



LUND UNIVERSITY

Identifiering av dynamiken hos en experimentpappersmaskin

Del 1: Mätning vid säckpappersproduktion

Häggman, Börje; Gustavsson, Ivar

1973

Document Version:

Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Häggman, B., & Gustavsson, I. (1973). *Identifiering av dynamiken hos en experimentpappersmaskin: Del 1: Mätning vid säckpappersproduktion*. (STFI Meddelande Serie B 196). Svenska Träforskningsinstitutet (STFI).

Total number of authors:

2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

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

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

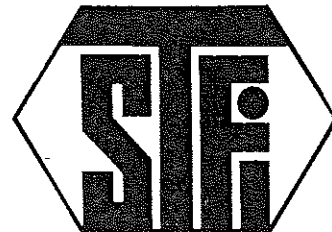
Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

SVENSKA TRÄFORSKNINGSINSTITUTET



**Identifiering av dynamiken hos en experiment-
pappersmaskin**

Del 1 Mätning vid säckpappersproduktion

Börje Häggman
Ivar Gustavsson *

* Institutionen för regleringsteknik,
Lunds Tekniska Högskola.

MEDDELANDE

SERIE B	NR 196
FA B:17	PA B:63

2.

Stockholm, augusti 1973

INNEHALLSFÖRTECKNING

	sida
Sammanfattning	5
Införda beteckningar	7
Inledning	9
Allmän beskrivning av identifieringsförsöken	11
Allmänna förutsättningar för försöken	12
Försöksändamål	12
Val av några kritiska försöksparametrar	14
Allmänt omdöme om försöksutfallet	16
Dynamiska modeller vid låg insignalamplitud	21
Dynamiska modeller för torr ytvikt	22
Analys av resultatet	22
Dynamiska modeller vid hög insignalamplitud	29
Dynamiska modeller för torr ytvikt	29
Analys av resultatet	30
Dynamiska modeller för inloppslådekoncentration	34
Analys av resultatet	34

	sida
Jämförelser och tolkningar av resultatet	37
Jämförelser mellan modeller från olika försök	37
Jämförelser med förväntat teoretiskt resultat	38
Analys av processens störningar	43
Auto- och korskorrelationsfunktioner för processens störningar	43
Autokorrelationsfunktioner för modeller av processens störningar	44
Analys av residualer	47
Appendix 1 Plottningar av modellegenskaperna	49
Appendix 2 Sammanfattning av maximum-likelihood metoden	63
Appendix 3 Beskrivning över använda givare	67
Appendix 4 Konstruktionsdata för XPM	69
Litteratur	71

SAMMANFATTNING

NYCKELORD: *bag papers*
data processing
experimental design
low consistency
mathematical models

I denna rapport presenteras dynamiska modeller för pappersmaskiner. Modellerna är baserade på mätningar av processens dynamik, i detta fall en långsamt gående säckpappersmaskin. I kommande rapporter skall resultat ges från liknande mätningar vid andra papperskvaliteter och på andra pappersmaskiner.

Avsikten med mätningarna har varit att erhålla dynamiska modeller för torr ytvikt och lågkoncentrationer i våtpartiet vid tjockmassaflödesändringar. Till följd av mätsvårigheter har inloppslådekoncentrationen blivit ofullständigt modellerad. Koncentrationen i viragropen har vid mätningarna ej uppvisat något deterministiskt beteende. Av dessa anledningar har endast noggranna modeller för dynamiken i torr ytvikt stått att få fram.

Sammanfattningsvis framgår att dynamiken i torr ytvikt påverkas av in-signalen genom två helt olika dynamiska system. Den ena delen beskriver den komplexa blandningsprocess, som sker i rör och pumpar i våtpartiet. Denna process låter sig blott med dålig noggrannhet karakte-

riseras, som en ideal blandningsprocess med löptid. För en noggrann beskrivning måste i själva verket en andra ordningens modell med löptid tillgripas.

Slutligen påverkas dynamiken i torr ytvikt indirekt genom att även virahastigheten beror av insignalen. En ändring av tjockmassaflödet leder nämligen till en dämpad svängning hos virahastigheten till följd av den ändrade drivmotorbelastningen. Variationerna i virahastighet påverkar i sin tur direkt torra ytvikten. Inverkan från detta delsystem är endast av betydelse vid stora insignalamplituder. För en noggrann beskrivning av dynamiken i torr ytvikt vid stora insignalamplituder måste av denna anledning modeller av minst tredje ordningen tillgripas.

Av den i (1) gjorda analysen framgår vidare att viragropens dynamik under milda förutsättningar kan försummas för kraftpappersmaskiner. Detta förhållande har bekräftats av de gjorda mätningarna.

INFÖRDA BETECKNINGAR

XPM	=	experimentpappersmaskinen vid Svenska Träforskningsinstitutet
PRBS	=	pseudo random binary sequence
T_B	=	tidbas för PRB-sekvens (s)
u	=	insignal
y	=	utsignal
$G(s)$	=	överföringsfunktion
T_d	=	löptid (s)
T_i	=	tidskonstant (s)
T	=	tidskonstant (s)
q	=	skiftoperatorn
$A(q)$	=	polynom i pulsöverföringsfunktion
$B(q)$	=	polynom i pulsöverföringsfunktion
$C(q)$	=	polynom i pulsöverföringsfunktion
n	=	ordningstal på modell
V_n	=	förlustfunktionens värde då modellens ordningstal är n
$F_{n+1,n}$	=	testkvantitet vid test av ordningstal $n+1$ mot n
$(e(t))$	=	oberoende normalfördelad stokastisk process
$(v(t))$	=	normalfördelad stokastisk process
$(\varepsilon(t))$	=	residualer
λ	=	variansparameter
NP	=	antal punkter på vilka beräkningar utförts

8.

τ = tidsförskjutning (s)

$R_x(\tau)$ = korrelationsfunktion för variabeln x

$R_{xy}(\tau)$ = korskorrelationsfunktion för variablerna x och y

W = torr ytvikt (g/m^2)

c_1 = inloppslådekonzentration (g/l)

INLEDNING

I en tidigare rapport (1) har dynamiska modeller för våtpartiet på en pappersmaskin presenterats. Modellerna var i detta fall väsentligen baserade på fysikalisk grundkunskap. Vid en analys av förhållanden för kraftpappersmaskiner framgick därvid att dynamiken i torr ytvikt vid tjockmassaflödesändringar med god noggrannhet kunde beskrivas med en enkel första ordningens modell. I denna rapport kommer dynamiska modeller, som enbart är baserade på mätningar av processens dynamik att presenteras. Endast resultat från mätningar på en säckpappersmaskin kommer att behandlas. Resultat från mätningar på andra typer av pappersmaskiner kommer att ges i kommande rapporter.

Genom att modeller på så sätt erhålls ur helt olika angreppspunkter kan intressanta jämförelser göras. Självfallet måste vid dessa jämförelser stor tilltro ställas till de experimentellt funna modellerna. Eventuella strukturskillnader kan endast användas för att kritiskt granska de antaganden varpå de "teoretiska" modellerna bygger. Därigenom förfinas de fysikaliska grundkunskaperna och därmed de därur härledda modellerna. Experimentellt verifierade modeller ger självfallet en säkrare bild av processen. Därigenom kan korrekta kunskaper om processen erhållas samt reglersystem dimensioneras.

Slutligen bör påpekas att för att underlätta förståelsen av denna rapport har i texten även bifogats välkända resultat från identifieringsteorin samt stokastiska reglerteorin.

ALLMÄN BESKRIVNING AV IDENTIFIERINGSFÖRSÖKEN

Avsikten med identifieringsförsök är att få fram data om en process samt därur beräkna matematiska modeller, som på ett tillfredsställande sätt återger intressanta processegenskaper. I detta fall har avsikten närmare bestämt varit, att finna linjära dynamiska modeller med parametervärden för såväl det deterministiska beroendet som störningssambandet mellan tjockmassaflöde och därav beroende storheter, främst lågkoncentrationer i våtpartiet samt torr ytvikt vid pope. För att kunna bestämma dylika modeller är det fördelaktigast om kända variationer påtvingas processen i någon eller några av dess insignaler varunder de därav resulterande variationerna i processens utsignaler registreras. Parametervärden till modellerna har i detta fall därefter bestämts off-line i dator ur erhållna data med hjälp av maximum-likelihood metoden, som kortfattat finns beskriven i appendix 2. En detaljerad beskrivning över programpaketet finns i (2). En ingående beskrivning av maximum-likelihood metoden återfinns i (3). Olika identifieringsmetoder sammanfattas och jämföres på ett utmärkt sätt i (4).

I fortsättningen av detta kapitel skall i korthet redogöras för de förutsättningar under vilka mätningarna utföres. Ändamålet med försöken anges i detalj. Val av kritiska försöksparametrar diskuteras. Detaljplaneringen och utförandet av identifieringsförsök behandlas dock ej. En närmare beskrivning över de använda givarna finns emellertid i appendix 3. Avslutningsvis ges ett allmänt omdöme om försöksutfallet.

12.

Allmänna förutsättningar för försöken

Mätningarna har utförts på experimentpappersmaskinen vid STFI. På grund av kraftig torkpartibegränsning har maskinhastigheten valts extremt låg. I övrigt bör noteras att inga silar eller virvelrenare fanns inkopplade i korta cirkulationen under mätningarna.

Sammanfattningsvis förelåg följande förutsättningar:

Massakvalitet: Oblekt sulfat, mald till 26^o SR

Maskinparametrar:

virahastighet	1,33 m/s
popehastighet	1,38 m/s
effektiv läppöppning	0,021 m
nivå i inloppslåda	0,10 "
banbredd vid inloppslåda	0,90 "
renskuren bredd vid gusk	0,815 "
banbredd vid pope	0,76 "
tunnmassaflöde	0,022 m ³ /s
viraretentionsfaktor	0,94

Givare: Instrumenteringen vid försöken framgår av fig. 1.

Givarna finns närmare beskrivna i appendix 3. Ytterligare data om XPM finns vidare i appendix 4.

Försöksändamål

Följande specifika försöksändamål uppställdes:

att bestämma ordningstal, löptid och parametervärden för linjära modeller för det deterministiska sambandet mellan tjockmassaflöde och utsignalerna torr ytvikt, inloppslåde- och viragropskoncentration,

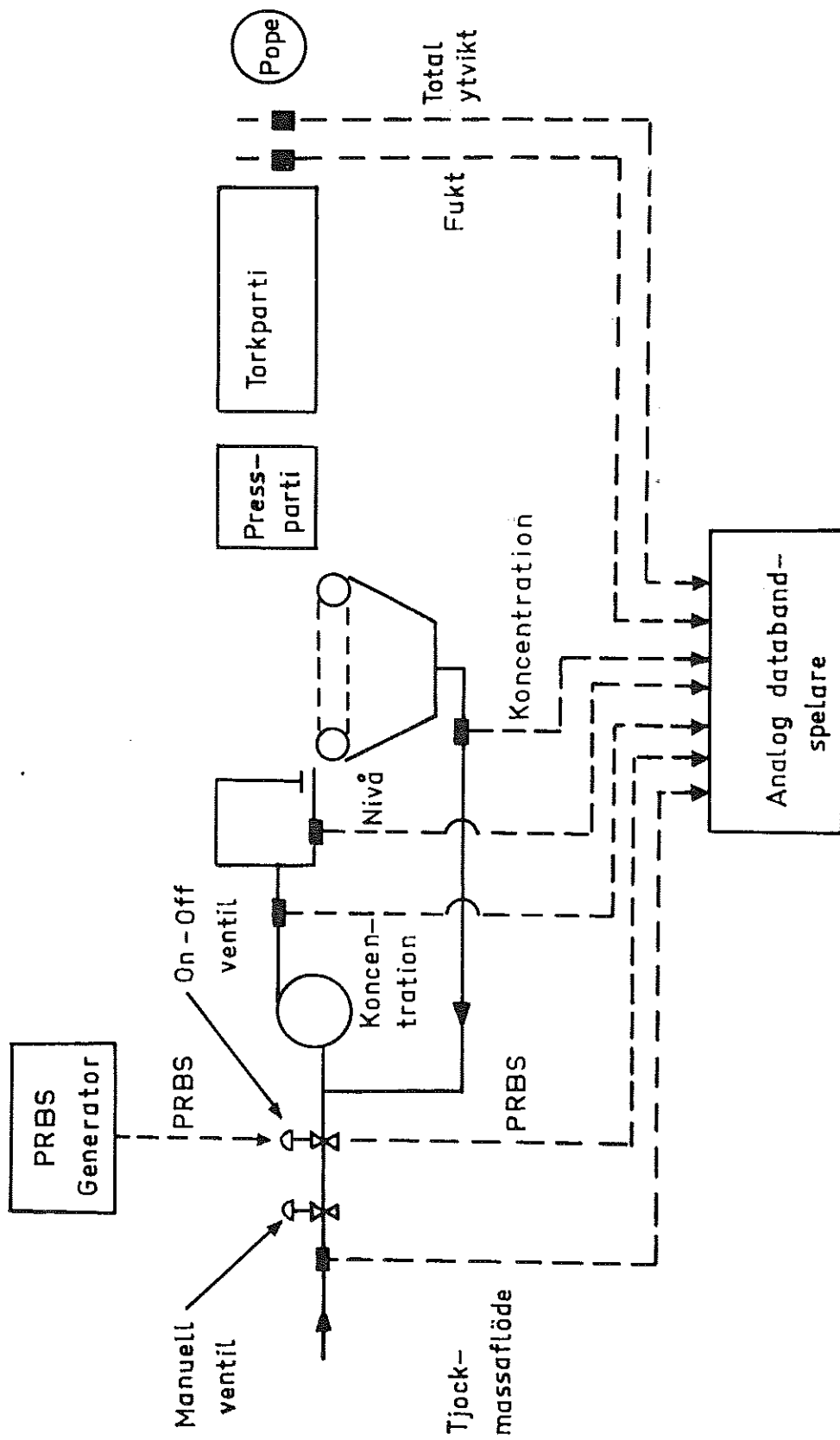


Fig. 1. Instrumenteringen vid identifieringsförsöken på XPM.

att undersöka eventuella olinjära effekter hos processen genom att utföra mätningar vid olika insignalamplituder,

att bestämma störningarnas karakteristika och angreppspunkter på processen.

Val av några kritiska försöksparametrar

Identifieringsförsök måste planeras och utföras omsorgsfullt för att ge gott resultat. Detta innebär bl.a. att flera kritiska försöksparametrar måste väljas före själva mätningen ur a priori kunskap om processen. I detta avsnitt skall några allmänna "dimensioneringsregler" ges för detta val. Reglerna är hämtade ur (5). Parametervalet för de gjorda försöken anges.

Val av insignal: Vid försöken skulle ändringar i tjockmassaflödet göras. Insignalens utseende kan väljas på flera sätt men måste vara sådan att den exciterar den dynamik hos processen som skall bestämmas. En insignal varmed detta villkor bekvämt kan uppfyllas utgörs av PRB-sekvensen. Dess principiella utseende framgår av fig. 2:

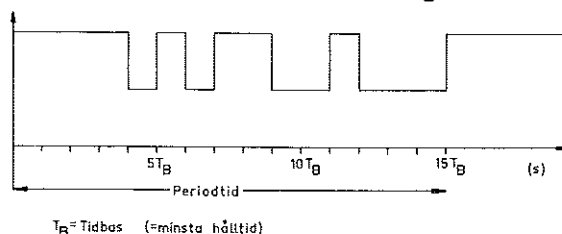


Fig. 2. Principiella utseendet av en PRB-sekvens.

Insignalen antar alltså blott två distinkta nivåer. Hålltiden vid varje nivå är en multipel av den s.k. tidbasen. Insignalen är vidare periodisk, något som ger möjligheter till undersökning av tidsvariabla egenskaper hos processen genom jämförelser mellan data från olika perioder. För att nu denna insignal skall excitera avsedd dynamik, bör tidbasen väljas så att den maximala hålltiden för en nivå blir minst tre gånger så stor som den största tidskonstant som skall bestämmas. Vid en tidigare stegsvarsanalys hade processens tidskonstant i torr

ytvikt uppskattats till 15 s. Med försöken avsågs att närmare bestämma denna dynamik. En PRBS-generator med stegvist val av tidbas fanns tillgänglig. I detta fall kunde tidbasen sättas till 10 s, vilket medför att maximala hålltiden blir 60 s. Valet av sekvensens längd återfinns nedan.

Val av insignalamplitud: Allmänt sett bör insignalamplituden väljas så stor att de därav resulterande ändringarna i processens utsignaler utan svårighet kan konstateras vid en enkel inspektion av data. Av den gjorda stegsvarsanalysen framgick också, att de normala störningarna på processen hade ett variationsområde på ca $\pm 1 \text{ g/m}^2$. I detta fall skulle två mätningar göras vid olika insignalamplituder. Något godtyckligt valdes nu insignalamplituden för mätning 1 så att variationsområdet för torr ytvikt skulle bli $\pm 2 \text{ g/m}^2$. För mätning 2 valdes en amplitud motsvarande $\pm 4 \text{ g/m}^2$. Självfallet leder en större insignalamplitud till ett noggrannare resultat. Det går nämligen att visa att standardavvikelsen för parameteruppskattningarna oftast avtar omvänt proportionellt mot amplituden.

Val av samplingsintervall: Eftersom data från försöken skulle bearbetas off-line i dator måste ett val av samplingsintervall göras. Normalt skall samplingsintervallets längd ej överstiga halva den minsta tidskonstant som skall bestämmas. Tänkbara samplingsintervall vore i detta fall närmast 2 eller 5 s. Eftersom viss osäkerhet förelåg beträffande dynamiken i inloppslådekoncentration befanns 2 s vara att föredraga.

Mättidens längd: Med mättid avses i detta sammanhang den tid varunder PRB-sekvensen påverkar processen under samtidig registrering av processens utsignaler. Mättidens längd har en avgörande inverkan på noggrannheten hos resultatet. I själva verket avtar variansen för parameteruppskattningarna omvänt proportionellt mot mättidens längd. För att få god noggrannhet vid låg insignalamplitud måste således en lång mättid tillgripas. Mättiden begränsas dock ofta av den tillgängliga lagringskapaciteten för data. En lång mättid medför dessutom ofta att processen kommer att uppvisa tidsvariabla egenskaper. Väsentligt ökande beräkningskostnader följer självfallet också på en större data-

mängd. Med tanke på att stora insignalamplituder skulle komma att användas i detta fall måste 1/2 timmes mätning anses vara fullt tillräckligt.

Sekvensens längd: För att nu PRB-sekvensen under den givna mättiden skall komma att innehålla flera perioder valdes sekvensens längd till 63. Detta innebär att signalen kommer att bestå av 3 hela perioder vid varje mätning.

Stationära intervall: För att avgöra om processen innehåller långsam dynamik av intresse samt dessutom för att få en god uppskattning av processens statistiska förstärkning, kan med fördel signalen hållas konstant vid sina två nivåer under en längre tid. Detta har utnyttjats i detta fall varvid i början av varje försök signalen hölls konstant vid resp. nivå under ca 10 min. Därigenom har kalibrering av vissa givare dessutom kunnat utföras. Den totala tiden för varje försök kom med detta arrangemang att bli ca 50 min.

Slutligen kan tilläggas att mätningar av ovan beskrivna slag bör omfatta fler storheter än vad som först verkar att vara nödvändigt. Därigenom kan eventuellt egenartat beteende hos data i efterhand bättre förklaras. Av denna anledning har nivån i inloppslådan registrerats under dessa mätningar.

Allmänt omdöme om försöksutfallet

De två försöken utfördes vid samma tillfälle. Mellan försöken gjordes inga ändringar på maskinen förutom den ovan angivna amplitudändringen. Mätningarna förorsakade inga pappersbrott. I fig. 3 och 4 finns avsnitt med utseendet på signalen och de viktigaste utsignalerna vid de två mätningarna. Av detta framgår att signalen för torr ytvikt vid båda försöken är av god kvalitet. Däremot tycks signalen för inloppslådans koncentration vara undermålig och kan knappast förväntas utgöra underlag för tillförlitlig modellering. Viragropens koncentration verkar ej att innehålla deterministiskt beteende. De stora språngvisa

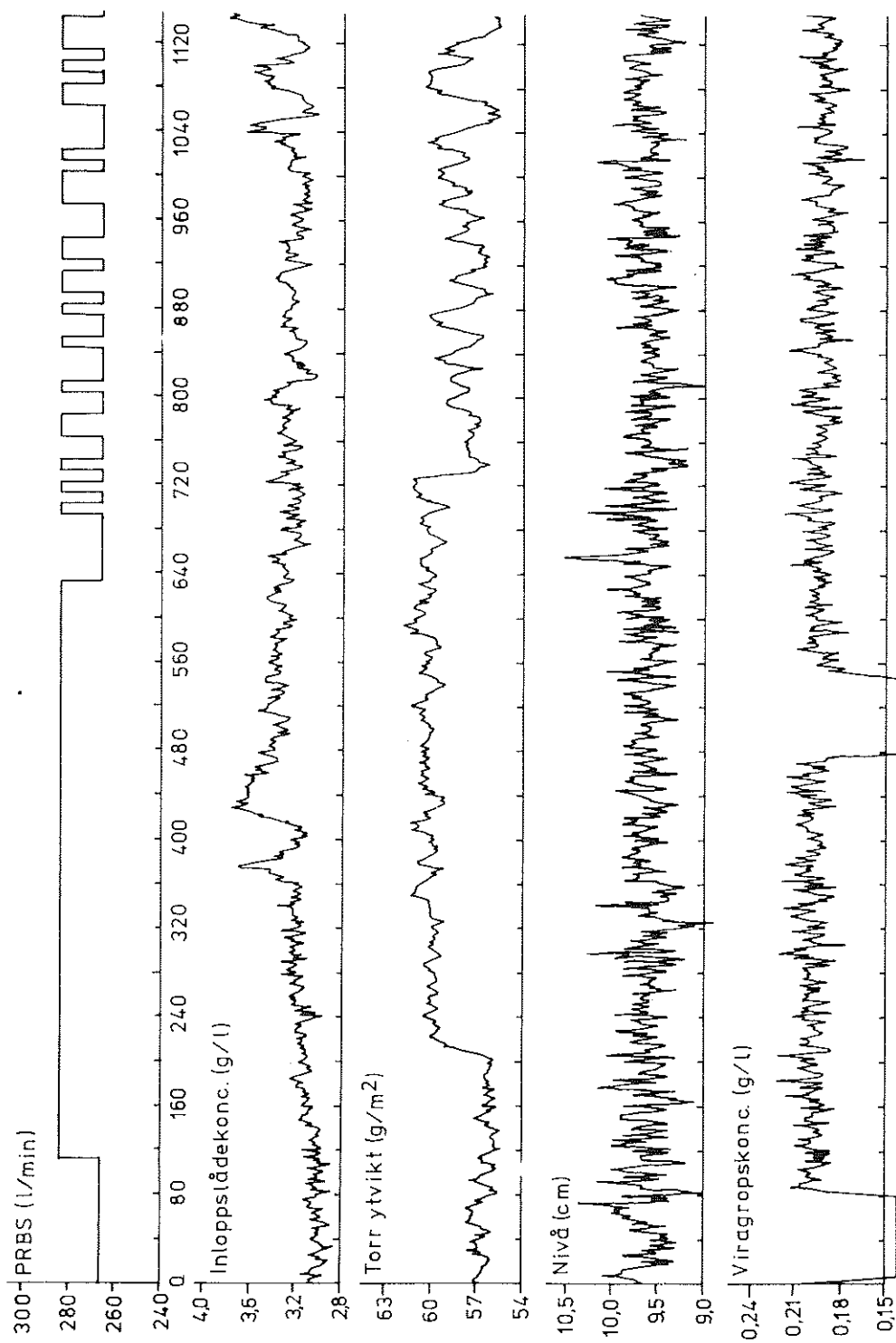


Fig. 3. In- och utsignaler vid mätning 1.

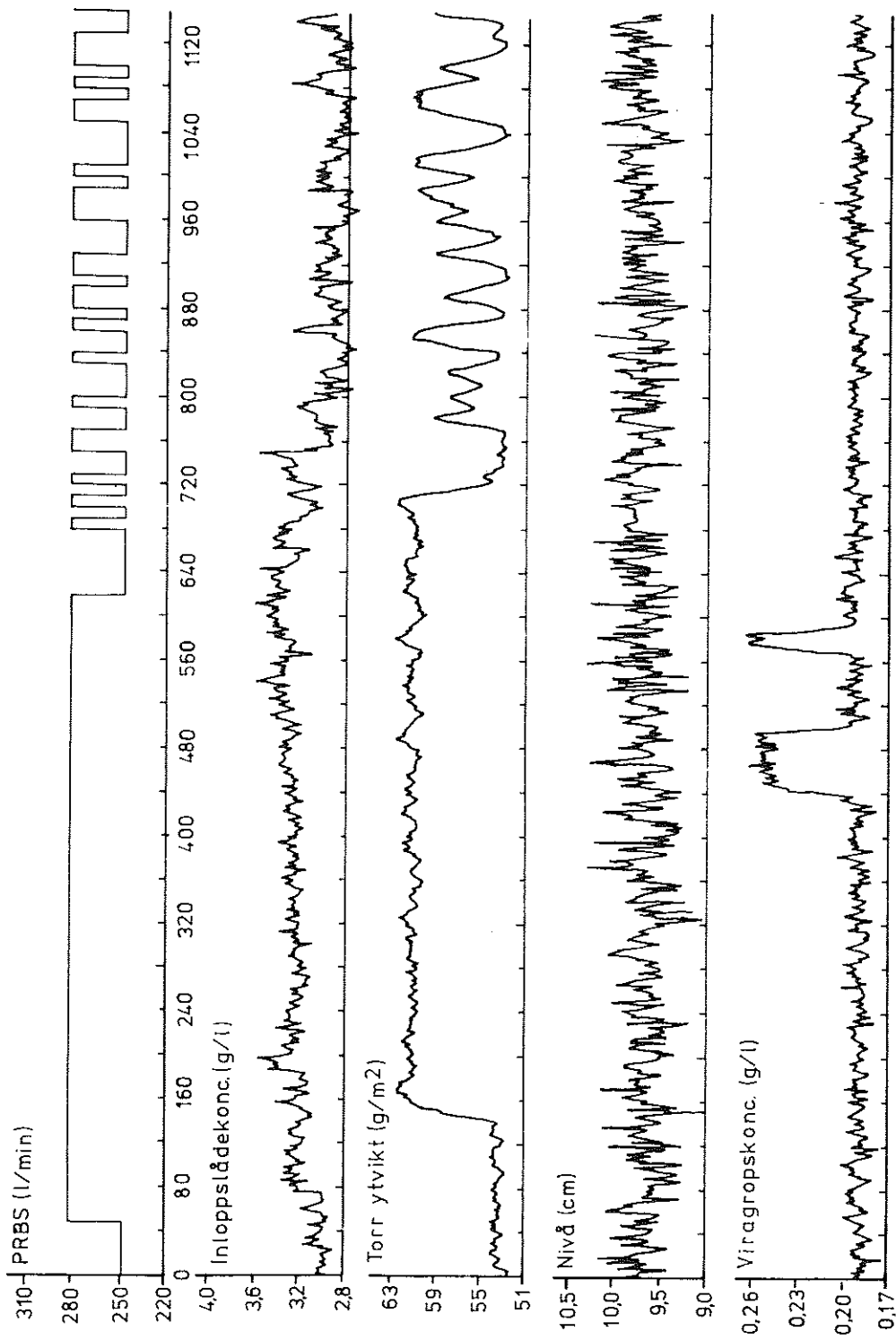


Fig. 4. In- och utsignaler vid mätning 2.

ändringarna i denna signal motsvaras ej av koncentrationsändringar utan har uppkommit vid det manuella uttaget av koncentrationsprover. Under mätning 1 förefaller viragropen att möjligen ej vara i jämvikt. Beträffande nivån i inloppslådan kan slutligen konstateras att den ej är utsatt för onormalt stora störningar. Tjockmassaflödet har här ej återgivits beroende på att dess dynamik är så snabb (tidskonstant $\sim 0,5$ s) att det till allt väsentligt överensstämmer med PRB-sekvensen.

Efter en enkel inspektion av signalen för torr ytvikt kunde följande a priori modell för nämnda signal uppställas:

$$G(s) = 0,23 \frac{e^{-90 s}}{1 + 15 s}$$

Denna uppskattning användes vid beräkningarna blott för rimlighetskontroll av resultat.

DYNAMISKA MODELLER VID LAG INSIGNALAMPLITUD

Maximum-likelihood metoden har använts för bestämning av parametervärden till modeller för processen för beskrivning av dynamiska data, genererade på ovan beskrivna sätt. För den händelse att identifieringsmetoden är obekant rekommenderas här en läsning av appendix 2, där metoden kort presenteras. En utförlig beskrivning återfinns i (3). Sammanfattningsvis framgår av appendix 2 att med denna metod erhålles modeller för såväl processens deterministiska beteende som processens störningar. Endast linjära modeller med konstanta koefficienter har beräknats. Modellerna blir därför på formen:

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

Enkelt uttryckt sker parameteruppskattningen till en modell av denna typ därigenom att en förlustfunktion bildas, vars värde utgör ett mått på modellens noggrannhet. Ju lägre förlustfunktionens värde är desto noggrannare är modellen. En iterativ procedur används nu för att finna de parametervärden för vilka förlustfunktionen antar ett minimum. Genom att sedan välja olika ordningstal och löptid och upprepa proceduren kan korrekt löptid och ordningstal uppskattas. En ökning av ordningstalet medför emellertid alltid en sänkning av förlustfunktionens värde. Av denna anledning har en hypotestest formulerats för att avgöra om sänkningen av förlustfunktionens värde är signifikativ.

I detta avsnitt kommer resultaten för mätning 1 att presenteras. Pa-

parametervärden med noggrannheter ges för fullständiga modeller. En analys görs av de funna deterministiska modellerna. Detta leder fram till ett preliminärt val av modell. Det slutliga valet av modell samt analys av processens störningar ges i ett senare avsnitt.

Dynamiska modeller för torr ytvikt

Beräkningarna har utförts på 750 punkter med samplingsintervallet 2 s. Data från de stationära intervallen har ej ingått. PRB-sekvensen har genomgående använts som insignal. I tabell 1 - 3 ges förlustfunktionens värde, parametervärden med noggrannheter samt poler och nollställen till de funna samplade modellerna av olika ordningstal och löptider.

Löptid (s)	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	n	F _{n+1,n}	Statisk förstärkn.
90	59,3	45,1	43,1		1	16,7	0,304
92	52,5	45,0	37,5	36,5	2	36,6	0,305
94	49,0	47,7	45,8		3	5,6	0,394
96	59,9						

Tabell 1. Förlustfunktionens värden för ytviktsmodeller till mätning 1, NP = 750.

Analys av resultatet

De intressanta modellerna har markerats i tabell 1. Av detta framgår att uppskattningen av löptid beror av ordningstalet. Det kan vidare noteras att två likvärdiga modeller av 2-ordningen har erhållits. Modellernas statistiska förstärkning varierar kraftigt och är genomgående högre än förväntat värde på $0,23 \text{ g/m}^2/1/\text{min}$. Resultatet från test av ordningstalet ges likaså i tabell 1. Av detta följer att minst en 3-ordningens modell bör väljas. Det bör dock observeras att detta test ofta leder till ett för högt ordningstal på data från industriella

Löptid (s)	ORDNINGSTAL 1			ORDNINGSTAL 2			ORDNINGSTAL 3		
	a-parametrar	b-parametrar x 10	c-parametrar	a-parametrar	b-parametrar x 10	c-parametrar	a-parametrar	b-parametrar x 10	c-parametrar
90	-0.920±0.007	0.255±0.017	0.117±0.035	-1.447±0.035 0.518±0.032	0.053±0.020 0.163±0.026	-0.615±0.049 0.147±0.039	-1.426 0.624 -0.109	0.103 -0.001 0.172	-0.590 0.217 0.068
92	-0.898±0.006	0.325±0.016	-0.017±0.036	-1.249±0.068 0.343±0.061	0.166±0.022 0.119±0.037	-0.424±0.079 0.136±0.042	-2.433 1.987 -0.554	0.158 -0.089 -0.067	-1.770 0.912 -0.137
94	-0.876±0.006	0.376±0.017	-0.010±0.036	-1.374±0.139 0.444±0.119	0.333±0.028 -0.129±0.079	-0.532±0.148 0.139±0.041	-1.004±0.119 0.649±0.180 -0.460±0.104	0.302±0.025 0.025±0.038 0.228±0.046	-0.128±0.120 0.613±0.117 0.109±0.045
96	-0.885±0.009	0.326±0.022	0.095±0.034						

Tabell 2. Parametervärden med noggrannheter för ytviktsmodeller till mätning 1, NP = 750.

Löptid (s)	ORDNINGSTAL 1			ORDNINGSTAL 2			ORDNINGSTAL 3		
	Rötter till A-polynom Tidskonst. (s)	Rötter till B-polynom	Rötter till C-polynom	Rötter till A-polynom Tidskonst. (s)	Rötter till B-polynom	Rötter till C-polynom	Rötter till A-polynom	Rötter till B-polynom	Rötter till C-polynom
90	0.920 T = 24.0	-	-0.117	0.800 0.647 T ₁ = 9.0 T ₂ = 4.6	-3.099	0.308±j0.230	0.834 0.296±j0.208	0.007±j1.292	-0.187 0.389±j0.460
92	0.898 T = 18.6	-	0.017	0.842 0.407 T ₁ = 11.6 T ₂ = 2.2	-0.721	0.212±j0.302	0.996 0.719±j0.200	-0.991 -0.429	0.517 0.985 0.268
94	0.876 T = 15.1	-	0.010	0.856 0.518 T ₁ = 12.9 T ₂ = 3.0	0.387	0.266±j0.260	0.867; 0.069±j0.725	-0.042±j0.868	-0.166 0.147±j0.800
96	0.885 T = 16.4	-	-0.095						

Tabell 3. Poler och nollställen för ytviktsmodeller till mätning 1, NP = 750.

processer och bör därför kompletteras med ytterligare analys. Slutligen kan konstateras att 2-ordningens modeller genomgående har reella poler (därmed också tillhörande tidskontinuerliga modeller) medan 3-ordningens modell har komplexa poler samt en reell av storleksordningen 470 s.

Plottningar av modellernas egenskaper

Val av modell underlättas väsentligt om jämförelser görs mellan processens och modellernas utsignaler vid samma insignal på det sätt som framgår av fig. A1-A3 i appendix 1. I dessa figurer anges överst insignalen och därefter utsignalerna för process och respektive deterministisk modell. Notera att utsignalerna har skiftats så att löptiden blir noll. Därefter anges skillnaden mellan de två sistnämnda signalerna. Den så erhållna storheten kan uppfattas som störningen på processen. Här ingår dock eventuella deterministiska "resteffekter" beroende på ofullständig modellering av processens deterministiska egenskaper vid den aktuella modellen. Slutligen anges residualerna, vars kvadratiske form bildar det tillhörande värdet på förlustfunktionen. Observera att residualerna kan tolkas som prediktionsfelet över ett samplingsintervall. Detta innebär att om processen saknat löptid och på känt sätt minimalvarians reglerats så hade residualerna blivit den störning i utsignalen som återstått då de ovanför i figuren angivna störningarna angripit processen. I figuren anges standardavvikelsen för residualerna. I detta fall finns emellertid långa löptider hos processen, vilket dock formellt endast innebär att den resulterande störningen i utsignalen ges av en glidande linjär kombination över ett antal residualer. Residualerna har antagits vara oberoende och normalfördelade. Detta kommer att granskas närmare i ett senare avsnitt.

Av fig. A1-A2 framgår nu att den deterministiska dynamiken för modeller av 1- och 2-ordningen är mycket lika. Modellen av 2-ordningen är dock något snabbare. Av samma figurer kan också noteras att det finns en avsevärd drift hos data, något som i båda fallen modellerats

som en störning. Av fig. A3 följer att de komplexa polerna ger upphov till en mycket snabb dynamik. Den i denna modell ingående stora tidskonstanten har som synes använts för att beskriva driften i data, men lagts så att drift ingår som en del av processens deterministiska egenskaper. Detta förhållande är självfallet ej önskvärt i detta sammanhang. Modellen beskriver dock med sin snabba dynamik data klart överlägset de två tidigare modellerna. Emellertid kan nu den viktiga slutsatsen dras, att för att noggrannt beskriva processens normala egenskaper räcker det med en modell av 2-ordningen. Slutligen bör tilläggas att det självfallet är svårt att skilja mellan drift och långsam dynamik. I ovanstående fall är dock den negativa trenden hos data av sådan storleksordning, att den rimligen ej kan härröra från någon långsam dynamik hos processen.

Det kan nu med fog antas att driften i data har förorsakat de förhöjda statistiska förstärkningarna. Men en modell med för hög statistisk förstärkning kan likaså antas beskriva processen med i motsvarande grad långsam dynamik. Det blir då väsentligt att avgöra hur dynamiken hos en 2-ordningens modell ter sig vid korrekt statistisk förstärkning och således opåverkad av drift i data. För att närmare avgöra detta har identifieringen gjorts om med enbart 250 punkter för de i detta sammanhang intressanta 2- och 3-ordningens modellerna. Resultatet ges i tabell 4 - 6 samt i fig. A4-A5 i appendix 1.

Löptid (s)	V_2	V_3	n	$F_{n+1,n}$	Statisk förstärkn.
90	16,8	15,1	2	5,6	0,253
92	(16,1)	(14,7)	3		0,250

Tabell 4. Förlustfunktionens värden för ytviktsmodeller till mätning 1, NP = 250.

Löp- tid (s)	ORDNINGSTAL 2			ORDNINGSTAL 3		
	a-parametrar	b-parametrar x 100	c-parametrar	a-parametrar	b-parametrar x 100	c-parametrar
90	-1.475±0.042	-0.346±0.331	-0.902±0.079	-1.765	0.482	-1.173
	0.560±0.039	2.492±0.406	0.291±0.071	1.106	0.245	0.484
				-0.264	1.231	0.071
92	-1.286±0.080	0.882±0.373	-0.715±0.114	-1.589	0.854	-1.013
	0.402±0.070	2.030±0.585	0.236±0.078	0.807	1.609	0.308
				-0.135	-0.395	0.121

Tabell 5. Parametervärden med noggrannheter för ytviktsmodeller till mätning 1, NP = 250.

Löp- tid (s)	ORDNINGSTAL 2			ORDNINGSTAL 3		
	Rötter till A-polynomet Tidskonst. (s)	Rötter till B-polynomet	Rötter till C-polynomet	Rötter till A-polynomet Tidskonst. (s)	Rötter till B-polynomet	Rötter till C-polynomet
90	0.737±j0.128	7.204	0.451±j0.296	0.783 0.491±j0.310	-0.254±j1.577	-0.112 0.643±j0.464
92	0.754 0.533 T ₁ = 7.1 T ₂ = 3.2	-2.301	0.357±j0.329	0.766 0.412±j0.082	0.220 -2.103	-0.213 0.613±j0.439

Tabell 6. Poler och nollställen för ytviktsmodeller till mätning 1, NP = 250.

Det kan nu konstateras att modeller med lägre statisk förstärkning har erhållits med i motsvarande grad snabb dynamik. Av fig. A4-A5 i appendix 1 framgår dessutom att modellernas deterministiska dynamik är mycket lika. Detta bekräftar att val av 2-ordningens modell är tillräckligt.

För att lättare kunna urskilja egenskaperna hos här diskuterade modeller finns deras enkla stegsvar uppritade i fig. 5.

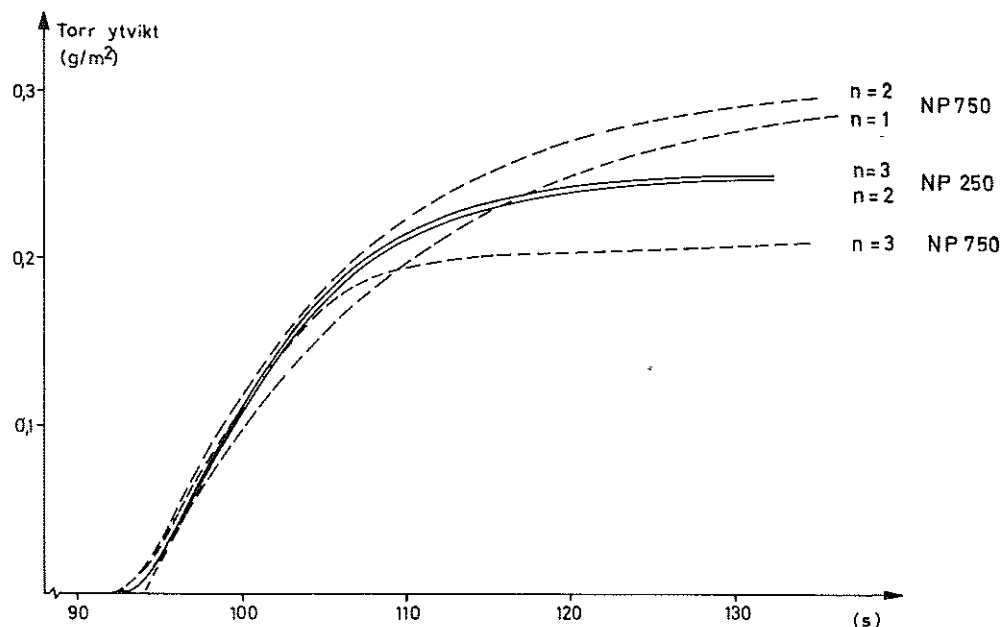


Fig. 5. Stegsvär för några ytviktsmodeller till mätning 1.

Av denna figur inses att processens stegsvar är snabbare än en enkel exponentialfunktion. Avvikelsen mellan stegsvaren för 1- och 2-ordningens modeller uppgår till ca 10 % relativt. Det följer också att löptiden bör uppskattas till 92 sek.

Analoga tidskontinuerliga modeller

Den analoga tidskontinuerliga modellen till den valda samplade modellen av 2-ordningen blir uttryckt i form av överföringsfunktionen mellan tjockmassaflöde och torr ytvikt:

$$G(s) = \left(\frac{0,495}{1+7,1 s} - \frac{0,242}{1+3,2 s} \right) e^{-92 s}$$

En fysikalisk tolkning till detta resultat ges i ett senare avsnitt.

Sammanfattning

Den experimentellt funna dynamiken i torr ytvikt vid tjockmassaflödesändringar har befunnits vara väsentligt snabbare än en enkel exponentialfunktion. Dynamiken kan noggrannt beskrivas med en 2-ordningens modell med reella poler, eller

$$G(s) = \left(\frac{0,495}{1+7,1 s} - \frac{0,242}{1+3,2 s} \right) e^{-92 s}$$

Av den tidigare gjorda preliminära analysen av data från mätning 1 framgick att signalerna för lågkoncentrationerna i våtpartiet ej kan bedömas vara av sådan beskaffenhet att signalerna kan användas för modellering. Av denna anledning har inga andra utsignaler modellerats för mätning 1.

DYNAMISKA MODELLER VID HÖG INSIGNALAMPLITUD

I detta avsnitt ges resultaten från maximum-likelihood identifiering av data från mätning 2. Parametervärden med noggrannheter ges för fullständiga modeller. En analys görs av de funna deterministiska modellerna av olika ordningstal. Ett preliminärt val av modell diskuteras. Slutliga valet av modeller görs efter jämförelser mellan försöken i nästa avsnitt. Analys av störningar och modeller av dessa görs i ett senare avsnitt i ett sammanhang.

Dynamiska modeller för torr ytvikt

Beräkningarna har även i detta fall utförts på 750 punkter med samlingsintervallet 2 s. Inga stationära data har ingått. PRB-sekvensen har använts som insignal genomgående. I tabell 7-9 ges förlustfunktionens värde, parametervärden med noggrannheter samt poler och nollställen till samplade modeller av olika ordningstal och löptider.

Löptid (s)	V_1	V_2	V_3	V_4	n	$F_{n+1,n}$	Statisk förstärkn.
86			39.0	38.9	1	130	0.244
88		46.0	(39.1)	39.0	2	16.1	0.234
90	89.8	(42.5)	40.3		3	0.9	0.238
92	(72.4)	48.2					
94	77.4						

Tabell 7. Förlustfunktionens värde för ytviktsmodeller till mätning 2, NP = 750.

Analys av resultatet

De intressanta modellerna finns markerade i tabell 7. Det följer att modellernas statistiska förstärkning i detta fall är tämligen lika och väl överensstämmer med den beräknade. Test av ordningstalet leder till att en 3-ordningens modell bör väljas. Notera den väsentliga minskningen i standardavvikelse för parameteruppskattningarna till följd av amplitudökningen. Observera slutligen att 2-ordningens modeller i detta fall genomgående har komplexa poler.

Plottning av modellegenskaperna

I fig. A6-A8 i appendix 1 anges egenskaperna hos de funna modellerna. Av detta följer nu klart att en 1-ordningens modell i detta fall beskriver data med mycket dålig noggrannhet. Notera t.ex. de stora deterministiska effekter, som återstår i störningssignalen. Modellens dåliga kvalitet framgår för övrigt av den drastiska testkvantitet, som erhålls vid test av ordningstal. Dynamiken hos högre ordningens modeller är snabb. Skillnaden i dynamiken hos 2- och 3-ordningens modeller är vidare måttlig. Detta framgår klart av fig. 6 där modeller-

Löptid (s)	ORDNINGSTAL 1			ORDNINGSTAL 2			ORDNINGSTAL 3		
	a-parametrar	b-parametrar x 10	c-parametrar	a-parametrar	b-parametrar x 10	c-parametrar	a-parametrar	b-parametrar x 10	c-parametrar
88				-1.544±0.014 0.626±0.013	-0.014±0.011 0.207±0.013	-0.639±0.038 0.022±0.038	-2.203±0.057 1.733±0.084 -0.489±0.033	0.025±0.012 0.085±0.026 -0.012±0.026	-1.396±0.068 0.581±0.070 0.017±0.041
90	-0.891±0.006	0.276±0.013	0.354±0.031	-1.448±0.019 0.549±0.016	0.113±0.011 0.123±0.015	-0.590±0.040 0.066±0.038	-1.828 1.186 -0.280	0.137 -0.006 0.051	-0.993 0.370 -0.013
92	-0.848±0.006	0.371±0.012	0.114±0.037	-1.287±0.040 0.415±0.034	0.240±0.013 0.055±0.025	-0.405±0.059 0.081±0.042			
94	-0.821±0.007	0.407±0.015	0.183±0.039						

Tabell 8. Parametervärden med noggrannheter för ytviktsmodeller till mätning 2, NP = 750.

Löptid (s)	ORDNINGSTAL 1			ORDNINGSTAL 2			ORDNINGSTAL 3		
	Rötter till A-polynomets Tidskonst. (s)	Rötter till B-polynomets	Rötter till C-polynomets	Rötter till A-polynomets Tidskonst. (s)	Rötter till B-polynomets	Rötter till C-polynomets	Rötter till A-polynomets Tidskonst (s)	Rötter till B-polynomets	Rötter till C-polynomets
88				0.772±j0.174	14.786	-0.418 1.057	0.805 0.699±j0.345	0.138 -3.505	-0.028 0.712±j0.338
90	0.891 T = 17.4	-	-0.354	0.724±j0.157	-1.092	0.441 0.149	0.726 0.551±j0.285	0.021±j0.611	0.038 0.477±j0.325
92	0.848 T = 12.1	-	-0.114	0.643±j0.023	-0.230	0.202±j0.201			
94	0.821 T = 10.1	-	-0.183						

Tabell 9. Poler och nollställen för ytviktsmodeller till mätning 2, NP = 750.

nas enkla stegsvar finns uppritade. Av den förda diskussionen följer, att för en noggrann beskrivning av dynamiken räcker strängt taget en 2-ordningens modell. Här skall dock modellen av 3-ordningen väljas, eftersom därmed en intressant fysikalisk tolkning kan ges till processens dynamiska beteende. Slutligen bör anmärkas att modellen av 3-ordningen innehåller två icke-signifikanta parametrar. Detta indikerar ofta att parameterantalet kan minskas utan nämnvärd försämring av noggrannheten.

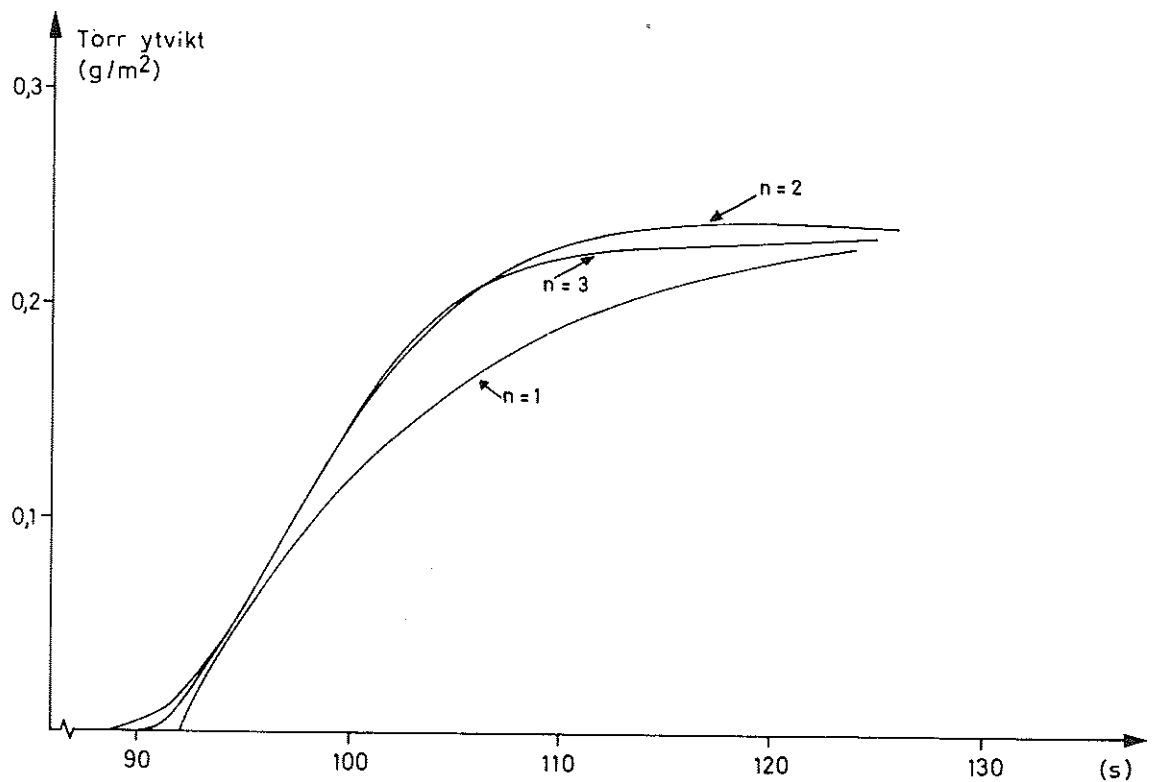


Fig. 6. Stegsvär för några ytviktsmodeller till mätning 2.

Analoga tidskontinuerliga modeller

Även i detta fall skall tillhörande tidskontinuerliga modeller presenteras för några intressanta fall. Detta sker i form av överföringsfunktioner för sambandet mellan tjockmassaflöde och torr ytvikt.

Löptid (s)	Ordningstal 2	Ordningstal 3
88		$\frac{0,284}{1+9,2s} - \frac{0,053(s+0,059)}{s^2+0,25s+0,068}$
90	$0,0113 \frac{s+0,703}{s^2+0,30s+0,034}$	

Tabell 10. Analogt tidskontinuerliga modeller för mätning 2.

Sammanfattning

Den experimentellt funna dynamiken i torr ytvikt vid tjockmassaflödesändringar har befunnits vara väsentligt snabbare än en enkel exponentielfunktion. Dynamiken kan noggrant beskrivas med en 3-ordningens modell med överföringsfunktionen

$$G(s) = \left(\frac{0,284}{1+9,2s} - \frac{0,053(s+0,059)}{s^2+0,25s+0,068} \right) e^{-88 s}$$

Dynamiska modeller för inloppslådekonzentrationen

Den preliminära analysen av data, som inledningsvis gjordes, visade att data för lågkoncentrationerna även i detta fall var av dålig kvalitet. Endast på ett kort avsnitt om ca 200 punkter i senare delen av mätning 2 kan inloppslådekonzentrationen anses innehålla deterministiskt beteende. Ett försök till modellering av denna signal har därför gjorts på dessa data. Det bör dock noteras att signal/brus förhållandet är ca ett i detta fall. Lyckligtvis har maximum-likelihood metoden i andra sammanhang visat sig vara ett kraftfullt verktyg för parameteruppskattningar även under dessa svåra förhållanden.

Identifiering har således utförts på 200 punkter med samplingsintervallet 2 s. Resultatet ges i tabell 11-13.

Löptid (s)	V_1	V_2	V_3	n	$F_{n+1,n}$	Statisk förstärkn.
24	0.558	0.506	0.488	1	3.9	0.0060
26	0.542	0.501	0.489	2		0.0056
28	0.543	0.502	0.499			
30	0.610	0.561	0.558			

Tabell 11. Förlustfunktionens värde för inloppslådekonzentrationsmodeller till mätning 2, $NP = 200$.

Analys av resultatet

Av tabell 11 framgår att test av ordningstalet i detta fall leder till att en 1-ordningens modell med all säkerhet räcker. Detta kan å andra sidan bero på att data är så få och dåliga att högre ordningens modeller ej går att bestämma. Notera exempelvis den dåliga noggrannhet, varmed parametrarna är bestämda.

Löp- tid (s)	ORDNINGSTAL 1			ORDNINGSTAL 2		
	a-parametrar	b-parametrar x 100	c-parametrar	a-parametrar	b-parametrar x 100	c-parametrar
24	-0.777±0.036	0.141±0.020	-0.352±0.072	-1.076±0.171 0.341±0.138	0.025±0.043 0.124±0.057	-0.741±0.172 0.409±0.093
26	-0.717±0.042	0.170±0.023	-0.322±0.067	-0.758±0.258 0.146±0.181	0.094±0.051 0.123±0.084	-0.442±0.257 0.356±0.103
28	-0.611±0.061	0.220±0.034	-0.192±0.078	-0.869±0.223 0.174±0.142	0.263±0.050 -0.102±0.084	-0.530±0.216 0.324±0.092
30	-0.626±0.079	0.187±0.043	-0.152±0.083	-0.746±0.216 0.086±0.159	0.275±0.058 -0.124±0.077	-0.360±0.205 0.298±0.105

Tabell 12. Parametervärden med noggrannheter för inlopps-
lådekonzentrationsmodeller till mätning 2,
NP = 200.

Plottning av modellegenskaperna

Av fig. A9 i appendix 1 framgår modellegenskaperna hos den funna 1-ordningens modellen. Av detta framgår att modellen beskriver data tillfredsställande.

Löptid (s)	ORDNINGSTAL 1			ORDNINGSTAL 2		
	Rötter till A-polynom Tidskonst. (s)	Rötter till B-polynom	Rötter till C-polynom	Rötter till A-polynom Tidskonst. (s)	Rötter till B-polynom	Rötter till C-polynom
24	0.777 T = 7.9	-	0.352	0.538±j0.226	-4.960	0.371±j0.522
26	0.717 T = 6.0	-	0.322	0.379±j0.047	-1.306	0.221±j0.554
28	0.611 T = 4.1	-	0.192	0.557 0.313 T ₁ = 3.4 T ₂ = 1.7	0.382	0.265±j0.504
30	0.626 T = 4.3	-	0.152	0.603 0.143 T ₁ = 4.0 T ₂ = 1.0	0.451	0.180±j0.516

Tabell 13. *Poler och nollställen för inloppslådekonzentrationsmodeller till mätning 2, NP = 200.*

Sammanfattning

Den experimentellt funna dynamiken i inloppslådekonzentration har befunnits gå att beskriva med en första ordningens modell eller

$$G(s) = \frac{0.0060 e^{-26s}}{1 + 6s}$$

Det bör dock observeras att till följd av mätsvårigheter har antalet data vid beräkningarna varit betydligt färre än vid övriga beräkningar. Vidare har signal/brus förhållandet varit ogynnsamt (ca 1). Av dessa skäl kan modellering av inloppslådekonzentrationen icke anses vara tillnärmelsevis slutförd.

JÄMFÖRELSE OCH TOLKNINGAR AV RESULTATET

I detta avsnitt skall jämförelser göras mellan modeller från de två mätningarna. Slutliga valet av modeller anges. Jämförelser görs med förväntat "teoretiskt" resultat. Tolknings av den funna dynamiken avslutar detta avsnitt.

Jämförelser av modeller från olika försök.

Den från en mätning valda modellen bör vara så beskaffad att den endast beskriver allmängiltiga egenskaper hos den aktuella processen under de vid mätningen givna förhållandena. Så exempelvis får ej ett så högt ordningstal på modellen väljas, att tillfälliga processegenskaper modelleras. Om så sker kan nämligen i värsta fall modellens giltighet inskränka sig till blott och bart de data ur vilka den har beräknats. Normalt undviks detta på så sätt att två identifieringsförsök under möjligast konstanta förhållanden utförs på processen vid två olika tidpunkter. De så erhållna modellerna skiftas därefter mellan försöken varvid inga stora försämringar av anpassningen till data får uppkomma.

Denna teknik skall även användas i detta fall. Situationen är dock i detta fall mer komplicerad eftersom en avsiktlig ändring gjorts i de förhållanden under vilka mätningarna utförts. Amplituden har ju fördubblats. Om nu processen ej är linjär, och detta kan ej förutsättas, så kommer helt naturligt såväl deterministisk modell, som kanske störningsmodell, att ändras med amplituden. Skifte av modell

kommer då närmast att bli en illustration av dynamikens amplitudberoende. I viss omfattning kan trots detta modellering av tillfälliga processegenskaper spåras. Så exempelvis hade deterministisk modellering av drift, som i fallet med den först erhållna 3-ordningens modellen för mätning 1, lätt kunnat fastställas. I detta fall är dock förhållandet så uppenbart att ytterligare analys ej behövs. Av fig. A10-A12 i appendix 1 framgår resultatet från modellskiften. Figurerna visar att de intressanta modellerna av 2-ordningen från respektive försök direkt kan beskriva data från annat försök utan någon drastisk försämring av noggrannheten. Av fig. A12 följer dock att skifte av 3-ordningens modeller ej kan göras direkt. Anledningen till detta är att stegsvaret, hos modellen av 3-ordningen till mätning 2, nära nog är noll under första samplingsintervallet. Detta framgår tydligt av fig. 6. Direkt skifte av modeller leder i detta fall väsentligen till ett fel i uppskattning av löptiden med ett samplingsintervall. Detta förorsakar en mycket onoggrann beskrivning av data. Modellerna av 3-ordningen kan därför endast skiftas om löptiden sättes till 90 s.

Sammanfattningsvis följer således att modeller från ett försök utan någon drastisk försämring av noggrannheten kan beskriva data från annat försök. Löptiderna för de två mätningarna skiljer sig dock med ett samplingsintervall. Tänkbara anledningar till denna olikhet i löptid kan dock lätt formuleras. Antingen har en oavsiktlig ändring skett av maskinhastigheten mellan försöken eller också inverkar driften i data från mätning 1 på så sätt att modellerna kommer att bättre anpassas vid en något längre löptid.

Jämförelser med förväntat teoretiskt resultat

I detta avsnitt skall de experimentellt funna modellerna jämföras med de ur fysikalisk grundkunskap tidigare härledda modellerna (1). I första hand är det då väsentligt att avgöra om det finns några strukturella skillnader mellan experimentellt funna och härledda modeller. Om så är fallet måste en kritisk granskning göras av de antaganden på vilka den teoretiska modellen bygger.

Vid analys av förhållanden för kraftpappersmaskiner (1) framkom att viragropens dynamik med god noggrannhet kan försummas. Detta är naturligtvis än mer befogat vid en i förhållande till viragropens dynamik snabbt varierande insignal. Detta kan förväntas vara fallet vid dessa mätningar eftersom viragropens volym är stor i förhållande till tunnmassaflödet. Se för övrigt data om XPM i appendix 4. Av den gjorda analysen framgick vidare att ändringarna i viraretention är så små att dess inverkan på dynamiken kan försummas.

Denna analys verifieras till vissa delar av de experimentellt funna modellerna. Sålunda ingår ingen långsam dynamik från viragropen i erhållna resultat. Av de stationära intervallen i figur 2 och 3 kan för övrigt inga tecken på viragropens dynamik noteras. De vid mätningarna uttagna koncentrationsproverna från våtpartiet bekräftar vidare att viraretentionen nära nog är konstant.

Av analysen i (1) följde emellertid att under dessa förhållanden ges dynamiken i såväl inloppslådekonzentration som torr ytvikt av 1-ordningens modeller. Detta står ej i överensstämmelse med den experimentellt funna dynamiken för torr ytvikt, som ju är väsentligt snabbare än en enkel exponentialfunktion. Den funna dynamiken i inloppslådekonzentration skall i detta sammanhang ej närmare beröras eftersom på grund av mätsvårigheter noggranna modeller ej gått att få fram.

Vid analysen i (1) gjordes två i detta sammanhang väsentliga antaganden. Dels att blandningsprocessen i våtpartiet kan karakteriseras som en ideal blandningsprocess med löptid dels att virahastigheten är konstant. Om för ögonblicket det sista antagandet kan anses vara uppfyllt, så skulle dynamiken i torr ytvikt vid fullständig avsaknad av blandning inskränka sig till en ren tidsfördröjning. Antagandet om ideal blandning leder å andra sidan till en dynamik beskriven av en exponentialfunktion. Då emellertid ingen omrörning sker i våtpartiet är det rimligt att anta att dynamiken i torr ytvikt i själva verket ligger emellan ovan skisserade ytterlighetsfall. Notera att den till mätning 1 valda modellen av 2-ordningen just beskriver en dynamik av detta slag. Av detta följer, att den komplexa blandningsprocessen i

våtpartiet blott med dålig noggrannhet kan karakteriseras, som en ideal blandningsprocess med löptid. Det bör emellertid konstateras, att det inte är någon lätt uppgift att utifrån fysikalisk kunskap konstruera matematiska modeller, som bättre och i enlighet med ovan funna resultat, beskriver blandningsprocessen. I detta sammanhang skall därför ej några tänkbara fysikaliska förklaringar ges till detta fenomen.

Återstår då att avgöra varför dynamiken ändras något då insignalamplituden fördubblas. Modellen av 3-ordningen till mätning 2 är uppbyggd på ett sätt som till vissa delar påminner om modellen av 2-ordningen till mätning 1. Skillnaden består däri, att den korta tidskonstanten nu övergått till ett 2-ordningens delsystem med komplexa poler. En rimlig förklaring till detta är, att antagandet om konstant virahastighet vid stora insignalamplituder ej längre är uppfyllt. Resultatet från en närmare undersökning av detta förhållande kommer att ges i en senare rapport. Delsystemet med två komplexa poler kommer då som tidigare, att ingå i beskrivningen av blandningsprocessen men dessutom innehålla beskrivning över virahastighetens inverkan på dynamiken i torr ytvikt. Det är intressant att notera att med denna tolkning sker en sänkning av virahastigheten först när en kraftig ytviktsökning når de torra suglådorna och gusken i slutet av våtpartiet.

På grund av att virahastigheten ej längre är konstant vid stora insignalamplituder kommer således dynamiken i torr ytvikt att bli amplitudberoende. Detta åskådliggörs i fig. 7 där stegsvaren till de valda modellerna anges. Stegsvaren har i detta fall omräknats till ett och samma värde på statistiska förstärkningen samt i båda fallen angetts med löptiden 90 s.

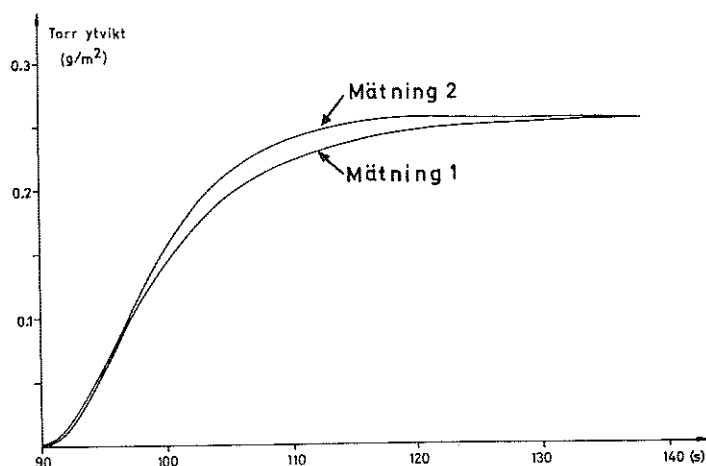


Fig. 7. Normerade stegsvar för ytviktsmodeller till mätning 1 och 2.

Ehuru 1-ordningens modeller är onoggranna har de den fördelen att parametrarna har enkla fysikaliska tolkningar. Sålunda kan ur deras tidskonstant en s.k. effektiv blandningsvolym beräknas. Ur mätning 2 följer då att hälften av den totala blandningsvolymen för torr ytvikt genereras före själva inloppslådan. Ur det givna värdet på tunnmassaflödet kan den effektiva blandningsvolymen för torr ytvikt uppskattas till 267 l.

Sammanfattning

Den experimentellt funna dynamiken i torr ytvikt vid tjockmassaflödesändringar är väsentligt snabbare än en enkel exponentialfunktion. Dynamiken är vidare något amplitudkänslig, på grund av att en stor insignalamplitud leder till variationer i virahastigheten. Dynamiken utgör i övrigt en karakterisering av den komplexa blandningsprocessen i våtpartiet. För en noggrann beskrivning av denna process måste en 2-ordningens modell tillgripas. Ett tidigare gjort antagande om att viragropens dynamik kan försummas har bekräftats av de gjorda mätningarna.

ANALYS AV PROCESSENS STÖRNINGAR

Av det tidigare sagda framgår att processens störningar kan erhållas genom subtraktion av den deterministiska modellens utsignal från processens utsignal. Detta är åtminstone fallet för väl beskrivande modeller. I detta avsnitt skall de statistiska egenskaperna hos processens störningar anges. Detta sker här i form av auto- och korskorrelationsfunktioner. Jämförelser görs med de erhållna störningsmodellerna. Residualernas egenskaper granskas avslutningsvis.

Auto- och korskorrelationsfunktioner för processens störningar

Beräkningarna av korrelationsfunktionerna har gjorts på 200 punkter. Data om störningarna har genererats på följande sätt.

för inloppslådekonzentration genom subtraktion av utsignalen för den funna 1-ordningens modellen från processens utsignal över det avsnitt av mätning 2 varur modellen beräknats.

för torr ytvikt genom subtraktion av utsignalen för den funna 2-ordningens modellen från processens utsignal över det avsnitt av mätning 2 varur modellen för inloppslådekonzentrationen beräknats.

De erhållna autokorrelationsfunktionerna för störningarna i inloppslådekonzentration och torr ytvikt framgår av figur 8-9. Av detta framgår att störningarna i torr ytvikt är korrelerade upp till ca 6 s. (8 m banlängd) medan störningarna i inloppslådekonzentration är korrelerade upp till 10 s. Standardavvikelserna för torr ytvikt resp. konzentration uppgår till 0,60 g/m² resp. 0.08 g/l.

I fig. 10 anges slutligen korskorrelationsfunktionen för störningarna i inloppslådekonzentration och torr ytvikt. Korrelationen är som synes svag, något som i detta fall delvis kan bero på det kraftiga "mätbrus", som finns överlagrat signalen från lågkoncentrationsgivaren.

Autokorrelationsfunktioner för modeller av processens störningar

Tidigare har konstaterats att maximum-likelihood metoden även leder till modeller för processens störningar. Modellerna är på formen:

$$v(t) = \lambda \frac{C(q^{-1})}{A(q^{-1})} e(t)$$

där $(e(t))$ är en svit oberoende, normalfördelade stokastiska variabler. I föregående avsnitt angavs de statistiska egenskaperna för realisationer av processens störningar, dvs.

$$v(t) = \frac{C(q^{-1})}{A(q^{-1})} \varepsilon(t)$$

Modellerna förutsätter för sin giltighet att residualerna $(\varepsilon(t))$ är oberoende och normalfördelade. Detta skall undersökas i nästa avsnitt. Autokorrelationsfunktioner har beräknats för modeller av processens störningar. Resultatet finns angivet i fig. 8-9. Av detta följer att den modellerade störningen i exempelvis torr ytvikt är

korrelerad upp till ca 15 s. Skillnaden i störningsmodell för andra ordningens modeller är som synes högst måttlig.

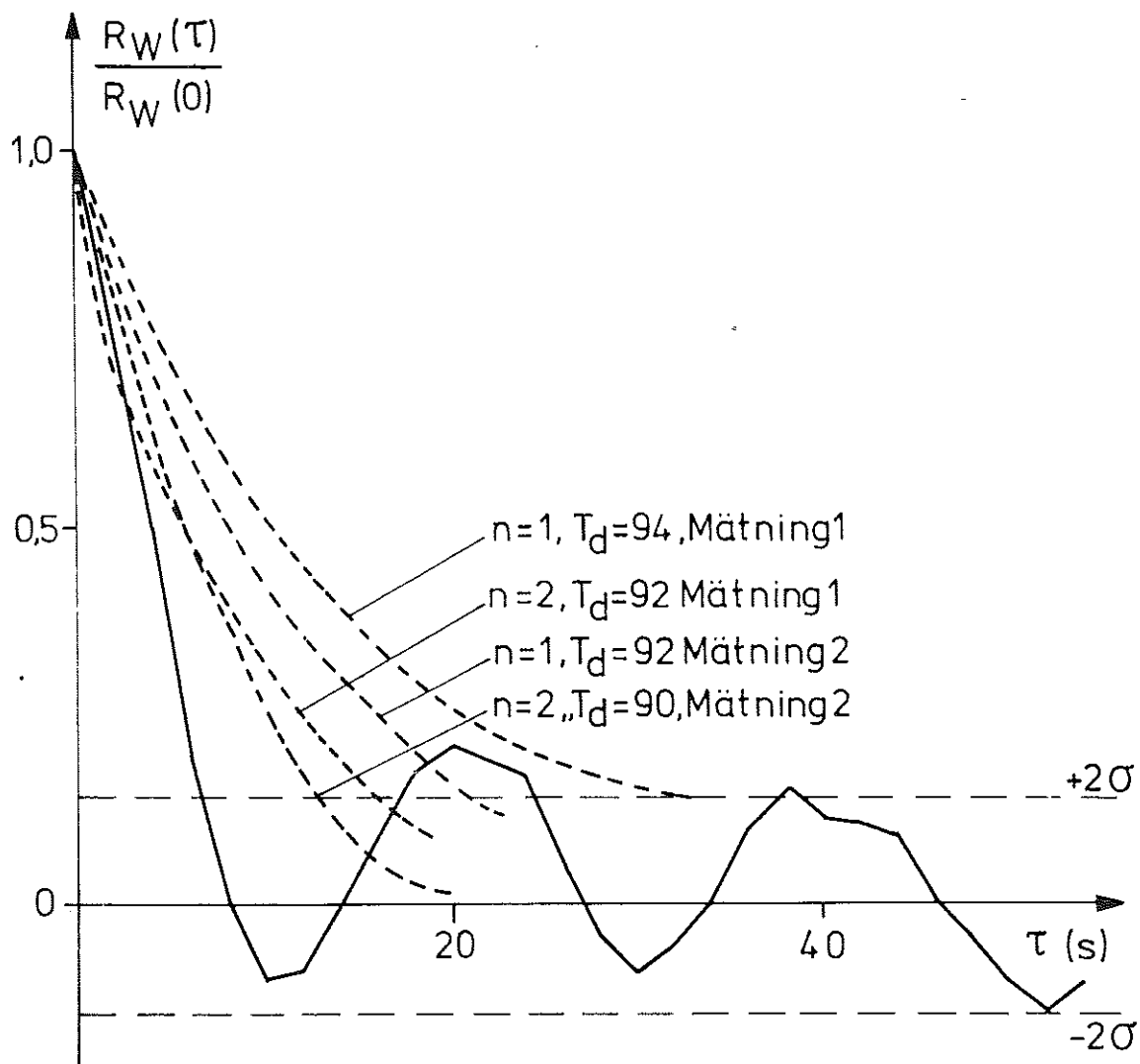


Fig. 8. Autokorrelationsfunktioner för störningar i torr ytvikt och modeller för dessa störningar.

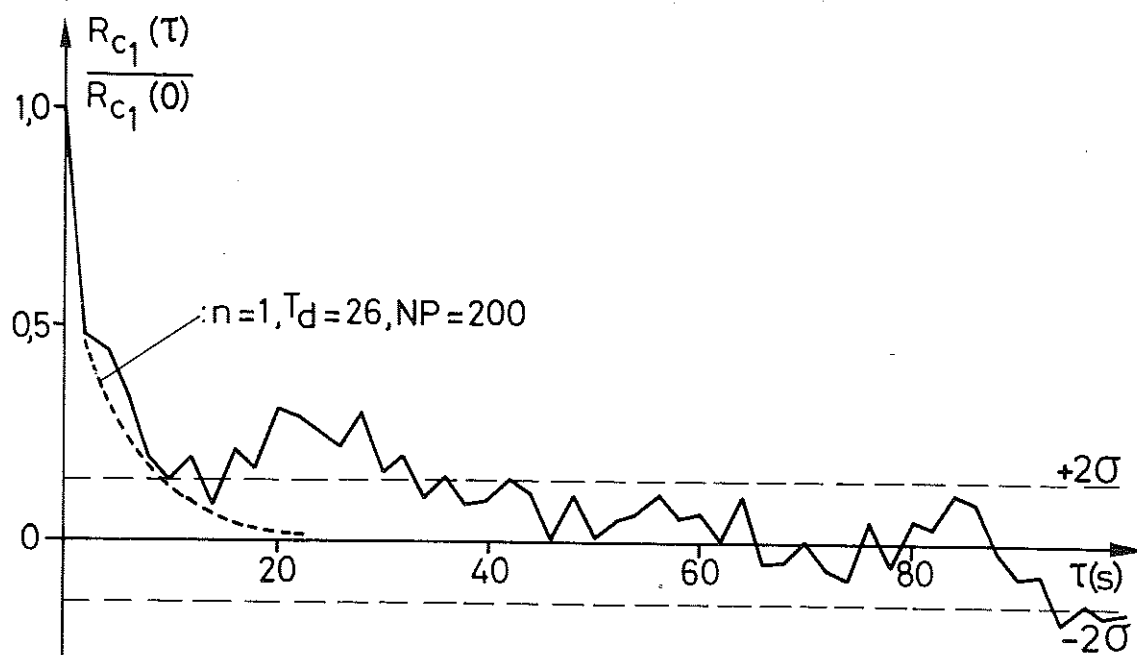


Fig. 9. Autokorrelationsfunktioner för störningar i inloppslådekonzentration och modeller för dessa störningar.

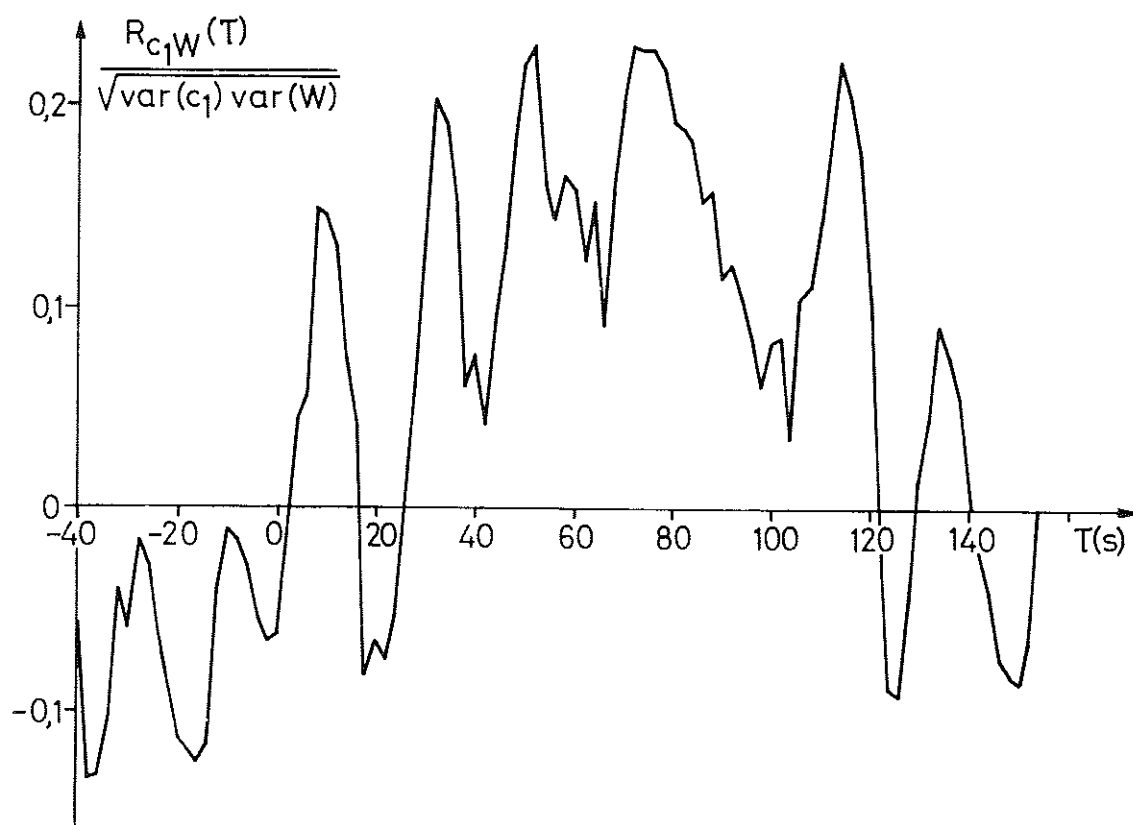


Fig. 10. Korskorrelationsfunktion för störningar i inloppslådekonzentration och torr ytvikt.

Analys av residualer

Enligt gjorda antaganden skall residualerna vid perfekt modellering vara oberoende, normalfördelade stokastiska variabler. I detta avsnitt skall detta närmare undersökas. Residualernas autokorrelationsfunktioner har beräknats för modellerna av 2-ordningen. Resultatet framgår av fig. 11 - 12.

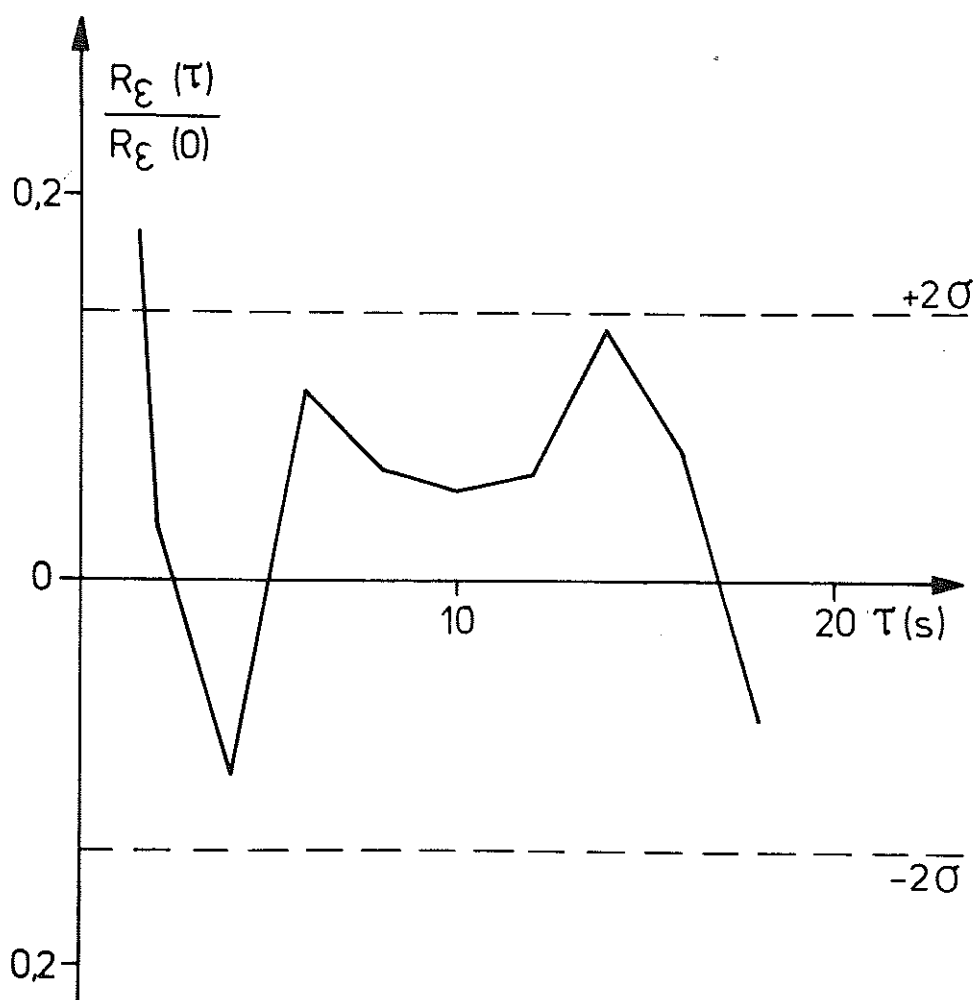


Fig. 11. Autokorrelationsfunktion för residualer till andra ordningens modell för mätning 1.

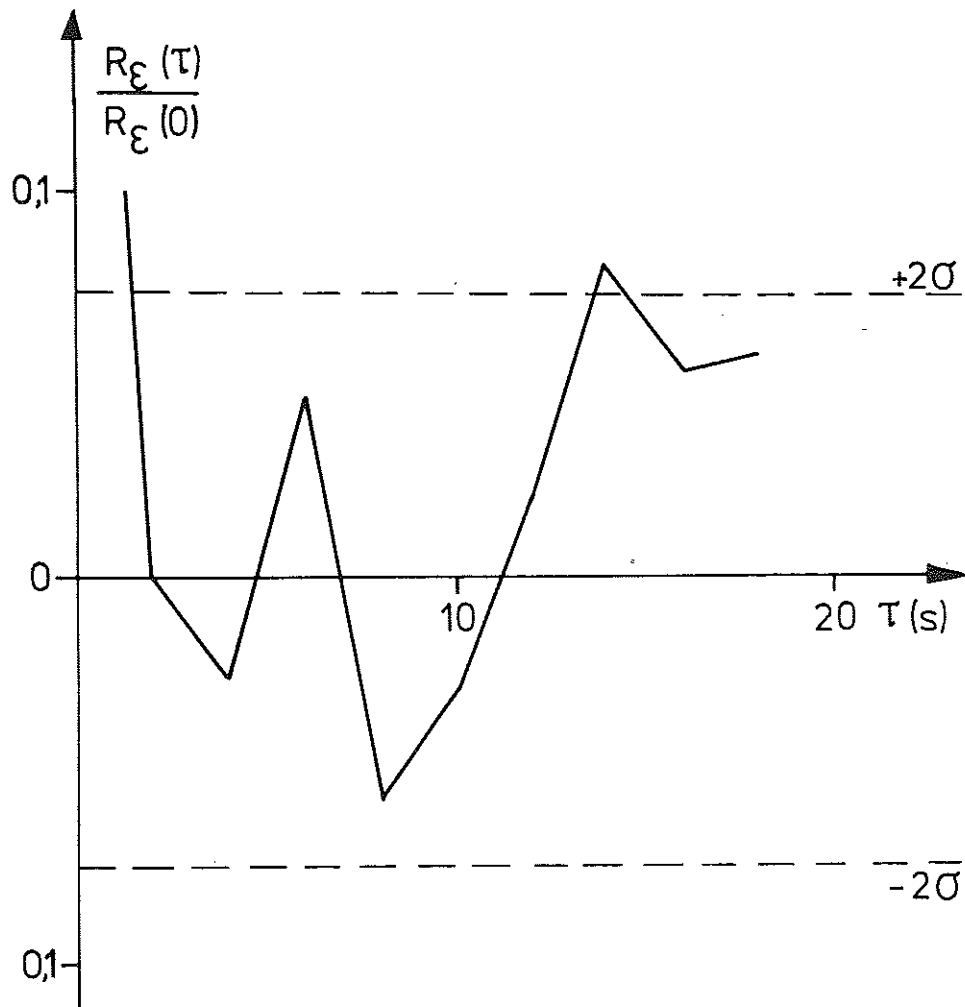


Fig. 12. Autokorrelationsfunktion för residualerna till andra ordningens modell för mätning 2.

Av detta följer att antagandet om att residualerna är oberoende är satisfierat.

Test har utförts på huruvida residualernas frekvens histogram approximativt har normalfördelningens utseende. Därvid har framkommit att antagandet om normalfördelade residualer till ovan analyserade 2-ordningens modeller kan accepteras.

APPENDIX 1

PLOTNINGAR AV MODELLEGENSKAPERNA

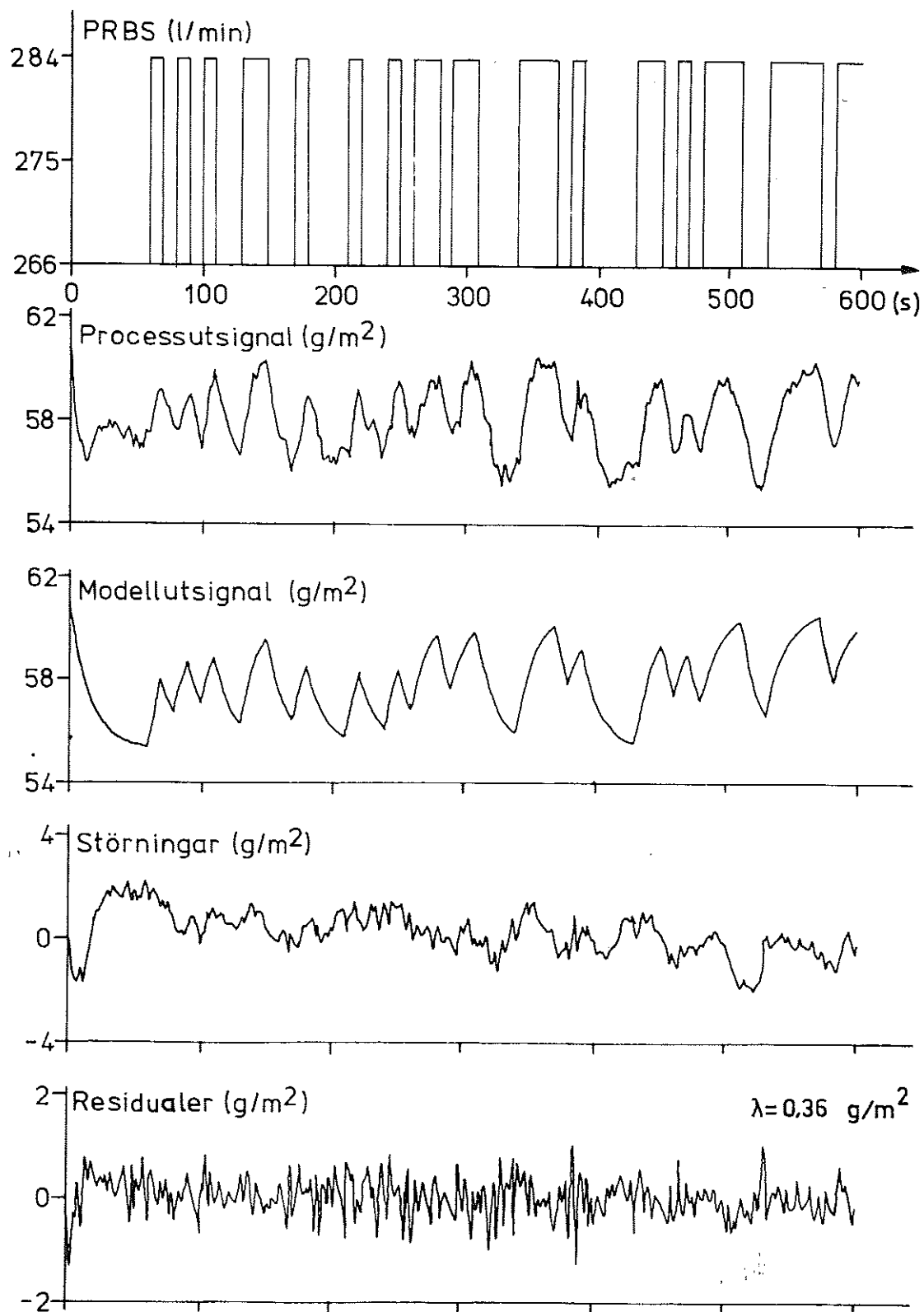


Fig. A1. Första ordningens modell, $T_d = 94$ (s).

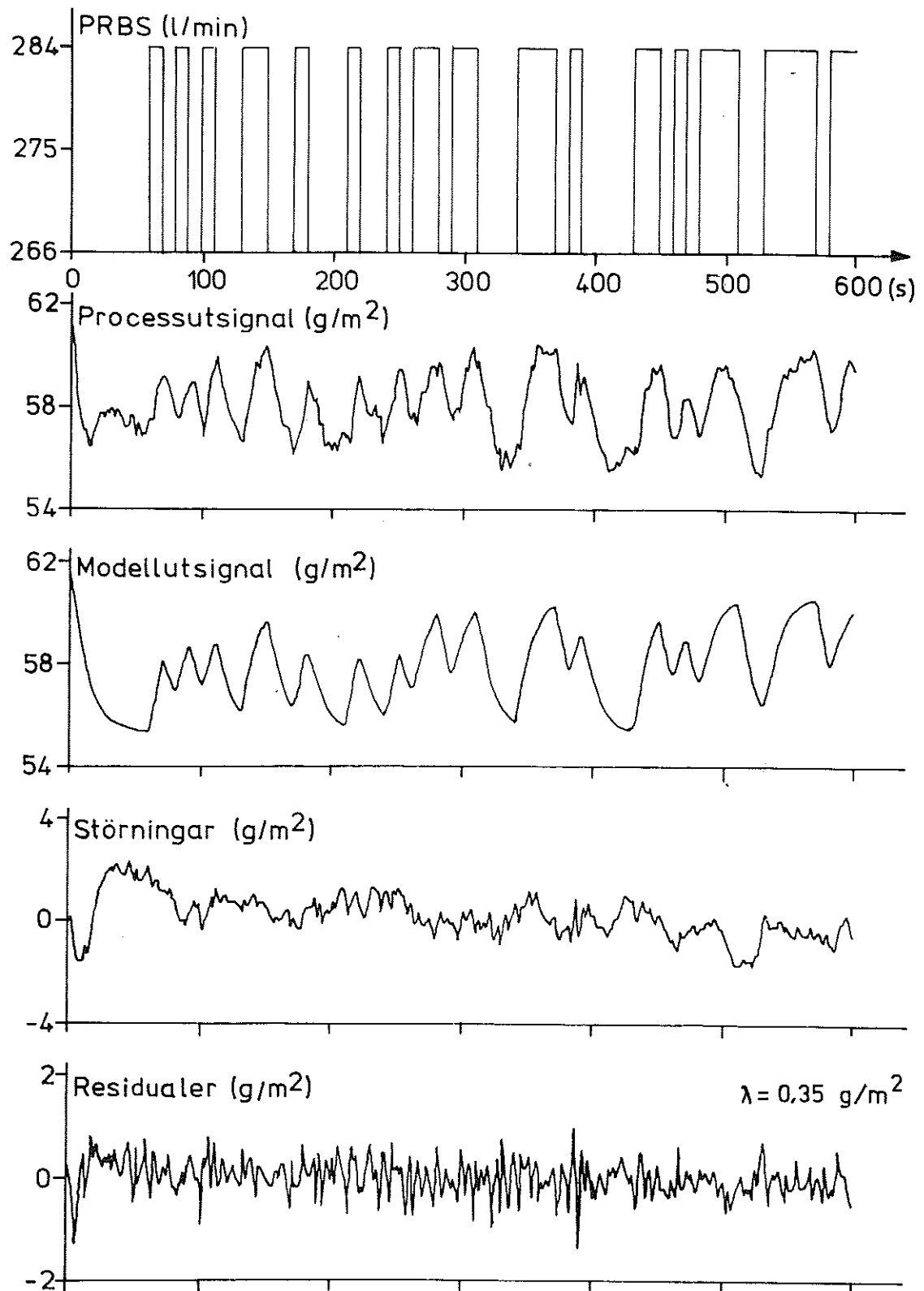


Fig. A2. Andra ordningens modell, $T_d = 92$ (s).

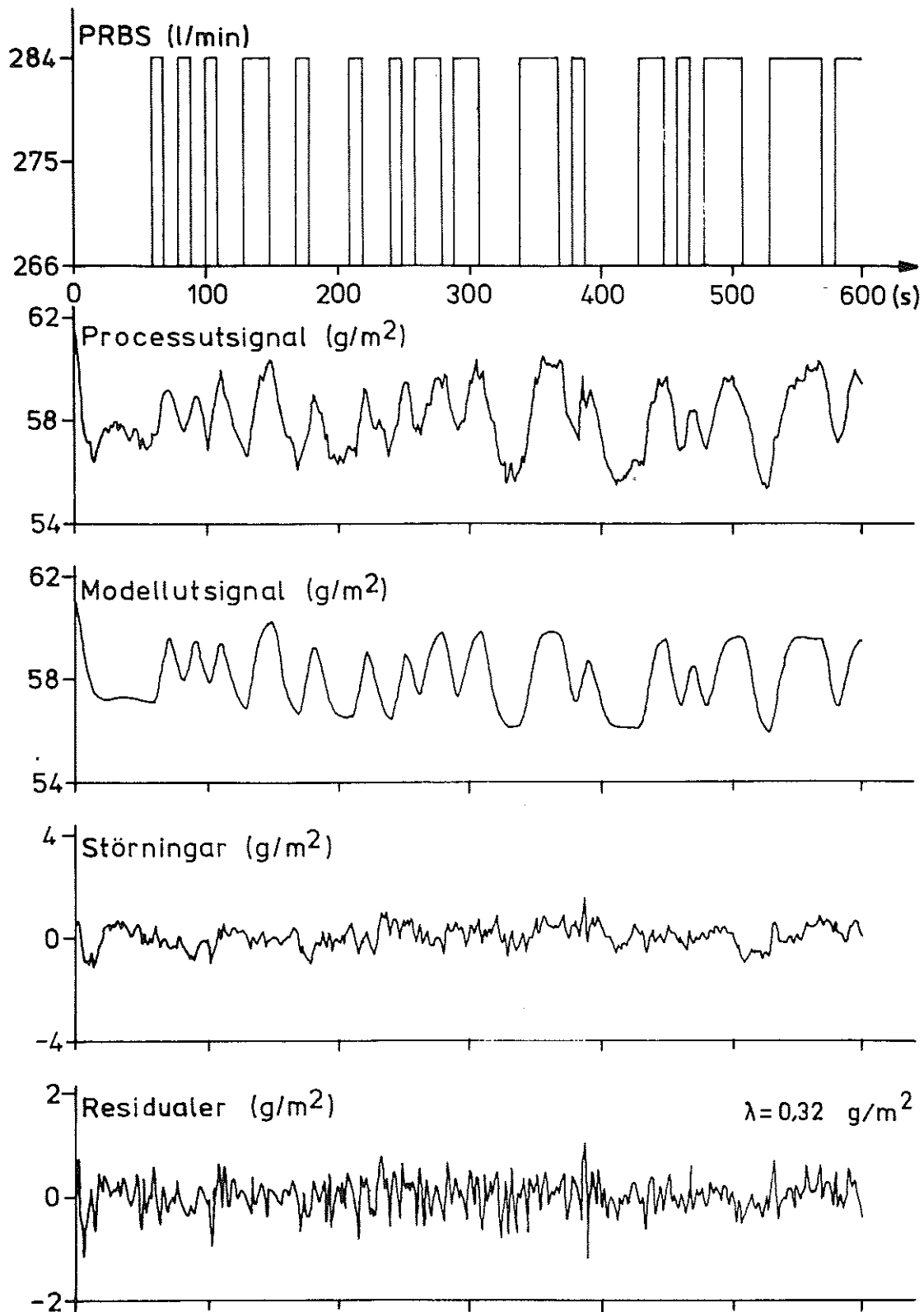


Fig. A3. Tredje ordningens modell, $T_d = 92 \text{ (s)}$

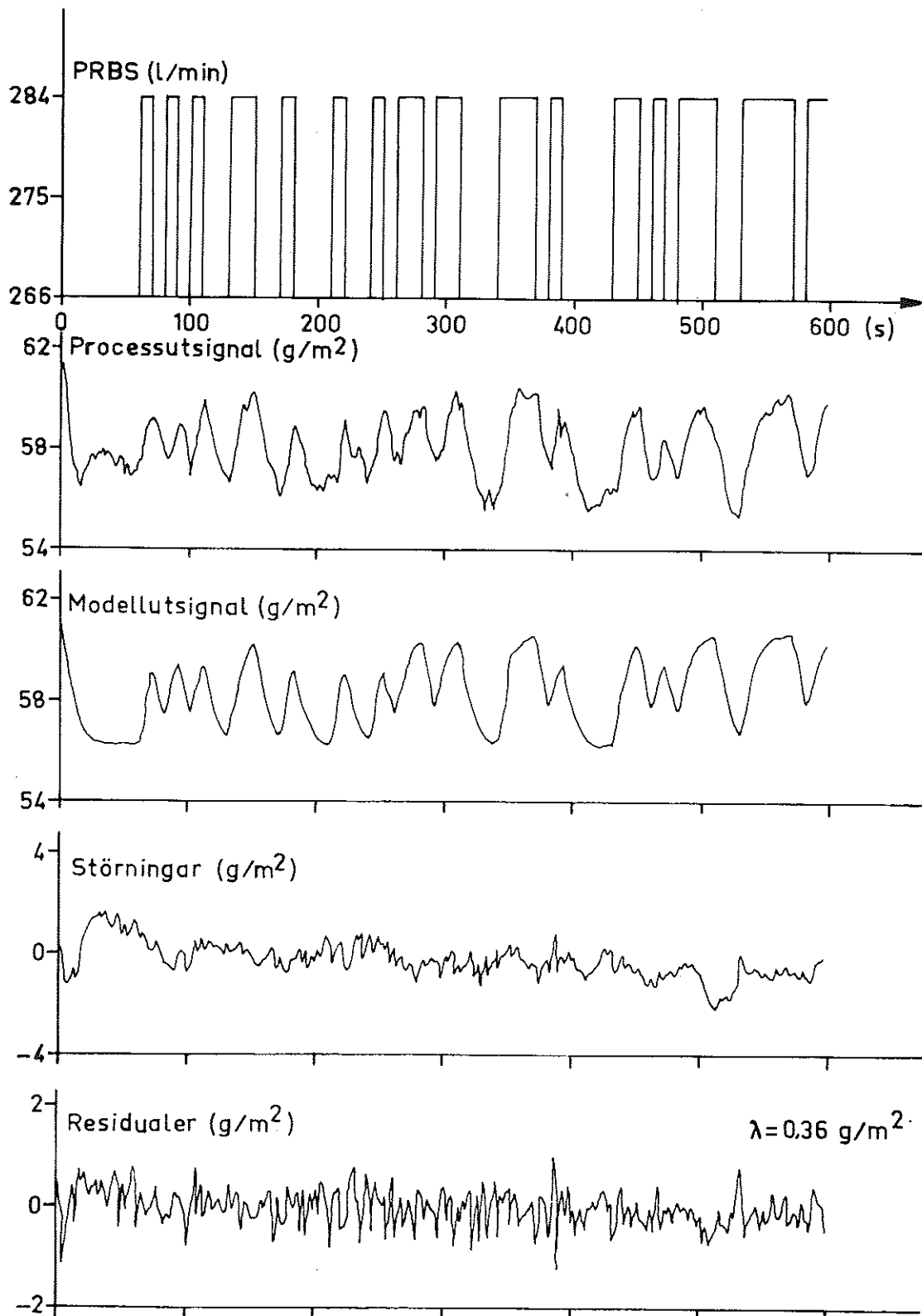


Fig. A4. Andra ordningens modell, $T_d = 92 \text{ (s)}$, $NP = 250$.

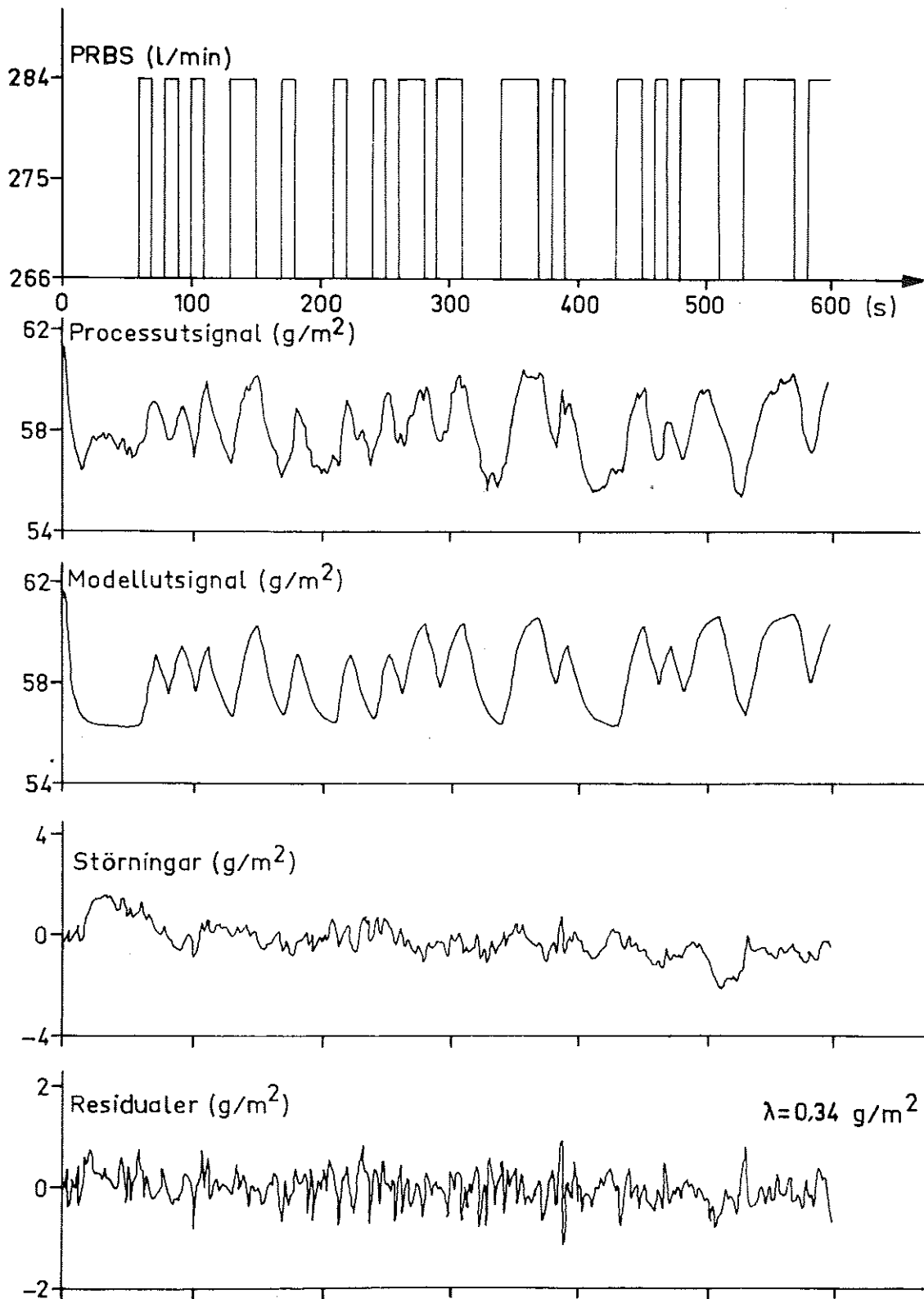


Fig. A5. Tredje ordningens modell, $T_d = 92 \text{ (s)}$, $NP = 250$.

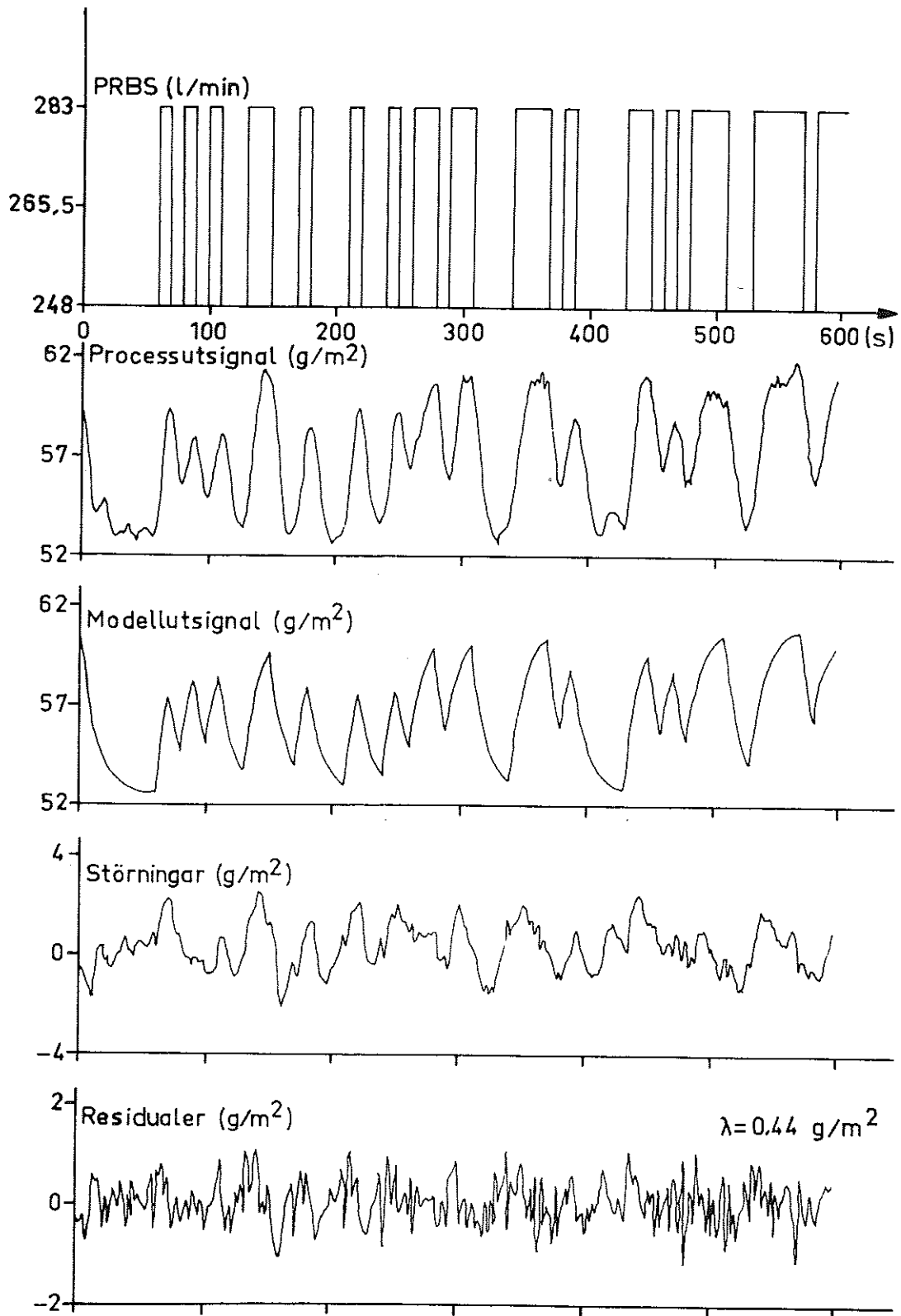


Fig. A6. Första ordningens modell, $T_d = 92 \text{ (s)}$.

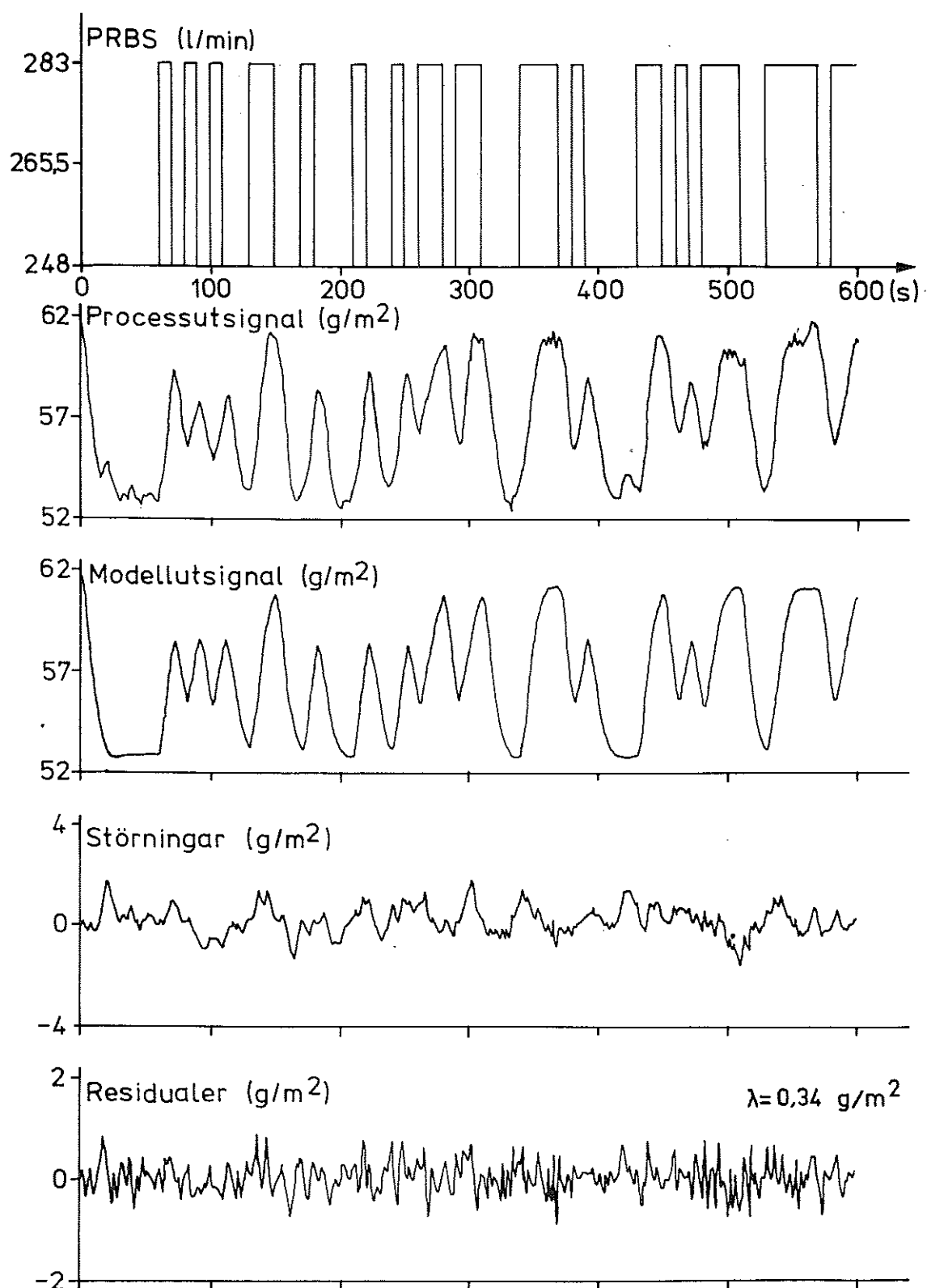


Fig. A7. Andra ordningens modell, $T_d = 90$ (s).

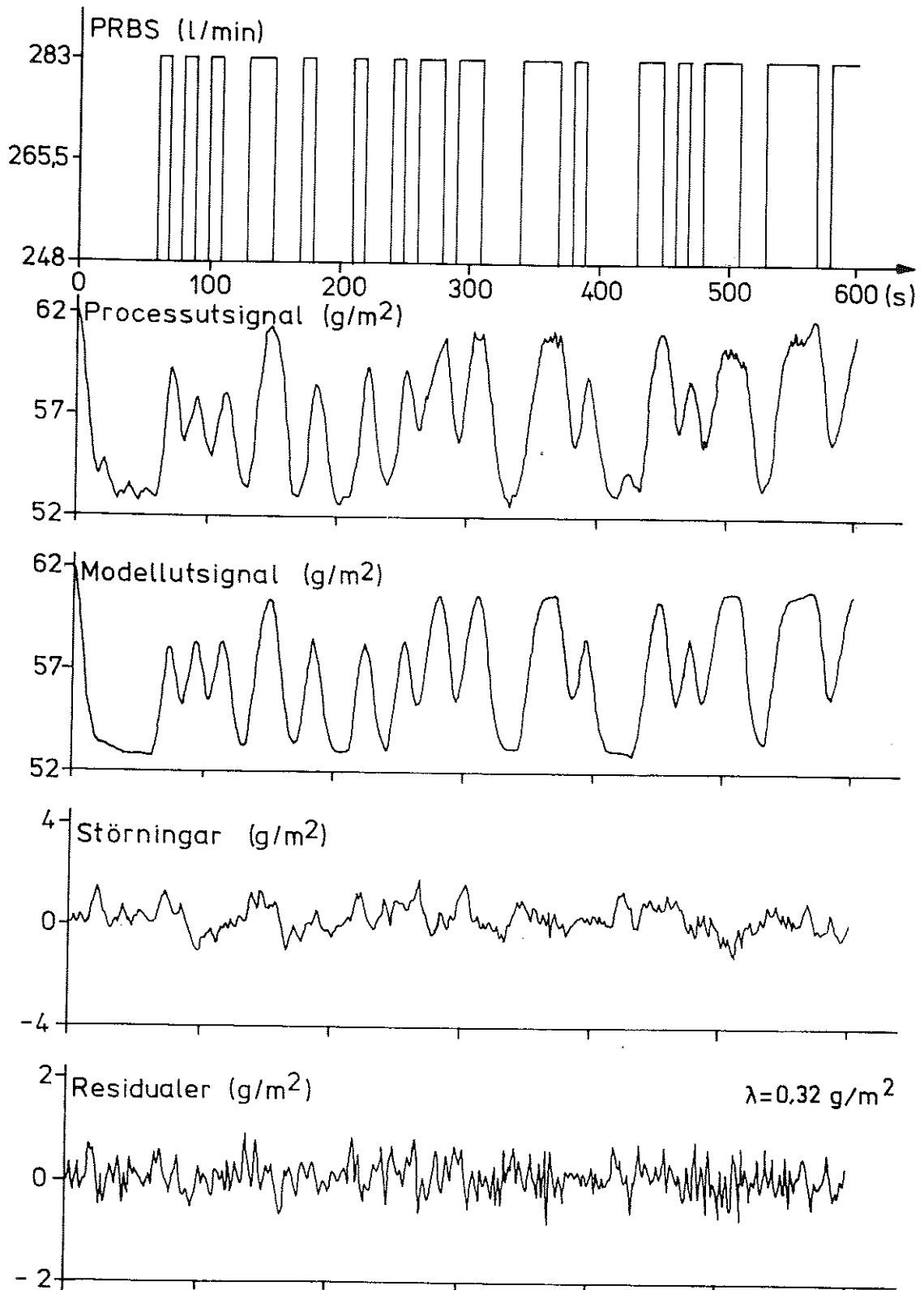


Fig. A8. Tredje ordningens modell, $T_d = 88 \text{ (s)}$.

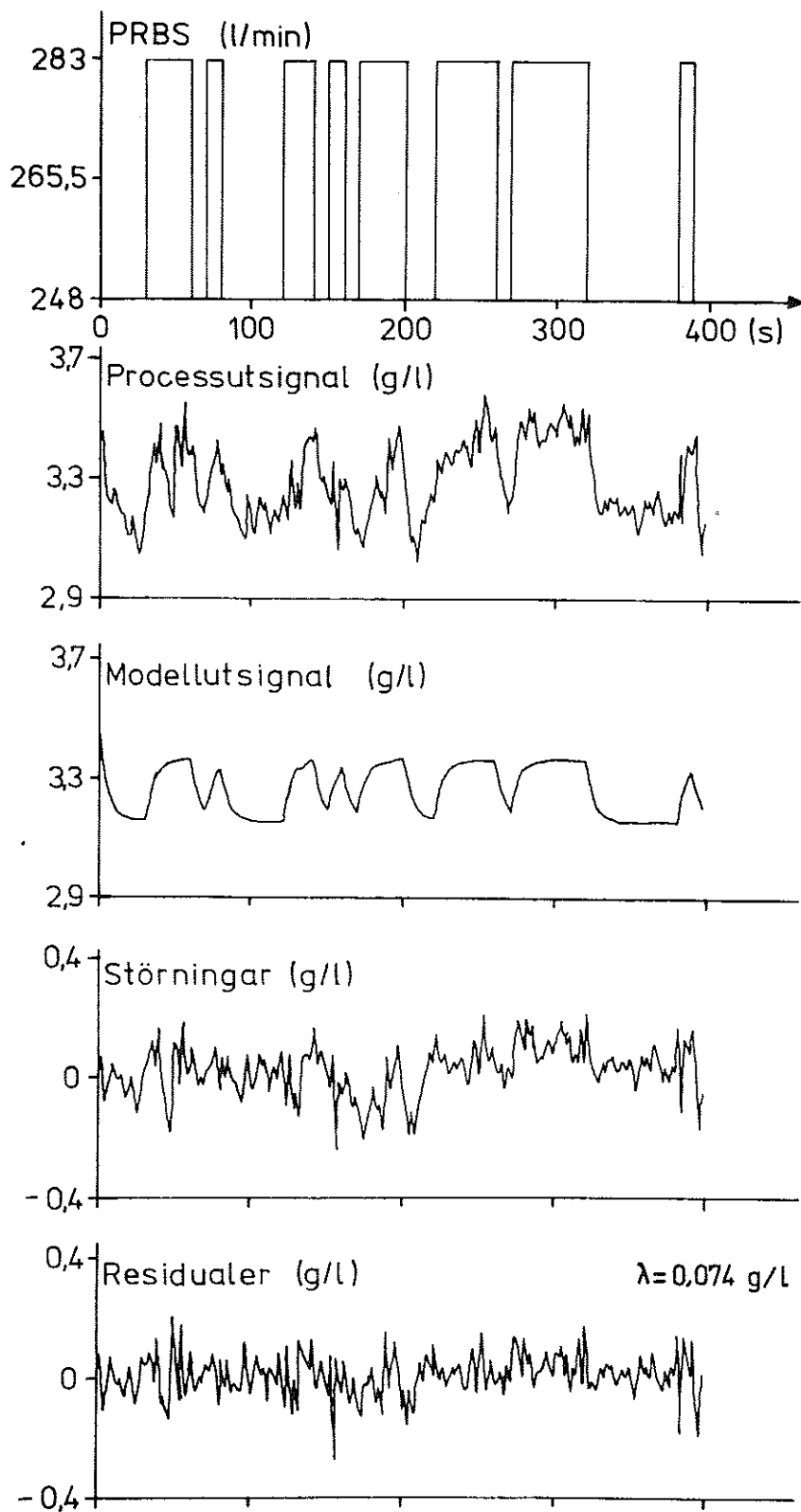


Fig. A9. Första ordningens modell, $T_d = 26 \text{ (s)}$.

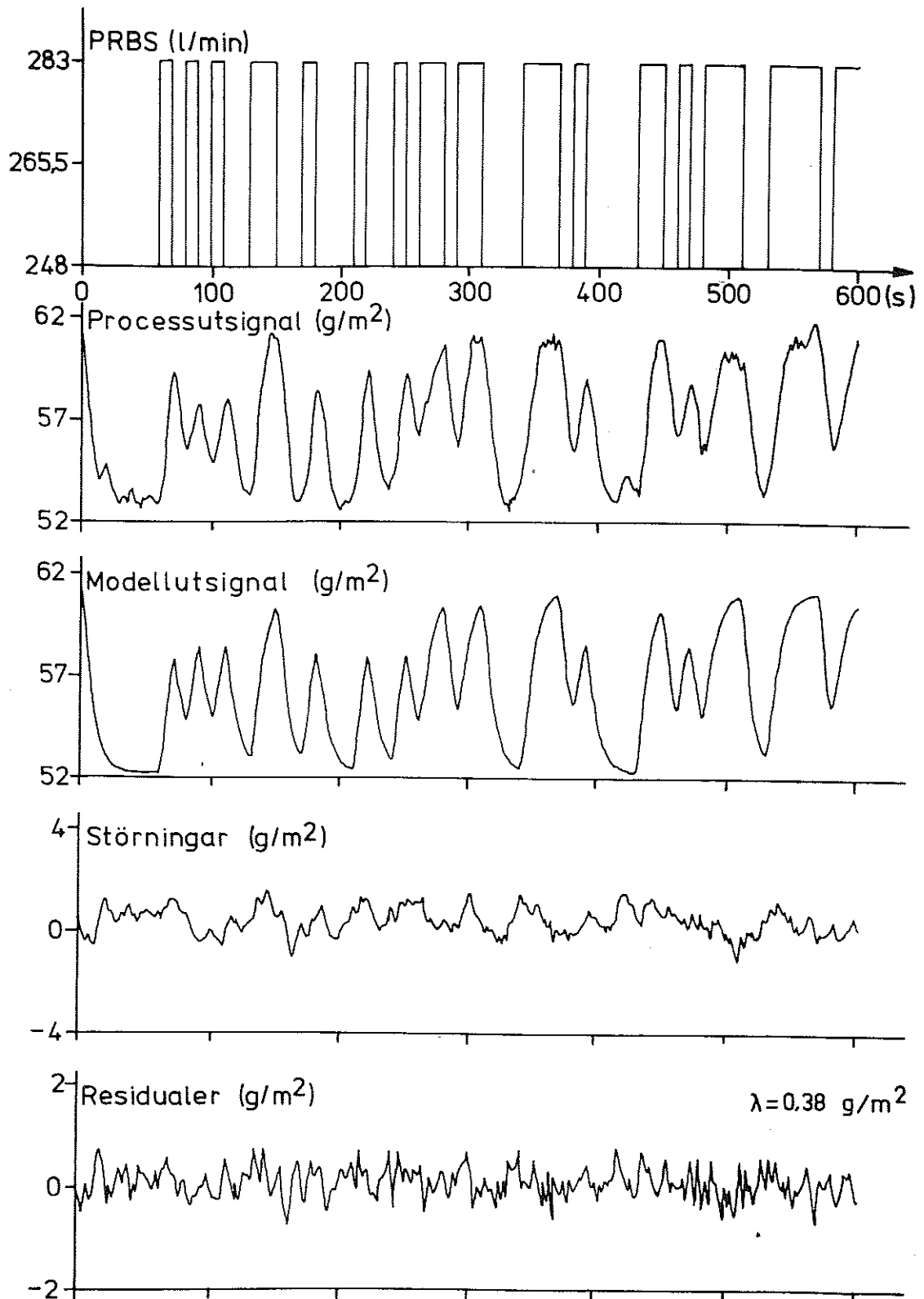


Fig. A10. Andra ordningens modell, $T_d = 92$ (s), $NP = 250$.
Mätning 1 på data från mätning 2, $T_d = 90$ (s).

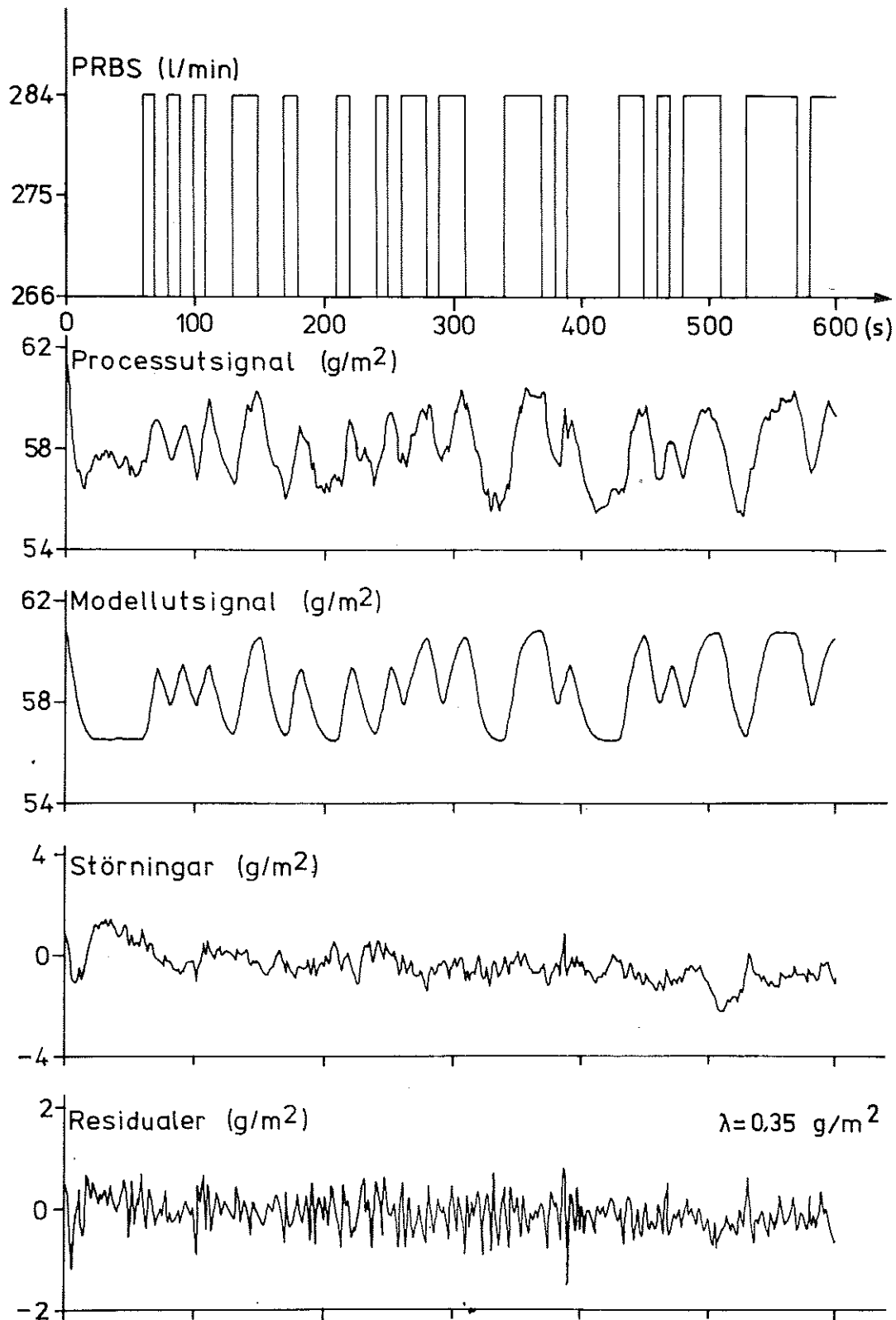


Fig. A11. Andra ordningens modell, $T_d = 90$ (s), mätning 2
 på data från mätning 1, $T_d = 92$ (s)

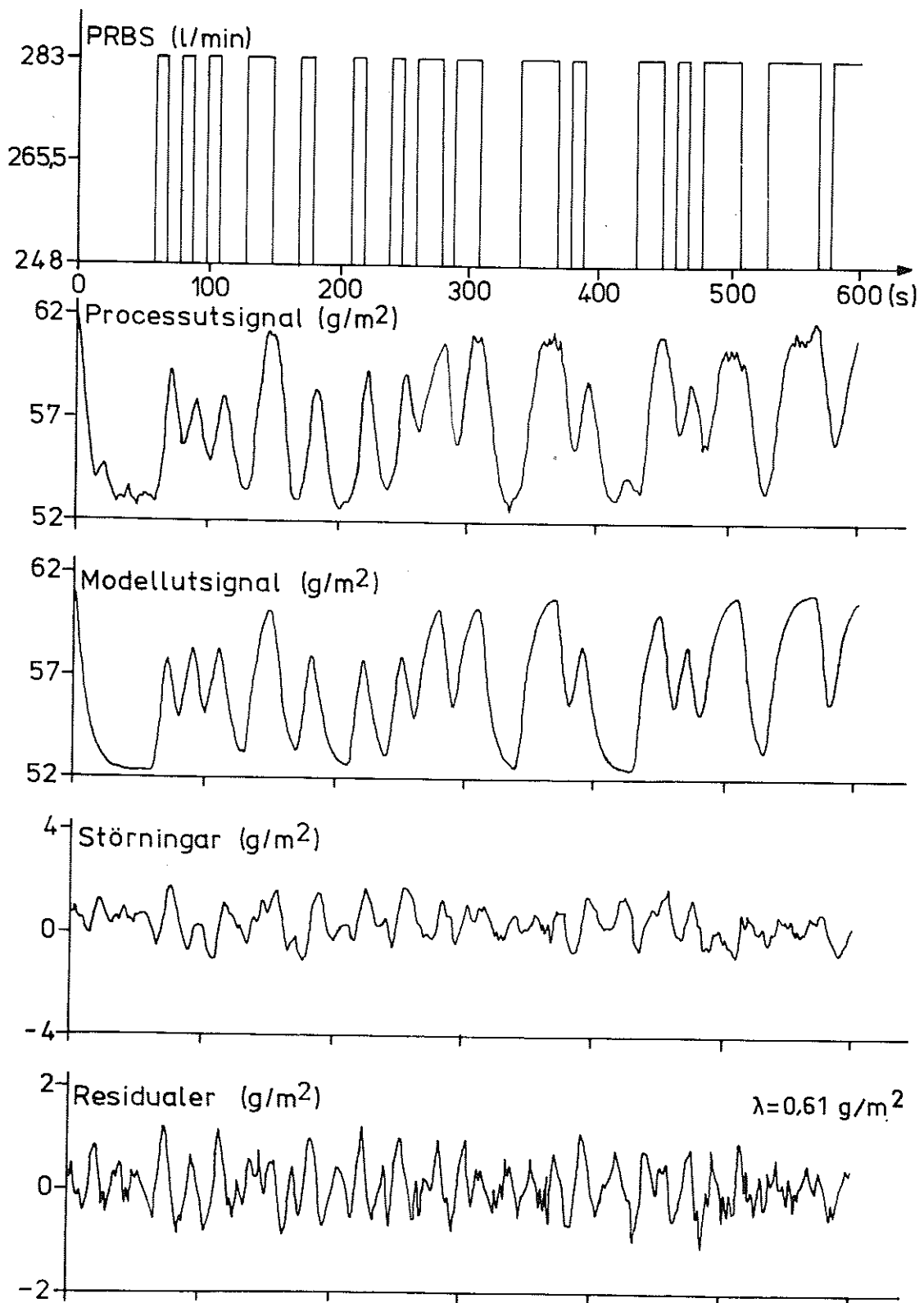


Fig. A12. Tredje ordningens modell, $T_d = 92$ (s), $NP = 250$,
mätning 1 på data från mätning 2, $T_d = 88$ (s).

APPENDIX 2

SAMMANFATTNING AV MAXIMUM-LIKELIHOOD METODEN

För fullständighets skull skall här ges en kort sammanfattning av maximum-likelihood metoden. Endast fallet med en insignal och en utsignal behandlas. Sammanfattningen är hämtad ur (2) där även en mera utförlig beskrivning finns över programpaketet.

Problemformulering: Givet en svit insignal/utsignal data $(u(t), y(t))$ $t = 1, 2, \dots, NP$). Antag att data genererats av ett linjärt, tidsinvariant system med insignalen u och utsignalen y men överlagrat av normalfördelat brus med rationell spektraltäthet.

Bestäm parametrarna i systemet.

På samplad form kan alltså den antagna modellen skrivas:

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

där $(e(t))$ är en svit oberoende, normalfördelade och lika fördelade $N(0, 1)$ stokastiska variabler.

Med q avses skiftoperatorn definierad av

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

Polynomen A, B och C är på formen

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_n q^{-n}$$

$$B(q^{-1}) = b_1 q^{-1} + b_2 q^{-2} + \dots + b_n q^{-n}$$

$$C(q^{-1}) = 1 + c_1 q^{-1} + c_2 q^{-2} + \dots + c_n q^{-n}$$

och alltså innehållande de sökta parametervärdena. Parametern λ skall likaså bestämmas.

Det går nu att visa att de s.k. residualerna ($\varepsilon(t)$), som genereras av insignal/utsignal observationerna och ett val av parametervärden genom relationen

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

är normalfördelade, oberoende $N(0, \lambda)$ stokastiska variabler.

Likelihood funktionen L kan därför erhållas och blir

$$\begin{aligned} -2 \log L(a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n, c_1, \dots, c_n, \lambda) &= \lambda^{-2} \sum_{t=1}^{NP} \varepsilon^2(t) + 2NP \log \lambda \\ &+ NP \log 2\pi \end{aligned}$$

Maximum-likelihood estimatet på de sökta parametrarna fås nu genom maximering av likelihood funktionen över parametervärden. Det går emellertid att visa att maximering av likelihood funktionen i detta fall är ekvivalent med minimering av följande förlustfunktion

$$V(a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n, c_1, \dots, c_n) = \sum_{t=1}^{NP} \varepsilon^2(t)$$

varefter den återstående parametern analytiskt kan bestämmas ur

$$\lambda^2 = \frac{2}{NP} V_{\min}$$

Vid identifiering är normalt systemets ordningstal okänt. Maximum-likelihood metoden ger emellertid möjligheter till test av ordningstalet. Identifieringen görs för olika ordningstal. Låt nu V_n beteckna förlustfunktionens minsta värde vid ordningstal n . Det går då att visa att nollhypotesen H_0 :

$$H_0 = \text{modellen är av ordningstal } n$$

kan accepteras eller förkastas beroende på värdet i detta fall av testkvantiteten

$$\frac{V_n - V_{n+1}}{V_{n+1}} \cdot \frac{NP - 4(n+1)}{4}$$

som vid något hundratal punkter approximativt är $F(4, \infty)$ fördelad. Så exempelvis om test skall ske av ordningstal $n+1$ mot ordningstal n på risknivån 5 % så har förlustfunktionen minskat signifikativt om testkvantiteten är större än 2,4. Hypotesten är då felaktig och ordningstalet således minst $n+1$. Denna hypotestest har ofta visat sig ge för höga ordningstal på data från industriella processer och bör därför kompletteras med ytterligare analys. Detta diskuteras utförligt i rapporten.

Slutligen kan tilläggas att noggrannheten i parameteruppskattningar erhålles ur inversen för informationsmatrisen. Detta naturligtvis under förutsättning att inversen existerar.

APPENDIX 3

BESKRIVNING ÖVER ANVÄNDA GIVARE

Nedan finns en närmare beskrivning över de vid identifieringsförsöken använda givarna.

Tjockmassaflöde:	Magnetisk flödesmätare, fabrikat: Emflux (Mawdley's) modell EE 09 Tidskonstant: 1 sek
Totaltytvikt:	β -mätare, fabrikat: Baldwin Atomette Tids- konstant: 2,2 sek
Fukt:	Mikrovågsmätare, fabrikat: Scanpro modell FE-I Tidskonstant: 0,3 sek
Inloppslådekoncentration:	Källe-givare modell MEKL Tidskonstant: 2,5 sek
Viragropskoncentration:	Mätare utvecklad vid STFI Tidskonstant: 0,3 sek
Nivå i inloppslåda:	DP-cell, fabrikat: Foxboro Tidskonstant: 0,3 sek

Signalerna inspelades på

Analog databandspelare, fabrikat Philips Modell: ANALOG 7

APPENDIX 4

KONSTRUKTIONSDATA FÖR XPM

Rörlängder i korta cirkulationen,

mellan blandningspump och inloppslåda: 8,1 m

mellan viragrop och blandningspump: 1,6 m

Rörarea i korta cirkulationen: 0,047 m²

Rörarea för tjockmassarör: 0,008 m²

Volym i inloppslåda: 0,3 m³

Viragropens volym: 9,5 m³

Inloppslådans bredd: 0,9 m

Virapartiets längd: 11,7 m

Avvattningselement: formeringsbord, 4 registervalsar, 9 våta suglådor, 5 deflektorer samt 6 torra suglådor

Pressar: UNI-press samt 3 filtvirapressar

LITTERATUR

1. B Häggman "Olinjära matematiska modeller för våtpartiet på en pappersmaskin". STFI, B: 153.
2. I Gustavsson "Parametric Identification on Multiple Input, Single Output Linear Dynamic Systems", rapport 6907, juli 1969, Institutionen för regleringsteknik, Lunds Tekniska Högskola.
3. K J Åström,
T Bohlin och
S Wensmark "Automatic Construction of Linear Stochastic Dynamic Models for Stationary Processes with Random Disturbances Using Operating Records", Report TP 18.150 (1965), IBM Nordic Laboratory, Sweden.
4. K J Åström och
P Eykhoff "System Identification", rapport 7006, sept. 1970, Institutionen för regleringsteknik, Lunds Tekniska Högskola.
5. I Gustavsson "Synpunkter på problem vid praktiska identifieringsexperiment - speciellt val av insignal", intern rapport, mars 1970, Institutionen för regleringsteknik, Lunds Tekniska Högskola.