



LUND UNIVERSITY

Identifiering av dynamiken hos en experimentpappersmaskin

Del 2 : Mätning vid journalpappersproduktion

Häggman, Börje

1973

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Häggman, B. (1973). *Identifiering av dynamiken hos en experimentpappersmaskin: Del 2 : Mätning vid journalpappersproduktion*. (STFI Meddelande Serie B 197). Svenska Träforskningsinstitutet (STFI).

Total number of authors:
1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

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

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

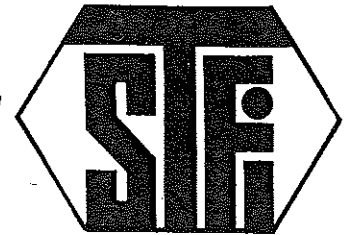
Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

SVENSKA TRÄFORSKNINGSINSTITUTET



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

Del 2 Mätning vid journalpappersproduktion

Börje Häggman

MEDDELANDE

SERIE B	NR 197
EA B:18	PA B:64

2.

Stockholm, augusti 1973

INNEHÅLL

	sida
SAMMANFATTNING	5
INFÖRDA BETECKNINGAR	7
INLEDNING	9
ALLMÄN BESKRIVNING AV IDENTIFIERINGSFÖRSÖKEN	11
Allmänna förutsättningar för försöken	11
Försöksändamål	12
Val av några kritiska försöksparametrar	12
Föranalys av försöksutfallet	15
DYNAMISKA MODELLER VID LÅG IN SIGNALAMPLITUD	19
Dynamiska modeller för snabb dynamik i torr ytvikt	19
Analys av resultatet	21
DYNAMISKA MODELLER VID HÖG IN SIGNALAMPLITUD	23
Dynamiska modeller för snabb dynamik i torr ytvikt	23
Analys av resultatet	25
Viragropens inverkan på dynamiken i torr ytvikt	27
Analys av resultatet	28
JÄMFÖRELSE AV MODELLER FRÅN OLIKA FÖRSÖK	31

	sida
JÄMFÖRELSE MED MODELLER FÖR SÄCKPAPPERSMASKIN	33
JÄMFÖRELSE MED TEORETISKA MODELLER	35
ANALYS AV PROCESSENS STÖRNINGAR	37
Autokorrelationsfunktioner till störningsmodeller	37
Analys av residualerna	38
APPENDIX PLOTTNINGAR AV MODELLEGENSKAPER	41
LITTERATUR	57
ACKNOWLEDGEMENTS	59

SAMMANFATTNING

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

I denna rapport presenteras dynamiska modeller för våtpartiet på en pappersmaskin. Modellerna är enbart baserade på mätningar av processens dynamik, i detta fall en långsamt gående journalpappersmaskin. I en tidigare rapport har resultaten givits från motsvarande mätningar på en långsamt gående säckpappersmaskin. I en kommande rapport skall mätningar på en snabb, fullstor pappersmaskin behandlas.

Avsikten med mätningarna har varit att erhålla dynamiska modeller för torr ytvikt och viragropskoncentration vid tjockmassaflödesändringar. Till följd av mätsvårigheter har modellering av viragropskoncentrationen ej varit möjlig. Av denna anledning har endast noggranna modeller för torr ytvikt stått att få fram.

Sammanfattningsvis framgår att dynamiken i torr ytvikt är sammansatt av en snabb och en långsam del. Den långsamma delen av dynamiken kan beskrivas med ett första ordningens system. Den så beskrivna långsamma, dynamiska komponenten kan antas härröra från viragropen, vars

dynamik således i detta fall är av betydelse. Processens snabba dynamik är väsentligen densamma, som vid säckpapperskvalitet. Denna del beskriver således hur dynamiken i torr ytvikt påverkas av insignalen genom två helt olika dynamiska system. Det ena delsystemet utgör en beskrivning av blandnings- och avvattningsprocesserna i våtpartiet. För en noggrann beskrivning av detta delsystem måste en andra ordningens modell med reella poler och 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 på grund 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 snabba dynamiken i torr ytvikt vid stora insignalamplituder måste av denna anledning en tredje ordningens modell tillgripas.

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

8.

$(\varepsilon(t))$ = residualer

λ = variansparameter

NP = antal punkter på vilka beräkningar utförts

T_s = samplingsintervallets längd (s)

τ = tidsförskjutning (s)

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

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

W = torr ytvikt (g/m^2)

c_1 = inloppslådekoncentration (g/l)

INLEDNING

I två tidigare rapporter (1), (2) presenteras dynamiska modeller för våtpartiet på en pappersmaskin. I (1) härleds modeller väsentligen ur fysikalisk grundkunskap om processen. De så erhållna modellerna jämförs i (2) med modeller, som enbart är baserade på mätningar av processens dynamik. Mätningarna var i detta fall utförda på en långsamt gående säckpappersmaskin (XPM). Jämförelsen mellan de två typerna av modeller gjorde det möjligt att kritiskt granska de förutsättningar varur modellerna i (1) härletts. På detta sätt kommer noggrannare modeller att kunna formuleras.

I denna rapport skall liknande jämförelser göras. I detta fall har mätningarna utförts på en långsamt gående journalpappersmaskin (XPM). En lerhaltig papperskvalitet har valts av den anledningen att inverkan på dynamiken från variabel viraretentionsfaktor och/eller viragropen kan vara av betydelse. Genom den drastiska förändringen i papperskvalitet är det självfallet av intresse att också göra direkta jämförelser med de tidigare erhållna modellerna vid säckpapperskvalitet.

Slutligen skall påpekas att för undvikande av upprepningar behandlas vissa avsnitt i denna rapport kortfattat. En utförligare beskrivning återfinns då i (2).

ALLMÄN BESKRIVNING AV IDENTIFIERINGSFÖRSÖKEN

I detta avsnitt skall de utförda försöken kortfattat beskrivas. Allmänna förutsättningar och val av vissa kritiska försöksparametrar anges för försöken. Ändamålet med försöken specificeras i detalj. Avslutningsvis finns en föranalys av försöksutfallet.

Allmänna förutsättningar för försöken

Identifieringsförsöken har utförts på experimentpappersmaskinen vid STFI. På grund av kraftig torkpartibegränsning har maskinhastigheten valts extremt låg. Inga silar eller virvelrenare fanns inkopplade i korta cirkulationen vid försöken. Följande allmänna förutsättningar förelåg vid försökstillfället:

Massarecept: 20,8 % oblekt, stark sulfit, mald till 22° SR
62,5 % slipmassa vid 75° SR
16,7 % lera

Papperskvalitet: Journalpapper med ca 11 % lerahalt.

Maskinparametrar:

popeshastighet	1,4 m/s	banbredd vid inloppslåda	0,90 m
virahastighet	1,33 m/s	renskuren bredd vid gusk	0,82 m
total läppöppning	0,020 m	banbredd vid pope	0,78 m
		viraretentionsfaktor	0,65

Tillgängliga givare:

Instrumenteringen vid försöken framgår av figur 1. Givarna finns närmare beskrivna i (2) där likaså en utförligare beskrivning av XPM återfinns. Notera dock att givaren för inloppslådekonzentration i detta fall utbyts mot en givare för lerakonzentration i viragropen. Denna givare har utvecklats vid STFI.

Försöksändamål

Avsikten med försöken kan formuleras på följande sätt:

att bestämma ordningstal, löptid och parametervärden för linjära modeller för det deterministiska sambandet mellan tjockmassaflödet och utsignalerna torr ytvikt, lera- och totalkonzentration i viragropen,

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

att analysera processens störningar och deras angreppspunkter.

Genom den likartade målsättningen vid dessa och föregående mätningar, gällande säckpappersproduktion, blir det självfallet av stort intresse att jämföra utfallet från försöken.

Val av några kritiska försöksparametrar

I en tidigare rapport (2) gavs i en utförlig diskussion regler för valet av vissa kritiska försöksparametrar. Även i detta fall måste ett noga avvägt val av vissa parametrar göras ur a priori kunskap om processen. Vid lerahaltiga papperskvaliteter kan viragropens dynamik bedömas vara väsentlig. En stegsvarsanalys visar emellertid att viragropens dynamik är mycket långsam (tidskonstant ≥ 100 s) vid de för-

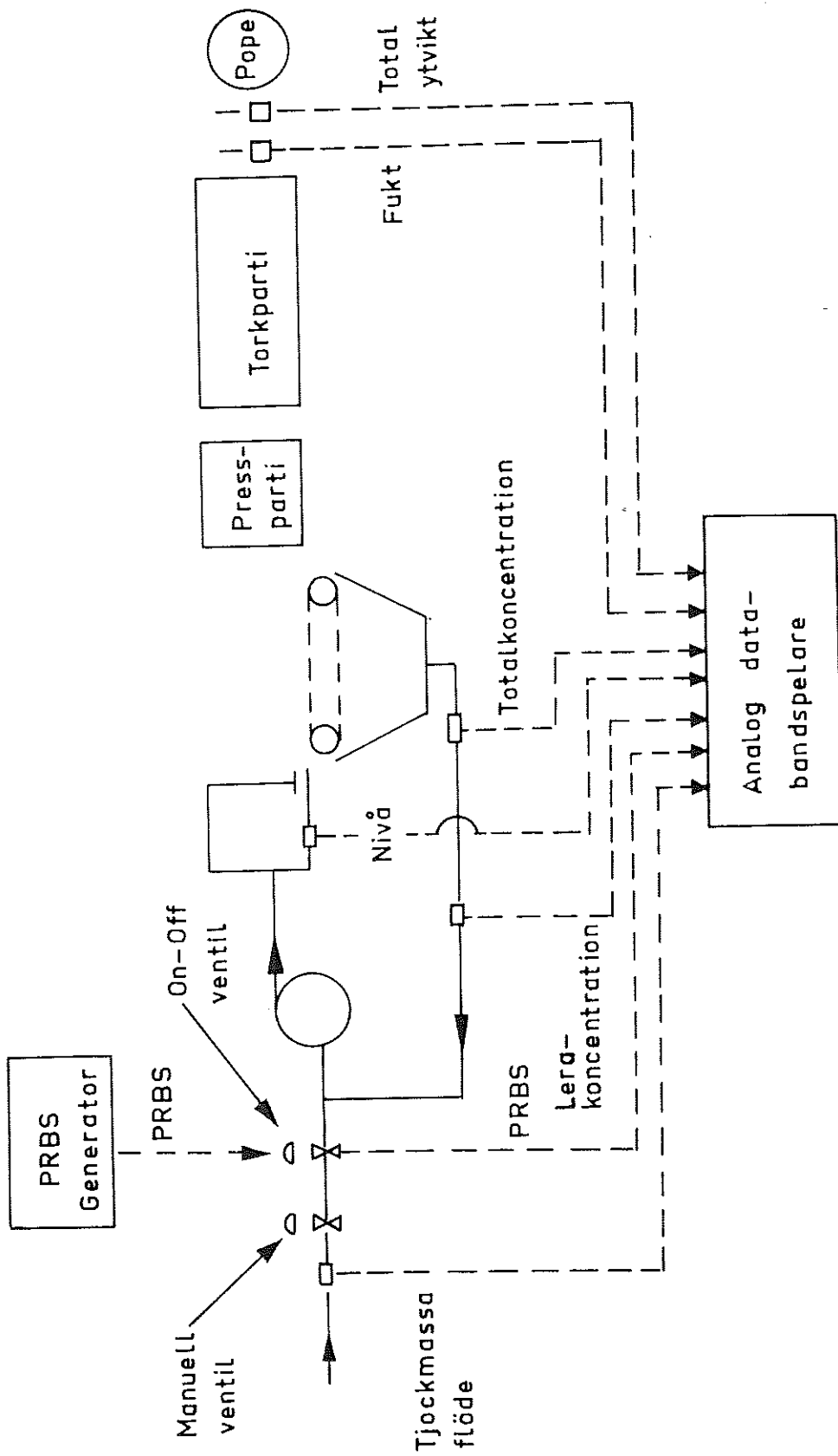


Fig. 1. Instrumenteringen av identifieringsförsöken vid journalpappersproduktion på XPM.

hållanden under vilka mätningarna skall utföras. Processens dynamik i övrigt förefaller däremot att vara ungefär, som vid de tidigare mätningarna. Enligt de givna dimensioneringsreglerna för identifieringsförsök bör nu insignalens tidbas ökas minst 5 ggr, men samplingsintervallets längd vara oförändrat. Om då noggrannheten skall bibehållas i bestämning av snabb dynamik bör en lång mättid tillgripas. Detta möter dock vissa speciella hinder. Till följd av den begränsade volymen hos massakaren måste nämligen under alla förhållanden pappersmaskinen stoppas efter högst 3 timmar. Följaktligen kan mättiden ej väljas tillfredsställande, även om så mätningarna gjordes vid två olika tillfällen. Detta arrangemang skulle å andra sidan försvåra undersökningen av insignalamplitudens inverkan på dynamiken. Av denna anledning har det bedömts lämpligt att även genomföra dessa mätningar med samma parametervärden, som vid föregående mätningar. Detta innebär att försöken dimensioneras så, att speciellt den snabba dynamiken hos processen går att noggrannt bestämma. Identifieringsberäkningarna skall dock i detta fall även omfatta data från de "stationära" intervallen där viragropens dynamik på grund av sin tröghet är speciellt påtaglig. Skulle med detta arrangemang viragropens dynamik ej gå att bestämma på ett tillfredsställande sätt, måste detta anstå tills förutsättningar för identifieringsförsök på XPM ändrats så, att högre maskinhastigheter kan väljas. Det bör vidare konstateras att samtidig identifiering av snabb och långsam dynamik allmänt sett är besvärlig. Ofta är det då att föredra att i stället fastlägga de olika dynamiska delarna var för sig.

Sammanfattningsvis valdes således följande parametervärden. Om inget annat anges gäller ett val av parameter för båda mätningarna.

Insignal: PRB-sekvens med tidbasen 10 s och längden 63.

Insignalamplitud: Amplituden i tjockmassaflödesändringarna valdes så, att den för försök 1 motsvarade $\pm 2 \text{ g/m}^2$ och för försök 2 $\pm 4 \text{ g/m}^2$ räknat på torr ytvikt.

Samplingsintervall: 2 s

Mättid: ca 30 min.

Stationära intervall: Ca 15 min vid varje nivå i början av försöket.

Föranalys av försöksutfallet

Mätningarna utfördes vid samma försökstillfälle och förorsakade inga banbrott. Inga maskinparametrar ändrades avsiktligt mellan försöken utöver den planerade amplitudändringen. I figur 2-3 återges utseendet på insignalen och utsignalen torr ytvikt vid de två mätningarna. Beträffande koncentrationerna i viragropen kan tilläggas att dessa mätningar misslyckades i en sådan omfattning att modellering blev utesluten. Detta innebär att direkt modellering av viragropens dynamik ej kan göras. Däremot kan viragropen indirekt modelleras genom sin effekt på torra ytvikten.

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

$$G(s) = 0,20 \left(\frac{0,9}{1+15s} + \frac{0,1}{1+100s} \right) e^{-100s}$$

där den större tidskonstanten antas härröra från viragropen. Denna dynamiska komponent är mest påtaglig vid de "stationära" intervallen i början av mätning 2. Ovan angivna modell användes vid de påföljande beräkningarna blott för rimlighetskontroll av resultat.

Vid den tidigare presenterade identifieringen (2) framgick att drift i data förorsakade besvärligheter. För att vid dessa mätningar undvika denna olägenhet förbereddes möjligheter till programmässig eliminering av drift i data. I detta fall förväntas processen innehålla långsam dynamik. Det bör då observeras, att det kan vara svårt att

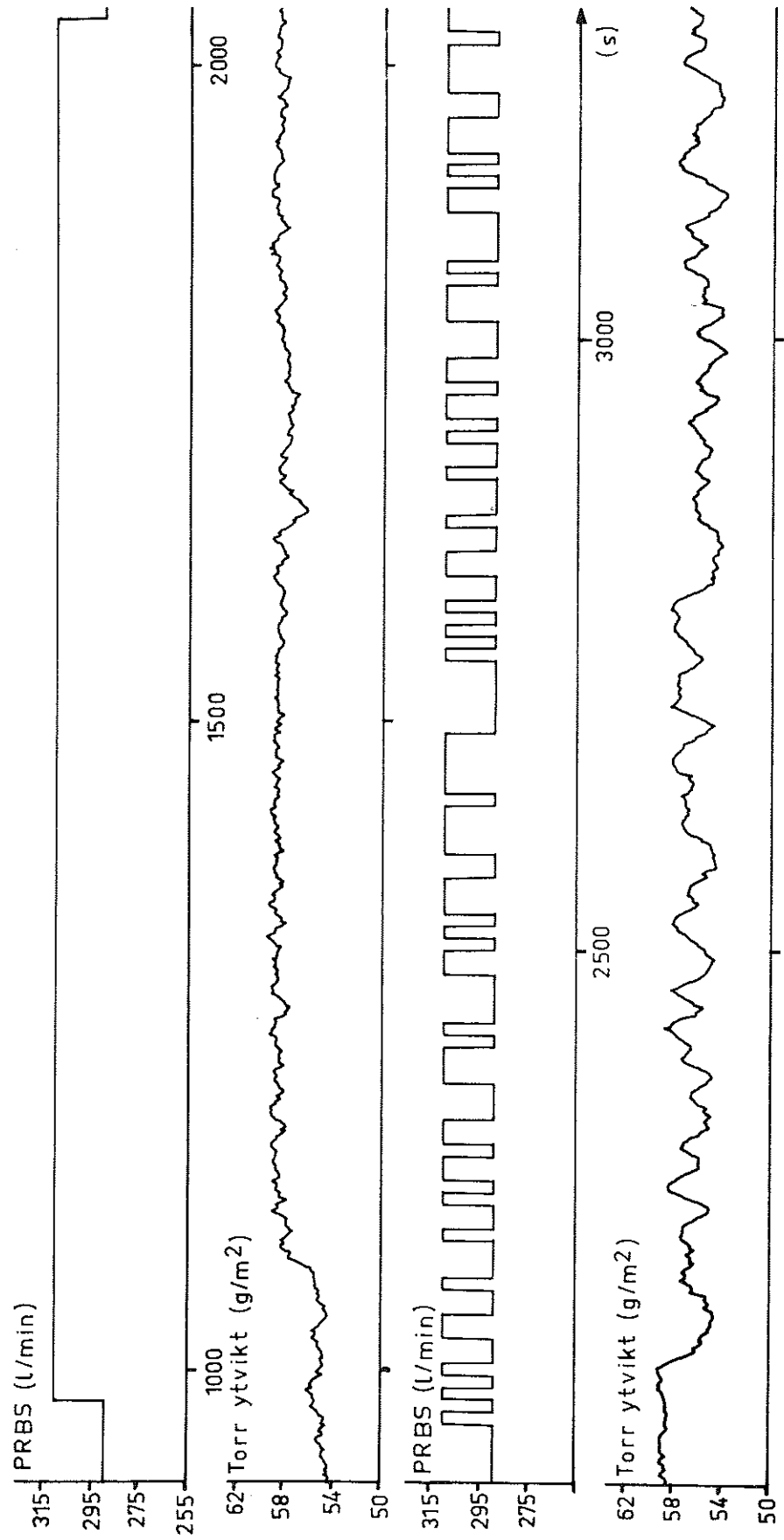


Fig. 2. In- och utsignaler vid mätning 1.

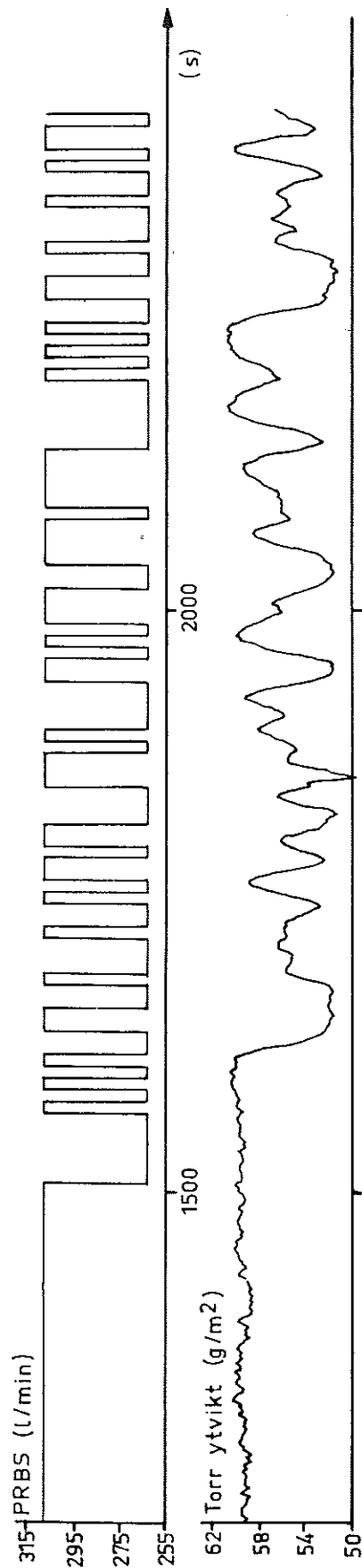
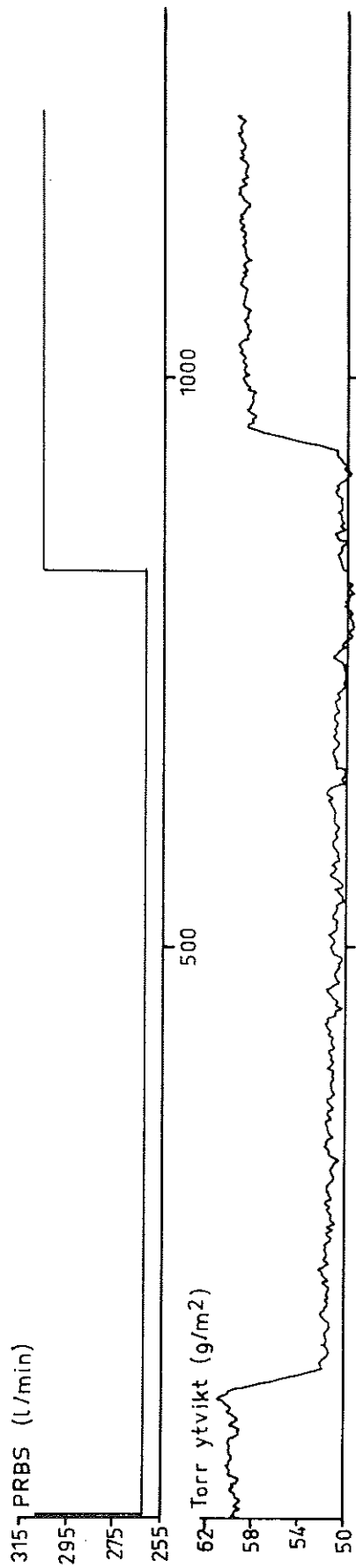


Fig. 3. In- och utsignaler vid mätning 2.

skilja på drift och långsam dynamik. Av denna anledning har alla beräkningar för bestämning av snabb dynamik i torr ytvikt utförts med samplingsintervallet 2 s på data där drift eliminerats. För undersökning av viragropens inverkan har beräkningarna utförts med samplingsintervallet 10 s på data där drift ej eliminerats. Vid en påföljande analys av eventuell drift över 800 punkter med samplingsintervallet 2 s på data närmast efter de stationära intervallen framkom att driften i torr ytvikt över hela detta intervall för mätning 1 uppgick till $-0,05 \text{ g/m}^2$. Denna effekt kan anses vara så liten att korrektion ej behövs. För mätning 2 blir dock motsvarande drift $-0,74 \text{ g/m}^2$. Av den nedan givna analysen av viragropens inverkan på dynamiken i torr ytvikt kommer att framgå, att den ovan funna "driften" i själva verket är just viragropens effekt på torr ytvikt. Vid bestämning av snabb dynamik kan dock inverkan från viragropen uppfattas som en drift i data.

DYNAMISKA MODELLER VID LÅG IN SIGNALAMPLITUD

I detta avsnitt skall resultatet från maximum-likelihood identifiering av data från mätning 1 presenteras. En analys görs av de funna deterministiska modellerna av olika ordningstal. Ett preliminärt val av modell anges. Analysen av störningsmodellerna görs i ett senare avsnitt.

Dynamiska modeller för snabb dynamik i torr ytvikt

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

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

löptid (s)	V_1	V_2	V_3	V_4	n	$F_{n+1,n}$	statisk förstärkn.
100			22,5	21,8	1	22,5	0,206
102		24,7	(22,1)		2	17,7	0,210
104	27,5	(24,2)	22,8		3	2,4	0,205
106	(27,2)	25,6			4		0,205
108	28,9						

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

Löp-tid (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
100							-1.392±0.154 -0.053±0.260 0.308±0.113	-0.011±0.015 0.061±0.025 0.078±0.016	-0.308±0.154 -0.358±0.128 0.183±0.038
102				-1.409 0.463	0.037 0.076	-0.417 -0.067	-1.094±0.138 -0.151±0.224 0.319±0.096	0.056±0.013 0.036±0.024 0.060±0.015	-0.224±0.133 -0.367±0.105 0.215±0.038
104	-0.918±0.006	0.175±0.010	0.029±0.037	-1.370±0.178 0.431±0.166	0.100±0.016 0.028±0.038	-0.445±0.211 -0.043±0.065	-1.312 0.280 0.099	0.111 -0.007 0.034	-0.442 -0.102 0.103
106	-0.906±0.006	0.193±0.010	-0.021±0.040	-1.272±0.314 0.345±0.286	0.135±0.015 0.014±0.068	-0.367±0.352 -0.030±0.112			
108	-0.902±0.007	0.192±0.012	0.043±0.038						

Tabell 3. Poler och nollställen för ytviktsmodeller till mätning 1.

Löp-tid (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
100							-0.449 0.821±j0.104	6.354 -1.070	-0.659 0.483±j0.212
102				0.889 0.520 T ₁ = 17.0 T ₂ = 3.1	-2.054	0.540 -0.123	-0.498 0.796±j0.089	-0.326± j0.989	-0.713 0.469±j0.287
104	0.918 T = 23.5	-	-0.029	0.882 0.489 T ₁ = 15.8 T ₂ = 2.8	-0.278	0.526 -0.081	0.834 0.658 -0.180	0.033±j0.551	-0.412 0.427±j0.260
106	0.906 T = 20.4	-	0.021	0.880 0.392 T ₁ = 15.6 T ₂ = 2.1	-0.106	0.436 -0.069			
108	0.902 T = 19.4	-	-0.043						

Analys av resultatet

Av tabellerna kan konstateras att modellernas statistiska förstärkning är tämligen konstant. Test av ordningstal utvisar att en 3.-ordningens modell bör väljas. Notera att 2.-ordningens modell har reella poler, medan modellen av 3.-ordningen saknar tidskontinuerlig motsvarighet. Slutligen kan konstateras att de deterministiska modellerna ej innehåller långsam dynamik. Detta var självfallet ej heller att vänta.

Plottningar av modellegenskaperna

Av figur A1 - A4 i appendix framgår på ett överskådligt sätt de viktigaste egenskaperna hos de funna modellerna. En närmare beskrivning av innehållet i denna typ av figurer ges i (2). Det framgår nu att en ökning av ordningstalet leder till en allt snabbare dynamik. En 4.-ordningens modell inför dock inget nytt i den deterministiska beskrivningen utöver det som redan ges av en 3.-ordningens modell. I figurerna anges standardavvikelsen hos residualerna. Om dessa har antagits att de är oberoende, lika fördelade $N(0, \lambda)$ stokastiska variabler. Detta kommer att analyseras i senare avsnitt.

För att lättare kunna urskilja egenskaperna hos de olika deterministiska modellerna ges i figur 4 deras enkla stegsvar. För en mycket noggrann beskrivning av processens dynamik bör av det ovan sagda en 3.-ordningens modell väljas. I detta sammanhang är det dock av största värde om resultatet kan tolkas och jämföras med tidigare modeller. Av denna anledning väljs här modellen av 2.-ordningen då detta leder till en mer enhetlig bild av våtpartiets dynamik.

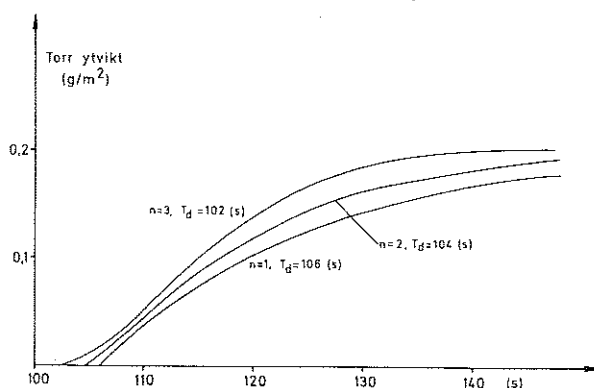


Fig. 4. Stegsvär för några ytviktsmodeller till mätning 1.

Sammanfattning

Den snabba delen av dynamiken i torr ytvikt vid tjockmassaflödesändringar kan vid detta försök med tillfredsställande noggrannhet beskrivas med en modell av 2.-ordningen. Modellen har reella poler och leder till ett stegsvar, som är snabbare än en enkel exponentialfunktion. Överföringsfunktionen mellan torr ytvikt och tjockmassaflödet blir med denna modell:

$$G(s) = \left(\frac{0,2478}{1 + 15,8 s} - \frac{0,0381}{1 + 2,8 s} \right) e^{-104 s}$$

Från detta försök har inga ytterligare utsignaler modellerats. Ej heller har någon analys gjorts av viragropens inverkan på dynamiken. Detta görs däremot på data från mätning 2 i nästa avsnitt.

DYNAMISKA MODELLER VID HÖG INSIGNALAMPLITUD

I detta avsnitt presenteras maximum-likelihood modeller för data till mätning 2. En analys görs av det erhållna resultatet. Detta leder fram till ett preliminärt val av modell. Det slutliga valet av modell görs efter jämförelser i senare avsnitt.

Dynamiska modeller för snabb dynamik i torr ytvikt

Beräkningarna har utförts på 750 punkter med samplingsintervallet 2 s. Inga data från de stationära intervallen har ingått. Beräkningarna har utförts på data med driften eliminerad. PRB-sekvensen har använts som insignal. I tabell 4 - 6 finns förlustfunktionens värde, parametervärden med noggrannheter samt poler och nollställen för de funna samplade modellerna av olika ordningstal och löptider.

Tabell 4. Förlustfunktionens värden för ytviktsmodeller till mätning 2. $NP = 750$.

Löptid (s)	V_1	V_2	V_3	V_4	n	$F_{n+1,n}$	Statisk förstärkn
98			30,9		1	134	0,191
100		33,2	(26,4)	26,3	2	24,2	0,180
102		(29,8)	(26,6)	26,2	3	1,4	0,184
104	59,2	(30,3)	30,1		4		0,184
106	(51,4)	33,8					
108	54,0						

Tabell 5. Parametervärden med noggrannheter för ytviktsmodeller till mätning 2. NP = 750.

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
98							-2.216 1.630 -0.390	0.004 -0.007 0.046	-1.081 0.308 -0.010
100				-1.749±0.011 0.788±0.010	-0.021±0.006 0.089±0.007	-0.743±0.037 -0.004±0.041	-2.437±0.035 2.048±0.060 -0.593±0.027	0.010±0.006 0.012±0.014 0.012±0.010	-1.630±0.051 0.831±0.073 -0.099±0.039
102				-1.695±0.011 0.741±0.010	0.009±0.006 0.073±0.007	-0.780±0.037 0.053±0.038	-2.488±0.037 2.125±0.062 -0.622±0.027	0.032±0.007 0.002±0.014 -0.007±0.010	-1.641±0.049 0.784±0.073 -0.061±0.040
104	-0.929±0.005	0.140±0.008	0.327±0.029	-1.674±0.015 0.722±0.013	0.069±0.007 0.018±0.009	-0.631±0.036 -0.099±0.037	-1.268 0.051 0.286	0.072 0.037 0.014	-0.273 -0.165 -0.044
106	-0.909±0.005	0.174±0.008	0.255±0.031	-1.638±0.020 0.689±0.018	0.118±0.008 -0.027±0.010	-0.593±0.041 -0.074±0.042			
108	-0.898±0.006	0.185±0.009	0.223±0.034						

Tabell 6. Poler och nollställen för ytviktsmodeller till mätning 2.

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
98							0.530 0.843±j0.160	0.922±j3.234	0.035 0.477 0.568
100				0.875±j0.150	4.311	0.748 -0.005	0.833 0.802±j0.264	-0.604±j0.922	0.169 0.731±j0.227
102				0.847±j0.151	-7.756	0.705 0.075	0.843 0.822±j0.249	0.449 -0.513	0.097 0.772±j0.196
104	0.929 T = 27.2	—	-0.327	0.837±j0.147	-0.255	0.762 -0.130	-0.399 0.834±j0.147	-0.260±j0.354	0.639 -0.183±j0.189
106	0.909 T = 21.0	—	-0.255	0.819±j0.134	0.233	0.698 -0.105			
108	0.898 T = 18.6	—	-0.223						

Analys av resultatet

I tabell 4 har de intressanta modellerna markerats. Det kan noteras att modellernas statistiska förstärkning är tämligen konstant. Test av ordningstalet anger att en 3.-ordningens modell bör väljas. Två nära nog likvärdiga modeller av både ordningstal 2 och 3 har vidare erhållits. En drastisk förbättring har skett av noggrannheten i parameteruppskattningarna. Slutligen kan konstateras att modeller av 2.-ordningen nu har komplexa poler.

Plottningar av modellegenskaperna

I figur A5 - A8 i appendix framgår egenskaperna hos de viktigaste modellerna för mätning 2. I samtliga figurer med data från mätning 2 uppträder mycket stora residualer vid ca 240 s. Detta observerades redan vid den inledande analysen av data. Orsaken till de extremt låga ytviktswärdena i dessa punkter torde bero på en tillfällig defekt hos pappersbanan eller β -mätaren. För att nu parameterbestämningen till modellerna ej skulle influeras av detta förhållande interpolerades redan inledningsvis rimliga ytviktswärden fram och insattes i de aktuella punkterna. Plottningarna har dock utförts på data där denna åtgärd ej införts. Angivna standardavvikelser för residualer avser dock genomgående data utan defekta ytviktswärden. Av figurerna framgår nu att en modell av 1.-ordningen är klart otillräcklig. De två intressanta modellerna av 2.-ordningen är vidare mycket lika. För att lättare kunna urskilja de olika modellernas egenskaper ges i figur 5 deras enkla stegsvar. Av figuren framgår klart att även modellerna av 3.-ordningen inbördes är mycket lika. För beskrivning av processens dynamik räcker tydligen en modell av 2.-ordningen tämligen väl. I detta fall skall dock modellen av 3.-ordningen med löptiden 100 s väljas. Med detta val av modell kan nämligen i senare avsnitt en mer enhetlig bild ges av våtpartiets dynamik.

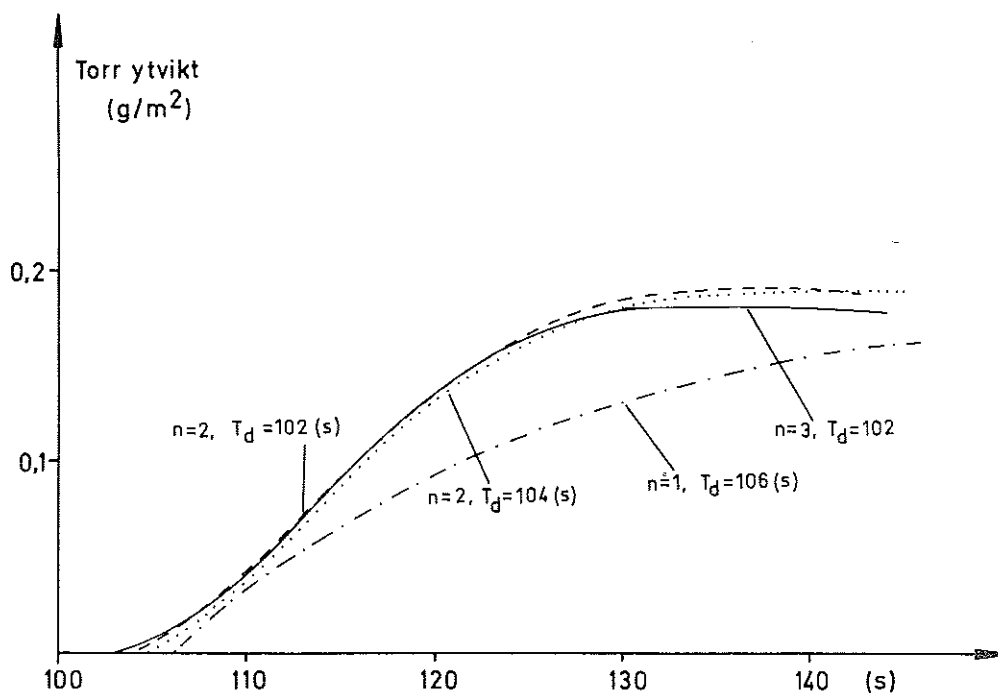


Fig. 5. Stegsvär för några ytviktsmodeller till mätning 2.

Sammanfattning

För en noggrann beskrivning av den snabba delen av dynamiken i torr ytvikt vid tjockmassaflödesändringar måste en 3.-ordningens modell tillgripas. Modellen har två komplexa poler och snabb dynamik. Överföringsfunktionen mellan tjockmassaflöde och torr ytvikt blir med denna modell:

$$G(s) = \left(\frac{0,2421}{1+10,9 s} - \frac{0,0395(s+0,0474)}{s^2+0,1694 s+0,0324} \right) e^{-100 s}$$

Viragropens inverkan på dynamiken i torr ytvikt

I detta avsnitt skall resultaten från en undersökning av viragropens inverkan på dynamiken i torr ytvikt återges. Det som enligt ovanstående uppfattades som drift i data har i detta fall ej eliminerats. Notera således att denna "drift" mycket väl kan vara just viragropens inverkan på dynamiken i torr ytvikt. I detta fall har beräkningarna utförts på 300 punkter med samplingsintervallet 10 s. Nästan samtliga data från de "stationära" intervallen har ingått, förutom de data, som ingått i tidigare beräkningar. PRB-sekvensen har använts som insignal. I tabell 7 - 9 ges förlustfunktionens värde, parametervärden med noggrannheter samt poler och nollställen till de funna samplade modellerna av olika ordningstal och löptider.

Tabell 7. Förlustfunktionens värden för ytviktsmodeller till mätning 2. $NP = 300$, $T_s = 10s$.

Löptid (s)	V_1	V_2	V_3	V_4	n	$F_{n+1,n}$	Statisk förstärkn.
100	205,4	(40,4)	(26,8)	(24,2)	1	172,2	0,194
110	(135,6)	130,6			2	49,2	0,200
120	302,4				3	10,3	0,214

Tabell 8. Parametervärden med noggrannheter för ytviktsmodeller till mätning 2. $NP = 300$, $T_s = 10s$.

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
100	-0.673±0.015	0.664±0.030	-0.597±0.041	-0.517±0.022	0.434±0.016	-0.010±0.071	-1.476±0.024	0.417±0.014	-1.247±0.067
				0.117±0.019	0.763±0.021	0.191±0.058	0.642±0.033	0.341±0.028	0.408±0.105
110	-0.541±0.023	0.893±0.047	-0.125±0.078	-0.211	0.911	0.195			
				-0.139	0.346	0.007			
120	-1.139±0.040	-0.395±0.059	0.543±0.053						

Tabell 9. Poler och nollställen för ytviktsmodeller från mätning 2. $T_s = 10s$.

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	Rötter till B-polynomets	Rötter till C-polynomets
100	0.673	—	0.597	0.258±j0.223	-1.758	0.005±j0.437	0.970	0.965	0.769
	T = 25.2						0.253±j0.295	-1.782	0.371
110	0.541	—	0.125	0.493	-0.380	-0.475			
	T = 16.3			-0.282		-1.475			
120	1.139	—	0.395						

Analys av resultatet

I tabell 7 har de intressanta modellerna markerats. Test av ordningstal utvisar att minst en 4.-ordningens modell bör väljas. Observera vidare att från och med ordningstal 3 ingår i modellerna en mycket stor tidskonstant. Plottningar av de olika modellernas egenskaper har ej utförts. I figur 6 återfinns dock modellernas enkla stegsvar.

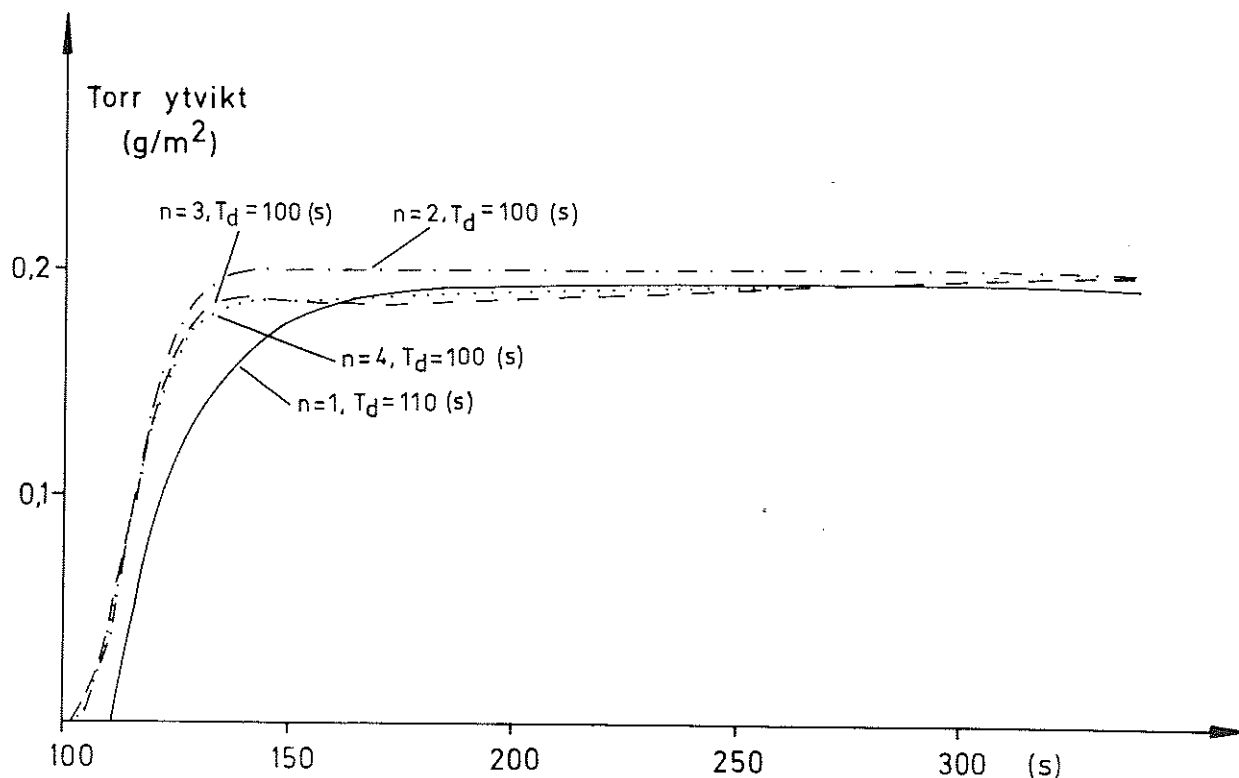


Fig. 6. Stegsvaret hos några ytviktsmodeller för mätning 2.
 $T_s = 10s$.

Av figuren följer att för att noggrannt beskriva processens stegsvar måste modeller av 3.- eller 4.-ordningen tillgripas. För den fortsatta diskussionen väljs här modellen av 4.-ordningen. Modellens parametervärden framgår av följande pulsöverföringsfunktion:

$$\left(\frac{0,2574 q^{-1}}{1-0,2991 q^{-1}} - \frac{0,2160 q^{-1} - 0,0077 q^{-2}}{1+0,1167 q^{-1} + 0,1091 q^{-2}} + \frac{0,0006344 q^{-1}}{1-0,9805 q^{-1}} \right) q^{-10}$$

Tillhörande överföringsfunktion blir:

$$G(s) = \left(\frac{0,3673}{1+8,3s} - \frac{0,216(s+0,0337)}{s+0,2216s+0,0428} + \frac{0,0326}{1+509s} \right) e^{-100s}$$

Av detta inses klart att modellen beskriver den tidigare analyserade

snabba dynamiken men också en mycket långsam dynamisk komponent. Det följer också att den långsamma dynamiska komponenten har en statisk förstärkning, som uppgår till 14 % av den totala statistiska förstärkningen. För att försöka avgöra om den funna långsamma dynamiska komponenten verkligen härrör från viragropen och inte är drift i data är följande iakttagelser av intresse. Den pålagda PRB-sekvensen kan uppfattas som ett steg med amplituden $-22,5$ l/min och en PRB-sekvens med medelvärdet $285,5$ l/min. Av den funna statistiska förstärkningen hos den långsamma dynamiska komponenten följer då att torra ytvikten efter lång tid bör sjunka med $-0,73$ g/m². Men detta överensstämmer just med den egenskap hos data som tidigare uppfattats som drift. Av figur 3 framgår vidare att den funna statistiska förstärkningen hos den långsamma moden stämmer bra med utseendet på stegsvåren i början av mätning 2. Det finns således i detta fall klara belegg för att den funna långsamma dynamiska komponenten inte är drift utan en deterministisk egenskap hos processen. Eftersom insignalen ej innehåller dylikt beteende måste den funna långsamma dynamiska komponenten härröra från viragropen. Självfallet kan detta endast uppfattas på så sätt att viragropens dynamik blir väsentlig vid långsamma dynamiska förändringar vid lerhaltiga papperskvaliteter. Inledningsvis klargjordes ju att mätningen strängt taget ej dimensionerats för noggrann bestämning av viragropens dynamik. Ovanstående resultat visar emellertid att viragropen är väsentlig, varför det finns anledning att återkomma till detta förhållande i senare mätningar.

Sammanfattning

Den fullständiga deterministiska dynamiken i torr ytvikt vid hög insignalamplitud ges av en 4.-ordningens modell. Dynamiken kan uppdelas i en snabb och en långsam del. Den snabba delen av dynamiken är väsentligen den, som ovan erhöles vid identifiering med kort samlingsintervall. Den långsamma delen av dynamiken kan således beskrivas med ett 1.-ordningens system. Denna långsamma dynamiska komponent har i detta fall befunnits ha en tidskonstant på 509 s och en statisk förstärkning, som uppgår till 14 % av den totala statistiska förstärkningen. Den långsamma dynamiken kan antas härröra från viragropen.

JÄMFÖRELSE AV MODELLER FRÅN OLIKA FÖRSÖK

I detta avsnitt kommer att undersökas huruvida en modell från ett försök kan användas för beskrivning av data från ett annat försök. Eftersom processen ej kan förutsättas vara linjär, är det på intet sätt oväntat om modeller från olika försök är olika. Genom modellskiften mellan försöken fås då en illustration på hur amplitudkänslig processdynamiken är. Om onormalt stora fel uppkommer vid modellskiften kan detta dock bl.a. bero på att tillfälliga processegenskaper modellerats. Det är självfallet av intresse att kartlägga om så är fallet för de valda modellerna.

Av figur A9 - A11 framgår hur modeller från mätning 1 beskriver data från mätning 2. Det följer att modellen av 2.-ordningen blott kan beskriva data om löptiden är 104 s. Noggrannheten är dock ganska dålig. Notera t.ex. att de deterministiska resteffekterna i störningssignalen har ökat betydligt. Modellen av 3.-ordningen verkar dock att på ett tillfredsställande sätt kunna beskriva data från annat försök.

Av figur A12 - A14 framgår på samma sätt hur modeller från mätning 2 beskriver data från mätning 1. Av detta följer att såväl 2.-ordningens modell med löptiden 104 s som 3.-ordningens modell på ett tillfredsställande sätt beskriver data från annat försök.

Sammanfattningsvis framgår således att dynamiken hos processen verkar att vara amplitudberoende. Det går dock att finna modeller från ett försök, som kan beskriva data från ett annat försök utan någon större försämring av noggrannheten.

JÄMFÖRELSE MED MODELLER FÖR SÄCKPAPPERSMASKIN

I detta avsnitt skall de ovan presenterade modellerna för torr ytvikt sammanställas med de tidigare givna modellerna vid säckpapperskvalitet. De senare återfinns i (2). Sammanställningen anger de funna överföringsfunktionerna mellan torr ytvikt och tjockmassaflöde.

Sammanställning av modeller för snabb dynamik

Modeller för torr ytvikt

Insignal- amplitud	Säckpappersmaskin	Journalpappersmaskin
$\pm 2 \text{ g/m}^2$	$\left(\frac{0,495}{1+7,1s} - \frac{0,242}{1+3,2s} \right) e^{-92s}$	$\left(\frac{0,248}{1+15,8s} - \frac{0,038}{1+2,8s} \right) e^{-104s}$
$\pm 4 \text{ g/m}^2$	$\left(\frac{0,284}{1+9,2s} - \frac{0,053(s+0,059)}{s^2+0,25s+0,068} \right) e^{-88s}$	$\left(\frac{0,242}{1+10,9s} - \frac{0,040(s+0,047)}{s^2+0,17s+0,032} \right) e^{-100s}$

I båda fallen innebär en ökning av insignalamplituden en övergång till en något snabbare dynamik. Detta yttrar sig däri att modellens poler övergår från att vara reella till komplexa. I nedanstående figur 7 anges normerade stegsvar för ovanstående modeller.

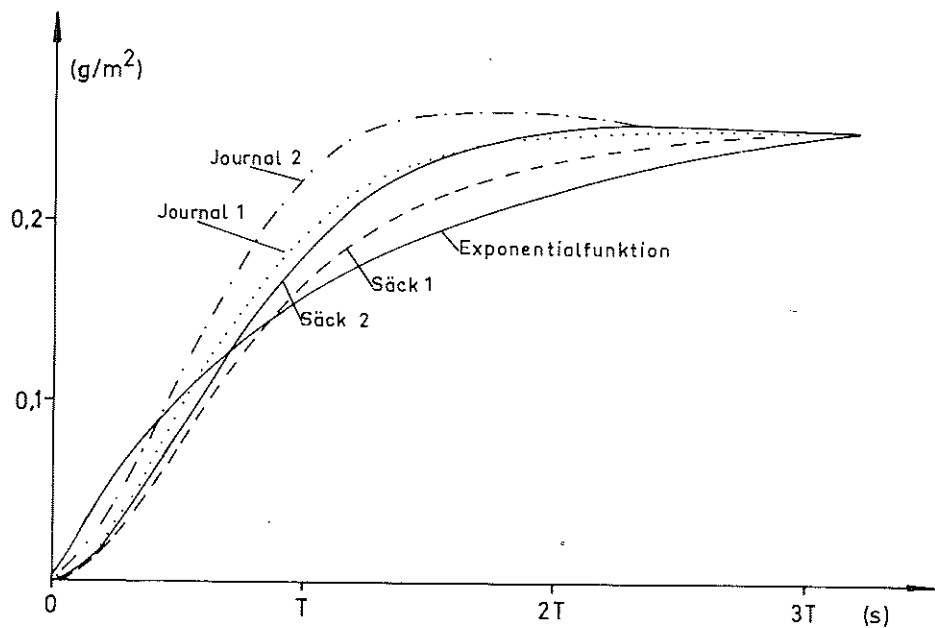


Fig. 7. Normerade stegsvar för ytviktsmodeller till identifieringsförsök vid såväl säck- som journalpappersproduktion på XPM. Index 1 avser den lägre insignalamplituden.

Den statistiska förstärkningen har omräknats till 0,25 i samtliga fall och vidare anges stegsvaren med en och samma löptid så att eventuella förändringar i dynamik lätt skall kunna konstateras. Som tidsenhet har för de två säckpappersmaskinmodellerna använts 12 s och för de två övriga 21 s. Dessa tidsenheter överensstämmer med tidskonstanterna hos tillhörande 1.-ordningens modeller. För jämförelsens skull har dessutom en enkel exponentialfunktion inritats i figuren.

Av figur 7 följer att dynamiken i torr ytvikt vid de hittills utförda mätningarna svänger in sig på en tid som uppgår till ca 2 tidskonstanter, där tidskonstanten erhålls ur en approximativ 1.-ordningens maximum-likelihood modell. Vidare förefaller insvängningsförloppet att relativt sett vara något snabbare vid journalpapperskvalitet jämfört med säckpapperskvalitet. Tänkbara fysikaliska tolkningar av hittills gjorda iakttagelser ges i nästa avsnitt.

JÄMFÖRELSE MED TEORETISKA MODELLER

Vid den jämförande analysen av de tidigare experimentellt funna dynamiska modellerna vid säckpapperskvalitet (2) med ur fysikalisk grundkunskap erhållna modeller (1) framkom att processens dynamik utgjorde en karakterisering av dels den komplexa blandningsprocessen i våtpartiet dels inverkan från virahastighetens beroende av tjockmassaflödet. Blandningsprocessen kunde noggrannt beskrivas med ett 2.-ordningens system med reella poler och löptid. Virahastighetens beroende av insignalen kan troligen beskrivas med en 2.-ordningens modell med komplexa poler och löptid. Detta har dock ej undersökts i detalj. Hastighetsvariationernas inverkan på resultatet befanns vidare endast vara av betydelse vid stora insignalamplituder. Ovanstående skisserade sammansatta insignalberoende, hos torra ytvikten vid stora insignalamplituder, gick att med god noggrannhet beskriva med ett 3.-ordningens system. Slutligen framkom att viragropens dynamik vid säckpapperskvalitet gick att försumma.

Även i detta fall skall på liknande sätt en trolig förklaring ges till den experimentellt funna dynamiken. Av tabellen på sid. 33 framgår dock klart att för beskrivning av processens snabba dynamik kan väsentligen samma typ av modeller användas, som vid säckpapperskvalitet. Den betydelsefulla skillnaden består i att viragropens dynamik nu blir väsentlig. Detta gäller åtminstone vid tillräckligt långsamma dynamiska förändringar.

Vid lerahaltiga papperskvaliteter kan inverkan från variabel vira-

retentionsfaktor vara av betydelse. Detta kan för närvarande ej med säkerhet avgöras. Emellertid kan variationer i viraretentionsfaktorn ej vara av primär betydelse. Härtill är modellerna för säck- resp. journalpapper alltför lika.

Såväl virahastighetens insignalberoende, som inverkan från variabel viraretentionsfaktor finns det anledning att mera i detalj behandla i kommande rapporter.

ANALYS AV PROCESSENS STÖRNINGAR

I detta avsnitt skall en analys göras av processens störningar samt av residualerna. Inga statistiska undersökningar har i detta fall gjorts av realisationer av störningar. Dessa kan i och för sig lätt erhållas genom subtraktion av de deterministiska modellernas utsignal från processens utsignal vid en och samma insignal. Olika realisationer framgår dock till utseendet i figurerna i appendix. Av denna anledning kommer i detta avsnitt endast maximum-likelihood störningsmodeller och därav tillhörande störningar att analyseras.

Autokorrelationsfunktioner till störningsmodeller

Störningsmodellerna är på formen

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

Resultterande korrelationsfunktioner för några intressanta modeller från de två mätningarna ges i figur 8. I figuren ges likaså tillhörande beräknade standardavvikelse hos modellerad störning. Av detta kan konstateras att störningen i torr ytvikt för mätning 1 har en standardavvikelse på ca. 0,54 g/m², medan för mätning 2 standardavvikelsen verkar att vara ca. 0,60 g/m². Störningen förefaller vidare att vara signifikant korrelerad över ca. 30 s för mätning 1, men för mätning 2 blott över 15 s.

Analys av residualerna

Enligt förutsättningarna bör residualerna vara oberoende, lika fördelade och normalfördelade stokastiska variabler. Av figur 9 framgår korrelationsfunktionerna för residualer för några intressanta modeller. Det följer att åtminstone för mätning 2 är antagandet om oberoende av residualer satisfierat.

Standardtest av normalfördelningen hos residualerna visar att antagandet om normalfördelade residualer kan accepteras i båda fallen.

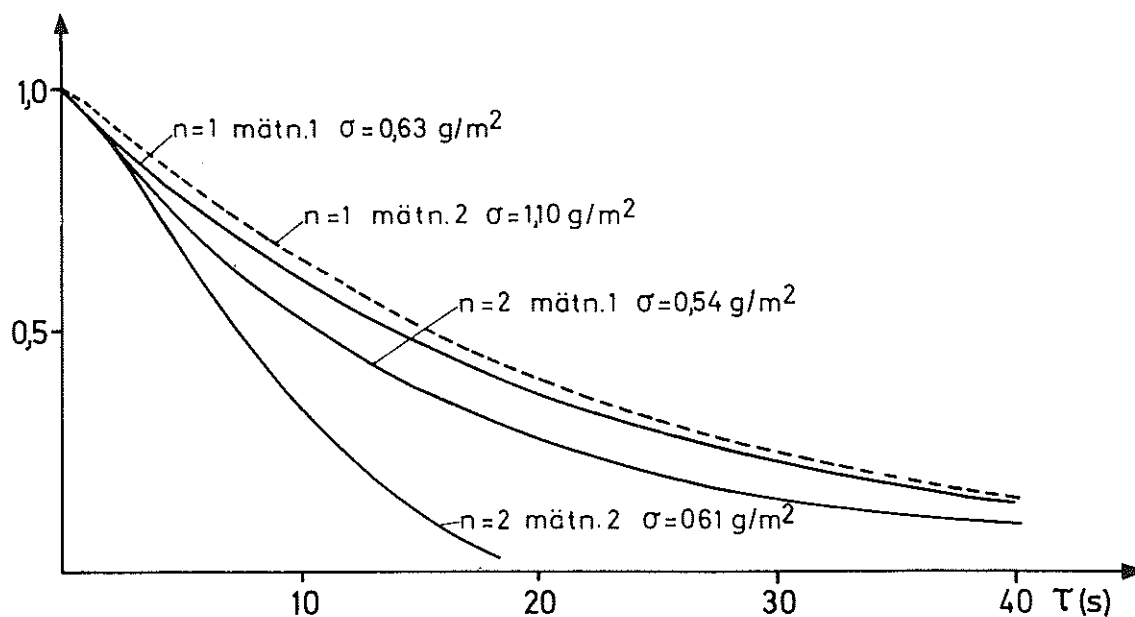


Fig. 8. Korrelationsfunktioner från störningsmodeller till mätning 1 och 2.

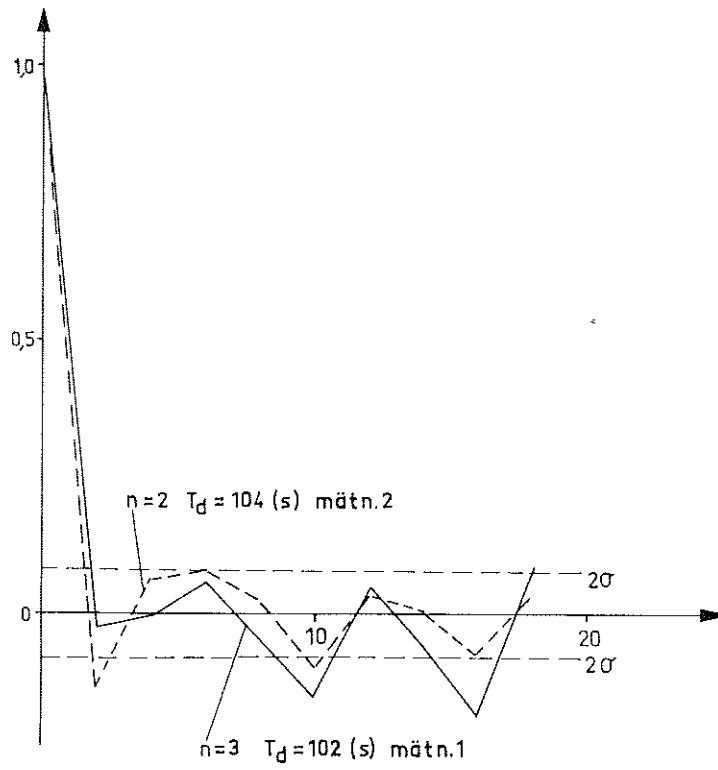


Fig. 9. Korrelationsfunktioner för residualerna.

APPENDIX PLOTTNINGAR AV MODELLEGENSKAPER

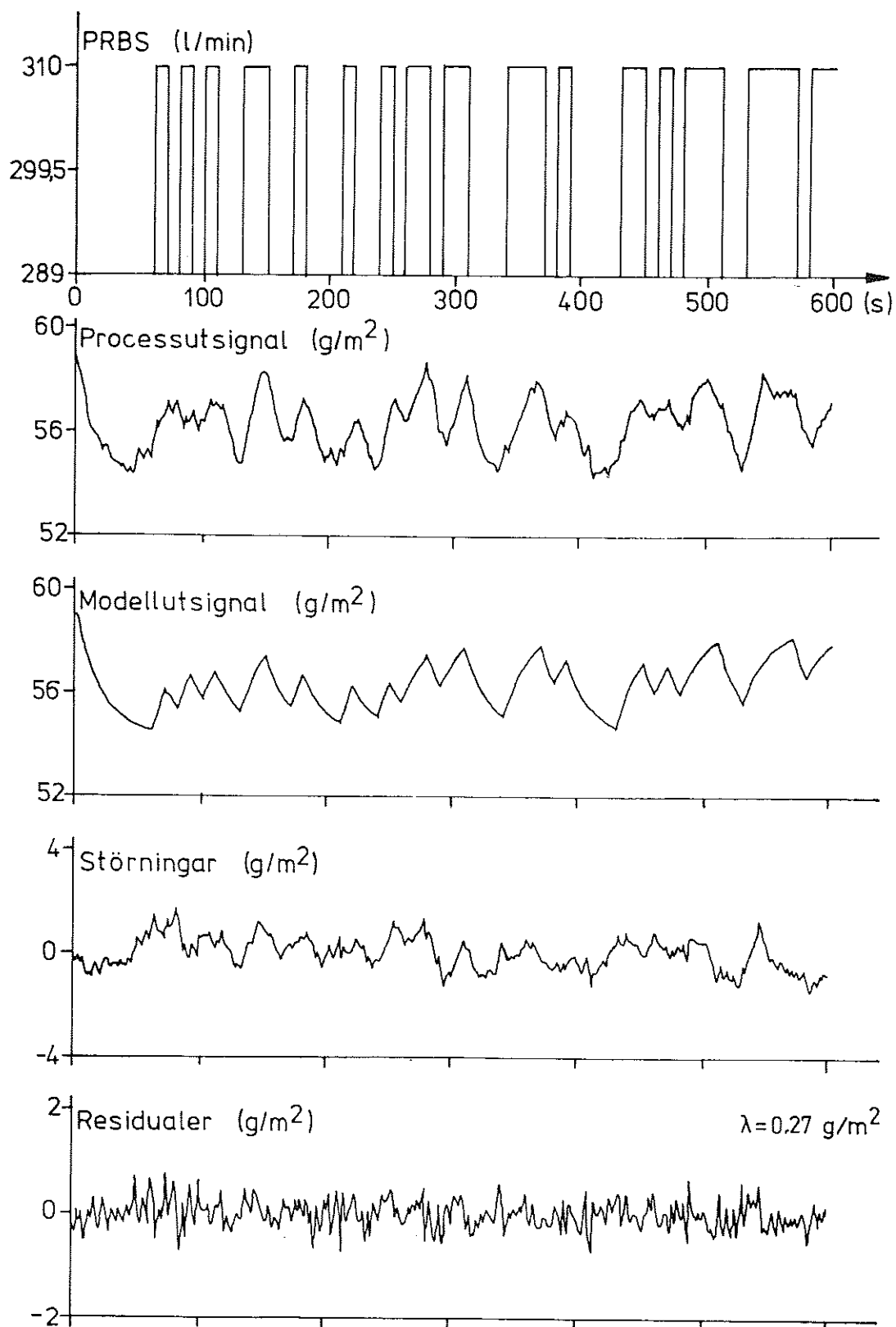


Fig. A1. Första ordningens modell, $T_d = 106 \text{ s}$.

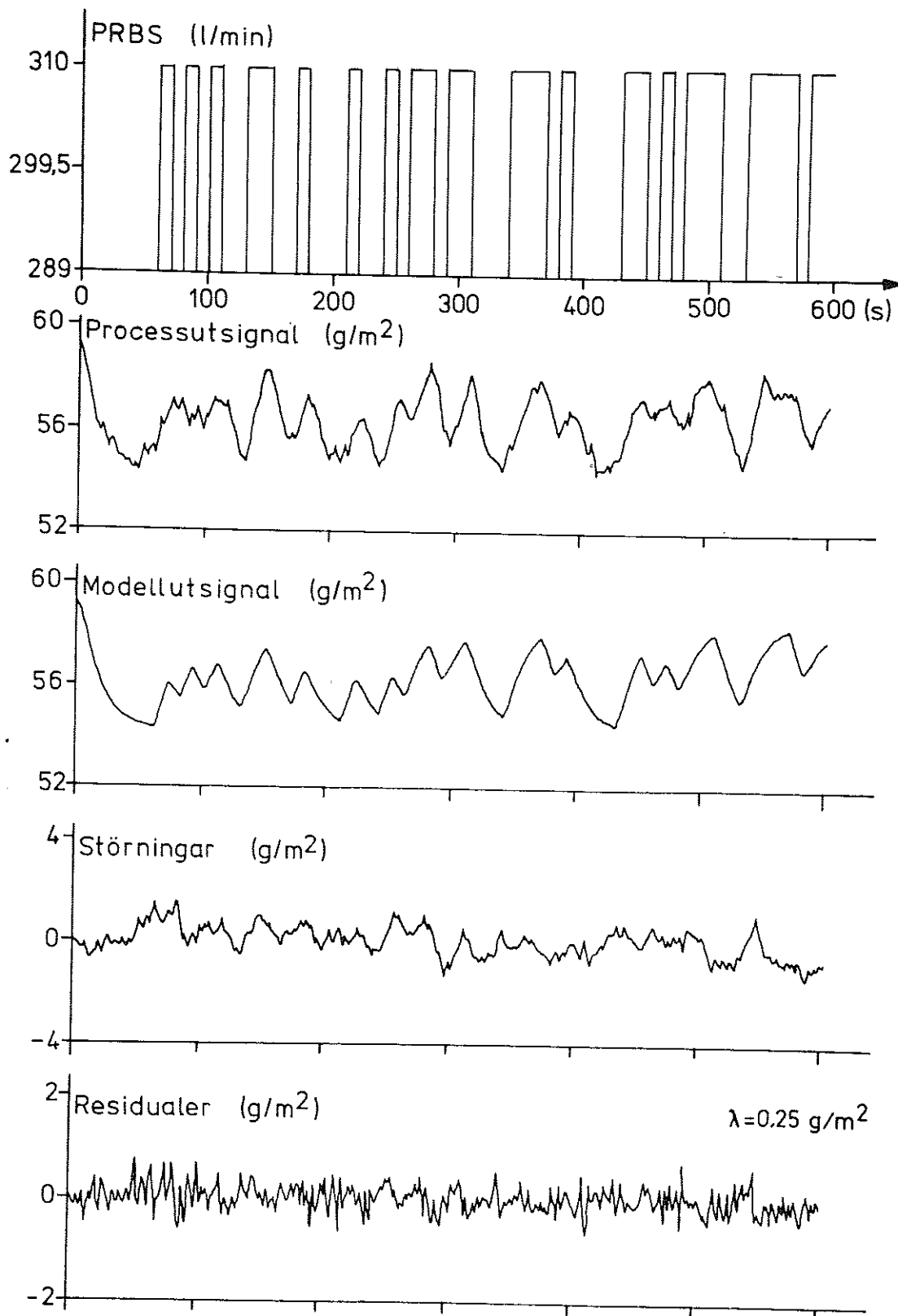


Fig. A2. Andra ordningens modell, $T_d = 104 \text{ s}$.

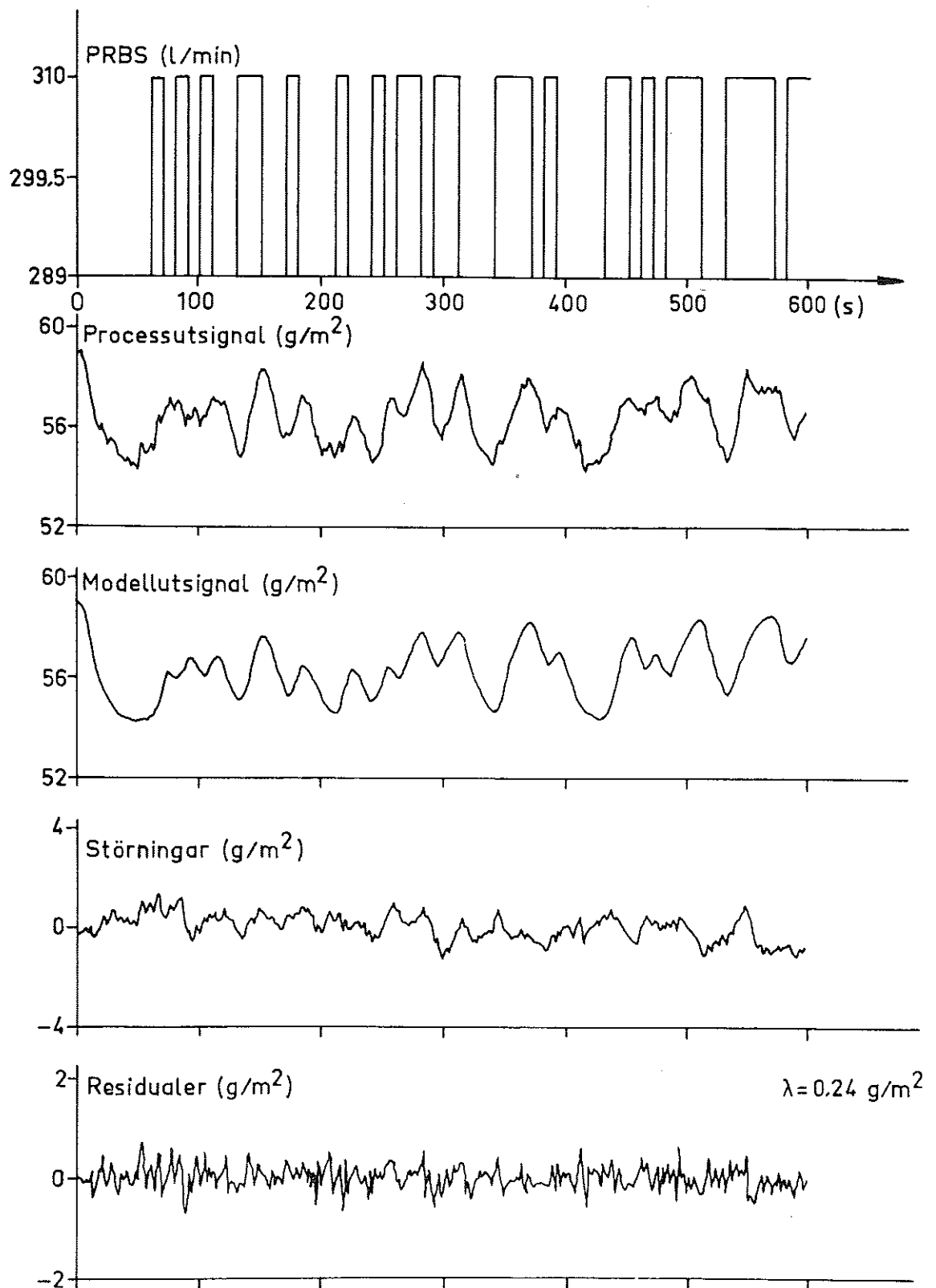


Fig. A3. Tredje ordningens modell, $T_d = 102 \text{ s}$.

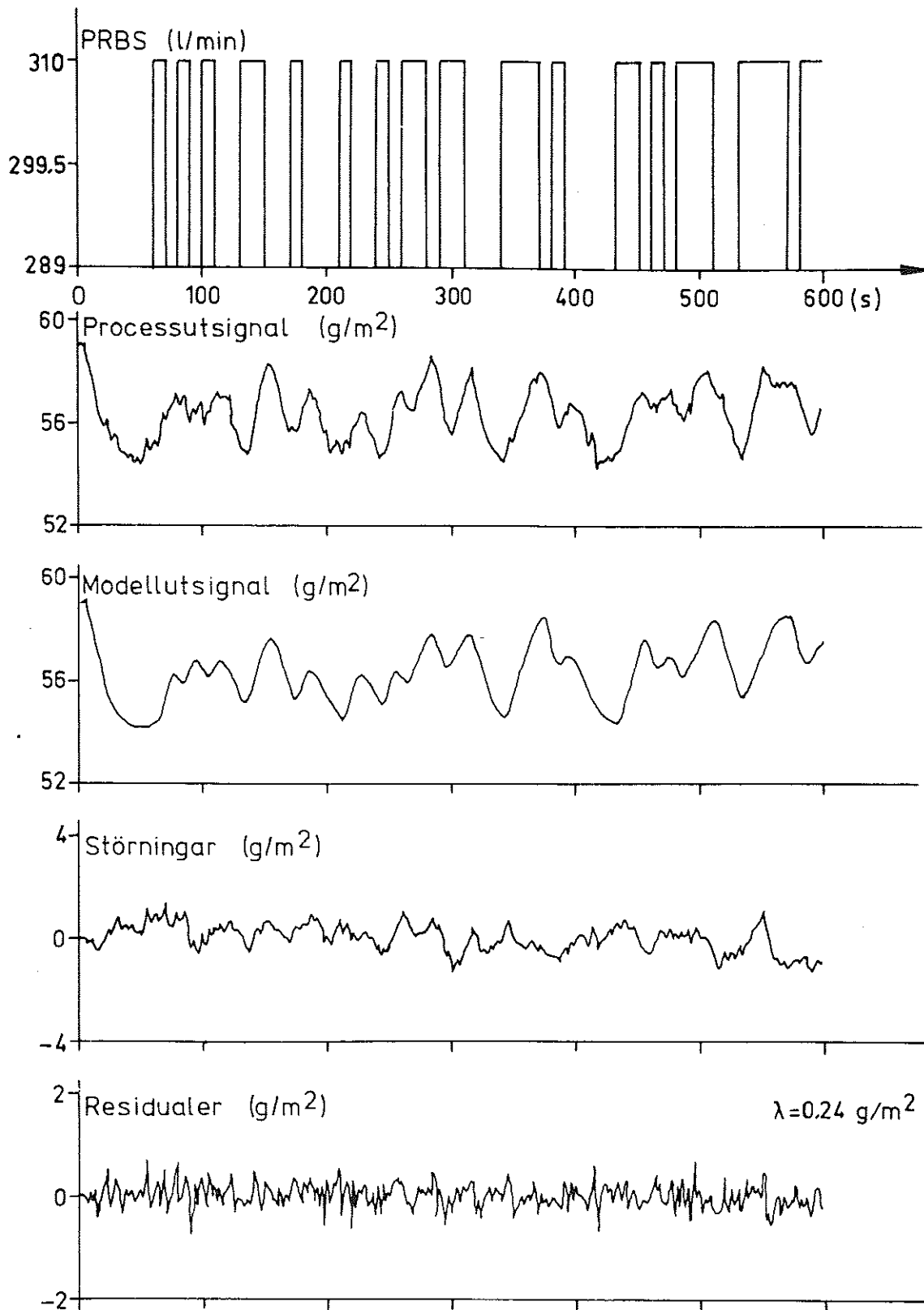


Fig. A4. Fjärde ordningens modell, $T_d = 100 \text{ s}$.

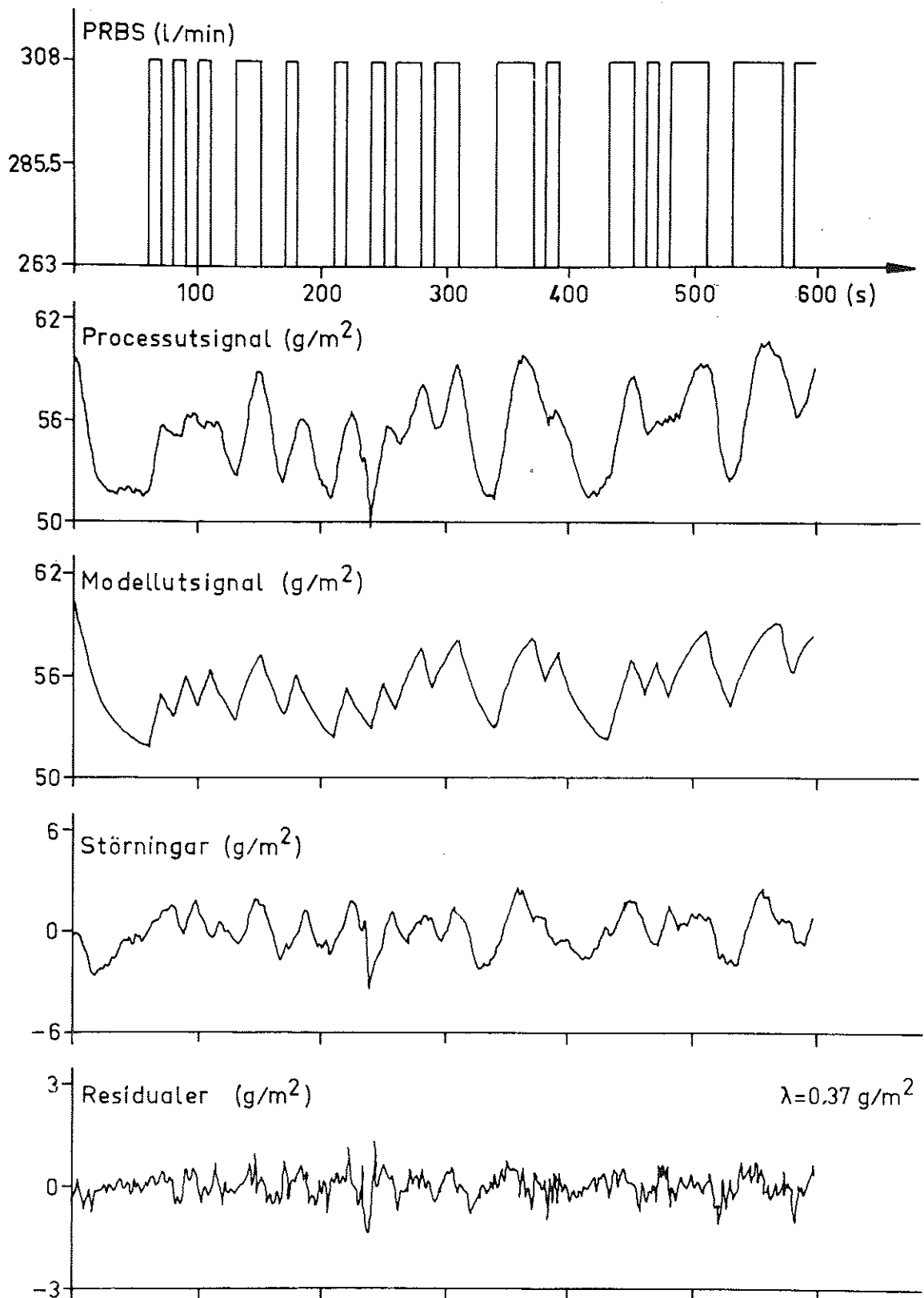


Fig. A5. Första ordningens modell, $T_d = 106 \text{ s}$.

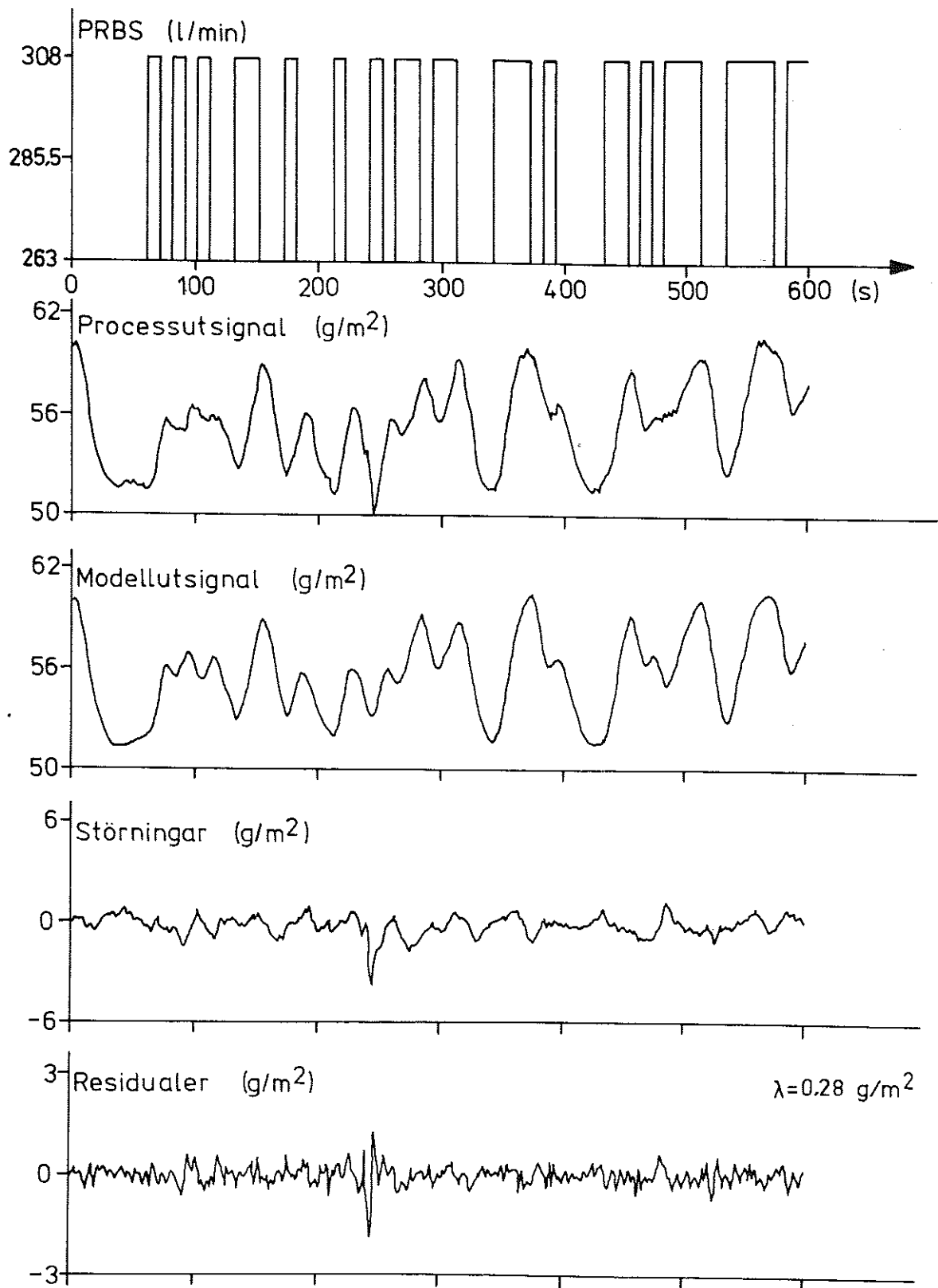


Fig. A6. Andra ordningens modell, $T_d = 102 \text{ s}$.

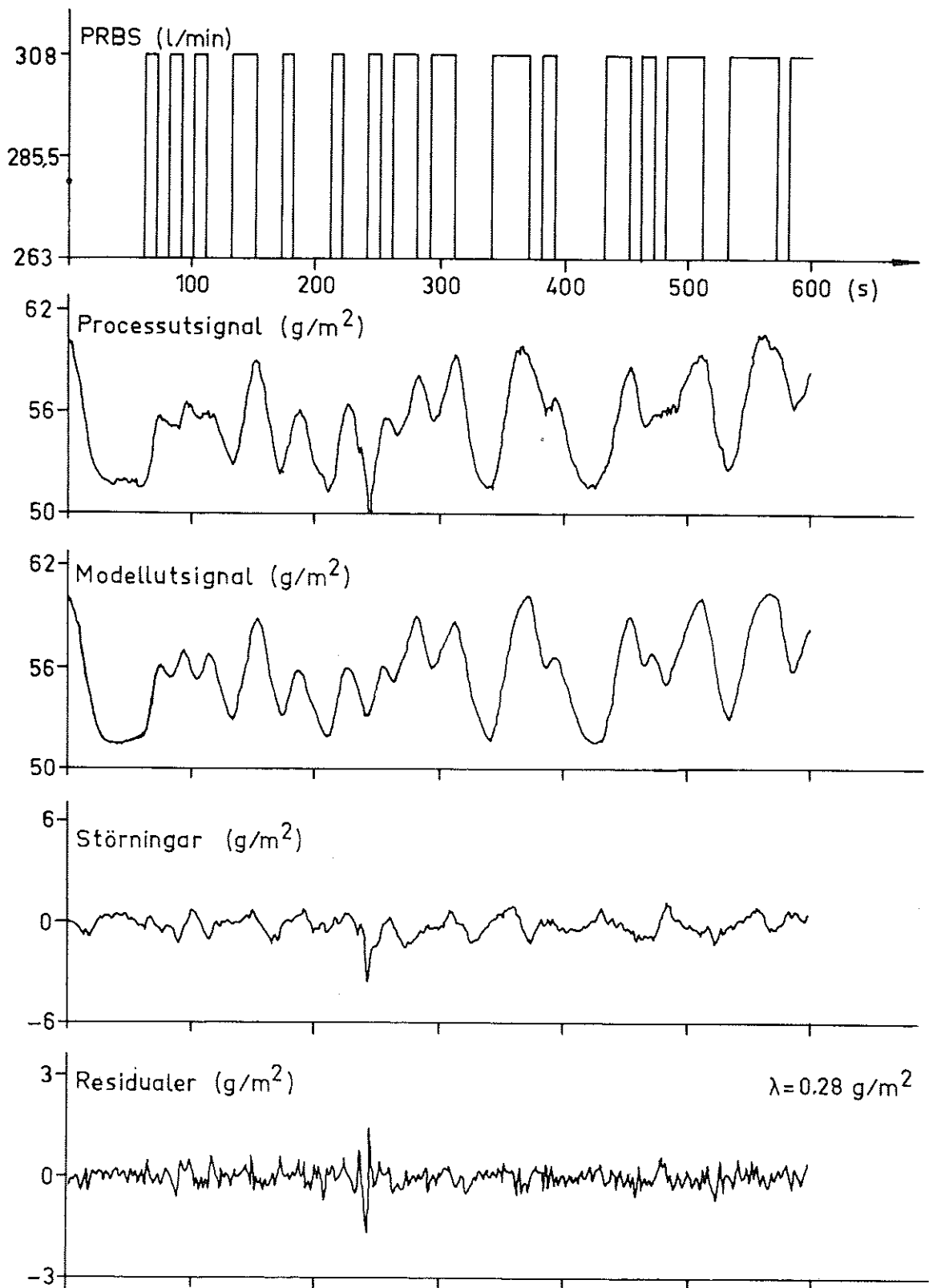


Fig. A7. Andra ordningens modell, $T_d = 104 \text{ s}$.

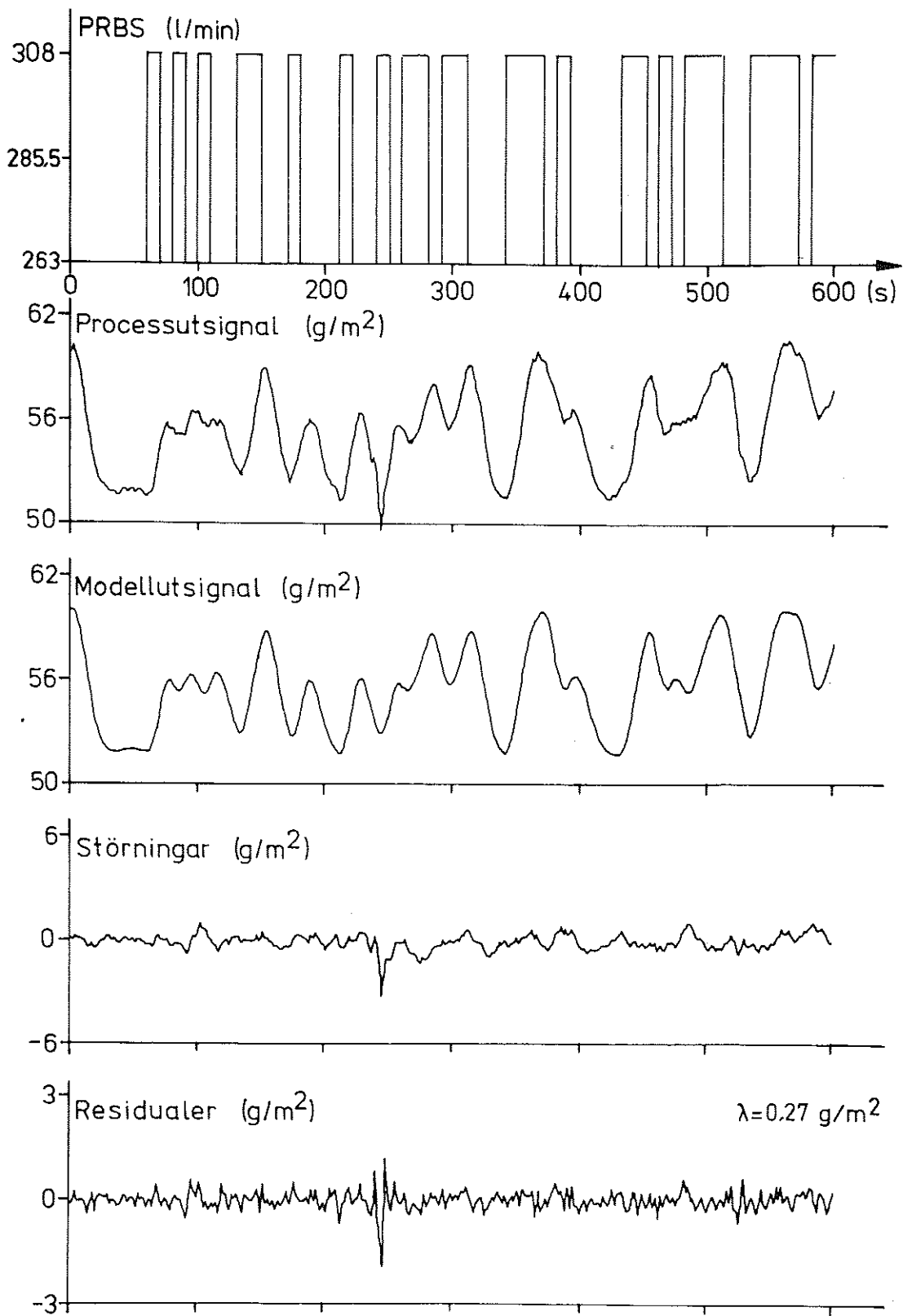


Fig. A8. Tredje ordningens modell, $T_d = 102 \text{ s}$.

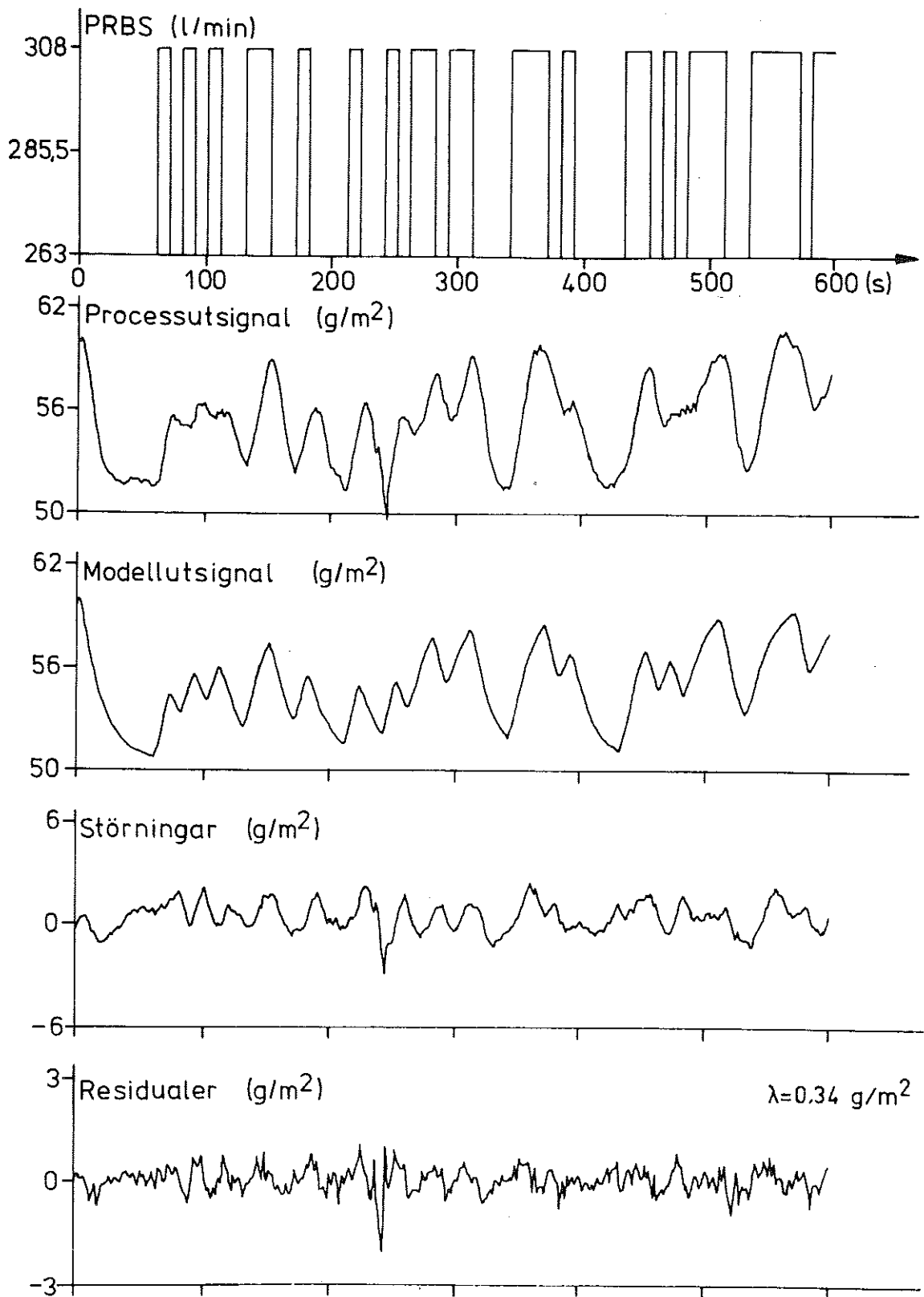


Fig. A9. Andra ordningens modell från mätning 1, $T_d = 104 \text{ s.}$ på data från mätning 2, $T_d = 104 \text{ s.}$

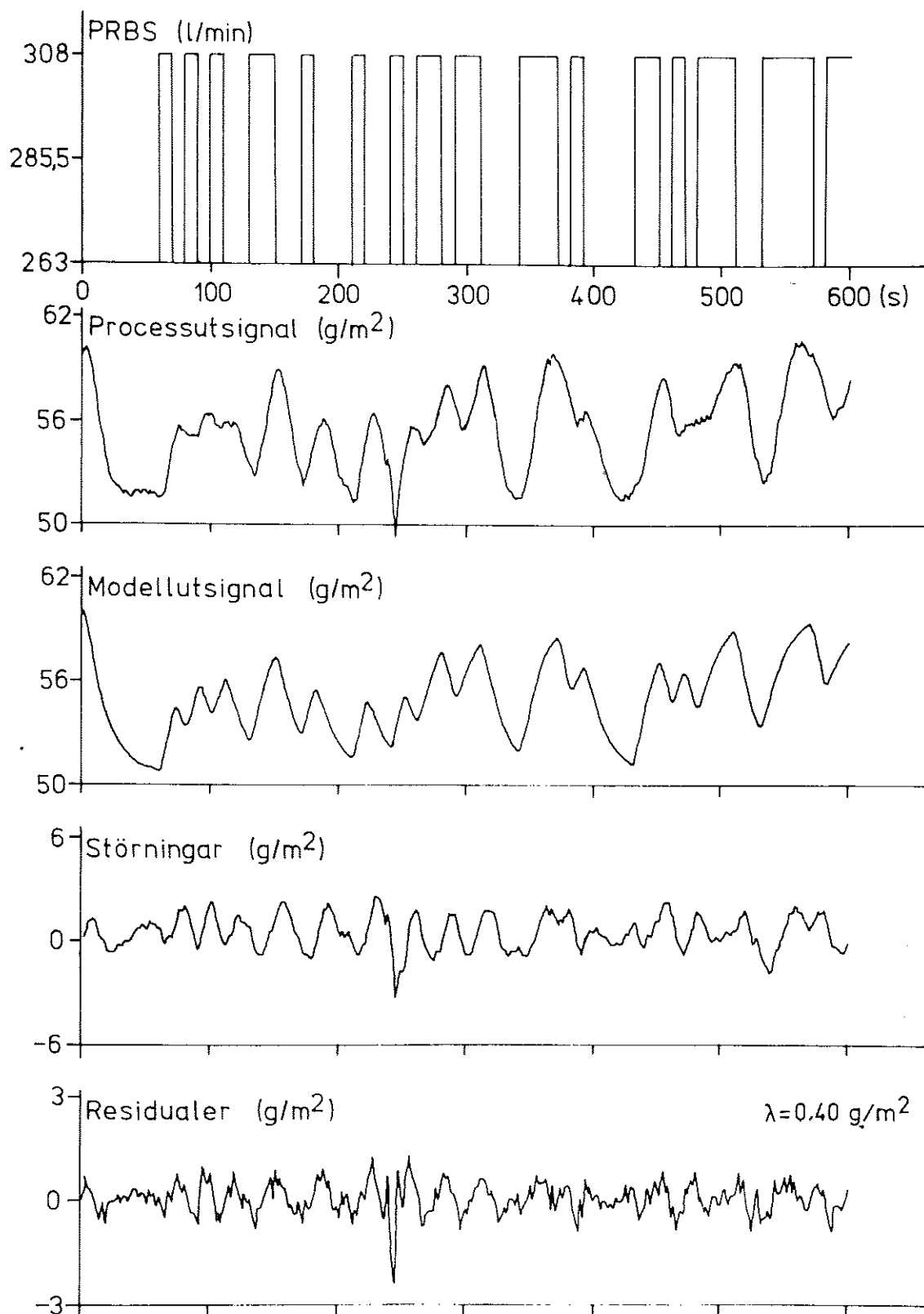


Fig. A10. Andra ordningens modell från mätning 1, $T_d = 104 \text{ s}$. på data från mätning 2, $T_d = 102 \text{ s}$.

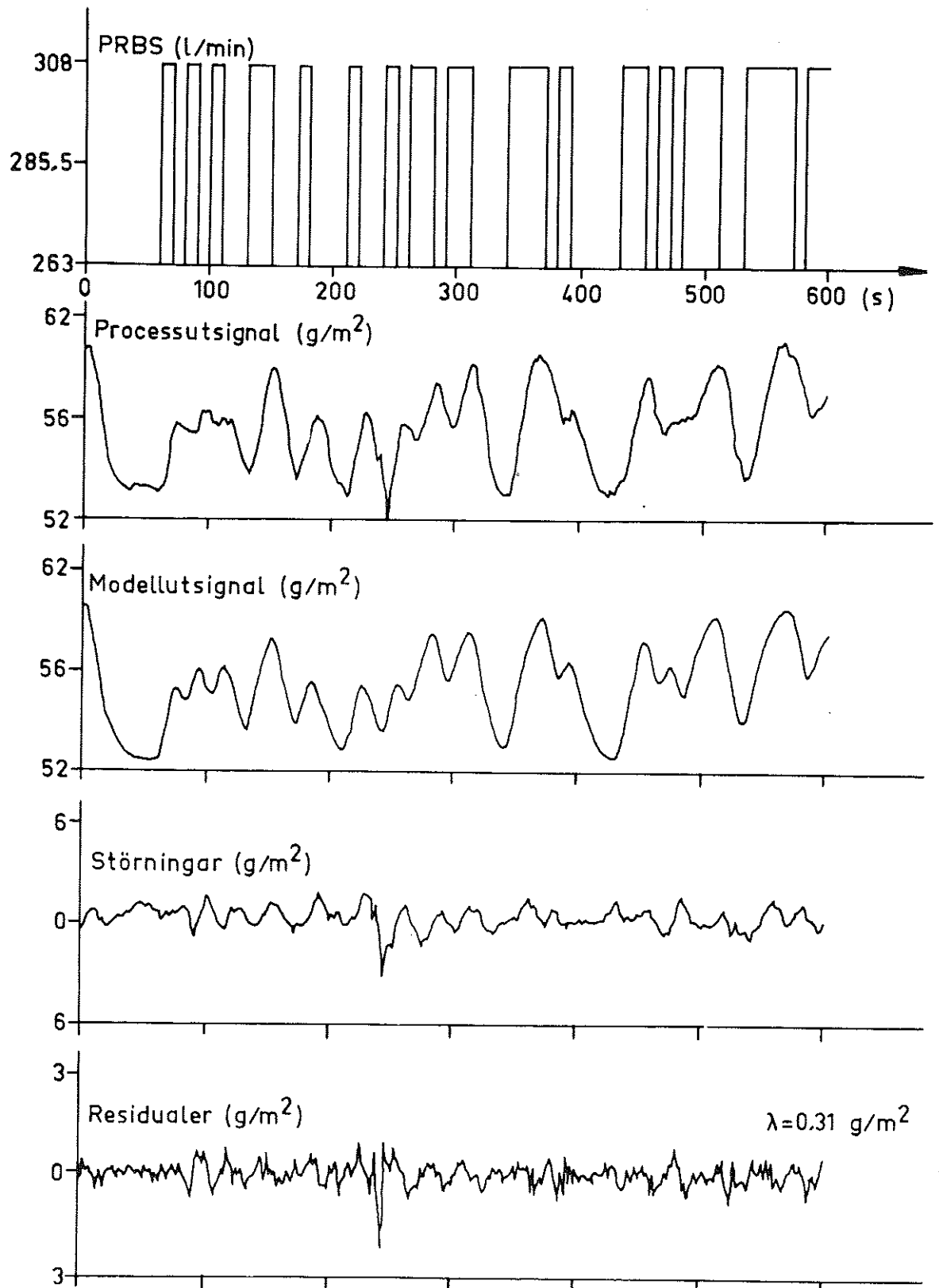


Fig. A11. Tredje ordningens modell från mätning 1, $T_d = 102 \text{ s.}$ på data från mätning 2, $T_d = 102 \text{ s.}$

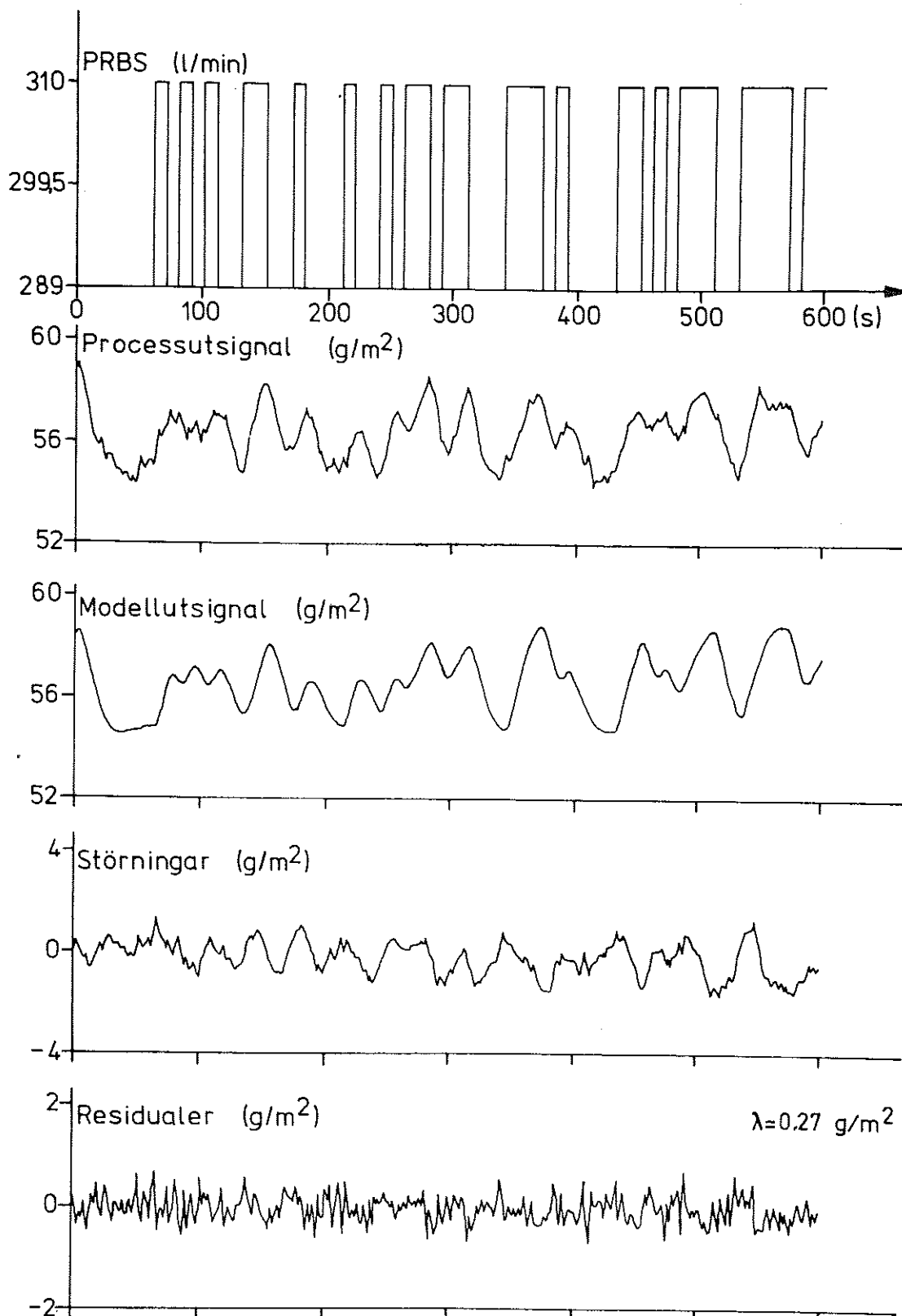


Fig. A12. Andra ordningens modell från mätning 2, $T_d = 102 \text{ s}$. på data från mätning 1, $T_d = 104 \text{ s}$.

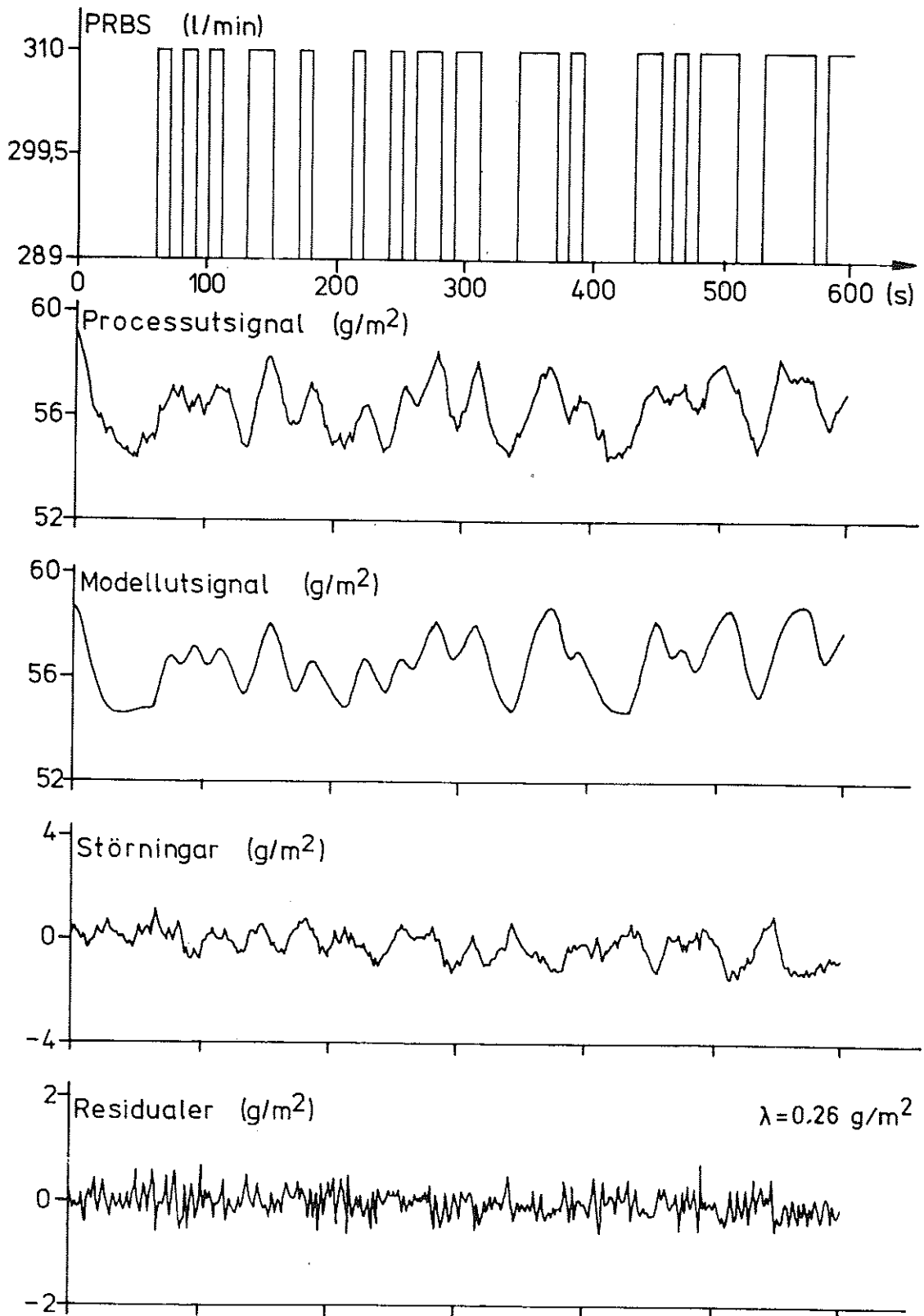


Fig. A13. Andra ordningens modell från mätning 2, $T_d = 104 \text{ s}$. på data från mätning 1, $T_d = 104 \text{ s}$.

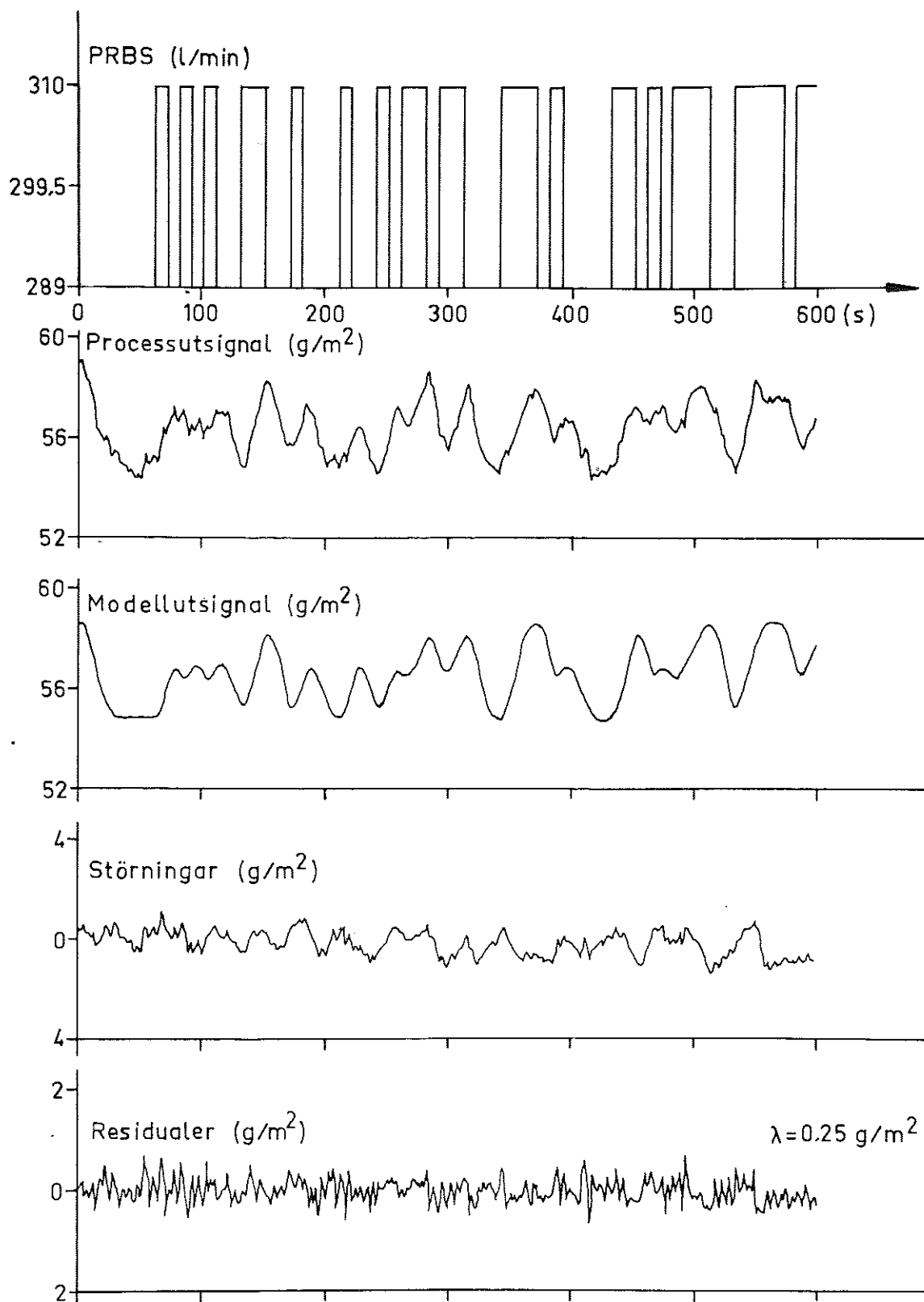


Fig. A14. Tredje ordningens modell från mätning 2, $T_d = 102 \text{ s}$. på data från mätning 1, $T_d = 102 \text{ s}$.

LITTERATUR

1. Häggman, B "Olinjära matematiska modeller för våtpartiet på en pappersmaskin", STFI Serie B nr 153.
2. Häggman, B och Gustavsson, I "Identifiering av dynamiken hos en experimentpappersmaskin. Del 1", STFI Serie B nr 196.

ACKNOWLEDGEMENTS

Författaren vill framföra sitt varma tack till professor Karl-Johan Åström och tekn.lie. Ivar Gustavsson, Lunds Tekniska Högskola, som bidragit med många värdefulla synpunkter vid utarbetandet av denna rapport.