

RUMSMÄTNINGAR OCH
IDENTIFIERING AV RUMMETS
DYNAMIK MED
MAXIMUM-LIKELIHOODMETODIK

BENGT FRICK

RAPPORT RE-89, november 1970

RUMSMÄTNINGAR OCH IDENTIFIERING AV RUMMETS
DYNAMIK MED MAXIMUM-LIKELIHOOD METODIK

Bengt Frick

Examensarbete vid institutionen för regleringsteknik
vid LTH. November 1970.

Ansvarig handledare: Karl Eklund

Rumsmätningar och identifiering av rummets dynamik med
maximum-likelihoodmetodik.

Bengt Frick

Sammanfattning

Mätningar har utförts i ett provrum på institutionen för byggnads-
konstruktionslära, och jag får härmed tacka institutionen och
särskilt Kurt Källblad för den hjälp som de har bidragit med.
Mätningar har gjorts vid tre olika uppvärmningstyper, **strålnings-**,
konvektiv- och radiatoruppvärmning.

Som insignaler har valts temperaturen på uppvärmningsanordningen
och utomhustemperaturen. Som utsignal har tagits några tempera-
turer i rummet.

Koefficienterna i parametriska modeller för överföringsfunk-
tionerna identifieras med maximum-likelihood metodik.

Jag söker alltså överföringsfunktionerna från uppvärmnings-
anordningens temperatur och utetemperaturen till temperaturen
i rummet.

Simulering av modellerna har bl.a. utförts.

Lund i november 1970

Roommeasurements and identification of the dynamic of the room
by the maximum likelihood method.

Bengt Frick

Abstract

Measurements of a room have been done at the institution Byggnads-konstruktionslära, and I would like to thank the institution and especially Kurt Källblad for the help.

Measurements have been done at three different warming types, radiant-, convective- and radiator warming.

I have two inputs. The one is the temperature of the heating apparatus, and the other the outdoor temperature. The output is different temperatures in the room.

The coefficients of parametric models of the transfer functions are identified by the maximum likelihood method.

I will find the transfer functions from the temperature of the heating apparatus and the outdoor temperature to the temperature of the room. Simulation of the models have among other things been done.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

sid

1. <u>Inledning</u>	1
Provrummets byggnadstekniska uppbyggnad	1
2. <u>Uppvärmningsanordningar och mätutrustning</u>	3
Strålningsuppvärmning	3
Konvektiv uppvärmning	3
Radiatoruppvärmning	4
Temperaturmätning	4
Datalog	4
3. <u>Val av styranordning, insignal och samplingsintervall</u>	6
4. <u>Beskrivning av mätserier</u>	8
Effekten	9
5. <u>Konvertering av data</u>	10
Remsa till magnetband	10
Magnetband till kort	10
Från kort till magnetband i Lund	11
6. <u>Maximum-likelihood metoden</u>	12
Modellen	12
Bestämning av k	12
Ordningstalsbestämning	13
Konvergens	13
7. <u>Resultat av identifieringen vid strålningsuppvärmning</u>	15
8. <u>Resultat av identifieringen vid konvektivuppvärmning</u>	19
9. <u>Resultat av identifieringen vid radiatoruppvärmning</u>	21
10. <u>Simulering av modellerna</u>	24
11. <u>Referenser</u>	25
12. <u>Figurblad</u>	26
13. <u>Appendix</u>	60

1. Inledning.

För att i möjligaste mån låta provrummet efterlikna ett rum i t.ex. en stor kontorsbyggnad - där man kan tänka sig att identiska rum finnes såväl över och under som på båda sidor om det aktuella mätrummet - har rummet byggts med halva innerväggar samt halva golv- och takbjälklag. På dess yttersida har sedan anbringats en mycket tjock värmeisolering som hindrar värme-strömning genom konstruktionens tänkta mittplan(fig. 1).

Provrummet har orienterats med fönstret mot öster.

Figurerna 1,2,3,4,5,6,7,9 och 10 samt bilaga A och B är hämtade från ett kompendium, Bo Adamsson: program för studier av utomhusförhållandens inverkan på rumsklimatet, från institutionen för byggnadskonstruktionslära.

Från denna institution har jag även erhållit fig.8.

Fig. 11, 12 och 13 är egenhändigt ritade.

Provrummets byggnadstekniska uppbyggnad.

Provrummets fasader kan ses på fig.2 och 3. Se även bilaga A och B.

Rummet är grundlagt på tre grundmurar i byggnadens djupled och en grundmur i dess framkant.

Grundmurarna är nerförda till ett befintligt bärlager av makadam. På de tre grundmurarna är upplagt ett bjälklag av 20 cm armerade Siporexelement. På detta bjälklag är tre av ytterväggarna resta medan den fjärde - fasadväggen - vilar direkt på grundmuren.

De tre ytterväggarna består av 20 cm Siporexelement och fasadväggen av 25 cm Siporexelement (fig.4).

Själva rummet är rest innuti provrummet och värmeisolerat från detta. Sålunda har på Siporexebjälklaget applicerats en 20 cm tjock mineralullsisolering med hög volymvikt och på denna har en 10 cm tjock armerad betongplatta gjutits(fig.5).

Betongplattan går inte helt ut till ytterväggen utan är skild från denna med 5 cm mineralullsisolering.

På 10 cm betongplattan är 8 cm tjocka, prefabricerade betonelement

resta så att rummets tre innerväggar erhålles. I en av dessa är anbringat en dörr(fig.4). Dessa är på sin yttre sida värmeisolerande med 10 cm mineralull och utrymmet mellan dessa och ytterväggarna kan klimatiseras.

Utrymmet utanför rummets kortsida är tilltaget så stort att mätutrustning kan upställas här(fig.4).

På de långa betongväggarna och Siporexytterväggarna har takelement av 12.5 cm armerad betong upplagts. Betongväggarna för ned belastningen från betongtaket till betonggolvet som vilar på mineralullsskivor. Golvet har sedan byggnaden färdigstälts under ett halvt år deformerats så mycket att uppböjningen är ca 15 mm.

Golvet inne i rummet har sedan termoelement anbringats pågjutits med 25 mm plastinblandad betong så att en golvtjocklek av 12.5 cm betong erhöles.

Ovanpå betongtaket har anbringats 20 cm mineralull och ovanför detta har ett plant luftat trätak uppbyggt. Detta vilar på Siporexytterväggarna.

Såväl betonggolv som betongtak går utanför rummet(fig.6 och 7) vilket är en avvikelse från målsättningen i fig.1. Detta har emellertid varit nödvändigt av byggnadstekniska skäl.

Om man önskar mäta på ett rum med annat innerväggsmaterial än betong så kan sådana appliceras innanför betongväggarna och värmeisolerade från dessa.

Isoleringen mellan Siporex och betong är 10 cm mineralull.

Väggarna har efter anbringandet av termoelement tapetserats.

2. Uppvärmingsanordningar och mätutrustning.

Tre olika uppvärmningstyper undersöktes strålnings-, konvektiv- och radiatoruppvärmning.

Strålningsuppvärmning.

Vid denna uppvärmning användes ett metallfolie som satt i taket, som täcktes nästan helt. Fabrikatet var E.S.W.A. Takvärmeaktiebolaget i Västerås. Det var 4 st E.S.W.A. - element (motståndsfolie inbakad i tunn plast). E.S.W.A. - elementen är 275 cm långa och av rummets bredd var således 275 cm uppvärmd och 15 cm på vardera sidan utan uppvärmning.

Elementen har vardera en märkeffekt av 300 W vid en spänning av 230 V.

Strålningsvärme överföres till golv och väggar och därefter uppvärms luften genom konvektion. Vid taket bildas en värmekudde, vars temperatur beror på takeffekten. Denna värmekudde påverkar inte nämvärt temperaturen i rummets vistelsezon.

I ankelhöjd kan erhållas en kallzon.

Foliet matades dels från nätet direkt dels från nätet över en transformator.

Termoelementen var ej strålningsskyddade, vilket gäller alla mätningarna.

Konvektiv uppvärmning.

Vid denna uppvärmning tillföres rummet varmluft direkt.

Luften gick medelst en fläkt genom en tub, där den uppvärmdes och fördes sedan fram mot fönstret och in i en parallelepipedisk anordning, som sträckte sig längs fönsterväggen, med en bredd på ungefär 25 cm och en höjd på ungefär 1 m.

Ur denna kom sedan luften ut genom galler på dess ovansida.

Luften cirkulerade alltså i rummet.

Fläktens kapacitet var $700 \text{ m}^3/\text{tim}$, där dämpningen är inräknad.

Alltså dämpningen i tuberna fram till fönstret.

Uppvärmningsaggregatet i tuben styrdes från nätet över en transformator. Aggregatet var även isolerat från strålning.

Se fig. 8.

Radiatoruppvärmning.

Vid radiatoruppvärmning uppsattes två vanliga radiatorer på fönsterväggen. Dessa ställdes sedan in på ett önskat wattal och styrdes sedan från nätet över en transformator.

Vad det gäller uppvärmningen av luften förekommer här både strålningssuppvärmning och konvektivuppvärmning. Man kan räkna med att 50% är strålningssuppvärmning och 50% är konvektiv uppvärmning.

Temperaturmätning.

För temperaturmätning användes ett stort antal koppar-konstantan element. Noggrannheten för ett termoelement är praktiskt bättre än 0.095°C . Tidskonstanten för termoelementen kan sättas till några sekunder.

Jag hade 40 st mätpunkter i rummet, 20 st i en vägg, 9 st för mätning av utetemperaturen och en för referenstemperaturen (se fig. 9 och 10).

Datalog.

För datainsamling användes ett datalogsystem av fabrikat Dynamco. Systemet bygger på en digitalvoltmeter typ D6 vilken medger avläsning på μV .

En scannerenhet kan i tur och ordning koppla in 100 kanaler, vilka kommer från termoelementpunkter, vilka kopplats till en ugn för 100 kanaler så att en differensspänning erhålles.

Utskrivning av tidpunkt samt samhöriga värden på kanal och spänning sker på en remsstans. Utskriften kan ske med fem kanaler per sekund.

Vid styrning av systemet användes en PRBS-generator (se ref.1).

Uppkopplingen visas i fig. 11.

PRBS-generatorn består av skiftregister där vissa tillstånd återkopplats via ett logiknät bestående av modulo-2-grindar. Klockpulstiden kan varieras från 1 sek till 1 tim. Utgångsarrangemanget består parvis av komplementära reed-re-läer som tål en maxström på 3A.

3. Val av styrordning, insignal och samplingsintervall.

Innan själva mätserierna gjordes ett förberedande försök för att testa styrningen av uppvärmningsanordningen. Detta utfördes vid strålningsuppvärmningen.

Jag använde mig då av ett vanligt tidur med synkronmotor. Rummet fick först stabiliseras, och då lades en ineffekt, $2/3$ av fulleffekt, på. ineffekten fick sedan variera mellan fulleffekt och $1/3$ av fulleffekt.

Tiduret inställdes på en PRBS-signal(PRBS=Pseudo Random Binary Sequence), som har visat sig ge bra resultat. Se ref. 2.

Denna är periodisk med perioden NT . Effekten är koncentrerad till diskreta frekvenser $2\pi k/TN$ rad/sek och bortsett från frekvensen noll är effekten $(N+1)/N^2$ vid lägre frekvenser och har fallit mindre än 3 dB upp till $2.8/T$ rad/sek.

Vid $2\pi/T$ rad/sek har den fallit till noll men återkommer sedan periodiskt dämpat för högre frekvenser.

Jag registrerade olika signaler på en slingoscillograf, nämligen yttemperaturen på metallfoliet, tiduret, stansstartsignalen och en rumstemperatur.

Av stort intresse var synkroniseringen mellan tiduret och data-loggen. Jag kunde efter försöket konstatera att det mekaniska arrangemanget på tiduret orsakade att det slog om med en felmarginal på några minuter. Därefter övergick jag till att använda PRBS-generatorn istället.

Minimum- och maximumtid mellan stansstartsignal och tiduromslag fick jag till 2.9 min resp. 5.4 min.

Folietmetallens stigtid fick jag till 4.4 min och falltid till 6.4 min.

Tiduruppkopplingen se fig. 12.

Grundperioden brukar väljas till halva tidskonstanten. Med hjälp av förförsöket och diagram, från institutionen för byggnadskonstruktionslära fick jag tidskonstanten till omkring 3.5 tim.

Eftersom högsta grundperioden är 60 min på PRBS-generatorn, så valdes denna.

Med stöd av förförsöket valde jag också $n=5$, då $N=2^n-1$.

NT blir alltså 32 tim, där NT brukar väljas 5 gånger längsta tidskonstanten.

Jag valde också samplingsintervallet till 20 min. Dessa konstanter använde jag också vid konvektiv uppvärmning.

Vid radiatoruppvärmning hade jag 20 min vid R1 och 10 min vid R2.

Vid ej störningsfria mätningar användes lång mättid. Jag hade några timmar under två dygn som mättid.

4. Beskrivning av mätserier.

Det gjordes två mätserier vid varje uppvärmningsanordning. Mätserierna betecknas S1, S2, vid strålningsuppvärmning, K1, K2 vid konvektiv uppvärmning och R1, R2 vid radiatoruppvärmning.

Vid varje samplingsintervall registrerades 70 st mätvärden och dess placering i rummet framgår av fig. 13, där kanalerna 00, ..., 09 går från golv till tak liksom 20, ..., 29 och 30, ..., 39. Från tak till golv går kanalerna 10, ..., 19.

Uppvärmningsanordningens temperatur ges av kanalerna 09, 10, 29 och 39. kanal 49 är en referenstemperatur.

Kanalerna 40, ..., 48 är utomhustemperaturer.

Väggtemperaturerna ligger på kanalerna 50, ..., 69.

Termoelementen för mätning av rumstemperaturen var monterade på träställningar A, B, C och D.

Termoelementens placering i väggen se fig. 9.

Termoelementens placering utanför fönstret se fig. 10.

Samplingsintervallet för S1, S2, K1, K2 och R1 är 20 min. medan det är 10 min. för R2.

Antal mättidpunkter för S1, S2 är NP=136, K1 och K2 NP=133, R1 NP=137 och R2 NP=135, där NP alltså är antalet data.

Fig. 14 och fig. 15 visar diagram över mätserien K1.

Fig. 15 visar lufttemperaturen och luftfuktigheten i rummet, och fig. 14 visar utetemperaturen och utefuktigheten. Motsvarande för K2 finns på fig. 16 och fig. 17. Obsevera att vid K1 var rummet möblerat, vilket det ej var vid K2. Fig. 18 och 19 visar detsamma för mätserien R1.

Mätningarna har gjorts med en termohydrograf.

Plottingar av alla mätserierna har gjorts på fig. 20, 21, 22, 23, 24 och 25.

Diagrammen är nedifrån sett på sidan, kanal 09, 05, 15, 25, 35 och aritmetiska medelvärdet av kanalerna 05, 15, 25 och 35. Alltså kanal 09 är en temperatur på uppvärmningsanordningen, och de andra är rumstemperaturer.

Effekten.

Vid strålningsuppvärmning varierade effekten till foliet mellan 2453W och 818W.

Vid konvektiv uppvärmning gav det elektriska värmebatteriet en effekt mellan 1680W och 680W. Fläktens kapacitet var 700 m³ luft per timme.

Vid radiatoruppvärmning var elementens effekt tillsammans 1500 W vid fulleffekt och sålunda 500W vid 1/3 effekt.

5. Konvertering av data.

Konvertering av datalogremsa-hålkort med temperaturer, avsett för CDC 3600 i Uppsala.

Remsan från dataloggen består av records om 8 positioner där position 1 och 2 är kanalnummer, 3 till 6 är mätvärde. Position 7 är en rangesiffra. $10^{(-c+5)}$ multiplicerat med mätvärdet ger mätvärdet i μV , där c är rangesiffra. Tillåtna värden på rangesiffran c är 3, 4, och 5. Om c=0 tolkas recordet som tidpunkt. Position 8 är tecknet på mätvärdet + eller -.

Record 1 på remsan är alltså tidsrecord, c=0, 2 till och med 71 är mätvärden från 70 kanaler, 72 tidsrecord och 73 till och med 142 mätvärden från 70 kanaler. Detta upprepas ett önskat antal gånger. Antalet gånger blir lika med NP.

Remsa till magnetband.

Remsorna skickades sedan till Uppsala, där man maximalt kan kopiera 350000 mätvärden från remsa till varje magnetband, detta för att ej överbelasta maskinens trumminne vid nästa steg i konverteringen.

Magnetband till kort.

Två program användes, TAPERMSN och TEMPKORT, där TEMPKORT innehåller FUNCTION COUNT(X), som beräknar temperaturerna.

I TAPERMSN ingår subrutinerna LUS och NYDATA.

TAPERMSN läser magnetband från logisk enhet 30, och skriver ut blockade records på trumminnet, logisk enhet 49.

Inläsningen avbrytes när två stycken EOF-markeringar i rad påträffas. Detta är den normala avslutningen man får på magnetband erhållna från konverteringssteg 1.

TEMPKORT läser den blockade informationen från logisk enhet 49, stansar på hålkort ut de uppmätta temperaturerna med 10 temperaturer per hålkort i formatet (10F8.3).

Kanaler som saknas t.ex. på grund av stansfel på remsan ges temperaturen -900.000 grader.

Parallellt med hålkortstansningen sker utskrift på papper av hålkortsbilderna. Vid denna utskrift skrives även klockslagen ut vid de olika mättidpunkterna.

De två programmen måste naturligtvis köras direkt efter varandra i samma job.

Från kort till magnetband i Lund.

I Lund på Univac 1108 överfördes mätvärdena från kort till magnetband.

Under denna process ändrades också ordningen på mätvärdena. På bandet lades var kanal för sig med motsvarande värden i tidsföljd. Bandet börjar med mätserien S1 och då kanalerna 00, 01, ..., 69. Därefter följer S2 med sina kanaler o.s.v. Mätserierna ligger på band 284.

En EOF-markering har satts efter varje kanal, se appendix.

6. Maximum-likelihood metoden.

Modellen.

Den modell jag använder för att beskriva rummets dynamik är följande:

$$\hat{A}^*(\bar{q})y(t) = B_1^*(\bar{q})u_1(t) + B_2^*(\bar{q})u_2(t) + C^*(\bar{q})e(t)$$

Här gäller:

$$\begin{aligned}\hat{A}^*(\bar{q}) &= 1 + a_1\bar{q}^{-1} + \dots + a_n\bar{q}^{-n} \\ B_1^*(\bar{q}) &= b_{10} + b_{11}\bar{q}^{-1} + \dots + b_{1n}\bar{q}^{-n} \\ B_2^*(\bar{q}) &= b_{20} + b_{21}\bar{q}^{-1} + \dots + b_{2n}\bar{q}^{-n} \\ C^*(\bar{q}) &= 1 + c_1\bar{q}^{-1} + \dots + c_n\bar{q}^{-n}\end{aligned}$$

Identifieringsproblemet består i att med hjälp av givna insignal-utsignal par bestämma ordningstalet n och parametrarna i ovanstående modell med maximum-likelihood-metoden. Se ref. 3.

Insignalerna $u_1(t)$ och $u_2(t)$ är uppvärmningsanordningens temperatur resp. utetemperaturen.

Utsignalen $y(t)$ är rumstemperaturen.

Bestämning av k .

Bestämning av k -värdet är att se hur stor fördröjningen är mellan insignal och utsignal.

K -värdet bestämdes genom att göra identifieringar för olika k -värden. För min del gäller det att bestämma två k -värden, k_1 och k_2 .

De identifieringsprogram som institutionen tillhandahåller, är anpassade för det fall att transportfördröjningen är ett steg ($k=1$).

Vid identifiering med $k_1=0$ måste därför insignalen förskjutas ett steg i förhållande till utsignalen. Vi får följande modell:

$$(1+a_1q^{-1}+\dots+a_nq^{-n})y(t)=(b_{10}+b_{11}q^{-1}+\dots+b_{1,n}q^{-n})u_1(t)+$$

$$(b_{21}q^{-1}+\dots+b_{2n}q^{-n})u_2(t)+(1+c_1q^{-1}+\dots+c_nq^{-n})e(t),$$

där n är ordningstalet.

Jag vill emallertid ej ha denna modell. Jag vill nämligen ha samma gradtal på B_1 -polynomet som på A -, C - och B_2 - polynomet. Detta får jag, om en identifiering göres med en modell med ordningen $n+1$, där parametrarna a_{n+1} , $b_{2,n+1}$ och c_{n+1} sättes lika med noll.

Detta kan göras med programmen MISOIM och RESTAM.

Ordningstalbestämning.

När jag identifierat får jag modeller av olika ordningstal.

Vilken modellordning är den relevanta för att beskriva systemet?

Man kan använda statistisk F-test.

Låt V_n beteckna värdet av förlustfunktionen för n :te ordningens modell.

$$F_{n+k,n} = \frac{V_n - V_{n+k}}{V_{n+k}} \cdot \frac{N-3(n+k)}{3k}, \quad N = \text{antalet mätpunkter.}$$

Om vi testar modellen av ordning $n+1$ mot modellen av ordning n på en risknivå av 5% så har förlustfunktionen blivit minskad, om testkvantiteten $F_{n+1,n}$ är större än 2.6
Då är modellen åtminstone av ordning $(n+1)$.

Konvergens.

Konvergenssvårigheter har uppstått vid identifiering av modellordning 2 och uppåt.

Programmet RESTAM har därför använts, så man kan använda start-

värden på koefficienterna.

Efter modifiering av koefficienterna och användning av RESTAM fick jag rätt konvergens för modellordning 2 och 3, så när som för konvektiv uppvärmning.

7. Resultat av identifiering vid strålningsuppvärmning.

K-värden lika med 2 kunde snabbt uteslutas, genom att en identifiering gjordes och helt misslyckades. K_1 och k_2 erhöLL sedan värdena 0 eller 1.

Jag kunde efter identifieringar snabbt konstatera att värdet på k_1 är 0. Förlustfunktionen V sjönk kraftigt då k_1 -värdet ändrades från 1 till 0.

Vid ändring av k_2 -värdet från 1 till 0 så upptäcktes ingen betydelsefull ändring, så jag fastställde k_1 till 0 och k_2 till 1 vid mina modeller.

Detta gällde för de alla tre uppvärmningstyperna och de aktuella ordningstalen på modellerna.

Som insignal har använts aritmetiska medelvärden av kanalerna 09, 10, 29 och 39, och aritmetiska medelvärden av kanalerna 44, 46, 47 och 48.

Som utsignal har tagits aritmetiska medelvärden av kanalerna 05, 14, 25 och 35.

Detta gäller vid samtliga identifieringar som har gjorts.

Resultat av identifieringen med strålningsuppvärmning ges av följande tabell, som finns på nästa sida:

n	1	2	3
a ₁	-0.801±0.018	-1.329±0.061	-2.229±0.110
a ₂		0.365±0.052	1.576±0.171
a ₃			-0.342±0.066
a ₄			
b ₁₀	0.138±0.002	0.127±0.002	0.128±0.002
b ₁₁	-0.071±0.003	-0.120±0.011	-0.236±0.017
b ₁₂		0.010±0.006	0.123±0.021
b ₁₃			-0.012±0.007
b ₁₄			
b ₂₀			
b ₂₁	0.016±0.007	0.063±0.023	0.076±0.027
b ₂₂		-0.056±0.024	-0.143±0.052
b ₂₃			0.068±0.026
b ₂₄			
c ₁	0.360±0.079	-0.838±0.105	-1.739±0.145
c ₂		0.347±0.101	1.089±0.204
c ₃			-0.336±0.104
c ₄			
λ	0.128	0.102	0.101
V	1.109	0.709	0.687

Resultat av identifiering med strålnings-
uppvärmning.

Nollställena till polynomen A, B₁, B₂ och C framgår av följande tabell:

n	A	B ₁	B ₂	C
1	0.801	0.514		-0.360
2	0.388	0.097	0.898	0.419±i0.414
	0.940	0.851		
3	0.889	0.865±i0.450	0.938±i0.076	0.382±i0.446
	0.417	0.122		0.974
	0.923			

Beräkningen av nollställena har gjorts med programmet ROOT.

Ett samplat system kan överföras till ett kontinuerligt system. Detta har gjorts och gav följande resultat:

n=1

A=(-0.022191), B₁=(0.0044286), B₂=(0.0017635), D₁=(0.138362),
D₂=(0)

n=2

A= $\begin{pmatrix} -1.0007679 & 1.000000 \\ -0.0005815 & 0.000000 \end{pmatrix}$, B₁= $\begin{pmatrix} 0.0065732 \\ 0.0001987 \end{pmatrix}$, B₂= $\begin{pmatrix} 0.009475 \\ 0.000102 \end{pmatrix}$,
D₁=(0.126682), D₂=(0),

n=3

$$A = \begin{pmatrix} -0.1072282 & 1.0000000 & 0.0000000 \\ -0.0018272 & 0.0000000 & 1.0000000 \\ -0.0000083 & 0.0000000 & 0.0000000 \end{pmatrix}, \quad B_1 = \begin{pmatrix} 0.006442 \\ 0.000265 \\ 0.000003 \end{pmatrix},$$

$$B_2 = \begin{pmatrix} 0.011935 \\ 0.000145 \\ 0.000001 \end{pmatrix}, \quad D_1 = (0.127616), \quad D_2 = (0),$$

Beräkningen av det kontinuerliga systemet har utförts med programmet SAKO.

Vid jämförelse av modellerna med $n=1$ och $n=2$, finner man att $F_{12} \approx 16$.

Då är modellen åtminstone av ordning 2.

Man finner vidare att $F_{23} = 1.2 \ll 2.6$.

Modellordning 2 är alltså att föredra framför modellordning 3.

Vid jämförelse av simuleringen mellan ordning 2 och ordning 3 kan man inte finna den ena bättre än den andra.

Jag bestämmer mig att använda 2:a ordningens modell för att beskriva dynamiken från uppvärmninganordningens temperatur och utetemperaturen till rumstemperaturen.

Överföringsfunktionen för $n=2$ blir enl. nedanstående:

$$Y(s) = \left[0.12668 + \frac{0.00565}{s+0.09464} + \frac{0.00092}{s+0.00614} \right] U_1(s) + \left[\frac{0.00905}{s+0.09464} + \frac{0.00043}{s+0.00614} \right] U_2(s)$$

Vid beräkning av det kontinuerliga systemet har $T=10$ tidsenheter använts. Mina tidskonstanter bli då, eftersom jag har $T=20$ min:

$$t_1 = \frac{1}{0.0946} \cdot \frac{1}{10} \cdot 20 \text{ min} = 21 \text{ min}, \quad t_2 = \frac{1}{0.0061} \cdot \frac{1}{10} \cdot 20 \text{ min} = 5.5 \text{ tim.}$$

8. Resultat av identifiering med konvektiv uppvärmning.

Resultatet av identifieringen med konvektiv uppvärmning ges av följande tabell:

n	1	2
a ₁	-0.872±0.039	-1.498±0.087
a ₂		0.488±0.085
a ₃		
b ₁₀	0.305±0.006	0.284±0.008
b ₁₁	-0.223±0.015	-0.372±0.035
b ₁₂		0.092±0.030
b ₁₃		
b ₂₀		
b ₂₁	0.020±0.012	0.038±0.022
b ₂₂		-0.037±0.020
b ₂₃		
c ₁	0.000±0.173	-1.024±0.119
c ₂		0.189±0.110
c ₃		
λ	0.173	0.150
V	1.968	1.530

Nollställena till polynomen A, B₁, B₂ och C framgår av följande tabell:

n	A	B ₁	B ₂	C
1	0.872	0.731		0.000
2	0.480	0.334	0.988	0.242
	1.018	0.976		0.783

Det kontinuerliga systemet ges av nedanstående uppställning:

n=1

$$A=(-0.013679), \quad B_1=(0.004602), \quad B_2=(0.002117), \quad D_1=(0.305272), \\ D_2=(0),$$

n=2

$$A=\begin{pmatrix} -0.071663 & 1.000000 \\ -0.000129 & 0.000000 \end{pmatrix}, \quad B_1=\begin{pmatrix} 0.006902 \\ 0.000101 \end{pmatrix}, \quad B_2=\begin{pmatrix} 0.005286 \\ 0.000007 \end{pmatrix},$$

$$D_1=(0.283771), \quad D_2=(0),$$

Vid denna uppvärmningstyp får man $F_{12}=12$.

En 3:de ordningens modell var ej fysikaliskt realiserbar, på grund av att man får en rot på negativa reella axeln.

Modellordning 2 är alltså bäst enligt F-test, men den är instabil vilket är ej fysikaliskt rimligt, dock kan den bli stabil med störningar av a_1 och a_2 som är mindre än σ_{a1} och σ_{a2} .

För att få en uppfattning av tidskonstanten beräknas det kontinuerliga systemet för modellordning 1.

Överföringsfunktionen blir för n=1 följande:

$$Y(s) = \left[0.30527 + \frac{0.00460}{s+0.01368} \right] U_1(s) + \left[\frac{0.00212}{s+0.013679} \right] U_2(s)$$

Vid beräkning av det kontinuerliga systemet har $T=10$ tidsenheter använts.

Tidskonstanten blir då $t_1 = \frac{1}{0.0137} \cdot \frac{1}{10} \cdot 20 \text{ min} = 2 \text{ tim } 26 \text{ min}$, där 20 min är mitt samplingsintervall.

9. resultat av identifieringen med radiatoruppvärmning.

Resultatet av identifieringen med radiatoruppvärmning ges av följande tabell:

n	1	2	3
a ₁	-0.855±0.035	-1.385±0.082	-2.364±0.157
a ₂		0.392±0.078	1.787±0.237
a ₃			-0.420±0.090
a ₄			
b ₁₀	0.092±0.002	0.091±0.002	0.091±0.002
b ₁₁	-0.062±0.004	-0.104±0.009	-0.193±0.015
b ₁₂		0.017±0.007	0.123±0.020
b ₁₃			-0.020±0.007
b ₁₄			
b ₂₀			
b ₂₁	0.000	0.000	0.000
b ₂₂		0.000	0.000
b ₂₃			0.000
b ₂₄			
c ₁	0.233±0.084	-0.487±0.102	-1.516±0.144
c ₂		0.000	0.583±0.108
c ₃			0.000
c ₄			
λ	0.186	0.151	0.149
v	2.369	1.542	1.504

Nollställena till polynomen A, B₁, B₂ och C framgår av följande tabell:

n	A	B ₁	B ₂	C
1	0.855	0.671		-0.233
2	0.396	0.198		
	0.989	0.945		0.487
3	0.950±i0.053	0.938±i0.077		
	0.464	0.252		0.758±i0.094

Motsvarande kontinuerliga system ges av nedanstående uppställning:

n=1

$$A=(-0.015712), \quad B_1=(0.001832), \quad B_2=(0.000000), \quad D_1=(0.092450), \\ D_2=(0.000000)$$

n=2

$$A=\begin{pmatrix} -0.093722 & 1.000000 \\ -0.000099 & 0.000000 \end{pmatrix}, \quad B_1=\begin{pmatrix} 0.003100 \\ 0.000052 \end{pmatrix}, \quad B_2=\begin{pmatrix} 0.000000 \\ 0.000000 \end{pmatrix}, \\ D_1=(0.091040), \quad D_2=(0)$$

n=3

$$A=\begin{pmatrix} -0.086707 & 1.000000 & 0.000000 \\ -0.000816 & 0.000000 & 1.000000 \\ -0.000004 & 0.000000 & 0.000000 \end{pmatrix}, \quad B_1=\begin{pmatrix} 0.002928 \\ 0.000053 \\ 0.000001 \end{pmatrix},$$

$$B_2 = \begin{pmatrix} 0.000000 \\ 0.000000 \\ 0.000000 \end{pmatrix}, \quad D_1 = (0.090632), \quad D_2 = (0),$$

Vid denna uppvärmningstyp fås $F_{12} \approx 23$ och $F_{23} \approx 1.1 < 2.6$.

Detta medför att modellen av ordning 2 är att föredra. Simuleringen motsäger inte detta val. Därför väljer jag 2:a ordningens modell att representera dynamiken från uppvärmningsanordningens temperatur och utetemperaturen till rumstemperaturen.

Överföringsfunktionen för $n=2$ blir då:

$$Y(s) = \left[0.09104 + \frac{0.00257}{s+0.09266} + \frac{0.00053}{s+0.00107} \right] \cdot U_1(s)$$

Vid beräkning av det kontinuerliga systemet har $T=10$ tidsenheter använts.

Mina tidskonstanter blir då,

$$t_1 = \frac{1}{0.0927} \cdot \frac{1}{10} \cdot 20 \text{ min} = 22 \text{ min}$$

$$t_2 = \frac{1}{0.0011} \cdot \frac{1}{10} \cdot 20 \text{ min} = 33 \text{ tim.}$$

10. Simulering av modellerna.

Simulering av modellerna visas i fig. 26 - 33.

I figurerna visas insignalerna $u_1(t)$ och $u_2(t)$ samt utsignalen $y(t)$. Dessutom förekommer resedualerna $\xi(t)$, definierade av

$$\xi(t) = Ay(t) - B_1^* u_1(t) - B_2^* u_2(t),$$

deterministiska utsignalen, definierad som

$$y_d(t) = (B_1^*/A) u_1(t) + (B_2^*/A) u_2(t),$$

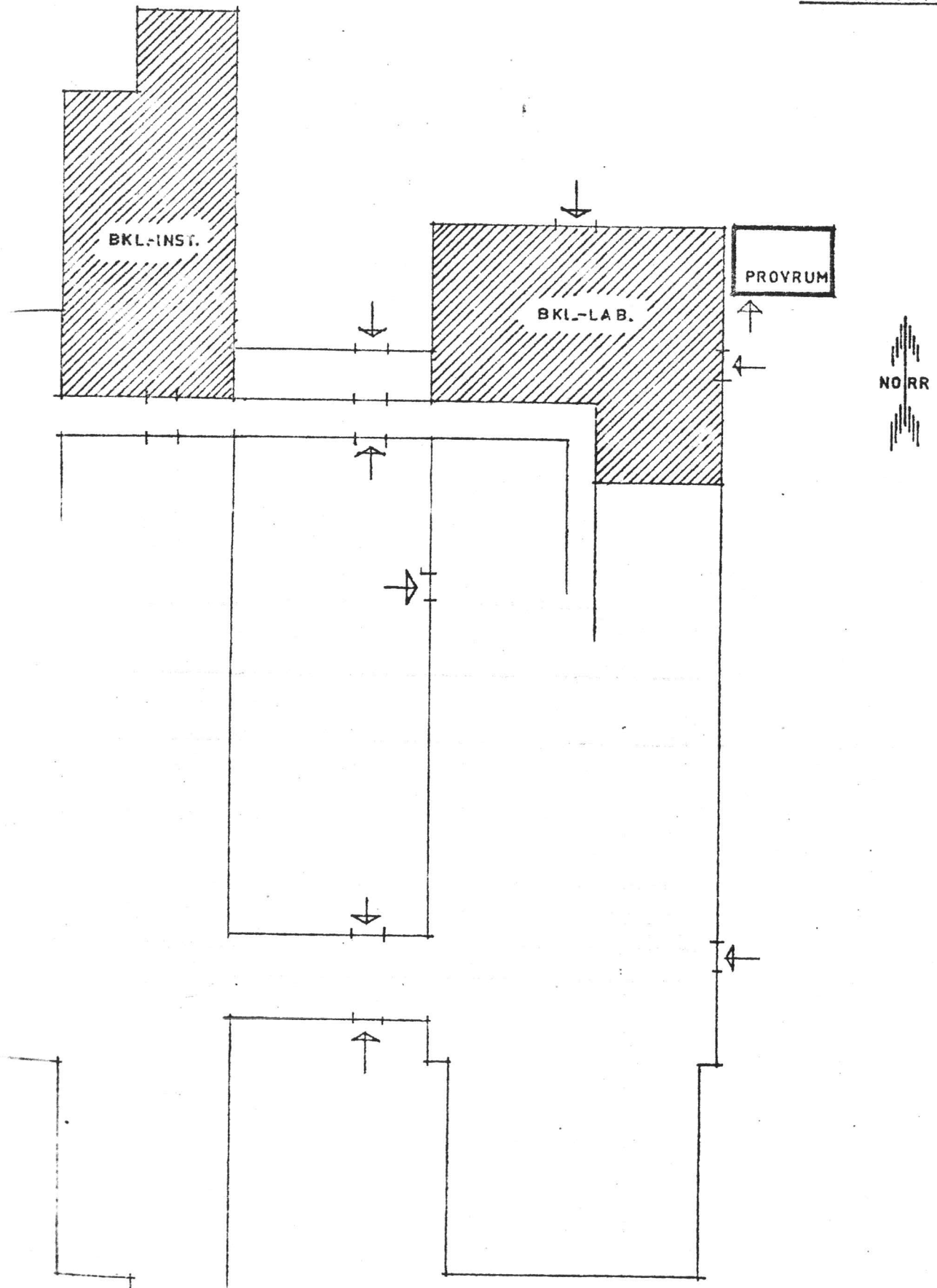
och slutligen felet i deterministiska signalen, definierad som

$$e_d(t) = y(t) - y_d(t).$$

11. Referenser.

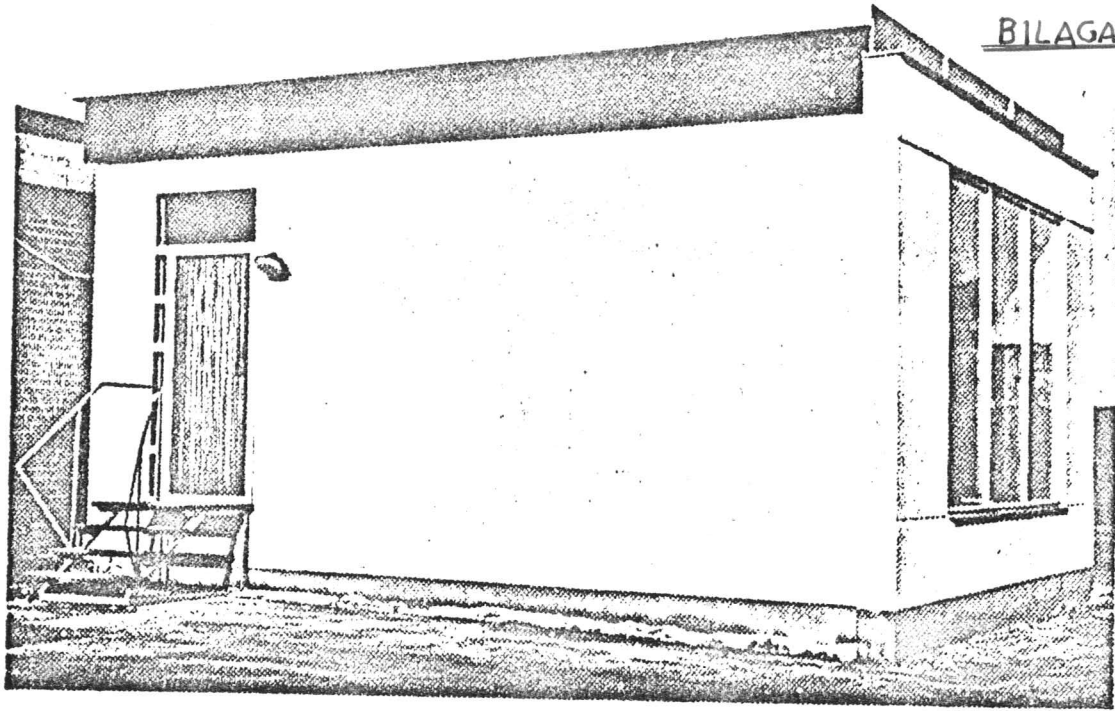
- [1] Nord, Rosengren: Konstruktion av PRBS-generator.
Rapport RE-59. Inst. för Regl. teknik, LTH.
- [2] Ivar Gustavsson: Litet kompendium på inst. för Regl.
teknik, LTH.
- [3] Ivar Gustavsson: Parametric identification on multiple
input, single output linear dynamic system.
Report 6907. Inst. för Regl. teknik, LTH.

BILAGA A.

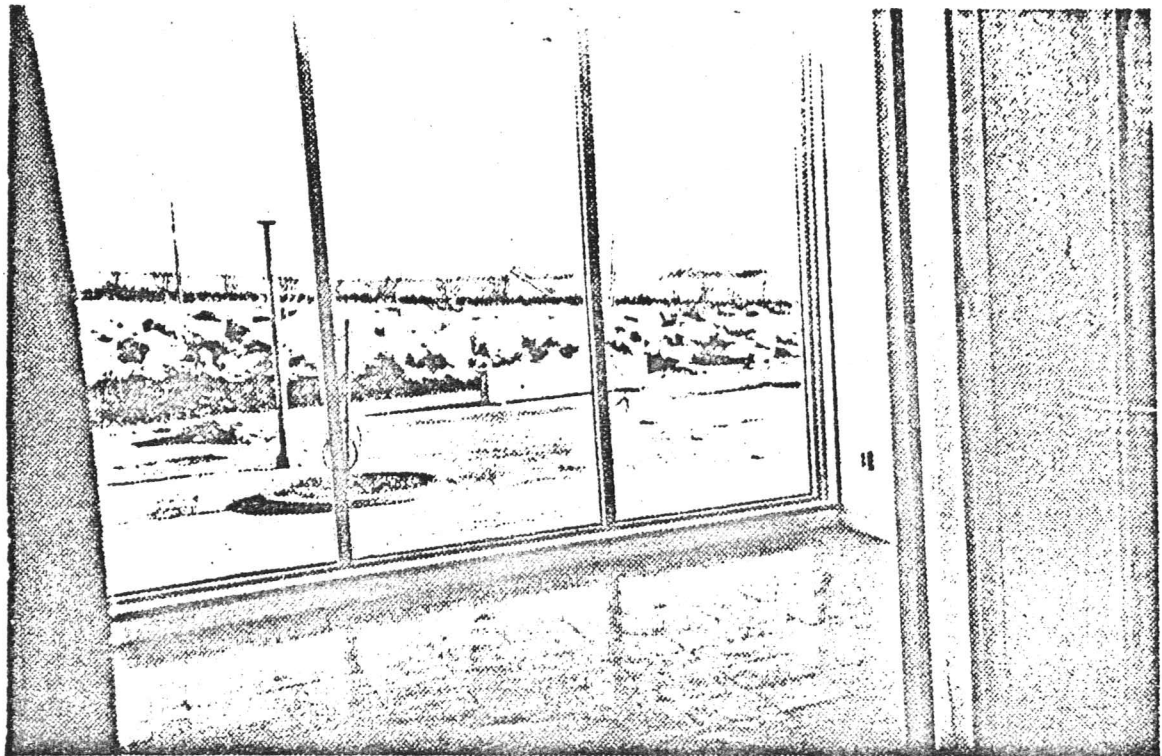


PROVRUM

FÖR STUDIER AV
UTOMHUSFÖRHÅLLANDENS INVERKAN PÅ RUMSKLIMATET
BYGGNADSTEKNISK UPPBYGGNAD.

BILAGA B.

■ Provrummets uppbyggnad, utifrån.



■ Provrummets uppbyggnad, inifrån.

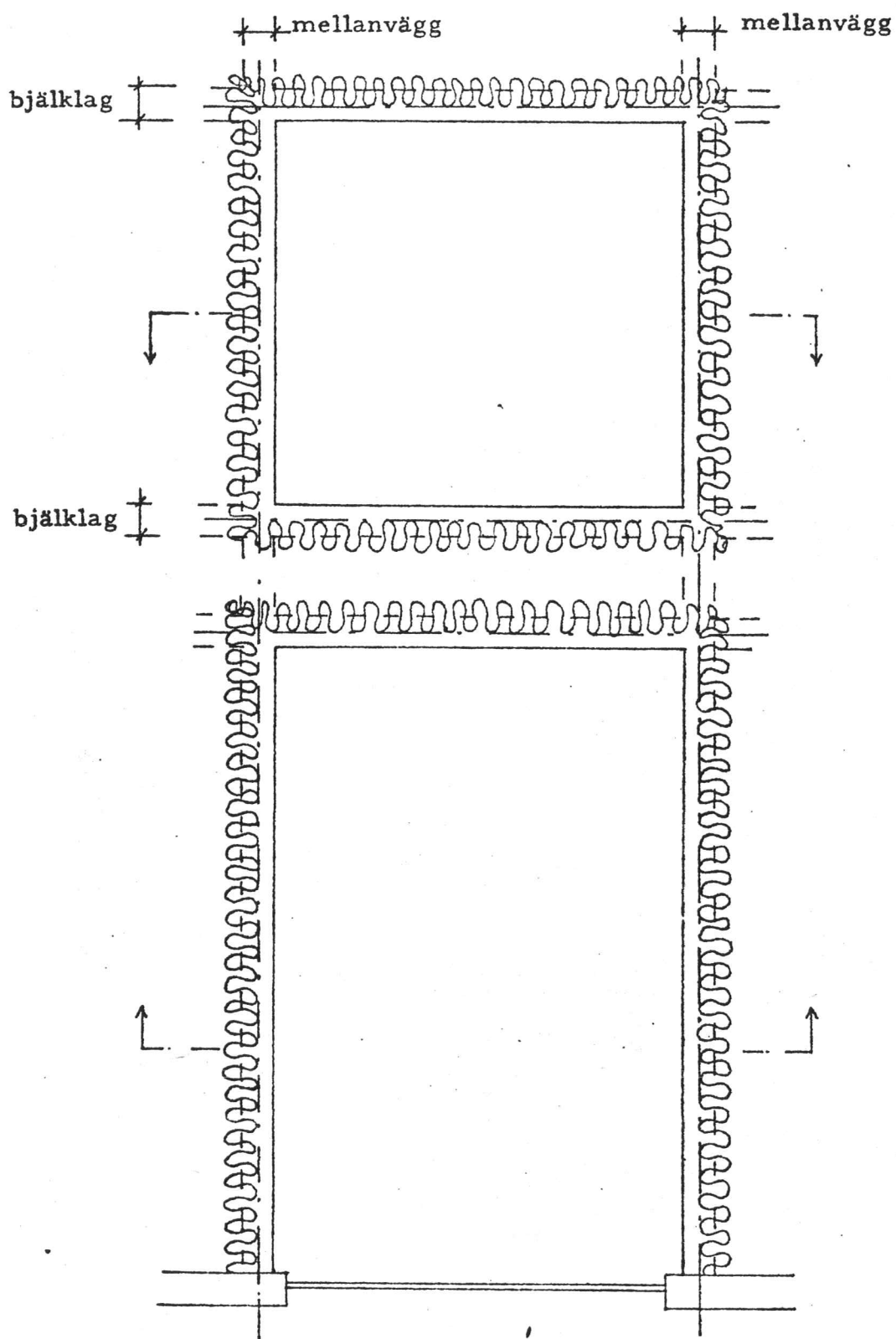
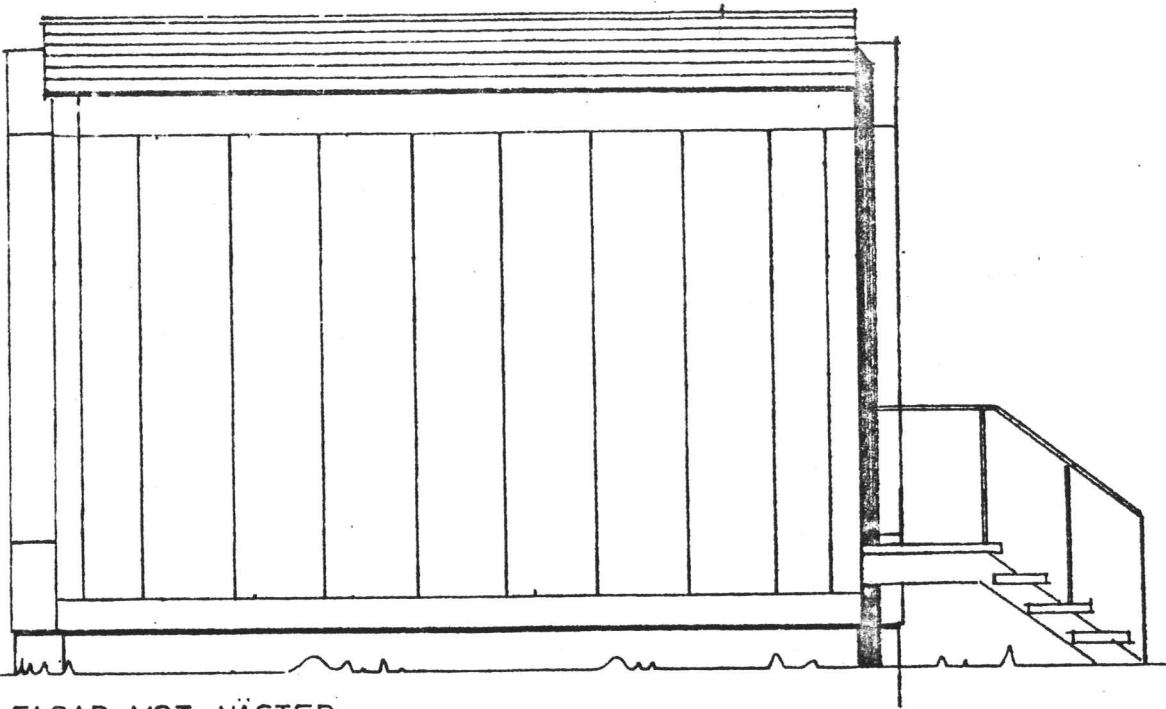
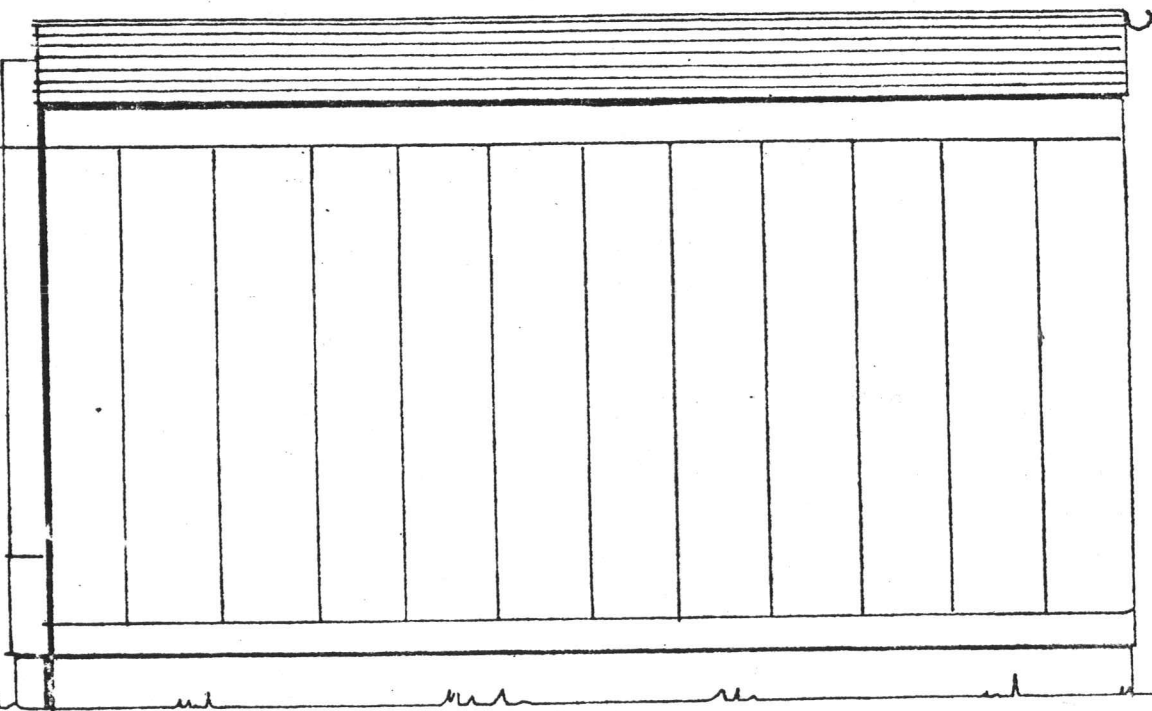


Fig. 1 Princip för provrummet



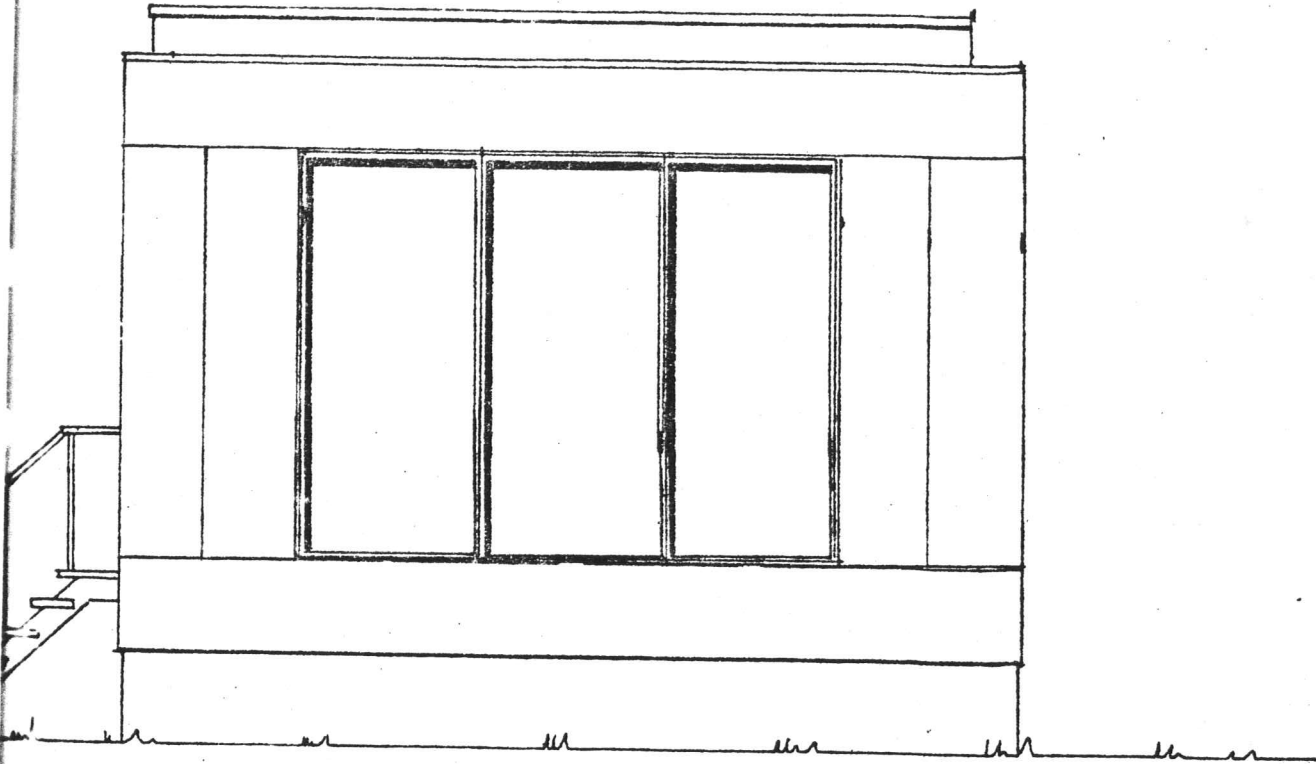
FASAD MOT VÄSTER



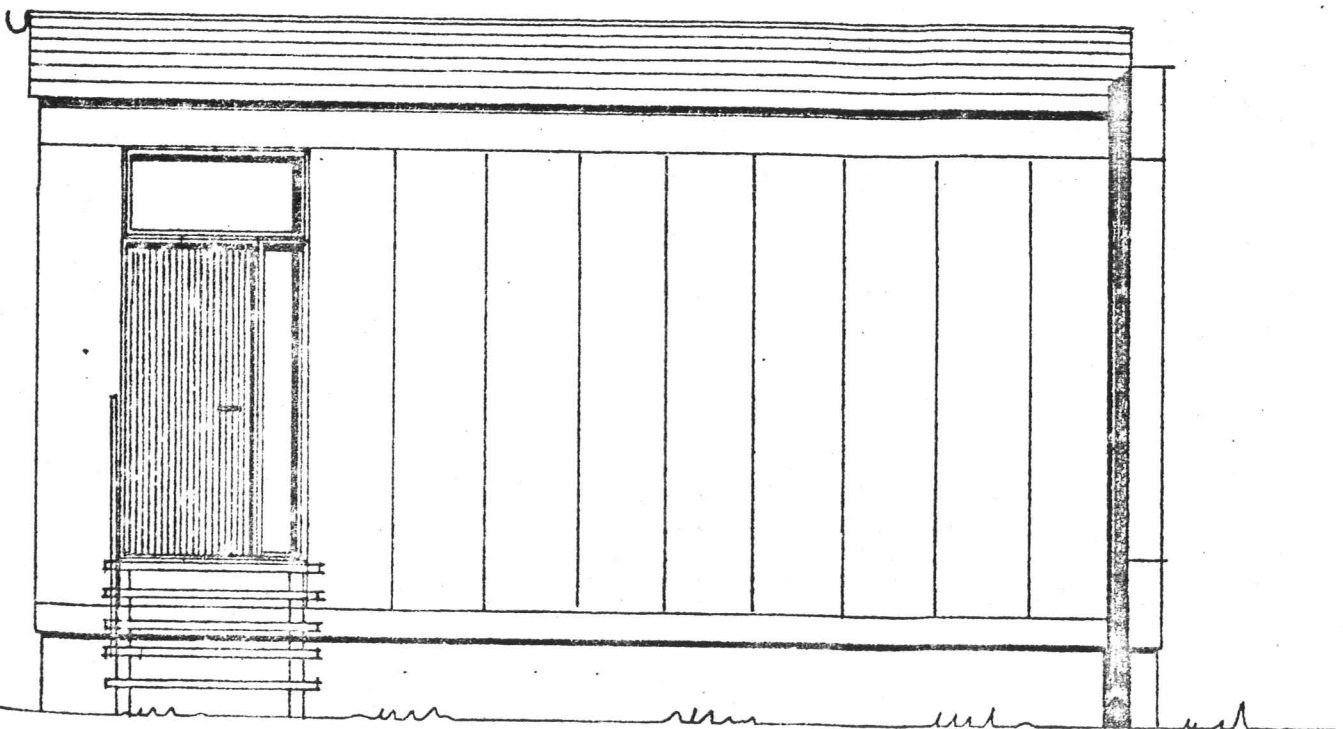
FASAD MOT NORR

Fig. 2

FASADER



FASAD MOT ÖSTER



FASAD MOT SÖDER

Fig. 3

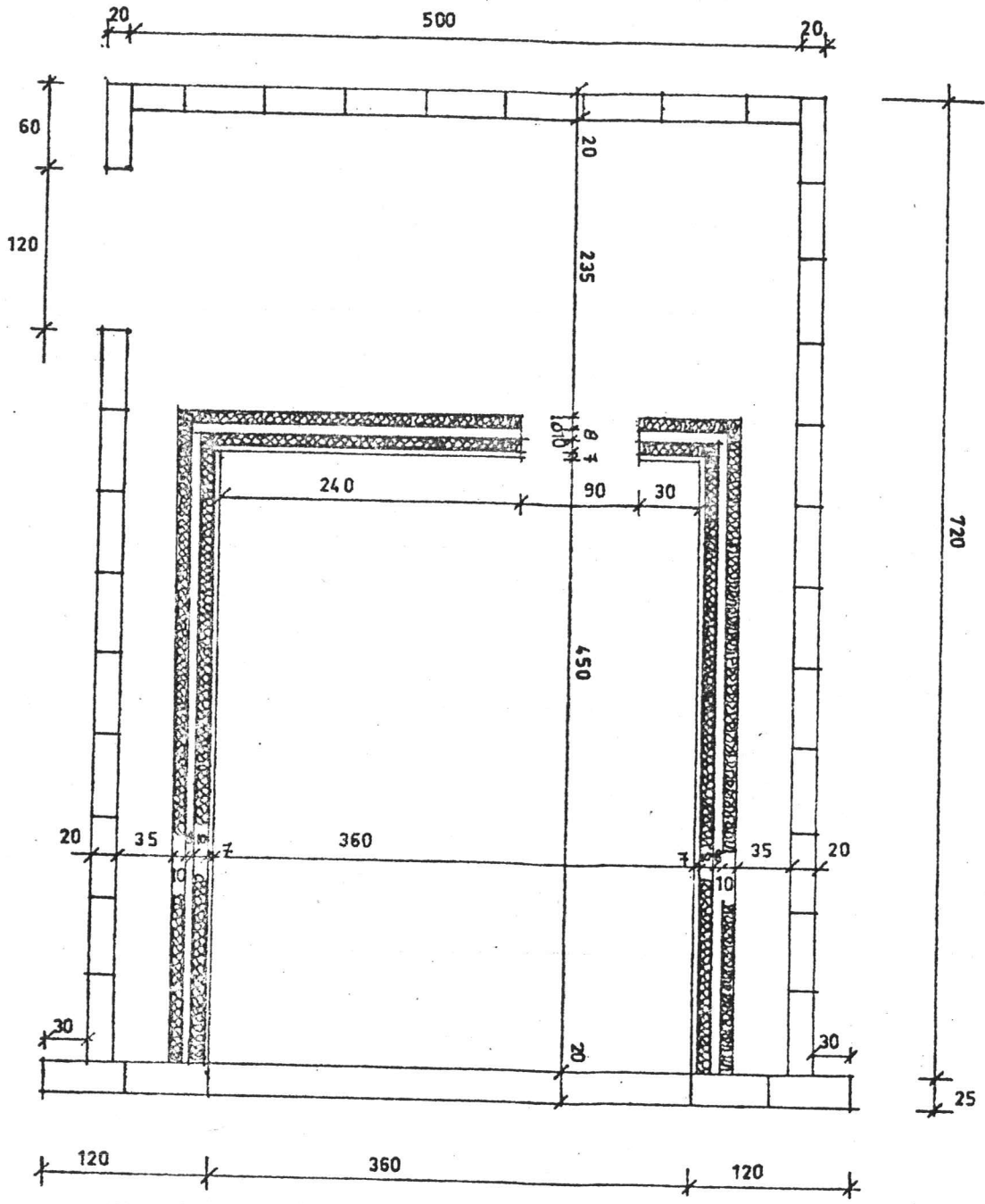


Fig. 4

32
SEKTION VID
FÖNSTERVÄGG

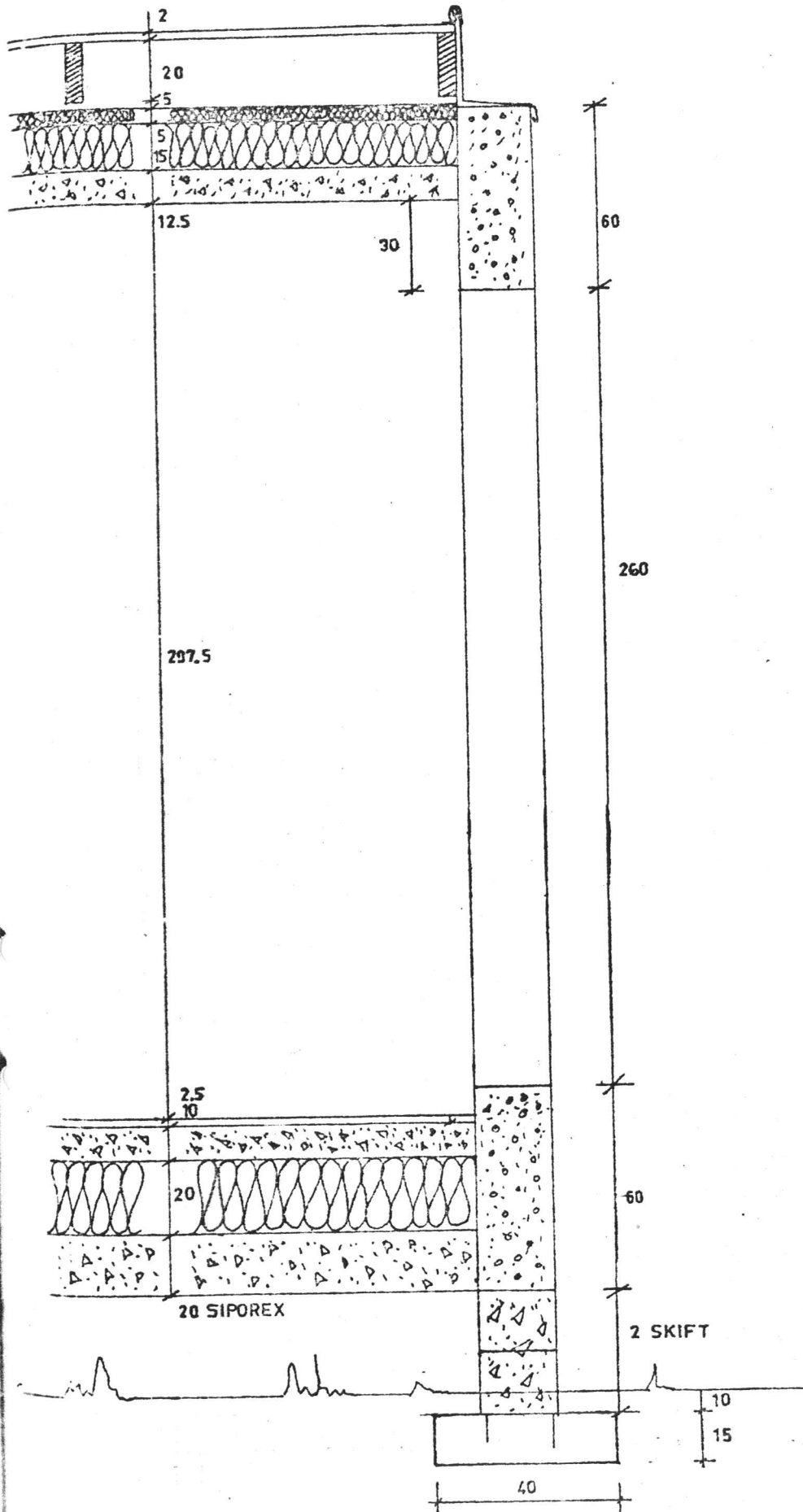


Fig. 5

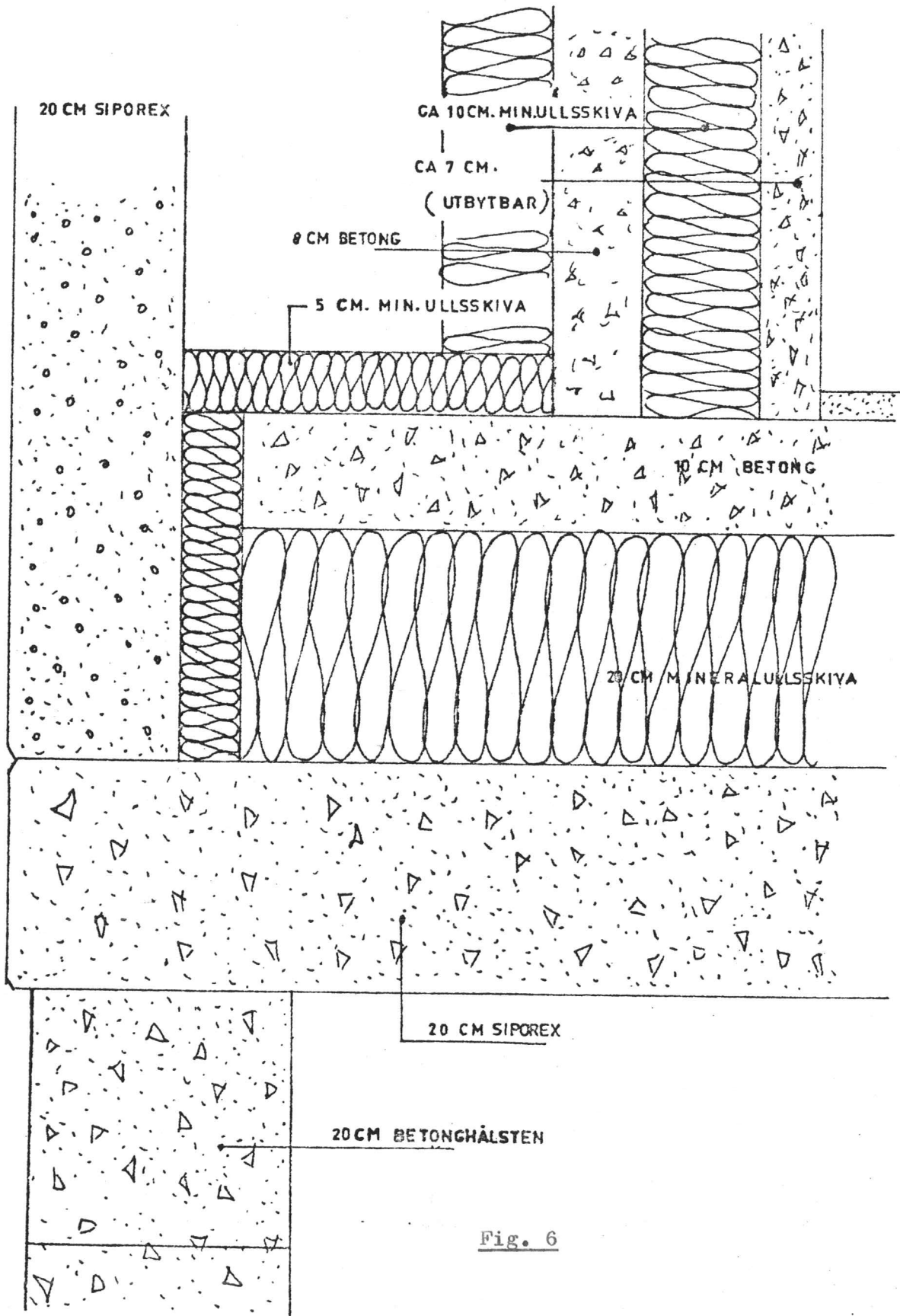


Fig. 6

DETALJ VID "TAKFOT"
/LÅNGFASADER/

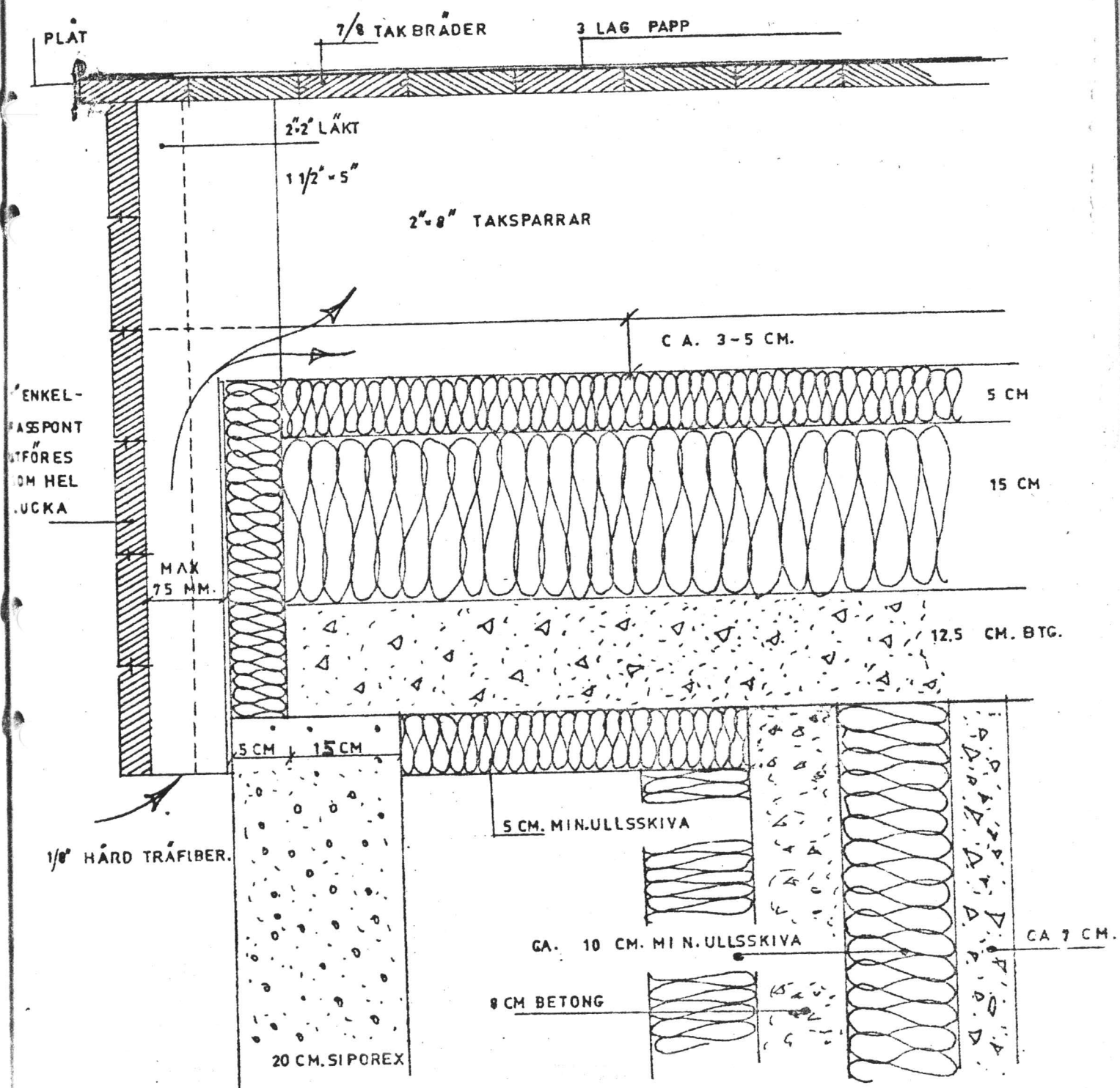
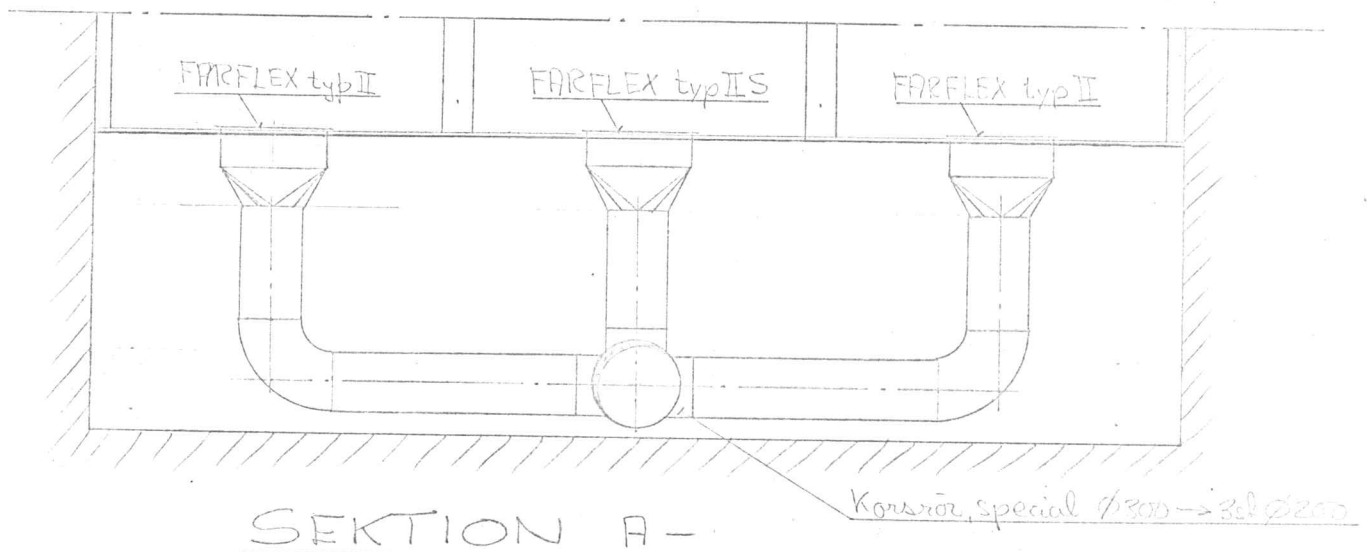
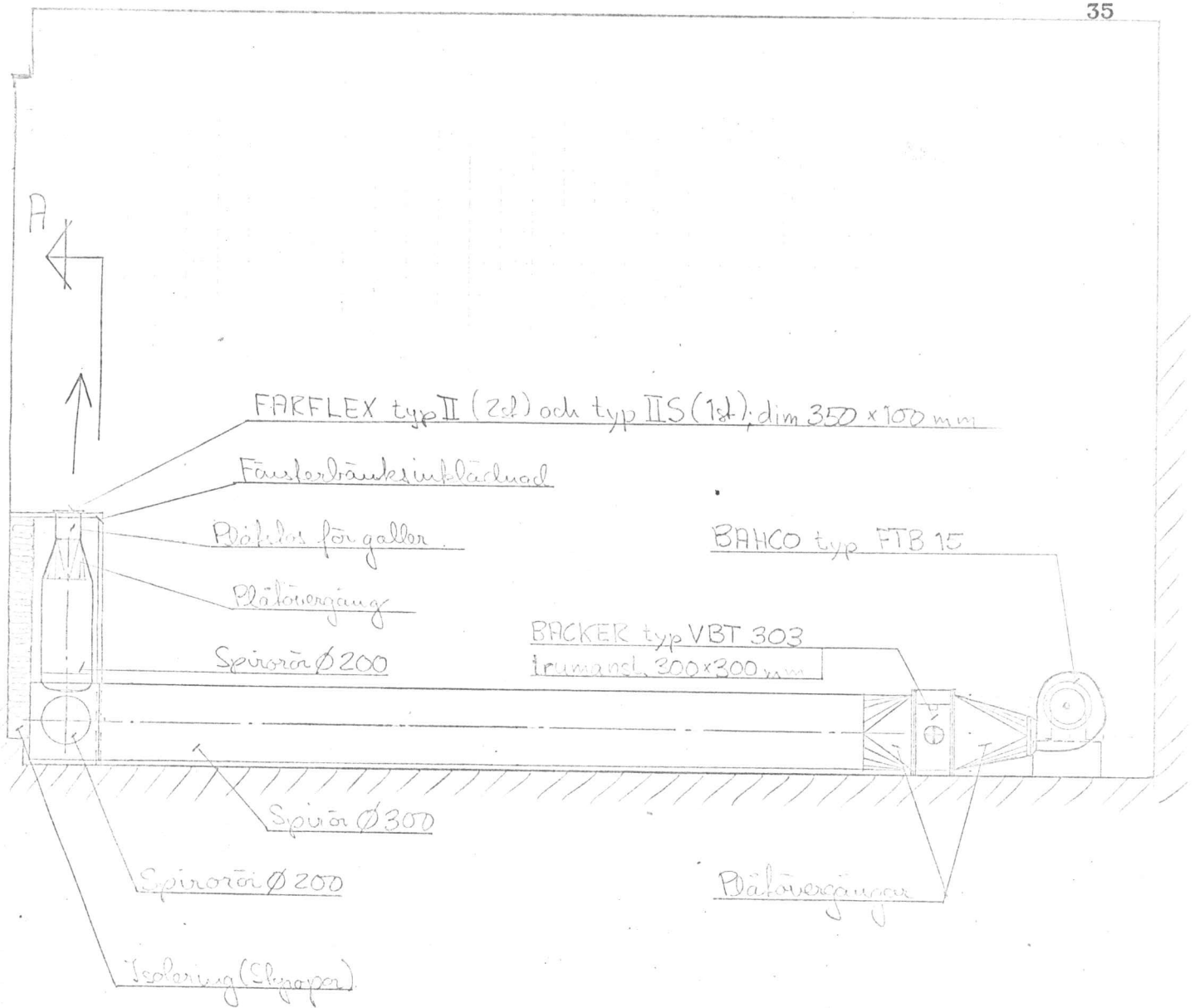


Fig. 7



SEKTION A -

Figur 8

SKALA 1:25

Förslag till uppvärmning av provrum vid LTH Lund

17/10-65 VVS-Teknik AB / Rensel Andersson

TERMOELEMENT 36 VÄGG
SÖDER 25*5 = 125 ST.

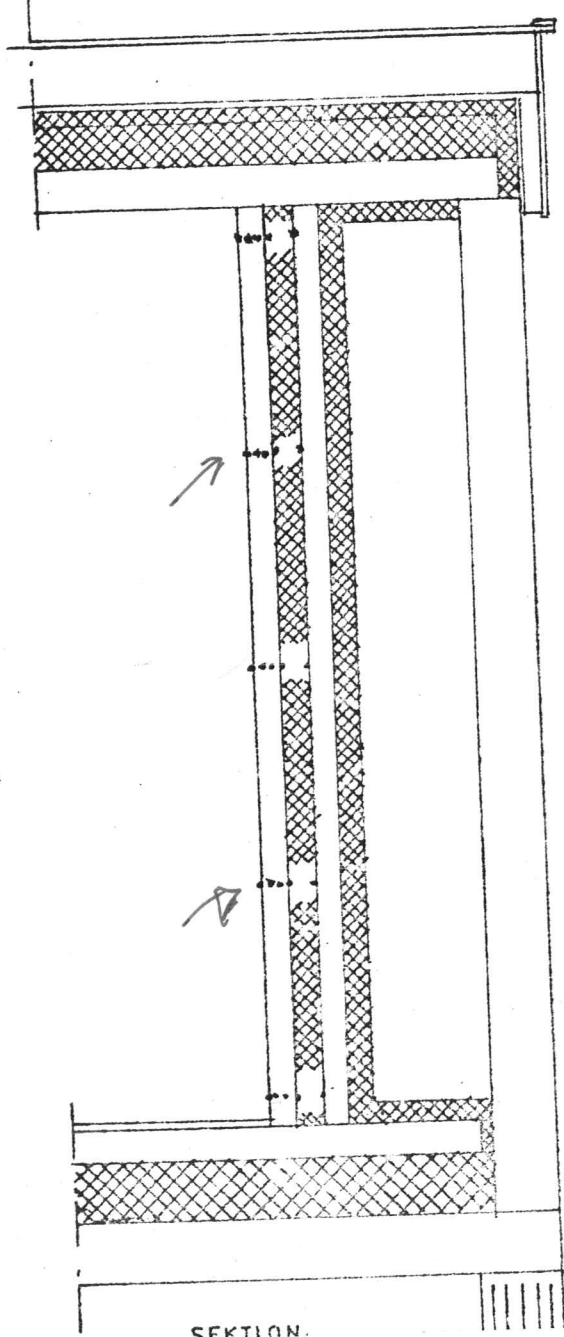
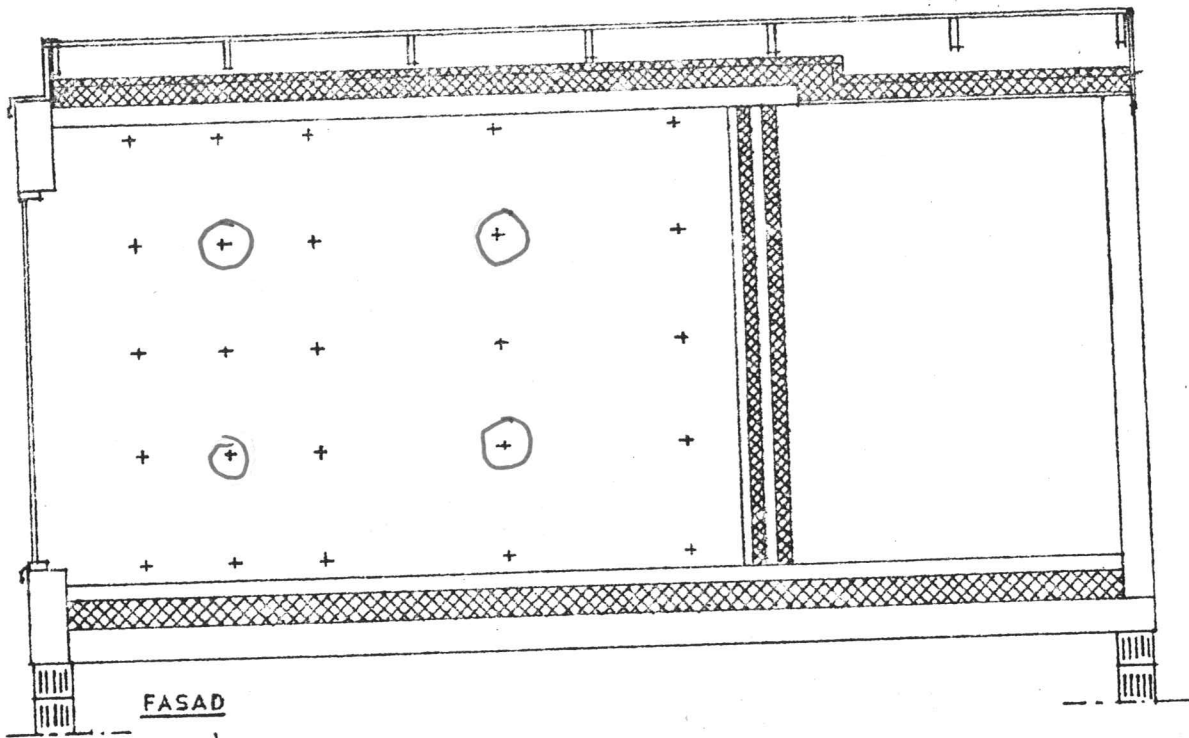
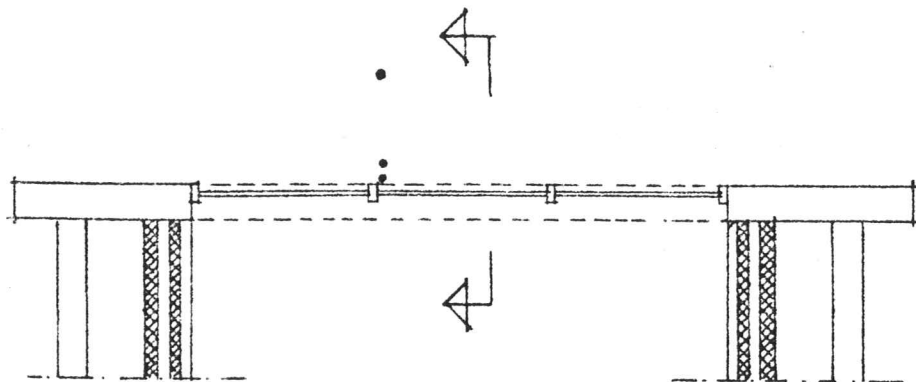
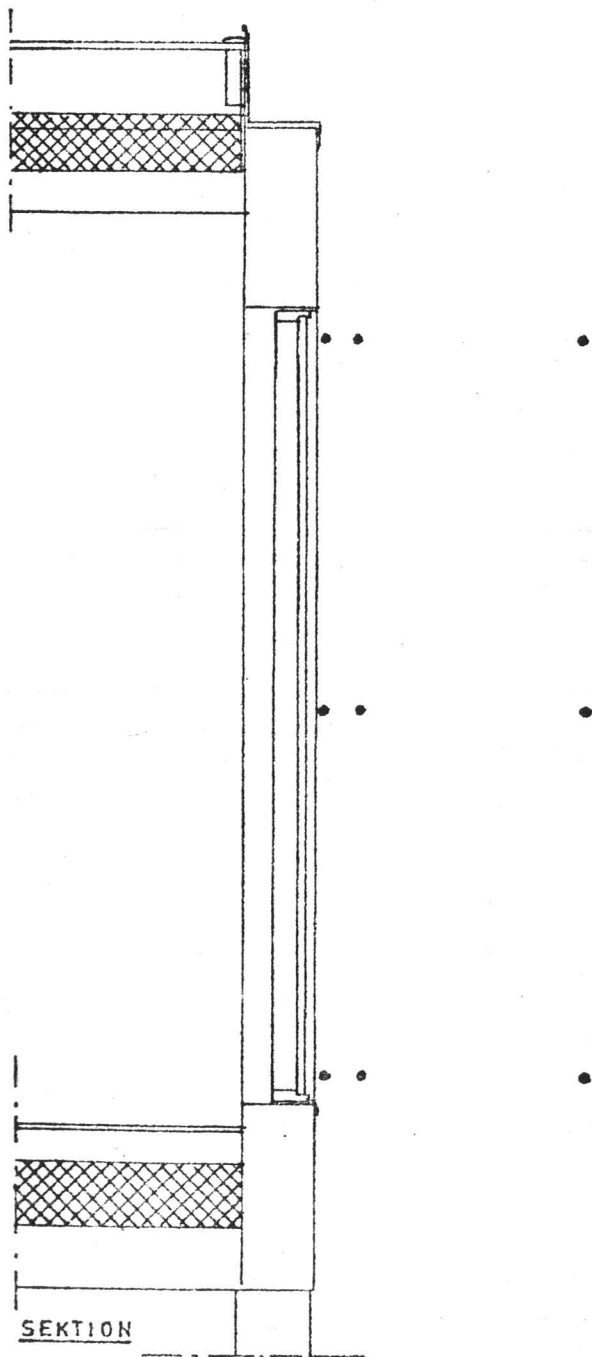


Fig. 9

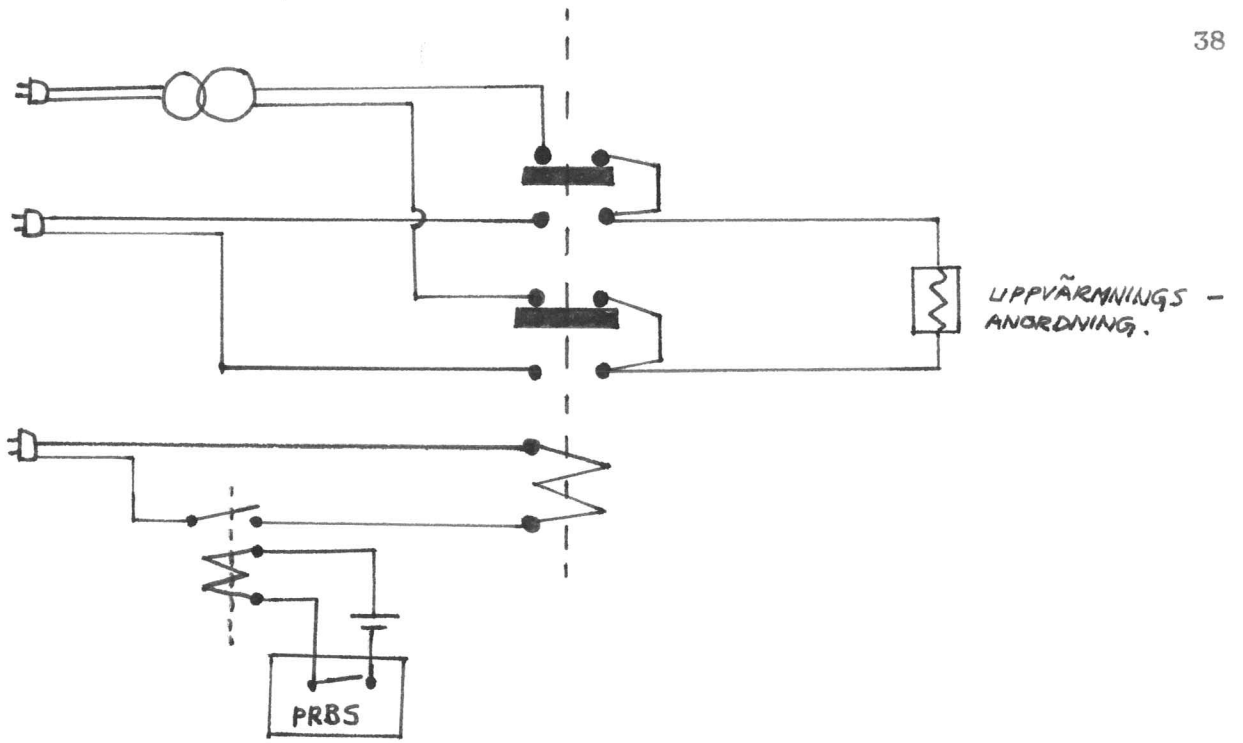


PLAN

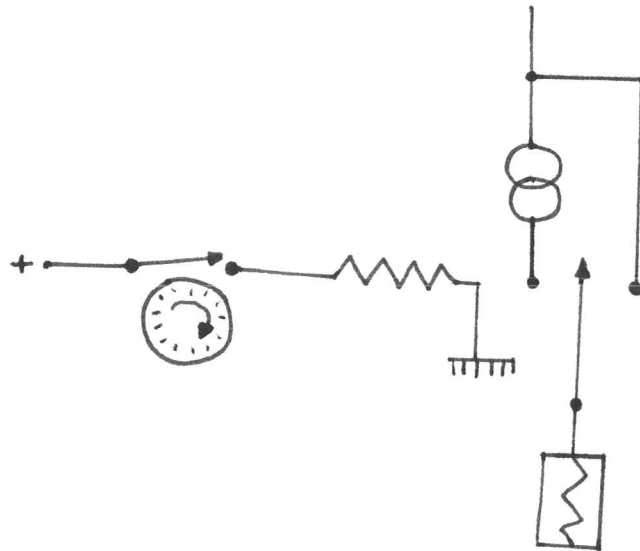


SEKTION

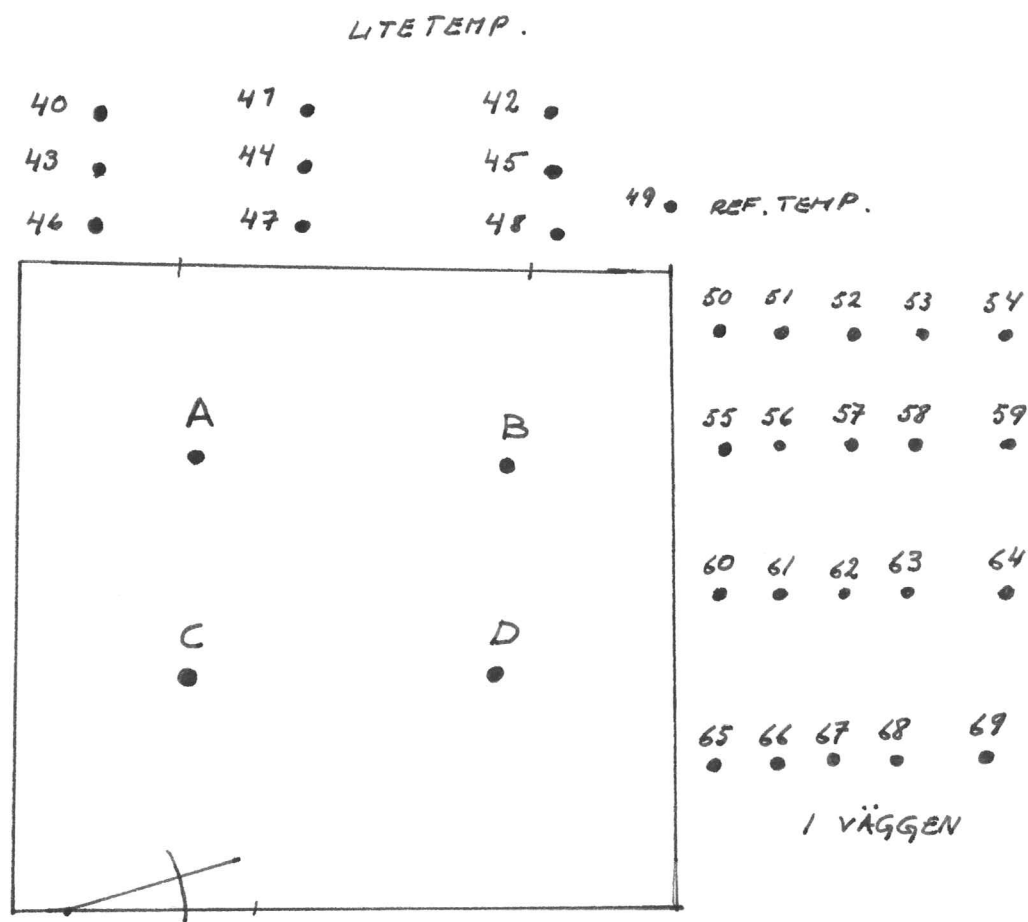
Fig. 10



Figur 11



Figur 12



- A: 00, 01, ..., 09 FRÅN GOLV TILL TAK
 B: 10, 11, ..., 19 FRÅN TAK TILL GOLV
 C: 20, 21, ..., 29 FRÅN GOLV TILL TAK
 D: 30, 31, ..., 39 FRÅN GOLV TILL TAK

Figur 13

40 Monday Monday Lundi / Dienstag Tuesday Mardi / Mittwoch Wednesday Mercredi / Donnerstag Thursday Jeudi / Freitag Friday Vendredi / Sonnabend Saturday Samedi / Sonntag Sunday Dimanche / Montag

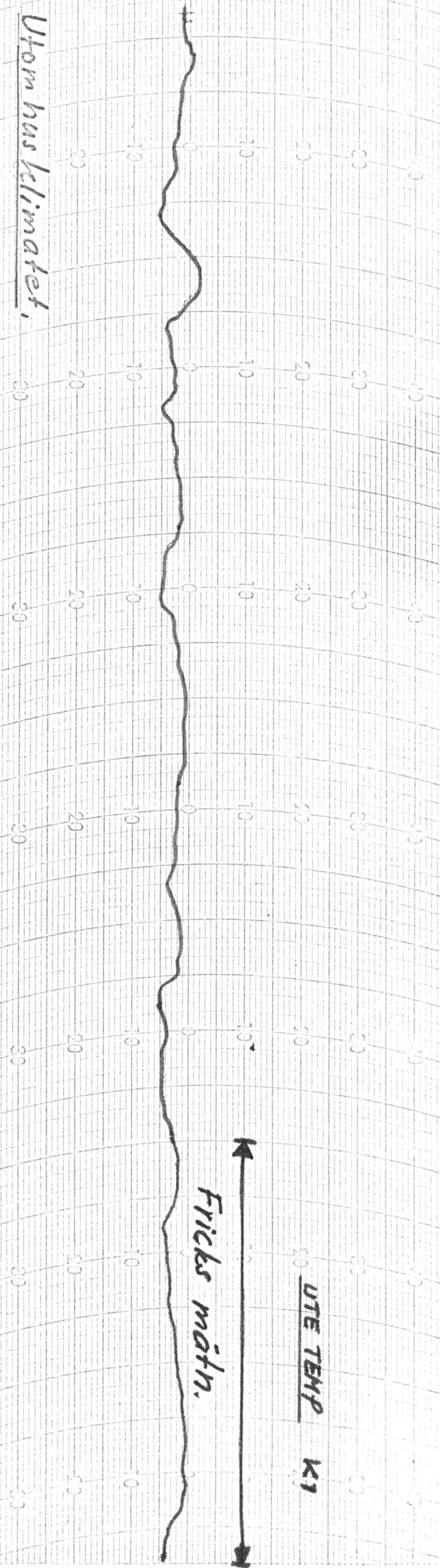
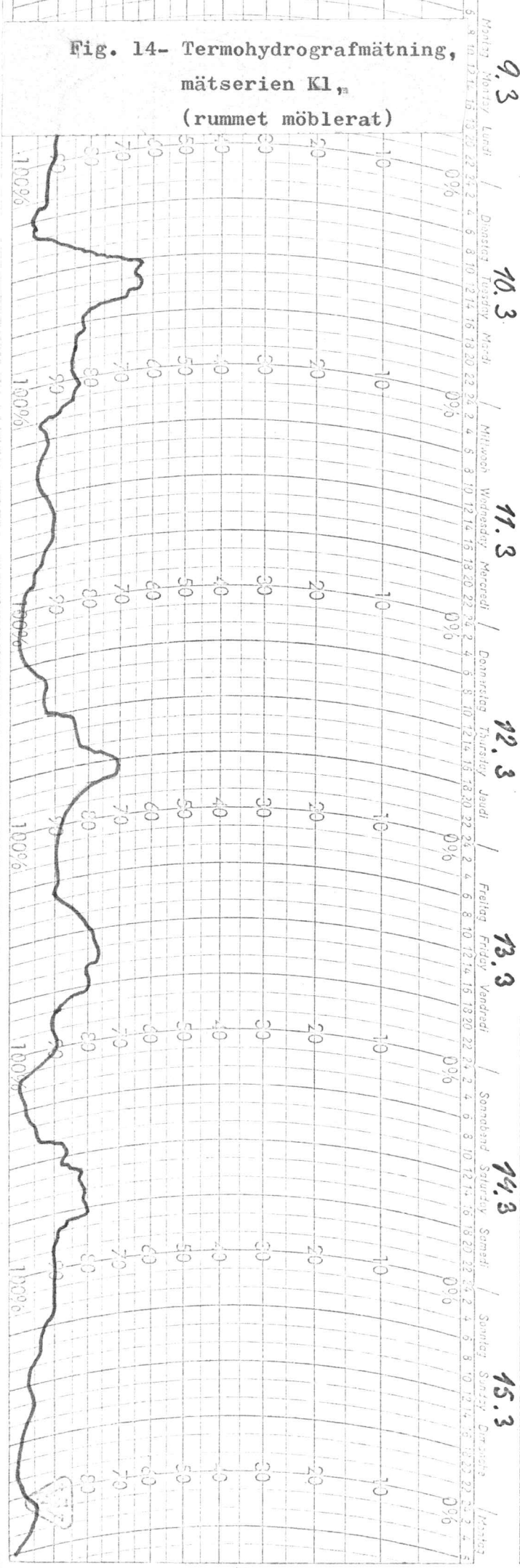


Fig. 14- Termohydrografmätning, mätserien Kl₃ (rummet möblerat)



Monday Monday Lunfi / Dienstag Tuesday Marti / Mittwoch Wednesday Mercati / Donnerstag Thursday Jeudi / Freitag Friday Venedri / Sonnabend Saturday Sameti / Sonntag Sunday Dimatti / Montag Monday Lunfi

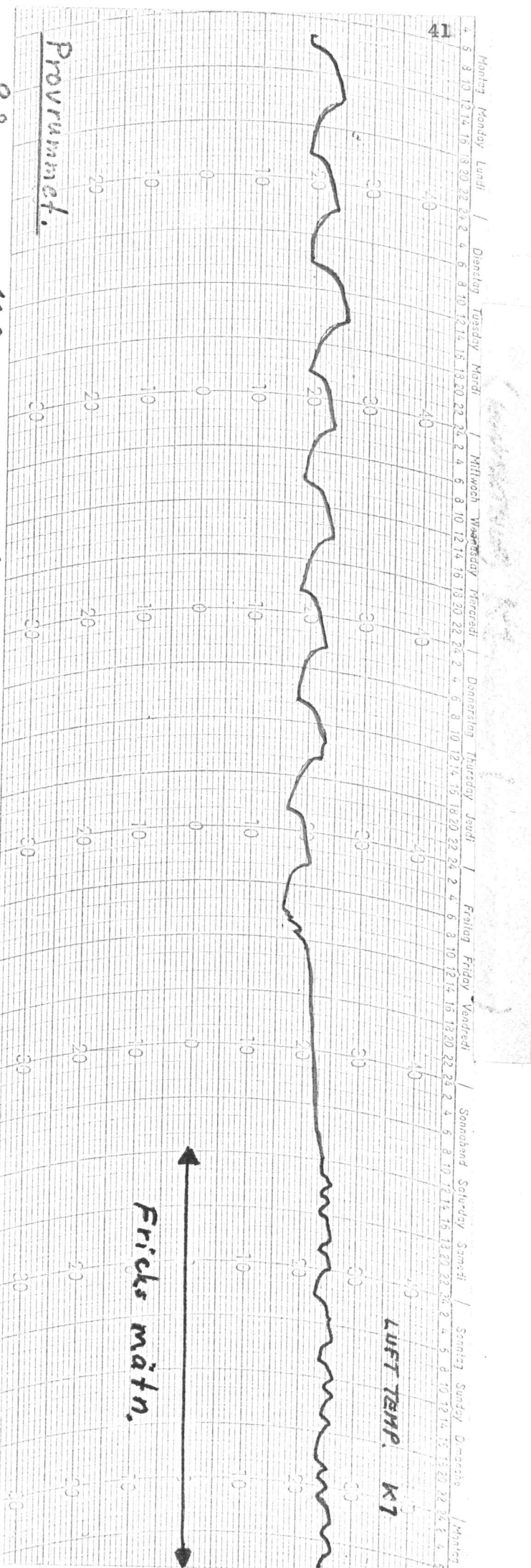


Fig. 15- Termohydrografmätning, mätserien K1 (rummet möblerat)

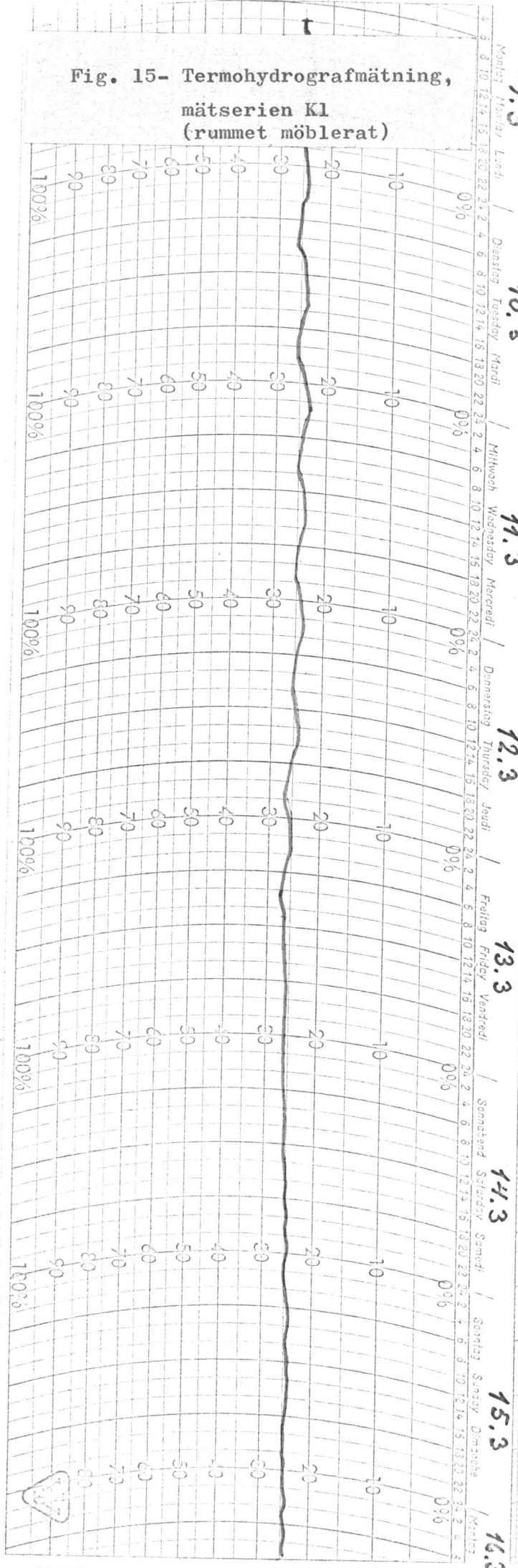
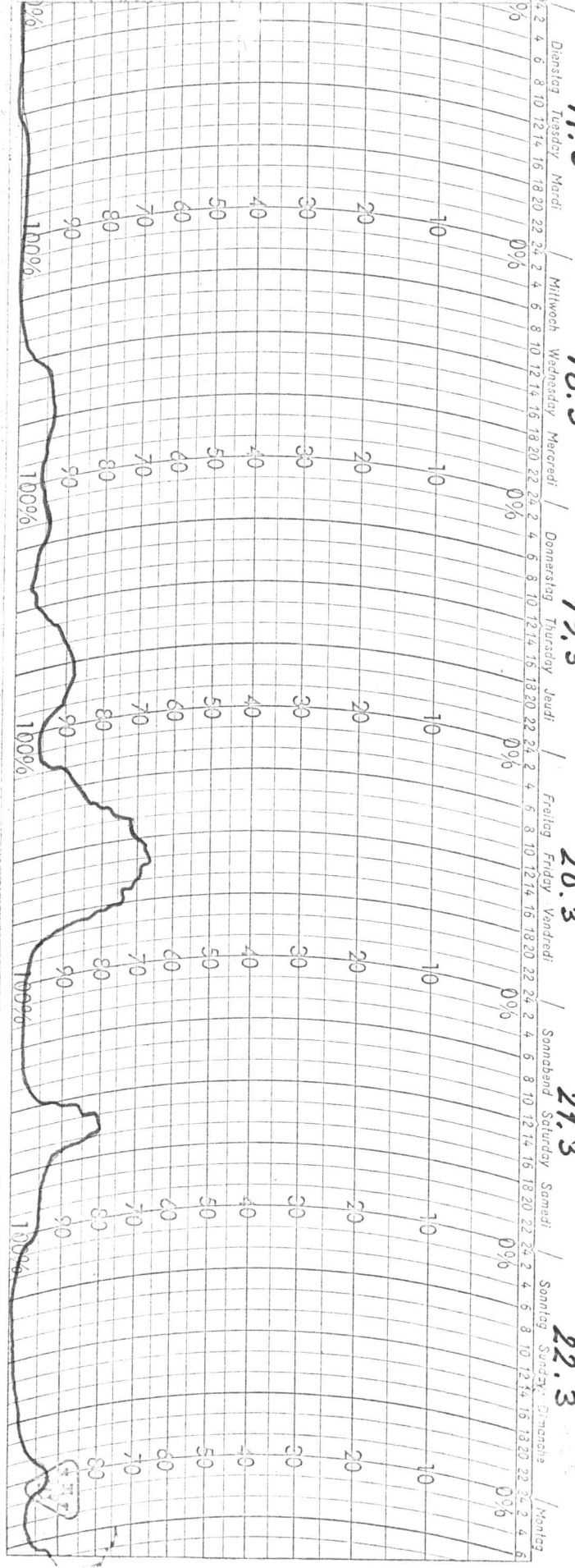


Fig. 17- Termohydrografmätning, mätserien K2



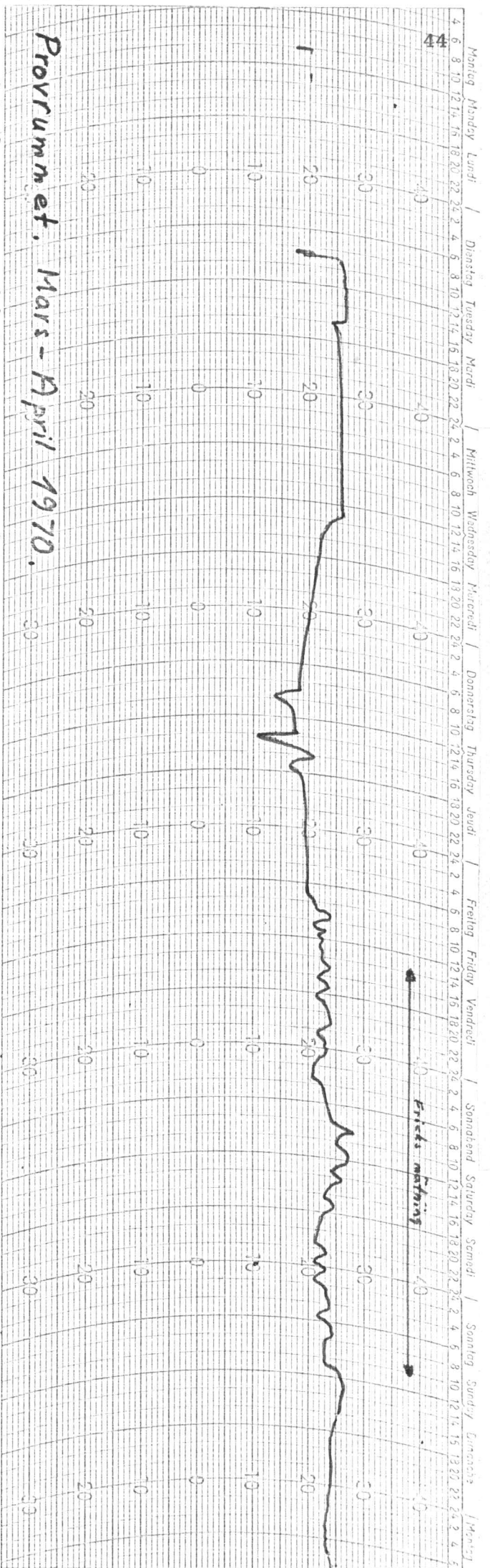


Fig. 18- Termohydrografmätning, mätserie R1.

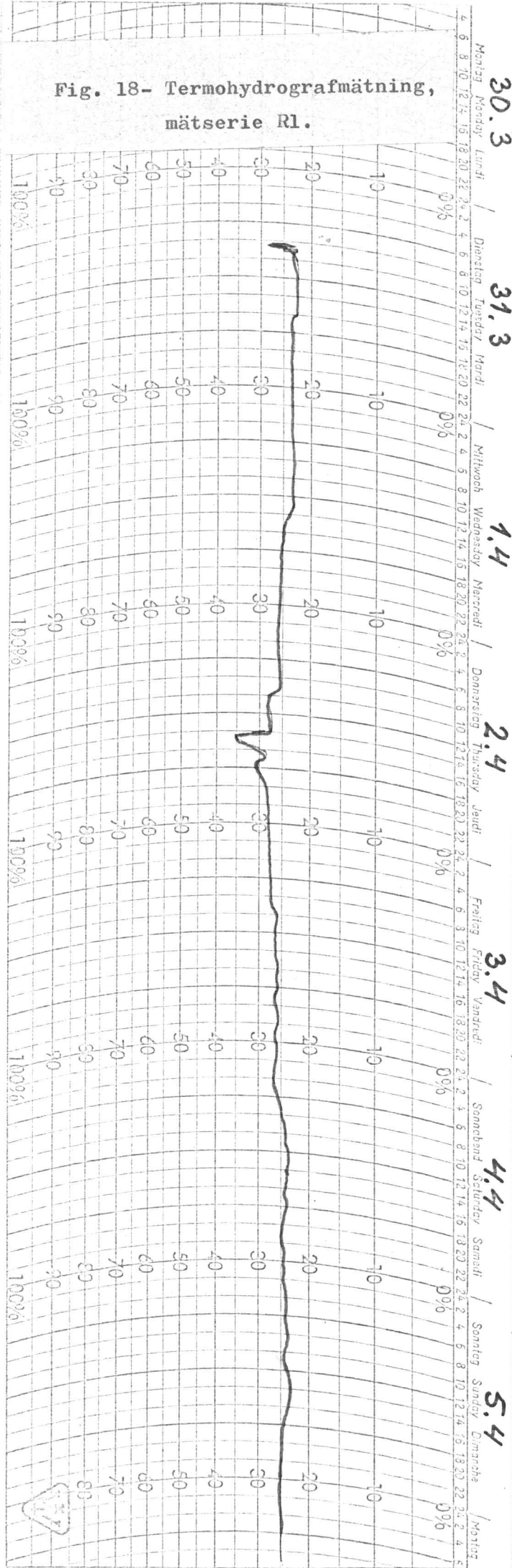
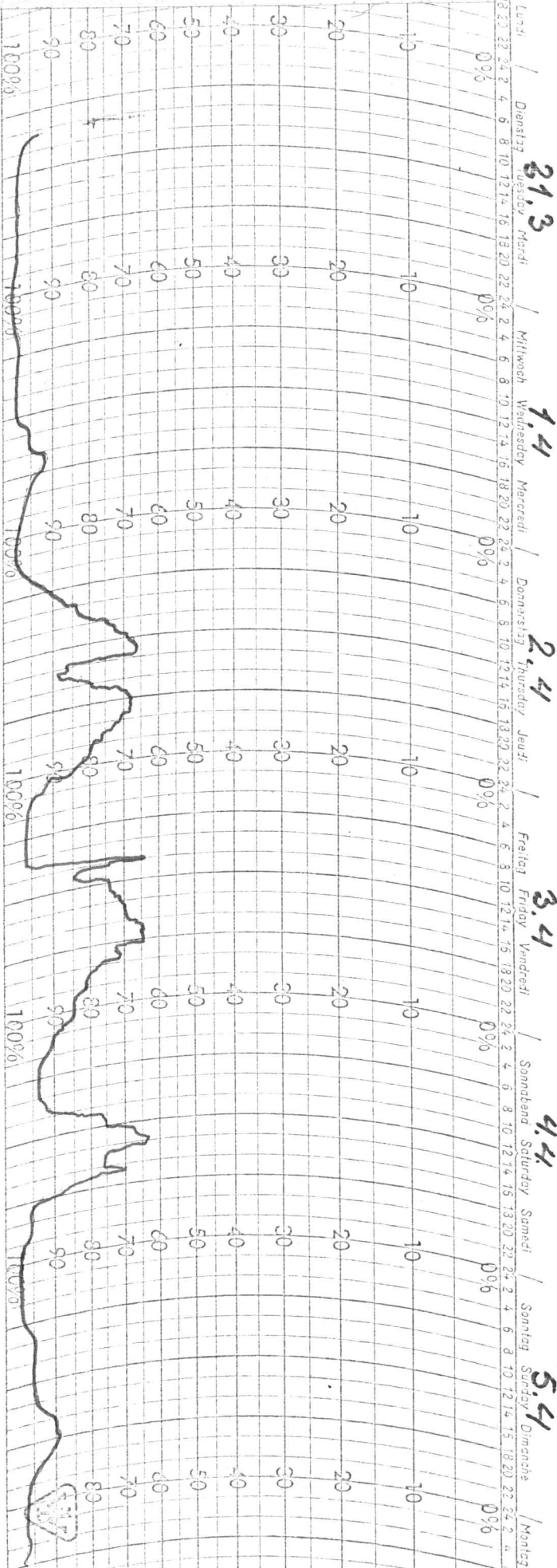
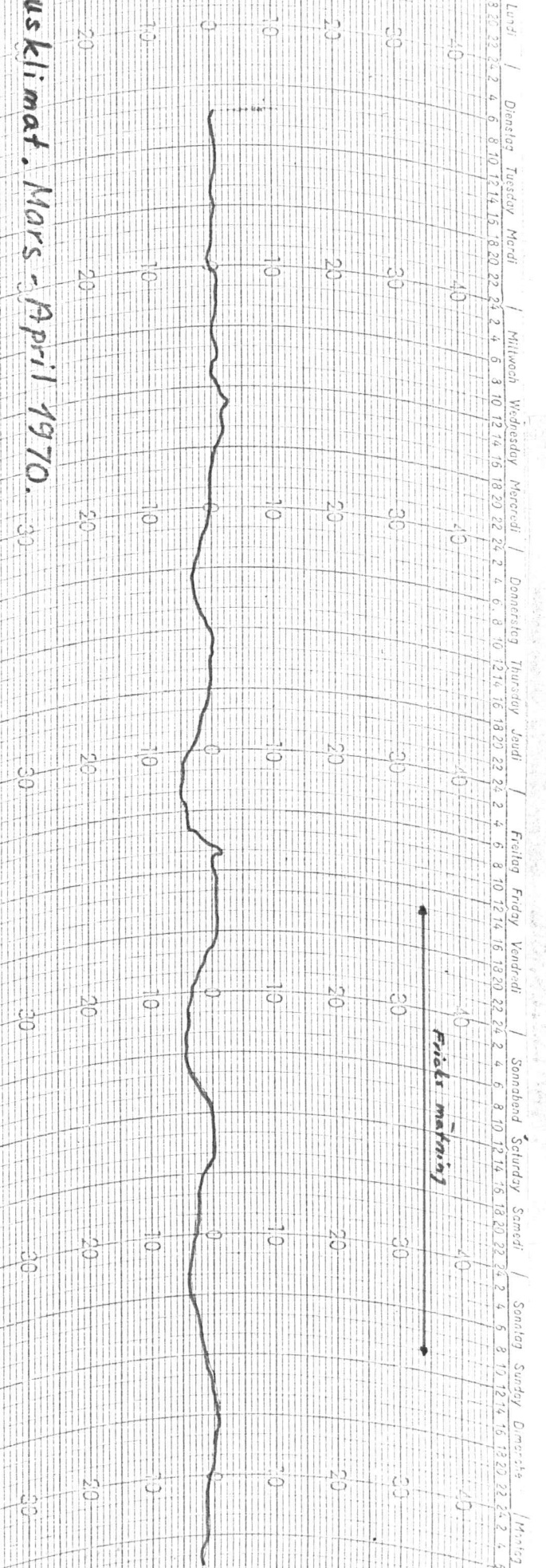


Fig. 19- Termohydrografmätning, mätserien R1



Utomhusklimat. Mars - April 1970.



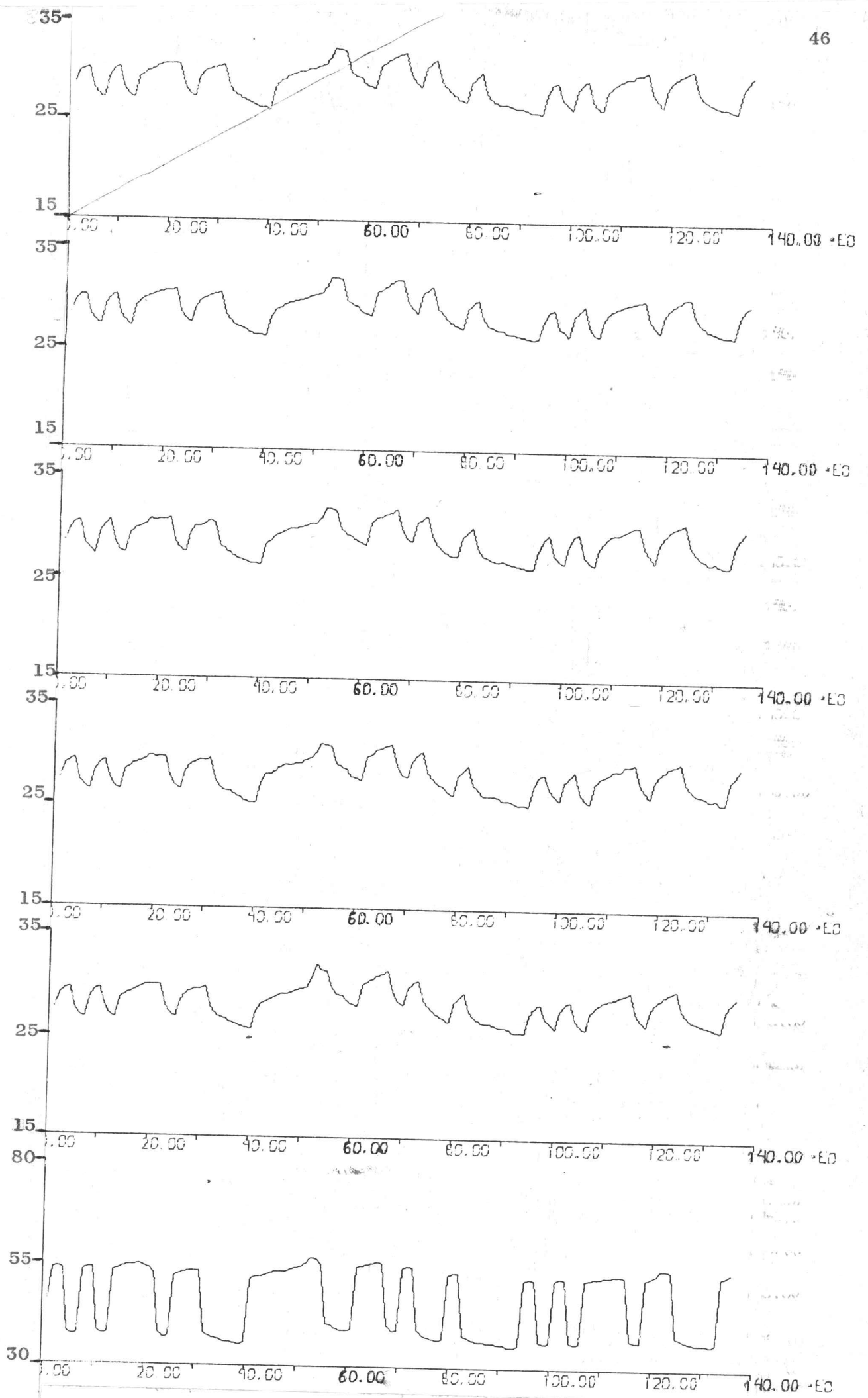


Fig. 20- Plottning av försöksserien Sl. Kanalerna är medelvärden av 05, 15, 25 och 35 samt 35, 25, 15, 05 och 09

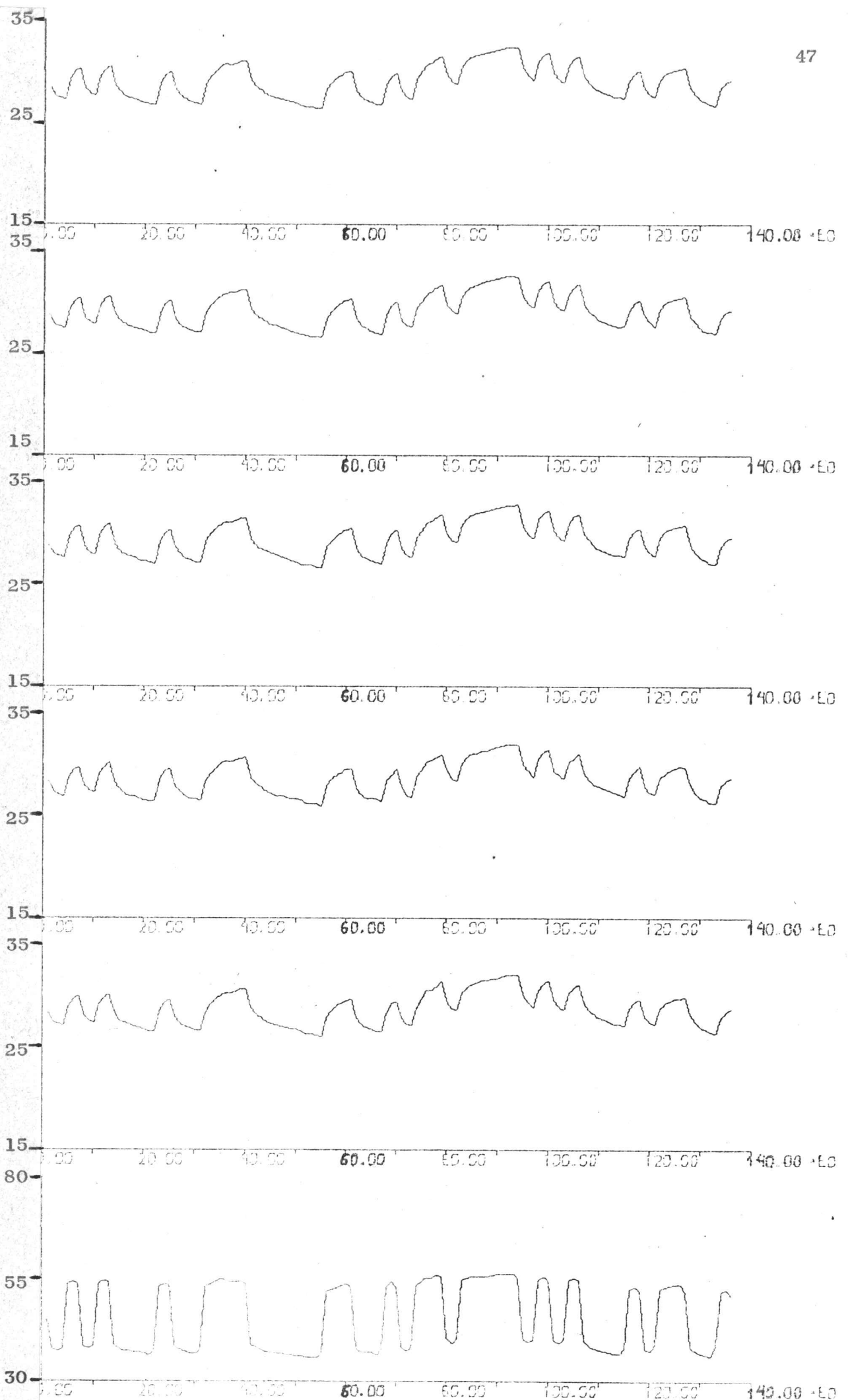


Fig. 21-- Plottning av försöksserien S2. Kanalerna är medelvärdet av 05, 15, 25 och 35 samt 35, 25, 15, 05 och 09

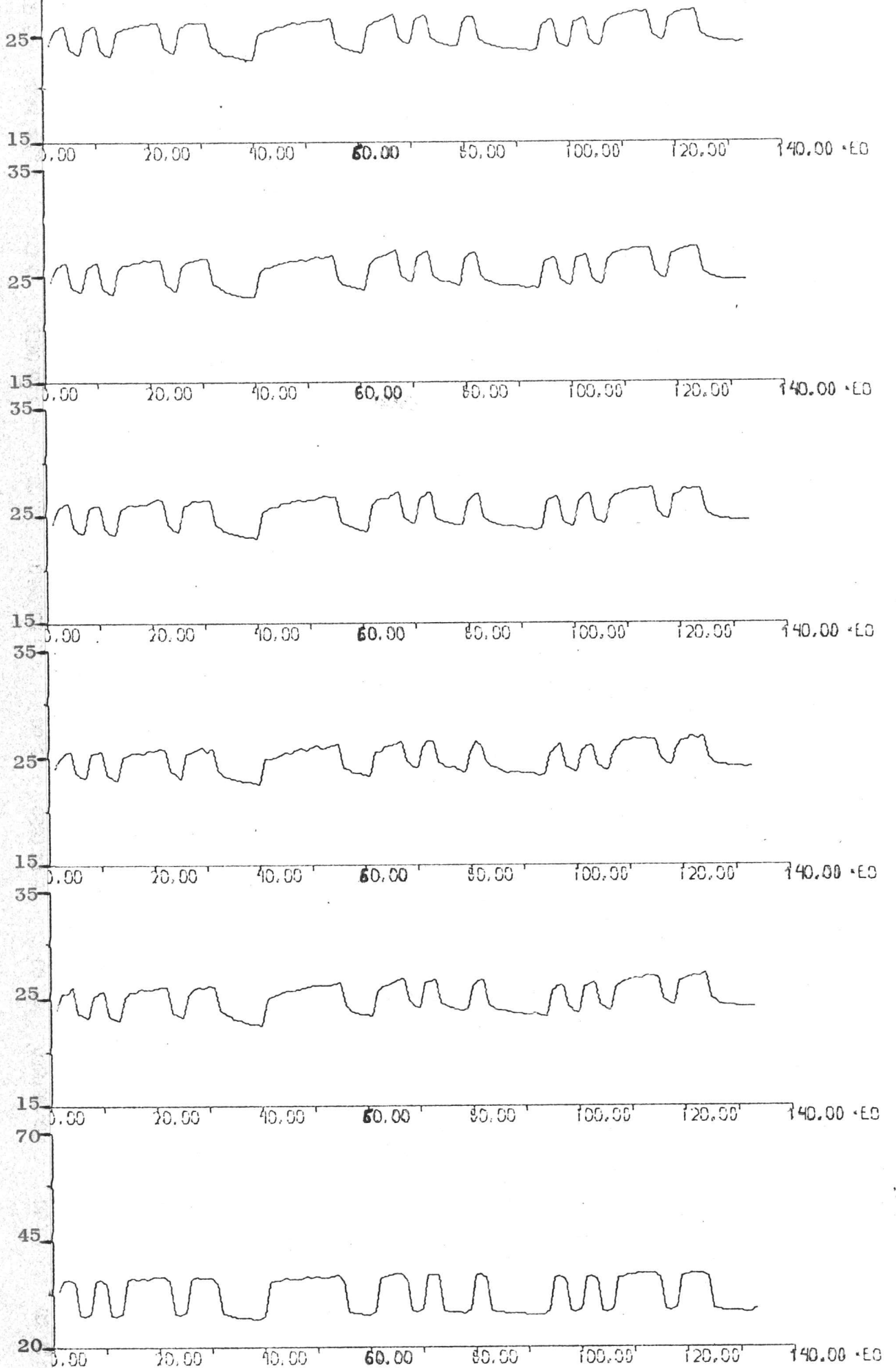


Fig. 22- Plottning av försöksserien Kl. Kanalerna är medelvärden av 05, 15, 25 och 35 samt 35, 25, 15, 05 och 09

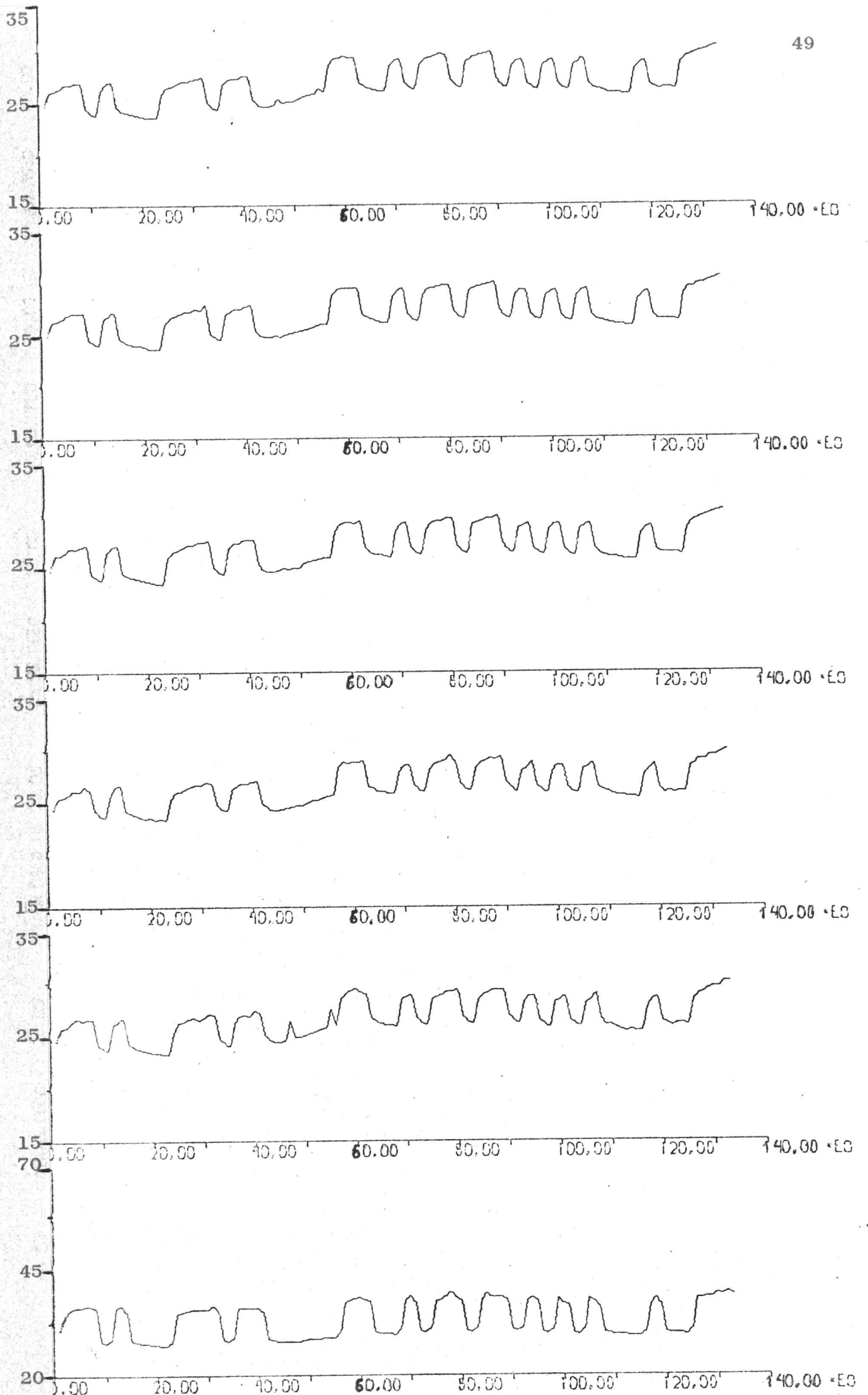


Fig. 23- Plottning av försöksserien K2. kanalerna är medelvärden av 05, 15, 25 och 35 samt 35, 25, 15, 05 och 09

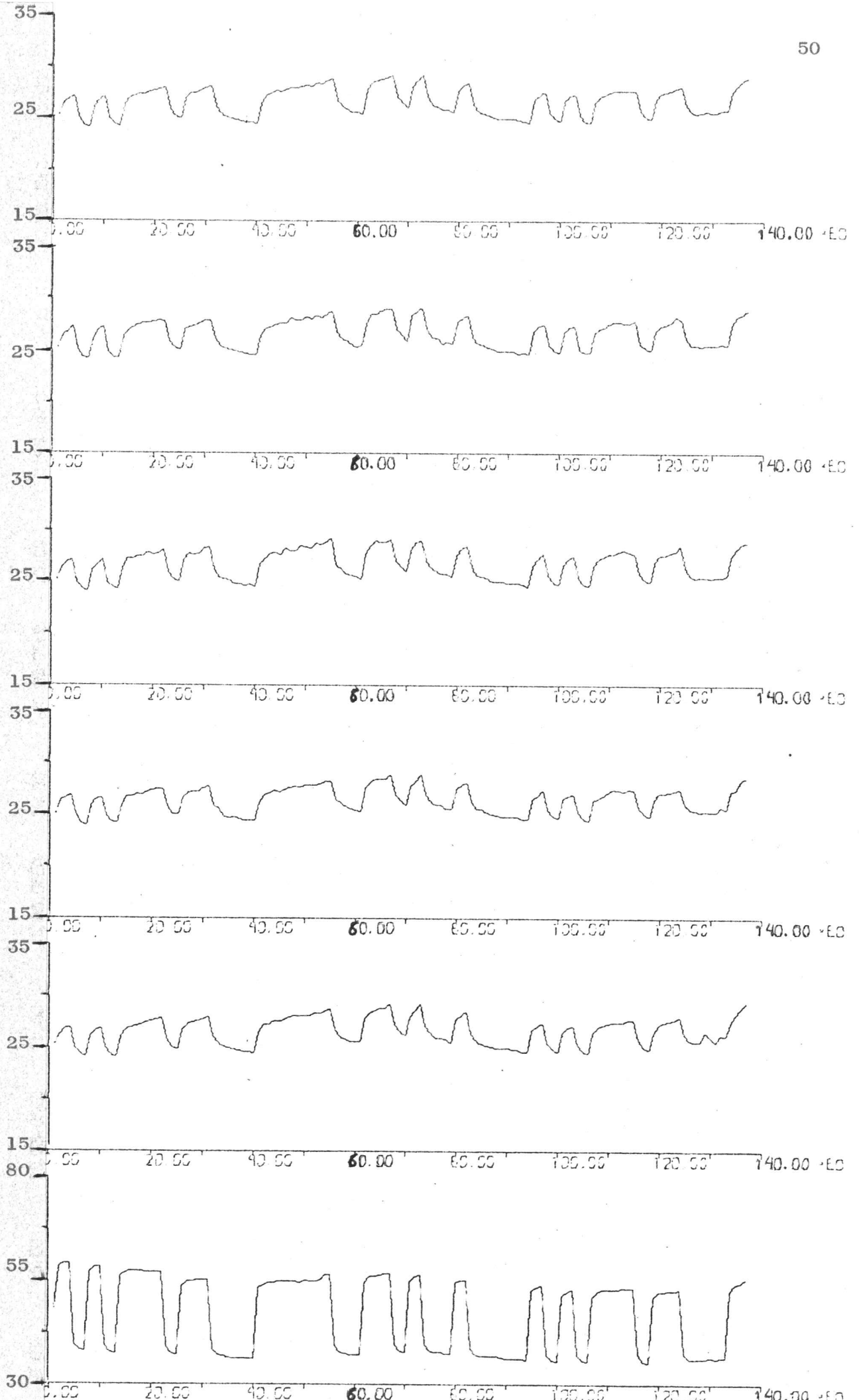


Fig. 24- Plottning av försöksserien R1. Kanalerna är medelvärden av 05, 15, 25 och 35 samt 35, 25, 15, 05 och 09

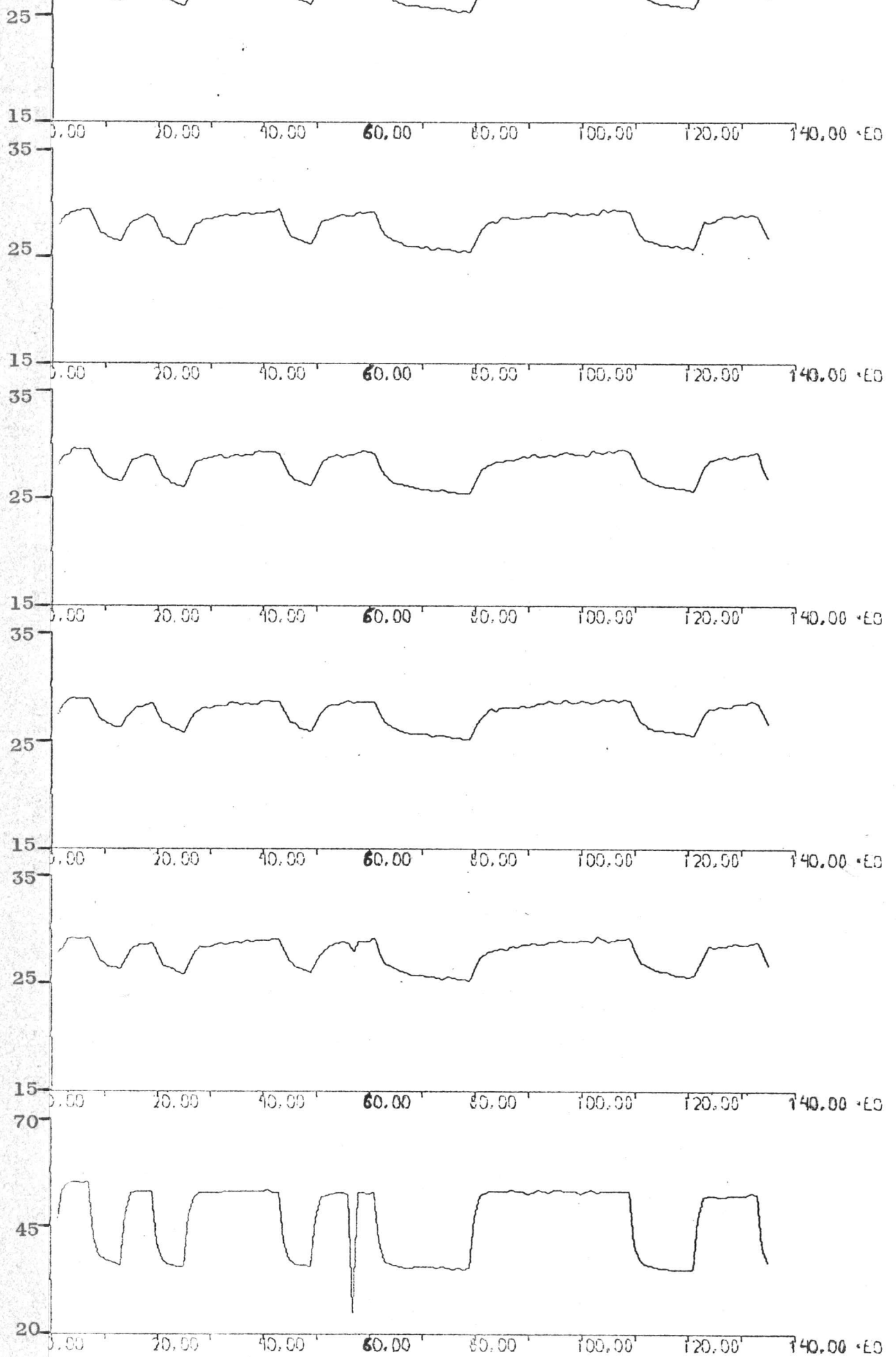


Fig. 25- Plottning av försöksserien R2. Kanalerna är medelvärden av 05, 15, 25 och 35 samt 35, 25, 15, 05 och 09

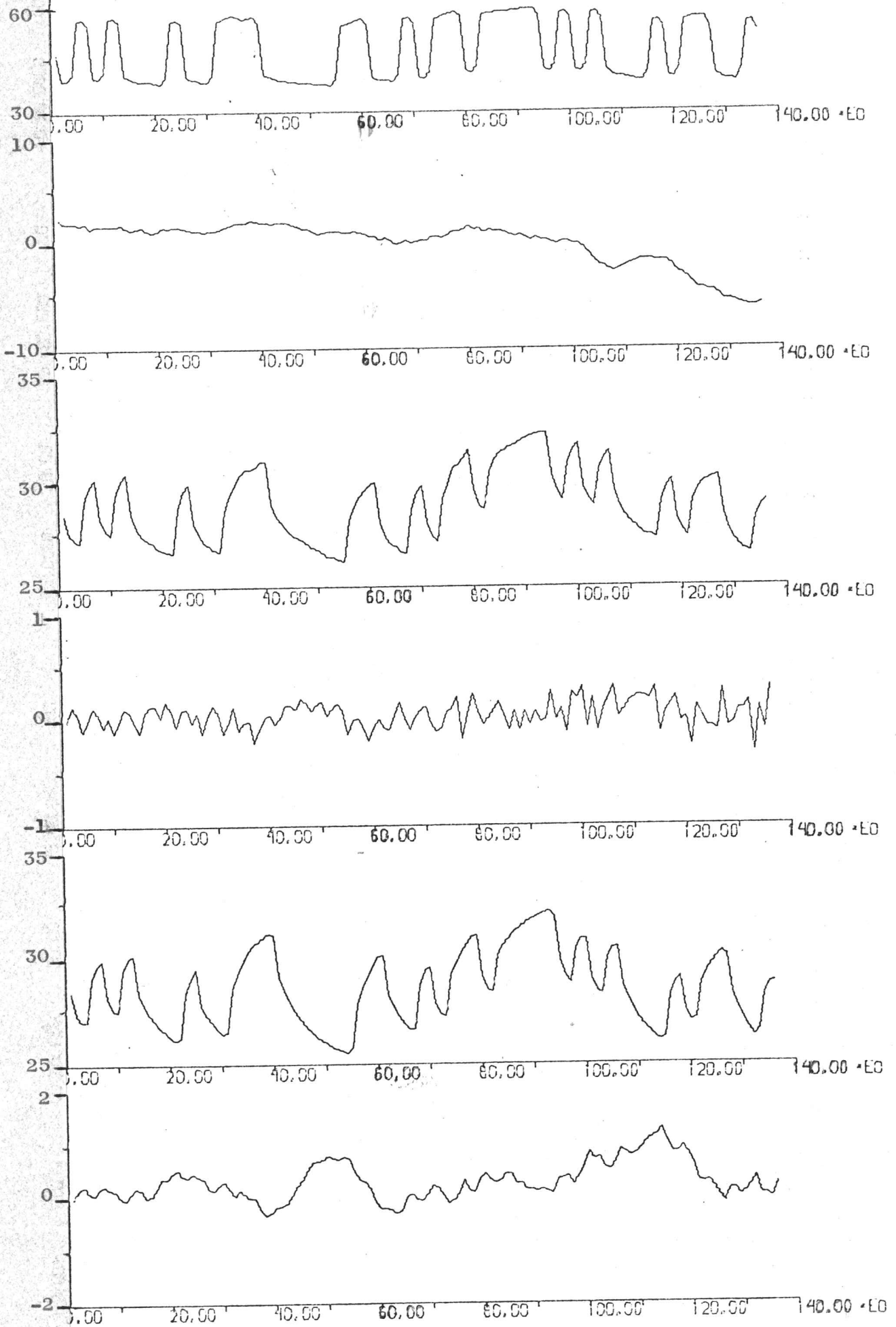


Fig. 26- Mätserien S2, plottning av simuleringen vid modellordning 1.

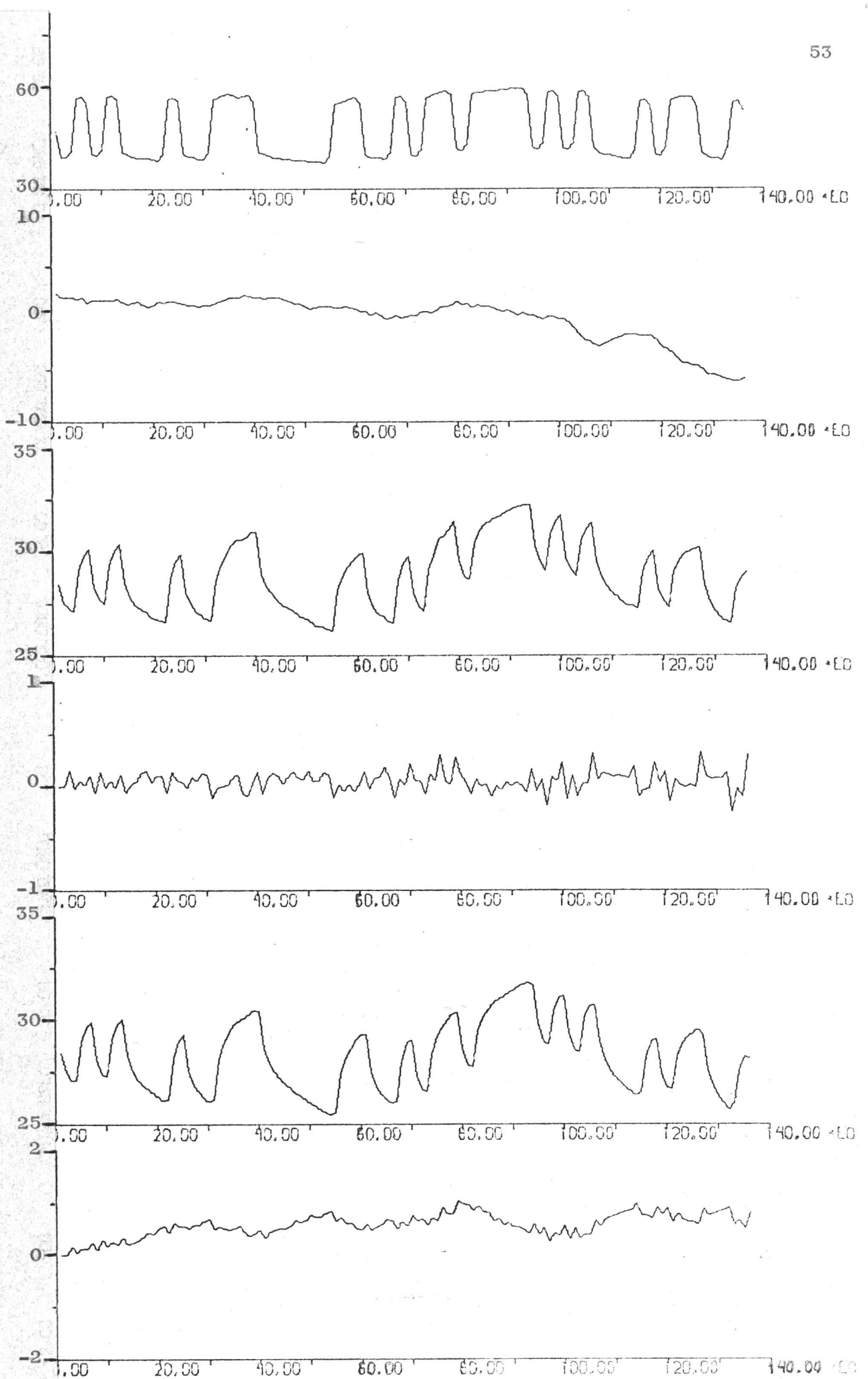


Fig. 27- Mätserien S2, plotning av simuleringen vid modellordning 2.

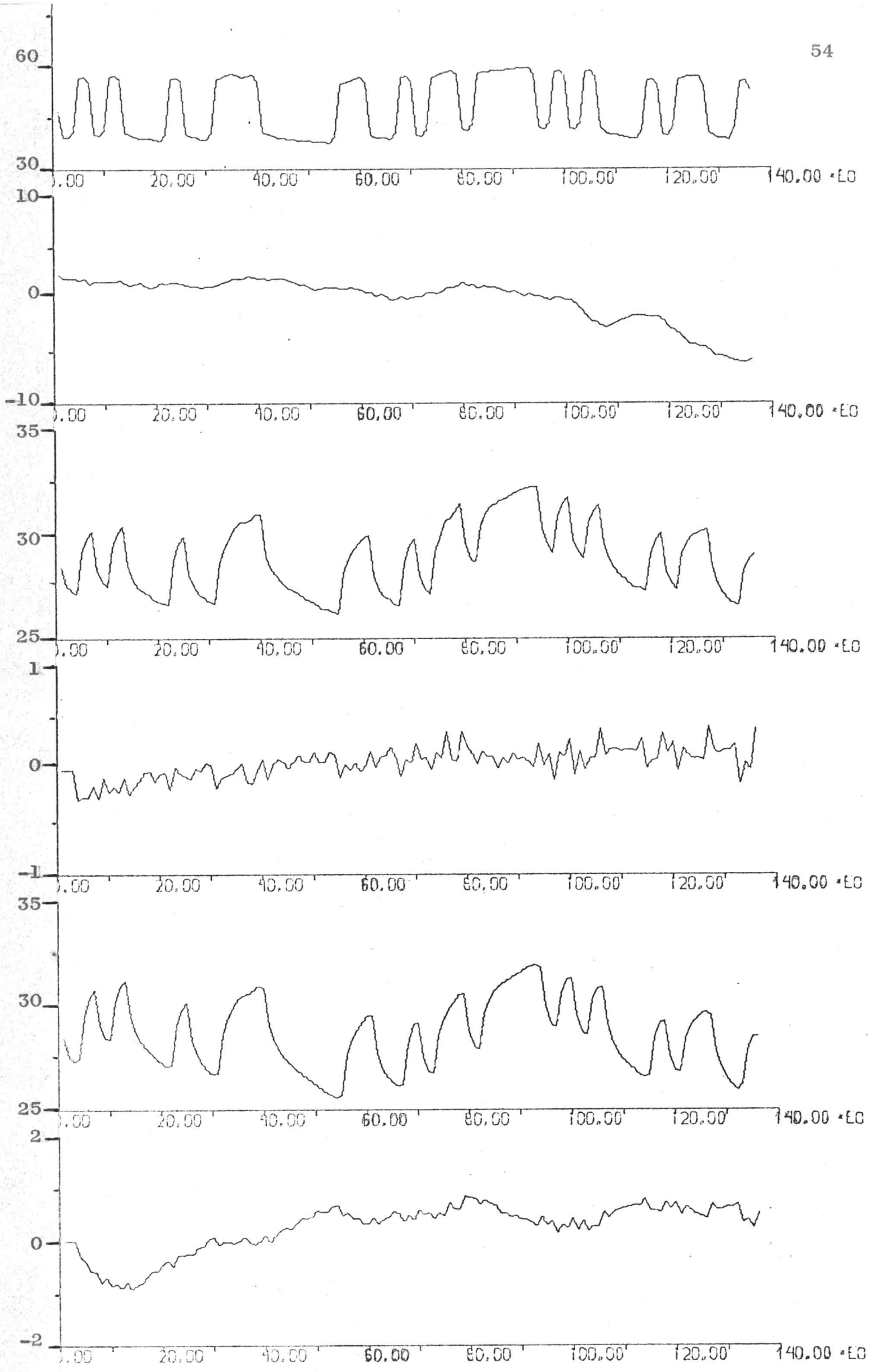


Fig. 28- Mätserien S2, Plottning av simuleringen vid modellordning 3.

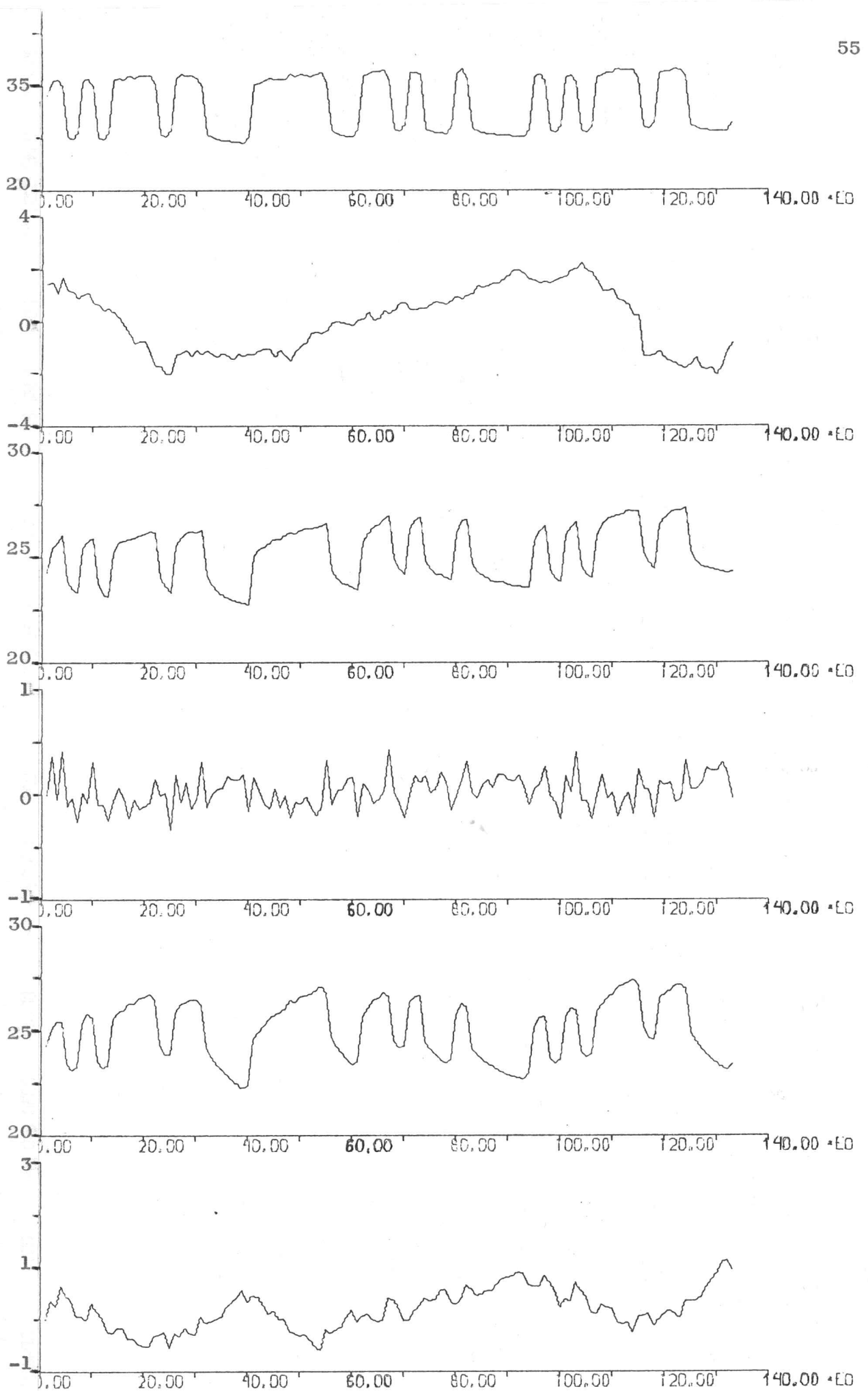


Fig. 29- Mätserien KL, plotning av simuleringen vid modellordning 1.

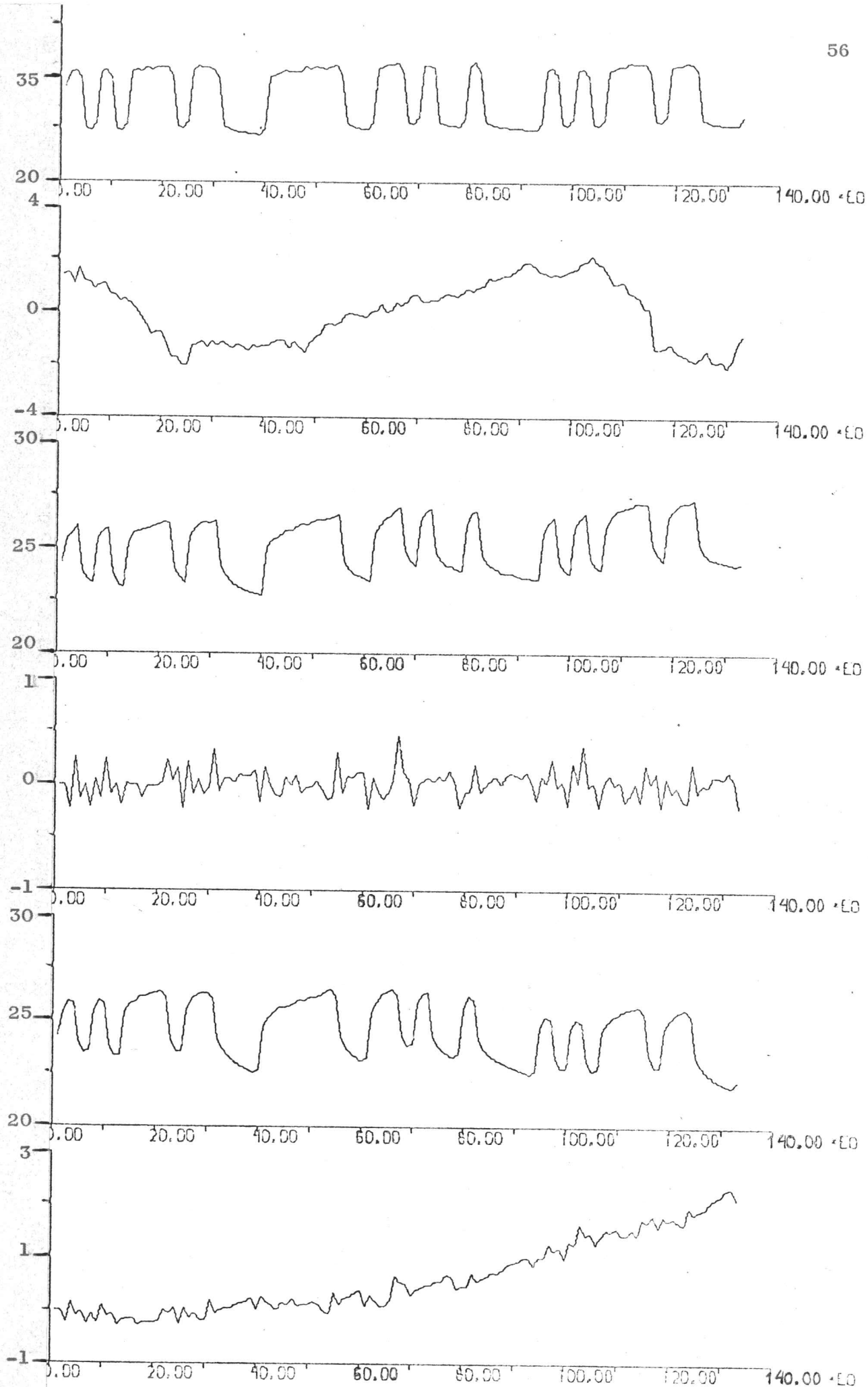


Fig. 30- Mätserien Kl, plottning av simuleringen vid modellordning 2.

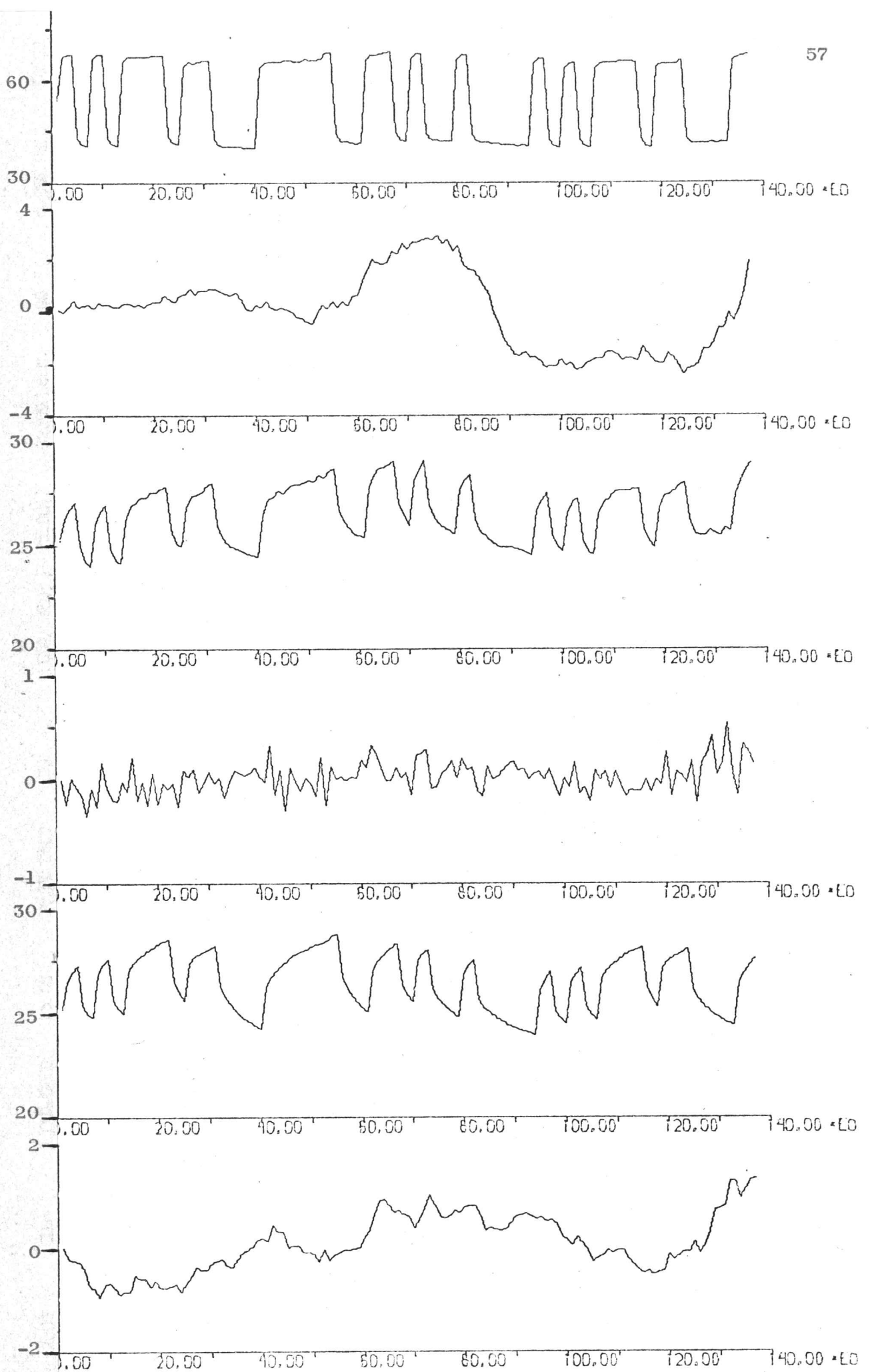


Fig. 31- Mätserien R1, plottning av simuleringen vid modellordning 1.

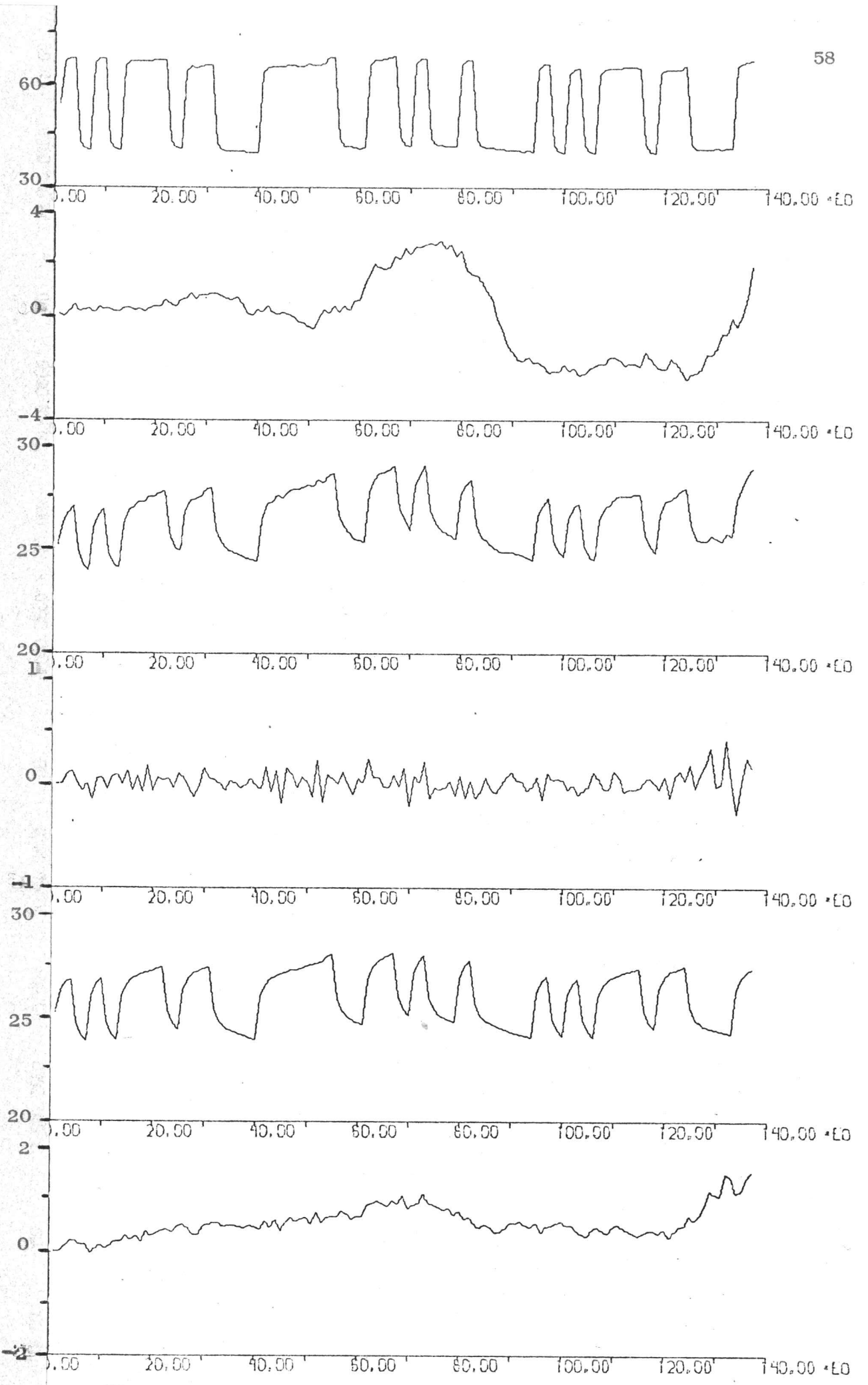


Fig. 32- Mätserien R1, Plottning av simuleringen vid modellordning 2.

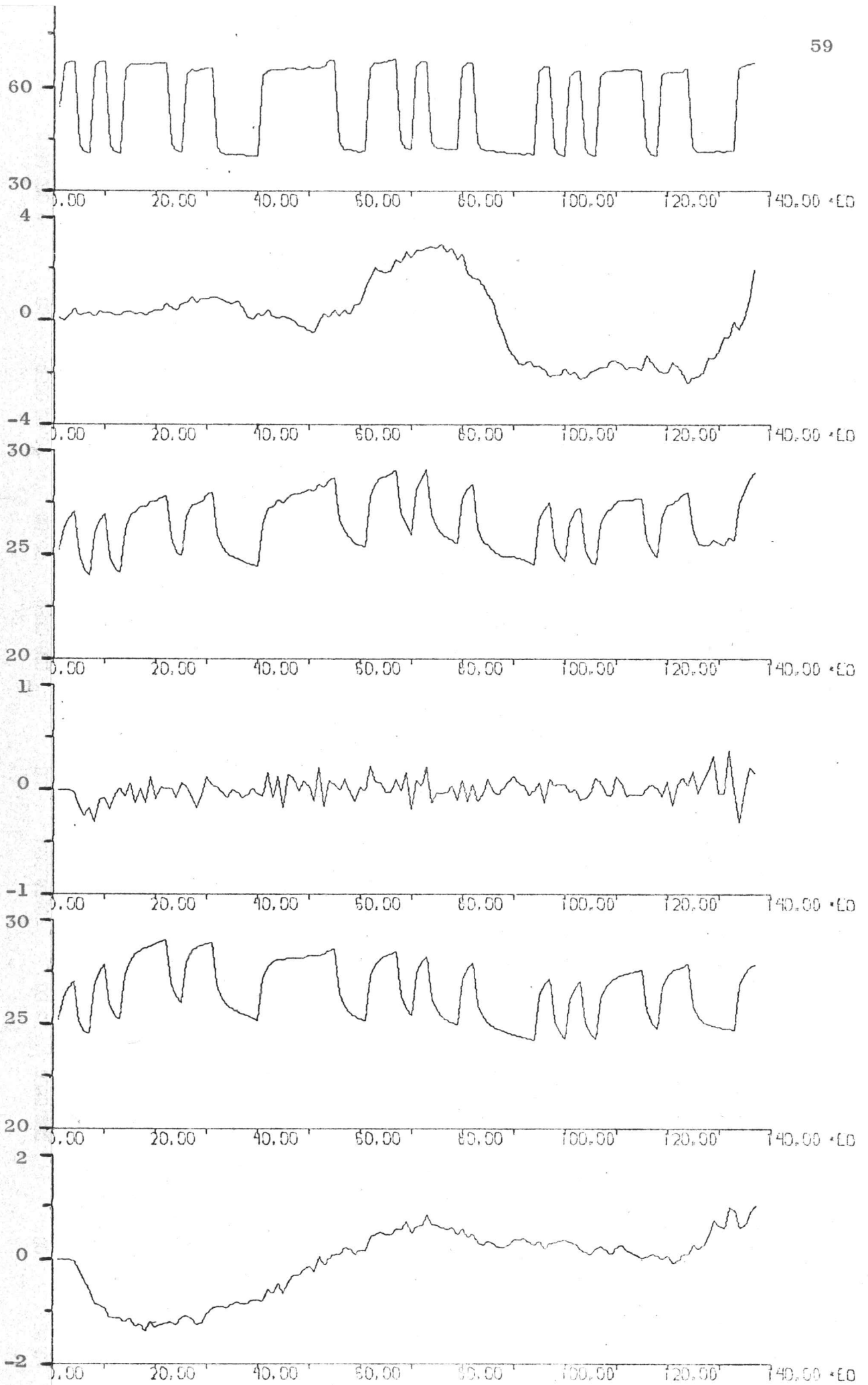


Fig. 33- Mätserien R1, Plottning av simuleringen vid modellordning 3.

13. Appendix.

Mätserierna ligger på band 284 enl. nedan:

$$\underbrace{00,01,\dots,69}_{s1}, \underbrace{00,01,\dots,69}_{s2}, \underbrace{00,01,\dots,69}_{k1}, \underbrace{00,01,\dots,69}_{k2}, \underbrace{00,01,\dots}_{R1}$$

$$\underbrace{,69}_{R1}, \underbrace{00,01,\dots,69}_{R2}, \cdot$$

Där , betyder en EOF-markering.