

ISSN 0280-5316  
ISRN LUTFD2/TFRT--5570--SE

# Identifiering och simulering av pappersmaskin

Patric Nilsson

Institutionen för Reglerteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
November 1996

<b>Department of Automatic Control</b> <b>Lund Institute of Technology</b> P.O. Box 118 S-221 00 Lund Sweden		<i>Document name</i> MASTER THESIS	
		<i>Date of issue</i> November 1996	
		<i>Document Number</i> ISBN LUTFD2/TFRT--5570--SE	
<i>Author(s)</i> Patric Nilsson		<i>Supervisors</i> Rolf Johansson	
		<i>Sponsoring organisation</i>	
<i>Title and subtitle</i> Identification and Simulation of Paper Machine. (Identifiering och simulering av pappersmaskin).			
<i>Abstract</i> <p>Increasing speed of paper machines, increasing quality standards and high prices on pulp have increased the demand on the automatic control of the paper machines. The objective is to keep uniform basis weight and paper ash in production of a specific quality and to minimise the time spent in changing qualities. Different proposals of rebuilding the machines and changing the structure of the controlling systems is of interest. At evaluation of different proposals in the perspective of automatic control is a simulation tool valuable.</p> <p>A model of PM2 at Stora Nymölla AB has been brought forward and a simulation tool has been constructed in simulink. The physical part of the machine has been modelled. Concentrations are modelled dynamically and flows are modelled stationary. Identification of the real process has been made to determine the dynamic characteristics.</p> <p>The model can with good results be used to test and evaluate different strategies of automatic control and with some restrictions be used to evaluate rebuildings.</p>			
<i>Key words</i>			
<i>Classification system and/or index terms (if any)</i>			
<i>Supplementary bibliographical information</i>			
<i>ISSN and key title</i> 0280-5316			<i>ISBN</i>
<i>Language</i> Swedish	<i>Number of pages</i> 74	<i>Recipient's notes</i>	
<i>Security classification</i>			

The report may be ordered from the Department of Automatic Control or borrowed through the University Library 2, Box 1010, S-221 03 Lund, Sweden, Fax +46 46 110019, Telex: 33248 lubbis lund.

## Sammanfattning

De allt högre maskinhastigheterna, de ökade kraven på kvalitet och de höga priserna på pappersmassa har ökat kraven på regleringen av pappersmaskiner. Man eftersträvar att hålla så jämn ytvikt och askhalt som möjligt vid produktion av en viss kvalitet och minska omställningstiderna mellan olika kvaliteter. Olika förslag till ombyggnader och förändring av reglerstruktur är av intresse. Vid utvärdering av olika förslag ur reglertekniskt perspektiv är ett simuleringsverktyg värdefullt.

En modell av PM 2 på Stora Nymölla AB har tagits fram och ett simuleringsverktyg har konstruerats i simulink. Modellering har skett av maskinens fysiska beståndsdelar. Modellen modellerar koncentrationer dynamiskt och flöden stationärt. Processidentifiering för att fastlägga processens dynamiska egenskaper har utförts.

Modellen kan med gott resultat användas för att testa och utvärdera reglerstrategier och med vissa restriktioner användas för att bedöma resultatet av ombyggnader.

## Abstract

Increasing speed of paper machines, increasing quality standards and high prices on pulp have increased the demand on the automatic control of the paper machines. The objective is to keep uniform basis weight and paper ash in production of a specific quality and to minimise the time spent in changing qualities. Different proposals of rebuilding the machines and changing the structure of the controlling systems is of interest. At evaluation of different proposals in the perspective of automatic control is a simulation tool valuable.

A model of PM2 at Stora Nymölla AB has been brought forward and a simulation tool has been constructed in simulink. The physical parts of the machine has been modelled. Concentrations are modelled dynamically and flows are modelled stationary. Identification of the real process has been made to determine the dynamic characteristics.

The model can with good results be used to test and evaluate different strategies of automatic control and with some restrictions be used to evaluate rebuildings.

# Innehållsförteckning

<b>Kapitel 1 Inledning</b>	<b>1-1</b>
Presentation av problem och begränsningar	1-1
Litteraturgenomgång	1-1
Mål	1-1
Begrepp	1-1
<b>Kapitel 2 Material och Metoder</b>	<b>2-1</b>
Processbeskrivning	2-1
Metodbeskrivning	2-9
Processen - bild	2-11
<b>Kapitel 3 Resultat</b>	
Processidentifiering	3-1
Simulinkmodell	3-27
Jämförelser av simulinkmodell med process och med processidentifiering	3-33
Simulinkmodell - bild	3-42
<b>Kapitel 4 Diskussion</b>	<b>4-1</b>
<b>Kapitel 5 Slutsatser</b>	<b>5-1</b>
<b>Appendix A Data</b>	<b>A-1</b>
<b>Appendix B Litteraturhänvisning</b>	<b>B-1</b>
<b>Appendix C Icke framgångsrika försök</b>	<b>C-1</b>
<b>Appendix D Statisk modell</b>	<b>F-1</b>
<b>Appendix E Ombyggnad</b>	<b>E-1</b>
Bakgrund	E-1
Mål	E-1
Material och metoder	E-1
Resultat	E-1
Utvärdering och slutsatser	E-7

# Kapitel 1 Inledning

I detta kapitel presenteras problem och begränsningar och målet formuleras. I kapitel 2 beskrivs processen och aktuella data och mätserier behandlas och de metoder som använts beskrivs. Resultaten finns i kapitel 3 som består av tre delar, identifiering, modellering och jämförelser. I kapitel 4 förs diskussioner om resultaten och slutsatser finns i kapitel 5.

## Presentation av problem och begränsningar

De allt högre maskinhastigheterna, de ökade kraven på kvalitet och de höga priserna på pappersmassa har ökat kraven på regleringen av pappersmaskiner. Man eftersträvar att hålla så jämn ytvikt och askhalt som möjligt vid produktion av en viss kvalitet och minska omställningstiderna mellan olika kvaliteter. Samtidigt strävar man efter att minimera förlusterna av fiber vid rening av mällden.

Olika förslag till ombyggnader och förändring av reglerstrukturen är av intresse. Vid utvärdering av olika förslag ur reglertekniskt perspektiv är ett simuleringsverktyg värdefullt. Uppmärksamhet riktas mot olika retentionsgraders påverkan på koncentrationen i olika delar av processen och på tidskonstanter vid förändringar. Speciellt intresseväckande är de olika retentionsgraderna för krita och fiber.

Den del av pappersmaskinen som studeras är korta cirkulationen, ytvikts och askhaltsvariationer som funktion av förändringar i krita och mäldflöde. Variationer till följd förändringar i klarvatten och andra vätskeflöden, ånga, hastighet och virabyte studeras ej.

Tillgången på mätdata är starkt begränsad. Mätningarna begränsas dels av bristen på mätare, dels av processens känslighet för störningar.

Följder av ombyggnad och reglerstrategier värderas endast inom simulinkmodellens ramar.

Simulink arbetar inte med partiella differentialekvationer, vilket begränsar möjligheterna att modellera vätskeflödesdynamiken.

## Litteraturgenomgång

Papperstillverkning, pappersmaskiner och pappers egenskaper beskrivs i tex (9). Pappersmaskiners dynamik avhandlas inte.

På Stora Teknik har man förut arbetat i simulink vid modellering av olika maskiner och funnit detta vara ett lämpligt miljö att bygga modeller i. I simulink finns tidigare modeller av pappersmaskiner, se tex (3). Dessa modeller modellerar mäld och kritasystem med samma dynamik, vilket inte stämmer för den verkliga processen. Konstruktionskillnaderna mellan de andra maskinerna och den aktuella är av avgörande betydelse för dynamiken. Det går inte att använda modeller av andra pappersmaskiner på PM2.

Identifiering av dynamiska processer avhandlas i tex (1).

## Mål

Målet är att ta fram ett simuleringsverktyg för korta cirkulationen på PM2. Simuleringsverktyget ska vara gjort i simulink och ska verifieras. Simuleringsverktyget ska kunna användas för att ta fram och utvärdera ombyggnadsförslag och reglerstrategier.

## Begrepp

Genomgående i rapporten gäller att processen eller PM2 avser den fysiska pappersmaskinen, parametermodellen avser den modell som tages fram genom processidentifiering och modellen eller simulinkmodellen avser den modell som framtages i simulink.

Mäld avser fiber och krita (liten mängd) som kommer från maskinkaret. Kritaflödet avser den tillsats av krita som sker till tjockmassaröret.

Massaflöde avser i andra sammanhang tex den massa av en substans som passerar en gränsyta under en viss tidsrymd (kg/s). Eftersom massaflöde inom pappersindustrin används för att beteckna flöden av pappersmassa har i rapporten begreppet flöde (eg. l/s) använts för att något oriktigt beteckna massaflöde (kg/s) i dess allmänna mening. Vätskeflöde används för att beteckna flöde (l/s) i dess egentliga mening i de få fall det förekommer.

Siffror inom parentes är litteraturhänvisningar. Litteraturlistan finns i appendix B.

## Kapitel 2 Material och metoder

I detta kapitel beskrivs processen, data och mätserier presenteras och de metoder som använts för att få fram resultatet avhandlas.

### Processbeskrivning

Den process som avses i arbetet är korta cirkulationen på PM 2 på Stora Nymölla AB 95/96. Korta cirkulationens delar har utvecklats efterhand som nya krav ställt. Den aktuella maskinen är byggd allt på en gång, men på samma sätt som andra pappersmaskiner utvecklats, varför en allmän beskrivning infogats innan den punktvisa beskrivningen av PM 2. För ytterligare allmän beskrivning av pappersmaskiner hänvisas till (9).

### Allmän beskrivning av korta cirkulationen

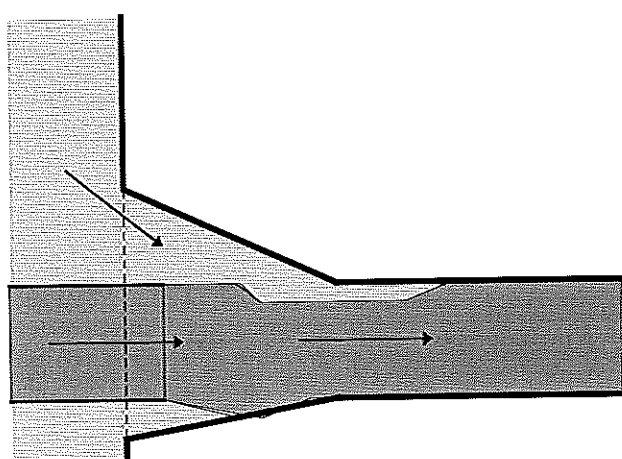
Processen börjar vid maskinkarspumpen. Innan korta cirkulationen uppkom satt maskinkarspumpen direkt vid inloppslådan, bara en ventil fanns emellan. Inloppslådan är ett slags sprutmunstycke som sprutar ut mällden på viran.

Korta cirkulationen uppkom när man ställde krav på återvinning av processvattnet, dels för att bättre ta till vara fibrer, dels för att förbättra miljön i omgivningen. Man införde då bakvattensilon, BV-silo, som en buffert i processen. Mällden blandas med spädvattnet i ett munstycke längst ner i BV-silon, se punkt 4 och Figur 2-1. Vattnet avskiljs från mällden på viran som fungerar som en semitransparent duk. Duken är transparentare för mindre partiklar än för större, dvs den är transparentare för krita än för fiber. Bakvattnet kommer därmed att innehålla en högre koncentration av krita än av fiber.

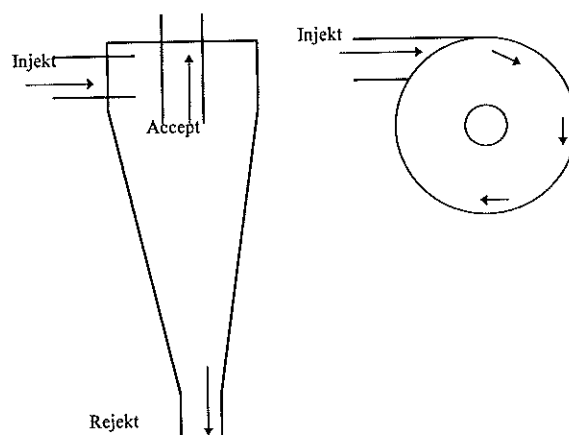
För att papperet ska hålla en jämn och hög kvalitet måste mällden rensas på smuts och klumpar. Detta sker dels i maskinsilar som fungerar som centrifuger, dels i virvelrenare. Andelen av massafödet som går till accept kallas retentionsgrad. Denna är i allmänhet inte densamma som flödeskvoten, vilket medför att acceptets koncentration är lägre än injektets emedan rejektets är högre. Dessutom varierar retentionsgraden med flödet.

Efterhand som driftshastigheten på pappersmaskiner har ökat har kraven ökat på de tryckdynamiken i inloppslådan. Denna är känslig för luftbubblor i mällden. Decculator tanken är en vakuumtank som har till uppgift är att eliminera luftbubblorna.

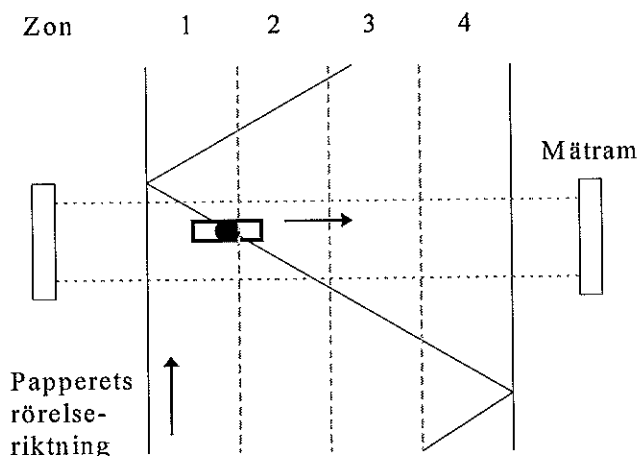
Kraven på att bättre ta till vara fiber, bättre papperskvalité och mindre utsläpp har gjort att reningsstegen blivit fler efterhand. Cirkulationerna har därmed också blivit allt mer avancerad och fler.



Figur 2-1. Munstycke i BV-silo.



Figur 2-2. virvelrenare.



Figur 2-3. Mätram som traverserar pappersbanan.

### **Korta cirkulationen på PM2**

Nedan beskrivs PM2:s korta cirkulation steg för steg. Numreringen hänför sig till Figur Processbeskrivning, sidan 2-12.

1. **Maskinkaret** är en buffert för mäld. I blandkaret som finns innan maskinkaret blandas mälden av barr-, lövmassa, bestruket och obestruket utskott. Utskott består av papper som av olika anledningar upplösts för återvinning. Utskotten innehåller krita, hur mycket beror på papperskvaliteten. Hur mycket utskott som blandas in varierar. Kort sagt hur mycket krita som kommer in i processen varierar, vilket försvårar askhaltsregleringen. I maskinkaret utjämnas variationer av snabbare slag än de kritan i utskottet ger upphov till. Denna utjämning är nödvändig eftersom blandning inte sker omedelbart och idealt i blandkaret.
2. **Maskinkarspump och ytviktsventil** sitter med rejält avstånd. Primärt sänds styrsignaler för ytviktsvariationer till ytviktsventilen, men eftersom den enda buffert denna kan ta från är rörlängden och vätskan är inkompressibel får maskinkarspumpen en avgörande betydelse för regleringen.
3. **Fyllnadsmedel** kommer numera in precis efter ytviktsventilen. Förut kom den in långt före, men ombyggnad har minskat dödtiden för askhaltsreglering med en tredjedel, och den är nu mindre för ytvikt. Detta underlättar regleringen.
4. **Bakvattensilon** utgör en buffert för bakvatten. Den huvudsakliga strömningen sker från viraparti genom BV-silon och ut genom munstycket som spädning av injektet till första steget i virvelreningen. Dessutom strömmar överlöp från inloppslådan in, rejektspädning ut samt överlöp som går till bakvattentank. Bakvattnet har en högre koncentration krita än fiber.
5. **Injektspump steg 1** pumpar upp mälden till första steget i virvelreningen. Pumpen reglerar nivån i decculator tanken. Pumpen är frekvens styrd. När flödet genom pumpen ökas dras mer vatten från bakvatten silo om inte maskinkars pumpens flöde ökas lika mycket.
6. **Virvelrenare 1** sitter liksom de andra virvelrenarna 20 m högre upp än pumparna för att arbetstrycket skall vara rätt. De långa rören innebär tidsfördröjningar. En virvelrenare är en pipa där injektet sprutas in vinkelrätt mot radien så att rotation uppstår, se Figur 2-2. Upp till i pipan införs ett undertryck som suger upp acceptet, medan rejektet faller ned. Hur stor del av injektet som går till accept beror av det applicerade undertrycket och hur stort injektet är. Reningsgraden är sämre vid större injekt. Andelen massaflöde som går till accept kallas retentionsgrad. Denna är i allmänhet inte densamma som flödeskvoten, vilket medför att acceptets koncentration är lägre än injektets emedan rejektets är högre. Retentionsgraden är i storleksordningen 0.9. Virvelrenarna sitter på fyra armar som är lika stora, men rören fram till de olika virvelrenarna är olika. Virvelrenarna reagerar därför på förändringar approximativt som ett första ordningens system.
7. **Acceptröret** sitter mellan virvelrenare och decculator. Röret befinner sig under vakuum liksom decculator tanken. Röret är inte fyllt med mäld, utan fungerar som en ränna. Tidsfördröjningen är betydligt större här än i de flesta rören. De olika virvelrenarna sitter olika långt från decculatortanken så att acceptröret liksom injektröret reagerar på förändringar som ett första ordningens system.
8. **Decculatortankens** uppgift är att eliminera luftbubblor i mälden. Luftbubblor kan annars ställa till problem i inloppslådan där snabba tryckförändringar sker. Inställningen av regulatorm som styr nivån i



decculatortanken via injektpump steg 1 är sådan att överlöp ständigt rinner över kanten mellan decculatortankens två delar. Till decculatortankens första del rinner förutom accepten från steg ett och två i virvelreningen dessutom återlöp från inloppslådan. Till den andra delen kommer acceptet från steg 3. Från decculatorns första del strömmar mäliden ned till inloppslådepumpen.

9. **Inloppslådepumpen** reglerar flödet till inloppslådan, även om mäliden först passerar maskinsilarna.
10. **Maskinsilarna** är två stycken och arbetar parallellt. De fungerar som centrifuger för mäliden. Maskinsilarnas funktion är att rena mäliden. Även här är begreppet retention aktuellt och av samma skäl som för virvelrenarna. Acceptet från maskinsilarna går vidare till inloppslådan.
11. **Inloppslådan** är ett slags sprutmunstycke som fördelar mäliden på viran. Regleringen av denna sker framförallt för att uppnå jämn kvalitet över virans bredd. För att denna reglering ska fungera bra låter man en del av mäliden gå åter till decculatorn. Dessutom får man ett överlöp med lägre tryck som man låter gå tillbaka till bakvattensilon, mest för att det fysiska avståndet är litet.
12. **Virapartiet** avvattnar mäliden. Det består av en semitransparent duk som är spänd över en rad rullar. Suglådor och lister finns placerade under viran för att öka avvattningen. Duken är mer transparent för mindre partiklar än för större, dvs mer transparent för krita än för fiber. Retentionsgraden skiljer sig på ett markant sätt och bakvattnet innehåller därför högre koncentration krita än fiber trots att det omvända förhållandet gäller för mäliden.
13. **Pressparti och tork** pressar ut och avdunstar det mesta av det vatten som finns kvar efter virapartiet med rullar och ånga. Torken är egentligen två torkar med en limbetrykare i mitten.
14. **Limbetrykaren** lägger på stärkelse på papperets yta för tryck och skrift skall fastna lättare. Detta ökar både ytvikt och askhalt.
15. **Mät ramen** mäter ytvikt, askhalt, fukt mm med strålning. I mät ramen finns själva mätinstrumentet monterat på en släde som glider fram och tillbaka över pappersbanans bredd, se Figur 2-3. Man får i realtid värden som svarar mot enskilda punkter. Mätningar sker 16 gånger per sekund. För längsregleringen är det variationer längs med pappersbanan som är intressanta men samtidigt är det nödvändigt att reglera för alla punkter utmed bredden. Om inte ekonomiska skäl satt gränsen hade det varit lämpligt att ha en mängd mätinstrument som verkade parallellt utmed bredden på pappersbanan. Man låter nu istället medelvärdesbildade över de värden som erhålls när släden glider över pappersbanan. Man vill kunna få mätdata så ofta som möjligt, samtidigt som man vill ta hänsyn till alla delar av pappersbanans bredd. Kompromissen blev att dela in bredden i fyra zoner som uppdateras efterhand som mät ramen passerar dem. Uppdatering sker alltså enligt zon 1,2,3,4,4,3,2,1,1,...
16. **Popen** är en rulle där papperet rullas upp för vidare transport till färdigställningen.
17. **Rejekt steg 1** fungerar liksom acceptet snarare som räna än rör, åtminstone den första biten. De fyra armarnas rejekt rinner samman i ett rör, men har inte samma längd, vilket leder till att ett distinkt steg blir fyra delsteg. Dessutom sitter virvelrenarna olika långt bort som beskrivits för injekt och accept. Approximativt reagerar rejekten på förändringar som ett första ordningens system.
18. **Rejektspädning steg 1** utförs för att rejektet annars är för tjockt för att gå igenom virvelrening steg 2. Spädvattnet kommer från annat ställe i bakvattensilon än munstycket som används vid spädning av injektet till steg 1 och innehåller ca 10% högre koncentration. Det är dock inte möjligt att bestämma dess variationer som beror på avvikelser från förhållandet ideal och omedelbar omblandning. Spädvattnet utgör ca fem gånger så stort flöde som rejektet. Rejektspädning för övriga steg fungerar på samma.
19. **Injektpump steg 2** fungerar på samma sätt som injektpump steg 1, men ingen reglering finns, vilket innebär att när mindre rejekt kommer från steg 1 så sugs mer rejektspädning från bakvattensilon. Injektpumparna för steg 3 och 4 fungerar på samma sätt.
20. **Virvelrenare 2** fungerar på samma sätt som rejekt steg 1, men accepten rinner in i änden på acceptrören för steg 1. Röränden blir därför för steg 2 ännu mer som en räna. Rejektörret fungerar som steg 1 och rejektet går vidare till steg 3.
21. **Virvelrenare 3** lämnar sitt accept till decculatorns andra del, så att det gå tillbaka genom bakvattensilon och virvelrenare 1. Rejektet gå till steg 4.
22. **Virvelrenare 4** lämnar sitt accept till injekt steg 3. Rejektet går till steg 5 som ej finns med dels pga ombyggnader, dels för att flödet genom det är väldigt litet jämfört med andra flöden i processen. Det förtjänar dock att påpekas att rejektet från steg 5 innehåller hög koncentration krita som försvinner ur processen den vägen.
23. **Överlöp decculator** rinner tillbaka innan decculatorn. Detta flöde är lika stort som flödet från maskinkar spumpen och tillsammans med acceptet från sekundärsilon utgör det ett större flöde. Spädningen av mäliden är alltså betydande redan innan spädningen i bakvattensilon.
24. **Bakvatten från viran** rinner över en stor yta under viran och ner i BV-silons topp.

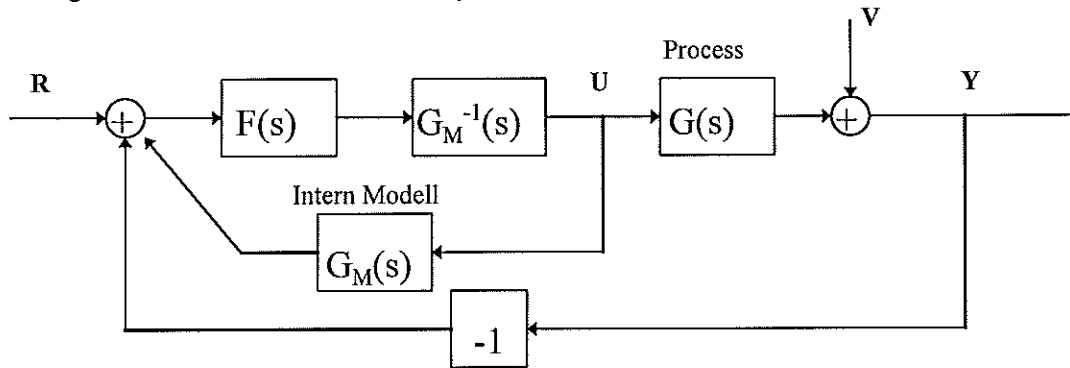
25. **Rejekt tanken** samlar upp rejektet från maskinsilarna och har endast en buffrande uppgift innan rejektet renas i sekundärsilen.
26. **Rejektspädning av rejekt från maskinsilar** sker med bakvatten, ungefär lika delar rejekt och spädvatten. Hur mycket bestäms av att flödet genom sekundärsilens injekt pump håller ett konstant flöde.
27. **Sekundärsilen** renar rejektet från maskinsilarna. Acceptet strömmar samman med överlöpet från decculatortanken och vidare till bakvattensilon.

## Reglering

### Längsreglering

De regleringar som är aktuella är ytvikts- och askhaltsreglering. Mätvärden fås från mätramen. Ytvikten regleras med ytviktsventilen punkt 2. Eftersom endast ett rör skiljer ytviktsventilen från maskinkarspumpen och vätskan är inkompressibel blir maskinkarspumpen avgörande för regleringen. Maskinkarspumpen i sin tur regleras av en lokal PI-regulator. Askhalten regleras via en ventil på kritaflödet.

Eftersom processen innehåller stor dödtid använder regleringen en inre modell av processen. Den inre modellen består förutom dödtiden av en första ordningens modell. Regleringen hanterar samtidigt ytviktsreglering och askhaltsreglering. Eftersom förändringar av mätvärde eller referensvärde i en av dessa regleringar innebär förändringarna av den andra, finns korskopplingar så att förändringarna kan regleras snabbare. Konfigurationen som regulatorn konstruerats efter finns i Figur 2-4.



Figur 2-4. Modell för process och reglering som är utgångspunkt för regulator konstruktion.

$$G(s) = \frac{K_p e^{-\tau_p s}}{1 + T_p s}$$

Process (antas av första ordningen här)

$$G_M(s) = \frac{K_M e^{-\tau_M s}}{1 + T_M s}$$

Intern modell

$$F(s) = \frac{e^{-\tau_M s}}{1 + \lambda T_M s}$$

Inställningsfunktion

### Övriga regulatorer

Inloppslådan regleras så att papperet ska få jämn kvalitet i sidled, och inställningar av bl a läppöppning och ångtryck påverkar de producerade kvaliteten. Denna reglering fungerar bra och är snabb (5).

Flödet från maskinkarspumpen mäts några meter efter pumpen och används för att reglera pumpen. Tumreglen man använder på pappersbruket för inställning av PID-regulatorer innebär att D delen alltid stängs av, förstärkningen sätts upp så att man får en hög förstärkning och  $T_i$  i I-delen ökas slutligen tills systemet ej svänger. Om systemet som ska regleras innehåller en motor som driver en pump eller någon annan del som har tendens att börja svänga kommer T delen att bli väldigt stor om svängningarna helt ska dämpas ut. För maskinkarspumpen är  $T_i = 25$  s. Det åstadkommer en inre slinga som långsam i förhållande till den yttre.

## Data

I appendix A, Figur A-1, finns processen med ungefärliga flöden och substansflöden vid stationär drift. Den första siffran som anges är vätskeflödet och den andra substansflödet, dvs fiber + krita. Siffrorna är ungefärliga och är hämtade från konstruktionsritningar för maskinen och från beräkningar gjorda av (7).

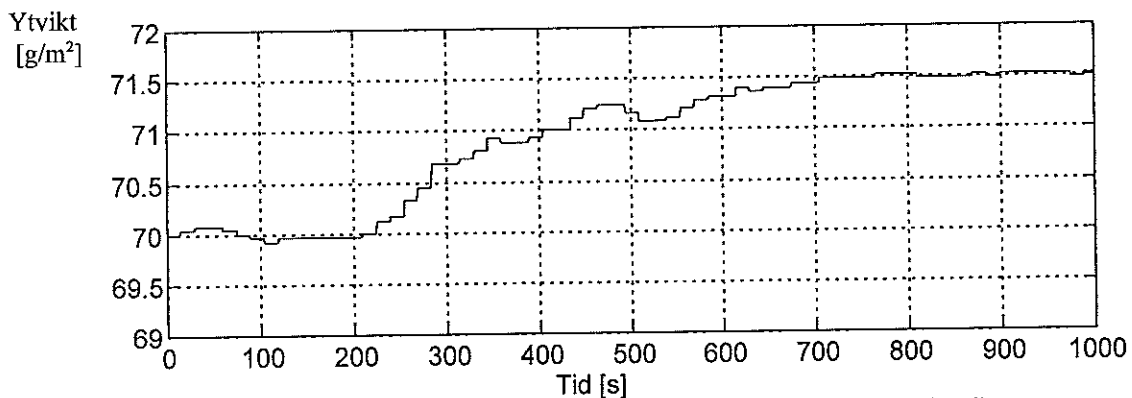
Tabell A-1 avhandlar rördata. Längd och diameter är uppmätta med mätkäpp och måttband. Flödet har räknats fram ur ovanstående data. Transport tiden har räknats ut som Volym genom flöde. Dessa tider ska ses som skattningar.

Tabell A-2 visar prover uttagna på olika ställen i processen. Total koncentration och askhalt är mätdata. Ur dessa har fiberkoncentration och krikakoncentration har räknats ut. Flödet är återgivandet av ovannämnda data. Datan i tabell har använts för att räkna ut retentionsgraderna i Tabell A-3.

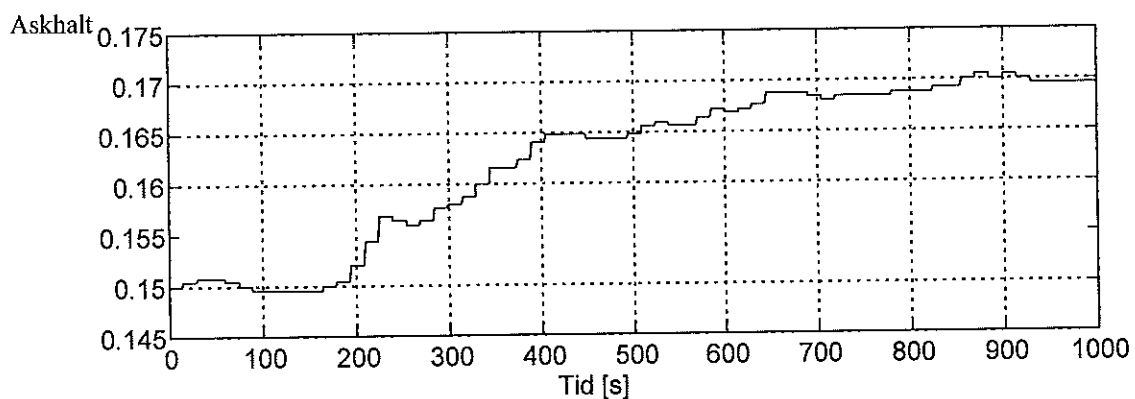
Slutligen finns tankarnas uppmätta volym i Tabell A-4.

Följande mätserier ytvikt och askhalt har tagits fram på PM2. Samtliga har gjorts med utgångspunkt från driftsläget ytvikt 70 g/m<sup>2</sup> och askhalt 0.15. Alla mätserier är har inte exakt de värden vid tidpunkten 0 s. Normering har skett så att samtliga mätserier börjar i 70, 0.15 vid 0 s och steg sker vid 100 s.

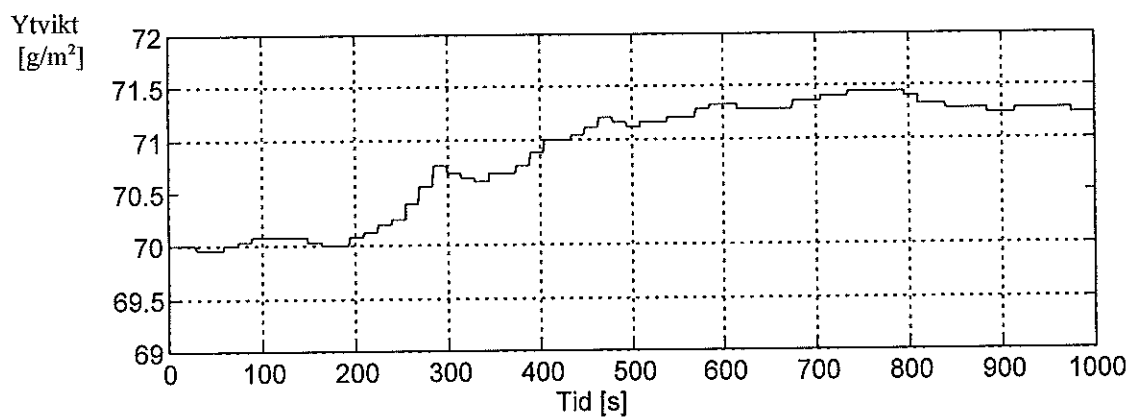
Figur 2-5 till Figur 2-10 visar upptagningar som gjorts med mät ramen och skrivits ut med Accurays skrivare. Kantigheten beror på att brist i upplösning hos printern och avläsningsintervall.



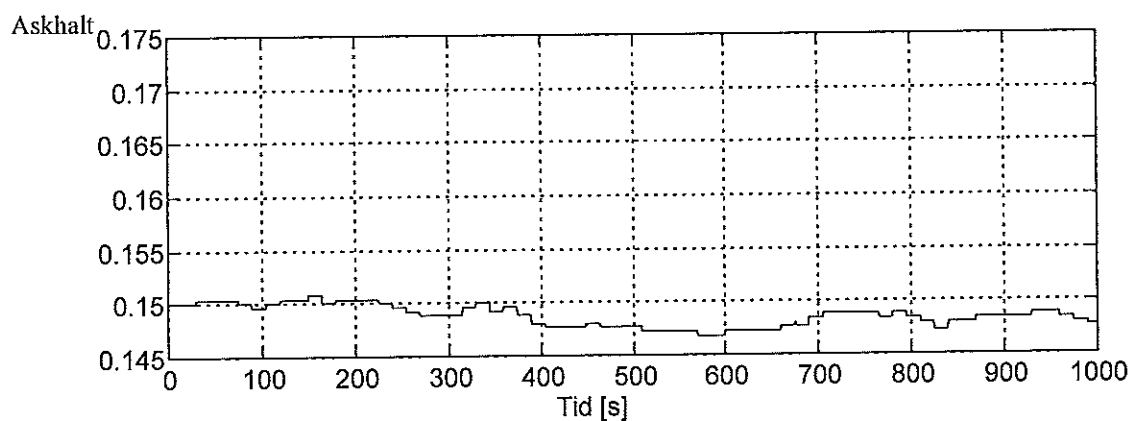
Figur 2-5. PM2. Mäldflödet har ökat med 250 l/min, medan askhaltsreglering varit påslagen, dock ej korskopplingen.



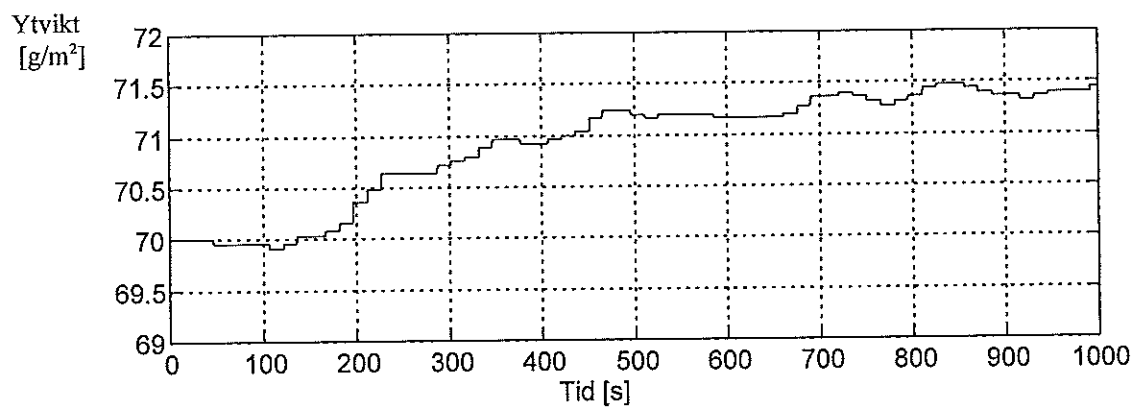
Figur 2-6. PM2. Kritaflödet har ökat med 50 l/min, medan ytviktsreglering varit påkopplad, dock ej korskopplingen.



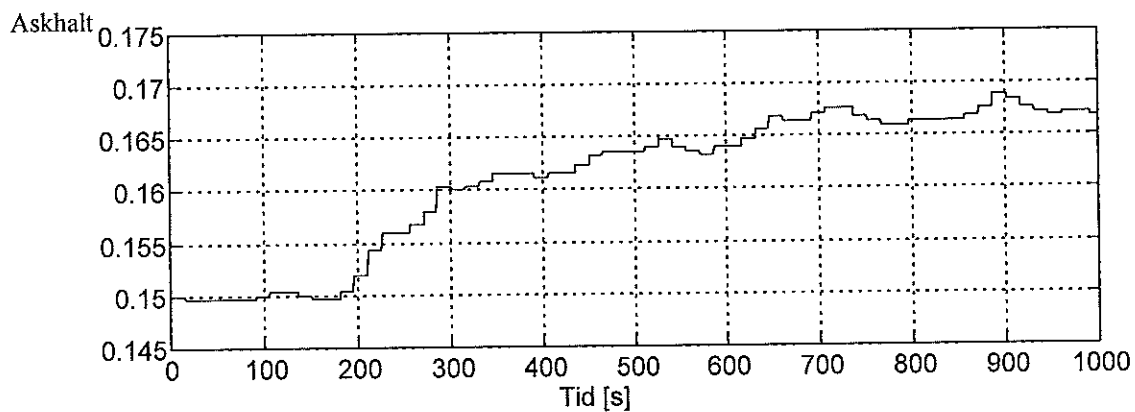
Figur 2-7. PM2. Mäldflödet har ökats med 250 l/min, medan askhaltsregleringen varit avslagen.



Figur 2-8. PM2. Mäldflödet har ökats med 250 l/min, medan askhaltsregleringen varit avslagen.



Figur 2-9. PM2. Kritaflödet har ökats med 50 l/min, medan ytviktsreglering varit avslagen.



Figur 2-10. PM2. Kritaflödet har ökats med 50 l/min, medan ytviktsreglering varit avslagen.

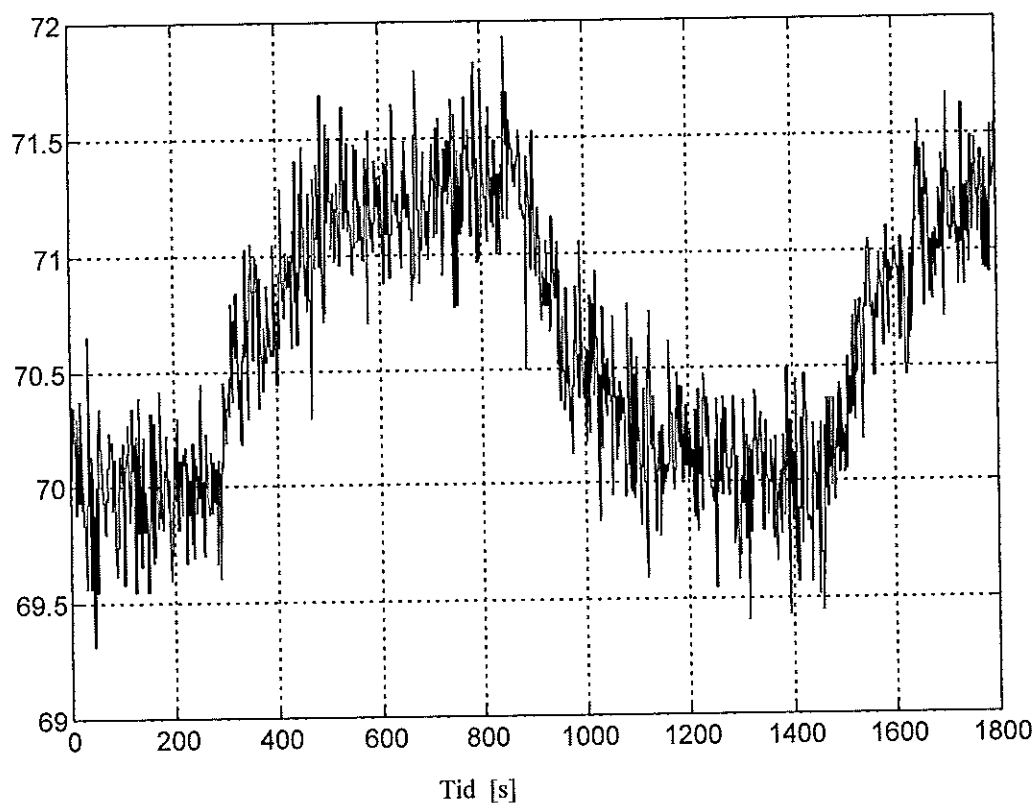
I mätningarna som återges i Figur 2-11, Figur 2-12, Figur 2-13 och Figur 2-16 till Figur 2-19 har mätramen fästas i en position, Accurays medelvärdesbildning och zonräknare har kopplats ur, så att rådata från ytvikts- och askhaltsmätningar erhålls.

Fyrkantspulser om 250 L/min mäld sändes in och ytvikten registrerades ofiltrerad, se Figur 2-11.

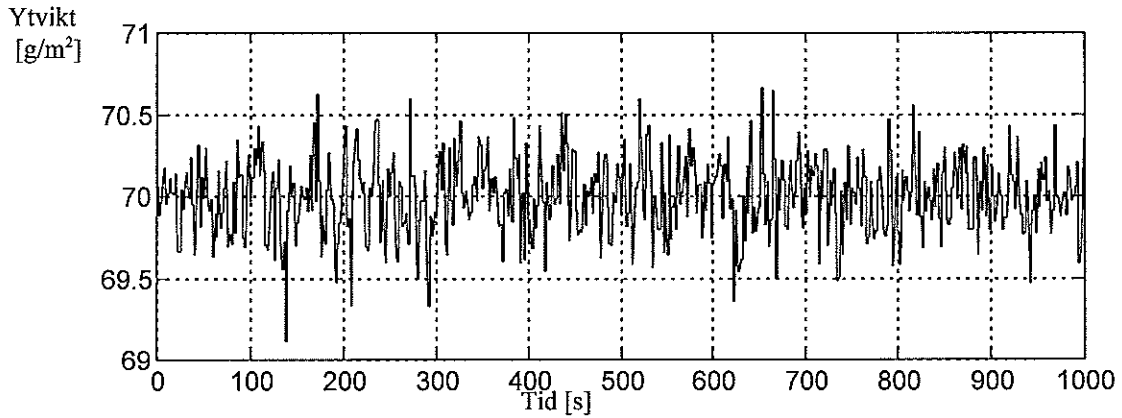
Prbs-signalerna i Figur 2-14 och Figur 2-15 är framtagna med specifikationer enligt nedan. De utgör förändringar av mäldflöde och kritaflöde som gett upphov till de variationer av ytvikt och askhalt som återges i Figur 2-16 till Figur 2-19.

<b>Prbs</b>	Amplitud mäld:	400 L/min
	Amplitud krita:	50 L/min
	Samplingsintervall:	1 s
	Puls längd:	32 s
	Antal pulser:	96 st.

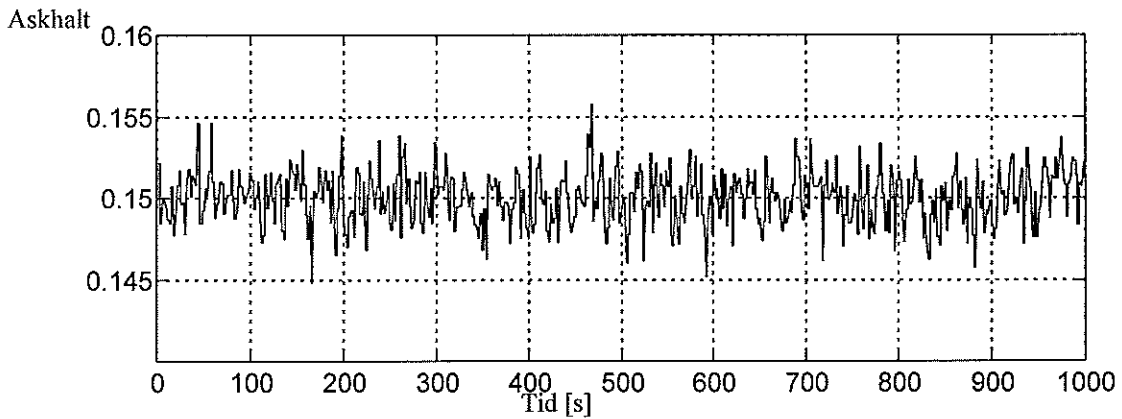
Ytvikt  
g/m<sup>2</sup>



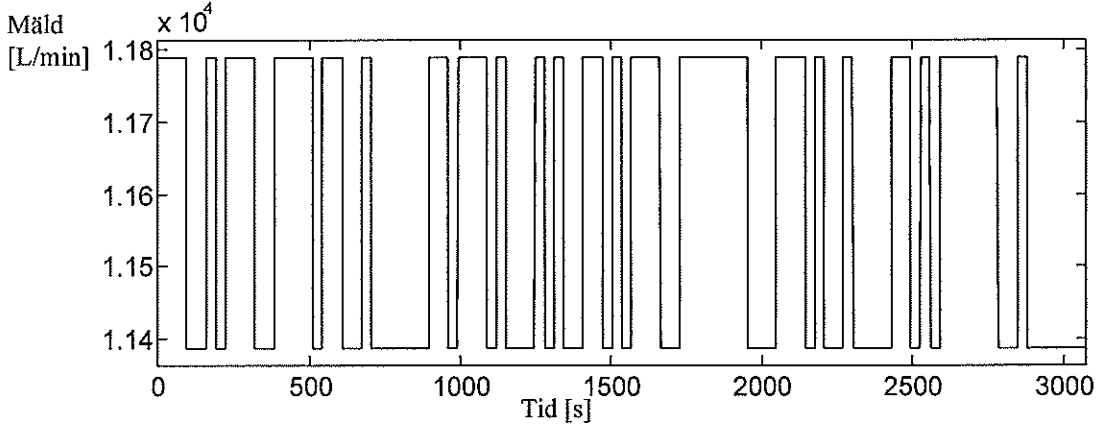
Figur 2-11. Fyrkantspuls om 250 L/min på mäldflödet.



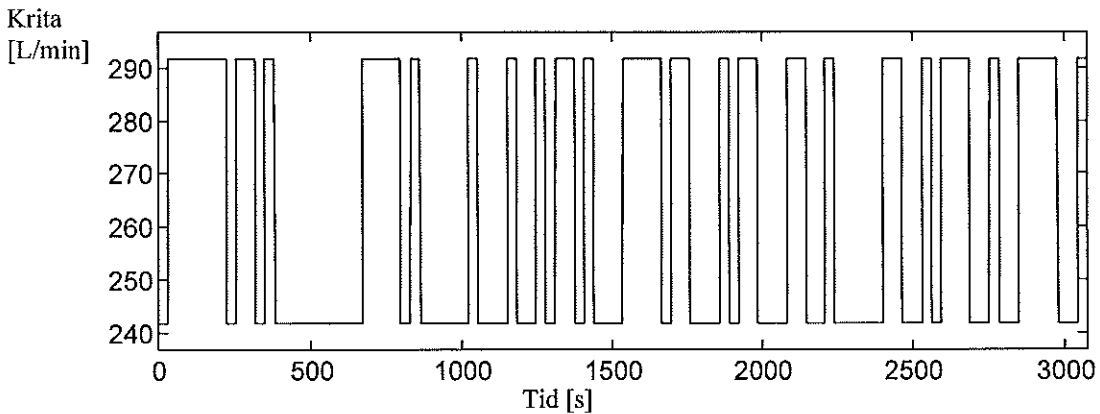
Figur 2-12. PM2. Ofiltrerad rådata vid stationär drift. Papperskvalitet ytvikt 70g<sup>2</sup>, askhalt 0.15.



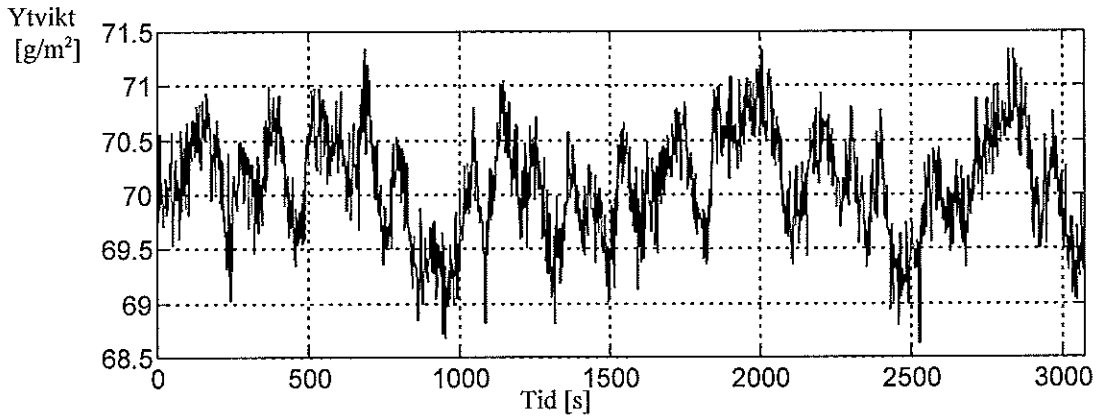
Figur 2-13. PM2. Ofiltrerad rådata vid stationär drift. Papperskvalitet ytvikt 70g<sup>2</sup>, askhalt 0.15.



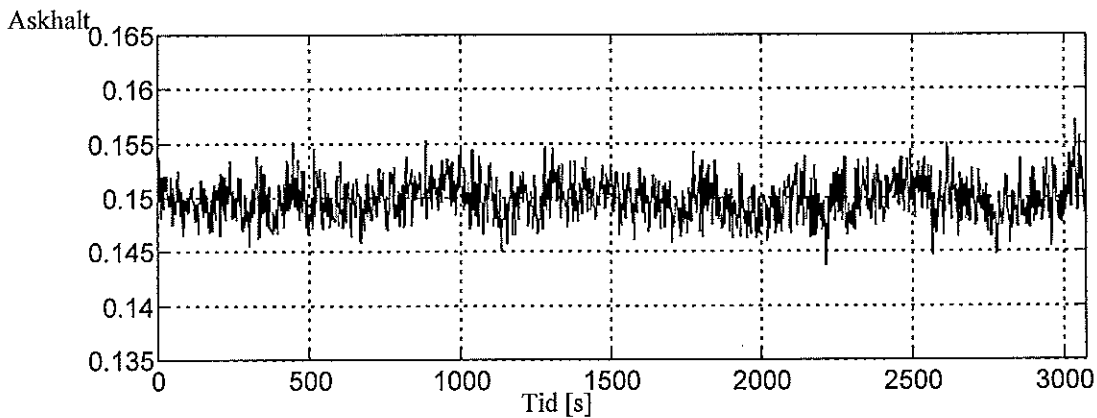
Figur 2-14. PM2. Prbs-signal på mäldflöde.



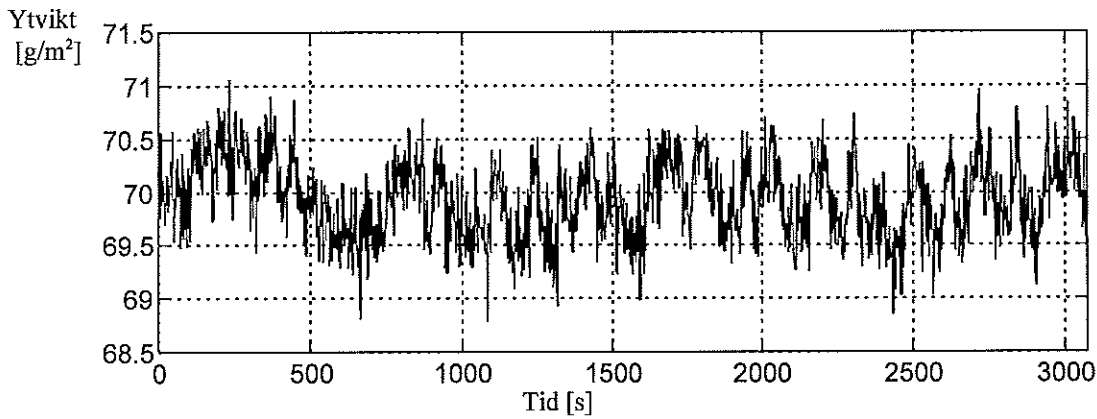
Figur 2-15. PM2. Prbs-signal på kritaflöde.



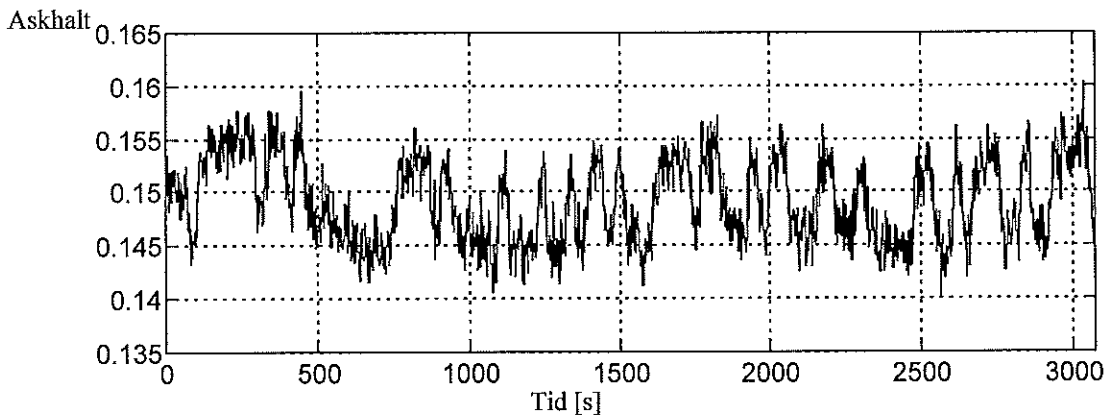
Figur 2-16. PM2. Ytviktsvariationer som följd av prbs signal på mäldflöde, se Figur 2-14.



Figur 2-17. PM2. Askhaltsvariationer som följd av prbs signal på mäldflöde, se Figur 2-14.



Figur 2-18. PM2. Ytvikt som funktion av prbs på kritaflödet, se Figur 2-15.



Figur 2-19. PM2. Askhalt som funktion av prbs på kritaflöde, se Figur 2-15.

## Metodbeskrivning

Här beskrivs de metoder som används i kapitel 3 för att nå fram till resultatet. Först görs processidentifiering därefter plockas simulinkmodellen fram och slutligen görs en jämförelse mellan dem.

### Processidentifiering

Processidentifiering följer de metoder som läggs fram i (1) och (2).

Fyra processer som är kopplad identifieras: mäld-ytvikt, mäld-askhalt, krita-ytvikt och krita-askhalt.

Processidentifiering delas upp i inledande experiment och slutliga experiment. De inledande experimenten består av transientanalys. Steg sänds in i processen och svaren analyseras. För att frigöra beroendet mäld-krita kopplas regleringen ur i de senare stegen. Genom att medelvärdesbilda över flera upptagningar minskas brusets påverkan. Dessutom minskar de negativa effekterna som zonnräknaren skapar något genom att stegen görs när mätarmen befinner sig vid olika ställen vid olika tillfällen.

Resultaten från de inledande experimenten samt från analys av en fyrkantspuls används för att avgöra linjäritet, tidsinvarians och lämplig filtrering, samplingsfrekvens och prbs inför de slutliga experimenten.

I de slutliga experimenten fixeras mätarmen och rådata registreras. Två serier med prbs sänds in, en där mäldflödet varierar enligt Figur 2-14. PM2. Prbs-signal på mäldflöde, och en där kritaflödet varierar enligt Figur 2-15. Vid båda serierna registreras både ytvikt och askhalt så att fyra mätserier fås som sedan används för att plocka fram parametermodeller. De fyra modellerna presenteras och valideras därefter var och en för sig för att göra det hela överskådligare.

En avvikelse från de i litteraturen beskrivna tillvägagångssätten görs. Genom att förskjuta mätserien dödtid punkter i förhållande till insignalen identifieras samma modell, men utan dödtid.

### Simulinkmodell

Simulinkmodellen består av block som modellerar de olika delarna av processen. För de flesta blocken är insignaler och utsignaler fiber- och kritakoncentrationer. Blocken kopplas sedan samman med samma konfiguration som processen.

För varje modellblock anges eventuella antagande och förenklingar som gjorts. Grundekvationerna som blir följden av antaganden ställs upp och i förekommande fall räknas de ekvationer som blocket består av fram. Blockets utseende i simulinkmodellen och användargränssnittet avbildas. Vilka parametrar som måste anges vid användning framgår av användargränssnittet. Hur man omvandlar de matematiska ekvationerna till simulinkfunktioner och hur grafisk utformning av block och användargränssnitt sker hänvisas till (8). I de fall där en överföringsfunktion skulle beskriva ett block bra har ändå tillståndsform använts, eftersom detta medger användandet av begynnelsevärden.

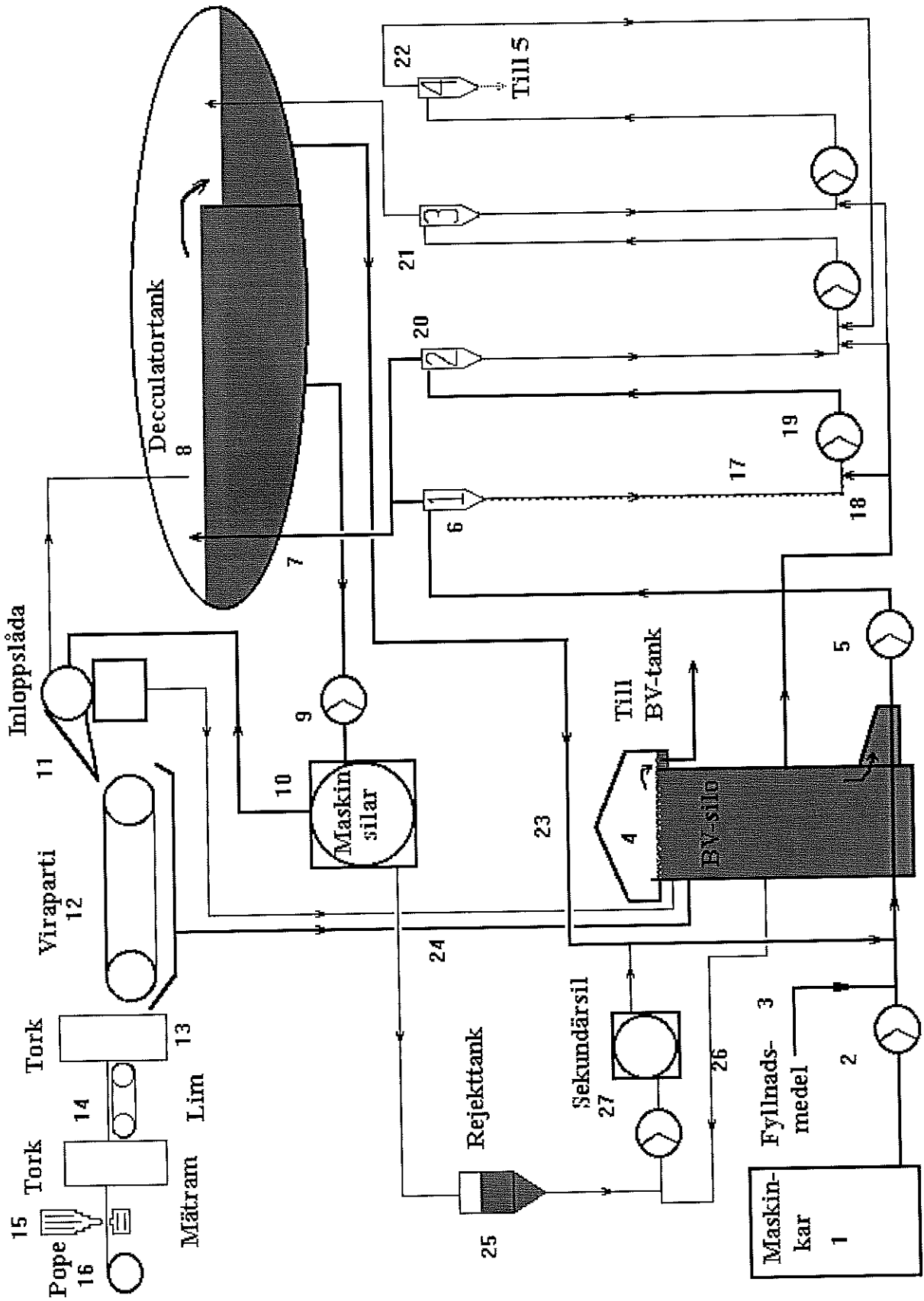
Simulink klarar inte hantera partiella differentialekvationer. Flödet har därför inte kunnat modelleras dynamiskt. Modellen ska användas bla till att utvärdera olika ombyggnads förslag. Vid ändring av maskinens konfiguration kommer naturligtvis flöden att ändras. Ett enkelt och mer överskådligt sätt än beräkningar i Matlab är att räkna ut de nya flöden är i en statisk modell i Excel. Den statiska modellen kan även användas för att räkna ut jämviktsskoncentrationer i olika delar av modellen. Med färdiga jämviktsskoncentrationer som begynnelsevärde vid simulering undviks ett tidskrävande insvängningsförlopp.

Regleringen har modellerats med block och inkluderats i modellen. Även här har transformering till tillståndsform för att möjliggöra inmatandet av begynnelsevärden skett.

### Jämförelser mellan Simulinkmodell och processidentifiering och process

Simulink modellen jämförs först med processen och därefter med parametermodellen. Steg av samma storlek som sänds in i processen sänds in i simulink modellen och samma prbs som sänts in i processen sänds in i simulinkmodellen och svaren jämförs. Med samma prbs jämförs även parametermodell och Simulinkmodell. Slutligen undersöks poler och nollställen för simulinkmodellen och jämförs med poler och nollställen för parametermodellen.





Figur Processbeskrivning

# Kapitel 3 Resultat

I detta kapitel utförs det som beskrivits under Metodbeskrivning i kapitel 2. Först görs processidentifiering därefter plockas simulinkmodellen fram och slutligen görs en jämförelse mellan dem.

## Processidentifiering

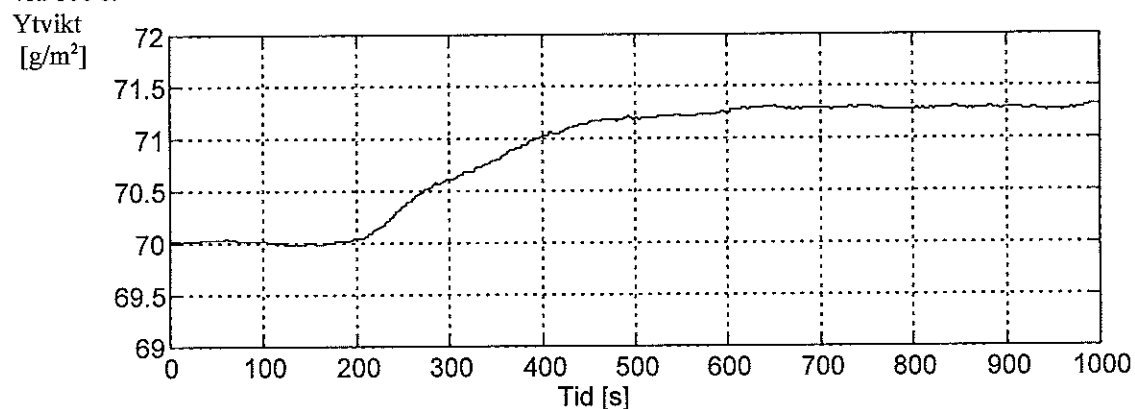
### Inledande experiment

#### Transientanalys, stegsvar

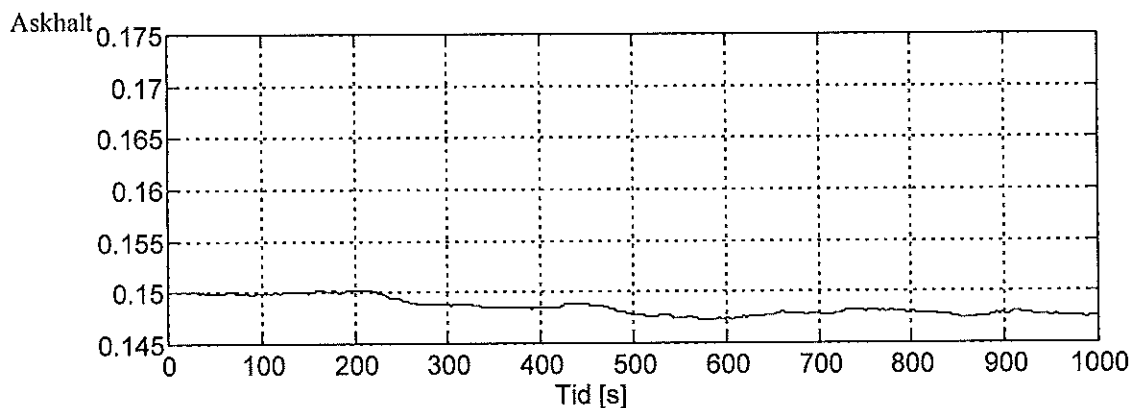
Som beskrivits i kapitel 2 använder man idag en första ordningens processmodell i IMC-regulatorn. I Figur 2-5 och Figur 2-6 finns upptagningar som använts för att ställa in den reglering som för närvarande verkar på maskinen. Inga överslängar förekommer varför en första ordningens modell inte är orimlig.

Ett fel med dessa är dock att medan man ställer av den ena regleringen låter man den andra vara påslagen. Man kan därför inte rätt fram säga om pucklarna beror på dynamik hos regulator eller processen. Om man å andra sidan slår av regleringen av den andra processen också riskerar man få med glidande avvikelser. För att undvika detta ställer vi ut ett börvärde på det andra flödet till en lokal regulator. Detta kan dock medföra problem med svängningar med svängningstid på mer än en timme. I Figur 2-7 och Figur 2-8 finns upptagningar med den andra regulatorn urkopplad några minuter innan och under själva upptagningen av stegsvaren.

Störningen utgör dock fortfarande ett alltför markant inslag för att man ska kunna uttala sig om eventuell dynamik utöver ett första ordningens system. För att minska problemet finns nedan i Figur 3-1 och Figur 3-2 medelvärden av 9 upptagningar, vilket innebär att störningarna undertrycks en faktor 3. För att minska inverkan av zonräknaren har upptagningarna startats när mätramen befunnit sig i olika lägen. Dock har alla steg påbörjats vid 100 s.



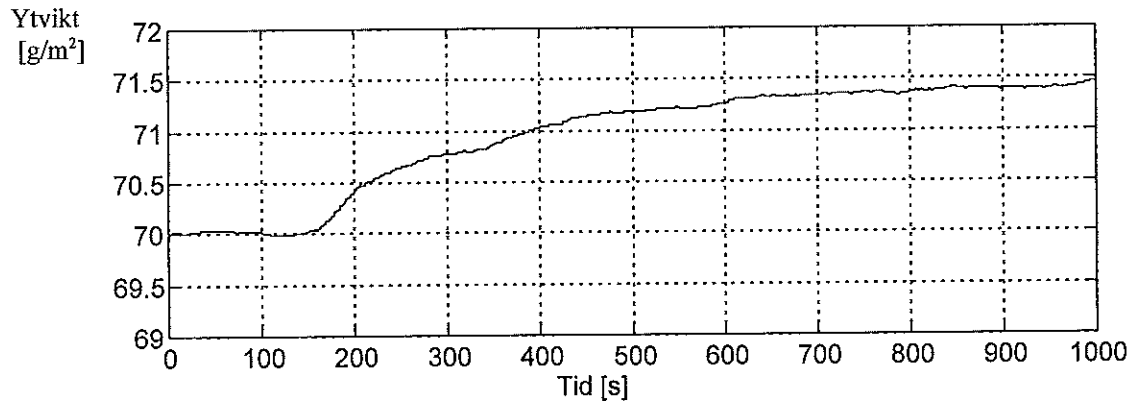
Figur 3-1. PM2. Måldflödet har ökat med 250 l/min, medan askhaltsregleringen varit avslagen. Genomsnitt över 9 upptagningar.



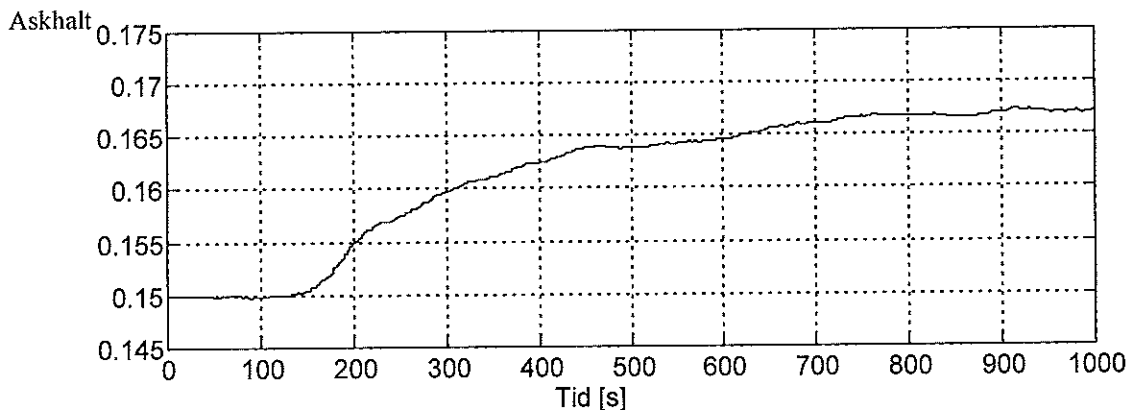
Figur 3-2. PM2. Måldflödet har ökat med 250 l/min, medan askhaltsregleringen varit avslagen. Genomsnitt över 9 upptagningar.

I Figur 3-1 kan man se att åtminstone två tidskonstanter. Den dominerande, dvs den långsammaste kan ur diagrammet uppskattas till  $T_1=170$  s. Dödtiden skattas till  $T_d=80$  s och förstärkningen till  $K=5e-3$  g min/m<sup>2</sup>L. Figur 3-2 återger motsvarande samband mellan mäld och askhalt. Även här kan man ana flera tidskonstanter. Störningar eller svängningar i processen gör det svårt att uttala sig om mer än att förstärkningen är  $K=1.2e-5$  min/l.

I Figur 2-9 och Figur 2-10 finns upptagningar för förändringar av kritaflödet med ytviktsreglering avslagen. Även för krita flödet har medelvärdesbildning över 9 upptagningar gjorts. Resultatet finns i Figur 3-3 och Figur 3-4.



Figur 3-3. PM2. Kritaflödet har ökat med 50 l/min, medan ytviktsreglering varit avslagen. Genomsnitt över 9 upptagningar.



Figur 3-4. PM2. Kritaflödet har ökat med 50 l/min, medan ytviktsreglering varit avslagen. Genomsnitt över 9 upptagningar.

I Figur 3-3 som avbildar ytviktens beroende av kritaflödet ser man minst två tidskonstanter. Den långsammaste skattas till  $T_1=90$  s. Förstärkningen är  $K=0.03$  g min/m<sup>2</sup>l. För kritaflödets påverkan på både askhalt och ytvikt skattas dödtiden till  $T_d=60$  s. Även ytviktens beroende av kritaflödet innehåller åtminstone två tidskonstanter. Den dominerande skattas till  $T_1=110$  s och förstärkningen till  $K=3e-4$  min/l.

I inget av stegen kan man se något icke min fas uppträdande.

### Val av samplingsfrekvens och förfiltrering

Om man utgår från stigtider enligt ovan om ca 80 s och antar att vi vill identifiera tidskonstanter upp till dem som är 10 gånger snabbare bör vi välja  $h=1$  s för att få  $N_r=T_r/h=8$  enligt (6). Detta innebär att vi kommer att kunna detektera naturliga frekvenser hos systemet upp till ca  $\omega_0=0.4$  rad/s, vilket motsvarar  $f=0.06$  s<sup>-1</sup> eller periodtid  $T=16$  s. Samplingsfrekvensen blir alltså  $f_s=1$  s<sup>-1</sup> och nyquistfrekvensen  $f_N=0.5$  s<sup>-1</sup>, eller  $\omega_N=3.1$  rad/s.

För att undvika alias effekter måste förfiltrering ske så att frekvenser högre än  $\omega_N$  filtreras bort. Filtret som användes vid de följande data insamlingarna kan approximeras med ett tredje ordningens Butterworth filter. Brytfrekvensen valdes till  $\omega_b = \omega_N = 3.1$  rad/s.

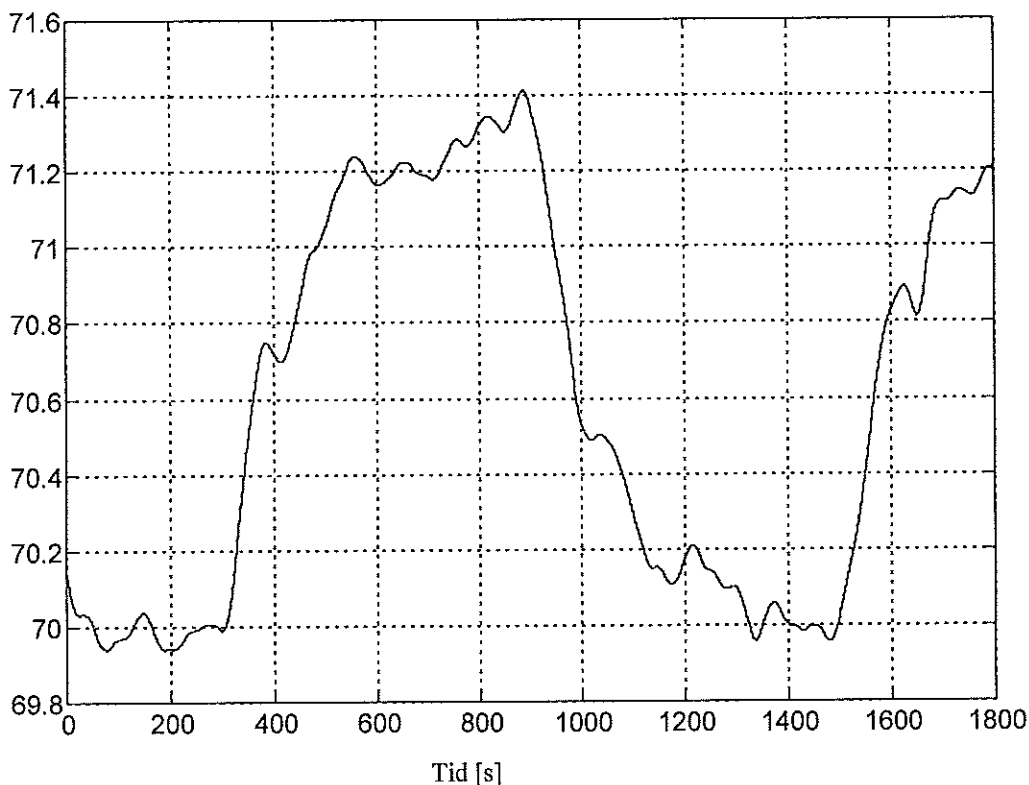
## Urkoppling av medelvärdesbildare och zonräknare

Ovanstående upptagningar gjordes med medelvärdesbildare och zonräknare och mätningar gjordes över hela pappersbanan. I Figur 2-12 och Figur 2-13 har denna utrustning kopplats ur och mätramnen fixerats i en position. Mätbruset utgör en väsentlig faktor vid dessa upptagningar.

För att undersöka linjäritet hos processen sänds fyrkantspulser på mäldflödet in. Svaret som fås finns i Figur 2-11. I Figur 3-5 nedan har fyrkantspulsen efterfilterats digitalt med lågpas filter Butterworth grad 3, brytfrekvens  $f=0.02 \text{ s}^{-1}$ . Pulsen är tillräckligt symmetrisk för att anta linjäritet runt den aktuella driftsnivån.

Ytvikt

$[\text{g/m}^2]$



Figur 3-5. PM2. Fyrkantspuls på mäld som efterfilterats med butterworth filter av ordning 3 med brytfrekvensen  $0.02 \text{ s}^{-1}$ .

Huruvida systemet är tidsinvariant eller ej är svårt att avgöra på en hög brusnivå och att driftsnivån driver i oreglerat tillstånd (eller beror på väldigt långsam dynamik). Subjektiva observationer ger dock inte stöd för att förkasta tidsinvarians.

## Slutliga experiment

Följande upptagningar har gjorts i öppen loop. Detta begränsar upptagningens längd och amplitud i betydligt högre grad än vad identifiering i slutna loop skulle ha gjort, då papperskvaliteten äventyras. Det som nödvändiggör identifieringen i öppen loop är medelvärdesbildare och zonräknaren.

### Val av insignal

Medelvärdet för ytvikten låg på  $70 \text{ g/m}^2$  och för askhalt något under 0.15. Det senare eftersom papper med för låg askhalt inte ansågs vara av sämre kvalitet vid det aktuella tillfället. För jämförbarhet med övriga experiment och modell har även här normering skett till 0.15.

Amplituden är 400 l/min för mäld och 50 l/min för krita. Det är värt att notera här att identifieringen skedde inklusive maskinkarspump med reglering.

Pulsernas längd är multipler av sekvenslängden 32 s. Denna har valts så att sekvenslängd \* samplingsintervall är ungefär lika med intressant dynamik. Dessutom är 32 en multipel av två, vilket underlättar beräkningarna.

Hela data serien är 3072 s lång. De aktuella prbs ses i Figur 2-14 och Figur 2-15.

## Mätdata

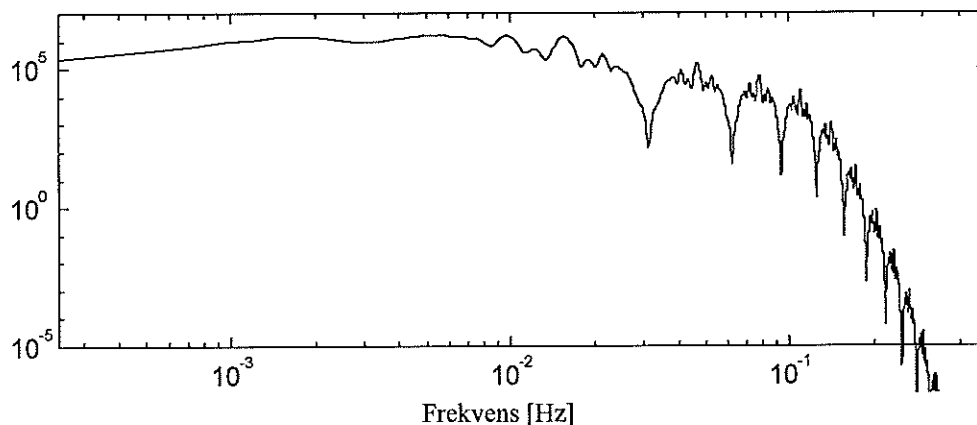
När mäldflödet varierar enligt Figur 2-14 får man svar på ytvikt enligt Figur 2-16 och askhalt enligt Figur 2-17. Man kan urskilja att ytvikt är ett min fas system och möjligtvis att askhalten är ett icke min fas system.

Variation av kritaflöde enligt Figur 2-15 ger på samma sätt dataupptagningar enligt Figur 2-18 och Figur 2-19. Ytvikt och askhalt tycks här variera på samma sätt. Bägge tycks ha minfas egenskaper.

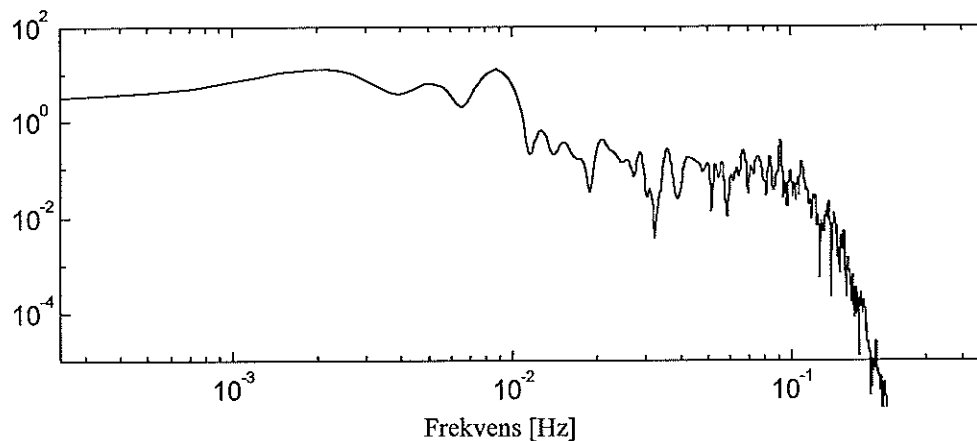
Dataserien delas i två delar, en om 2048 s för identifiering, och en om 1024 s för validering. Linjära trender och medelvärden elimineras eftersom det är dynamiken som analysen skall göras på. Dessutom filtreras de högsta frekvenserna bort för att minska mätbruset. Brytfrekvens för filtret är  $0.25 \cdot f_N = 0.125$  Hz.

## Kontroll av excitaion

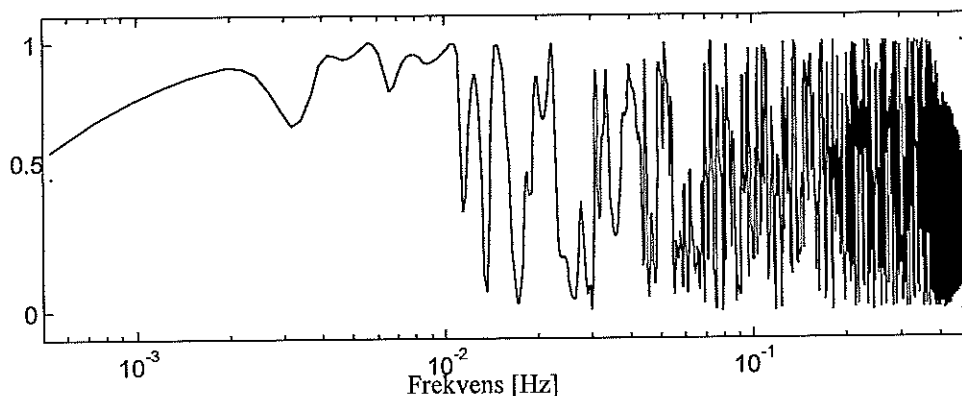
Kontroll av excitaion sker genom besiktning av effektspektrum för in- och utsignaler.



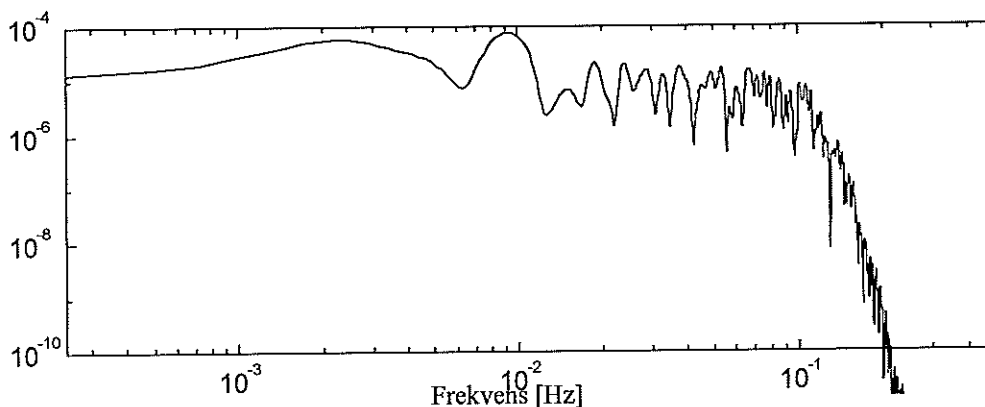
Figur 3-6. PM2. Effektspektrum för insignal i form av prbs på mäldflöde.



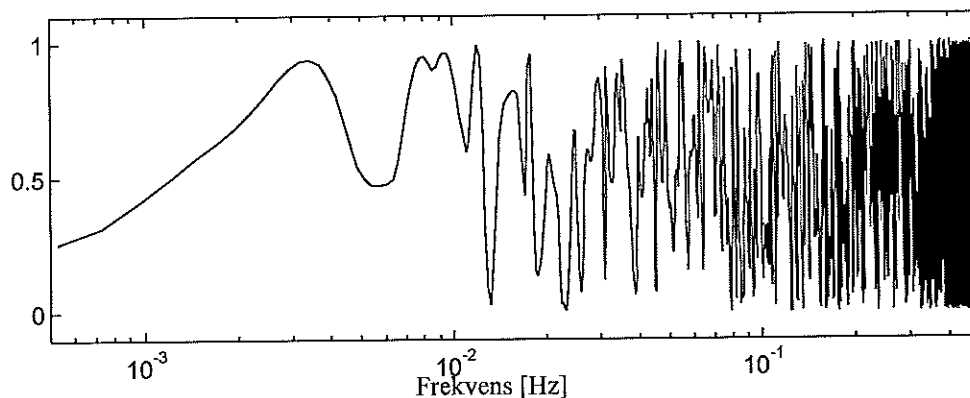
Figur 3-7. PM2. Effektspektrum för ytvikt när mäldflöde varierats med prbs.



Figur 3-8. PM2. Koherensspektrum för mäldflöde-ytvikt när mäldflöde har varierats med prbs.



Figur 3-9. PM2. Effektspektrum för askhalt när mäldflöde varierats med prbs.

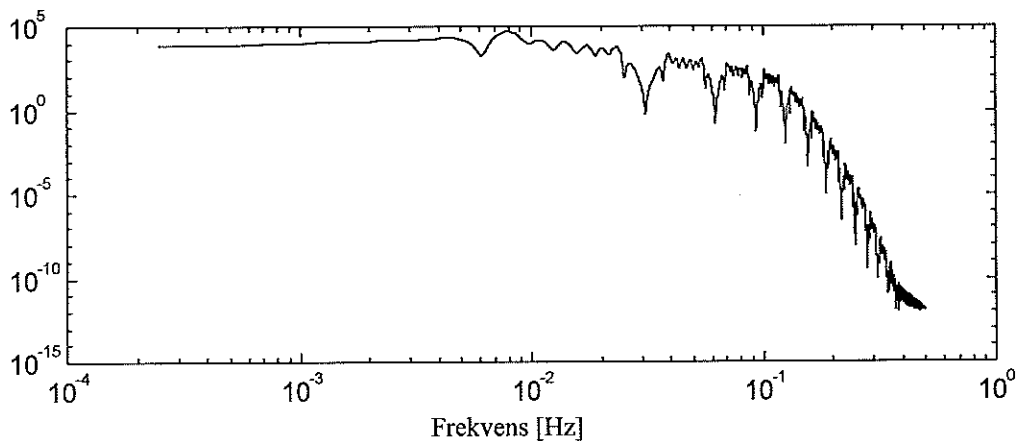


Figur 3-10. PM2. Koherensspektrum för mäldflöde-askhalt när mäldflödet har varierats med prbs.

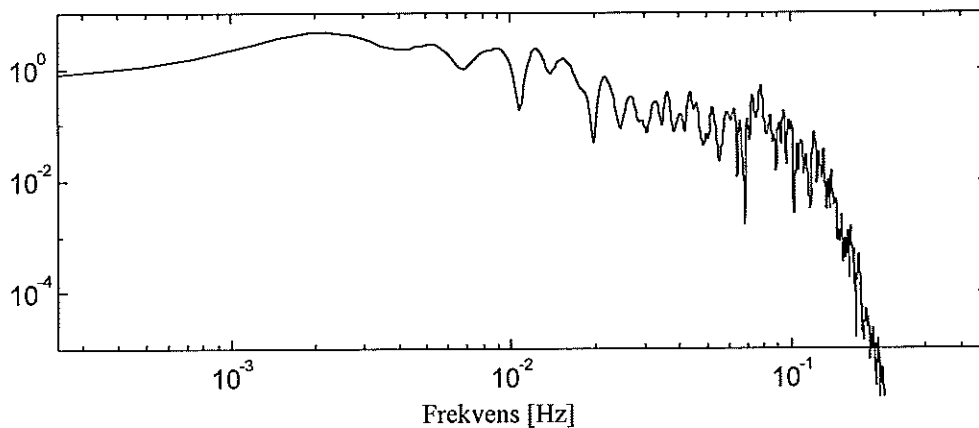
Spektrumen är framtagna med FFT. Serien har delats i 4 segment om 512 punkter för att kunna få ett jämnare spektrum. Utfyllning med nollor har därefter skett i varje segment för att få högre spektralupplösning. Slutligen har Hanning fönster om 2048 använts.

Figur 3-6 visar effektspektrum för den använda prbs signalen. Upp till 0.1 Hz är excitaionsenergin god. Därefter ser vi effekterna av filtret. Längs hela spektrumet ser vi tydligt fönsterpåverkan, hacken i kurvan som ligger allt tätare. Figur 3-7 visar effektspektrum för ytvikten och här ser vi ett fylligt spektrum fram till 0.1 Hz. Koherensspektrumet i Figur 3-8 antyder hyfsad excitaion fram till 0.1 Hz, dock med undantag från de frekvenser som fönstereffekten släcker. Vi sluter oss till att gränsen för tillförlitligheten bör sättas till 0.1 Hz. Motsvarande gäller för askhalten i Figur 3-9 och Figur 3-10.

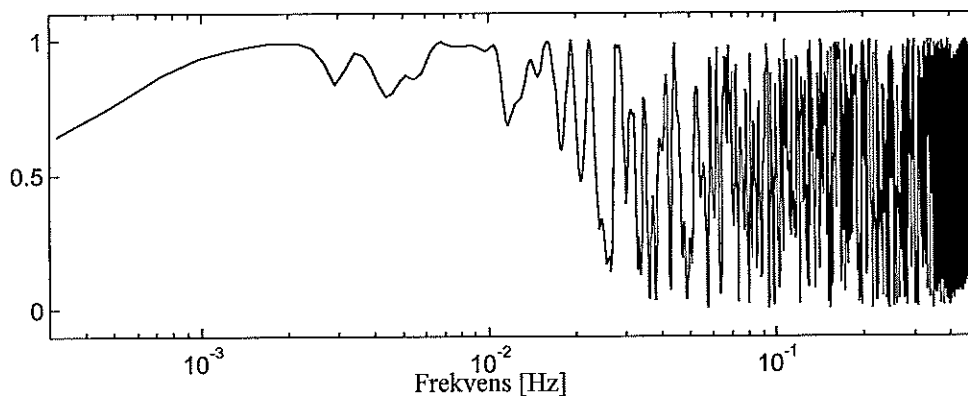
Samma resonemang och slutsatser gäller för Figur 3-11 till Figur 3-15 där motsvarande kurvor finns för förändringarna av kritaflödet. Här har dock segment om 768 punkter som överlappar varandra med 256 punkter använts. I övrigt samma som för mäldflödet.



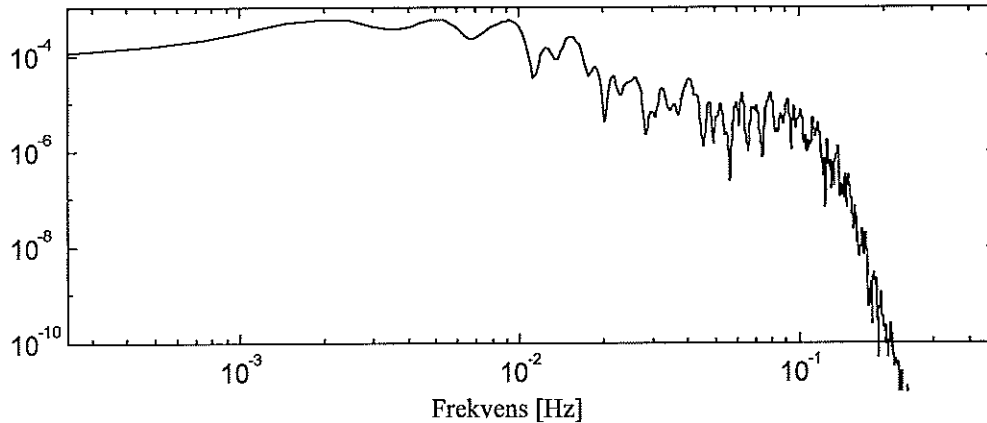
Figur 3-11. PM2. Effektspektrum för kritaflöde som varierats med prbs.



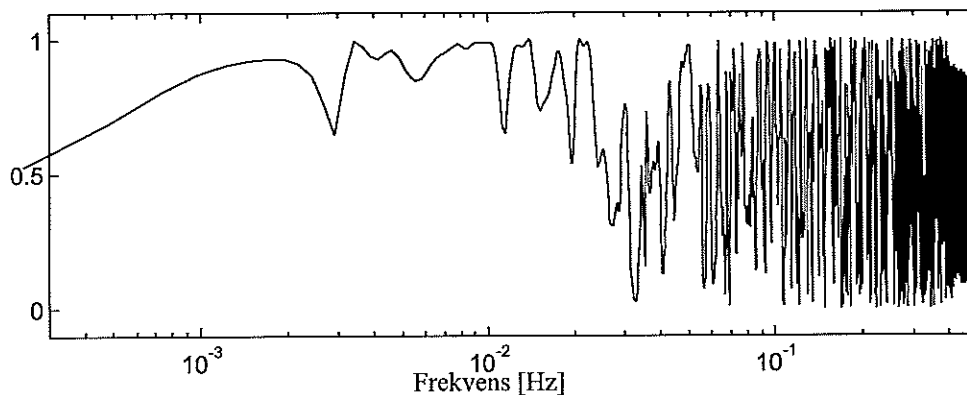
Figur 3-12. PM2. Effektspektrum för ytvikt när kritaflöde varierats med prbs.



Figur 3-13. PM2. Koherensspektrum för kritaflöde-ytvikt när kritaflöde varierats med prbs.



Figur 3-14. PM2. Effektspektrum för askhalt när kritaflöde varierats med prbs.



Figur 3-15. PM2. Koherrensspektrum för kritaflöde-ytvikt när kritaflöde varierats med prbs.

### Skattning av parametermodell

Parametermodeller är användbara i jämförelsen mellan simulink modellen och maskinen och ger dessutom parametrar som kan räknas om så att en skattning på fysiska storheter erhålls.

Den modell som valts att söka parametrar för är en Box-Jenkins modell, som har följande struktur:

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)} u(t - n_k) + \frac{C(q)}{D(q)} e(t)$$

Olika ordningar har testats och gett olika resultat. Som urvalskriterier har använts Akaike Final Prediction Error. I valet mellan modeller med ungefär lika stora förlust funktioner har jämförelser gjorts hur väl modellerna följer valideringsdata.

En utgångspunkt för skattningen av parametrarna var att döttiden var 70 till 90 s enligt de inledande experimenten. mald-ytvikt skattades i då till innehålla två eller tre poler och mald-askhalt en till två poler. Krita-ytvikt och krita-askhalt skattades bägge innehålla två poler.

De parameter modeller som fås är för mald-ytvikt:

$$y(t) = \frac{1.4867 * 10^{-6} - 1.3488 * 10^{-6} q^{-1}}{1 - 2.9698q^{-1} + 2.9432q^{-2} - 0.9734q^{-3}} u(t - 90) + \frac{1 + 0.99q^{-1}}{1 - 0.0087q^{-1} - 0.158q^{-2}} e(t) ,$$

där  $\sigma_e^2 = 0.026$ ,

för mald-askhalt:

$$y(t) = \frac{-1.0028 * 10^{-8}}{1 - 1.9104q^{-1} + 0.9118q^{-2}} u(t - 90) + \frac{1 + 0.98q^{-1}}{1 - 0.021q^{-1}} e(t) ,$$

där  $\sigma_e^2 = 1.3 * 10^{-6}$ ,

för krita-ytvikt:



$$y(t) = \frac{0.0019420 - 0.0019253q^{-1}}{1 - 1.81842q^{-1} + 0.81889q^{-2}} u(t - 72) + \frac{1 + 0.98q^{-1}}{1 - 0.011q^{-1}} e(t)$$

där  $\sigma_e^2 = 0.028$ ,

och för krita-askhalt:

$$y(t) = \frac{1.6955 * 10^{-5} - 0.7335 * 10^{-5} q^{-1} - 0.9408 * 10^{-5} q^{-2}}{1 - 1.7955q^{-1} + 0.7960q^{-2}} u(t - 72) + \frac{1 + 0.98q^{-1}}{1 - 0.018q^{-1}} e(t)$$

där  $\sigma_e^2 = 1.70 * 1e-5$

Ett alternativt sätt att välja modell är att ta fram en högre ordningens parametermodell omvandla den till en balanserad tillståndsmodell, och sedan eliminera insignifikanta tillstånd. De operationer som krävs innebär dock matriser av samma storleksordning som tidsfördröjningens längd. För att få ner ordningen på de system som skapas på detta sätt försköts data från utsignalen dödtid punkter i förhållande till insignalen. En modell på Box-Jenkins format av sjätte ordningen togs fram, transformerades till tillståndsform, som sedan transformerades till balanserad tillståndsform. Gramian matrisen som motsvarar det balanserade tillståndet var för mäld askhalt:

$$M = \begin{bmatrix} 0.00279744300305 & 0.00115628123688 & 0.00091966511971 & 0.00054582724346 \\ 0.00047855693890 & 0.00013262994405 & & \end{bmatrix}$$

Vi eliminerar de 3 sista tillstånden och får ett system, här uttryckt som överföringsfunktion, vars poler ligger på samma ställen som i identifieringen ovan. Två extra nollställen, bägge utanför enhetscirkeln fås dock.

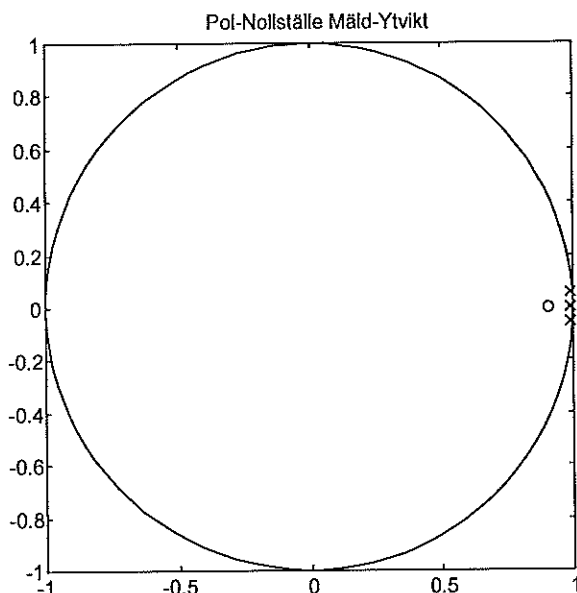
$$y(t) = \frac{-1.575 * 10^{-4} - 4.856 * 10^{-4} q^{-1} + 5.011 * 10^{-4} q^{-2} - 1.728q^{-3}}{1 - 2.964q^{-1} + 2.932q^{-2} - 0.968q^{-3}} u(t - 90)$$

Den intressanta slutsatsen av tillståndsellimineringen är att vi får stöd för vårt val av modellordning. Samma förfarande har använts på de andra relationerna som är aktuella för identifikation, och resultatet är liknande.

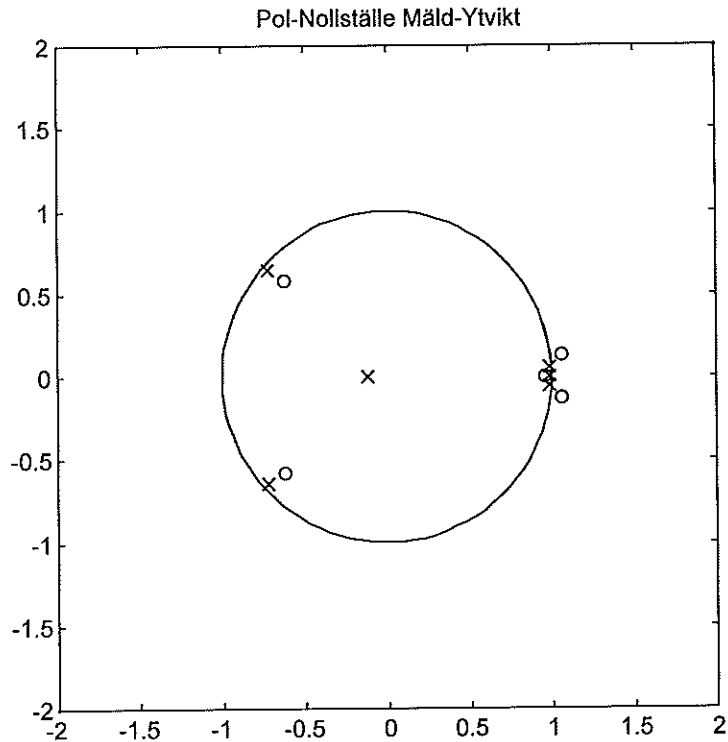
### Modellpresentation och validering

Nedan presenteras och valideras de parameter modeller som ovan tagits fram. För åskådligheten ska bli större avhandlas de fyra systemen var för sig, även om identifieringen och delvis valideringen skett parallellt.

Mäld-Ytvikt



Figur 3-16. Parametermodell. Pol-nollställe diagram för mäld-ytvikt

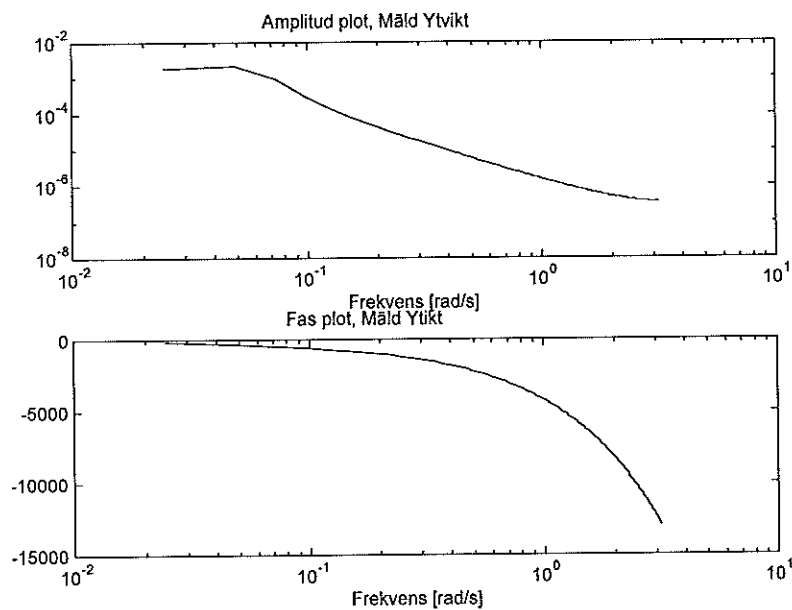


Figur 3-17. Parametermodell. Pol-nollställe diagram för mäld-ytvikt, innan tillståndsreduktion skett.

I Figur 3-16 ser vi ett pol-nollställe diagram för mäld-ytvikt. Alla tre polerna ligger nära gränsen på enhetscirkeln. Detta beror på att tidskonstanterna för systemet är väldigt stora i jämförelse med samplingstiden. De två yttre polerna motsvarar ett relativt odämpat andra ordningens system. Nollstället säger oss att det helt klart handlar om ett minfas system.

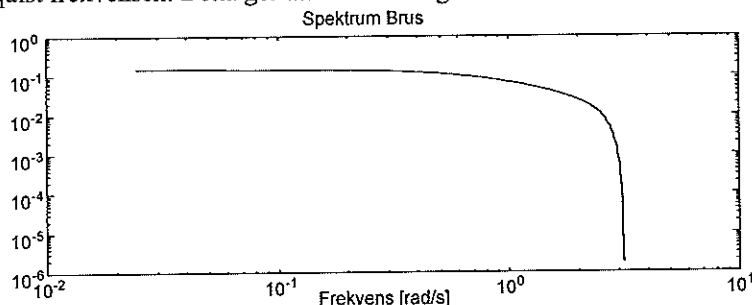
Figur 3-17 visar fallet med tillståndsreduktion. Typiskt för övermodellering av systemet är att poler och nollställen grupperas i par pol-nollställe.

Nedan ser vi i Figur 3-18 ett bode-diagram som beskriver mäld-ytvikt systemet vid olika frekvenser. Det som framför allt är värt att notera här är den stora fasförlusten vid högre frekvenser. Detta är karakteristiskt för system med stor tidsfördröjning.



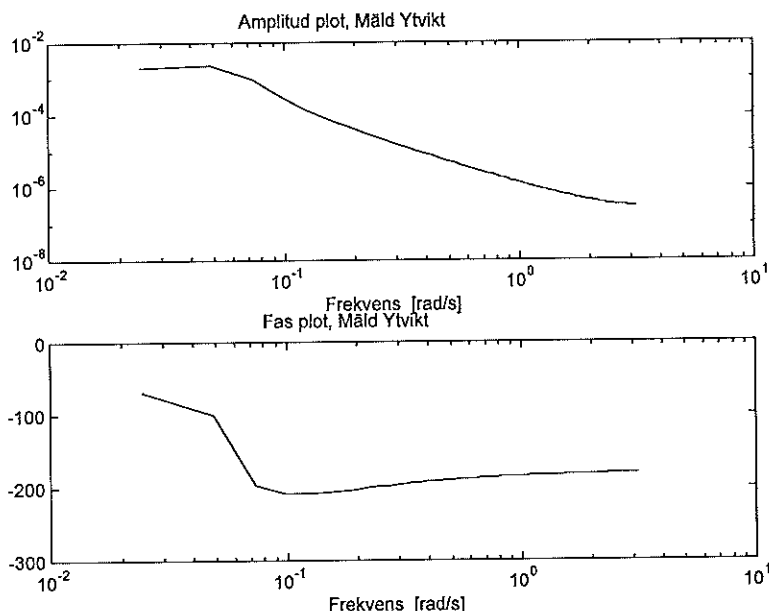
Figur 3-18. Bodeplot för parametermodell mäld-ytvikt, inom mätdatas begränsningar.

I loglog diagrammet i Figur 3-19 syns spektrumet för brusets. Brusnivån håller sig relativt jämn nästan ända fram till nyquist frekvensen. Detta gör att vi kan antaga att brusets beskrivs bra som vitt.



Figur 3-19. Bodeplot för brusmodell i parametermodell mäld-ytvikt, inom mätdatas begränsningar.

För att få en relevantare bodekurva har vi på samma sätt som vid tillståndselimineringen förskjutit data dödtid punkter. Vid detta förfarande får vi en annan parametermodell. Polerna är nära nog de samma, men dödtiden har eliminerats. Den nya parametermodellen har bodekurva enligt Figur 3-20. Eftersom parametermodellen inte innehåller någon integrerande faktor börjar faskurvan vid noll. Det finns två fler poler än nollställe, så att bodekurvan slutar i  $-180^\circ$ . Nollan ligger närmare origo än polerna i pol-nollställe diagrammet. Detta avspeglar sig här i att faskurvan går ner under  $-180^\circ$  innan den åter vänder uppåt.



Figur 3-20. Bodeplot för parametermodell mäld-ytvikt utan dödtiden, inom mätdatas begränsningar.

Vi skriver systemet som en överföringsfunktion:

$$y(t) = \frac{1.487 * 10^{-6} - 1.349 * 10^{-6} q^{-1}}{1 - 2.970 q^{-1} + 2.943 q^{-2} - 0.973 q^{-3}} u(t - 90)$$

Polerna till överföringsfunktionen är:

$$p_{12} = 0.99250$$

$$p_3 = 0.98864 \pm 0.05737i$$

Transformerat till kontinuerlig tid blir polerna:

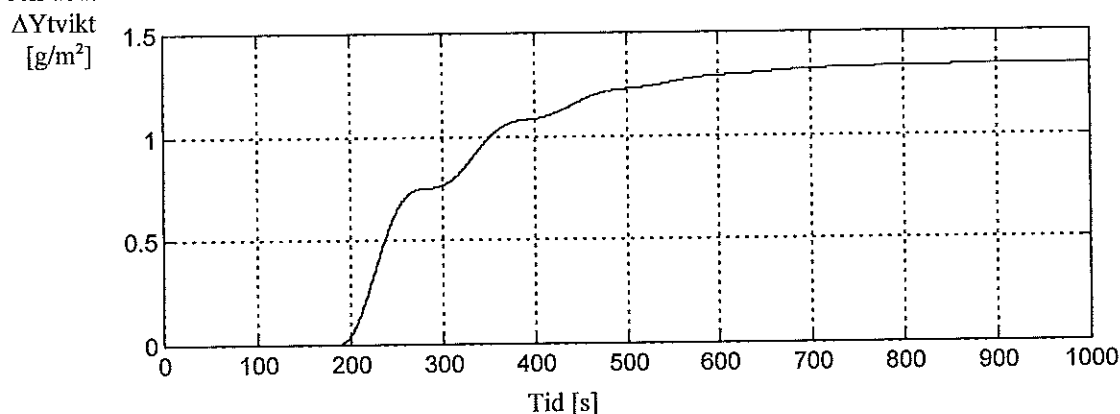
$$p_{12}^c = -0.00974 \pm 0.05796i$$

$$p_3^c = -0.00752$$

Pol  $p_3^c$  motsvarar ett system med tidskonstanten  $T_3 = 133$  s. Polerna  $p_{12}$  motsvarar ett andra ordningens system med  $\omega_0 = 0.0588$  och  $\zeta = -0.166$ , dvs ett relativt odämpat system.  $\omega_0 = 0.0588$  motsvara  $T_0 = 17$  s. Den statiska förstärkningen för systemet fås ur slutvärdesteoremet och beräknas till  $K = 0.00508$  g min/m<sup>2</sup> L.

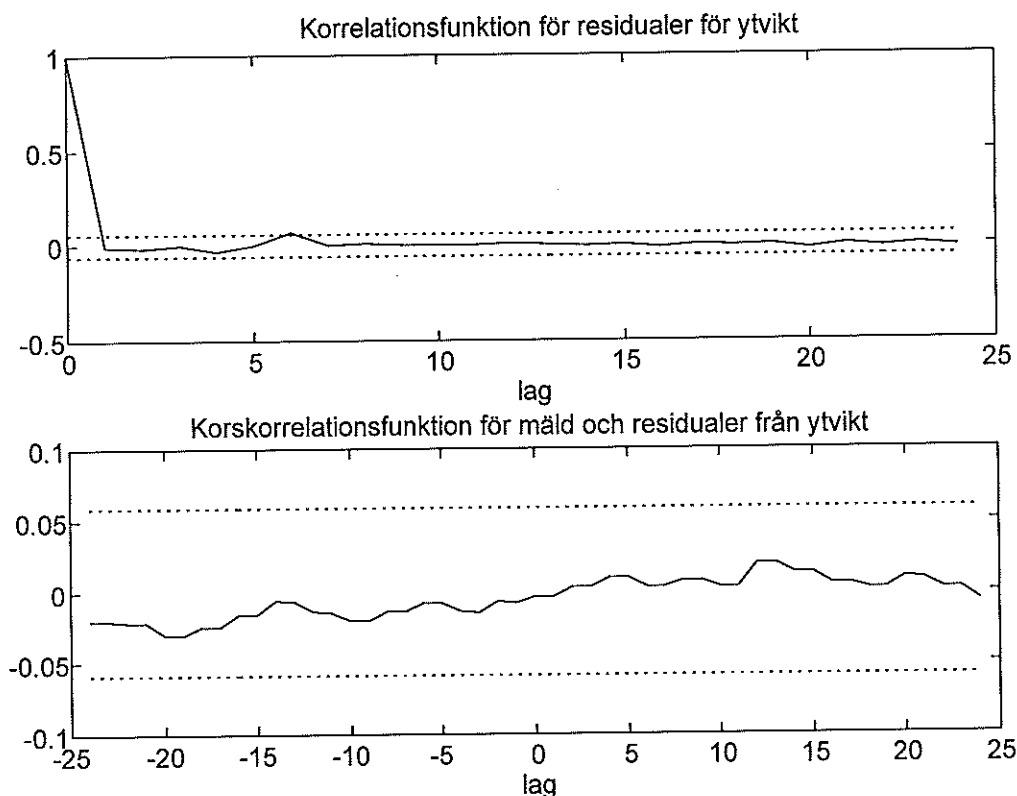
Stegsvaret för systemet finns i Figur 3-21. Som synes framträder svängningarna tydligare än i det medelvärdesbildade steget i Figur 3-1. Stegsvaret för parametermodellen är också betydligt snabbare. Detta

beror på zonräknaren som tar hänsyn till upptagningar upp till 105 s tillbaka i tiden. Den statistiska förstärkningen och dödtiden stämmer väl överens.



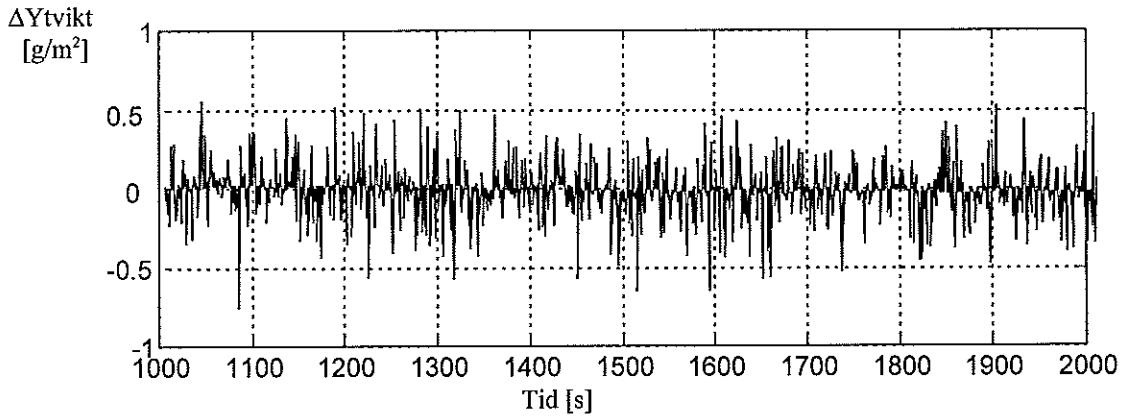
Figur 3-21. Stegsvvar för parametermodellen för systemet mäld-ytvikt. Mäldsteg om +250 L/min.

Ett sätt att utvärdera parametermodellen är att undersöka residualerna, dvs skillnaden mellan data och parametermodell. I Figur 3-22 återfinns korrelationsfunktionen för residualerna och korskorrelationen mellan mäld och residualerna för ytvikt. I diagrammen finns även 0.99 konfidensintervall gränser. Det första diagrammet säger oss att det antagligen finns någon dynamik i störningarna som inte fullständigt modellerats, dock inte större än att vi inte behöver förkasta parametermodellen. Det senare diagrammet säger oss att vi med 99% säkerhet kan förkasta att större korrelation än 6% mellan mäld och residualer förekommer.

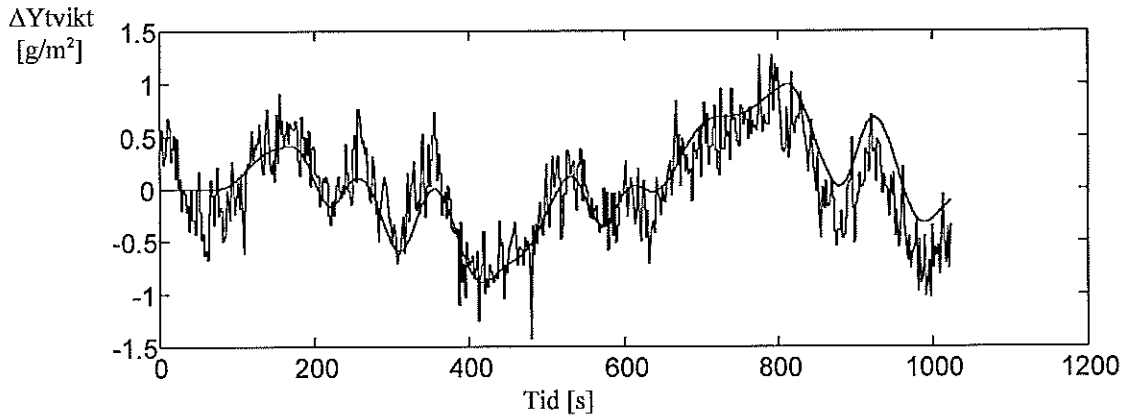


Figur 3-22. Korrelation för residualer för ytvikt och korskorrelation mellan mäld och residualer för ytvikt.

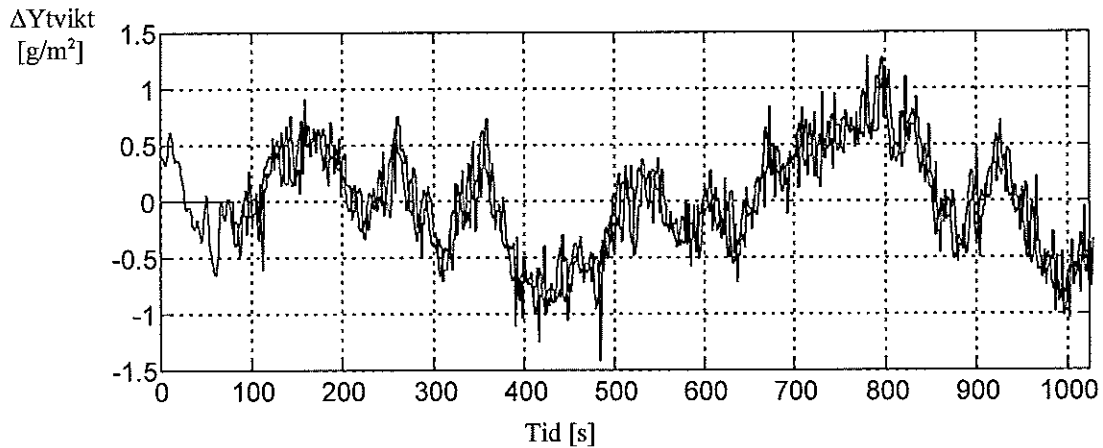
I Figur 3-23 finns residualerna för 1000 - 2000 upptagna. Som synes är de betydande, men av samma storlek och utseende som i Figur 2-12 där vi ser en upptagning utan förändringar av mäldflöde.



Figur 3-23. Residualer för ytvikt vid jämförelse mellan parametermodell och data.

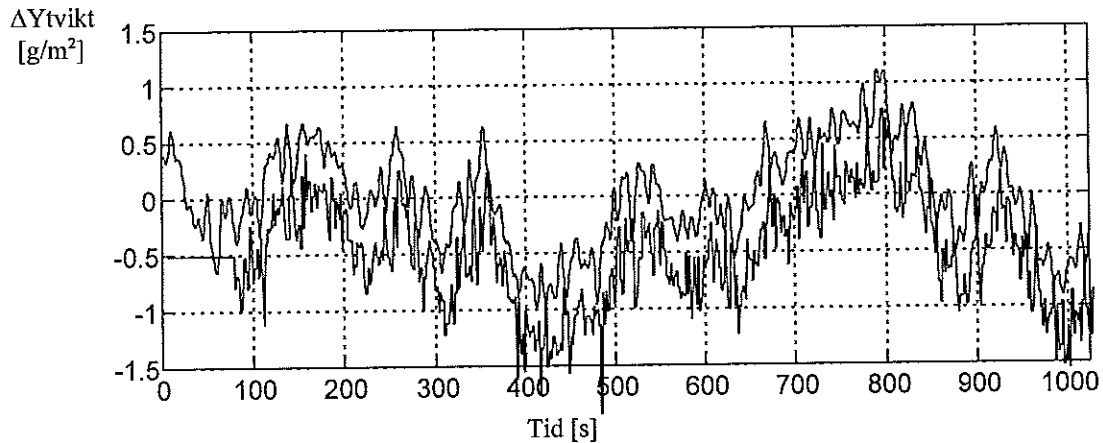


Figur 3-24. Valideringsdata kontra parametermodell för mäld-ytvikt, ingen hänsyn har tagits brusmodell.



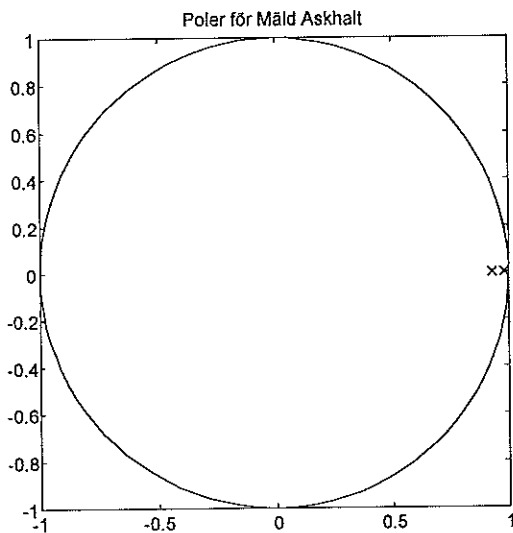
Figur 3-25. Valideringsdata kontra modell för mäld-ytvikt, hänsyn har tagits brus-modellen.

Ett slutligt test på parametermodellen är att jämföra valideringsdata med parametermodellen. I Figur 3-24 finns båda återgivna. Som synes är överensstämmelsen god. Att parametermodellen avviker i början beror på tidsfördröjningen. En omöjlig prediktion hade varit nödvändig för överensstämmelse de första sekunderna. Förstärkningen avviker litet, så att parametermodellen överskattar den. Om vi inkluderar modellen för bruset får vi kurvorna i Figur 3-25. För att kunna urskilja kurvorna tydligare har i Figur 3-26 parametermodellen förskjutits  $-0.5 \text{ g/m}^2$ . Som synes är parametermodellens överensstämmelse med data god.



Figur 3-26. Valideringsdata kontra parametermodell för mäld-ytvikt, hänsyn har tagits brusmodell och parametermodellen har förskjutits - 0.5 g/m<sup>2</sup>.

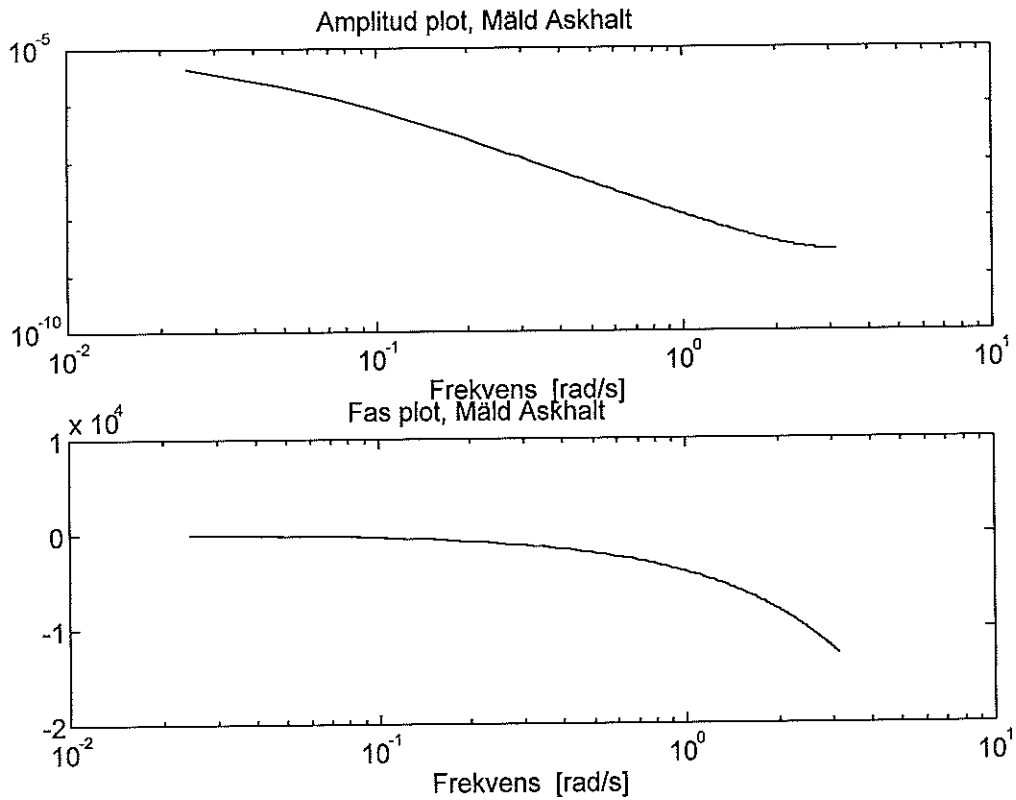
### Mäld-Askhalt



Figur 3-27. Parametermodell. Pol-nollställe diagram för mäld-askhalt.

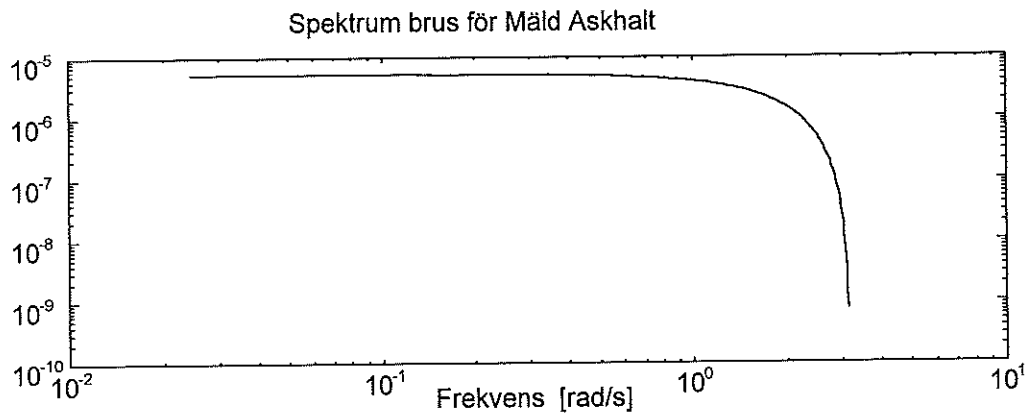
I Figur 3-27 ser vi ett pol-nollställe diagram för parametermodell mäld-askhalt. Vi kan urskilja en snabbare och en långsammare pol. Det är den långsammare polen som kommer att dominera stegsvaret.

Nedan ser vi i Figur 3-28 ett bode-diagram som beskriver parametermodell mäld-askhalt vid olika frekvenser. Notera den stora färlusten vid högre frekvenser. Detta är karakteristiskt för system med stor tidsfördröjning.

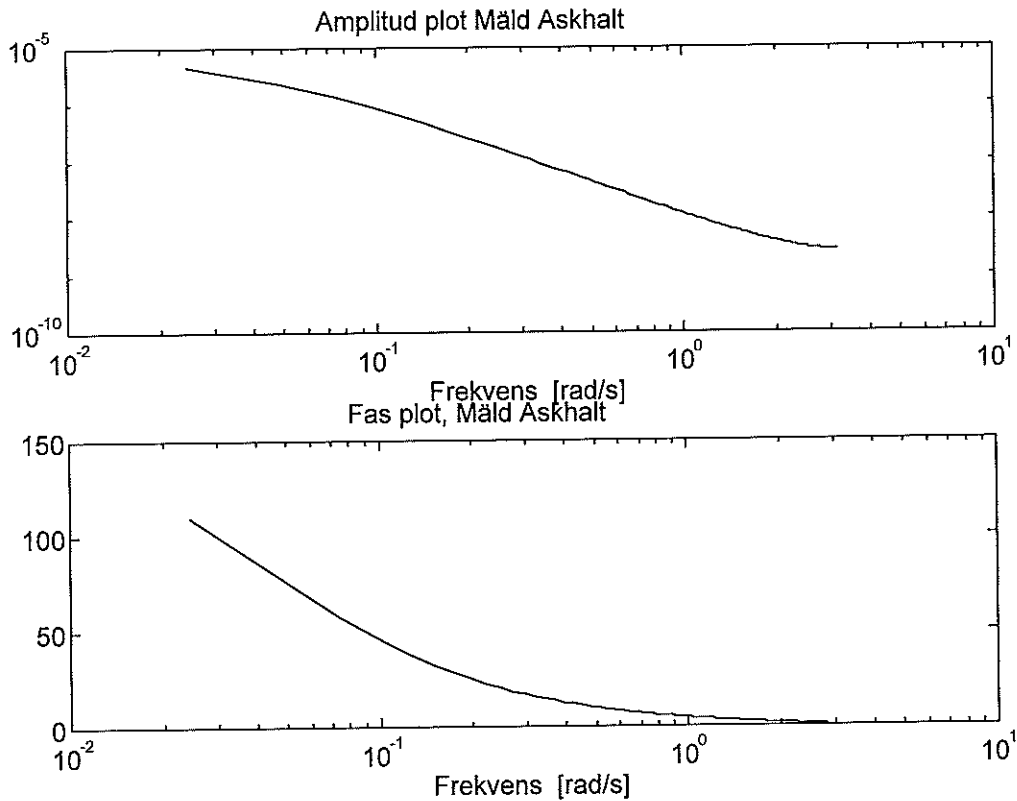


Figur 3-28. Bodeplot för parametermodell mäld-askhalt, inom mätdatas begränsningar.

I loglog diagrammet i Figur 3-29 syns spektrumet för bruset. Brusnivån håller sig relativt jämn nästan ända fram till nyquist frekvensen. Detta gör att vi kan antaga att bruset beskrivs bra som vitt.



Figur 3-29. Bodeplot för brus i parametermodell mäld-askhalt, inom mätdatas begränsningar.



Figur 3-30. Bodeplot för parametermodell mäld-askhalt utan dödtid, inom mätdatas begränsningar.

Figur 3-30 visar bodekurva då dödtiden eliminerats genom förskjutning av dataserien. Faskurvan börjar i  $180^\circ$  och slutar i  $0^\circ$ , beroende på att den negativa förstärkningen förskjuter kurvan  $180^\circ$  och att polöverskottet är två.

Vi skriver systemet som en överföringsfunktion:

$$y(t) = \frac{-1.00 \cdot 10^{-8}}{1 - 1.910q^{-1} + 0.912q^{-2}} u(t - 90)$$

Polerna till överföringsfunktionen är:

$$p_1 = 0.98146$$

$$p_2 = 0.92899$$

Transformerat till kontinuerlig tid blir polerna:

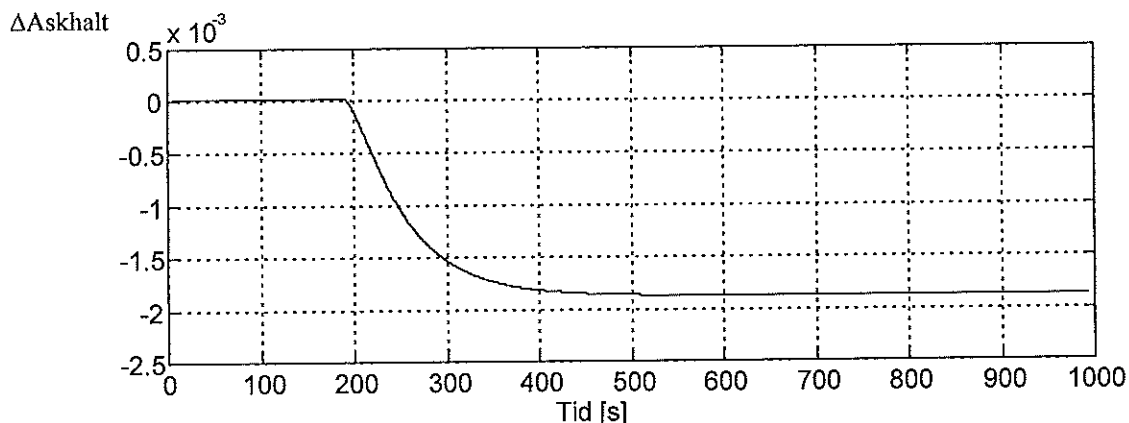
$$p_1^c = -0.01872$$

$$p_2^c = -0.07366$$

Pol  $p_1^c$  motsvarar ett system med tidskonstanten  $T_1 = 53.4$  s, och pol  $p_2^c$  ett system med  $T_2 = 13.6$  s. Den statiska förstärkningen för systemet fås ur slutvärdesteoremet och beräknas till  $K = -7.62e-6$  min/L. Inga nollställen men svaret är negativt.

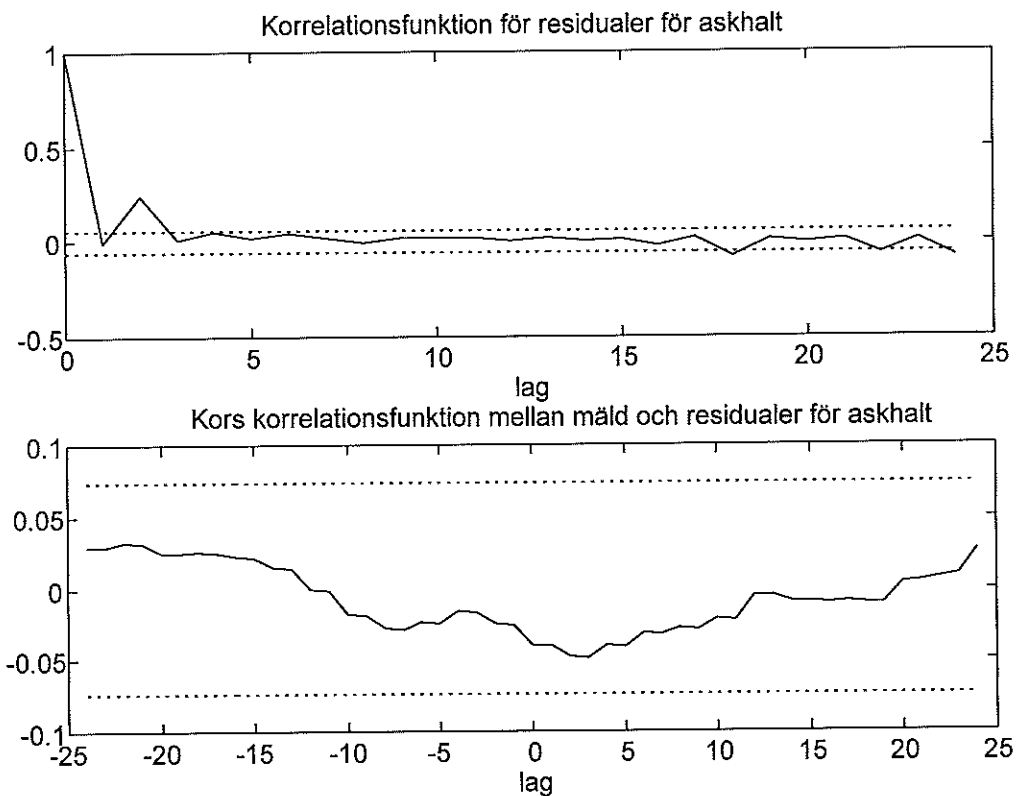
Stegsvaret för systemet finns i Figur 3-31. Stegsvaret för parametermodellen är betydligt snabbare än för processen i Figur 3-2. Detta beror på zonräknaren, som tar hänsyn till upptagningar upp till 105 s tillbaka i tiden. Den statiska förstärkningen och dödtiden stämmer väl överens.





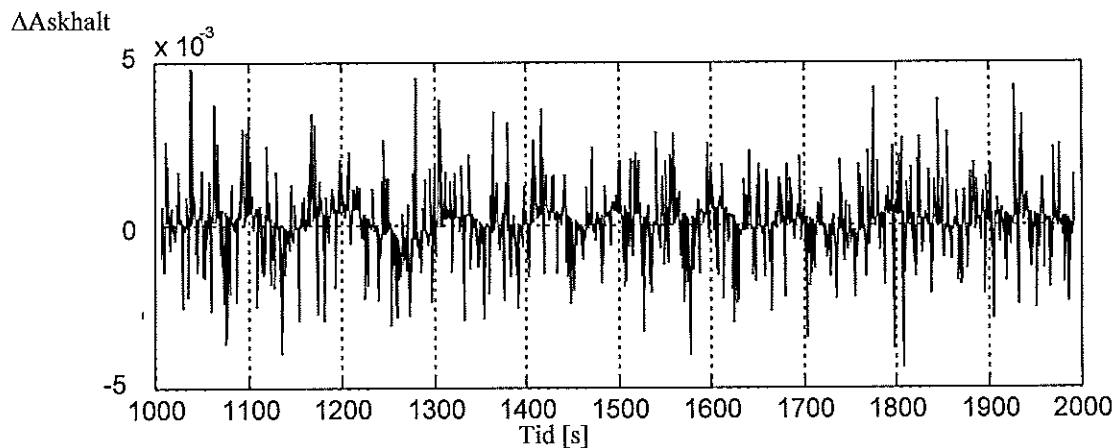
Figur 3-31. Stegsvär för parametermodellen för systemet mäld-askhalt.

I Figur 3-32 återfinns korrelationsfunktion för residualerna och korskorrelation mellan mäld och residualerna för ytvikt. I diagrammen finns även 0.99 konfidensintervall gränser. Det första diagrammet visar att ett beroendet mellan residualer belägna två samplingsenheter, dvs 2 s inte kan förkastas. En högre ordningens modell hade säkert eliminerat beroendet. Avvikelsen bedöms inte vara stor nog här för att motivera detta. Det senare diagrammet säger oss att vi kan med 99% säkerhet förkasta att större korrelation än 8 % mellan mäld och residualer förekommer.

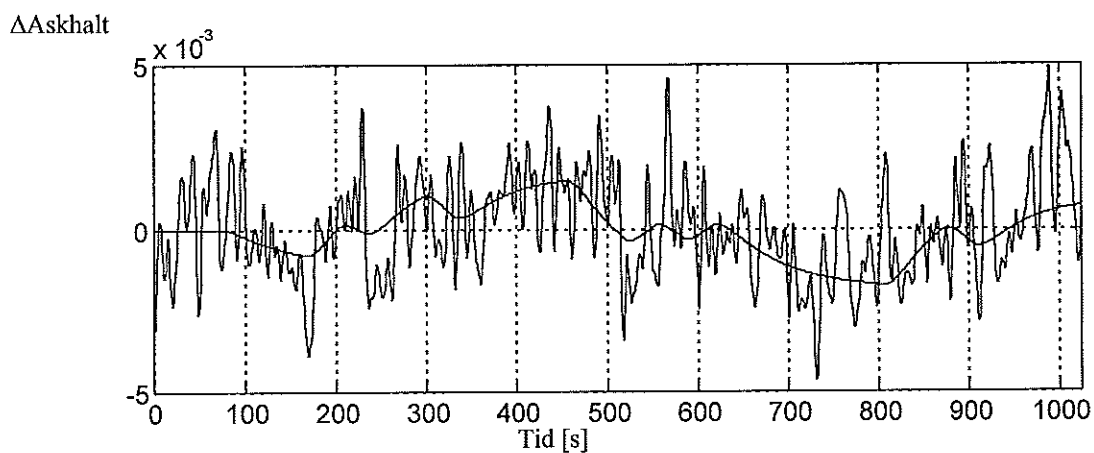


Figur 3-32. Korrelation för residualer för askhalt och korskorrelation mellan mäld och residualer för askhalt.

I Figur 3-33 finns residualerna för 1000 - 2000 upptagna. Som synes är de betydande, men av samma storlek och utseende som Figur 2-13 där vi ser en upptagning utan förändringar av mäldflöde.



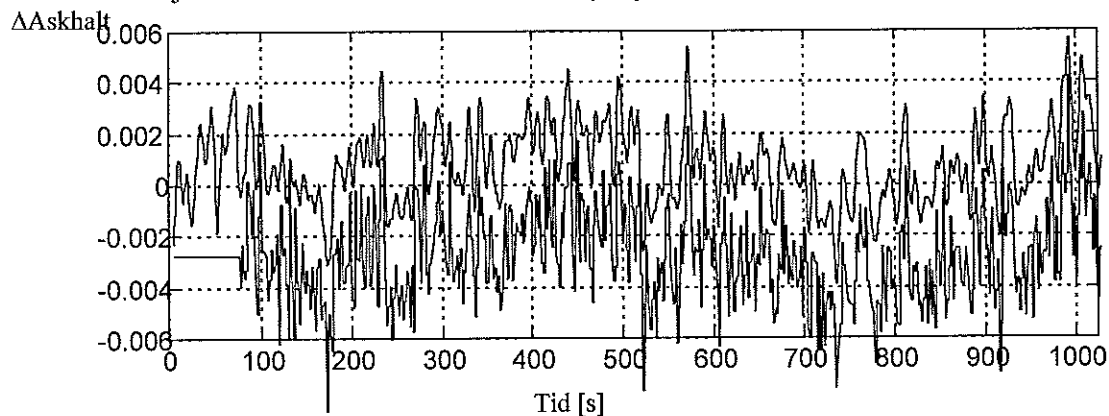
Figur 3-33. Residualer för askhalt, vid jämförelse mellan parametermodell och data.



Figur 3-34. Valideringsdata kontra parametermodell mäld-askhalt, hänsyn har inte tagits till brusmodell.

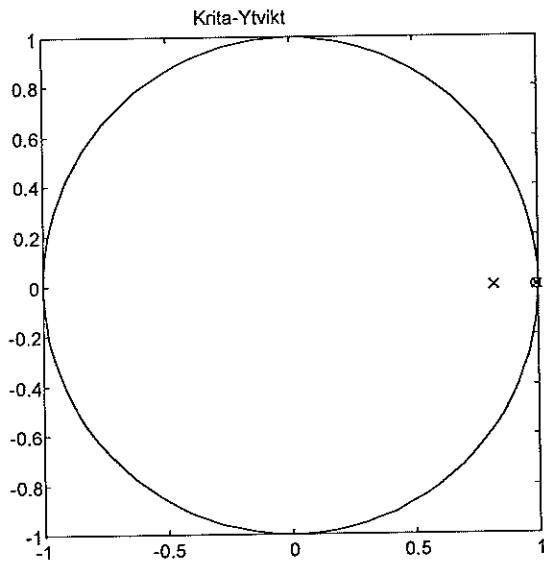
I Figur 3-34 finns både parametermodell och data återgivna. Som synes är överensstämmelsen någorlunda. En tredje pol skulle kunna tillföra en snabbare och svängigare dynamik, vilket tycks vara befogat. Å andra sidan är den absoluta påverkan mäld askhalt så liten att en avancerad modell ej är motiverad.

Slutligen visar Figur 3-35 valideringsdata kontra parametermodell inklusive brusmodell. Kurvorna har i efterhand förskjutits i förhållande till varandra för att tydligare åskådliggöra.



Figur 3-35. Valideringsdata kontra parametermodell för mäld-askhalt, hänsyn har tagits brusmodell och parametermodellen har förskjutits.

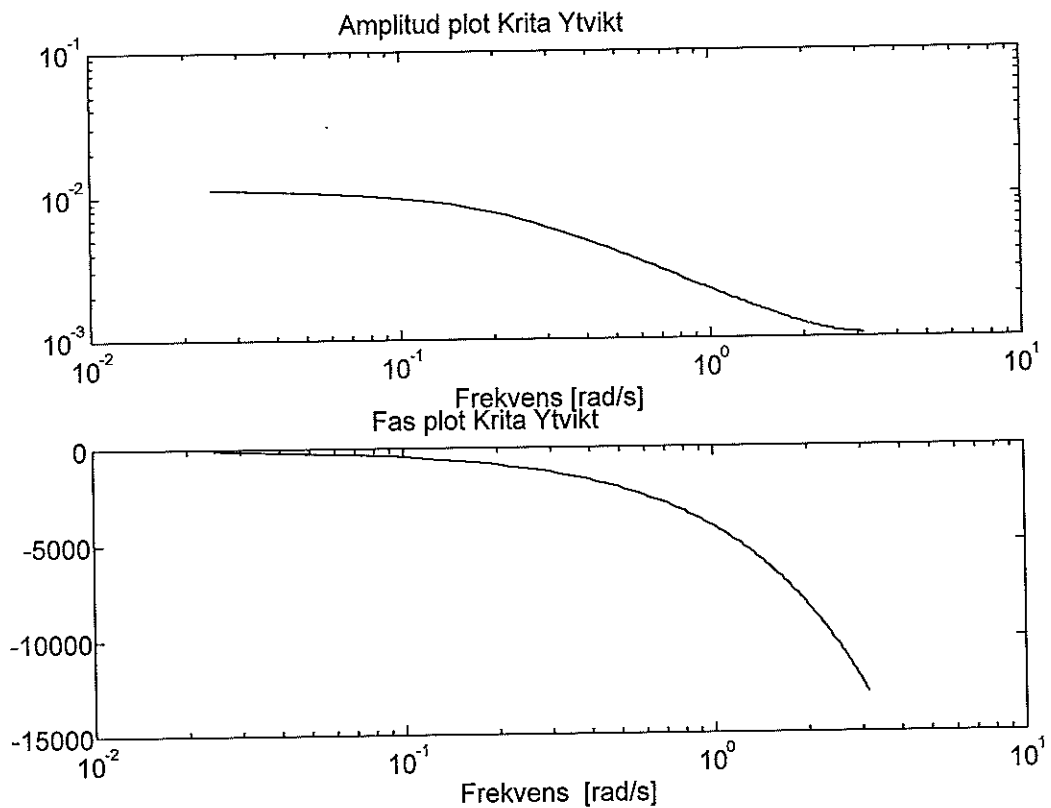
### Krita-Ytvikt



Figur 3-36. Parametermodell. Pol-nollställe diagram för krita-ytvikt.

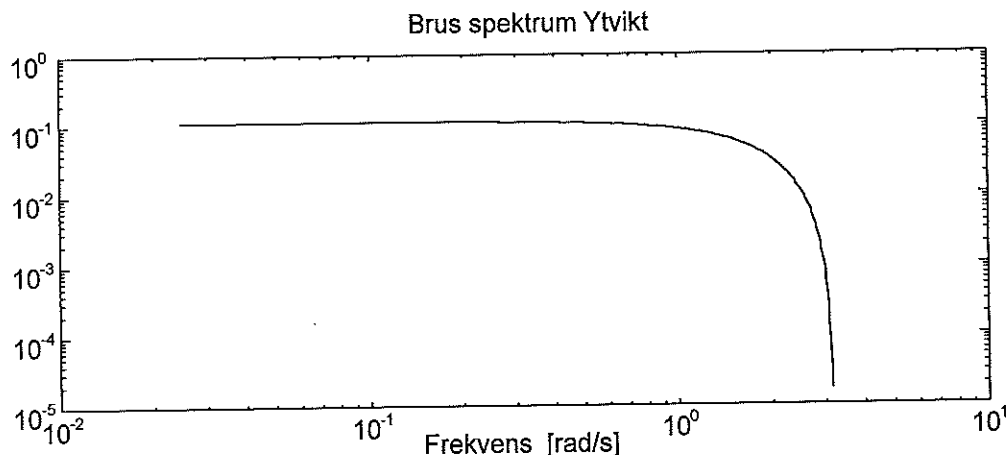
I Figur 3-36 ser vi ett pol-nollställe diagram för krita ytvikt. Vi ser två klart skilda poler. Polen längst till vänster kommer att dominera först efter förändringen och ge ett relativt snabbt svar. Den andra polen dominera senare och är mycket långsam. Nollstället tycks ligga på samma ställe som polen, och skulle kunna elimineras om så var fallet. I själva verket skiljer sig ganska mycket mellan polen och nollstället, men uttryckt i z-koordinater hamnar alla mycket långsamma poler och nollställen nära punkten (1,0).

Nedan ser vi i Figur 3-37 ett bode-diagram som beskriver parametermodell mäld-ytvikt i frekvensområde som mätdata är aktuell för. Här liksom för de andra systemen ser vi den för system med stor dötid så karaktäristiska fasförlusten vid högre frekvenser.



Figur 3-37. Bodeplot för parametermodell krita-ytvikt, inom mätdatas gränser.

I loglog diagrammet i Figur 3-38 syns spektrum för bruset. Brusnivån håller sig relativ jämn nästan ända fram till nyquist frekvensen. Detta gör att vi kan antaga att bruset beskrivs bra som vitt.



Figur 3-38. Bodeplot för brus i parametermodell krita-ytvikt, inom mätdatas gränser.

Vi skriver systemet som en överföringsfunktion:

$$y(t) = \frac{0.00194 - 0.00193q^{-1}}{1 - 1.818q^{-1} + 0.819q^{-2}} u(t - 72)$$

Polerna till överföringsfunktionen är:

$$p_1 = 0.99741$$

$$p_2 = 0.82102$$

Transformerat till kontinuerlig tid blir polerna:

$$p_1^c = -0.00260$$

$$p_2^c = -0.19721$$

Nollstället finns i:

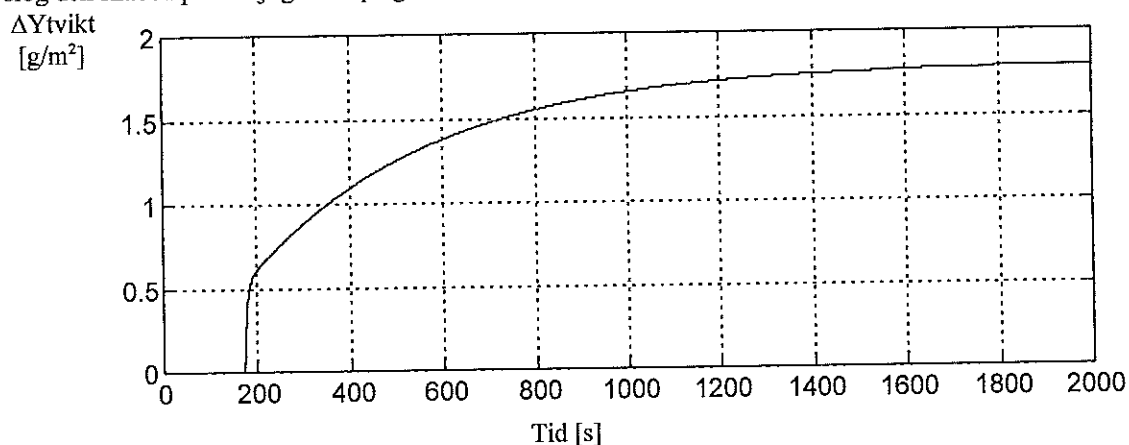
$$n = 0.99140$$

vilket motsvarar i kontinuerlig tid:

$$n^c = -0.00864$$

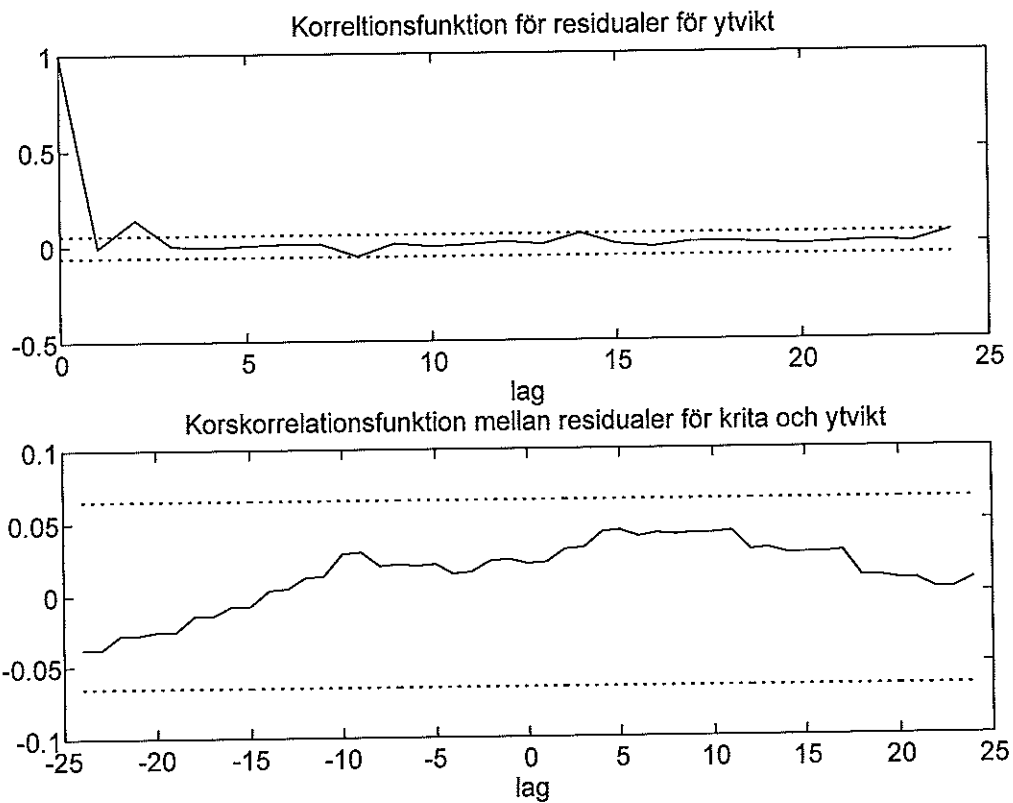
Pol  $p_1^c$  motsvarar ett system med tidskonstanten  $T_1 = 385$  s, och pol  $p_2^c$  ett system med  $T_2 = 5.1$  s. Nollstället motsvarar 116s, vilket påvisar som ovan nämnts att den pol som tycks ligga på samma ställe som nollstället inte gör det. Den statistiska förstärkningen för systemet fås ur slutvärdesteoremet och beräknas till  $K = 0.036$  g min/m<sup>2</sup>L.

Stegsvaret för systemet finns i Figur 3-39. Om man jämför steget som gjorts enligt Figur 3-4 ser vi att i det fallet slog den snabba polen ej igenom på grund av zonräkning, men den långsammare uppträder precis som förväntat.



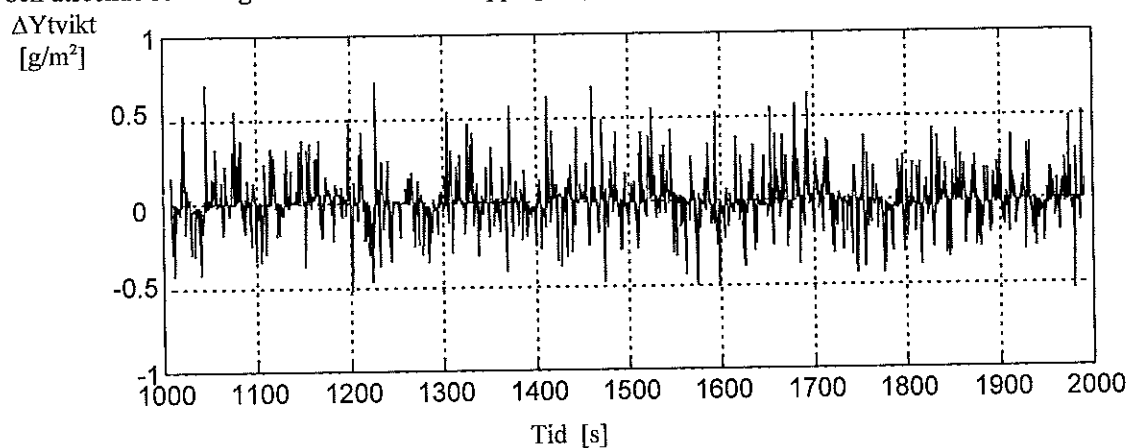
Figur 3-39. Stegsvaret för parametermodellen för systemet krita-ytvikt.

Figur 3-40 föreställer korrelationsfunktion för residualerna och korskorrelation mellan mald och residualerna för ytvikt. I diagrammen finns även 0.99 konfidensintervall gränser. Vi ser att vi har goda grunder för att inte förkasta modellen.

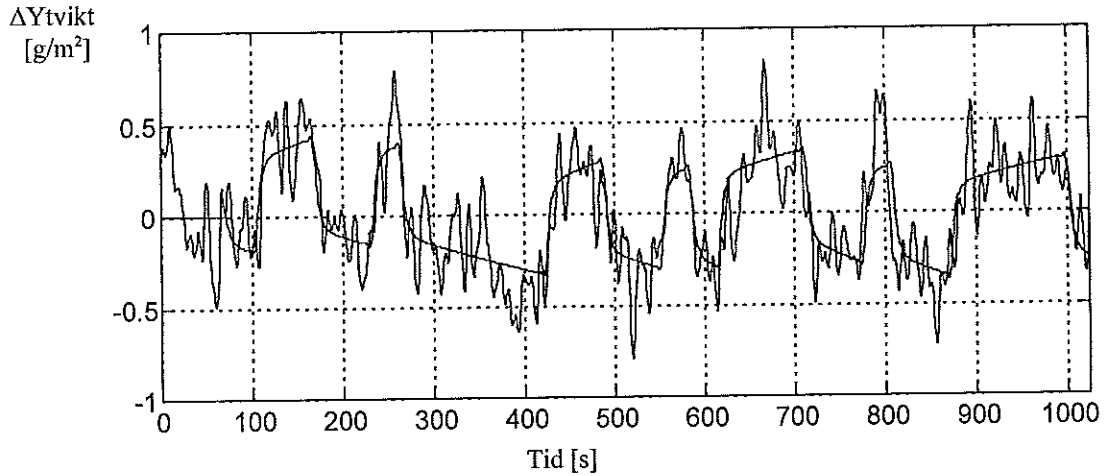


Figur 3-40. Korrelation för residualer för krita och korskorrelation mellan ytvikt och residualer för krita.

I Figur 3-41 finns residualerna för 1000 - 2000 upptagna. Som synes är de betydande, men av samma storlek och utseende som i Figur 2-12 där vi ser en upptagning utan förändringar av kritaflöde.

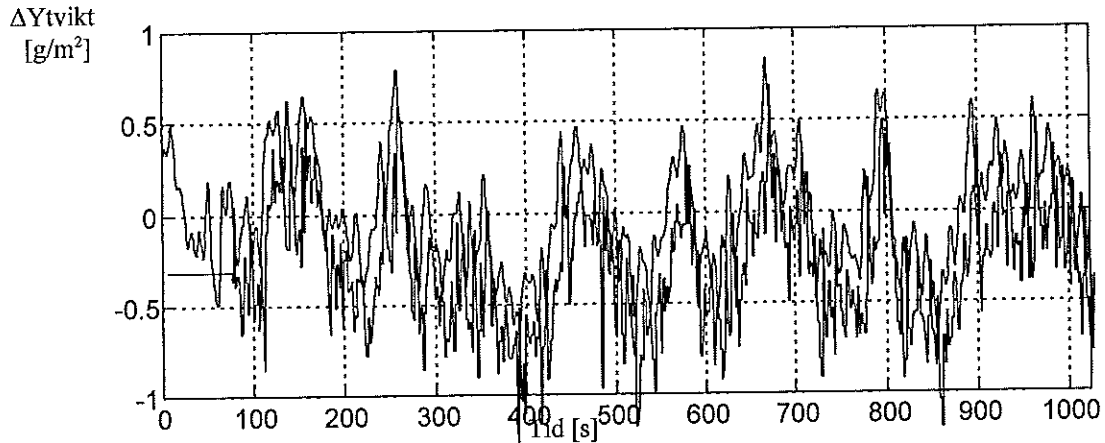


Figur 3-41. Residualer för ytvikt, vid jämförelse mellan modell och data.



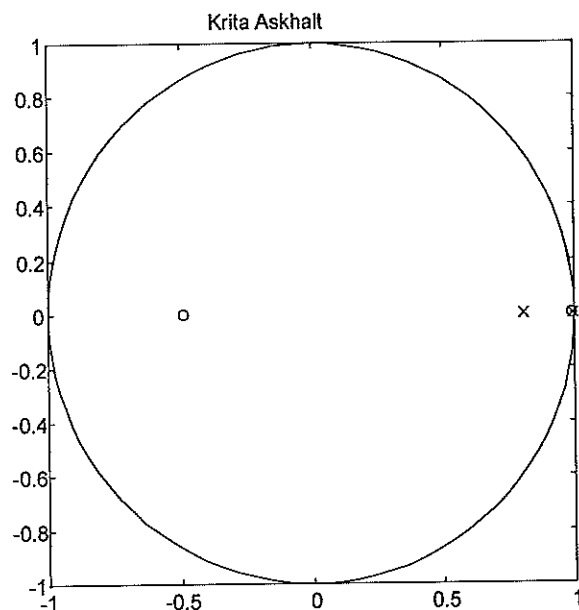
Figur 3-42. Valideringsdata kontra modell för krita-ytvikt, hänsyn har ej tagits brus-modellen.

I Figur 3-42 ovan ser vi dels parametermodell, dels valideringsdata. Som väntat gör bruset att data avviker kraftigt lokalt, men de stora dragen verkar stämma väl. Nedan i Figur 3-43 har även hänsyn tagits brus modellen,  $e(t)$  med avvikelserna  $\sigma_e^2$ . Kurvorna är så lika det är svårt att avgöra eventuella avvikelser mellan process och modell.



Figur 3-43. Valideringsdata kontra parametermodell för krita-ytvikt, hänsyn har tagits till brusmodellen. Parametermodellen har förskjutits.

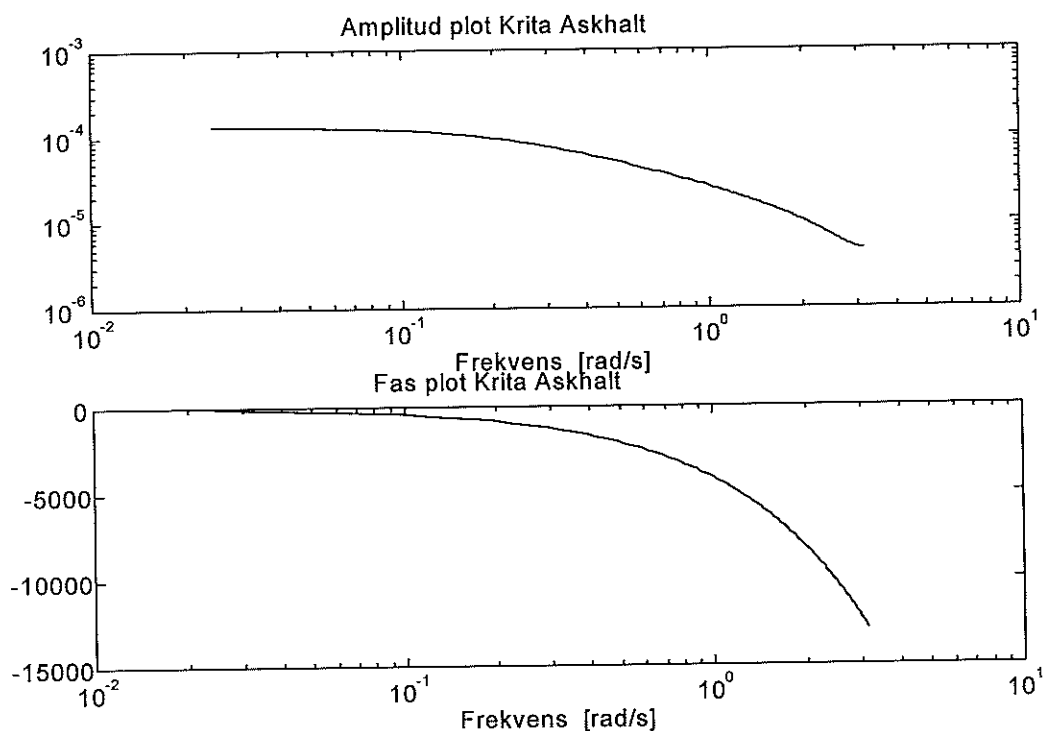
## Krita-Askhalt



Figur 3-44. Pol-nollställe diagram för parametermodell krita-askhalt.

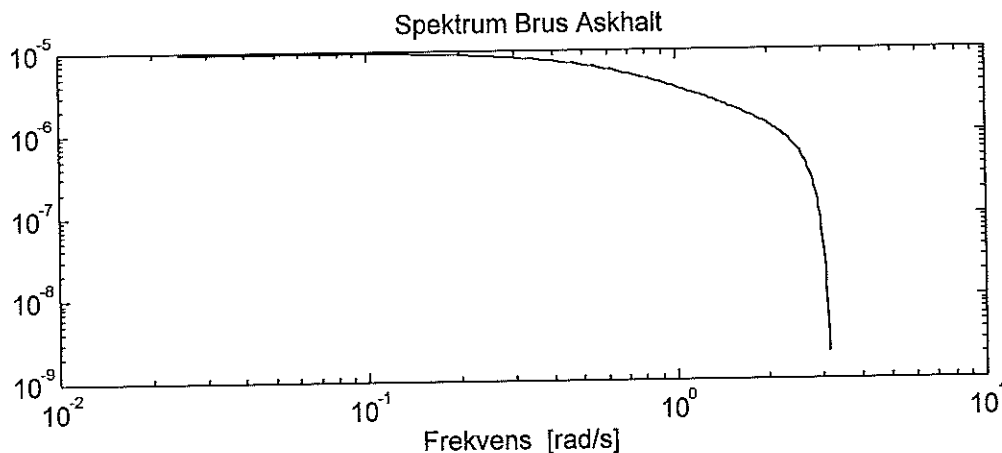
I Figur 3-44 ser vi ett pol-nollställe diagram för krita askhalt. Vi ser två klart skilda poler. Polen längst till vänster kommer att dominera först efter förändringen och ge ett relativt snabbt svar. Den andra polen dominera senare och är mycket långsam. Nollstället till vänster tycks ligga på samma ställe som polen, men gör det bara i z-kordinater och inte i tidsskala. Det högra nollstället ligger på negativa reella axeln, vilket innebär att den troligen uppkommit genom samplingen.

Nedan ser vi i Figur 3-45 ett bode-diagram som beskriver parametermodell mäld-askhalt i frekvensområdet som mätdata är giltigt för. Här liksom för de andra systemen ser vi den för system med stor dödtid så karaktäristiska fasförlusten vid högre frekvenser.



Figur 3-45. Bodeplot för parametermodellen krita-askhalt, inom mätdatas gränser.

I loglog diagrammet i Figur 3-46 syns spektrumet för bruset. Brusnivån håller sig relativt jämn nästan ända fram till nyquist frekvensen. Noterbart är att bruset minskar vid lägre frekvenser för detta system än för andra. Dock ej mer än att bruset beskrivs godtagbart som vitt.



Figur 3-46. Bodeplot för brus till parametermodell krita-askhalt, inom mätdatas gränser.

Vi skriver systemet som en överföringsfunktion:

$$y(t) = \frac{1.695 * 10^{-5} - 0.733 * 10^{-5} q^{-1} - 0.941 * 10^{-5} q^{-2}}{1 - 1.796 q^{-1} + 0.796 q^{-2}} u(t - 72)$$

Polerna till överföringsfunktionen är:

$$p_1 = 0.99749$$

$$p_2 = 0.79801$$

Transformerat till kontinuerlig tid blir polerna:

$$p_1^c = -0.00252$$

$$p_2^c = -0.22563$$

Nollstället finns i:

$$n_1 = 0.99200$$

$$n_2 = -0.55938$$

vilket motsvarar i kontinuerlig tid:

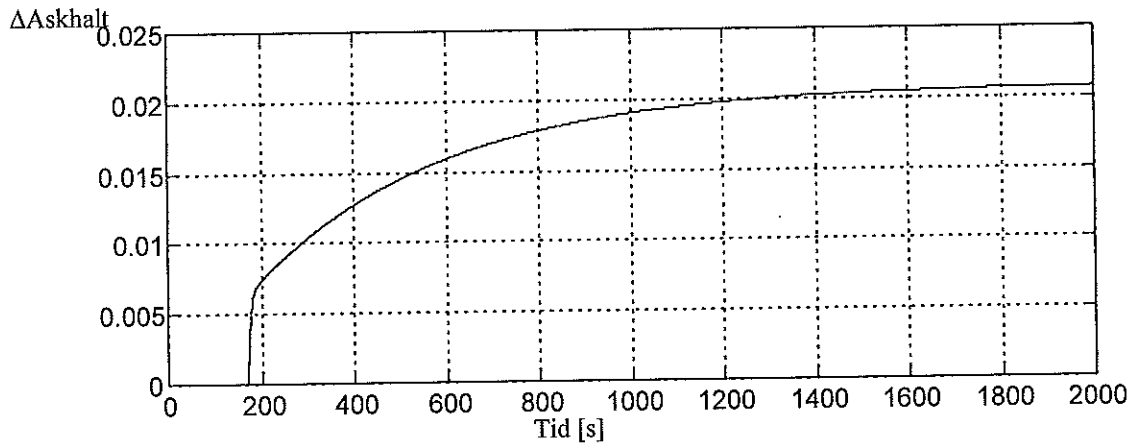
$$n_1^c = -0.00804$$

$$n_2^c = -0.58 + 3.1i$$

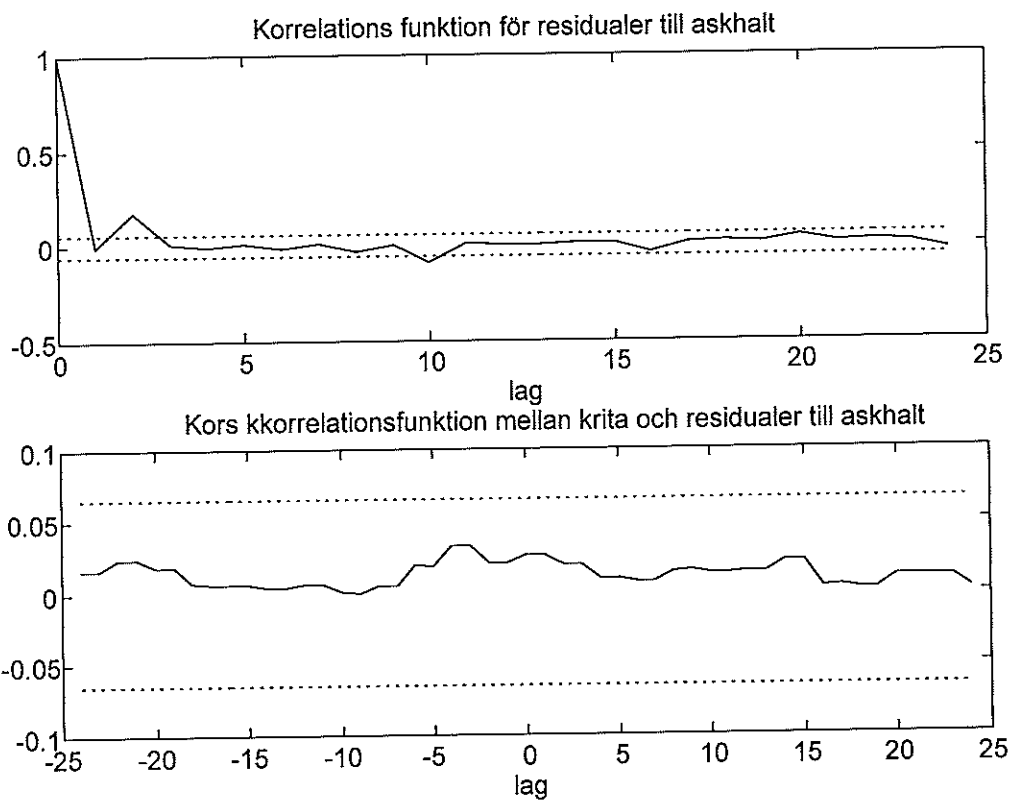
Pol  $p_1^c$  motsvarar ett system med tidskonstanten  $T_1=397$  s, och pol  $p_2^c$  ett system med  $T_2=4.4$  s. Intressant är att jämföra med systemet för krita ytvikt. Dessa poler ligger mycket nära de för det systemet, har med största sannolikhet samma ursprung, och borde alltså vara identiska. Nollstället som ligger längst till vänster motsvarar nollstället som finns i systemet krita ytvikt, i tid 124 s. De skillnader som finns mellan systemen beror troligen på stokastiska processer. I det här systemet finns dessutom ytterligare en nolla, denna kommer sannolikt av samplingen. Ett bra stöd för detta antagandet är att imaginärdelen vid transformation till kontinuerlig tid blir samma som nyquist frekvensen. Detta är typiskt för nollställen som uppkommit vid sampling. Den statiska förstärkningen för systemet fås ur slutvärdesteoremet och beräknas till  $K=4.1701e-4$  min/L.

Stegsvaret för systemet finns i Figur 3-47. Om man jämför med upptagningar som gjorts enligt Figur 3-4 ser vi att i det fallet slog den snabba polen ej igenom på grund av medelvärdesbildningen, men den långsammare uppträder precis som förväntat.



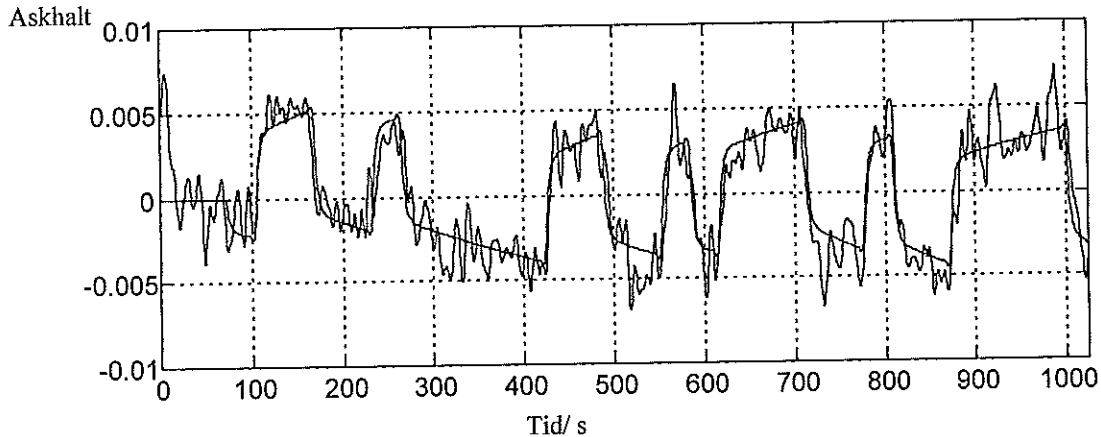


Figur 3-47. Stegsvär för parametermodellen för systemet krita-askhalt.



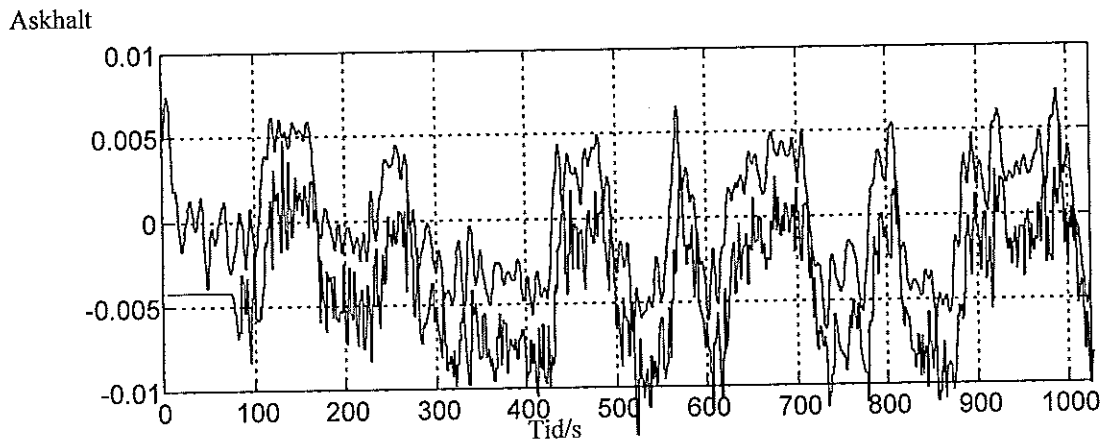
Figur 3-48. Korrelation för residualer för askhalt och korskorrelation mellan krita och residualer för askhalt

Figur 3-48 föreställer korrelations funktionen för residualerna och kors korrelationen mellan mald och residualerna för ytvikt. I diagrammen finns även 0.99 konfidens intervalls gränser. Vi ser att vi har goda grunder för att inte förkasta modellen.



Figur 3-49. Valideringsdata kontra parametermodell för krita-askhalt, hänsyn har ej tagits till brus-modellen.

I Figur 3-49 ovan ser vi dels parametermodellen, dels valideringsdata. Som väntat gör bruset att data avviker kraftigt lokalt, men de stora dragen verkar stämma väl. Nedan i Figur 3-50 har även hänsyn tagits till brusmodellen. Kurvan ligger så nära att det inte är möjligt att avgöra eventuella avvikelser som inte är stokastiska.



Figur 3-50. Valideringsdata kontra parametermodell för krita-askhalt, hänsyn har tagits till brus-modellen, parametermodellen har förskjutits.

### Sammanfattning av processidentifiering

Här sammanfattas de dödtider, tidskonstanter och statiska förstärkningar som identifierats och de parametermodeller som tagits fram i processidentifiering.

#### Mäld-Ytvikt

$$y(t) = \frac{1.49 \cdot 10^{-6} - 1.35 \cdot 10^{-6} q^{-1}}{1 - 2.961q^{-1} + 2.943q^{-2} - 0.973q^{-3}} u(t - 90)$$

Polerna till överföringsfunktionen är:

$$p_{12} = 0.99250$$

$$p_3 = 0.98864 \pm 0.05737i$$

Transformerat till kontinuerlig tid blir polerna:

$$p_{12}^c = -0.00974 \pm 0.05796i$$

$$p_3^c = -0.00752$$

Pol  $p_3^c$  motsvarar ett system med tidskonstanten  $T_3=133$  s. Polerna  $p_{12}$  motsvarar ett andra ordningens system med  $\omega_0=0.0588$  och  $\zeta=-0.166$ , dvs ett relativt odämpat system.  $\omega_0=0.0588$  motsvara  $T_0=17$  s. Den statiska förstärkningen för systemet fås ur slutvärdesteoremet och beräknas till  $K=0.00508$  g min/m<sup>2</sup> L.

### Mäld-Askhalt

$$y(t) = \frac{-1.00 \cdot 10^{-8}}{1 - 1.910q^{-1} + 0.912q^{-2}} u(t - 90)$$

Polerna till överföringsfunktionen är:

$$p_1 = 0.98146$$

$$p_2 = 0.92899$$

Transformerat till kontinuerlig tid blir polerna:

$$p_1^c = -0.01872$$

$$p_2^c = -0.07366$$

Pol  $p_1^c$  motsvarar ett system med tidskonstanten  $T_1 = 53.4$  s, och pol  $p_2^c$  ett system med  $T_2 = 13.6$  s. Den statiska förstärkningen för systemet fås ur slutvärdesteoremet och beräknas till  $K = -7.62e-6$  min/L. Inga nollställen men svaret är negativt.

### Krita-Ytvikt

$$y(t) = \frac{0.00194 - 0.00193q^{-1}}{1 - 1.818q^{-1} + 0.819q^{-2}} u(t - 72)$$

Polerna till överföringsfunktionen är:

$$p_1 = 0.99741$$

$$p_2 = 0.82102$$

Transformerat till kontinuerlig tid blir polerna:

$$p_1^c = -0.00260$$

$$p_2^c = -0.19721$$

Nollstället finns i:

$$n = 0.99140$$

vilket motsvarar i kontinuerlig tid:

$$n^c = -0.00864$$

Pol  $p_1^c$  motsvarar ett system med tidskonstanten  $T_1 = 385$  s, och pol  $p_2^c$  ett system med  $T_2 = 5.1$  s. Nollstället motsvarar 116s, vilket påvisar som ovan nämnts att den pol som tycks ligga på samma ställe som nollstället inte gör det. Den statiska förstärkningen för systemet fås ur slutvärdesteoremet och beräknas till  $K = 0.036$  g m<sup>2</sup>/minL.

### Krita-Askhalt

Vi skriver systemet som en överföringsfunktion:

$$y(t) = \frac{1.695 \cdot 10^{-5} - 0.733 \cdot 10^{-3} q^{-1} - 0.941 \cdot 10^{-5} q^{-2}}{1 - 1.796q^{-1} + 0.796q^{-2}} u(t - 72)$$

Polerna till överföringsfunktionen är:

$$p_1 = 0.99749$$

$$p_2 = 0.79801$$

Transformerat till kontinuerlig tid blir polerna:

$$p_1^c = -0.00252$$

$$p_2^c = -0.22563$$

Nollstället finns i:

$$n_1 = 0.99200$$

$$n_2 = -0.55938$$

vilket motsvarar i kontinuerlig tid:

$$n_1^c = -0.00804$$

$$n_2^c = -0.58 + 3.1i$$

Pol  $p_1^c$  motsvarar ett system med tidskonstanten  $T_1 = 397$  s, och pol  $p_2^c$  ett system med  $T_2 = 4.4$  s. Nollstället som ligger längst till vänster motsvarar i tid 124 s. Den andra nollan kommer sannolikt av samplingen. Ett bra stöd för detta antagandet är att imaginärdelen vid transformation till kontinuerlig tid blir samma som nyquist frekvensen. Detta är typiskt för nollställen som uppkommit vid sampling. Den statiska förstärkningen för systemet fås ur slutvärdesteoremet och beräknas till  $K = 4.1701e-4$  min/L.

## Simulink modell

I simulink har en modell byggts som modellerar processens fysiska delar var för sig. Delarna kopplas sedan samman på samma sätt som i processen.

Insignaler till processen som helhet är mängden massa och mängden krita som går in i processen. Utsignaler är papperets ytvikt och askhalt. I Figur 3-100 finns hela modellen avbildad.

Flödet är genomgående dynamiskt i verkligheten men modelleras som konstant. Kompensation för denna förenkling görs i koncentrationerna så att dynamik blir densamma.

Varje delmodell utom Inblock och Torkeparti har koncentrationer för massa och krita som insignaler och utsignaler. Nedan beskrivs de olika delarna som grundblock, dels matematiskt, dels som simulink block. Mellan blocken går streck, som motsvarar vektorer med koncentrationer för massa och krita.

Efter grundblocken följer ett avsnitt om modellering av regleringen

### Grundblock

Genomgående betecknar F fiberkoncentration och K krita koncentration.  $F$  och  $K$  betecknar respektive Laplace transform.

Genomgående antas vätskan uppföra sig som en ideal, homogen fluid utan friktion mot begränsningsytor.

### Inblock

Till blocket kommer flöde för mäld och krita, samt koncentration massa och krita i mäld. Koncentrationen krita är konstant i processen och har därför satts så även i modellen. Flödet från Inblock är konstant, liksom genom resten av modellen. Den verkliga variation på flödet är stor i detta fall, men utblandning sker i blandpunkten efter BV-silon och kompensation direkt efter i en reglerad pump.

### Rör:

Antagande: Homogent flöde över rörets tvärsnittet.

Ren tidsfördröjning, utkoncentrationerna är lika med inkoncentrationerna men tidsfördröjda med

$$T = A \cdot l / Q, \text{ där}$$

$$A = \text{Rörets tvärsnittsarea}$$

$$L = \text{Rörets längd}$$

$$Q = \text{Flödet genom röret}$$

Vi får alltså

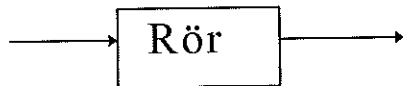
$$F_{ut}(t) = F_{in}(t - T)$$

$$F_{ut}(s) = F_{in}(s) \cdot e^{-Ts}$$

och

$$K_{ut}(t) = K_{in}(t - T)$$

$$K_{ut}(s) = K_{in}(s) \cdot e^{-Ts}$$



Figur 3-51. Simulink klots för rör.

Rör (Mask)	
Block name: Rör 1	<input type="text"/>
Block type: Rör (Mask)	<input type="text"/>
Rör ger upphov till tidsfördröjning. $T=d*d*pi*L/4/Q*skala.$	<input type="text"/>
Flöde i kg/min, Q:	<input type="text" value="60000"/>
Diameter i m, d:	<input type="text" value="1"/>
Längd i m, L:	<input type="text" value="34"/>
Begynnelsekonc fiber:	<input type="text" value="0.70"/>
Begynnelsekonc krita:	<input type="text" value="0.14"/>

Figur 3-52. Användargränssnitt för rör.

### Tank:

Antagande: Omedelbar och ideal blandning. Homogen mäld.

Första ordningens system.

Tillståndsvariabel är fibermassa respektive kritamassa.

$V$  = Tankens volym

$Q_{in}$  = Inflöde

$Q_{ut}$  = Utflöde

$m$  = massa i tanken

$$m' = m_{in}' - m_{ut}'$$

$$m_{in}' = Q_{in} * F_{in}$$

$$m_{ut}' = Q_{ut} * F_{ut}$$

$$F_{ut} = m/V$$

$$\Rightarrow \begin{aligned} m' &= -Q_{ut}/V * m + Q_{in} * F_{in} \\ F_{ut} &= 1/V * m \end{aligned}$$

Om tanken är nivå reglerad, vilket förutsätts i modellen gäller  $Q_{ut} = Q_{in} = Q$ .

$$m' = -Q/V * m + Q * F_{in}$$

$$F_{ut} = 1/V * m$$

I s-planet får vi:

$$sM = -Q/V * M + Q * F_{in}$$

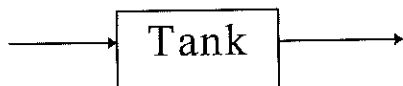
$$F_{ut} = 1/V * M$$

$$\Rightarrow \begin{aligned} M &= (s + Q/V)^{-1} * Q * F_{in} \\ F_{ut} &= (V/Q * s + 1)^{-1} * F_{in} \end{aligned}$$

Vi har alltså ett första ordningens system med en tidskonstant:

$$T = V/Q$$

Motsvarande gäller för krita



Figur 3-53. Simulink klots för tank.

Tank (Mask)	
Block name: BV-silo	<input type="text"/>
Block type: Tank(Mask)	<input type="text"/>
Blandar in inflödet idealt. Ut konc är tank konc	<input type="text"/>
Flöde i kg/min, Q:	<input type="text"/>
	77085
Volym i L, V	<input type="text"/>
	110000
Begynnelsekonc fiber:	<input type="text"/>
	FBV
Begynnelsekonc krita:	<input type="text"/>
	KBV

Figur 3-54. Användargränssnitt för Tank.

### Blandpunkt:

Antagande: ideal blandning.

Flöden sammanstrålar och blandas.

$Q1 = \text{Inflöde 1}$

$F1 = \text{Inkoncentration 1}$

$Q2 = \text{Inflöde 2}$

$F2 = \text{Inkoncentration 2}$

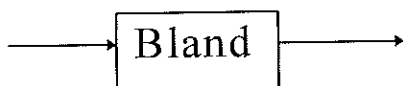
$Q_{ut} = \text{Utflöde}$

$F_{ut} = \text{Utkoncentration}$

$$Q_{ut} * F_{ut} = Q1 * F1 + Q2 * F2$$

$$\Rightarrow F_{ut} = (Q1 * F1 + Q2 * F2) / Q_{ut}$$

Ingen dynamik.



Figur 3-55. Simulink klots för blandpunkt.

BlandTvå (Mask)	
Block name: Munstycke	<input type="text"/>
Block type: BlandTvå(Mask)	<input type="text"/>
Summerar inkoncentrationer viktat med flöden.	<input type="text"/>
Inflöde 1, Qin1:	<input type="text"/>
	41049
Inflöde 2, Qin2:	<input type="text"/>
	32451

Figur 3-56 Användargränssnitt för Blandpunkt

### Delningspunkt:

Flödet delas upp på flera flöden, alla med samma koncentration.

$$F_{ut} = F_{in}$$

Ingen dynamik.

## Retensor:

Antagande: Retention och flödeskvot oberoende av driftsläge. Antagandet kan ifrågasättas, men verifiering vid olika driftsnivåer är inte möjligt av tidigare nämnda orsaker.

$$R = m_{\text{accept}} / m_{\text{injekt}}$$

$k$  = Flödes kvot

RF = Retention fiber

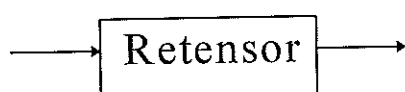
RK = retention krita

$$F_{\text{accept}} = RFk * F_{\text{injekt}}$$

$$F_{\text{rejekt}} = (1 - RF / (1 - k)) * F_{\text{injekt}}$$

$$K_{\text{accept}} = RKk * K_{\text{injekt}}$$

$$K_{\text{rejekt}} = (1 - RK / (1 - k)) * K_{\text{injekt}}$$



Figur 3-57. Simulink klots för retensor.

Retensor (Mask)	
Block name: Virvelrenare 1	<input type="text"/>
Block type: Retensor(Mask)	<input type="text"/>
Retentionsgraden, R, anger hur stor del av vikten massa respektive krita som går till accept. Flödeskvot och retention är ej detsamma.	<input type="text"/>
Injektflöde, Qi:	<input type="text" value="73500"/>
Acceptflöde, Qa:	<input type="text" value="69825"/>
Fiberretention, Rfiber:	<input type="text" value="0.88"/>
Kritaretention, Rkrita:	<input type="text" value="0.92"/>

Figur 3-58. Användargränssnitt för retensor.

## Torkpartiet

Det vatten som finns kvar efter viran avskiljs här. Utsignaler är ytvikt och askhalt. En tidsfördröjning som är lika med torkpartiets längd genom dess hastighet uppkommer.

Antagande: Ingen fukt kvar i papperet efter tork och att bestrykning med stärkelse ej sker. Antaganden stämmer ej, ty ca 5% fukthalt finns kvar och några procent stärkelse stryks på innan mätramen. Kompensation av mäld och krita flöden har skett.

$L$  = Torkpartiets längd

$B$  = Torkpartiets bredd

$v$  = Torkpartiets hastighet

$T$  = Tidsfördröjning

$Q$  = Flöde från vira

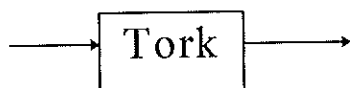
$y$  = ytvikt

$a$  = askhalt

$$T = L / v$$

$$y = m / A = Q(K + F) / (v * B)$$

$$a = K / F$$



Figur 3-59. Simulink klots för tork.

Tork (Mask)	
Block name: Tork	<input type="text"/>
Block type: Tork(Mask)	<input type="text"/>
Torken eliminerar kvarvarande vatten. Tidsfördröjning uppkommer. Utsignalerna är ytvikt och askhalt.	<input type="text"/>
Flöde, Q:	<input type="text" value="7649"/>
Längd, L:	<input type="text" value="248"/>
Bredd, B:	<input type="text" value="7.2"/>
Begynnelse ytvikt:	<input type="text" value="Ytvikt"/>
Begynnelse askhalt:	<input type="text" value="Askhalt"/>

Figur 3-60. Användargränssnitt för tork.

## Koncentrations mätare

Kan placeras godtyckligt i modellen. Det är dock olämpligt att placera ut mer än tre, då det system som simulink simulerar blir för avancerat, så att datorn hänger sig. Ger dels en graf med fiberkoncentration, kritakoncentration och totalkoncentration, dels utvariabler till matlab innehållande koncentrationerna.

## Ränna

Ren tidsfördröjning. Används för rör där antagandet om fullpluggströmning ej är relevant. Beräkningar och skattningar har gjorts i varje enskilt fall.

## Modellering av reglering

För att kunna simulera processen på ett relevant sätt behöver vi även simulink block som modellerar nuvarande regleringen. I modellen har den delats upp i fyra delar, medelvärdesbildare, zonräknare, IMC-regulator och korskoppling.

## Medelvärdesbildare

Medelvärdesbildaren bildar ett glidande medelvärde över de senaste 15 sekundernas mätvärden på ytvikt och askhalt. Vikterna sätts genomgående till ett. Matlab funktionen återges nedan.

```
function [ut]=mvy(in)
% Medelvärdesbildar över glidande 15 sekunders intervall
% in(1) är variabeln som ska medelvärdesbildas
% in(2) är tiden
global MVy
MVy(rem(in(2),15)+1)=in(1);
ut=mean(MVy);
```

## Zonräknaren

Lägger värden från medelvärdesbildaren i fyra celler som uppdateras i samma ordning som mätramen traverserar pappersbanans zoner, dvs i ordningen 1,2,3,4,4,3,2,1,1... Utsignalen från zonräknaren är medelvärdet av innehållet i de fyra cellerna. Ny utsignal fås bara var 15 sekund, varför högre upplösning på skalor som registerar utsignalen från zonräknaren ej är meningsfulla.

```
function [ut]=zony(in)
% Medelvärdesbildar över zon indelningen
```



```

% in(1) är variabeln som ska zoneräknas
% in(2) är tiden
global Zy
if rem(in(2),15)==0
    q=rem(in(2),120)/15+1;
    if q<5 Zy(q)=in(1);
    else Zy(9-q)=in(1);
    end
end
end
ut=mean(Zy);

```

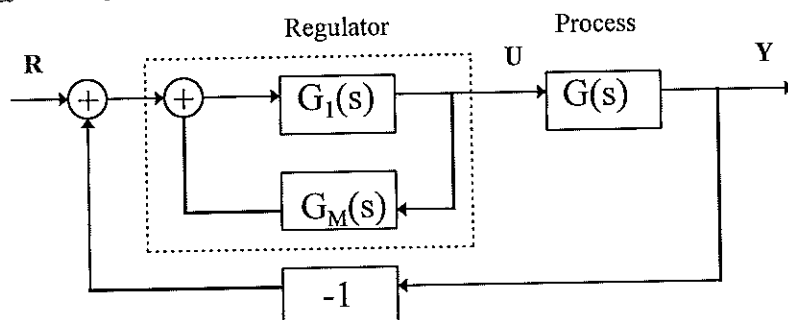
Signalen från zoneräknaren går till själva regulatorm och utgör alltså återkopplingen av utsignalen från processen som helhet.

## IMC-regulator

IMC står för Inferential Model Control. Regulatorm använder en intern modell av processen eftersom processen innehåller stor tidsfördröjning. Den interna modellen består förutom tidsfördröjning av första ordningens system. För närmare beskrivning av den verkliga regleringen se kapitlet Processbeskrivning.

Här följer en beskrivning av de överföringsfunktioner som använts för att modellera regulatorm. Regulatorm i modellen har dock implementerats på tillståndsform för att möjliggöra fritt val av begynnelsevärde.

Figur 2-4 visar det betraktelsesätt man utgått från vid konstruktion av regulatorm. Observera dock att det inte är möjligt att ta fram en verklig invers modell,  $G_m^{-1}$ , då modellen innehåller en tidsfördröjning. Vi skriver om systemet på formen enligt Figur 3-61 för att få en klarare översikt och för att det är dessa funktioner som sedan gjorts om på tillståndsform vid implementeringen.



Figur 3-61. Regulator och process som de konstaterats i simulink modellen.

$$G(s) = \frac{K_p e^{-\tau_p s}}{1 + T_p s} \quad \text{Process (antas av första ordningen här)}$$

$$G_M(s) = \frac{K_M e^{-\tau_M s}}{1 + T_M s} \quad \text{Intern modell}$$

$$F(s) = \frac{e^{-\tau_M s}}{1 + \lambda T_M s} \quad \text{Inställningsfunktion}$$

$$G_1(s) = F(s)G_M^{-1}(s) = \frac{1 + T_M s}{1 + \lambda T_M s} \cdot \frac{1}{K_M}$$

$K_M$  är modellens skattning av processförstärkningen  $K_p$ .  
 $T_M$  är modellens skattning av processens tidskonstant  $T_p$ .  
 $\tau_M$  är modellens skattning av processens dödtid  $\tau_p$ .  
 $\lambda$  är trimparameter för regulatorm.

$$U = \frac{G_1}{1 - G_1 G_M} (R - Y)$$

Reglerlag

$$x' = \frac{1}{\lambda T_M} x + \frac{\lambda - 1}{\lambda T_M} y$$

$$y = \frac{1}{\lambda K_M} x + \frac{1}{\lambda K_M} y$$

$G_1(s)$  på tillståndsform.

$$x_0 = K_M (\lambda - 1) \cdot Q_0$$

$$x' = -\frac{1}{T_M} x + \frac{K_M}{T_M} y$$

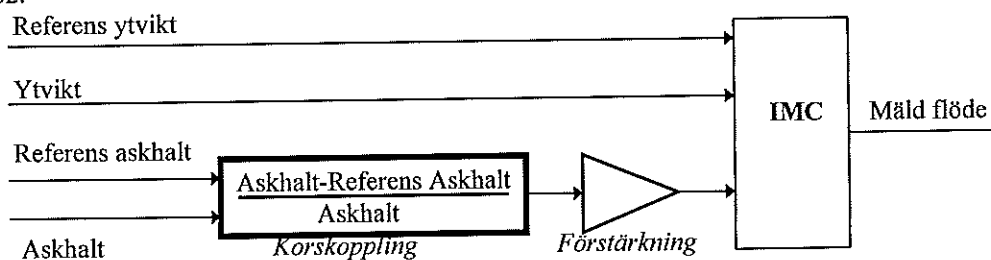
$G_M(s)$  på tillståndsform.

$$y = x$$

$$x_0 = K_M Q_0$$

## Korskoppling

Reglering av ytvikten sker huvudsakligen genom ändring av mäldflöde. Ändringar av mäldflödet leder även till förändringar av askhalten, som i sin tur kräver reglering genom förändring av krita flödet. För att snabba upp en reglering som följer en annan reglering sker en korskoppling, där IMC-regulatorn får en insignal som motsvarar en förändring av differensen mellan referensvärdet och återkopplingen. Korskopplingsbidraget räknas ut med hjälp av den relativa avvikelser mellan referensvärde och återkopplingen för den andra regleringen. Se Figur 3-62.



Figur 3-62. Korskopplingen vid reglering.

## Stationär modell

En modell som beskriver PM2 vid stationär drift har tagits fram för att få fram flöden och koncentrationsbegynnelsevärden till den dynamiska modell, så att denna kan börja simuleringen i ett jämviktsläge. Den stationära modellen är gjord i ms-excel. Modellen innehåller samma delar som simulink modellen, se appendix D, men utgångspunkten är att man matar in vilken papperskvalité man vill producera och får som svar jämviktskoncentrationerna i samtliga delar av processen. Dessutom ger denna modell besked om effektivitet, och hur mycket som försvinner i reningsstegen. För närmare beskrivning se Stationär modell av PM2-användarhandledning.

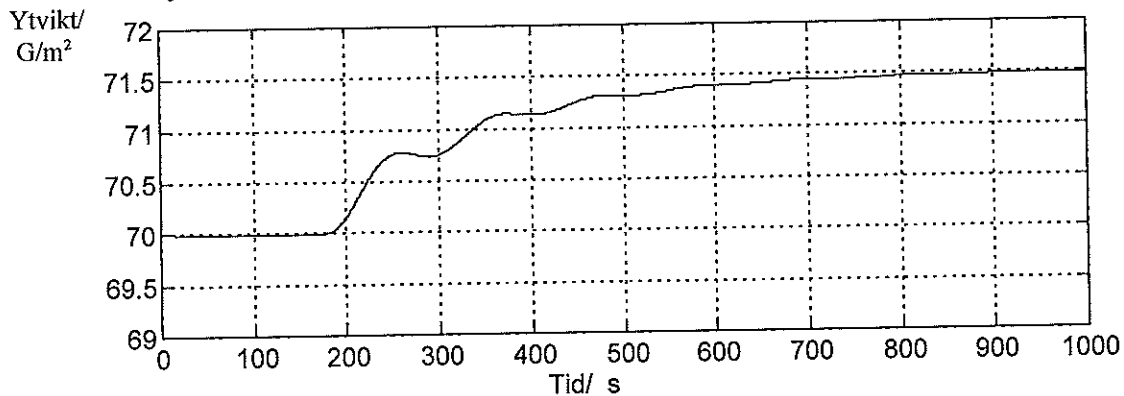
## Jämförelser av simulinkmodell med process och med processidentifiering

### Jämförelse med processen

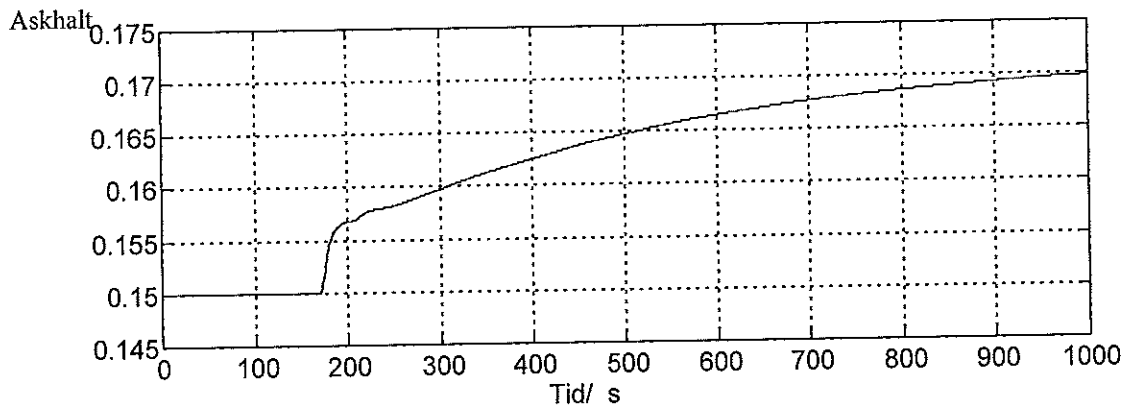
Jämförelser mellan simulink modell och process sker dels genom att jämföra stegsvar med reglering på- och avkopplad, samt genom att jämföra simulink modellens svar på de prbs signaler som använts vid Processidentifiering.

## Stegsvar

De följande stegen har sin motsvarighet för processen i de figurer i Processidentifiering som står i beskrivningen efter jmf. I samtliga fallen påverkar medelvärdesbildare och zonräknare processen väldigt mycket. Det man framförallt kan jämföra är den statiska förstärkningen och den långsammaste tidskonstanten.

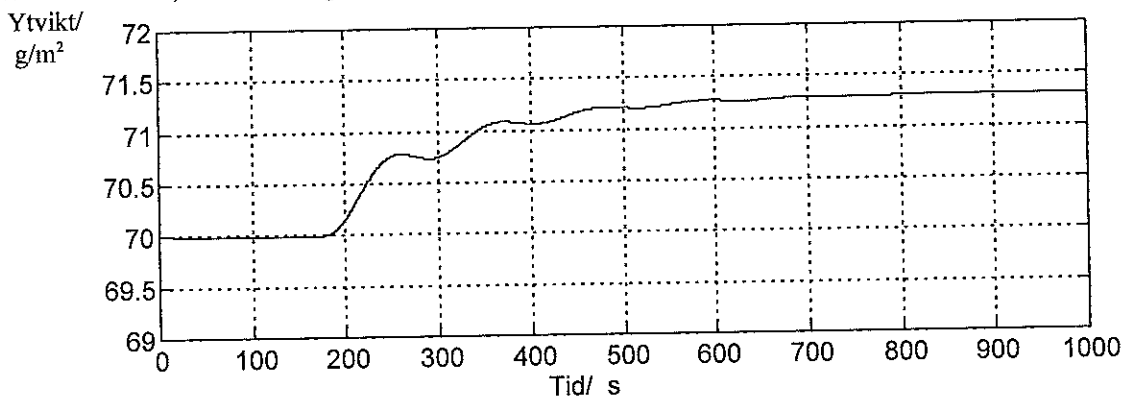


Figur 3-63. Måldflöde har ökats med 250 l/min, askhaltsreglering påslagen, dock ej kors. Jmf Figur 2-5.

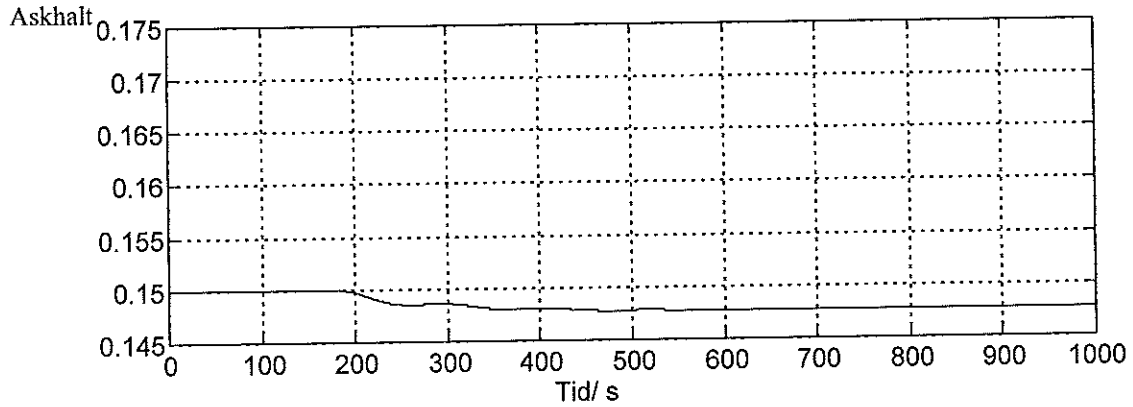


Figur 3-64. Kritaflöde har ökats med 50 l/min, ytviktsreglering påslagen, dock ej kors. Jmf Figur 2-6.

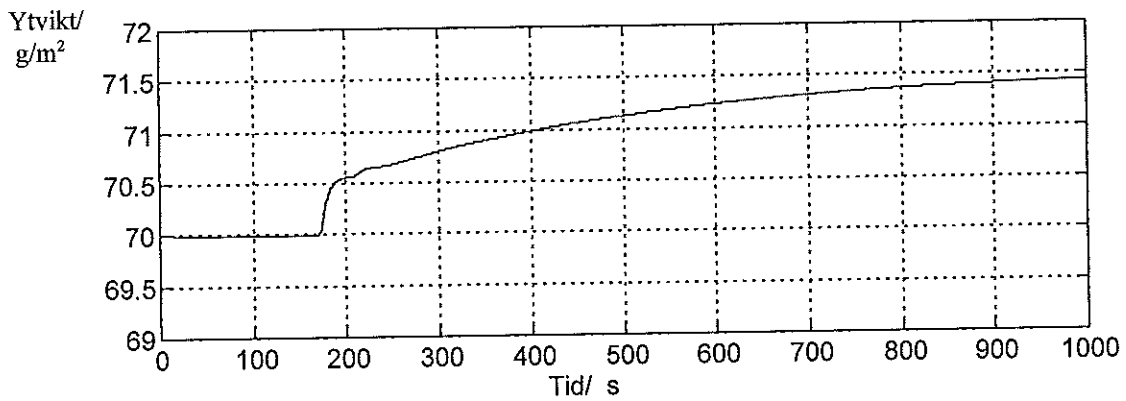
Figur 3-63 och Figur 3-64, där den andra regleringen varit påkopplad ger inte mycket stöd för några jämförelser. I Figur 3-65 till Figur 3-68 har däremot denna reglering varit urkopplad och man kan här se att dynamiken tycks stämma överens, med undantag för krita-askhalt, Figur 3-68, som för processen är snabbare än modellen.



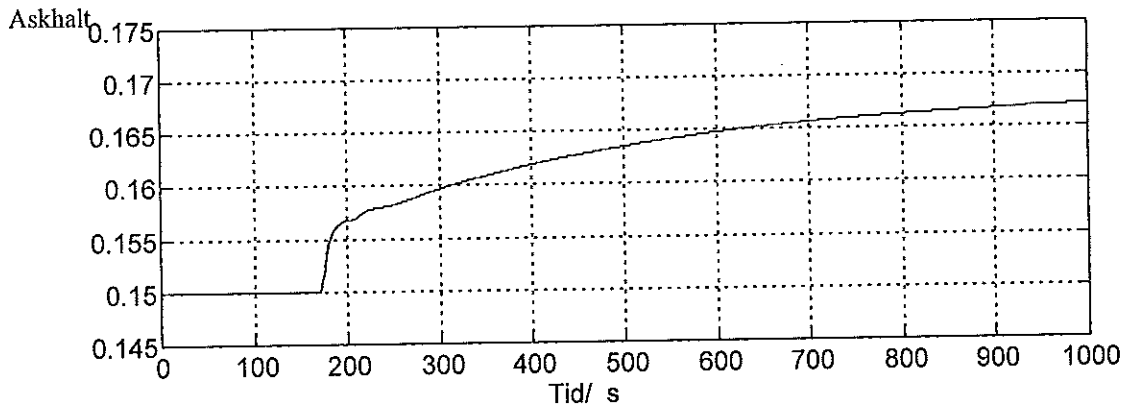
Figur 3-65. Måldflöde har ökats med 250 l/min, askhaltsreglering avslagen. Jmf Figur 2-7.



Figur 3-66. Måldflöde har ökat med 250 l/min, askhaltsreglering avslagen. Jmf Figur 2-8.



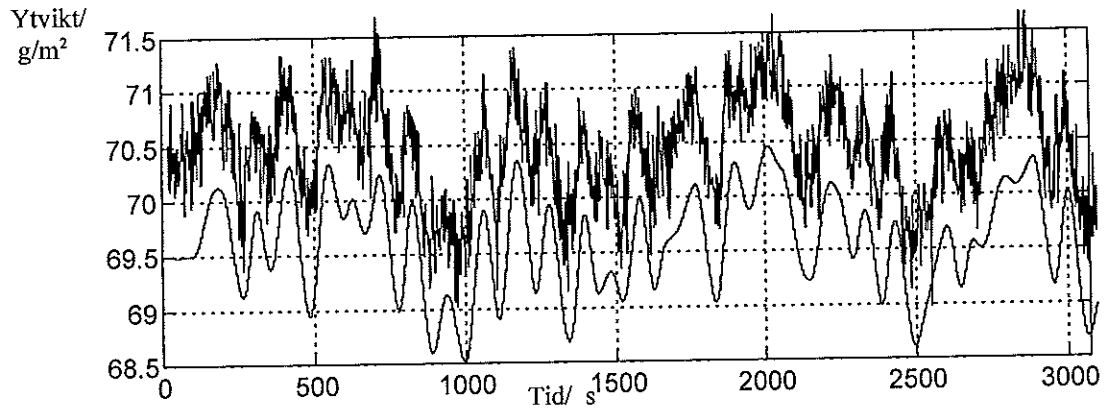
Figur 3-67. Kritaflöde har ökat med 50 l/min, ytviktsreglering avslagen. Jmf Figur 2-9.



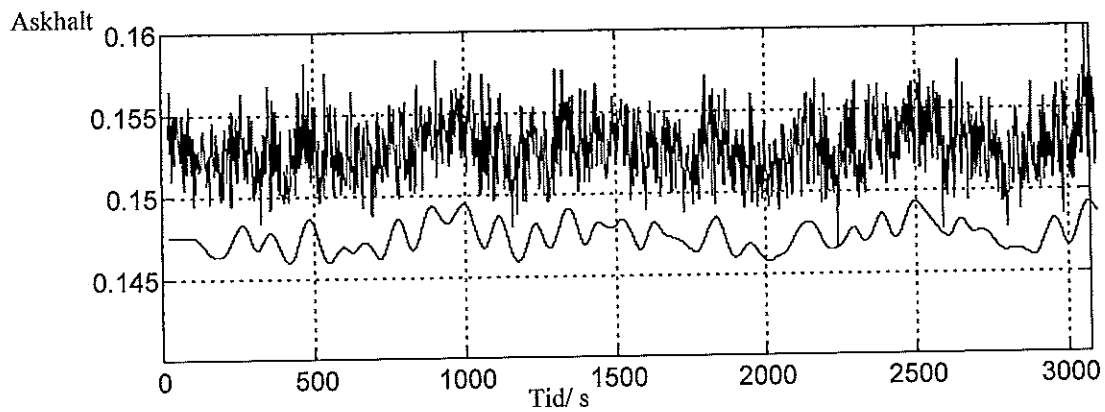
Figur 3-68. Kritaflöde har ökat med 50 l/min, ytviktsreglering avslagen. Jmf Figur 2-10.

## Prbs

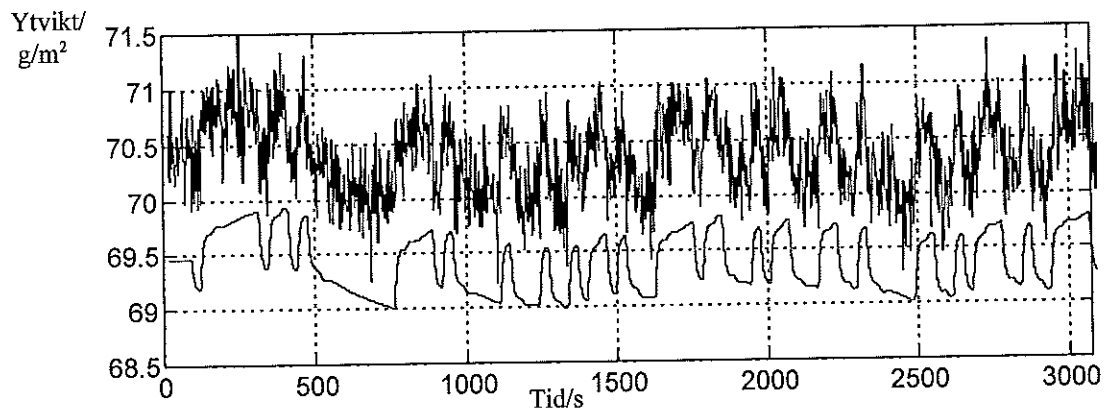
Följande figurer visar hur simulink modellen reagerar på de prbs signaler som sänts in i processen vid Processidentifiering. I Figur 3-69 till Figur 3-72 finns även processens svar på prbs signalerna avbildade för jämförelsens skull. Kurvorna följs åt bra förutom processens brus som skapar osäkerhet i bedömningarna.



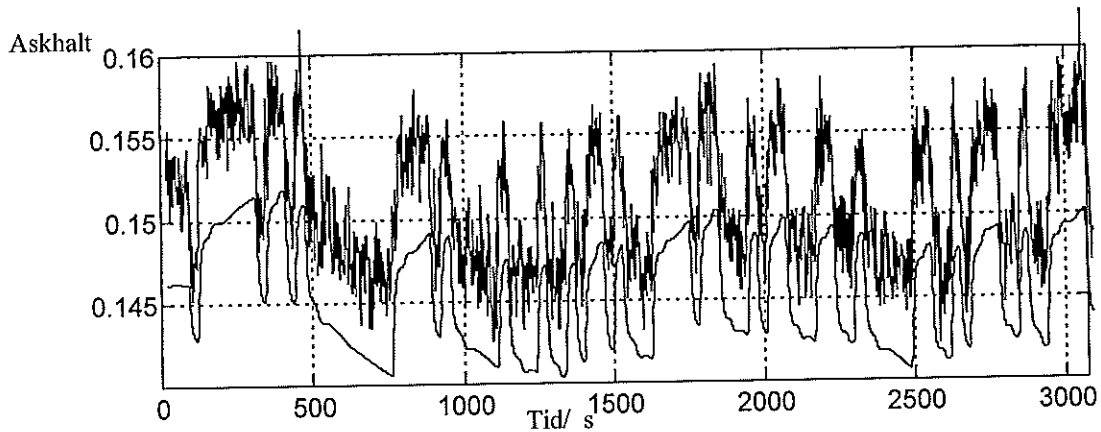
Figur 3-69. Prbs på mäldflödet. Ytvikt för process och simulink modell. Kurvorna har förskjutits.



Figur 3-70. Prbs på mäldflödet. Askhalt för process och simulink modell. Kurvorna har förskjutits.



Figur 3-71. Prbs på kritaflödet. Ytvikt för process och simulink modell. Kurvorna har förskjutits.



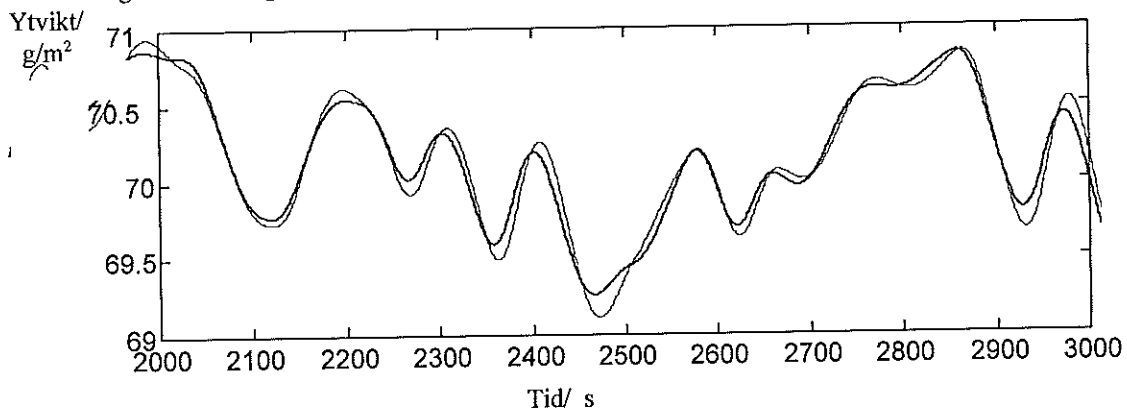
Figur 3-72. Prbs på kritaflödet. Askhalt för process och simulink modell. Kurvorna har förskjutits.

### Jämförelse med parameter modell

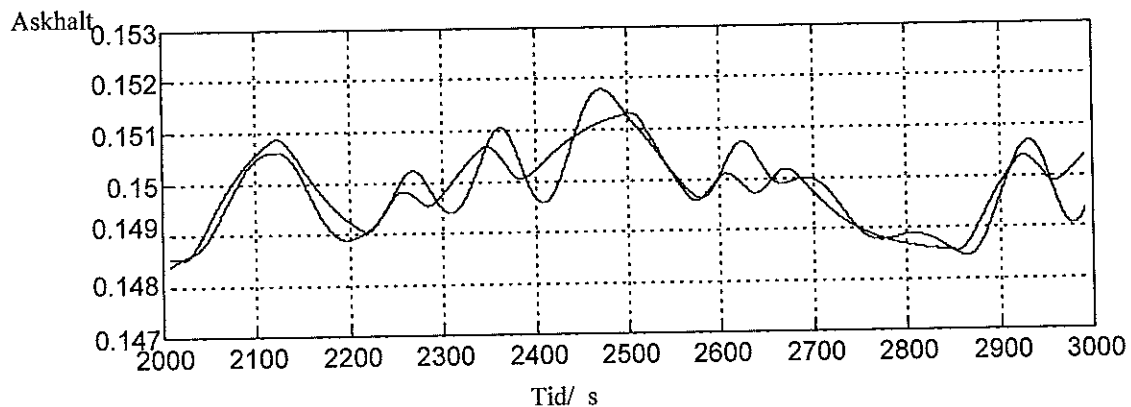
Ytterligare en verifiering av simulink modellen är att jämföra med den parameter modell som tagits fram i kapitlet Processidentifiering. Nedan finns dels delar av prbs signalens svar för de båda modellerna, dels en jämförelse mellan poler och nollställen.

### Prbs

I Figur 3-73, mäld-ytvikt, ser vi att kurvorna följer varandra ganska bra. Den avvikelse som är värd att notera är den statiska förstärkningen som är något större för simulink modellen. Det kan försvaras med att processens förstärkning var ännu något större för just detta system.

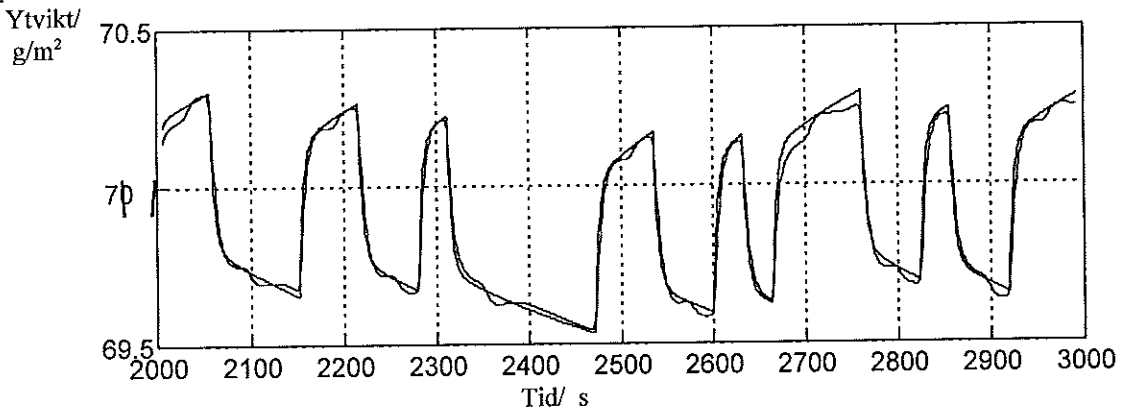


Figur 3-73. Jämförelse mellan parametermodell och simulink modell, mäld-ytvikt.

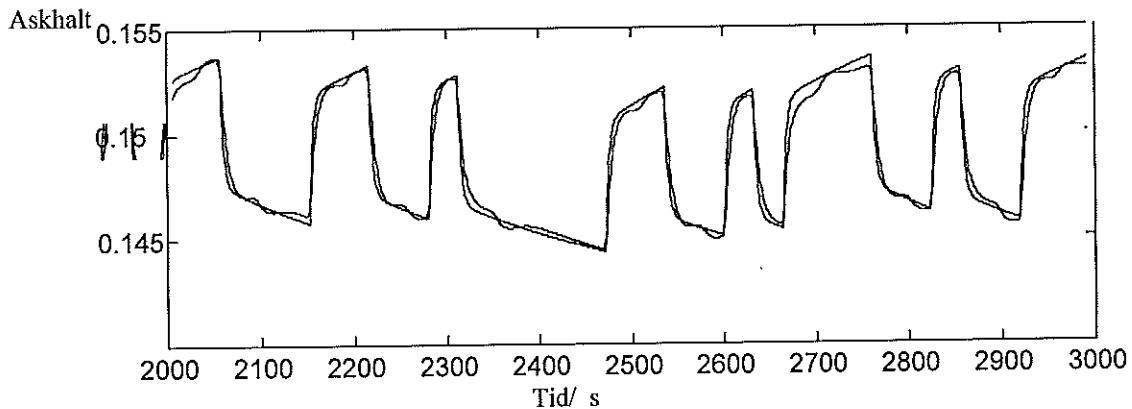


Figur 3-74. Jämförelse mellan parametermodell och simulink modell, mäld-askhalt

Avvikelsen är betydligt större för mäld-askhalt. Detta beror på att simulink modellen är utformad så att detta system är inversen till mäld-ytvikt. Vid justering av simulink modellen har överensstämmelse mäld-ytvikt prioriterats framför mäld-askhalt.



Figur 3-75. Jämförelse mellan parametermodell och simulink modell, krita-ytvikt.

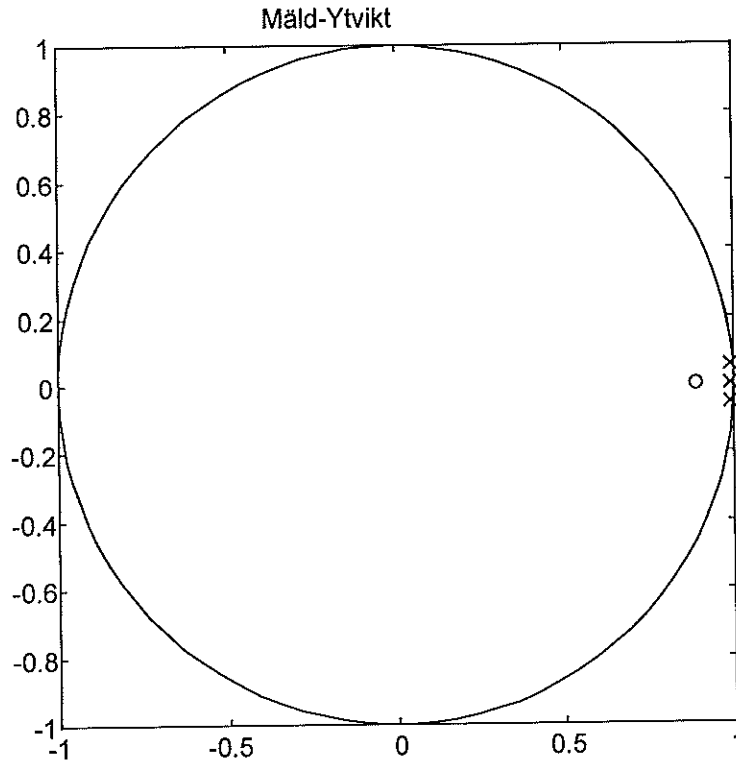


Figur 3-76. Jämförelse mellan parametermodell och simulink modell, krita-askhalt.

Avvikelsen i Figur 3-75 och Figur 3-76 är liten. Detta beror på att parameter modellerna var av samma ordning och överensstämmelsen mellan de två systemen var god förutom ett extra nollställe för krita-askhalt som troligen kom från samplingen.

## Poler och nollställen

Simulink modellen har "identifierats" på ett sätt som liknar processidentifieringen för processen för att få fram en parametermodell för simulink modellen som kan jämföras med parametermodellen för processen. De poler och nollställen som här refereras till som simulink modellens är i själva verket poler och nollställen för den parametermodell som tagits fram för simulink modellen.



Figur 3-77. Poler och nollställen för simulink modellen för mäld-ytvikt. Jmf Figur 3-16.

I Figur 3-77 ser vi poler och nollställen för mäld-ytvikt. Utvärdering genom betraktelse av diagrammet har begränsat värde pga av skalans förhållande till tidsförskjutningen, så som beskrivits i Processidentifiering. Polerna är i diskret tid:

$$p_{1,2} = 0.99261427452008 \pm 0.05569814254097i$$

$$p_3 = 0.99249746388344$$

och i kontinuerlig tid:

$$p_{1,2}^c = -0.00584129774170 \pm 0.05605379321054i$$

$$p_3^c = -0.00753082170523$$

Som synes stämmer den tredje polen, som motsvarar den dominerande tidskonstanten väl överens. Det svängande system som de första två polerna utgör har samma frekvens, men dämpning avviker ganska mycket. Detta beror på att svängningarna sannolikt kommer från pumpen som styr mäld flödet och att modellering av denna har nödgats ske på bristfälliga data. Att ytterligare modellera bort skillnader genom att använda en avancerad modell för just denna del av processen anses inte motiverat.

Nollställe:

$$n = 0.88816213425198 \quad \Leftrightarrow \quad n^c = -0.11860096903924$$

Statisk förstärkning:

$$K = 0.00536794032421$$

System mäld-askhalt, se Figur 3-78, har följande poler:

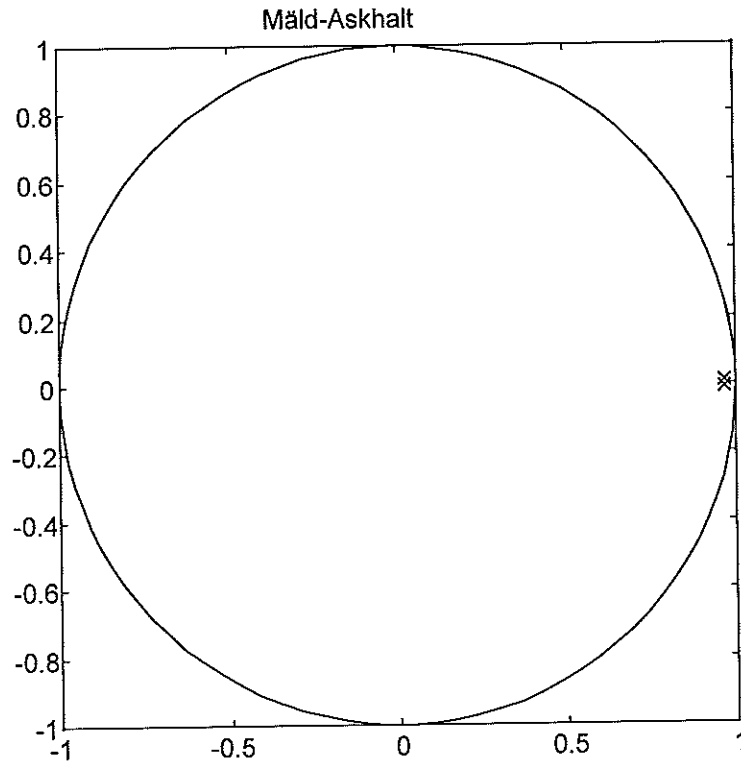
$$p_{1,2} = 0.96745792548698 \pm 0.00814421738469i$$

I kontinuerlig tid:

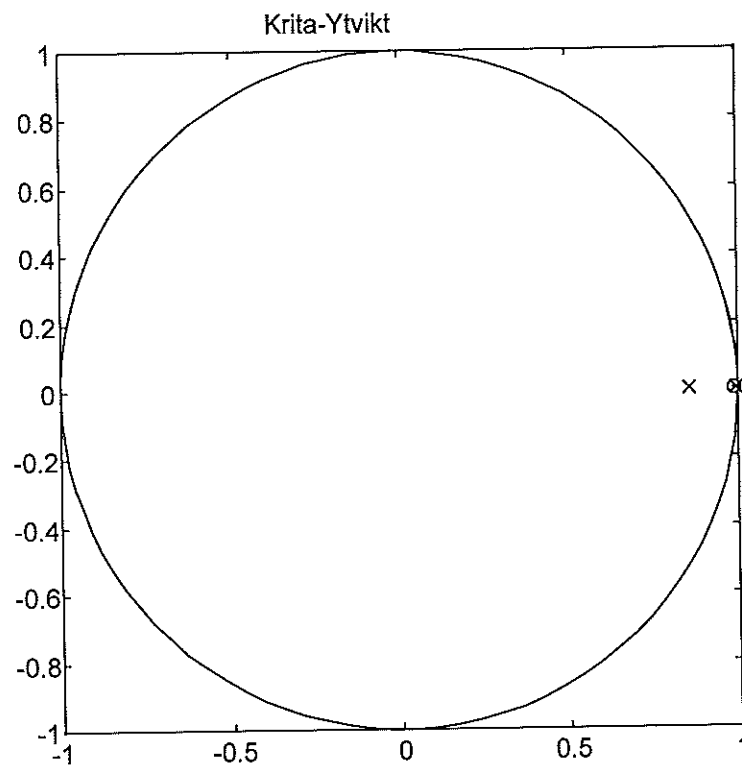
$$p_{1,2}^c = -0.03304791142366 + 0.00841796299055i$$

Vi har här alltså ett andra ordningens system i motsats till det system som identifierades för processen. Den avvikelser noterades även vid prbs stegen i föregående avsnitt. Den statistiska förstärkningen avviker endast i ringa grad från processens.





Figur 3-78. Poler och nollställen för simulink modellen för mäld-askhalt. Jmf figur 3-27.



Figur 3-79. Poler och nollställen för simulink modellen för krita-ytvikt. Jmf figur 3-36.

Systemen med krita som insignal är väldigt lika. Skillnader mellan de poler som tagits fram för simulink modellen beror mycket på den numeriska process som använts vid framtagandet av parametrarna. Likheterna

mellan parameter modellen och simulink modellen är uppenbara. Observerar dock att detta inte är det samma som likheter med processen, mer än i den grad parametermodellen beskriver processen korrekt.

Poler för krita-ytvikt:

$$p_1 = 0.99691036577261$$

$$p_2 = 0.85738381048692$$

Nollställen:

$$n_1 = 0.99100258953756$$

Statisk förstärkning:

$$K = 0.02934484427732$$

Poler för krita askhalt:

$$p_1 = 0.99691992175997$$

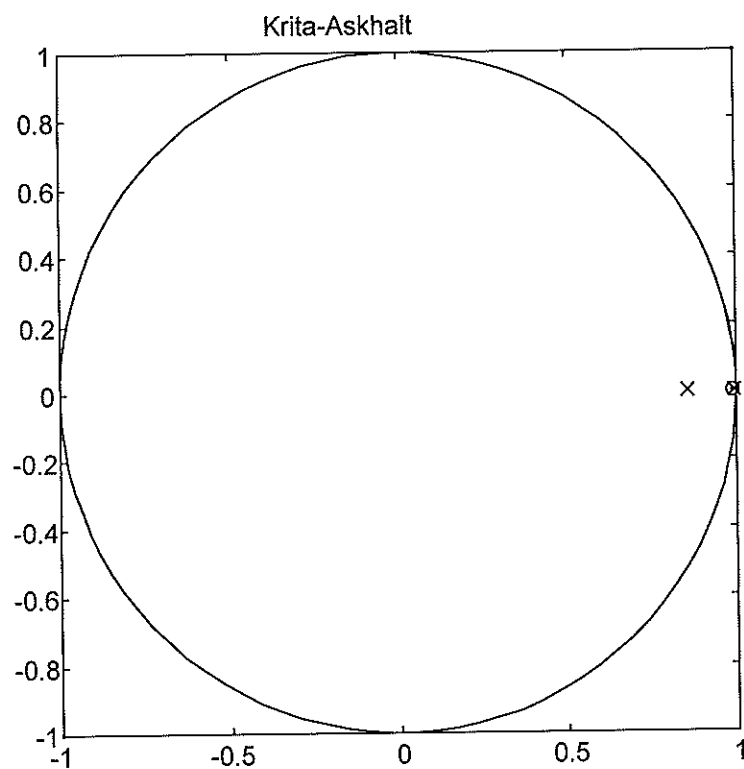
$$p_2 = 0.85747588652970$$

Nollställen:

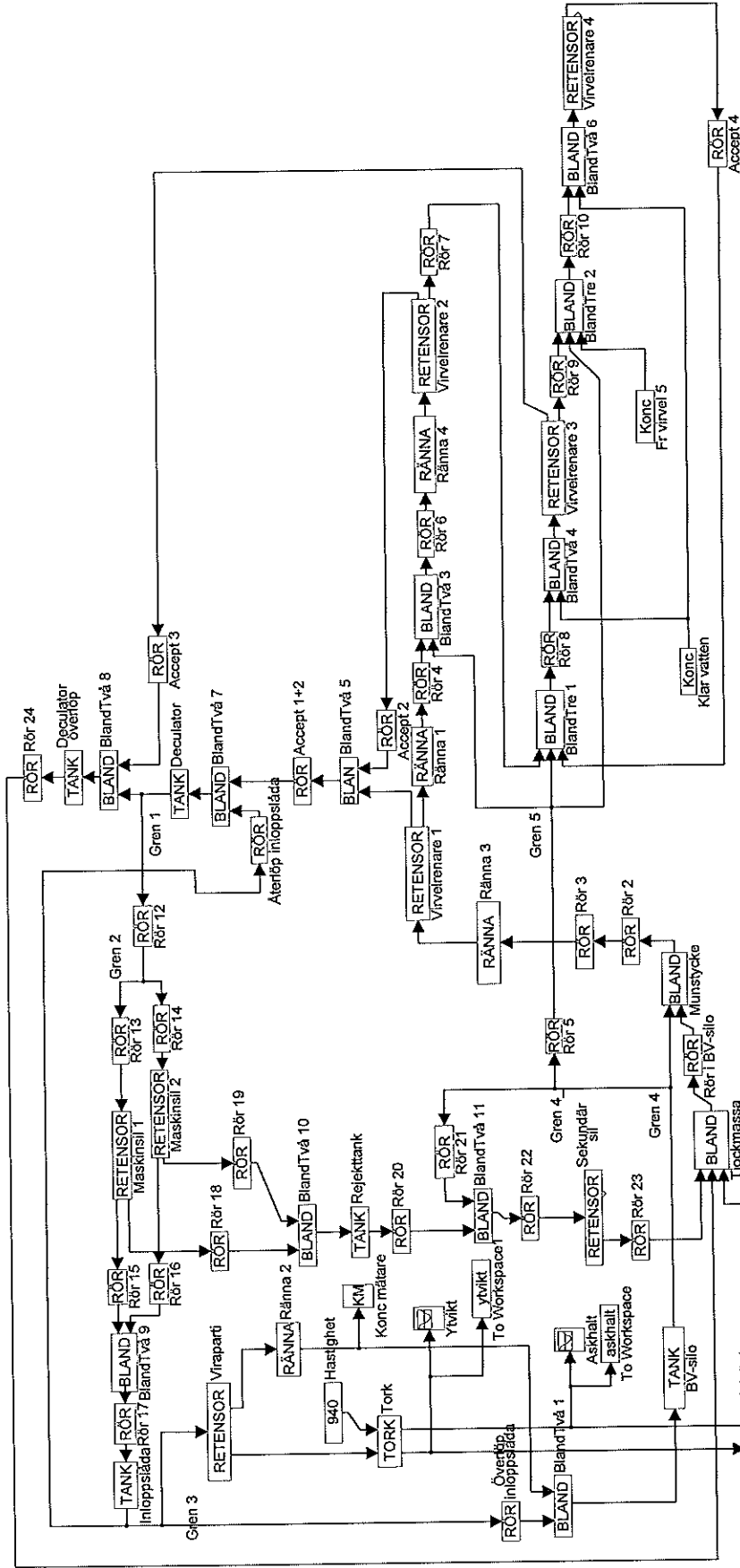
$$n_1 = 0.99102288286969$$

Statisk förstärkning:

$$K = 3.571050153349750e-004$$



Figur 3-80. Poler och nollställen för simulink modellen för krita-askhalt. Jmf figur 3-44.



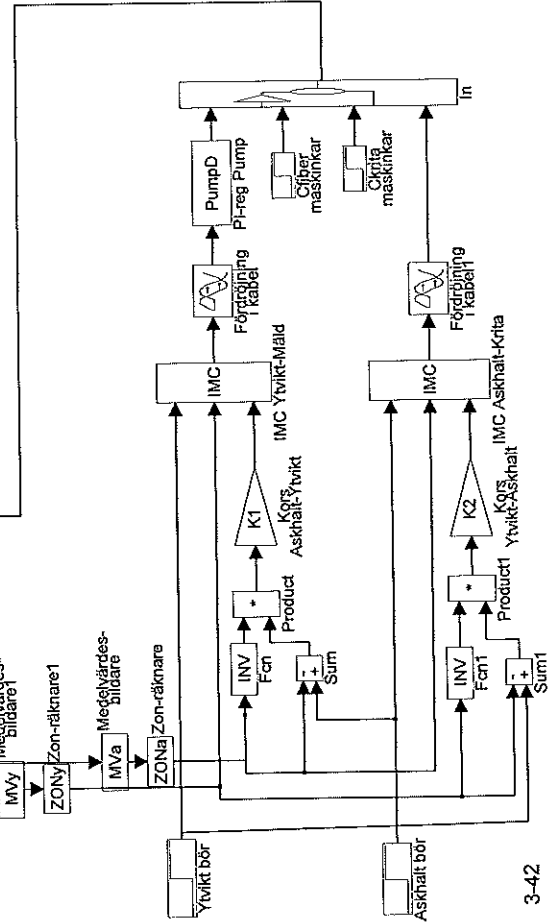
# PM2

I den här modellen malar man in begynnelsekonc med hjälp av den statiska modellen. När man överensstämmer med de som finns i den statiska modellen.

För vissa driftslagen finns färdiga filer som initieras med knapparna nedan.

Enheter: kg/min och s.

Ytvikt: 60 g/m <sup>2</sup> Askhalt: 0.15	Ytvikt: 70 g/m <sup>2</sup> Askhalt: 0.15	Ytvikt: 80 g/m <sup>2</sup> Askhalt: 0.15	Ytvikt: 90 g/m <sup>2</sup> Askhalt: 0.15	Ytvikt: 100 g/m <sup>2</sup> Askhalt: 0.15	Ytvikt: 120 g/m <sup>2</sup> Askhalt: 0.15
Ytvikt: 60 g/m <sup>2</sup> Askhalt: 0.20	Ytvikt: 70 g/m <sup>2</sup> Askhalt: 0.20	Ytvikt: 80 g/m <sup>2</sup> Askhalt: 0.20	Ytvikt: 90 g/m <sup>2</sup> Askhalt: 0.20	Ytvikt: 100 g/m <sup>2</sup> Askhalt: 0.20	Ytvikt: 120 g/m <sup>2</sup> Askhalt: 0.20



Figur 3-100. Simulinkmodell av PM 2.

## Kapitel 4 Diskussion

En modell av PM2 har framställts i simulink. Statiska data om maskinen, storlekar på rör och tankar, flöden och retentionsgrader användes vid konstruktionen. För att kunna verifiera modellen gjordes processidentifiering och en parametermodell togs fram. Processen identifierades från in- till utsignal, men inga identifiering av de ingående delarna gjordes. Identifieringen begränsas dessutom av tidsseriernas längd och samplingsintervall. Identifierad dynamik gäller för 0.0007-0.1 Hz. Verifieringen gjordes genom jämförelser dels med processen som helhet, dels med resultatet från processidentifieringen.

Svagheten med den här modellen är att delarna inte går att verifiera var för sig och att sättet att sammankoppla dem inte nödvändigtvis ger samma resultat som sammankopplingen av processens delar. Styrkan är att man kan se vilka förändringar på processen som helhet som åstadkoms av förändringar av delarna och deras sammansättning. Man kan dessutom få reda på storheter mitt i processen, vilket kan vara av värde t ex vid val av mätpunkter och regler punkter. Verifiering av modellen begränsas i det här fallet till jämförelser med processen som helhet, punktobservationer av tillståndsvariabler samt mätning av fysiska konstanter.

Koncentrationerna av både massa och krita varierar över ett längre perspektiv, men kan i för modellen relevanta tidsramar i allmänhet approximeras som konstant. I kapitlet processidentifiering har flöden av dessa storheter därför använts som insignaler. Att i simulink modellen även använda koncentrationerna som insignaler motiveras av att ett intresse finns för hur stora verkningar förändringar av krita innehållet i massa flödet får.

Simulinkmodellen är alltså verifierad som helhet, men dess delar är ej verifierad. Ett av syften med modellen är att den skall kunna användas för att modellera ombyggnader av maskinen. Modellen går att använda för detta syfte, men viss försiktighet med slutsatserna av resultaten är befogad då giltigheten inte är verifierad för modellens delar. I appendix E finns några olika ombyggnads förslag och utvärdering av dem inom modellens begränsningar.

Ett annat syfte med simulink modellen är att framtagning och utvärdering av andra regler strategier ska kunna ske. Vid valet av mätpunkter finns en osäkerhet i modellens giltighet av samma skäl som vid ombyggnader. Andra mer avancerade regulatorstrukturer som bygger på mätningar via mättramen och reglering av mäldflöde och kritaflöde kan dock inom identifieringens begränsningar med tämligen stor säkerhet utvärderas.

Den svängiga dynamiken hos systemet mäld-ytvikt beror med stor sannolikhet på olämplig inställning av regleringen av maskinkarspump och möjligtvis kopplingen till mellan reglering av maskinkarspump och ytviktsventil. En växling av strategi för att ställa in dessa (och andra regleringar på maskinen) skulle vara ett första billigt sätt att förbättra regleringen.

Den andra tidskonstanten i kritisystemen, motsvarande den långsamma polen beror i huvudsak på den primära slingan i korta cirkulationen och inte så mycket på de olika reningsstegen som ligger utanför denna. Av detta kan man dra slutsatsen att det är virarentionen som är avgörande för hur snabbt omställningar kan ske. Det mest intressanta är hur lite som kan vinnas på att på olika sätt förenkla dynamiken genom att eliminera olika reningssteg.

Injekt, accept och rejektrör samt återlöp från viran är de delar som är svårast att bedöma om dödtiden är rätt. Vid framtagning av modellen har dessa delar justerats så att totala dödtiden stämmer. Det är inte osannolikt att förskjutningar emellan dessa delars dödtider.

De statistiska modeller som använts vid beräkningar tidigare har inte modellerat omställningar och störningar, vilket möjliggörs med denna modell. Med nuvarande inställning av regulatorparameter har inte regleringen på ett tillfredsställande sätt kunnat sköta omställningar. Genom att använda modellen vid hjälp för inställning av parametrar kan detta uppnås med ett färre antal testinställningar.

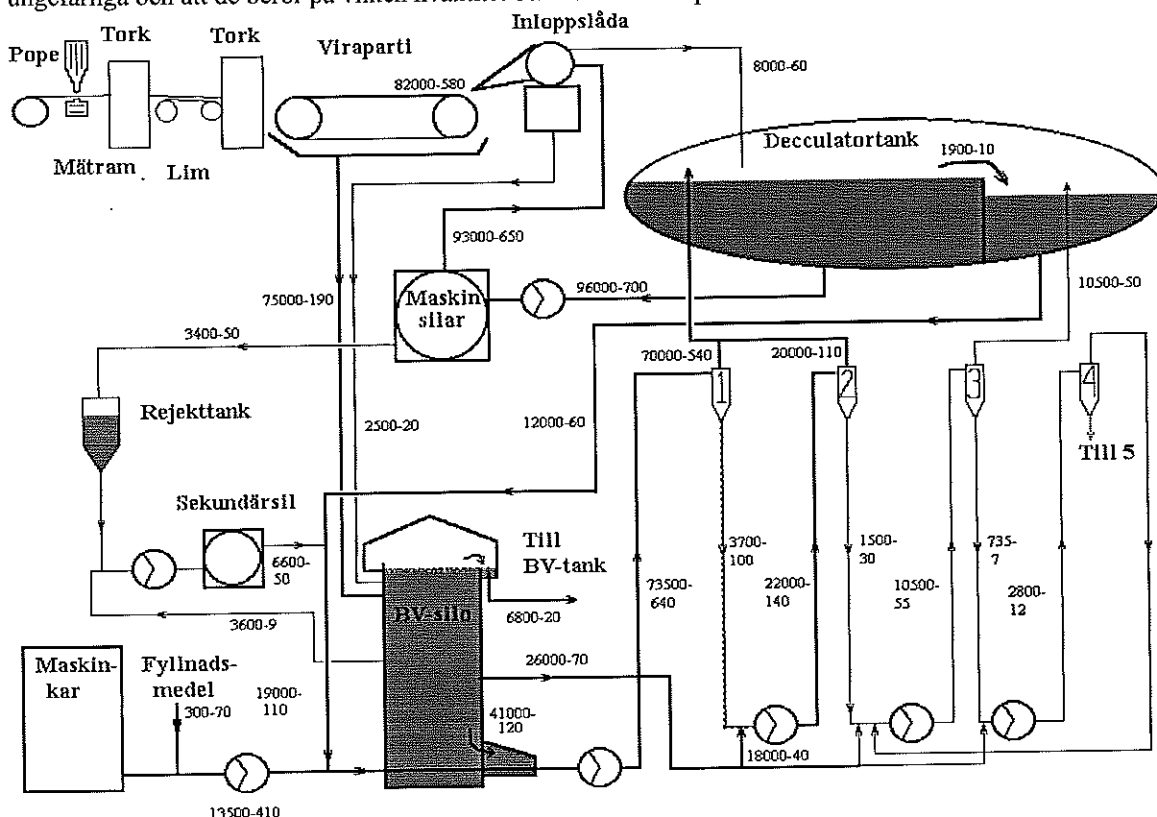
## Kapitel 5 Slutsatser

En fysisk modell i simulink av PM2 har tagits fram. Klotsarna har modellerats utifrån mätningar av fysiska storheter. Verifiering har sedan gjorts med dels maskinen som helhet, delvis med en parametermodell som plockats fram genom processidentifiering. Svagheter är att de ingående delarna ej verifierats var för sig och den höga brusnivån vid verifieringar av modellen som helhet. Modellens överensstämmelse med processen som helhet är godtagbar i åtminstone de tre systemen mäld-ytvikt, krita-ytvikt och krita-askhalt.

Modellen modellerar koncentrationer dynamiskt och flöden stationärt. Modellen går använda som redskap vid test av ombyggnader med restriktioner men kan användas med gott resultat för att testa och utvärdera reglerstrategier.

## Appendix A Data

I Figur A-1 nedan återges flödet och substansflödet för ett antal punkter i processen. Observera att siffrorna är ungefärliga och att de beror på vilken kvantitet och kvalitet som produceras.



Figur A-1. Flöden och substansflöden i processen.

Tabell A-1 återger rördata som mäts upp och samt konstruktionsflöde. Tidsfördröjningarna som räknas ut här ur är de som används vid konstruktion av simulink modellen. De kursiverade flöden för accept och rejekt är inte giltiga eftersom fullpluggströmning inte är en bra modell för dessa rör. I modellen används istället delvis rör delvis rännor. I några fall har den skattade döttiden återgetts.

Tabell A-2 visar koncentrationer och askhalt från laborieprover som tagits från olika delar av maskinen. De har i sin tur använts för att räkna ut retention i Tabell A-3. Tabell A-4 tar upp tankarna, deras volym, flöde genom dem och skattade tidskonstanter.

Tabell A-1.

Rördata						
Från	Till	Längd [m]	Diameter [m]	Volym [m <sup>3</sup> ]	Flöde [m <sup>3</sup> /min]	Tid [s]
Maskinkar	Överlöp Decculator bp	66.25	0.35	6.374	13.5	28.33
Överlöp Decculator bp	Bakvatten-silo bp	5	0.35	0.481	32.5	0.89
Bakvatten-silo bp	Pump injekt 1	9.35	0.7	3.598	73.5	2.94
Pump injekt 1	Injekt1 gren	21.75	0.7	8.370	73.5	6.83
Injekt1 gren	Virvel1.1	13.9	0.4	1.747	18.4	5.70
Injekt1 gren	Virvel1.2	17.35	0.4	2.180	18.4	7.12
Injekt1 gren	Virvel1.3	11.9	0.4	1.495	18.4	4.88
Injekt1 gren	Virvel1.4	12.5	0.4	1.571	18.4	5.13
Accept1, 4st	Decculator	3.5	0.7	1.347	17.5	4.62
Rejekt1, 8st	Tvärrör1	3.85	0.2	0.121	0.5	15.78
Tvärrör1		1.7	0.4	0.214	3.7	3.49
Tvärrör1	Pump injekt 2	25.35	0.2	0.796	3.7	13.00
Pump injekt 2	Injekt 2 gren	16.25	0.4	2.042	21.7	5.65
Injekt 2 gren	Virvel2.1, smal del	15	0.25	0.736	5.4	8.14
Injekt 2 gren	Virvel2.2, smal del	12.95	0.25	0.636	5.4	7.03
Injekt 2 gren	Virvel2.3, smal del	16	0.25	0.785	5.4	8.69
Injekt 2 gren	Virvel2.4, smal del	20.35	0.25	0.999	5.4	11.05
Accept 2, 4st	Decculator	7.95	0.7	3.060	5.0	36.38
Rejekt 2, 6st	Tvärrör2	2.35	0.2	0.074	0.2	23.33
Tvärrör 2		1.55	0.3	0.110	1.5	4.33
Tvärrör 2	Pump injekt 3	24.35	0.15	0.430	1.5	17.00
Rejekt 2.1	Bland punkt	t=4,2s	0.2		0.4	
Pump injekt 3	Virvel3	37.95	0.25	1.863	10.5	10.64
Accept 3	Decculator	2.15	0.7	0.827	10.5	4.73
Rejekt 3	Pump injekt 4	31.825	0.1	0.250	0.7	20.40
Pump injekt 4	Virvel4	33.65	0.15	0.595	2.8	12.74
Accept 4	Pump 016	30.75	0.15	0.543	2.8	11.64
Överlöp decculator	Blandning m mäld	29.55	0.6	8.355	12.4	40.59
Decculator	Gren maskinsilar	30.25	0.8	15.205	96.4	9.47
Gren maskinsilar	Maskinsil1	8.16	0.5	1.602	48.2	1.99
Gren maskinsilar	Maskinsil2	3	0.5	0.589	48.2	0.73
Maskinsil 1	Accept förgrening	5.5	0.5	1.080	46.5	1.39
Maskinsil 2	Accept förgrening	7.5	0.5	1.473	46.5	1.90
Accept förgrening	Inloppslåda	15.5	0.7	5.965	93.0	3.85
Maskinsil 1	Rejekt tank	27.75	0.15	0.490	1.7	17.21
Maskinsil 2	Rejekt tank	30.85	0.15	0.545	1.7	19.13
Rejekt tank	Blandpunkt BV	7.35	0.3	0.520	3.4	9.11
BV-silo	Blandpunkt Rejekt tank	2.5	0.3	0.177	3.6	2.96
Blandpunkt Rejekt tank	Sekundärsil	11.55	0.3	0.816	7.0	7.00
Sekundärsil	Tjockmassarör	8.95	0.25	0.439	6.6	3.99
Inloppslåda	Decculator	40.8	0.25	2.003	8.2	14.61
Inloppslåda	BV-silo	t=4s			2.5	
Viraparti	BV-silo	t=5s			74.6	

Tabell A-2.

Prover PM2.						
Papperskvalitet:		80 g/m <sup>2</sup>	Askabör:		0.15	
Prov	Ställe	Tot konc	Askhalt	Fiber konc	Krita konc	Flöde [l/min]
1	Injekt 1	0.0096	0.24	0.0073	0.0023	73500
2	Rejekt 1	0.0212	0.17	0.0176	0.0036	3700
3	Injekt 2	0.0050	0.32	0.0034	0.0016	22000
4	Rejekt 2	0.0074	0.41	0.0044	0.0030	1500
5	Accept 4	0.0036	0.71	0.0010	0.0026	2800
6	Injekt 3	0.0028	0.6	0.0011	0.0017	10500
7	Rejekt 3	0.0071	0.85	0.0011	0.0060	735
10	Fr Maskinkar	0.0350	0.04	0.0336	0.0014	13500
11	T Rejekt tank	0.0108	0.22	0.0084	0.0024	3400
12	Injekt SS	0.0061	0.29	0.0043	0.0018	7000
13	Accept SS	0.0062	0.29	0.0044	0.0018	6600
14	Inloppslåda	0.0079	0.26	0.0058	0.0021	93000
15	BV-silo	0.0017	0.71	0.0005	0.0012	
16	Rejekt f Vira	0.0015	0.78	0.0003	0.0012	75000

Tabell A-3.

Retensorer		
Retensor	Rfiber	Rfylln
Virvel 1	0.88	0.92
Virvel 2	0.91	0.87
Virvel 3	0.93	0.75
Maskinsil	0.95	0.96
Sekundärsil	0.96	0.96
Vira	0.95	0.54

Tabell A-4.

Tankar			
Tank	Volym [m <sup>3</sup> ]	Flöde [m <sup>3</sup> /min]	Tidskonstant [s]
BV-silo	110	41	161
Decculator, huvuddel	11.25	98	7
Decculator, överlöp	3.6	12	18
Rejekt tank	2	3.4	35



## Appendix B Litteraturhänvisning

1. Rolf Johansson, System modeling & Identification, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
2. Laboratory Exercise in System Identification, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, January 1995.
3. Kenneth Dahlberg, Simulering och utvärdering av askhaltsstyrningen på pappersmaskiner, examensarbete vid STFI, Skogsindustrins Tekniska Forskningsinstitut och Institutionen för Signaler, Sensorer och System, Avdelningen för Reglerteknik, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, Januari 1993
4. Jenz Pantzare och Maria Björk, Portable flow meters, PM 93/1087 TKS, Projekt nr 92-200, Stora Teknik, Falun, 1993.
5. Intervju med Peter Lindgren, processingenjör på Stora Nymölla AB, 1995.
6. Åström, Wittenmark, Computer-Controlled Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.
7. Jakko Pöyry, konsultfirma inom pappers- och massaindustrin.
8. Simulink, User's Guide, The Math Works Inc., Massachusetts, 1992.
9. J. Anthony Bristow..., Pappersteknik, Institutionen för pappersteknik, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, 1991.

# Appendix C Icke framgångsrika försök

## Identifiering

### *Databehandling*

Ofiltrerade steg har tagits upp och efterfiltrerats digitalt. Försök med att filtrera stegen med hjälp av lågpasfilter och optimalt Wienerfilter har inte gett godtagbart resultat. All intressant dynamik, mer än att ett steg gjorts försvinner i filtreringen.

### *Identifiering med hjälp av Mops*

Mops är ett labdatorsystem som används för insamling och administration av data som är intressant för laboratoriepersonal med flera. Här finns även trender för mäldflöde från maskinkarspump, kritaflöde, ytvikt och askhalt.

Mätdata medelvärdesbildas över 5 minuters perioder, vilket förstör den snabbare dynamik som är den intressanta. Rådata i detta system är upptagningar en gång per minut för ytvikt och askhalt, även detta i långsammaste laget. Den data som dock skulle kunna användas skulle kunna ge besked om mycket långsam dynamik. Försök med att identifiera med hjälp av mopsdata har misslyckats. Tyvärr sker omställningarna för hand och rampas upp på ett sätt som ger ett för litet energiinnehåll för att exitera systemet tillräckligt för identifiering.

## Modellering

### *Simulinkmodell*

Dynamisk simulering av flöde och koncentrationer samtidigt är inte möjligt eftersom simulink inte kan hantera partiella differential ekvationer. Att bygga egna diskreta rutiner som löser partiella differential ekvationer och infoga dem i simulink är inte möjligt eftersom simulink kompilerar det grafiska systemet till ett system av linjära differential ekvationer. Att ända infoga block leder till numerisk instabilitet.

### *Beräkningsmodeller*

Att mäta till sig till flöden och koncentrationer hos rejekt från virvelrenare och maskinsilar med utgångspunkt från injekt och accept är vanskligt eftersom injekt- och acceptflöde är ca 10 gånger större än rejektflöde. Differensen mellan injekt och accept hamnar i samma storleksordning som osäkerheten vid provtagningarna.

Det är inte lämpligt att räkna sig fram till retentionsgrader och flöden hos tidigare virvelrenare med utgångspunkt från senare stegs koncentrationer då osäkerheten 10 faldigas i varje steg.

## Mätningar

Det går inte använda någon form av ultraljudsmätare för att mäta flödet i mäld då denna inte är homogen.

Det går inte att använda pumptillverkarens tryck-flödes kurvor för att räkna ut flödet genom pumparna i PM2, då driftsnivåerna ligger utanför de nivåer pumparna konstruerats för.

## Appendix D Stationär modell

Den statistiska modellen är gjord på ett ms Excel ark och består av tre delar. Den första delen används för att ställa flöden och begynnelse koncentrationer till den dynamiska modellen. Den andra delen modellerar torken så att de inflöden som behövs för att producera en viss kvalitet. Eftersom simulink modellen inte tar hänsyn till fukt och stärkelsebetrykning och processen inte är ideal kommer begreppet verkningsgrad in som justerande faktor. Den tredje delen är en resträkning av hur mycket som försvinner vart vid den aktuella driftsnivån.

Stationär modell av PM2, korta cirkulationen											
Flödessiffrorna är de som används i den dynamiska modellen											
Lila, fet står för Inställning av papperskvalitet											
Kursivt står för Inmatade siffror											
	Flöde, kg/min		Fiber konc, % av tot		Fibermass	Krita konc, % av tot		Kritamass	Flödeskvot	R fiber	R krita
	Var namn	Storlek	Var namn	Storlek	kg/min	Var namn	Storlek	kg/min			
Maskinkar	QMask=	13 249	FMask=	0.035000	463.7	KMask=	0.001400	18.55			
Fyllnadsmedel	QFylln=	306	FFylln=	0.000000	0.0	KFylln=	0.230000	70.36			
In	QIn=	13 500	FIn=	0.034350	463.7	KIn=	0.006586	88.91			
Tjockmassa	QTjock=	32 492	FTjock=	0.015916	517.2	KTjock=	0.003684	120			
Rör i BV-silo	QRBV=	32 492	FRBV=	0.015916	517.2	KRBV=	0.003684	119.69			
Gren 4, t munstycke	QG4m=	41 008	FG4m=	0.000541	22.2	KG4m=	0.001212	49.71			
Munstycke											
Rör 2	QR2=	73 500	FR2=	0.007338	539.3	KR2=	0.002305	169.40			
Rör 3	QR3=	73 500	FR3=	0.007338	539.3	KR3=	0.002305	169.40			
Virvel 1											
Virvel 1, accept	QV1a=	69 825	FV1a=	0.006797	474.6	KV1a=	0.002232	155.85	0.95	0.88	0.92
BlandTvå 5											
Rör, accept 1+2	QRA12=	90 006	FRA12=	0.006026	542.4	KRA12=	0.002074	186.65			
Rör, återlöp inloppsåtd	QRAI=	8 170	FRAI=	0.005924	48.4	KRAI=	0.002062	16.85	0.088		
BlandTvå 7											
Decculator	QDec=	98 176	FDec=	0.006017	590.8	KDec=	0.002073	203.50			
Gren 1, t maskinsilar									0.98		
Rör 12	QR12=	96 213	FR12=	0.006017	579.0	KR12=	0.002073	199.43			
Gren 2											
Gren 2, t maskinsil 1	QG2M1=	48 106	FG2M1=	0.006017	289.5	KG2M1=	0.002073	99.71			
Rör 13	QR13=	48 106	FR13=	0.006017	289.5	KR13=	0.002073	99.71			
Maskinsil 1, accept	QMa1=	46 423	FMa1=	0.005924	275.0	KMa1=	0.002062	95.72	0.965	0.95	0.96
Rör 15	QR15=	46 423	FR15=	0.005924	275.0	KR15=	0.002062	95.72			
BlandTvå 9											
Gren 2, t maskinsil 2	QG2M2=	48 106	FG2M2=	0.006017	289.5	KG2M2=	0.002073	99.71			
Rör 14	QR14=	48 106	FR14=	0.006017	289.5	KR14=	0.002073	99.71			
Maskinsil 2, accept	QMa2=	46 423	FMa2=	0.005924	275.0	KMa2=	0.002062	95.72	0.965	0.95	0.96
Rör 16	QR16=	46 423	FR16=	0.005924	275.0	KR16=	0.002062	95.72			
BlandTvå 9											
BlandTvå 9											
Rör 17	QR17=	92 845	FR17=	0.005924	550.0	KR17=	0.002062	191.45			
Gren 3											
Gren 3, t viraparti	QG3V=	81 704	FG3V=	0.005924	484.0	KG3V=	0.002062	168.48	0.88		
Viraparti, accept	QVa=	7 353	FVa=	0.062530	459.8	KVa=	0.010997	80.87	0.09	0.95	0.48
Tork											
Viraparti, rejekt	QVr=	74 351	FVr=	0.000325	24.2	KVr=	0.001178	87.61	0.91	0.05	0.52
Rännna 2	QRn2=	74 351	FRn2=	0.000325	24.2	KRn2=	0.001178	87.61			
Rör, Överlöp inloppsåtd	QROI=	2 971	FROI=	0.005924	17.6	KROI=	0.002062	6.13	0.032		
BlandTvå 1											
BV-silo	QBV=	77 322	FBV=	0.000541	41.8	KBV=	0.001212	93.73			
Gren 4											
Virvel 1, rejekt	QV1r=	3 675	FV1r=	0.017611	64.7	KV1r=	0.003688	13.55	0.05	0.12	0.08
Rännna 1	QRn1=	3 675	FRn1=	0.017611	64.7	KRn1=	0.003688	13.55			
Rör 4	QR4=	3 675	FR4=	0.017611	64.7	KR4=	0.003688	13.55			
Gren 5, rej sp 1	QG5rs1=	18 025	FG5rs1=	0.000541	9.7	KG5rs1=	0.001212	21.85			
BlandTvå 3											
Rör 6	QR6=	21 700	FR6=	0.003432	74.5	KR6=	0.001631	35.40			
Virvel 2											
Virvel 2, accept	QV2a=	20 181	FV2a=	0.003358	67.8	KV2a=	0.001526	30.80	0.93	0.91	0.87
Rör, accept 2	Qa2=	20 181	Fa2=	0.003358	67.8	Ka2=	0.001526	30.80			
BlandTvå 5											

Virvel 2, rejekt	QV2r=	1 519	FV2r=	0.004412	6.7	KV2r=	0.003030	4.60	0.07	0.09	0.13
Rör 7	QR7=	1 519	FR7=	0.004412	6.7	KR7=	0.003030	4.60			
Gren 5, rej späd 2	QG5rs2=	6 191	FG5rs2=	0.000541	3.3	FG5rs2=	0.001212	7.51			
Virvel 4, accept	QV4a=	2 790	FV4a=	0.001046	2.9	KV4a=	0.002562	7.15	0.94	0.9	0.9
Rör, accept 4	Qa4=	2 790	Fa4=	0.001046	2.9	Ka4=	0.002562	7.15			
BlandTre 1											
Rör 8	QR8=	10 500	FR8=	0.001235	13.0	KR8=	0.001834	19.26			
Klarvatten 1	QKV1=	735	FKV1=	0.000100	0.1	KKV1=	0.000000	0.00			
BlandTvå 4		11 235		0.001161	13.0		0.001714	19.26			
Virvel 3											
Virvel 3, accept	QV3a=	10 449	FV3a=	0.001173	12.3	KV3a=	0.001419	14.83	0.93	0.94	0.77
Rör, accept 3	Qa3=	10 449	Fa3=	0.001173	12.3	Ka3=	0.001419	14.83			
Gren 1, t BlandTvå 8	QG1BT8=	1 964		0.006017	11.8		0.002073	4.07	0.02		
BlandTvå 8											
Dec överlöp	QDO=	12 412	FDO=	0.001940	24.1	KDO=	0.001522	18.90			
Rör 24	QR24=	12 412	FR24=	0.001940	24.1	KR24=	0.001522	18.90			
Tjockmassa											
Virvel 3, rejekt	QV3r=	786	FV3r=	0.000995	0.8	KV3r=	0.005631	4.43	0.07	0.06	0.23
Rör 9	QR9=	786	FR9=	0.000995	0.8	KR9=	0.005631	4.43			
Gren 5, rej späd 3	QG5rs3=	1 414	FG5rs3=	0.000541	0.8	KG5rs3=	0.001212	1.71			
Virvel 5, accept	QV5a=	600	FV5a=	0.002800	1.7	KV5a=	0.003000	1.80			
BlandTre 2											
Rör 10	QR10=	2 800	FR10=	0.001152	3.2	KR10=	0.002837	7.94			
Klarvatten 2	QKV2=	168	FKV2=	0.000100	0.0	KKV2=	0.000000	0.00			
BlandTvå 6	QBT6=	2 968	FBT6=	0.001093	3.2	KBT6=	0.002676	7.94			
Virvel 4											
Maskinsil 1, rejekt	QMa1r=	1 684	FMa1r=	0.008596	14.5	KMa1r=	0.002369	3.99	0.035	0.05	0.04
Rör 18	QR18=	1 684	FR18=	0.008596	14.5	KR18=	0.002369	3.99			
BlandTvå 10											
Maskinsil 2, rejekt	QMa2r=	1 684	FMa2r=	0.008596	14.5	KMa2r=	0.002369	3.99	0.035	0.05	0.04
Rör 19	QR19=	1 684	FR19=	0.008596	14.5	KR19=	0.002369	3.99			
BlandTvå 10											
BlandTvå 10											
Rejkitank	QRT=	3 367	FRT=	0.008596	28.9	KRT=	0.002369	7.98			
Rör 20	QR20=	3 367	FR20=	0.008596	28.9	KR20=	0.002369	7.98			
Rör 21, rej späd	QR21=	3 633	FR21=	0.000541	2.0	KR21=	0.001212	4.40			
BlandTvå 11											
Rör 22	QR22=	7 000	FR22=	0.004416	30.9	KR22=	0.001769	12.38			
Sekundär sil, accept	QSSa=	6 580	FSSa=	0.004463	29.4	KSSa=	0.001806	11.89	0.94	0.95	0.96
Rör 23	QR23=	6 580	FR23=	0.004463	29.4	KR23=	0.001806	11.89			
Tjockmassa											
Gren 4, rejektspädnin	QG4rs=	25 630	FG4rs=	0.000541	13.9	KG4rs=	0.001212	31.07			
Rör 5	QR5=	25 630	FR5=	0.000541	13.9	KR5=	0.001212	31.07			
Gren 5											

Figur D-1. Statisk modell av PM2.

TORK	TFlode=	7 353	TTid, s	16.0							
	TFiber=	0.0625	Fiber, kg/m	459.8							
	TKrita=	0.0110	Krita, kg/mi	80.9							
	TBredd=	7.2	TPap.flode,	540.7							
	TLangd=	250	Ytvikt, g/m	79.89							
	THastighet=	940	Askhalt, %	14.96							
Referensvärde	Ytvikt, g/m2	80.22	Fiber fr M-k	463.7		Verknings		0.9925			
	Askhalt, %	15.23	Krita fr M-k	20.2		Verknings		0.9136			
	Flöde fr M-kar	13249.1	Fiber konc	0.035							
			Krita fr Fyll	70.4							
			Flöde Fylln	305.9							

Figur D-2. Statisk modell av tork på PM2.

	Flöde		Fiber	i procent		Krita	i procent
IN	13 500		464	100.00		89	100.00
UT	-7 353		-460	-99.16		-81	-90.96
RESTER	6 147		4	0.8		8	9.0
varav							
Till BV-Tank	7 052	0.0005	3.8	0.8	0.00121	8.55	9.6
Sekundärsil, rejekt	420	0.0037	1.5	0.3	0.00118	0.50	0.6
Virvel 4, rejekt	178	0.0018	0	0.1	0.00446	1	0.9
Virvel 5, accept	-600	0.0028	-2	-0.4	0.00300	-2	-2.0
Övrigt	-903.0		-0.1	0.0		0.0	0.0

Figur D-3. Beräkning av vart resterna från produktionen försvinner.

# Appendix E Ombyggnad

## Bakgrund

Det finns två olika sätt att bygga in reningen i en pappersmaskin. Det ena är att utföra reningen innan mällden pumpas in i korta cirkulationen, vilket innebär rening vid 3-5% koncentration.

Det andra sättet är att rena mällden i korta cirkulationen. Till bakvatten silon kommer vatten åter från viran och späder ut mällden ner till ca 0.7%. Efter bakvattensilon tar reningen, som är i flera steg med återcirkulation vid. Beskrivet som ett dynamiskt system blir processen betydligt mer komplex i det andra fallet och man får längre tidskonstanter. Det är på det sistnämnda sättet som rening sker på PM2.

Man är intresserade av vilka förändringar det skulle medföra att placera delar av återflöden innan maskinkarspumpen samt att minska volymen i korta cirkulationen.

## Mål

Målet är framtagning och utvärdering av ett antal olika ombyggnadsförslag som kan förenkla processdynamiken och förbättra regleringen.

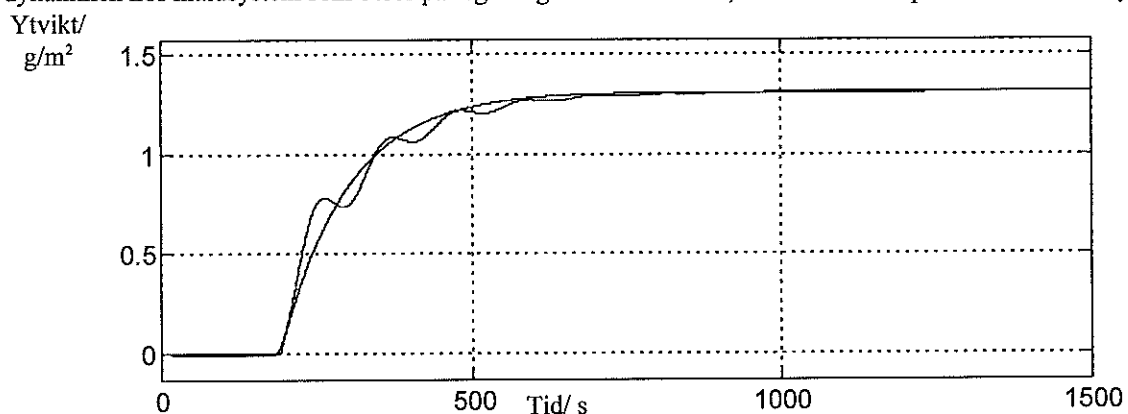
## Material och metoder

Det material som använts är den simulinkmodell som tagits fram i föreliggande arbete. Utvärdering av förändringarna görs på stegsvar för oreglerat system. Oreglerat system eftersom det är själva processen som är intressant i detta sammanhang och stegsvar eftersom det är just steg som görs vid ändring av driftsläge. Tre saker eftersträvas: likhet med ett första ordningens system, kort död tid och liten tidskonstant. För att kunna jämföra resultatet av olika förändringar behövs ett sätt att mäta. Approximativa första ordningens system har plockats fram för de olika förändringarna. Som mått på likheten med stegsvar har använts summan av kvadraterna på differensen mellan punkter belägna med 1 s mellanrum på de bägge kurvorna. Tabell E-1 återger resultatet för samtliga förändringar och figurerna visar dels systemets stegsvar, dels ett optimalt första ordningens system.

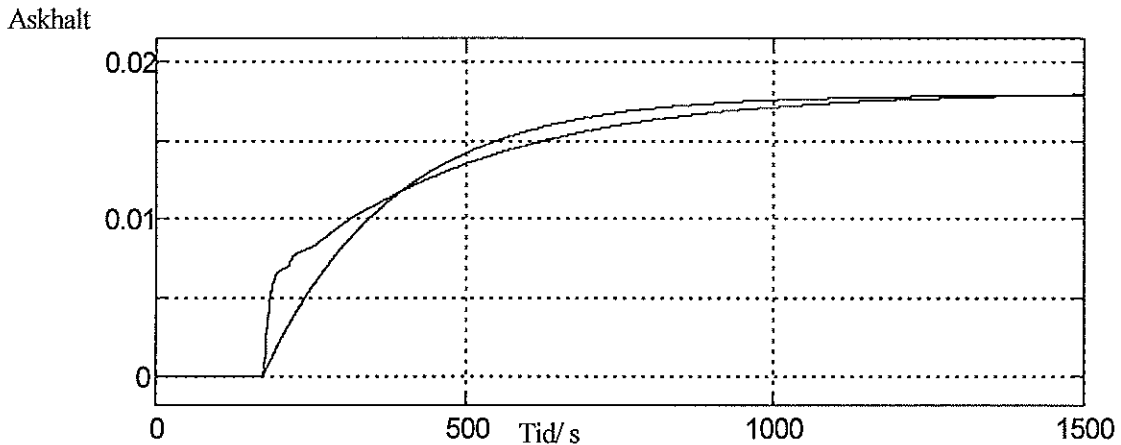
## Resultat

### Oförändrat

För jämförelsen skall återges i Figur E-1 och Figur E-2 den oförändrade modellen. Notera den svängande dynamiken hos mäldsystem som beror på regleringen av mäldflödet, och den snabba polen hos askhaltssystem.



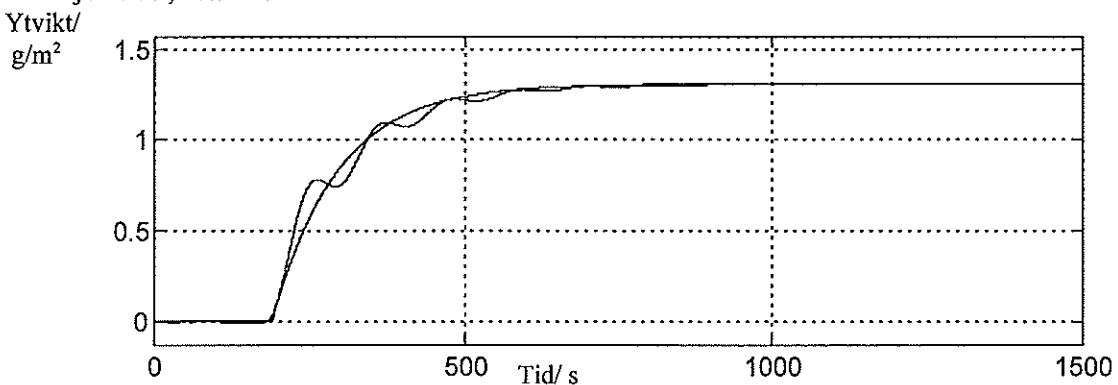
Figur E-1. Mäldsteg om 250 l/min, simulink modell och optimal första ordningens modell.



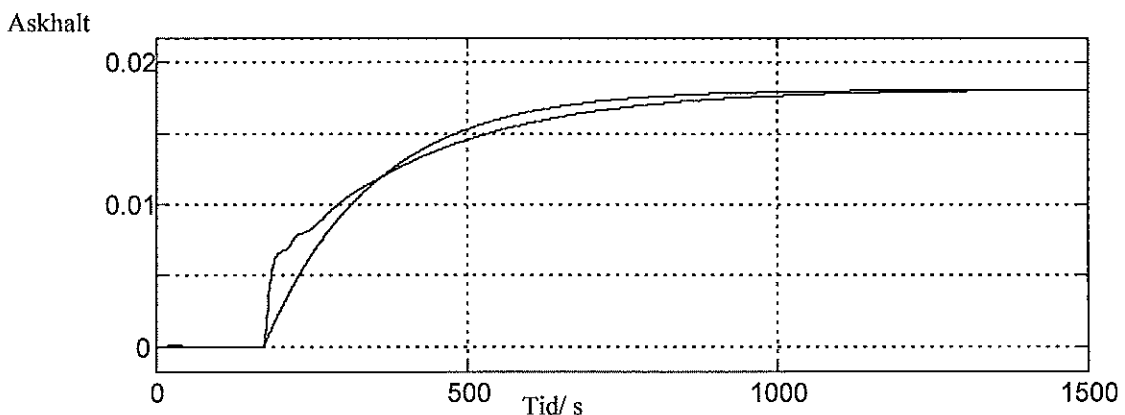
Figur E-2. Krittasteg om 50 l/min, simulink modell och optimal första ordningens modell.

### Minskning av BV-silo

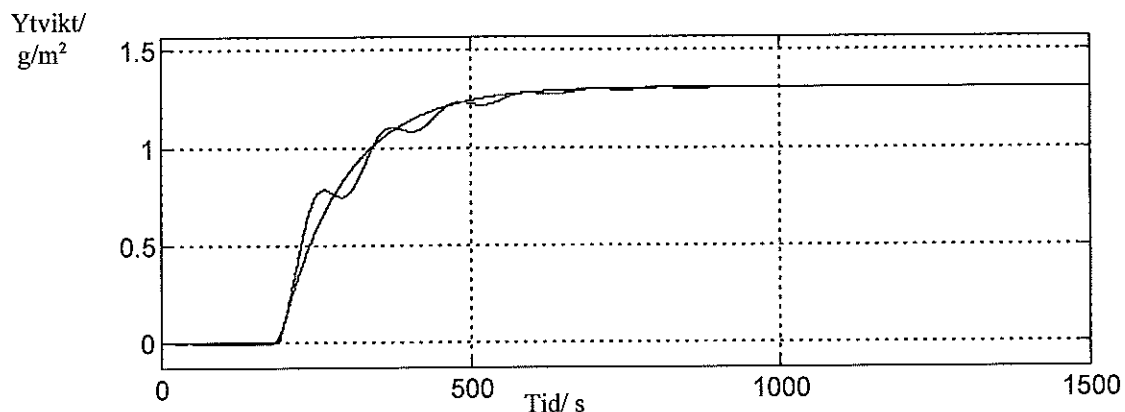
Bakvattensilon har en buffrande effekt, framförallt för krita. Genom att minska volymen minskas den buffrande effekten och ett snabbare system erhålls. Dödtiderna påverkas inte eftersom tanken modelleras som ideal och omedelbart omblandad. I verkligheten minskas dödtiderna något, men inte mycket. Den största förändringen är att tidskonstanten för kritisystem minskas så att det nya driftsläget nås snabbare. Den största vinsten med att minska bakvatten silons volym är att tidskonstanterna för mäld och krita blir mer lika. Figur E-3 och Figur E-4 visar följderna av en minskning till halva volymen, dvs till 55 m<sup>3</sup>. I Figur E-5 och Figur E-6 har volymen minskats till en fjärde del, 27.5 m<sup>3</sup>.



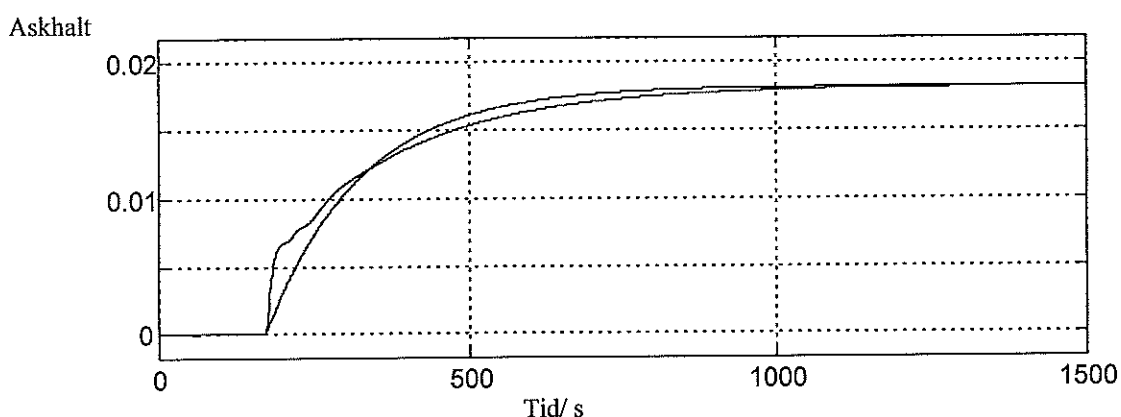
Figur E-3. Mäldsteg om 250 l/min, bakvattensilon har minskats till 55 m<sup>3</sup>.



Figur E-4. Krittasteg om 50 l/min, bakvattensilon har minskats till 55 m<sup>3</sup>.



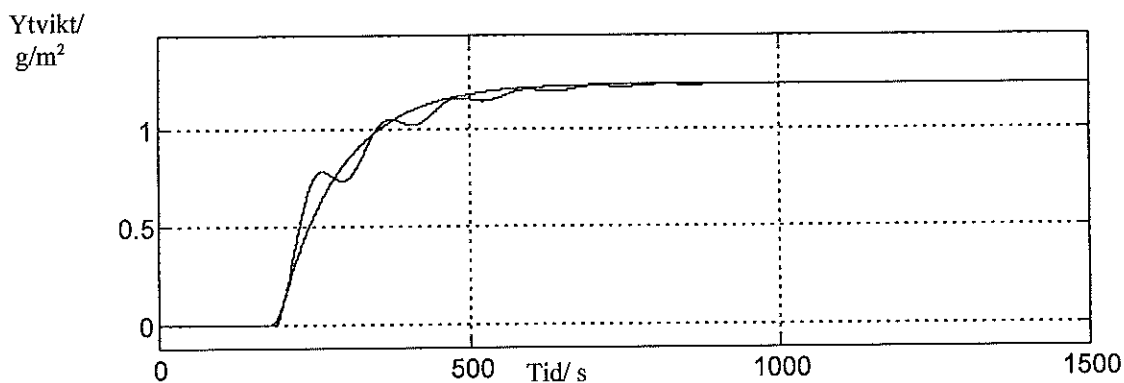
Figur E-5. Mäldsteg om 250 l/min, bakvattensilon har minskats till 27.5 m<sup>3</sup>.



Figur E-6. Kritasteg om 50 l/min, bakvattensilon har minskats till 27.5 m<sup>3</sup>.

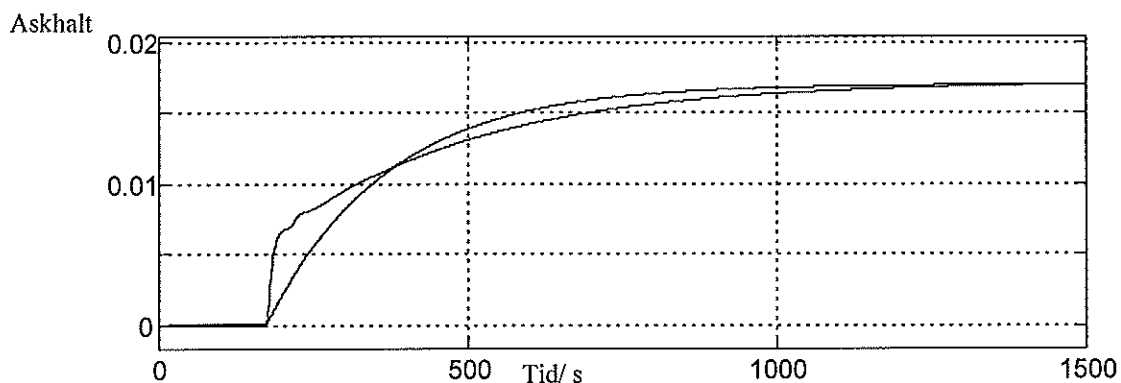
### Eliminering av maskinsilsrejekt

Genom att låta acceptet från sekundärsilon gå in i maskinkaret i stället för som nu blandas med decculator överlöp och accept 3 eliminerar man en långsam slinga från korta cirkulationen. Att låta den gå in i maskinkaret betyder inte större förlust av fiber som fallet varit om man tex dragit in röret i övre delen på bakvatten silon. För att koncentrationerna genom virvelrenarna ska bli rätt har mäld och spädning från bakvattensilon ökat i steg 1. Om man inte haft kontroll på koncentrationen från maskinkaret skulle resultatet blivit det motsatta, eftersom en ännu långsammare slinga tillfogats cirkulationen. Även mäldsystem blir snabbare, men systemen blir inte mer lika.



Figur E-7. Mäldsteg om 250 l/min, maskinsils rejekt eliminerat.

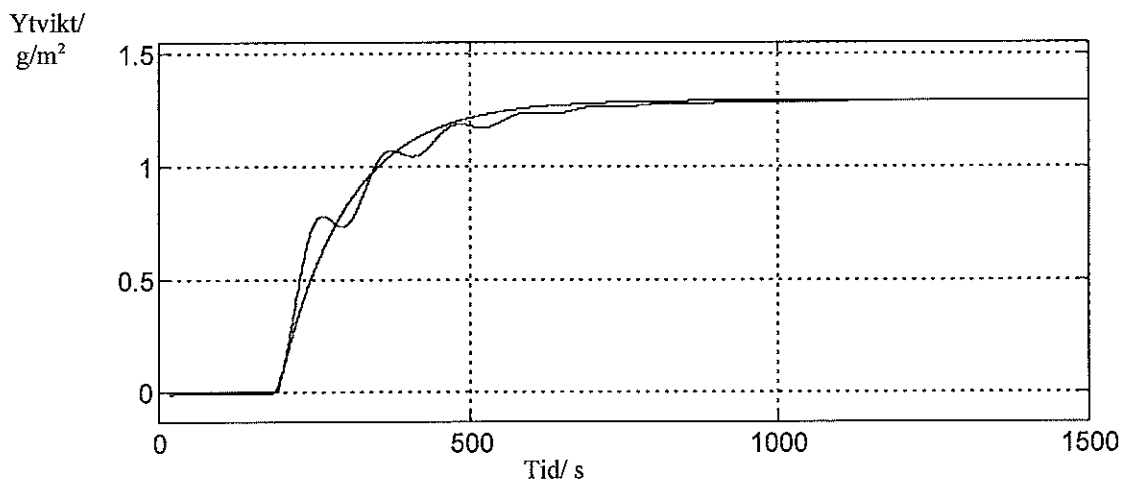




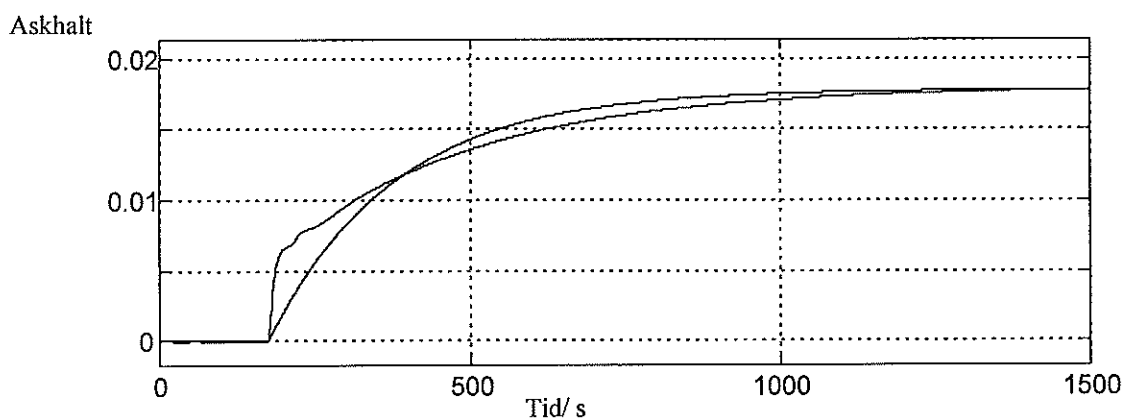
Figur E-8. Kritasteg om 50 l/min, maskinsils rejekt eliminerat.

### Eliminering av virvelrenare 3, 4 och 5

Eliminering av dessa reningssteg innebär här att rejektet från steg 2 fortfarande leds till steg 3, men att allt därefter leds åter innan korta cirkulationen. Även här förutses kontroll över koncentration från maskinkar. Rejekt 2 motsvarar 5% av injekt 1, men har högre krita innehåll på grund av rejektspädning. Förändringen blir inte stor, men mindre tidskonstant för kritisystem märks.



Figur E-9. Måldsteg om 250 l/min, virvelrenare 3, 4 och 5 eliminerade.



Figur E-10. Kritasteg om 50 l/min, virvelrenare 3, 4 och 5 eliminerade.

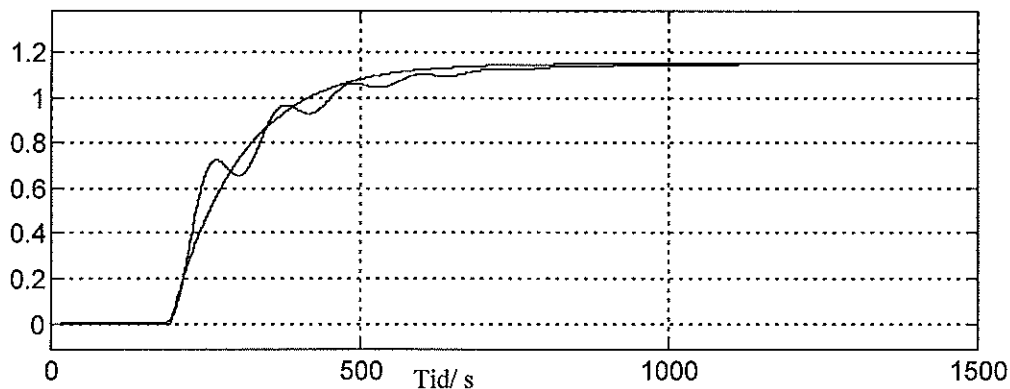
### Eliminering av virvelrenare 2, 3, 4 och 5

Rejektet från steg 1 föres åter innan korta cirkulationen. Flödet till decculatorn minskar och därmed till maskinsilar och inloppslådan. För att ytvikten skall kunna uppnås måste koncentrationen till steg 1 ökas, vilket i

praktiken innebär att virvelrenarna måste bytas ut för att reningen ska fungera. Alternativt kan maskinen köras på lägre hastighet, men då kommer inte maskindelar som ligger efter steg 1 att användas optimalt. Att flöden i denna del av maskinen minskar ger också längre dödtid och för mäld system större tidskonstant. De sista kan man i och för sig komma åt genom att byta ut rören mot rör med mindre diametrar.

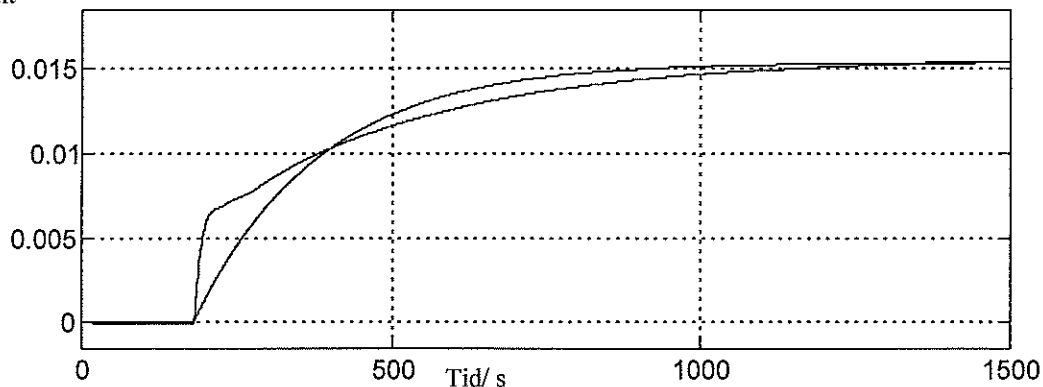
Detta förslag innebär alltför långtgående ombyggnader av resten av maskinen för att det ska vara aktuellt.

Ytvikt/  
g/m<sup>2</sup>



Figur E-11. Mäldsteg om 250 l/min, virvelrenare 2, 3, 4 och 5 eliminerade.

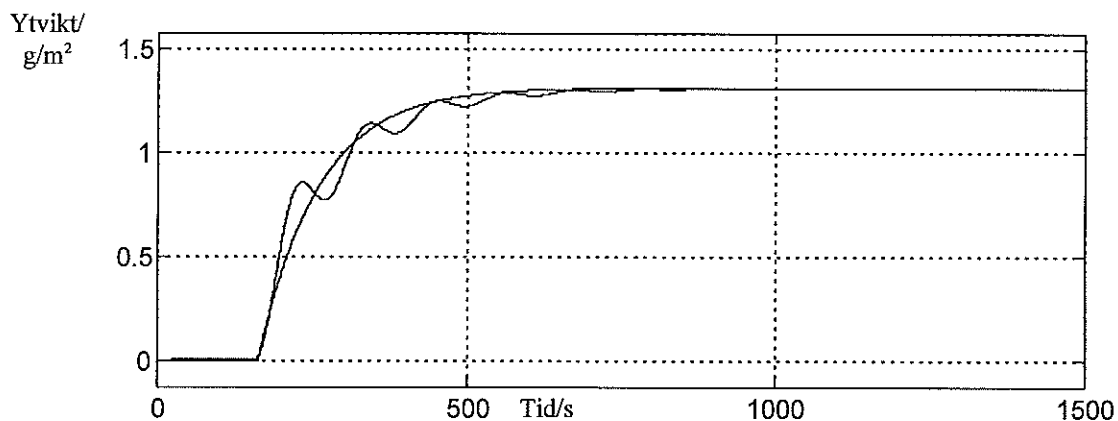
Askhalt



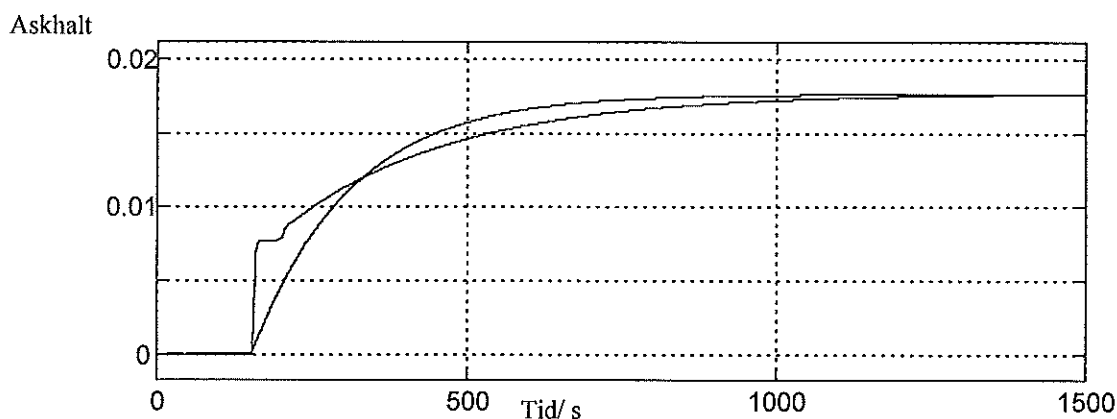
Figur E-12. Kritasteg om 50 l/min, virvelrenare 2, 3, 4 och 5 eliminerade.

### **Eliminering av virvelrenare**

Detta är ett alternativ som innebär väldigt stor ombyggnad, så att reningen utföres innan korta cirkulationen, såsom beskrivits under bakgrund. Maskinsilarna skall dock vara kvar. Minskningen av dödtiden är märkbar här, men kan i praktiken göras ännu större eftersom den totala om dragningen av rör ger utrymme för att ta hänsyn till detta mål, vilket inte har gjorts vid konstruktionen av maskinen som den är idag. Även tidskonstanterna minskar, framförallt för kritasystem. Att virvelrenarna ligger innan korta cirkulationen innebär dessutom att behovet av en buffrande volym minskar och det är realistiskt att tänka sig att bakvattensilon kan minskas till hälften. Detta innebär att tidskonstanterna kan minskas ytterligare och framförallt bli mer lika.



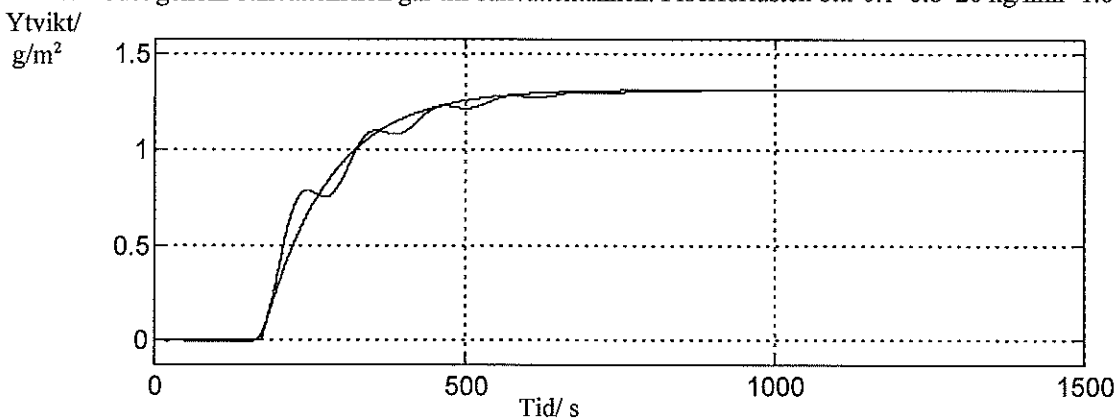
Figur E-13. Mäldsteg om 250 l/min, virvelrenare eliminerade.



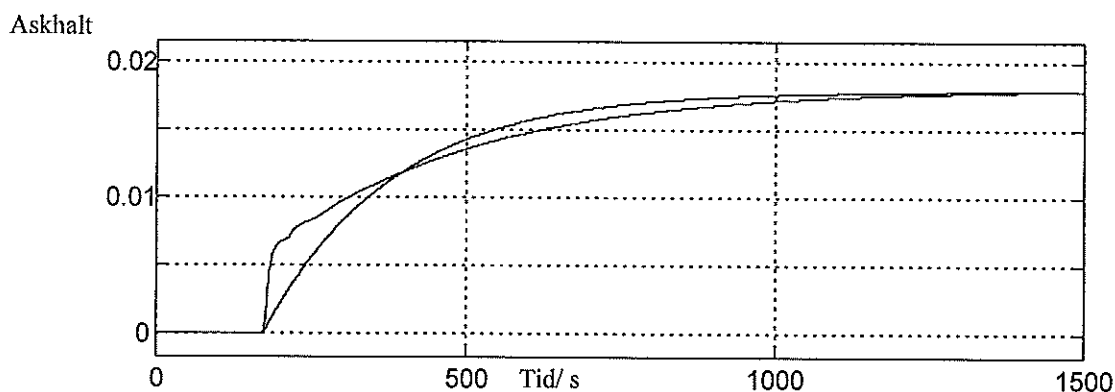
Figur E-14. Kritasteg om 50 l/min, virvelrenare eliminerade.

### Ändring av inloppslådans överlöp

Dynamiken påverkas ringa av att flytta inloppslådans överlöp från bakvattensilon till tjockmassaröret. Notera dock att för mäld system är påverkan lika stor som att minska bakvattensilons volym till hälften. Det finns ändå anledning att göra denna förändring då ca 20 kg/min mäld med kritainnehåll 20% strömmar ut denna väg. Ca 10% av flödet genom bakvattensilon går till bakvattentanken. Fiberförlusten blir  $0.1 \cdot 0.8 \cdot 20 \text{ kg/min} = 1.6 \text{ kg/min}$ .



Figur E-15. Mäldsteg om 250 l/min, inloppslådans överlöp flyttat.



Figur E-16. Kritasteg om 50 l/min, inloppslådans överlöp flyttat.

## Utvärdering och slutsatser

Tabell E-1. Data för ombyggnader

Ombyggnad	Mäld-Ytvikt				Krita-Askhalt					
	Dödtid	Tidskonst	Förstärkn	Avvikelse	Opt tidsk	Dödtid	Tidskonst	Förstärkn	Avvikelse	Opt tidsk
	Td [s]	Ti [s]	K [gmin/m <sup>2</sup> L S <sub>2</sub> ]	S <sub>2</sub>	Tim [s]	Td [s]	Ti [s]	K [min/L]	S <sub>2</sub>	Tim [s]
Oförändrat	90	129	0.00523	0.00147	108	72	202	0.000359	1.09E-06	210
Minskning av BV-silo, 1/2	90	127	0.00523	0.00131	105	72	168	0.000362	7.46E-07	175
Minskning av BV-silo, ¼	90	125	0.00523	0.00120	103	72	141	0.000363	5.58E-07	151
Eliminering av maskinsils rejekt	90	122	0.00492	0.00139	98	73	185	0.000341	1.08E-06	194
Eliminering av virvelrenare 3, 4 och 5	90	130	0.00516	0.00164	109	74	190	0.000355	1.01E-06	200
Eliminering av virvelrenare 2, 3, 4 och 5	93	132	0.00461	0.00152	110	80	184	0.000307	9.98E-07	198
Eliminering av virvelrenare	62	124	0.00526	0.00184	96	52	142	0.000354	1.35E-06	157
Ändring av inloppslådans överlöp	90	126	0.00526	0.00134	105	73	198	0.000360	1.13E-06	207

Tabell E-1 visar resultatet för de olika ombyggnadsförslagen. Optimal tidskonstant är tidskonstanten för det första ordningens system som approximerar datan bäst.

Minskning av bakvattensilons volym ger snabbare stegsvar för kritasystem och mäld- och kritasystemen blir mer lika varandra. Dödtiden påverkas i praktiken, men ringa.

Eliminering av delar av virvelrenarsystem är ej lämpligt då förändringen inte är till det bättre, och i vissa delar till och med till det sämre. Dessutom minskar maskinens kapacitet.

Eliminering av hela virvelrenar systemet minskar dödtider, tidskonstanter och skillnaden mellan mäld- och kritasystem. Förändringen ger dessutom utrymme för att minska bakvattensilons volym och rörlängd, vilket leder till ytterligare positiva effekter.

Flyttning av maskinsilsrejekt ger positiva effekter om regleringen tar hänsyn till koncentrationen från maskinkaret.

Flyttning av överlöpet från inloppslådan ger ringa dynamiska effekter, men fiberförlust om 1.6 kg/min undviks.