LUND UNIVERSITY

Processidentifiering av husdynamik - radiator och värmeväxlare

Jonson, Anders; Ström, Lars-Magnus

1969

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

Link to publication

Citation for published version (APA):
Jonson, A., & Ström, L.-M. (1969). *Processidentifiering av husdynamik - radiator och värmeväxlare*. (Technical Reports TFRT-7010). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

Total number of authors:
2

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

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

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

LUND UNIVERSITY

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

PROCESSIDENTIFIERING AV HUSDYNAMIK – RADIATOR OCH VÄRMEVÄXLARE

ANDERS JONSON
LARS-MAGNUS STRÖM

RAPPORT 6922 NOVEMBER 1969
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
INSTITUTIONEN FÖR REGLERINGSTEKNIK

PROCESSIDENTIFIERING AV HUSDYNAMIK - RADIATOR OCH VÄRMEVÄXLARE

Anders Jonson
Lars-Magnus Ström

ABSTRACT

I detta arbete behandlas identifiering av ett rörsystem i ett hus. Den metod, som utnyttjas, är maximum likelihood-metoden. Vissa jämförelser görs mellan resultat, uppnådda med denna metod, och direkt ur försöksserierna beräknade korskovarianser och viktfunktioner. Vid identifieringarna har som insignaler utnyttjats PRBS-signaler.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING Sid.

I. INLEDNING 1

II. BESTÄMNING AV MODELL FÖR RADIATOR I RÖRSYSTEM 2

1. Allmänt 2

2. Auto- och korskovarianser samt viktfunktioner, beräknade ur dessa 3

2.1. Fall 1: Hel amplitud på insignalen 3

2.2. Fall 2: Halv amplitud på insignalen 5

3. M-L-metoden 7

3.1. Fall 1: Hel amplitud på insignalen 7

3.2. Fall 2: Halv amplitud på insignalen 12

III. BESTÄMNING AV MODELL FÖR VÄRMEVÄXLARE 17

1. Allmänt 17

2. Auto- och korskovariansfunktioner 19

2.1. Primärsidans utgående vatten (y_{T1}) 19

2.2. Sekundärsidans utgående vatten (y_{T2}) 21

3. M-L-metoden 22

3.1. Primärsidans utgående vatten (y_{T1}) 22

3.2. Sekundärsidans utgående vatten (y_{T2}) 27

IV. SAMMANFATTNING 32

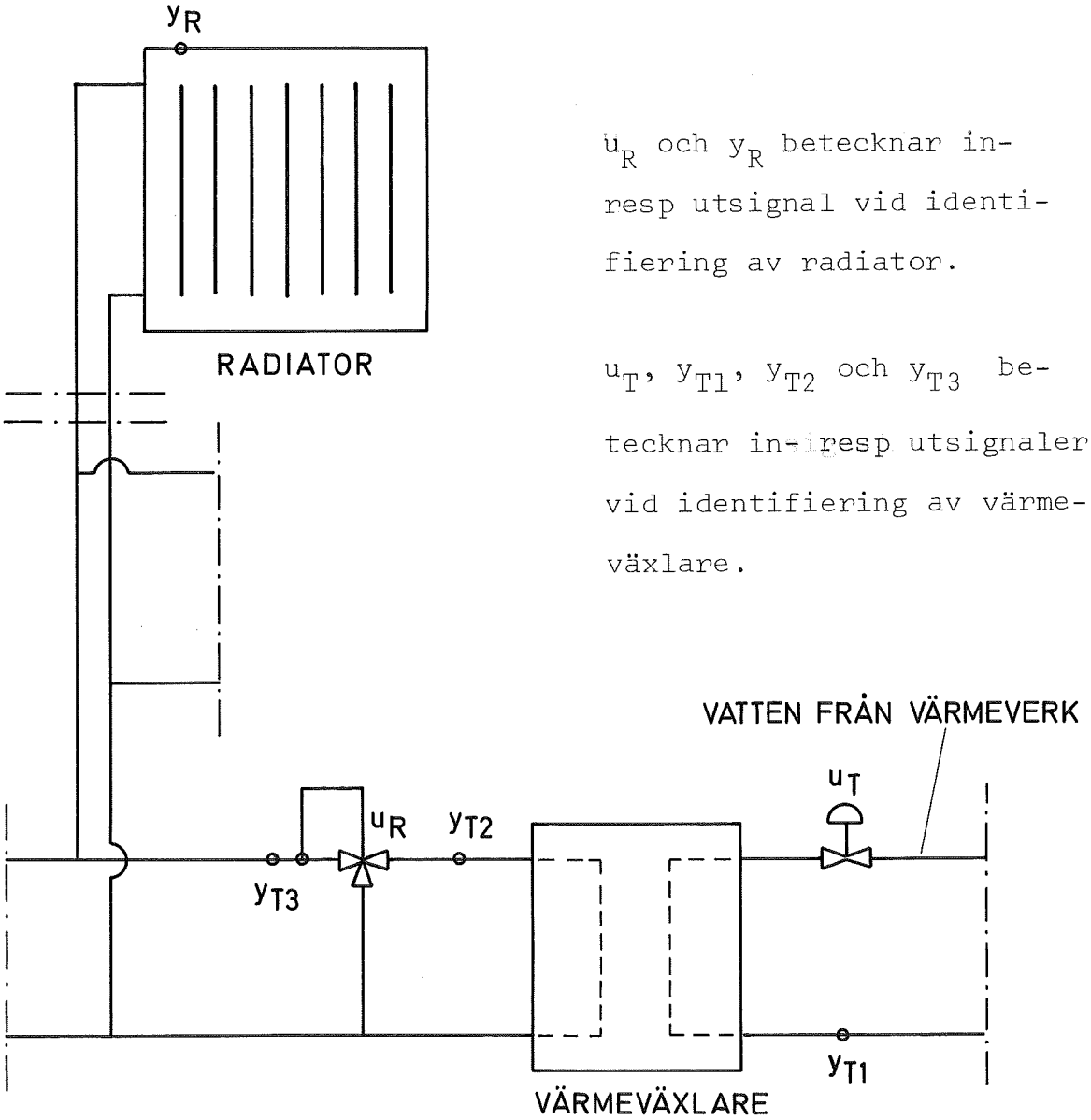
LITTERATURFÖRTECKNING

APPENDIX

I. INLEDNING

De identifieringar, som genomföres i detta arbete, bygger på data från mätningar, utförda av Nord och Rosengren i examensarbete vid reglertekniska institutionen i Lund (Nord och Rosengren, [4]). En analys av det rörsystem i ett hus, som mätningarna avser, har också utförs i ett annat examensarbete av B. Ekengren (B. Ekengren, [1]).

De mätserier, som kommer att identifieras, är för det första en upptagning av radiatortemperaturen på 5:e våningen i huset, där insignalen utgöres av ventilläget på utgående värmen, och för det andra två uppmätta temperaturer på en värmeväxlare, där insignalen utgöres av ventilläget för ingående vattnet från värmeverket.



u_R och y_R betecknar in- resp utsignal vid identifiering av radiator.

u_T, y_{T1}, y_{T2} och y_{T3} betecknar in- resp utsignaler vid identifiering av värmeväxlare.

Fig. I:1 Schematisk bild av de identifierade systemen.

Vid identifieringen kommer vi att använda oss av beräkning av auto- och korskovarianser och identifiering enligt maximum likelihood-metoden (M-L metoden), den senare utarbetad av K.J. Åström och T. Bohlin (K.J. Åström and T. Bohlin, [5]). Kovarianserna har beräknats enligt program, tillgängligt vid Uppsala Datacentral (BMD02T) och M-L metodens identifieringar utföres enligt ett FORTRAN-program, utarbetat av I. Gustavsson (I. Gustavsson, [2]).

II. BESTÄMNING AV MODELL FÖR RADIATOR I RÖRSYSTEMET

1. Allmänt

De första mätserierna, som alltså avser radiatortemperaturen på 5:e våningen, är uppdelade på två fall: en första serie, där ventilläget, som avgör insignalens amplitud, varieras maximalt mellan de två ytterlägena; i en andra serie har denna amplitud minskats till hälften på rekommendation av B. Ekengren, då ventilkarakteristiken är mer linjär inom detta intervall. Insignalen, som är en PRBS-signal, alstras av en apparat, konstruerad av Nord och Rosengren (Nord och Rosengren, [4]).

Registrering av radiatortemperaturen har skett genom att en skrivare avsatt mätvärden var 3:e minut på en roterande pappersremsa. Detta skapar viss osäkerhet i data, då exakta omslagspunkter för insignalen inte kan utläsas. Vidare visar det sig, att pappersframmatningen sker med en hastighet, som varierar något över tiden, så att den tidskala, som finns på pappersremsan inte stämmer. Med hänsyn till dessa faktorer har korrektioner fått göras, som är behäftade med en viss osäkerhet.

Då minsta periodtiden hos PRBS-signalen är 10 min. är det lämpligt att välja samplingsintervallet som en jämn multipel av denna. Vi har valt 2.5 min. För att få värden vid dessa samplingspunkter har vi fått interpolera mellan de med 3-minutersintervall samplade mätpunkterna. De eventuella fel, som då uppkommer, är små, då mätvariablerna är väl kontinuerliga.

2. Auto- och korskovarianser samt viktfunktioner, beräknade ur dessa.

2.1. Fall 1: Hel amplitud på insignalen.

Mätseriernas längd var i detta fall 295 värden. (In- och utsignal framgår av figur II:7) Samplingstiden, som nämnts ovan, 2,5 min. I figur II:1 ses autokovariansen för insignalen.

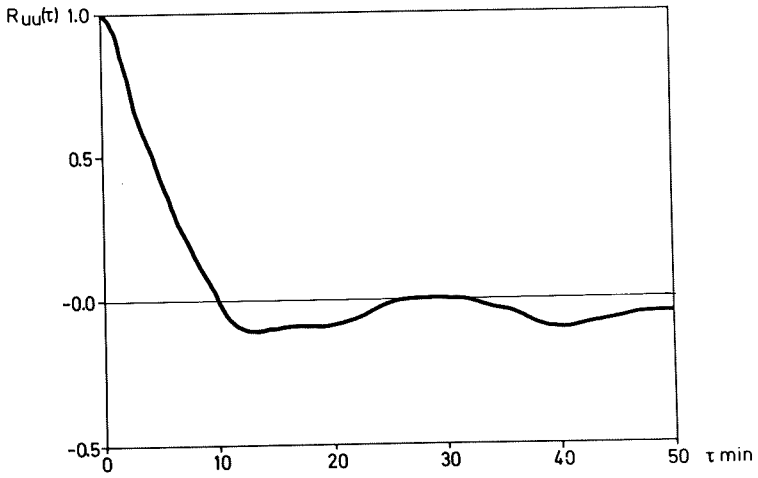


Fig. II:1 - Autokovariansfunktionen för insignalen $(R_{uu}(T))$. Fall I (hel amplitud). Samplingstid 2,5 min.

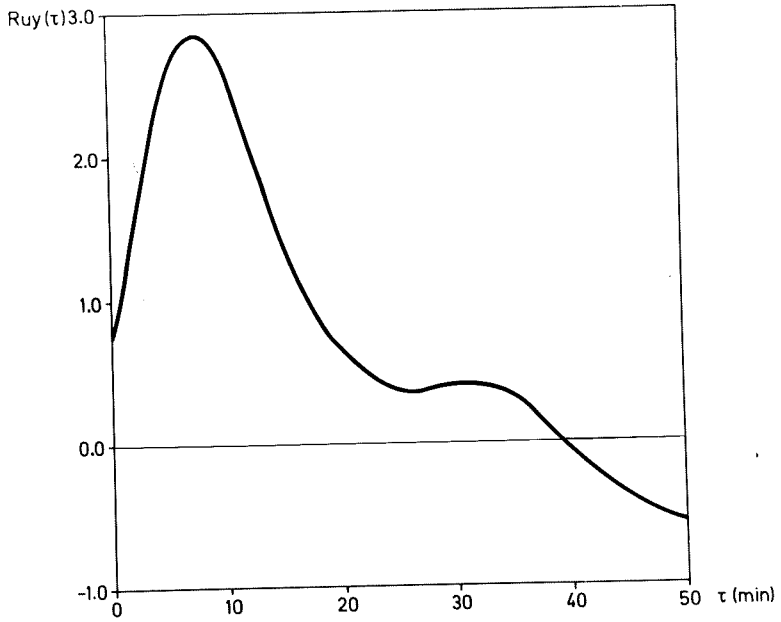


Fig. II:2 - Korskovariansfunktionen mellan insignal och utsignal $(R_{uy}(T))$. Fall I (hel amplitud). Samplingstid 2,5 min.

Den ideala autokovariansen är en diracpuls i T = 0. Genom PRBS-signalen fås, som synes av figuren, en autokovarians, som inte helt motsvarar den ideala. Det tar några samplingsintervall (i vårt fall 4) innan kurvan nått noll. Detta beror på, att vi har fyra samplingsintervall per grundperiod hos PRBS-signalen. Vidare går den fortsatta kurvan något under noll. Den sista avvikelsen beror av PRBS-signalens periodlängd. De nämnda avvikelserna förekommer alltid vid användning av PRBS-signaler, och det gäller att ha dem i tanke vid analys av t.ex. korskovariansen mellan in- och utsignal.

Figur II:2 visar korskovariansen mellan in- och utsignal.

Om insignalen är vitt brus (vars autokovarians är en diracpuls i noll) ger korskovariansen viktfunktionerna h(t) i modellen

$$y(t) = \sum_{s=0}^{\infty} h(s)u(t-s)$$

(se K.J. Åström, [6]). Den avvikelse, vi här har i insignalens autokovarians från en puls i noll, gör, att korskovariansen skiljer sig avsevärt från de nämnda viktfunktionerna. Man är oftast intresserad av viktfunktionerna, och intressant är då, att försöka beräkna dessa ur auto- och korskovarianser. Vi kan då gå tillväga på följande sätt:

Om insignalen är en stationär process gäller:

$$r_{uy}(T) = \sum_{\ell=0}^{\infty} h(\ell)r_{uu}(T-\ell) \qquad \text{(K.J. Åström, [6])}$$

där $r_{uy}(T)$ är korskovarianser mellan u(t) och y(t+T) och $r_{uu}(\tau)$ är insignalens autokovarians. Nu gäller, att r_{uu} är symmetrisk kring noll, d.v.s. $r_{uu}(\tau) = r_{uu}(-\tau)$. Då fås följande ekvationssystem:

$$r_{uy}(0) = r_{uu}(0)h(0) + r_{uu}(1)h(1) + r_{uu}(2)h(2) + \ldots$$

$$r_{uy}(1) = r_{uu}(1)h(0) + r_{uu}(0)h(1) + r_{uu}(1)h(2) + \ldots$$

$$r_{uy}(2) = r_{uu}(2)h(0) + r_{uu}(1)h(1) + r_{uu}(0)h(2) + \ldots$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$r_{uy}(n) = r_{uu}(n)h(0) + r_{uu}(n-1)h(1) + r_{uu}(n-2)h(2) + \ldots$$

Om h(T) går mot noll kan man, då $r_{uu}(T)$ är liten för stora T, begränsa sig till att lösa ett ekvationssystem av n:te ordningen.

$$\begin{pmatrix} r_{uy}(0) \\ r_{uy}(1) \\ \vdots \\ r_{uy}(n-1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{uu}(0) & r_{uu}(1) & \cdots & r_{uu}(n-1) \\ r_{uu}(1) & r_{uu}(0) & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ r_{uu}(n-1) & \cdots & & r_{uu}(0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h(0) \\ h(1) \\ \vdots \\ h(n-1) \end{pmatrix}$$

I ett FORTRAN-program ADAM (se appendix 1) beräknades viktfunktionerna ur ekvationssystemet ovan (n = 25). Resultatet framgår av figur II:5 nedan.

2.2 Fall 2: Halv amplitud på insignalen

Serielängden var här 276 värden. Samplingstiden som i förra fallet 2,5 min.

I fig. II:3 och II:4 ses autokovariansen för insignalen resp. korskovariansen mellan in- och utsignal.

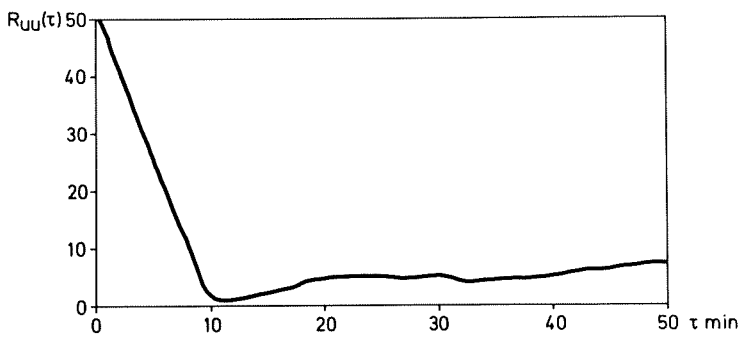


Fig. II:3 - Autokovariansfunktionen för insignalen $(R_{uu}(T))$. Fall II (halv amplitud). Samplingstid 2,5 min.

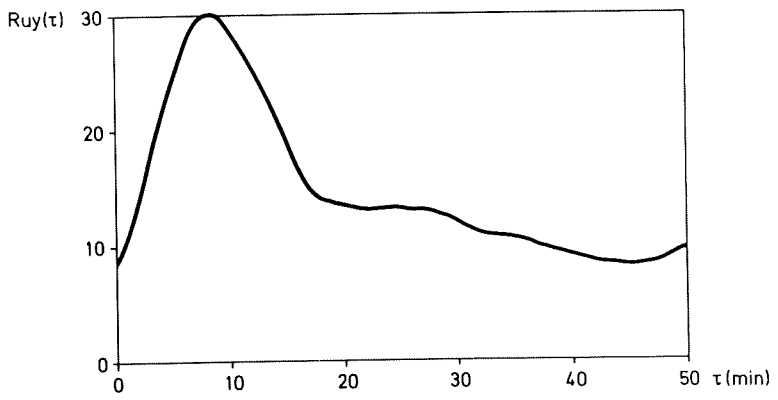


Fig. II:4 - Korskovariansfunktionen mellan insignal och utsignal $(R_{uy}(T))$. Fall II (halv amplitud). Samplingstid 2,5 min.

I detta fall har PRBS-generatorn ej givit en ren PRBS-signal (se figur II:12), vilket berott på störningar på ledningsnätet. Detta kan vara en förklaring till att autokovariansen skiljer sig från föregående fall. Skillnaden på skalorna i de olika fallen beror på att insignalen av praktiska skäl givits olika amplitudvärden (i fall 1: ±1, i fall 2: ±7).

Viktfunktionerna har även här beräknats och framgår av figur II:10.

3. M-L-metoden

3.1. Fall 1: Hel amplitud på insignalen

För förståelse av tillvägagångssättet vid identifiering enligt M-L-metoden hänvisas till referenserna [5], [2], och [3].

Systemet beskrivs av modellen:

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

där

$$A(Z) = 1 + a_1Z + a_2Z^2 + \ldots + a_nZ^n$$

$$B(Z) = b_0 + b_1Z + b_2Z^2 + \ldots\ b_{n-1}Z^{n-1}$$

$$C(Z) = 1 + c_1Z + c_2Z^2 + \ldots + c_nZ^n$$

och λ positivt reellt tal samt e(t) oberoende slumptal N(0,1).

Identifieringar utfördes för 1:a, 2:a och 3:e ordningens modell (n = 1, 2, 3), där k antog värdena noll och ett.

Förlustfunktionerna för de olika identifieringarna framgår av följande tabell.

Tabell II:1 - Förlustfunktionens värde

n \ k	0	1
1	156.85	128.50
2	94.39	79.06
3	72.00	73.23

Ett sätt att testa vilket ordningstal på modellen, man bör välja, är F-testet (I. Gustavsson, [3]). Ur förlustfunktionerna beräknas en testparameter ξ. Denna bör, för att ingen signifikant förbättring skall ha skett mellan två successiva ordningstal, i detta fall understiga 2,6 (detta värde avser test på 5%, se föregående referens).

F-test mellan 2:a och 3:e ordningen för k = 1 ger ξ_2 = 7,6, vilket är ett något högt värde. Å andra sidan ökar standardavvikelserna för koefficienterna vid 3:e ordn. modell, varför 2:a ordningens modell är att föredra.

För k = 0 uppvisar 3:e ordningens modell lägre standardavvikelser och förlustfunktion än för 3:e ordningens modell för k = 1.

Vi har därför stannat vid att jämföra 2:a ordningens modell med k = 1 samt 3:e ordningens modell med k = 0.

Tabell II:2 - Identifierade parametervärden

	2:a ordn. k = 1	3:e ordn. k = 0
a_1	- 0,845 ± 0,060	- 1,185 ± 0,084
a_2	0,083 ± 0,053	0,687 ± 0,112
a_3		- 0,310 ± 0,052
b_0	0,409 ± 0,065	0,121 ± 0,064
b_1	0,883 ± 0,091	0,184 ± 0,092
b_2		0,884 ± 0,105
c_1	0,015 ± 0,076	- 0,317 ± 0,107
c_2	- 0,065 ± 0,071	0,361 ± 0,088
c_3		- 0,091 ± 0,074
V	79,06	72,00
λ	0,732	0,700

Beräknas tidskonstanterna för de kontinuerliga modeller, som motsvarar ovanstående parametervärden, fås för 2:a ordningens modell:

T_1 = 8,0 min

T_2 = 1,2 min

och för 3:e ordningen:

T_1 = 11,8 min

samt två komplexa rötter, som ger en svängning med perioden:

T_0 = 12,5 min.

I figur II:5 och II:6 har impulssvar $(P(\tau))$ resp. stegsvar $(S(\tau))$ uppritats. I figur II:5 är även de beräknade viktfunktionerna enligt föregående avsnitt inprickade.

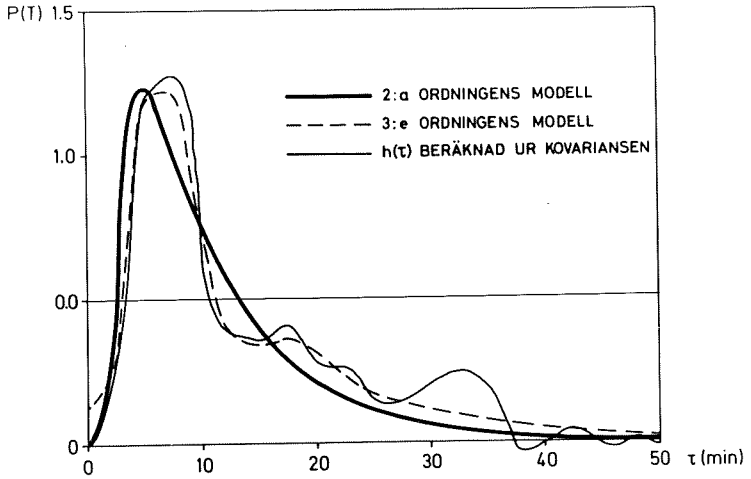


Fig. II:5 - Impulssvaret $(P(\tau))$ för 2:a och 3:e ordn. modell samt viktfunktionerna $(h(\tau))$, beräknade ur kovarianskurvorna. Fall I (hel amplitud).

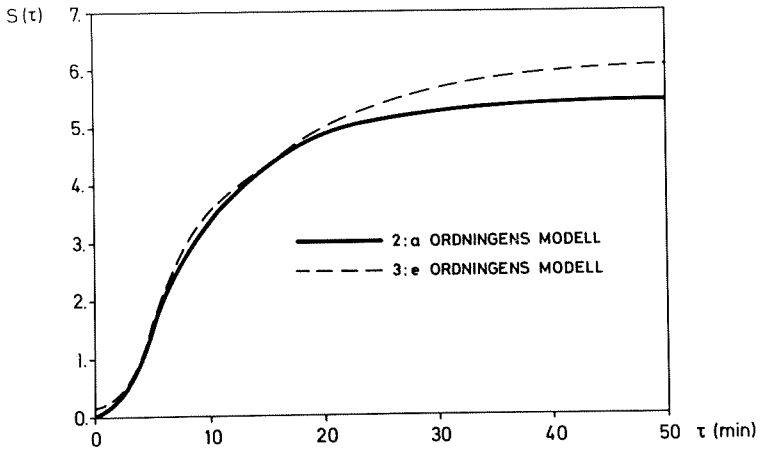


Fig. II:6 - Stegsvaret $(S(\tau))$ för 2:a och 3:e ordn. modell. Fall I (hel amplitud).

Skillnaden mellan 2:a och 3:e ordningens modeller är dock inte så stor, att man bestämt kan förorda en 3:e ordningens modell.

För att få ytterligare jämförelser simulerades systemet med 2:a och 3:e ordningens modeller utan störningsterm.

y-deterministisk $(y_d) = \frac{B}{A} u$

Skillnaden mellan verklig signal (y) och y-deterministisk (y_d) visar då störningarnas inverkan. Om modellen skall kunna anses bra, bör denna skillnad vara liten i förhållande till variationer i utsignalen.

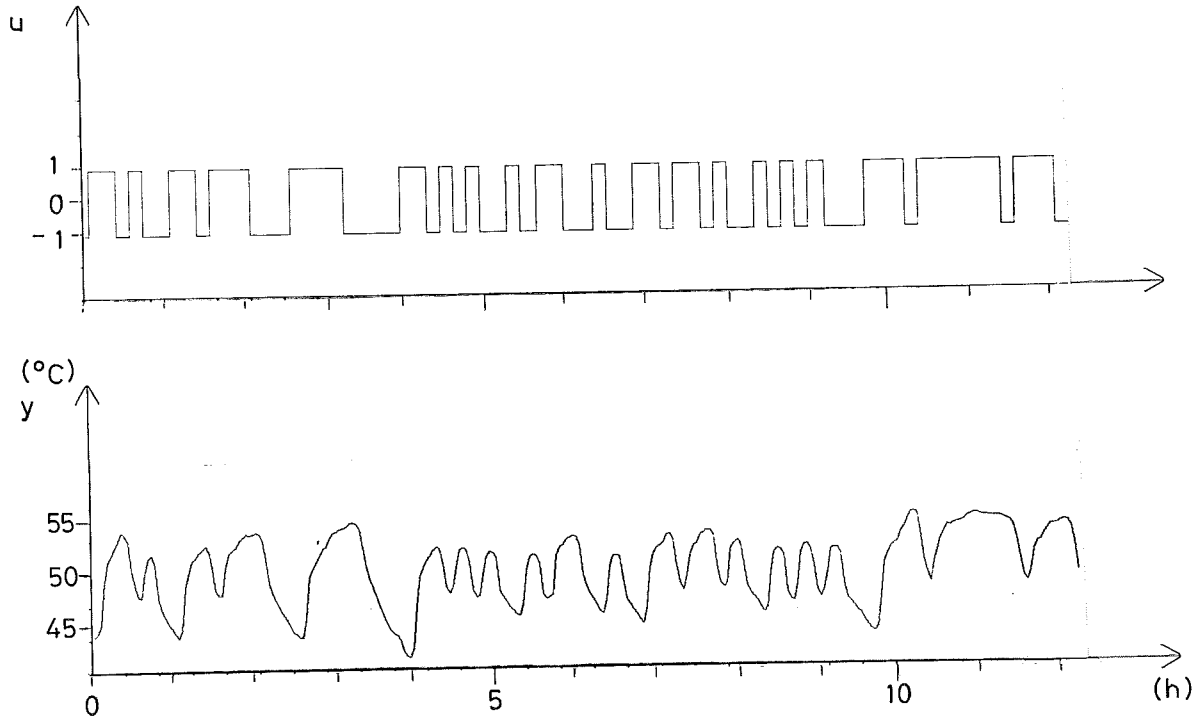


Fig. II:7 - Insignalen (u) och utsignalen (y) som funktion av tiden för fall I (hel amplitud).

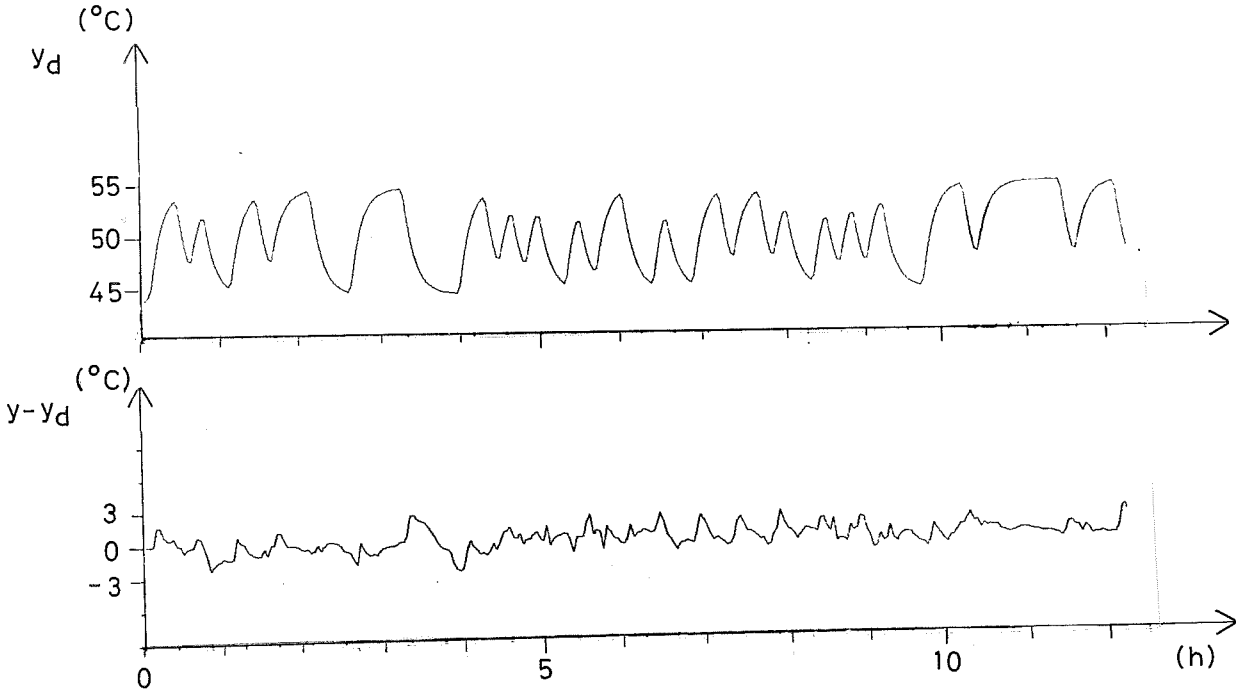


Fig. II:8 - Simulerad utsignal utan störning, y-deterministisk (y_d) för 2:a ordningens modell samt skillnaden mellan verklig utsignal och y-deterministisk för 2:a ordningen som funktion av tiden för fall I (hel amplitud).

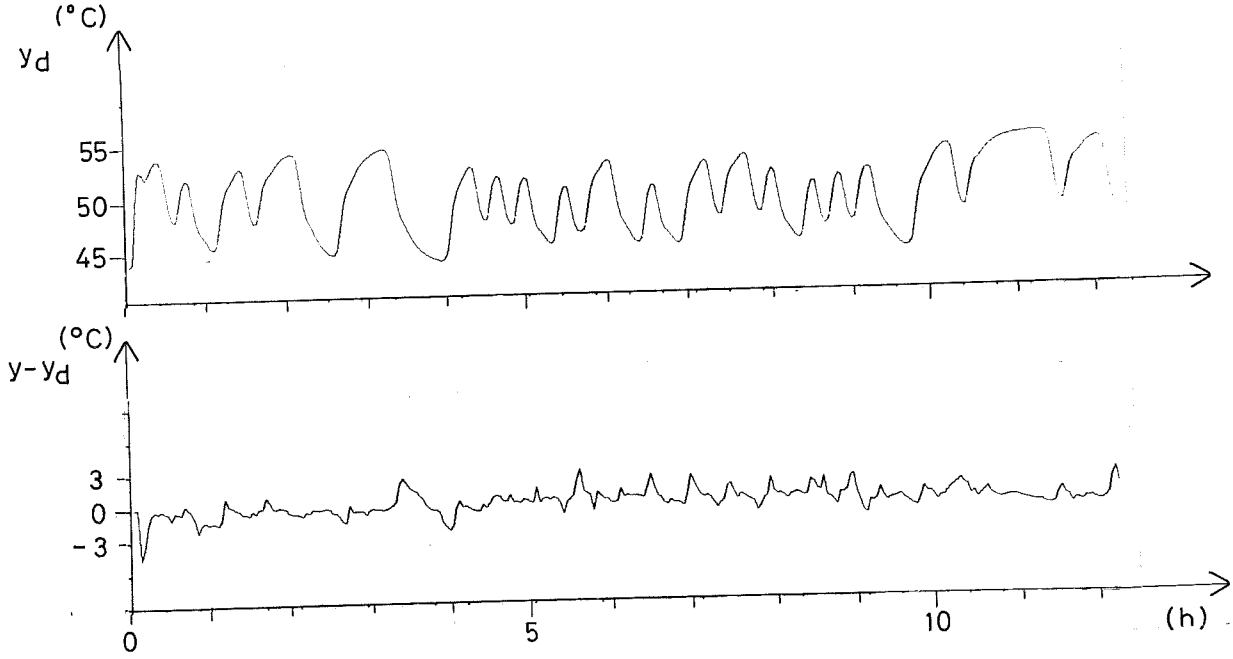


Fig. II:9 - y-deterministisk för 3:e ordn. modell samt skillnaden mellan verklig utsignal och y-deterministisk för 3:e ordningen som funktion av tiden för fall I (hel amplitud).

3.2. Fall 2: Halv amplitud på insignalen

Identifieringar utfördes för 1:a, 2:a och 3:e ordn. modeller där k antog värdena 0, 1 och 2.

Förlustfunktionerna för de olika identifieringarna framgår av följande tabell.

Tabell II:3 - Förlustfunktionens värde

n \ k	0	1	2
1	284,97	201,04	152,23
2	177,70	139,03	116,76
3	91,52	89,94	87,67

Av denna tabell ser man, att förlustfunktionen sjunker vid ökad tidsförskjutning. Dock tenderar standardavvikelserna att öka vid k = 2, varför vi valt att studera 2:a och 3:e ordningarna för k = 1.

4:e ordningens modell för k = 1 gav en förlustfunktion $V_4 = 83{,}02$.

$$\xi_3 = \frac{89{,}94 - 83{,}02}{83{,}02} \cdot \frac{276 - 3 \cdot 4}{3} = 7{,}3$$

vilket är något högt värde. Standardavvikelserna för 4:e ordningens modell har dock ökat i den grad, att 3:e ordningens modell är att föredra.

Tabell II:4 - Identifierade parametervärden

	2:a ordn. k = 1	3:e ordn. k = 1
a_1	- 1,002 ± 0,044	- 1,615 ± 0,061
a_2	0,193 ± 0,042	1,194 ± 0,069
a_3		- 0,477 ± 0,030
b_0	0,009 ± 0,014	- 0,016 ± 0,011
b_1	0,197 ± 0,019	0,191 ± 0,021
b_2		- 0,043 ± 0,022
c_1	- 0,161 ± 0,062	- 0,950 ± 0,089
c_2	0,073 ± 0,115	0,666 ± 0,078
c_3		- 0,193 ± 0,064
V	139,03	89,94
λ	1,004	0,807

Beräknas här tidskonstanterna fås för 2:a ordningen:

T_1 = 8,3 min

T_2 = 1,9 min

och för 3:e ordningen:

T_1 = 17,8 min

samt en svängning med perioden

T_0 = 15,0 min

Påpekas bör, att små ändringar i parametervärdena ger stora ändringar i tidskonstanterna, varför dessas fel blir relativt stora.

En annan faktor, som kan göra, att skillnader uppstår mellan tidskonstanterna för fall 1 gentemot fall 2, är de något olika fysikaliska förutsättningarna. I fall 2 är utsignalens absoluta varia-

tion större än i fall 1 (se figurerna II:7 och II:12). Jämför även impulssvar och stegsvar för fall 1 och 2 (figurerna II:5, II:6 samt II:10 och II:11). Förhållandet borde ha varit det omvända, då insignalens amplitud är mindre i fall 2. Anledningen kan vara, att medeltemperaturen på radiatorn är lägre i fall 2 (se figurerna II:7 och II:12). Förstärkningen är alltså en avtagande funktion av radiatortemperaturens medelvärde.

Tidskonstanterna för 2:a ordningens modell stämmer ändå väl överens för fall 1 och 2. Detsamma gäller svängningens period för 3:e ordningens modeller medan avvikelserna i de andra konstanterna kan förklaras av ovannämnda faktorer.

I figur II:10 och II:11 har impulssvar $(P(\tau))$ resp. stegsvar $(S(\tau))$ uppritats. I figur II:10 är även de beräknade viktfunktionerna såsom tidigare inritade.

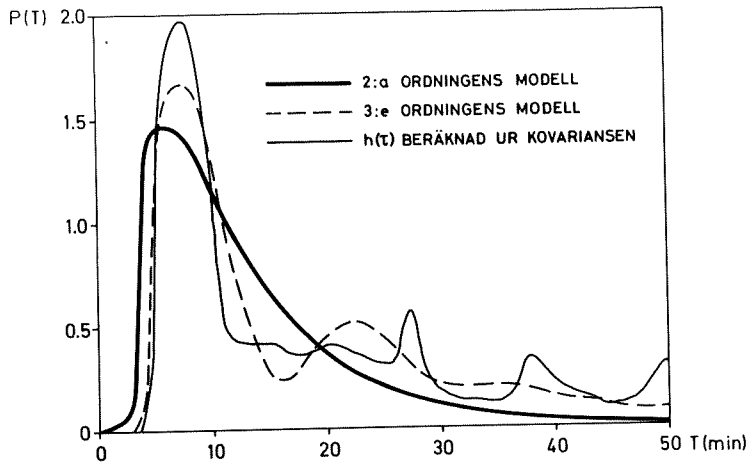


Fig. II:10 - Impulssvaret $(P(\tau))$ för 2:a och 3:e ordn. modell samt viktfunktionerna $(h(\tau))$, beräknade ur kovarianskurvorna. Fall II (halv amplitud).

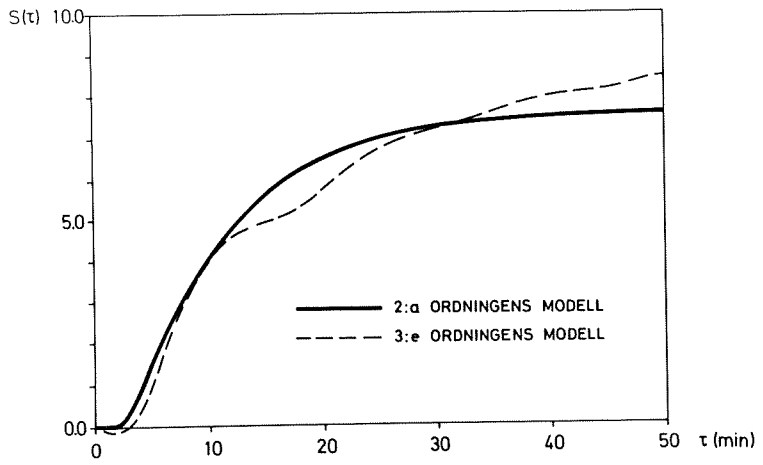


Fig. II:11 - Stegsvaret (S(τ)) för 2:a och 3:e ordn. modell. Fall II (halv amplitud).

I figur II:10 ser man, att viktfunktionerna, beräknade ur kovarianskurvorna, bättre ansluter till 3:e ordningens modell.

I likhet med fall 1 beräknades y-deterministisk för 2:a och 3:e ordningens modeller. I figurerna nedan visas erhållna kurvor.

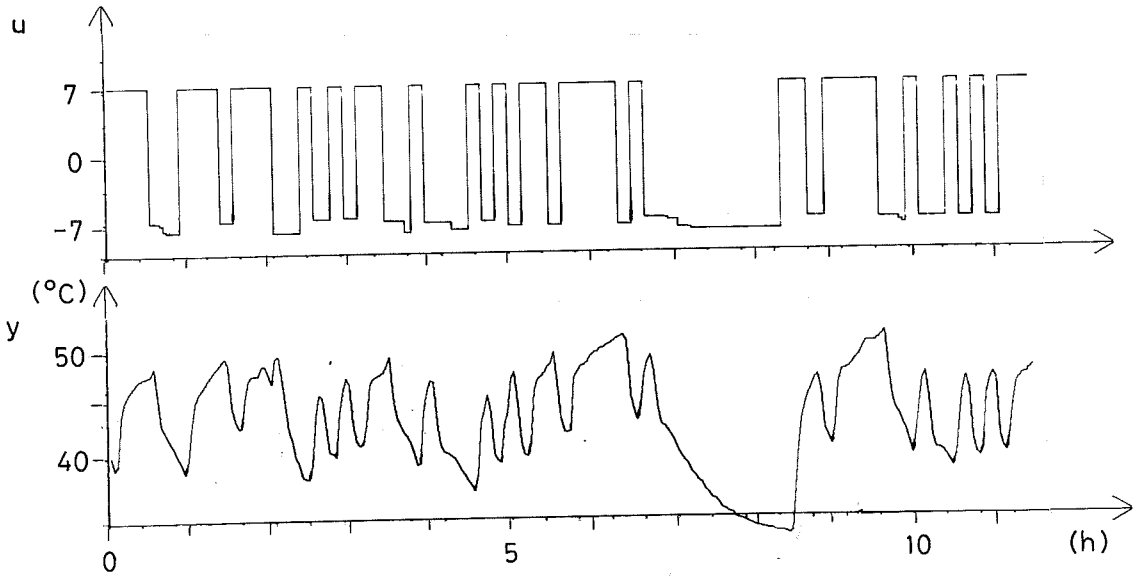


Fig. II:12 - Insignalen (u) och utsignalen (y) som funktion av tiden för fall II (halv amplitud).

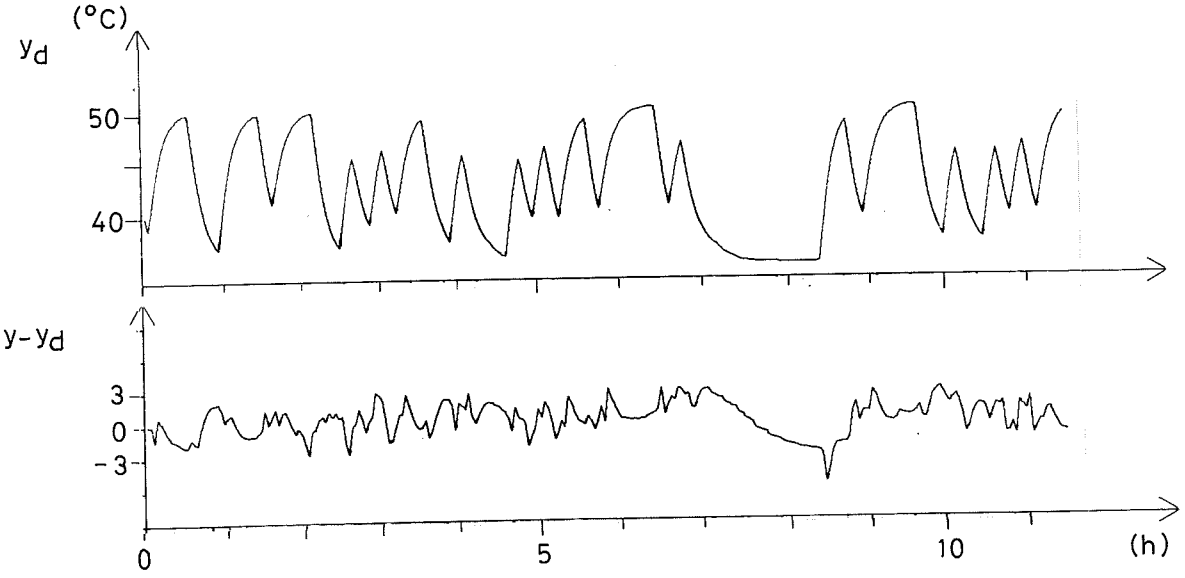


Fig. II:13 - y-deterministisk samt skillnaden mellan verklig utsignal och y-deterministisk för 2:a ordningens modell som funktion av tiden för fall II (halv amplitud).

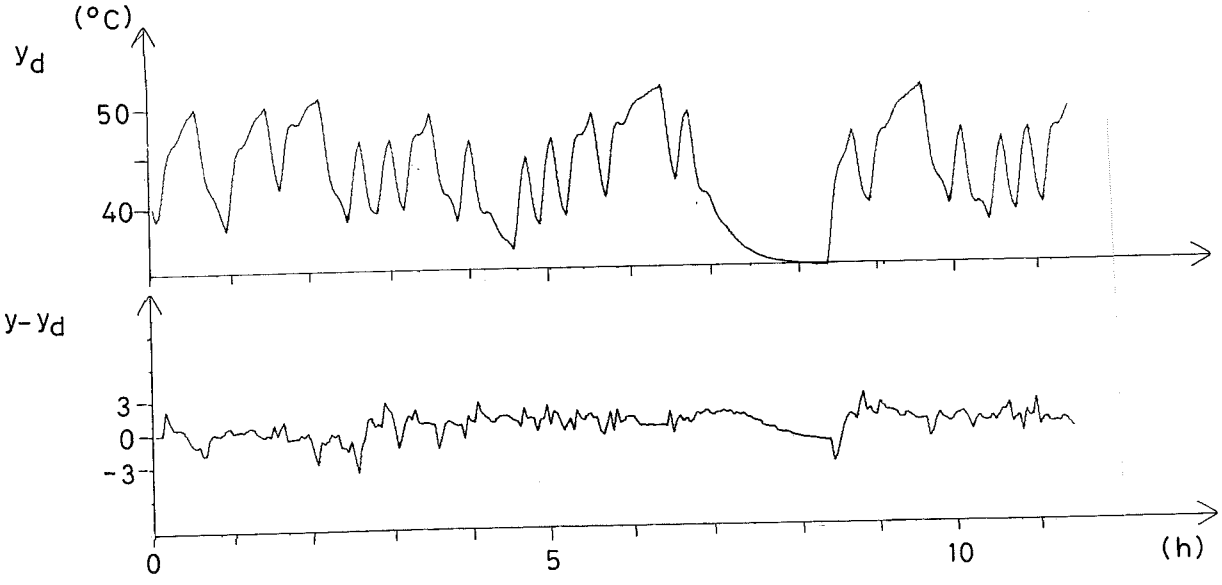


Fig. II:14 - y-deterministisk samt skillnaden mellan verklig utsignal och y-deterministisk för 3:e ordningens modell som funktion av tiden för fall II (halv amplitud).

III. BESTÄMNING AV MODELL FÖR VÄRMEVÄXLARE.

1. Allmänt

På värmeväxlaren har två mätningar utförts. I båda fallen har vattenflödet från värmeverket varit insignal. Som utsignal har valts i ena fallet vattentemperaturen på primärsidans utgående vatten y_{T1} och i andra fallet vattentemperaturen på sekundärsidans utgående vatten y_{T2}.

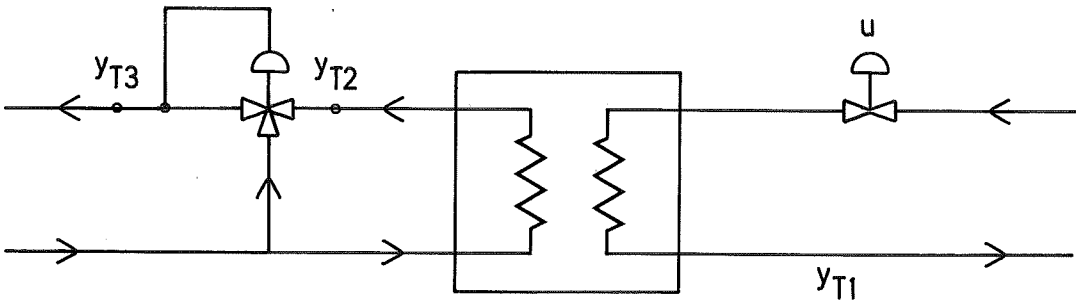


Fig. III:1 - Skiss av värmeväxlare.
y_{T3} hålles konstant genom den regulator, som är inritad i figuren.

Ventilläget u samt temperaturerna y_{T1}, y_{T2} och y_{T3} registrerades kontinuerligt. Mätresultaten har erhållits som kurvor på ljuskänsligt papper. Den kontinuerliga upptagningen har gjort, att vissa osäkerhetsmoment undvikits, som fanns vid upptagningen av radiatortemperaturen (se föregående).

Insignalen u är en PRBS-signal. Den dynamiska trögheten hos ventilen gör, att signalen får en viss tillslags- och frånslagstid (ca. 20 sekunder). Samplingstiden har valts till 10 sekunder. De då erhållna signalerna, insignalen u, utsignalen y_{T1} och utsignalen y_{T2} framgår av figur III:2.

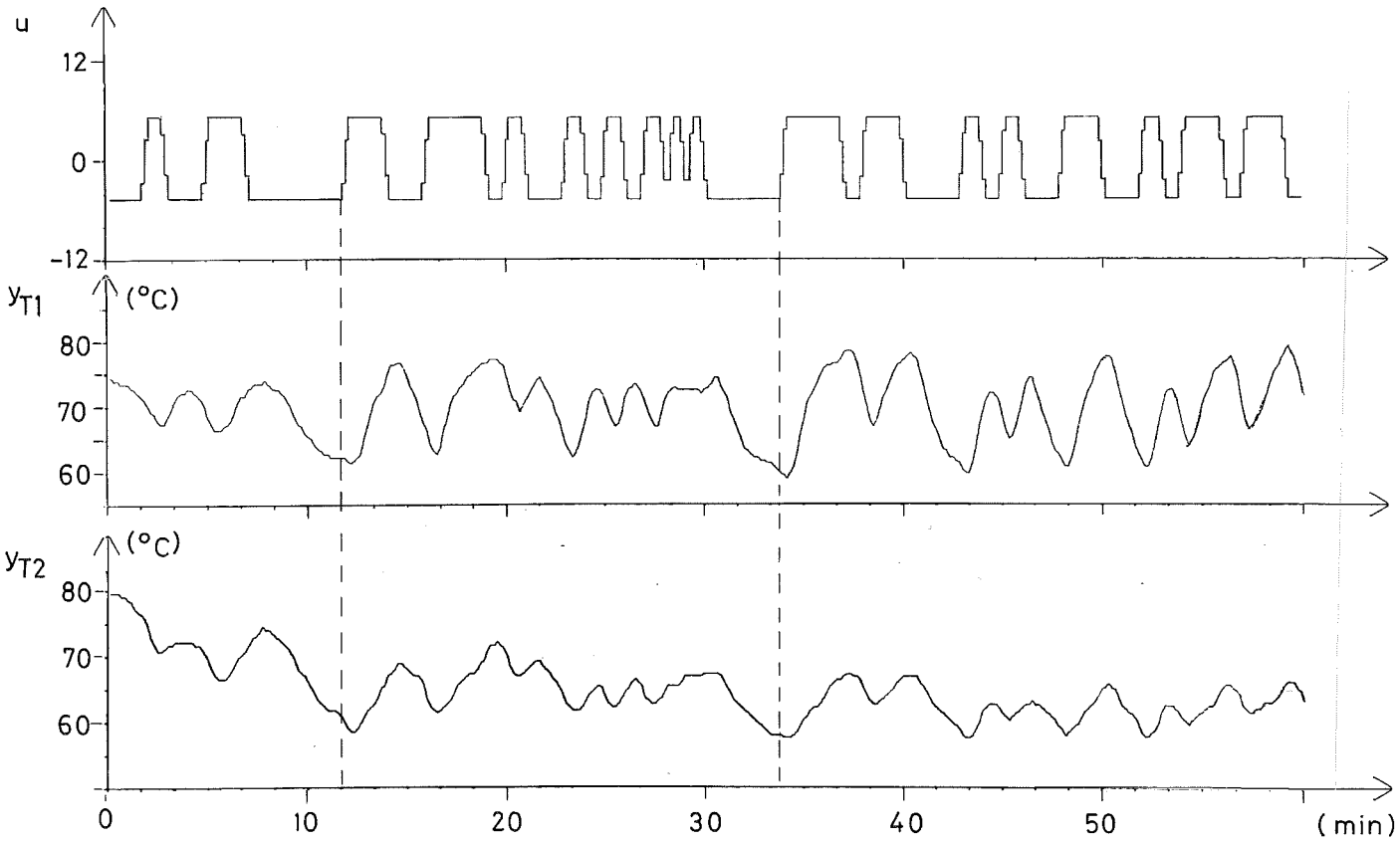


Fig. III:2 - Insignalen (u) och utsignalerna y_{T1} och y_{T2} som funktion av tiden.

Som synes av utsignalerna i figuren, och då speciellt y_{T2}, finns det drift i systemet. Anledningen till denna drift är, att medeltemperaturen på det utgående vattnet ej överensstämmer med medeltemperaturen för förbrukningen. För att detta förhållande icke skall påverka resultatet har samtliga beräkningar gjorts på signalernas differenser. Med en signal i en viss tidpunkt t underförstås alltså skillnaden mellan signalens värde vid tidpunkten t och signalens värde vid tidpunkten ett samplingsintervall tillbaka i tiden.

2. Auto- och korskovariansfunktioner.

2.1. Primärsidans utgående vatten (y_{T1}).

Mätseriens längd var i detta fall 359 värden. In- och utsignal framgår av figur III:8. I figur III:3 ses autokovariansfunktionen för insignalen.

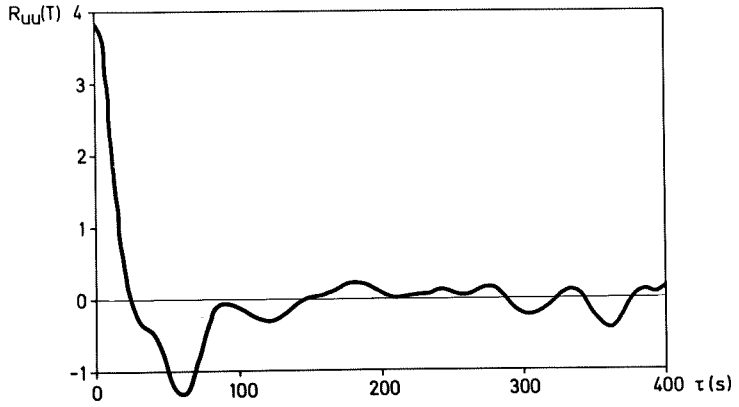


Fig. III:3 - Autokovariansfunktionen för insignalen $(R_{uu}(\tau))$. Samplingstid 10 sek.

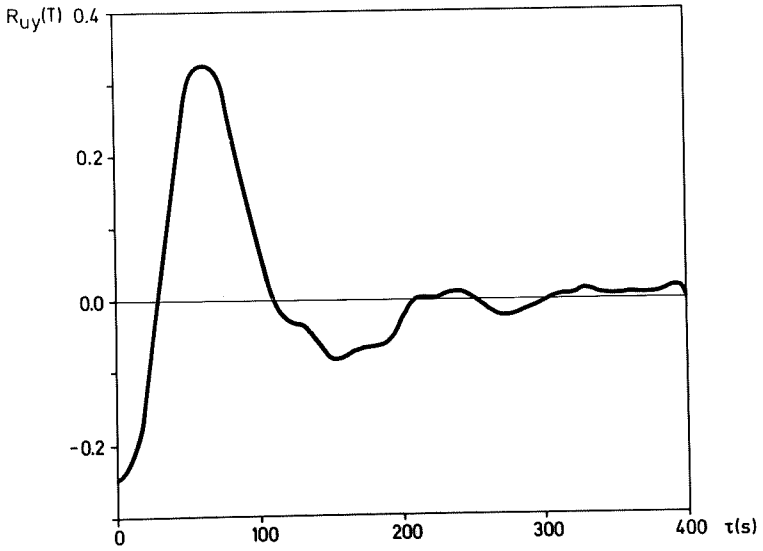


Fig. III:4 - Korskovariansfunktionen mellan insignalen (ventilläget) och utsignalen y_{T1} (vattentemperaturen på primärsidans utgång). Samplingstid 10 sek.

Autokovarianskurvan visar som synes upp de karakteristiska dragen för en PRBS-signal.

I figur III:4 återfinns korskovarianskurvan mellan in- och utsignal.

2.2. Sekundärsidans utgående vatten (y_{T2}).

I likhet med y_{T1} är mätseriens längd 359 värden. In- och utsignal framgår av figur III:2. Insignalen densamma som för y_{T1}. (Autokovariansfunktionen se figur III:3.)

I figur III:5 ses korskovarianskurvan mellan in- och utsignal.

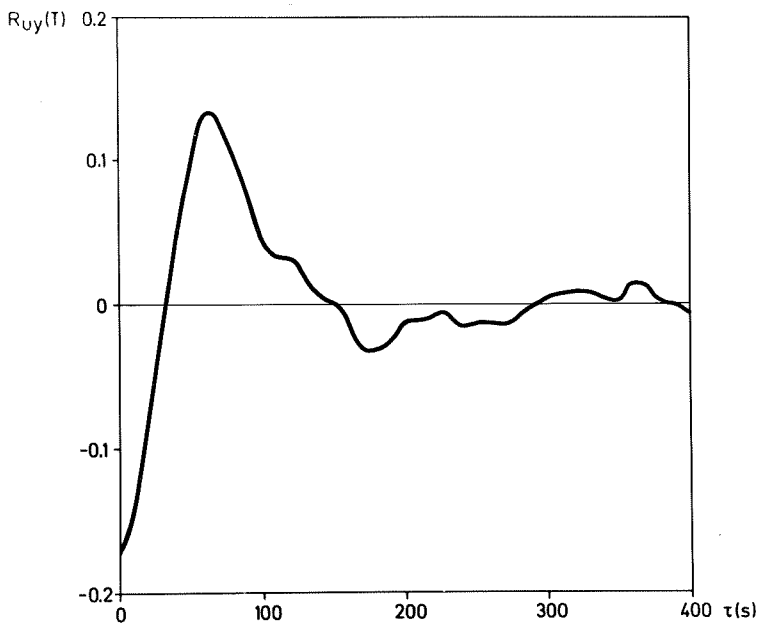


Fig. III:5 - Korskovariansfunktionen mellan insignalen (ventilläget) och utsignalen y_{T2}. (Vattentemperaturen på sekundärsidans utgång.) Samplingstid 10 sek.

3. M-L-metoden

3.1. Primärsidans utgående vatten (y_{T1}).

Identifieringar utfördes på 1:a, 2:a och 3:e ordningens modeller där k antog värdena noll och ett.

Förlustfunktionerna för de olika identifieringarna framgår av följande tabell.

Tabell III:1 - Förlustfunktionens värde

n \ k	0	1
1	79,63	87,22
2	52,33	50,92
3	45,93	47,52

Dessutom utförde vi identifiering med n = 4, k = 0, vilket gav V_4 = 44,91.

F-test mellan n = 3 och n = 4 för k = 0 gav ξ_3 = 2,6.

F-test mellan n = 2 och n = 3 för k = 1 gav ξ_2 = 8,3
($\xi \lesssim$ 2,6 på 5% nivån.)

Dock är standardavvikelserna hos parametrarna för n = 3, k = 1 så stora, att en 2:a ordningens modell är att föredra.

Vi väljer alltså att studera en 2:a ordningens modell med en förskjutning, samt en 3:e ordningens modell med genomgångsterm.

Tabell III:2 - Identifierade parametervärden

	2:a ordn. k = 1	3:e ordn. k = 0
a_1	- 1,648 ± 0,025	- 2,269 ± 0,077
a_2	0,704 ± 0,025	1,800 ± 0,131
a_3		- 0,508 ± 0,059
b_0	- 0,072 ± 0,015	- 0,057 ± 0,016
b_1	0,152 ± 0,016	0,081 ± 0,035
b_2		0,016 ± 0,026
c_1	- 1,193 ± 0,054	- 1,864 ± 0,090
c_2	0,241 ± 0,054	1,184 ± 0,140
c_3		- 0,297 ± 0,063
V	50,92	45,93
λ	0,532	0,507

Beräknas tidskonstanterna för de kontinuerliga modeller, som motsvarar ovanstående parametervärden fås för 2:a ordningens modell två komplexa rötter, som ger en svängning med perioden:

T_0 = 325 sek.

3:e ordningens modell ger:

T_1 = 100 sek.

samt två komplexa rötter, som ger en svängning med perioden:

T_0 = 144 sek.

Det kan nämnas, att om man utför identifiering på signalen y_{T1} direkt utan att utnyttja differenserna fås parametervärden, som, vad gäller A- och B-parametrarna, faller inom felgränserna för parametervärdena i tabell III:2. Driften i denna signal är alltså inte så stor.

I figurerna III:6 och III:7 har impulssvar $(P(\tau))$ resp. stegsvar $(S(\tau))$ uppritats. I figur III:6 är även viktfunktionerna, beräknade ur kovarianskurvorna, inritade. Dessa är här viktade enligt formel III:2 (se nedan).

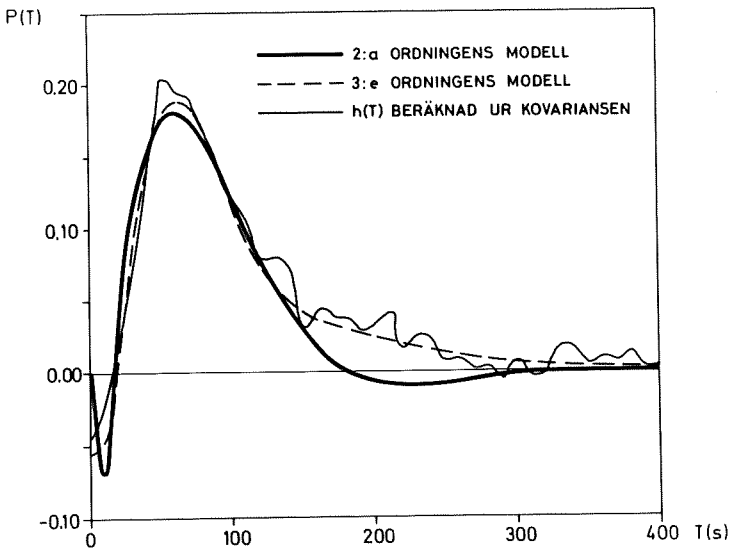


Fig. III:6 - Impulssvaret $(P(\tau))$ för 2:a och 3:e ordningens modell samt viktfunktionerna $(h(\tau))$, beräknade ur kovarianskurvorna. Primärsidans utgående vatten (y_{T1}).

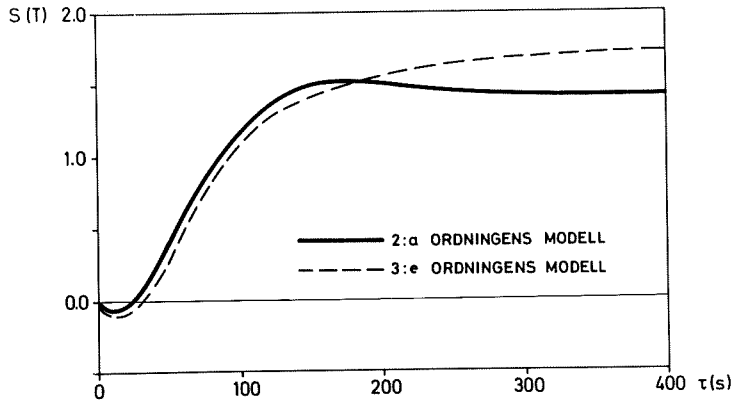


Fig. III:7 - Stegsvaret $(S(\tau))$ för 2:a och 3:e ordningens modell. Primärsidans utgående vatten (y_{T1}).

I figur III:6 kan man utläsa, att viktfunktionerna bättre ansluter till 3:e ordningens modell.

På samma sätt som tidigare beräknades y-deterministisk för 2:a och 3:e ordn. modeller.

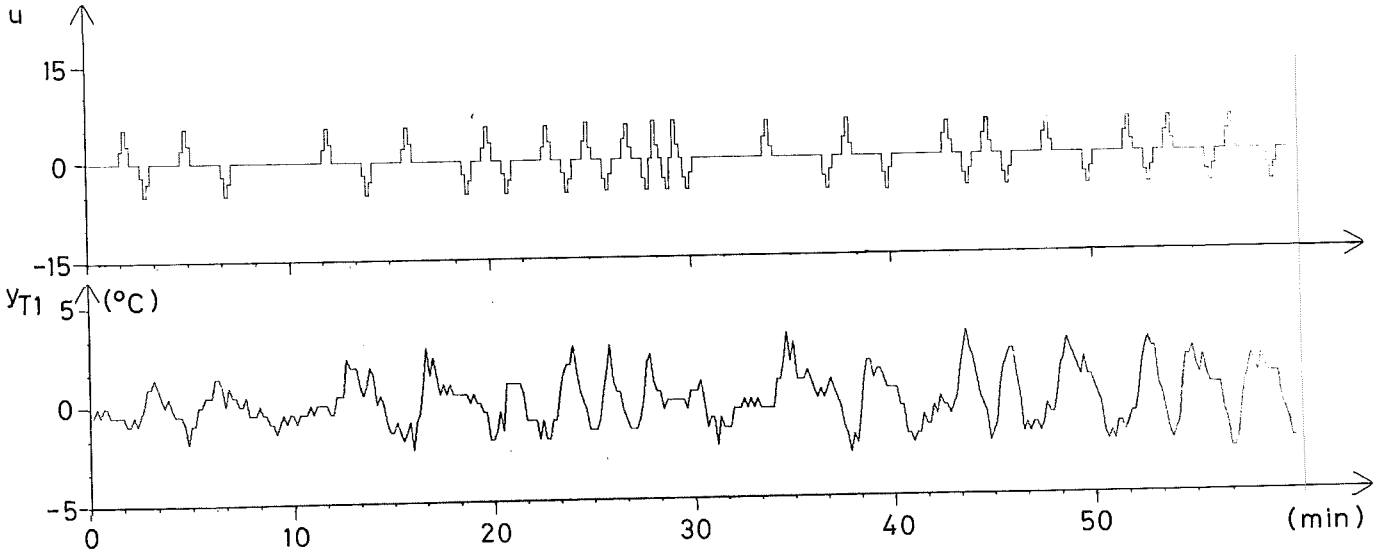


Fig. III:8 - Insignalen (u) och utsignalen (y) som funktion av tiden för primärsidans utgående vatten (y_{T1}).

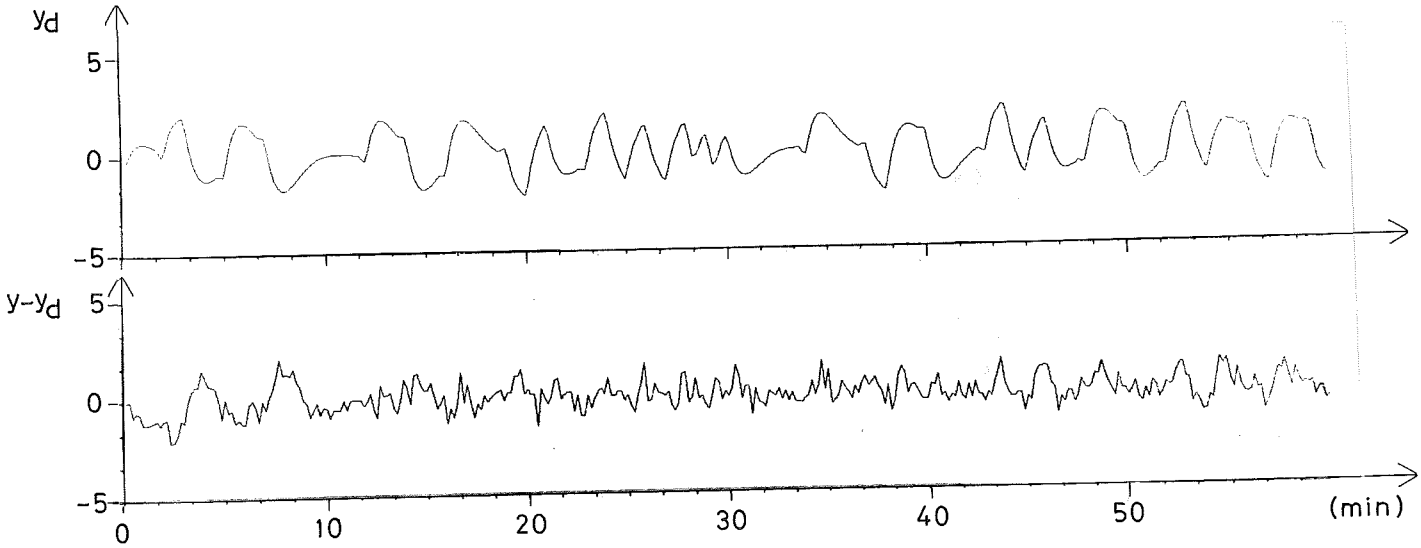


Fig. III:9 - y-deterministisk samt skillnaden mellan verklig utsignal och y-deterministisk för 2:a ordningens modell som funktion av tiden för primärsidans utgående vatten (y_{T1}).

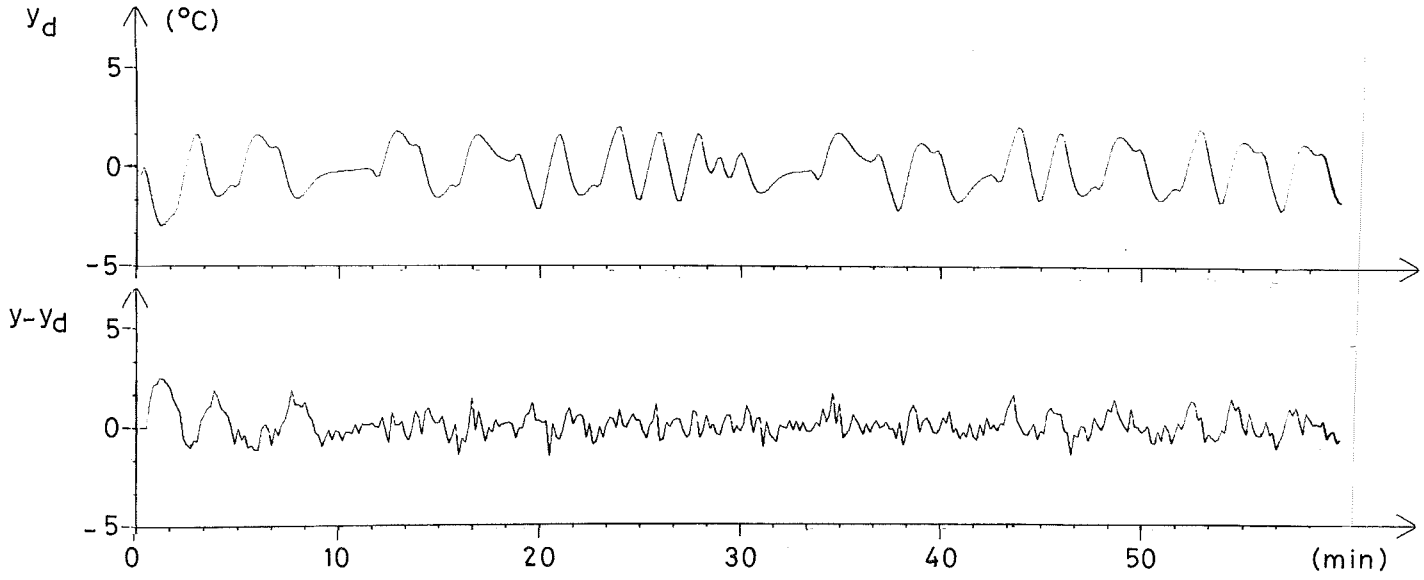


Fig. III:10 - y-deterministisk samt skillnaden mellan verklig utsignal och y-deterministisk för 3:e ordningens modell som funktion av tiden för primärsidans utgående vatten (y_{T1}).

3.2. Sekundärsidans utgående vatten (y_{T2}).

Identifieringar utfördes liksom tidigare på 1:a, 2:a och 3:e ordningens modeller, där k antog värdena noll och ett.

Förlustfunktionen framgår av följande:

Tabell III:3

n \ k	0	1
1	29,04	37,11
2	20,35	24,08
3	20,24	23,30

Man utläser ur tabellen, att k = 0 är genomgående bättre. F-test mellan 2:a och 3:e ordn. för k = 0 ger:

$\xi_2 = 0{,}63$

F-testet ger alltså en 2:a ordningens modell.

Eftersom dessutom k = 0 är genomgående bättre väljer vi att studera endast en modell, nämligen andra ordningen med genomgångsterm.

Tabell III:4 - Identifierade parametervärden

a_1	- 1,677 ± 0,024
a_2	0,701 ± 0,024
b_0	- 0,090 ± 0,008
b_1	0,123 ± 0,008
c_1	- 1,401 ± 0,059
c_2	0,451 ± 0,058
V	20,35
λ	0,337

Tidskonstanterna för motsvarande kontinuerliga modell blir

T_1 = 81 sek.

T_2 = 43 sek.

I figurerna III:11 och III:12 har impulssvar $(P(\tau))$ resp. stegsvar $(S(\tau))$ uppritats. I figur III:11 finns även viktfunktionerna inritade. (Dessa är här viktade, se nedan.)

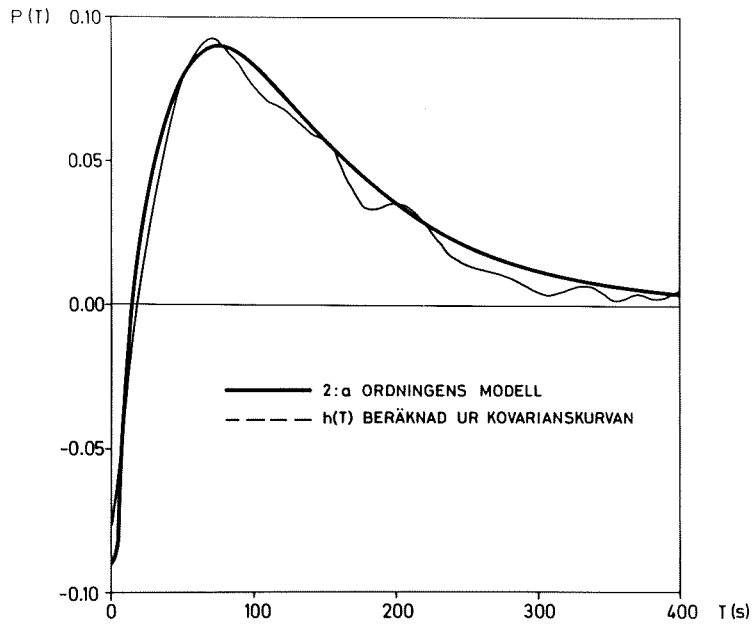


Fig. III:11 - Impulssvaret $(P(\tau))$ för 2:a ordningens modell samt viktfunktionerna $(h(\tau))$, beräknade ur kovarianskurvorna. Sekundärsidans utgående vatten (y_{T2}).

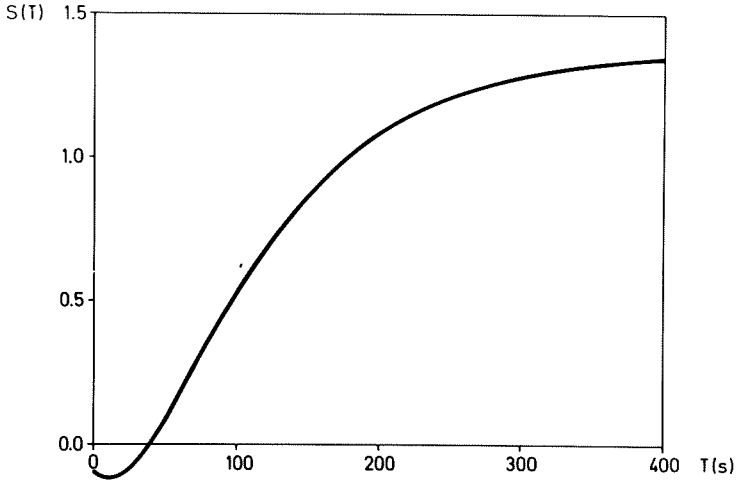


Fig. III:12 - Stegsvaret $(S(\tau))$ för 2:a ordningens modell. Sekundärsidans utgående vatten (y_{T2}).

Även här beräknades y-deterministisk för 2:a ordningens modell.

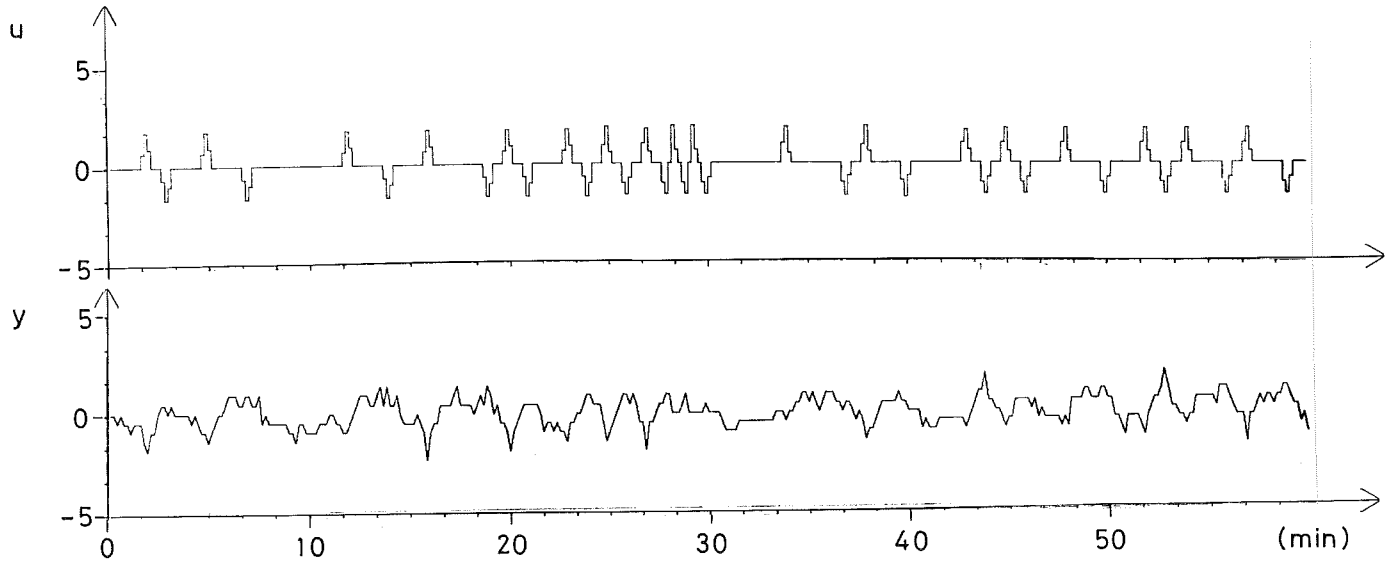


Fig. III:13 - Insignalen (u) och utsignalen (y) som funktion av tiden för sekundärsidans utgående vatten (y_{T2}).

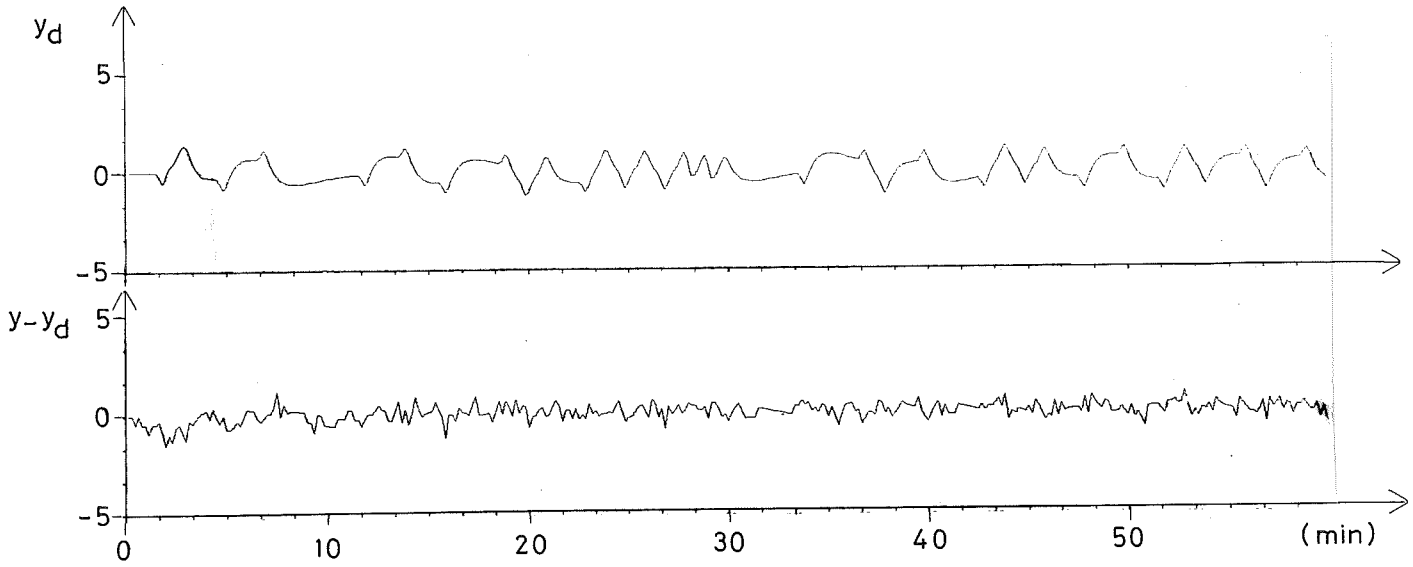


Fig. III:14 - y-deterministisk samt skillnaden mellan verklig utsignal och y-deterministisk för 2:a ordningens modell som funktion av tiden för sekundärsidans utgående vatten (y_{T2}).

De i figur III:11 inritade viktfunktionerna är viktade enligt:

$$h''(T) = \frac{1}{10}\,h(T-2) + \frac{4}{16}\,h(T-1) + \frac{6}{16}\,h(T) + \frac{4}{16}\,h(T+1) + \frac{1}{16}\,h(T+2) \qquad \text{(III:1)}$$

I figur III:15 visas de ursprungligt beräknade viktfunktionerna h(T) samt h'(T), viktade enligt:

$$h'(T) = 0{,}23\,h(T-1) + 0{,}56\,h(T) + 0{,}23\,h(T+1) \qquad \text{(III:2)}$$

och h''(T) viktade enligt III:1.

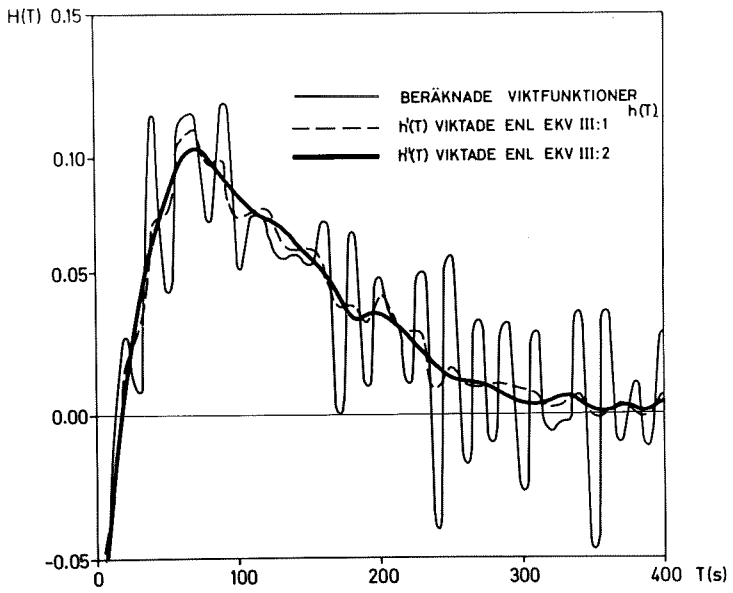


Fig. III:15 - Viktfunktionen beräknad ur kovarianskurvorna, samt viktad enligt ekv III:1 och 2.

IV. SAMMANFATTNING

De i detta arbete utförda försöken visar, att maximum likelihood-metoden passar bra för identifieringar av den typ, som här utförts. Systemen har i samtliga fall väl beskrivits av en andra ordningens modell. Den svårighet vid identifieringen, som uppkommer beroende på drift i systemet när det gäller värmeväxlaren, kan kringgås genom att differentiera signalerna.

Vad gäller identifieringen av radiatorn kunde man, i den modell av 2:a ordningen, som väl beskriver systemet, tydligt urskilja två tidskonstanter, en snabb tidskonstant på ca. två min. och en långsammare på ca. tio min.

Vid identifiering av värmeväxlaren kan nämnas, att den modell, som beskriver systemet, är av typ icke minimum fas. De två tidskonstanterna i denna modell är av samma storleksordning.

LITTERATURFÖRTECKNING

[1] B. Ekengren: "Bestämning av radiatordynamiken i ett hyreshus", examensarbete vid Reglertekniska Institutionen, Lunds Tekniska Högskola.

[2] I. Gustavsson: "Parametric Identification of Multiple Input, Single Output Linear Dynamic Systems", Report No. 6907, July, 1969, Lunds Institute of Technology, Division of Automatic Control.

[3] I. Gustavsson: "Parametric Identification of Time Series", Report No. 6803, April, 16, 1968, Lunds Institute of Technology, Division of Automatic Control.

[4] Nord och Rosengren: "Konstruktion av PRBS-Generator", examensarbete vid Reglertekniska Institutionen, Lunds Tekniska Högskola.

[5] K.J. Åström and T. Bohlin: "Numerical Identification of Linear Dynamic Systems from Normal Operating Records", proceedings of the IFAC conference on Self-Adaptive Control Systems, Teddington (1965).

[6] K.J. Åström: "Stokastiska system", föreläsningar vid LTH, TLTH/VBV 1968.

FTN5.4B 11/07-69

```
      PROGRAM ADAM
      DIMENSION Y(1100),U(1100),RUY(100),RUU(100),A(50,50),UL(50,50),
     FX(50),V(50)
      COMMON/BLOCKU/ IPS(50)
      NP=360
      NR=50
   95 READ 90,NT
   90 FORMAT(I5)
      IF(NT-2) 69,69,70
   69 READ 111,(Y(I),I=1,NP)
      READ 111,(U(I),I=1,NP)
      DO 18 I=1,NP
   18 Y (I)=4.69*Y (I)
  111 FORMAT(20F4.1)
      NP=NP-1
      DO 87 I=1,NP
      U(I)=U(I+1)-U(I)
   87 Y(I)=Y(I+1)-Y(I)
      AP=NP
      S=T=0.0
      DO 4 I=1,NP
      T=T+Y(I)
    4 S=S+U(I)
      TO=T/AP
      SO=S/AP
      DO 5 I=1,NP
      Y(I)=Y(I)-TO
    5 U(I)=U(I)-SO
      DO 12J=1,NR
      R1=R2=R3=R4=0.0
      J=J-1
      J1=NP-J
      DO13 I=1,J1
      R2=R2+U(I)*U(I+J)
   13 R1=R1+U(I)*Y(I+J)
      A=J
      J=J+1
      RUU(J)=R2/(AP-A)
   12 RUY(J)=R1/(AP-A)
      PRINT 201
  201 FORMAT(/5X*RUU*/)
      PRINT 101,(RUU(J),J=1,NR)
      PRINT 200
  200 FORMAT(/5X*RUY*/)
      PRINT 101,(RUY(J),J=1,NR)
  101 FORMAT(5E16.8)
      PRINT 102
  102 FORMAT(/5X*H(T)*/)
      NL=50
      DO 10 N=1,NL
      N=N-1
      NS=NL-N
      DO 11 K=1,NS
   11 A(K,K+N)=A(K+N,K)=RUU(N+1)
   10 N=N+1
      CALL DECOM (NL,A,UL,ISING,50)
```

TN5.4B 11/07-69

```
      CALL SOLVE (NL,UL,RUY,X,50)
      V(1)=11/16*X(1)+4/16*X(2)+1/16*X(3)
      V(2)=5/16*X(1)+6/16*X(2)+4/16*X(3)+1/16*X(4)
      V(NL-1)=1/16*X(NL-3)+4/16*X(NL-2)+6/16*X(NL-1)+5/16*X(NL)
      V(NL)=1/16*X(NL-2)+4/16*X(NL-1)+11/16*X(NL)
      NA=NL-2
      DO 17 I=3,NA
   17 V(I)=1/16*X(I-2)+4/16*X(I-1)+6/16*X(I)+4/16*X(I+1)+1/16*X(I+2)
      PRINT 100,(V(I),I=1,NL)
  100 FORMAT(8F10.6)
      NP=NP+1
      GO TO 95
   70 CONTINUE
      CALL EXIT
      END
LOAD
RUN,3,1500, ,1

XECUTION STARTED AT    1504 -29
```