



LUND UNIVERSITY

Olinjära matematiska modeller för våtpartiet på en pappersmaskin

Häggman, Börje

1972

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Häggman, B. (1972). *Olinjära matematiska modeller för våtpartiet på en pappersmaskin*. (STFI Meddelande Serie B 153). Svenska Träforskningsinstitutet (STFI).

Total number of authors:

1

General rights

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

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

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

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

Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

SVENSKA TRÄFORSKNINGSINSTITUTET



**Olinjära matematiska modeller för våtpartiet
på en pappersmaskin**

Börje Häggman

MEDDELANDE

SERIE B	NR 153
FA B:12	PA B:49

Stockholm 1972

Innehållsförteckning

	Sida
Sammanfattning	5
Införda beteckningar	7
Inledning	9
Historik över tidigare arbeten	11
Beskrivning av processen	13
En kortfattad beskrivning av processen	13
Stationära mätningar och flödesdiagram	14
Några uppmätta stegsvar hos processen	18
En enkel en-fraktionmodell av våtpartiet	21
Allmänna antaganden	21
Härledning av en enkel en-fraktionmodell	22
Några tänkbara förenklingar av modellen	26
Analys av den enkla en-fraktionmodellen	29
Analys av modellens dynamik	29
Analys av den stationära en-fraktionmodellen	30
Analys av lineariserade modeller	31
Analys av normerade flödesdiagram	32
Mer sofistikerade matematiska modeller	35
Experimentellt funna värden för viraretentionsfaktorn	35
Han's viraretentionsmodell	36

4.

En-fraktionmodell med variabel virarettention	37
Experimentellt funna data för fraktionsegenskaper	38
Härledning av en fler-fraktionmodell	41
Två-fraktionmodell för en journalpappersmaskin	42
Analys av data	43
Avslutning	45
Appendix	47
Simuleringsprogram för den enkla en-fraktion- modellen skrivet i CSMP	47
Litteratur	51

Sammanfattning

NYCKELORD: *mathematical models*
retention
fractions
simulation
wet ends

I rapporten härleds matematiska modeller för de dynamiska egenskaperna hos våtpartiet på en pappersmaskin. Modellerna, som är olinjära till sin natur, beskriver hur processens insignaler tjockmassaflöde, tjockmassakoncentration, tunnmassaflöde och virahastighet påverkar processens utsignal, torr ytvikt. Dynamiken för inloppslåda och silsystem har ej medtagits.

De väsentliga svårigheterna vid modellering av våtpartiet består i att finna beskrivningar för blandnings- och avvattningsförloppet. Blandningsförloppet beskrivs här som en kombination av löptid och ideal blandning. Avvattningsförloppet beskrivs med modeller av olika komplexitetsgrad. Begränsningar och fördelar hos de olika modellerna diskuteras och belyses med uppmätta värden.

Sammanfattningsvis framgår att vid lerhaltiga papperskvaliteter blir viragropens dynamik väsentlig. Vid icke konventionella styrproblem, exempelvis stora kvalitetsomställningar på skrivpappersmaskiner, kan dessutom fler-fraktionmodeller behöva tillgripas för att få en korrekt karakterisering av processen.

6.

En fler-fraktionmodel ger nämligen en beskrivning av de olika dynamiska egenskaperna hos de i tjockmassan ingående fraktionerna.

Införda beteckningar

- C_o = total tjockmassakoncentration (kg/m^3)
 C_{oj} = koncentration av fraktion j i tjockmassan (kg/m^3)
 C_1 = total inloppslådekonzentration (kg/m^3)
 C_{1j} = koncentration av fraktion j i inloppslådan (kg/m^3)
 C_2 = total viragropskoncentration (kg/m^3)
 C_{2j} = koncentration av fraktion j i viragrop (kg/m^3)
 C_3 = total koncentration i överlöpsflödet (kg/m^3)
 C_{3j} = koncentration av fraktion j i överlöpsflödet (kg/m^3)
 q_o = tjockmassaflöde (m^3/s)
 q_1 = flöde genom inloppslådan (m^3/s)
 W = total torr ytvikt (kg/m^2)
 W_j = torra ytvikten av fraktion j (kg/m^2)
 S = effektiv läppöppning (m)
 r_1 = total viraretentionsfaktor
 r_{1j} = viraretentionsfaktor för fraktion j
 r_2 = parameter för viragropen med avseende på total koncentration
 r_{2j} = parameter för viragropen med avseende på fraktion j
 k = utloppskvot

8.

- U_w = virahastighet (m/s)
- B = maskinbredd (m)
- T_1 = löptiden i systemet mellan blandningspump och läpp (s)
- T_2 = löptiden i systemet mellan vira och viragropens botten (s)
- T_3 = Löptiden i systemet mellan vira och överlöpet (s).
- T' = löptid i tjockmassaledning (s)
- T'' = löptid mellan viragropens botten och blandningspump (s)
- V_1 = effektiva blandningsvolymen mellan blandningspump och läpp (m^3)
- V_2 = effektiva blandningsvolymen mellan viran och viragropens botten (m^3)
- V_3 = effektiva blandningsvolymen mellan vira och överlöpet (m^3)
- XPM = experimentpappersmaskinen vid STFI

Inledning

Denna rapport skall ses som ett första delresultat av ett pågående forskningsprojekt rörande längsstyrning på pappersmaskiner. Av denna anledning behandlas här enbart modellering av våtpartiet på en pappersmaskin. De presenterade modellerna bygger väsentligen på massbalanser och bildar tillsammans en familj inom vilken i första hand problem- och systemanalys kan göras. Inledningsvis härleds och analyseras förhållandevis enkla matematiska modeller. Komplexitetsgraden ökas sedan för att få med väsentliga processegenskaper, som är av intresse vid icke konventionella styrproblem av typen stora omställningar på finpappersmaskiner.

Modellerna är således icke i någon väsentlig grad baserade på mätningar av dynamiken hos den aktuella processen. På grund av komplexiteten hos våtpartiet måste dock under alla omständigheter den slutgiltiga dimensioneringen av reglerstrategier baseras på dylika mätningar. Ett stort antal mätningar av de stationära processegenskaperna har gjorts på experimentpappersmaskinen vid STFI. Därvid har vitt skilda papperskvaliteter undersökts och uppmätta värden presenteras och analyseras här på ett sätt som möjliggör direkta jämförelser. Mätningar av processens dynamiska egenskaper pågår. I denna rapport berörs helt ytligt några av resultaten från dessa mätningar.

Historik över tidigare arbeten

I litteraturen finns ett stort antal arbeten rörande matematisk modellering av våtpartiet. Modellerna bygger på kontinuitetsekvationer för fiber-, fyllnadsmedel- och vattenflöden samt ekvationer för blandningsmekanismer och avvattning. Modellerna är dock väsentligen av två slag. De kan antingen beskriva processens egenskaper lokalt och resulterar då i partiella differentialekvationer eller också beskriver de processen mera i stort genom ordinära differentialekvationer. Denna senare typ av modeller kan erhållas genom medelvärdesbildning av lokala modeller. De på så sätt erhållna modellerna ger naturligtvis ej en lika detaljerad bild av processen men är å andra sidan genom sin enkelhet mer användbara för tillämpningar t.ex. reglering. De väsentliga svårigheterna vid modellering av våtpartiet består i att finna adekvata beskrivningar av blandnings- och avvattningsförloppet. Specialundersökningar av det sistnämnda fenomenet och resulterande i lokala modeller återfinns i Meyer (1), Wahlström, O'Blenes (2), Ingmanson (3), Nelson (4) och Han (5). Utgående från deras arbeten har Schoeffler, Sullivan (6) utvecklat en lokalt beskrivande modell för hela våtpartiet. En analys av blandningsförloppet återfinns i Mih, Parker (7). Bland modeller, som beskriver processen mera i stort, märks Beecher (8). I arbeten av Alsholm, Schoeffler (9), Sullivan, Schoeffler (10) och Miller, Freeh (11) återfinns dessutom intressanta försök till flerfraktionmodeller. Av modeller som under senare år publicerats kan Johnstone, Kirk (12) och Ramaz, Bauduin, Marcé (13) nämnas. Hos Åström (14) återfinns förutom experimentellt funna modeller även modeller för processens störningar.

12.

Modeller för silsystem och inloppslådor återfinns hos Haglund (15) och Mardon (16).

Beskrivning av processen

Inledningsvis klargjordes att i fortsättningen kommer endast den del av pappersframställningsprocessen som brukar kallas pappersmaskinens våtparti att beskrivas och analyseras. Denna del sträcker sig från maskinkaret fram till presspartiet.

I detta kapitel skall en kortfattad beskrivning ges av detta system, samt vilka förenklingar som gjorts. Vidare kommer stationära mätningar, flödesdiagram för våtpartiet och avslutningsvis även stegsvar för processen att behandlas.

En kortfattad beskrivning av processen

Våtpartiet på en pappersmaskin utgör ett komplicerat system inom vilket flöden av fiber och fyllnadsmedel sker, transporterade av stora vattenflöden. Systemen kan variera i detaljutförande på det mest skiftande sätt. Den principiella uppbyggnaden framgår dock av följande figur:

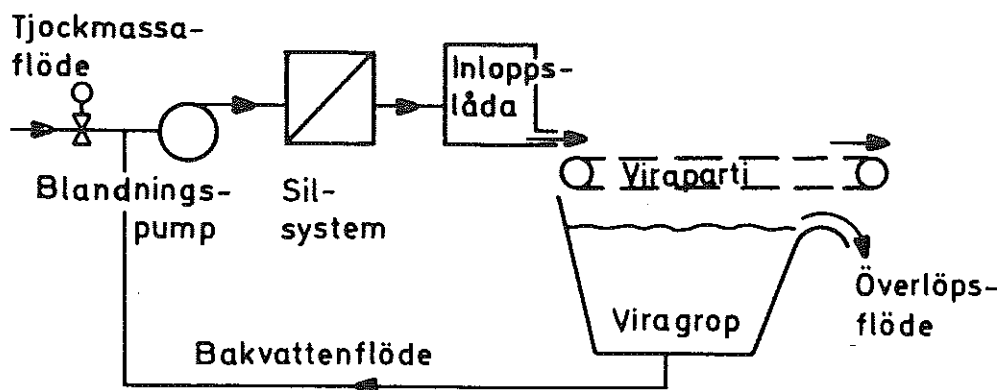


Fig. 1 Våtpartiets principiella uppbyggnad

Två väsentliga förenklingar av systemet skall göras. Således kommer i den fortsatta framställningen silsystemets dynamik icke närmare att behandlas. Dessutom förutsätts inloppslådan vara så pass väl reglerad att dess dynamik kan försummas.

Det bör emellertid noteras att dessa två antaganden kan utelämnas, eftersom adekvata modeller för såväl silsystem som inloppslåda kan formuleras. De nu införda förenklingarna tjänar naturligtvis blott som medel för att hålla modellkomplexiteten nere.

I fortsättningen av detta kapitel skall några faktiska egenskaper hos processen belysas.

Stationära mätningar och flödesdiagram

De variabler, som i fortsättningen kommer att användas för beskrivning av våtpartiets tillstånd, är fiber- och fyllnadsmedelkoncentrationer i inloppslåda och viragrop. Dessa variabler beror i sin tur av en uppsättning manipulerbara storheter bl.a. typ av tjockmassa, malgrad, pH, tjockmassadosering, tunnmassaflöde och virahastighet. Valet av beskrivande storheter är i viss mån godtyckligt. För att en beskrivning av processen i de föreslagna tillståndsvariablerna skall vara praktiskt användbar bör de ingående storheterna i så stor utsträckning som möj-

ligt vara mätbara. Förutom att detta är en kostnadsfråga kan speciellt mätning av fiber- och fyllnadsmedelkoncentrationer i våtpartiet vara svår att uppnå på grund av avsaknad av tillförlitliga givare. Stationära mätningar kan dock i allmänhet realiseras genom manuell provtagning med åtföljande laboratorieanalys.

För att få en uppfattning om storleksordningen hos olika flöden i våtpartiet ges här ett flödesdiagram för XPM. Produktionen består i detta fall av säckpapper med torra ytvikten ca 60 g/m^2 vid hastigheten 300 m/min .

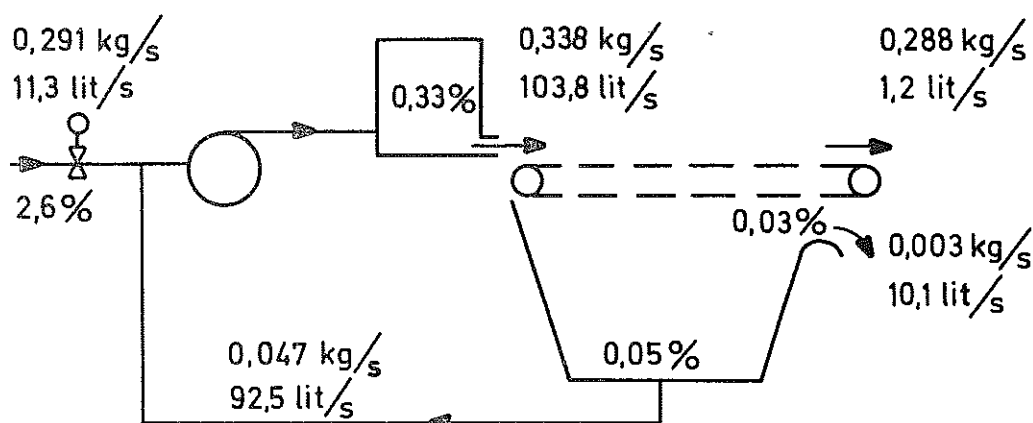


Fig. 2 Flödesdiagram för XPM vid produktion av säckpapper med torra ytvikten 60 g/m^2 och maskinhastigheten 300 m/min . I de olika punkterna anges överst fiberflödet och därunder vattenflödet. I inloppslåda och viragrop anges också koncentrationen av fibrer.

Av flödesdiagrammet framgår att det största fiber- och vattenflödet sker genom inloppslådan. Vattenflödet genom inloppslådan passerar till 99 % genom viran, medan blott 15 % av fiberflödet gör det. Fiberflödet i returledningen från viragropen uppgår dock till ca 16 % av tjockmassaflödet. Notabelt är att det finns koncentrationsgradienter i viragropen, samt att fiberflödet och vattenflödet ut ur korta cirkulationen i detta fall uppgår till ca 1 % resp. 90 % av tjockmassaflödet.

Denna typ av flödesdiagram ger många viktiga upplysningar om våtpartiet,

men har den svagheten att jämförelse mellan flödesdiagram för olika pappersmaskiner ej går att göra direkt. Så exempelvis inverkar maskinbredd och virahastighet på flödenas storlek. Det kan därför vara lämpligt att normera flödesdiagrammet.

Någon av följande två inbördes likvärdiga metoder kan då vara lämpliga:

Alla flöden anges per viktenhet doserad torr massa.

Alla flöden anges per viktenhet producerat torrt papper.

I fortsättningen har godtyckligt valts att normera flödesdiagrammen enligt det sista alternativet. En mera utförlig beräkning av normerade flödesdiagram återfinns i nästa kapitel.

För att nu belysa vilka olikheter det kan finnas mellan pappersmaskiner skall här ges normerade flödesdiagram för några vitt skilda papperskvaliteter, nämligen

Säckpapper	Mäld: 100 % oblekt sulfat, mald till 23° SR
Tidningspapper	Mäld: 80 % slipmassa, vid 64° SR och 20 % oblekt sulfit, mald till 21° SR
Journalpapper	Mäld: 62,5 % slipmassa, vid 75° SR och 20,8 % oblekt sulfit, mald till 21° SR samt 16,7 % lera
Finpapper	Mäld: 50 % blekt barrvedssulfat, 55° SR 33 % blekt lövvedssulfat, 45° SR 17 % lera

För att renodla jämförelsen har torra ytvikten och maskinhastigheten valts lika i samtliga fall, 60 g/m² resp. 200 m/min. Alla värden är uppmätta på XPM. I diagrammen anges i de olika punkterna överst fiberflödet, sedan leraflödet och sist vattenflödet, allt räknat per ton producerat torrt papper. Vid koncentrationsangivelserna står fiberkoncentrationen överst och därunder lerakoncentrationen.

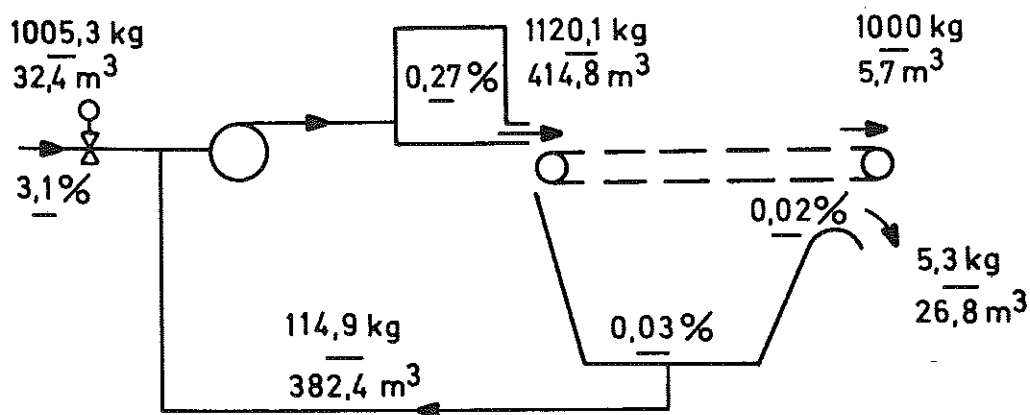


Fig. 3 Normerat flödesdiagram för säckpapperskvalitet

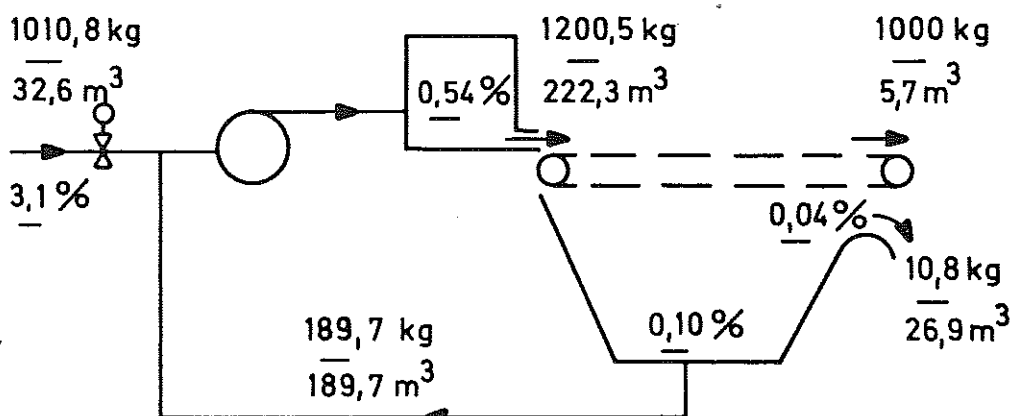


Fig. 4 Normerat flödesdiagram för tidningspapperskvalitet

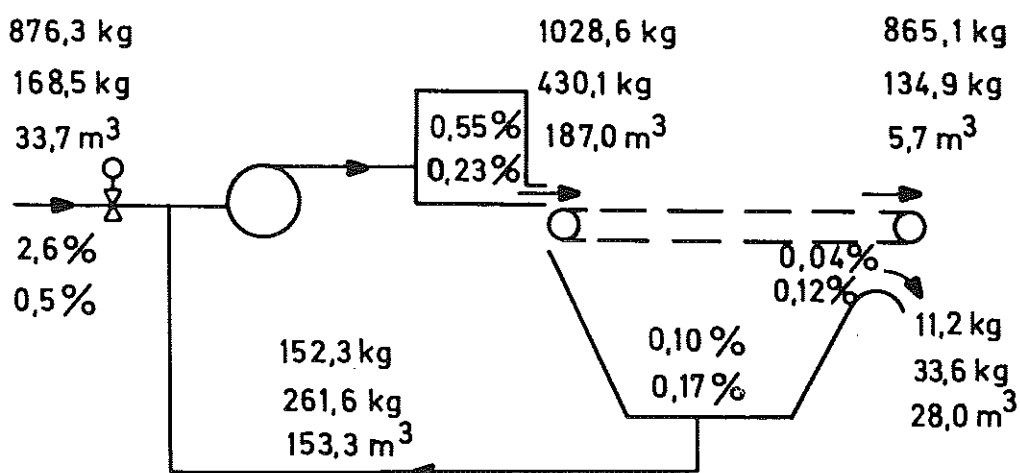


Fig. 5 Normerat flödesdiagram för journalpapperskvalitet

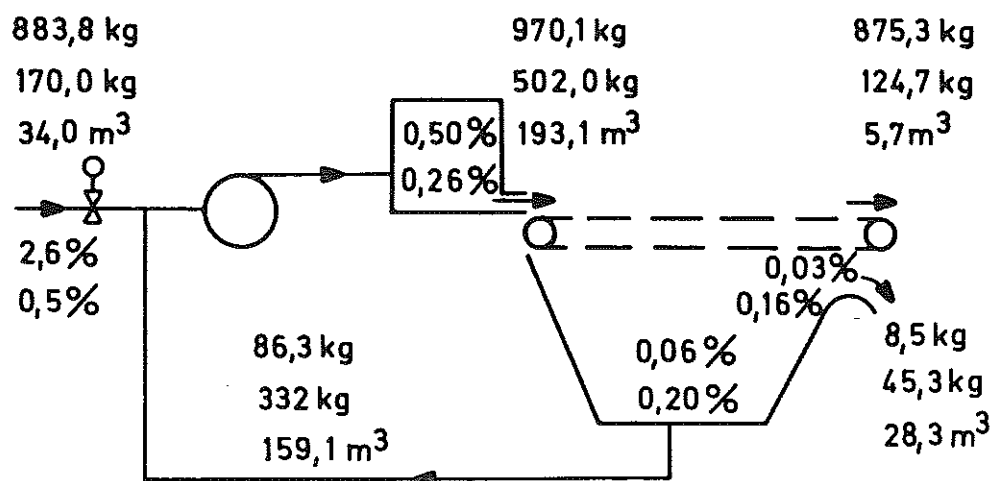


Fig. 6 Normerat flödesdiagram för finpapperskvalitet

Av diagrammen följer att olika fiberkvaliteter skiljer sig väsentligt vad beträffar den andel av fiberflödet genom inloppslådan, som passerar genom viran. Avvattningsegenskaperna skiljer sig ännu mer. Detta framgår av skillnaderna i vattenflödet genom inloppslådan, som valts så att torrhalten vid gusk ungefär är konstant. Lerakomponenten har dock helt andra egenskaper än fiberkomponenten. Så t.ex. framgår att andelen som passerar genom viran är 2 - 3 ggr så stor som motsvarande fiberflöde genom inloppslådan ger upphov till.

Några uppmätta stegsvar hos processen

Av det ovan sagda framgår att det i stationärt tillstånd kan finnas stora olikheter mellan ekvivalenta flöden i våtpartiet även om ytvikt och hastighet är lika. Längre fram skall påvisas att detta förhållande även ger upphov till stora olikheter i de dynamiska egenskaperna. Vissa karakteristiska dynamiska effekter kan dock kvalitativt iakttas hos alla våtpartier. Vilka dessa är åskådliggörs av följande enkla stegsvar från en säckpappersmaskin efter det att en stegändring genererats i en av processens insignaler, nämligen tjockmassaflödet.

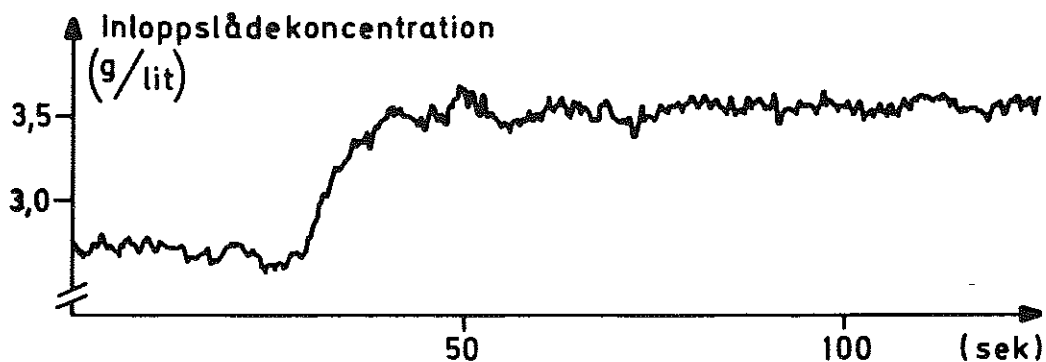


Fig. 7 Stegsvär i inloppslådekonzentration efter stegändring i tjockmassaflödet vid $t = 0$

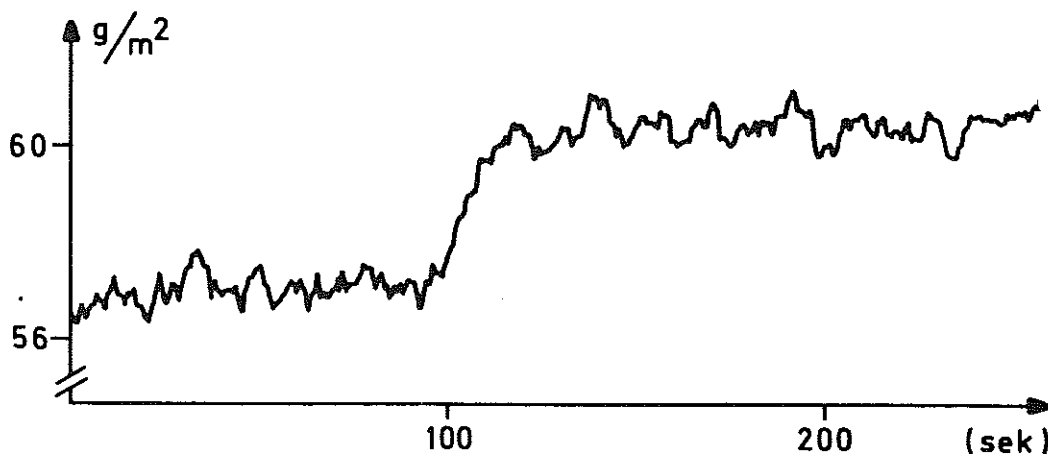


Fig. 8 Stegsvär i torr ytvikt efter stegändring i tjockmassaflödet vid $t = 0$

Av dessa enkla stegsvär följer att

- det finns stora löptider hos processen,
- det finns fenomen i korta cirkulationen, som yttrar sig i analogi med blandning,
- det finns störningar på process och givare.

Av nedanstående figur framgår hur processen reagerar på en mera sammansatt insignal. I figuren återges variationer i torr ytvikt vid tjockmassaflödesändringar. Utsignalen har skiftats så att löptiden är 0.

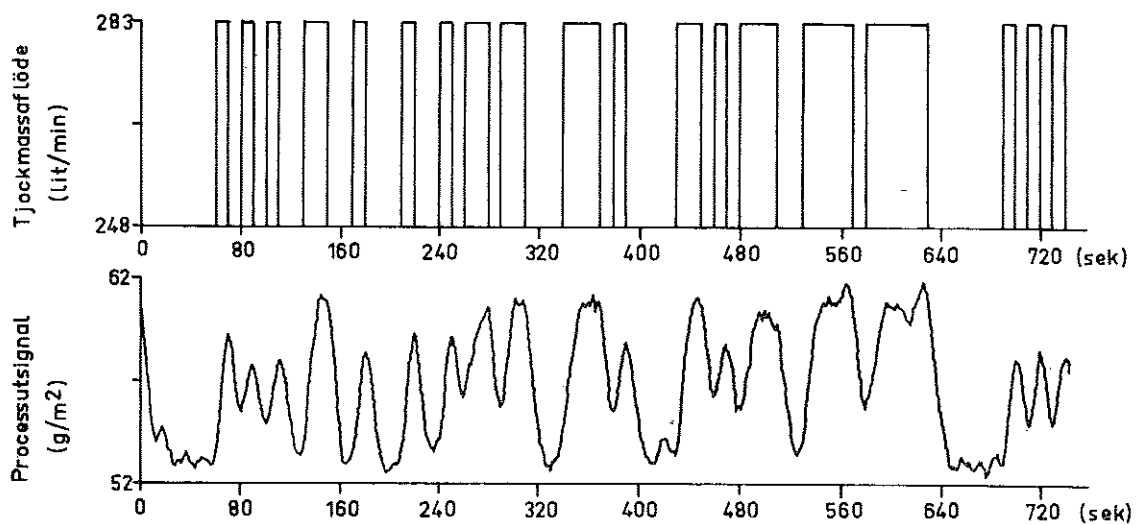


Fig. 9 Variation i torr ytvikt vid tjockmassaflödesändringar på en säckpappersmaskin

Med utgångspunkt från de ovan beskrivna stationära och dynamiska egenskaperna hos våtpartiet skall nu en olinjär matematisk modell formuleras, som på ett tillfredsställande sätt återger de gjorda iakttagelserna. Matematiska modeller för processens störningar kommer dock inte att närmare behandlas.

En enkel en-fraktionsmodell av våtpartiet

Vid härledning av matematiska modeller för våtpartiet måste i princip två svårigheter bemästras, nämligen formulering av lämpliga matematiska beskrivningar för avvattningsprocessen på viran och blandningsdynamiken i korta cirkulationen. Avgörande för hela modellens komplexitet är på det hela taget just beskrivningen av dessa två fenomen.

I detta avsnitt skall en förhållandevis enkel dynamisk modell av våtpartiet presenteras. Gjorda antaganden formuleras och diskuteras. Avslutningsvis behandlas tänkbara förenklingar av modellen.

Allmänna antaganden

I detta avsnitt kommer de allmänna antaganden som ligger till grund för samtliga här presenterade modeller att anges och diskuteras.

Följande antaganden görs:

vattenflöden är inkompressibla och har försumbar dynamik,
tvärsvariationerna på viran är så småskaliga att de ej
inverkar på modellernas medelvärdesrelationer,
pappersbanan innehåller inget vatten efter gusk,
blandningsdynamiken i korta cirkulationen kan beskrivas
med en kombination av löptid och ideal blandning,
löptiden på viran försummas,

spritsvattenflöden försummas.

Genom enkla överläggningar framgår, att dynamiken för vattenmassor i rör är snabb (tidskonstant < 1 sek). Av det andra antagandet följer, att tillståndsvariablernas beroende av tvärparametrar kan försummas. Det tredje antagandet följer på ett naturligt sätt ur de flödesdiagram, som diskuterats ovan. Notera att felet i överlöpsflödet blir ca 20 %, men att det därav resulterande felet i t.ex. utsignalen torr ytvikt blir litet. Fjärde antagandet är attraktivt ur den synpunkten att modellens ekvationer blir enkla. Giltigheten hos antagandet är dock tveksamt, eftersom omrörning ej förekommer i våtpartiet. Senare mätningar har visat att antagandet ej leder till noggranna beskrivningar av stora dynamiska förändringar i våtpartiet. Femte antagandet är ej väsentligt, men förenklar modellens ekvationer. Spritsvattenflöden är ofta mycket mindre än de normala flödena i våtpartiet. Antagandet kan för övrigt utelämnas utan några större svårigheter.

Härledning av en enkel en-fraktion modell

Till grund för den enkla enfraktion modellen skall ytterligare två antaganden läggas, nämligen:

fiberflöden i våtpartiet kan beskrivas som en-komponentflöden
dvs. material i suspensioner från olika delar av våtpartiet är
lika,

viraretentionsfaktorn är konstant.

Det är klart att ovanstående antaganden blott leder till en första approximation av avvattningsförloppet på viran. De begränsningar som en modell baserad på dessa antaganden uppvisar diskuteras i ett senare avsnitt, där även mer sofistikerade modeller skisseras.

Betrakta nu följande figur:

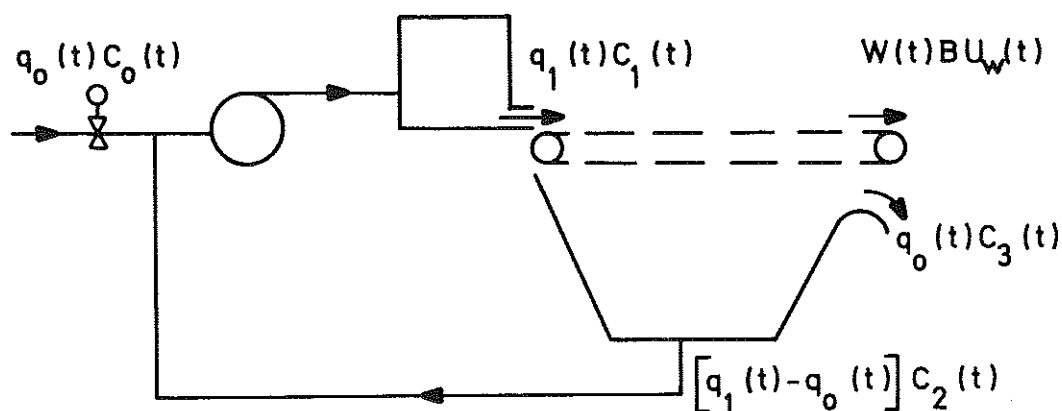


Fig. 10

I figuren anges material- och vattenflöden. Vattenflöden har med utgångspunkt från gjorda antaganden redan valts så att kontinuitets-ekvationen för vatten är satisfierad.

För korta cirkulationen utom vira och viragrop fås då:

$$V_1 \frac{dC_1(t)}{dt} = -q_1(t)C_1(t) + q_1(t) \frac{[q_1(t-T_1) - q_0(t-T_1)]C_2(t-T_1-T'') + q_0(t-T_1)C_0(t-T_1-T')}$$

I ekvation (1) är V_1 en så kallad effektiv blandningsvolym, som icke behöver motsvaras av någon påtaglig fysikalisk volym i delsystemet. Den effektiva blandningsvolymen är ofta väsentligt mindre än den totala vattenvolymen i delsystemet. Notera vidare att (1) förutsätter att den effektiva blandningsvolymen för materialflödet från viragropen är lika stor som den effektiva blandningsvolymen för tjockmassaflödet. Detta kan förväntas vara en god approximation, eftersom största delen av den effektiva blandningsvolymen genereras av blandningspump och inloppslådesystem. Löptiderna T_1 , T' och T'' är icke konstanta utan beror av resp. flödesstorlek. Detta måste särskilt beaktas vid stora

flödesändringar. I vad mån de effektiva blandningsvolymerna är konstanta har ännu ej närmare utretts.

Totala materialflödet till viragropen kan med stöd av gjorda antaganden beskrivas med:

$$(1-r_1) q_1(t) C_1(t)$$

Om ideal blandning hade kunnat förutsättas, skulle fiberflödet till korta resp. långa cirkulationen bli direkt proportionella mot resp. vattenflödesstorlek, dvs:

$$\left[1 - \frac{q_o(t)}{q_1(t)} \right] (1-r_1) q_1(t) C_1(t) \quad \text{och} \quad \frac{q_o(t)}{q_1(t)} (1-r_1) q_1(t) C_1(t)$$

För att nu kunna beskriva att stora koncentrationsgradienter finns i maskinriktningen hos fiberflödet till viragropen samt att fullständig omrörning icke föreligger införs parametern r_2 sådan att fiberflödet till korta cirkulationen ges av

$$(1-r_2)(1-r_1) q_1(t) C_1(t)$$

samt till långa cirkulationen av

$$r_2(1-r_1) q_1(t) C_1(t)$$

Detta ger oss för vira och viragrop följande matematiska beskrivning:

$$V_2 \frac{dC_2(t)}{dt} = (1-r_1)(1-r_2) \frac{q_1(t-T_2)C_1(t-T_2)}{[q_1(t-T_2)-q_o(t-T_2)]} (q_1(t)-q_o(t)) - (q_1(t) - q_o(t))C_2(t) \quad (2)$$

$$V_3 \frac{dC_3(t)}{dt} = (1-r_1) r_2 \frac{q_1(t-T_3)C_1(t-T_3)}{q_o(t-T_3)} q_o(t) - q_o(t)C_3(t) \quad (3)$$

Enligt flödesdiagrammen i fig. 3 - 6 antar r_2 värden mellan 0,03 - 0,10. I den nu härledda modellen räcker det att sätta $r_2 =$ konstant, något som i ett senare avsnitt skall granskas litet närmare.

För fiberflödet till presspartiet fås slutligen:

$$W(t) \cdot B \cdot U_w(t) = r_1 q_1(t) C_1(t) \quad (4^1)$$

eller

$$W(t) = S(t) \cdot C_1(t) \cdot r_1 \cdot k \quad (4)$$

Det bör nu observeras att dynamiken i C_3 ej har någon inverkan på dynamiken hos W . Eftersom torra ytvikten i de flesta fall är den intressanta utsignalen, innebär detta att ekvation (3) helt kan utelämnas.

Sammanfattningsvis erhålles alltså att dynamiken i torra ytvikten vid gusk, då insignalerna är tjockmassakoncentration, tjockmassaflöde, tunnmassaflöde och virahastighet, ges av ett andra ordningens icke-linjärt dynamiskt system med löptider, eller

$$V_1 \frac{dC_1(t)}{dt} = -q_1(t)C_1(t) + q_1(t) \frac{[q_1(t-T_1) - q_0(t-T_1)] C_2(t-T_1-T'') + q_0(t-T_1)C_0(t-T_1-T')}{q_1(t-T_1)} \quad (5)$$

$$V_2 \frac{dC_2(t)}{dt} = (1-r_1)(1-r_2) \frac{q_1(t-T_2)C_1(t-T_2)}{[q_1(t-T_2) - q_0(t-T_2)]} (q_1(t) - q_0(t)) - (q_1(t) - q_0(t))C_2(t) \quad (6)$$

$$W(t) = S(t) \cdot C_1(t) \cdot r_1 \cdot k \quad (7)$$

Inverkan från andra tänkbara insignaler som t.ex. malgrad, massaslag och pH har i detta sammanhang i avgränsande syfte utelämnats.

Några tänkbara förenklingar av modellen

Den givna modellen kan på grund av sin olinjära struktur icke behandlas analytiskt. Ytterligare förenklingar är därför attraktiva. I vissa speciella fall kan förenklingar göras.

Statisk modell

För analys av stationära tillstånd kan den tillhörande statistiska modellen användas. Den lyder på matrisform:

$$0 = \begin{bmatrix} -\bar{q}_1 & \bar{q}_1 - \bar{q}_0 & 0 \\ (1-r_1)(1-r_2)\bar{q}_1 & -(\bar{q}_1 - \bar{q}_0) & 0 \\ (1-r_1)r_2\bar{q}_1 & 0 & -\bar{q}_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{c}_1 \\ \bar{c}_2 \\ \bar{c}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{q}_0 \bar{c}_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{w} = \bar{s} \bar{c}_1 r_1 k$$

Detta fall analyseras i nästa avsnitt.

Lineariserad dynamisk modell

De dynamiska egenskaperna nära ett jämviktstillstånd kan beskrivas med en lineariserad modell. Denna modell är dock på differensdifferential-ekvationsform och kan därför icke enkelt analytiskt behandlas.

Exempel: Lineariserad modell då q_0 är insignal.

Lineariseras den givna modellen kring ett givet jämviktstillstånd erhålles:

$$V_1 \frac{d}{dt} (\Delta C_1(t)) = -\bar{q}_1 \Delta C_1(t) + (\bar{q}_1 - \bar{q}_0) \Delta C_2(t-T_1) + (\bar{c}_0 - \bar{c}_2) \Delta q_0(t-T_1)$$

$$V_2 \frac{d}{dt} (\Delta C_2(t)) = (1-r_1)(1-r_2) \bar{q}_1 \Delta C_1(t-T_2) - (\bar{q}_1 - \bar{q}_0) \Delta C_2(t) + \bar{c}_2 \Delta q_0(t)$$

$$\Delta W(t) = \bar{S} \cdot \Delta C_1(t) \cdot r_1 \cdot k$$

där Δ anger differensbildning mellan nya och gamla jämviktstillståndet.

Analys av den enkla en-fraktionsmodell

I detta kapitel analyseras den enkla en-fraktionmodellen. Ett fullständigt simuleringsprogram för modellen presenteras. Modellens stegsvar för ändringar i tjockmassakoncentration, tjockmassaflöde och tunnmassaflöde (läppöppning) presenteras. Det dynamiska beteendet hos förenklade modeller diskuteras.

Analys av modellens dynamik

Tidigare har konstaterats att den givna modellen icke kan behandlas analytiskt. För att underlätta analysen kan då med fördel simulering på dator tillgripas. Sålunda återfinns i appendix ett fullständigt simuleringsprogram för modellen, skrivet i CSMP (17). Med hjälp av detta program kan t.ex. olika stegsvar från modellen enkelt studeras.

I nedanstående figur anges några enkla simulerade stegsvar. Observera att samtliga stegsvar utgår från samma stationära tillstånd vid $t = 0$ samt att löptiden från inloppslåda till mätstället för ytvikt satts lika med 0. Jämviktstillstånd och parametervärden för detta fall återfinns i programmets parameterlista i appendix.

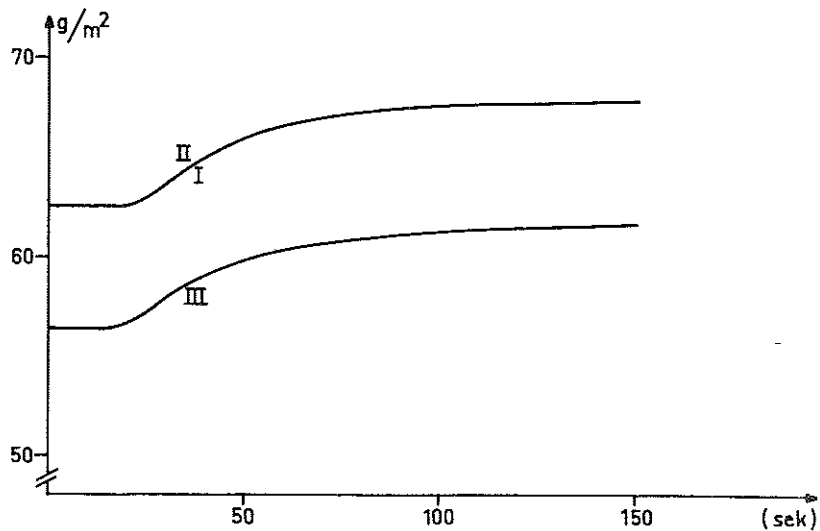


Fig. 11 Stegsvär i torr ytvikt då I) q_0 II) C_0 III) q_1 ändrats med 1 % relativt vid $t = 0$.

Analys av den stationära en-fraktionmodellen

Av den stationära modellen inses att om parametrarna r_1 och r_2 är kända a priori så kan vid kända flöden jämviktsskoncentrationerna och därmed torra ytvikten beräknas.

Exempel: Utgå från ett känt jämviktstillstånd. Antag tjockmassaflödet ändras med Δq_0 . Beräkna ändringen i jämviktstillståndet med användning av den stationära en-fraktionmodellen. De stationära avvikelserna beskrivs av:

$$0 = \begin{bmatrix} -\bar{q}_1 & (\bar{q}_1 - \bar{q}_0) & 0 \\ (1-r_1)(1-r_2)\bar{q}_1 & -(\bar{q}_1 - \bar{q}_0) & 0 \\ (1-r_1)r_2\bar{q}_1 & 0 & -\bar{q}_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{C}_1 \\ \Delta \bar{C}_2 \\ \Delta \bar{C}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{C}_0 - \bar{C}_2 \\ \bar{C}_2 \\ -\bar{C}_3 \end{bmatrix} \Delta q_0$$

varav följer att

$$\frac{\Delta(WBU_W)}{\Delta(q_o C_o)} = \frac{r_1}{r_1 + r_2 - r_1 r_2} = \frac{\bar{C}_o - \bar{C}_3}{\bar{C}_o} = K_1$$

och

$$\frac{\bar{q}_1 \Delta \bar{C}_1}{(\bar{q}_1 - \bar{q}_o) \Delta \bar{C}_2} \approx \frac{1}{(1-r_1)(1-r_2)} = K_2$$

Insättes data för säck- respektive journalpapper enligt fig. 3 och 5 erhålles:

säckpapper	$K_1 = 0,994$	$K_2 = 7,3$
journalpapper	$K_1 = 0,948$	$K_2 = 3,5$

Analys av lineariserade modeller

I föregående kapitel gavs ett exempel på en lineariserad dynamisk modell. Om processen är i kvasistationärt tillstånd kan de lineariserade modellernas homogena del alltid skrivas

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta C_1(t) \\ \Delta C_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\alpha_1 & \alpha_2 \\ (1-r_1)(1-r_2)\alpha_1\beta & -\alpha_2\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta C_1(t) \\ \Delta C_2(t) \end{bmatrix}$$

där $\alpha_1 = \frac{\bar{q}_1}{V_1}$ $\alpha_2 = \frac{\bar{q}_1 - \bar{q}_o}{V_1}$ $\beta = \frac{V_1}{V_2}$

Karakteristiska ekvationen blir:

$$s^2 + s(\alpha_1 + \alpha_2\beta) + \alpha_1\alpha_2\beta(r_1 + r_2 - r_1r_2) = 0$$

Dynamikens beroende av retentionsfaktorns värde framgår nu klart av följande rotortdiagram

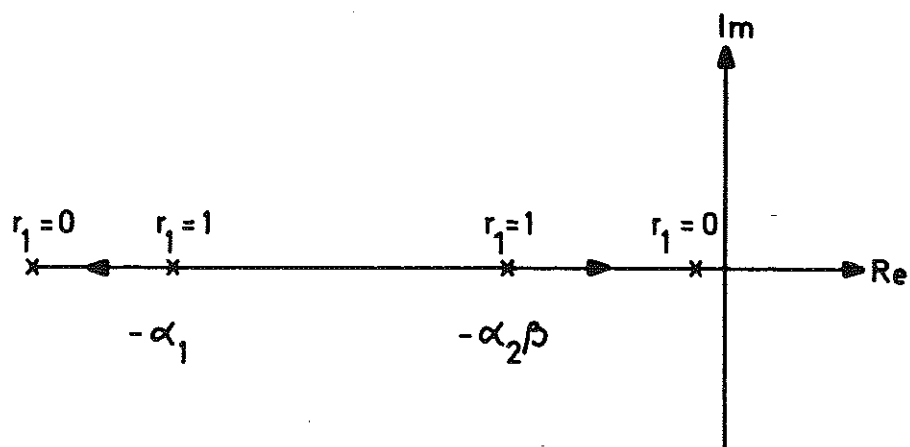


Fig. 12 Rotortdiagram för våtpartiet

Ett lågt retentionsvärde ger alltså upphov till ett trögt system.

För en säckpappersmaskin kan, enligt den stationära analysen i föregående avsnitt, den lineariserade modellen för det fall då q_0 är insignal med hygglig noggrannhet ytterligare förenklas genom att helt försumma dynamiken i viragropen. Detta leder till den ytterst enkla beskrivningen:

$$V_1 \frac{d}{dt} (\Delta C_1(t)) = -\bar{q}_1 \Delta C_1(t) + \bar{C}_0 \Delta q_0(t-T)$$

Denna modell av våtpartiet används ofta vid processreglering.

De begränsningar som denna ytterst förenklade modell uppvisar diskuteras i nästa kapitel.

Analys av normerade flödesdiagram

I ett tidigare avsnitt presenterades normerade flödesdiagram för våtpartiet. Dessa diagram kan enkelt beräknas med den stationära en-

fraktionmodellen.

Exempel: Normering med avseende på en viktenhet producerat papper.

Normeringen i detta fall innebär att den stationära modellens ekvationer skall divideras med $r_1 \bar{q}_1 \bar{c}_1$ dvs:

$$0 = \begin{bmatrix} -\frac{1}{r_1 \bar{c}_1} & (1 - \frac{\bar{q}_0}{\bar{q}_1}) \frac{1}{r_1 \bar{c}_1} & 0 \\ (1-r_1)(1-r_2) \frac{1}{r_1 \bar{c}_1} - (1 - \frac{\bar{q}_0}{\bar{q}_1}) \frac{1}{r_1 \bar{c}_1} & 0 & 0 \\ (1-r_1)r_2 \frac{1}{r_1 \bar{c}_1} & 0 & -\frac{\bar{q}_0}{\bar{q}_1} \frac{1}{r_1 \bar{c}_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{c}_1 \\ \bar{c}_2 \\ \bar{c}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\bar{q}_0}{\bar{q}_1} \frac{1}{r_1 \bar{c}_1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \bar{c}_0$$

Termerna i matriserna kan tolkas som normerade flöden i våtpartiet uttryckta i m^3 /viktenhet producerat torrt papper. Notera att det normerade fiberflödet genom inloppslådan blir $1/r_1 > 1$.

Mer sofistikerade matematiska modeller

En matematisk modell kan naturligtvis aldrig återge processens alla egenskaper. I detta avsnitt skall därför några faktiska egenskaper hos våtpartiet belysas, som är av intresse vid beskrivning och reglering av processen, men som icke på ett tillfredsställande sätt återges av den enkla modellen. Självfallet finns roten till denna diskrepans att finna i de antaganden på vilka den enkla modellen bygger. Antaganden kommer här att modifieras och mer sofistikerade modeller att skisseras.

Experimentellt funna värden för viraretentionsfaktorn

En av förutsättningarna, som den enkla modellen bygger på, är antagandet om konstant viraretentionsfaktor. Detta antagande är en approximation vilket framgår av följande, på XPM, experimentellt funna värden.

Experimentella värden: Olika ytvikter genererades av en säck- respektive journalpapperskvalitet genom ändring av tjockmassaflödet. Viraretentionen beräknades ur de så uppkomna jämviktstillstånden. Därvid erhöles följande resultat:

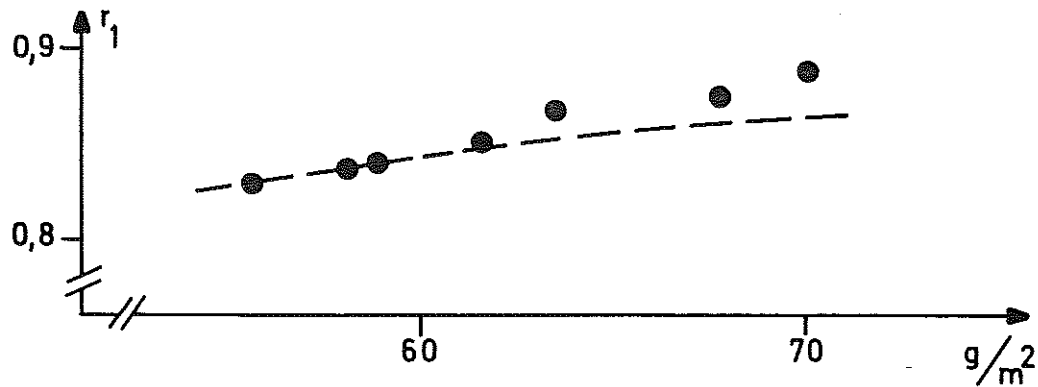


Fig. 13 Experimentellt funna värden på viraretentionsfaktorn för en kraftpappersmaskin

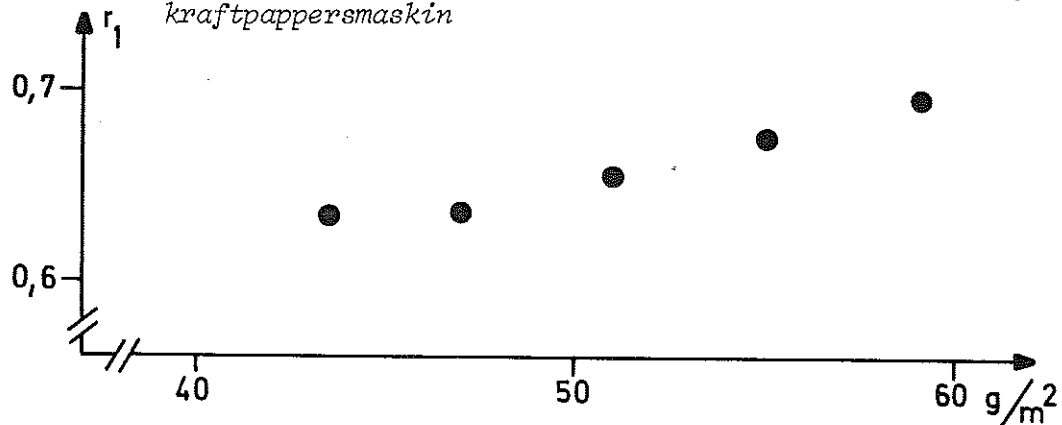


Fig. 14 Experimentellt funna värden på viraretentionsfaktorn för en journalpappersmaskin

Om vid konstant tjockmassadosering på samma sätt tunnmassaflödet varierades kunde i jämvikt ingen signifikant ändring av viraretentionen noteras.

Ur den tidigare gjorda analysen följer, att viraretentionsfaktorns värde är av avgörande betydelse för dynamiken hos våtpartiet. Det är därför av största betydelse att ange modeller för viraretentionen. Detta kan icke på ett enkelt sätt göras ur kända fysikaliska principer. I nästa avsnitt kommer en i litteraturen vanlig viraretentionsmodell att anges och analyseras.

Han's viraretentionsmodell

Han har i originalreferensen (5) angivit följande modell för viraretentionens ytviktsberoende:

$$r_1'(W) = 1 - (1-\alpha)e^{-\gamma W}$$

där α och γ är konstanter

Tillämpad på avvattningsprocessen på viran blir modellen av lokal natur. En tänkbar modell för hela viran kan då erhållas genom medelvärdesbildning över ytvikten, dvs

$$r_1(W) = 1 - \frac{(1-\alpha)}{\gamma W} (1 - e^{-\gamma W})$$

Experimentellt funna värden på parametrarna för oblekt sulfat är enligt Han m.fl. $\alpha = 0,5$ och $\gamma = 0,05 \text{ m}^2/\text{g}$. Den genom medelvärdesbildning erhållna modellen har med dessa parametervärden inritats i fig. 14. Det bör noteras att den ursprungliga lokala modellen med dessa parametervärden ej anpassar sig väl till de experimentellt funna värdena.

En-fraktion modell med variabel viraretention

Genom att utelämna antagandet om konstant viraretention och i stället införa den i föregående avsnitt angivna retentionsmodellen erhålles en en-fraktion modell med variabel viraretention. Denna modell kan förväntas vara av störst betydelse vid skrivpapperskvaliteter och speciellt vid stora, långsamma dynamiska förändringar av typ kvalitetsomställningar. Modellen kan å andra sidan i vissa fall tänkas vara onödigt sofistikerad. Ett sådant fall skisseras nedan.

Tidigare analys av förhållanden vid kraftpappersmaskiner har visat att viragropens dynamik med god noggrannhet kan försummas. Detta är speciellt möjligt, om analysen inskränkes till att gälla snabba dynamiska förändringar kring ett jämviktläge, t.ex. vid konventionell ytviktreglering. I detta fall gäller således

$$\frac{d}{dt} \Delta C_1(t) = -\alpha_1 \Delta C_1(t) + \frac{C_0}{V_1} \Delta q_0(t-T)$$

$$\Delta W(t) = \bar{S} \Delta C_1(t) r_1(W)k$$

Vid variation av torra ytvikten inom området 55 - 65 g/m² följer att viraretentionen varierar med ca 1 % relativt. I detta fall är därför antagandet om konstant viraretention fullt tillräckligt.

Avslutningsvis bör tilläggas att den här skisserade retentionsmodellen ej är fullständig. Beroendet av andra insignaler t.ex. virahastighet saknas. Det experimentella underlaget är dock för närvarande för litet för att fullständiga retentionsmodeller med säkerhet skall kunna fastläggas.

Experimentellt funna data för fraktionsegenskaper

I följande avsnitt kommer en-fraktion antagandet att närmare granskas. Uppmätta värden presenteras och flerfraktionmodeller kommer därefter att härledas.

Det är allmänt känt att fibrer från olika delar av våtpartiet är olika. Så exempelvis är fiberlängdsfördelningen hos fibrer från tjockmassakar och viragrop kraftigt förskjutna. Detta framgår klart av följande experiment:

Experimentellt funna värden 1: Koncentrationsprover från olika delar av våtpartiet togs ut vid produktion av en säckpapperskvalitet. Proverna fraktionerades på vanligt sätt med dukar om 50 resp. 100 mesh. Proportionerna mellan de så uppkomna mängderna för de olika punkterna i våtpartiet framgår av följande tabell:

<u>Prov från</u>	<u>Fiberfraktion i % av totalmängd</u>		
	> 50	50-100	< 100
Maskinkar	80,2	10,2	9,6
Inloppslåda	80,5	9,4	10,1
Viragrop	22,8	8,1	69,1

Tabell 1 Resultat från fraktionering av koncentrationsprover vid säckpapperskvalitet

Det verkar likaså vara rimligt av det tidigare sagda att icke förut-
sätta att lerafraktionen har samma egenskaper som fiberfraktionen.
Detta framgår också av följande:

Experimentellt funna värden 2: Olika ytvikter genererades vid en jour-
nalpapperskvalitet genom ändring av tjockmassaflödet. Vid de så upp-
komna jämviktstillstånden uttogs koncentrations- och pappersprover.
Fiber- och lerahalten bestämdes därefter i varje prov. Inga andra
maskinparametrar ändrades under försöket. Resultatet framgår av
tabell 2. Indexvärdet $j = 1$ avser fibrer och $j = 2$ avser lera.
En analys av dessa data återfinns nedan.

Tabell 2

Mätvärden

Försök nr	C_o kg/m ³	C_{o1} kg/m ³	C_{o2} kg/m ³	C_1 kg/m ³	C_{11} kg/m ³	C_{12} kg/m ³	C_2 kg/m ³	C_{21} kg/m ³	C_{22} kg/m ³	C_3 kg/m ³	C_{31} kg/m ³	C_{32} kg/m ³	W g/m ²	W_1 g/m ²	W_2 g/m ²	q_o l/min
1	30,30	25,19	5,11	6,31	4,39	1,92	2,39	1,00	1,40	1,73	0,56	1,17	43,6	38,3	5,3	310
2	30,72	25,69	5,03	6,66	4,62	2,04	2,54	1,00	1,53	1,74	0,52	1,22	46,8	41,2	5,6	324
3	29,40	24,44	4,96	7,06	4,93	2,13	2,57	0,99	1,58	1,72	0,48	1,24	50,9	44,7	6,3	344
4	29,16	24,49	4,67	7,31	5,11	2,20	2,56	0,96	1,60	1,68	0,45	1,23	55,0	48,1	7,0	368
5	28,50	23,67	4,83	7,74	5,47	2,27	2,59	0,97	1,62	1,62	0,42	1,20	58,9	51,3	7,7	390

Härledning av en fler-fraktionmodell

Den tidigare givna enkla en-fraktionmodellen kan direkt generaliseras till flera fraktioner, eftersom modellen blott bygger på allmänna fysikaliska principer.

En fler-fraktionmodell blir då på formen

$$V_1 \frac{dC_{1j}(t)}{dt} = -q_1(t)C_{1j}(t)$$

$$+ q_1(t) \frac{[q_1(t-T_1) - q_0(t-T_1)] C_{2j}(t-T_1-T'') + q_0(t-T_1)C_{0j}(t-T_1-T')}$$

$$V_2 \frac{dC_{2j}(t)}{dt} = (1-r_{1j})(1-r_{2j}) \frac{q_1(t-T_2) C_{1j}(t-T_2)}{[q_1(t-T_2) - q_0(t-T_2)]} (q_1(t) - q_0(t)) - (q_1(t) - q_0(t))C_{2j}(t)$$

$$W_j(t) = S(t) \cdot C_{1j}(t) \cdot r_{1j} \cdot k$$

$$1 \leq j \leq N$$

där N = antalet fraktioner.

Formellt kan övergång mellan en- och fler-fraktionmodell göras genom enkla transformationer. Sålunda är en- resp. fler-fraktionmodellernas retentionsfaktorer relaterade enligt:

$$r_1 = \frac{\sum_{j=1}^N r_{1j} \cdot C_{1j}}{\sum_{j=1}^N C_{1j}}$$

av vilket klart framgår att det totala fiberflödet till viragrop förutom att bero av det totalt deponerade fiberflödet nu även beror

av dess sammansättning. Självfallet kan retentionsfaktorerna även här tänkas vara konstanta eller variabla.

Olika typer av fler-fraktionmodeller kan nu bildas beroende på det mått som används för fraktionstillhörighet. Tänkbart mått förutom fiberlängden vore även fiberslag. Modellerna förutsätter vidare för sin giltighet på sin nuvarande form att fraktionerna genom våtpartiet ej undergår sådan mekanisk eller kemisk behandling att övergång kan ske mellan fraktioner. Ovan skisserade fler-fraktionmodeller är ibland av ringa praktiskt intresse, eftersom oberoende insignaler till respektive fraktionmodell är svåra att generera. Tillhörande dynamiska system vore framför allt också svåra att närmare karakterisera på grund av mätsvårigheter.

Dessbättre behöver troligen fler-fraktionmodeller för styrningsändamål ej tillgripas med undantag för beskrivning och styrning av stora kvalitetsomställningar på fin- och journalpappersmaskiner. Tänkbara fraktioner i detta fall vore: fibrer, lera och färger. Denna typ av fler-fraktionmodell behandlas utförligare i nästa avsnitt.

Två-fraktionmodell för en journalpappersmaskin

I detta avsnitt skall ett fall något närmare beröras, där fler-fraktionmodeller har ett direkt praktiskt intresse. Fibrer och lera hänförs här till var sin fraktion, varför $N = 2$ i den tidigare givna modellen

$$V_1 \frac{dC_{1j}(t)}{dt} = -q_1(t) C_{1j}(t) + q_1(t) \frac{[q_1(t-T_1) - q_0(t-T_1)] C_{2j}(t-T_1-T'') + q_0(t-T_1) C_{0j}(t-T_1-T')}$$

$$V_2 \frac{dC_{2j}(t)}{dt} = (1-r_{1j})(1-r_{2j}) \frac{q_1(t-T_2)C_{1j}(t-T_2)}{[q_1(t-T_2)-q_0(t-T_2)]} (q_1(t) - (q_0(t)))$$

$$- (q_1(t) - q_0(t))C_{2j}(t)$$

$$W_j(t) = S(t) \cdot C_{1j}(t) \cdot r_{1j} \cdot k$$

Index $j = 1$ respektive 2 hänförs till fibrer och lera.

Olyckligtvis kan denna modell för närvarande icke på ett tillfredsställande sätt studeras på grund av avsaknad på tillförlitliga givare för lerhalt. Några allmänna kommentarer om denna modell kan därför blott ges.

Fraktionerna är starkt kopplade, eftersom leraretentionsfaktorn beror av fibertillståndet. Det numeriska värdet på retentionsfaktorn för de två fraktionerna skiljer sig väsentligt, något som indikerar att fraktionerna har olika dynamik. Modellen kan därför förväntas ge potentiella möjligheter att styra pappersammansättningen under t.ex. en omställning.

I fortsättningen skall den tillhörande stationära modellen användas för analys av de i tabell 2 givna mätvärdena.

Analys av data

Hos de erhållna mätvärdena finns naturligtvis mätfel. Deras storlek torde genomgående vara mindre än 5 % relativt, bortsett från något enstaka direkt felaktigt värde. Om den stationära modellen används för beräkning av värdet på retentionsfaktorn r_{1j} för varje fraktion erhålls:

<u>Försök nr</u>	<u>r_{11}</u>	<u>r_{12}</u>
1	0,79	0,29
2	0,80	0,27
3	0,82	0,28
4	0,83	0,31
5	0,84	0,33

Analogt kan faktorerna r_{21} och r_{22} beräknas, varvid man får:

<u>Försök nr</u>	<u>r_{21}</u>	<u>r_{22}</u>
1	0,09	0,13
2	0,09	0,12
3	0,09	0,13
4	0,09	0,15
5	0,09	0,16

Av värdena på viraretentionsfaktorerna framgår att lerakomponentens retention växer snabbt. Av värdena på parametern r_2 kan vi se en indikation på att $r_{22} > r_{21}$, något som kan bero på olika "filtrerings-egenskaper" hos de två fraktionerna. Antagandet om att $r_2 =$ konstant verkar åtminstone för fiberfraktioner vara en god approximation.

Ovanstående typ av data utgör ett värdefullt underlag för uppställning av retentionsmodeller. Det experimentella underlaget är dock för närvarande för litet. Mera data behövs innan retentionsmodeller med säkerhet kan formuleras. Detta gäller inte minst lerakomponenten.

Avslutning

Inledningsvis klargjordes att de i denna rapport presenterade dynamiska modellerna icke i någon väsentlig grad är baserade på mätningar av dynamiken hos våtpartiet. För att med säkerhet kunna avgöra modellernas fördelar och begränsningar måste en jämförande analys göras mellan simulerade och experimentellt funna dynamiska data. Detta innebär att mätningar av dynamiken måste göras vid olika papperskvaliteter och på olika pappersmaskiner. Om därefter realistiska parametervärden kan erhållas till de i denna rapport presenterade modellerna så att simulerade och experimentella data överensstämmer kan härledningen av dynamiska modeller för våtpartiet på en pappersmaskin anses vara slutförd. Med tillförsikt kan därefter beräkningen av styrstrategier baseras på de härledda modellerna. Detta arbete pågår och kommer efter hand att presenteras.

Appendix

Simuleringsprogram för den enkla en-fraktionmodellen skrivet i CSMP

Nedan presenteras ett simuleringsprogram för den enkla en-fraktionmodellen. I programmets parameterlista ges en tänkbar uppsättning jämvikts- och parametervärden för en säckpappersmaskin. Programmet simulerar stegsvar i C_1 , C_2 och C_3 och W , då q_0 , C_0 , $q_1(S)$ i tur och ordning är insignal.

CONTINUOUS SYSTEM MODELING PROGRAM

PROBLEM INPUT STATEMENTS

```
MACRO QCNDEL=CALC(QCNO,N,T,QCN)
```

```
PROCEDURAL
```

```
  IF (TIME.LT.T) QCNDEL=QCNO
```

```
  X=DELAY(N,T,QCN)
```

```
  IF (TIME.GE.T) QCNDEL=X
```

```
ENDMAC
```

```
MACRO QMNDEL=COMP(QMO,N,T,QM)
```

```
PROCEDURAL
```

```
  IF (TIME.LT.T) QMNDEL=QMO
```

```
  Y=DELAY(N,T,QM)
```

```
  IF (TIME.GE.T) QMNDEL=Y
```

```
ENDMAC
```

```
INITIAL
```

```

TITLE WET END SIMULATION
LABEL STEP RESPONSES WHEN QO=INPUT
C     TIME DELAYS TO=10 T1=30 T2=10 T3=60
C     MIXING VOLUMES
PARAMETER V1=1.03, V2=6.18, V3=0.11
C     RETENTIONFACTORS AND PARAMETERS
PARAMETER R1=0.85, R2=0.05, K=1.0
C     INITIAL CONDITIONS FOR CONCENTRATIONS
INCON C10=3.2009, C20=0.51074, C30=0.22
C     STEADY STATE VALUES FOR FIBERFLOWS
PARAMETER QCOO=0.2827, QC10=0.32969, QC20=0.04699
C     THIS IS THE STEADY STATE SET
C     QO=0.011, Q1=0.103, S=0.023, CO=25.7
C     THE STEP CHANGE IS GENERATED BY
PARAMETER QO=0.0121, Q1=0.103, S=0.023, CO=25.7
PARAMETER QOO=0.011, Q10=0.103
DYNAMIC
      QCO=QO*CO
      QC1=Q1*C1
      QC2=(Q1-QO)*C2
C     DELAYED VALUES ARE COMPUTED
MEMORY CALC
      QCODEL=CALC(QCOO,10,10.,QCO)
      QC1DEL=CALC(QC10,30,30.,QC1)
      QC2DEL=CALC(QC20,10,10.,QC2)
      QC3DEL=CALC(QC10,60,60.,QC1)
MEMORY COMP
      QO1DEL=COMP(QOO,30,30.,QO)
      QO2DEL=COMP(QOO,60,60.,QO)
      Q11DEL=COMP(Q10,10,10.,Q1)
      Q12DEL=COMP(Q10,30,30.,Q1)
C     MODEL DESCRIPTION
      C1DOT=Q1*(-C1+(QC2DEL+QCODEL)/Q11DEL)/V1
      C1=INTGRL(C10,C1DOT)
      C2DOT=(Q1-QO)*(((1.-R2)*((1.-R1)*QC1DEL)/(Q12DEL-QO1DEL)
      -C2)/V2

```

```
C2=INTGRL(C20,C2DOT)
C3DOT=Q0*(R2*(1.-R1)*QC3DEL)/Q02DEL-C3)/V3
C3=INTGRL(C30,C3DOT)
W=SC1*R1*K*1000.
PRINT C1,C2,C3,W
PRTPLOT C1(3.,4),C2(0.5,0.6),C3(0.15,0.3),W(50.,70.)
METHOD RKSFX
TIMER FINTIM=200.,DELT=1.,PRDEL=4.,OUTDEL=4.
END
```

```
PARAMETER Q0=0.011, C0=28.27
RESET LABEL
LABEL STEP RESPONSES WHEN C0=INPUT
END
PARAMETER C0=25.7, Q1=0.0927, S=0.0207
RESET LABEL
LABEL STEP RESPONSES WHEN Q1(S)=INPUT
END
STOP
```

Litteratur

1. Meyer, H., "A Filtration Theory For Compressible Fibrous Beds Formed From Dilute Suspensions", TAPPI, vol 45 no 4, pp 296-310, April 1962.
2. Wahlström, B. and O'Blenes, G., "The Drainage of Pulps at Paper-Making Rates and Consistencies Using a New Drainage Tester", Pulp & Paper Mag. of Canada, vol 63 no 8, pp 405-417, Aug. 1962.
3. Ingmanson, W.L., "Filtration of High-Consistency Fiber Suspensions", TAPPI, vol 47 no 12, pp 742-750, Dec. 1964.
4. Nelson, R.W., "Approximate Theories of Filtration and Retention", TAPPI, vol 47 no 12, pp 752-764, Dec. 1964.
5. Han, S.T., "Retention of Small Particles in Fiber Mats", TAPPI, vol 47 no 12, pp 782-787, Dec. 1964.
6. Schoeffler, J. and Sullivan, P., "A Model of Sheet Formation and Drainage on a Fourdrinier", TAPPI Eng. Conf., Minn. Sept. 1965.

7. Mih, W. and
Parker, J.,
"Velocity Profile Measurements and a Phenomenological Description of Turbulent Fibre Suspension Pipe Flow",
TAPPI, vol 50 no 5, Maj 1967.
8. Beecher, A.E.,
"Dynamic Modelling Techniques in the Paper Industry",
TAPPI, vol 46 no 2, pp 117-120, Febr. 1963.
9. Alsholm, O.,
Schoeffler, I. and
Sullivan, P.
"An On-Line Mathematical Model of a Fine-Paper Machine",
ISA Conf. Paper, Los Angeles 1965.
10. Sullivan, P. and
Schoeffler, J.
"Dynamic Simulation and Control of the Fourdrinier Paper-Making Process",
IFAC Conf. Paper, London 1966.
11. Miller, Freeh.,
"Fourdrinier Paper Machine Dynamics",
Am. Paper Ind., Okt. 1968.
12. Johnstone, R.C. and
Kirk, L.A.
"Sub - Optimal Grade Change Procedures"
BPBMA Conf. Paper, Oxford 1969.
13. Ramaz, A.L.,
Bauduin, S. and
Marcé, D.
"Automation of a Paper Machine and its Ancillaries",
BPBMA, Conf. Paper, Oxford 1969.
14. Åström, K.J.,
"Introduction to Stochastic Control Theory",
Academic Press, 1970.
15. Haglund, L.,
"On the Optimization of Pulp Cleaning Systems",
The Royal Institute of Technology,
FOS Report no R. 34.

16. Mardon, J.,
Monahan,
Mehaffey and
Dahlin "A theoretical and experimental investigation
into the stability and control of papermachine
head boxes".
Paper & Timber (Finland), 1966, 48 (1) 3-14,
part 2: (5), 301-310; part 3: 1967 (4a), 189-
-197.
17. System/360 Continuous System Modeling Program
User's Manual, 360A-CX-16X