LUND UNIVERSITY

Identifiering av dynamiken hos en stor tidningspappersmaskin

Häggman, Börje

1973

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

Link to publication

Citation for published version (APA):
Häggman, B. (1973). *Identifiering av dynamiken hos en stor tidningspappersmaskin*. (STFI Meddelande serie B Nr 204). 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 stor tidningspappersmaskin

Börje Häggman

MEDDELANDE

SERIE B NR 204

FA B:21

Stockholm, september 1973

Innehållsförteckning

	sida
Sammanfattning	5
Införda beteckningar	7
Inledning	9
Beskrivning av de utförda mätningarna	11
Allmänna förutsättningar	11
Försöksändamål	12
Val av några kritiska försöksparametrar	14
Inledande analys av försöksutfallet	17
Dynamiska modeller från mätning 1	19
Dynamiska modeller för torr ytvikt, mätt i fix position	19
Analys av resultatet	21
Dynamiska modeller för inloppslådekoncentration	23
Analys av resultatet	23
Dynamiska modeller för fukthalten, mätt i fix position	26
Analys av resultatet	26
Dynamiska modeller vid traverserande givare	29
Dynamiska modeller för torr ytvikt	29
Analys av resultatet	31

sida

Jämförelser mellan modeller från de två mätningarna 33

Jämförelser med resultat från andra mätningar 37

Jämförelser mellan deterministiska modeller 37
Tolkningar av resultat 38

Analys av processens störningar 39

Korrelations- och spektraltäthetsfunktioner 39
Analys av residualer 44

Appendix 1. Plottningar av modellegenskaperna 47

Appendix 2. Konstruktionsdata för PM 10 57

Litteratur 59

Acknowledgements 61

Sammanfattning

NYCKELORD: *data processing*
experimental design
low consistency
mathematical models
newsprint

Denna rapport ingår i en serie där dynamiska modeller för pappersmaskiner presenteras. Modellerna har i detta fall, liksom i två tidigare rapporter, bestämts genom maximum-likelihood identifiering på uppmätta data. Mätningarna har i detta sammanhang utförts på en stor, snabb tidningspappersmaskin - PM 10 vid Kvarnsvedens pappersbruk.

Modeller ges dels för torr ytvikt och fukthalt, mätt i fix position tvärs maskinen, dels för torr ytvikt vid traverserande/medelvärdesbildande givare. Dessutom har inloppslådans koncentration med framgång uppmätts och modellerats. Därigenom har en mera ingående analys kunnat göras av blandningsprocessen i korta cirkulationen.

Sammanfattningsvis har framkommit att viragropens dynamik är väsentlig vid beskrivning av processens dynamik. Då produktionen i detta fall bestått av lerahaltigt papper, är detta resultat ej oväntat och överensstämmer med tidigare resultat från mätningar på experimentpappersmaskin vid journalpappersproduktion (3). För att noggrannt beskriva dynamiken i inloppslådekoncentrationen och torr ytvikt, mätt i

fix position, måste andra ordningens modeller med löptid tillgripas. Modellerna innehåller en snabb och en långsam del. Den snabba dynamiken härrör från den blandningsprocess, som sker i dekulator, virvelrenare, silar och pumpar, medan den långsamma delen utgör en beskrivning av blandningsprocessen i viragropen.

Vid mätning av torr ytvikt och fukthalt i en fix position tvärs maskinen har vidare framkommit att störningar i torr ytvikt ger upphov till starkt korrelerade störningar i fukthalt. Störningar i inloppslådekoncentration korrelerar däremot ganska svagt med störningar i torr ytvikt.

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

T_s = samplingsintervall (s)

x = tillståndsvektor (nxl)

$\tilde{A}$ = nxn-matris med konstanta koefficienter

$\tilde{B}$ = nxl-matris med konstanta koefficienter

$\tilde{C}$ = lxn-matris med konstanta koefficienter

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 = inloppslådekoncentration (g/l)

f = fukthalt (%)

går av fig. 1. Givarna för total ytvikt och fukthalt ingår i det på maskinen installerade reglersystemet av typ Measurex. Vid de båda mätningarna var dock systemet för reglering av ytvikt och fukthalt urkopplat. För mätning av inloppslådans koncentration användes den i (2) närmare beskrivna Källegivaren. Mätningen av denna storhet skedde strax före förgreningspunkten för inloppslådan. Storheten kallas trots detta i fortsättningen inloppslådekoncentration.

Försöksändamål

Vid mätningarna skall dynamiska data för PM 10 i oreglerat tillstånd insamlas. Dessa data skall genereras genom ändringar i tjockmassaflödet och användas för bestämning av

- linjära deterministiska modeller för torr ytvikt vid mätning av total ytvikt och fukthalt i såväl fix position tvärs maskinen som med traverserande/medelvärdesbildande givare,
- linjära deterministiska modeller för koncentrationen i inloppslådan,
- karakteristika för störningarna och deras angreppspunkter på processen.

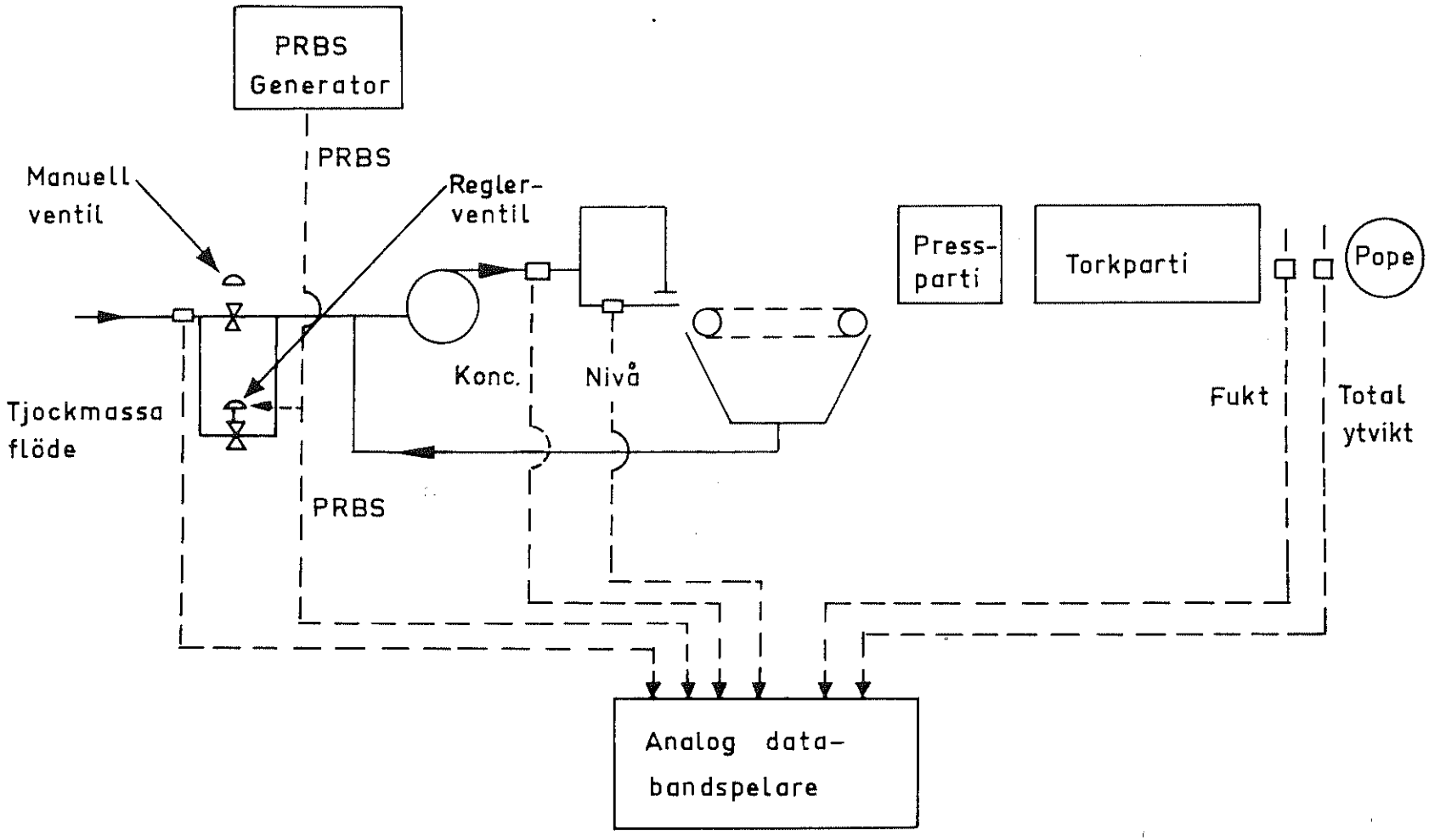


Fig. 1. Instrumenteringen av identifieringsförsöken på PM 10

Val av några kritiska försöksparametrar

För att mätningar med ovanstående typ av målsättning skall ge avsett resultat, krävs ett omsorgsfullt planeringsarbete. Detta innebär bl.a. att flera kritiska försöksparametrar måste väljas ur á priori kunskap om processen. Regler för detta val av parametrar finns i en utförlig diskussion i (2). Nedan anges parametervalet för de genomförda mätningarna. Om inget annat anges gäller samma parameterval för båda försöken.

Insignal:	PRB-sekvens, tidbas 60 s och sekvenslängd 63, kopplad till reglerventil för tjockmassaflödet.
Insignalamplitud:	Uttryckt i tillhörande variation i torr ytvikt erhålles $\pm$ 1 g/m^2.
Samplingsintervall:	För de två mätningarna valdes 10 resp. 60 s.
Total mättid:	Ca 6 timmar.
Mätning av total ytvikt och fukthalt:	Vid mätning 1 mättes dessa storheter i en fix position tvärs maskinen. Under mätning 2 skedde detta däremot genom medelvärdesbildning tvärs hela pappersbanan med en traverseringstid på 60 s. Utsignalerna blir således i detta fall medelvärdet över en traversering.

Vid mätningarna hölls insignalen ej konstant vid någon av sina yttre nivåer i avsikt att låta processen anta detta jämviktstillstånd. Kalibreringen av lågkoncentrationsgivaren har utförts under PRB-sekvensens normala hålltid, i detta fall 6 min, i början av varje försök. Slutligen bör tilläggas att vid omvandling av data till digital form skedde en analog filtrering med en filtertidskonstant på ca 1 s.

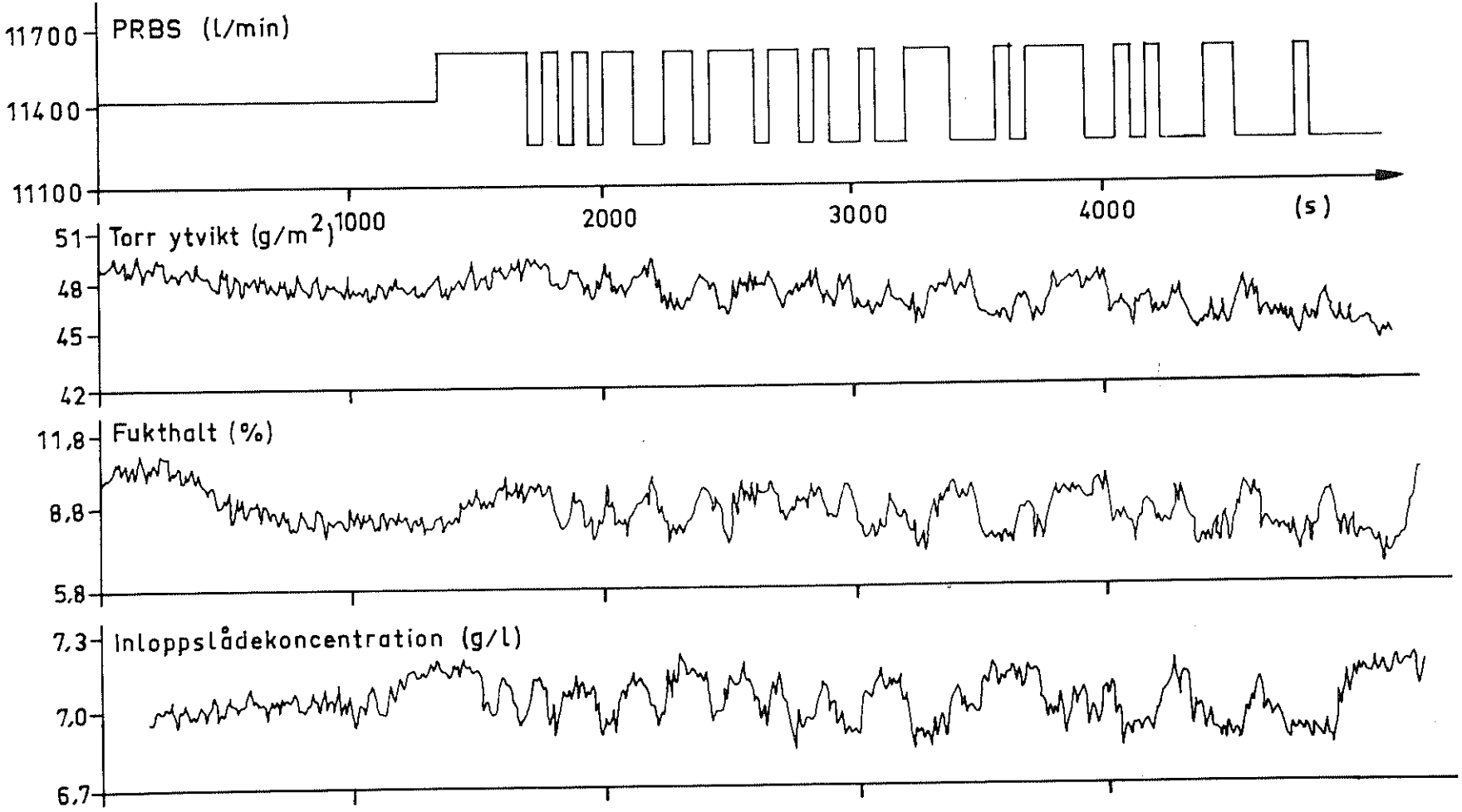


Fig. 2. Insignalen och de viktigaste utsignalerna vid mätning 1.

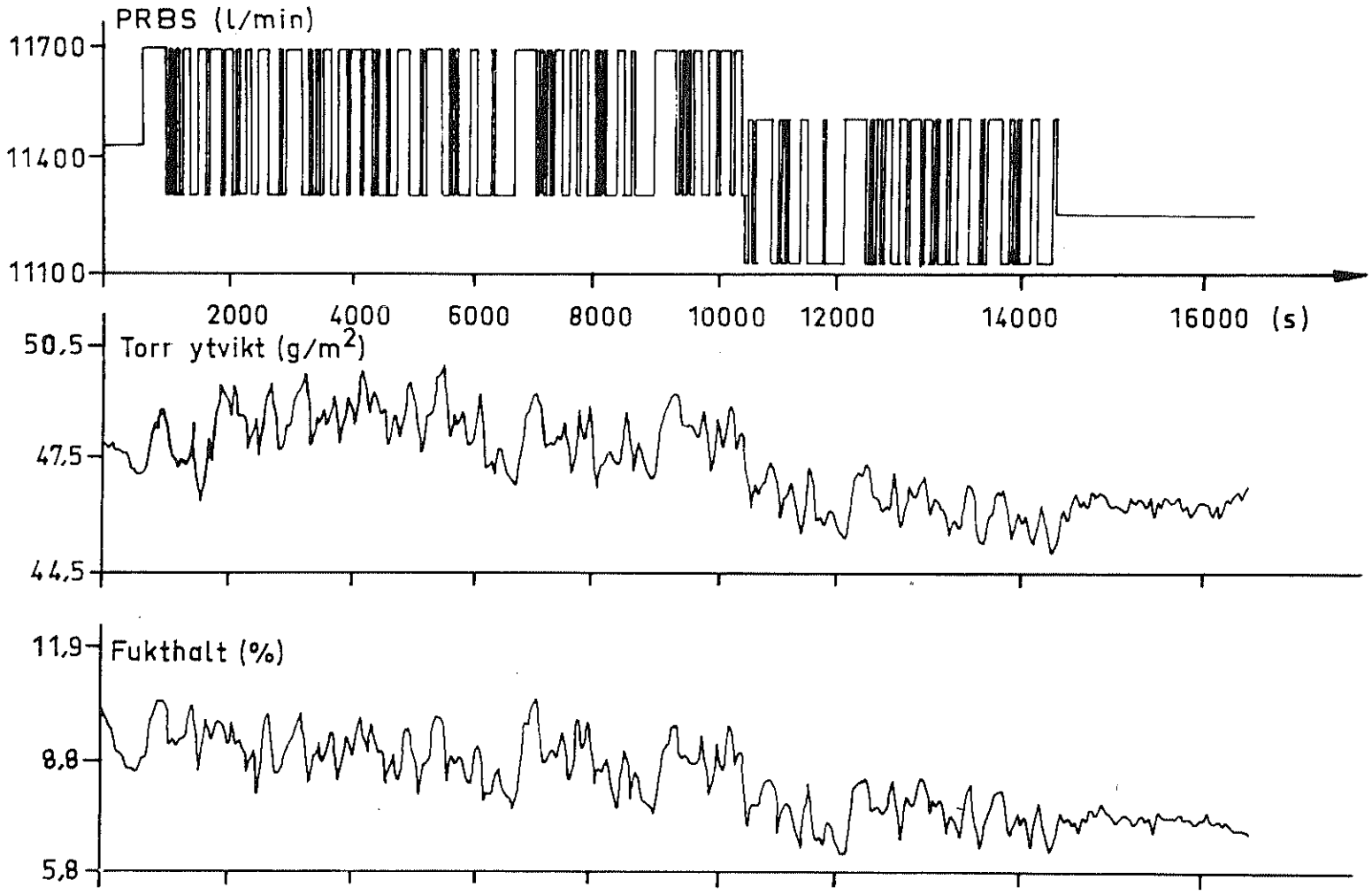


Fig. 3. Insignal samt de viktigaste utsignalerna vid mätning 2.

Inledande analys av försöksutfallet

Utseendet av de viktigaste utsignalerna från de två försöken framgår av fig. 2 och 3. Av detta följer att mätning av inloppslådekoncentration i detta fall har lyckats väl. Papperets fukthalt störs som synes av de påtvingade variationerna i torr ytvikt. Korrelationen mellan dessa två sistnämnda signaler förefaller att vara stor. I fig. 3 framgår att en manuell börvärdesändring av torra ytvikten har genomförts under själva mätningen.

Vid mätningarna har en något osymmetrisk PRB-sekvens använts. Detta kan tänkas ge upphov till data med positiva trender. Vid en analys av eventuell förekomst av trender hos data från mätning 1 framkom därvid:

drift i torr ytvikt:	$-2,7$ g/m^2
drift i fukthalt:	$-0,8$ %
drift i inloppslådekoncentration:	$-0,04$ g/l

allt räknat över en mättid på 60 min. Detta anger att det finns en i och för sig vanlig, men här ej önskvärd, icke-deterministisk egenskap hos data. Av denna anledning har ovanstående trender i data programmässigt eliminerats före påbörjandet av identifieringsberäkningarna. Medelvärdet för insignalen har därefter korrigerats så att en symmetrisk insignal erhållits. För mätning 2 har på motsvarande sätt drift i data ej analyserats, eftersom en avsiktlig börvärdesändring genomförts under mätningen.

Dynamiska modeller från mätning 1

I detta avsnitt skall resultaten från maximum-likelihood identifiering av data från mätning 1 presenteras. Modellerade storheter är torr ytvikt, fukthalt och inloppslådekoncentration. Val av modell för var och en av dessa utsignaler anges. En analys görs av de funna deterministiska modellerna.

Dynamiska modeller för torr ytvikt, mätt i fix position

Beräkningarna har utförts på 360 punkter med PRBS som insignal. I tabell 1 - 3 anges förlustfunktionens värde, parametervärden med noggrannheter samt poler och nollställen för erhållna samplade modeller av olika ordningstal och löptider.

Löptid (s)	V_1	V_2	n	$F_{n+1,n}$	Statisk förstärkn.
60	49,3		1	10,5	0,00493
70	46,9	41,9	2		0,01168
80	48,2	43,4			

Tabell 1. Förlustfunktionens värden för ytviktsmodeller till mätning 1. NP = 360.

Löp-tid (s)	ORDNINGSTAL 1			ORDNINGSTAL 2		
	a-parametrar	b-parametrar x 100	c-parametrar	a-parametrar	b-parametrar x 100	c-parametrar
60	-0,855±0,020	0,090±0,008	-0,631±0,044			
70	-0,777±0,027	0,110±0,010	-0,546±0,048	-1,718±0,029 0,722±0,028	0,135±0,009 -0,130±0,009	-1,690±0,054 0,723±0,052
80	-0,640±0,046	0,140±0,016	-0,374±0,066	-1,247±0,214 0,287±0,181	0,222±0,029 -0,196±0,021	-1,088±0,241 0,229±0,163

Tabell 2. Parametervärden med noggrannheter för ytviktsmodeller till mätning 1. NP = 360.

Löp-tid (s)	ORDNINGSTAL 1			ORDNINGSTAL 2		
	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
60	0,855 T=63,6	-	0,631			
70	0,777 T=39,6	-	0,546	0,734 0,985 T_1=32,3 T_2=661,6	0,965	0,845±j0,096
80	0,640 T=22,4	-	0,374	0,304 0,943 T_1=8,4 T_2=169,4	0,883	0,286 0,802

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

Analys av resultatet

I tabell 1 har de intressanta modellerna markerats. Test av ordningstalet anger att en modell av 1.-ordningen är otillräcklig. Notera vidare den stora variationen i statisk förstärkning. Vid den normala beräkningen av parametervärden vid löptiden 70 s och ordningstal 2 framkom en modell med högre värde på förlustfunktionen än ovan angivna för löptiden 80 s. Den så erhållna modellen uppvisade emellertid en i förhållande till inloppslådekoncentration egenartad dynamik. I själva verket framkom ovanstående bästa modell av ordningstal 2 och med löptiden 70 s först genom att som startvärden för a-parametrarna använda en modell för inloppslådekoncentrationen. Någon ytterligare minskning av förlustfunktionens värde vid löptiden 80 s framkom ej vid denna undersökning. Av detta skäl ges ej några resultat från beräkningar vid högre ordningstal än 2. Observera alltså att det i detta fall finns flera lokala minima hos förlustfunktionen.

Plottningar av modellegenskaperna

Plottningar av de funna modellernas egenskaper framgår av fig. A1 - A2. En närmare diskussion om denna typ av figurer ges i (2). Av figurerna understryks att en 2.-ordningens modell bör väljas. Trots denna modells höga statiska förstärkning fås i detta fall en normal modellutsignal, beroende på att insignalen varierar snabbt i förhållande till den i modellen ingående stora tidskonstanten. Detta förhindrar å andra sidan en noggrann uppskattning av modellens statiska förstärkning. Detta kommer att närmare behandlas nedan, där en fysikalisk tolkning ges till den funna deterministiska dynamiken. I fig. A1 - A2 anges även prediktionsfelet över ett samplingsintervall, i detta fall 10 s. I fig. 4 anges slutligen modellernas enkla stegsvar.

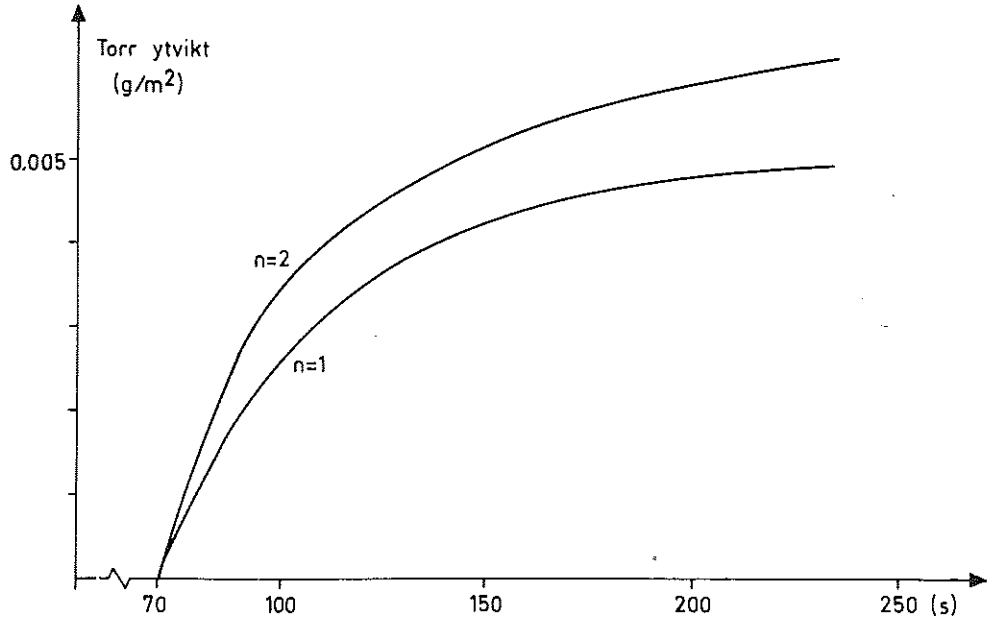


Fig. 4. Stegsvar hos några ytviktsmodeller till mätning 1.

Tidskontinuerliga analoga deterministiska modeller

De bästa modellerna för torr ytvikt har omräknats till tidskontinuerliga analogier och blir uttryckta i form av överföringsfunktioner mellan tjockmassaflöde och torr ytvikt:

ordningstal 1

$$\frac{0{,}0049e^{-70s}}{1 + 39{,}6\ s}$$

ordningstal 2

$$\left(\frac{0{,}0047}{1 + 32{,}3\ s} + \frac{0{,}0070}{1 + 661{,}6\ s}\right) e^{-70s}$$

Notera här att den långsamma moden har större statisk förstärkning än den snabba moden.

Dynamiska modeller för inloppslådekoncentration

Beräkningarna har i detta fall utförts på 700 punkter med PRBS som insignal. I tabell 4 - 6 ges förlustfunktionens värde, parametervärden med noggrannheter samt poler och nollställen till erhållna samplade modeller av olika ordningstal och löptider.

Löptid (s)	V_1	V_2	n	$F_{n+1,n}$	Statisk förstärkn.
20	0,59	0,53	1	5,0	0,000584
30	0,54	0,52	2		0,000655
40	0,62	0,59			

Tabell 4. Förlustfunktionens värden för modeller för inloppslådekoncentration till mätning 1. NP = 700.

Analys av resultatet

I tabell 4 har de intressanta modellerna markerats. Även i detta fall sker en avsevärd ökning av statiska förstärkningen vid övergång till ordningstal 2. På grund av förekomsten av flera lokala minima vid föregående beräkningar undersöktes även i detta fall om minimipunkten var entydigt bestämd. Detta skedde på så sätt att polerna till erhållna modeller ändrades något. De så erhållna värdena på a-parametrarna användes därefter som startvärden för fortsatta beräkningar. Därvid framkom att det även i detta fall fanns flera minimipunkter hos förlustfunktionen. Ovan angivna modell av 2.-ordningen och med löptiden 30 s erhölls just vid dessa senare beräkningar. Minskningen av förlustfunktionen var dock liten och ändringen i polernas läge högst måttlig. Notera den förbättrade noggrannheten i parameteruppskattningen till följd av ett större antal punkter jämfört med modellerna för torr ytvikt.

Löp-tid (s)	ORDNINGSTAL 1			ORDNINGSTAL 2		
	a-parametrar	b-parametrar x 1000	c-parametrar	a-parametrar	b-parametrar x 1000	c-parametrar
20	-0,821±0,010	0,124±0,005	-0,624±0,033	-0,783±0,101 0,034±0,083	0,022±0,014 0,129±0,022	-0,548±0,105 0,006±0,078
30	-0,730±0,014	0,158±0,006	-0,503±0,035	-1,654±0,037 0,667±0,030	0,166±0,006 -0,157±0,007	-1,489±0,032 0,532±0,030
40	-0,598±0,025	0,193±0,011	-0,281±0,042	-1,158±0,086 0,241±0,066	0,252±0,015 -0,204±0,015	-0,934±0,066 0,137±0,040

Tabell 5. Parametervärden med noggrannheter för modeller för inloppslådekoncentration till mätning 1. NP = 700.

Löp-tid (s)	ORDNINGSTAL 1			ORDNINGSTAL 2		
	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
20	0,821 T=50,6	-	0,624	0,047 0,736 T_1=3,3 T_2=32,7	-5,908	0,010 0,538
30	0,730 T=31,8	-	0,503	0,696 0,958 T_1=27,6 T_2=230,7	0,949	0,594 0,895
40	0,598 T=19,4	-	0,281	0,271 0,887 T_1=7,7 T_2=83,2	0,810	0,182 0,752

Tabell 6. Poler och nollställen för modeller för inloppslådekoncentration till mätning 1.

Plottningar av modellegenskaperna

I fig. A3 - A4 återges egenskaperna hos de bästa modellerna för inloppslådekoncentrationen. Av figurerna följer att modellerna ej skiljer sig i någon större utsträckning. Modellen av 2.-ordningen är dock att föredra, i synnerhet som den kan ges en intressant fysikalisk tolkning. I fig. 5 har de deterministiska modellernas enkla stegsvar uppritats.

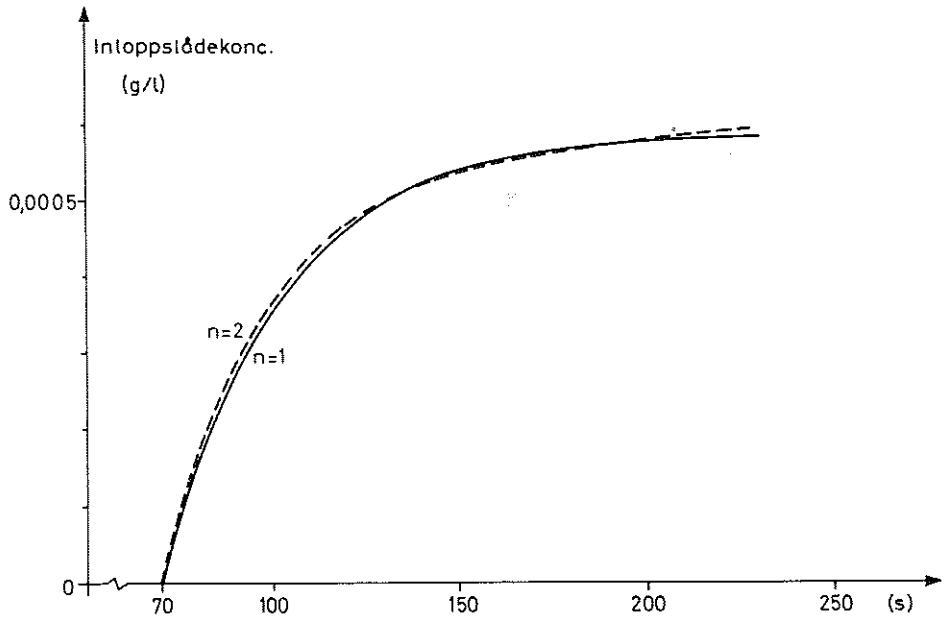


Fig. 5. Stegsvar hos några modeller för inloppslådekoncentration till mätning 1.

Tidskontinuerliga analoga modeller

Även i detta fall har analoga tidskontinuerliga modeller beräknats. Dessa blir uttryckt i form av överföringsfunktioner mellan tjockmassaflödet och inloppslådekoncentrationen:

ordningstal 1

$$\frac{0{,}00058e^{-30s}}{1 + 31{,}8\ s}$$

ordningstal 2

$$\left(\frac{0{,}00053}{1 + 27{,}6\ s} + \frac{0{,}00013}{1 + 230{,}7\ s}\right) e^{-30s}$$

Notera att långsamma modens statiska förstärkning i detta fall är lägre än tillhörande snabb mod.

Dynamiska modeller för fukthalten, mätt i fix position

Vid den inledande analysen av data konstaterades att fukthalten hos papperet påverkades av variationerna i torr ytvikt under stark korrelation. Variationerna i fukthalt kommer då att uppvisa deterministiskt beteende om variationerna i torr ytvikt gör det. Av denna anledning kan modellering göras av fukthaltens beroende av tjockmassaflödet. Modellerna kan självfallet även användas vid beskrivning av fukthaltens direkta beroende av variationer i torr ytvikt. Beräkningarna har i detta fall utförts på 360 punkter med samplingsintervallet 10 s. PRB-sekvensen har använts som insignal. I tabell 7 - 9 ges tillhörande värde på förlustfunktionen, parametervärden med noggrannheter samt poler och nollställen för erhållna samplade modeller av olika ordningstal och löptider.

Löptid (s)	V_1	V_2	n	$F_{n+1,n}$	Statisk förstärkn.
80	26,2	24,8	1	2,1	0,00457
70	25,2	24,6	2		0,00428
60	27,8	24,7			

Tabell 7. Förlustfunktionens värden för fukthaltsmodeller till mätning 1. NP = 360.

Analys av resultatet

I tabell 7 har de intressanta modellerna markerats. Test av ordnings-

Löp-tid (s)	ORDNINGSTAL 1			ORDNINGSTAL 2		
	a-parametrar	b-parametrar x 100	c-parametrar	a-parametrar	b-parametrar x 100	c-parametrar
60	-0,844±0,018	0,088±0,006	-0,568±0,045	-0,936±0,119 0,174±0,101	-0,014±0,018 0,112±0,025	-0,754±0,131 0,253±0,094
70	-0,760±0,022	0,110±0,008	-0,498±0,046	-0,211±0,233 -0,366±0,181	0,068±0,019 0,114±0,033	0,025±0,247 -0,168±0,142
80	-0,626±0,037	0,137±0,012	-0,338±0,056	-0,944 0,080	0,204 -0,140	-0,751 0,088

Tabell 8. Parametervärden med noggrannheter för fukthaltsmodeller till mätning 1. NP = 360.

Löp-tid (s)	ORDNINGSTAL 1			ORDNINGSTAL 2		
	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
60	0,844 T=58,8	-	0,568	0,255 0,681 T_1=7,3 T_2=26,0	7,974	0,377±j0,333
70	0,760 T=36,4	-	0,498	-0,508 0,719	-1,679	0,397 -0,422
80	0,626 T=21,3	-	0,338	0,094 0,849 T_1=4,2 T_2=61,3	0,687	0,145 0,606

Tabell 9. Poler och nollställen för fukthaltsmodeller till mätning 1.

talet anger att en modell av 1.-ordningen räcker. Anledningen till detta kan eventuellt bero på att det även i detta fall finns flera lokala minima hos förlustfunktionen. Eftersom avsikten ej har varit att erhålla noggranna modeller för fukthalten, har dock ingen ytterligare möda lagts ned för att utröna detta. Modellerna kommer i det följande att väsentligen användas vid störningsanalys men också behandlas i avsnittet om fysikaliska tolkningar av resultatet. Inga plottningar har gjorts av fukthaltsmodellerna.

Dynamiska modeller vid traverserande givare

I detta avsnitt skall maximum-likelihood modeller ges för torr ytvikt då mätning skett med medelvärdesbildande/traverserande givare för fukthalt och total ytvikt.

Dynamiska modeller för torr ytvikt

Traverseringstiden tvärs pappersbanan har valts till 60 s. Processens utsignal blir i detta fall medelvärdet över en traversering. Beräkningarna har utförts på 200 punkter med PRB-sekvensen som insignal. Resultatet ges i tabell 10 - 12.

Löptid (s)	V_1	V_2	V_3'	V_3	n	$F_{n+1,n}$	Statisk förstärkn.
60	8,95	5,64	4,46	4,39	1	28,2	0,0069
					2	13,4/16,7	0,0067
					3		0,0056
					3'		0,0062

Tabell 10. Förlustfunktionens värden för ytviktsmodeller till mätning 2. NP = 200.

	ORDNINGSTAL 1			ORDNINGSTAL 2			ORDNINGSTAL 3			ORDNINGSTAL 3		
Löp-tid (s)	a-parametrar	b-parametrar x 100	c-parametrar	a-parametrar	b-parametrar x 100	c-parametrar	a-parametrar	b-parametrar x 100	c-parametrar	a-parametrar	b-parametrar x 100	c-parametrar
60	-0,709±0,019	0,201±0,011	-0,241±0,057	-0,232±0,061	0,199±0,009	0,357±0,092	-1,243±0,061	0,188±0,008	-0,780±0,102	-1,177±0,065	0,190±0,008	-0,736±0,095
							0,262±0,050	-0,026±0,017	0,170±0,094	0,109±0,101	-0,011±0,017	0,048±0,111
				-0,196±0,051	0,184±0,014	0,208±0,068	0,0	-0,151±0,011	-0,106±0,068	0,083±0,049	-0,170±0,015	-0,043±0,071

Tabell 11. Parametervärden med noggrannheter för ytviktsmodeller till mätning 2. NP = 200.

Löp-tid (s)	ORDNINGSTAL 1			ORDNINGSTAL 2			ORDNINGSTAL 3			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	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
60	0,709	-	0,241	0,574	-0,927	-0,179±j0,420	0,0	0,966	0,743	-0,209	-0,917	0,749
							0,268			0,406		
	T=174,4			-0,342			0,975	-0,830	0,019±j0,377	0,980	0,978	-0,007±j0,241

Tabell 12. Poler och nollställen för ytviktsmodeller till mätning 2.

Analys av resultatet

Av tabell 11 framgår att den fullständiga modellen av 3.-ordningen innehåller tre parametervärden, som ej är signifikant skilda från 0. Ett sådant resultat tyder ofta på att parameterantalet är för stort. Av denna anledning har även en 3.-ordningens modell med $a_3 = 0$ beräknats. Test av ordningstalet visar att den så erhållna modellen bör väljas för beskrivning av data. Observera att denna modell innehåller en mycket stor tidskonstant, som troligen härrör från drift i data.

Plottningar av modellegenskaperna

I fig. A5 - A8 anges egenskaperna hos de funna modellerna. Val av 3.-ordningens modell understryks klart av dessa figurer. Det kan vidare noteras att en tillfällig, stor störning uppträder efter ca 1200 s. Detta ger upphov till onormalt stora residualer. De i figuren angivna standardavvikelserna för residualerna avser data utan denna störning. I fig. 6 anges slutligen modellernas enkla stegsvar.

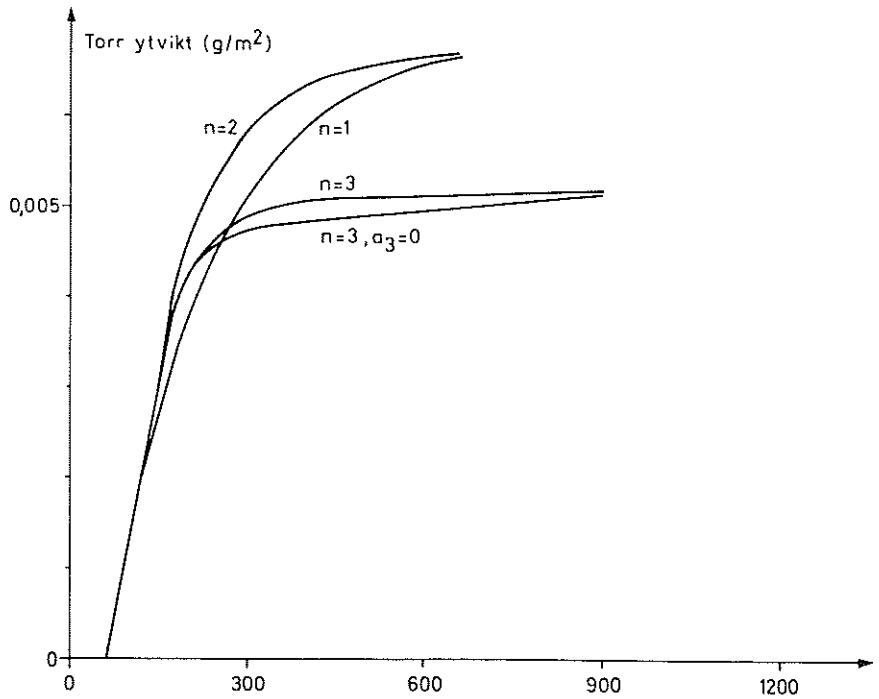


Fig. 6. Stegsvar för några ytviktsmodeller till mätning 2.

Jämförelser mellan modeller från de två mätningarna

Den för mätning 2 valda modellen kan förefalla en aning speciell. I detta avsnitt skall kortfattat påvisas, att dess struktur i själva verket är den väntade. En enkel analys skall göras och med exempel skall belysas, att de erhållna modellerna för mätning 2 står i överensstämmelse med modellerna för mätning 1. Betrakta således ett vanligt linjärt, tidsinvariant system givet av

$$\dot{x}(t) = \tilde{A}x(t) + \tilde{B}u(t-T_d) \tag{1}$$

$$y(t) = \tilde{C}x(t) \tag{2}$$

Modellerna för mätning 2 kan nu approximativt beskrivas med det samplade system, som erhålles om följande utsignal i stället införs:

$$\bar{y}(t) = \frac{1}{T_s}\int_{t-T_s}^{t} y(s)\,ds \qquad t = T_s, 2T_s, \ldots \tag{3}$$

För enkelhets skull kommer här endast fallet då $T_s < T_d < 2T_s$ att behandlas. Om nu (1) samplas med ett sådant samplingsintervall fås följande beskrivning:

ekv. (4)

$$x(t+T_s) = e^{\tilde{A}T_s}x(t) + \left(\int_0^{2T_s-T_d} e^{\tilde{A}v}\tilde{B}dv\right) u(t-T_s) + \left(\int_{2T_s-T_d}^{T_s} e^{\tilde{A}v}\tilde{B}dv\right) u(t-2T_s)$$

Efter en del räkningar erhålls så för (1) med utsignalen (3) följande:

$$\bar{y}(t) = \frac{1}{T_s}\tilde{C}\left\{\left(\int_0^{T_s} e^{\tilde{A}v}dv\right) x(t-T_s) + \left(\int_0^{T_d-T_s}\left(\int_0^{v} e^{\tilde{A}v'}\tilde{B}dv'\right) dv\right) u(t-3T_s) + \right.$$

$$\left. + \left(\int_{T_d-T_s}^{T_s}\left(\int_0^{v} e^{\tilde{A}v'}\tilde{B}dv'\right) dv\right) u(t-2T_s)\right\}$$

där x(t) ges av (4).

Exempel 1: Utgå från den deterministiska modellen för torr ytvikt från mätning 1:

$$G(s) = \frac{0,00493}{1+39,6s}\, e^{-70s}$$

Samplas detta system med samplingsintervallet 60 s erhålles

$$x(t+1) = 0,2198\, x(t) + 0,003535\, u(t-1) + 0,000311\, u(t-2)$$

där samplingsintervallets längd införts som tidsenhet.

Om nu u(t) skiftas ett steg erhålles

$$x(t) = \frac{0,003535q^{-1} + 0,000311q^{-2}}{1 - 0,2198q^{-1}}\, u(t)$$

varur således följer att det ursprungliga systemets tidskonstanter bibehålles medan antalet b-termer ökar.

Exempel 2: Utgå från samma modell men inför utsignalen (3). Därvid erhålles efter skifte av u(t) ett steg

$$\bar{y}(t) = \frac{0{,}002296q^{-1} + 0{,}001411q^{-2} + 0{,}000139q^{-3}}{1 - 0{,}2198q^{-1}} u(t) \qquad (5)$$

varav följer att ytterligare en b-term tillkommer.

Beräkningar av samma slag kan nu genomföras för den valda modellen av 2.-ordningen. Denna modell innehåller dock en pol nära 1. Detta medför att om statiska förstärkningen fortfarande kan antas vara rimlig, så återfinns nära nog samma faktor hos B-polynomet. För att således endast få litet känsla för utseendet hos den modell, som kan förväntas för mätning 2, räcker det med att förlänga (5) med faktorn $(1-0{,}9133q^{-1})$. Detta ger:

$$\bar{y}(t) = \frac{0{,}002296q^{-1} - 0{,}000686q^{-2} - 0{,}001148q^{-3} - 0{,}000127q^{-4}}{1 - 1{,}1331q^{-1} + 0{,}2007q^{-2}} \qquad (6)$$

Om nu b_4 sättes lika med 0, kommer den så erhållna modellen, att uppvisa stora likheter med den experimentellt funna deterministiska modellen för mätning 2. Att parametervärdena ej överensstämmer helt kan delvis bero på att den statiska förstärkningen är väsentligt högre för maximum-likelihood modellerna för mätning 2. Ovan har antytts att detta kan bero på drift i data.

Jämförelser med resultat från andra mätningar

I detta avsnitt skall jämförelser göras mellan resultaten från ovan beskrivna mätning 1 och de tidigare i (2) och (3) givna resultaten från experimentpappersmaskinen vid STFI.

Jämförelser mellan deterministiska modeller

Först kan konstateras att viragropens dynamik tydligen är väsentlig vid lerahaltiga papperskvaliteter. Detta yttrar sig däri att en stor tidskonstant ingår i modellen för torr ytvikt. Detta gäller såväl XPM vid journalpappersproduktion som vid ovanstående mätningar. Därefter föreligger två skillnader. På XPM har virahastigheten befunnits vara beroende av ändringar i tjockmassaflödet. Denna effekt har ej konstaterats vid ovanstående mätningar. Detta är knappast heller att vänta då insignalamplituden i detta fall varit väsentligt lägre. Den väsentliga skillnaden består dock i att blandningsprocessen på XPM måste beskrivas med ett andra ordningens system. Vid de här aktuella mätningarna räcker det däremot tydligen med en enkel exponentialfunktion för beskrivning av snabb dynamik. Av appendix 2 framgår att PM 10 på normalt sätt är utrustad med virvelrenare, trycksilar samt dessutom en dekulator. Samtliga dessa enheter saknas på XPM. Denna olikhet i konfiguration kan självfallet påverka just blandningsprocessen. Det är dock för tillfället ej möjligt att mera precist anger varför blandningsprocessen på de två maskinerna tydligen är något olika.

Tolkningar av resultat

Dynamiken i torr ytvikt och inloppslådekoncentration har befunnits gå att beskriva med andra ordningens modeller med löptider. Därvid utgör den mindre tidskonstanten ett mått på den effektiva blandningsvolym i korta cirkulationen utom viragrop fram till den aktuella mätpunkten. Volymsflödet genom inloppslådan kan uppskattas till 1,5 m^3/s. Av detta följer nu, att den totala effektiva blandningsvolymen i korta cirkulationen, utom viragrop, kan uppskattas till 48,5 m^3. Notera att denna effektiva blandningsvolym uppgår till ca hälften av den totala volymen. Fram till mätstället för inloppslådekoncentration fås analogt 41,4 m^3. Sålunda skulle den effektiva blandningsvolymen i tvärfördelare och inloppslåda uppgå till 7,1 m^3.

Om antagandet görs, att fullständig omrörning föreligger i viragropen, skulle tidskonstanten för den långsamma moden kunna uppskattas till ca 120 s. De erhållna resultaten visar dock på betydligt större tidskonstanter. Orsaken till detta torde strängt taget bero på att insignalen varierat för snabbt i förhållande till viragropens dynamik. Därigenom har en felaktig avvägning gjorts vid beräkningarna mellan förstärkning och tidskonstant hos viragropens effekt på dynamiken. Mer realistiska värden kommer av denna anledning att sökas med andra identifieringsmetoder. Resultaten från dessa beräkningar ges i kommande rapporter.

Slutligen följer av de statiska förstärkningarna hos respektive 1.-ordningens modell för torr ytvikt och fukthalt att en bestående ökning av torra ytvikten på 1 g/m^2 leder till en bestående ökning av fukthalten på 0,93 % absolut. Detta självfallet under förutsättningen att torkpartiet är oreglerat.

Analys av processens störningar

I detta avsnitt kommer de statistiska egenskaperna hos de observerade störningarna i utsignalerna torr ytvikt, fukthalt och inloppslådekoncentration från mätning 1 att anges. Detta sker i form av autokorrelations- och spektraltäthetsfunktioner. Vidare beräknas korskorrelationsfunktioner för störningarna i de olika mätpunkterna. Någon störningsanalys för mätning 2 har ej genomförts.

Korrelations- och spektraltäthetsfunktioner

Processens störningar har i detta fall erhållits genom subtraktion av utsignalen från respektive 2.-ordningens deterministiska modell från tillhörande processutsignal. Beräkningarna av de statistiska funktionerna har därefter skett på totalt 360 punkter i samtliga fall. I fig. 7 - 15 anges resultatet. Av autokorrelationsfunktionerna följer, att störningarna är svagt korrelerade upp till ca 40 s. Störningarna har dock nästan vitt brus karaktär, något som för övrigt återspeglas av störningsmodellerna där resp. a- och c-parameter är mycket lika. Detta understryks också av resp. spektraltäthet. Av dessa senare figurer framgår dock att det ingår långsamma komponenter i störningarna. Av korskorrelationsfunktionerna följer att störningarna i torr ytvikt och fukthalt korrelerar starkt. Korrelationen mellan störningarna i inloppslådekoncentration och ytvikt och fukthalt är svag men fullt märkbar.

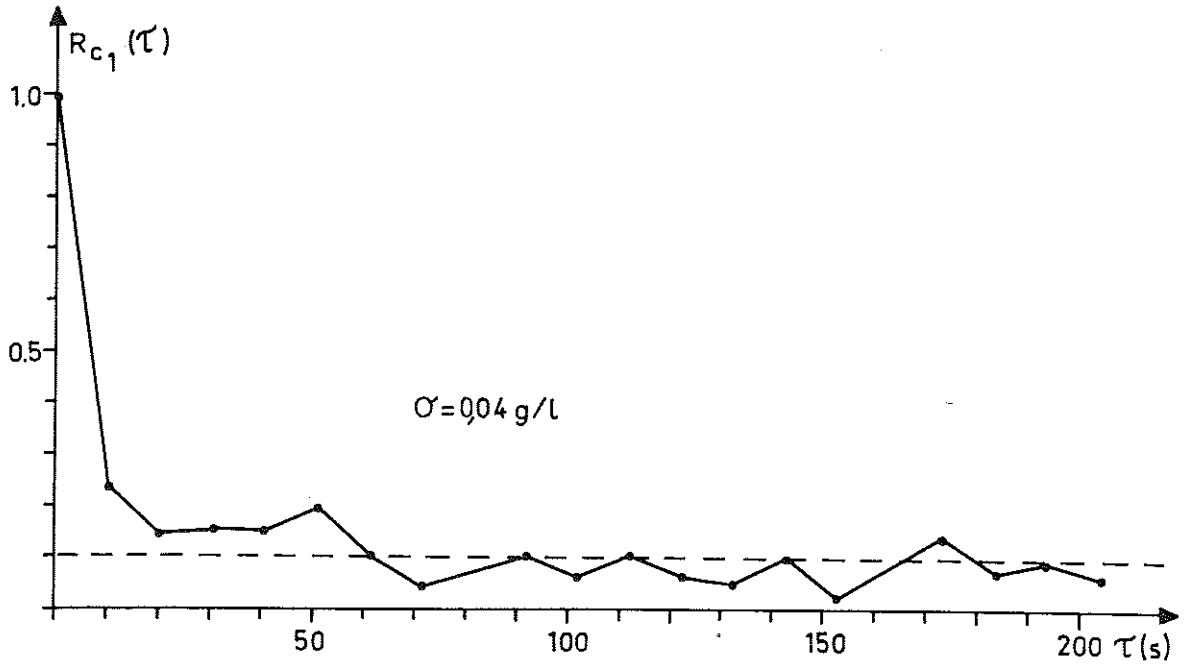


Fig. 7. Autokorrelationsfunktion för störningar i inloppslådekoncentration under mätning 1.

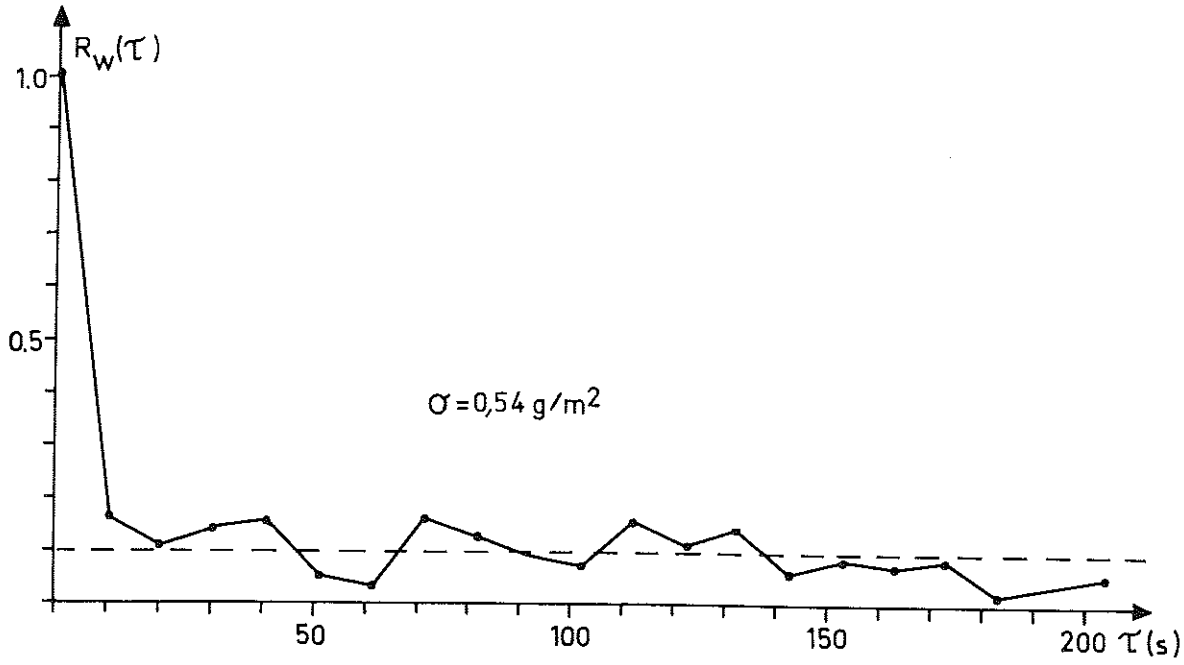


Fig. 8. Autokorrelationsfunktion för störningar i torr ytvikt under mätning 1.

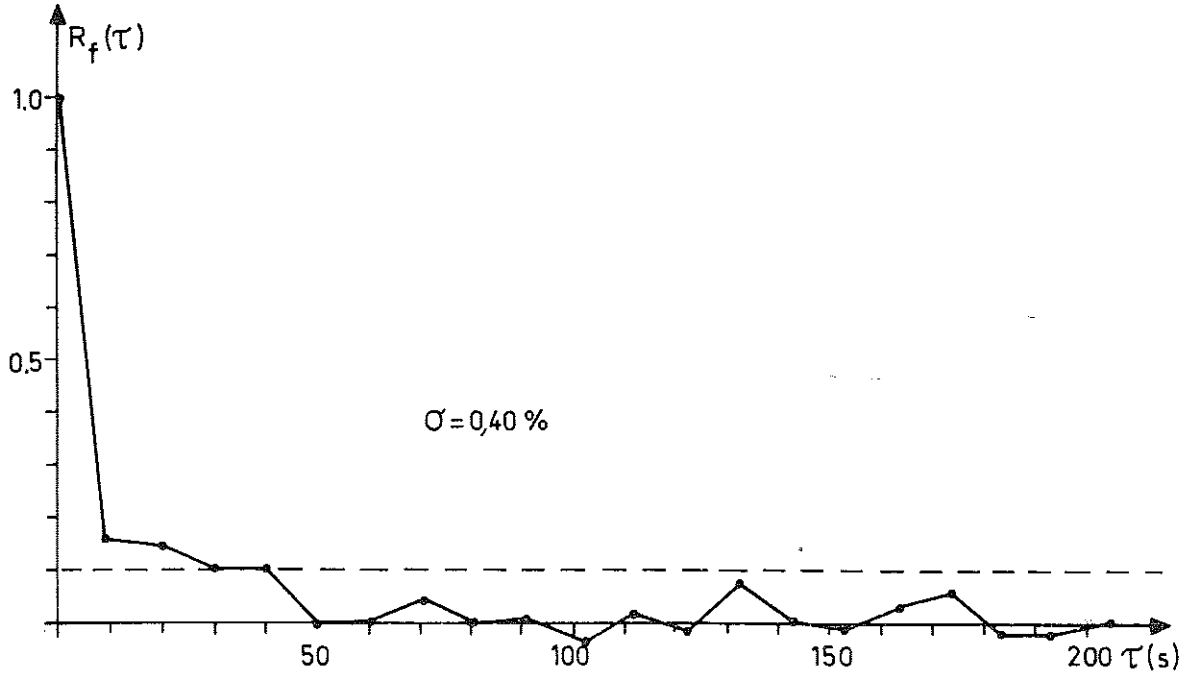


Fig. 9. Autokorrelationsfunktion för störningar i fukthalt under mätning 1.

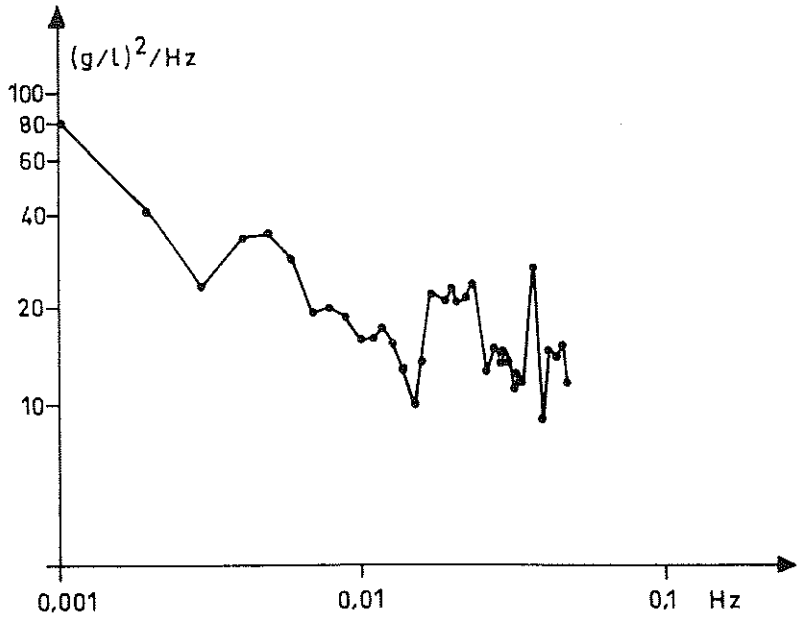


Fig. 10. Spektraltäthet för störningar i inloppslådekoncentration under mätning 1.

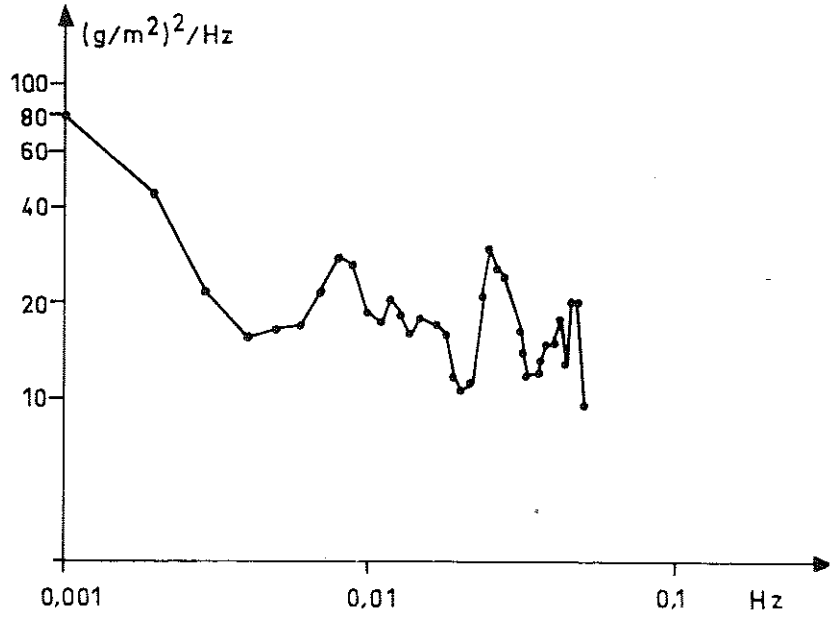


Fig. 11. Spektraltäthet för störningar i torr ytvikt under mätning 1.

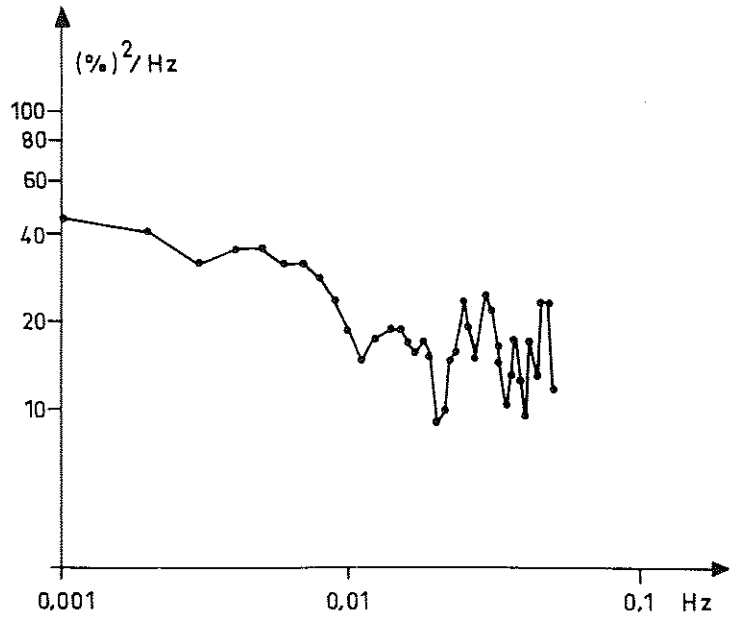


Fig. 12. Spektraltäthet för störningar i fukthalt under mätning 1.

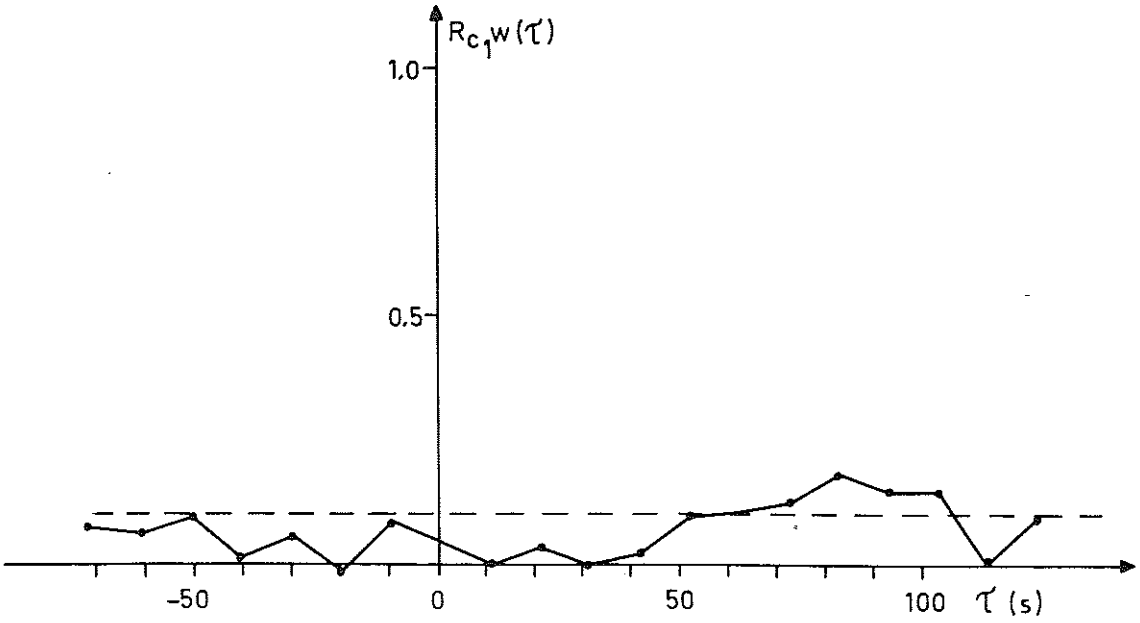


Fig. 13. Korskorrelationsfunktion för störningar i inloppslådekoncentration och torr ytvikt.

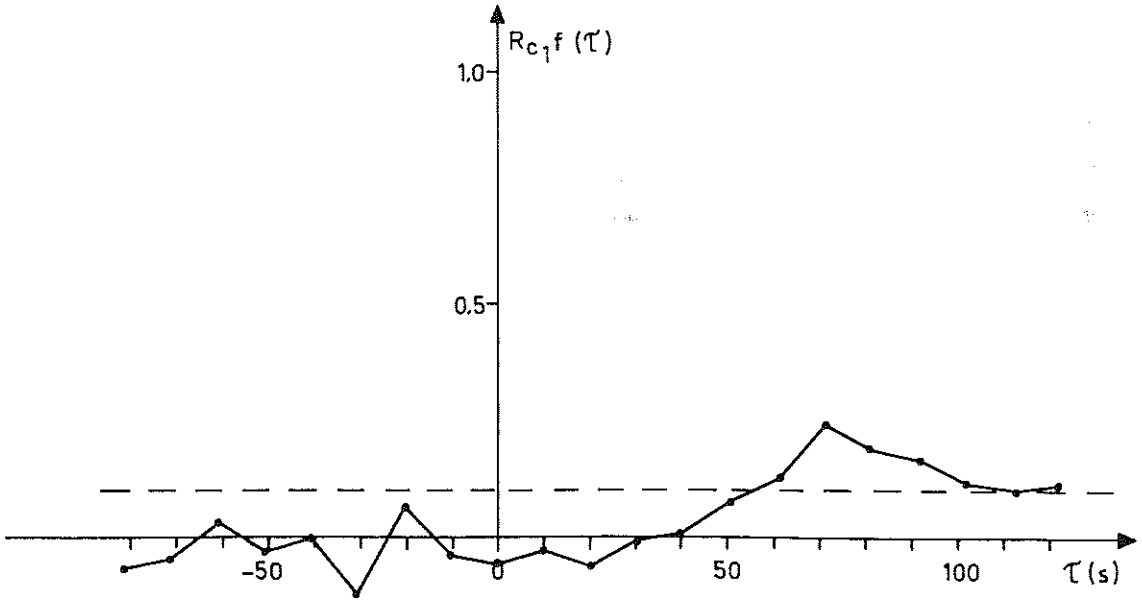


Fig. 14. Korskorrelationsfunktion för störningar i inloppslådekoncentration och fukthalt.

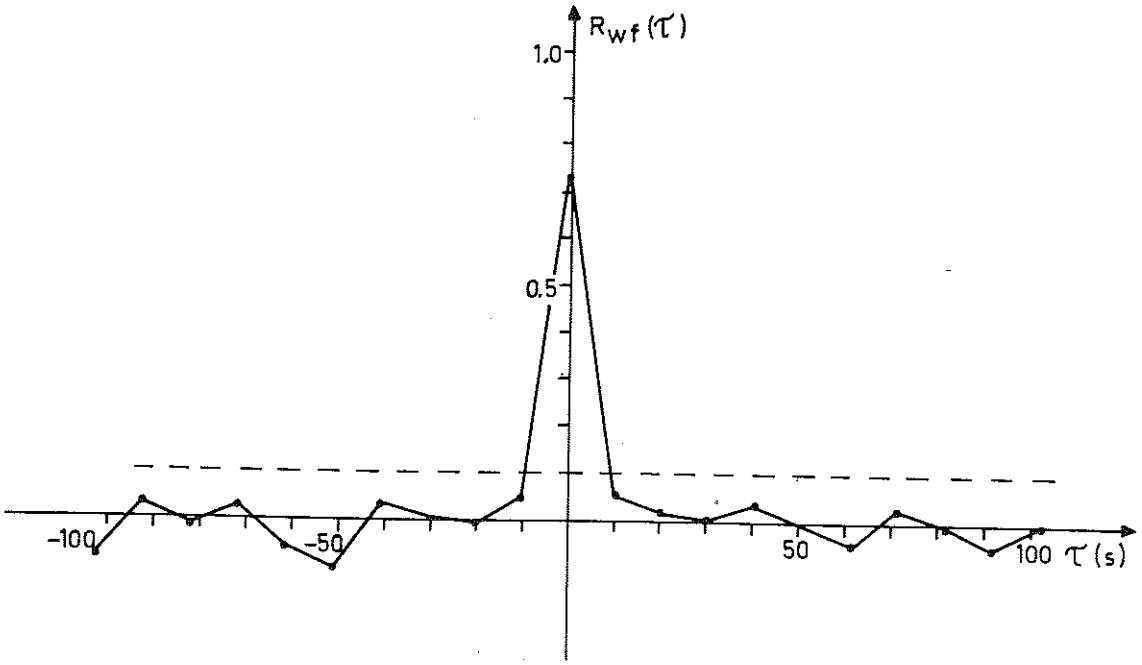


Fig. 15. Korskorrelationsfunktion för störningar i torr ytvikt och fukthalt.

Analys av residualer

Till grund för maximum-likelihood metoden ligger antaganden om att residualerna är oberoende och normalfördelade. För att undersöka om dessa antaganden är uppfyllda har korrelationsfunktioner för residualerna beräknats. Resultatet framgår av fig. 16 - 18. Av dessa figurer följer att antagandet om oberoende residualer är satisfierat. Standard test på normalfördelningen hos residualer anger att även detta antagande är satisfierat för ovan angivna fall.

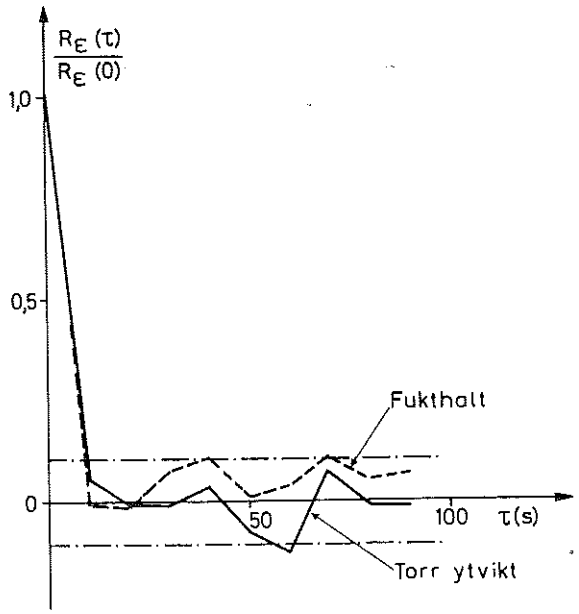


Fig. 16. Autokorrelationsfunktioner för residualer till ytvikts- och fukthaltsmodeller från mätning 1.

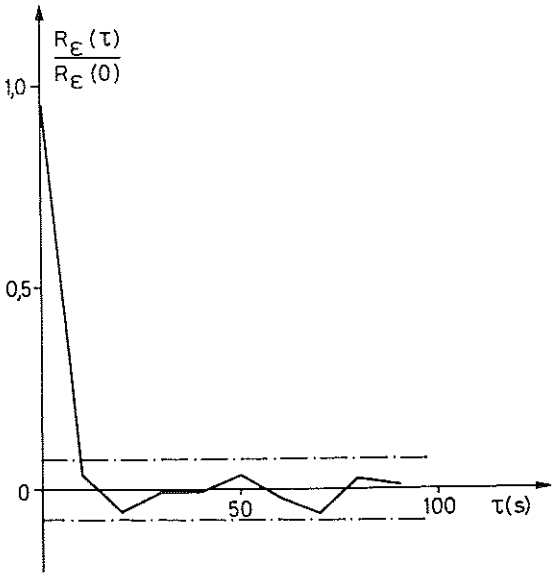


Fig. 17. Autokorrelationsfunktion för residualer till modell för inloppslådekoncentration från mätning 1.

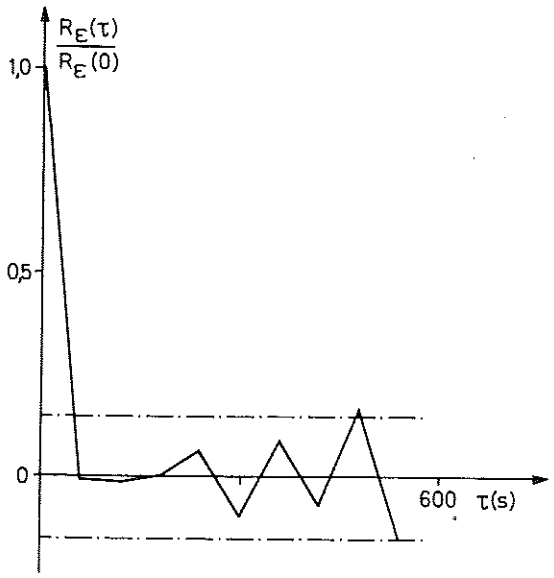


Fig. 18. Autokorrelationsfunktion för residualer till ytviktsmodell från mätning 2.

Appendix 1. Plottningar av modellegenskaperna

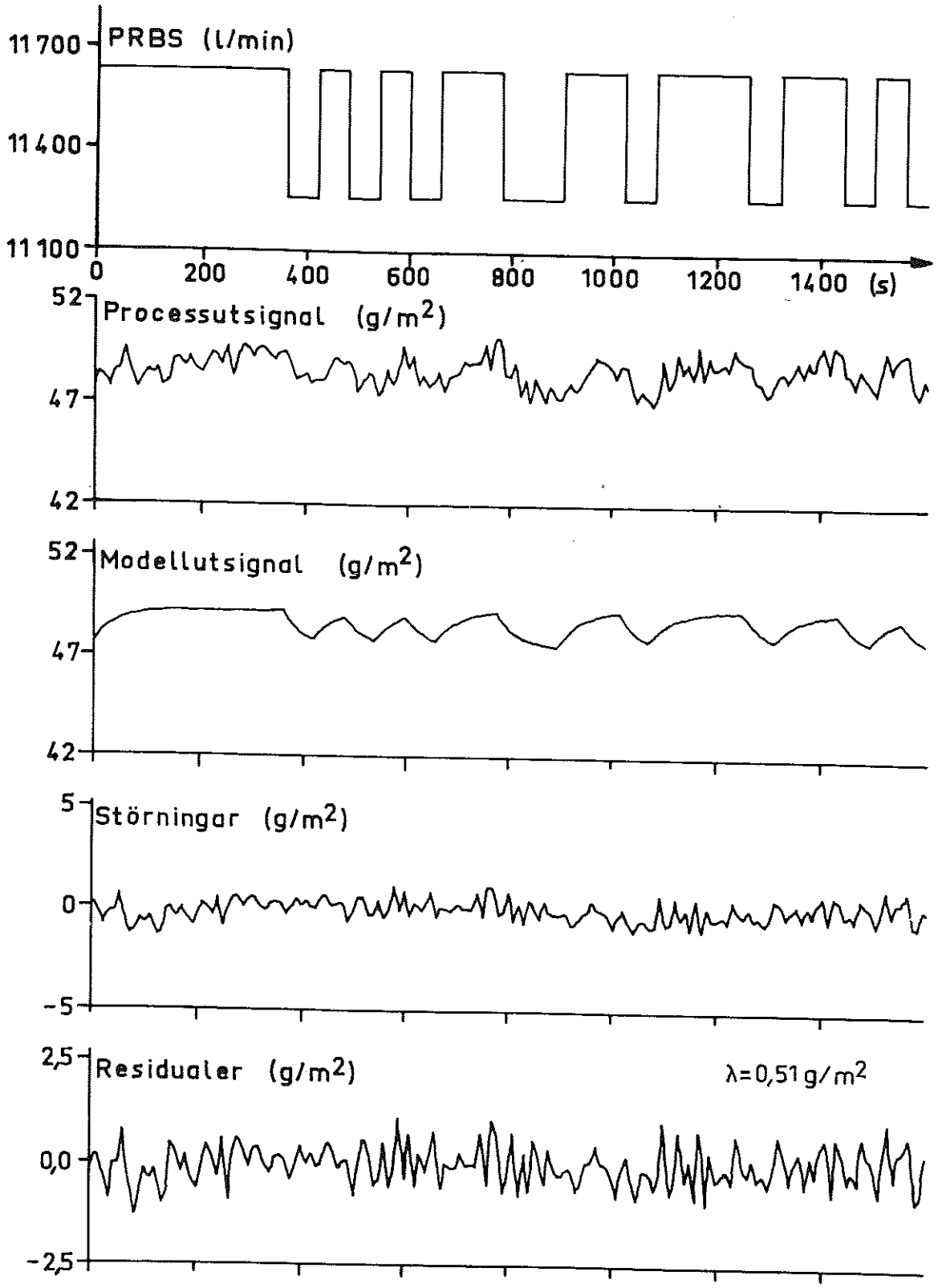


Fig. A1. Första ordningens modell för torr ytvikt

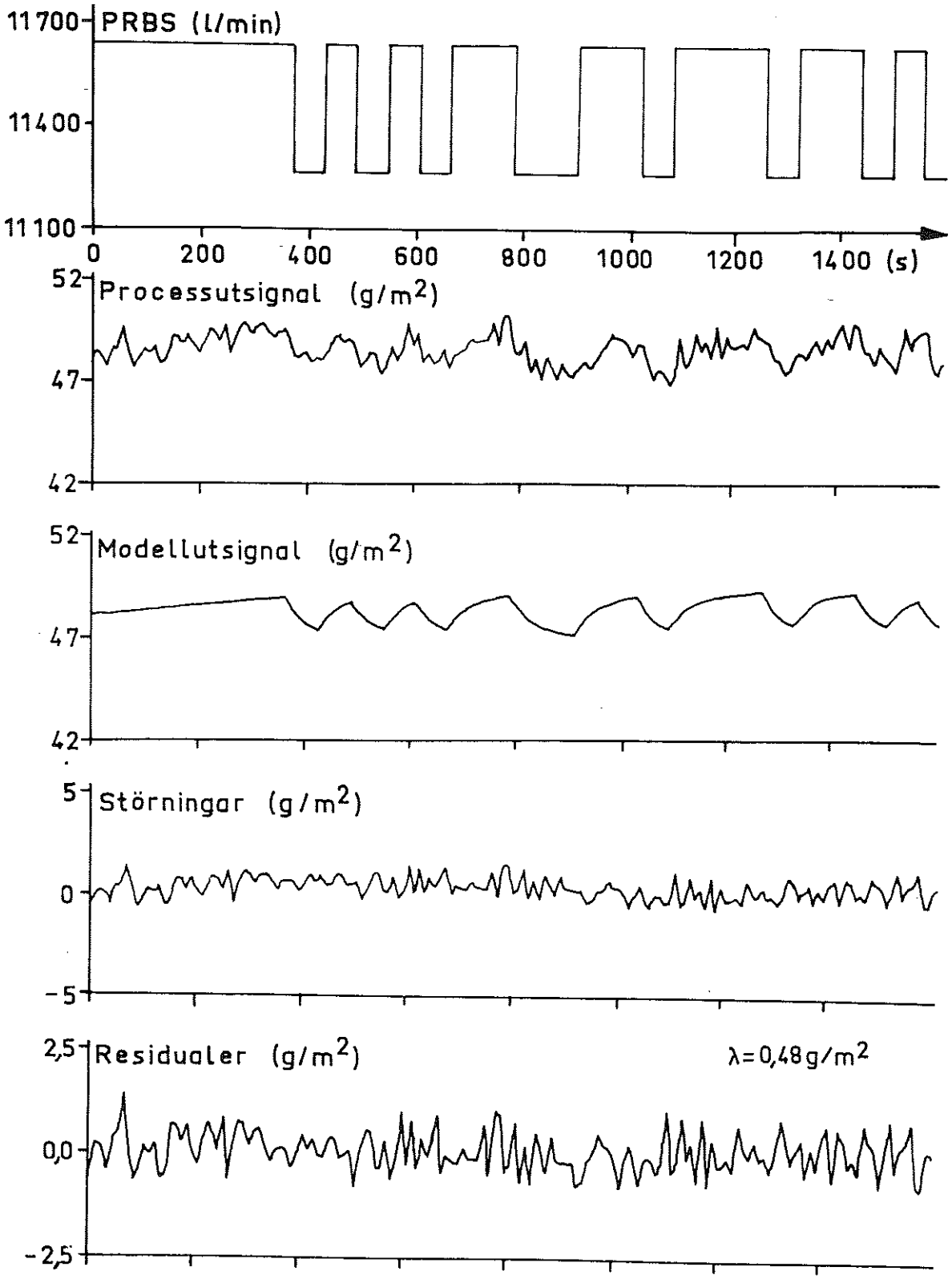


Fig. A2. Andra ordningens modell för torr ytvikt

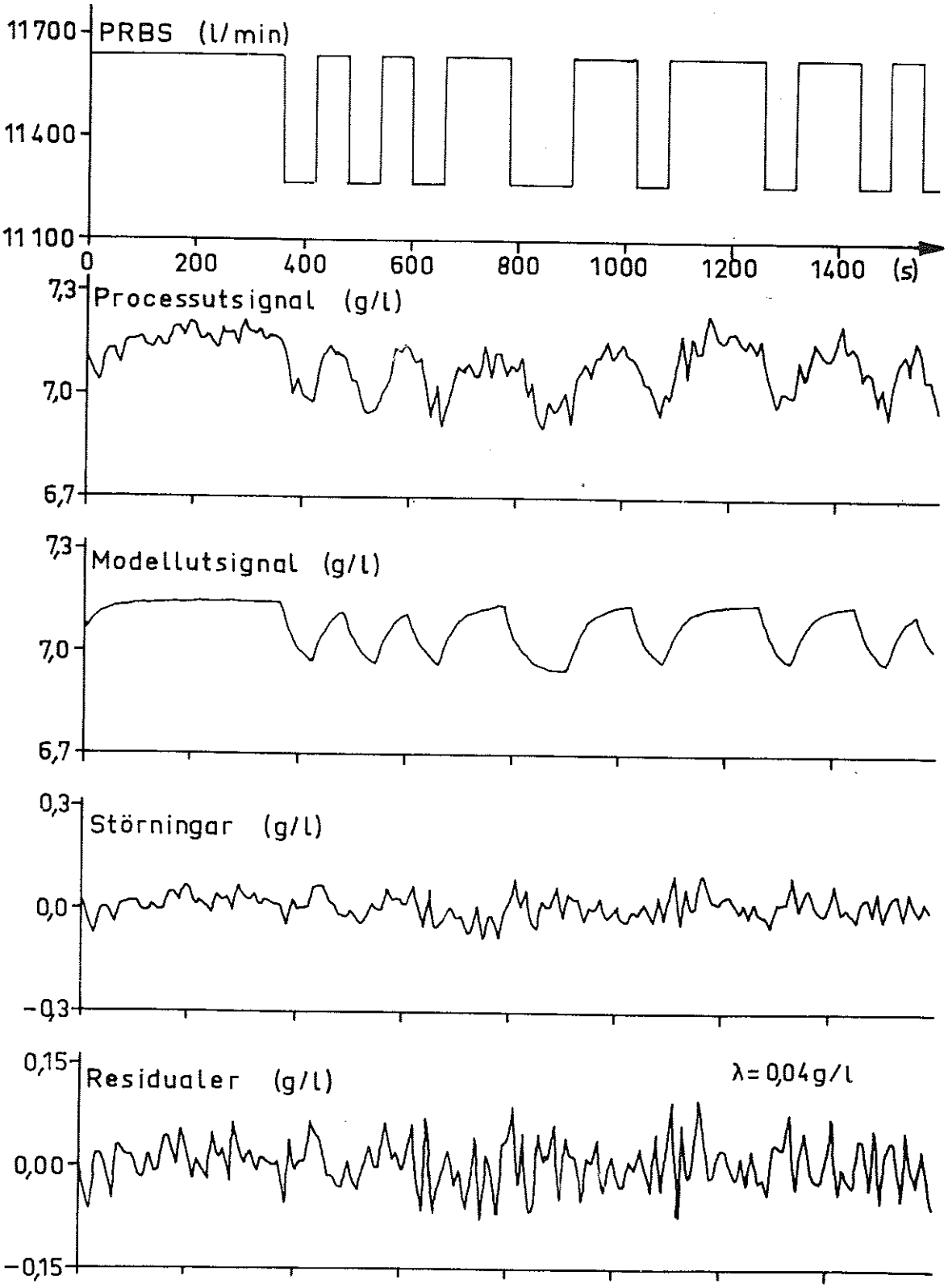


Fig. A3. Första ordningens modell för inloppslådekoncentration

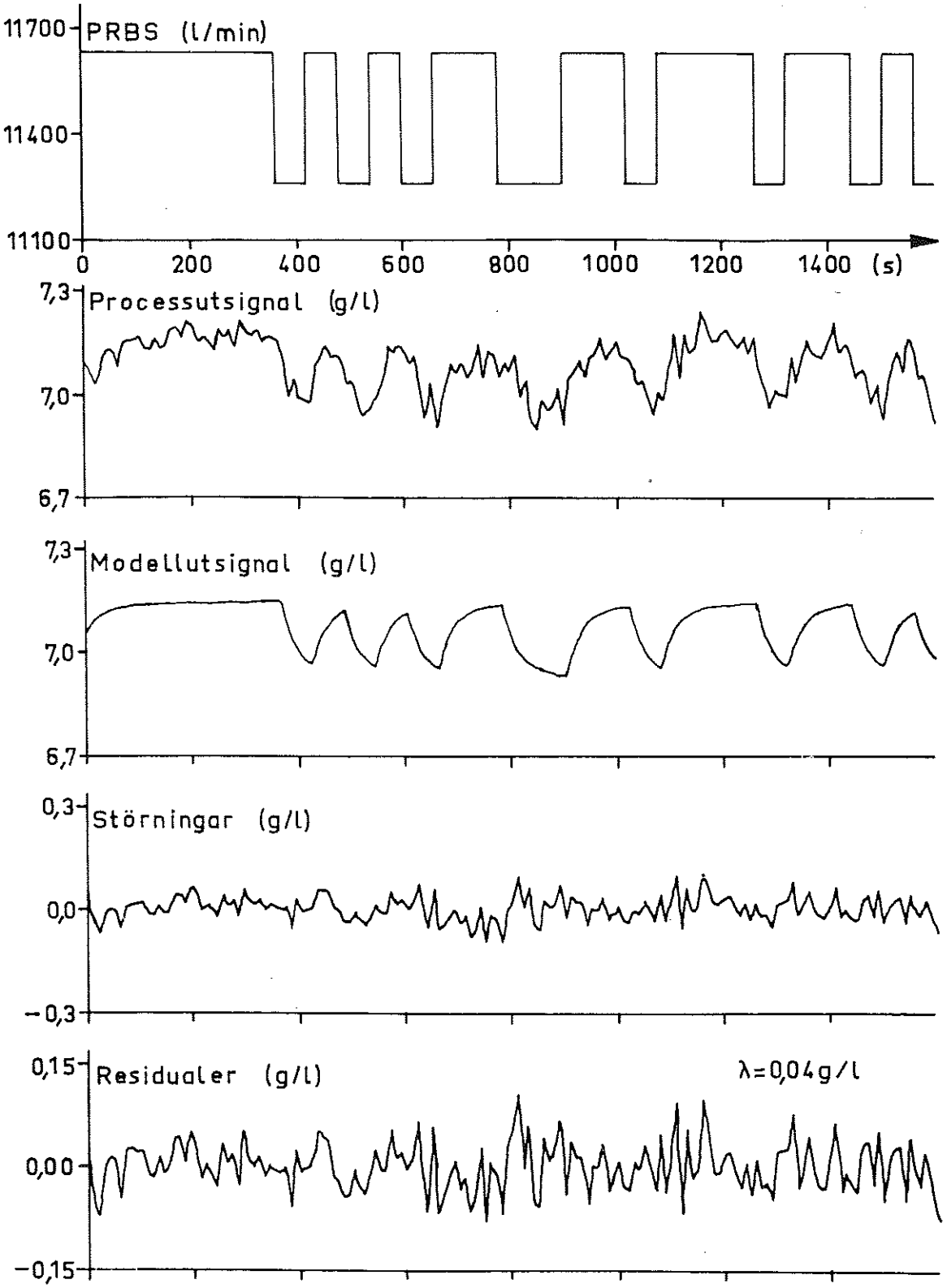


Fig. A4. Andra ordningens modell för inloppslådekoncentration

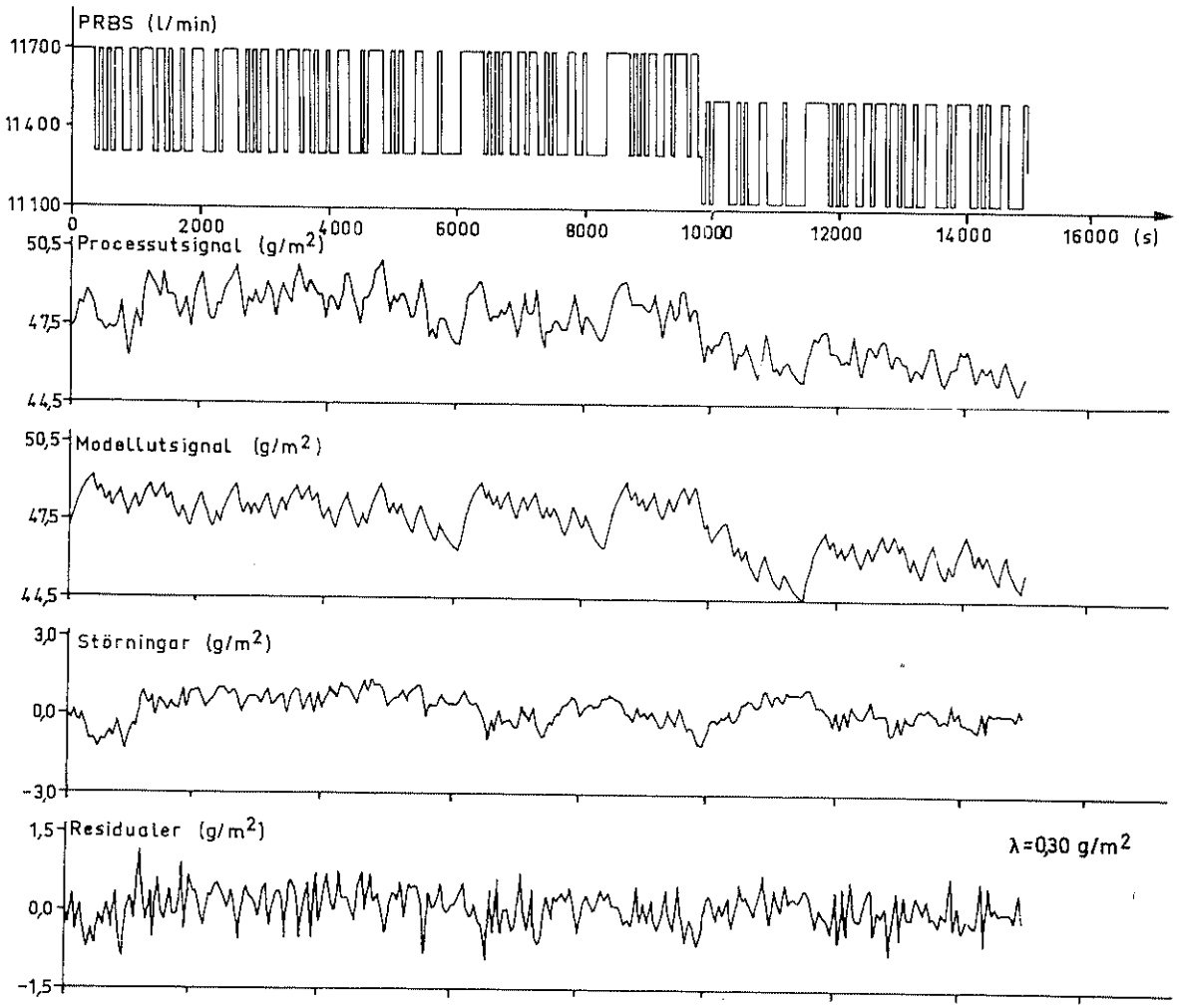


Fig. A5. Första ordningens modell till mätning 2

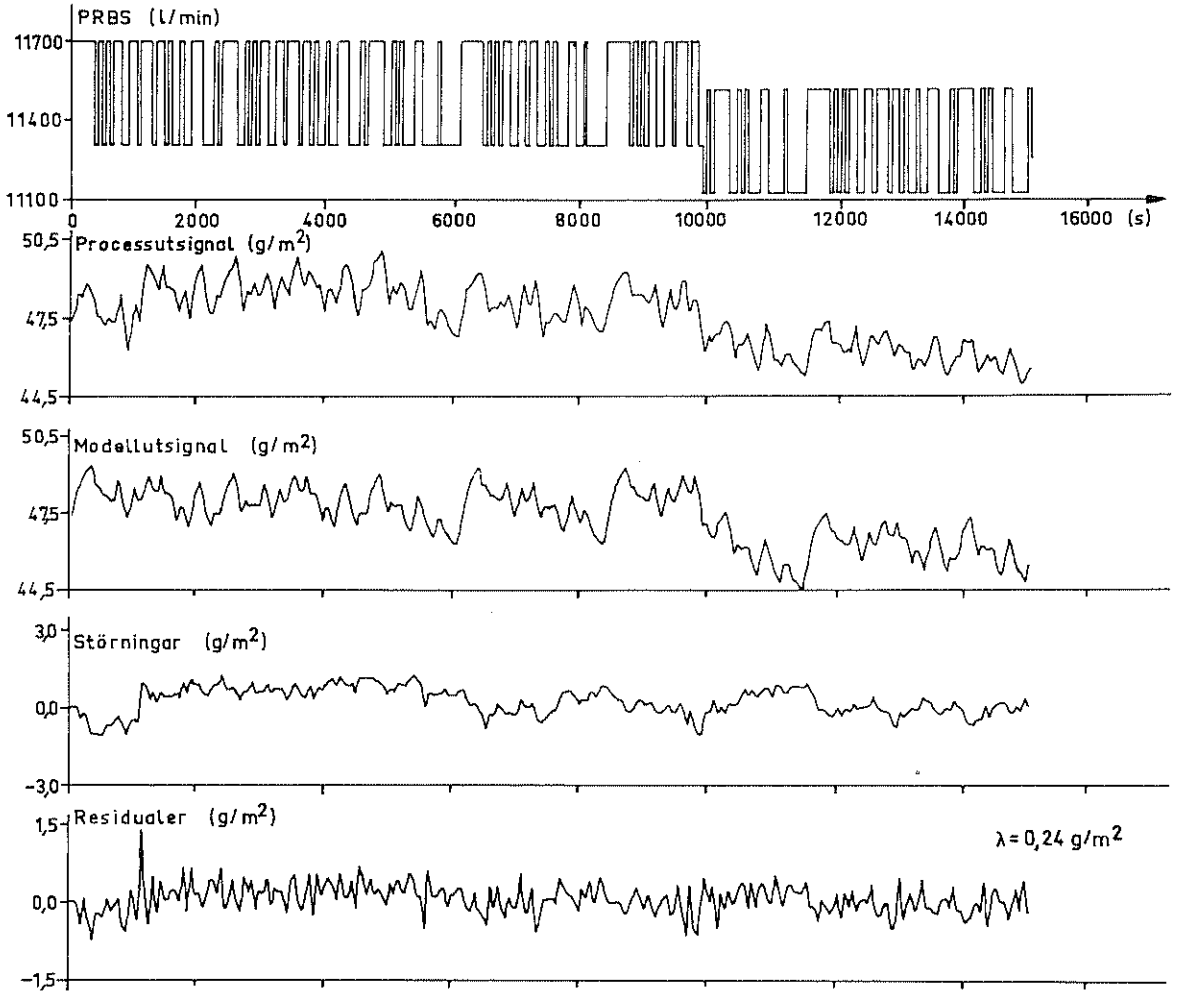


Fig. A6. Andra ordningens modell till mätning 2

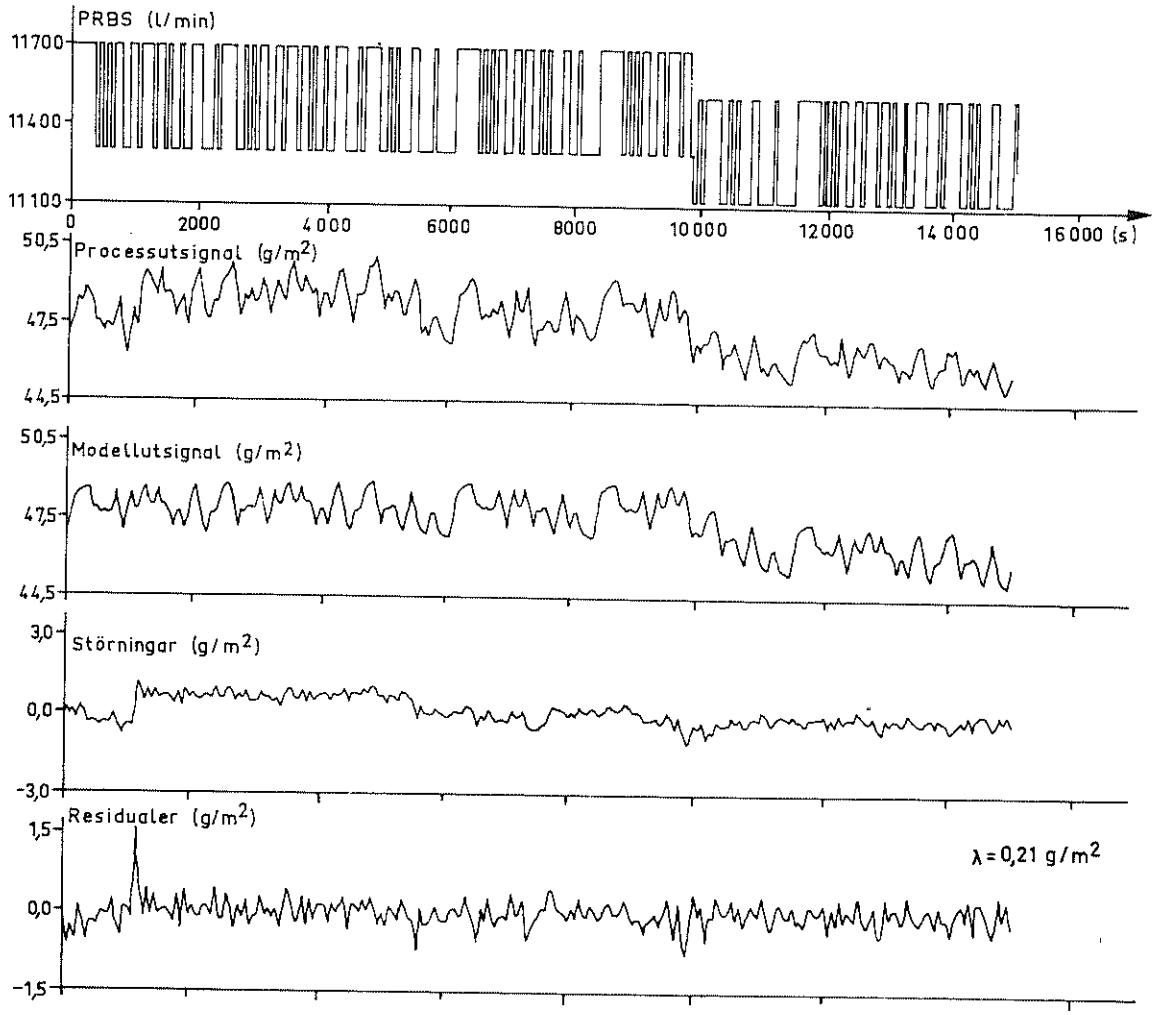


Fig. A7. Tredje ordningens modell med $a_3 = 0$ till mätning 2

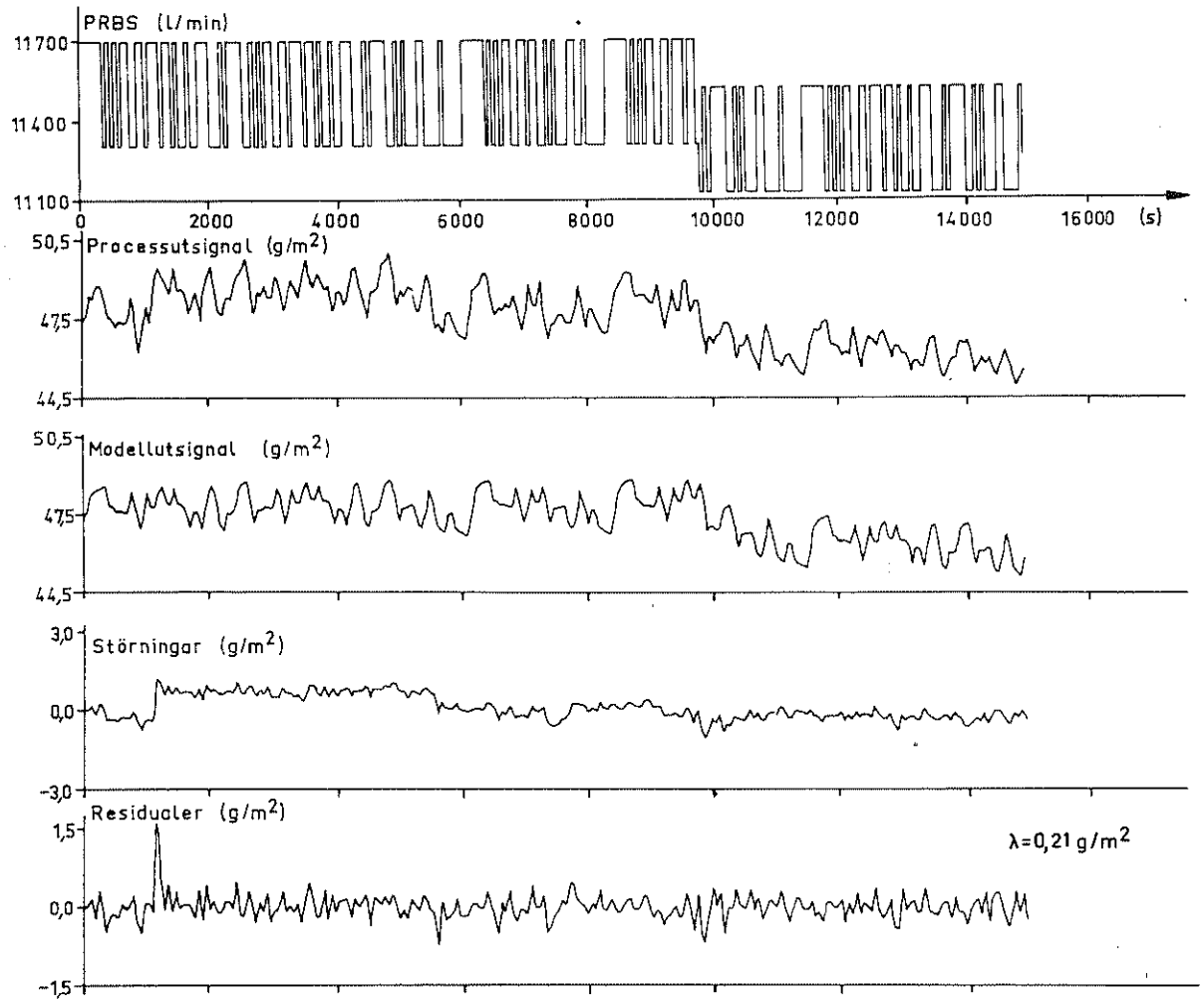
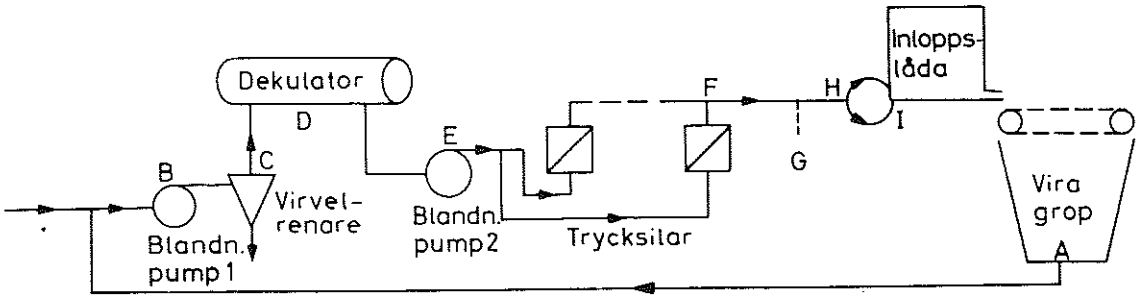


Fig. A8. Tredje ordningens modell till mätning 2

Appendix 2. Konstruktionsdata för PM 10

I detta appendix skall ytterligare några data av intresse lämnas på PM 10. Korta cirkulationen kan schematiskt beskrivas på följande sätt:



Schematisk skiss över våtpartiet på PM 10

Därvid gäller följande längdmått:

A-B Viragrop - blandningspump 1: 4 m

B-C Blandningspump 1 - virvelrenare: 24,5 m

C-D Virvelrenare - dekulator: 5,0 m

D-E Dekulator - blandningspump 2: 22,0 m

E-F Blandningspump 2 - trycksilar: 7 - 11 m

F-H Trycksilar - förgrening: 7,0 m

H-I Förgrening - inloppslåda: 6,0 m

F-G Trycksilar - mätställe för lågkoncentration: 3,0 m

Rördiametern i ovanstående rörsystem kan genomgående sättas till 0,80 m. Vidare gäller att:

Viragropens volym: 120 m^3
Dekulatorns volym: 45 m^3

Litteratur

1. B. Häggman — "Olinjära matematiska modeller för våtpartiet på en pappersmaskin". STFI, B:153.

2. B. Häggman och I. Gustavsson — "Identifiering av dynamiken hos en experimentpappersmaskin, Del 1" STFI B: 196

3. B. Häggman — Identifiering av dynamiken hos en experimentpappersmaskin, Del 2" STFI B: 197

4. I. Gustavsson — "Parametric Identification on Multiple Input, Single Output Linear Dynamic Systems", rapport 6907, juli 1969, Institutionen för regleringsteknik, Lunds Tekniska Högskola.

5. 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, IBM Nordic Laboratory, Sweden.

6. K.-J. Åström och P. Eykhoff — "System Identification", rapport 7006, sept 1970, Institutionen för regleringsteknik, Lunds Tekniska Högskola.

7. I. Gustavsson "Synpunkter på problem vid praktiska identifieringsexperiment - speciellt val av insignal", intern rapport, mars 1970, Institutionen för regleringsteknik, Lunds Tekniska Högskola.

Acknowledgements

Författaren vill framföra sitt tack till ledningen för Kvarnsvedens pappersbruk, som genom sitt visade intresse gjort dessa mätningar möjliga. Ett speciellt tack framförs till driftspersonalen vid PM 10, som genom sitt aktiva deltagande vid mätningarna varit till stor hjälp.

För stimulerande diskussioner under utvärderingen av resultaten framförs ett varmt tack till professor K.-J. Åström och tekn.lic. I. Gustavsson, Lunds Tekniska Högskola.