

MÄTNINGAR PÅ LUFTKONDITIONERINGS-
ANLÄGGNING MED ÅTERBLANDNING.
IDENTIFIERING AV DELSYSTEM.

LARS JENSEN

MÄTNINGAR PÅ LUFTKONDITIONERINGSANLÄGGNING MED
ÅTERBLANDNING. IDENTIFIERING AV DELSYSTEM.

Lars Jensen

Examensarbete vid institutionen för reglerings-
teknik vid LTH mars 1971.

Ansvarig handledare: Karl Eklund

	<u>Sid</u>
0. Abstract	1
Sammanfattning	2
1. Inledning	3
2. Anläggningen	3
Processbeskrivning	
In- och utsignaler	
3. Teoretiska modeller	7
Tvärströmsvärmväxlare	
Gartner Harrison	
McNamara, Harrison	
Korsgaard, Nielsen, Jensen	
Kanaler	
Hemmi Profos	
4. Mätningar	20
Mätutrustning	
Mätpunkter	
Mätfel och synpunkter på temperaturmätningar	
5. Val av insignal och exp.serier	25
Försök	
Val av insignal	
Huvudförsök	
6. Överföring av data från hålremsa till magnetband	37
7. Resultat av maximum likelihood-identifiering	41
8. Referenser	46
9. Diagram	47
Appendix	74

Abstract

The dynamics of airconditioning plants are rather unknown. Available theoretical models are quite complex and not very suitable for the synthesis of a regulator. Usually we arrive to a model consisting of a set of partial differential equations. These have to be approximated by a set of ordinary differential equations to make most useful results of control theory applicable. The geometri of the models are simplified in relation to the real geometri. Heat conducting constants are rather unknown. They may be functions of temperature and flow, but are given a fixed value in the models. So the final model can be affected with severe faults. Therefore the Institution in cooperation with Billman-Regulator AB decided to carry out measurement on an airconditioning plant. The maximum likelihood method was used as an indentification method. (See ref. 6). Identification problems were caused by recirculation in the plant. A fourth order model for the water-to-air crossflow heat exchanger was derived. The remaining loops of the considered multivariable process is not treated.

Sammanfattning

Dynamiken hos luftkonditioneringsanläggningar är ganska okänd. Tillgängliga teoretiska modeller är ganska komplexa och inte särskilt lämpade för att konstruera en lämplig regulator. Vanligtvis erhålles en modell bestående av ett system partiella differentialekvationer. Dessa måste approximeras till ett system av ordinära differentialekvationer för att kunna användas vid dimensionering av reglerutrustning.

Värmeledningskonstanter är ganska okända. De kan vara funktioner av temperatur och flöde, men får ett fixt värde i modellerna. Den slutligen erhållna modellen kan vara ganska felaktig. Därför beslöt Institutionen i samarbete med Billman-Regulator AB att utföra mätningar på en luftkonditioneringsanläggning. Maximum likelihood metoden användes som identifieringsmetod. (Se ref. 6). På grund av recirkulation i anläggningen erhöles problem med identifieringen. En fjärde ordningens modell togs fram för vattentill-luft tvärströmsvärmväxlare. De övriga överföringsfunktionerna till det betraktade flervariabla systemet behandlades ej.

1. Inledning

Målsättningen var att bestämma dynamiken hos ett varmlufts batteri och eventuellt detsamma hos en luftkanal i en luftkonditioneringsanläggning. Arbetet skedde i samarbete med Billman-Regulator AB, som åtog sig att välja ut en för försök lämplig anläggning. Valet föll på en enkel anläggning utan några finesser såsom befuktare och fuktavskiljare. Vidare var det bestämt att insignalen skulle styras med PRBS-generator. Identifiering skulle ske med ML metoden (se ref 6).

Erhållna modeller från identifieringen skulle kunna bidra till att ge en uppfattning om dynamiken i en luftkonditioneringsanläggning och därmed underlätta regleringsproblemet. Det har vid flera tillfällen uppstått problem vid inkörning och normal drift av anläggningar, t ex stora periodiska temperaturvariationer med periodlängder på timmar och uppåt. Överföringsfunktioner framräknade från teoretiska modeller är först användbara för reglering efter omfattande förenklingar. Vidare är modellerna en geometrisk förenkling av de verkliga värmeväxlarna och värmeövergångstalen antages vara fixa och alltså oberoende av flöde och temperatur, vilket medför att de slutligen erhållna överföringsfunktionerna kan vara felaktiga.

2. Anläggningen

Ytterluften sugs in genom en kanal, renas i ett filter, uppvärms om så behövs av varmlufts batteriet, passerar genom fläkten och pressas vidare genom en luftkanal med ljudfällor till mottagaren, en motionshall. Se figur 2.1.

Varmlufts batteriet tillföres värme med en blandningsregleringskrets. Varmvattnet passerar en reglerventil (tvåvägs) och blandas därefter med returvatten från varmlufts batteriet till lämplig temperatur. Efter återinblandningen passerar vattnet en pump, som skall se till att konstant

flöde upprätthålles i kretsen. Därefter passerar vattnet varmlufts-batteriet och slutligen går en del till återinblandningen och en del går retur till huvudvärmväxlaren i byggnaden. Se figuren 2.1. An-läggingsdata se appendix H.

Anläggningens in- och utsignaler beskrivs enklast med figur 2.1, då en del signaler kan både vara in- och utsignaler beroende på vilket del-system som betraktas.

Verkliga insignaler

Ytterluften

Temperaturen kan naturligtvis variera speciellt vid gryning, skymning och växlande väderlek, t ex regnskurar.

Flödet kan också variera, då luftintaget är placerat i en vägg som vetter mot öster. Väggen ingår i en ljusgård som är öppen åt öster.

Flödet kan även påverkas av inre betingelser såsom den termiska lyft-kraften i luftkanalerna, då dessa ofta går uppifrån översta våningen och neråt i huset.

Utvändigt vid luftintaget finns det en mindre evakueringsfläkt som kan blåsa sin luft direkt in i luftintaget till den anläggning, som skall undersökas. Denna mindre fläkt var avstängd under försöken.

Varmvattnet

Temperatur och flöde varierar, då det finns flera olika förbrukare in-kopplade till samma rörsystem. Vidare finns det en speciell sorts vär-mereglering som innebär, att är det varmtutomhus, sänks varmvattentem-peraturen med tanke på att värmeelementen ej skall avge för mycket värme och att någon manuell reglering på värmeelementens ventiler ej skall behöva göras.

Lyfthöjden

Anläggningens egen styrda insignal är reglerventilens lyfthöjd. Ventilen styrs normalt med en nerväxlad elektrisk motor, som tar 40 sek för fullt slag (från stängd till öppen eller tvärtom).

Både in- och utsignaler

Vattnet till och från varmlufts batteriet. Flödet varierar knappast med inblandningen, vilket konstaterades vid försök med olika inblandningsförhållanden. Cirkulationspumpen i blandningskretsen är av konstant varvtalstyp, vilket möjliggör konstant flöde,

Luften efter fläkt.

Flödesvariationer se Ytterluften. Enbart fläkten kunde värma upp luften omkring $0,5^{\circ}\text{C}$.

Verkliga utsignaler

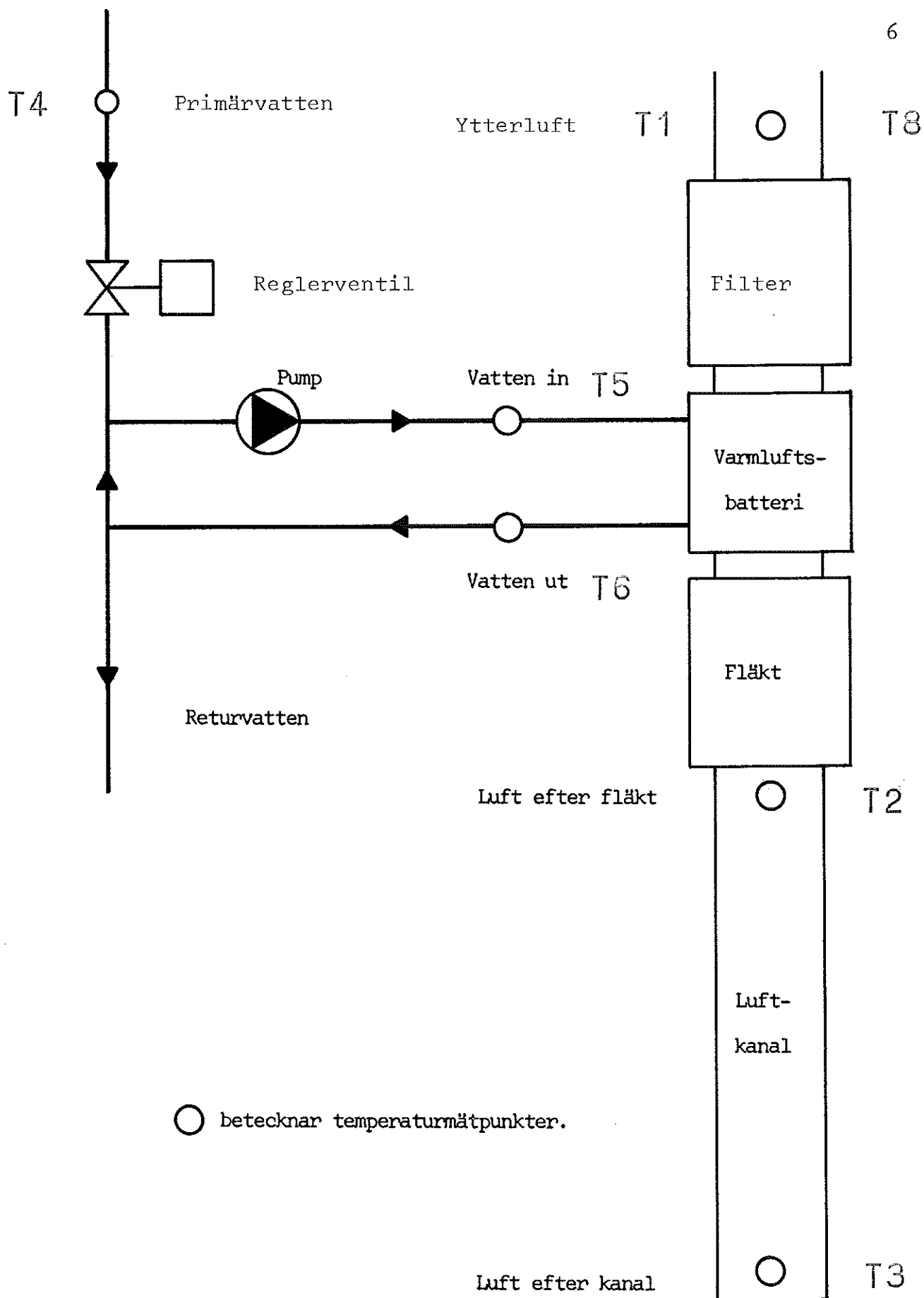
Luften efter kanal.

Flödesvariationer se Ytterluften.

I luftkanalen kan luften värmas upp eller kylas upp till omkring 1°C beroende på inverkan från omgivningen.

Returvattnet

Kan inverka på varmvattnet genom returcirkulation via byggnadens värmewäxlare om fjärrvärme eller panncentral.



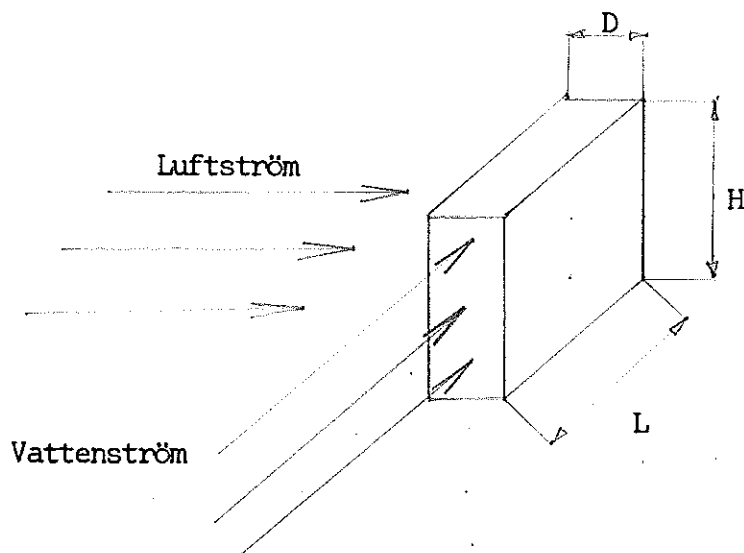
Figur nr 2.1. Anläggningen och temperaturmättnpunkter .

3. Teoretiska modeller

Tvärströmsvärmväxlare

Vagn Korsgaard, Jörgen S R Nielsen och Jens R Jensen (se ref 1) har undersökt en tvärströmsvärmväxlare praktiskt och gjort teoretiska beräkningar på densamma.

Den teoretiska modellens geometri beskrivs bäst med figur 3.1.



Figur nr 3.1. Modellens geometri.

I modellen korsar vatten- och luftflödena varandra teoretiskt. Den verkliga förebildens parametrar omräknas till modellen, så att den får statiska egenskaper, såsom

1. värmeöverföringsförmåga mellan vatten och metall
2. dito mellan metall och luft
3. vattenhastighet
4. luftström
5. värmekapacitet hos vattnet i värmväxlaren
6. värmekapacitet hos metall i värmväxlaren

Vidare gjordes följande förenklande antaganden

1. ingen värmeledning i vattnet i dess strömningsriktning
2. ingen värmeledning i rören i vattnets strömningsriktning
3. värmeövergångstalen är oberoende av strömningshastigheten och temperaturen
4. ingen strålning endast konvektion proportionell mot temperaturskillnaden
5. värmekapacitet hos luften i värmeväxlaren försummas

Med dessa antaganden kan tre värmebalanskvationer uppställas. En för varje medium, d v s en för vattnet, en för luften och en för metallen i värmeväxlaren. Den enda distribuerade geometriska parameter var längden i strömningsriktningen hos värmeväxlaren. Genom att Laplace transformera med avseende på tiden och längden erhöles följande överföringsfunktion från vattentemperatur till angivet värme till luften:

$$G(s) = K_1 \frac{1 - e^{-K_2 s} - K_3 \frac{1}{1 + K_4 s}}{s^2 K_5 + s K_6 + 1}$$

Med samma antagande erhöles Gartner och Harrison samma typ av överföringsfunktion (se ref 2).

Vid approximation av den erhållna överföringsfunktionen göres två antaganden,

- att rörens värmekapacitet är mindre eller lika med vattnets värmekapacitet eller lika med vattnets värmekapacitet och
- att totala värmeöverföringsförmågan är densamma för både vatten-metallytan som för metall-luftytan.

$$G(s) \approx K_1 \frac{(1 + K_8 s)}{(s^2 K_5 + s K_6 + 1) (1 + K_9 s)}$$

Ytterligare förenkling kan göras om värmekapaciteten hos vattnet och rören är lika.

$$G(s) \approx K_7 \frac{(1 + K_8 s)}{(1 + 0,2Ts) (1 + Ts) (1 + sK_9)}$$

och beroende på vattenhastigheten fås om $v > L/T$

$$G(s) \approx \frac{K_1}{(1 + K_8 s) (1 + 0,2Ts)}$$

om $v < 2L/T$

$$G(s) \approx \frac{K_7}{(1 + 0,2Ts) (1 + Ts)}$$

L är värmeväxlarens längd, se figur.

T är kvoten mellan värmekapaciteten hos vattnet i värmeväxlaren och det totala värmeövergångstalet K

$$K = \frac{K_{in} \cdot K_{ut}}{K_{in} + K_{ut}}$$

K_{in} värmeövergångstalet mellan vatten och rör

K_{ut} dito mellan rör och luft

$$K_8 = 2 \cdot L/\pi \cdot v$$

$$K_7 = Q_w (1 - e^{-L/x_0})$$

Q_w tillfört värme i vattnet

x_0 värmeväxlarens karakteristiska längd $x_0 = v T$

$1 - e^{-L/x_0}$ " verkningsgrad

Den exakta överföringsfunktionen uppvisar den fysikaliskt lättförklarliga egenskapen, nämligen vid högre frekvenser finns det ekvifrekventa maxima och minima. Detta beror på att vid vissa frekvenser ett udda antal halva temperaturvåglängder sammanfaller med värmeväxlarens längd, vilket medför maxima, och analogt ett jämt antal om minima. Jfr interferens och resonans.

Modellen med flödesvariation behandlas av utrymmes- och tidsbrist ej. Denna typ av reglering är också mindre vanlig.

J R Gartner och H L Harrison (se ref 3) har teoretiskt räknat fram de fyra olika överföringsfunktionerna för en tvärströmsvärmväxlare, som har två insignaler och två utsignaler. Den geometriska utformningen av modellen var endast ett rör i en tvärström av den andra fluiden. Följande antaganden gjordes:

1. De två fluidernas och rörmaterialets täthet är konstanta.
2. Detsamma gällande för specifika värmnet.
3. Värmeövergångstalen för ut- och insida på röret är konstanta.
4. Fluiden i röret har samma temperatur i hela tvärsnittet.
5. Likaså har rörmaterialet en konstant temperatur i ett givet tvärsnitt.
6. All värmeledning i axiell riktning av röret försummas.
7. Fluiden utanför röret har homogen temperatur och hastighet vid inströmningen.
8. Båda fluiderna har konstanta hastigheter vid alla tider.
9. Temperaturen hos fluiden utanför röret är i modellen medelvärdet mellan in- och uttemperaturen hos fluiderna.

Med dessa antaganden kan ställas upp tre värmebalansekvationer. En för fluiden i röret, en för röret och en för fluiden utanför röret. Ekvationer och vidare beräkningar finns i ref 3. Resultat blir schematiskt följande, där 1 betecknar fluiden i röret och 2 fluiden utanför.

$$\frac{T_{1ut}(s)}{T_{1in}(s)} = e^{-\frac{P(s)}{Q(s)}} \quad (1)$$

$$\frac{T_{2ut}(s)}{T_{lin}(s)} = \frac{K_1}{P(s)} \cdot \left[1 - e^{-\frac{P(s)}{Q(s)}} \right] \quad (2)$$

$$\frac{T_{1ut}(s)}{T_{2in}(s)} = \frac{K_2}{P(s)} \cdot \left[1 - e^{-\frac{P(s)}{Q(s)}} \right] \quad (3)$$

$$\frac{T_{2ut}}{T_{2in}} = \frac{R(s)}{Q(s)} + \frac{K_3}{Q(s) \cdot P(s)} \cdot \left[1 - \frac{Q(s)}{P(s)} \left[1 - e^{-\frac{P(s)}{Q(s)}} \right] \right] \quad (4)$$

$$P(s) = p_3 s^3 + p_2 s^2 + p_1 s + p_0$$

$$Q(s) = q_2 s^2 + q_1 s + q_0$$

$$R(s) = r_2 s^2 + r_1 s + r_0$$

K_1 K_2 K_3 är konstanter.

p_i , q_i och r_i är konstanter, som kan fås ur fysikaliska data.

Överföringsfunktionen från fluid 1 in till fluid 2 ut (ekv 2) uppvisar bl a vid höga frekvenser ekvifrekventa maxima och minima, vilket kan förklaras fysikaliskt med att ett udda antal temperaturvåglängder är lika med längden hos röret om maxima och jämt antal om minima, Jfr interfrekvens och resonans.

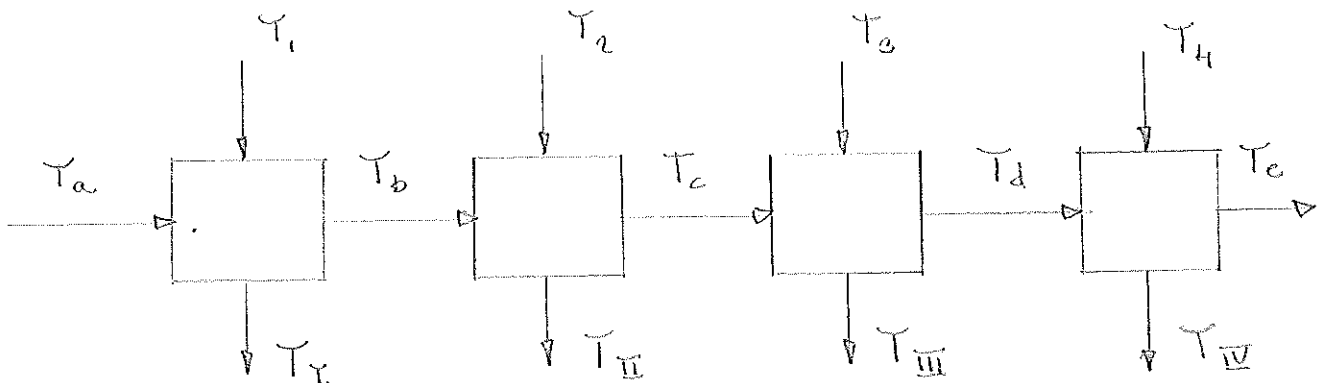
En av de föregående författarna, H L Harison, har tillsammans med R T McNamara bestämt de fyra olika överföringsfunktionerna på ett annat sätt, nämligen genom att bestämma överföringsfunktionerna för ett litet element och därefter koppla ihop dessa. (Se ref 4). Värmebalans - ekv. ställs upp för båda fluiderna och röret för ett litet element i rörets riktning. Index p betecknar primärfluidens temperaturmedelvärde i elementet, c rörets dito och s sekundärfluidens dito.

$$\dot{T}_p + K_1(T_p - T_c) - K_2(T_{pi} - T_{po}) = 0$$

$$\dot{T}_c + K_2(T_c - T_s) - K_4(T_p - T_c) = 0$$

$$\dot{T}_s - K_5(T_{si} - T_{so}) - K_6(T_c - T_s) = 0$$

Genom att eliminera de tre ointressanta medeltemperaturerna T_p , T_c och T_s kan de fyra olika överföringsekvationerna bestämmas.



Rör bestående av fyra element.

Överföringsfunktionerna $\frac{T_b}{T_a}$, $\frac{T_{II}}{T_a}$, $\frac{T_c}{T_1}$, $\frac{T_{IV}}{T_1}$ är kända och alla andra

överföringsfunktioner är identiska med dessa fyra. Överföringsfunktionen

$$\frac{T_e}{T_a} = \frac{T_e}{T_d} \cdot \frac{T_d}{T_c} \cdot \frac{T_c}{T_b} \cdot \frac{T_b}{T_a} = \left[\frac{T_b}{T_a} \right]^4$$

Den sökta överföringsfunktionen för primärfluiden från inlopp till utlopp av ett rör bestående av ett oändligt antal element blir då under förutsättning att $L = dx \cdot n$, gäller där L är rörets längd, dx elementets längd och n är antalet element.

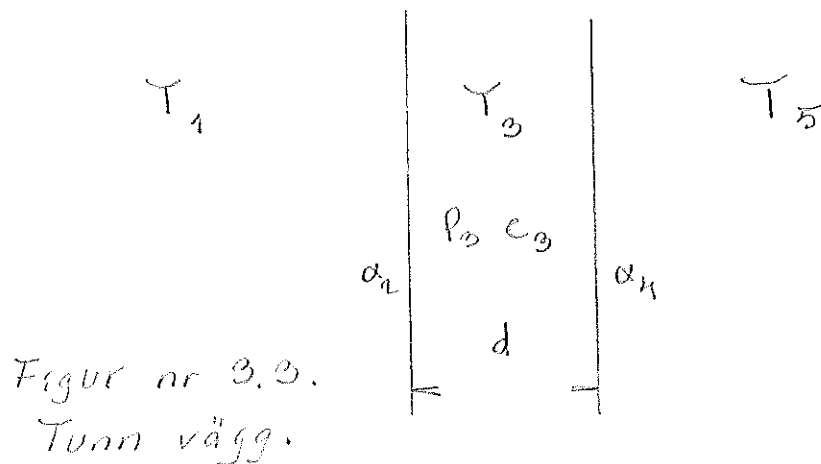
$$\frac{T_{po}}{T_{pi}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[\frac{T_b}{T_a} \right]^n$$

På liknande sätt erhålls de övriga tre överföringsfunktionerna.

Luftkanaler

Författarna P Hemmis och P Profos (se ref 5) har bestämt överföringsfunktionen för en luftkanal från lufttemperatur in till lufttemperatur ut. Genom att först beräkna överföringsfunktionen för väggar, d v s från lufttemperatur till väggtemperatur för flera olika väggtyper. Därefter bestämdes luftkanalens överföringsfunktion, i vilken en väggöverföringsfunktion ingick.

För en tunn vägg kan följande värmeblansekvation uppställas, om väggens temperatur antages vara konstant tvärsigenom. Beteckningar se figur 3.3.



$$\alpha_2(T_1 - T_3) = \alpha_4(T_3 - T_5) + \rho_3 \cdot c_3 \cdot d \frac{\partial T_3}{\partial t}$$

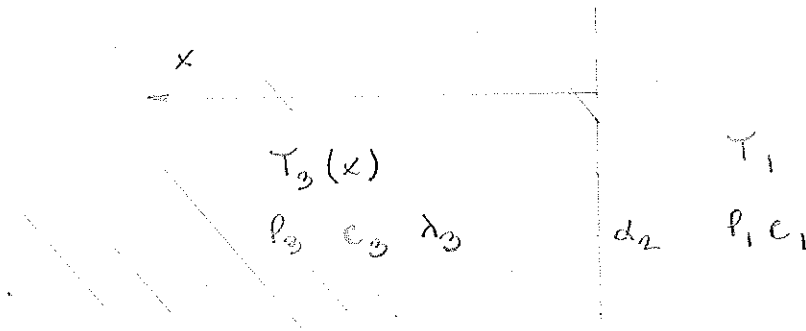
Låt T_5 vara konstant, då fås överföringsfunktionen från T_1 till T_3 till

$$G(s) = \frac{K}{1 + sT} \quad K = \frac{\alpha_2}{\alpha_2 + \alpha_4} \quad T = \frac{\rho_3 c_3 d}{\alpha_2 + \alpha_4}$$

Om den tunna väggen är idealt isolerad, d v s $\alpha_4 = 0$ fås $K = 1$

För en oändligt tjock vägg gäller följande värmeblansekvation, som även är ett randvillkor:

$$\alpha_2(T_1 - T_3(0)) = -\lambda \cdot \frac{\partial T_3(0)}{\partial x}$$



Figur nr 3.4. Oändligt tjock vägg.

Vidare måste $T_3(x)$ uppfylla värmeledningsekvationen $\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$

och randvillkoret $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\partial T}{\partial x} = 0$

Överföringsfunktionen från lufttemperatur till väggytttemperatur blir

$$G(s) = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_3}{\alpha_2} \sqrt{s/a}} = \frac{1}{1 + \sqrt{2T_w s}}$$

$$T_w = \frac{\rho_3 c_3 \lambda_3}{2 \cdot \alpha_2}$$

Kriterien för den tunna väggen fås genom att kräva att den approximativa lösningen högst får avvika 1% från den korrekta lösningen vid en viss frekvens, som blir den högsta tillåtna,

Gränsväggjtjocklekskravet (frekvensberoende)

$$d \leq 0,45 \cdot \sqrt{a/\omega}$$

För den tjocka väggen kräver man att temperatursvängningarna på baksidan skall ha minskat till 1% av ingångsamplituden.

$$e^{-x \sqrt{\omega/2a}} = 0,01$$

$$x = d \cdot 6,5 \sqrt{a/\omega}$$

Vägg tjockleken som faller mellan dessa två tjockleksgränser, måste behandlas speciellt, vilket ^{inte} göres här utan det visar sig att de i luftkanaler ingående väggarna antingen kan hänskjutas till kategorin tunna eller oändligt tjocka väggar.

Överföringsfunktionen från lufttemperatur till väggtemperatur för en tunn vägg med oändlig isolering, kan erhållas genom att kombinera ihop en tunn vägg och en oändligt tjock vägg. Resultat blir följande:

$$G(s) = \frac{1}{1 + T_R s + \sqrt{+2T_W s}}$$

$$T_R = \frac{d_1 c_1 \rho_1}{\alpha} \quad T_W = \frac{\lambda_2 c_2 \rho_2}{2\alpha_1}$$

Index 1 för den tunna väggen och 2 för den oändligt tjocka.

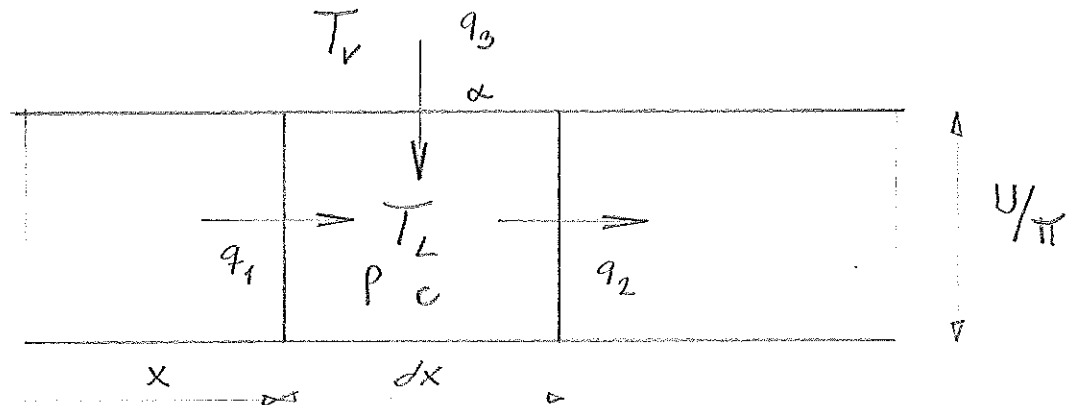
Vidare framgår det att vid höga frekvenser kommer väggen att motsvara en tunn vägg och tvärtom vid låga frekvenser.

$$\text{stora } \omega \quad G(s) \approx \frac{1}{1 + T_R s}$$

$$\text{små } \omega \quad G(s) \approx \frac{1}{1 + \sqrt{2 T_W s}}$$

Överföringsfunktionen för en luftkanal (lufttemperatur in mot dito ut) kan bestämmas om följande antaganden görs:

1. Konstant luftström
2. Konstanta materialkonstanter
3. Friktionsfri strömning
4. Konstant temperatur i kanalvärsnittet
5. Ingen axiell värmeledning i luftströmmen eller i kanalväggarna.



$$q_1 - q_2 = \frac{\delta T}{\delta x} \cdot W \cdot H \cdot dx \cdot \rho \cdot c$$

$$q_3 = \alpha \cdot U \cdot dx [T_v - T_L]$$

$$\frac{\delta T}{\delta x} \cdot H \cdot dx \cdot \rho \cdot c = q_1 - q_2 + q_3$$

Genom att ställa upp en värmebalansekvation för ett axiellt element i luftkanalen fås följande ekvation, där T_L är lufttemperatur och T_v är väggtemperatur.

$$\frac{\partial T_L}{\partial t} + K_1 \frac{\partial T_L}{\partial x} + K_2(T_L - T_v) = 0$$

$$K_1 = w$$

$$K_2 = \frac{U \alpha}{\rho \cdot c \cdot A}$$

- w strömningshastighet
- ρ luftens täthet
- c luftens specifika värme
- α värmeövergångstal
- U kanalomkrets
- A kanaltvärsnitt

Efter laplacetransformering med avseende på tiden fås, om $T_v(s) =$

$= T_L(s) \cdot G_v(s)$ också insättes

$$s \cdot T_L(s) + K \frac{\partial T_L(s)}{\partial x} + K_2 T_L(1 - G_v(s)) = 0$$

Göres ansatsen $T_L(s) = e^{rx}$ fås den sökta överföringsfunktionen efter en del räkningar som:

$$\frac{T_L(s, x = L)}{T_L(s, x = 0)} = e^{-s \cdot T_t} \cdot e^{-K(1 - G_v(s))}$$

$$T_t = L/w \quad \text{transporttiden}$$

Med de tidigare uträknade överföringsfunktionerna mellan lufttemperatur och ytväggtemperatur, kan lätt överföringsfunktioner för olika kanal-typer erhållas.

Dimensionerna hos förekommande luftkanaler i plåt är sådana att plåtväggarna kan behandlas, som tunna väggar. Största tjocklek för noggrann

behandling som tunn vägg är 8 mm upptill $\omega = 0,1$ rad/sek och
20 mm upptill $\omega = 0,01$ rad/sek, vilket är mer än tillräckligt,

4. Mätning

Mätutrustning

Temperaturer skulle uppmätas med termoelement och som registrerande instrument skulle en slingoscillograf eller en datalogger användas. Då slingoscillografen skulle medföra minst 50 timmars konverteringsarbete för ett enda försök, var en datalogger avsevärt bättre, då en hållremsstans kunde kopplas till dataloggern och något manuellt konverteringsarbete skulle ej behöva göras.

Mätpunkter

Lufttemperaturmätpunkter

Tre lufttemperaturer skulle mätas:

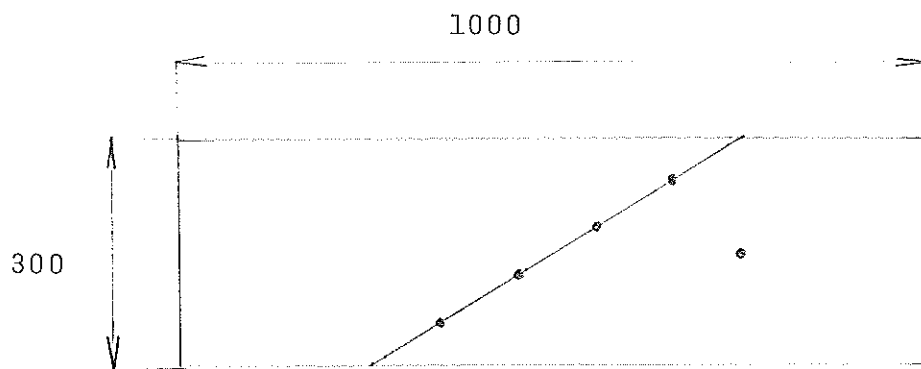
- Punkt 1 före varmlufts batteri
- " 2 efter varmlufts batteri
- " 3 efter luftkanal

I samtliga fall var strömningstvårsnitten stora och medeltemperaturen borde uppmätas. Man kunde vänta sig inhomogenitet i lufttemperatur i punkterna 2 och 3. Mätningar på platsen gav vid handen att lufttemperaturen varierade $0,8^{\circ}\text{C}$ i punkt 2 tvärsöver diametern hos kanalen. Inga mätbara temperaturvariationer kunde påvisas i punkt 3. Genom att parallellkoppla flera termoelement kunde medeltemperaturen mätas. Seriekoppling ej lämplig av två skäl, dels att t ex fem termoelement vid 50°C ger en större än mätinstrumentet (10 mV) kunde mäta, dels svårigheter att skaffa en lämplig temperaturreferens till de kalla lödställena.

På grund av värmestrålning från varmlufts batteriet kunde termoelement ej placeras intill detsamma, utan fick placeras en bit ifrån. Temperaturen före uppmättes i insugningskanalen före ett luftfilter och efter i början av kanalen efter fläkten. Strålning från luftkanalernas väggar, se appendix D.

Då det var möjligt att ha med ytterligare mätpunkter, placerades ett långsamt termoelement intill punkt 1. Ungefärlig placering av termoelementen se figur 4.2.

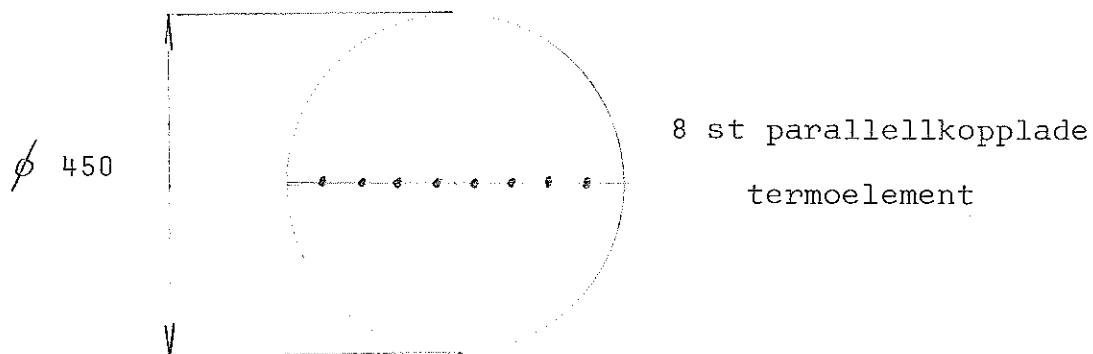
Punkt nr 1



1 st trögt termoelement

4 st parallell kopplade termoelement

Punkt nr 2 och nr 3



8 st parallellkopplade
termoelement

Figur nr 4.2 Placering av termoelement i luftkanaler.
Mått i mm.

Vattentemperaturmätpunkter

Tre vattentemperaturer skulle mätas:

Punkt 4 primärvatten

Punkt 5 vatten in till varmlufts batteri

Punkt 6 vatten ut ur varmlufts batteri

Mätpunkterna 5 och 6 borde helst vara placerade vid in- och utloppen till varmlufts batteriet. Detta var ej möjligt utan att göra omfattande ingrepp på den befintliga anläggningen. Däremot kunde termoelement lätt inkopplas i rören en bit ifrån in- och utloppen. Mät punkt 4 blev på utsidan på det aktuella röret.

Ventilläget

Endast två lägen hos ventilen skulle användas ett min.-läge och ett max.-läge, då PRBS-generatorn skulle styra ventilen. Om ventilens inställningstid var betydligt kortare än samplingsintervallet, kunde man nöja sig med att sampla den styrande signalen vid en lämplig tidpunkt i samplings svepet, då detta gick synkront med PRBS. Det visade sig möjligt att göra på detta sätt, då inställningstiden blev 1 sek och samplingsintervallet blev 4 sek. Samplings svepet över de 8 mätkanalerna tog 2 sek och vertikalläget samplades efter 1,5 sek.

Mätfel och synpunkter på temperaturmätning med termoelement

För att minska termoelementens inverkan på mätningarna måste dess tidskonstanter vara så små som möjligt. Tidskonstanten bestämdes vara direkt proportionell mot diametern hos termoelementtråden. Beräkningar se appendix A.

I luft användes termoelementtråd med diametern 0,2 mm, vilket medför en beräknad tidskonstant på 17 sek om värmeövergångstalet är $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{grad}^{-1}$ eller 1,7 sek om $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{grad}^{-1}$. Värmeövergångstalet

för påtvingad konvektion i luft ligger mellan $10 - 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{grad}^{-1}$.

I vatten användes grövre termoelement med en diameter på 1,38 mm, då värmeövergångstalet för påtvingad konvektion i vatten är 50 ggr större än i luft, d v s $500 - 5000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{grad}^{-1}$. Alltså med samma termoelement i vatten som i luft är det i vatten 50 ggr snabbare än det i luft.

Tidskonstanten beräknades till 2,4 sek med värmeövergångstalet $500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{grad}^{-1}$ eller 0,24 sek vid $5000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{grad}^{-1}$. Det klena termoelementet hade ej kunnat monteras på samma enkla sätt som det grova och hade kanske ej tålt vattenströmmen.

Ett alternativ till temperaturmätning på vatten var att mäta på rörens utsida, vilket gjordes i mätpunkt 4 och på försök i mätpunkt 5 och 6. Den utanpå rören uppmätta temperaturen skilde sig från den inuti rören uppmätta med 1°C . Skillnaden kan ej förklaras med temperaturskillnad inuti rörväggen, då rörets värmeledningsförmåga är mycket god, utan förklaringen torde vara att det skedde värmeledning genom kabeln till lödstället från omgivningen, vilket kunde bemästras genom att avisolera en tillräckligt lång bit av kabeln så att luften i rörväggen eller vattnet kunde kyla ner eller värma upp den avisolerade delen av kabeln, så att termoelementet, lödstället, ej påverkades av omgivningens temperatur. Beräkningar se appendix C.

Termoelementkabeln var egentligen en kompensationsledning, som normalt används mellan "riktig" termoelementkabel och mätinstrument för att spara på dyr "riktig" termoelementkabel. Kompensationsledningen, som var av tysk tillverkning och av koppar och konstantan, uppfyller DIN-normen, vilket ställde till med problem då mätinstrumentet var avsett för amerikanska termoelement, typ T, uppfyllande ISO-normen. Detta problem löstes genom att koppla ihop tyska och amerikanska termoelementkablar utanför mätinstrumentet och hålla temperaturen fix i ihopkopplingspunkterna. Detta kunde ej ha skett vid inkopplingen till mätinstrumentet, då de tyska kabellarna var alltför grova för att kunna kopplas in i en specialstickkontakt, avsedd för mätinstrumentet. Vidare hade temperaturen hos ihopkopplingspunkterna, som då suttit i mätinstrumentet, varit okänd och kanske varierat mer.

De amerikanska termoelementkablarna drogs ifrån ihopkopplingspunkterna till mätinstrumentet och kopplades in på normalt sätt. Rumstemperaturen var ganska konstant som regel 24 - 26 grader. En temperaturvariation på 5 grader i ihopkopplingspunkten medför endast en ändring i emk på $2 \mu\text{V}$ motsvarande 0,05 grader. Alltså ihopkopplingspunkternas inverkan är försumbar i jämförelse med mätinstrumentets fel är $4 \mu\text{V}$ eller 0,1 grad. En egen kalibreringskurva fick beräknas. Kurvan sammanföll med den amerikanska normen fast vid ihopkopplingspunktens temperatur, och dess form var den tyska normens.

5. Val av insignal och experimentserier

Försök

Med tolvpunktsknivare kunde anläggningens normala arbetssätt studeras, vilket gjordes under två dygn för att få begrepp om störningar och variationer hos ytterluftens och primärvattnets temperatur, som de förekommer.

Med ventillyfthöjden som insignal gjordes stegsvarsförsök för att få en approximativ uppfattning om tidskonstanter till de olika överföringsfunktionerna, varvid det konstaterades att tidskonstanterna var beroende av återinblandningen. Se appendix E. Ytterluften och primärvattnet kunde knappast användas som insignaler, utan deras variationer betraktades mera som störningar på systemet.

Även försök med PRBS-sekvenser gjordes för att se vilken signalsamplitud, som krävdes för att erhålla för identifieringen tillräckligt stora ut signaler, som endast till en liten del utgjordes av störningar och mät fel, om PRBS skulle användas. Detta måste också ställas i motsats till att systemet är olinjärt, vilket medför att alltför stora amplituder medför identifieringsproblem.

Val av insignal

Av information från Billman-Regulator AB, från litteratur och från egna förförsök bestämdes det att PRBS-sekvensen och samplingen skulle avpassas så, att tidskonstanter från 10 sek upp till 10 min skulle kunna identifieras.

Följande krav måste då uppfyllas av PRBS-sekvensen, där T är PRBS-sekvensens grundperiod och NT är dess totala periodlängd.

$$\begin{aligned} T &= 0,5 && \text{minsta tidskonstanten} \\ NT &= 5 && \text{största tidskonstanten} \end{aligned}$$

Om sampling sker mer än en gång per grundperiod, kan grundperioden T

ökas. Kravet blir då att samplingsperioden är lika eller mindre än med halva minsta tidskonstanten. Vidare borde en mätserie omfatta minst en hel PRBS-period (NT).

Följande begränsningar fanns, dels att endast ett visst antal samplings kunde göras, beroende på hållremsornas begränsade längd, dels att PRBS-generatorn endast kunde generera grundperioderna på 1, 2, 10, 20, 60, 120, 600 och 1200 sek längd, dels att ett samplingsvep tog omkring 2 sek och ny sampling kunde då först ske 2 sek senare och dels att samplingen måste helst ske ett helt antal gånger per grundperiod.

Det gick ej att uppfylla alla kraven utan vissa kompromisser fick göras och PRBS-sekvensen blev följande:

$$\begin{aligned} T &= 20 \text{ sek} \\ N &= 127 \quad (n = 7) \\ T_{\text{samp}} &= 4 \text{ sek} \end{aligned}$$

PRBS-sekvensens diskreta spektraltäthet, se figur 5.1. och tabell 5.1..
Tabell över de enskilda frekvenserna, se appendix I.

Genom att sampla var 4:e sekund ansågs kravet om den minsta tidskonstanten uppfyllt. Däremot uppfylldes kravet på den längsta tidskonstanten ej helt, då $N \cdot T/5 \approx 8$ min. Vidare omfattade en mätserie en och en halv PRBS-sekvens. Alltså mer än tillräckligt.

Huvudförsök

Tre mätserier med PRBS-sekvenser med olika amplitud på signalen (9%, 23% och 50% inblandning) och motsvarande stegsvar gjordes. Beräkning av återinblandning se appendix F. Dessa PRBS-sekvenser föregicks ej av ett medelläge på signalen utan anläggningen hade styrts ut till min.-läget, då det var svårt att bestämma medelläget, då anläggningen var olinjär. Följaktligen kom dessa PRBS-sekvenser, prov nr 4-6, att innehålla ett insvängningsförlopp i början, vilket framgår av prov nr 5 i diagram nr 10. Senare vid ett annat försökstillfälle gjordes motsvarande tre PRBS-sekvenser, prov nr 1-3, men föregångna av ett rektangelpulståg med en period på

20 sek, så att insvängningen hade ägt rum, vilket framgår av prov nr 2 i diagram nr 4. Diagram av stegsvar se diagram 14. med samma amplitud som i prov nr 5.

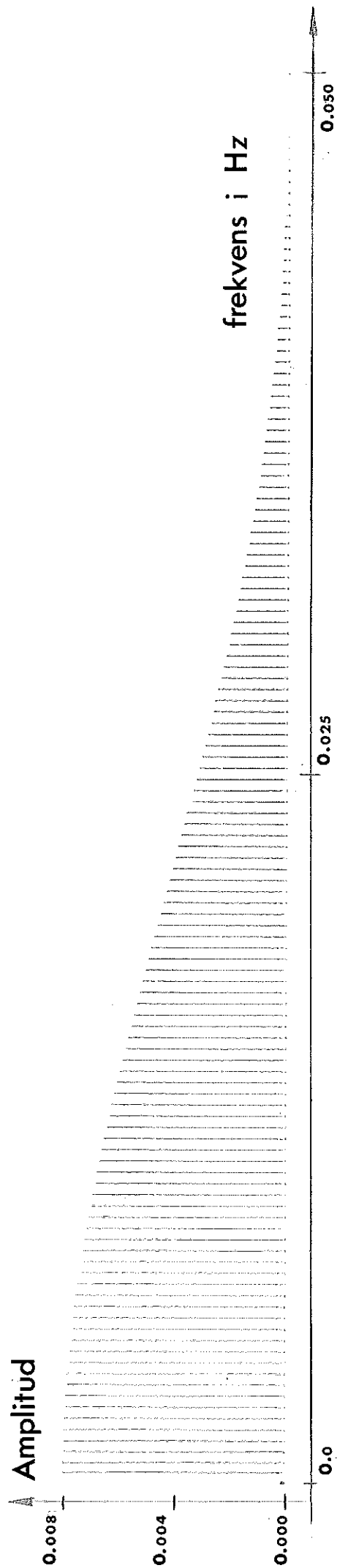
Försöken gjordes den 22.-23.5.1970 kl 17-02 och den 25.5.1970 kl 17-22. Vädret var idealiskt vid försökstillfällena med gråmulet och svag sydlig vind.

Med programmet CONV framräknades största och minsta mätvärdet för varje mätsignal och för varje prov. Se tabell nr 5.2. Vidare bestämdes totala medelvärdet, medelvärdet för 8 min perioder av PRBS-sekvensen och differenser mellan i min medelvärdena och det totala medelvärdet för varje mätsignal och för varje prov. Se tabell nr 5.3 - 5.8. Detta gjordes för att få en uppfattning om det förekom drift i insignaler och utsignaler under försöken, vilket även kan ses i diagrammen.

Mätkanalbeteckningar

Kanal nr

1	Lufttemperatur före värmebatteri
2	" efter värmebatteri
3	" " luftkanal
4	Vattentemperatur primär
5	" före värmebatteri
6	" efter värmebatteri
7	PRBS ventilläget
8	Lufttemperatur före värmebatteri, långsamma termoelementet



Figur nr 5.1 Spektraltäthet hos använd PRBS.

Tabell nr 5.1

TABELL OVER SPEKTRALTATHET HOS PRBS

PRØS MED	NR =	N = 2	N = 3	N = 4	N = 5	N = 6	N = 7	N = 8	N = 9	N = 10
FREKVENSGRUPP	1	.87101997	.88895697	.89634551	.89968851	.90128063	.90205772	.90244143	.90263156	.90272523
FREKVENSGRUPP	2	.06231253	.05383283	.05025645	.04863584	.04786387	.04748698	.04730074	.04720814	.04716192
FREKVENSGRUPP	3	.02190554	.01882268	.01756911	.01700242	.01673254	.01660078	.01653567	.01650330	.01648714
FREKVENSGRUPP	4	.01110346	.00952881	.00889387	.00860698	.00847036	.00840367	.00837071	.00835432	.00834614
FREKVENSGRUPP	5	.00669887	.00574604	.00536308	.00519008	.00510770	.00506748	.00504761	.00503772	.00503279
FREKVENSGRUPP	6	.00447827	.00384036	.00358438	.00346876	.00341370	.00338682	.00337354	.00336693	.00336364
FREKVENSGRUPP	7	.00320383	.00274708	.00256396	.00248125	.00244187	.00242264	.00241314	.00240842	.00240606
FREKVENSGRUPP	8	.00240525	.00206217	.00192470	.00186262	.00183305	.00181862	.00181149	.00180794	.00180617
FREKVENSGRUPP	9	.00187198	.00160488	.00149789	.00144957	.00142657	.00141533	.00140978	.00140702	.00140564
FREKVENSGRUPP	10	.00149828	.00128444	.00119882	.00116015	.00114173	.00113274	.00112830	.00112609	.00112499
SUMMA FRAN 1	TILL 10	.98649794	.98842622	.98919775	.98954615	.98971198	.98979275	.98983237	.98985142	.98985969

Frekvensgrupp nr 1 omfatter frekvenser från

0-1/T Hz , grupp nr 2 1/T-2/T Hz osv.. T är

PRBSs grundperiod .

Tabell nr 5.2

PROV	NR	MATVARDEN											
		2		3		4		5		6			
		MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
KANAL NR	1	17.72	16.22	16.65	15.10	15.65	14.12	18.65	10.37	10.00	9.47	9.67	9.12
KANAL NR	2	25.34	20.37	33.00	21.68	39.50	23.80	20.98	12.85	29.39	11.37	42.14	11.12
KANAL NR	3	24.78	21.34	31.55	23.78	37.26	26.83	20.39	13.50	27.46	12.10	38.66	11.90
KANAL NR	4	96.00	92.56	92.09	81.89	81.02	77.25	89.00	72.64	96.44	86.07	96.67	87.24
KANAL NR	5	34.17	21.85	51.49	24.98	65.49	29.27	31.81	11.82	51.28	10.00	77.73	9.62
KANAL NR	6	29.76	20.85	42.50	23.51	53.00	26.90	26.44	11.75	40.60	9.82	60.70	9.60
KANAL NR	7	83.53	30.21	63.18	30.33	83.69	31.29	82.56	28.68	82.96	29.41	84.29	30.36
KANAL NR	8	20.39	15.57	19.32	15.12	18.37	14.65	13.65	9.00	12.72	8.47	12.75	9.00

Tabell nr 5.3

MEDELTEMPERATUR PROV NR 1

KANAL	NR 1	NR 2	NR 3	NR 4	NR 5	NR 6	NR 7	NR 8
TIDSPERIOD NR 1	17.22	23.29	23.46	96.42	28.56	25.85	56.88	19.70
TIDSPERIOD NR 2	17.37	24.15	24.27	96.29	30.40	27.27	61.26	19.65
TIDSPERIOD NR 3	17.42	23.66	23.90	95.89	29.44	26.37	61.28	19.82
TIDSPERIOD NR 4	17.30	23.76	23.95	95.69	29.22	26.66	55.23	18.92
TIDSPERIOD NR 5	17.22	23.24	23.49	95.36	28.73	25.85	58.14	17.30
TIDSPERIOD NR 6	17.02	21.85	22.24	94.78	25.98	23.61	53.93	17.05
TIDSPERIOD NR 7	16.87	23.83	23.76	94.64	30.40	27.17	62.70	17.35
TIDSPERIOD NR 8	16.67	23.12	23.46	93.96	28.73	25.98	57.37	17.60
MEDELVARDE TOTALT	17.14	23.36	23.57	95.38	28.93	26.09	58.35	18.42

DIFFERANSTABELL PROV NR 1

KANAL	NR 1	NR 2	NR 3	NR 4	NR 5	NR 6	NR 7	NR 8
TIDSPERIOD NR 1	.08	-.07	-.10	1.04	-.37	-.24	-1.47	1.28
TIDSPERIOD NR 2	.23	.78	.70	.91	1.47	1.17	2.91	1.23
TIDSPERIOD NR 3	.28	.30	.34	.51	.51	.27	2.93	1.40
TIDSPERIOD NR 4	.16	.39	.38	.31	.29	.56	-3.12	.50
TIDSPERIOD NR 5	.08	-.12	-.08	-.02	-.20	-.24	-.21	-1.12
TIDSPERIOD NR 6	-.12	-1.51	-1.32	-.60	-2.96	-2.48	-4.42	-1.37
TIDSPERIOD NR 7	-.27	.47	.19	-.73	1.47	1.08	4.35	-1.07
TIDSPERIOD NR 8	-.47	-.24	-.10	-1.42	-.20	-.12	-.98	-.82
MEDELVARDE TOTALT	17.14	23.36	23.57	95.38	28.93	26.09	58.35	18.42

Tabell nr 5.4

MEDELTEMPERATUR PROV NR 2

KANAL	NR 1	NR 2	NR 3	NR 4	NR 5	NR 6	NR 7	NR 8
TIDSPERIOD NR 1	16.25	29.93	29.78	89.18	43.17	37.17	56.72	18.87
TIDSPERIOD NR 2	16.20	30.14	30.17	86.62	43.86	37.33	61.67	18.85
TIDSPERIOD NR 3	15.92	28.44	28.78	85.53	41.17	34.79	61.42	18.37
TIDSPERIOD NR 4	16.00	29.37	29.32	86.31	41.98	36.38	55.98	18.62
TIDSPERIOD NR 5	15.90	28.00	28.22	84.82	39.90	34.14	57.56	18.72
TIDSPERIOD NR 6	15.72	24.95	25.51	83.67	34.17	29.24	53.35	18.32
TIDSPERIOD NR 7	15.62	29.32	28.71	83.51	43.31	36.64	64.42	17.12
TIDSPERIOD NR 8	15.50	28.15	28.39	83.22	39.88	34.71	56.19	16.55
MEDELVARDE TOTALT	15.89	28.54	28.61	85.36	40.93	35.05	58.41	18.18

DIFFERANSTABELL PROV NR 2

KANAL	NR 1	NR 2	NR 3	NR 4	NR 5	NR 6	NR 7	NR 8
TIDSPERIOD NR 1	.36	1.39	1.17	3.82	2.24	2.12	-1.69	.69
TIDSPERIOD NR 2	.31	1.61	1.56	1.26	2.93	2.28	3.26	.67
TIDSPERIOD NR 3	.03	-.10	.17	.18	.24	-.27	3.01	.19
TIDSPERIOD NR 4	.11	.83	.71	.95	1.05	1.33	-2.44	.44
TIDSPERIOD NR 5	.01	-.54	-.39	-.54	-1.02	-.91	-.85	.54
TIDSPERIOD NR 6	-.17	-3.58	-3.10	-1.69	-6.76	-5.81	-5.06	.14
TIDSPERIOD NR 7	-.27	.78	.10	-1.85	2.38	1.59	6.01	-1.06
TIDSPERIOD NR 8	-.39	-.39	-.22	-2.14	-1.05	-.34	-2.23	-1.63
MEDELVARDE TOTALT	15.89	28.54	28.61	85.36	40.93	35.05	58.41	18.18

Tabell nr 5.5

MEDELTEMPERATUR PROV NR 3

KANAL	NR 1	NR 2	NR 3	NR 4	NR 5	NR 6	NR 7	NR 8
TIDSPERIOD NR 1	15.45	33.64	33.12	81.09	52.67	43.26	60.12	17.80
TIDSPERIOD NR 2	15.35	35.83	35.45	80.56	55.88	46.79	60.09	18.00
TIDSPERIOD NR 3	15.27	33.55	33.90	79.75	51.77	42.98	59.74	18.00
TIDSPERIOD NR 4	15.27	34.83	34.38	79.32	54.44	45.26	60.77	17.80
TIDSPERIOD NR 5	15.05	32.93	33.07	78.95	50.74	42.29	57.77	17.65
TIDSPERIOD NR 6	15.05	29.02	29.83	79.00	42.74	35.93	50.19	16.57
TIDSPERIOD NR 7	14.82	35.00	33.86	78.73	56.16	46.02	65.53	16.17
TIDSPERIOD NR 8	14.50	33.57	33.57	78.48	52.51	43.64	60.49	16.67
MEDELVARDE TOTALT	15.10	33.55	33.40	79.48	52.12	43.27	59.34	17.33

DIFFERANSTABELL PROV NR 3

KANAL	NR 1	NR 2	NR 3	NR 4	NR 5	NR 6	NR 7	NR 8
TIDSPERIOD NR 1	.35	.10	-.28	1.60	.56	-.01	.78	.47
TIDSPERIOD NR 2	.25	2.29	2.05	1.07	3.77	3.51	.76	.67
TIDSPERIOD NR 3	.18	-.00	.51	.27	-.35	-.29	.41	.67
TIDSPERIOD NR 4	.18	1.29	.98	-.17	2.33	1.99	1.43	.47
TIDSPERIOD NR 5	-.05	-.62	-.33	-.53	-1.37	-.99	-1.57	.32
TIDSPERIOD NR 6	-.05	-4.52	-3.57	-.48	-9.38	-7.34	-9.15	-.76
TIDSPERIOD NR 7	-.27	1.45	.46	-.76	4.05	2.75	6.20	-1.16
TIDSPERIOD NR 8	-.60	.02	.17	-1.01	.40	.37	1.15	-.66
MEDELVARDE TOTALT	15.10	33.55	33.40	79.48	52.12	43.27	59.34	17.33

Tabell nr 5.6

MEDELTEMPERATUR		PROV NR 4							
KANAL		NR 1	NR 2	NR 3	NR 4	NR 5	NR 6	NR 7	NR 8
TIDSPERIOD	NR 1	11.25	10.30	16.00	76.84	20.85	17.70	54.05	13.10
TIDSPERIOD	NR 2	11.10	18.55	18.57	80.02	25.12	21.90	60.30	12.17
TIDSPERIOD	NR 3	11.05	18.27	18.57	82.33	24.76	21.32	60.93	11.20
TIDSPERIOD	NR 4	11.05	18.75	19.05	83.89	25.20	22.24	55.26	10.17
TIDSPERIOD	NR 5	10.95	18.30	18.67	85.58	24.73	21.46	57.01	10.05
TIDSPERIOD	NR 6	10.85	16.90	17.40	88.69	22.00	19.10	53.28	10.02
TIDSPERIOD	NR 7	10.85	19.65	19.55	88.76	27.90	23.85	62.01	9.82
TIDSPERIOD	NR 8	10.72	18.95	19.40	88.80	25.90	22.66	54.44	11.70
MEDELVARUE	TOTALT	10.98	18.21	18.40	84.36	24.56	21.28	57.40	11.03

DIFFERANSTABELL

DIFFERANSTABELL		PROV NR 4							
KANAL		NR 1	NR 2	NR 3	NR 4	NR 5	NR 6	NR 7	NR 8
TIDSPERIOD	NR 1	.27	-1.91	-2.40	-7.52	-3.70	-3.58	-2.75	2.07
TIDSPERIOD	NR 2	.12	.34	.17	-4.34	.56	.62	2.90	1.14
TIDSPERIOD	NR 3	.07	.07	.17	-2.03	.20	.04	3.53	.17
TIDSPERIOD	NR 4	.07	.54	.65	-.47	.64	.96	-2.14	-.86
TIDSPERIOD	NR 5	-.03	.09	.27	1.21	.17	.18	.11	-.98
TIDSPERIOD	NR 6	-.13	-1.31	-1.00	4.33	-2.56	-2.18	-4.12	-1.01
TIDSPERIOD	NR 7	-.13	1.44	1.15	4.39	3.34	2.57	5.42	-1.21
TIDSPERIOD	NR 8	-.25	.74	1.00	4.44	1.34	1.38	-2.96	.67
MEDELVARUE	TOTALT	10.98	18.21	18.40	84.36	24.56	21.28	57.40	11.03

Tabell nr 5.7

MEDELTEMPERATUR PROV NR 5

KANAL	NR 1	NR 2	NR 3	NR 4	NR 5	NR 6	NR 7	NR 8
TIDSPERIOD NR 1	9.80	20.02	18.35	91.38	31.88	25.24	56.65	10.92
TIDSPERIOD NR 2	9.85	25.22	24.71	92.44	40.90	33.50	61.93	9.52
TIDSPERIOD NR 3	9.70	24.10	24.34	93.44	38.95	31.55	61.88	9.15
TIDSPERIOD NR 4	9.70	25.10	25.10	94.00	39.69	33.24	55.07	10.50
TIDSPERIOD NR 5	9.67	23.88	24.12	94.71	38.02	31.19	57.35	10.80
TIDSPERIOD NR 6	9.65	20.71	21.34	95.02	31.81	25.85	53.26	10.77
TIDSPERIOD NR 7	9.72	26.34	25.63	95.71	43.55	35.33	63.65	11.37
TIDSPERIOD NR 8	9.87	25.34	25.63	96.51	39.93	33.52	54.91	12.22
MEDELVARDE TOTALT	9.75	23.84	23.65	94.15	38.09	31.18	58.16	10.66

DIFFERANSTABELL PROV NR 5

KANAL	NR 1	NR 2	NR 3	NR 4	NR 5	NR 6	NR 7	NR 8
TIDSPERIOD NR 1	.05	-3.81	-5.30	-2.77	-6.21	-5.93	-1.51	.27
TIDSPERIOD NR 2	.10	1.38	1.05	-1.71	2.81	2.32	3.77	-1.13
TIDSPERIOD NR 3	-.05	.26	.69	-.71	.86	.37	3.72	-1.51
TIDSPERIOD NR 4	-.05	1.26	1.44	-.15	1.60	2.06	-2.49	-.16
TIDSPERIOD NR 5	-.07	.04	.47	.56	-.07	.01	-.81	.14
TIDSPERIOD NR 6	-.10	-3.13	-2.31	.87	-6.28	-5.33	-4.91	.12
TIDSPERIOD NR 7	-.02	2.50	1.98	1.56	5.46	4.15	5.49	.72
TIDSPERIOD NR 8	.13	1.50	1.96	2.36	1.84	2.34	-3.26	1.57
MEDELVARDE TOTALT	9.75	23.84	23.65	94.15	38.09	31.18	58.16	10.66

Tabell nr 5.8

MEDELTEMPERATUR PROV NR 6

KANAL	NR 1	NR 2	NR 3	NR 4	NR 5	NR 6	NR 7	NR 8
TIDS PERIOD NR 1	9.67	28.95	24.88	96.31	52.70	39.88	57.00	12.50
TIDS PERIOD NR 2	9.67	36.67	55.36	97.00	64.42	51.28	61.70	12.57
TIDS PERIOD NR 3	9.70	34.52	34.50	96.80	60.81	47.62	61.35	12.57
TIDS PERIOD NR 4	9.55	36.12	35.71	96.58	61.65	50.44	56.16	12.25
TIDS PERIOD NR 5	9.37	34.00	34.02	96.38	59.16	47.00	57.68	12.17
TIDS PERIOD NR 6	9.35	28.90	29.46	96.02	49.81	38.76	53.64	12.00
TIDS PERIOD NR 7	9.35	37.55	36.12	96.36	66.49	52.79	65.21	10.95
TIDS PERIOD NR 8	9.40	35.10	35.33	96.18	59.42	48.74	56.28	11.82
MEDELVARDE TOTALT	9.38	33.98	33.17	96.45	59.31	47.06	58.72	12.11

DIFFERANSTABELL PROV NR 6

KANAL	NR 1	NR 2	NR 3	NR 4	NR 5	NR 6	NR 7	NR 8
TIDS PERIOD NR 1	.29	-5.02	-8.30	-.14	-6.61	-7.18	-1.41	.39
TIDS PERIOD NR 2	.29	2.69	2.18	.55	5.11	4.22	2.98	.47
TIDS PERIOD NR 3	.32	.55	1.33	.35	1.51	.56	2.63	.47
TIDS PERIOD NR 4	.17	2.14	2.54	.13	2.34	3.38	-2.55	.14
TIDS PERIOD NR 5	-.01	.02	.65	-.07	-.14	-.06	-.63	.07
TIDS PERIOD NR 6	-.03	-5.07	-3.71	-.43	-9.50	-8.30	-4.68	-.11
TIDS PERIOD NR 7	-1.03	3.57	2.95	-.10	7.18	5.73	6.49	-1.16
TIDS PERIOD NR 8	.02	1.12	2.16	-.27	.11	1.67	-2.44	-.28
MEDELVARDE TOTALT	9.38	33.98	33.17	96.45	59.31	47.06	58.72	12.11

6. Överföring av mätdata från hålremsa till magnetband

Detta är ofta något som försummas vilket författaren fick erfara. Resultatet blev stora och onödiga förseningar. Orsakerna var flera. Några användbara hålremsrutiner fanns ej på Datacentralen i Lund, däremot hade det funnits sådana på datacentralen i Uppsala, men körningarna hade nästan upphört. Terminalen användes endast några gånger i veckan. Ett reservförfarande fick tillgripas. Hålremsor skickades tillsammans med ett mindre program till Uppsala, som skulle ge hålkort med data på given form. Beröende på felaktig magnetbandshantering uppstod det avbrott mellan olika experiment, vilket försenade arbetet mest.

Med programmet CONV lästes hålkorten in och mätdata kontrollerades så att inga felaktiga värden godtogs, som var $< 5^{\circ}\text{C}$ eller $> 100^{\circ}\text{C}$. Om ett mätvärde sakades eller var felaktigt, interpolerades detta linjärt. Om flera på varandra följande mätvärden saknades eller var felaktiga, ersattes de med det senast korrekta mätvärdet. Av omkring 46 000 mätdata fanns det följande felaktiga data:

Antal överhoppade	47
Antal felaktiga	18

Av dessa var 30 överhopp och 17 felaktiga från den först samplade signalen, vilket tyder på att störningen kommit i samband med PRBS-sekvensens skiftningar från PRBS-generatorn, den relästyrda magnetventilen eller reläet självt. Även trigg-signalen från PRBS-generatorn, som startar dataloggens samplingssvep, kan ha stört mätningarna. Helt störningsfria var alla stegsvarsförsöken, vilka innehöll endast en skiftning per försök, vilket tyder på att trigg-signalen troligen ej har stört mätningarna.

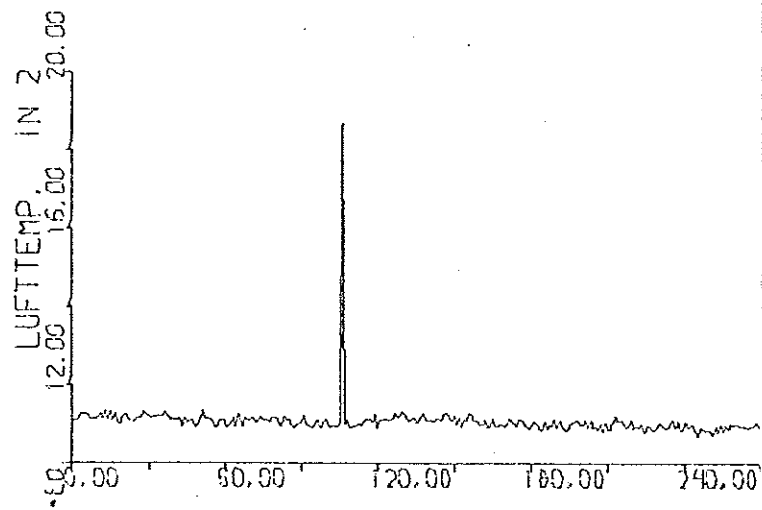
Vid plottning av mätdata observerades en del felaktiga mätdata, vilka fick rättas manuellt.

I figur 6.1 finns ett felaktigt mätvärde, som hamnat inom testgränserna. Den plottade signalen är ytterlufttemperaturen.

I figur nr 6.2 finns exempel på ett programfel, då flera på varandra följande mätvärden som saknats eller har varit felaktiga har ej ersatts med det senast korrekta mätvärdet. Observera även de sammanfallande strömningarna i lufttemperaturen in 1.

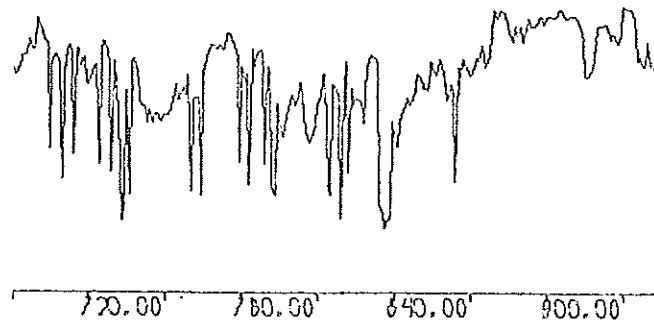
I figur 6.3 finns fyra felaktiga mätvärden, därav tre tidsmässigt sammanfallande, vilket ej kan förklaras som en naturlig störning, då de ej kan påverka varandra utan tidsfördröjningar.

Figur nr 6.1 Felaktigt mätvärde.

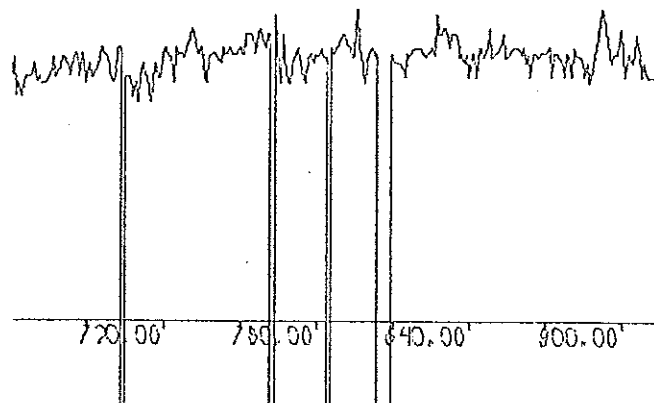


Figur nr 6.2 Programmeringsfel.

Lufttemp. in 1

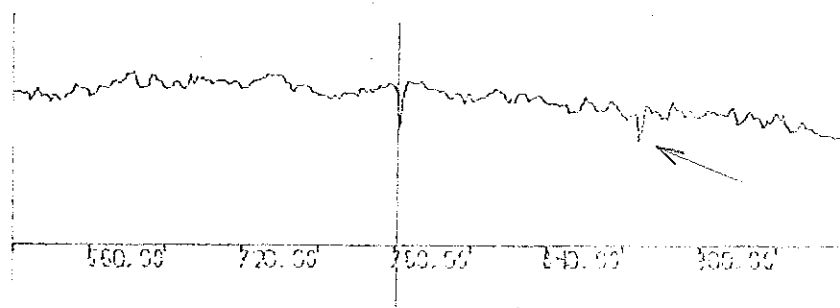


Lufttemp. in 2

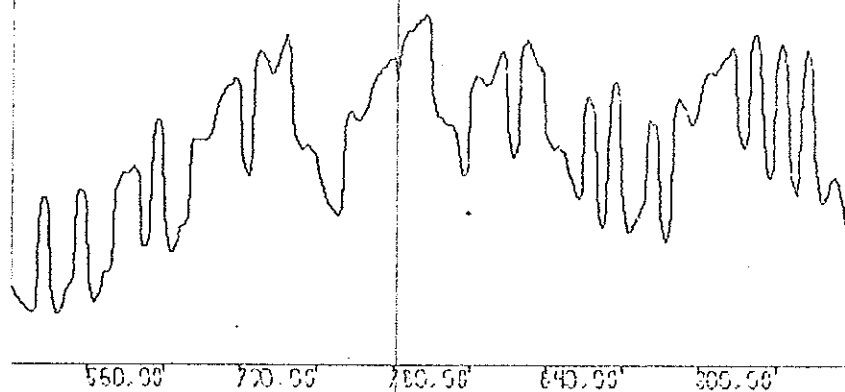


Figur nr 6.3 Sammanfallande mätfel.

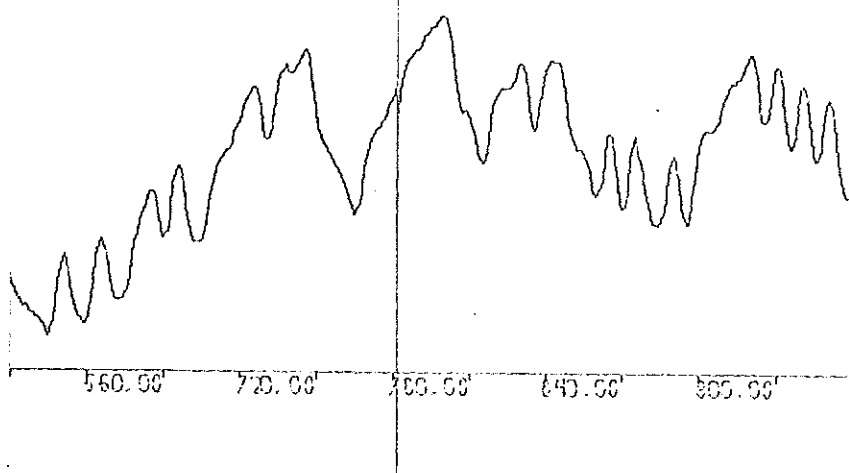
Primärvattentemp.



Vattentemp. in



Vattentemp. ut



7. Resultat av M L identifiering.

Efter att ha fått data över på magnetband, kunde identifieringen börja. Fem olika delsystem alla med en insignal och en utsignal valdes ut för identifiering.

Dessa var följande:

Insignal	Utsignal
Ventilläge (PRBS)	Vattentemp ut v b
" "	Lufttemp ut v b
Vattentemp in v b	Vattentemp ut v b
" in v b	Lufttemp ut v b
Lufttemp in lufttr.	Lufttemp ut lufttr.

v b = varmlufts batteri

I ett senare skede skulle även system vid två insignaler och en utsignal identifieras. Identifiering skedde med maximum likelihood-metoden (se ref 6). Prov nr 2 utvaldes till identifieringen. Data-maskinkörningarna blev både tidskrävande och problemfyllda. Beroende på en del körningar resulterade i modeller, vilka saknade kontinuerliga motsvarigheter, varvid omstart fick göras med nya uppskattade parametrar. Vid test mellan olika ordningstal för modellerna framgick det att ordningstalen för modellerna var av 4:e eller högre ordningstal. Eftersom det var svårt att erhålla 5:e ordningens modeller för att testa mot 4:e ordningens modeller, bestämdes det att ett delsystem, som var av 4:e ordningen skulle vidare bearbetas. Det utvalda delsystemet blev vattentemperatur in i varmlufts batteriet mot lufttemperatur ut ur varmlufts batteriet. Två modeller erhöles med olika tidsförskjutningar 4 och 8 sekunder. Simulering gjordes med båda modellerna och även för modeller av lägre ordning vid samma tidsförskjutning. Se diagram nr 16-23. Den bästa modellen var den med 8 sekunders tidsförskjutning, vilket kunde testas med ett speciellt dataprogram.

Den överföringsfunktion som bäst beskrev systemet blev följande:

$$G(s) = \frac{e^{-8s} \cdot 10^{-3} (-0,18s^3 + 1,5s^2 + 1,4s + 0,012)}{(s^4 + 0,39s^3 + 0,07s^2 + 0,004s + 0,000024)}$$

Den statiska förstärkningen blev 0,50.

Tidskonstanterna i överföringsfunktionen blev följande: en på 157 sek, en på 14 sek och två oscillativa på 4,2 sek med en relativ dämpning på 0,66.

Samtliga diskreta och kontinuerliga modellens parametrar finns redovisade i appendix J.

Överföringsfunktionen kan också partialbråksuppdelas .

$$G(s) = \left[\frac{0.00103}{s+0.0064} - \frac{0.02018}{s+0.071} + \frac{0.01898s+0.03381}{s^2+1.76s+0.057} \right] \cdot e^{-8s}$$

De olika modernas bidrag till den statiska förstärkningen är

$$G(0) = 0.15 - 0.29 + 0.59 = 0.45$$

En jämförelse kan göras med en enkel modell, som förutsätter ideal blandning med avseende på temperaturen i luften, metallen och vattnet i varmlufts-batteriet (se figur nr 7.1). Med konstruktionsdata har värmekapaciteter och värmeövergångsytor beräknats, däremot har värmeövergångstalerna varierats för de två ytorna luft - metall och metall - vatten mellan tänkbara max- och min-värden. I tabell nr 7.1 finns de erhållna tidskonstanterna redovisade för de olika fallen. Den snabbaste tidskonstanten härrör från luften och påverkas huvudsakligen av värmeövergångstalet mellan luft och metall (h_{12}). Motsvarande tidskonstant för vattnet är den mellersta och påverkas huvudsakligen av h_{23} . Den största tidskonstanten härrör från metallen och påverkas av både h_{12} och h_{23} .

Tabell nr 7.1.

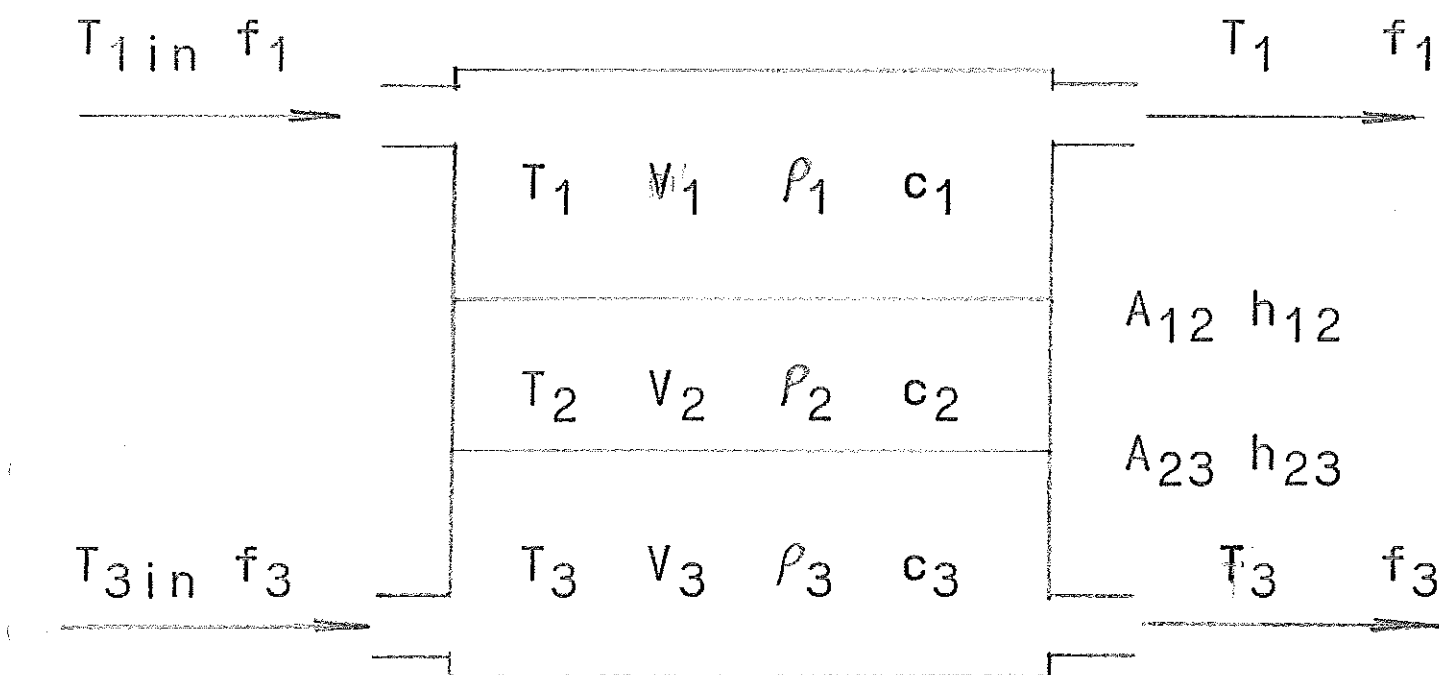
h_{12} / h_{23}	10	33	100
500	0.066 5.37 25.16	0.048 5.34 18.61	0.027 5.29 14.33
1650	0.066 2.98 16.04	0.048 2.94 13.70	0.027 2.90 11.76
5000	0.066 1.21 13.70	0.048 1.20 12.27	0.027 1.19 10.97

Tidskonstanter i sekunder.

Värmeövergångstal i $W m^{-2} grad^{-1}$.

Enkel modell.

Ideal blandning förutsättes ske i kamrarna.



Figur nr 7.1.

I tidigare framtagna modeller varierar tidskonstanterna mellan 6 sek. upp till 160 sek. Tidskonstanterna är mycket beroende av typ och storlek hos värmeväxlarna och det är därför svårt att göra direkta jämförelser. Den oscillativa delen i överföringsfunktionen kan delvis förklaras med det tidigare omtalade resonansfenomenet. Genomströmningstiden var omkring 9 sek, vilket kunde medföra resonans vid $\omega = \pi/9 \approx 0,35 \text{ rad sek}^{-1}$ (en halv periodlängd är lika med värmeväxlarens längd).

Resonanstoppen i överföringsfunktion ligger vid $\omega \approx 0,24 \text{ rad sek}^{-1}$. Problemet med identifiering av system med återkoppling kommer att studeras och kanske bör andra typer av identifieringsprogram användas. Av erfarenheter från de många datamaskinkörningarna föreslogs en del förbättringar av det använda identifieringsprogrammet.

8. Referenser

- Ref. 1. Korsgaard, Nielsen, Jensen: Krydsvarmeveksleres dynamik og regulering. Laboratoriet för Varmeisolering och Servolaboratoriet, DTH, Köpenhman (1962)
- Ref. 2. Gartner, Harrison: Frequency Response Transfer Functions For a Tube in Crossflow. ASHRAE Trans Vol. 69, 1963 pp. 323-330
- Ref. 3. Gartner, Harrison: Dynamic Characteristics of Water-to-Air Crossflow Heat Exchangers. ASHRAE Trans., Vol. 71 Part 1, 1965 pp. 212 - 224
- Ref. 4. McNamara, Harrison: A Lumped parameter approach to crossflow heat exchanger dynamics. ASHRAE Trans., Vol 73 Part 1, 1967 no 2052
- Ref. 5. Profos, Hemmi: Untersuchungen zur Dynamik der Klimaregelerung. Neue Technik A2, 1965
- Ref. 6. Gustavsson: Parametric identification on multiple input, single output linear dynamic systems. Report6907 LTH 1969

9. Diagram

Diagramnummer

1 - 2 Prov nr 1
 3 - 4 " " 2
 5 - 6 " " 3
 7 - 8 " " 4
 9 - 10 " " 5
 11-12 " " 6
 13 a och b stegsvar till prov nr 4
 14 a och b " " " " 5
 15 a och b " " " " 6

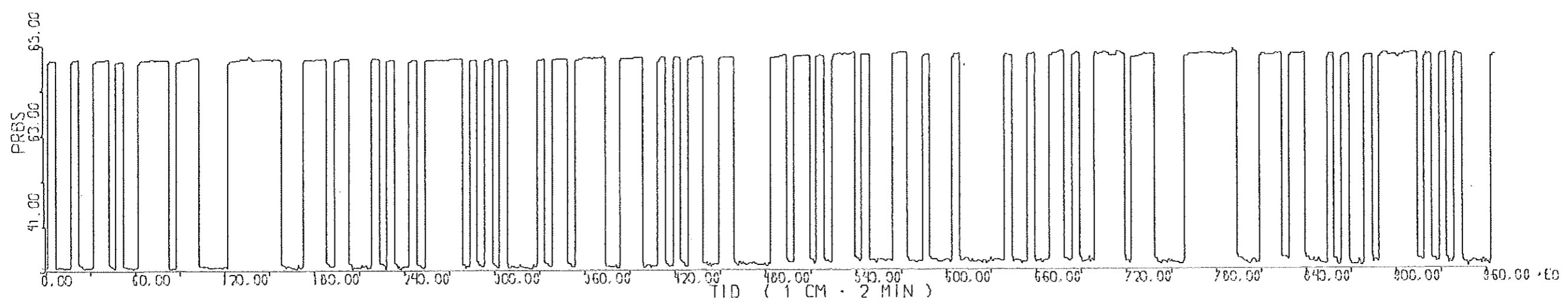
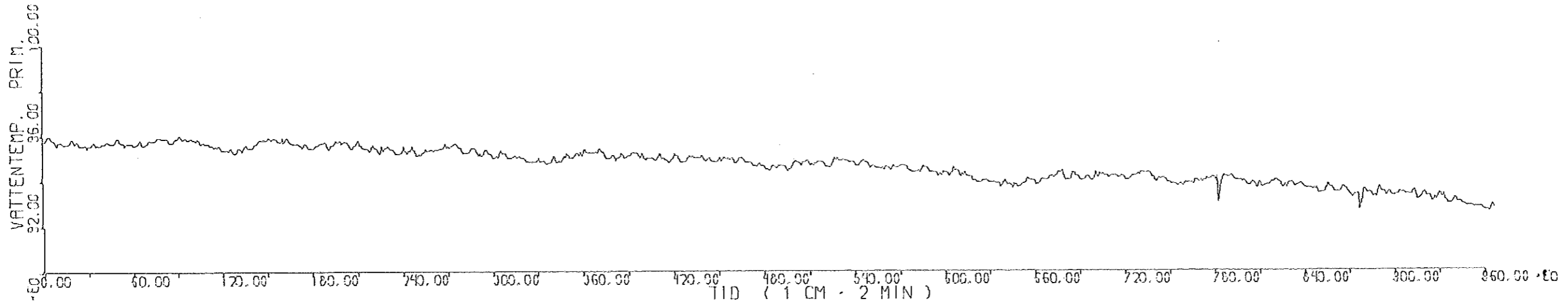
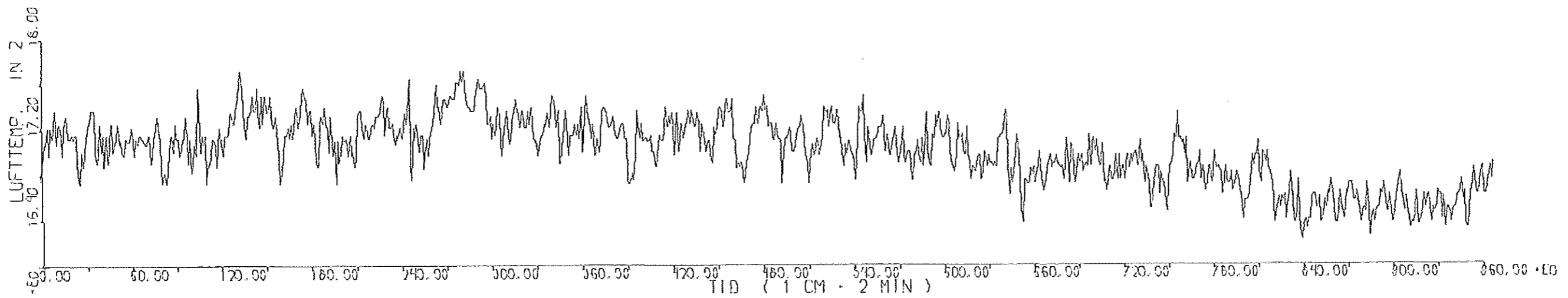
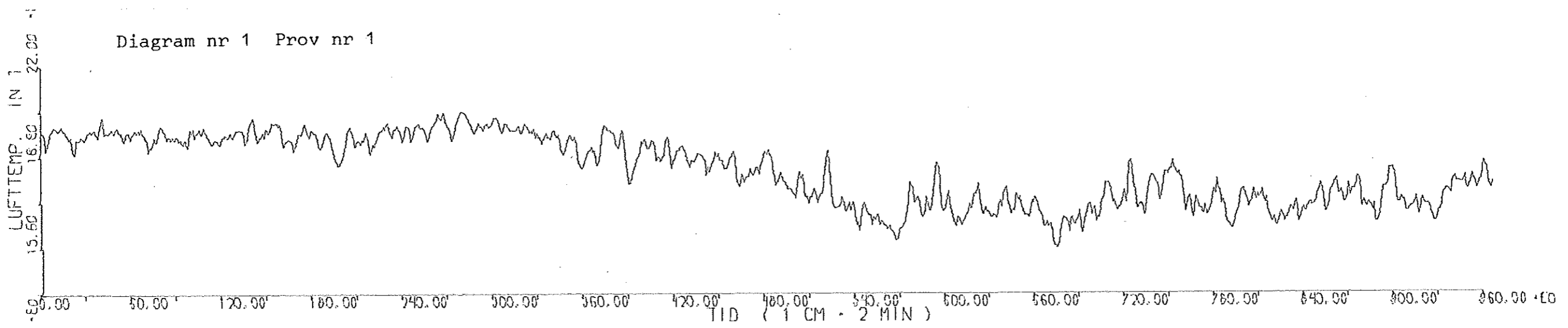
Simulering med 4 sek tidsfördröjning

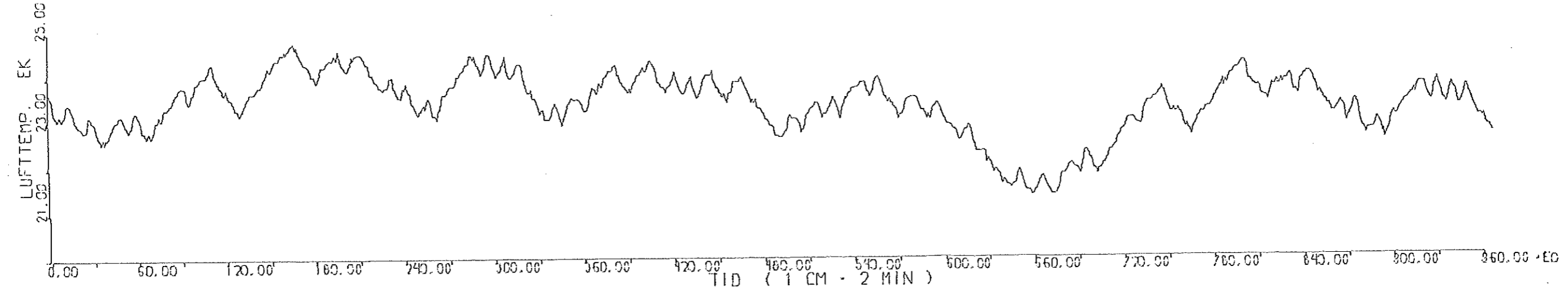
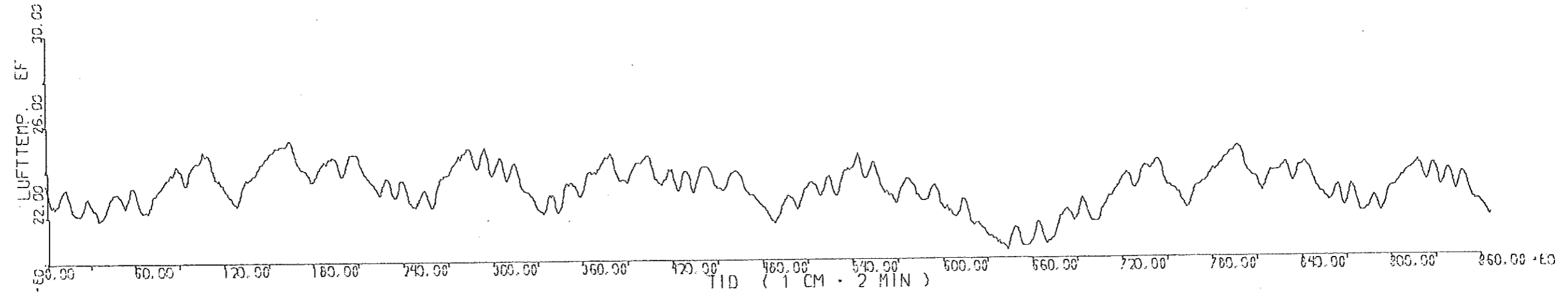
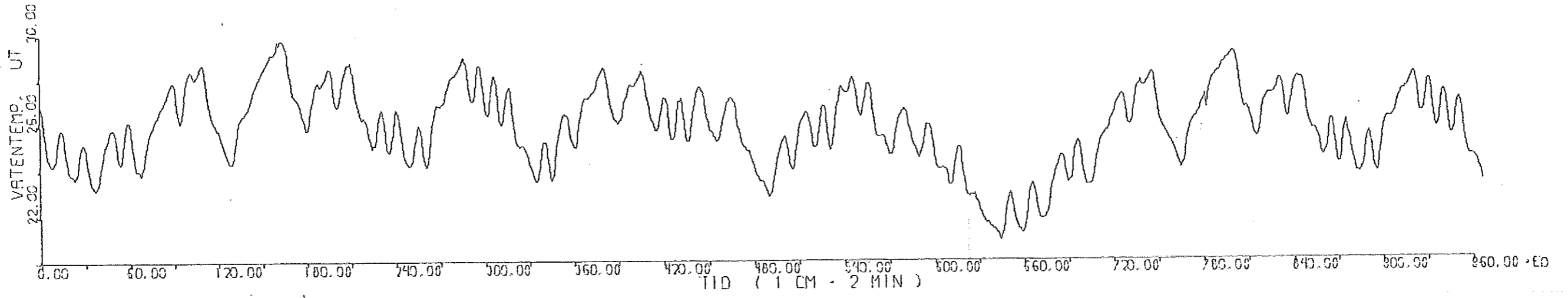
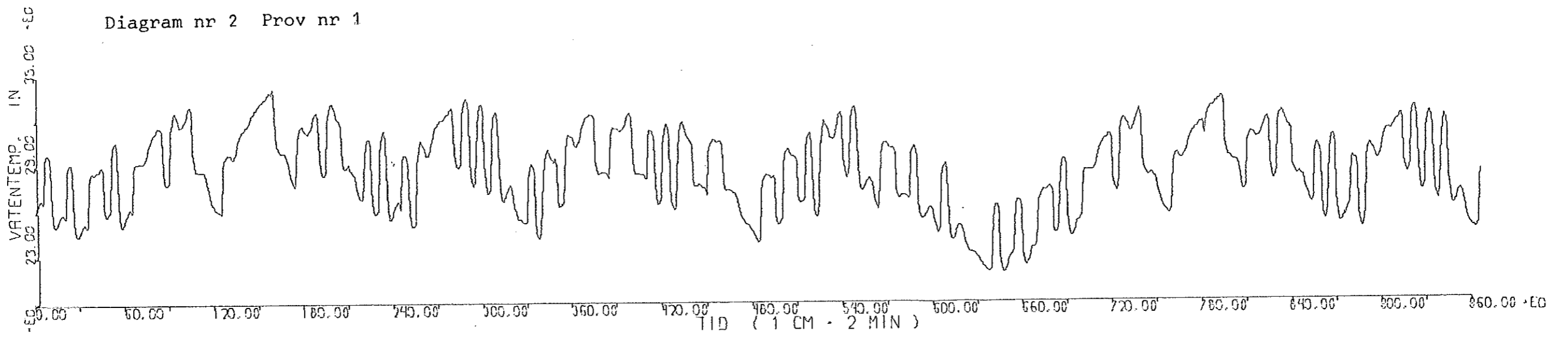
16 1:a ordningens modell
 17 2:a " "
 18 3:e " "
 19 4:e " "

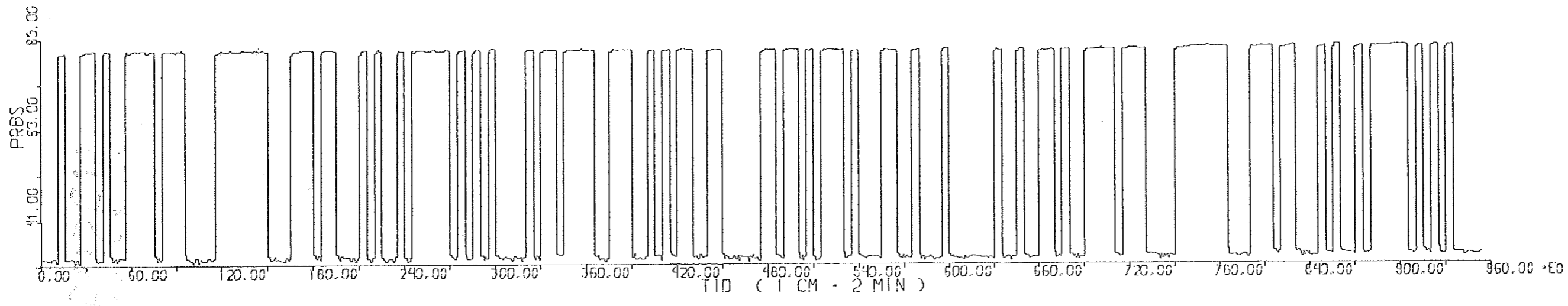
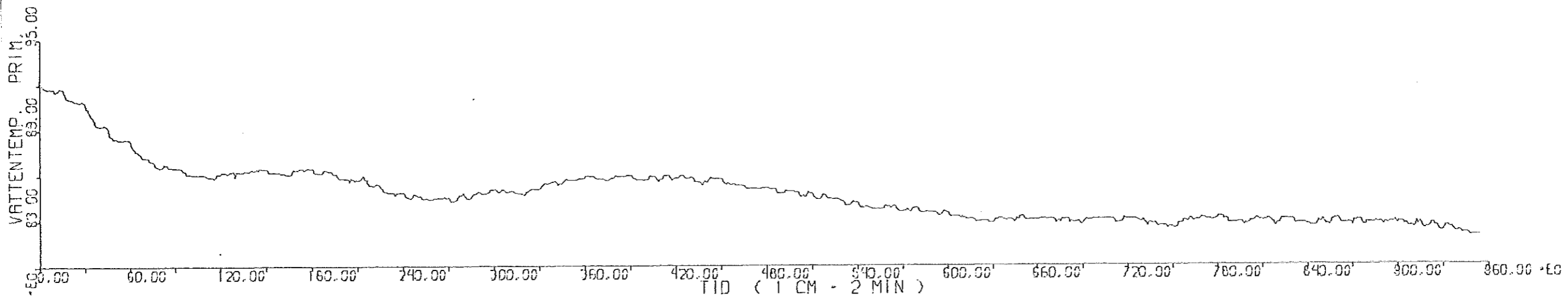
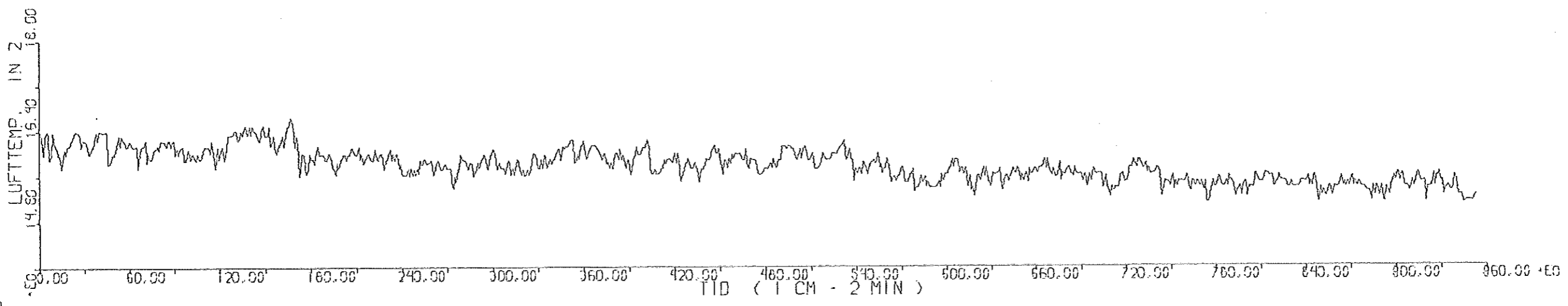
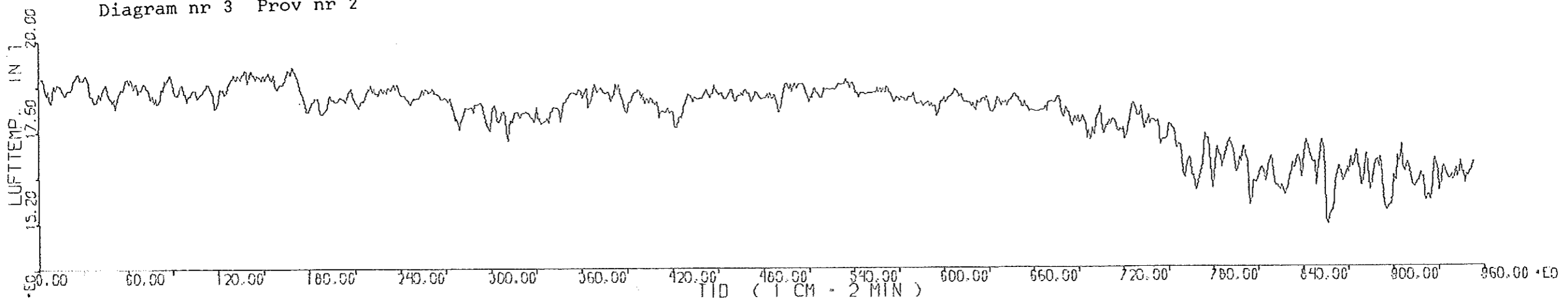
Simulering med 8 sek tidsfördröjning

20 1:a ordningens modell
 21 2:a " "
 22 3:e " "
 23 4:e " "

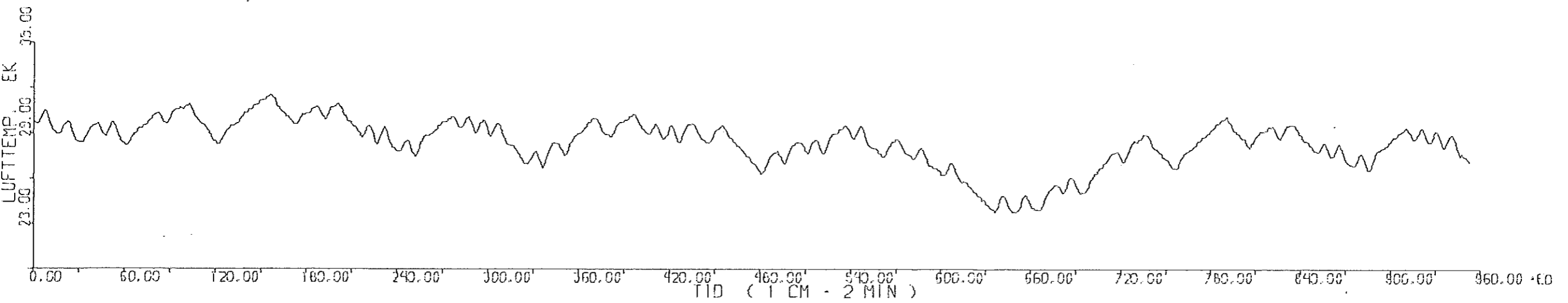
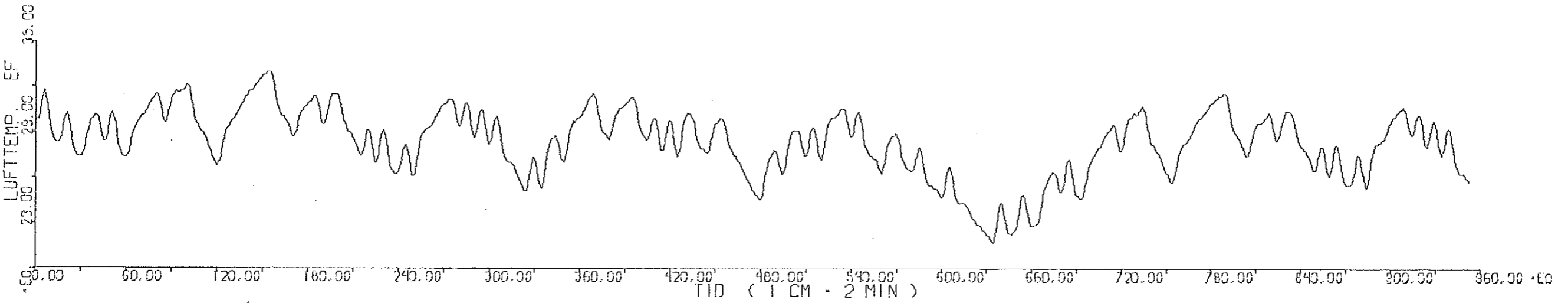
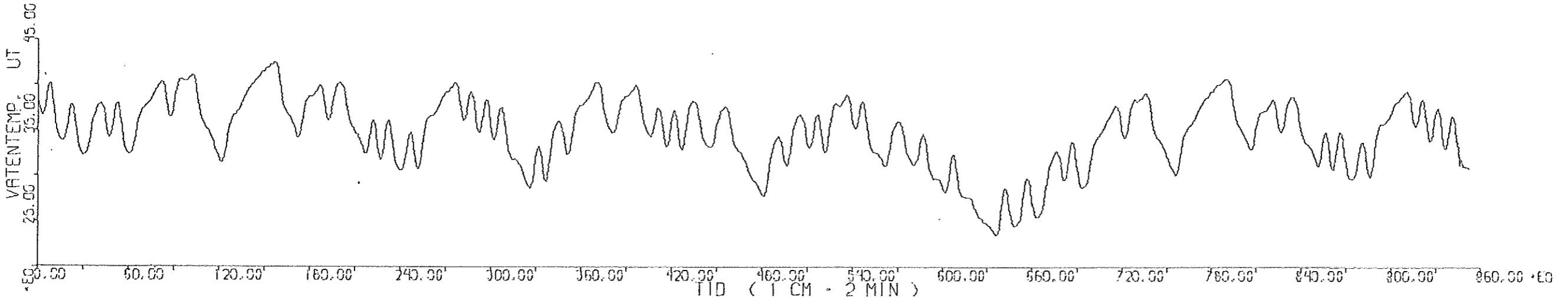
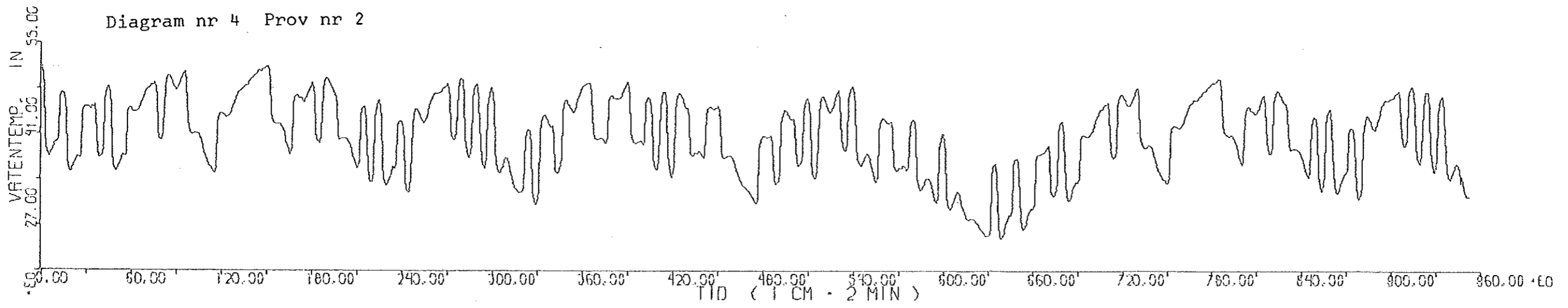
På grund av tryckningstekniska skäl har ej hela mättiden kunnat tas med i diagrammen, utan för stegsvaren. Tidsaxelgraderingen är i samtliga stympade diagram 2 min per cm eller 2 min per skaldel. Vidare innehåller samtliga diagram originaldata. Mätfel är ej korrigerade. PRBS:s maximum- och minimumnivå varierar en del beroende på variation i spänningen, som matade den spänningsdelare med vilken PRBS samplades.

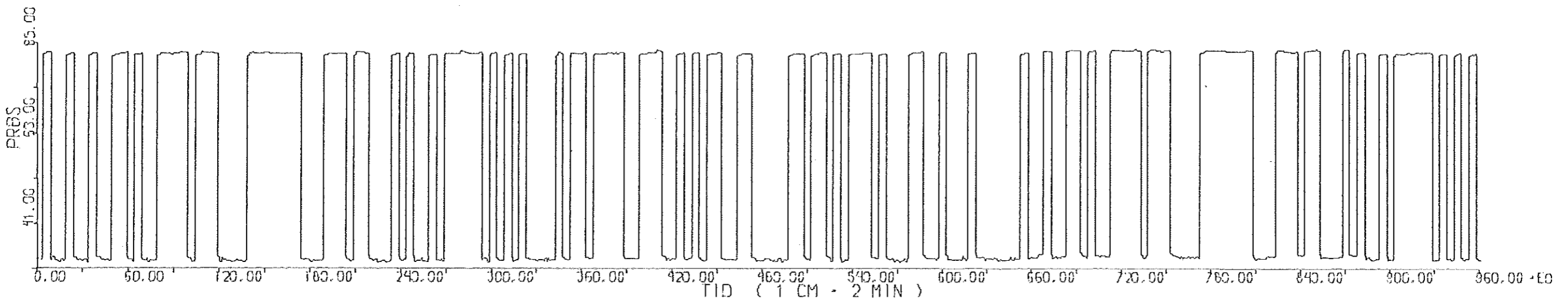
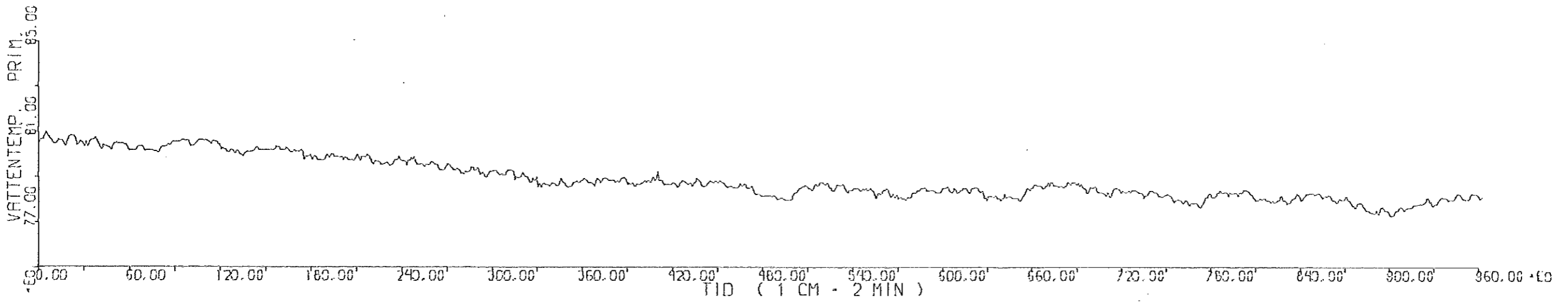
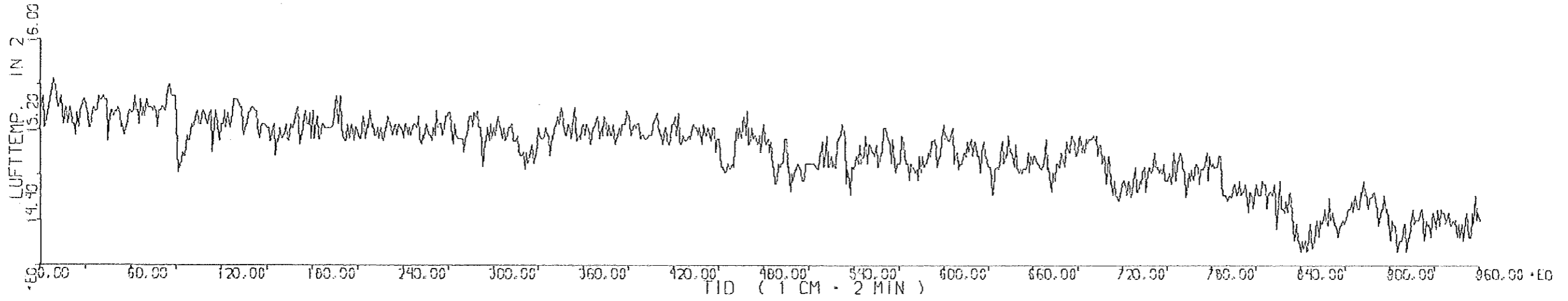
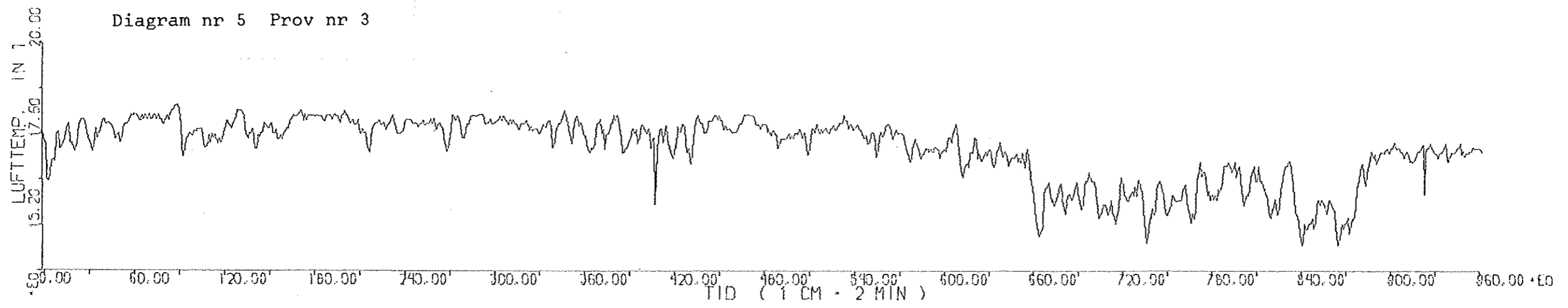


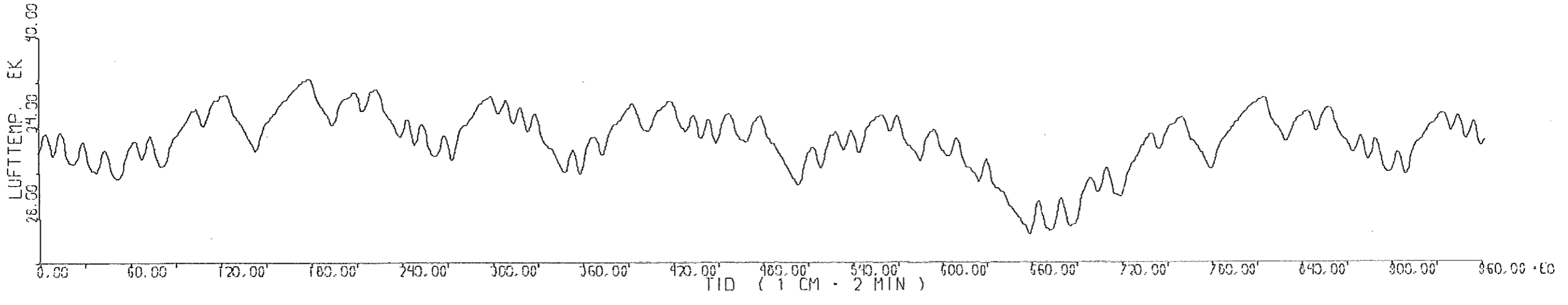
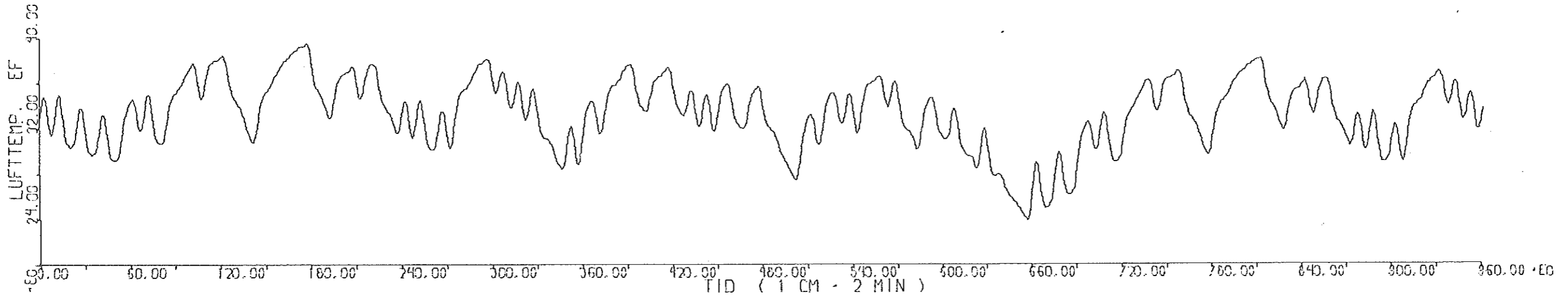
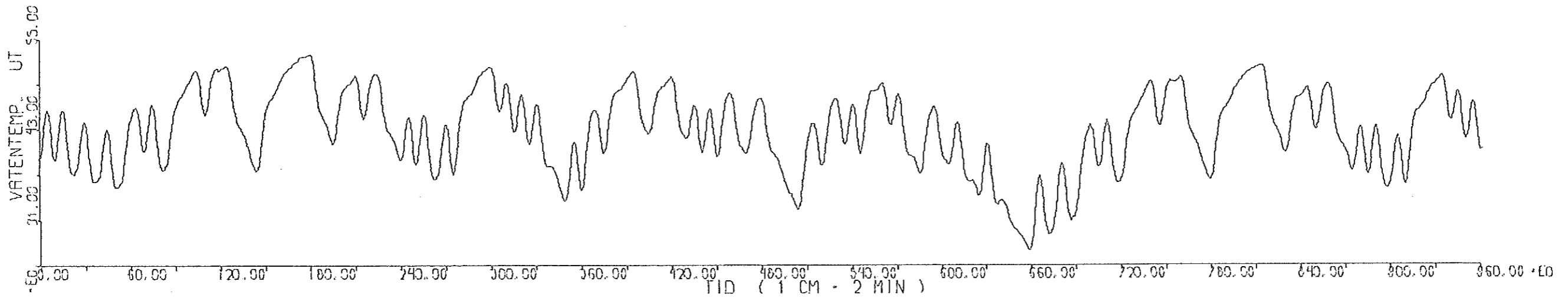
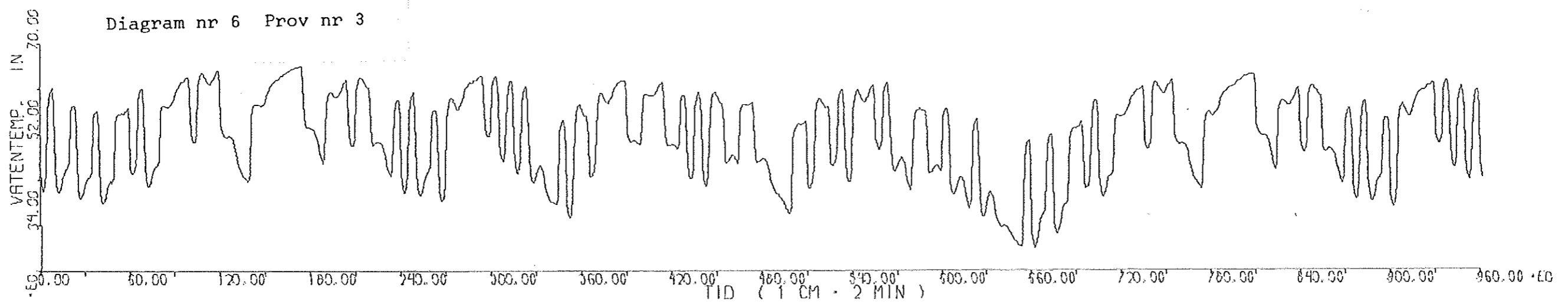


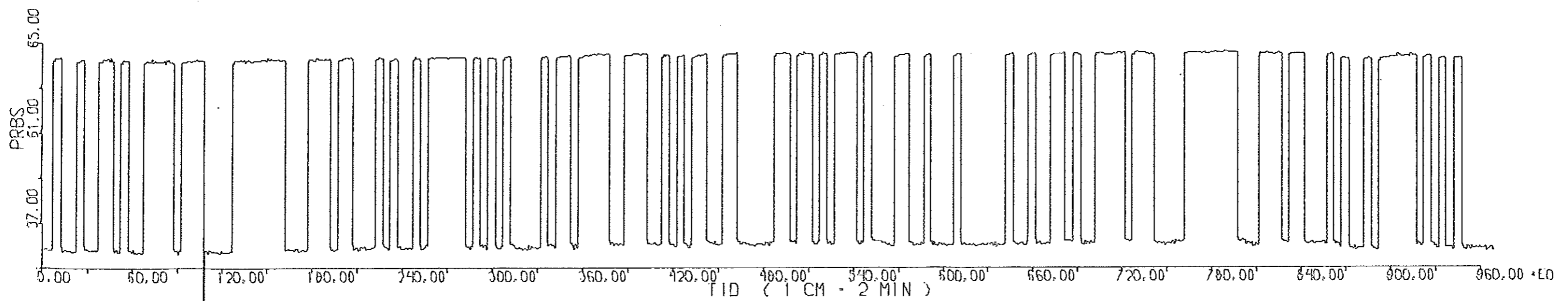
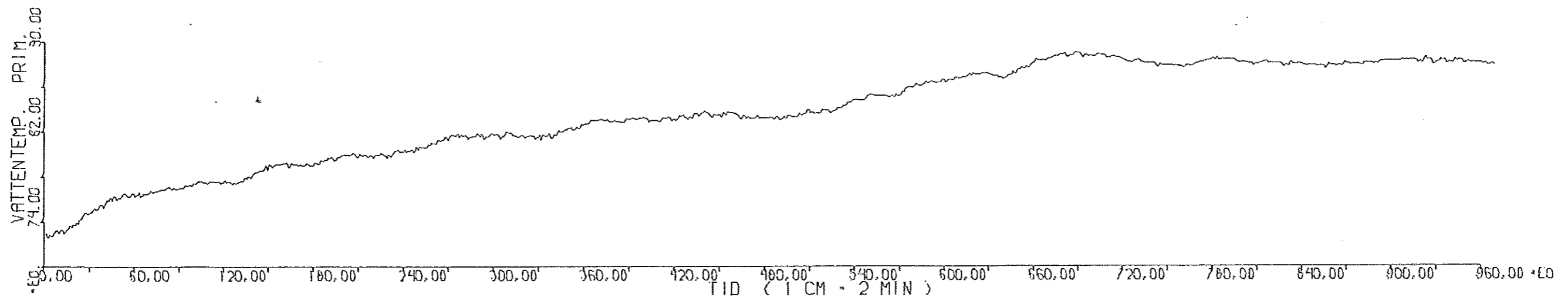
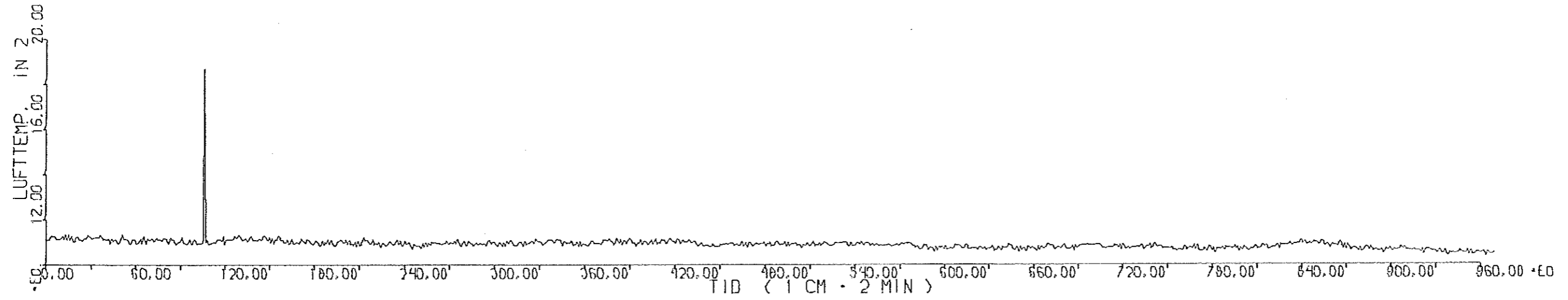
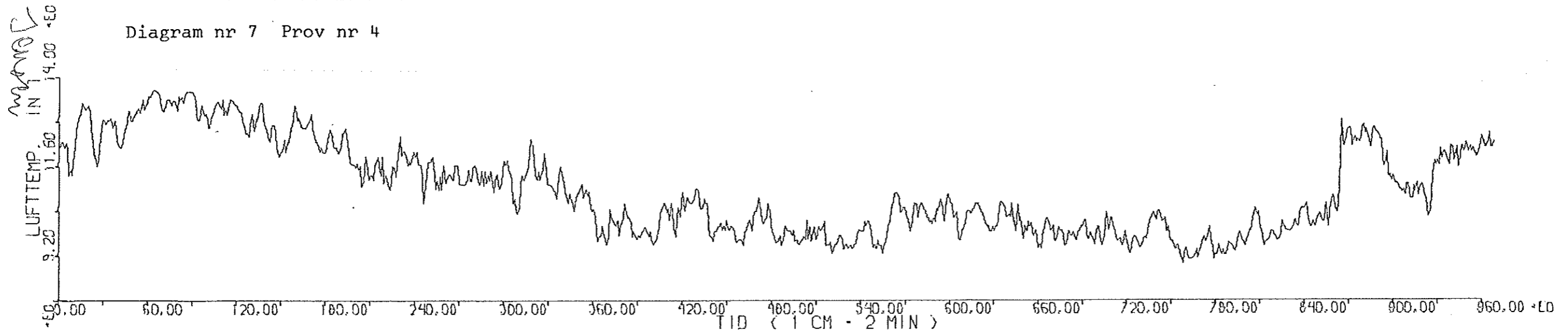


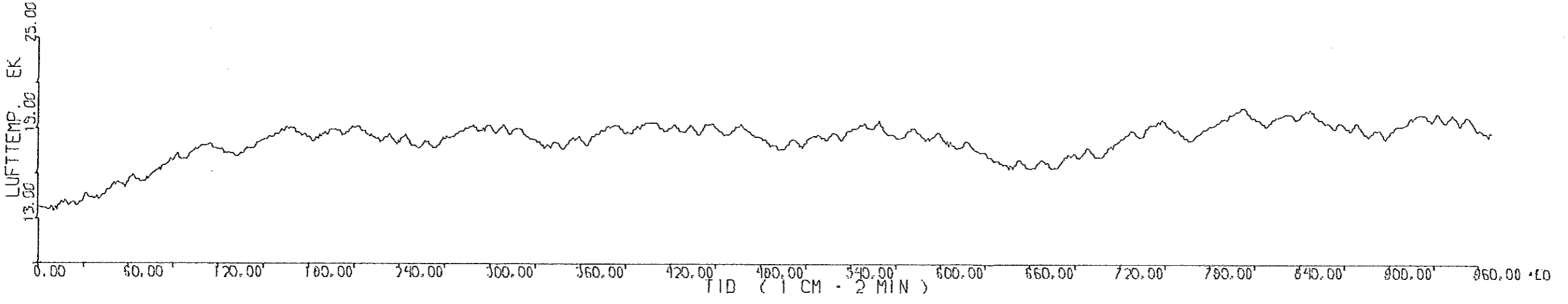
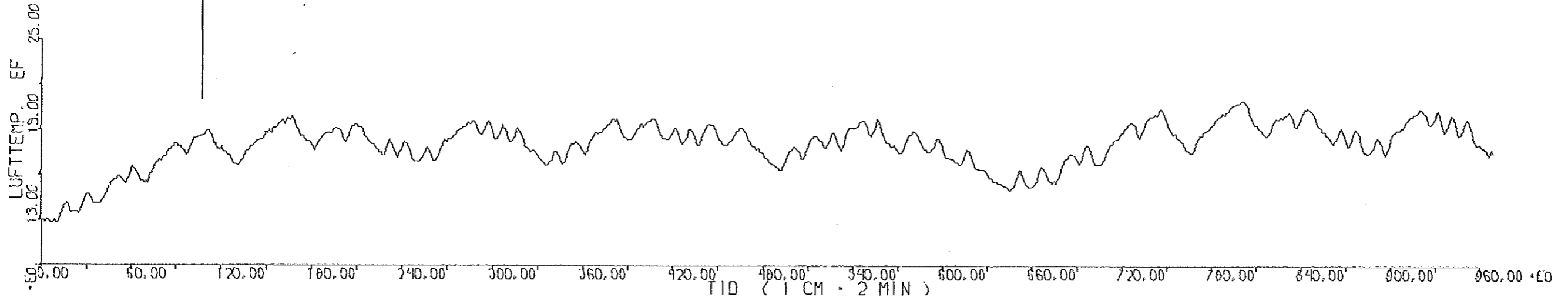
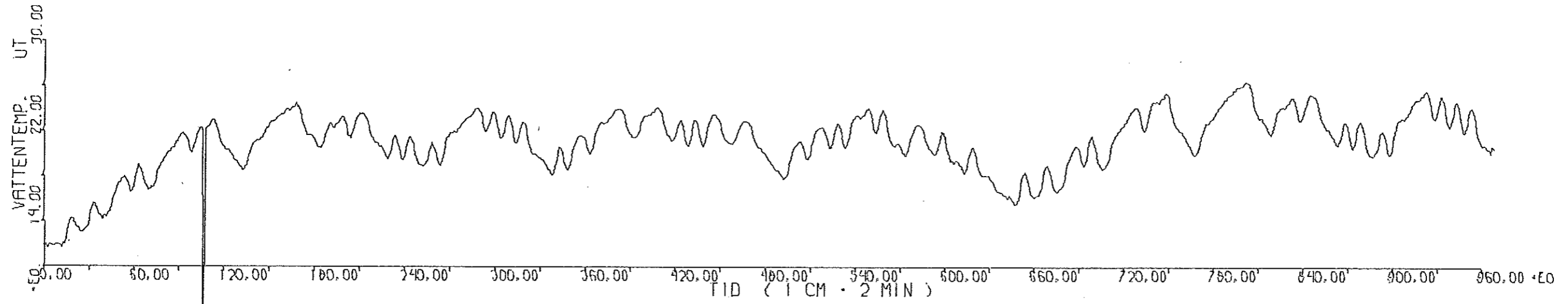
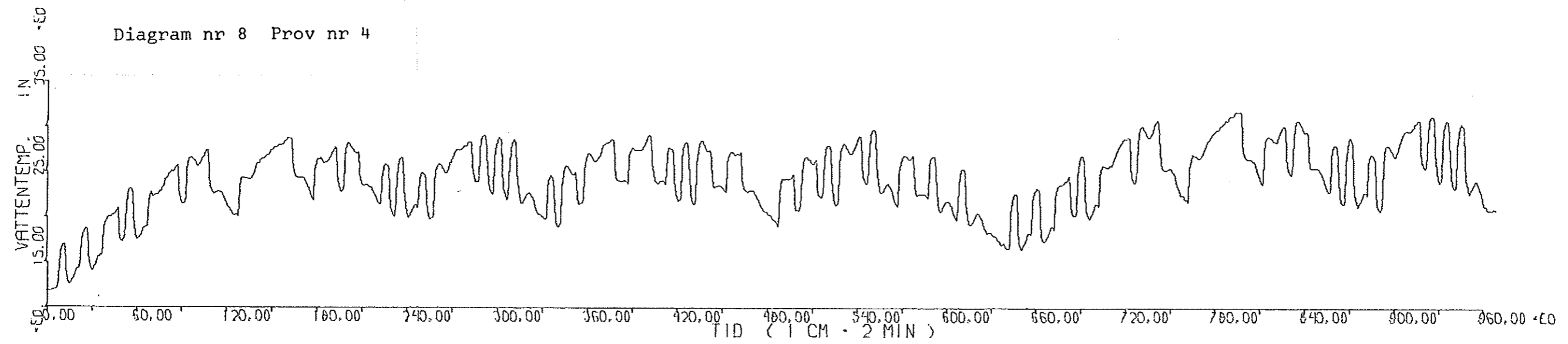
06

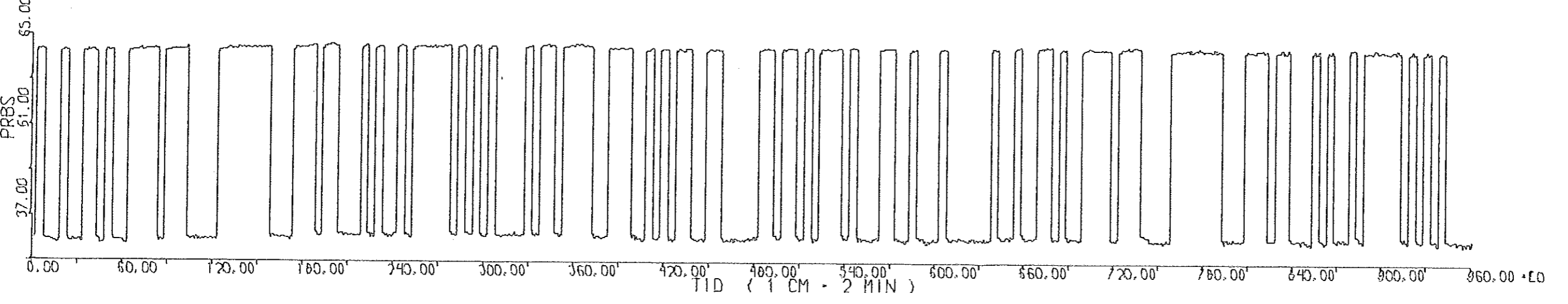
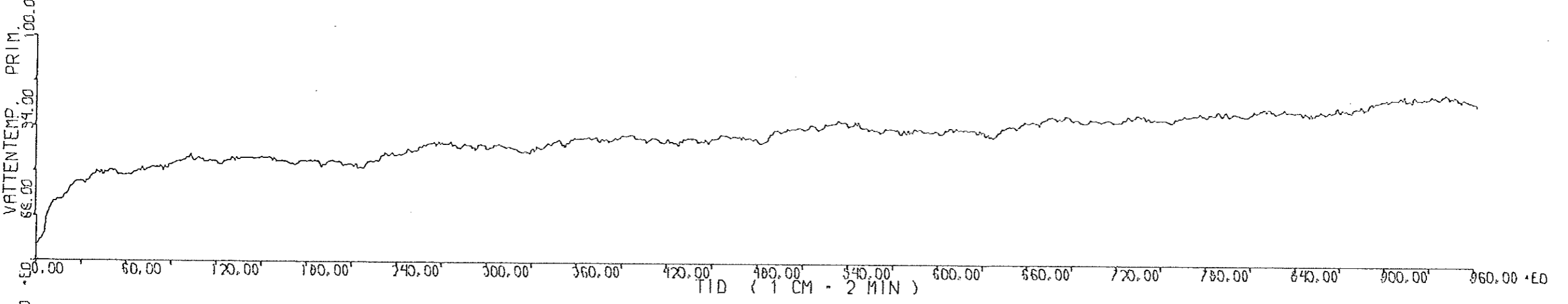
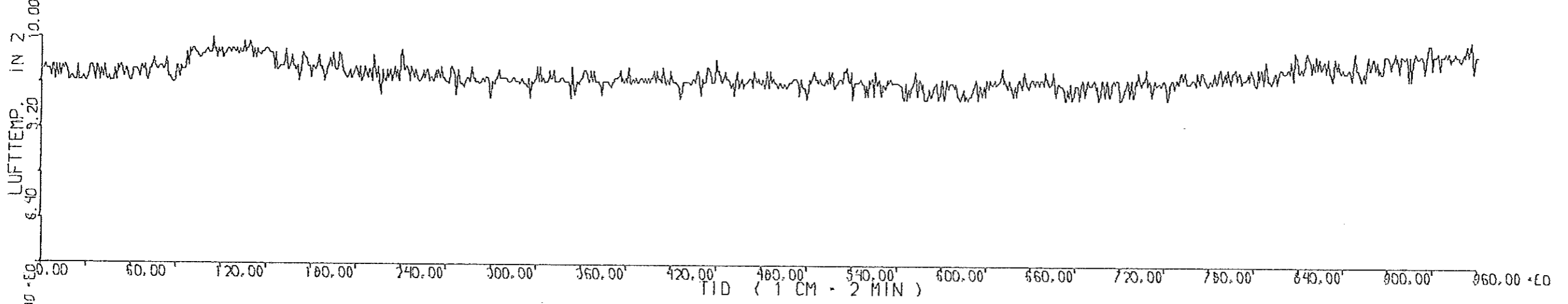
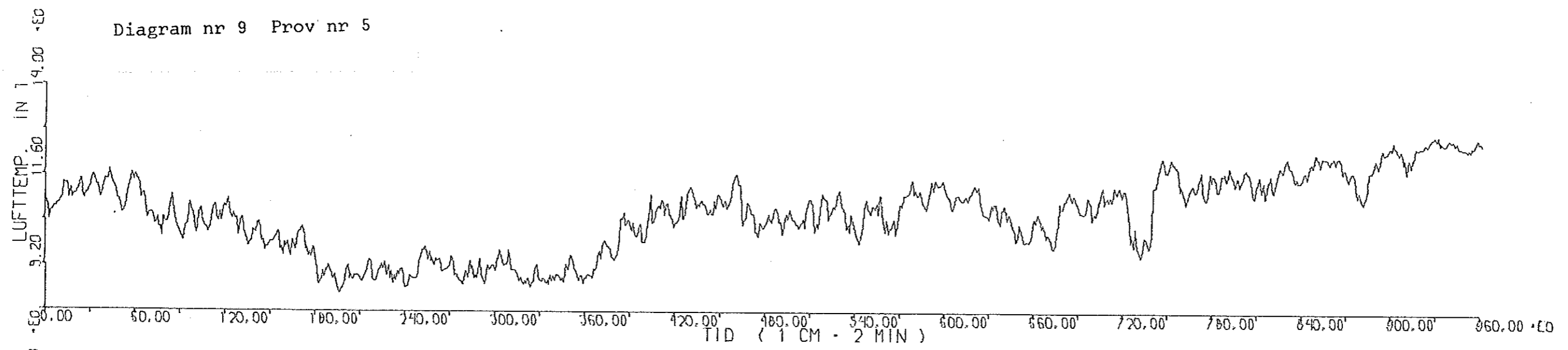


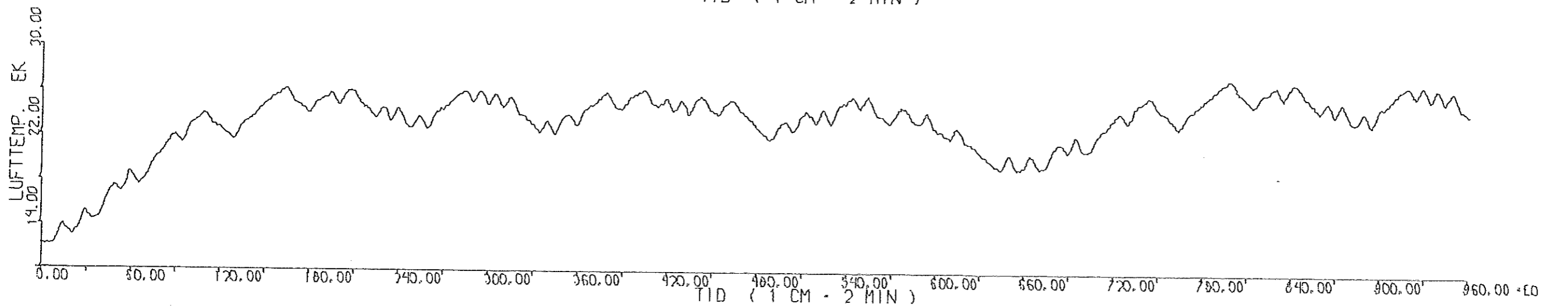
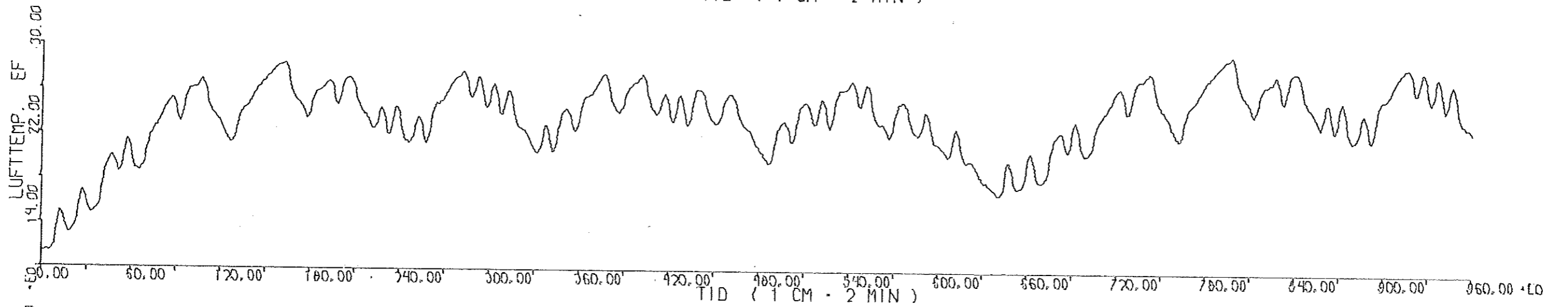
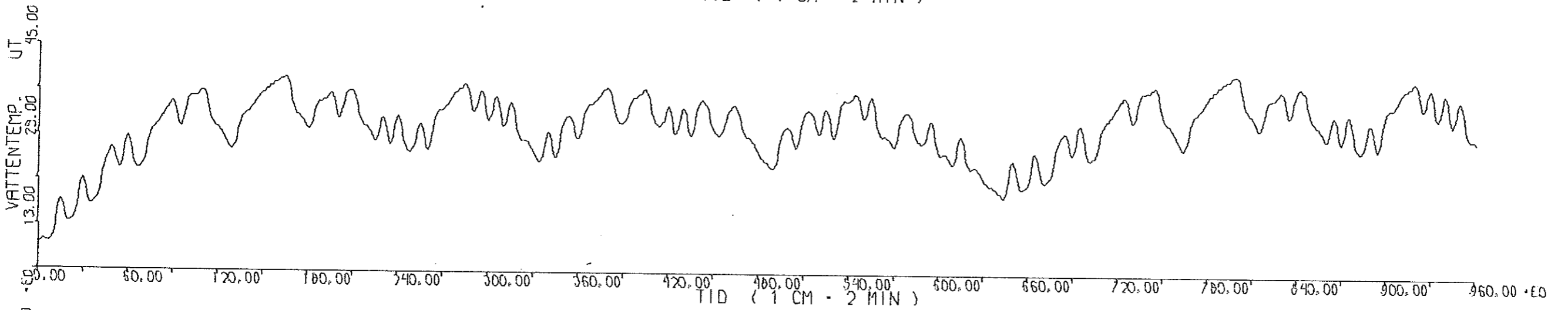
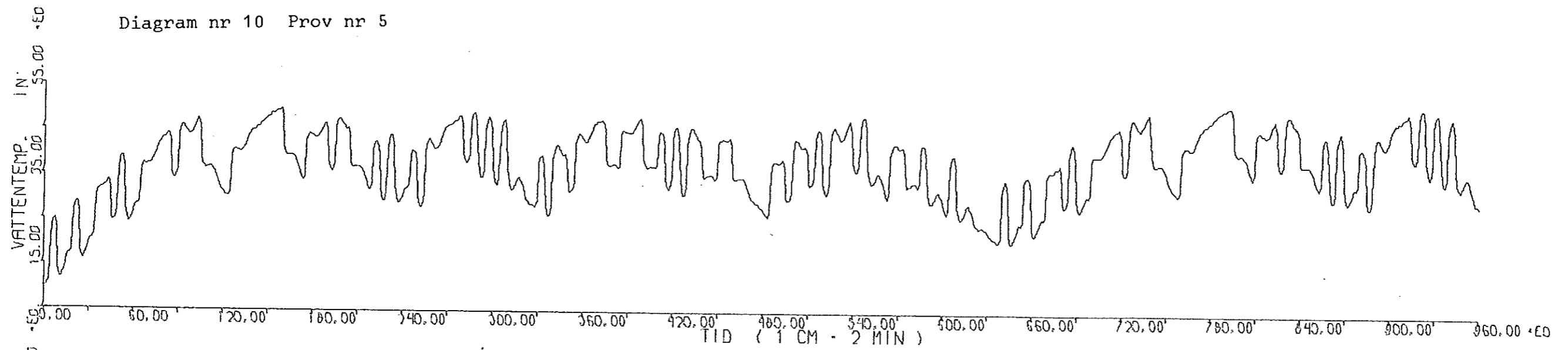


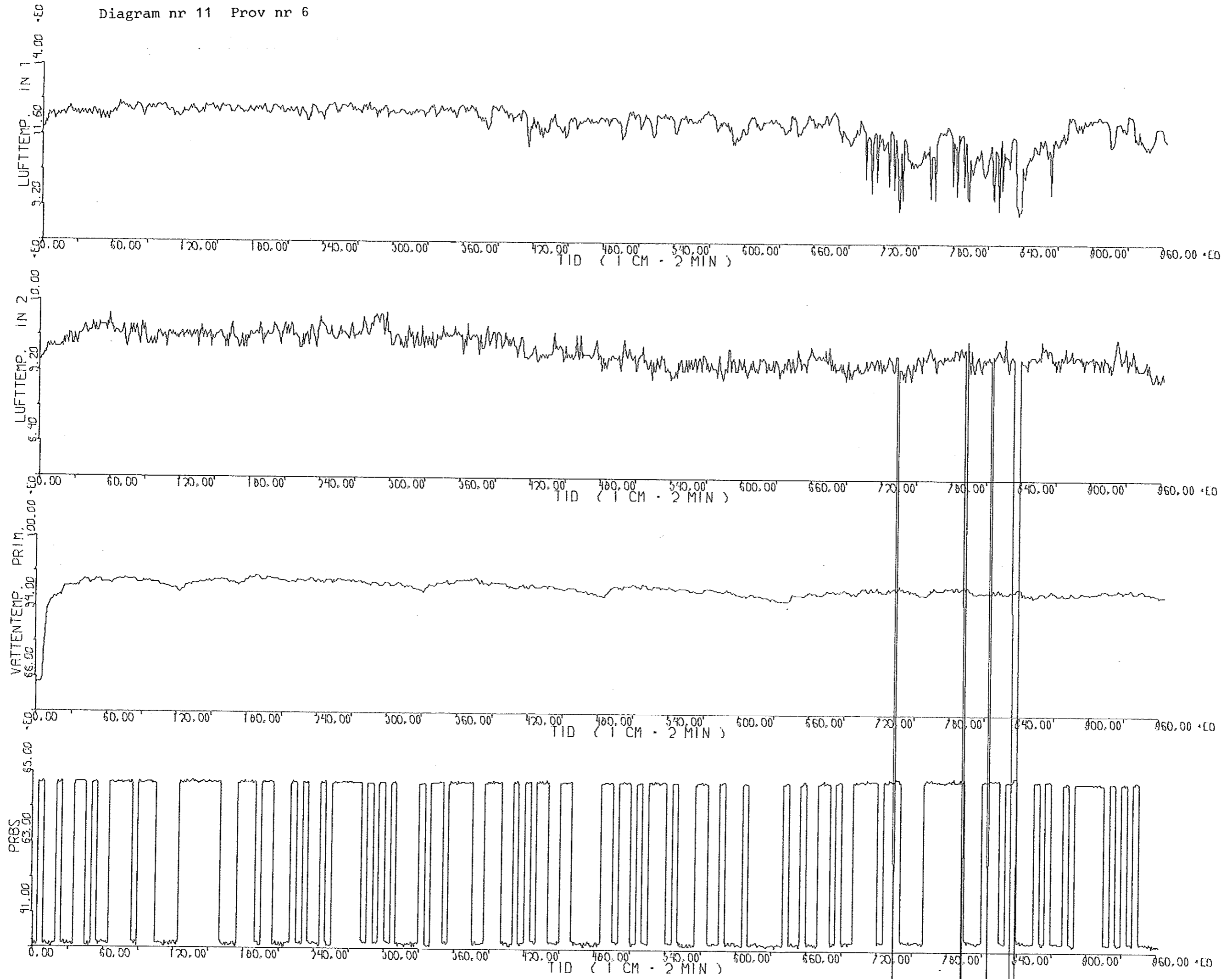












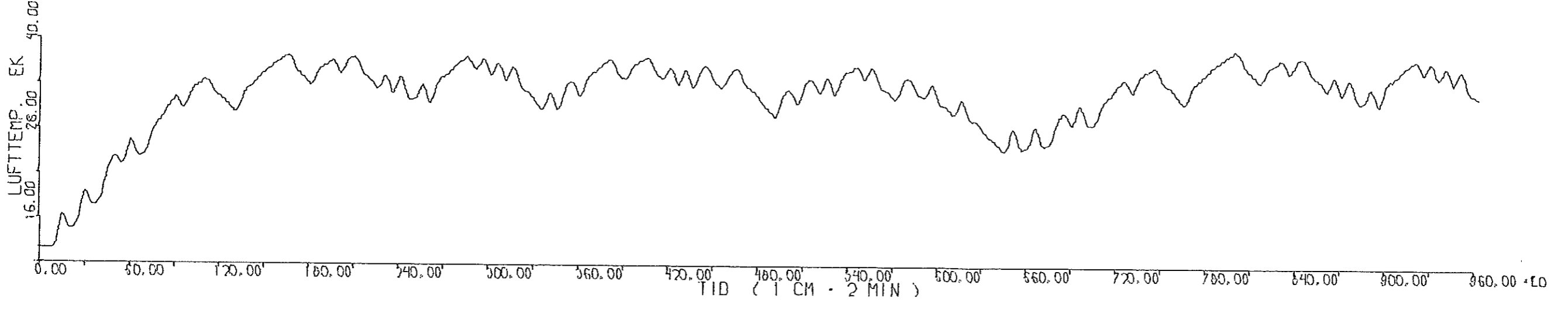
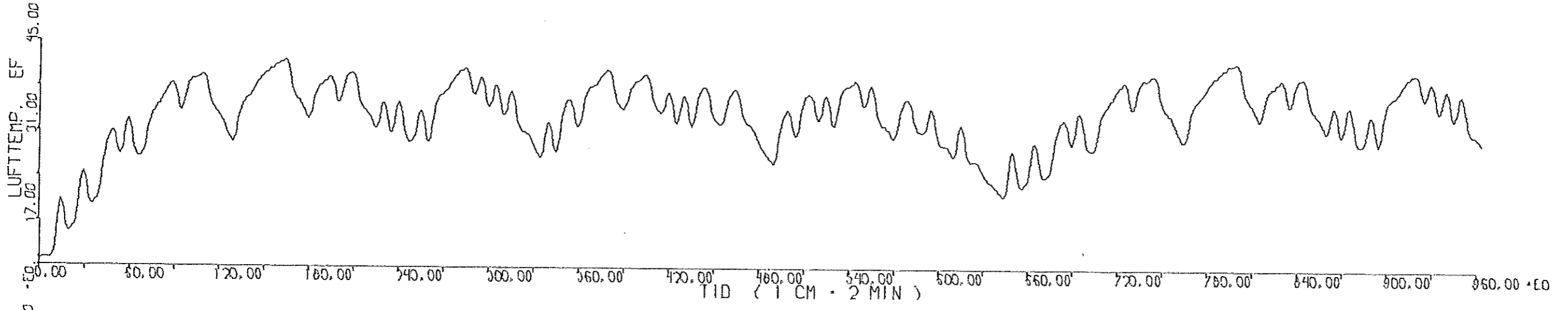
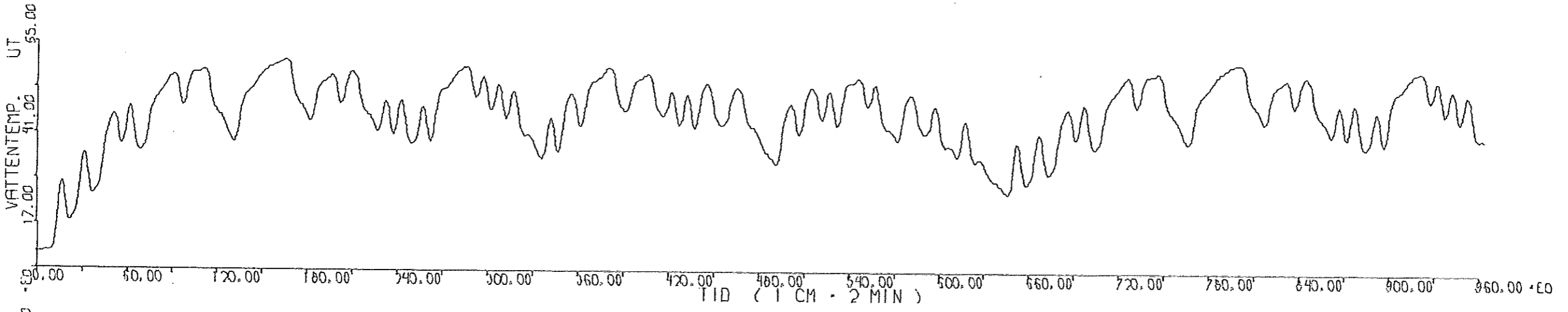
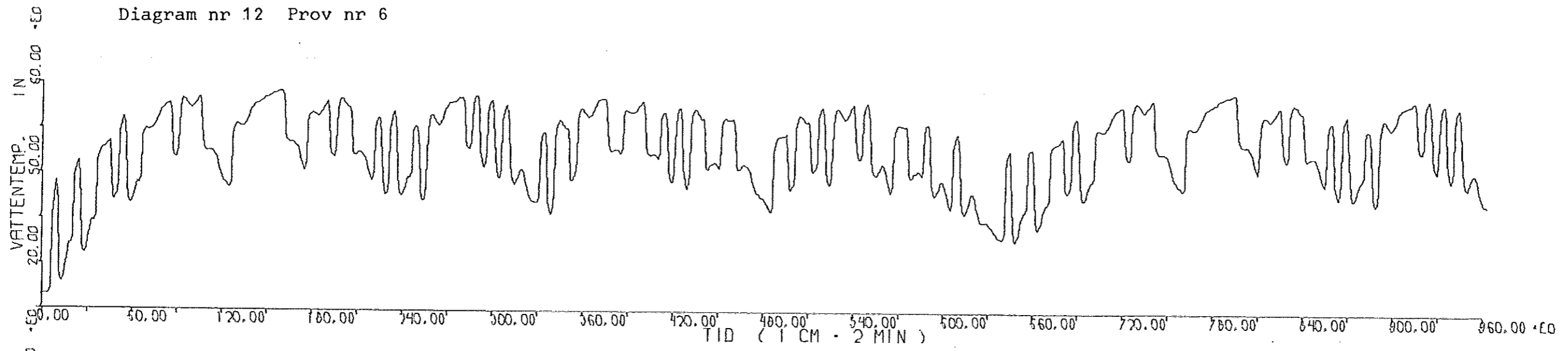
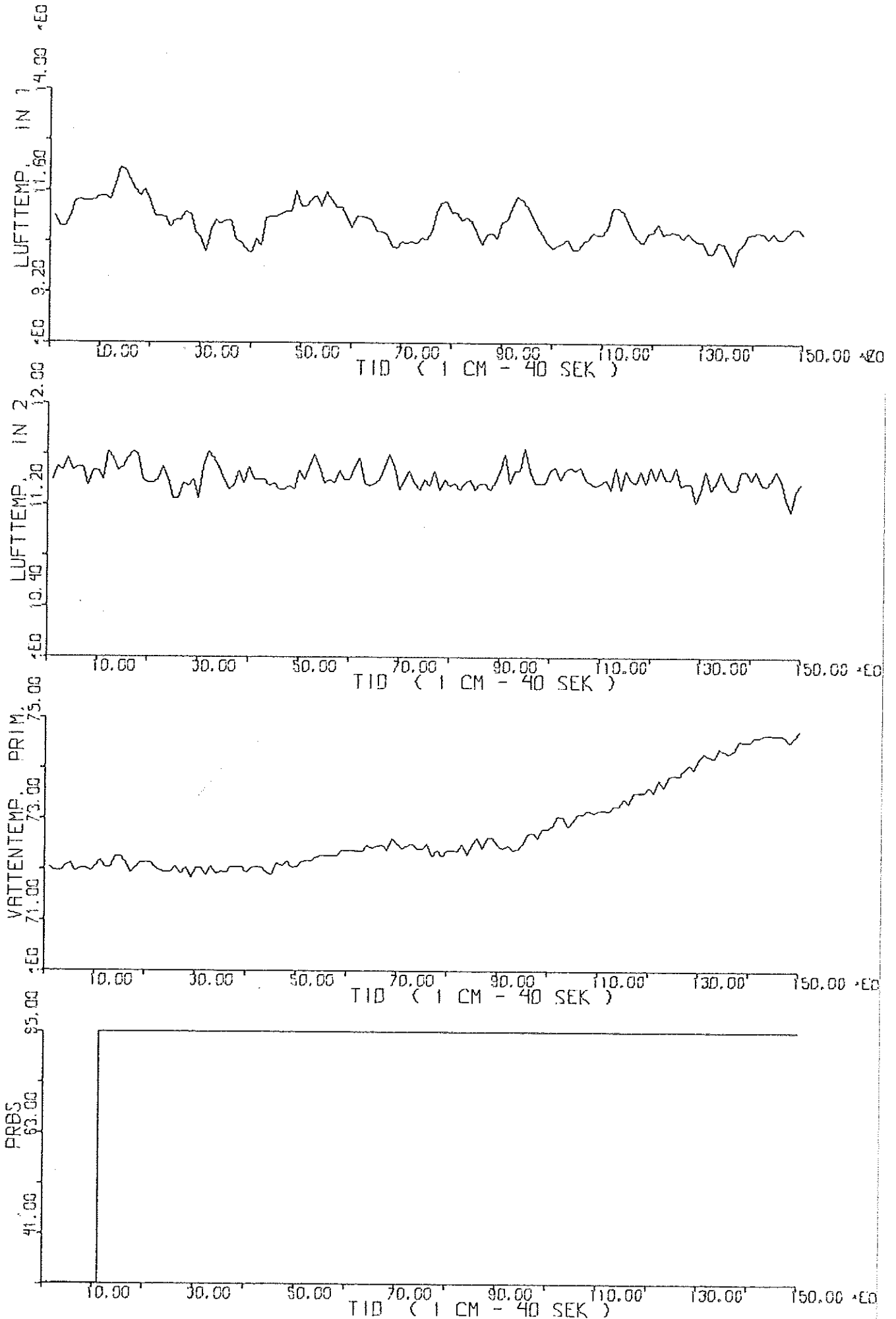


Diagram nr 13 a Stegsvar till prov nr 4.



RUN ID PLOT - ACCOUNT 208084

Diagram nr 13 b Stegsvär till prov nr 4.

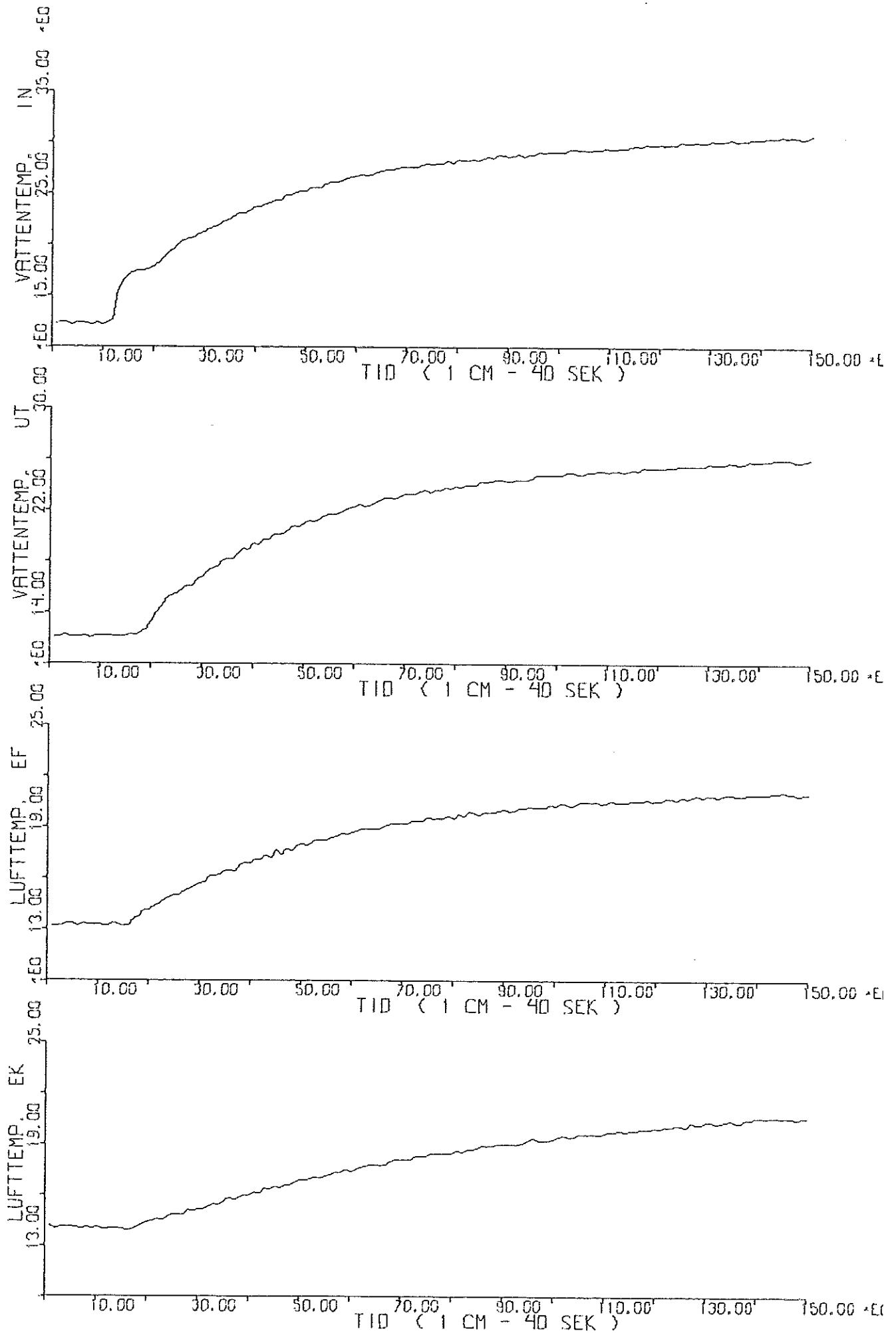


Diagram nr 14 a Stegsvär till prov nr 5.

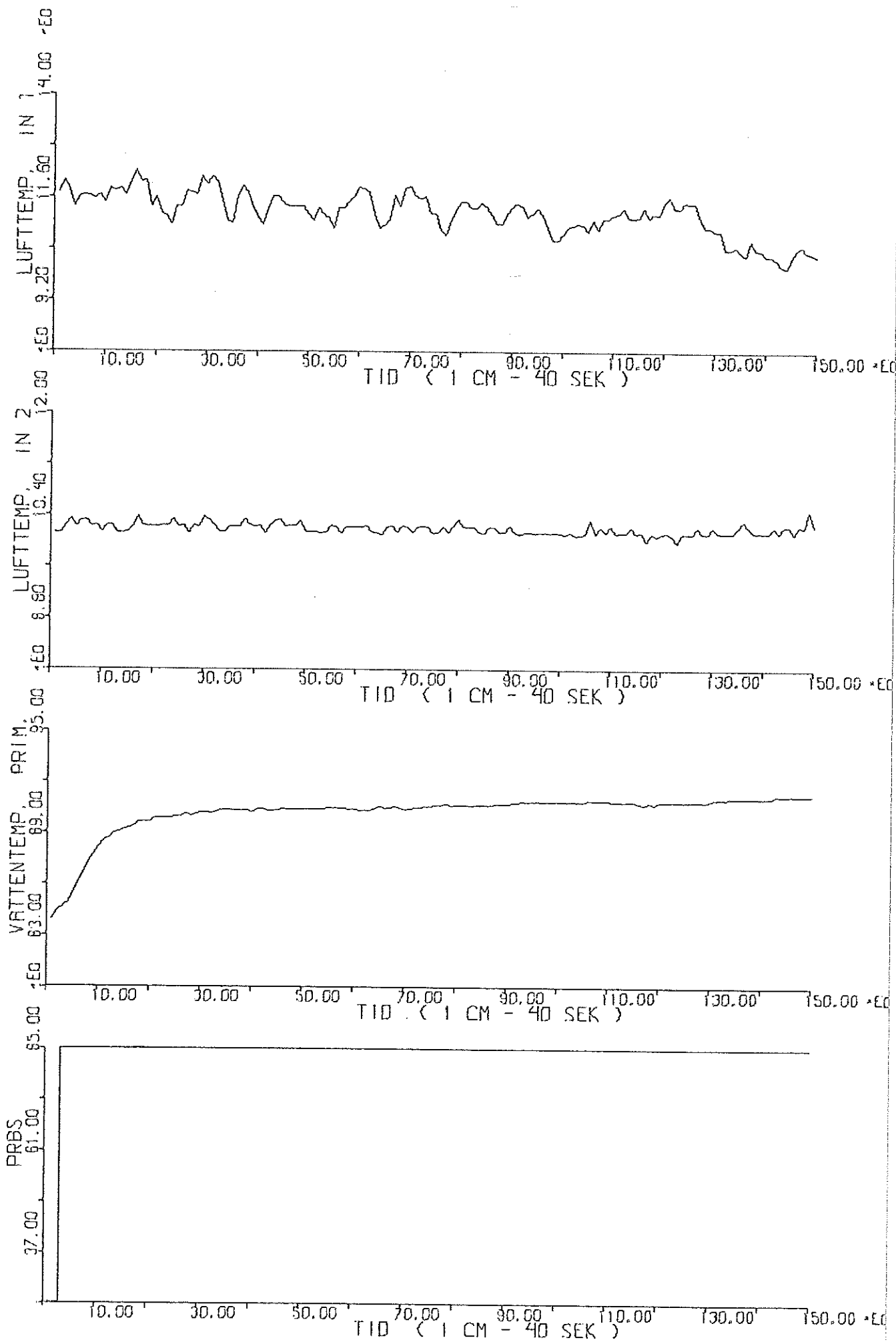


Diagram nr 14b Stegsvär till prov nr 5.

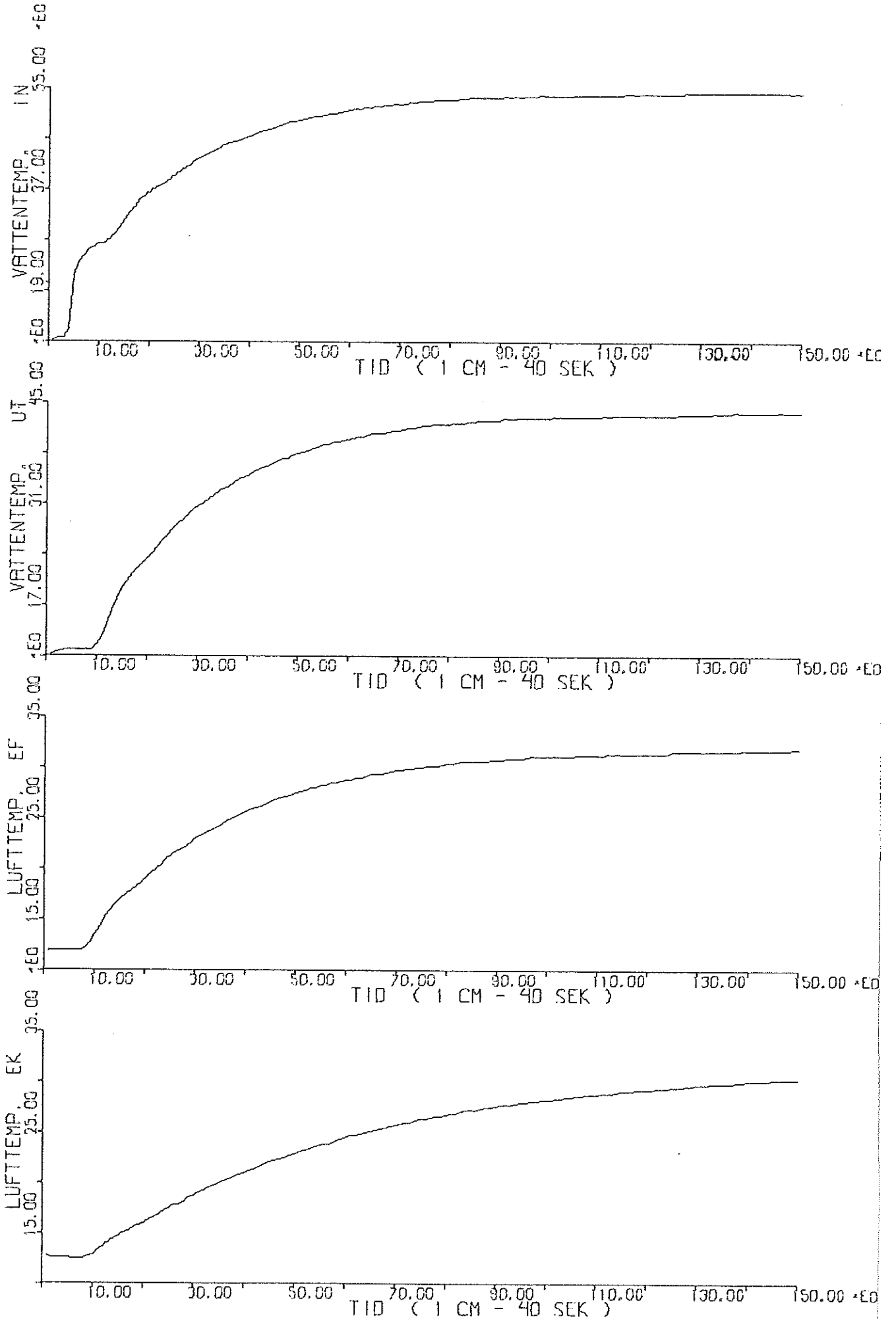


Diagram nr 15 a Stegsvar till prov nr 6.

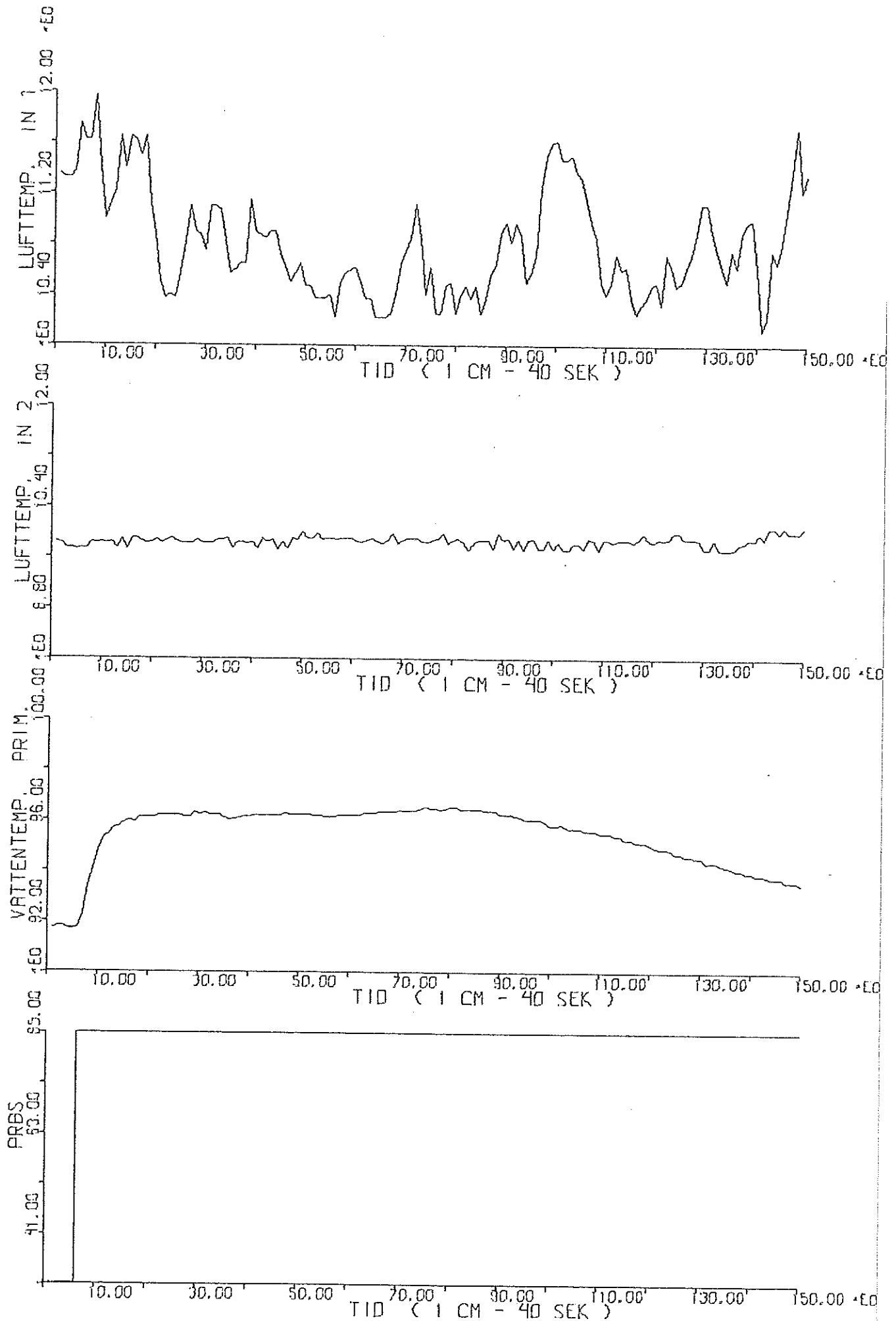


Diagram nr 15 b Stegsvär till prov nr 6.

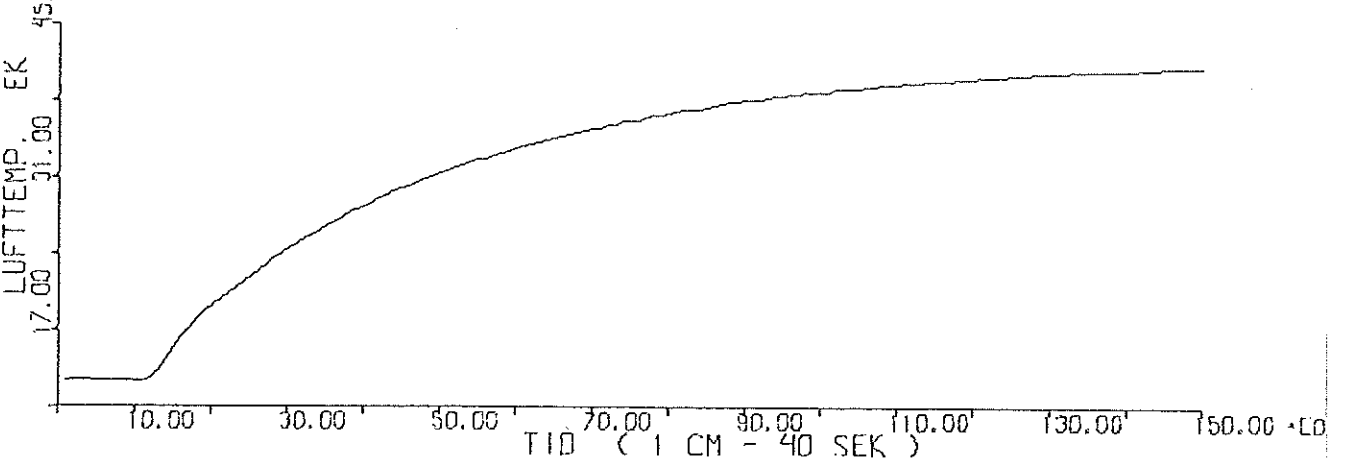
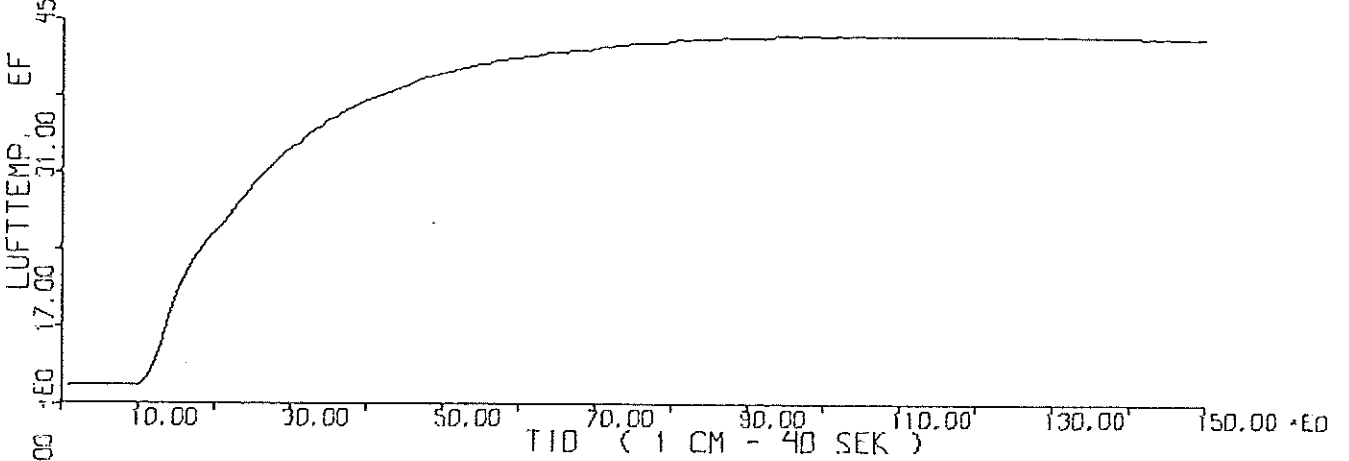
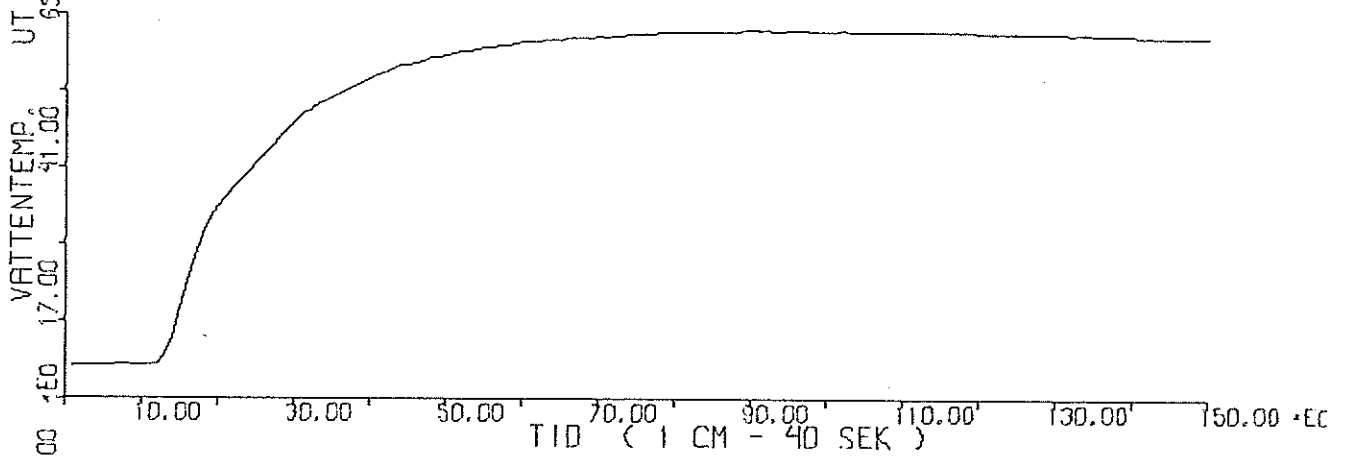
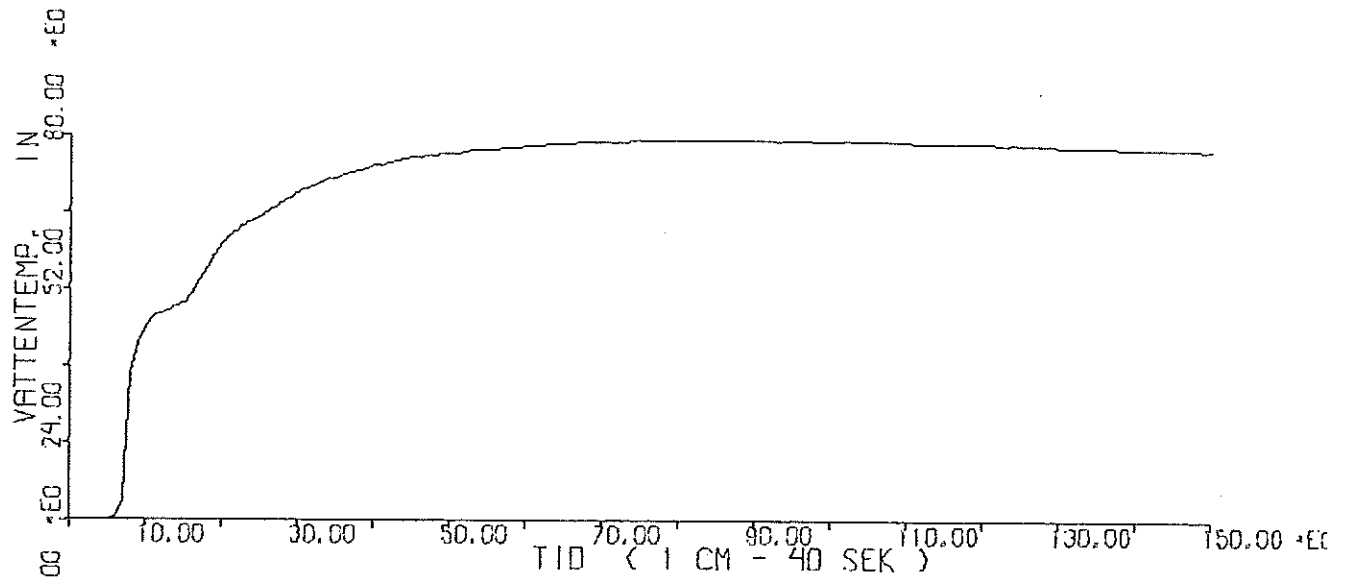
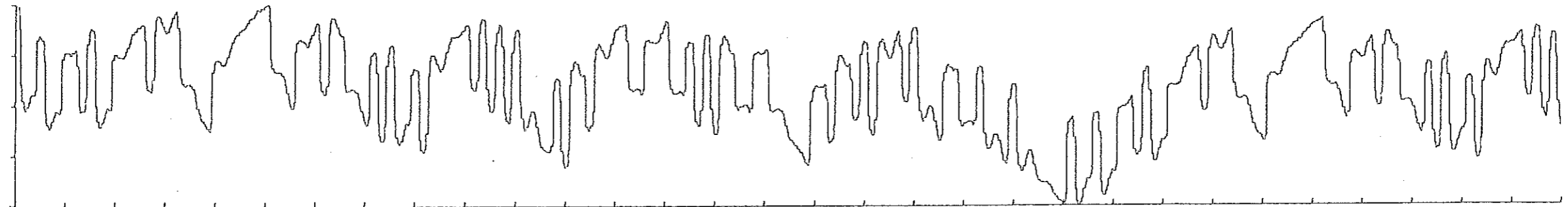


Diagram nr 16 Simulering av 1:a ordningens modell
med 4 sek tidsfördröjning.

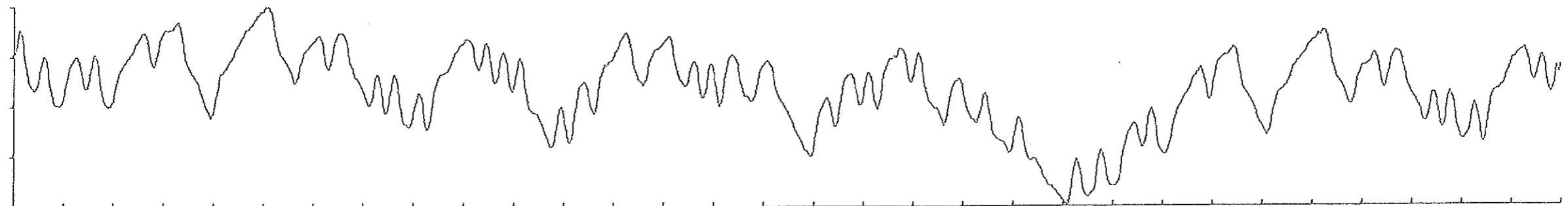
I:a ord.

4 sek

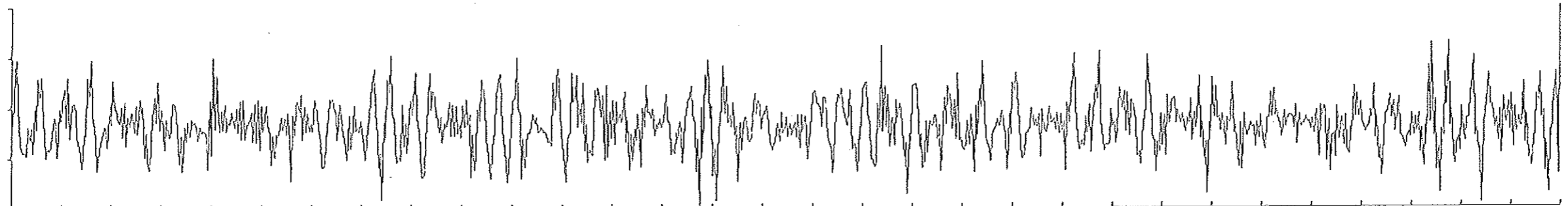
Max
51.49
U
Min
24.98



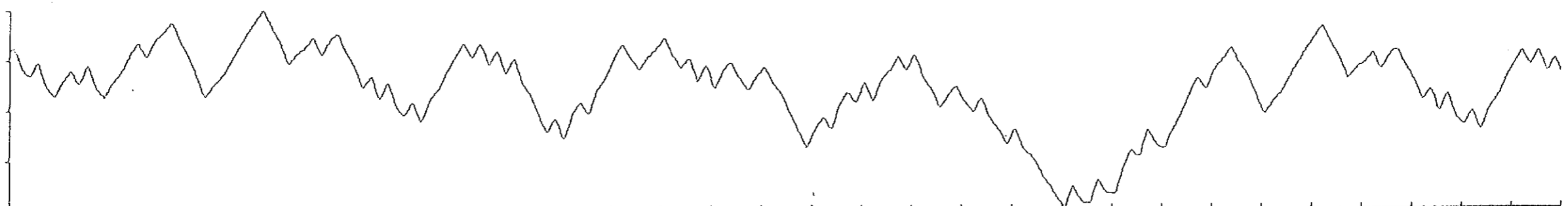
Max
33.00
Y
Min
21.68



Max
0.96
E
Min
-0.70



Max
32.48
YD
Min
21.90



Max
1.73
ERR
Min
-1.54

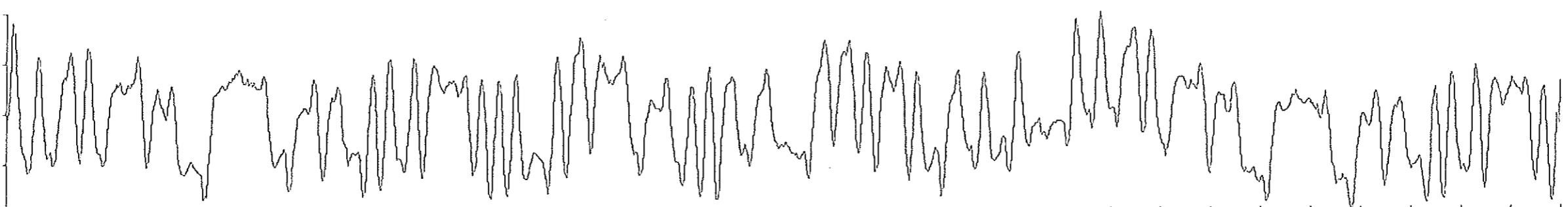
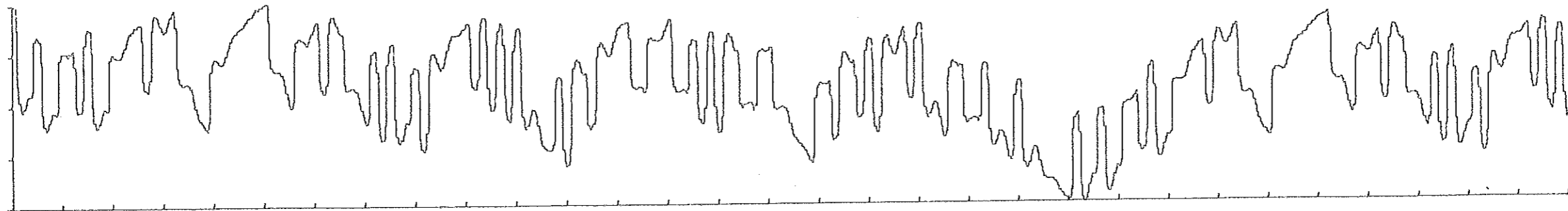


Diagram nr 17 Simulering av 2:a ordningens modell
med 4 sek tidsfördröjning.

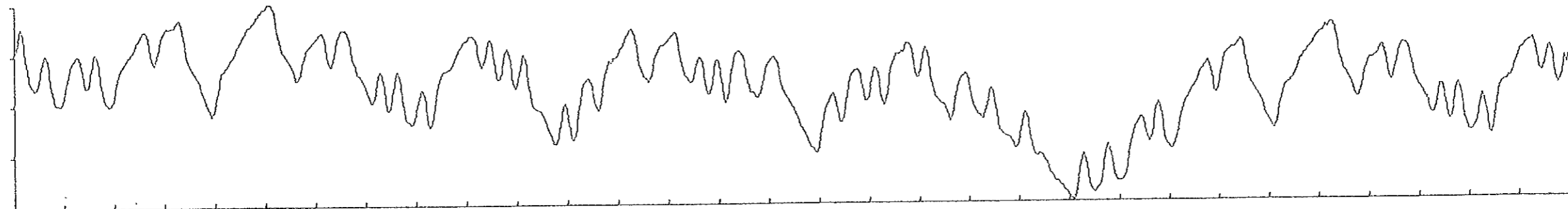
2:a ord.

4 sek

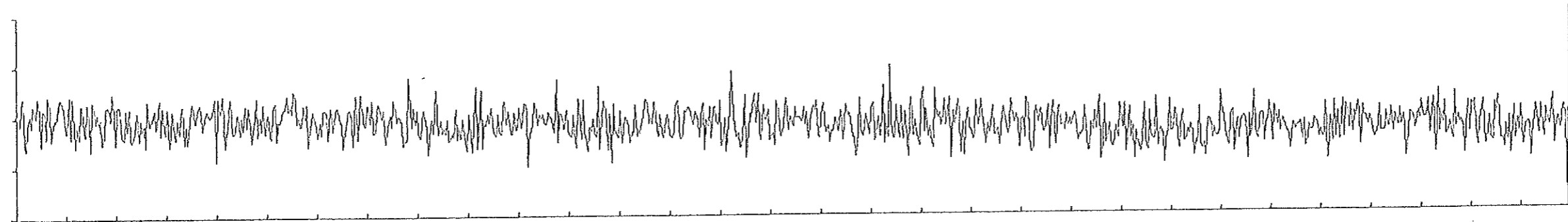
Max
51.49
U
Min
24.98



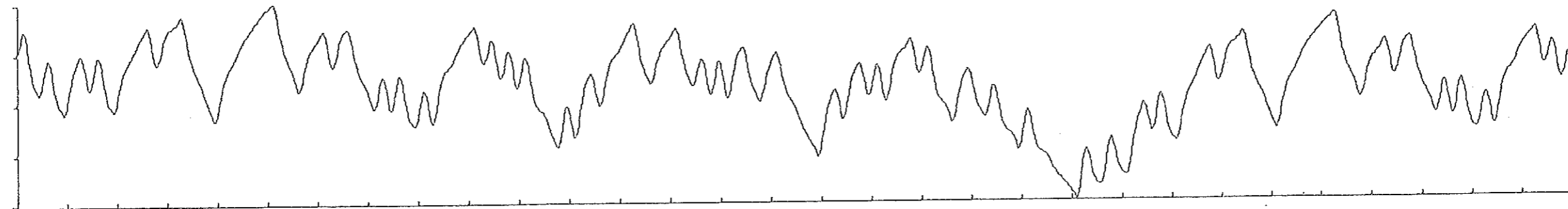
Max
33.00
Y
Min
21.68



Max
0.63
E
Min
-0.52



Max
32.96
YD
Min
21.64



Max
0.79
ERR
Min
-0.83

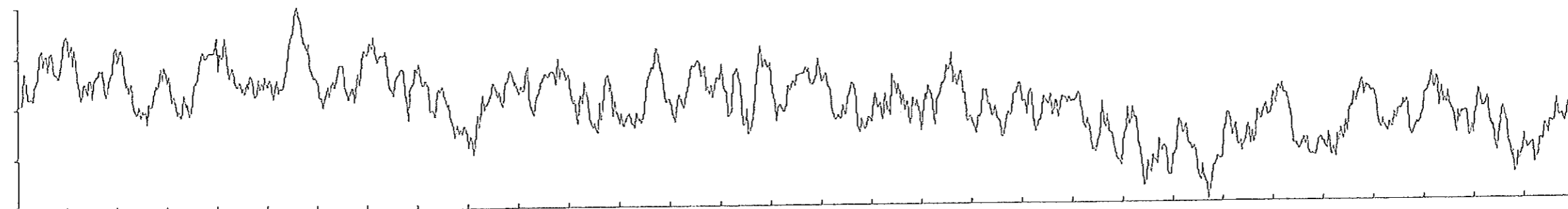
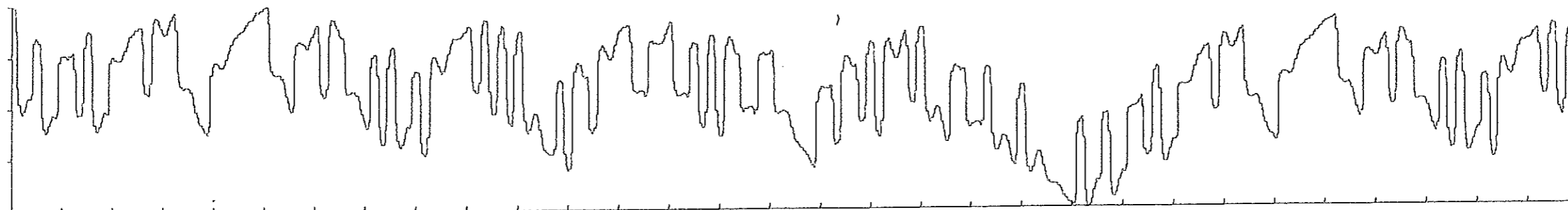


Diagram nr 18 Simulering av 3:e ordningens modell
med 4 sek tidsfördröjning.

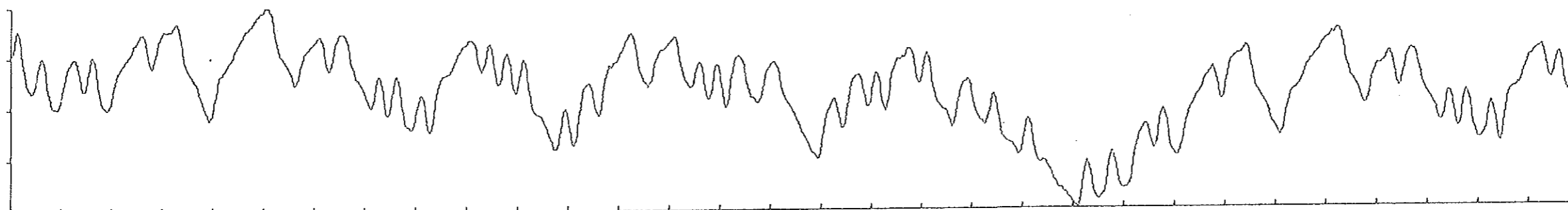
3:e ord.

4 sek

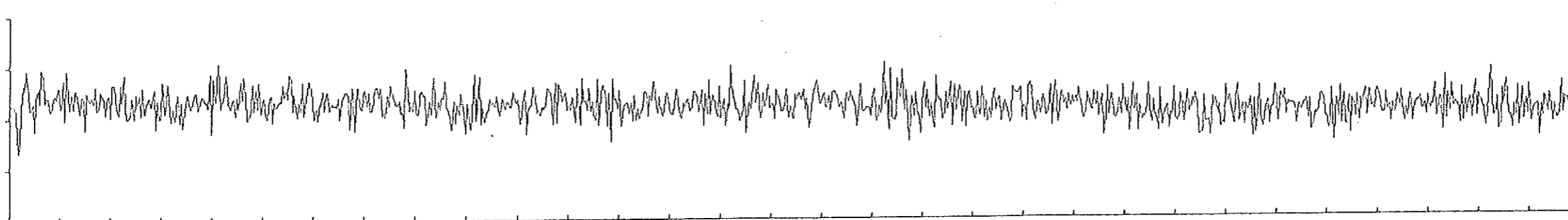
Max
51.49
U
Min
24.98



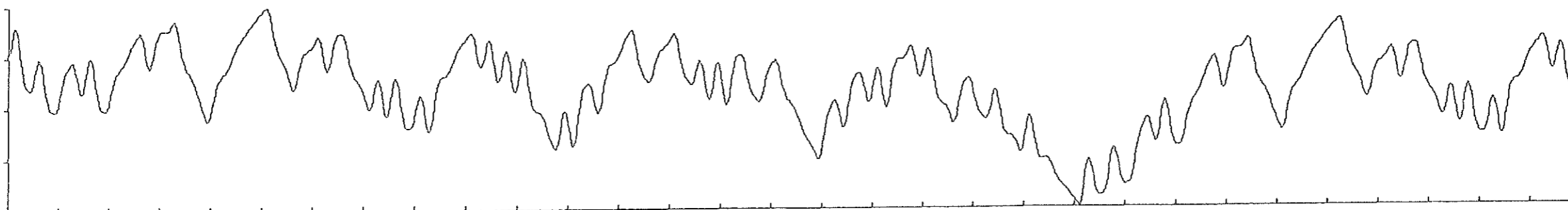
Max
33.00
Y
Min
21.68



Max
0.45
E
Min
-0.58



Max
32.93
YD
Min
21.64



Max
0.49
ERR
Min
-0.75

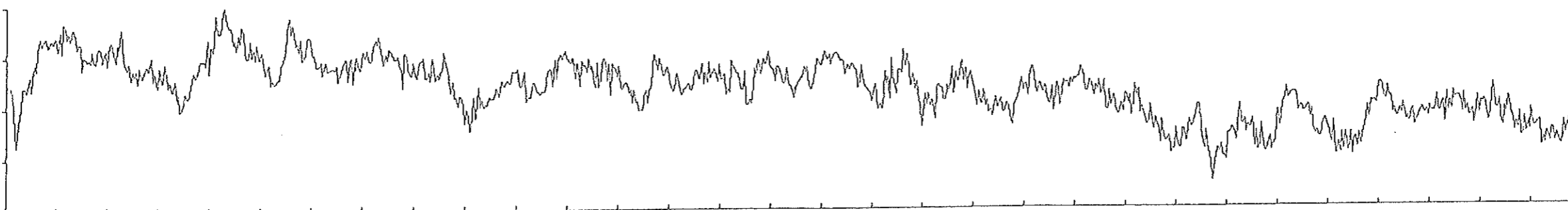
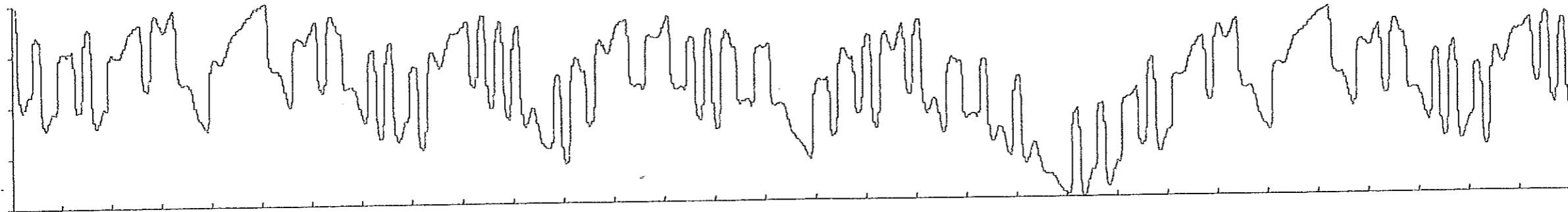


Diagram nr 19 Simulering av 4:e ordningens modell
med 4 sek tidsfördröjning.

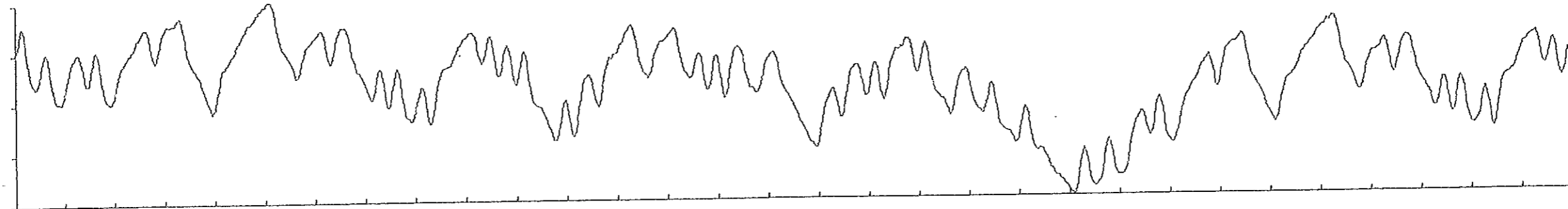
4:e ord.

4 sek

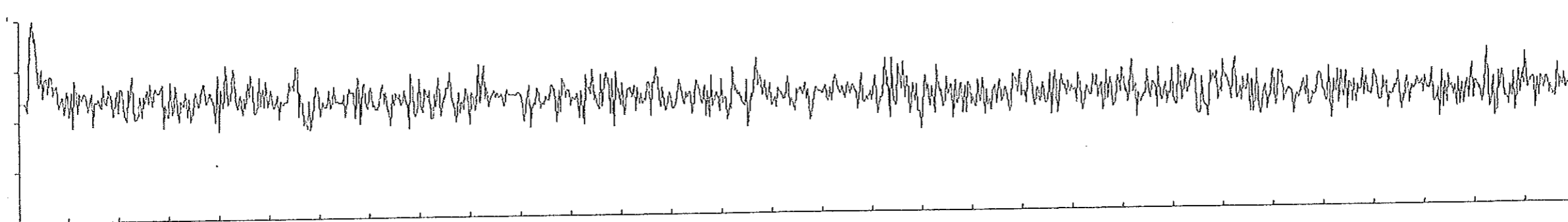
Max
51.49
U
Min
24.98



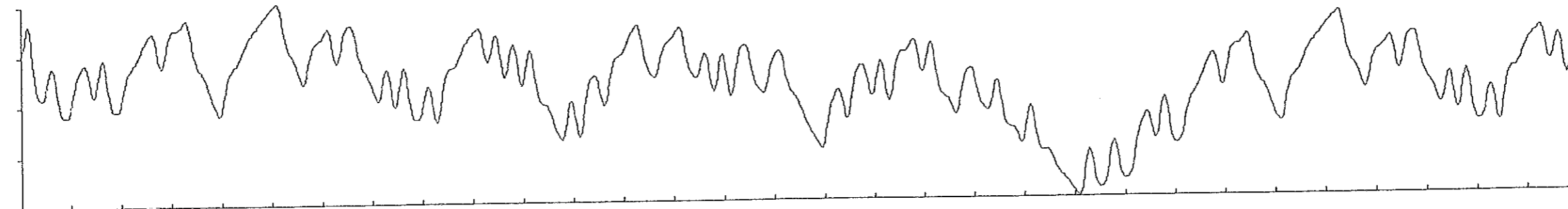
Max
33.00
Y
Min
21.68



Max
0.40
E
Min
-0.57



Max
32.81
YD
Min
21.78



Max
0.84
ERR
Min
-0.70

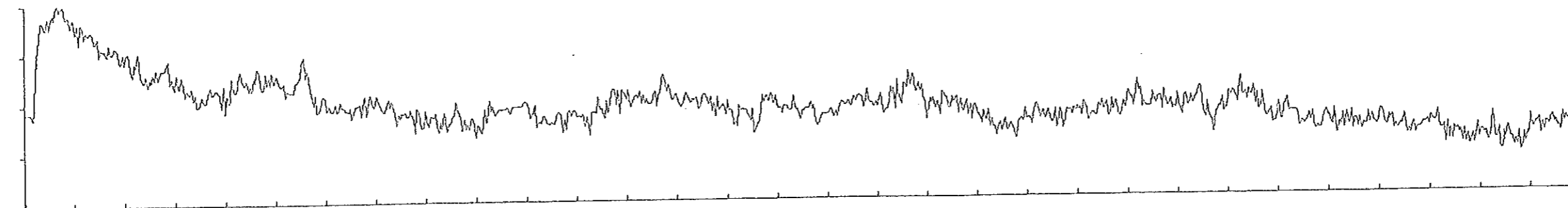
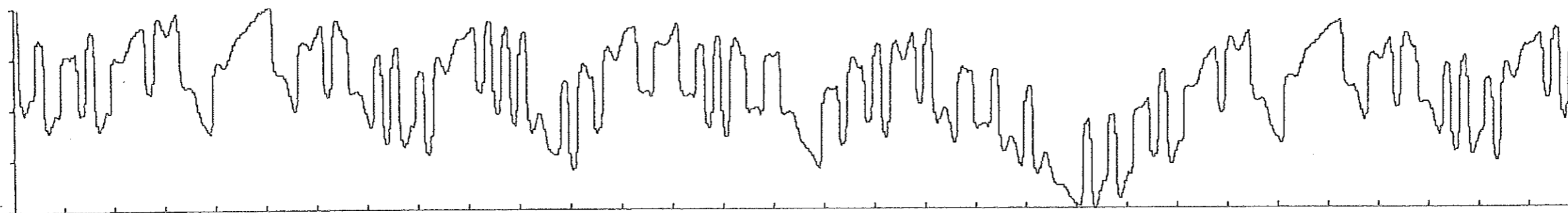


Diagram nr 20 Simulering av 1:a ordningens modell
med 8 sek tidsfördröjning.

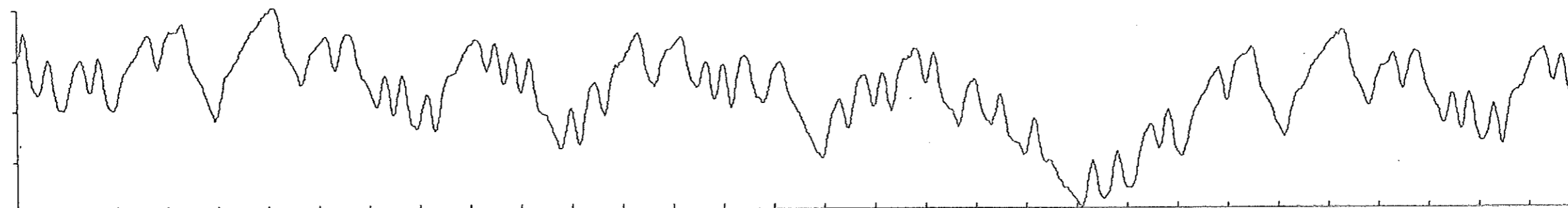
1:a ord.

8 sek

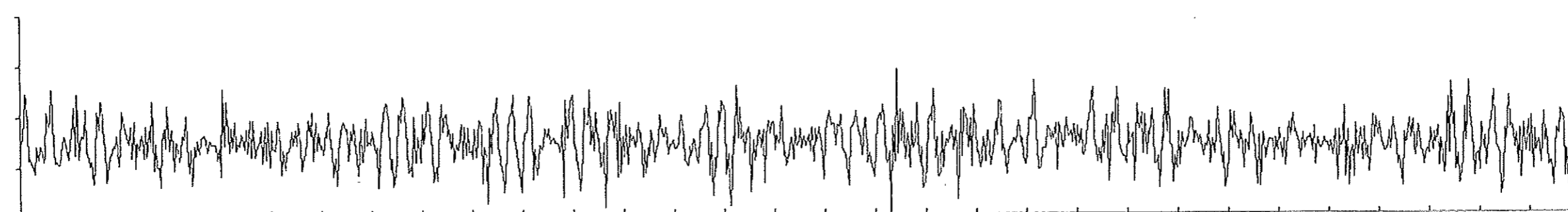
Max
51.49
U
Min
24.98



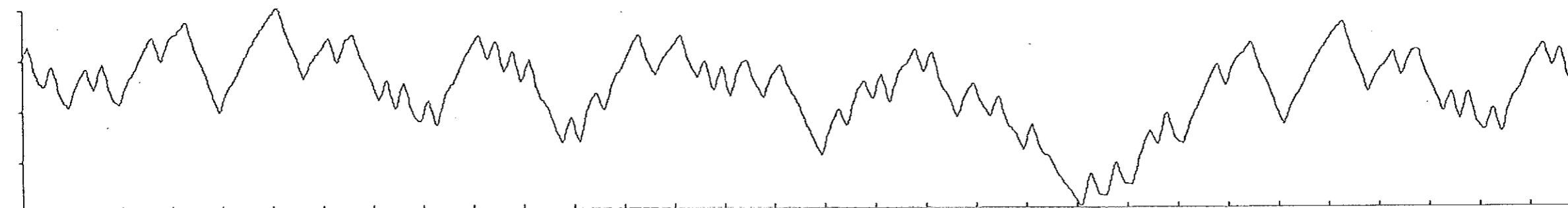
Max
33.00
Y
Min
21.68



Max
0.94
E
Min
-0.53



Max
33.06
YD
Min
21.33



Max
1.35
ERR
Min
-1.10

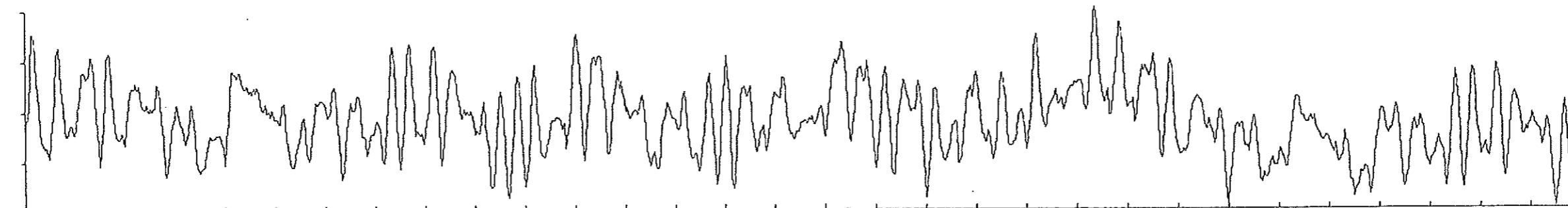


Diagram nr 21 Simulering av 2:a ordningens modell
med 8 sek tidsfördröjning.

2:a ord.

8 sek

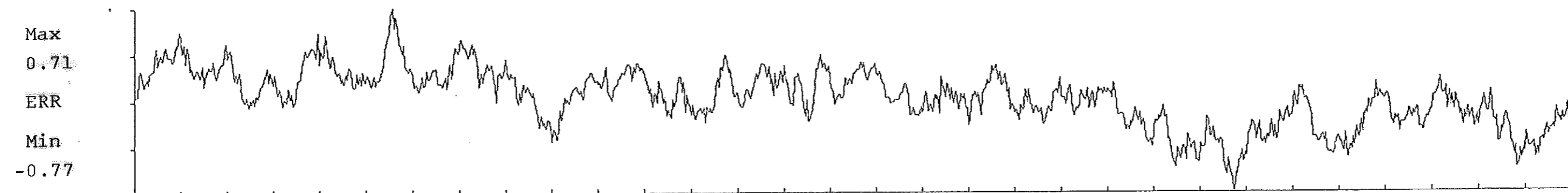
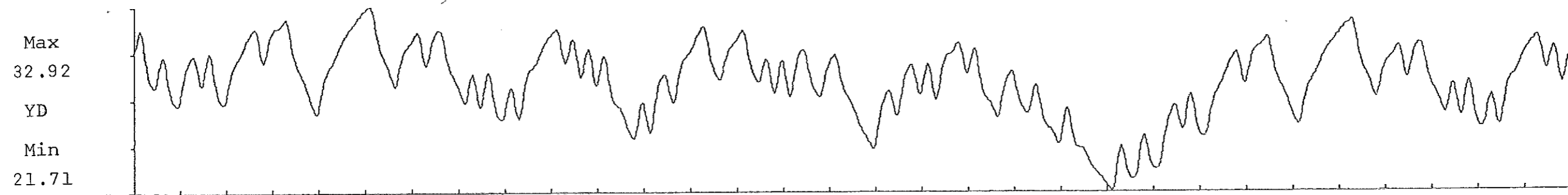
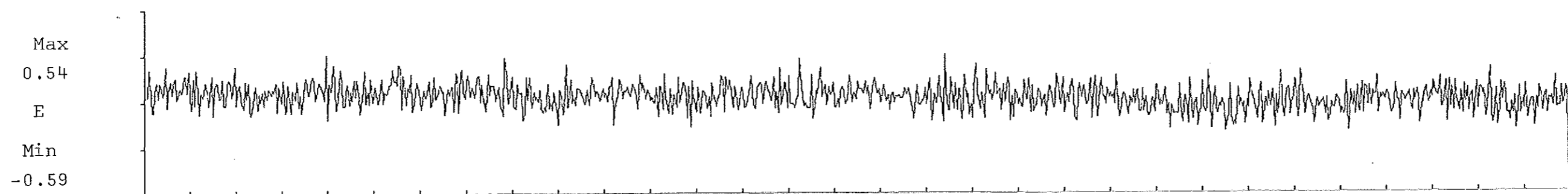
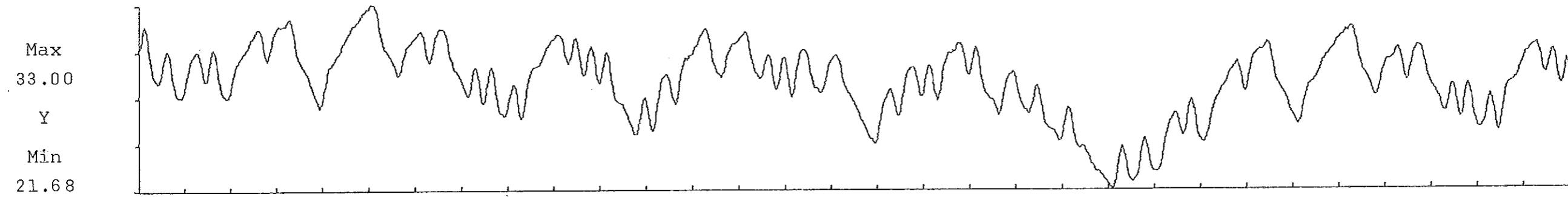
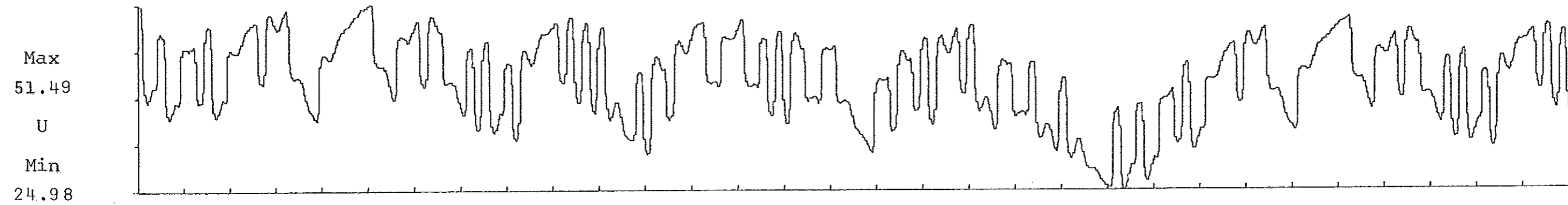
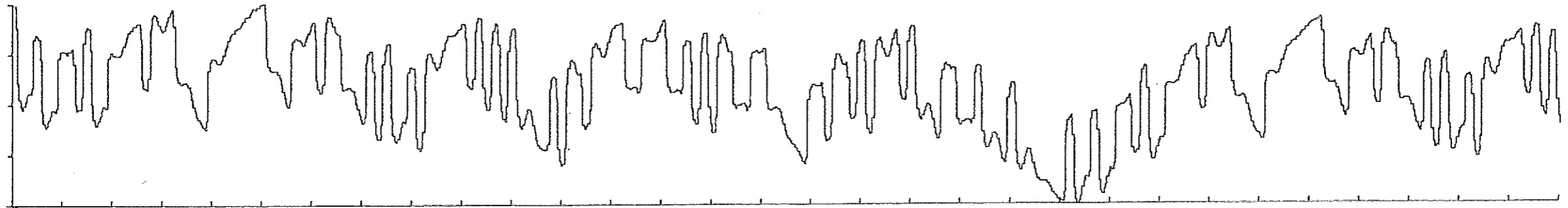


Diagram nr 22 Simulering av 3:e ordningens modell
med 8 sek tidsfördröjning.

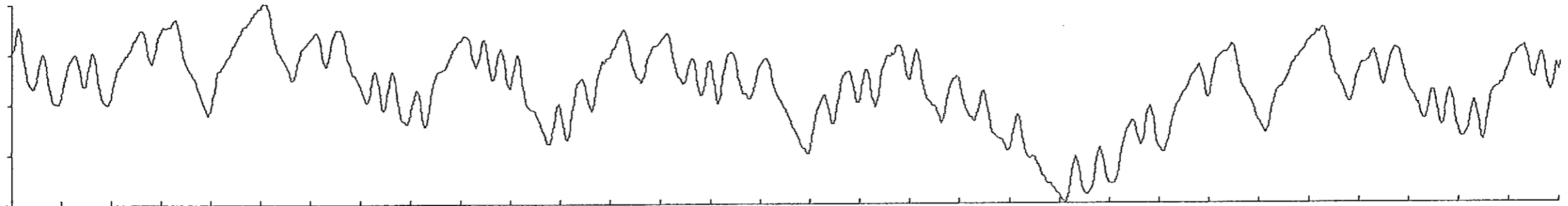
3:e ord.

8 sek

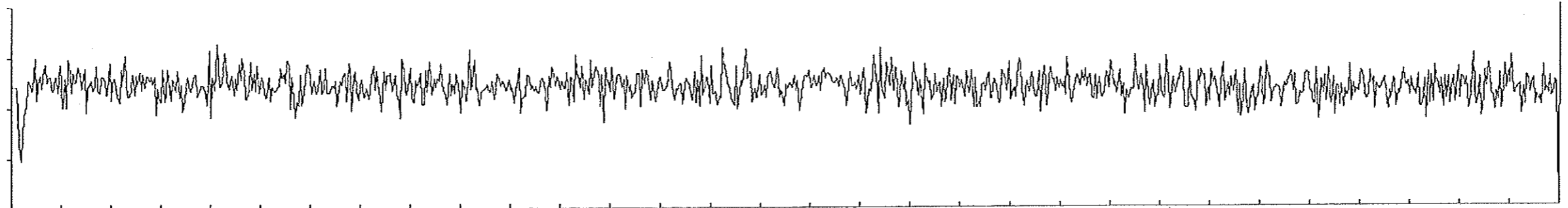
Max
51.49
U
Min
24.98



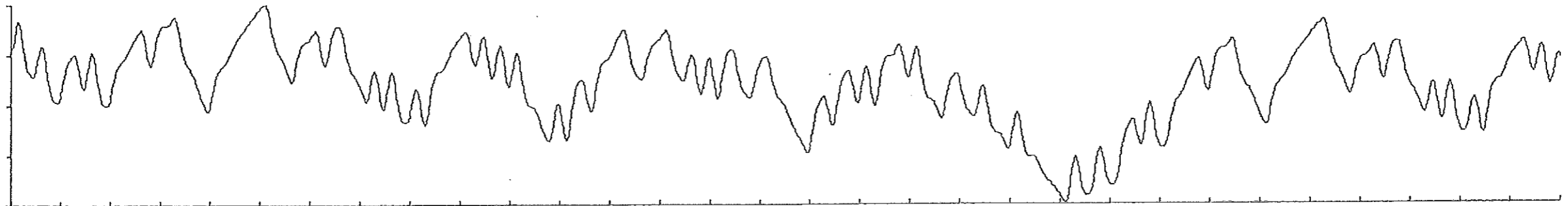
Max
33.00
Y
Min
21.68



Max
0.39
E
Min
-0.59



Max
32.81
YD
Min
21.72



Max
0.42
ERR
Min
-0.79

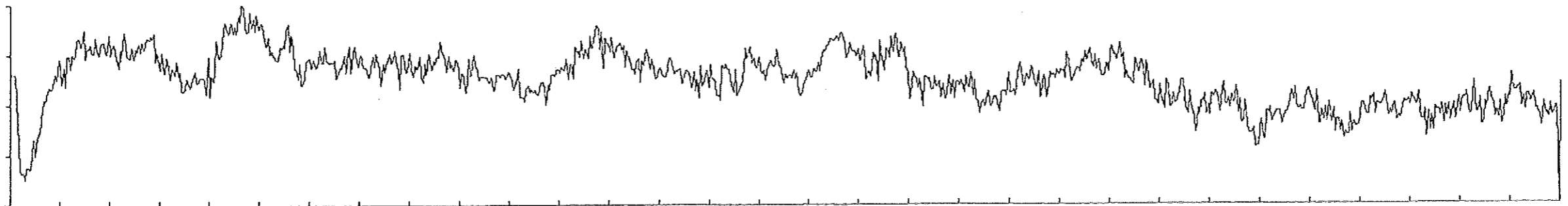
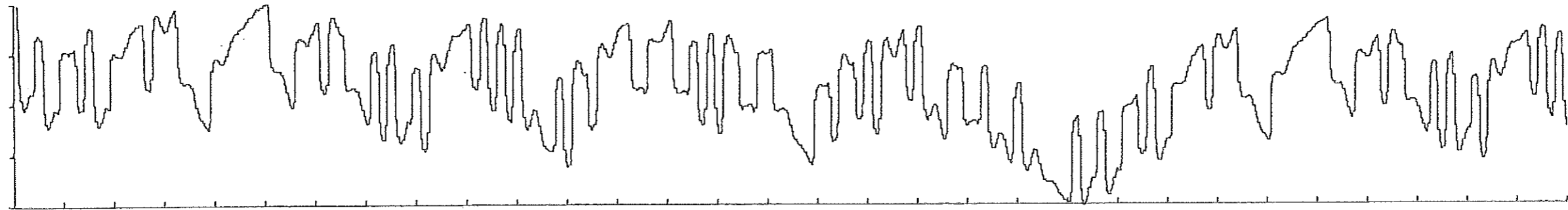


Diagram nr 23 Simulering av 4:e ordningens modell
med 8 sek tidsfördröjning.

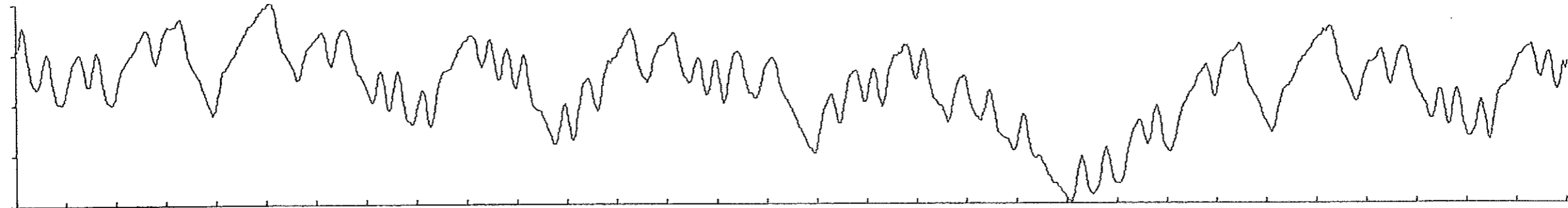
4:e ord.

8 sek

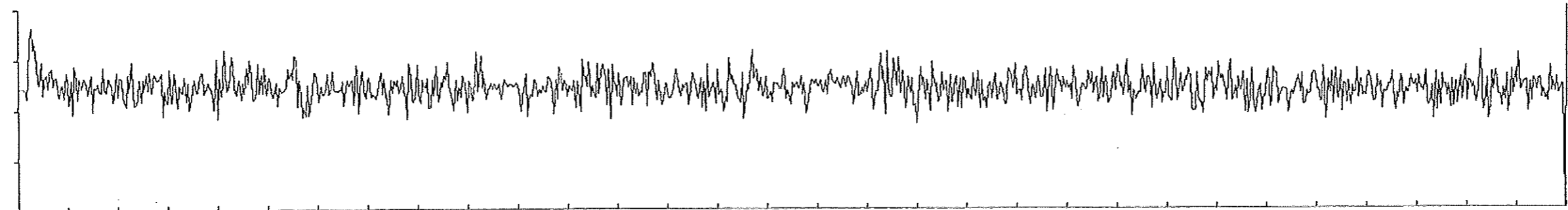
Max
51.49
U
Min
24.98



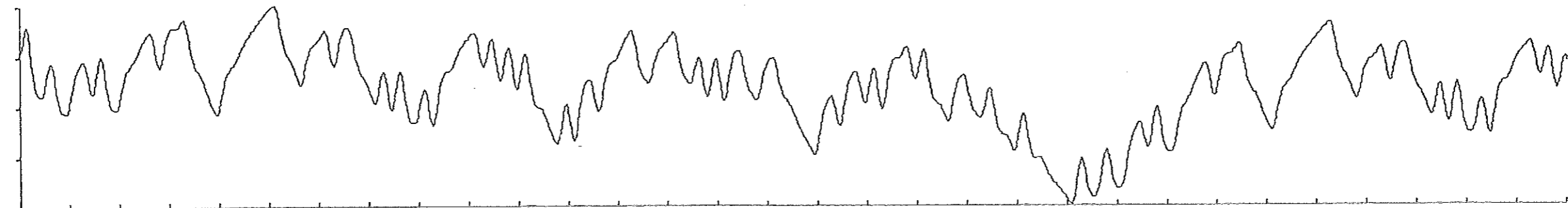
Max
33.00
Y
Min
21.68



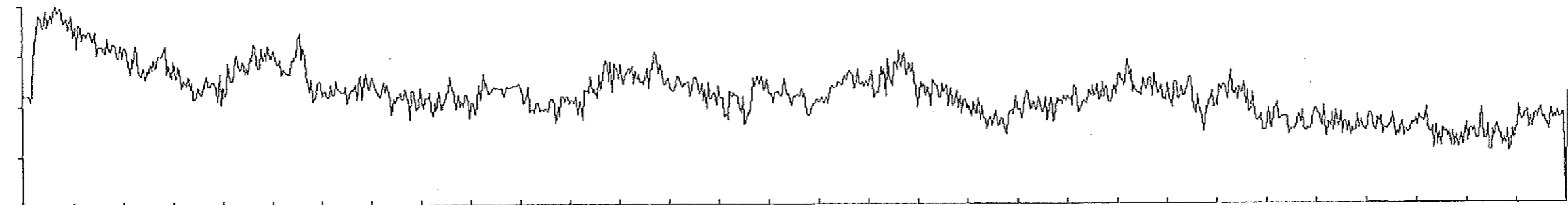
Max
0.38
E
Min
-0.58



Max
32.81
YD
Min
21.77



Max
0.58
ERR
Min
-0.71



Appendix.

INNEHÅLL

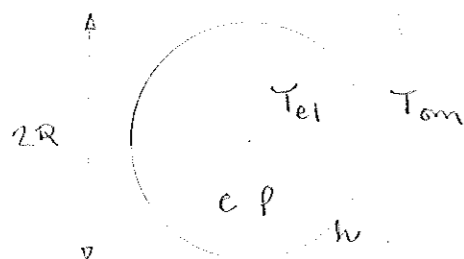
A	Tidskonstant hos termoelement
B	" " rörvägg
C	Värmeledning i termoelement
D	Mörkerstrålning på termoelement i oisolerad plåtkanal
E	Återblandningstidskonstant
F	Beräkning av återinblandning
G	Överslagsberäkning av spektraltäthet hos insignal (PRBS) efter "linjär" ventil och 1:a ord. approximation av ventilen
H	Anläggningens data
I	Tabell över insignalens spektraltäthet.
J	Modelldata.

A Termoelment tidskonstant. (approximativ)

Antag att temperaturen är densamma i hela termoelmenttråden, vilket är en god approximation då värmeledning i tråden är mycket snabbare än värmetransporten från omgivningen. Ett cylinderelement betraktas.

Värmebalansekv. blir

$$\pi \cdot R^2 \cdot dx \cdot \rho \cdot c \cdot T_{el} = \pi \cdot 2 \cdot R \cdot dx \cdot h \cdot (T_{om} - T_{el})$$



Sätt $T' = 2R \cdot \rho \cdot c/h$ och Laplace-transformera.

Då fås följande:

$$T' \cdot \hat{T}_{el} \cdot s = -\hat{T}_{el} + \hat{T}_{om}$$

$$\hat{T}_{el} = \hat{T}_{om} \cdot \frac{1}{1+s T'}$$

Alltså termoelmentets tidskonstant är T'

$$T' = 2R \cdot \rho \cdot c / h$$

B Rörväggstidskonstant (approximativ)

På analogt sätt fås en rörväggs tidskonstant till följande

$$T = d \cdot \rho \cdot c/h$$

d = rörväggens tjocklek

ρ = " täthet

c = " specifika värme

h = värmeövergångstalet mellan rörvägg och vatten

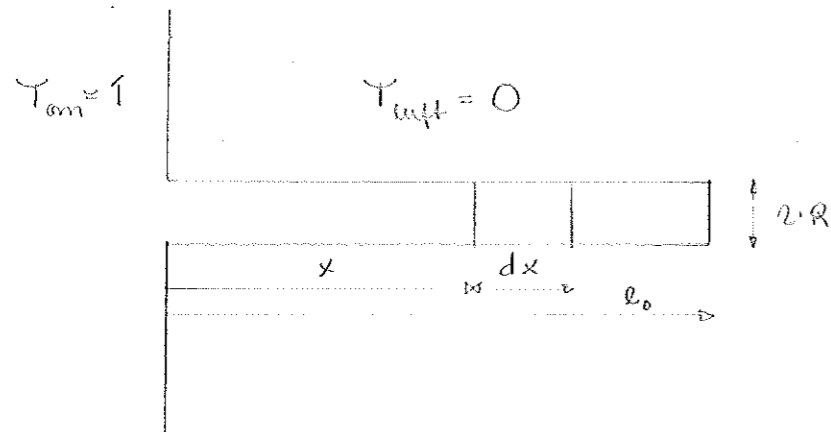
Om med materialvärde för järn och $d = 3$ mm fås beroende på värmeövergångstalet följande:

$$T = 2,2 \text{ sek} \quad \text{om } h = 5000 \text{ W/m}^2 \text{ grad}$$

$$T = 22 \text{ sek} \quad \text{om } h = 500 \text{ W/m}^2 \text{ grad}$$

C Värmeledning inuti termoelement. (statisk)

Ett termoelements temperatur bestäms av huvudsakligen omgivnings-temperaturen, men kan påverkas genom värmeledning i termoelementtråden. Frågeställningen blev då hur mycket måste man avisolera termoelementtråden för att inverkan av värmeledning skall bli mindre än 1% eller 10/100. Antagande enl. fig. termoelementtråden är avisolerad och är i kontakt med en värmekälla.



Värmebalanskv. för cylinderelementet dx blir följande:

$$\pi R^2 \cdot k \cdot \frac{dT}{dx} \Big|_x - \pi R^2 \cdot k \cdot \frac{dT}{dx} \Big|_{x+dx} - 2 \cdot \pi \cdot R \cdot dx \cdot h [T_x - T_{\text{luft}}] = 0$$

Efter förenkling fås

$$\frac{d^2 T_x}{dx^2} = \frac{h \cdot 2}{k \cdot R} \cdot T_x = K^2 \cdot T_x$$

Lösning blir

$$T_x = e^{-Kx} \quad K = \sqrt{\frac{h \cdot 2}{k \cdot R}}$$

Resultat:

l_0 måste minst vara

Inverkan $\leq 1\%$ $\leq 10\%$

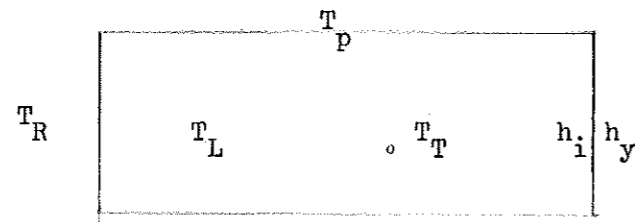
Radie

0,1 mm	139 mm	209 mm
0,7 mm	367 mm	550 mm

D. Mörkerstrålning på termoelement i oisolerad luftkanal.

För att beräkna mörkerstrålningen i luftkanalen måste först plåtkanalens temperatur bestämmas, som fås ur en värmebalansekv. Termoelementstemperatur erhålls också ur en värmebalansekv. Vidare antogs plåtkanalen och termoelementet vara svarta kroppar.

T_T	termoelementtemperatur
T_L	luft- "
T_P	plåt- "
T_R	rums- "
h	värmeövergångstal $\text{w m}^{-2} \text{ grad}^{-1}$



Värmebalansekv. för plåtkanalen blir

$$5,67 \cdot A_P \cdot \left[\left(\frac{T_R}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_P}{100} \right)^4 \right] + h_y \cdot A_P (T_R - T_P) = h_i \cdot A_P (T_P - T_L)$$

Sättes $T_R = 300^{\circ}\text{K}$, $T_L = 270^{\circ}\text{K}$ och $h_y = 4$ (normalt 4-5)

$$T_P = 270 + \frac{280}{8,5 + h_i}$$

$$h_i = 10-100$$

Värmebalansekv. för termoelementet blir

$$5,67 \cdot A_T \cdot \left[\left(\frac{T_P}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_T}{100} \right)^4 \right] = h_i \cdot A_T (T_T - T_L)$$

$T_L = 270^{\circ}\text{K}$ som tidigare

$$T_T = 3,36 \cdot [T_P - 270] / [h_i + 3,36] + 270$$

$$T_T = 3,36 \cdot 280 / (h_i + 8,5)(h_i + 3,36) + 270$$

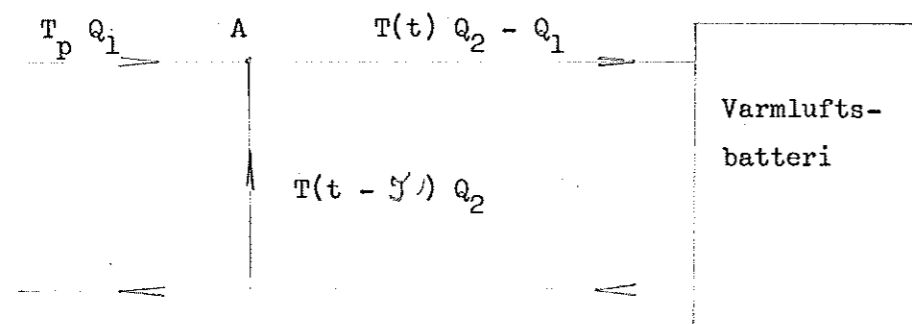
$$\text{för } h_i = 10 \rightarrow T_T = 270 + 3,8$$

$$h_i = 100 \rightarrow T_T = 270 + 0,09$$

E Återblandningstidskonstant. (approximativ)

För att få en approximativ uppskattning av återblandningstidskonstant, antar man att värmebatteriets överföringsfunktion är endast en konstant. Vidare antagande se fig. nedan.

- T temperatur
- Q flöde
- τ recirkulationstid



Värmebalanskv. i punkten A blir

$$T_p \times Q_1 + (Q_2 - Q_1) \times T(t - \tau) \times K = Q_2 \times T(t)$$

Ekv. förenklas genom att sätta:

$$\begin{array}{ll} T_p = 1 & \text{skall vara konstant} \\ Q_2 = 1 & \text{" " "} \\ \tau = 1 & \text{" " "} \end{array}$$

$$T(t) - (1 - Q_1) \cdot K \cdot T(t-1) = Q_1$$

Differanskv. lösning blir

$$T(t) = T_0 \cdot [(1-Q_1) \cdot K]^t + \frac{Q_1}{(1-(1-Q_1)K)}$$

Insvängningstidskonstant fås genom omskrivning av

$$[(1-Q_1) \cdot K]^t \text{ till } e^{\ln((1-Q_1) \cdot K) \cdot t} \quad \text{jfr } e^{-t/T}$$

$$\text{Alltså } T = -(\ln((1-Q_1)K))^{-1}$$

om recirkulationstiden är en tidsenhet, men allmännare fås

$$T = -1 / \ln((1-Q_1) \cdot K)$$

Beräknade återblandningstidskonstanter.

$$= 40 \text{ sek. (uppskattad)}$$

$K = 0,8$ ("försvagningen" uppskattad modellen antages vara proportionell)

U inblandning av primärvatten beräknad ur samtliga data (se appendix F).

Resultat:

$$T_{\min} = 125(129) \text{ sek } (U = 0,10)$$

$$T_{\text{medel}} = 83 (90) \text{ sek } (U = 0,25)$$

$$T_{\max} = 45 (50) \text{ sek } (U = 0,50)$$

Jämför med ur stegsvaren uppskattade tidskonstanter inom parantes.

F Beräkning av återinblandning.

Genom att summera alla invatten-, utvatten- och primärvatten-temperaturer, kunde återblandningen beräknas. Primärvattnet summerades ej när ventilen var stängd, utan återblandning var då 1,0. Detta gjordes under 10 tidsperioder av PRBS-sekvenser och stegsvar. Stegsvaren till prov nr 4-6 ger den bästa noggrannheten, då dessa är ett insvängningsförlopp mot stationärt tillstånd, i vilket återinblandning borde beräknats. Tidsfördröjningar har försumrats.

Resultat av återinblandningsberäkning

Prov	nr 1	nr 2	nr 3
	.92790229	.77860609	.55928392
	.92201062	.77439031	.52386730
	.92511378	.76432360	.53816680
	.91959103	.78188686	.53278541
	.91955023	.75432601	.52013293
	.92307061	.78155234	.53544701
	.89991685	.77684776	.50769119
	.92501422	.78064644	.55720931
	.92275081	.76604575	.53240221
	.91660380	.77361507	.53323621
Medelvärde	.92015258	.77322400	.53402221
Prov	nr 4	nr 5	nr 6
	.91302008	.81240838	.58133254
	.89880817	.78141493	.50636595
	.90160064	.79410365	.51940716
	.90087149	.77627158	.50664285
	.89605141	.77846335	.50092620
	.90162041	.79608770	.54011230
	.88355096	.76209579	.47999988
	.90135161	.79847877	.53715188
	.89986283	.78624693	.51517231
	.89707839	.77747097	.50762621
Medelvärde	.89938157	.78630418	.51947372
Tillhörande	.98435835	.86276772	.77843260
	.92007110	.80582425	.58065755
	.91811492	.79173451	.53346770
stegsvar	.91326190	.78138069	.51160300
	.91052698	.77613514	.50090463
	.90969995	.77436917	.50187187
	.90837175	.77617206	.50173868
	.90819710	.77354453	.50154175
	.90653744	.77165026	.50128727
	.90597974	.77504139	.50188769

$$G(i\omega) \cdot G(-i\omega)$$

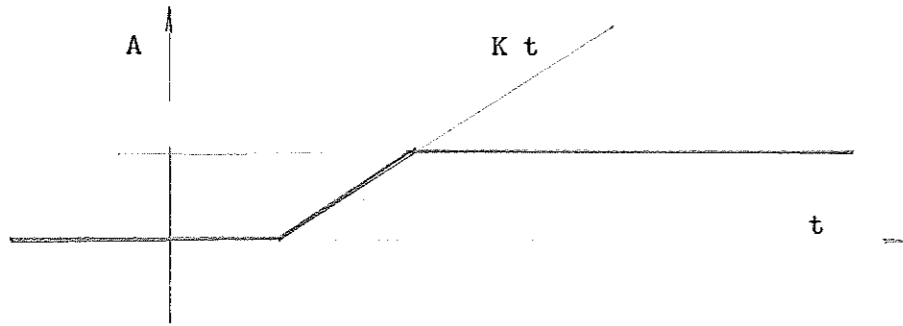


$$\frac{1}{1 + \omega^2 T^2}$$



G Överslagsberäkning på spektraltäthet.

Frågeställning: hur förändras spektraltätheten hos PRBS, om den får passera ett system, som har ett stegsvar som nedan:



Systemets överföringsfunktion är

$$G(s) = \frac{K}{s \cdot A} [1 - e^{-s \cdot A/K}]$$

$G(s)$ är asymmetriskt stabil och ϕ_{efter} fås då som $\phi_{\text{efter}} = \phi_{\text{före}} \cdot G(i\omega) \cdot G(-i\omega)$

$$\phi_{\text{efter}} = \phi_{\text{före}} \cdot \frac{K^2}{\omega^2 \cdot A^2} \cdot 2 \cdot [1 - \cos(\omega A/K)]$$

$$\phi_{\text{efter}} = \phi_{\text{före}} F(\omega, K/A)$$

$F(\omega, A/K)$ är plottad i diagram G,1).

ω 0,0 - 0,314 rad/sek

A/K 1,2,5 och 10 sek

Samma sak gjord för ett första ordningens system med olika tidskonstanter 1,2,5 och 10 sek. Se diagram G,2.

H Data.

Amläggning finns i tidningen i Arbetets ombyggnads del och betecknas TA 2I.

Adressen är: Bergsgatan 20
Box 125 MALMÖ 1

KOMPONENTER.

1. Filter
Filterkvalitet 3 klass F1

2. Fläkt
KSA 050-110
kapacitet 4000 m³/h
(ger uppvärmning av luften med omkring 0,5^o)

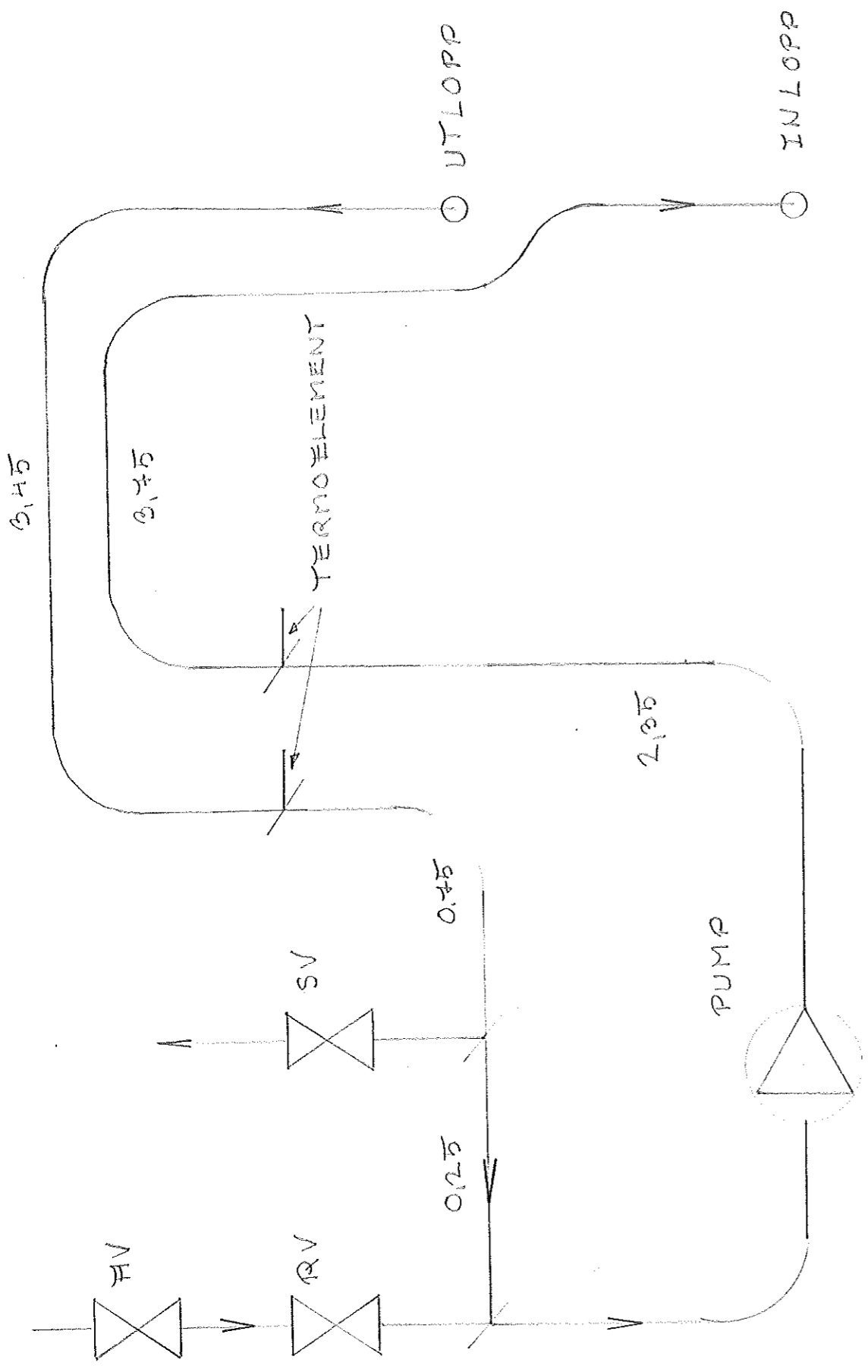
3. Ljudfälla
Längd 2000 mm
diameter 450 mm
plåttjocklek ?
isolering 100 mm
Inga hinder i själva röret (ø450 mm)
Kanalen är perforerad till 40%.

4. Luftkanal
Lufthastighet 7 m/sek
längd 25,35 m
(ljudfälla inräknad)
diameter 450 mm
plåttjocklek
isolering 30 mm

5. Varmlufts batteri
KSA 050-310
PKB 105 3 djup
batterimått inre 1000 x 500 x 175 mm
värmeyta 28,4 m²
vikt 57 kg
kopparrör innerdiam. 12,5 mm
" yttre " 13,5 mm
aluminiumlamell tjocklek 0,3 mm
lamellavstånd 3,7 mm
vatteninnehåll 5,7 liter
rörkretslängd 3,34 m

6. Pump
Pumphus VM 31
pumphjul 625
pumpmotor 930 varv/min

7. Reglerventil
NP 16-20



VATTENRÖRSKEMÅ
MÅTT I METER.

SPEKTRALTÄTHET HOS PRBS MED N=127 OCH T=20 SEK.

FREKVENNS NR	FREKVENNS I HZ	AMPLITUD	87
0	.0000000000	.0000620001	
1	.0003937008	.0079343969	
2	.0007874016	.0079295426	
3	.0011811024	.0079214575	
4	.0015748031	.0079101496	
5	.0019685039	.0078956297	
6	.0023622047	.0078779123	
7	.0027559055	.0078570143	
8	.0031496063	.0078329565	
9	.0035433071	.0078057622	
10	.0039370079	.0077754580	
11	.0043307086	.0077420730	
12	.0047244094	.0077056405	
13	.0051181102	.0076661952	
14	.0055118110	.0076237756	
15	.0059055118	.0075784228	
16	.0062992126	.0075301807	
17	.0066929134	.0074790959	
18	.0070866141	.0074252178	
19	.0074803149	.0073685978	
20	.0078740157	.0073092908	
21	.0082677165	.0072473530	
22	.0086614173	.0071828439	
23	.0090551181	.0071158253	
24	.0094488189	.0070463603	
25	.0098425196	.0069745155	
26	.0102362204	.0069003581	
27	.0106299212	.0068239585	
28	.0110236220	.0067453881	
29	.0114173228	.0066647208	
30	.0118110236	.0065820313	
31	.0122047244	.0064973971	
32	.0125984251	.0064108961	
33	.0129921259	.0063226082	
34	.0133858267	.0062326144	
35	.0137795275	.0061409971	
36	.0141732283	.0060478396	
37	.0145669291	.0059532262	
38	.0149606299	.0058572421	
39	.0153543307	.0057599734	
40	.0157480314	.0056615068	
41	.0161417322	.0055619297	
42	.0165354330	.0054613294	
43	.0169291338	.0053597944	
44	.0173228346	.0052574128	
45	.0177165354	.0051542732	
46	.0181102362	.0050504641	
47	.0185039369	.0049460740	
48	.0188976377	.0048411910	
49	.0192913385	.0047359032	
50	.0196850393	.0046302982	
51	.0200787401	.0045244630	
52	.0204724409	.0044184841	
53	.0208661417	.0043124475	
54	.0212598424	.0042064382	
55	.0216535432	.0041005402	
56	.0220472440	.0039948369	
57	.0224409448	.0038894104	
58	.0228346456	.0037843414	
59	.0232283464	.0036797098	

60	.0236220472	.0035755938
61	.0240157479	.0034720705
62	.0244094487	.0033692153
63	.0248031495	.0032671019
64	.0251968503	.0031658025
65	.0255905511	.0030653878
66	.0259842519	.0029659262
67	.0263779527	.0028674844
68	.0267716534	.0027701275
69	.0271653542	.0026739181
70	.0275590550	.0025789172
71	.0279527558	.0024851832
72	.0283464566	.0023927728
73	.0287401574	.0023017403
74	.0291338582	.0022121375
75	.0295275589	.0021240144
76	.0299212597	.0020374183
77	.0303149605	.0019523943
78	.0307086613	.0018689848
79	.0311023621	.0017872303
80	.0314960629	.0017071684
81	.0318897637	.0016288344
82	.0322834644	.0015522611
83	.0326771652	.0014774788
84	.0330708660	.0014045153
85	.0334645668	.0013333960
86	.0338582676	.0012641433
87	.0342519684	.0011967778
88	.0346456692	.0011313172
89	.0350393699	.0010677765
90	.0354330707	.0010061688
91	.0358267715	.0009465041
92	.0362204723	.0008887904
93	.0366141731	.0008330330
94	.0370078739	.0007792350
95	.0374015747	.0007273970
96	.0377952754	.0006775172
97	.0381889762	.0006295917
98	.0385826770	.0005836142
99	.0389763778	.0005395760
100	.0393700786	.0004974666
101	.0397637794	.0004572731
102	.0401574802	.0004189804
103	.0405511810	.0003825718
104	.0409448817	.0003480281
105	.0413385825	.0003153285
106	.0417322833	.0002844502
107	.0421259841	.0002553687
108	.0425196849	.0002280576
109	.0429133857	.0002024889
110	.0433070865	.0001786330
111	.0437007872	.0001564586
112	.0440944880	.0001359331
113	.0444881888	.0001170225
114	.0448818896	.0000996912
115	.0452755904	.0000839026
116	.0456692912	.0000696188
117	.0460629920	.0000568008
118	.0464566927	.0000454084
119	.0468503935	.0000354007
120	.0472440943	.0000267357
121	.0476377951	.0000193706
122	.0480314959	.0000132619
123	.0484251967	.0000083656

124	.0488188975	.0000046367
125	.0492125982	.0000020300
126	.0496062990	.0000004998
127	.0499999998	.0000000000
128	.0503937006	.0000004843
129	.0507874014	.0000019060
130	.0511811022	.0000042185
131	.0515748030	.0000073750
132	.0519685037	.0000113287
133	.0523622045	.0000160328
134	.0527559053	.0000214410
135	.0531496061	.0000275067
136	.0535433069	.0000341840
137	.0539370077	.0000414271
138	.0543307085	.0000491909
139	.0547244092	.0000574304
140	.0551181100	.0000661014
141	.0555118108	.0000751602
142	.0559055116	.0000845638
143	.0562992124	.0000942700
144	.0566929132	.0001042370
145	.0570866140	.0001144243
146	.0574803147	.0001247919
147	.0578740155	.0001353009
148	.0582677163	.0001459132
149	.0586614171	.0001565919
150	.0590551179	.0001673010
151	.0594488187	.0001780055
152	.0598425195	.0001886718
153	.0602362202	.0001992670
154	.0606299210	.0002097599
155	.0610236218	.0002201201
156	.0614173226	.0002303185
157	.0618110234	.0002403273
158	.0622047242	.0002501201
159	.0625984250	.0002596716
160	.0629921257	.0002689578
161	.0633858265	.0002779562
162	.0637795273	.0002866454
163	.0641732281	.0002950055
164	.0645669289	.0003030178
165	.0649606297	.0003106651
166	.0653543305	.0003179315
167	.0657480313	.0003248023
168	.0661417320	.0003312643
169	.0665354328	.0003373056
170	.0669291336	.0003429156
171	.0673228344	.0003480849
172	.0677165352	.0003528057
173	.0681102360	.0003570711
174	.0685039368	.0003608759
175	.0688976375	.0003642156
176	.0692913383	.0003670875
177	.0696850391	.0003694898
178	.0700787399	.0003714218
179	.0704724407	.0003728841
180	.0708661415	.0003738786
181	.0712598423	.0003744078
182	.0716535430	.0003744757
183	.0720472438	.0003740873
184	.0724409446	.0003732483
185	.0728346454	.0003719656
186	.0732283462	.0003702471
187	.0736220470	.0003681014

188	.0740157478	.0003655380
189	.0744094485	.0003625672
190	.0748031493	.0003592002
191	.0751968501	.0003554488
192	.0755905509	.0003513255
193	.0759842517	.0003468435
194	.0763779525	.0003420166
195	.0767716533	.0003368592
196	.0771653540	.0003313860
197	.0775590548	.0003256125
198	.0779527556	.0003195544
199	.0783464564	.0003132278
200	.0787401572	.0003066493
201	.0791338580	.0002998358
202	.0795275588	.0002928042
203	.0799212595	.0002855718
204	.0803149603	.0002781561
205	.0807086611	.0002705747
206	.0811023619	.0002628453
207	.0814960627	.0002549856
208	.0818897635	.0002470133
209	.0822834643	.0002389461
210	.0826771650	.0002308016
211	.0830708658	.0002225974
212	.0834645666	.0002143509
213	.0838582674	.0002060791
214	.0842519682	.0001977992
215	.0846456690	.0001895277
216	.0850393698	.0001812813
217	.0854330705	.0001730758
218	.0858267713	.0001649272
219	.0862204721	.0001568508
220	.0866141729	.0001488616
221	.0870078737	.0001409742
222	.0874015745	.0001332026
223	.0877952753	.0001255605
224	.0881889760	.0001180610
225	.0885826768	.0001107167
226	.0889763776	.0001035395
227	.0893700784	.0000965411
228	.0897637792	.0000897323
229	.0901574800	.0000831234
230	.0905511808	.0000767241
231	.0909448816	.0000705435
232	.0913385823	.0000645901
233	.0917322831	.0000588716
234	.0921259839	.0000533954
235	.0925196847	.0000481678
236	.0929133855	.0000431947
237	.0933070863	.0000384814
238	.0937007871	.0000340323
239	.0940944878	.0000298515
240	.0944881886	.0000259420
241	.0948818894	.0000223066
242	.0952755902	.0000189470
243	.0956692910	.0000158646
244	.0960629918	.0000130601
245	.0964566926	.0000105334
246	.0968503933	.0000082839
247	.0972440941	.0000063104
248	.0976377949	.0000046112
249	.0980314957	.0000031837
250	.0984251965	.0000020250
251	.0988188973	.0000011316

252	.0992125981	.0000004995
253	.0996062988	.0000001240
254	.0999999996	.0000000000

J Modelldata

Innehåll

Ordningstalstest

Erhållna diskreta modeller

" kontinuerliga modeller

" " modellens statistiska förstärkningar

" kontinuerliga modellens tidskonstanter

Ordningstalstest

4 sek tidsfördröjning

Ordningstal	Förlustfunktion	Testkvantitet
1:a	20,13	1228
2:a	4,04	194
3:e	2,47	83
4:e	1,97	3
5:e	1,94	

8 sek tidsfördröjning

Ordningstal	Förlustfunktion	Testkvantitet
1:a	11,86	838
2:a	3,19	137
3:e	2,20	54
4:e	1,95	(1,3)
5:e	(1,95)	

Erhållna diskreta modeller

4 sek tidsfördröjning

1:a ordningen

$$\begin{aligned} a_1 &= -0,926 \pm 0,006 \\ b_1 &= 0,038 \pm 0,002 \\ c_1 &= 0,59 \pm 0,02 \\ \lambda &= 0,208 \end{aligned}$$

2:a ordningen

$$\begin{aligned} a_1 &= -1,43 \pm 0,01 \\ a_2 &= 0,52 \pm 0,01 \\ b_1 &= -0,017 \pm 0,001 \\ b_2 &= 0,059 \pm 0,002 \\ c_1 &= -0,58 \pm 0,04 \\ c_2 &= 0,25 \pm 0,04 \\ \lambda &= 0,093 \end{aligned}$$

3:e ordningen

$$\begin{aligned} a_1 &= -2,07 \pm 0,04 \\ a_2 &= 1,54 \pm 0,06 \\ a_3 &= -0,43 \pm 0,02 \\ b_1 &= -0,008 \pm 0,001 \\ b_2 &= 0,043 \pm 0,004 \\ b_3 &= -0,014 \pm 0,004 \\ c_1 &= -1,47 \pm 0,06 \\ c_2 &= 0,82 \pm 0,06 \\ c_3 &= -0,03 \pm 0,03 \\ \lambda &= 0,073 \end{aligned}$$

4:e ordningen

$$\begin{aligned} a_1 &= -2,74 \pm 0,04 \\ a_2 &= 2,87 \pm 0,08 \\ a_3 &= -1,40 \pm 0,07 \\ a_4 &= 0,29 \pm 0,02 \\ b_1 &= 0,0 \pm 0,001 \\ b_2 &= 0,019 \pm 0,003 \\ b_3 &= 0,0019 \pm 0,0017 \\ b_4 &= -0,016 \pm 0,0019 \\ c_1 &= -2,34 \pm 0,01 \\ c_2 &= 2,12 \pm 0,05 \\ c_3 &= -0,92 \pm 0,07 \\ c_4 &= 0,16 \pm 0,03 \\ \lambda &= 0,065 \end{aligned}$$

Erhållna diskreta modeller
8 sek tidsfördröjning

1:a ordningen

$$\begin{aligned} a_1 &= -0,88 \pm 0,005 \\ b_1 &= 0,06 \pm 0,0017 \\ e_1 &= 0,51 \pm 0,024 \\ \lambda &= 0,16 \end{aligned}$$

2:a ordningen

$$\begin{aligned} a_1 &= -1,26 \pm 0,014 \\ a_2 &= 0,39 \pm 0,012 \\ b_1 &= 0,014 \pm 0,0013 \\ b_2 &= 0,042 \pm 0,002 \\ c_1 &= -0,56 \pm 0,038 \\ c_2 &= 0,35 \pm 0,032 \\ \lambda &= 0,083 \end{aligned}$$

3:e ordningen

$$\begin{aligned} a_1 &= -2,20 \pm 0,013 \\ a_2 &= 1,62 \pm 0,018 \\ a_3 &= -0,40 \pm 0,008 \\ b_1 &= 0,012 \pm 0,001 \\ b_2 &= 0,030 \pm 0,002 \\ b_3 &= -0,037 \pm 0,002 \\ c_1 &= -1,75 \pm 0,036 \\ c_2 &= 1,07 \pm 0,058 \\ c_3 &= -0,20 \pm 0,034 \\ \lambda &= 0,069 \end{aligned}$$

4:e ordningen

$$\begin{aligned} a_1 &= -2,61 \pm 0,037 \\ a_2 &= 2,54 \pm 0,087 \\ a_3 &= -1,14 \pm 0,070 \\ a_4 &= 0,21 \pm 0,019 \\ b_1 &= 0,017 \pm 0,001 \\ b_2 &= 0,008 \pm 0,003 \\ b_3 &= -0,023 \pm 0,002 \\ b_4 &= 0,0 \\ c_1 &= -2,17 \pm 0,05 \\ c_2 &= 1,81 \pm 0,10 \\ c_3 &= -0,70 \pm 0,09 \\ c_4 &= 0,11 \pm 0,03 \\ \lambda &= 0,065 \end{aligned}$$

Erhållna kontinuerliga överföringsfunktioner

4 sek tidsfördröjning

Ordningstal

$$1:a \quad G_1(s) = \frac{0,010}{s + 0,019}$$

$$2:a \quad G_2(s) = \frac{-0,014 + 0,0035s}{s^2 + 0,16s + 0,008}$$

$$3:e \quad G_3(s) = \frac{-0,006s^2 + 0,004s + 0,0005}{s^3 + 0,21s^2 + 0,032s + 0,0011}$$

$$4:e \quad G_4(s) = \frac{0,0022s^3 - 0,0024s^2 + 0,0010s + 0,000006}{s^4 + 0,32s^3 + 0,06s^2 + 0,003 + 0,000012}$$

8 sek tidsfördröjning

Ordningstal

$$1:a \quad G_1(s) = \frac{0,016}{s + 0,031}$$

$$2:a \quad G_2(s) = \frac{-0,008s + 0,0055}{s^2 + 0,24s + 0,012}$$

$$3:e \quad G_3(s) = \frac{-0,004s^2 + 0,005s + 0,000125}{s^3 + 0,11s^2 + 0,019s + 0,00028}$$

$$4:e \quad G_4(s) = \frac{-0,00018s^3 + 0,0015s^2 + 0,0014s + 0,000012}{s^4 + 0,39s^3 + 0,07s^2 + 0,004s + 0,000024}$$

Erhållna statistiska förstärkningar

(s = 0)

Ordningstal	Tidsfördröjning	
	4 sek	8 sek
1:a	0,51	0,51
2:a	0,45	0,45
3:e	0,46	0,47
4:e	0,50	0,50

Erhållna tidskonstanter för olika modeller i sekunder

Ordningstal	Tidsfördröjning	
	4 sek	8 sek
1:a	52	32
2:a	13 13 $\eta = 0,96$	13 6
3:e	22 6,3 $\eta = 0,53$ 6,3	22 8 $\eta = 0,85$ 8
4:e	167 16 5 $\eta = 0,62$ 5	157 14 4,2 $\eta = 0,66$ 4,2

Alla "dubbla" tidskonstanter är oscillativa och fås ur uttrycket:

$(1 + 2\eta sT + s^2T^2)$, där η = relativa dämpningen.