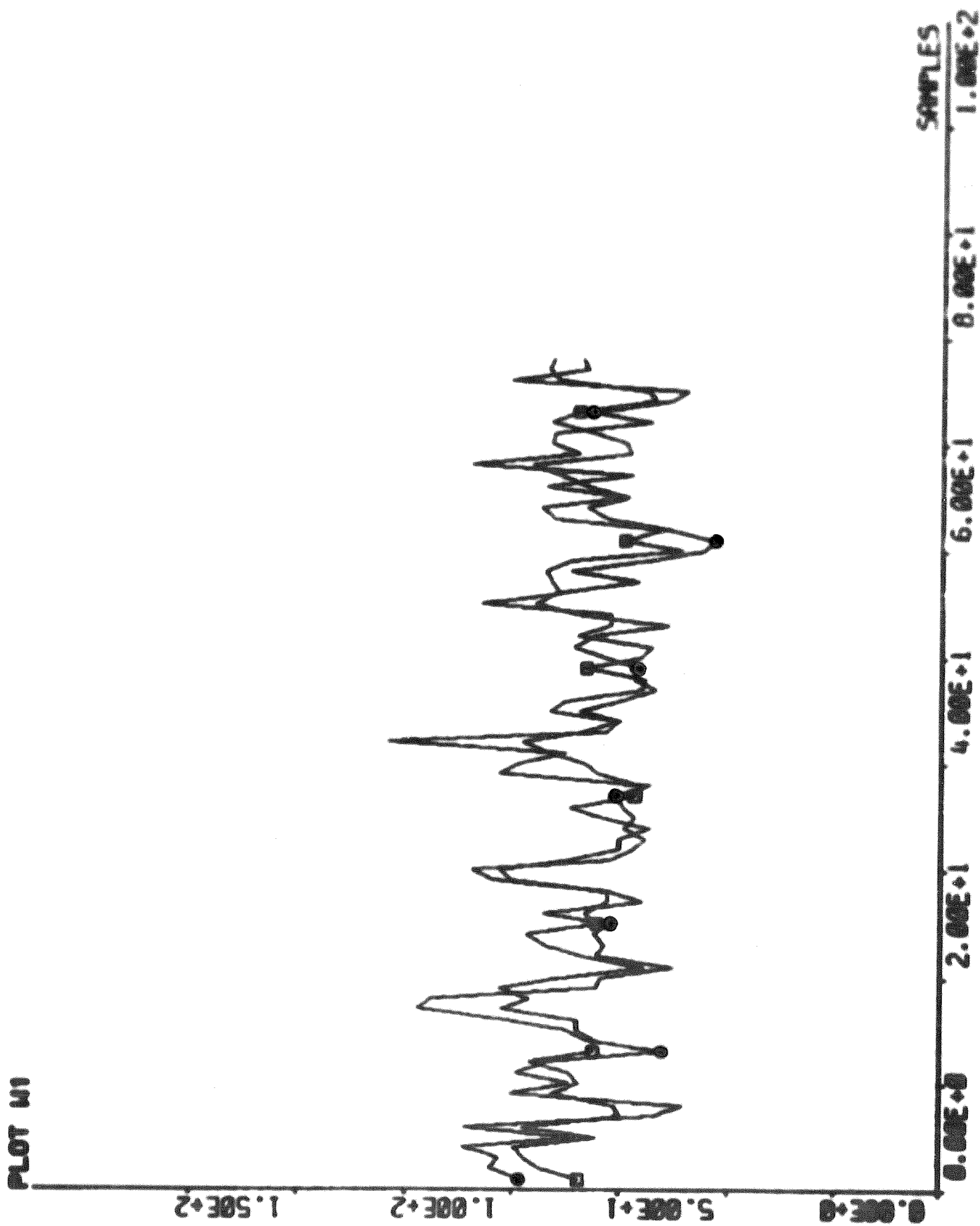
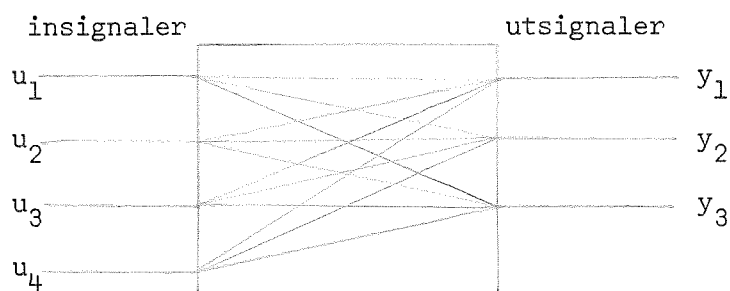


Fig.4.63 Model output samt uppmätt utsignal.

Modell $S_B X_{23} = F(X_{23}, X_{21}, U)$ 1:a ordn.

5. IDENTIFIERING AV TILLSTÅNDSMODELLER

I föregående modeller har vi haft flera insignaler men en utsignal. Denna modell kan ha flera insignaler och flera utsignaler som kan vara kopplade enligt nedanstående principskiss.



Allmänt kan sägas att antalet okända parametrar som skall bestämmas växer mycket snabbt med ordningen på systemet och med antalet in- och utsignaler.

5.1 BESKRIVNING AV IDENTIFIERINGSMETODEN

Problemet är att beräkna en okänd parametervektor θ för 1processmodellen. Systemets ordning förutsättes vara känd. Tillgänglig information är som tidigare sekvenser av

$$\text{insignaler } (u_i(t), t=1, \dots, N) \quad i=1, \dots, m$$

och

$$\text{utsignaler } y_i(t), t=1, \dots, N) \quad i=1, \dots, k$$

Insignalerna förutsättes vara konstanta över samplingsintervallet. En stokastisk tidsdiskret flervariabel linjär systemmodell är

$$x(t+T) = \Phi(\theta)x(t) + \Gamma(\theta)u(t) + K(\theta)e(t)$$

$$y(t) = C(\theta)x(t) + D(\theta)u(t) + e(t)$$

Där T är samplingsintervallet och sättes lika med 1, $e(t)$ är en sekvens av oberoende stokastiska variabler med medelvärdet noll och kovariansmatrisen R . Matriserna Φ , Γ , K , C och D beror alla av den okända parametervektorn θ .

Likelihood-funktionen för beräkning av vektorn θ och kovariansmatrisen R är given av (se /4/)

$$-2\log L(\theta, R) = N \log \det R + \sum_{t=1}^N e^T(t) R^{-1} e(t) + nN \log 2$$

Det kan visas (se /3/) att maximeringen av denna funktion kan överföras på minimering av förlustfunktionen

$$V(\theta) = \det \left(\sum_{t=1}^N e(t) e^T(t) \right)$$

Kovariansmatrisen beräknas med

$$\hat{R} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e(t) e^T(t)$$

Residualerna definieras genom

$$e(t) = y(t) - \hat{y}(t)$$

där $\hat{y}(t)$ är modellens utsignal.

Försök har gjorts med två olika modeller, dels en öppen modell över granulatorens, dels en modell över hela processen, inkluderande recirkulationsdelen.

För båda modellerna har transporttiden över granulatorens eller mera korrekt mellan mätställe A och B antagits till 8 min. För recirkulationsdelen, mellan B och A, till 18 min för modellen över hela processen.

5.2. ÖPPNA MODELLER

För öppna systemet har följande struktur använts

$$x(t+1) = \Phi x(t) + u(t) + Ke(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + e(t)$$

där tillståndsvektorn x är

x_1	relativa andelen underkorn före granulatorens	vid tiden $(t-4)$	x)
x_2	"	produktkorn "	x)
x_3	"	underkorn efter "	vid tiden t
x_4	"	produktkorn "	"

insignalvektorn är

u_1	produktutmatningen (0 eller 1) vid tiden $(t-4)$	x)
-------	--	----

och utsignalvektorn är lika med tillståndsvektorn.

x) För att undvika transportfördröjningar i modellen har data skiftats 4 steg.

5.3 VAL OCH BERÄKNING AV PARAMETRAR

Som startvärden på parametrarna har använts dels värden från tidigare maximum-likelihood-identifieringar dels gissade värden. Det är här viktigt att antalet parametrar är så litet som möjligt, dels för att göra systemet identifierbart, dels för att undvika numeriska svårigheter.

Strukturen på matriserna Φ och Γ är

$$\Phi = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & 0 & a_{33} & 0 \\ a_{41} & a_{42} & 0 & a_{44} \end{bmatrix} \quad 5.1$$

$$\Gamma = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} \quad 5.2$$

Matrisen C utgöres av enhetsmatrisen och K har i början satts till noll, sedan har endast diagonalelementen varit skilda från noll.

Strukturen bygger på följande antagande: Underkornen före granulatorens beror av underkornen före granulatorens i samplingsintervallet tidigare (a_{11}) samt av produktutmatningen (b_1) men ej av produktkornen före granulatorens eller kornfraktionerna efter granulatorens, därav nollor på platserna a_{12} , a_{13} respektive a_{14} . Produktkornen före granulatorens beror av produktkornen före granulatorens i samplingsintervallet tidigare (a_{22}) samt produktutmatningen (b_2) men ej av underkornen före granulatorens och kornfraktionerna efter granulatorens dvs nollor på platserna a_{21} , a_{23} och a_{24} . Underkornen efter granulatorens beror av underkornen efter granulatorens i samplingsintervallet tidigare (a_{33}), samt underkornen före granulatorens (a_{31}) och produktutmatningen (b_3) men ej av produktkornen före granulatorens eller produktkornen efter granulatorens dvs nollor på platserna a_{32} och a_{39} .

Produktkornen efter granulatorens beror av produktkornen efter granulatorens i samplingsintervallet tidigare (a_{44}), samt underkorn och produktkorn före granulatorens (a_{41} resp a_{42}) och produktutmatningen (b_4) men ej av underkornen efter granulatorens dvs noll på plats a_{43} .

Det bör observeras att denna struktur, där hänsyn ej tages till recirkulationen, är giltig i en tidsskala på kanske 10 min eller kortare.

För att ge rimliga beräkningsvolymen har högst fyra parametrar varit fria per körning, vilket har inneburit ett iterationsförfarande på så sätt att i en körning har diagonalelementen i Γ släppts fria, i nästa elementen i Γ , återigen diagonalelementen i Γ etc.

Förlustfunktionen har förbättrats några tiopotenser till storleksordningen 10^{12} . När diagonalelementen i K-matrisen släpptes fria erhöles ingen egentlig sänkning av förlustfunktionen varför arbetet med denna modell avslutades.

	Startvärde	Identifierat
a_{11}	-0.22	-0.079
a_{22}	-0.19	-0.035
a_{31}	-0.12	-0.21
a_{33}	0.67	0.678
a_{41}	0.11	-0.259
a_{42}	0.07	-0.278
a_{44}	0.7	0.981
b_1	11.0	9.892
b_2	-11.0	-11.036
b_3	1.0	0.162
b_4	-1.0	-1.036
k_{11}	1.0	0.26
k_{22}	1.0	0.24
k_{33}	1.0	0.15
k_{44}	1.0	0.15

TABELL 5.1 Startvärde och identifierat värde för parametrarna för öppna modellen.

Den beräknade kovariansmatrisen för utsignalbruset

$$\begin{bmatrix} 23.69 & -17.16 & 3.85 & 4.80 \\ -17.16 & 14.33 & -3.59 & -4.10 \\ 3.85 & -3.59 & 18.04 & 10.91 \\ 4.80 & -4.10 & 10.91 & 22.35 \end{bmatrix}$$

vilket ger en standardavvikelse på prediktionsfelet i ett steg på

$$\begin{aligned} \sigma_{e1} &= 4.9\% \\ \sigma_{e2} &= 3.8\% \\ \sigma_{e3} &= 4.3\% \\ \sigma_{e4} &= 4.8\% \end{aligned}$$

Om hänsyn toges till transportfördröjningen blir således den slutliga modellen av formen

$$\begin{bmatrix} x_1(t-3) \\ x_2(t-3) \\ x_3(t+1) \\ x_4(t+1) \end{bmatrix} = \emptyset \begin{bmatrix} x_1(t-4) \\ x_2(t-4) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix} + \Gamma u(t-4)$$

$$y(t) = c \cdot x(t)$$

där \emptyset och Γ ges av 5.1 respektive 5.2 och parametrarna av tabell 5.1

5.4 SIMULERING

Vid simulering av modellen har ej K-matrisen eller e använts utan enbart den deterministiska delen dvs

$$\begin{aligned} x(t+1) &= \emptyset x(t) + \Gamma u(t) \\ y(t) &= Cx(t) \end{aligned} \tag{5.3}$$

se fig. 5.1 och 5.2

För kornfraktionerna före granulatorn beskriver modellen ganska väl det verkliga skeendet medan den för kornfraktionerna efter granulatorn endast återger de långsamma svängningarna. Modellen antar uppenbarligen, att oscillationerna i kornfraktionerna dämpas kraftigt genom granulatorn.

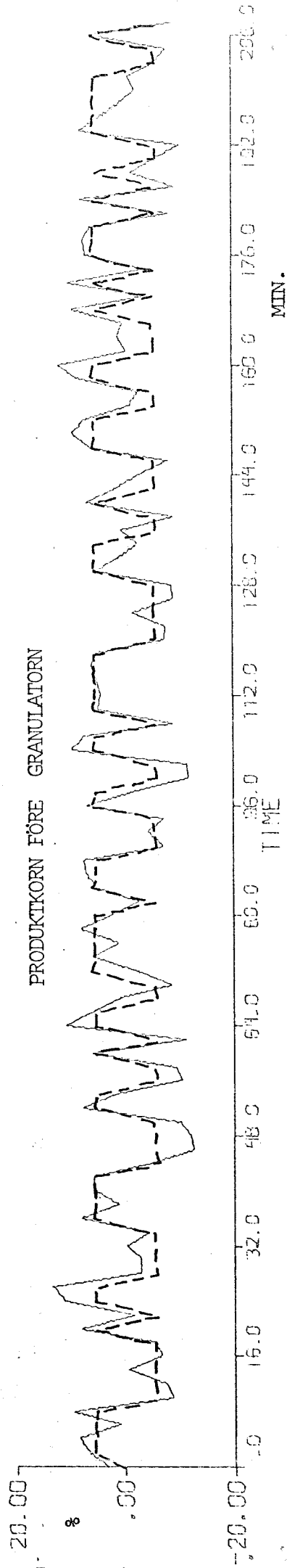
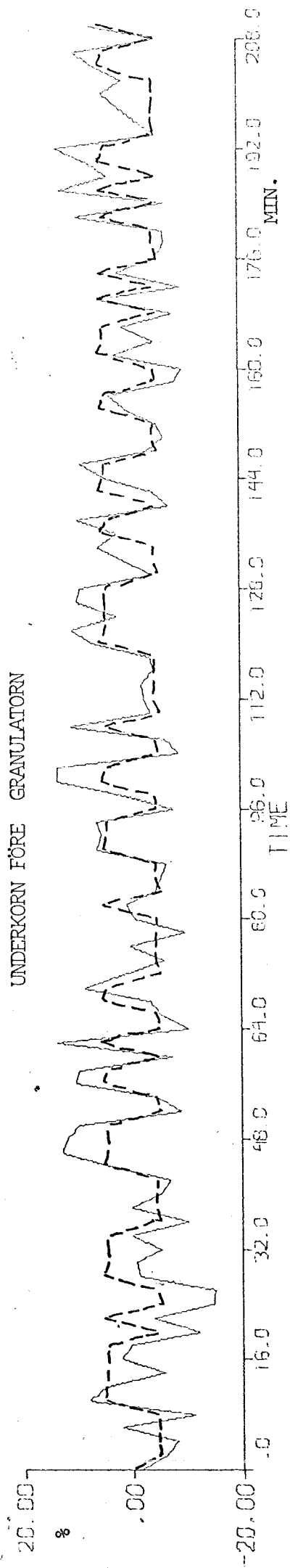


Fig 5.1

Jämförelse mellan verklig (heldragen) och beräknad (streckad) signal för modellen 5.3 över granulatörn.OBS variationer runt medelvärdet.

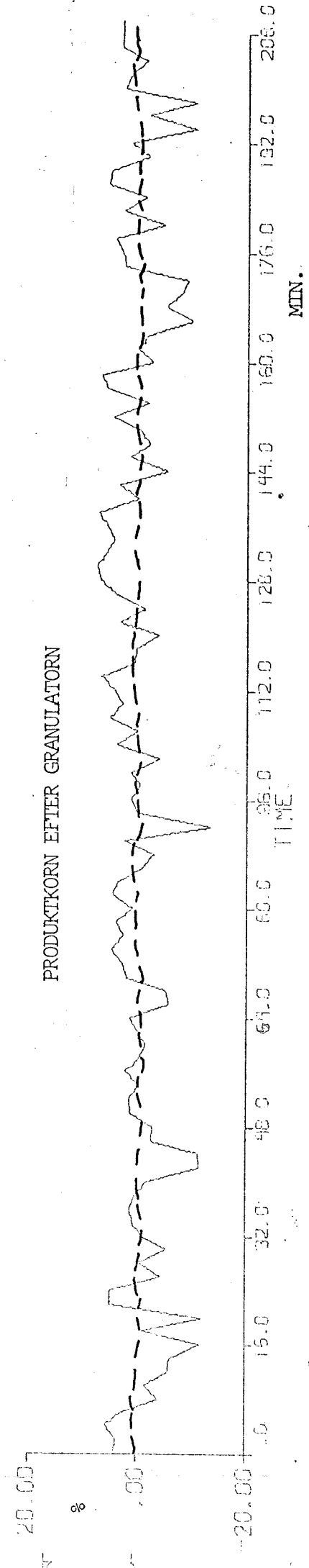
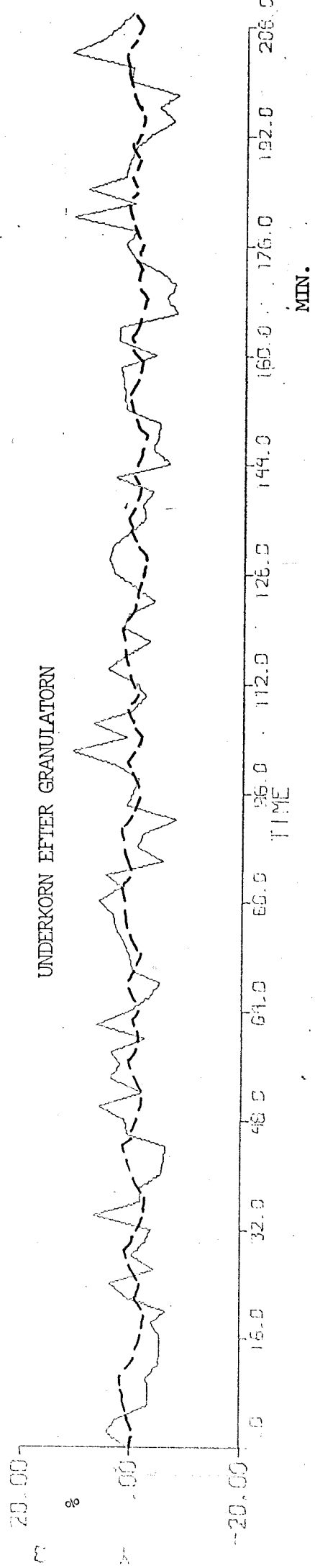


Fig. 5.2 Jämförelse mellan verklig (heldragen) och beräknad (streckad) signal för modellen 5.3 över granulatorm.OBS variationer runt medelvärdet.

5.5 JÄMFÖRELSE MELLAN DE ENKELVARIABLA OCH FLERVARIABLA IDENTIFIERINGARNA

För att göra en jämförelse möjlig mellan de enkelvariabla modellerna och den flervariabla modellen kan den senare skrivas om från formen given av 5.4.1 till en, i detta fallet, vektor av överföringsfunktioner. Om skiftoperatorn q (def. genom $q \cdot y(t) = y(t+1)$) införes får man:

$$H(q) = C(qI - \emptyset)^{-1} \Gamma$$

$$H(q) = \begin{bmatrix} \frac{b_1(q-a_{33})(q-a_{44}) + a_{31}b_3(q-a_{44}) - a_{41}b_4(q-a_{33})}{(q-a_{11})(q-a_{33})(q-a_{44})} \\ \frac{b_2(q-a_{44}) + a_{42}b_4}{(q-a_{22})(q-a_{44})} \\ \frac{b_3}{(q-a_{33})} \\ \frac{b_4}{(q-a_{44})} \end{bmatrix}$$

Med siffervärden insatta erhålles:

$$H_1(q^{-1}) = \frac{9.892q^{-1} - 14.362q^{-2} + 4.81q^{-3}}{1 - 1.58q^{-1} + 0.532q^{-1} + 0.058q^{-3}}$$

$$H_2(q^{-1}) = \frac{-11.036q^{-1} + 0.2879q^{-2}}{1 - 0.946q^{-1} - 0.0343q^{-2}}$$

$$H_3(q^{-1}) = \frac{+0.162q^{-1}}{1 - 0.6789q^{-1}}$$

$$H_4(q^{-1}) = \frac{-1.036q^{-1}}{1 - 0.981q^{-1}}$$

Här är $H_1(q^{-1})$ och $H_2(q^{-1})$ överföringsfunktionerna från produktutmatning till underkorn respektive produktkorn före granulatorens. $H_3(q^{-1})$ och $H_4(q^{-1})$ är överföringsfunktionerna från produktutmatningen till underkorn respektive produktkorn efter granulatorens. Observera att $H_3(q^{-1})$ och $H_4(q^{-1})$ egentligen skall multipliceras med q^{-4} på grund av att data har skiftats 4 steg före identifieringen.

För de två sista överföringsoperatorerna har modeller även framtagits med ML-programmet enligt kap. 4.3, som gav följande modeller:

$$H_3(q^{-1}) = \frac{\begin{matrix} (+1.766) \\ -0.342q^{-1} \end{matrix}}{1 - 0.604q^{-1}} \quad (+0.125)$$

$$H_4(q^{-1}) = \frac{\begin{matrix} (+0.8767) \\ +0.348q^{-1} \end{matrix}}{1 - 0.635q^{-1}} \quad (+0.144)$$

Dessa visar dålig överensstämmelse och standardavvikelsen för parametervärdena är också mycket stor i båda fallen speciellt täljarna. Detta kan ha flera orsaker. Dels är transporttiden genom granulatorens osäker i båda modellerna, dels inverkar recirkulationen kraftigt åtminstone i längre tidsskala, dels kan strukturen på flervariabla modellen vara för enkel med för få variabler. Man bör således söka en mer raffinerad struktur, t. ex. en som tar hänsyn till recirkulationen. Eventuellt bör \emptyset -matrisen (5.1) innehålla fler element.

5.6 SLUTNA MODELLEN

I denna modell har även recirkulationen medtagits. För att nedbringa ordningen på systemet har kornfraktionerna efter granulatorens i varvet tidigare ej tagits med som tillståndsvariabler utan som artificiella insignaler.

Den använda strukturen blir därför

$$x(t+1) = \Phi x(t) + \Gamma u(t) + K e(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + e(t)$$

där tillståndsvektorn x är

x_1	underkorn före granulatorens	(ton/tim)	vid tiden	$(t-4)^x$)
x_2	produktkorn	"	"	"
x_3	överkorn	"	"	"
x_4	underkorn efter	"	"	vid tiden t
x_5	produktkorn	"	"	"
x_6	överkorn	"	"	"

Insignalvektor u är

u_1	underkorn efter granulatorens	varvet tidigare	(ton/tim)	x)
			vid tiden	$(t-13)$
u_2	produktkorn	"	"	"
			vid tiden	$(t-13)$
u_3	överkorn	"	"	"
			vid tiden	$(t-13)$
u_4	produktutmatningen	(0 eller 1)	vid tiden	$(t-4)$
				x)

och utsignalvektorn lika med tillståndsvektorn.

x) För att undvika transportfördröjningar i modellen har data skiftats 4 resp. 13 steg.

5.7 VAL OCH BERÄKNING AV PARAMETRAR

Som startvärden för parametrarna har använts dels gissade värden dels stanvärden som vid initialberäkningar på UNIVAC 1108 givit den lägsta förlustfunktionen. Även för denna modell har K-matrisen under de första körningarna varit noll och sedan har endast diagonalelementen släppts fria.

Strukturen på \emptyset och Γ är sålunda

$$\emptyset = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{33} & 0 & 0 & 0 \\ \alpha_{41} & 0 & 0 & \alpha_{44} & 0 & 0 \\ \alpha_{51} & \alpha_{52} & 0 & 0 & \alpha_{55} & 0 \\ \alpha_{61} & \alpha_{62} & \alpha_{63} & 0 & 0 & \alpha_{66} \end{bmatrix} \quad 5.4$$

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \beta_{11} & 0 & \beta_{13} & \beta_{14} \\ 0 & \beta_{22} & \beta_{23} & \beta_{24} \\ 0 & 0 & \beta_{33} & \beta_{34} \\ \beta_{41} & 0 & 0 & 0 \\ \beta_{51} & \beta_{52} & 0 & 0 \\ \beta_{61} & \beta_{62} & \beta_{63} & 0 \end{bmatrix} \quad 5.5$$

Strukturen på denna modell är uppbyggd analogt med modellen i avsnitt 5.3.

Sammanfattningsvis bygger modellen på antagandet att kornstorlekarna ej kan minska i granulatorens och ej kan öka i recirkulationsdelen, där bl.a. krossarna ingår.

Under kornen före granulatorens beror alltså av underkornen före granulatorens i samplingsintervallet tidigare (α_{11}) samt av underkornen och överkornen efter granulatorens varvet tidigare

(β_{11} resp β_{13}) och produktutmatningen samplingsintervallet tidigare (β_{14}) men inte av produktkorn och överkorn före granulatorens eller kornfraktionerna efter granulatorens därav α_{12} , α_{13} , α_{14} och α_{15} lika med noll.

Det har här antagits att underkornen före granulatorens fördelas på respektive kornfraktion efter granulatorens dvs $\alpha_{41} + \alpha_{51} + \alpha_{61} = 1$
p.s.s. $\alpha_{52} + \alpha_{62} = 1$

och följaktligen

$$\alpha_{63} = 1$$

Överkornen efter granulatorens recirkuleras via krossarna där den största delen krossas till underkorn en del passerar oförändrade genom krossen och en obetydlig del krossas till produktfraktionen. Således bör

$$\beta_{13} + \beta_{23} + \beta_{33} = 1$$

Variationen i produktutmatningsströmmen är ungefär 20-30 ton/tim och av denna har av årsmedeltalet 20% varit mindre än 2 mm i diameter 75 % mellan 2 och 4 mm och 5 % över 4 mm. Med dessa värden kan en variation runt ett medelvärde för de tre fraktionerna beräknas då produktutmatningen varierar. Således erhålles som initialvärden på β_{14} , β_{24} och β_{34} respektive -6.0, -22.5 och -1.5 ton/tim. Även här har en förbättring av förlustfunktionen på några tiopotenser erhållits. För att beräkningsalgoritmen skulle fungera var det nödvändigt att tillgripa skalning av en del parametrar, som dock har justerats till korrekta värden i presenterad modell. På samma sätt som för granulatorens modellen har iterationsförfarande använts då endast 6 parametrar har släppts fria åt gången.

	Startvärde	identifierat
α_{11}	0.0	-0.081
α_{22}	0.0	0.178
α_{33}	0.0	0.457
α_{44}	0.0	0.710
α_{55}	0.0	0.008
α_{66}	0.0	0.252
α_{41}	0.3	-0.008
α_{51}	0.5	0.795
α_{52}	0.5	0.548
α_{61}	0.2	0.384
α_{62}	0.5	0.453
α_{63}	1.0	fastlåst
β_{11}	1.0	fastlåst
β_{14}	-6.0	-4.065
β_{22}	1.0	fastlåst
β_{24}	-22.5	-15.243
β_{34}	-1.5	-1.016
β_{41}	0.5	-0.104
β_{51}	0.0	0.045
β_{52}	0.5	-0.113
β_{61}	0.0	0.014
β_{62}	0.0	0.073
β_{63}	0.5	-0.010
β_{13}	0.85	fastlåst
β_{23}	0.004	fastlåst
β_{33}	0.15	fastlåst
k_{11}	0.0	0.251
k_{22}	0.0	0.363
k_{33}	0.0	0.495
k_{44}	0.0	0.251
k_{55}	0.0	0.321
k_{60}	0.0	0.302

TABELL 5.2 Startvärde och identifierat värde för parametrarna för slutna modellen.

Kovariansmatrisen för utsignalbruset blev

$$\begin{bmatrix} 190 & -117 & 1.3 & 52.6 & 64.5 & 64.8 \\ -117 & 197 & -3.8 & -24.2 & -9.6 & 57.5 \\ 1.3 & -3.8 & 14.7 & 4.4 & 8.2 & -5.6 \\ 52.6 & -24.2 & 4.4 & 79.6 & 43.2 & -10.3 \\ 64.5 & -9.6 & 8.2 & 43.2 & 131 & -111 \\ -64.8 & 57.5 & -5.6 & -10.3 & -111 & 219 \end{bmatrix}$$

vilket ger en standardavvikelse på prediktionsfelet i ett steg på

$$\sigma_{e1} = 13.8 \text{ ton/tim}$$

$$\sigma_{e2} = 14.0 \quad "$$

$$\sigma_{e3} = 3.8 \quad "$$

$$\sigma_{e4} = 8.9 \quad "$$

$$\sigma_{e5} = 11.4 \quad "$$

$$\sigma_{e6} = 14.8 \quad "$$

Om hänsyn toges till transportfördröjningen blir således den slutliga modellen av formen

$$\begin{bmatrix} x_1(t-3) \\ x_2(t-3) \\ x_3(t-3) \\ x_4(t+1) \\ x_5(t+1) \\ x_6(t+1) \end{bmatrix} = \emptyset \begin{bmatrix} x_1(t-4) \\ x_2(t-4) \\ x_3(t-4) \\ x_4(t-4) \\ x_5(t) \\ x_6 \end{bmatrix} + \Gamma \begin{bmatrix} u_1(t-13) \\ u_2(t-13) \\ u_3(t-13) \\ u_4(t-4) \end{bmatrix}$$

5.8 SIMULERING

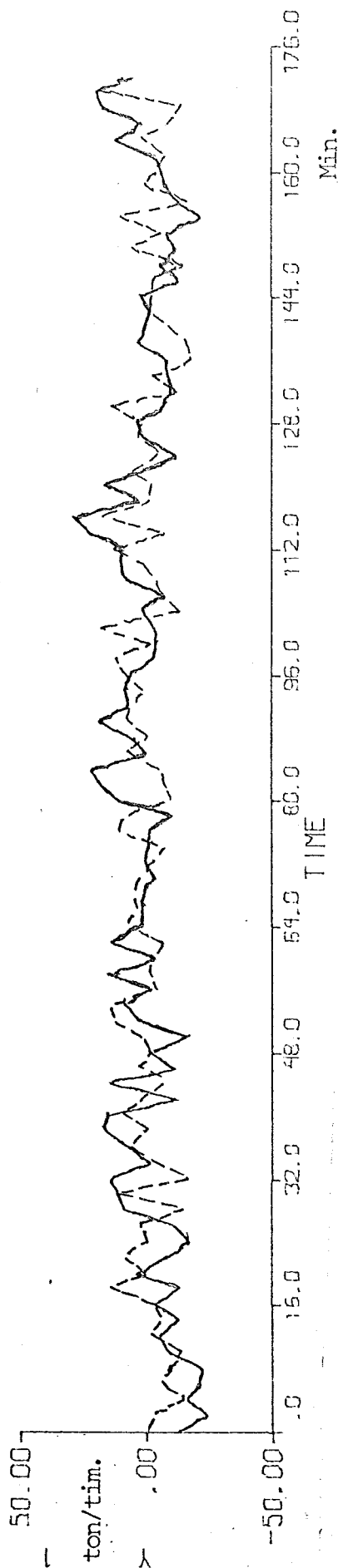
Vid simuleringen har endast den deterministiska delen använts dvs

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t)$$

Se fig. 5.3, 5.4 och 5.5

UNDERKORN FÖRE GRANULATÖRN



PRODUKTKORN FÖRE GRANULATÖRN

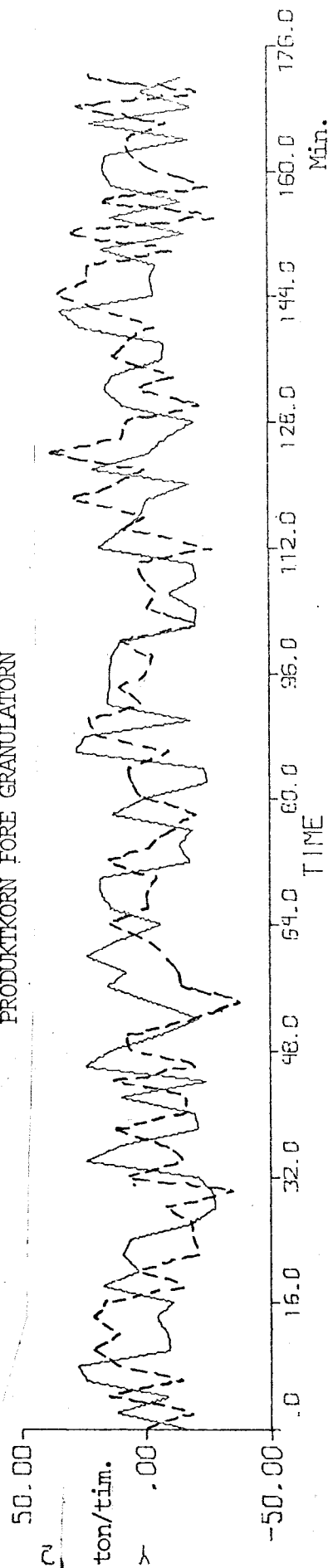
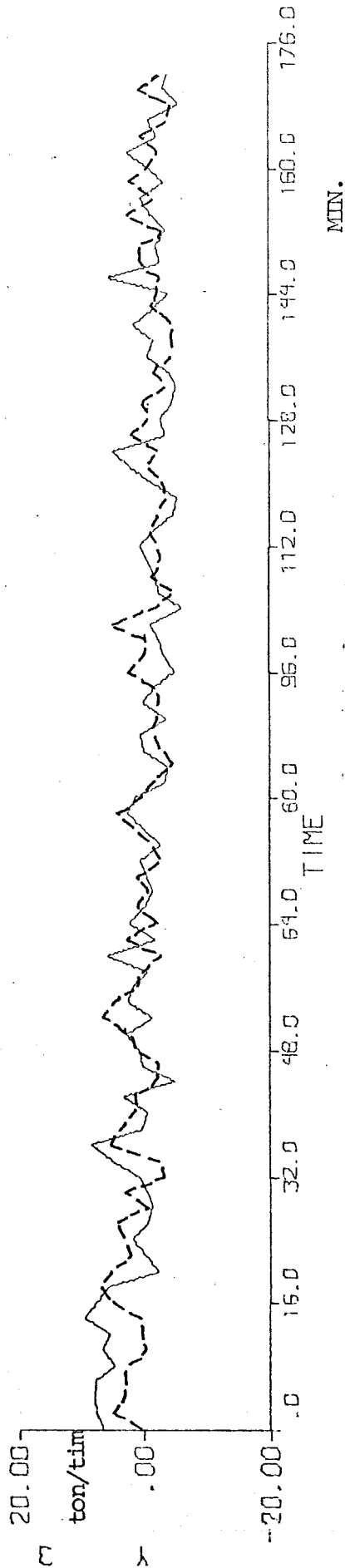


Fig. 5.3 Jämförelse mellan verklig (heldragen) och beräknad (streckad) signal för modellen 5.7 över hela processen. OBS variationer runt medelvärdet.

ÖVERKORN FÖRE GRANULATORN



UNDERKORN EFTER GRANULATORN

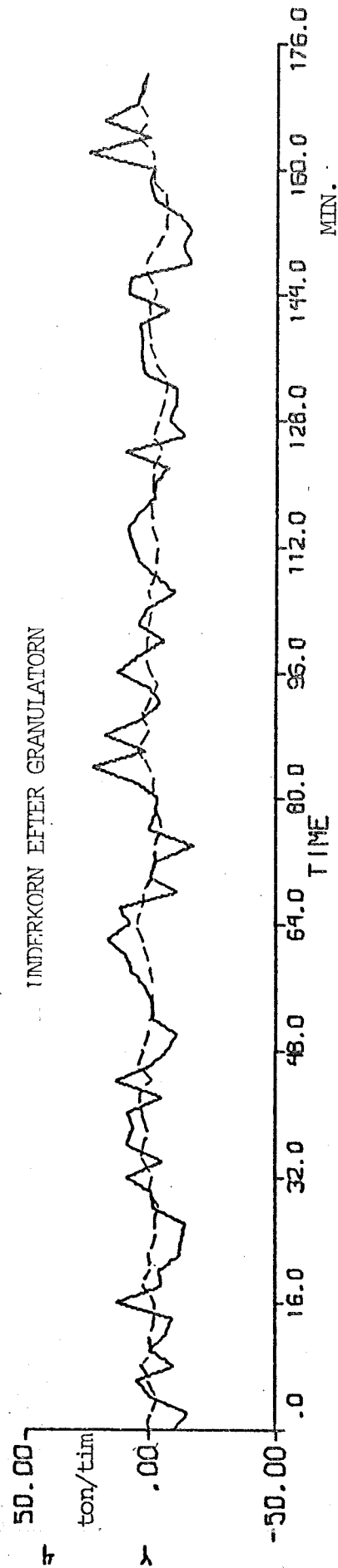
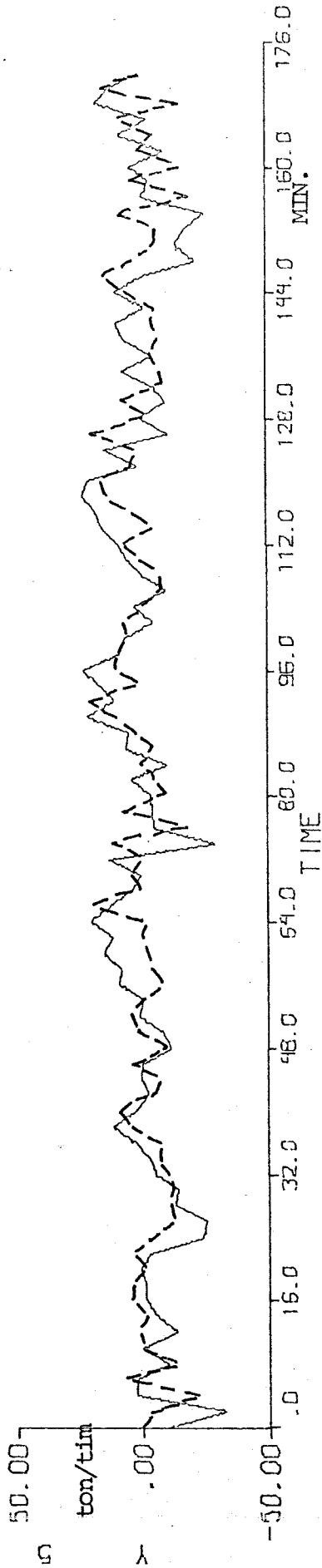


Fig. 5.4 Jämförelse mellan verklig (heldragen) och beräknad (streckad) signal för modellen 5.7 över hela processen.OBS variationer runt medelvärdet.

PRODUKTKORN EFTER GRANULATORN



ÖVERKORN EFTER GRANULATORN

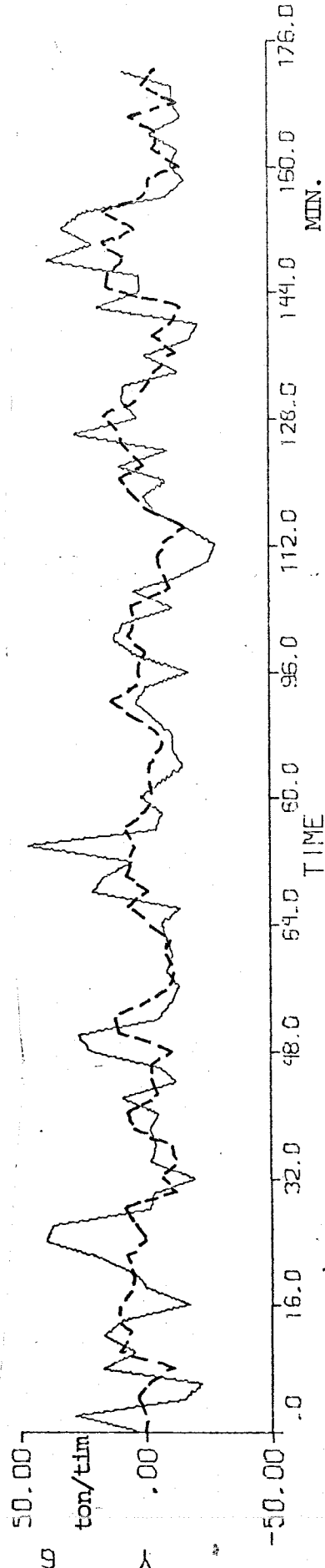


Fig. 5.5 Jämförelse mellan verklig (heldragen) och beräknad (streckad) signal för modellen 5.7 över hela processen. OBS variationer runt medvärdet.

Modellen återger de mycket långsamma svängningarna för kornfraktionerna såväl före som efter granulatorens medan de snabba reproduceras dåligt. Den slutna modellen kan dock återge resultatet av recirkulationen relativt väl, även om noggrannheten ibland är dålig. Betrakta t ex produktkorn efter granulatorens dels i fig. 5.2 och dels i fig. 5.5. Man kan då konstatera, att det öppna systemet inte alls återger någon periodicitet på ca 26 min, eftersom inga sådana antaganden gjorts från början.

Modellen stämmer endast för kortare tider. Den slutna modellen däremot har en struktur som kan förklara perioden på 26 min och produktkornen i fig 5.5 blir därför bättre reproducerade också i den längre tidsskalan.

Man kan samtidigt konstatera att t ex modellens signal för produktkornen före granulatorens visar ett slags translation i förhållande till verkliga data. Detta skulle kunna ha sin orsak i varierande transporttider. Alternativt kunde det bero på att flödena ibland går i parallella linjer med något olika transporttider.

5.9 JÄMFÖRELSE MELLAN DE ENKELVARIABLA OCH FLERVARIABLA IDENTIFIERINGARNA

För att göra en jämförelse möjlig mellan de enkeltvariabla modellerna och den flervariabla modellen kan den senare skrivas om från formen given av 5.5 till, i detta fallet en matris, av överföringsfunktioner.

Om skiftoperatorn q införes samt

$$H(q) = C(I - \phi)^{-1} \Gamma$$

erhålles:

$$\begin{bmatrix}
 \frac{1}{(q-\alpha_{11})} & 0 & 0 & \frac{-\alpha_{41}}{(q-\alpha_{11})(q-\alpha_{44})} & \frac{\alpha_{51}}{(q-\alpha_{11})(q-\alpha_{55})} & \frac{-\alpha_{61}}{(q-\alpha_{11})(q-\alpha_{66})} \\
 0 & \frac{1}{(q-\alpha_{22})} & 0 & 0 & \frac{\alpha_{52}}{(q-\alpha_{22})(q-\alpha_{55})} & \frac{-\alpha_{62}}{(q-\alpha_{22})(q-\alpha_{66})} \\
 0 & 0 & \frac{1}{(q-\alpha_{33})} & 0 & 0 & \frac{-\alpha_{63}}{(q-\alpha_{33})(q-\alpha_{66})} \\
 0 & 0 & 0 & \frac{1}{(q-\alpha_{44})} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{(q-\alpha_{55})} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{(q-\alpha_{66})}
 \end{bmatrix}$$

$H(q) =$

$$\begin{bmatrix}
 B_{11} & 0 & B_{13} & B_{14} \\
 0 & B_{22} & B_{23} & B_{24} \\
 0 & 0 & B_{33} & B_{34} \\
 B_{41} & 0 & 0 & 0 \\
 B_{51} & B_{52} & 0 & 0 \\
 B_{61} & B_{62} & B_{63} & 0
 \end{bmatrix}$$

Ytterligare utveckling ger en 6×4 matris av överföringsfunktioner. De tre sista raderna ger med insatta siffervärden:

$$y_4(1 - 0.710q^{-1}) = -0.104q^{-1}u_1$$

d.v.s. underkornen efter granulatorens som funktion av underkornen efter granulatorens varvet tidigare.

$$y_5(1 - 0.008q^{-1}) = 0.045q^{-1}u_1 - 0.113q^{-1}u_2$$

d.v.s. produktkornen efter granulatorens som funktion av underkorn och produktkorn efter granulatorens varvet tidigare.

$$y_6(1 - 0.252q^{-1}) = 0.014q^{-1}u_1 + 0.073q^{-1}u_2 - 0.010q^{-1}u_3$$

d.v.s. överkornen efter granulatorens som funktion av underkorn, produktkorn och överkorn efter granulatorens varvet tidigare.

Observera att högerleden här egentligen skall multipliceras med q^{-13} och motsvarande för raderna 1-3 blir $q^{-(13-4)} = q^{-9}$

ML-programmet enligt kap. 4.7 gav:

$$y_4(1 - 0.300q^{-1}) = 0.369q^{-1}u_1$$

$$y_5(1 - 0.488q^{-1}) = 0.404q^{-1}u_1 + 0.059q^{-1}u_2$$

$$y_6(1 - 0.273q^{-1}) = -0.556q^{-1}u_1 + 0.136q^{-1}u_2 + 0.147q^{-1}u_3$$

Fortfarande är överensstämmelsen dålig speciellt för b parametrarna. Tänkbara orsaker till detta är dels de osäkra transporttiderna, för båda identifieringarna, speciellt över granulatorens, dels kan strukturen för flervariabla systemet fortfarande vara fel eller vara en alltför stark förenkling av processen.

Den dåliga överensstämmelsen behöver nödvändigtvis inte betyda att båda modellerna (eller en av dem) skall underkännas. ML-uppskattningarna enligt kap. 4 har tagits fram för en krets i taget med samtliga parametrar fria. De flervariabla modellerna har framtagits ur samma identifiering, men med vissa parametrar låsta. Därför är resultaten inte heller helt jämförbara. Den flervariabla modellen torde dock kräva en ytterligare omsorg innan helt tillfredsställande modeller kan erhållas.

6. LITTERATURSTUDIE

I avsikt att öka vår kunskap om granuleringsprocessen gjordes en litteraturstudie, främst med sikte på att undersöka om någon tidigare hade tagit fram en modell beskrivande processens dynamiska samband. Huvudsakliga sökkälla har varit Chemical abstract. Endast arbeten senare än 1968 har ansetts vara av intresse då regler- eller systemtekniska betraktelser troligtvis inte är att finna tidigare.

Undersökningen har utgått från en författarlista, hämtad från bl.a. en litteraturstudie av Bengt Avenberg /5/, på omkring ett tjugotal namn som har förekommit någorlunda frekvent eller som gjort ett i sammanhanget särskilt intressant arbete, varvid författarindex i Chemical abstract kommit till användning. Vidare har ämnesregister i samma publikation utgjort en källa med sökning på nyckelord såsom granulation, fertilizer granulation etc.

Granulering av fasta och lösta ämnen förekommer även inom andra verksamhetsområden såsom inom glasindustrin och kulsinterverken och en del artiklar av gemensamt intresse har studerats.

Merparten av publicerade arbeten har behandlat någon detalj i processen såsom granultillväxt, siktning, krossning etc. Ett undantag utgör Chang Dae Han och Israel Wilenitz /10,11/ som presenterar en matematisk modell över hela granuleringsprocessen. För denna modell göres tre förutsättningar: att krossen fungerar som huvudkälla för bildandet av granulkärnor, att uppehållstiden för partiklar i granulatorens är en stokastisk variabel, att partikel-tillväxten är konstant och oberoende av partikelstorleken. Modellen bygger vidare på att granultillväxt sker genom s.k. layering.

Processen förutsättes ha följande konfiguration: Granulatorens är en roterande trumma, partikelströmmen ut ur granulatorens delas i siktar upp i tre storleksklasser. De minsta återföres direkt till granulatorens. Av mellanfraktionen återföres en del medan en del uttages som produkt. De största återföres till granulatorens via en kross. Se fig. 6.1.

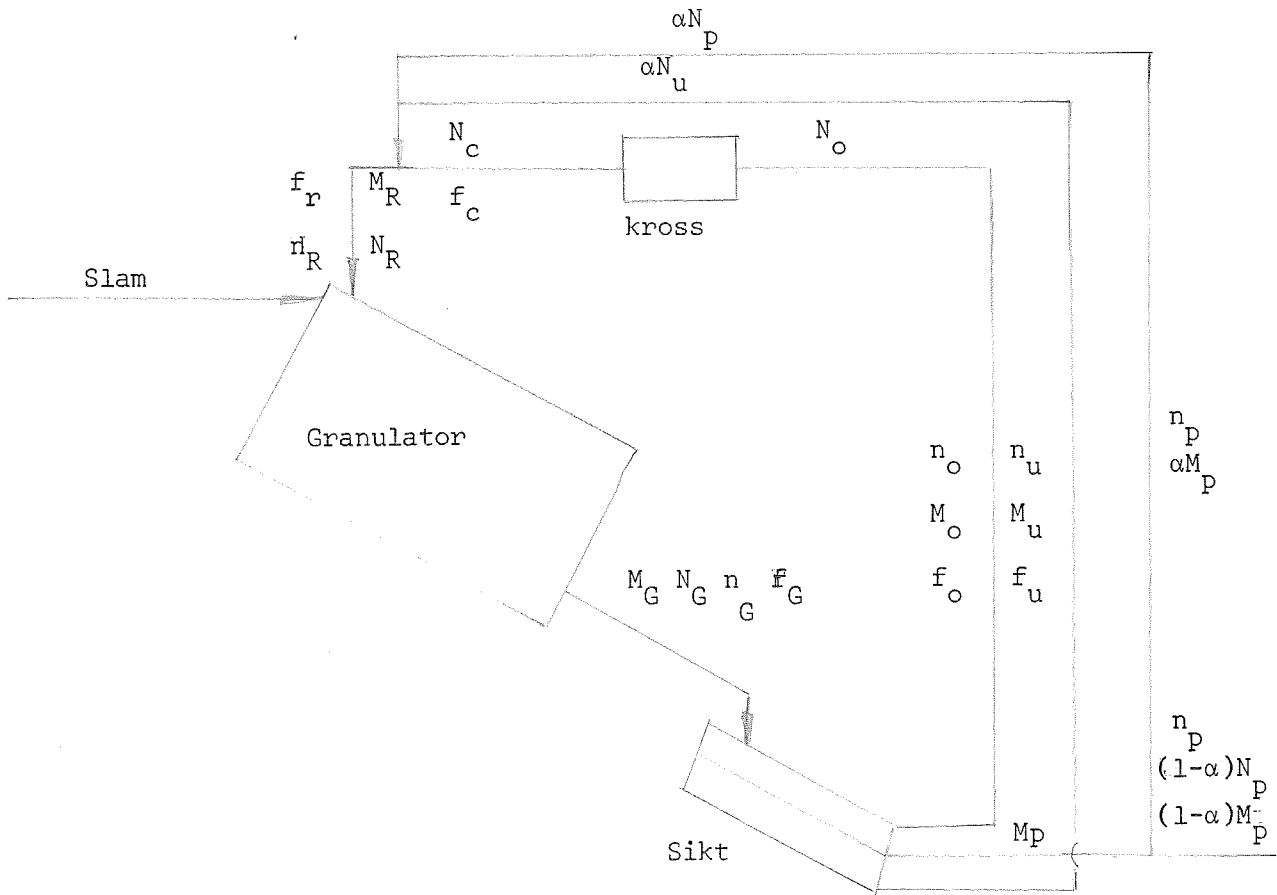


Fig. 6.1 Schematisk bild över granuleringsprocessen

$f_G(D)$

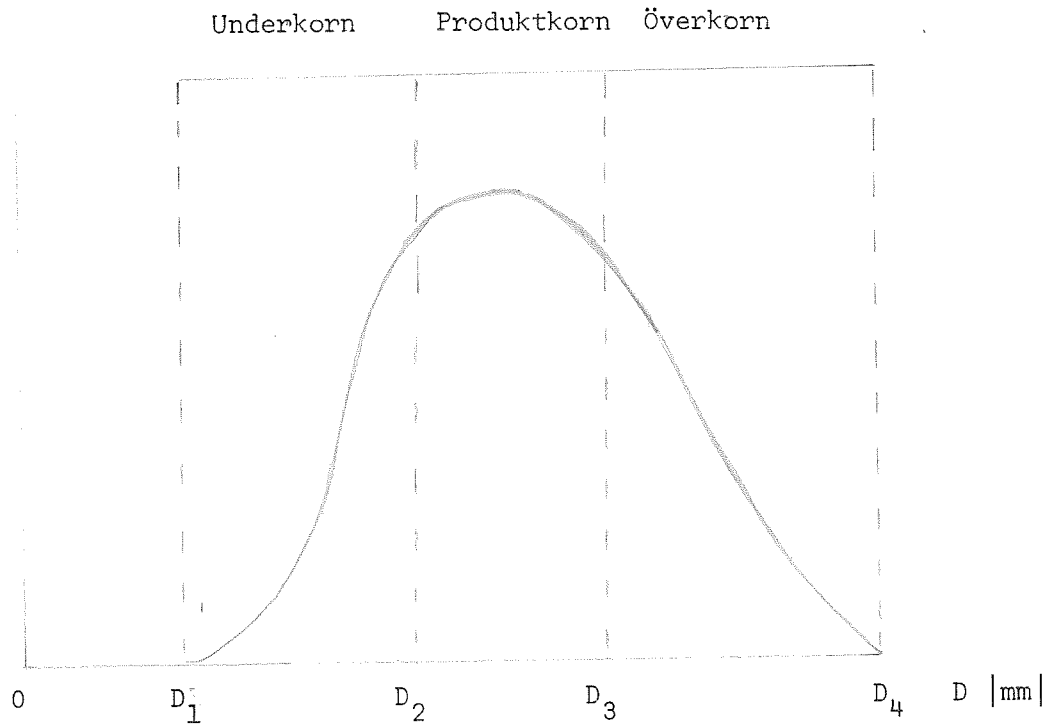


Fig. 6.2 Exempel på frekvensfunktion över granulstorleken.

- D_1 = minsta förekommande granulstorlek
- D_2 = minsta produktkorn def. av sikten
- D_3 = minsta överkorn def. av sikten
- D_4 = största förekommande granulstorlek

Modellen byggs väsentligen upp av fördelningsfunktioner över granulstorleken i de olika flödena. Vid stationärt tillstånd har granulerna ut ur granulatorens en bestämd storleksfördelning och granultillväxten är lika stor som produktuttaget. Det förutsättes att antalet partiklar per tidsenhet in i granulatorens är lika med antalet partiklar ut ur den samma. Här utesluts alltså fallet att partiklar klumpas ihop sig till större partiklar, vilket kan ske vid högre fukthalter i granulatorens.

Med beteckningar enligt fig. 6.1 erhålles:

$$N_R = N_G$$

och genom summering av partiklarna i recirkulationsdelen samt en partikelbalans över siktarna fås:

$$M_C - N_0 = (1 - \alpha)N_p \text{ där}$$

kvantiteten $(1-\alpha)N_p$ är antalet partiklar i produktutmatningen och $N_C - N_0$ är antalet partiklar genererade av krossen. Krossens uppgift är således att förse processen med granulär kärnor av exakt den omfattningen som motsvarar antalet partiklar i produktutmatningen.

Frekvensfunktionen för partikelstorleken $f(D)$ definieras som

$$f(D) dD = \frac{\text{antalet partiklar i storlek } D \text{ till } d+dD}{\text{massflödesenhet}}$$

Exempel på en frekvensfunktion ges i fig. 6.2

En enkel massbalans och normalisering av frekvensfunktionerna samt användning av antagandet om konstant granultillväxt oberoende av granulstorleken dvs

$$\frac{dD}{dt} = \epsilon$$

erhålles ett (komplicerat) uttryck för "produktionstalet" α (def. se fig. 6.1)

$$\alpha = 1 - \frac{1}{D_2} \int_{D_2}^{D_3} \phi_G(D) dD \left[\frac{\psi}{\mu_{C_3}} - \frac{1}{D_3} \int_{D_3}^{D_4} \phi_G(D) dD \right]$$

där $\phi_G(D)$ är normaliserad frekvensfunktion för flödet ut ur granulatore. Dvs α är i huvudsak en funktion av fördelningsfunktionerna för produkt och överkorn. Produktionsstalet α definierar då en arbetslinje för stationärt tillstånd.

Problemet är att bestämma frekvensfunktionen $\phi_G(D)$ för flödet ut ur granulatore. Refererande till arbeten av Bleke /6/, Cadle /8/, Herdan /12/ och Kottler /14/ visar Han att frekvensfunktionen kan beräknas ur:

$$\phi_G(D) = 1/\ln \sigma g \cdot \sqrt{2\pi} \exp \left((\ln D - \ln D_g) / 2 \ln^2 \sigma g \right)$$

Där D_g är den geometriska medelstorleken och σg standardavvikelsen för $\ln D$.

σg kan erhållas ur lutningen på en kumulativ lognormalplot cadle /8/.

Dessa beräkningar borde med fördel kunna göras på en processdator.

Han refererar också till en undersökning av Bouloucon /7/ som ger uppehållstiden i granulatore i form av en Rayleighfördelning

$$g(t) = a \exp(-at^2/2)$$

där a beror av granulatorkaraktistika såsom rotationshastighet, lutning och inre konfiguration. Här kan en medeltid beräknas

$(t_{\text{medel}} = \sqrt{\frac{\pi}{2a}} \approx \frac{1.25}{a})$ men det intressanta är att uppehållstiden inte är deterministisk.

Det bör observeras att Chang Dae Han's antagande om att granultillväxten är oberoende av granulstorleken strider mot undersökningar av Kapur och Fuerstenau /13/. Modellens största begränsning är troligen att den ej tar hänsyn till fukthalten i granulatore.

John Garside m fl /9/ föreslår en styrmotodik för granulatorprocessen

som bygger på en teori utvecklad av Sherrington /15/ där granulatets lösningsfas (y) relateras till förhållandet mellan granulernas medeldiamter före granulatorens (d) och deras medeldiameter efter torkarna (D):

$$y = k(1 - 3z\frac{d}{D})$$

För ett givet värde på d kan erforderlig lösningsfas beräknas för erhållande av önskad medeldiameter D ut ur torkarna.

Sherrington's ekvation för granultillväxten kan möjligen (ev. i modifierad form) byggas in eller komplettera tillväxtantagandet i Han's modell.

NOMENKLATUR:

D = partikelstorlek

M = massflödet

N = antalet partiklar i flödet

n = antalet partiklar per massenhet

α = andelen recirkulerad produktfraktion

μ' = normaliserad partikelfördelning

ψ = tredje momentet över frekvensfunktionen för partikelstorleken i flödet

INDEX

C = flödet ut ur krossen

G = flödet ut ur granulatorn

o = överkornsflödet

p = produktflödet

u = underkornsflödet

7. SLUTSATSER

I detta arbete vars mål varit att taga fram dynamiska modeller för granuleringsprocessen har en hel del rent processtekniska svårigheter dykt upp. En del har naturligtvis att göra med själva komplexiteten i processen medan andra har att göra med mättekniska problem.

Möjligheten att erhålla dynamiska modeller genom identifiering är naturligtvis helt beroende på möjligheterna att mäta on-line. De flesta av de uppmätta storheterna har erhållits genom off-line mätningar och endast ett fåtal storheter, t.ex. temperaturer och materialflöden har kunnat registreras enkelt. Man kan å andra sidan vända på argumenteringen sålunda, att t ex fukthalt inte bör användas som en mätvariabel för reglering, eftersom just fukthalten är mycket svår att registrera on-line. Den skall istället användas för långsamma korrektioner av processen.

Typiska mätstorheter som borde vara användbara för reglertekniskt bruk är således materialflöden, kornfraktioner samt temperaturer. En stor svårighet som ligger i själva processen är att massflödet på flera ställen delas upp på parallella linjer, t.ex. i torktrummor, vid mellankylare, vid siktarna o.s.v. Detta gör att materialflödet egentligen borde beskrivas med flera linjer med var sin transportfördröjning. I arbetet har dock konsekvent det antagandet gjorts (med mer eller mindre rätt) att flödet går i en enda linje, d.v.s. att transporttiderna hela tiden är de samma. Hur mycket som dessa approximationer betyder är mycket svårt att avgöra.

Ett stort problem är också vägningen av materialet. För att få en bättre modell över granulatorn måste man således direkt kunna registrera massflödet efter stabiliseringsbandet on-line. Eftersom vi nu inte kan göra detta har det lett fram till de olika förslagen att rekonstruera tidsförloppen av massflödet efter granulatorn. Dessa rekonstruktioner innehåller helt naturligt obestämbara felaktigheter. Beräkningarna har tydligt visat att massflödet genom granulatorn eller kyltrumorna utjämnas betydligt. Svängningar efter dessa enheter ser alltså inte alls ut som svängningarna innan enheterna.

Korrelationsanalysen hjälpte oss att få fram transporttider mellan olika mätställen, men en direkt mätning skulle antagligen gett oss ett noggrannare resultat. På grund av processens egenskaper är detta dock svårt. Det bör observeras att dessa resultat visar på en transporttid av 8 minuter mellan mätställe A och B jämfört med förra examensarbetets antagande på 6 minuter. Transporttiden vid andra delen, recirkulationen från mätställe B till A har erhållits till 18 minuter mot 26 minuter i förra examensarbetet /2/.

Man kan också genom korrelationsanalysen konstatera att en störning fortplantas över ca 3-3.5 timmar innan den klingat ut tillfredsställande.

Modellerna över recirkulationen ger en möjlighet att bestämma krossarnas effektivitet dynamiskt. Detta ger alltså ett mått på hur krossarna verkar momentant.

När mycket lite förkunskap finnes om en process är det naturligtvis bäst att inte förutsätta någonting i den modell som skall identifieras, med andra ord svartalåde-modeller. ML-uppskattningarna i kap. 4 är just sådana. Man bör därför lita mer på ML-uppskattningarna i kap 4 än flervariabla modellerna i kap 5 där dessa två modeller skiljer sig avsevärt åt. Å andra sidan ger den flervariabla modellen den definitivt potentiellt större möjligheten att bättre förstå granuleringsprocessen på sikt.

Den flervariabla modellen ger i sig en möjlighet till en god beskrivning av en så komplicerad process som granuleringsprocessen, där kopplingar av flera slag, mellan de olika variablerna, troligen föreligger. Svårigheterna med modellen ligger i det stora antalet okända parametrar som skall beräknas. Då systemordningen växer, ökar behovet av *à priori*-information om systemet. För båda de flervariabla modellerna har sådan information varit tillgänglig men i begränsad omfattning. Speciellt för den slutna modellen har den begränsade *à priori*-informationen varit besvärande.

Som tidigare påpekats torde det arbetas vidare på denna modell med kanske helt andra startvärden och om möjligt med ytterligare *à priori*-kunskap.

Genom litteraturstudien har det konstaterats att merparten av de arbeten som publicerats om granulering behandlar statistiska samband, ofta av ganska detaljerat slag. De enda dynamiska modeller vi hittat berör teoretiska modeller för granultillväxt samt krossarnas beteende. I de få arbeten som behandlar hela processen göres starkt förenklande antaganden. Det bör speciellt nämnas att ingen experimentell bestämning av dynamiska modeller har hittats.

8 REFERENSER

Identifiering

- /1/ Eklund, K., "Linear drum boiler-turbine models" report 7117,
Div. of Aut. Contr., Lund, Inst. of Techn. Lund,
Nov. 1971.
- /2/ Gabrielsson, P., Lutherkort, S., "Granulering - ett Dynamiskt
Betraktelsesätt" RE-119, Div. of Aut. Contr., Lund,
Inst. of Techn. Lund, Nov. 1972.
- /3/ Ljung, L., "Pilot Estimation of Impulse Response Functions"
Div. of Aut. Contr., Lund, Inst. of Techn. Lund,
1971.
- /4/ Åström, K.J., "Modeling and Identification of Power System
Components" report 7116 (B) Div. of Aut. Contr.,
Lund, Inst. of Techn. Lund, Oct. 1971.

LITTERATURSTUDIE

- /5/ Avenberg, Bengt., "Granulering-litteraturstudium"
Supra rapport TL litt.45.0, TL reg.nr 41/71
- /6/ Bleke, Bela., "Principles of Comminution " pp. 44, 63, 120,
Akademiai Kiado, Budapest, 1964
- /7/ Bouloukon, P., American Cyanamid Co., Wayne, N.J., private
communication, 1968.
- /8/ Cadle, R.D., "Particle Size, Theory and Industrial Applica-
tions," pp. 10, 28, 33, 40, Reinhold, New York,
1965
- /9/ Garside, I., Gow, J.S., Perkins, W.J., "Computer control of a
compound fertilizer plant", Paper presented
at National A.C.S. meeting, New York, Sept.7-12,
1969
- /10/ Han, Chang, Dae., "Steady-state behavior of continous granulators-
an elementary mathematical analysis" Chem.
Engn. Scien. Vol. 25, pp. 875-883, 1970
- /11/ Han, Chang, Dae., Wilenitz, Israel., "Mathematical Modeling of
Steady-State Behavior in Industrial Granulators"
Incl. Eng. Chem. Fundam. Vol. 9, No 3, 401-411,
1970
- /12/ Herdan, F., "Small Particle Statistics," 2nd ed., pp.81 et
seq., Academic Press 1960
- /13/ Kapur, P.C., Fuerstenau, D.W., "A coalescence model for granulation"
Ind. Eng. Chem. Process Design and Development
Vol. B, No 1, 56-62, 1969.

APPENDIX I.

X_{11}	underkorn före granulatore)	
)	
X_{12}	produktkorn före gran.)	
)	Mätställe A.
X_{13}	överkorn före gran.)	
)	
M_{10}	massflöde före gran.)	
)	
T_{10}	temperatur före gran.)	
)	
F_{10}	fukthalt före gran.)	
)	
M_{SL}	massflödet på slammet)	
)	
T_{SL}	temperatur på slammet)	Mätställe bireaktorn.
)	
F_{SL}	fukthalt på slammet)	
)	
X_{21}	underkorn efter gran.)	
)	
X_{22}	produktkorn efter gran.)	
)	
X_{23}	överkorn efter gran.)	Mätställe B.
)	
M_{20}	massflöde efter gran.)	
)	
T_{20}	temperatur efter gran.)	
)	
F_{20}	fukthalt efter gran.)	
)	
UK_A	mängd underkorn i prov)	
)	
PK_A	mängd produktkorn i prov)	Mätställe A.
)	
$ÖK_A$	mängd överkorn i prov)	
)	
TOT_A	mängd granuler i prov)	
)	
UK_B	mängd underkorn i prov)	
)	
PK_B	mängd produktkorn i prov)	Mätställe B.
)	
$ÖK_B$	mängd överkorn i prov)	
)	
TOT_B	mängd granuler i prov)	
)	
U	störnsignal, läge på produktut- matningsficka nr 1.		

UK _A	PK _A	ÖK _A	TOT _A	PROV NR	UK _B	PK _B	ÖK _B	TOT _B
X ₁₁ (%)	X ₁₂ (%)	X ₁₃ (%)			X ₂₁ (%)	X ₂₂ (%)	X ₂₃ (%)	
992.1	492.0	139.2	1623.3	1	107.2	487.5	482.2	1076.9
61.1	30.3	8.6			10.0	45.3	44.8	
1383.0	376.2	107.4	1866.6	2	145.6	601.1	456.2	1202.9
74.1	20.2	5.8			12.1	50.0	37.9	
1311.3	553.5	113.1	1977.9	3	123.1	593.6	554.1	1270.8
66.3	28.0	5.7			9.7	46.7	43.6	
1077.5	438.9	131.3	1647.7	4	96.8	507.2	555.2	1159.2
65.4	26.6	8.0			8.4	43.8	47.9	
1112.0	616.1	102.7	1830.8	5	110.8	520.0	502.1	1132.9
60.7	33.7	5.6			9.8	45.9	44.3	
1051.6	691.8	115.6	1859.0	6	123.8	622.2	528.3	1274.3
56.6	37.2	6.2			9.7	48.8	41.5	
997.1	719.5	127.4	1844.0	7	171.1	630.7	480.8	1282.6
54.1	39.0	6.9			13.3	49.2	37.5	
1152.8	557.7	76.5	1787.0	8	153.5	594.5	415.9	1163.9
64.5	31.2	4.3			13.2	51.1	35.7	
943.3	737.4	161.2	1841.9	9	177.9	625.7	428.9	1232.5
51.2	40.0	8.8			14.4	50.8	34.8	
1318.1	405.0	148.7	1871.8	10	212.0	597.0	375.8	1184.8
70.4	21.6	7.9			17.9	50.4	31.7	
1251.5	423.8	184.2	1859.5	11	180.4	590.5	354.7	1125.6
67.3	22.8	9.9			16.0	52.5	31.5	
858.0	450.5	202.0	1510.5	12	124.4	594.3	479.5	1198.2
56.8	29.8	13.4			10.4	49.6	40.0	
986.3	360.4	179.4	1526.1	13	107.5	443.7	482.0	1033.2
64.6	23.6	11.8			10.4	42.9	46.7	
882.7	356.1	169.2	1408.0	14	128.0	537.5	519.8	1185.3
62.7	25.3	12.0			10.8	45.3	43.9	
764.3	584.6	174.6	1523.5	15	99.6	475.3	580.0	1154.9
50.2	38.4	11.5			8.6	41.2	50.2	
1070.0	524.4	230.0	1824.4	16	97.7	481.6	605.2	1184.5
58.6	28.7	12.6			8.2	40.7	51.1	
712.0	617.4	158.2	1487.6	17	88.2	374.7	603.5	1066.4
47.9	41.5	10.6			8.3	35.1	56.6	
732.0	676.2	141.4	1549.6	18	122.0	561.1	536.4	1219.5
47.2	43.6	9.1			10.0	46.0	44.0	
749.0	335.6	138.4	1223.0	19	80.5	387.3	638.5	1106.3
61.2	27.4	11.3			7.3	35.0	57.7	
1081.8	479.5	182.1	1743.4	20	190.8	669.1	434.8	1294.7
62.1	27.5	10.4			14.7	51.7	33.6	
761.8	400.2	168.4	1330.4	21	201.4	589.5	348.2	1139.1
57.3	30.1	12.7			17.7	51.8	30.6	
694.0	285.5	126.3	1105.8	22	133.8	597.0	666.1	1396.9
62.8	25.8	11.4			9.6	42.7	47.7	
978.8	717.6	178.4	1874.8	23	161.2	549.8	473.7	1184.7
52.2	38.3	9.5			13.6	46.4	40.0	
1107.3	555.6	98.9	1761.8	24	120.5	449.4	512.3	1082.2
62.9	31.5	5.6			11.1	41.5	47.3	
1096.0	686.6	132.2	1914.8	25	136.9	625.3	601.6	1363.8
57.2	35.9	6.9			10.0	45.8	44.1	
886.5	576.5	136.3	1599.3	26	276.6	647.5	425.9	1350.0
55.4	36.0	8.5			20.5	48.0	31.5	
1053.7	393.9	125.1	1572.7	27	167.4	671.7	556.4	1395.5
67.0	25.0	8.0			12.0	48.1	39.9	
1414.0	334.9	132.3	1881.2	28	159.6	625.2	536.8	1321.6
75.2	17.8	7.0			12.1	47.3	40.6	
1253.4	307.3	125.9	1686.6	29	113.1	608.0	635.4	1356.5
74.3	18.2	7.5			8.3	44.8	46.8	
1222.3	345.8	130.4	1698.5	30	80.9	368.2	589.9	1039.0
72.0	20.4	7.7			7.8	35.4	56.8	

UK _A	PK _A	ÖK _A	TOT _A	PROV	UK _B	PK _B	ÖK _B	TOT _B
X ₁₁ (%)	X ₁₂ (%)	X ₁₃ (%)		NR	X ₂₁ (%)	X ₂₂ (%)	X ₂₃ (%)	
848.4	607.4	135.4	1591.2	31	84.7	404.5	643.7	1132.9
53.3	38.2	8.5			7.5	35.7	56.8	
1098.3	598.4	193.0	1889.7	32	182.5	555.6	511.3	1249.4
58.1	31.7	10.2			14.6	44.5	40.9	
1134.2	310.4	112.7	1557.3	33	215.2	628.5	577.0	1420.7
72.8	19.9	7.2			15.1	44.2	40.6	
1184.4	346.2	113.2	1643.8	34	297.0	727.6	483.6	1508.2
72.1	21.1	6.9			19.7	48.2	32.1	
1182.8	781.8	190.5	2155.1	35	166.4	674.6	553.3	1394.3
54.9	36.3	8.8			11.9	48.4	39.7	
1226.4	307.1	75.7	1609.2	36	236.1	625.5	474.6	1336.2
76.2	19.1	4.7			17.7	46.8	35.5	
1106.3	877.3	144.1	2127.7	37	246.7	762.3	550.1	1559.1
52.0	41.2	6.8			15.8	48.9	35.3	
1236.3	775.8	152.2	2164.3	38	243.9	641.2	485.3	1370.4
57.1	35.8	7.0			17.8	46.8	35.4	
854.9	445.6	140.0	1440.5	39	150.6	601.5	573.2	1325.3
59.3	30.9	9.7			11.4	45.4	43.3	
1151.4	350.0	114.4	1615.8	40	283.4	658.4	459.0	1400.8
71.3	21.7	7.1			20.2	47.0	32.8	
1208.8	529.4	153.2	1891.4	41	189.5	650.4	504.0	1343.9
63.9	28.0	8.1			14.1	48.4	37.5	
1042.9	665.0	135.6	1843.5	42	150.8	588.6	694.9	1434.3
56.6	36.1	7.4			10.5	41.0	48.4	
1416.6	703.8	134.9	2255.3	43	112.3	552.8	653.3	1318.4
62.8	31.2	6.0			8.5	41.9	49.6	
1089.2	790.3	185.6	2065.1	44	205.3	727.4	553.6	1486.3
52.7	38.3	9.0			13.8	48.9	37.2	
1225.5	643.5	106.0	1975.0	45	194.1	674.0	487.2	1355.3
62.1	32.6	5.4			14.3	49.7	35.9	
1206.9	527.2	160.7	1894.8	46	180.7	610.0	389.1	1179.8
63.7	27.8	8.5			15.3	51.7	33.0	
1259.6	765.0	138.4	2163.0	47	205.3	601.6	412.0	1218.9
58.2	35.4	6.4			16.8	49.4	33.8	
1155.3	755.1	116.7	2027.1	48	208.6	605.6	376.5	1190.7
57.0	37.3	5.8			17.5	50.9	31.6	
1085.6	733.5	123.1	1942.2	49	237.5	570.4	380.4	1188.3
55.9	37.8	6.3			20.0	48.0	32.0	
1526.7	517.7	180.4	2224.8	50	180.2	578.8	365.9	1124.9
68.6	23.3	8.1			16.0	51.5	32.5	
1447.0	555.2	130.6	2132.8	51	241.5	649.4	395.3	1286.2
67.8	26.0	6.1			18.8	50.5	30.7	
1448.6	488.6	168.6	2105.8	52	74.6	420.0	416.8	911.4
68.8	23.2	8.0			8.2	46.1	45.7	
1155.6	782.0	173.3	2110.9	53	151.9	516.1	510.3	1178.3
54.7	37.0	8.2			12.9	43.8	43.3	
1028.2	464.0	115.8	1608.0	54	109.1	452.9	351.3	913.3
63.9	28.9	7.2			11.9	49.6	38.5	
1341.0	326.8	94.7	1762.5	55	61.3	356.9	649.6	1067.8
76.1	18.5	5.4			5.7	33.4	60.8	
1508.7	372.5	100.3	1981.5	56	191.2	607.2	495.2	1293.6
76.1	18.8	5.1			14.8	46.9	38.3	
1174.0	873.0	135.7	2182.7	57	156.3	548.3	431.5	1136.1
53.8	40.0	6.2			13.8	48.3	38.0	
1261.1	838.3	141.1	2240.5	58	157.6	565.6	492.3	1215.5
56.3	37.4	6.3			13.0	46.5	40.5	
1514.0	437.6	105.4	2057.0	59	222.0	634.0	458.0	1314.0
73.6	21.3	5.1			16.9	48.2	34.9	
1045.0	621.7	111.5	1778.2	60	310.8	530.3	395.9	1237.0
58.8	35.0	6.3			25.1	42.9	32.0	
1131.2	649.5	102.1	1882.8	61	184.7	625.0	421.7	1231.4
60.1	34.5	5.4			15.0	50.8	34.2	
1417.4	828.8	95.4	2341.6	62	270.8	597.9	406.4	1275.1
60.5	35.4	4.1			21.2	46.9	31.9	

UK _A	PK _A	ÖK _A	TOT _A	PROV NR	UK _B	PK _B	ÖK _B	TOT _B
X ₁₁ (%)	X ₁₂ (%)	X ₁₃ (%)			X ₂₁ (%)	X ₂₂ (%)	X ₂₃ (%)	
1224.8	765.5	108.2	2098.5	63	170.9	633.4	410.5	1214.8
58.4	36.5	5.2			14.1	52.1	33.8	
1312.8	786.5	125.4	2224.7	64	136.7	586.0	455.6	1178.3
59.0	35.4	5.6			11.6	49.7	38.7	
1285.1	419.9	138.1	1843.1	65	160.8	616.1	427.3	1204.2
69.7	22.8	7.5			13.4	51.2	35.5	
1509.7	467.3	86.5	2063.5	66	233.5	671.5	350.1	1255.1
73.2	22.6	4.2			18.6	53.5	27.9	
1183.5	524.4	120.4	1828.3	67	207.4	653.7	513.0	1374.1
64.7	28.7	6.6			15.1	47.6	37.3	
1331.5	394.0	119.1	1844.6	68	147.7	647.7	579.3	1374.7
72.2	21.4	6.5			10.7	47.1	42.1	
1488.6	449.7	146.5	2084.8	69	202.3	558.3	530.6	1291.2
71.4	21.6	7.0			15.7	43.2	41.1	
1210.9	738.2	133.6	2082.7	70	179.0	602.6	416.7	1198.3
58.1	35.4	6.4			14.9	50.3	34.8	
1314.8	640.8	107.0	2062.6	71	120.8	550.2	531.4	1202.4
63.7	31.1	5.2			10.0	45.8	44.2	
1478.6	598.6	83.9	2161.1	72	177.2	660.7	459.3	1297.2
68.4	27.7	3.9			13.7	50.9	35.4	
1383.4	658.7	90.0	2132.1	73	229.5	704.1	375.8	1309.4
64.9	30.9	4.2			17.5	53.8	28.7	
1571.5	460.5	141.3	2173.3	74	243.3	721.9	355.6	1320.8
72.3	21.2	6.5			18.4	54.7	26.9	
1239.7	830.7	162.2	2232.6	75	229.3	680.7	378.8	1288.8
55.5	37.2	7.3			17.8	52.8	29.4	
1121.1	604.1	197.6	1922.8	76	182.4	631.2	416.6	1230.2
58.3	31.4	10.3			14.8	51.3	33.9	
1285.7	526.6	105.9	1918.2	77	146.1	644.3	433.3	1223.7
67.0	27.5	5.5			11.9	52.7	35.4	
1544.6	477.9	135.3	2157.8	78	167.9	741.0	452.9	1361.8
71.6	22.1	6.3			12.3	54.4	33.3	
1176.8	721.8	91.2	1989.8	79	143.2	644.9	588.9	1377.0
59.1	36.3	4.6			10.4	46.8	42.8	
1155.3	813.0	86.4	2054.7	80	213.6	621.8	396.6	1232.0
56.2	39.6	4.2			17.3	50.5	32.2	
1129.6	733.7	94.2	1957.5	81	92.4	514.4	632.9	1239.7
57.7	37.5	4.8			7.5	41.5	51.1	
1258.4	583.9	148.0	1990.3	82	144.0	653.7	551.5	1349.2
63.2	29.3	7.4			10.7	48.5	40.9	
1333.8	550.6	127.3	2011.7	83	119.9	568.2	574.6	1262.7
66.3	27.4	6.3			9.5	45.0	45.5	
873.5	628.0	111.3	1612.8	84	114.2	572.7	542.6	1229.5
54.2	38.9	6.9			9.3	46.6	44.1	
837.7	669.7	84.6	1592.0	85	200.8	662.1	421.0	1283.9
52.6	42.1	5.3			15.6	51.6	32.8	
1072.0	487.3	79.5	1638.8	86	192.3	545.1	468.8	1206.2
65.4	29.7	4.9			15.9	45.2	38.9	
773.6	417.3	142.7	1333.6	87	219.3	709.5	424.8	1353.6
58.0	31.3	10.7			16.2	52.4	31.4	
1300.0	613.7	121.2	2034.9	88	217.2	700.5	382.6	1300.3
63.9	30.2	6.0			16.7	53.9	29.4	
905.0	656.7	98.4	1660.1	89	121.0	535.8	548.2	1205.0
54.5	39.6	5.9			10.0	44.5	45.5	
1105.0	420.4	96.7	1622.1	90	192.6	542.6	411.7	1146.9
68.1	25.9	6.0			16.8	47.3	35.9	
858.6	654.8	110.3	1623.7	91	219.0	580.7	492.9	1292.6
52.9	40.3	6.8			16.9	44.9	38.1	
1087.4	441.6	145.5	1674.5	92	78.9	462.7	705.6	1247.2
64.9	26.4	8.7			6.3	37.1	56.6	
1177.4	756.1	107.2	2040.7	93	119.5	596.6	706.3	1422.4
57.7	37.1	5.3			8.4	41.9	49.7	
1035.1	697.6	115.2	1847.9	94	81.4	494.2	687.2	1262.8
56.0	37.8	6.2			6.4	39.1	54.4	

UK _A	PK _A	ÖK _A	TOT _A	PROV NR	UK _B	PK _B	ÖK _B	TOT _B
X ₁₁ (%)	X ₁₂ (%)	X ₁₃ (%)			X ₂₁ (%)	X ₂₂ (%)	X ₂₃ (%)	
1094.7	704.0	152.7	1951.4	95	127.0	519.2	730.4	1376.6
56.1	36.1	7.8			9.2	37.7	53.1	
1376.0	414.9	117.0	1907.9	96	200.6	698.9	511.0	1410.5
72.1	21.7	6.1			14.2	49.5	36.2	
905.3	614.1	95.9	1615.3	97	214.9	677.2	461.3	1353.4
56.0	38.0	5.9			15.9	50.0	34.1	
1481.0	412.9	81.4	1975.3	98	200.8	750.0	513.7	1464.5
75.0	20.9	4.1			13.7	51.2	35.1	
1168.2	504.5	84.5	1757.2	99	347.6	578.8	435.8	1362.2
66.5	28.7	4.8			25.5	42.5	32.0	
1256.4	439.3	94.6	1790.3	100	204.6	722.7	529.0	1456.3
70.2	24.5	5.3			14.0	49.6	36.3	
1254.7	330.7	71.1	1656.5	101	306.5	616.5	425.0	1348.0
75.7	20.0	4.3			22.7	45.7	31.5	
1235.4	820.5	92.8	2148.7	102	222.2	739.2	444.2	1405.6
57.5	38.2	4.3			15.8	52.6	31.6	
1022.4	572.0	75.4	1669.8	103	222.3	765.9	486.8	1475.0
61.2	34.3	4.5			15.1	51.9	33.0	
1238.1	598.1	86.4	1922.6	104	170.0	544.8	491.4	1206.2
64.4	31.1	4.5			14.1	45.2	40.7	
1343.9	557.1	94.9	1995.9	105	151.7	655.2	547.8	1354.7
67.3	27.9	4.8			11.2	48.4	40.4	
1192.8	549.0	132.4	1874.2	106	87.8	456.5	704.5	1248.8
63.6	29.3	7.1			7.0	36.6	56.4	
1331.4	472.4	129.6	1933.4	107	139.7	649.5	651.7	1440.9
68.9	24.4	6.7			9.7	45.1	45.2	
1392.5	425.2	103.0	1920.7	108	86.0	499.1	777.7	1362.8
72.5	22.1	5.4			6.3	36.6	57.1	
1210.9	758.3	137.1	2106.3	109	187.3	615.7	438.4	1241.4
57.5	36.0	6.5			15.1	49.6	35.3	
1469.2	454.3	195.4	2118.9	110	203.4	672.2	510.9	1386.5
69.3	21.4	9.2			14.7	48.5	36.8	
1359.1	477.3	122.8	1959.2	111	371.4	650.0	405.4	1426.8
69.4	24.4	6.3			26.0	45.6	28.4	
1343.8	702.0	124.6	2170.4	112	307.8	770.8	455.6	1534.2
61.9	32.3	5.7			20.1	50.2	29.7	
1151.5	765.5	112.0	2029.0	113	235.8	694.4	455.9	1386.1
56.8	37.7	5.5			17.0	50.1	32.9	
1320.9	708.6	179.0	2208.5	114	217.5	736.5	522.9	1476.9
59.8	32.1	8.1			14.7	49.9	35.4	
1357.3	646.8	98.0	2102.1	115	199.1	657.5	431.2	1287.8
64.6	30.8	4.7			15.5	51.1	33.5	
1102.5	811.9	162.1	2076.5	116	170.7	672.7	474.2	1317.6
53.1	39.1	7.8			13.0	51.1	36.0	
1352.4	530.7	110.6	1993.7	117	65.2	408.5	901.4	1375.1
67.8	26.6	5.5			4.7	29.7	65.6	
1433.4	453.7	123.3	2010.4	118	85.4	461.4	710.9	1257.7
71.3	22.6	6.1			6.8	36.7	56.5	
1279.3	541.5	84.8	1905.6	119	112.2	609.2	770.8	1492.2
67.1	28.4	4.5			7.5	40.8	51.7	
1416.8	424.7	135.9	1977.4	120	196.6	648.8	575.5	1420.9
71.6	21.5	6.9			13.8	45.7	40.5	
1496.5	413.4	116.4	2026.3	121	169.5	659.4	520.6	1349.5
73.9	20.4	5.7			12.6	48.9	38.6	

MÄTNINGAR VID SUPRA 24.1 -73

E4K1	T	X11(T)	X12(T)	X13(T)
	9.12000	108.481	53.7978	15.2208
	9.14000	125.956	34.2623	9.78142
	9.16000	125.965	53.1700	10.8646
	9.18000	116.075	47.2809	14.1444
	9.20000	124.514	68.9865	11.4996
	9.22000	115.257	75.8226	12.6700
	9.24000	108.821	78.5246	13.9041
	9.26000	127.408	61.6372	8.45481
	9.28000	98.5858	77.0669	16.8473
	9.30000	116.191	35.7009	13.1080
	9.32000	111.050	37.6053	16.3447
	9.34000	92.3039	48.4649	21.7312
	9.36000	105.022	38.3756	19.1026
	9.38000	101.874	41.0982	19.5277
	9.40000	90.3013	69.0699	20.6288
	9.42000	98.2378	48.1457	21.1165
	9.44000	93.3315	80.9310	20.7374
	9.46000	92.1141	85.0923	17.7936
	9.48000	106.409	47.6783	19.6623
	9.50000	110.141	48.8191	18.5401
	9.52000	101.638	53.3941	22.4677
	9.54000	112.183	46.1504	20.4161
	9.56000	101.806	74.6384	18.5556
	9.58000	119.416	59.9183	10.6658
	10.0000	105.891	66.3364	12.7726
	10.0200	97.0034	63.0823	14.9143
	10.0400	103.849	38.8215	12.3294
	10.0600	124.022	29.3741	11.6040
	10.0800	126.336	30.9741	12.6900
	10.1000	129.534	36.6465	13.8193
	10.1200	113.301	81.1165	18.0823
	10.1400	122.053	66.4994	21.4478
	10.1600	131.096	35.8775	13.0264
	10.1800	130.595	38.1730	12.4817
	10.2000	101.535	67.1120	16.3531
	10.2200	129.560	32.4428	7.99714
	10.2400	102.690	81.4338	13.3758
	10.2600	112.817	70.7945	13.8888
	10.2800	97.9233	51.0406	16.0361
	10.3000	117.577	35.7408	11.6821
	10.3200	123.027	53.8805	15.5922
	10.3400	113.143	72.1454	14.7111
	10.3600	130.335	64.7535	12.4115
	10.3800	110.761	80.3656	18.8737
	10.4000	128.755	67.6082	11.1367
	10.4200	116.244	50.7779	15.4780
	10.4400	116.468	70.7351	12.7970
	10.4600	115.410	75.4318	11.6579
	10.4800	111.791	75.5329	12.6763
	10.5000	114.942	38.9764	13.5819
	10.5200	113.641	43.6028	10.2567
	10.5400	113.505	38.2843	13.2107
	10.5600	104.014	70.3870	15.5986
	10.5800	126.287	56.9901	14.2229
	11.0000	133.149	32.4482	9.40284
	11.0200	137.051	33.8380	9.11128
	11.0400	114.297	84.9922	13.2113
	11.0600	121.016	80.4439	13.5401

11.0800	134.324	38.8245	9.35124
11.1000	121.942	72.5468	13.0111
11.1200	123.165	70.7178	11.1167
11.1400	121.063	70.7892	8.14827
11.1600	112.354	70.2210	9.92542
11.1800	110.644	66.2870	10.5688
11.2000	111.560	36.4516	11.9885
11.2200	117.059	36.2336	6.70705
11.2400	106.808	47.3259	10.8658
11.2600	122.712	36.3114	10.9764
11.2800	124.954	37.7482	12.2973
11.3000	123.549	75.3193	13.6313
11.3200	137.051	66.7953	11.1534
11.3400	143.680	58.1676	8.15279
11.3600	116.792	55.6100	7.59814
11.3800	131.965	38.6699	11.8655
11.4000	116.607	78.1363	15.2567
11.4200	102.035	54.9810	17.9842
11.4400	115.621	47.3561	9.52338
11.4600	118.111	36.5435	10.3460
11.4800	107.933	66.2019	8.36466
11.5000	104.020	73.2005	7.77924
11.5200	106.757	69.3407	8.90268
11.5400	105.905	49.1400	12.4554
11.5600	117.686	48.5815	11.2322
11.5800	115.091	82.7443	14.6647
12.0000	113.132	90.4432	11.4253
12.0200	117.745	53.5233	8.73200
12.0400	101.515	54.7597	18.7256
12.0600	110.202	52.0238	10.2742
12.0800	102.215	74.1710	11.1138
12.1000	107.291	40.8193	9.38922
12.1200	92.5386	70.5734	11.8880
12.1400	102.279	41.5360	13.6854
12.1600	108.180	69.4706	9.84956
12.1800	109.229	73.6144	12.1565
12.2000	111.495	71.7024	15.5525
12.2200	128.015	38.5999	10.8850
12.2400	116.294	78.8867	12.3192
12.2600	133.082	37.1031	7.31459
12.2800	134.624	58.1387	9.73779
12.3000	120.180	42.0210	9.04890
12.3200	121.190	31.9420	6.86749
12.3400	99.1793	65.8706	7.45009
12.3600	104.089	58.2345	7.67637
12.3800	107.865	52.1074	7.52731
12.4000	122.883	50.9398	8.67741
12.4200	120.922	55.6557	13.4223
12.4400	120.510	42.7589	11.7306
12.4600	130.499	39.8480	9.65273
12.4800	120.728	75.6032	13.6690
12.5000	124.808	38.5927	16.5992
12.5200	123.132	43.2425	11.1255
12.5400	109.125	57.0068	10.1183
12.5600	99.3162	66.0239	9.65993
12.5800	104.667	56.1490	14.1838
13.0000	113.802	54.2308	8.21678
13.0200	94.2421	69.4015	13.8564
13.0400	121.253	47.5812	9.91611
13.0600	128.339	40.6218	11.0396
13.0800	121.680	51.5044	8.06570
13.1000	130.761	39.1968	12.5426
13.1200	135.706	37.4882	10.5554

MÄTNINGAR VID SUPRA 24.1 -73

E4K1	I	X21(T)	X22(T)	X23(T)
	9.12000	20.1081	91.4430	90.4489
	9.14000	24.4502	100.941	76.6085
	9.16000	19.6884	94.9396	88.6220
	9.18000	17.9120	93.8530	102.735
	9.20000	20.2450	95.0128	91.7422
	9.22000	19.3817	97.4095	82.7088
	9.24000	29.2815	107.936	82.2826
	9.26000	27.3000	105.732	73.9680
	9.28000	33.8479	119.048	81.6041
	9.30000	41.7362	117.531	73.9832
	9.32000	36.9823	121.054	72.7141
	9.34000	23.5677	112.591	90.8417
	9.36000	23.0981	95.3362	103.566
	9.38000	21.0040	88.2002	85.2958
	9.40000	16.7739	80.0466	97.6795
	9.42000	15.8366	78.0643	98.0991
	9.44000	15.8800	67.4629	108.657
	9.46000	19.2079	88.3405	84.4517
	9.48000	15.2443	73.3430	120.913
	9.50000	29.0319	101.809	66.1586
	9.52000	39.6930	116.182	68.6251
	9.54000	21.5034	95.9457	107.051
	9.56000	27.6559	94.3250	81.2691
	9.58000	23.0489	85.9599	97.9912
	10.0000	20.7789	94.9091	91.3119
	10.0200	42.6681	99.8829	65.6990
	10.0400	26.9303	108.059	89.5104
	10.0600	26.5074	103.837	89.1553
	10.0800	17.8842	96.1415	100.474
	10.1000	15.9231	72.4705	116.106
	10.1200	13.7939	65.8754	104.831
	10.1400	28.4106	86.4929	79.5965
	10.1600	30.2192	88.2563	81.0245
	10.1800	41.2555	101.069	67.1756
	10.2000	28.8810	117.086	96.0328
	10.2200	42.3185	112.114	85.0671
	10.2400	33.1497	102.432	73.9183
	10.2600	37.5087	98.6084	74.6329
	10.2800	24.3746	97.3529	92.7725
	10.3000	40.3614	93.7684	65.3701
	10.3200	32.0087	109.860	85.1313
	10.3400	23.8664	93.1550	109.979
	10.3600	16.5673	81.5531	96.3796
	10.3800	26.8659	95.1889	72.4451
	10.4000	31.7938	110.402	79.8040
	10.4200	35.1506	118.660	75.6895
	10.4400	39.9180	116.974	80.1083
	10.4600	41.9583	121.812	75.7300
	10.4800	47.3681	113.763	75.8687
	10.5000	33.9607	109.081	68.9580
	10.5200	43.0915	115.874	70.5344
	10.5400	18.9897	106.912	106.098
	10.5600	29.5859	100.522	99.3922
	10.5800	23.5330	97.6911	75.7759
	11.0000	11.3093	65.8450	119.846
	11.0200	28.7480	91.2959	74.4561
	11.0400	30.1979	105.934	83.3679
	11.0600	29.4325	105.628	91.9392

11.0800	34.5502	98.6705	71.2793
11.1000	52.6375	89.8123	67.0502
11.1200	36.2980	122.828	82.8743
11.1400	51.9258	114.647	77.9271
11.1600	29.8245	110.537	71.6381
11.1800	27.4955	117.866	91.6381
11.2000	31.3134	119.976	83.2103
11.2200	42.6964	122.786	64.0172
11.2400	33.5076	105.612	82.8804
11.2600	23.3148	102.241	91.4440
11.2800	29.6901	81.9376	77.8723
11.3000	28.3072	95.2956	65.8972
11.3200	19.5406	89.0002	85.9592
11.3400	27.2521	101.611	70.6370
11.3600	35.8429	109.965	58.6918
11.3800	44.5780	132.268	65.1538
11.4000	43.5008	129.137	71.8627
11.4200	35.5103	122.884	81.1053
11.4400	25.0126	110.306	74.1819
11.4600	26.1381	115.356	70.5058
11.4800	24.9066	112.167	102.427
11.5000	35.4555	103.213	65.8317
11.5200	15.0559	83.8177	103.126
11.5400	20.7590	94.2371	79.5040
11.5600	20.1305	95.3975	96.4720
11.5800	19.9235	99.9139	94.6626
12.0000	33.5475	110.616	70.3361
12.0200	31.4070	89.0273	76.5657
12.0400	33.5366	108.501	64.9628
12.0600	40.4233	130.371	71.2060
12.0800	24.5515	108.716	111.232
12.1000	35.1815	99.1147	75.2037
12.1200	34.6476	91.8715	77.9809
12.1400	12.7789	74.9402	114.281
12.1600	18.2308	91.0167	107.752
12.1800	12.0540	73.1829	101.763
12.2000	18.8664	77.1294	108.504
12.2200	26.5950	92.6581	67.7469
12.2400	34.4564	108.580	73.9634
12.2600	30.7816	114.971	78.7475
12.2800	58.2438	96.9836	73.0226
12.3000	29.0821	102.725	75.1926
12.3200	53.8876	108.391	74.7218
12.3400	32.7230	108.861	65.4165
12.3600	34.9652	120.467	76.5679
12.3800	28.2934	90.6720	81.7846
12.4000	21.2203	91.6516	76.6281
12.4200	14.2021	73.8413	113.957
12.4400	19.3422	89.9266	90.2312
12.4600	12.4318	72.1476	112.421
12.4800	31.9861	105.146	74.8677
12.5000	32.2007	106.418	80.8818
12.5200	53.2319	93.1630	58.1051
12.5400	42.0311	105.255	62.2137
12.5600	40.7432	119.983	78.7736
12.5800	30.8526	104.473	74.1740
13.0000	32.0032	105.686	69.3108
13.0200	26.6557	105.046	74.0488
13.0400	9.69631	60.7507	134.053
13.0600	13.8859	75.0229	115.591
13.0800	15.4705	83.9987	106.281
13.1000	28.6411	94.5187	83.8402
13.1200	26.1566	101.756	80.3371

¹¹
 MÄTNINGAR VID SUPRA 24.1 -73

E4K2	T	U(T)	M10(T)	P10(T+22)
	9.12000	1.00000	177.500	37.6000
	9.14000	0.000000	170.000	49.6000
	9.16000	1.00000	190.000	50.8000
	9.18000	0.000000	177.500	51.6000
	9.20000	0.000000	205.000	50.4000
	9.22000	0.000000	203.750	44.8000
	9.24000	0.000000	201.250	44.8000
	9.26000	0.000000	197.500	43.2000
	9.28000	1.00000	192.500	38.4000
	9.30000	1.00000	165.000	40.8000
	9.32000	1.00000	165.000	53.6000
	9.34000	1.00000	162.500	56.8000
	9.36000	1.00000	162.500	55.2000
	9.38000	0.000000	162.500	49.6000
	9.40000	1.00000	180.000	40.8000
	9.42000	0.000000	167.500	37.6000
	9.44000	0.000000	195.000	34.4000
	9.46000	1.00000	195.000	37.6000
	9.48000	1.00000	173.750	45.6000
	9.50000	1.00000	177.500	47.2000
	9.52000	1.00000	177.500	47.2000
	9.54000	0.000000	178.750	42.4000
	9.56000	0.000000	195.000	37.6000
	9.58000	0.000000	190.000	41.6000
	10.0000	0.000000	185.000	48.0000
	10.0200	1.00000	175.000	44.0000
	10.0400	1.00000	155.000	46.4000
	10.0600	1.00000	165.000	44.0000
	10.0800	1.00000	170.000	40.0000
	10.1000	0.000000	180.000	42.4000
	10.1200	0.000000	212.500	47.2000
	10.1400	1.00000	210.000	43.2000
	10.1600	1.00000	180.000	39.2000
	10.1800	0.000000	181.250	35.2000
	10.2000	1.00000	185.000	33.2000
	10.2200	0.000000	170.000	33.2000
	10.2400	0.000000	197.500	37.6000
	10.2600	1.00000	197.500	40.0000
	10.2800	1.00000	165.000	37.6000
	10.3000	0.000000	165.000	36.0000
	10.3200	0.000000	192.500	39.2000
	10.3400	0.000000	200.000	49.6000
	10.3600	0.000000	207.500	51.2000
	10.3800	0.000000	210.000	44.0000
	10.4000	1.00000	207.500	39.2000
	10.4200	0.000000	182.500	44.0000
	10.4400	0.000000	200.000	50.4000
	10.4600	0.000000	202.500	44.8000
	10.4800	1.00000	200.000	41.2000
	10.5000	1.00000	167.500	46.4000
	10.5200	1.00000	167.500	46.4000
	10.5400	0.000000	165.000	41.6000
	10.5600	0.000000	190.000	39.2000
	10.5800	1.00000	197.500	37.6000
	11.0000	1.00000	175.000	36.8000
	11.0200	0.000000	180.000	40.0000
	11.0400	0.000000	212.500	51.2000
	11.0600	1.00000	215.000	52.8000

11.0800	0.000000	182.500	52.4000
11.1000	0.000000	207.500	50.4000
11.1200	0.000000	205.000	42.4000
11.1400	0.000000	200.000	39.6000
11.1600	0.000000	192.500	38.4000
11.1800	1.000000	187.500	48.0000
11.2000	1.000000	160.000	53.2000
11.2200	1.000000	160.000	49.6000
11.2400	1.000000	165.000	56.0000
11.2600	1.000000	170.000	58.4000
11.2800	0.000000	175.000	56.8000
11.3000	0.000000	212.500	48.0000
11.3200	0.000000	215.000	40.8000
11.3400	1.000000	210.000	38.4000
11.3600	1.000000	180.000	42.4000
11.3800	0.000000	182.500	49.6000
11.4000	1.000000	210.000	44.0000
11.4200	1.000000	175.000	41.6000
11.4400	1.000000	172.500	50.4000
11.4600	0.000000	165.000	56.8000
11.4800	0.000000	182.500	56.0000
11.5000	0.000000	185.000	48.8000
11.5200	1.000000	185.000	50.4000
11.5400	1.000000	167.500	46.4000
11.5600	0.000000	177.500	47.2000
11.5800	0.000000	212.500	43.2000
12.0000	1.000000	215.000	38.4000
12.0200	1.000000	180.000	37.6000
12.0400	1.000000	175.000	44.0000
12.0600	0.000000	172.500	44.8000
12.0800	1.000000	187.500	49.6000
12.1000	0.000000	157.500	48.0000
12.1200	1.000000	175.000	52.0000
12.1400	0.000000	157.500	51.2000
12.1600	0.000000	187.500	41.6000
12.1800	0.000000	195.000	39.6000
12.2000	1.000000	198.750	37.6000
12.2200	0.000000	177.500	36.8000
12.2400	1.000000	207.500	35.2000
12.2600	0.000000	177.500	42.4000
12.2800	1.000000	202.500	49.6000
12.3000	1.000000	171.250	46.4000
12.3200	0.000000	160.000	52.8000
12.3400	0.000000	172.500	54.4000
12.3600	0.000000	170.000	52.0000
12.3800	0.000000	167.500	48.8000
12.4000	0.000000	182.500	46.4000
12.4200	1.000000	190.000	40.8000
12.4400	1.000000	175.000	36.8000
12.4600	0.000000	180.000	36.0000
12.4800	1.000000	210.000	38.4000
12.5000	1.000000	180.000	47.2000
12.5200	0.500000	177.500	51.2000
12.5400	0.500000	176.250	56.0000
12.5600	0.500000	175.000	59.2000
12.5800	0.500000	175.000	56.0000
13.0000	0.500000	176.250	50.4000
13.0200	0.500000	177.500	45.6000
13.0400	0.500000	178.750	41.6000
13.0600	0.500000	180.000	38.4000
13.0800	0.500000	181.250	35.2000
13.1000	0.500000	182.500	34.4000
13.1200	0.500000	183.750	36.8000

MÄTNINGAR VID SUPRA 24.1 -73

E4K2	T	T10(T)	T20(T)	TSL(T)
	9.12000	63.5000	82.5000	126.000
	9.14000	62.5000	82.5000	126.000
	9.16000	62.8000	82.2000	126.000
	9.18000	62.0000	82.2000	126.000
	9.20000	62.2000	82.2000	126.000
	9.22000	63.0000	82.2000	126.000
	9.24000	64.5000	82.2000	126.000
	9.26000	65.8000	82.1000	126.000
	9.28000	66.0000	82.1000	126.000
	9.30000	65.2000	82.0000	126.000
	9.32000	63.0000	82.0000	126.000
	9.34000	61.5000	81.9000	126.000
	9.36000	61.0000	82.0000	126.000
	9.38000	60.7000	82.2000	126.000
	9.40000	60.7000	82.5000	126.000
	9.42000	60.5000	82.6000	126.000
	9.44000	60.0000	82.7000	126.000
	9.46000	62.5000	82.7000	126.000
	9.48000	62.0000	82.6000	125.800
	9.50000	61.0000	82.6000	125.800
	9.52000	60.8000	82.5000	125.800
	9.54000	60.7000	82.2000	125.800
	9.56000	61.0000	82.2000	125.800
	9.58000	62.7000	82.2000	125.800
	10.0000	63.5000	82.2000	125.800
	10.0200	63.5000	82.1000	125.800
	10.0400	62.0000	82.1000	125.600
	10.0600	60.2000	82.0000	125.600
	10.0800	58.5000	82.1000	125.600
	10.1000	58.5000	82.1000	125.700
	10.1200	59.5000	82.1000	125.700
	10.1400	61.8000	82.2000	125.700
	10.1600	61.5000	82.1000	125.700
	10.1800	61.2000	82.0000	125.700
	10.2000	61.4000	81.9000	125.700
	10.2200	61.8000	81.9000	125.700
	10.2400	62.0000	82.0000	125.700
	10.2600	64.0000	82.0000	125.700
	10.2800	62.8000	82.0000	125.700
	10.3000	61.0000	82.0000	125.700
	10.3200	61.2000	82.0000	125.700
	10.3400	62.2000	82.0000	125.700
	10.3600	64.2000	82.0000	125.700
	10.3800	64.5000	82.0000	125.700
	10.4000	64.8000	81.9000	125.600
	10.4200	64.8000	81.9000	125.600
	10.4400	63.8000	81.8000	125.600
	10.4600	65.0000	81.8000	125.600
	10.4800	65.8000	81.8000	125.500
	10.5000	64.8000	81.8000	125.500
	10.5200	63.0000	81.7000	125.500
	10.5400	62.0000	81.7000	125.500
	10.5600	62.5000	81.8000	125.500
	10.5800	62.8000	81.9000	125.500
	11.0000	62.7000	82.0000	125.500
	11.0200	61.8000	82.0000	125.500
	11.0400	64.0000	81.9000	125.500
	11.0600	65.0000	81.8000	125.500

11.0800	64.2000	81.8000	125.500
11.1000	64.0000	81.8000	125.500
11.1200	64.5000	81.8000	125.500
11.1400	65.8000	81.7000	125.400
11.1600	66.0000	81.6000	125.200
11.1800	66.0000	81.6000	125.000
11.2000	64.8000	81.6000	124.900
11.2200	63.8000	81.6000	124.700
11.2400	62.2000	81.6000	124.500
11.2600	62.0000	81.7000	124.400
11.2800	62.2000	81.8000	124.400
11.3000	63.4000	81.8000	124.400
11.3200	64.0000	81.8000	124.300
11.3400	65.8000	81.6000	124.300
11.3600	65.0000	81.4000	124.300
11.3800	64.0000	81.2000	124.200
11.4000	64.5000	81.2000	124.200
11.4200	64.0000	81.2000	124.100
11.4400	63.0000	81.4000	124.100
11.4600	62.5000	81.6000	124.100
11.4800	62.2000	81.7000	124.000
11.5000	63.8000	81.8000	124.000
11.5200	64.1000	81.8000	124.000
11.5400	63.8000	81.7000	124.000
11.5600	62.2000	81.9000	124.000
11.5800	63.0000	81.7000	124.000
12.0000	64.0000	81.5000	124.000
12.0200	64.2000	81.5000	124.000
12.0400	64.0000	81.4000	124.000
12.0600	62.8000	81.2000	124.000
12.0800	63.0000	80.9000	124.000
12.1000	63.8000	81.0000	124.000
12.1200	63.0000	81.0000	124.000
12.1400	63.0000	81.1000	124.000
12.1600	61.0000	81.2000	123.900
12.1800	62.0000	81.3000	123.900
12.2000	63.7000	81.4000	123.800
12.2200	63.8000	81.4000	123.800
12.2400	63.0000	81.1000	123.800
12.2600	63.5000	80.9000	123.800
12.2800	63.0000	80.7000	123.900
12.3000	64.0000	80.5000	123.900
12.3200	63.0000	80.6000	123.900
12.3400	62.0000	80.5000	123.900
12.3600	62.8000	80.6000	123.900
12.3800	63.0000	80.7000	123.900
12.4000	62.0000	80.8000	123.900
12.4200	62.2000	80.9000	123.900
12.4400	62.2000	80.8000	123.900
12.4600	61.0000	80.8000	123.900
12.4800	62.0000	80.6000	123.900
12.5000	63.0000	80.4000	124.000
12.5200	63.5000	80.5000	124.000
12.5400	63.8000	80.4000	124.000
12.5600	63.8000	80.2000	124.100
12.5800	64.0000	80.2000	124.100
13.0000	62.8000	80.2000	124.100
13.0200	63.5000	80.3000	124.100
13.0400	64.5000	80.4000	124.100
13.0600	64.2000	80.5000	124.100
13.0800	63.8000	80.4000	124.100
13.1000	62.5000	80.4000	124.100
13.1200	62.0000	80.4000	124.100

MÄTNINGAR VID SUPRA 24.1 -73

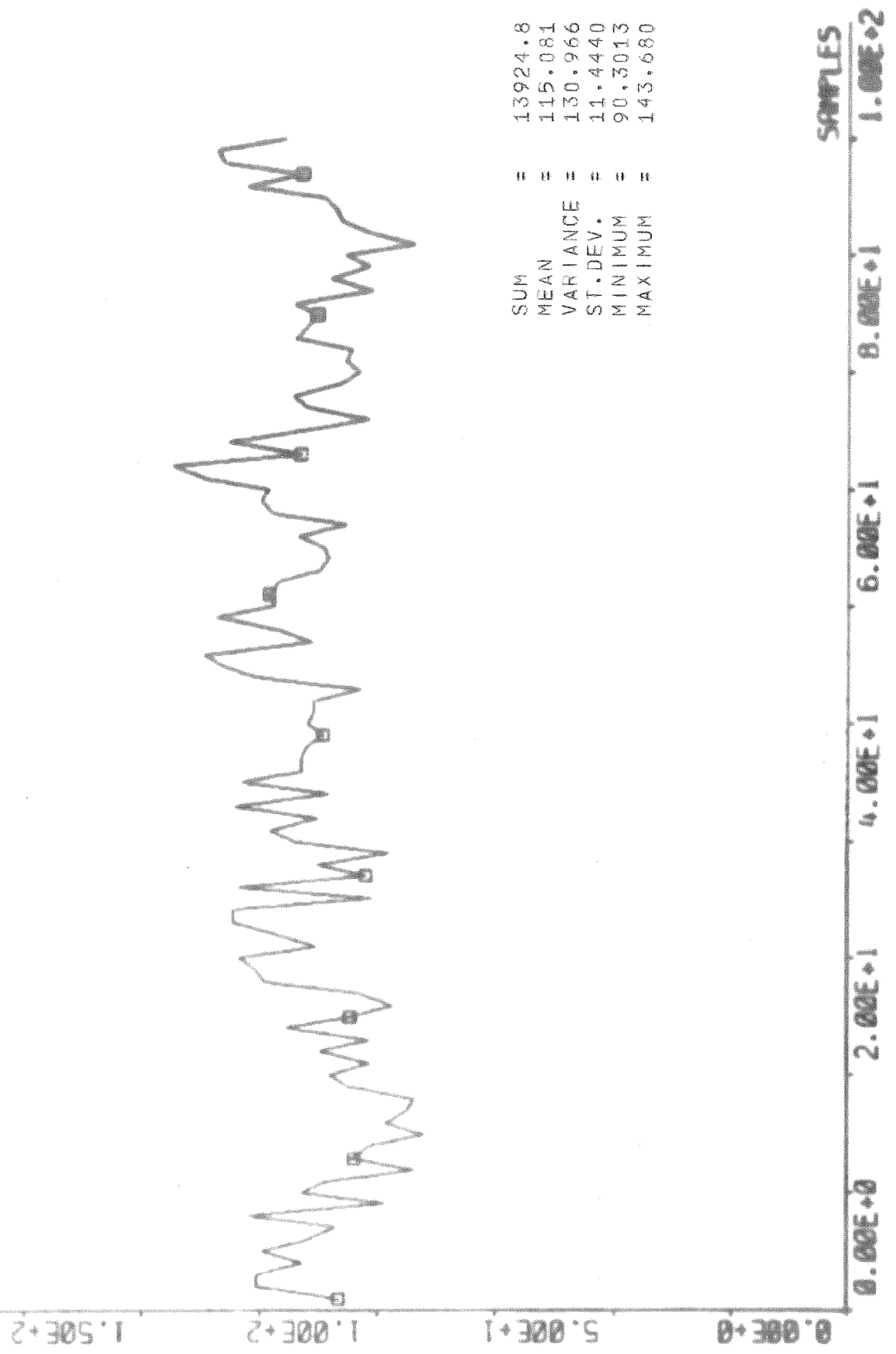
E4K2	T	F10(T)	F20(T)	FSL(T)
	9.12000	0.410000	1.65000	7.85000
	9.14000	0.410000	1.63900	7.82400
	9.16000	0.410000	1.62800	7.79800
	9.18000	0.410000	1.61700	7.77200
	9.20000	0.410000	1.60600	7.74600
	9.22000	0.410000	1.59500	7.72000
	9.24000	0.410000	1.58400	7.69400
	9.26000	0.410000	1.57300	7.66800
	9.28000	0.410000	1.56200	7.64200
	9.30000	0.410000	1.55100	7.61600
	9.32000	0.410000	1.54000	7.59000
	9.34000	0.411000	1.53200	7.59800
	9.36000	0.412000	1.52400	7.60600
	9.38000	0.413000	1.51600	7.61400
	9.40000	0.414000	1.50800	7.62200
	9.42000	0.415000	1.50000	7.63000
	9.44000	0.416000	1.49200	7.63800
	9.46000	0.417000	1.48400	7.64600
	9.48000	0.418000	1.47600	7.65400
	9.50000	0.419000	1.46800	7.66200
	9.52000	0.420000	1.46000	7.67000
	9.54000	0.417000	1.48400	7.65800
	9.56000	0.414000	1.50800	7.64600
	9.58000	0.411000	1.53200	7.63400
	10.0000	0.408000	1.55600	7.62200
	10.0200	0.405000	1.58000	7.61000
	10.0400	0.402000	1.60400	7.59800
	10.0600	0.399000	1.62800	7.58600
	10.0800	0.396000	1.65200	7.57400
	10.1000	0.393000	1.67600	7.56200
	10.1200	0.390000	1.70000	7.55000
	10.1400	0.386000	1.69500	7.63900
	10.1600	0.382000	1.69000	7.72800
	10.1800	0.378000	1.68500	7.81700
	10.2000	0.374000	1.68000	7.90600
	10.2200	0.370000	1.67500	7.99500
	10.2400	0.366000	1.67000	8.08400
	10.2600	0.362000	1.66500	8.17300
	10.2800	0.358000	1.66000	8.26200
	10.3000	0.354000	1.65500	8.35100
	10.3200	0.350000	1.65000	8.44000
	10.3400	0.346000	1.65400	8.33600
	10.3600	0.342000	1.65800	8.23200
	10.3800	0.338000	1.66200	8.12800
	10.4000	0.334000	1.66600	8.02400
	10.4200	0.330000	1.67000	7.92000
	10.4400	0.326000	1.67400	7.81600
	10.4600	0.322000	1.67800	7.71200
	10.4800	0.318000	1.68200	7.60800
	10.5000	0.314000	1.68600	7.50400
	10.5200	0.310000	1.69000	7.40000
	10.5400	0.317000	1.68400	7.43300
	10.5600	0.324000	1.67800	7.46600
	10.5800	0.331000	1.67200	7.49900
	11.0000	0.338000	1.66600	7.53200
	11.0200	0.345000	1.66000	7.56500
	11.0400	0.352000	1.65400	7.59800
	11.0600	0.359000	1.64800	7.63100

11.0800	0.366000	1.64200	7.66400
11.1000	0.373000	1.63600	7.69700
11.1200	0.380000	1.63000	7.73000
11.1400	0.386000	1.66200	7.77700
11.1600	0.392000	1.69400	7.82400
11.1800	0.398000	1.72600	7.87100
11.2000	0.404000	1.75800	7.91800
11.2200	0.410000	1.79000	7.96500
11.2400	0.416000	1.82200	8.01200
11.2600	0.422000	1.85400	8.05900
11.2800	0.428000	1.88600	8.10600
11.3000	0.434000	1.91800	8.15300
11.3200	0.440000	1.95000	8.20000
11.3400	0.435000	1.94100	8.13900
11.3600	0.430000	1.93200	8.07800
11.3800	0.425000	1.92300	8.01700
11.4000	0.420000	1.91400	7.95600
11.4200	0.415000	1.90500	7.89500
11.4400	0.410000	1.89600	7.83400
11.4600	0.405000	1.88700	7.77300
11.4800	0.400000	1.87800	7.71200
11.5000	0.395000	1.86900	7.65100
11.5200	0.390000	1.86000	7.59000
11.5400	0.389000	1.85500	7.65100
11.5600	0.388000	1.85000	7.71200
11.5800	0.387000	1.84500	7.77300
12.0000	0.386000	1.84000	7.83400
12.0200	0.385000	1.83500	7.89500
12.0400	0.384000	1.83000	7.95600
12.0600	0.383000	1.82500	8.01700
12.0800	0.382000	1.82000	8.07800
12.1000	0.381000	1.81500	8.13900
12.1200	0.380000	1.81000	8.20000
12.1400	0.384000	1.80200	8.20100
12.1600	0.388000	1.79400	8.20200
12.1800	0.392000	1.78600	8.20300
12.2000	0.396000	1.77800	8.20400
12.2200	0.400000	1.77000	8.20500
12.2400	0.404000	1.76200	8.20600
12.2600	0.408000	1.75400	8.20700
12.2800	0.412000	1.74600	8.20800
12.3000	0.416000	1.73800	8.20900
12.3200	0.420000	1.73000	8.21000
12.3400	0.414000	1.75100	8.20700
12.3600	0.408000	1.77200	8.20400
12.3800	0.402000	1.79300	8.20100
12.4000	0.396000	1.81400	8.19800
12.4200	0.390000	1.83500	8.19500
12.4400	0.384000	1.85600	8.19200
12.4600	0.378000	1.87700	8.18900
12.4800	0.372000	1.89800	8.18600
12.5000	0.366000	1.91900	8.18300
12.5200	0.360000	1.94000	8.18000
12.5400	0.367000	1.94300	8.20000
12.5600	0.374000	1.94600	8.22000
12.5800	0.381000	1.94900	8.24000
13.0000	0.388000	1.95200	8.26000
13.0200	0.395000	1.95500	8.28000
13.0400	0.402000	1.95800	8.30000
13.0600	0.409000	1.96100	8.32000
13.0800	0.416000	1.96400	8.34000
13.1000	0.423000	1.96700	8.36000
13.1200	0.430000	1.97000	8.38000

REKONSTRUKTIONER AV M20				
MM	T	REC A. M20(T) över granulatorn	REC C. M20(T) över recirk. delen	REC B. M20(T) genom LP-filter
	9.12000	202.000	202.000	202.000
	9.14000	202.000	202.000	202.000
	9.16000	203.250	202.000	204.500
	9.18000	214.500	202.609	207.000
	9.20000	207.000	208.400	210.750
	9.22000	199.500	207.718	213.250
	9.24000	219.500	203.716	214.500
	9.26000	207.000	211.403	214.500
	9.28000	234.500	209.259	213.250
	9.30000	233.250	221.551	209.500
	9.32000	230.750	227.248	204.500
	9.34000	227.000	228.954	197.000
	9.36000	222.000	228.002	194.500
	9.38000	194.500	225.079	198.250
	9.40000	194.500	210.187	204.500
	9.42000	192.000	202.547	214.500
	9.44000	192.000	197.411	223.250
	9.46000	192.000	194.776	227.000
	9.48000	209.500	193.424	227.000
	9.50000	197.000	201.253	222.000
	9.52000	224.500	199.182	213.250
	9.54000	224.500	211.512	209.500
	9.56000	203.250	217.837	208.250
	9.58000	207.000	210.733	207.000
	10.0000	207.000	208.915	207.000
	10.0200	208.250	207.982	208.250
	10.0400	224.500	208.113	209.500
	10.0600	219.500	216.093	210.750
	10.0800	214.500	217.752	213.250
	10.1000	204.500	216.168	218.250
	10.1200	184.500	210.486	223.250
	10.1400	194.500	197.831	224.500
	10.1600	199.500	196.209	223.250
	10.1800	209.500	197.812	220.750
	10.2000	242.000	203.504	218.250
	10.2200	239.500	222.251	213.250
	10.2400	209.500	230.652	207.000
	10.2600	210.750	220.351	202.000
	10.2800	214.500	215.675	202.000
	10.3000	199.500	215.103	204.500
	10.3200	227.000	207.504	208.250
	10.3400	227.000	216.999	213.250
	10.3600	194.500	221.869	219.500
	10.3800	194.500	208.540	223.250
	10.4000	222.000	201.703	224.500
	10.4200	229.500	211.588	224.500
	10.4400	237.000	220.311	220.750
	10.4600	239.500	228.438	217.000
	10.4800	237.000	233.825	212.000
	10.5000	212.000	235.371	207.000
	10.5200	229.500	223.990	202.000
	10.5400	232.000	226.673	200.750
	10.5600	229.500	229.267	202.000
	10.5800	197.000	229.381	208.250
	11.0000	197.000	213.611	214.500
	11.0200	194.500	205.522	218.250
	11.0400	219.500	200.154	222.000
	11.0600	227.000	209.576	224.500

11.0800	204.500	218.061	223.250
11.1000	209.500	211.457	222.000
11.1200	242.000	210.504	220.750
11.1400	244.500	225.842	219.500
11.1600	212.000	234.929	213.250
11.1800	237.000	223.762	207.000
11.2000	234.500	230.209	203.250
11.2200	229.500	232.299	202.000
11.2400	222.000	230.936	202.000
11.2600	217.000	226.584	204.500
11.2800	189.500	221.917	209.500
11.3000	189.500	206.130	217.000
11.3200	194.500	198.031	223.250
11.3400	199.500	196.311	224.500
11.3600	204.500	197.864	222.000
11.3800	242.000	201.096	214.500
11.4000	244.500	221.016	207.000
11.4200	239.500	232.453	199.500
11.4400	209.500	235.885	194.500
11.4600	212.000	223.035	192.000
11.4800	239.500	217.661	194.500
11.5000	204.500	228.297	202.000
11.5200	202.000	216.708	209.500
11.5400	194.500	209.545	214.500
11.5600	212.000	202.218	217.000
11.5800	214.500	206.982	218.250
12.0000	214.500	210.643	217.000
12.0200	197.000	212.521	212.000
12.0400	207.000	204.963	205.750
12.0600	242.000	205.955	197.000
12.0800	244.500	223.509	192.000
12.1000	209.500	233.732	189.500
12.1200	204.500	221.931	189.500
12.1400	202.000	213.442	195.750
12.1600	217.000	207.870	204.500
12.1800	187.000	212.316	212.000
12.2000	204.500	199.987	219.500
12.2200	187.000	202.185	222.000
12.2400	217.000	194.790	222.000
12.2600	224.500	205.606	212.000
12.2800	228.250	214.807	205.750
12.3000	207.000	221.354	202.000
12.3200	237.000	214.364	202.000
12.3400	207.000	225.388	203.250
12.3600	232.000	216.433	204.500
12.3800	200.750	224.014	205.750
12.4000	189.500	212.684	207.000
12.4200	202.000	201.394	208.250
12.4400	199.500	201.689	209.500
12.4600	197.000	200.623	208.250
12.4800	212.000	198.859	208.250
12.5000	219.500	205.258	207.000
12.5200	204.500	212.194	207.000
12.5400	209.500	208.447	205.750
12.5600	239.500	208.960	205.750
12.5800	209.500	223.833	204.500
13.0000	207.000	216.853	204.500
13.0200	205.750	212.054	204.500
13.0400	204.500	208.984	204.500
13.0600	204.500	206.800	204.500
13.0800	205.750	205.680	204.500
13.1000	207.000	205.714	204.500
13.1200	208.250	206.340	204.500

PLOT KA(1) X11 UNDERKORN FÖRE GRANULATORN

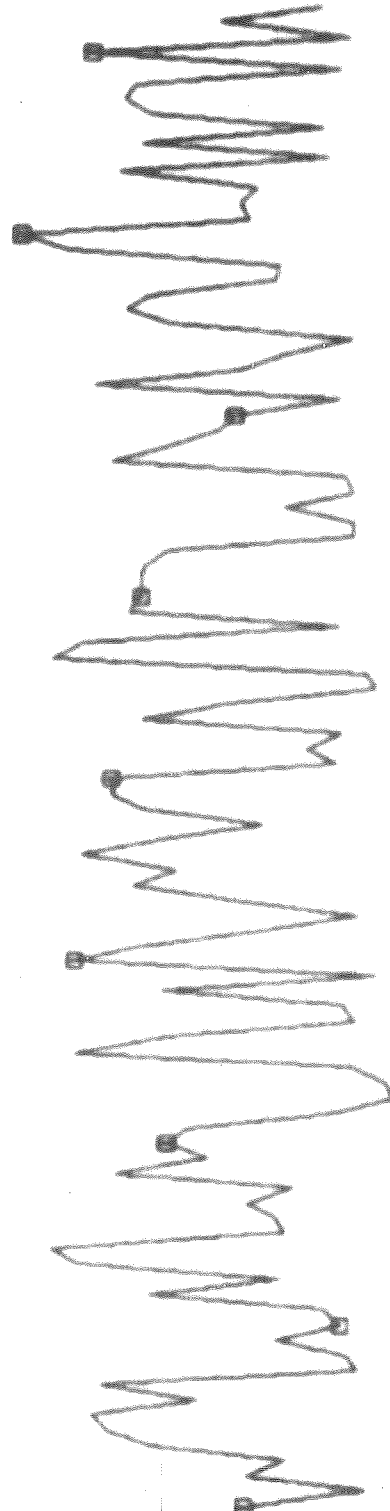


X11 Underkorn före granulatorn.

PLOT KA(2) X12 PRODUKTKORN FÖRE GRANULATORN

SUM	=	6787.92
MEAN	=	56.0985
VARIANCE	=	251.529
ST.DEV.	=	15.8597
MINIMUM	=	29.3741
MAXIMUM	=	90.4432

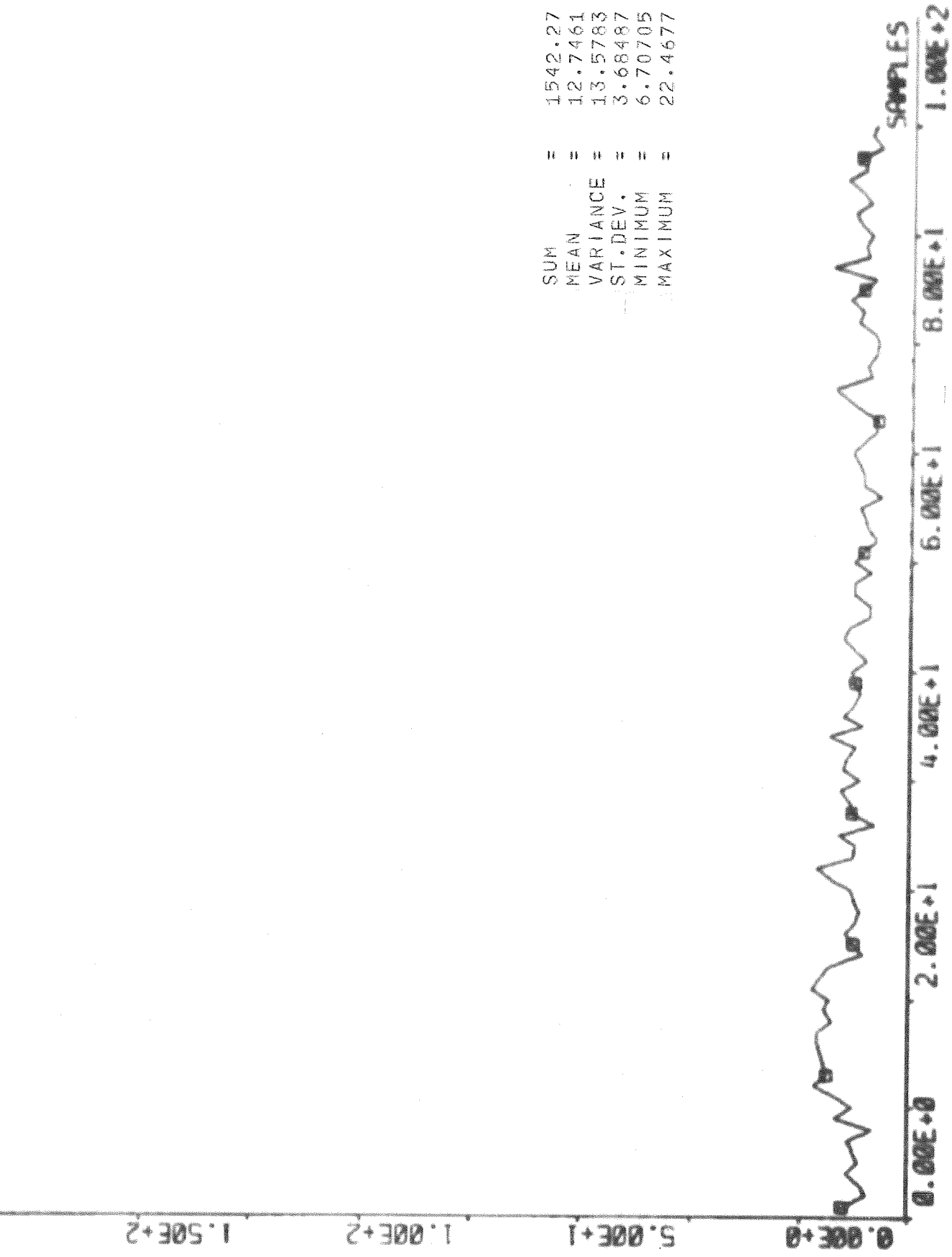
0.00E+0 5.00E+1 1.00E+2 1.50E+2



0.00E+0 2.00E+1 4.00E+1 6.00E+1 8.00E+1 1.00E+2 SAMPLES

X12 Produktkorn före granulatorn.

PLOT KA(3) - X13 ÖVERKORN FÖRE GRANULATORN

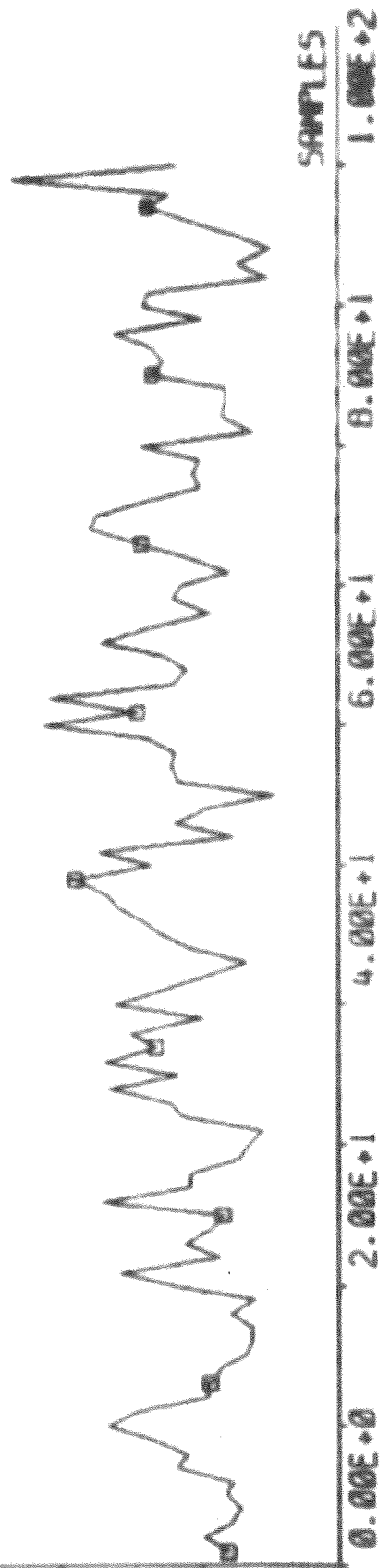


X13 Överkorn före granulatorn.

PLOT KA(4) X21 UNDERKORN EFTER GRANULATORN

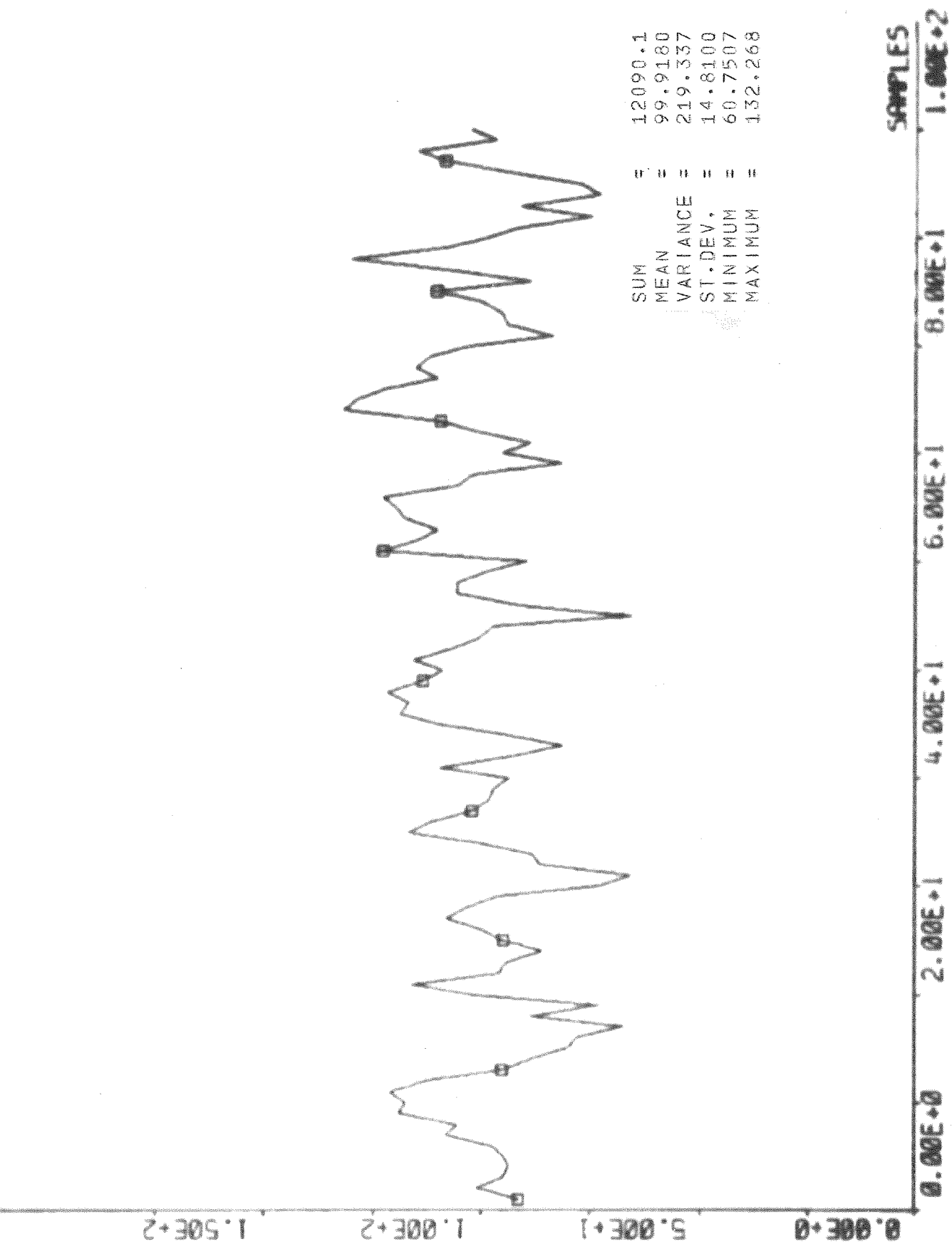
0.00E+0 5.00E+1 1.00E+2 1.50E+2

SUM	=	3487.96
MEAN	=	28.8261
VARIANCE	=	101.374
ST.DEV.	=	10.0685
MINIMUM	=	9.69631
MAXIMUM	=	58.2438



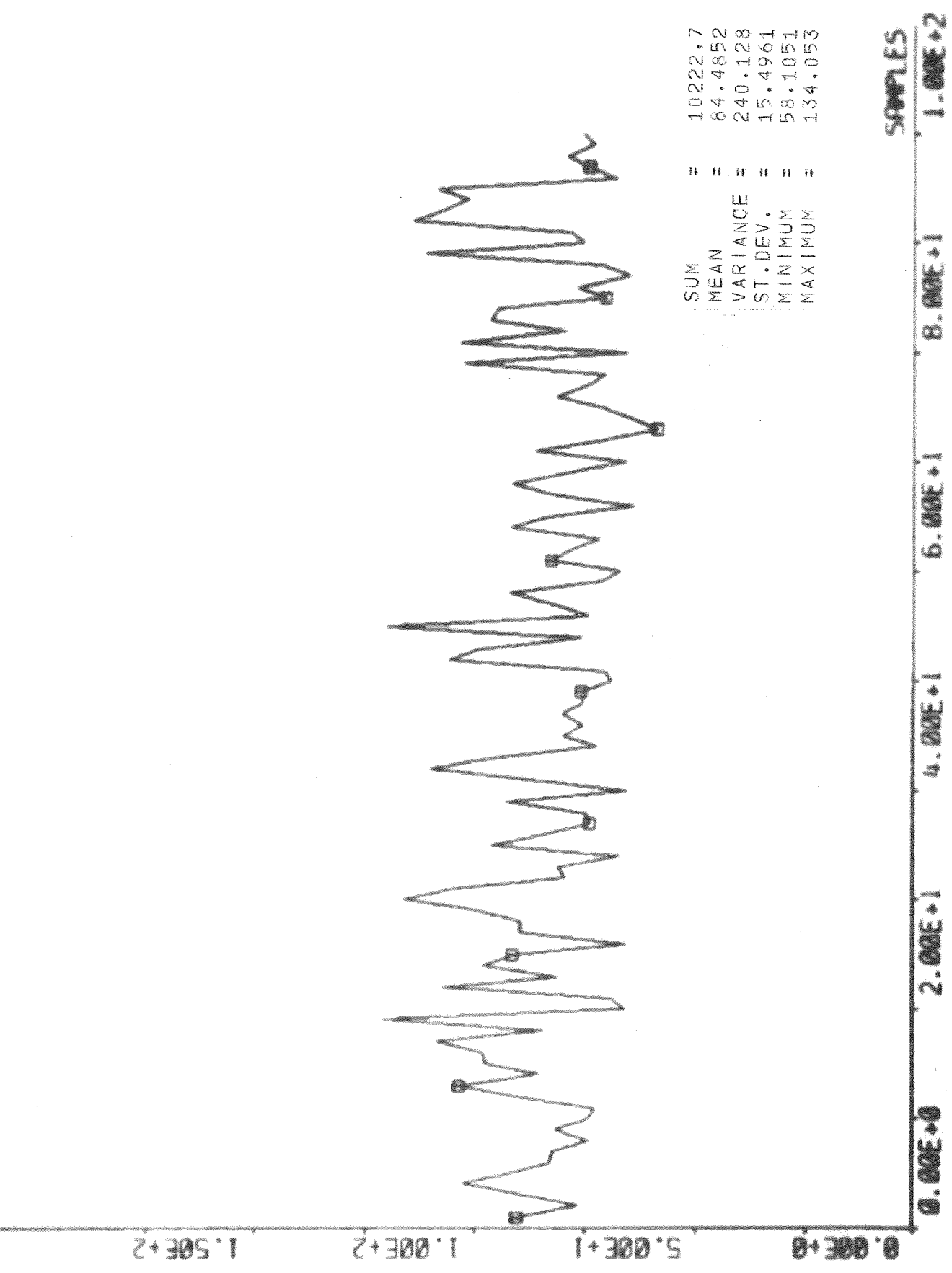
X21 Underkorn efter granulatorn.

PLOT KA(6) X22 PRODUKTKORN EFTER GRANULATORN



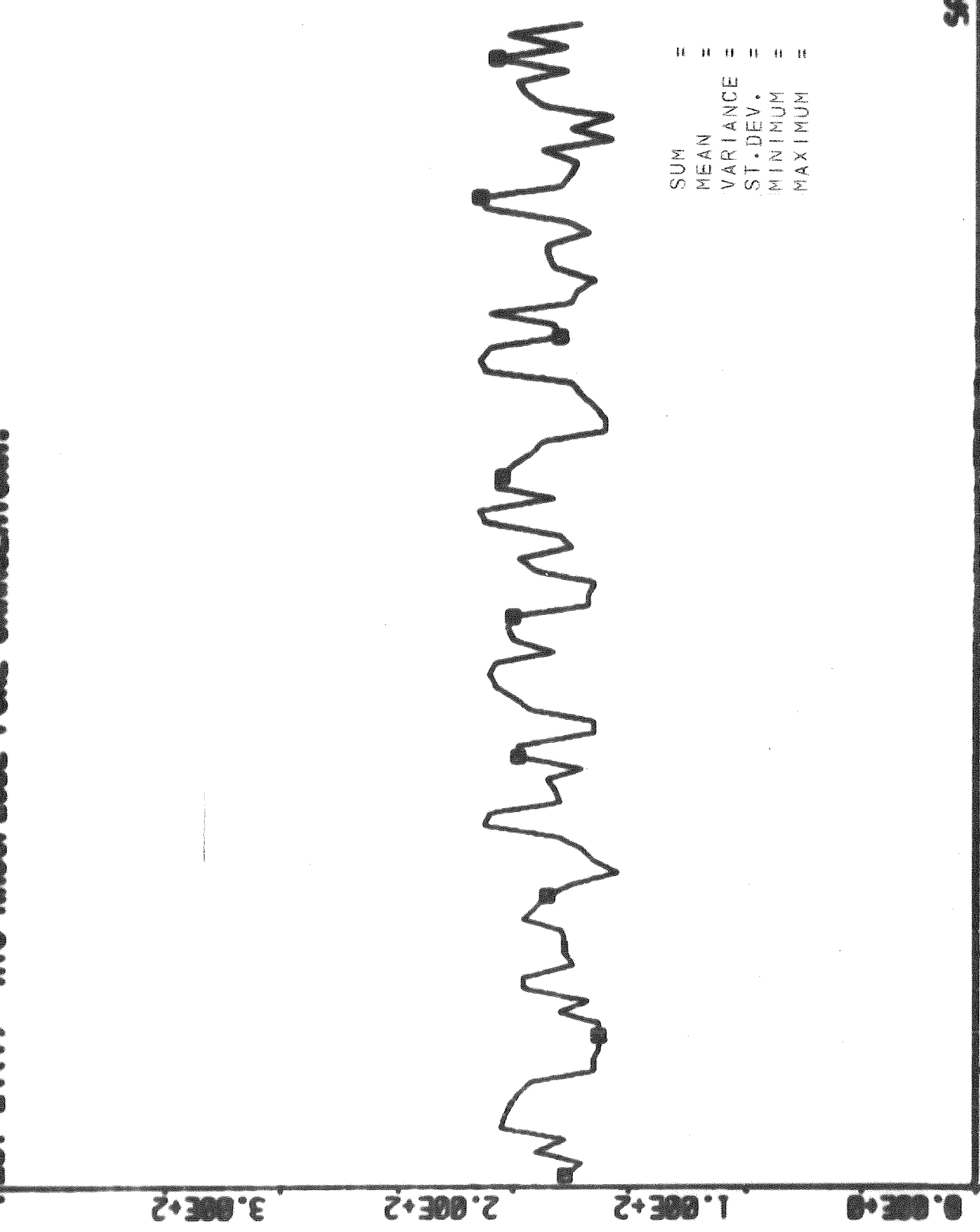
X22 Produktkorn efter granulatorn.

PLOT KR(6) X23 ÖVERKORN EFTER GRANULATORN



X23 Överkorn efter granulatore.

PLOT E4(1) M10 MASSFLODE FÖRE GRANULATORN.



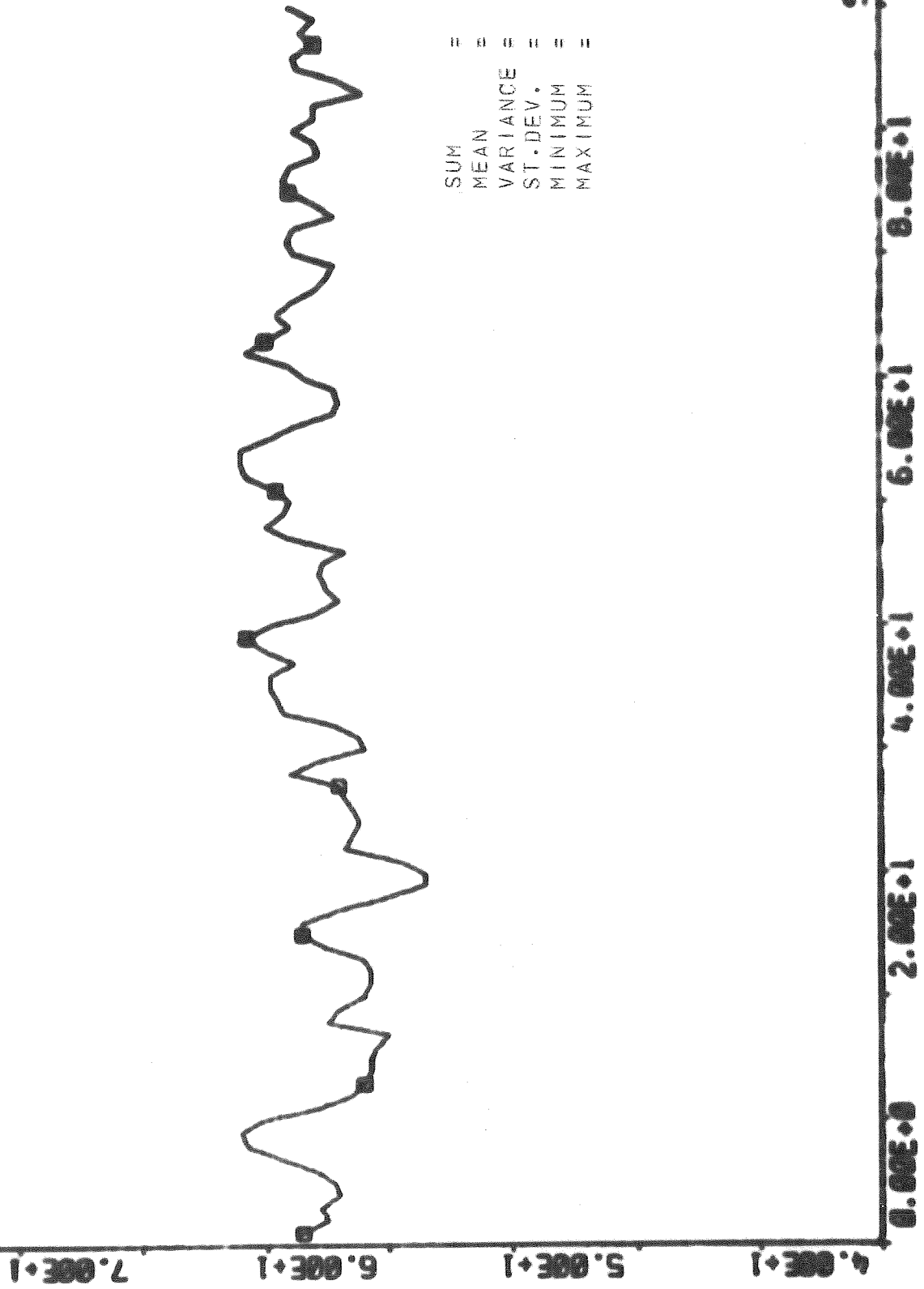
SUM	=	22255.0
MEAN	=	183.926
VARIANCE	=	244.145
ST. DEV.	=	15.6251
MINIMUM	=	155.000
MAXIMUM	=	215.000

0.00E+0	2.00E+1	4.00E+1	6.00E+1	1.00E+2
				SAMPLES
				1.00E+2

M10 Massflöde före granulatorn.

PLOT E4(2) T10 TEMPERATUR FÖRE GRANULATOR.

7



0.00E+0 2.00E+1 4.00E+1 6.00E+1 8.00E+1 1.00E+2

SAMPLES

T10 Temperatur före granulator.

PLOT EY(3) EY(4) TSL TEMP. PA SLAMMET. T20 TEMP. EFTER GRANULATOR.

1.20E+2
1.00E+2
0.00E+1
0.00E+1

TSL
Temperatur
på slammet

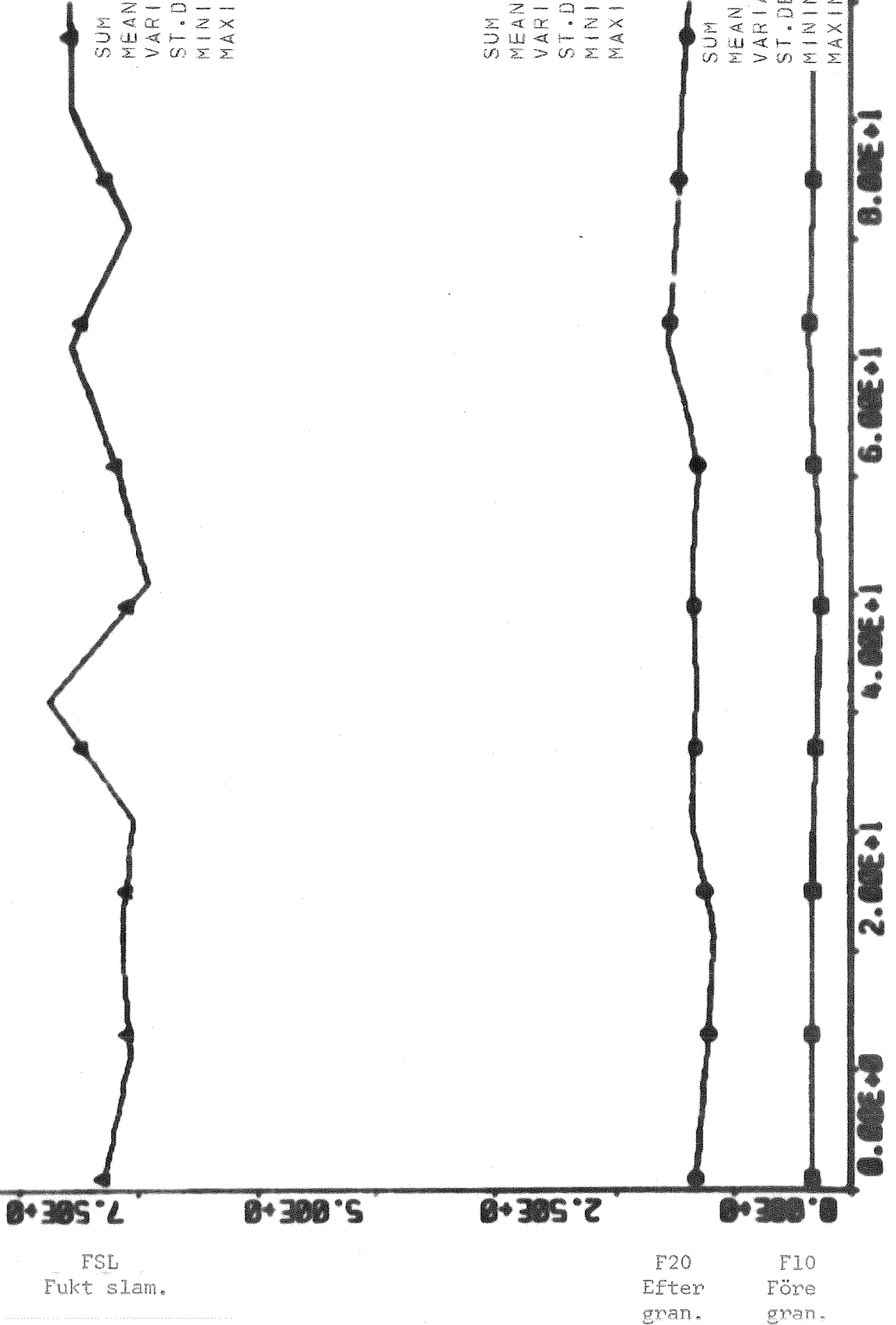
T 20
Temperatur
efter gra-
nulator.

SUM = 15117.9
MEAN = 124.941
VARIANCE = 0.733799
ST.DEV. = 0.856621
MINIMUM = 123.800
MAXIMUM = 126.000

SUM = 9872.80
MEAN = 81.5934
VARIANCE = 0.411500
ST.DEV. = 0.641483
MINIMUM = 80.2000
MAXIMUM = 82.7000

0.00E+0 2.00E+1 4.00E+1 6.00E+1 8.00E+1
SAMPLES
1.00E+2

PLOT E4(0 7 0) - FSL, F20-F10. FUKT SLAM. EFTER GR., FÖRE GR.



FSL
Fukt slam.

F20
Efter
gran.

F10
Före
gran.

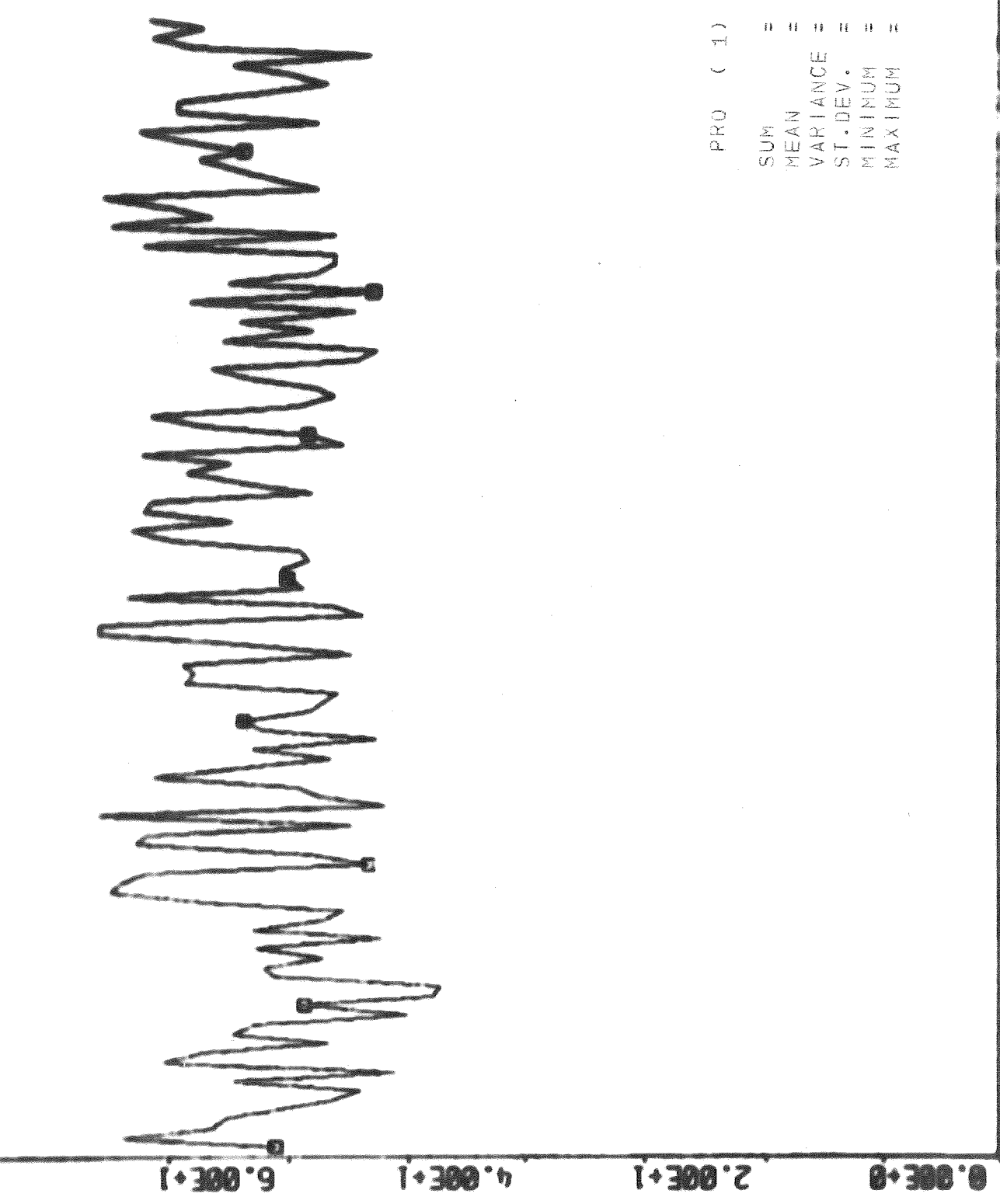
SUM = 956.865
 MEAN = \bar{x} 7.90798
 VARIANCE = 0.753880E-01
 ST.DEV. = 0.274569
 MINIMUM = 7.40000
 MAXIMUM = 8.44000

SUM = 209.510
 MEAN = \bar{x} 1.73149
 VARIANCE = 0.196631E-01
 ST.DEV. = 0.140225
 MINIMUM = 1.46000
 MAXIMUM = 1.97000

SUM = 47.1200
 MEAN = 0.389421
 VARIANCE = 0.884697E-03
 ST.DEV. = \sqrt{s} 0.297439E-01
 MINIMUM = 0.310000
 MAXIMUM = 0.440000

0.00E+0 2.00E+0 4.00E+0 6.00E+0 8.00E+0 1.00E+0

PLOT PRO(1) - X11 UNDERKORN FÖRE GRANULATOR (2)



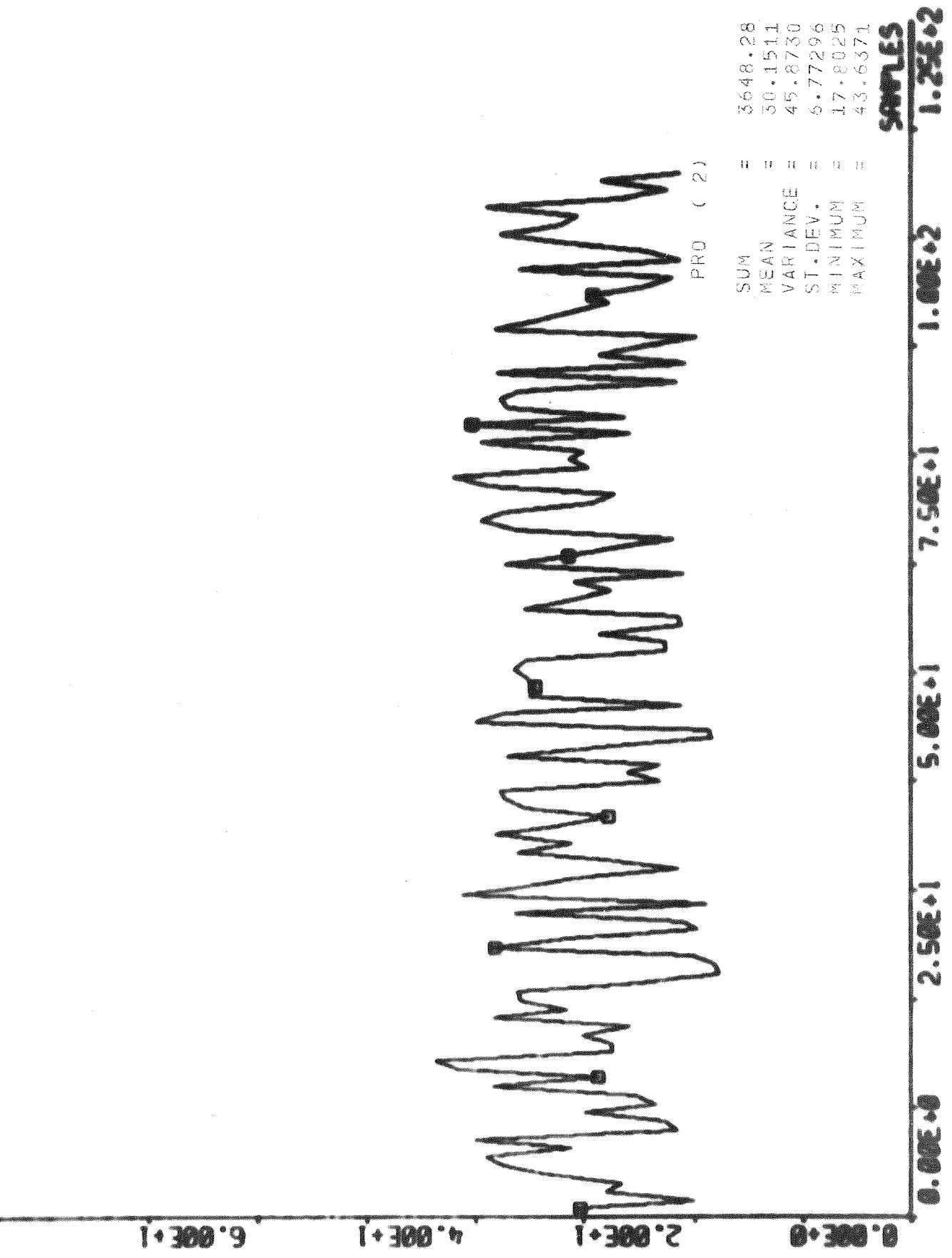
X11
 Underkorn före granulator
 Procentuell andel

PRO (1)
 =
 =
 =
 =
 =
 =

SUM = 7609.11
 MEAN = 62.8652
 VARIANCE = 50.8695
 ST.DEV. = 7.13229
 MINIMUM = 47.2380
 MAXIMUM = 76.2118

SAMPLES	
0.00E+0	1.25E+2
2.50E+1	7.50E+1
5.00E+1	1.00E+2

PLOT PRO(2) - X12 PRODUKTKORN FÖRE GRANULATORN (2)

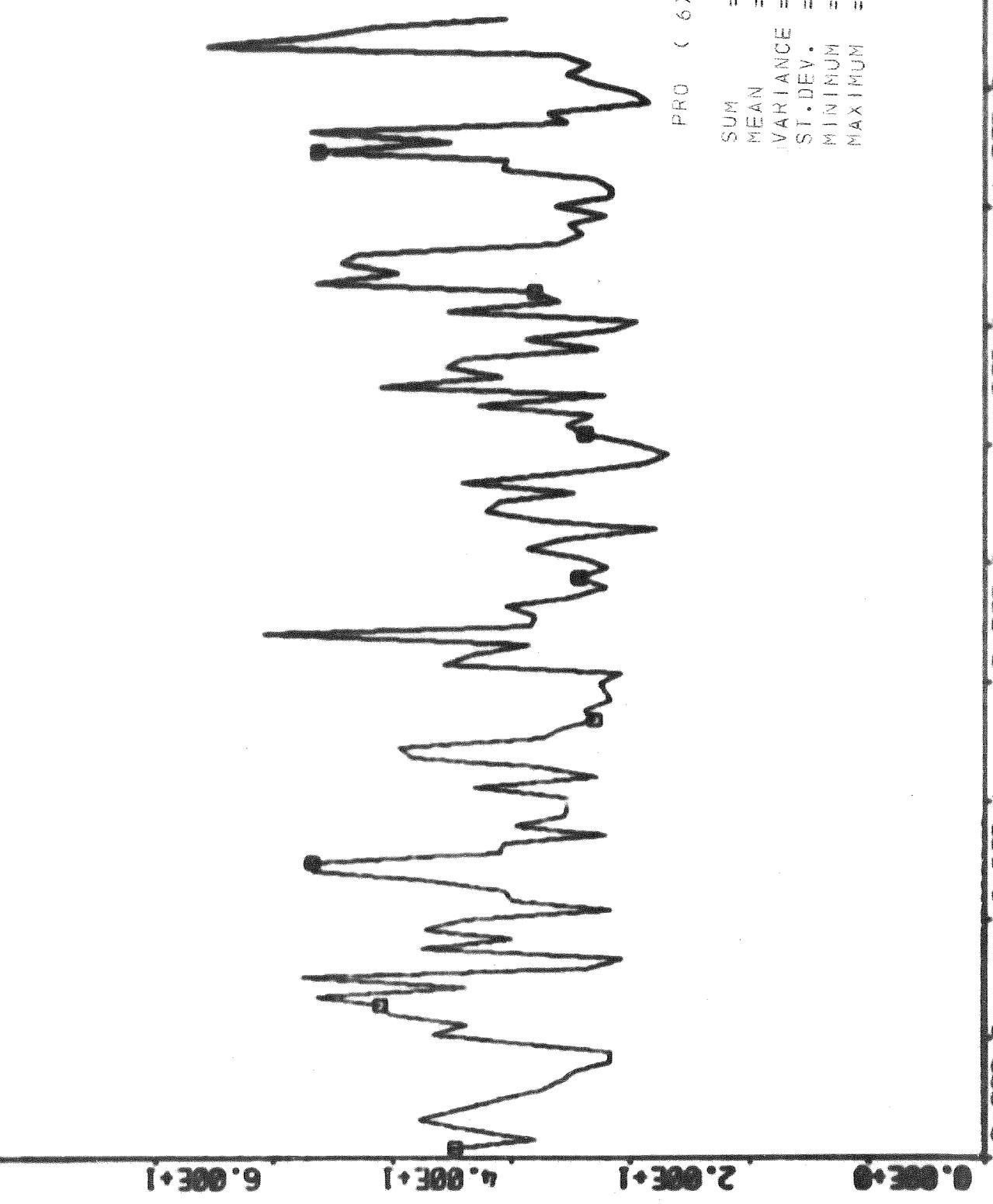


SUM	=	3648.28
MEAN	=	50.1511
VARIANCE	=	45.8730
ST.DEV.	=	6.77296
MINIMUM	=	17.8025
MAXIMUM	=	43.6371

SAMPLES
1.25E+2

X12
Produktkorn före granulatorn
Procentuell andel.

PLOT PRO(6) - X23 ÖVERKORN EFTER GRANULATORN (2)



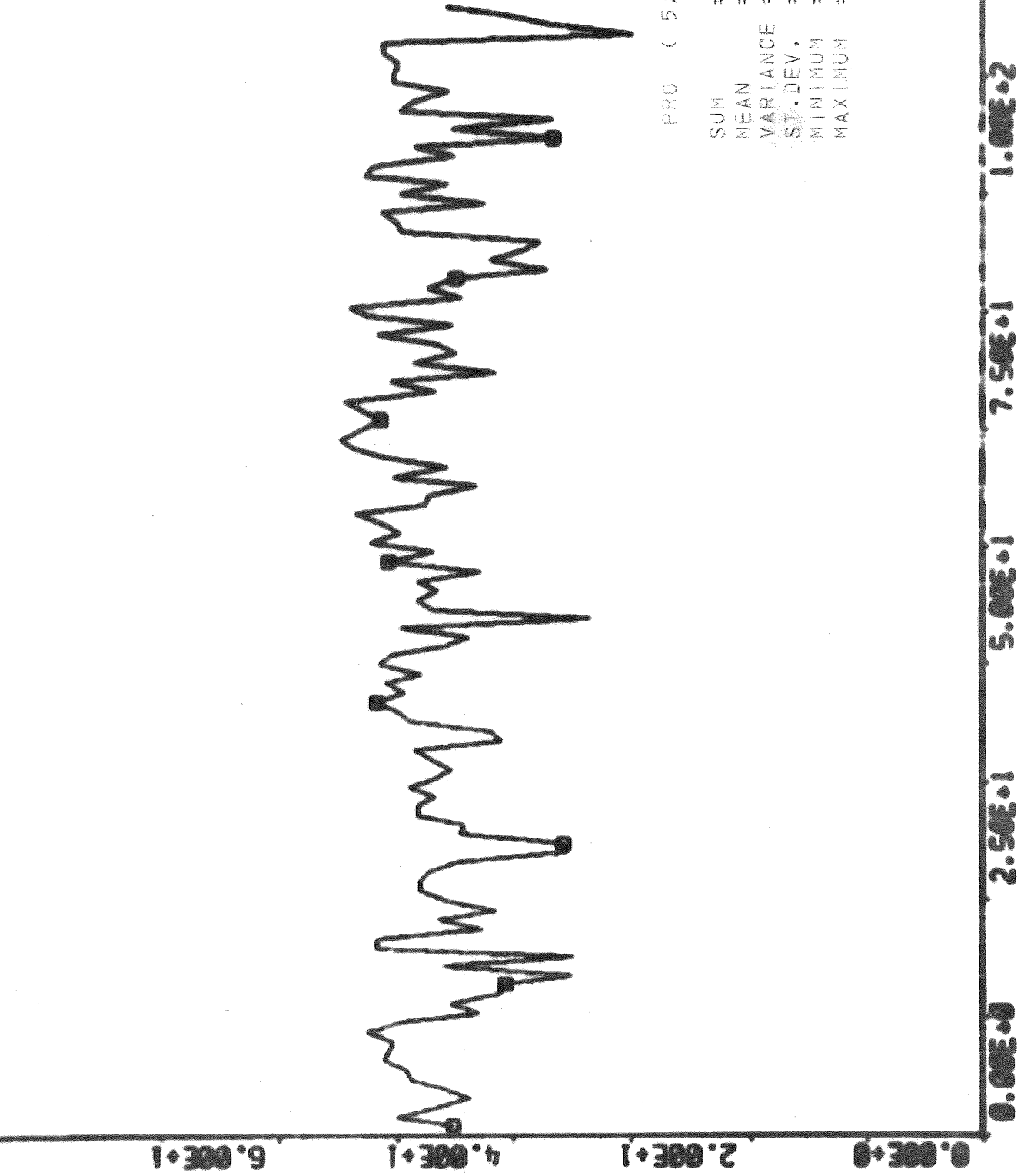
PRO (6)

SUM = 4824.19
 MEAN = 39.8694
 VARIANCE = 66.4976
 ST. DEV. = 8.15460
 MINIMUM = 26.9231
 MAXIMUM = 65.5516

SAMPLES
 0.00E+0 2.50E+1 5.00E+1 7.50E+1 1.00E+2 1.25E+2

X23
 Överkorn efter granulatorn
 Procentuell andel.

PLOT PRO(5) - X22 PRODUKTKORN EFTER GRANULATORN (3)



PRO (5)

SUM	=	5653.17
MEAN	=	46.7204
VARIANCE	=	24.2081
ST. DEV.	=	4.92018
MINIMUM	=	29.7969
MAXIMUM	=	54.6563

0.00E+0 2.50E+1 5.00E+1 7.50E+1 1.00E+2 1.25E+2

SAMPLES

X22
 Produktkorn efter granulatorn
 Procentuell andel

PLOT PRO(4) - X21 UNDERKORN EFTER GRANULATORM (2)

0.00E+0 2.00E+1 4.00E+1 6.00E+1



SAMPLES
1.25E+2

PRO (4)

SUM = 1622.64
 MEAN = 13.4102
 VARIANCE = 18.3339
 ST.DEV. = 4.28181
 MINIMUM = 4.74147
 MAXIMUM = 26.0303

X21
 Underkorn efter granulatore
 Procentuell andel

PLOT PRO(3) - X13 ÖVERKORN FÖRE GRANULATORN (2)

0.00E+0 2.00E+1 4.00E+1 6.00E+1



0.00E+0 2.50E+1 5.00E+1 7.50E+1 1.00E+2 SAMPLES 1.25E+2

PRO (3)
 SUM = 842.611
 MEAN = 6.96373
 VARIANCE = 4.37925
 ST. DEV. = 2.09267
 MINIMUM = 3.88228
 MAXIMUM = 13.3731

X13
 Överkörn före granulatorn.
 Procentuell andel.

APPENDIX II.


```

001 C NAME SUP2
002 C
003 C PRINT DATA, WRITE DATA ON PP
004 C
005 C AUTHOR CARL JOHAN CRONSTEDT
006 C DATE 73.2.9
007 C
008 C SUBROUTINE REQUIRED
009 C STA
010 C FILES
011 C
012 C X11 X12 X13 X21 X22 X23
013 C X(1,1) X(1,2) X(1,3) X(1,4) X(1,5) X(1,6)
014 C
015 C T10 T20 TSL U M10
016 C X(1,8) X(1,9) X(1,10) X(1,11) X(1,7)
017 C
018 C F10 F20 FSL
019 C X(1,12) X(1,13) X(1,14)
020 C
021 C
022 C DIMENSION XM(14),XS(14),IX(121),X(1,1),IT(10),Z(14)
023 C COMMON X1(125,8),X2(125,8)
024 C CALL ADJUST(X,X1(1,1),125,16,0)
025 C DO 1 I=1,121
026 1 X(1,11)=0.5
027 C
028 C READ(5,100)((X(1,J),I=1,121),J=1,6)
029 C READ(5,100)(X(1,7),I=1,125),
030 C *((X(1,J),I=1,121),J=8,10)
031 C
032 C READ(5,101)(IX(I),I=1,110)
033 C READ(5,100)((X(1,J),I=1,121,10),J=12,14)
034 C
035 C DO 16 J=12,14
036 C DO 16 K=1,12
037 C K1=10*(K-1)+1
038 C K2=K1+8
039 C DO 15 I=K1,K2
040 15 X(I+1,J)=X(I,J)+(X(K1+10,J)-X(K1,J))*0.1
041 16 CONTINUE
042 C
043 C DO 14 I=1,125
044 14 X(1,7)=X(1,7)*2.5
045 C DO 17 I=1,110
046 17 X(1,11)=FLOAT(IX(I))
047 C WRITE(6,200)
048 C
049 C DO 2 I=1,121
050 C X(1,15)=X(1,1)+X(1,2)+X(1,3)
051 C X(1,16)=X(1,4)+X(1,5)+X(1,6)
052 C
053 C WRITE(6,201)(X(1,J),J=1,3),X(1,15),I,
054 C *(X(1,J),J=4,6),X(1,16)
055 C DO 3 J=1,3
056 C X(1,J)=100.*X(1,J)/X(1,15)
057 3 X(1,J+3)=100.*X(1,J+3)/X(1,16)
058 C
059 2 WRITE(6,202)(X(1,J),J=1,6)
060 C WRITE(7,300)(X(1,11),I=1,121)
061 C CALL CLOSE(7)
062 C
063 C WRITE(6,200)

```

```

064      WRITE(6,203)
065      C
066          IK=10
067          TID=9.10
068          DO 4 I=1,121
069              IK=IK+2
070              TID=TID+0.02
071              IF(IK-60)12,11,11
072      11  TID=TID+0.4
073          IK=0
074      C
075      12  DO 5 J=1,3
076          X(I,J)=X(I,J)*X(I+4,7)/100.
077      5   X(I,J+3)=(X(I,J+3)/100.)*(X(I,7)+29.5)
078          X(I,7)=X(I+4,7)
079      4   WRITE(6,204)I,TID,X(I,7),X(I,11),
080          *(X(I,J),J=1,6),(X(I,J),J=8,10),
081          *(X(I,J),J=12,14)
082          WRITE(7,300)((X(I,J),I=1,121),J=1,7)
083          CALL CLOSE(7)
084          PAUSE 2
085          WRITE(7,300)((X(I,J),I=1,121),J=8,14)
086          CALL CLOSE(7)
087      C
088          IT(1)=121
089          IT(2)=14
090          IT(4)=6000
091          CALL FILES('ENTER',1,IT,'D4K','BIN',LOG)
092          DO 500 I=1,121
093              CALL RMOVE(X(I,1),125,Z(1),1,14)
094      500  CALL FILDAT('WRITE',1,Z,14)
095          CALL FILES('CLOSE',1,IT,'D4K','BIN',LOG)
096      C
097          DO 6 J=1,14
098      6   CALL SA(X,121,J,1,XM(J),XS(J))
099          WRITE(6,200)
100          WRITE(6,208)
101          WRITE(6,203)
102          WRITE(6,205)XM(7),XM(11),(XM(I),I=1,6),
103          *(XM(I),I=8,10),(XM(I),I=12,14),XS(7),XS(11),
104          *(XS(I),I=1,6),(XS(I),I=8,10),
105          *(XS(I),I=12,14)
106          PAUSE 1
107          WRITE(6,200)
108          WRITE(6,203)
109          DO 10 I=1,121
110              DO 9 J=1,14
111      9   X(I,J)=X(I,J)-XM(J)
112      10  WRITE(6,209)I,X(I,7),X(I,11),
113          *(X(I,J),J=1,6),(X(I,J),J=8,10),
114          *(X(I,J),J=12,14)
115          PAUSE 3
116          WRITE(7,300)((X(I,J),I=1,121),J=1,7)
117          PAUSE 4
118          WRITE(7,300)((X(I,J),I=1,121),J=8,14)
119      C
120          CALL FILES('ENTER',1,IT,'D4M','BIN',LOG)
121          DO 600 I=1,121
122              CALL RMOVE(X(I,1),125,Z(1),1,14)
123      600  CALL FILDAT('WRITE',1,Z,14)
124          CALL FILES('CLOSE',1,IT,'D4M','BIN',LOG)
125      C
126          STOP
127      200  FORMAT(1H1,34HMATNINGAR VID SUPRA, DEN 24.1,1971,

```

```
128      */1X,34(1H*)//)
129 201  FORMAT(1X,4F7.1,14,4F7.1)
130 202  FORMAT(1X,3F7.1,11X,3F7.1)
131 300  FORMAT(1X,6F10,4)
132 203  FORMAT(/2X,2HNR,7H  TID ,6H  M10 ,4H  U ,
133      *18H  X11  X12  X13 ,18H  X21  X22  X23 ,
134      *18H  T10  T20  TSL ,15H  F10  F20  FSL,/)
135 204  FORMAT(1X,13,F6.2,F6.1,F4.1,9F6.1,1X,3F5.2)
136 208  FORMAT(1H ,32HMEDELVARDE OCH STANDARDAVVIKELSE)
137 205  FORMAT(1X,2HNV,7X,F6.2,F4.1,6F6.2,3F6.1,1X,3F5.2/
138      *1X,2HSA,7X,F6.3,F4.1,6F6.2,3F6.3,1X,3F5.2)
139 209  FORMAT(1X,13,6X,F6.2,F4.1,9F6.2,1X,3F5.2)
140 100  FORMAT(F6.2)
141 101  FORMAT(I1)
142      END
```