



LUND UNIVERSITY

Självinställande startoptimering

Jensen, Lars

1977

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Jensen, L. (1977). *Självinställande startoptimering*. (Technical Reports TFRT-7126). 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

SJÄLVINSTÄLLANDE STARTOPTIMERING

Lars Jensen

Denna rapport avser anslag 740622-5 från Statens råd för Byggnadsforskning till institutionerna för Byggnadskonstruktionslära och Reglerteknik vid Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Dokumentutgivare
Lund Institute of Technology
Handläggare Dept of Automatic Control
Lars Jensen
Författare
Lars Jensen

Dokumentnamn
REPORT
Utgivningsdatum
Nov. 1977

Dokumentbeteckning
LUTFD2/(TERT-67126)/1-16/(1977)
Ärendebeteckning
BFR-740622

10T4

Dokumenttitel och undertitel

Självinställande startoptimering
(Selfadjusting Start-Optimization)

Referat (sammandrag)

A heating system should only be run when needed. A simple solution is to start and stop the plant according to the time of day. The time from the start to time when the desired temperature is reached varies depending on other factors. Another solution is to use a static or a dynamic model depending on these factors. The problem is to choose the model parameters. In this work a computer is used to tune the model parameters in a simple dynamic model.

Referat skrivet av

Author

Förslag till ytterligare nyckelord

Selfadjusting start-optimization

Klassifikationssystem och -klass(er)

50T0

Indextermer (ange källa)

52T0

Omfång

16 pages

Övriga bibliografiska uppgifter

56T2

Språk

Swedish

Sekretessuppgifter

60T0

ISSN

60T4

ISBN

60T6

Dokumentet kan erhållas från

Department of Automatic Control
Lund Institute of Technology
Box 725, S-220 07 LUND 7, Sweden

Mottagarens uppgifter

62T4

Pris

66T0

SIS-
DB 1

DOKUMENTATABLAD enligt SIS 62 10 12

Blankett LU 11:25 1976-07

Innehållsförteckning.

	sid
1. Inledning	1
2. Teori	2
3. Praktik	4
4. Dataprogram	5
5. Process	8
6. Fullskalëxperiment	9
7. Referenser	16

Inledning.

Det finns många sätt att spara energi och ett av dessa är såkallad optimal startreglering. Detta kan tillämpas på anläggningar som ej är kontinuerligt i drift. Besparingen sker genom att endast hålla den önskade temperaturen när byggnaden eller lokalen användes. Anläggning startas så att den uppnår den önskade temperaturen, i rätt tid och inte tidigare.

Idag finns det utrustning som utnyttjar information om utetemperatur, innetemperatur och önskad temperatur för att beräkna starttidpunkter.

Nackdelen med dessa utrustningar är att en del reglerparametrar måste väljas och justeras om. Vidare så gäller dessa inställningar endast för ett visst driftsfall. Detta medför att starttiden ej alltid blir den önskade. Vidare så är det ytterst tidskrävande att justera in en starttidsregulator eftersom varje starttidsförsök kan ta åtskilliga timmar upp till ett helt dygn.

Ett alternativ är en självinställande startoptimeringsutrustning, som med ledning av utfallet tidigare starter modifierar sina interna parametrar så att rätt starttid beräknas. Detta kan ske på flera olika sätt och ett sätt presenteras i nästa avsnitt.

2. Teori.

Ett sätt att konstruera en självinställande startoptimerare är att antaga att processen som kan beskrivas med ett första ordningens system med en tidsfördröjning. Överföringsfunktioner kan skrivas som

$$G(s) = \frac{Ke^{-sT_D}}{1 + sT} \quad (2.1)$$

Parametrarna, som skall självinställas, är förstärkningen K , tidskonstanten T och tidsfördröjningen T_D .

En första ordningsmodell med en tidsfördröjning har valts till processmodell och detta är den enklaste approximationen av processer med högt ordningstal. Avsikten med den antagna processmodellen är att modellen skall beskriva den dominerande dynamiken. Felet mellan modell och verklighet är störst i området kring tidsfördröjningen, men detta tidsområde är oftast litet i jämförelse med den dominerande dynamiken. Den snabba icke dominerande dynamiken beskriver oftast själva uppvärmningssystemets dynamik.

I de flesta startförloppen utgör själva förloppet endast en liten del jämfört med den dominerande dynamiken.

Ett enkelt exempel, samvisar att felet mellan modell och process blir konstant, består av att jämföra en första ordningens modell med en andra ordningens modell. Den dominerade tidskonstant har satts till en tidsenhet och lilla tidskonstanten har satts till 0.1, 0.2 och 0.5 tidsenheter. Skillnaden har beräknats för 1,2,5 och 10 tidsenheter. Resultatet återfinns i TAB 2.1.

TAB 2.1

t	e^{-t}	a = 2	a = 5	a = 10
1	0.6321	0.2325	0.0902	0.0408
2	0.8647	0.1170	0.0338	0.0150
5	0.9933	0.0066	0.0016	0.0007
10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

I direkt tid så erhålls följande pulsöverföringsfunktioner.

$$y(t+1) = a y(t) + b u(t - k) \quad (2.2)$$

Här antas att $k = T_D/T_S$ dvs tidsfördröjning T_D är en multipel av samplingsintervallet T_S . Sambandet mellan den kontinuerliga modellens och den diskreta modellens parametrar är följande:

$$a = e^{-T_S/T} \quad (2.3)$$

$$b/(1-a) = K \quad (2.4)$$

$$k = T_D/T_S \quad (2.5)$$

För ett givet värde på k så kan parametrarna a och g bestämmas från mätdata med minsta kvadratmetoden. Bokstaven S ersätter summa från 0 till t och tidsargumentet förenklas. $y(t-i)$ blir istället y_i . De skattade parametrarna \hat{a} och \hat{b} kan beräknas enkelt som:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S y_0^2 & S y_0 u_{-k} \\ S y_0 u_{-k} & S u_{-k}^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} S y_1 y_0 \\ S y_1 u_{-k} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Parametern k bestäms som den parameter k som ger den minsta förlusten eller den bästa anpassningen.

3. Praktik.

Modellanpassningen bör endast ske under startförloppet, när insignalen till processen är maximal. Detta medför att modellanpassningen kan förenklas genom att sätta $u(t)=1$ under startförloppet för alla aktuella t . Tidsfördröjningen kan uppdateras genom att observera utfallet och använda ett enkelt filter.

$$T_D = T_D + k_1 T_M \quad 0 < k_1 < 1 \quad (3.1)$$

Här är T_M den beräknade feltiden.

Eftersom modellen förutsätter att processen är av första ordningen så bör modellanpassningen ej påbörjas förrän att T_D tidsenheter har förlöpt, eftersom processsvaret kommer med detsamma.

Information från tidigare modellanpassningar ligger i summorna Sy_0^2 , $Sy_0 u_{-k}$, Su_{-k}^2 , $Sy_1 y_0$ och $Sy_1 u_{-k}$.

För att den självinställande starttidsregulatorn endast skall ta hänsyn till de senaste starterna så reduceras alla summorna med en faktor k_2 mindre än ett. De reducerade summorna uppdateras därefter med de mätdata som erhålls under startförloppet och för Sy_0^2 görs följande

vid varje start

$$Sy_0^2 = k_2 Sy_0^2 \quad (3.2)$$

i varje steg under startförloppet

$$Sy_0^2 = Sy_0^2 + y_0^2(t) \quad (3.3)$$

4. Datorprogram.

```
C
C
C
C TASK STOP
C
C
C COMPUTES OPTIMAL START CONTROL WITH A GIVEN PERIOD AND SETPOINT
C
C
C RUNS IN PARTITION PIPUS
C
C
C DEFAULT PRIORITY 150
C
C
C AUTHOR LARS JENSEN 1977-02-04
C
C
C USER INDATA IS MARKED WITH *
C
C Y      NEW PROCESS INPUT
C
C YD     OLD PROCESS INPUT
C
C * YSET  SETPOINT
C
C * RK    SCALE FACTOR INPUT
C
C * RL    SCALE CONSTANT INPUT
C
C * TP    START PERIOD
C
C TL     TIME LEFT
C
C TC     TIME CORRECTION TOTAL
C
C TCA    TIME CORRECTION ACTUAL
C
C TS     NEEDED START TIME
C
C * TN    TIME NOT USED FOR IDENTIFICATION
C
C TI     TIME USED FOR IDENTIFICATION
C
C MODEL  Y=PA*YD+PB
C
C PA     MODEL PARAMETER
C
C PB     MODEL PARAMETER
C
C G      GAIN      G=PB/(1-PA)
C
C * FF1   FORGETTINGFACTOR IDENTIFICATION
C
C * FF2   RELAXATIONFACTOR TIME CORRECTION
C
C SS     START/STOP FLAG      SS=1 ON      SS=0 OFF
C
```

```

DIMENSION FLAI(16)
COMMON /I0COM/ ICOM(184),Y,YSET,G,PA,TP,TL,TS,PB,
* DET,A11,A12,A22,B1,B2,TC,RK,RL,SS,YD,TCA,RES(16)
EQUIVALENCE (ICOM(27),LOWRD),(ICOM(132),IEV1),
* (ICOM(133),IEV2),(ICOM(137),FLAI(1)),
* (FLAI(11),FF1),(FLAI(12),FF2),
* (FLAI(13),TI),(FLAI(14),TN)

```

```

C
C
C
C

```

```

WAIT FOR IEV1

```

```

CALL WAITFR(IEV1)

```

```

C
C
C
C

```

```

GET INPUT

```

```

Y=RK*FLAI(1)+RL

```

```

C
C
C
C

```

```

UPDATE TIME LEFT

```

```

TL=TL-1

```

```

C
C
C
C

```

```

TEST IF STOP

```

```

IF (TL.GT.0.0) GOTO 10

```

```

C
C
C
C

```

```

STOP AND COMPUTE TCA

```

```

TCA=ALOG((G-YSET)/(G-Y))/ALOG(PA)

```

```

C
C
C
C

```

```

UPDATE TC

```

```

TC=TC+FF2*TCA

```

```

LOWRD=0

```

```

TL=TP

```

```

SS=0

```

```

C
C
C
C

```

```

REDUCE A11,A12,A22,B1 AND B2

```

```

A11=FF1*A11

```

```

A12=FF1*A12

```

```

A22=FF1*A22

```

```

B1=FF1*B1

```

```

B2=FF1*B2

```

```

C
C
C
C

```

```

TEST IF ON

```

```

10

```

```

IF (SS.GT.0.5) GOTO 20

```

```

C
C
C
C

```

```

OFF AND COMPUTE GAIN

```

```

G=PB/(1-PA)

```

```

C
C
C
C

```

```

COMPUTE START TIME

```

```

TS=ALOG((G-YSET)/(G-Y))/ALOG(PA)+TC

```

```
C
C
C   TEST IF START
C
C   IF (TS.LT.TL) GOTO 30
C
C
C   START
C
C   LOWRD=-1
C   TI=TS-TN
C   SS=1
C   GOTO 30
C
C
C   ON AND IDENTIFY PA AND PB
C
C   TEST IF TIME
C
C   IF (TI.LT.TL) GOTO 30
C
C
C   YES
C
C   A11=A11+YD*YD
C   A12=A12+YD
C   A22=A22+1
C   B1=B1+Y*YD
C   B2=B2+Y
C   DET=A11*A22-A12*A12
C   PA=(A22*B1-A12*B2)/DET
C   PB=(A11*B2-A12*B1)/DET
C   YD=Y
C
C
C   SEND RELAYMESSAGE
C
C   CALL RELAYS(LOWRD)
C
C
C   DECLAR AND EXIT
C
C   CALL DECLAR
C   CALL EXIT
C   END
```

5. Process.

För att kunna testa den självinställande starttidsregulatorn så valdes en liten klimatprocess, med en tidskonstant på omkring 3 minuter. Denna korta tidskonstant är avsevärt mindre än de normala tidskonstanterna som förekommer i samband med starttidsreglering av hela hus eller enskilda lokaler. Den dominerande tidskonstanten är oftast i storleksordning timmar. Den lilla snabba klimatprocessen valdes för att kunna utföra ett stort antal starter under en viss given tid. Samplingsintervallet kan istället väljas till några sekunder. Processen bestod av en elektrisk luftvärmare effekt 200 W en hushållsfläkt, en luftkanal och en temperaturgivare. (Se FIG. 5.1.) Luftflödet justerades in så att luften kunde värmas upp omkring 15-20°C. Lufttemperaturen före elvärmaren låg omkring 20°C. Hushållsfläkten gick kontinuerligt. En processdator mätte temperaturen och kunde styra till eller frånslag av elvärmaren.

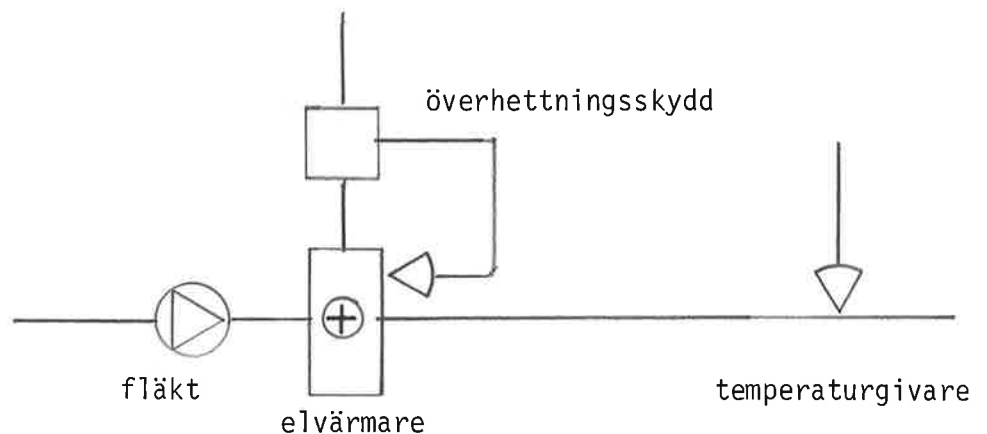


FIG.5.1 Experimentuppställning.

6. Fullskaleexperiment.

Två försöksserier skall redovisas här och även om resultat ej är det bästa så är avsikten att visa att en självinställande starttidsregulator av denna typ är en möjlig lösning.

Experiment EX203.

Samplingsintervallet är 10 s. Identifiering påbörjas 60 sek efter start och $k_2 = 0.75$. Någon tidsfördröjning adapterades ej. Både den önskade temperaturen och intervallet mellan de olika starterna varierades. I FIG. 6.1-3 återges den uppvärmda luftens temperatur efter elvärmare tillsammans med den önskade temperaturen. Önskad starttid är omedelbart för nästa eventuella språng i den önskade temperaturen. När starttiden gått ut så kopplades elvärmaren ifrån. Detta gjordes för att inte påverka nästa starttidsförsök. Av försöken framgår det att lufttemperaturen aldrig når upp till den önskade temperaturen och orsaken beror på att någon tidsfördröjning ej adapteras.

Experiment EX204.

Samplingsintervall är 30 s. Identifieringen skedde på samma sätt som i experiment EX203. Tidsfördröjningen skattades med formeln (3.1) med $k_1 = 0.5$. Den önskade temperaturen sattes till tre olika värden, nämligen 30, 33 och 35°C. Intervallen mellan de olika startförsöken varierades också. Resultatet återges i FIG. 6.4. I TAB. 6.1 återges temperaturfelet vid starttidpunkten för de tre olika temperaturnivåerna. Dessutom anges hur stor temperaturändringen är mellan två samplingstidpunkter i närheten av den önskade temperaturnivån. Av värdena i TAB. 6.1 så framgår det felet ofta är av samma storleksordning som temperaturändringen och samplingsintervall. Starttiden är alltid en multipel av samplingsintervallet. Start sker endast i en samplingstidpunkt, varför startförsöket kan missa med ovan nämnda temperaturfel.

Samplingsintervallet borde ha varit mindre, vilket hade lett till mindre temperaturavvikelser. Ett långt samplingsintervall medför också att antalet mätpunkter som ingår i identifieringen blir litet. Modellanpassningen kan därför bli känsligare för brus.

Resultatet från fullskaleexperimenten kan sammanfattas med följande punkter:

- litet samplingsintervall
- ingen identifiering under startförloppet
- varje startförlopp bör omfatta ett tiotal samplings-
tidpunkter
- äldre mätdata bör ej ingå i modellenanpassningen
- mätdata från varje startförsök bör viktas lika

TAB. 6.1

startförsök nr	temperaturfel		
	nivå 30	nivå 33	nivå 35
1	4,32	- 0,52	0,16
2	2,94	- 0,60	0,26
3	1,51	- 0,27	0,43
4	- 0,81	- 0,26	0,05
5	- 0,97	- 0,84	- 0,32
6	0,60	0,08	- 0,21
7	0,09	0,19	- 0,14
8	0,74	1,24	0,66
9	- 0,19	1,40	0,54
10	- 0,09	0,83	0,33
11	0,04	0,99	0,29
12	- 1,13	- 0,58	- 0,43
13	- 0,07	- 0,15	- 0,09
14	0,15	0,03	0,08
temperaturändring	1,2	0,7	0,3

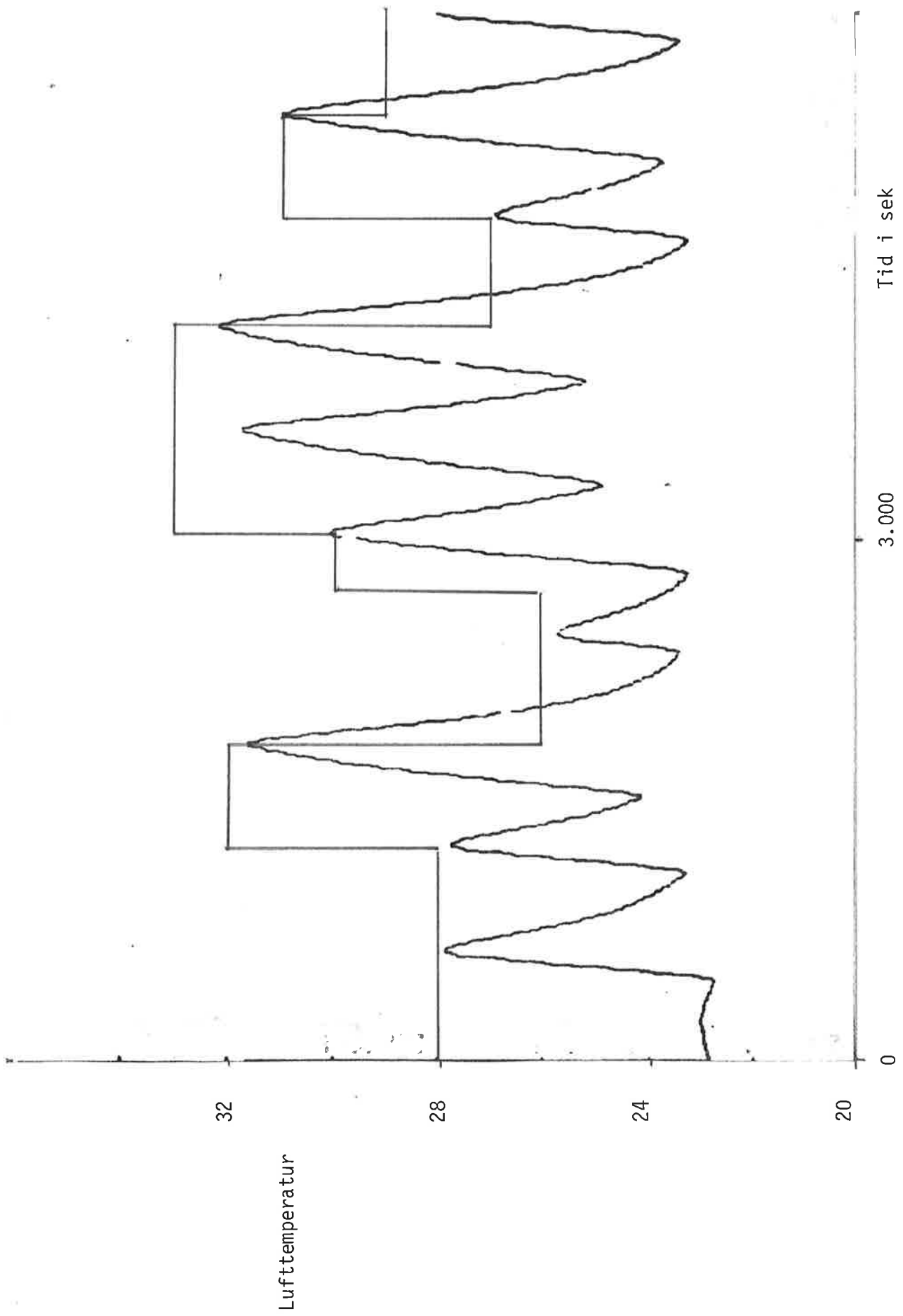


FIG.6.1 Starttidförsök EX203

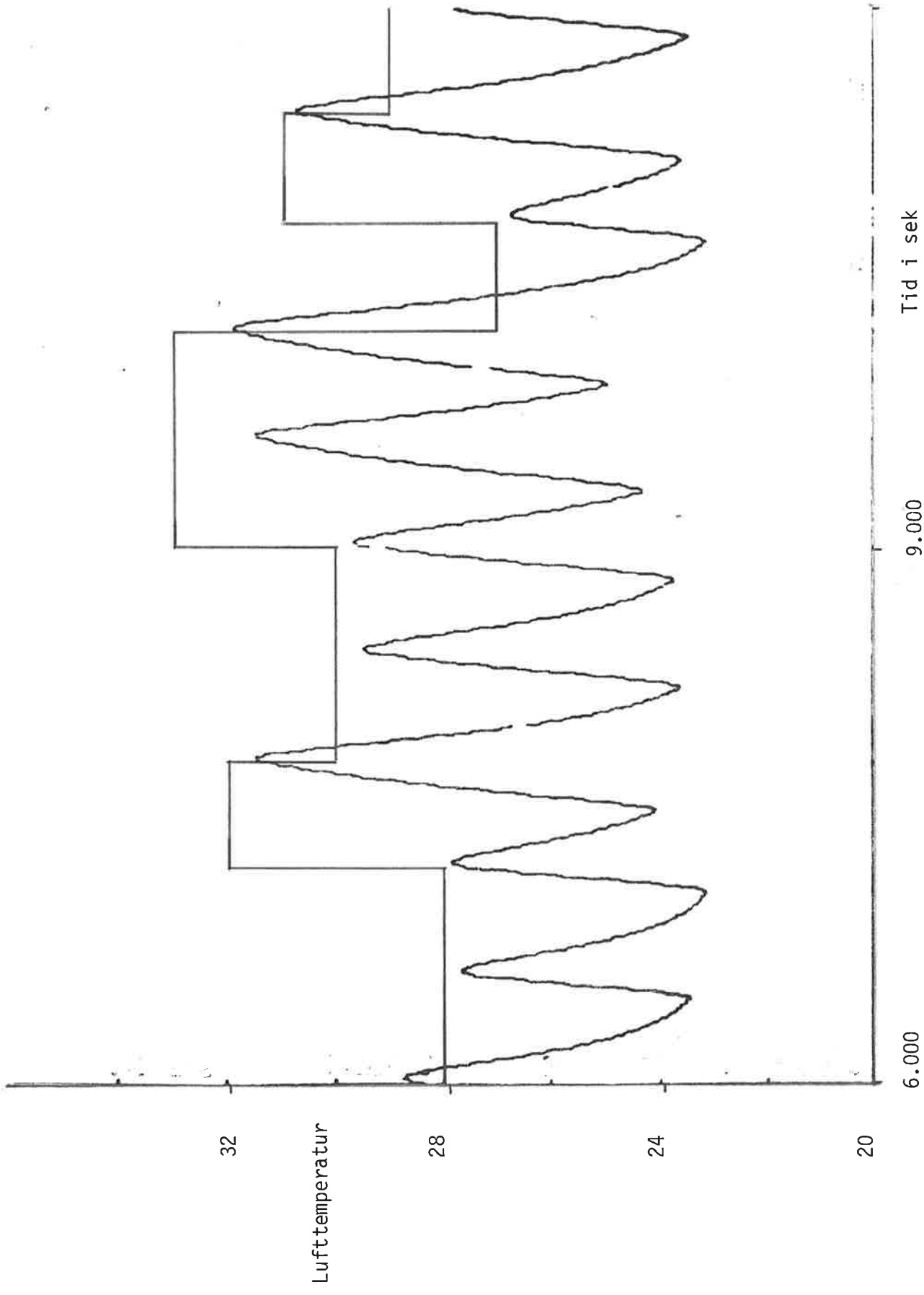


FIG.6.2 Starttidsförsök EX203

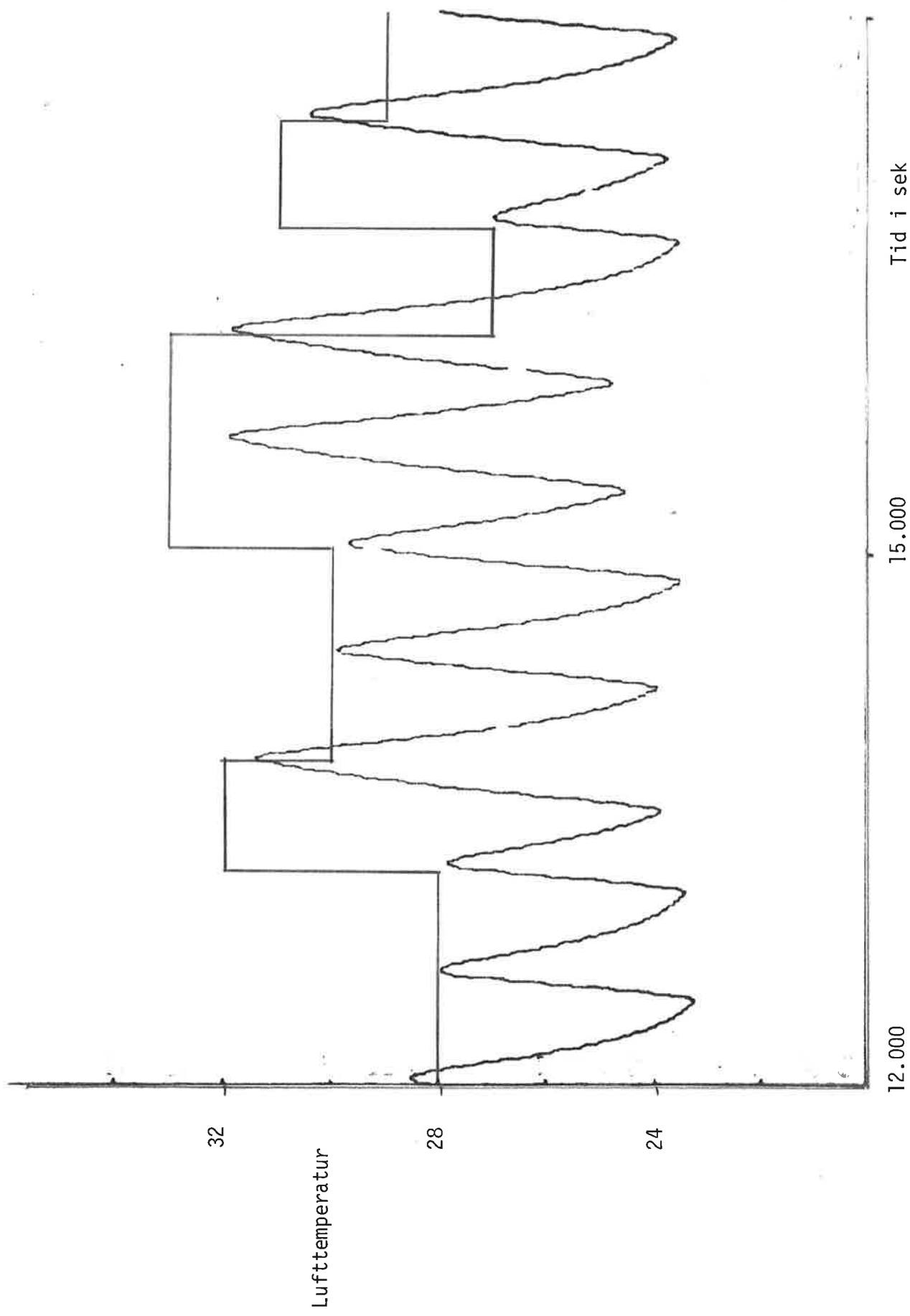


FIG.6.3 Starttidsförsök EX203

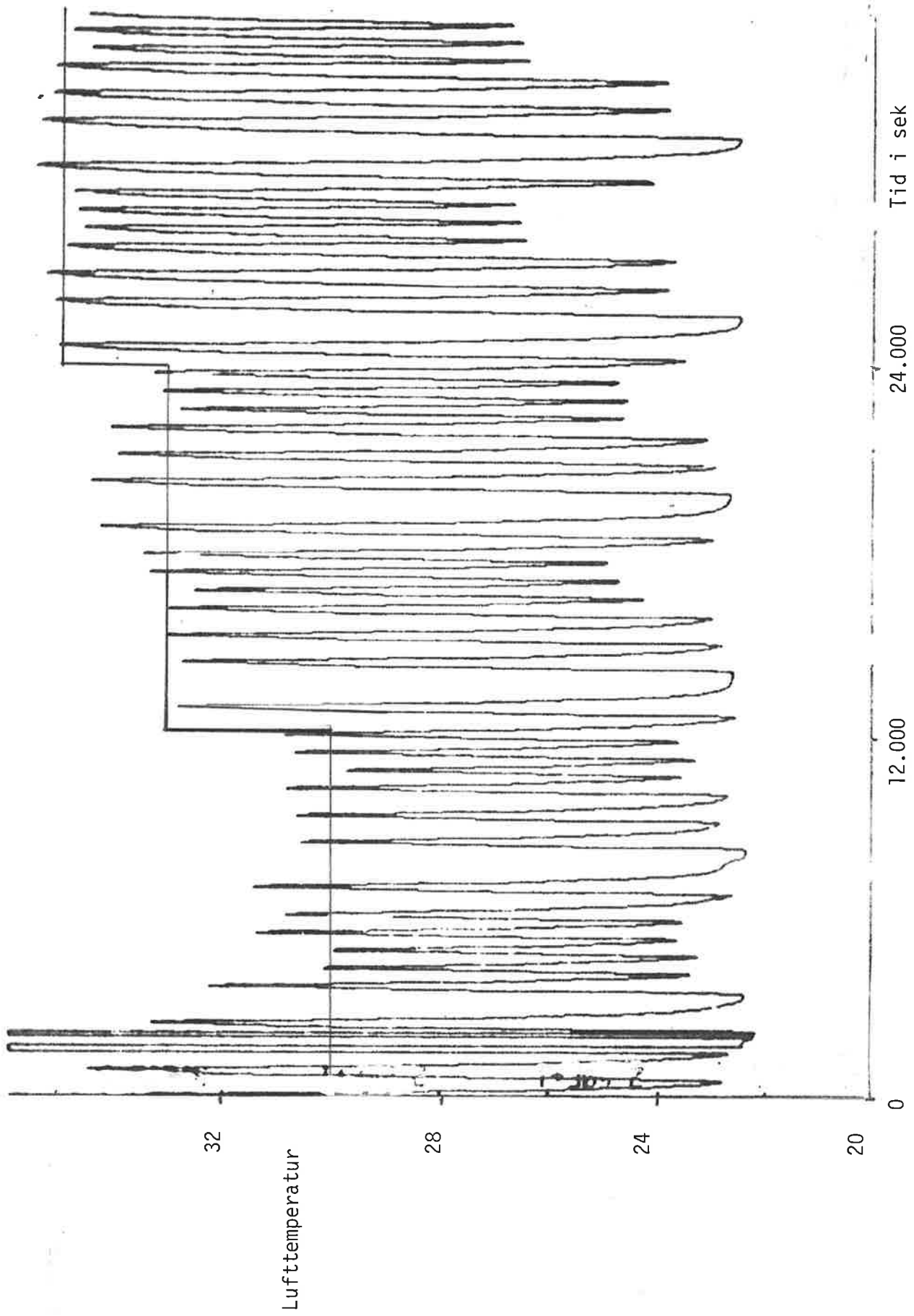


FIG. 6.4

Starttidsförsök EX204

7. Referenser.

Henderson, P.E. Energy Conservation
DOE Construction 12