



LUND UNIVERSITY

Dynamiska konstruktionsmodeller och maximum likelihoodmodeller för en luftkanal

Jensen, Lars

1973

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Jensen, L. (1973). *Dynamiska konstruktionsmodeller och maximum likelihoodmodeller för en luftkanal*. (Research Reports TFRT-3067). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

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

DYNAMISKA KONSTRUKTIONSDATAMODELLER OCH
MAXIMUM LIKELIHOODMODELLER FÖR EN LUFTKANAL. †

L.H. Jensen

† Denna rapport avser anslag nr D 698 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionerna för byggnadskonstruktionslära och reglerteknik vid LTH.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sid.

Inledning	1
Beskrivning av luftkanal	2
Beskrivning av mätningar	3
Modeller	5
Strukturidentifiering	9
Maximum Likelihood-modeller	12
Slutsats	15
Figurer	16
Referenser	20
Bilagor	
Diagram	

INLEDNING.

Modellerna avser att beskriva det dynamiska sambandet mellan inblåsnings- och utblåsningstemperatur för en luftkanal i plåt, som är isolerad utvändigt. Maximum likelihood identifiering har gjorts och dessa modeller beskriver dynamiken väl. På basis av konstruktionsdata har en del olika modeller provats, vilka har visat sig kunna beskriva luftkanalen väl.

Båda metoderna ger samma typ av dynamik, vilken består av en proportionell del eller en mycket snabb mod och en långsam mod med en tidskonstant på 2 minuter. Den långsammare moden härrör från värmemagasiner i luftkanalens plåtmasa. Förstärkningen är ungefär lika stor för de två moderna.

Mätdata har erhållits från mätningar på en luftkonditioneringsanläggning, vilka gjorts som ett examensarbete [1].

BESKRIVNING AV LUFTKANAL.

Luftkanalen ingår i en luftkonditioneringsanläggning i Arbetets förlagshus på Bergsgatan 20 i Malmö.

Data:

Längd	23,5 m
Diameter	0,45 m
Tjocklek	0,001 m plåt
Isolering	0,030 m mineralull
Luftflöde	1,1 m ³ /sek.

I kanalen finns en 2 meter lång ljudfälla, vars längd är inräknad i kanalens. Ljudfällan var av samma diameter som kanalen och perforerad till 40% och isolerad med 0,1 m mineralull. Inga hinder finns i själva kanalen. Luften pressas neråt i kanalen, som har en höjdskillnad på 16 m.

BESKRIVNING AV MÄTNINGAR.

För att kunna använda en del identifieringsprogram krävs att systemet, som skall identifieras, skall exciteras tillräckligt med någon lämplig insignalsekvens. Enklast möjliga insignal till anläggningen var läget hos en blandningsventil, som försåg ett varmlufts batteri med varmvatten. Batteriet värmdes upp luften, som blåstes genom kanalen.

Sex olika mätserier användes vid anpassning av modeller till mätdata, nämligen tre PRBS-försök och tre stegsvars-försök med samma amplitud som i PRBS-försöken.

Med PRBS-försök avses här att insignalen är en PRBS-sekvens (Pseudo Random Binary Signal), som endast antar värdena t.ex. 0 och 1, vilket är lätt att implementera. Sekvensen genereras med en PRBS-generator. Den kortaste tiden signal-sekvensen är på en nivå ges av grundperioden T tidsenheter och den längsta tiden av $n \cdot T$ tidsenheter, där n är ordningen hos sekvensen. Den totala periodlängden blir $(2^n - 1) \cdot T$ tidsenheter.

PRBS-försöken omfattade 950 tidpunkter varav de 600 första användes vid identifieringarna. Grundperioden T var 20 sek, $n = 7$, $N = 127$, och hela perioden blev $127 \cdot 20$ sek \approx 42 min. Stegsvaren omfattade 150 tidpunkter och varade i 10 min. Sampling skedde var 4:e sek. för samtliga försök.

Endast inblåsnings- och utblåsningstemperatur uppmättes. Temperaturgivarna var termoelement av kopparkonstantan (tysk typ) med en diameter på 0,2 mm, vilket ger en tidskonstant mellan 1,7 och 17 sek. beroende på vilket värmeövergångstal som väljs, 100 W/m²grad eller 10 W/m²grad. Lufthastigheten i kanalen var omkring 7 m/sek., vilket bör medföra en tidskonstant på några sekunder.

Mätdata har ej justerats för fördröjning vid datainsamling, som är omkring 0,25 sek. och ej heller för transporttiden.

Felaktiga data har korrigerats genom interpolation.

Maximum-, medel- och minimumtemperaturer för in- och utblåsningsluften för olika PRBS-försök.

Försökstyp Temperatur	Maximum		Medel		Minimum	
	in	ut	in	ut	in	ut
Minimivärde	25,3	24,8	23,4	23,6	20,4	21,3
Medelvärde	33,0	31,6	28,5	28,6	21,7	23,8
Maximivärde	39,5	37,3	33,6	33,4	23,8	26,8

MODELLER.

En luftkanal kan delas upp i flera segment i längdriktningen (z-led). I varje segment antages luft- och plåt-massorna vara punktformiga. Ingen värmeledning i plåt och luft i kanalen och vidare ingen strålning inuti kanalen. All värmetransport antages ske med konvektion mellan plåt och luft, mellan plåt och omgivning till kanalen och större delen genom luftströmmen genom kanalen.

Värmetransporten till luften i ett segment genom luftströmning är proportionell mot temperaturderivatan med avseende på kanalens längd och strömningshastighet. Mellan luft och plåt är den proportionell mot temperaturskillnaden. Samma sak antages också gälla mellan plåt och omgivningen.

Värmebalansekvationer för luft och plåt i varje segment beskriver kanalen dynamiskt och genom att koppla ihop flera segment kan en hel kanal erhållas. Differential-ekvationerna är för ett segment

$$c_1 \frac{\partial}{\partial t} x_1 = Ah_i (x_2 - x_1) + c_1 \frac{v}{l} \frac{\partial}{\partial z} (x_1) \quad (1)$$

$$c_2 \frac{\partial}{\partial t} x_2 = Ah_i (x_1 - x_2) + Ah_y (x_3 - x_2) \quad (2)$$

Tillstånd:

x_1 = lufttemperatur

x_2 = plåttemperatur

x_3 = omgivningstemperatur

Modellparametrar för ett segment:

c_1 värmekapacitet luft

c_2 - " - plåt

A yta mellan luft och plåt

l längd
 v strömningshastighet
 h_i värmeövergångstal luft-plåt
 h_y - " - plåt-omgivning

Eftersom differentialekvationen är en partiell differential-
 ekvation och avsikten är att dela upp kanalen i ett ändligt
 antal segment måste $\partial/\partial z(x_{1_i})$ approximeras på något sätt.
 Tre möjligheter finns:

$$\frac{\partial}{\partial z} x_i \approx (x_{i+1} - x_i)/l \quad \text{framåt}$$

$$\frac{\partial}{\partial z} x_i \approx (x_i - x_{i-1})/l \quad \text{bakåt}$$

$$\frac{\partial}{\partial z} x_i \approx (x_{i+1} - x_{i-1})/2l \quad \text{medel}$$

Med de tidigare givna ekvationerna (1) och (2) kan med de tre
 olika approximationerna av derivatan tre olika system av
 linjära differentialekvationer ställas upp.

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du$$

Tillståndsvektorn x , insignalvektorn u och utsignalvektorn
 har dimensionerna n , 2 resp. 1. Matriserna A , B , C och D
 har dimensionerna $n \times n$, $n \times 2$, $1 \times n$ och 1×2 . Ordningstalet n
 är lika med två gånger antalet segment i kanalen. Insigna-
 lerna är inblåsningstemperaturen och omgivningens tempera-
 tur. Utsignalen är utblåsningstemperaturen. Hur elementen
 i matrisen A , B , C och D erhålls återges i bilaga nr 3.

Om inblåsning sker i segment 1 och utblåsning i segment n

borde bakåt-approximationen vara den bästa, men det visar sig att egenvärdena till A kan ha positiva realdelar och därmed är systemet instabilt.

Om istället strömningsriktningen ändras från höga mot låga värden på i , blir framåt-approximationen den lämpliga och alla egenvärden har negativa realdelar.

Medelapproximationen kräver kännedom om temperaturer utanför kanalens båda ändar, vilket de två andra inte gör. Vidare sker påverkan endast i en riktning i kanalen, vilket medel-approximationen inte förutsätter.

Fem olika modeller har tagits fram och de var följande:

- typ 1 inget värmeutbyte med omgivningen
- typ 2 fixt "- "- "-
- typ 3 variabelt "- "- "-
proportionellt mot temperaturskillnaden
- typ 4 omgivningens temperatur ingår i modellen
- typ 5 enkel proportionell modell

I den första modellen försumrades värmeutbytet mellan kanalen och omgivningen, vilket betyder att $h_y = 0,0$.

I den andra modellen antas värmeutbytet vara konstant mellan kanalen och omgivningen. Till modellens utsignal adderades en konstant så att dess medelvärde stämde överens med den verkliga utsignalens medelvärde. Även här är $h_y = 0$.

I den tredje modellen antas att värmeutbytet mellan kanalen och omgivningen är proportionell mot temperaturskillnaden mellan kanalen och omgivningen. Modellens utsignal justeras

enligt ett linjärt funktionssamband (se fig. nr 4). Även här är $h_y = 0$.

I den fjärde modellen görs samma antagande som för den tredje, men $h_y \neq 0$. Någon justering av utsignalen sker ej.

I modelltyperna 1 - 3 har omgivningens temperatur ej någon direkt inverkan på modellen som en insignal, varför antalet insignaler är ett.

Som femte och enklast tänkbara modell för kanalen används följande:

$$y = au + b$$

y utsignal
u insignal
a b konstanter

STRUKTURIDENTIFIERING.

Med strukturidentifiering avses här att anpassa några parametrar hos en given modell med viss struktur till mätdata så att summan av det kvadratiske felet blir så liten som möjligt. Felet definieras som skillnaden mellan modellens utsignal och den verkliga.

Transporttiden i luftkanalen var omkring 3,3 sek. och data hade samplats med ett samplingsintervall på 4 sek. För att se hur samplingsintervallets längd påverkar modellen gjordes linjär interpolation av data så att nya data erhöles med ett samplingsintervall på 0,4 sek.

Endast medelförsöket av PRBS-typ användes vid identifiering med delvis framinterpolerade data och antalet data var 1000. Kanalen delades upp i 1, 2, 4 och 8 segment, och bäst resultat erhöles för en modell med 4 segment. Modellen var av typ 1. Simuleringar, se diagram nr 1 - 4. Resultat, se bilaga nr 1.

När samplingsintervallet 4 sek. användes blev resultatet bäst för samtliga modelltyper 1 - 4, när kanalen bestod av endast ett segment.

Det visade sig att för modell typ 1 samtliga försök erhöles ett konstant fel på 0,18, 0,02 och -0,14 grader för resp. min-, medel- och maxförsöken. Simulering, se diagram nr 5 - 7.

Nästa steg blev att använda modell typ 2, som antog att värmeutbytet med omgivningen var konstant. Resultatet blev nu mycket bättre. Av simuleringarna framgick det att felet innehöll långsamma svängningar i takt med lufttemperaturen, varför man kunde anta att värmeutbytet med omgivningen ej var konstant utan varierade med temperaturen i kanalen. Simuleringar, se diagram nr 8 - 10.

Om försökens medeltemperatur plottas mot respektive stationära fel från modell typ 1, fås ett nästan linjärt samband mellan medeltemperatur och stationärt fel. Se figur nr 4.

Efter denna observation togs modelltyp 3 fram och resultat blev ytterligare bättre. Det i figur nr 4 erhållna linjära sambandet användes i modellen. De kraftiga svängningarna i felet minskade för både min- och maxförsöken. Simuleringar se diagram nr 11 - 13.

En korrektare modelltyp än modelltyp 3 blev modelltyp 4, då den innehöll omgivningens temperatur och därmed fick med värmeutbytet på ett naturligt sätt. Någon registrering av omgivningens temperatur fanns ej utan i figur nr 4 är stationära felet noll för en kanaltemperatur på 28,8 grader. Resultat blev med modelltyp 4 lika bra som med modelltyp 3. Simuleringar se diagram nr 14 - 16.

I modelltyperna 1 - 4 släpptes h_i , värmeövergångstalet mellan luft och plåt, fritt. Värdet för h_i varierar från 10 W/m²grad upp till 100 W/m²grad vid påtvingad konvektion. Vid identifieringarna erhöles genomgående värden från 40 W/m²grad upp till 50 W/m²grad.

I modelltyp 4 släpptes också h_y , värmeövergångstalet mellan plåt och omgivning, fritt. Plåtkanalen var isolerad med 30 mm stenull och dess motsvarande värmeövergångstal är omkring 1,3 W/m²grad. För de tre olika försöken erhöles värdena 1,68, 2,01 och 1,49 W/m²grad.

I modelltyp 2 släpptes givetvis det stationära felet fritt, vilket i modellen skulle motsvara ett konstant värmeutbyte med omgivningen.

Med modelltyp 4 gjordes också försök med att släppa h_x , h_y och u_2 (omgivningens temperatur) fria, men resultatet blev ofta sämre än om u_2 hölls konstant vid 28,8 grader.

Den proportionella modellen visade sig vara alltför enkel för att kunna beskriva kanalens dynamik. Felet i utsignalen uppgick till 8,1, 7,1 och 7,7% för resp. min-, medel- och maxförsök. Detta kan jämföras med felet för modelltyp 4 på 3,2, 1,7 och 1,7%. I bilaga nr 1 finns resultat från samtliga strukturidentifieringar med modelltyperna 1 - 5 och med samplingsintervallet 4 sek.

För att se hur modelltyp 1 bestående av ett segment påverkas av olika värden på värmeövergångstal mellan luft och plåt och på plåttjocklek, bestämdes egenvärdena för modellen. Resultat se figur nr 2 och 3. Motsvarande tidskonstanter är en omkring 2 sek. och en omkring 200 sek. Det största egenvärdet härrör från luften i kanalen, som har mycket liten uppehållstid och har stort värmeutbyte med plåten. Det mindre egenvärdet härrör då från plåten, vilken har en värmekapacitet, som är omkring 20 ggr större än luftens. Vid ökande värmeövergångstal ökar båda egenvärdena. Däremot påverkas det största egenvärdet obetydligt vid ökande plåttjocklek, medan det mindre minskar.

MAXIMUM LIKELIHOOD-IDENTIFIERING.

Detta gjordes på samtliga tre PRBS-försök. Insignal var som tidigare lufttemperaturen i början av kanalen och utsignal var lufttemperaturen i slutet av kanalen.

Modellerna som anpassas till data var av följande typ för en insignal och en utsignal med ordningstalet n och fördröjningen k samplingsintervall.

$$\begin{aligned} y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_n y(t-n) &= \\ &= b_0 u(t-k) + b_1 u(t-k-1) + \dots + b_n u(t-k-n) + \\ &+ \lambda (e(t) + c_1 e(t-1) + \dots + c_n e(t-n)) \end{aligned}$$

Här är $y(t)$ utsignal, $u(t)$ insignal och $e(t)$ vitt brus, som är normalfördelat $N(0,1)$. Genom att minimera

$$\sum_{t=1}^N \lambda^2 e^2(t)$$

fås parametrarna a_i , b_i och c_i (se ref. [2]).

Modeller av första upp till tredje ordningen bestämdes utan direktterm b_0 . Med direktterm b_0 togs första och andra ordningens modeller fram.

Bestämning av modelltyp och ordningstal sker med F-test med följande testkvantitet:

$$TQ_{n_2, n_1} = \frac{V_{n_1} - V_{n_2}}{V_{n_2}} \cdot \frac{N - n_2}{n_2 - n_1}$$

som har en $F(n_2 - n_1, N - n_2)$ fördelning. Modellen med n_2 parametrar ($n_2 > n_1$) kan förkastas på en risknivå av 5% om testkvantiteten är mindre än 3,84, 3,00 eller 2,60 för $(n_2 - n_1) = 1, 2$ resp. 3.

Vid test mellan modeller utan b_0 erhöles andra ordningens modeller för samtliga tre PRBS-försök. Däremot vid test mellan modeller med eller utan b_0 blev modeller med direktterm betydligt bättre än motsvarande utan. Störst är skillnaden mellan första ordningens modeller och något mindre för andra ordningens. Vid jämförelse mellan första och andra ordningens modeller med direktterm b_0 kan en första ordningens modell förkastas.

Då luftkanalen har en transportfördröjning på omkring 3 sek. är modeller med direktterm något felaktiga (samplingintervall 4 sek.). Detta framgår delvis vid jämförelse mellan b_0 parametrar för 2:a ordningens modeller, vilka varierar högst väsentligt. Motsvarande första ordningens modellers b_0 parametrar är däremot ganska fixa för de tre försökstyperna. Dessa modeller använder b_0 att beskriva den snabbare delen av dynamiken, medan den övriga delen av pulsöverföringsfunktionen förskjuts mot den långsammare dynamiken (jämför tidskonstanter för 1:a ordningens modeller med och utan b_0). Om modeller med b_0 parametrar förkastas, beskrivs luftkanalen bäst av 2:a ordningens modeller (utan b_0).

Förlustfunktionen består till större delen av mätbrus, vilket framgår av följande beräkning. 600 mätpunkter och med en standardavvikelse hos mätfel på 0,05 grader blir förlustfunktionen $600 \cdot 0,05^2 / 2 = 0,75$. De erhållna förlustfunktionerna har rört sig från 1 och uppåt 2. Jämföres förlustfunktionerna för 2:a ordningens modeller för försökstyperna min. och medel finner man att medelförsöket har mindre förlustfunktion, vilket delvis kan ha sin förklaring i att mätbruset dominerar förlustfunktionen.

Vid en testning av dataloggen genom mätning på ett välisolerat kopparblock med ett termoelement 1000 gånger med en hastighet av 4 mätningar per sek., erhöles en varians på $1,17\mu\text{V}$, vilket motsvarar $0,029$ grader.

Resultaten från identifieringarna, se bilaga nr 2.

SLUTSATS.

Dynamiken för luftkanalen kan sammanfattas till följande: en proportionell del eller en mycket snabb mod och en långsammare mod på några minuter. Båda har ungefär samma förstärkning. I samtliga 2:a ordningens modeller är den snabba modens tidskonstant mindre än 2 sek., vilket approximerar transportfördröjningen och en rent proportionell del i överföringsfunktionen.

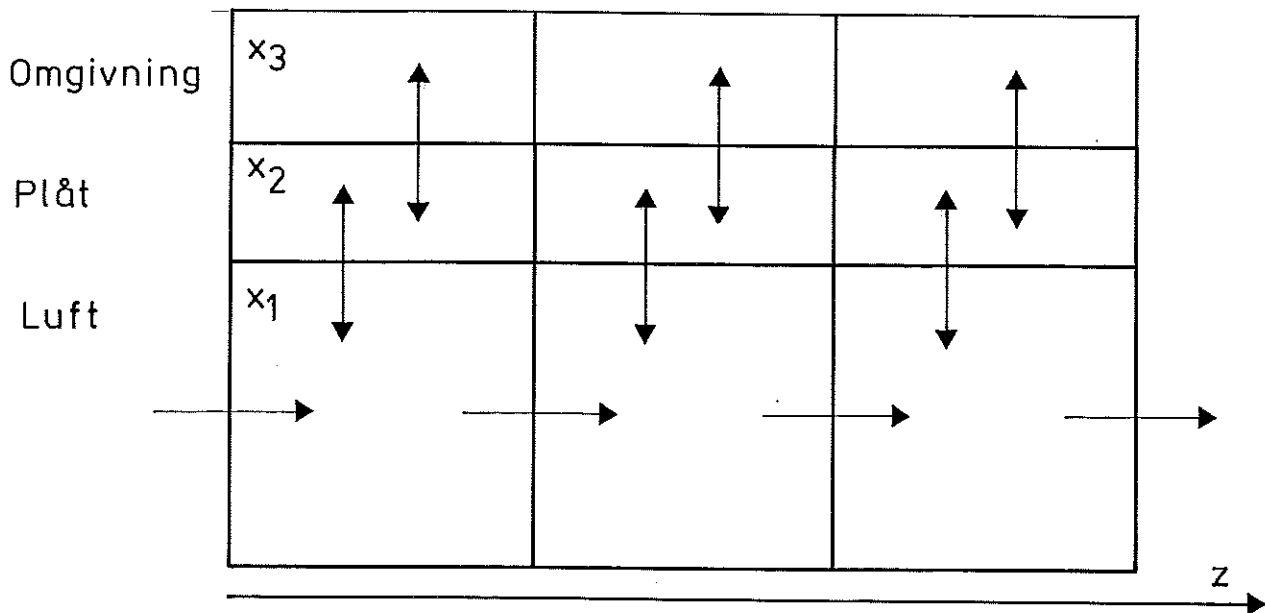


Fig. 1 - Värmeströmmar mellan olika segment i en luftkanal. Enkelriktade pilar visar påtvingade värmeströmmar. Deteckningarna för ett segment är desamma som i ekvationerna (1) och (2).

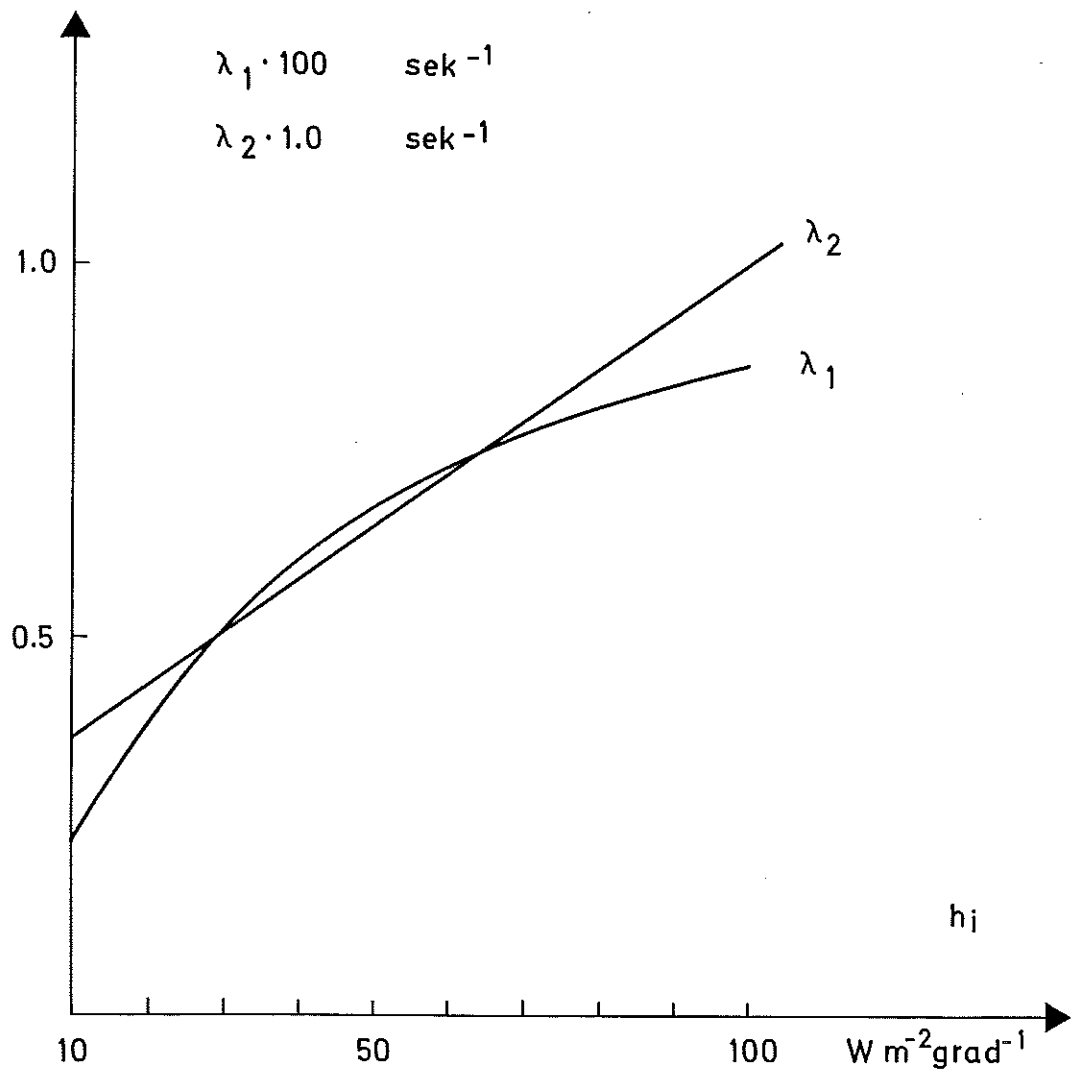


Fig. 2 - Egenvärdena hos en modell av typ 1 av 2:a ordningen (1 segment för hela kanalen) som funktion av inre värmeövergångstalet h_i . Plåttjockleken är 0,001 m.

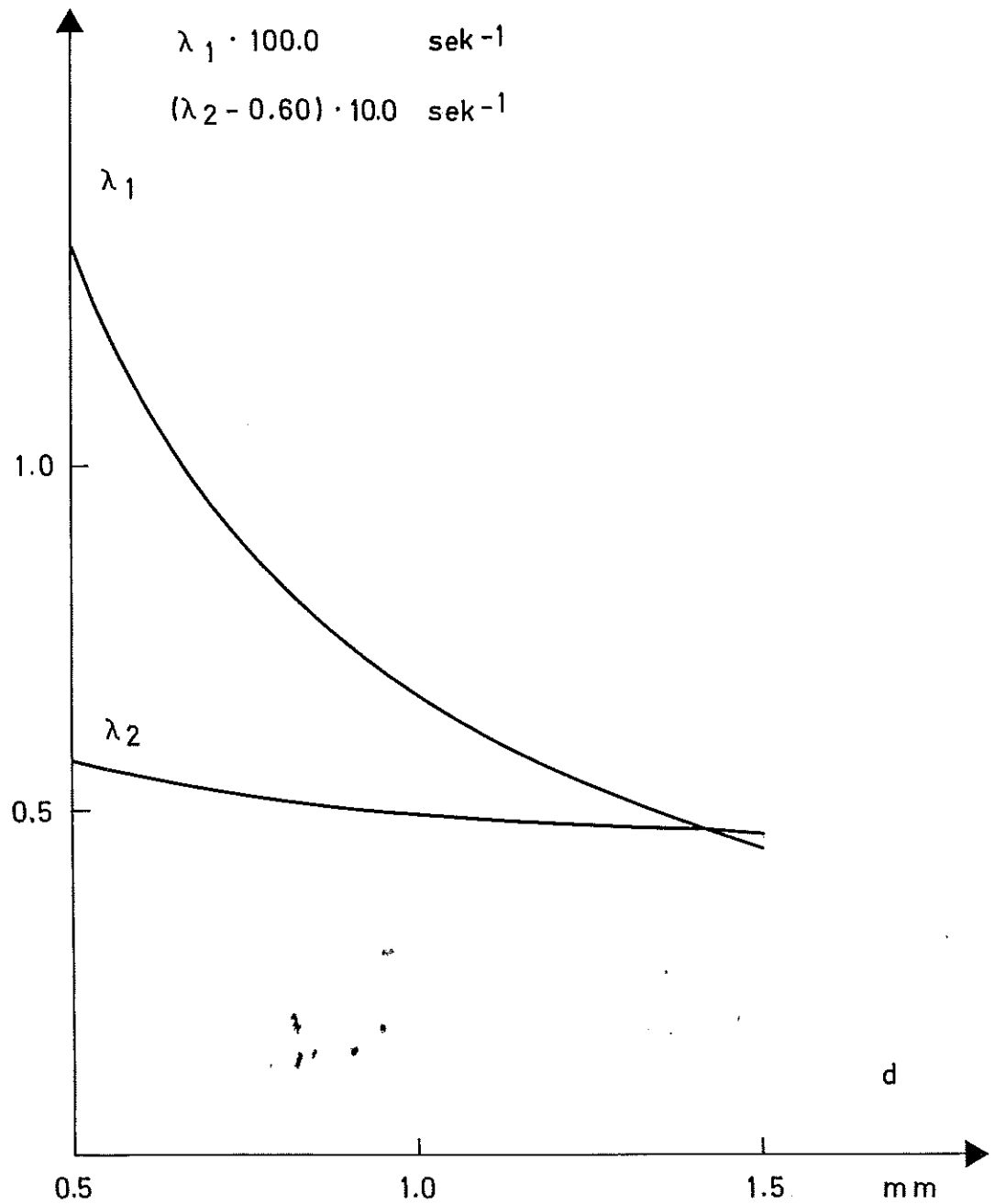


Fig. 3 - Egenvärdena hos en modell av typ 1 av 2:a ordningen (1 segment för hela kanalen) som funktion av plåttjockleken. Inre värmeövergångstalet h_i är $50 \text{ W/m}^2\text{grad}$.

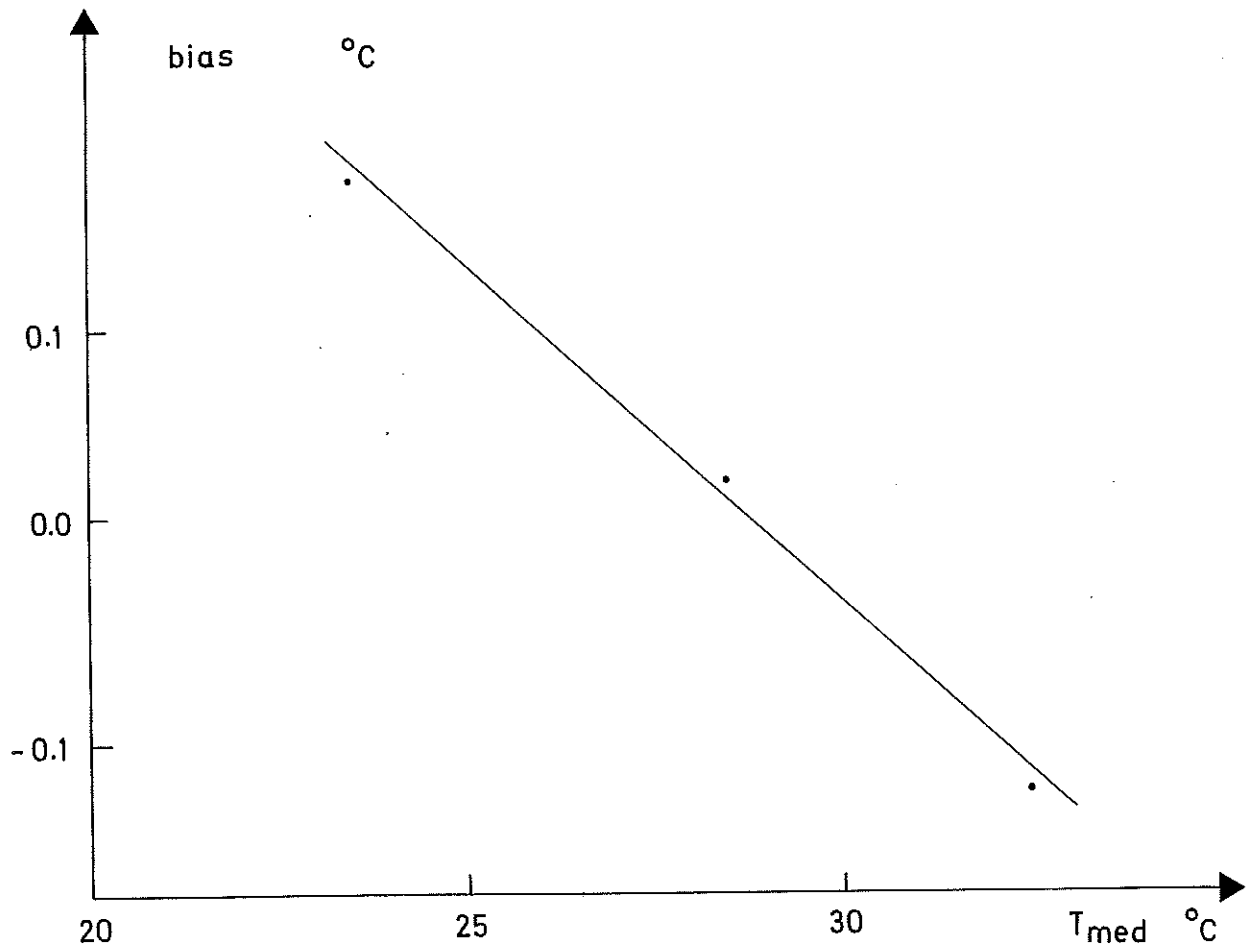


Fig. 4 - Medelfel hos modelltyp 1 som funktion av medeltemperatur.

REFERENSER.

- [1] Lars Jensen: Mätningar på luftkonditioneringsanläggning med återblandning. Identifiering av delsystem. Rapport RE-92, mars 1971, Lunds tekniska högskola, Institutionen för reglerteknik.
- [2] Ivar Gustavsson: Parametric Identification on Multiple Input, Single Output Linear Dynamic Systems. Report 6907, Juli 1969, Lunds tekniska högskola, Institutionen för reglerteknik.

BILAGA nr 1.

Resultat strukturidentifiering.

Följande förkortningar används:

V förlustfunktion
 h_i inre värmeövergångstal luft-plåtkanal
 h_y yttre värmeövergångstal plåtkanal-omgivning
 b bias eller medelfel.

Strukturidentifiering med modelltyp 1.

Försökstyp: medel, interpolerade data.

Ordningstal	2	4	8	16
V	10,45	5,68	4,38	3,94
h_i	50,35	46,20	40,20	37,90
Diagram nr	1	2	3	4

Strukturidentifiering med modelltyp 1.

Ordningstal 2.

Försökstyp	min.	medel	max.
V	24,38	6,25	25,67
h_i	49,74	50,00	45,88
Diagram nr	5	6	7

Strukturidentifiering med modelltyp 2.

Ordningstal 2.

Försökstyp	min.	medel	max.
V	2,96	5,85	13,71
h_i	49,99	47,60	50,0
b	0,1891	0,0209	-0,1454
Diagram nr	8	9	10

Strukturidentifiering med modelltyp 3.

Ordningstal 2.

Försökstyp	min.	medel	max.
V	2,29	3,41	7,08
h_i	45,11	45,82	44,07
Diagram nr	11	12	13

Strukturidentifiering med modelltyp 4.

Ordningstal 2.

Försökstyp	min.	medel	max.
V	8,65	5,32	10,56
h_i	49,87	49,75	47,60
h_y	1,68	2,01	1,49
Diagram nr	14	15	16

Strukturidentifiering med modelltyp 5.

Modell $y = au + b$.

Försökstyp	min.	medel	max.
V	23,61	99,96	221,06
a	0,5689	0,5704	0,5446
b	10,30	12,50	15,27
Diagram nr	-	-	-

Sammanställning av förlustfunktionen.

Försökstyp	min.	medel	max.
Modelltyp 1	24,38	6,25	25,67
-"- 2	2,96	5,85	13,71
-"- 3	2,29	3,41	7,08
-"- 4	3,65	5,32	10,56
-"- 5	23,61	99,96	221,06

Partialbråksuppdelning av överföringsfunktioner.Modelltyp_1

minförsök:

$$G(s) = \frac{0,5456}{150,0s + 1,0} + \frac{0,4544}{1,544s + 1,0}$$

medelförsök:

$$G(s) = \frac{0,5470}{149,6s + 1,0} + \frac{0,4530}{1,540s + 1,0}$$

maxförsök:

$$G(s) = \frac{0,5254}{155,8s + 1,0} + \frac{0,4749}{1,613s + 1,0}$$

Modelltyp_4. Överföringsfunktionerna avser lufttemperatur ut mot lufttemperatur in.

minförsök:

$$G(s) = \frac{0,5101}{139,7s + 1,0} + \frac{0,4537}{1,542s + 1,0}$$

medelförsök:

$$G(s) = \frac{0,5027}{138,0s + 1,0} + \frac{0,4543}{1,544s + 1,0}$$

maxförsök:

$$G(s) = \frac{0,5028}{143,8s + 1,0} + \frac{0,4655}{1,581s + 1,0}$$

Överföringsfunktioner för lufttemperatur ut mot omgivningens temperatur.

minförsök:

$$G(s) = \frac{0,000205}{s^2 + 0,6557s + 0,004642}$$

medelförsök:

$$G(s) = \frac{0,000244}{s^2 + 0,6550s + 0,004694}$$

maxförsök:

$$G(s) = \frac{0,000173}{s^2 + 0,6394s + 0,004399}$$

Sammanställning statistisk förstärkning.

Modelltyp	1	4	4
Försökstyp min.	1,000	0,964	0,044
medel	1,000	0,957	0,052
max.	1,000	0,968	0,039

Sammanställning av tidskonstanter (sek.).

Ordningstal 2.

Försökstyp	min.	medel	max.
Modelltyp 1	1,544	1,540	1,613
	150,0	149,6	155,8
Modelltyp 4	1,542	1,544	1,581
	139,7	138,0	143,8

BILAGA nr 2. Resultat Maximum Likelihood-identifiering.

V är förlustfunktionen och övriga beteckningar är i överensstämmelse med de i insignal-utsignal-sambandet använda.

Maximum Likelihood-identifiering.

Ordningstal 1:a utan b_0 -term.

Försöks- typ	min.	medel	max.
a_1	$-0,741 \pm 0,019$	$-0,718 \pm 0,016$	$-0,711 \pm 0,017$
b_1	$0,163 \pm 0,012$	$0,179 \pm 0,010$	$0,175 \pm 0,010$
c_1	$0,044 \pm 0,036$	$0,445 \pm 0,029$	$0,484 \pm 0,027$
λ	0,0837	0,113	0,166
V	2,104	3,830	8,276
Diagr. nr	17	21	25

Maximum Likelihood-identifiering.

Ordningstal 1:a med b_0 -term.

Försöks- typ	min.	medel	max.
a_1	$-0,878 \pm 0,013$	$-0,852 \pm 0,011$	$-0,865 \pm 0,011$
b_0	$0,307 \pm 0,016$	$0,310 \pm 0,013$	$0,333 \pm 0,013$
b_1	$-0,218 \pm 0,021$	$-0,203 \pm 0,017$	$-0,233 \pm 0,016$
c_1	$-0,329 \pm 0,046$	$0,121 \pm 0,036$	$0,171 \pm 0,034$
λ	0,0714	0,086	0,121
V	1,528	2,240	4,403
Diagr. nr	18	22	26

Maximum Likelihood-identifiering.

Ordningstal 2:a utan b_0 -term.

Försöks- typ	min.	medel	max.
a_1	$-1,087 \pm 0,037$	$-1,025 \pm 0,020$	$-0,967 \pm 0,0187$
a_2	$0,109 \pm 0,035$	$0,049 \pm 0,019$	$-0,0083 \pm 0,0176$
b_1	$0,416 \pm 0,015$	$0,442 \pm 0,008$	$0,470 \pm 0,008$
b_2	$-0,396 \pm 0,014$	$-0,420 \pm 0,008$	$-0,447 \pm 0,007$
c_1	$-0,947 \pm 0,048$	$-0,727 \pm 0,044$	$-0,728 \pm 0,043$
c_2	$0,046 \pm 0,045$	$-0,029 \pm 0,042$	$0,013 \pm 0,040$
λ	0,0615	0,0607	0,0823
V	1,134	1,104	2,030
Diagr. nr	19	23	27

Maximum Likelihood-identifiering.

Ordningstal 2:a med b_0 -term.

Försöks- typ	min.	medel	max.
a_1	$-1,344 \pm 0,044$	$-1,180 \pm 0,031$	$-1,167 \pm 0,035$
a_2	$0,358 \pm 0,042$	$0,199 \pm 0,030$	$0,185 \pm 0,033$
b_0	$0,164 \pm 0,017$	$0,083 \pm 0,013$	$0,093 \pm 0,014$
b_1	$-0,011 \pm 0,048$	$0,220 \pm 0,036$	$0,209 \pm 0,040$
b_2	$-0,139 \pm 0,031$	$-0,285 \pm 0,023$	$-0,285 \pm 0,026$
c_1	$-1,129 \pm 0,058$	$-0,817 \pm 0,046$	$-0,705 \pm 0,048$
c_2	$0,192 \pm 0,054$	$0,020 \pm 0,043$	$-0,733 \pm 0,042$
λ	0,059	0,059	0,083
V	1,046	1,042	2,084
Diagr. nr	20	24	28

Sammanställning av förlustfunktioner.

Försökstyp	min.	medel	max.
Ordningstal:			
1:a	2,104	3,830	8,276
1:a + b ₀	1,528	2,240	4,403
2:a	1,134	1,1039	2,030
2:a + b ₀	1,046	1,042	2,084
3:e	1,132	1,090	2,020

Sammanställning av testkvantiteter.

Försökstyp	min.	medel	max.
Test mellan:			
1:a - 1:a + b ₀	217,1	458,1	526,2
1:a - 2:a	169,3	488,9	609,4
2:a - 2:a + b ₀	50,4	35,4	-15,7
2:a - 3:e	0,32	2,55	0,91
1:a + b ₀ - - 2:a + b ₀	92,2	230,0	222,4

Sammanställning över a-polynomets nollställen.

Försökstyp	min.	medel	max.
1:a	0,742	0,717	0,711
1:a + b ₀	0,878	0,852	0,865
2:a	0,112	0,050	-0,009
	0,975	0,974	0,975
2:a + b ₀	0,370	0,204	0,190
	0,970	0,976	0,970

Partialbråksuppdelade överföringsfunktioner.

1:a utan b₀

minförsök:

$$G(s) = \frac{0,6309}{13,375s + 1}$$

medelförsök:

$$G(s) = \frac{0,6338}{12,052s + 1}$$

maxförsök:

$$G(s) = \frac{0,6037}{11,728s + 1}$$

1:a med b₀

minförsök:

$$G(s) = 0,3071 + \frac{0,4253}{30,68s + 1}$$

medelförsök:

$$G(s) = 0,3102 + \frac{0,4142}{25,03s + 1,0}$$

maxförsök:

$$G(s) = 0,3326 + \frac{0,4020}{27,67s + 1,0}$$

2:a utan b₀

minförsök:

$$G(s) = \frac{0,4553}{1,836s + 1,0} + \frac{0,4646}{159,6s + 1,0}$$

medelförsök:

$$G(s) = \frac{0,4538}{1,325s + 1,0} + \frac{0,4535}{154,0s + 1,0}$$

maxförsök:

Existerar ej

h. p.

2:a med b_o

minförsök:

$$G(s) = 0,1639 + \frac{0,3134}{39,83s + 1,0} + \frac{0,4821}{176,8s + 1,0}$$

medelförsök:

$$G(s) = 0,0829 + \frac{0,3857}{25,17s + 1,0} + \frac{0,4668}{166,0s + 1,0}$$

maxförsök:

$$G(s) = 0,0935 + \frac{0,3790}{23,99s + 1,0} + \frac{0,4884}{178,0s + 1,0}$$

Sammanställning statistisk förstärkning.

Försökstyp	min.	medel	max.
1:a utan b _o	0,6309	0,6338	0,6037
2:a utan b _o	0,9199	0,9073	-
1:a med b _o	0,7324	0,7244	0,7346
2:a med b _o	0,9594	0,9354	0,9609

Sammanställning av tidskonstanter (sek.)

Försökstyp	min.	medel	max.
1:a utan b _o	13,38	12,05	11,73
2:a utan b _o	1,84	1,33	-
	159,64	153,95	-
1:a med b _o	30,68	25,03	27,67
2:a med b _o	3,98	2,52	2,40
	176,77	166,02	177,99

BILAGA nr 3. Matriselement.

För modellerna 1 - 4 återges här formler för beräkning av matriselementen i A, B, C och D. Först beräknas några hjälpvariabler från konstruktionsdata.

P_l	luftens densitet
P_m	plåtens densitet
c_l	luftens specifika värme
c_m	plåtens specifika värme
D	luftkanalens diameter
L	luftkanalens längd
d	luftkanalens plåttjocklek
v	luftströmningshastighet
h_i	värmeövergångstal mellan luft och plåt
h_y	värmeövergångstal mellan plåt och omgivning
ns	antal segment
s_1	$= vns/L$
s_2	$= 2h_i/(P_l c_l D)$
s_3	$= h_i/(P_m c_m d)$
s_4	$= h_y/(P_m c_m d)$

Alla matriselement som ej anges här är noll. I tillståndsvektorn x motsvaras de ns första tillstånden av lufttemperatur i olika segment och de ns sista av intilliggande plåttemperaturer.

$$a_{ii} = -s_1 - s_2 \quad i = 1, ns \quad (1)$$

$$a_{i-1,i} = s_1 \quad i = 2, ns$$

$$a_{i, i+ns} = s_2 \quad i = 1, ns \quad (3)$$

$$a_{i+ns, 1} = s_3 \quad i = 1, ns \quad (4)$$

$$a_{i+ns, i+ns} = -s_3 - s_4 \quad i = 1, ns \quad (5)$$

$$b_{ns, 1} = s_1 \quad (6)$$

$$b_{i+ns, 2} = s_4 \quad i = 1, ns \quad (7)$$

$$c_{1, 1} = 1, 0 \quad (8)$$

Ovanstående avser framåt-approximationen med inblåsning vid segment n och utblåsning vid segment 1.

Om istället bakåt-approximation används fås följande ändrade formler för (1), (2) och (6):

$$a_{i, i} = s_1 - s_2 \quad i = 1, ns \quad (1')$$

$$a_{i, i-1} = -s_1 \quad i = 2, ns \quad (2')$$

$$b_{1, 1} = -s_1 \quad (6')$$

För modelltyp 1 - 3 gäller att $h_y = 0,0$ och att antalet insignaler är ett.

I modelltyp 2 adderas till modellens utsignal y en konstant k så att medelfelet mellan modellens utsignal y' och den verkliga blir noll.

$$y' = y + k$$

I modelltyp 3 används ett linjärt samband för att erhålla den slutliga modellutsignalen y' (se figur nr 4).

$$y' = 0,985 \cdot y + 28,8$$

I modelltyp 4 är h_y skilt från noll och modellens utsignal används direkt. Antalet insignaler är två.

BILAGA nr 4: Diagram.

Simuleringarna i diagram nr 5 - 28 omfattar 600 tidpunkter och med ett samplingsintervall på 4 sek. I diagram nr 1 - 4 är samplingsintervallet endast 0,4 sek. och antalet tidpunkter 1000, vilka har interpolerats fram från 100 uppmätta mätvärden.

I samtliga diagram är de vertikala kurvaxlarna graderade i grader. Endast diagram 14 - 16 omfattar alla tidpunkter.

Diagram nr 1 - 4.

Simulering av modelltyp 1 med olika ordningstal för att se transportfördröjningens inverkan. Luftkanalen var i 1, 2, 4 och 8 delar, vilket motsvarar 2:a, 4:e, 8:e och 16:e ordningens modeller.

Använda beteckningar är U för insignal, Y för utsignal, YM för modellens utsignal och ERR=YM-Y för felet.

Diagram nr 5 - 7.

Simulering av modelltyp 1. Beteckningar som tidigare. Modellen är av 2:a ordningen (luftkanalen består av ett segment).

Diagram nr 8 - 10.

Som föregående men med modelltyp 2.

Diagram nr 11 - 13.

Som föregående men med modelltyp 3.

Diagram nr 14 - 16.

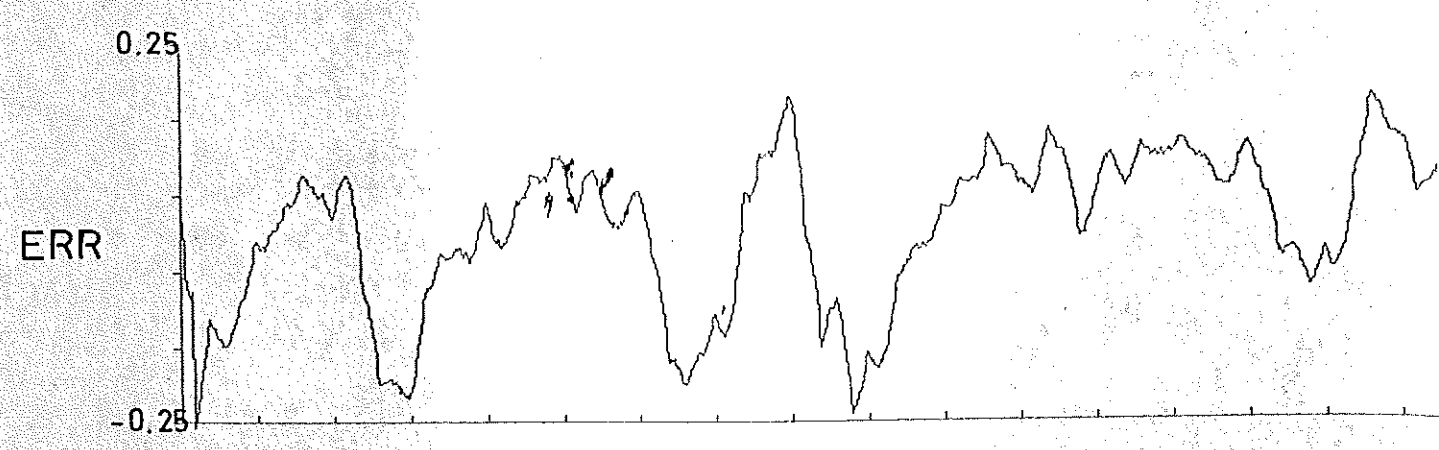
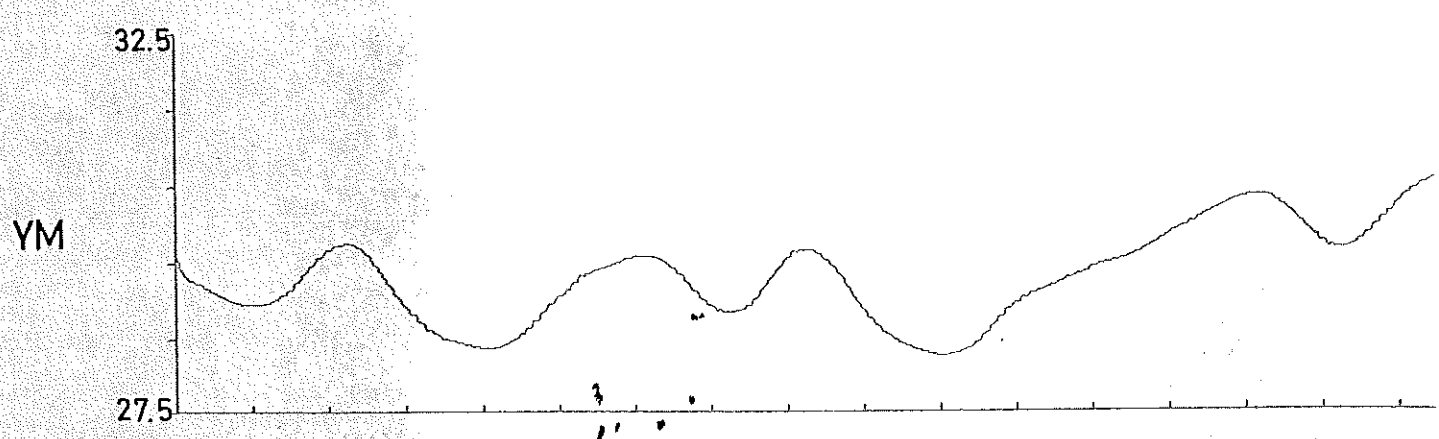
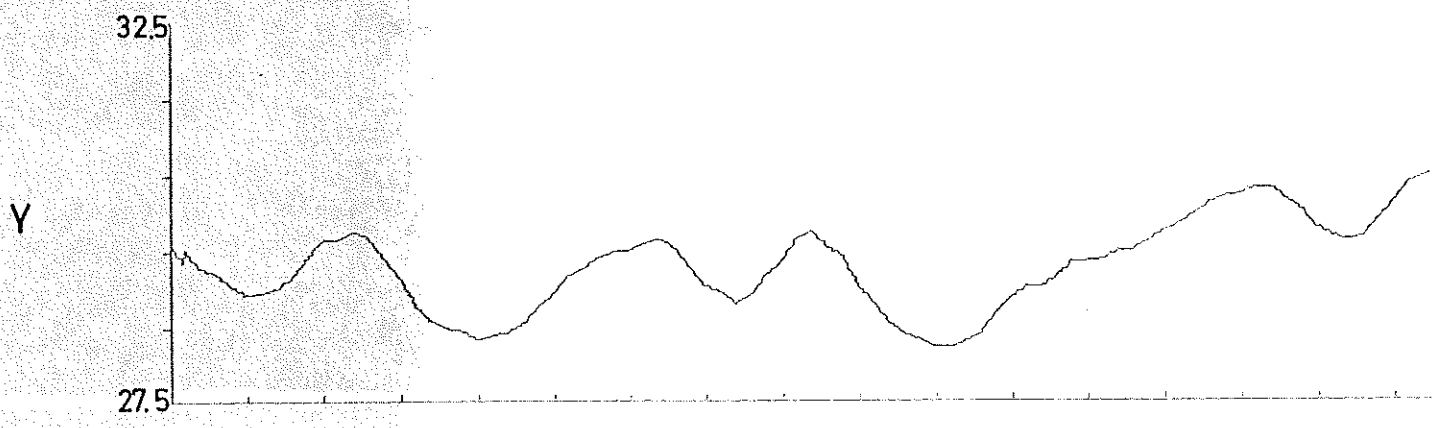
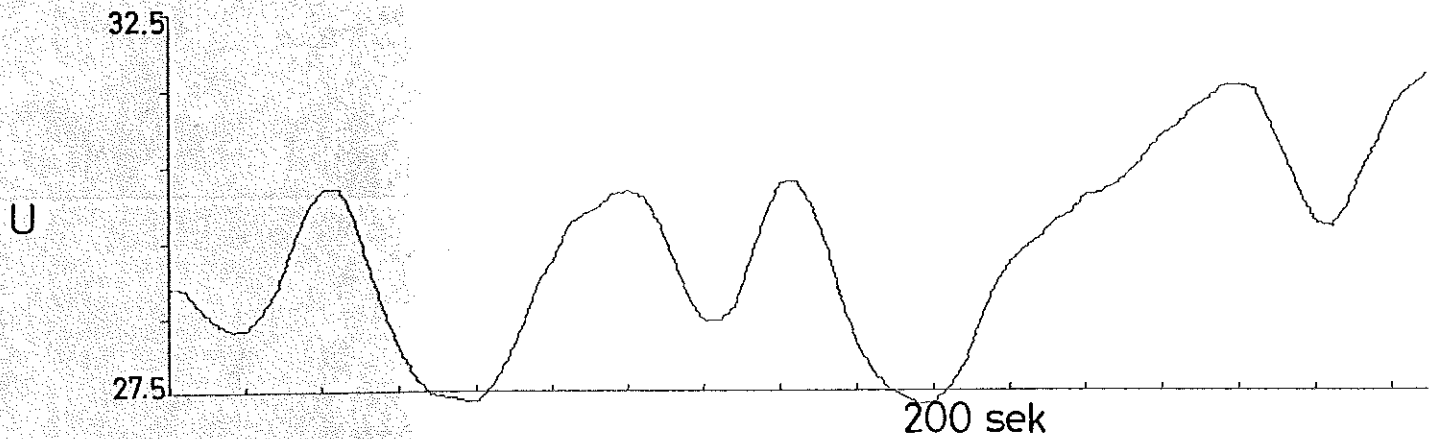
Som föregående men med modelltyp 4. De två insignalerna är U1, inblåst lufttemperatur, och U2, omgivningens temperatur.

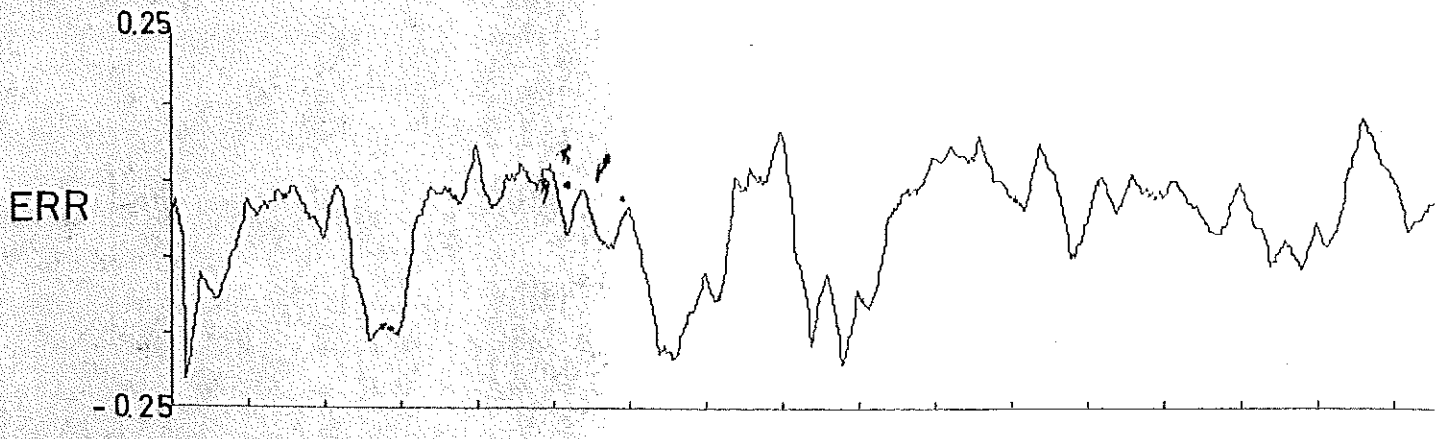
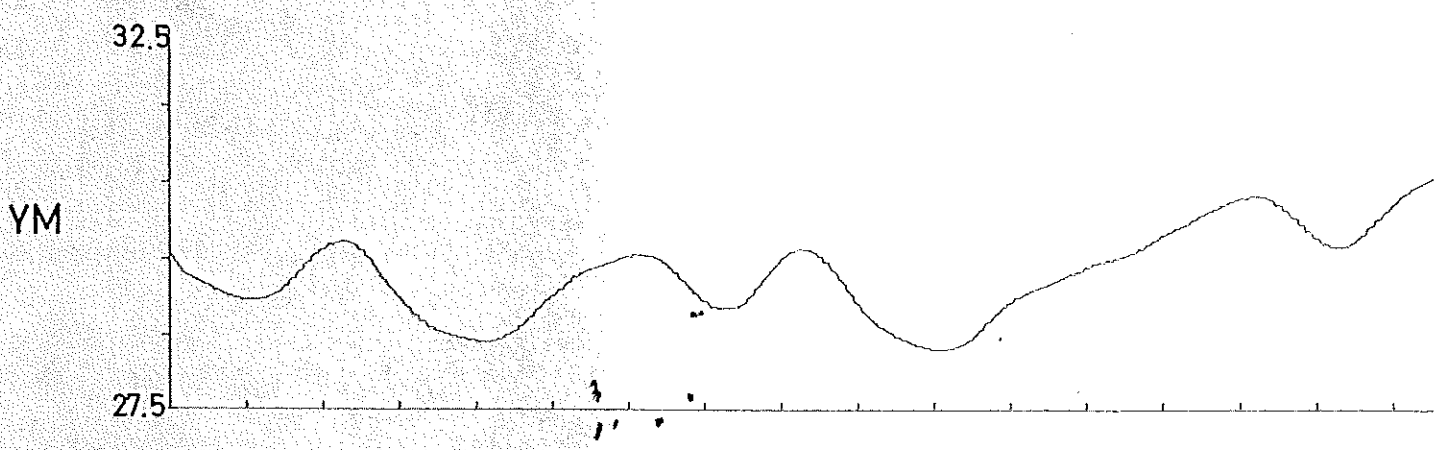
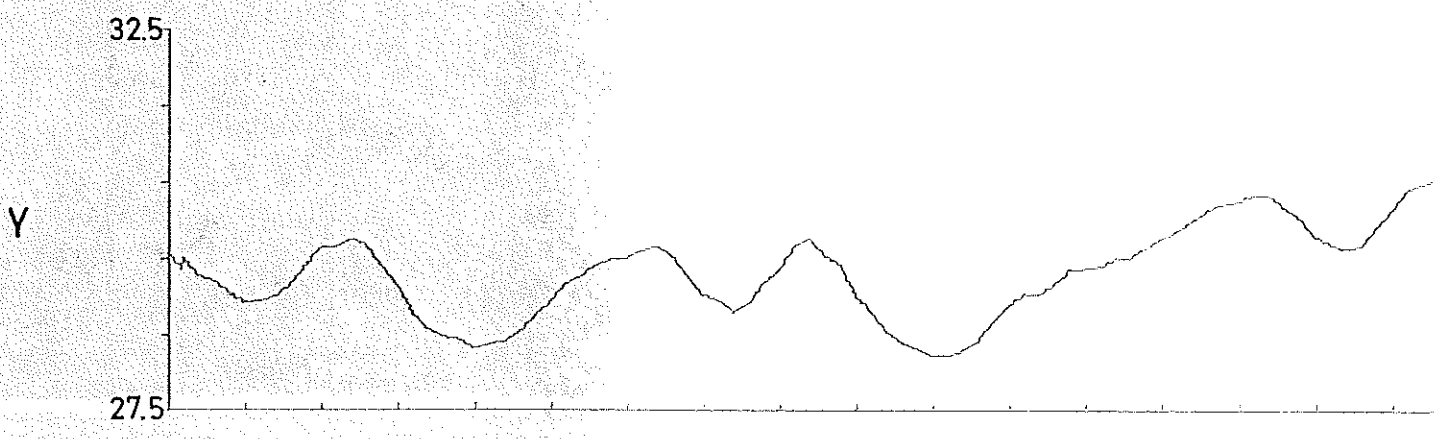
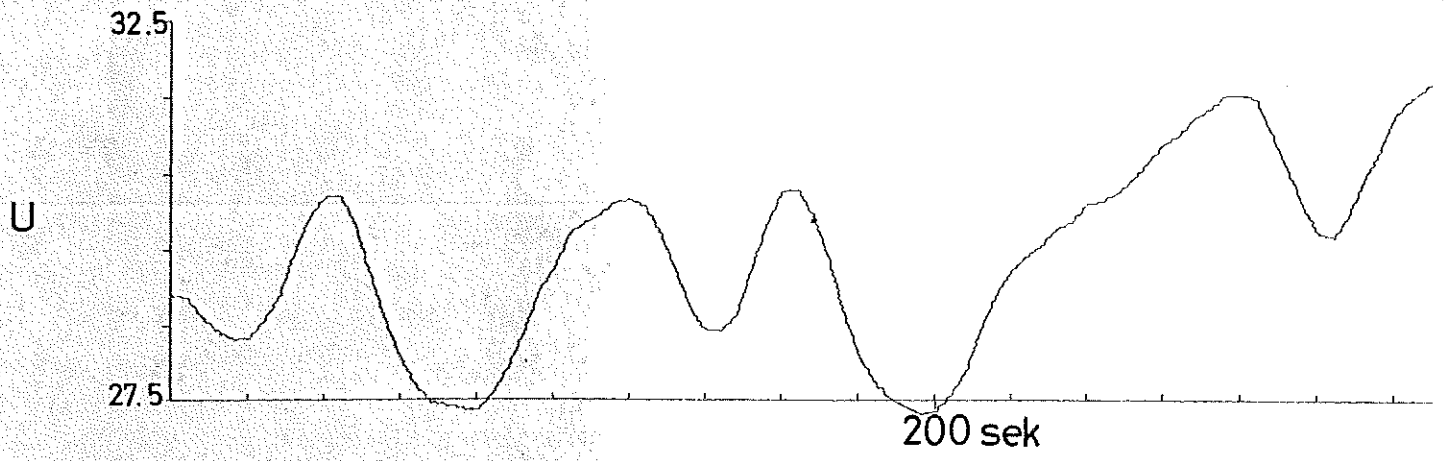
Diagram nr 17 - 28.

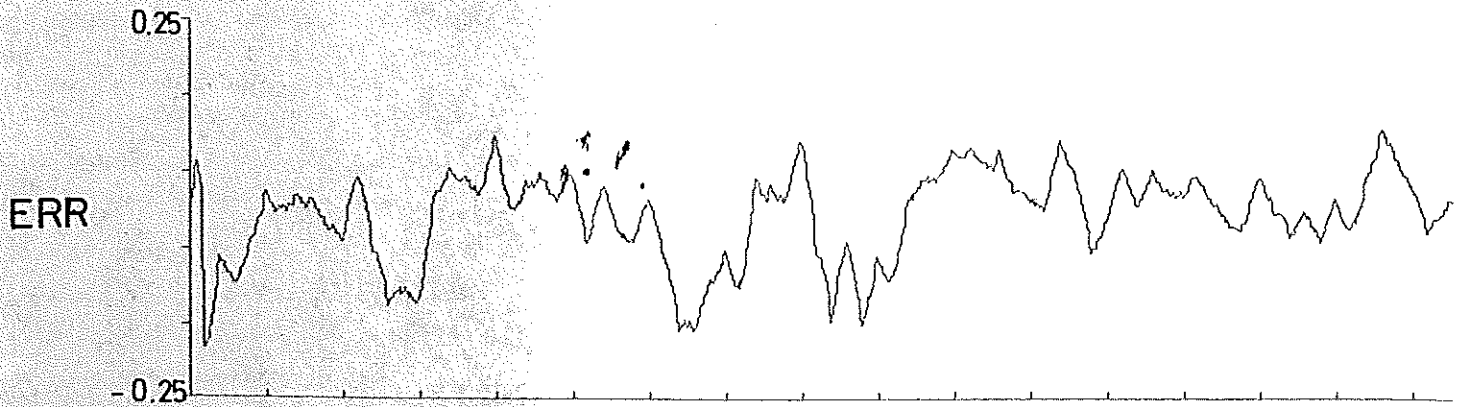
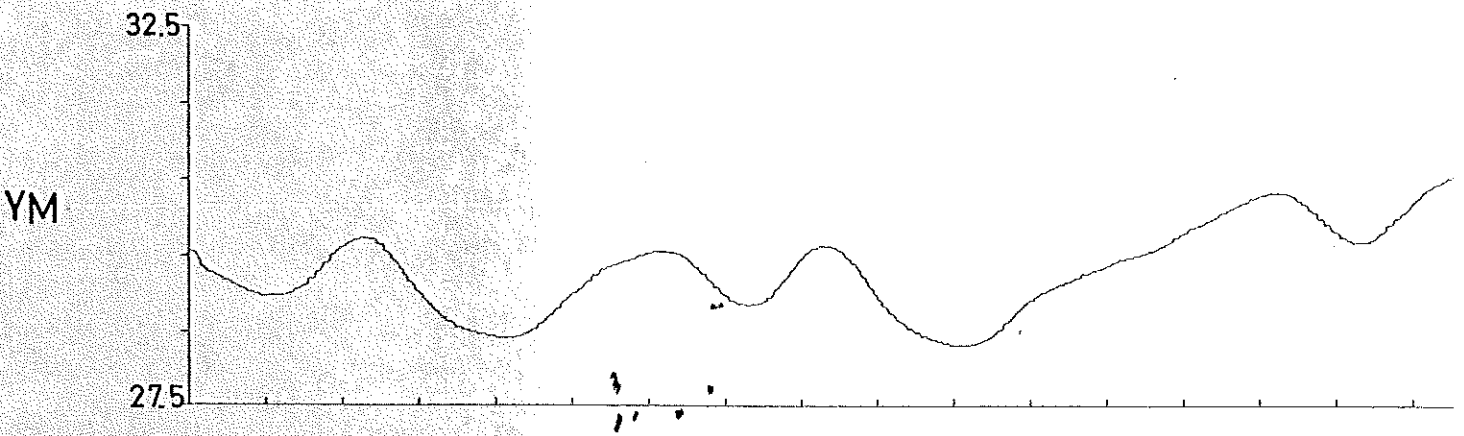
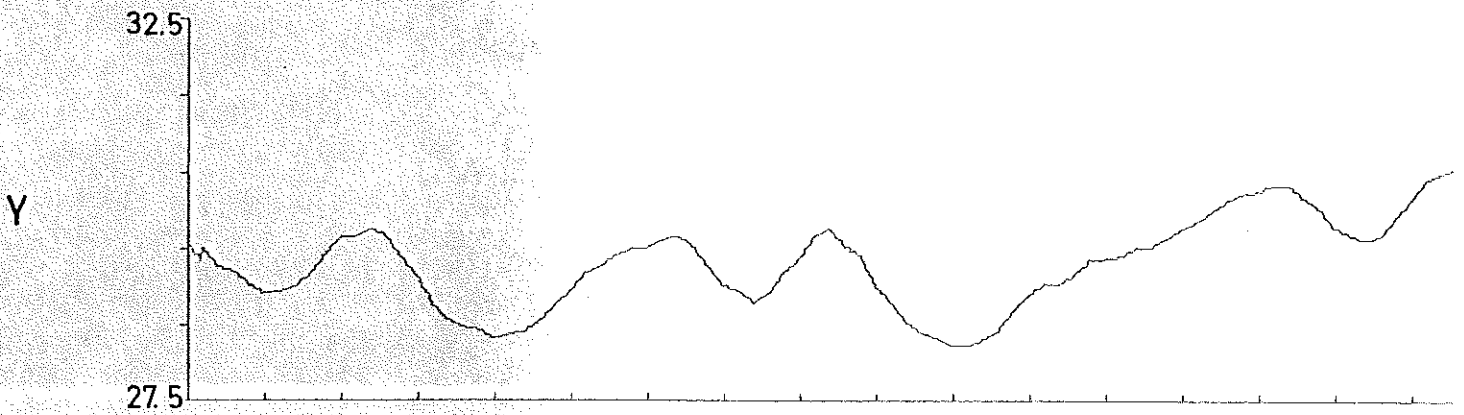
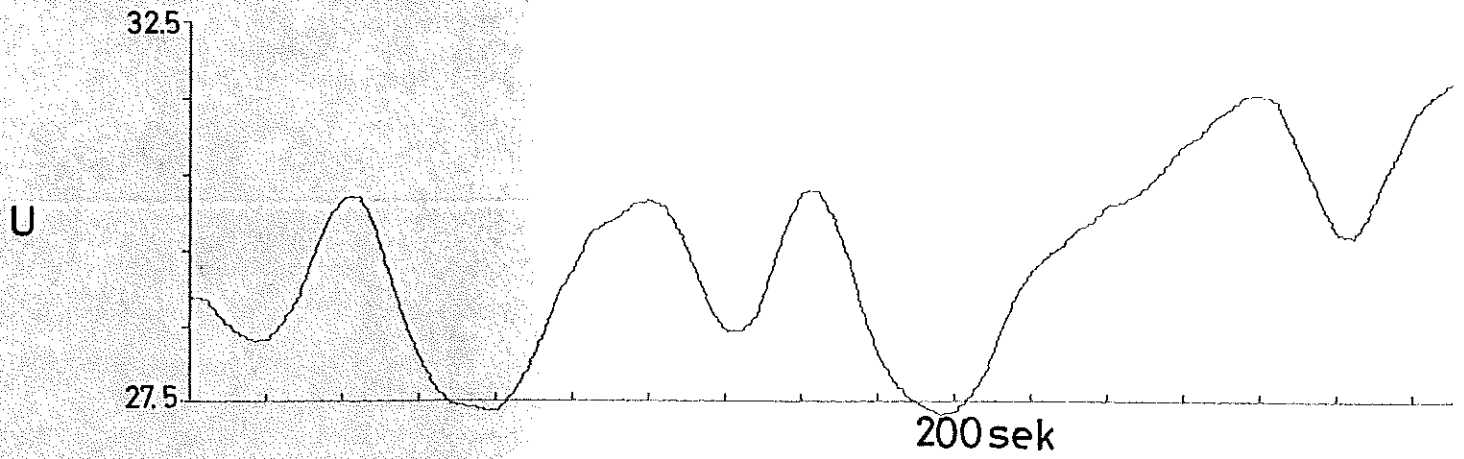
Simulering av Maximum Likelihood-modeller. Kurvorna är uppifrån RE residualer ($\lambda e(t)$), ERR modellfel, YM modellens utsignal och Y verklig utsignal. Någon insignal är ej uppritad.

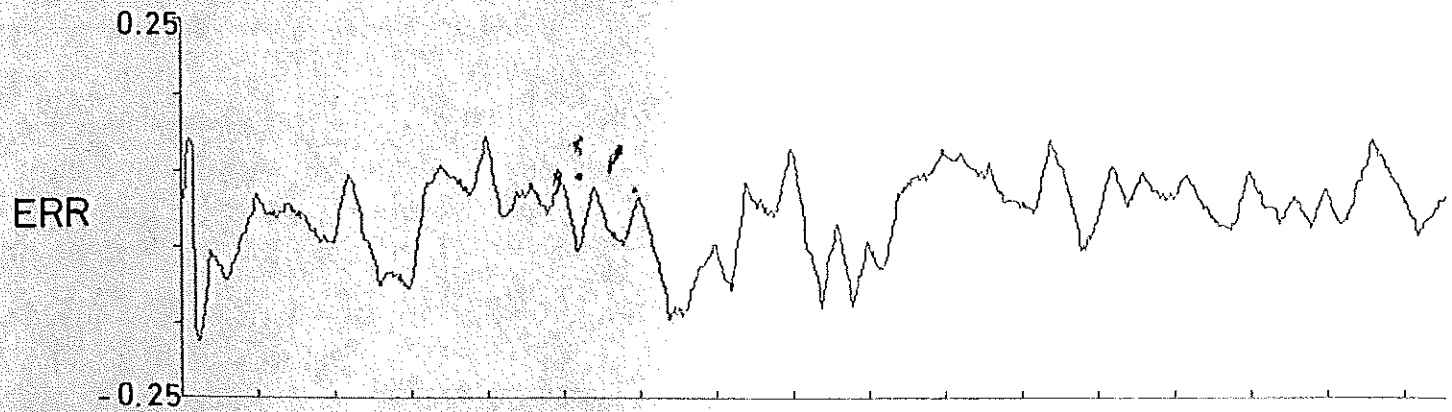
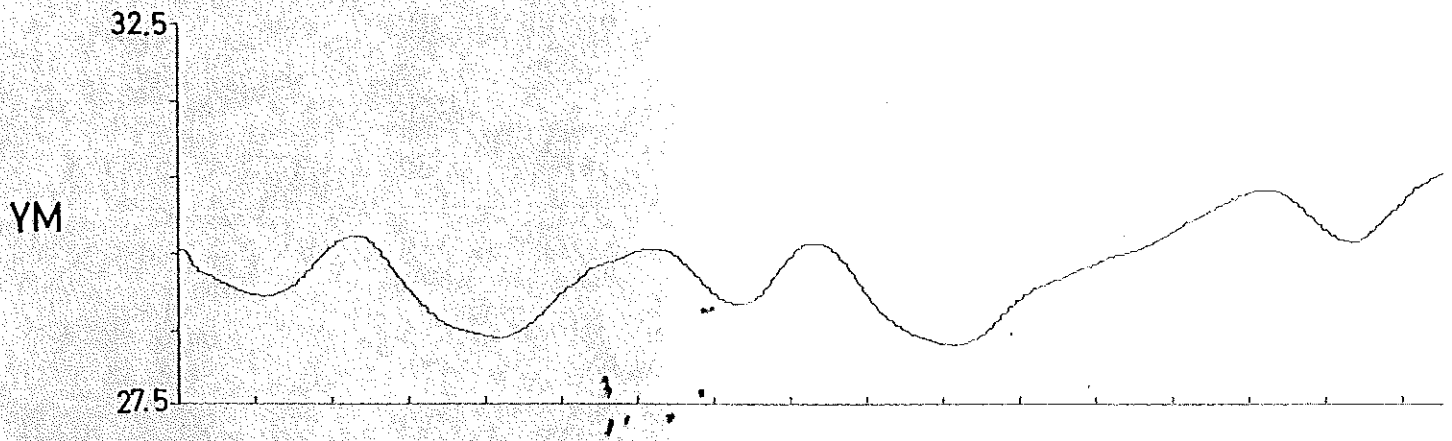
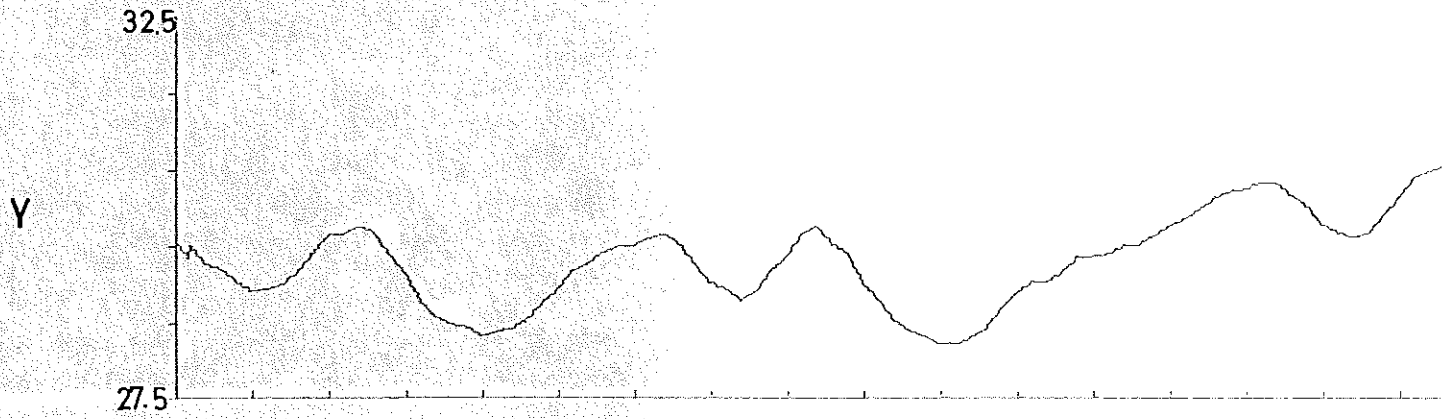
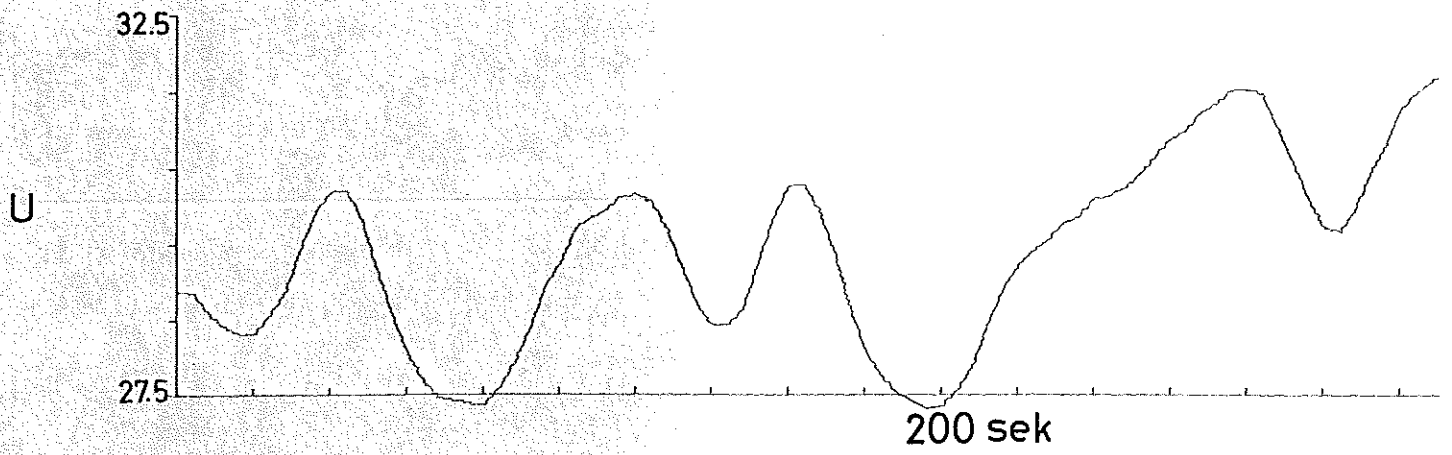
Diagram nr	Försökstyp	Ordningstal	b_0
17	min.	1	utan
18	"	1	med
19	"	2	utan
20	"	2	med
21	medel	1	utan
22	"	1	med
23	"	2	utan
24	"	2	med
25	max.	1	utan
26	"	1	med
27	"	2	utan
28	"	2	med

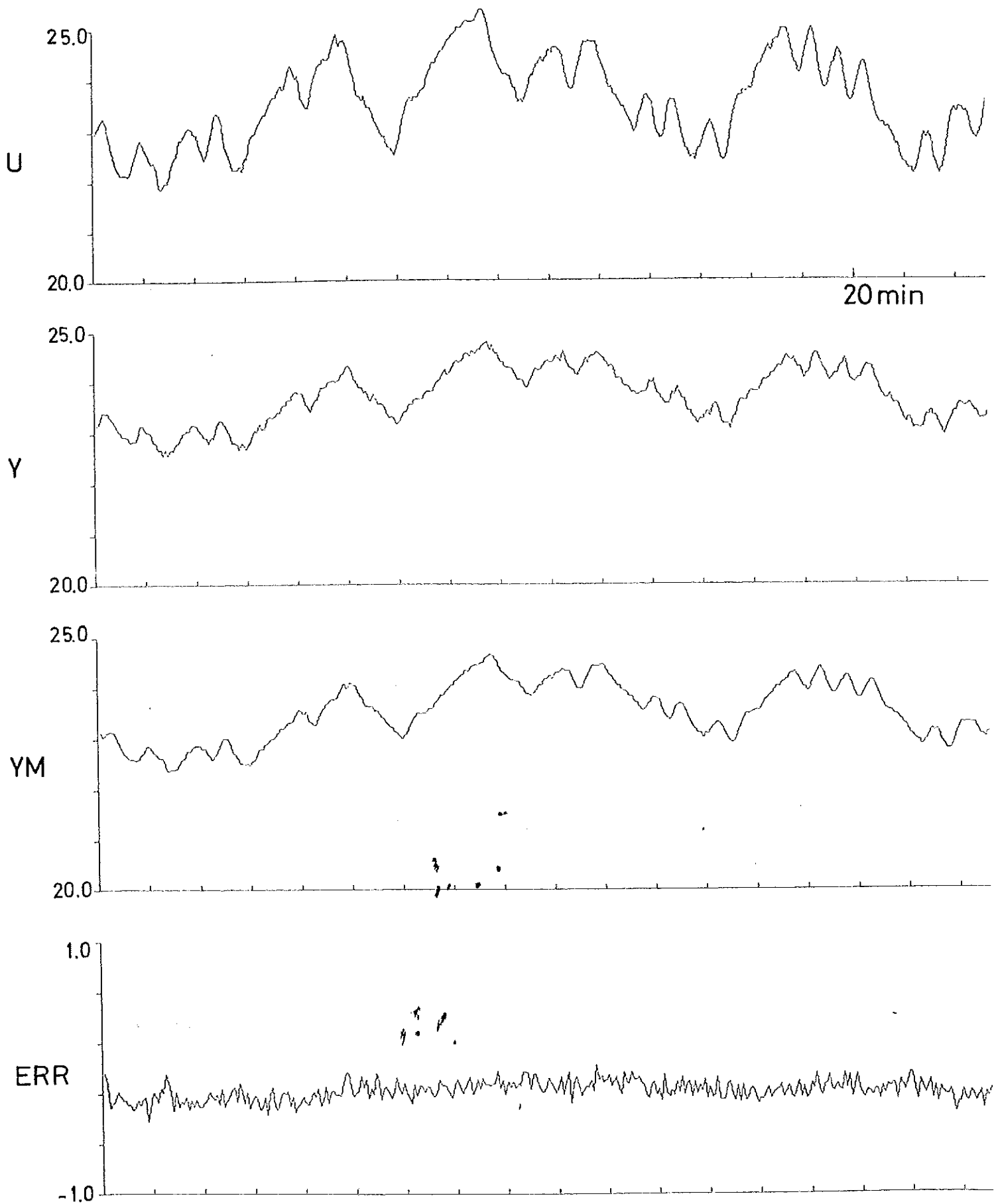
LUF78 208475 05 MAY 71 17 08:17

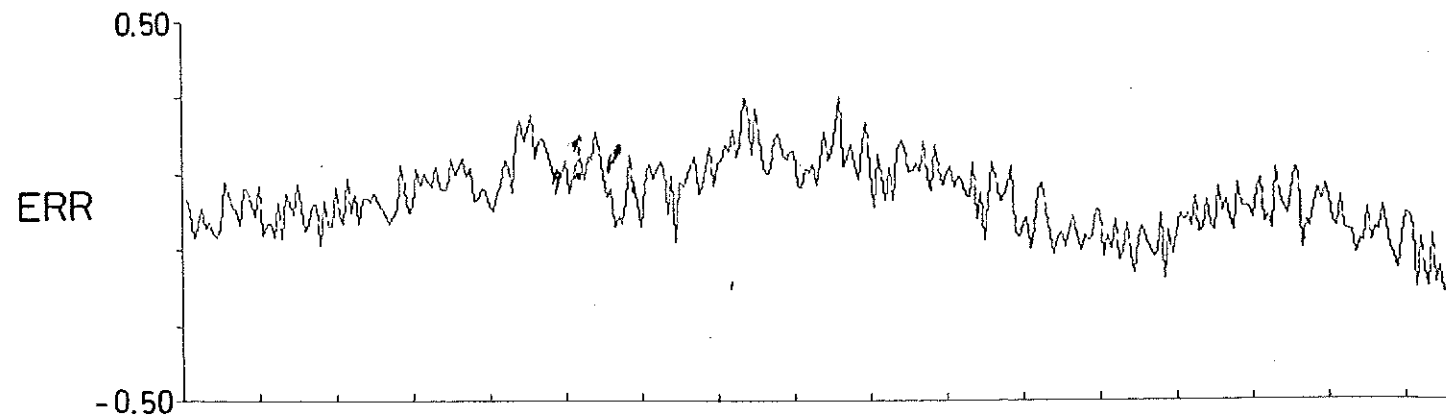
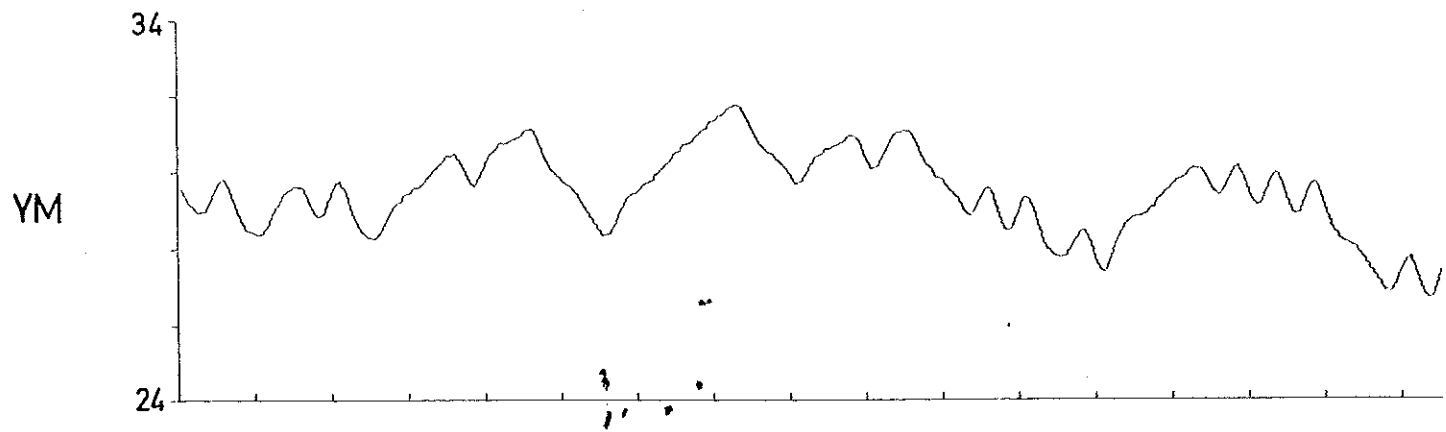
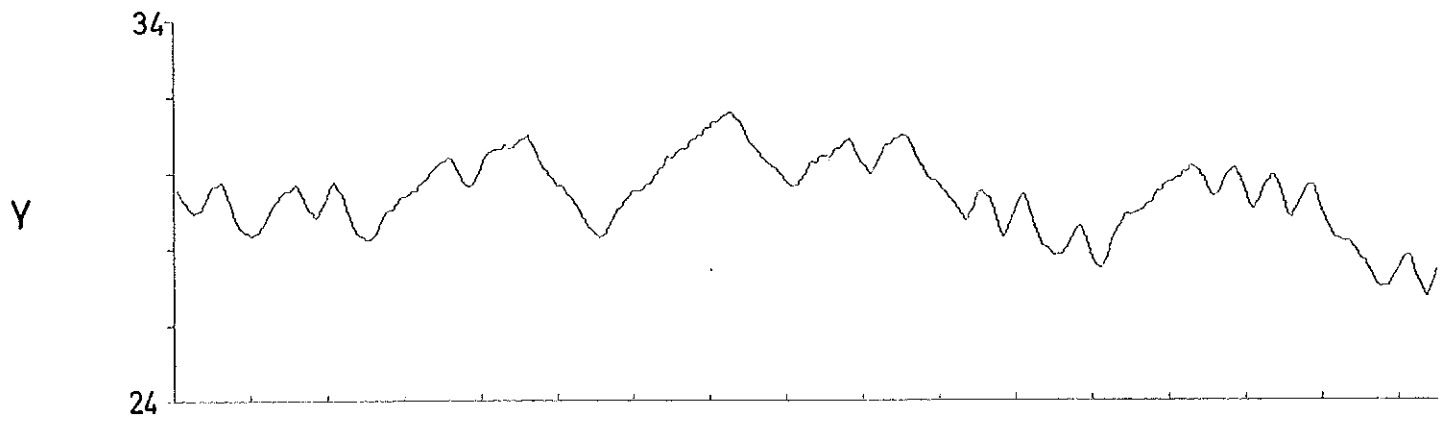
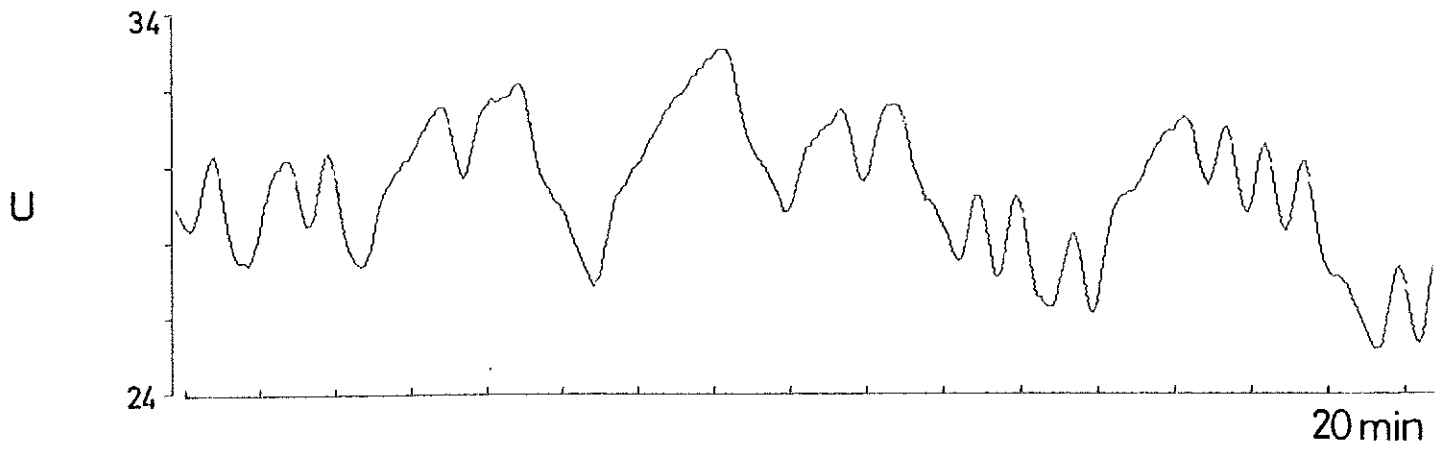


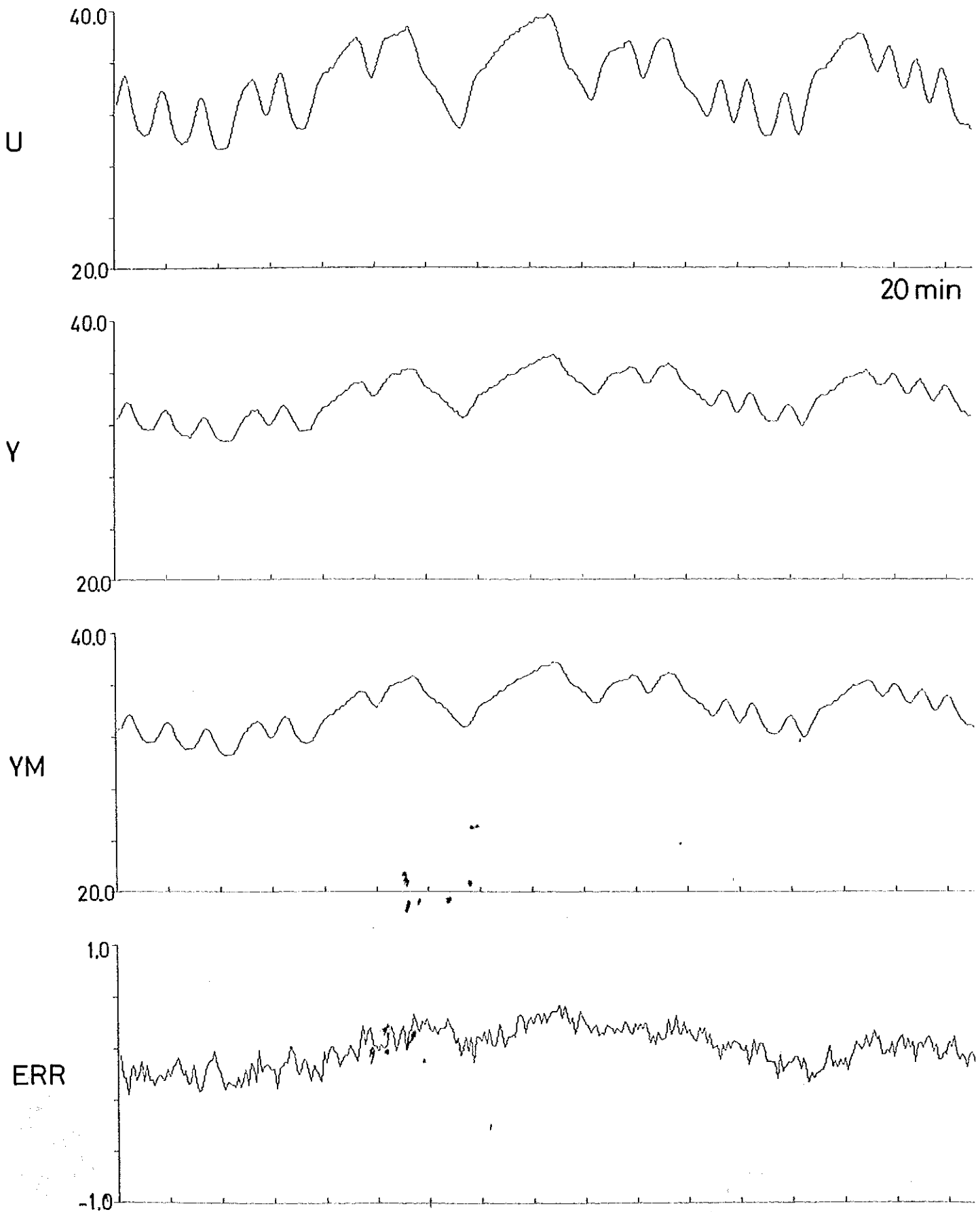




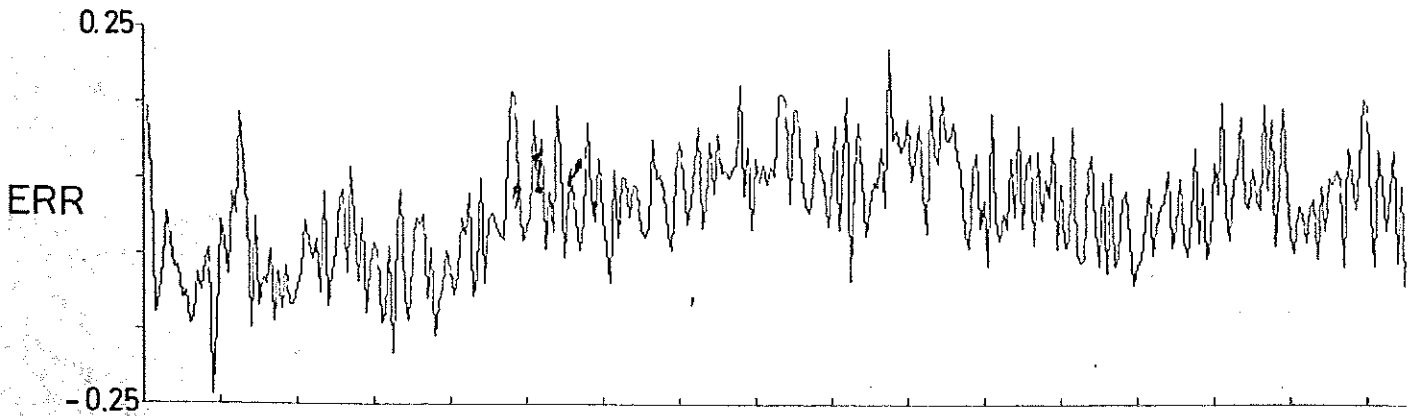
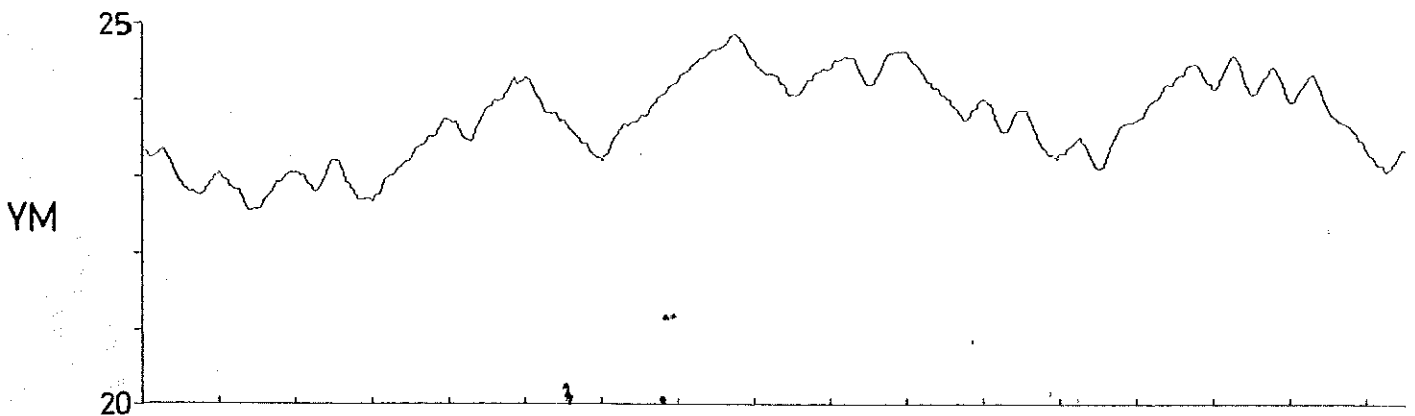
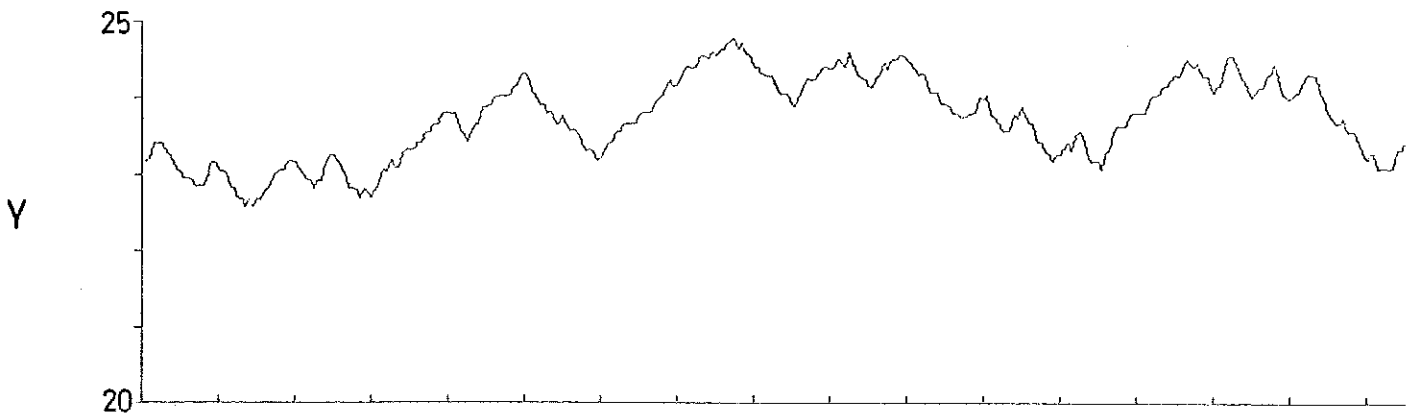
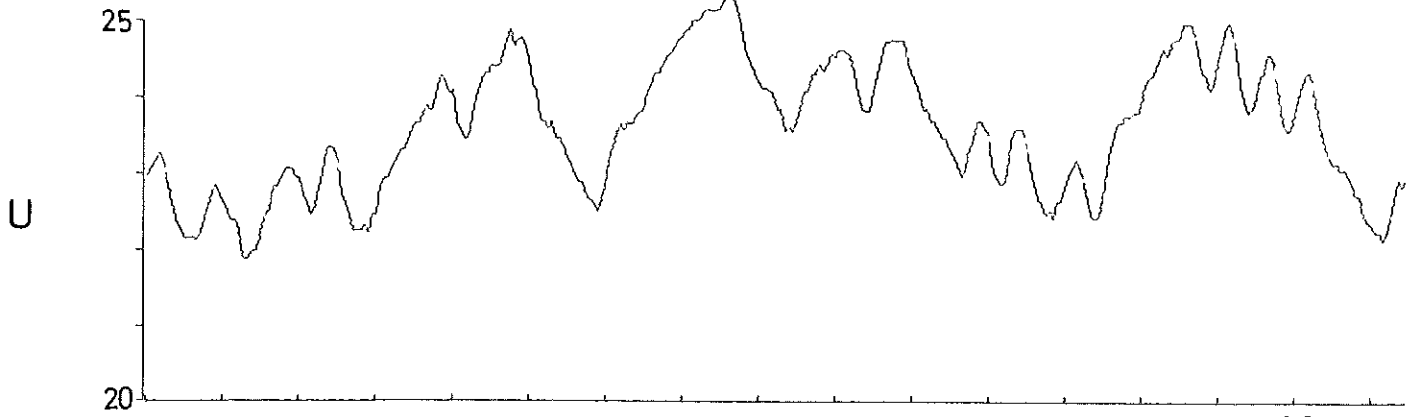






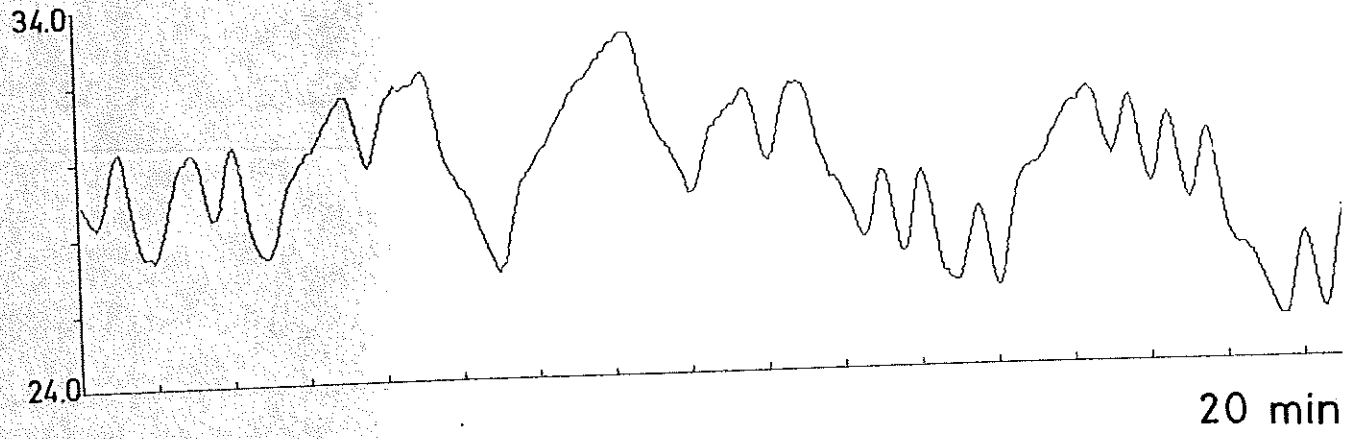


LUF 1/8 2084/5 28 MAY /1 13:43:51



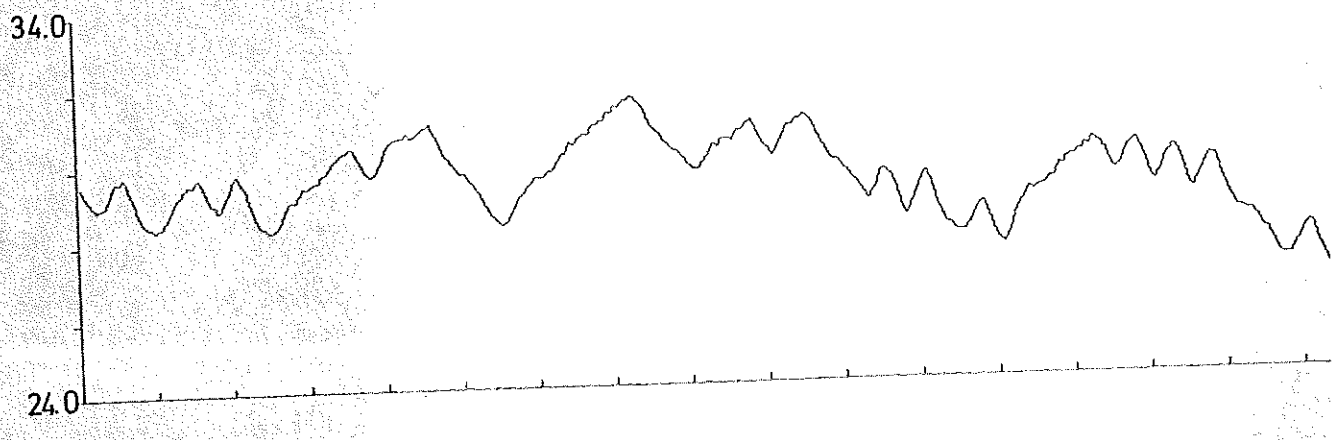
LUFT78 208475 13 MAY 71 16:40:33

U

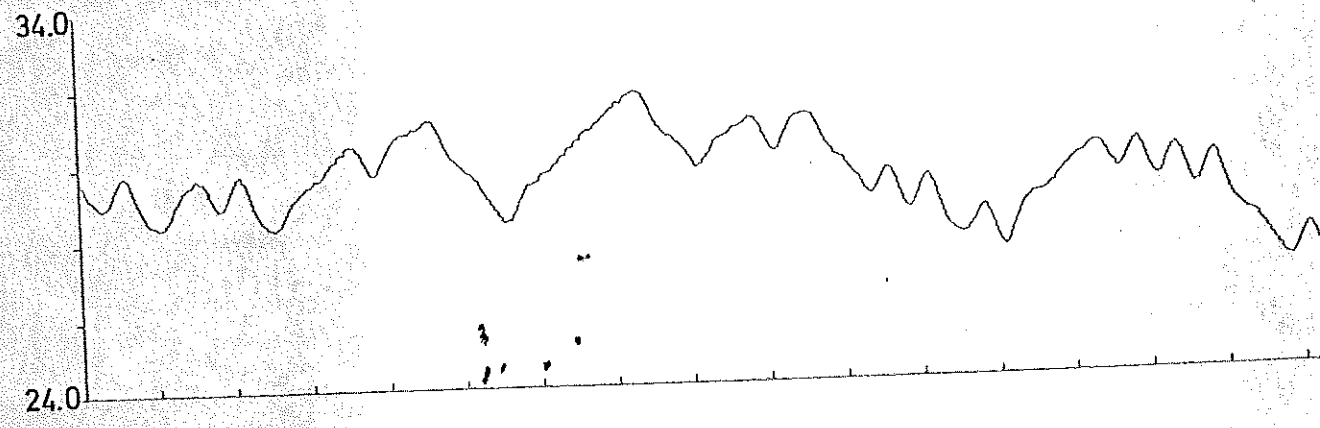


20 min

Y



YM



ERR

