



# LUND UNIVERSITY

## Dynamiska modeller för ett rum

### Del 1

Jensen, Lars

1973

*Document Version:*  
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*  
Jensen, L. (1973). *Dynamiska modeller för ett rum: Del 1*. (Research Reports TFRT-3058). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

*Total number of authors:*  
1

#### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:  
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

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

#### Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

DYNAMISKA MODELLER FÖR ETT RUM.<sup>†</sup>

Del I.

L.H. Jensen

---

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

INNEFÄLLSFÖRTECKNING	Sid.
Sammanfattning	1
Experimentutrustning	3
Experimentutförande	7
Modeller från bygghdata	9
Strukturidentifiering	15
Maximum likelihoodidentifiering	24
Slutsats	27
Figurer	28
Tabeller	32
Referenser	36
Bilagor	
Diagrambilaga	

## SAMMANFATTNING.

Enkla dynamiska modeller för klimatsystem avsedda att användas för simulering av temperaturförlopp och analys och syntes av reglersystem finns knappast. Med modeller avses här hur rumslufttemperaturen påverkas av uppvärmningssystemets temperatur eller dess tillförda effekt och av yterlufttemperatur. I rapporten redovisas tre olika metoder att få fram modeller, som har jämförts eller anpassats till data från fullskaleförsök.

De data, som använts har tagits fram av Bengt Frick som del i ett examensarbete vid institutionen för reglerteknik vid LTH och i samarbete med institutionen för byggnadskonstruktionslära vid LTH, vars försöksrum har använts med tre olika uppvärmningssystem vid sex olika försök.

I den första metoden approximeras värmeledning och värmebalans för rummet så att linjärt system av 1:a ordningens differentialekvationer erhålles. De olika tillståndsvariablerna kan tolkas som temperaturer för olika massor i rummet. Vidare består parametrar i ekvationerna av byggdata såsom längd, yta, volym, värmeledningsförmåga, värmekapacitet och värmeövergångstal. Olika modeller eller ekvationssystem upp till 3:e ordningen har testats och bra resultat fås för 3:e ordningens modeller. För att få medelfelet noll mellan modellens utsignal och den verkliga har en parameter anpassats.

Nästa metod benämns strukturidentifiering och är en vidareutveckling av föregående genom att för en given modell försöka finna den parameteruppsättning, som ger den bästa överensstämmelsen mellan modellens utsignal och den verkliga. På detta sätt får man också en uppfattning om hur olika modellparametrar och massor påverkar dynamiken och hur mycket metoden skiljer sig från föregående om samma modell

används. Modeller av 2:a och 3:e ordningen ger bra resultat. En ytterligare ökning av ordningstalet genom ökad indelning av väggar, golv eller tak ger obetydlig förbättring.

Som tredje och som jämförelse redovisas här resultat från Maximum Likelihood-identifiering, som ger endast ett insignal-utsignalsamband. Detta kan ej tolkas som någon modell med fysikalisk anknytning. Identifieringarna har utförts av Bengt Frick som en del av ett examensarbete vid institutionen för reglerteknik [3]. De bästa modellerna är av 1:a och 2:a ordningen med direktterm.

De här redovisade modellerna beskriver rumslufttemperaturen väl för långsamma förlopp, men samtliga modeller uppvisar dynamik med tidskonstanter mindre än samplingsintervallet, varför modellerna bör kompletteras med nya modeller baserade på data från försök med snabbare datainsamling.

## EXPERIMENTUTRUSTNING.

### Rummet.

Försöksrummet finns vid Institutionen för Byggnadskonstruktionslära och är byggt för att studera hur utomhusklimatet, olika uppvärmningssystem och olika möblering påverkar inomhusklimatet, i första hand rumslufttemperaturen. Rummet finns utförligt beskrivet i [2].

I stort skall rummet motsvara ett rum i en oändlig fasad med likadana rum både över, under och på sidorna. För att kunna uppnå detta med ett rum har väggar, golv och tak byggts med endast halva tjocklekar, så att rummet får samma golv-, vägg- och takmassa som ett rum i en oändlig fasad.

I det ideala fallet sker ingen värmetransport mellan rummen i den oändliga fasaden, om alla rummen har samma temperatur. Försöksrummets värmeutbyte med de fiktiva rummen genom isoleringen är då ett mått på hur bra man lyckats med att efterlikna rummet i en oändlig fasad.

I figur nr 1 finns en ritning av rummet.

I bilaga nr 1 finns en sammanställning av mått och materialkonstanter för golv, väggar, tak och fönster, som utgör rummets begränsningsytor.

### Termoelement.

För att mäta temperaturer har omkring 500 termoelement av kopparkonstantan byggts in i rummet. Med ett omkopplingsbord kan de önskade temperaturpunkterna tas ut och kopplas till mätinstrumentet. Vid försöken omvändes 70 mät-punkter.

Lufttemperaturen i rummet uppmättes i 36 punkter på fyra vertikala stegar om vardera 9 termoelement. Stegarnas placering i rummet och mått, se fig. nr 1 och 2.

Ytterlufttemperaturen uppmättes i 9 punkter utanför fönsterfasaden mot öster. Placering, se fig. nr 1.

Uppvärmningsanordningens temperatur uppmättes i fyra olika punkter så placerade, att ett bra medelvärde skulle kunna erhållas. Vid konvektiv uppvärmning uppmättes i stället temperaturen hos den uppvärmda luften, som blåstes in i rummet.

Väggtemperaturen uppmättes i 20 punkter i fyra grupper om fem termoelement i rummets södervägg. Varje grupp innehöll termoelement placerade på olika djup i väggen (se fig. nr 1).

Ett termoelement användes som mätteknisk referens och har då placerats i ett temperaturstabiliserat bad. Allt detta för att kunna kontrollera mätinstrumentet.

#### Mätinstrument.

Mätinstrumentet, som användes, var en datalogger av typ Dynamo, som kunde mäta upp till 100 olika spänningar eller termoelement. Möjliga mätområden var 10 mV, 100 mV och 1 V. Avläsningsnoggrannheten är  $1:10^4$ . Mätnoggrannheten är omkring  $1:10^3$ , variationer beroende på mätvärdets storlek. I temperaturen torde mätfelet vara maximalt  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . Mätningarna omfattade temperaturintervallet  $-10^\circ\text{C}$  till  $+80^\circ\text{C}$ .

En femkanalshålsremsstans användes som datainsamlare.

Mätningarna tillgick så, att dataloggens klocka startade hållremsstansen och 8 sek. därefter började dataloggen mäta mätkanalerna i nummerordning med en hastighet av 5 per sek. Om mätningen sker mycket tätt kan hållremsstansen tillåtas gå kontinuerligt, och mätning kan då ske omedelbart efter klocksignalen.

#### Strålningsuppvärmning.

Värmekällan var motståndsfolie inbakad i plast, som täckte hela taket och var monterad med 10 cm cellplast mellan folie och tak. Rummet var för övrigt som tidigare beskrivits.

Motståndsfolien var av typ ESWA och ett element var på 720 W vid 230 Volt och hade måtten 3500 × 1200 mm. 3 och 1/2 element användes. Hela takytan var täckt.

Genomgående för samtliga försök var att full- och 1/3-effekt användes och före försöken 2/3-effekt. Vid full effekt kopplades värmekällan direkt till nätet och vid 2/3 eller 1/3 effekt via en transformator till nätet. Omkopplingen skedde med en kontaktor.

Den av värmekällan förbrukade effekten uppmättes och injusterades före försöken. Med strålningsvärme blev full effekt 2400 W och 1/3 effekt 800 W.



### Konvektiv uppvärmning.

Rumsluften sögs in av en fläkt och blåstes igenom en uppvärmningsanordning typ BACKER VBT 303 och ut uppåt intill fönstret i tre punkter på en höjd av 800 mm från golvet.

Fläktens kapacitet var  $700 \text{ m}^3/\text{h}$  och rummets luftvolym var  $48 \text{ m}^3$ . Hela uppvärmningssystemet var isolerat för att förhindra strålning eller konvektion från utsidan. Vid fönsterfasaden hade en fönsterbröstning av cellplast med en tjocklek av 100 mm satts upp till en höjd av 800 mm över golvet. Vid ett av försöken, betecknat K1, var rummet möblerat så, att det motsvarade normal kontorsmöblering. För övrigt var rummet som tidigare beskrivits.

Vid försöken uppmättes den använda max. effekten till 1680 W och min. effekten till 680 W.

Med uppvärmningsanordningens temperatur vid det konvektiva försöket avses alltid temperaturen hos den inblåsta luften. Observera att luften cirkulerar i rummet och inget utbyte sker med ytterluften.

### Radiatoruppvärmning.

Vid fönstret uppställdes två elradiatorer, märkeffekt 1000 W vid 230 Volt. Samma fönsterbröstning som vid konvektiv uppvärmning var uppmonterad, och för övrigt var rummet som tidigare beskrivits. De under försöken använda effekterna uppmättes till 1500 W och 500 W. Full effekt utnyttjades ej hos elradiatorerna, ty rumsluftstemperaturen hade blivit för hög. Ytterlufttemperaturen var omkring 15 grader.

## EXPERIMENTUTFÖRANDE [3]

Förförsök.

För att kunna bestämma dynamiken hos ett system måste det exciteras med sina insignaler. Som insignal valdes effektförbrukningen hos uppvärmningsanordningen. För att lyckas med identifieringen måste insignalen vara ständigt exciterande.[4].

En signal, som har denna egenskap, är PRBS (Pseudo Random Binary Signal), och vidare antar den endast två värden, t.ex. +1 och -1, vilket är lätt att implementera vid styrningen. PRBS bestäms helt av sin grundperiod  $T$  och sin periodlängd  $NT$ , vilka i sin tur bör anpassas efter systemets största och minsta tidskonstant.

Medelst enkla stegsvarsförsök bestämdes systemets tidkonstanter ligga i intervallet två till fem timmar. Grundperioden  $T$  skall vara lika med eller mindre än halva minsta tidkonstanten och periodlängden  $NT$  lika med eller större än 5 ggr den största tidkonstanten. Allt under förutsättning att sampling sker en gång per grundperiod.

Beroende på begränsade inställningsmöjligheter hos PRBS-generatorns blev  $T = 1$  timme och  $NT = 31$  timmar, vilket skulle räcka till för att bestämma tidkonstanter från 2 timmar upp till 6 timmar. Antalet mätningar begränsades av pappersremsans längd. Maximala antalet per remsa är omkring 10.000, och maximala antalet samplingar blir då  $10.000/70 \approx 130$ . Ett underförstått krav är att försöket pågår minst en hel periodlängd  $NT$ . Härav framgår det att det var möjligt att sampla upp till 4 ggr per timme, vilket blev till 3 ggr per timme, beroende på begränsade inställningsmöjligheter. Försöken skulle då pågå i omkring 43 timmar. Med högre samplingshastigheter kan mindre tid-

konstanter bestämmas enligt samplingsteoremet ner till två ggr samplingsintervallet.

Ur stegsvaren bestämdes också lämpliga effektnivåer för att få lämpliga signalnivåer och variationer. Det senare för att minska störningarnas inverkan.

### Huvudförsök.

Före huvudförsöken var effekten hos uppvärmningsanordningen inställd på ett medelvärde av de två effektnivåer som skulle användas under försöken, d.v.s. ungefär  $2/3$  effekt. Detta pågick i ungefär ett dygn så att rummet kom i jämvikt, vilket är väsentligt för identifieringen. Med varje uppvärmningssystem gjordes två försök. Försöken betecknades S1, S2, K1, K2, R1 och R2. Försöket R2 gjordes med samplingsintervallet 10 min.

I diagram nr 1 - 3 i bilaga nr 2 är följande signaler uppritade för S1, K1 och R1: P förbrukad effekt,  $U_1$  uppvärmningsanordningens temperatur,  $U_2$  ytterluftens temperatur,  $Y_1$  rumsluftens temperatur och  $Y_2$  väggytans temperatur.  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $Y_1$  och  $Y_2$  är medelvärden av fyra mätpunkter. Rumsluftstemperaturen är ett medelvärde av de fyra mätpunkterna på 147,5 cm över golvet. Vidare är data i diagrammen originaldata. Felaktiga data har ej korrigerats. För försöken S1, K1 och R1 har i diagram 4 - 6  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $Y_1$ ,  $Y_2$  och tre väggtemperaturer  $Y_3$ ,  $Y_4$ ,  $Y_5$  på ökande djup i väggen uppritats.

I diagram nr 1 för försöket S1 finns en kraftig störning i  $Y_1$ , vilken beror på solstrålning. Solskärmning bestod av en presenning, som var upphängd parallellt med och 1 m från fönsterfasad. Eftersom luftväxlingen ej fick förhindras, kunde solstrålning träffa fönsterfasaden under kortare tid.

## MODELLER FRÅN BYGGDATA.

Inledning.

I detta avsnitt skall några enkla modeller för försöksrummet uppställas baserade på byggnadsdata och enkla värmebalansekvationer. Modellerna avser endast att beskriva sambandet mellan rumsluftens temperatur och de tre insignalerna, uppvärmningssystemets förbrukade effekt, ytterluftens temperatur och korridorluftens temperatur.

Ett alternativ till den första signalen hade varit att välja temperaturen hos uppvärmningssystemet, men modellerna hade då blivit osäkrare jämfört med om den förbrukade effekten är känd (problem med värmeövergångstalen).

En första, andra och tredje ordningens modell har ställts upp och simulerats med data från försök R1. Om man ur byggdata beräknar sina modellparametrar kommer modellens statistiska uppförande ej att stämma överens med den verkliga förebildens. Därför har vid simuleringarna en modellparameter tillåtits variera så att medelvärden stämt överens, nämligen det totala värmeövergångstalet mellan rumsluftstemperatur och ytterluftstemperatur.

Avsikten med uppställande och simulering av egna modeller av 1:a, 2:a och 3:e ordningen var att se om ett sådant förfaringssätt kunde ge för regleringsändamål användbara modeller.

Modellerna har anpassats till mätdata från elradiatorförsöket. I modellerna har uppvärmningssystemets dynamik helt försumrats. 4. 1.

Modeller.

Genomgående för modellerna är att alla massor betraktas som punktformiga eller alternativt att temperaturen är konstant i hela massan, och att alla värmeövergångstal varit fixa. Rumsluften har tagits som en massa, och väggar har tagits som en eller har skiktats i flera massor eller delats upp i tak och golv. I fig. nr 3 och 4 har alla i modellerna ingående värmeflöden markerats med pilar. Påtvingade värmeflöden är ritade med endast pil i ena riktningen.

Använda beteckningar:

$T_1$	rumsluftens temperatur
$T_2$	väggtemperatur
$T_3$	väggtemperatur
$T_4$	ytterluftens temperatur
$T_5$	korridorluftens temperatur
$P$	tillförd effekt
$C_i$	värmekapacitet hos i:te massan
$K_{ij}$	värmeövergångstal mellan i:te och j:te temperaturerna
$D_i$	andel av värmertilförseln till den i:te massan

1:a ordningens modell.

För rumsluftstemperaturen kan en enkel värmebalansekvation ställas upp, som grundar sig på att ökningen i värmehåll är lika med det totalt tillförda värmets. I detta fall blir värmeökningen lika med tillfört värme från ytterluften och korridorluften och tillförd effekt.

Något värmeutbyte med golv, vägg och tak finns ej med i modellen. Värmebalansekvationen blir följande:

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = K_{41}(T_4 - T_1) + K_{51}(T_5 - T_1) + P$$

### 2:a ordningens modell.

Om föregående modell utökas med värmeutbyte med väggarna (golv och tak försummas) och en värmebalansekvation ställs upp för väggarna, som tagits som en massa, fås följande andra ordningens differentialekvationssystem:

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = K_{12}(T_2 - T_1) + K_{14}(T_4 - T_1) + K_{15}(T_5 - T_1) + D_1 P$$

$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = K_{12}(T_1 - T_2) + K_{25}(T_5 - T_2) + D_2 P$$

Den förbrukade effekten måste nu delas upp i två delar, dels en del, som via konvektion överförs till luften, dels en del, som via strålning överförs till väggarna.

3

### 3:e ordningens modell typ 1.

Ett sätt att förfin 2:a ordningens modell är att dela väggarna i två eller flera skikt. På detta sätt kan värmeledningen i väggen beskrivas bättre.

Ekvationssystemet blir följande:

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = K_{12}(T_2 - T_1) + K_{13}(T_3 - T_1) + K_{14}(T_4 - T_1) + \\ + K_{15}(T_5 - T_1) + D_1 P$$

$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = K_{12}(T_1 - T_2) + K_{23}(T_3 - T_2) + D_2 P$$

$$C_3 \frac{dT_3}{dt} = K_{23}(T_2 - T_3) + K_{35}(T_5 - T_3)$$

### 3:e ordningens modell typ 2.

Ett annat alternativ till att förfinas en modell är att dela upp väggen inte i skikt parallella med kontaktytan till rumsluften utan i stället skilja på olika väggtyper. I de tidigare modellerna har endast väggarna tagits med. I denna modell tas golvet och taket som en massa. Både golvet och taket har stor värmekapacitet, men har sämre värmeledningskontakt till luften än väggarna, beroende på att de är horisontella, vilket medför att luftväxling försvåras. I modellen finns inget värmeutbyte mellan väggmassan och golvtakmassan.

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = K_{12}(T_2 - T_1) + K_{13}(T_3 - T_1) + K_{15}(T_5 - T_1) + \\ + K_{14}(T_4 - T_1) + D_1 P$$

$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = K_{12}(T_1 - T_2) + K_{25}(T_5 - T_2) + D_2 P$$

$$C_3 \frac{dT_3}{dt} = K_{13}(T_1 - T_3) + K_{35}(T_5 - T_3) + D_3 P$$

Modellparametrar.

Alla konstanter i ekvationerna kan beräknas approximativt från byggnadsdata. Endast grova överslagsberäkningar har gjorts. En viss konstant kan ha olika värden beroende på modelltypen, men alla konstanter kan föras tillbaka på några få värmekapaciteter, värmeövergångstal och värmekonduktanser.

Värmekapaciteter hos:

luften	15 Wh/grad
mellanväggarna (delen närmast rummet)	330 Wh/grad
golv och tak (delen närmast rummet)	2200 Wh/grad

Värmeövergångstal för:

luft-mellanväggar ( $h = 2 \text{ W/grad m}^2$ )	71 W/grad
luft-golv och tak ( $h = 1 \text{ W/grad m}^2$ )	32 W/grad

Värmekonduktanser för:

fönsterfasaden	24 W/grad
korridordörren	23 W/grad
mellanväggarnas isolering	7 W/grad
golv- och takisolering	7 W/grad
mellanväggarna (delen närmast rummet)	71 W/grad
golv och tak (delen närmast rummet)	390 W/grad

Effektfördelning:	$D_1$	$D_2$	$D_3$
1:a ordningens modell	1,0	-	-
2:a ordningens modell	0,5	0,5	-
3:e ordningens modell typ 1,	0,5	0,5	-
3:e ordningens modell typ 2	0,5	0,25	0,25

Använda modellparametrar, se tabell nr 1.



### Simuleringar.

För att få rätt medelvärde anpassades  $K_{14}$  så att detta erhöles.

En 1:a ordningens modell utan värmeutbyte med väggarna ger mycket dåligt resultat, vilket beror på att värmekapaciteten hos luften ej räcker till för att ta emot tillfört värme utan stora temperaturvariationer. Alltså värmeutbyte med väggarna måste vara med i modellerna. Se diagram nr 15.

För 2:a och 3:e ordningens modeller har simuleringar gjorts med olika värmeövergångstal mellan vägg och luft. Se diagram nr 16, 17, 18 och 19.

För både 2:a och 3:e ordningens modell ger de högre det bästa resultatet, vilket ger en antydning om att värmeutbytet ej sker endast med väggarna. Skillnaden mellan 2:a och 3:e ordningens modeller är liten, vilket beror på att uppdelning av väggen i skikt ej nämnvärt förändrar värmeutbytet med rumsluften.

I de 2:a och 3:e ordningens modellerna, där endast mellanväggen tagits med, finns lågfrekventa bidrag, vilket tyder på att andra större massor deltar i värmeutbytet. Detta visar sig också stämma om golv och tak tas med som en massa och mellanväggarna som en massa i en 3:e ordningens modell.

Även här ger de högre värmeövergångstalen det bättre resultatet. Vidare framgår det att den tyngre massan, motsvarande golv och tak, har tagit bort lågfrekventa svängningar, som tidigare fanns i felet för de andra modellerna. Se diagram nr 20, 21, 22 och 23.

## STRUKTURIDENTIFIERING.

### Inledning.

Vid strukturidentifiering utgår man från de fysikaliska grundekvationer, som beskriver systemet. Approximationer, förenklingar och linjäriseringar görs av de komplicerade grundekvationerna, och dessa ställs upp så att ett linjärt system av 1:a ordningens differentialekvationer erhålles.

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad x_i \text{ tillstånd } n \text{ st}$$

$$y = Cx + Du \quad u_i \text{ insignaler } m \text{ st}$$

$$y_i \text{ utsignaler } p \text{ st}$$

De olika elementen i matriserna A, B, C och D är nu en kombination av de ursprungliga grundekvationsparametrarna. En del av parametrarna är kända, mellan andra råder vissa samband, och slutligen är en del helt okända.

Antalet parametrar, som kan bestämmas vid en identifiering, kan begränsas uppåt till  $(m+p)(n+1)$  där m är antalet insignaler, p är antalet utsignaler och n antalet tillstånd eller ekvationer. Genom att beräkna de olika överföringsfunktionerna för systemet, som skall identifieras, kan man avgöra om problemet är identifierbart.

För vissa strukturer kan man inte alltid bestämma vissa parametrar, då dessa har förkortats bort i överföringsfunktionen.

Detta har gjorts för de strukturer, som behandlats, och dessa har alltid kunnat identifieras.

Med ett datamaskinprogram, avsett för strukturidentifie-

ring, kan man bestämma den bästa uppsättning fria parametrar, som minimerar en förlustfunktion, som för en modell med en utsignal är lika med summan av det kvadratiske felet mellan verkliga utsignalen och modellens utsignal.

### Modeller.

De modeller, som har använts, har haft väsentligen två insignaler, nämligen uppvärmningsanordningens temperatur eller motsvarande och ytterlufttemperaturen. En tredje insignal var konstant och beskrev värmeförlusten genom väggar, golv och tak. Försök gjordes också med att välja tillförd effekt som första insignal i stället för elementtemperatur. Med samma modellstruktur för övrigt erhöles sämre resultat. Detta berodde på att själva uppvärmningsanordningen kunde magasinera värme, vilket hade krävt ett extra tillstånd i modellen, om effekten skulle vara en insignal till modellen.

Fyra olika modeller testades: en första, en andra och två tredje ordningens modeller.

Enda skillnaden mot tidigare modeller är att  $T_4$  motsvarar uppvärmningsanordningens temperatur (i det konvektiva försöket temperaturen hos den i rummet inblåsta luften) och att  $T_5$  motsvarar ytterluftens temperatur. Korridorsluftens inverkan ersätts med en konstant värmeförlust ut genom väggar, golv och tak. Jämför sidan 9.

I första ordningens modell antogs att väggar, golv och tak ej hade något värmeutbyte med rumsluften. Differentialekvationen för rumsluftstemperaturen blev då följande:

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = K_{14}(T_4 - T_1) + K_{15}(T_5 - T_1) \quad (1)$$

I andra ordningens modell antogs att värmeutbyte skedde mellan rumsluften och en sammanslagen vägg-golv-tak-massa. Två differentialekvationer, dels en för rumsluftens temperatur, dels en för den sammanslagna vägg-golv-tak-massans temperatur, erhöles som följande:

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = K_{14}(T_4 - T_1) + K_{15}(T_5 - T_1) + K_{12}(T_2 - T_1) \quad (2)$$

$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = K_{12}(T_1 - T_2) + K_{24}(T_4 - T_2) - E \quad (3)$$

Två olika typer av 3:e ordningens modeller provades, dels en med uppdelning av den sammanslagna vägg-golv-tak-massan i två skikt, i ett närmast rumsluften och ett utan kontakt med rumsluften, dels en med uppdelning i en lättare massa, motsvarande väggarna, och i en tyngre massa, motsvarande en kombinerad golv-tak-massa.

I den första typen var avsikten att beskriva värmeledningen bättre än i en andra ordningens modell, och i den andra typen att beskriva de olika väggtyperna bättre, då en mellanvägg är snabbare dynamiskt sett än golv och tak. För dessa båda modeller kan nästan lika differentialekvationer ställas. Modelltyp 1 beskrivs av differentialekvationerna 4 - 6 och typ 2 av ekvationerna 7 - 9.

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = K_{14}(T_4 - T_1) + K_{15}(T_5 - T_1) + K_{12}(T_2 - T_1) \quad (4)$$

$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = K_{12}(T_1 - T_2) + K_{23}(T_3 - T_2) + K_{24}(T_4 - T_2) \quad (5)$$

$$C_3 \frac{dT_3}{dt} = K_{23}(T_2 - T_3) - E \quad (6)$$

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = K_{12}(T_2 - T_1) + K_{13}(T_3 - T_1) + K_{14}(T_4 - T_1) + \\ + K_{15}(T_5 - T_1) \quad (7)$$

$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = K_{12}(T_1 - T_2) + K_{24}(T_4 - T_2) - E_2 \quad (8)$$

$$C_3 \frac{dT_3}{dt} = K_{13}(T_1 - T_3) + K_{34}(T_4 - T_3) - E_3 \quad (9)$$

### Identifiering med en rumsluftstemperatur som utsignal.

Strukturidentifiering gjordes på samtliga försökstyper, nämligen strålnings-, konvektions- och konventionell radiatoruppvärmning med de fyra olika modelltyperna. Resultatet från strukturidentifieringarna finns redovisat i tabellerna 2, 3 och 4.

Som startvärden på fria parametrar och värden på fixerade parametrar användes genomgående samma värden som använts tidigare. Fria parametrar understrukna i tabellerna.

Trots att rummet ändrats obetydligt mellan de olika försökstyperna finns det skillnader i parametrar.

Vid strålningsuppvärmningen var taket bortisolerat.

Vid den konvektiva uppvärmningen var rummet möblerat som ett normalt kontorsrum.

Vid den konvektiva och radiatoruppvärmningen fanns en 800 mm hög uppbröstning i fönsterfasaden, vilket minskade

de fönsterytan.

Vissa variationer i parametrarna har sin förklaring.

Värmekonduktansen mellan rumsluften och ytterluften var större för försöket med strålningsvärme än för försöken med konvektiv och konventionell radiatoruppvärmning, vilket har sin förklaring i den mindre fönsterytan.

Värmeövergångstalet mellan rumsluft och väggmassorna var störst för det konvektiva försöket, vilket kan ha sin förklaring i att luftcirkulationen var kraftigare än i de andra försöken och att rummet var möblerat.

I modellerna kunde värmets tillförsel antingen ske via konvektion till rumsluften eller via strålning till väggar, golv och tak. Följande fördelning erhöles:

Försökstyp	Värmeutbyte	
	Strålning	Konvektion
Strålning	50%	50%
Konvektion	90%	10%
Radiator	60%	40%

Modellerna verkar att beskriva det konvektiva och radiatorförsöket bra, däremot strålningsförsöket sämre. En förklaring på detta är att elfolien värms upp på några minuter och värmer upp väggarnas ytskikt, som i sin tur via konvektion överför värmets till rumsluften. Eftersom modellen ej innehåller någon indelning av väggar, golv och tak i tunnare skikt, kan detta ej beskrivas bättre med modellen. Mätningar skedde endast var 20:e minut.

Vid identifieringarna har en del parametrar varit konstanta. Luftens värmekapacitet hölls alltid konstant ( $C_1 = 15 \text{ Wh/grad}$ ).

Alla massor i 3:e ordningens modell av typ 2 var fixa. Vidare var värmeförlusten genom väggarna konstant utom för 2:a ordningens modell med en utsignal.

$$E = E_2 + E_3 = 300 \text{ W} \quad E_2 = E_3$$

Utan denna värmeförlust visade simuleringarna att alla temperaturer i modellen innehöll ett markant stegsvar. Temperaturen, svarande mot väggtemperaturen, blev orimligt hög,  $40^{\circ}$  och högre.

Parametrarna  $K_{12}$ ,  $K_{24}$  och  $K_{34}$  bestämmer storleken på värmetransporten mellan uppvärmningsanordningen och rummet. Totala värmeflödet var känt, då effekt hade mätts. Genom att bilda en medeltemperaturdifferens mellan elementtemperatur och övriga temperaturer i rumsmodellen, erhölls en begränsning på summan av  $K_{14}$ ,  $K_{24}$  och  $K_{34}$ .

$$K_{14} + K_{24} + K_{34} = P_{\text{med}}/T_{\text{meddiff}} = K_4$$

För de olika försöken erhölls följande värden:

Strålning	$K_4 = 80. \text{ W/grad}$
Konvektion	$K_4 = 170. \text{ W/grad}$
Radiator	$K_4 = 36. \text{ W/grad}$

I 3:e ordningens modell typ 2 gjordes förenklingarna  $K_{24} = K_{34}$  och  $E_2 = E_3$ .

Vid strukturidentifieringen släpptes upp till 7 parametrar fria. En del av dessa ändrades knappast från sina startvärden. Funktionsminimeringen var påförlig för dessa parametrar.

### Identifiering med rumsluftstemperatur och väggtemperatur som utsignaler.

Eftersom tillstånden i modellerna motsvarade rumsluftstemperatur, väggtemperatur eller golv-tak-temperatur, kunde även strukturidentifiering göras med avseende på två utsignaler, nämligen rumsluftstemperatur som tidigare och mellanväggstemperatur. Den uppmätta mellanväggstemperaturen var ett medelvärde på fyra mätpunkter i kontaktytan till rumsluften. Resultat, se tabellerna 2, 3 och 4.

Detta val gjordes för att beskriva värmeutbytet mellan väggar och rumsluft, eftersom det bestäms av temperaturskillnaden i väggytan mellan rumsluft och väggen.

Exakt samma modeller som för en utsignal användes och den nya utsignalen var  $T_2$ , som motsvarade en väggtemperatur.

Andra ordningens modell ger dåligt resultat, men modellens väggtemperatur motsvarar inte den verkliga utan utgör en temperatur för de sammanslagna golv-, vägg- och takmassorna.

Något bättre resultat fås i en tredje ordningens modell, i vilken de sammanslagna golv-, vägg- och takmassorna har delats upp i en inre och en yttre massa.

Bäst resultat erhöles genom att skilja på lätta och tunga massor i form av mellanväggar, golv och tak.

Förlustfunktionen var determinanten av kovariansmatrisen för felet. En annan möjlighet är att välja summan av diagonalelementen i kovariansmatrisen. Kovariansmatrisen blir singulär eller nästan singulär, om endast en existerande insignal finns, vilket medför att utsignalerna blir korrelerade eller nästan korrelerade. Detta kunde observeras vid strukturidentifieringen med två utsignaler.



Förlustfunktion 1  $V = \det(\Sigma e \cdot e^T)$

Förlustfunktion 2  $V = \Sigma e^T \cdot e$

### Andra modeller.

Andra modelltyper kan också tänkas. En möjlighet var att, i stället för att fixera massorna, fixera värmeövergångstalen mellan olika massor. Nackdelen är att värmeövergångstalen är svåra att bestämma. En fördel är att de erhållna massorna anger hur stor del av dem, som tar del i värmeutbytet med rumsluften. Detta har ej gjorts.

I en modell med två olika typer av massor har dessa hållits fixa till konstruktionsdata. Detta gjordes eftersom massorna ingår symmetriskt i modellen. Försök gjordes med att släppa massorna fria. Resultatet blev numeriskt kaos.

En annan tänkbar möjlighet är att använda en olinjär modell för att beskriva strålning och konvektion bättre.

Resultaten från de linjära modellerna visar emellertid att rumsluftstemperaturen beskrivs bra med en linjär modell av tredje ordningen. Däremot om väggtemperaturen också tas med blir resultatet sämre, vilket skulle kunna bli bättre i en olinjär modell. Vidare måste den kraftiga förenklingen, att alla massor betraktas som punktformiga, också inverka på resultatet.

Med Maximum Likelihood-metoden kan rätt ordningstal testas ut, vilket blev genomgående av andra ordningen för de olika försöken. I en strukturmodell fixeras strukturen och därför krävs det ofta ett högre ordningstal för

att få samma resultat. Något bra test för att avgöra om rätt ordningstal på modellen nåtts finns inte för struktureridentifiering. Ett sätt att avgöra om en modell är bättre än en annan, är att jämföra simuleringarna, förlustfunktionerna och parametrarna i modellerna.

Ett sådant exempel är simulering av 3:e ordningens modell av typ 1 skiljer sig inte mycket från den enklare 2:a ordningens modell.

## MAXIMUM LIKELIHOOD-IDENTIFIERING [3].

Identifieringsprogrammet, som har utarbetats vid Institutionen för Reglerteknik [1] förutsätter att systemets dynamik kan beskrivas med ett system av linjära differentialekvationer av 1:a ordningen. Vidare kan modeller med högst tio insignaler och en utsignal erhållas. Den samplade insignal-utsignal-relationen är följande:

$$A(z^{-1})y(t) = \sum_{i=1}^m B_i(z^{-1})u_i(t) + \lambda C(z^{-1})e(t)$$

$A(z^{-1})$ ,  $B_i(z^{-1})$  och  $C(z^{-1})$  är polynom av högst grad  $n$  i skiftsoperatoren  $z$ .

$$A(z) = 1 + a_1z + \dots + a_nz^n$$

$$B_i(z) = b_{i0} + b_{i1}z + \dots + b_{in}z^n \quad i = 1, m$$

$$C(z) = 1 + c_1z + \dots + c_nz^n$$

$y(t)$  utsignalen

$u_i(t)$  insignal  $i$

$e(t)$  vitt brus

Vid alla identifieringar användes en modell med två insignaler och en utsignal. Insignal nr 1, som var uppvärmningsanordningens temperatur, sattes lika med medelvärdet av de fyra mätkanalerna 09, 10, 29 och 39. Insignal nr 2, som var ytterluftens temperatur, sattes lika med medelvärdet av mätkanalerna 44, 46, 47 och 48. Utsignalen, som var rumslufttemperaturen, sattes lika med mätkanalerna 05, 14, 25 och 35, vilka alla är placerade på var sin steg och på en höjd av 147,5 cm över golvet.

Någon interpolation av de olika mätkanalerna gjordes ej då själva mätförloppet tog 8 + 14 sek., vilket är försumbart i jämförelse med samplingsintervallet på 20 min. eller 1200 sek.

Eftersom ML-metoden förutsätter att insignalen skall vara ständigt existerande för att metoden skall ge bra resultat, kunde någon dynamisk inverkan från korridorluften ej erhållas.

Försöken S2, K1 och R1 användes vid identifieringen, då de var mer störningsfria än sina dubbletter.

Den bästa modellen till varje uppvärmningssystem bestämdes genom att ta fram modeller med olika ordningstal och olika tidsförskjutningar och jämföra deras förlustfunktioner. Ordningstalet bestämdes med F-test enligt en formel, där  $V_n$  är förlustfunktionen för modellen av ordning  $n$ ,  $N$  antal mätdata,  $m$  antalet insignaler. Om modellen är av ordning  $n+1$  testar man mot modellen av ordning  $n$  på en viss risknivå.

$$F_{n+1,n} = \frac{V_n - V_{n+1}}{V_{n+1}} \frac{N - (m+2)(n+1)}{(m+2)}$$

I bilaga nr 2 finns slutresultat från identifieringarna redovisade. Modellernas ordningstal blev 2:a för S2, 1:a för K1 och 2:a för R1. Någon stabil 2:a eller 3:e ordningens modell för försök K1 kunde inte erhållas utan 1:a ordningens modell fick tas utan något test. Modellen för radiatoruppvärmning blev lika bra med endast en insignal, uppvärmningssystemets temperatur, som med två insignaler.

Samtliga i bilaga nr 2 redovisade modeller simulerades som kontroll. Resultat finns i diagram nr 7 - 9 för S2, nr 10 - 11 för K1 och nr 12 - 14 för R1.

För både S2 och R1 ser man att 3:e ordningens modell ej är nämnvärt bättre än andra ordningens modeller. Den simulerade 2:a ordningens modell för försöket K1 är instabil, vilket delvis framgår av felet, som ökar med tiden.

De kontinuerliga överföringsfunktionerna från uppvärmningstemperatur till rumslufttemperatur blev följande:

För strålningsförsöket S2

$$G(s) = 0,13 + \frac{0,05}{1 + s \cdot 0,33} + \frac{0,13}{1 + s \cdot 5,5}$$

För konvektiva försöket K1

$$G(s) = 0,3 + \frac{0,3}{1 + s \cdot 2,5}$$

För radiatorförsöket R1

$$G(s) = 0,09 + \frac{0,03}{1 + s \cdot 0,27} + \frac{0,40}{1 + s \cdot 33}$$

Tidsenheten är en timme.

Genomgående för alla modellerna är direktterm, vilket tyder på att systemet har snabbare tidskonstanter än väntat.

## SLUTSATS.

Vid samtliga strukturidentifieringar har mycket snabba moder erhållits i överföringsfunktionen, som har med luftmassans värmebalans att göra. Samma sak erhöles vid Maximum Likelihood-identifieringarna i form av direkttermer i överföringsfunktionen. Samplingsintervallet var 20 minuter och tidskonstanterna till de snabba moderna låg klart under samplingsintervallet och ner mot några minuter. För att kunna beskriva rummets dynamik på ett för reglering nödvändigt sätt krävs andra mätdata. Alltså måste nya försök göras med snabbare datainsamling.

Att fastlägga enkla samband mellan byggnadsdata och de erhållna modellparametrarna visar sig vara svårt. De olika försökstyperna visar stor spridning, trots att endast uppvärmningsanordningen har skilt försöken åt. Genomgående har variationer för en viss parameter rört sig en faktor 2 - 5 för samtliga modelltyper och försökstyper. De beräknade parametrarna har skilt sig från de erhållna med högst en faktor 2 - 3.

De stora tidskonstanterna i rummet kan ej heller bestämmas med de gjorda försöken beroende på PRBS-sekvensen och försökets längd. Därför är det naturligt att de erhållna massorna i rummet är mindre än de verkliga, eftersom endast en mindre del av massorna tar del i värmeutbytet med rumsluften såsom försöken har varit utformade.

4. 1.

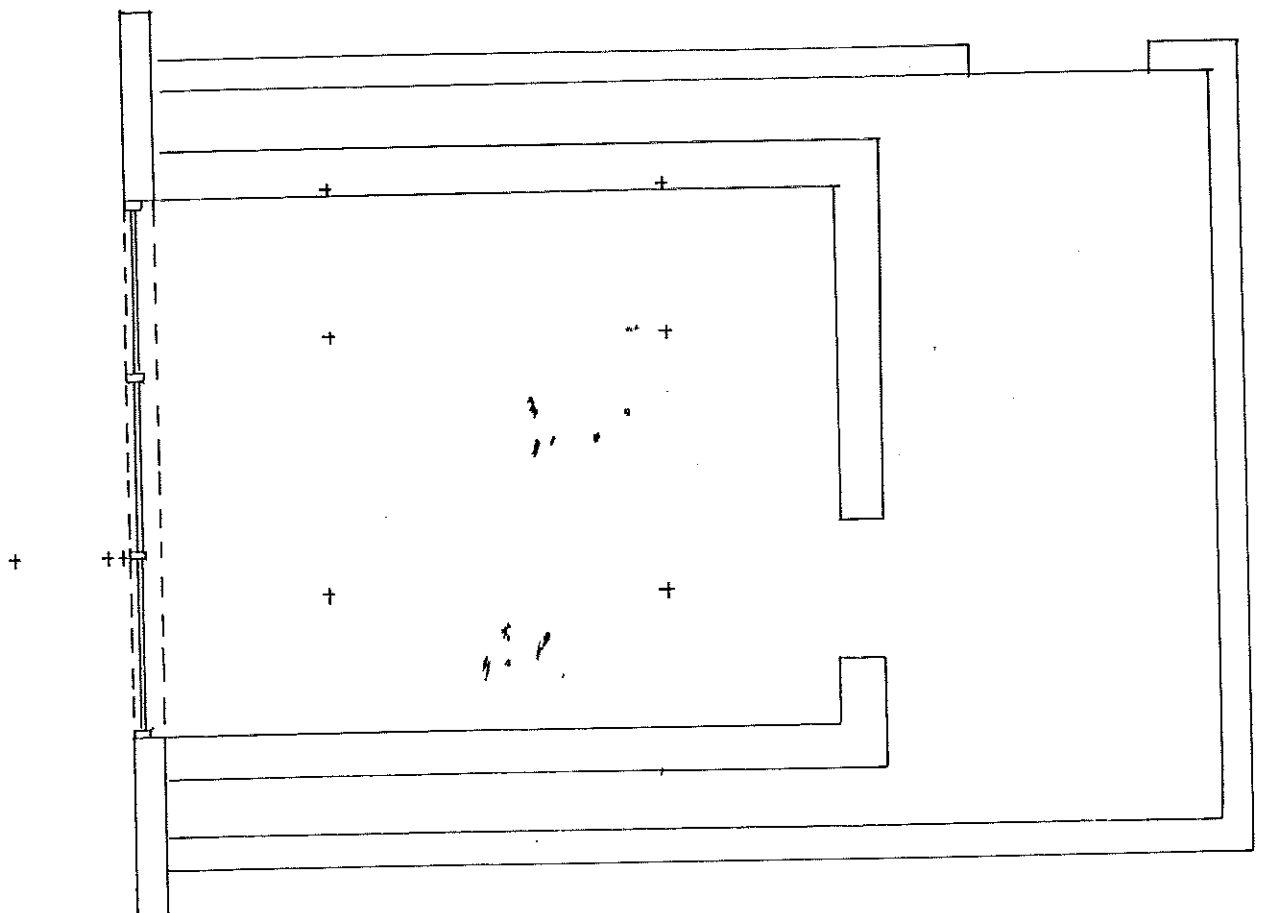
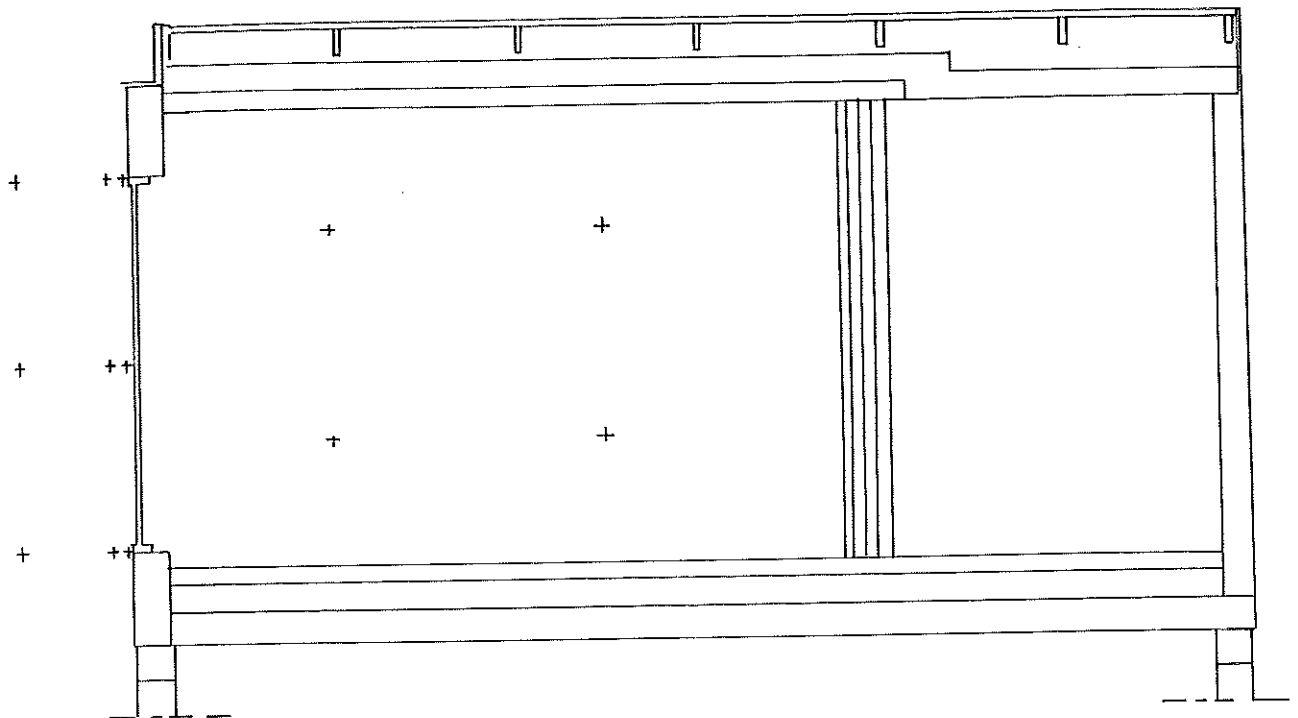
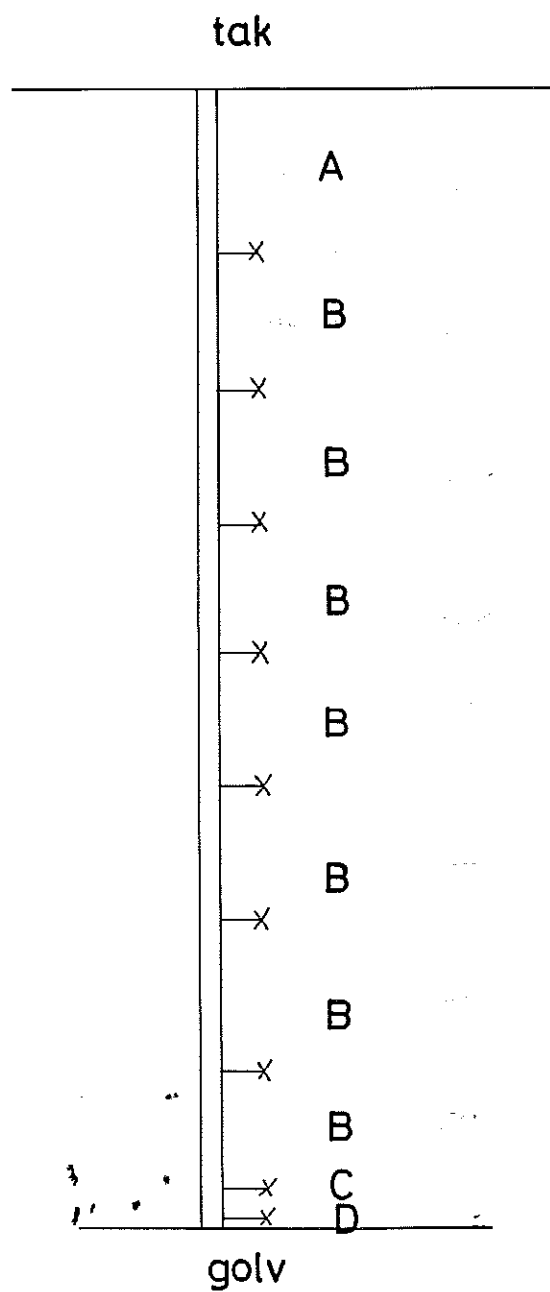


Fig. nr 1 - Försöksrummet. Kryss markerar var termoelementen var placerade (ej alla).



A = 450 B = 350 C = 50 D = 25

Fig. nr 2 - Mätstege för rumslufttemperatur.  
Kryss markerar termoelement.



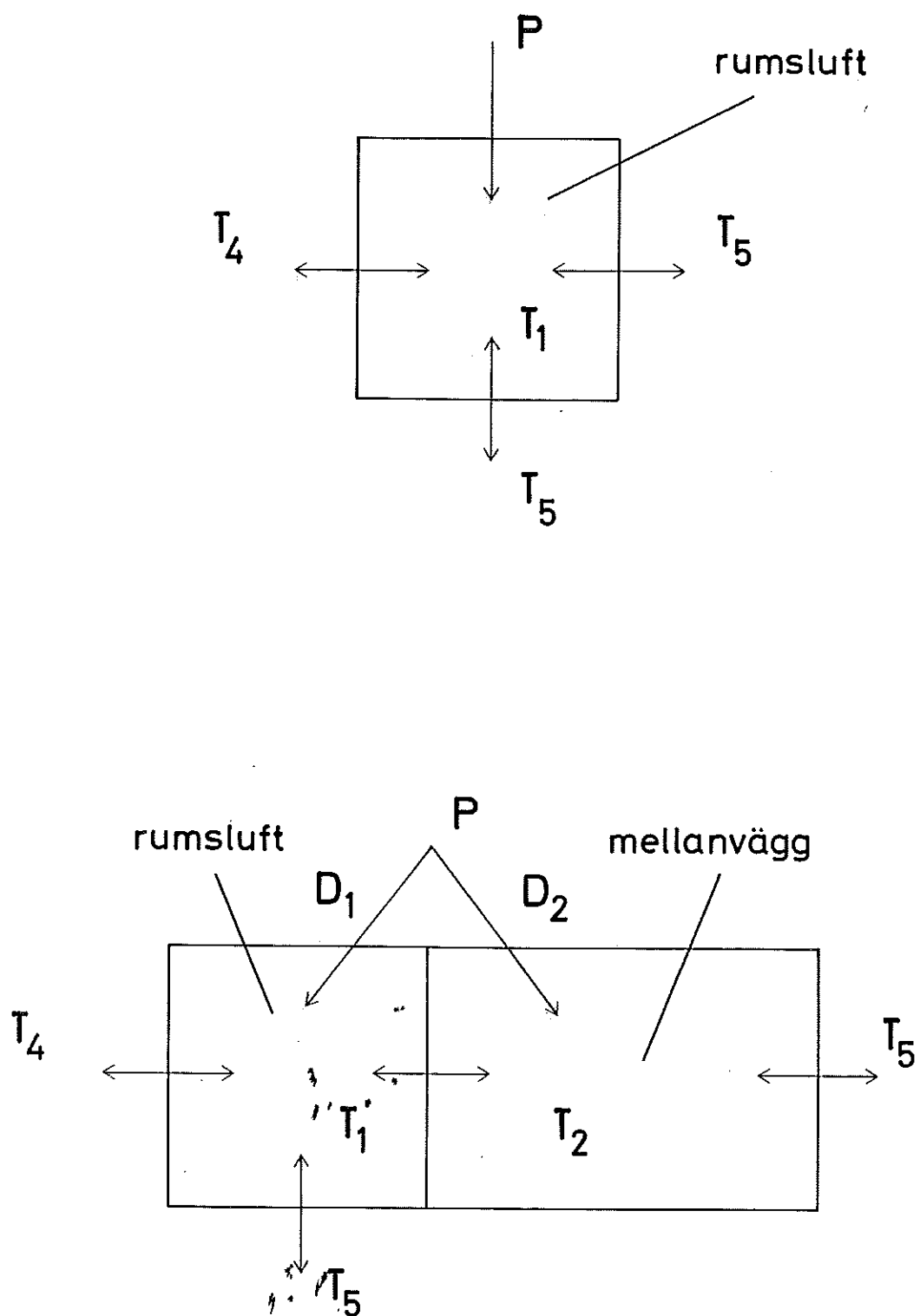
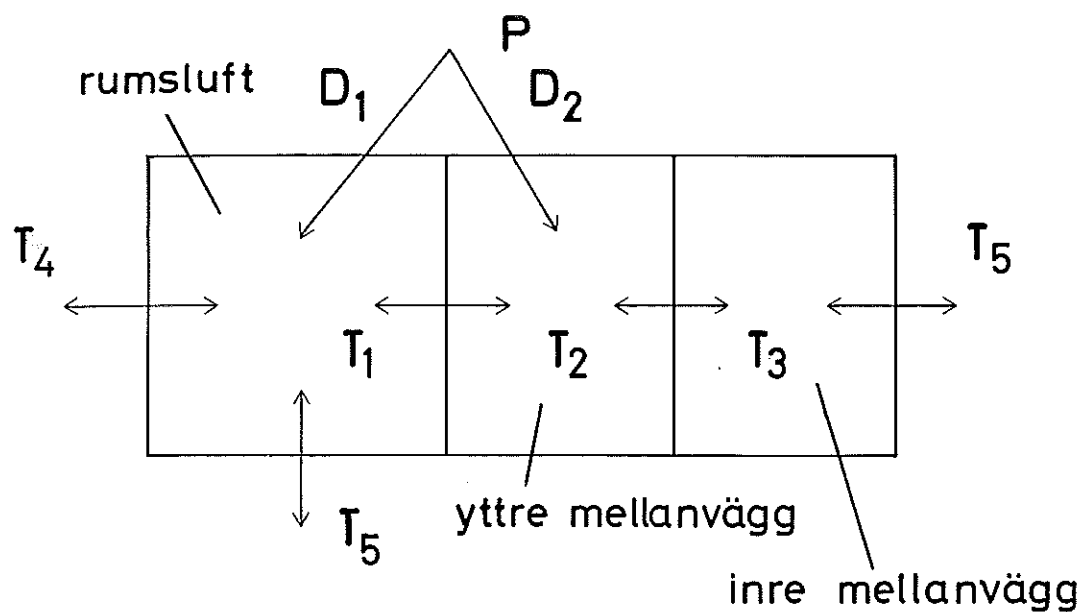


Fig. nr 3 - Modellstrukturer för 1:a och 2:a ordningens modell.

Typ 1



## Typ 2

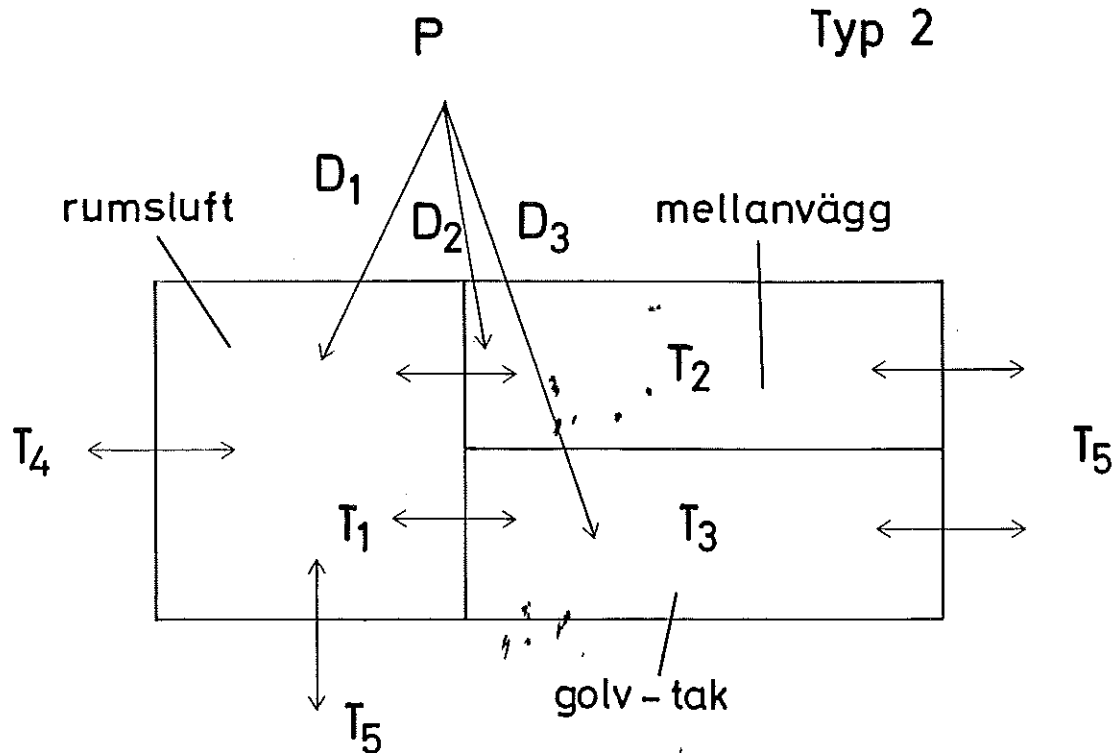


Fig. nr 4 - Modellstrukturer för modeller av 3:e ordningen  
av typ 1 och 2.

Tabell nr 1. Parametrar hos modeller baserade på byggdata.

Ordningstal	1	2	2	3 typ 1	3 typ 1	3 typ 2	3 typ 2	3 typ 2	3 typ 2	3 typ 2
Diagram nr	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23
Parametrar										
K <sub>14</sub>	35,47	27,73	27,73	28,48	28,48	20,10	21,00	19,99	20,91	
K <sub>15</sub>	30.	23.	23.	23.	23.	23.	23.	23.	23.	
K <sub>25</sub>	-	7.	7.	-	-	7.	7.	7.	7.	
K <sub>35</sub>	-	-	-	7.	7.	7.	7.	7.	7.	
K <sub>12</sub>	-	47.	105.	56.	130.	47.	105.	47.	105.	
K <sub>13</sub>	-	-	-	-	-	32.	32.	64.	64.	
K <sub>23</sub>	-	-	-	140.	140.	-	-	-	-	
C <sub>1</sub>	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	
C <sub>2</sub>	-	330.	330.	165.	165.	330.	330.	330.	330.	
C <sub>3</sub>	-	-	-	165.	165.	2200.	2200.	2200.	2200.	
D <sub>1</sub>	1.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
D <sub>2</sub>	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	
D <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	0,25	0,25	0,25	0,25	
h <sub>12</sub>	-	2.	6,7	2.	11,2	2.	6,7	2.	6,7	
h <sub>13</sub>	-	-	-	-	-	1.	1.	2.	2.	

Tabell nr 2 - Resultat från strukturidentifiering.

Försökstyp	S	K	R	S	K	R	S	K	R
Ordningstal	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Ant. ut signaler	1	1	1	1	1	1	2	2	2
Diagram nr	24	28	32	25	29	33	36	38	40
Parametrar									
K <sub>14</sub>	80.	170.	36.	34.	170.	25.	28.	161.	51.
K <sub>24</sub>	-	-	-	46.	0.	12.	52.	9.	-15.
K <sub>15</sub>	54.	49.	40.	39.	37.	26.	39.	37.	26.
K <sub>12</sub>	-	-	-	-	320.	179.	310.	193.	615.
K <sub>13</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K <sub>23</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	222.	279.	283.	300.	300.	300.
C <sub>1</sub>	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.
C <sub>2</sub>	-	-	-	675.	486.	541.	1585.	513.	725.
C <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T <sub>1</sub>	0,112	0,069	0,197	0,067	0,028	0,064	0,039	0,038	0,021
T <sub>2</sub>	-	-	-	7,20	3,91	10,76	14,93	4,82	13,78
T <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R <sub>1</sub>	11,6	3,3	15,3	0,60	0,45	0,62	0,70	0,32	0,44
R <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	1,17	0,29	0,43
V	1569.	449.	2085.	46,7	26,5	49,0	1131.	1607.	2291.

Tabell nr 3 - Resultat från strukturidentifiering.

Försökstyp	S	K	R	S	K	R
Ordningstal	3 typ 1	3 typ 1	3 typ 1	3 typ 1	3 typ 1	3 typ 1
Antal ut signaler	1	1	1	2	2	2
Diagram nr	26	30	34	37	39	41
Parametrar						
K <sub>14</sub>	<u>36.</u>	<u>127.</u>	<u>21.</u>	<u>15.</u>	<u>173.</u>	<u>34.</u>
K <sub>24</sub>	44.	43.	15.	65.	-3.	2.
K <sub>15</sub>	<u>38.</u>	<u>34.</u>	<u>25.</u>	<u>39.</u>	<u>34.</u>	<u>26.</u>
K <sub>12</sub>	<u>157.</u>	<u>258.</u>	<u>147.</u>	<u>427.</u>	<u>273.</u>	<u>285.</u>
K <sub>13</sub>	-	-	-	-	-	-
K <sub>23</sub>	<u>394.</u>	<u>399.</u>	<u>434.</u>	<u>236.</u>	<u>361.</u>	<u>520.</u>
E	300.	300.	300.	300.	300.	300.
C <sub>1</sub>	15.	15.	15.	15.	15.	15.
C <sub>2</sub>	<u>475.</u>	<u>427.</u>	<u>448.</u>	<u>454.</u>	<u>589.</u>	<u>776.</u>
C <sub>3</sub>	475.	427.	448.	454.	589.	776.
T <sub>1</sub>	0,064	0,035	0,076	0,030	0,031	0,043
T <sub>2</sub>	0,571	0,492	0,507	0,860	0,750	0,734
T <sub>3</sub>	10,79	6,64	18,6	9,23	11,15	31,27
R <sub>1</sub>	0,16	0,10	0,13	0,78	0,10	0,09
R <sub>2</sub>	-	-	-	0,52	0,12	0,20
V	22.	14.	17.	225.	199.	231.

Tabell nr 4 - Resultat från struktureridentifiering.

Försökstyp	S		K		R		S		K		R	
Ordningstal	3 typ 2		3 typ 2		3 typ 2		3 typ 2		3 typ 2		3 typ 2	
Antal ut signaler	1	27	1	31	1	35	2	3	2	2	2	2
Diagram nr		27		31		35						
Parametrar												
K <sub>14</sub>	42.		158.		28.		2.		170.		42.	
K <sub>24</sub>	38.		12.		8.		78.		0.		-6.	
K <sub>15</sub>	38.		31.		24.		37.		30.		24.	
K <sub>12</sub>	146.		216.		194.		268.		133.		200.	
K <sub>13</sub>	54.		113.		70.		260.		183.		207.	
K <sub>23</sub>	-		-		-		-		-		-	
E	300.		300.		300.		300.		300.		300.	
C <sub>1</sub>	15.		15.		15.		15.		15.		15.	
C <sub>2</sub>	330.		330.		330.		330.		330.		330.	
C <sub>3</sub>	1100.		2200.		2200.		1100.		2200.		2200.	
T <sub>1</sub>	0,053		0,029		0,047		0,026		0,029		0,031	
T <sub>2</sub>	3,61		2,47		4,07		1,58		1,27		2,69	
T <sub>3</sub>	21,20		29,05		65,87		13,45		3,43		53,57	
R <sub>1</sub>	0,096		0,053		0,113		1,61		0,083		0,107	
R <sub>2</sub>	-		-		-		0,630		0,115		0,109	
V	12,9		7,0		15,4		678.		165.		116.	

## REFERENSER.

- [1] I. Gustavsson: Parametric Identification on Multiple Input, Single Output Linear Dynamic Systems. Report 6907, July, 1969, Lund Institute of Technology, Division of Automatic Control.
  
- [2] B. Adamson: Program för studier av utomhusförhållandens inverkan på rumsklimatet. Tekniska högskolan i Lund, Sektionen för arkitektur, Institutionen för byggnadskonstruktionslära, arbetsrapport 1969:2.
  
- [3] B. Frick: Rumsmätningar och identifiering av rummets dynamik med Maximum Likelihood-metodik. Rapport RE-89, november 1970, Institutionen för reglerteknik vid Lunds tekniska högskola.
  
- [4] K.J. Åström och P. Eykhoff: System Identification -  
- A Survey, Automatica 7 (1971), pp. 123-162.

## VÄRMEDATA FÖR PROVRUMMET VID BKL, LTH.

Skikten angivna med skiktet närmast rumsluften först. Ytan gränsande mot rumsluften anges.  
 Närmare detaljer återfinnes i arbetsrapport 1969:2.

Yta	Skiktmaterial	Tjocklek [m]	$\lambda$ [W/°Cm]	S [Wh/°Cm <sup>3</sup> ]
<u>Golv</u> 16,2 m <sup>2</sup>	Grå PVC-plast-plattor	0,002	-	-
	Arm. betong K 300	0,125	1,51	560
	Min.ull, Gullfiber S200, 200 kg/m <sup>3</sup>	0,20	0,0406	48,8
	Lättbetong, volymvikt 0,5	0,20	0,151	125
	Kryprumsluft	-	-	-
<u>Tak</u> 16,2 m <sup>2</sup>	Vit målning	-	-	-
	Arm. betong	0,125	1,51	560
	Min.ull, Gullfiber 3004, 16 kg/m <sup>3</sup>	0,20	0,0406	3,90
	Luftspalt	0,25	0,0256	0,30
	Takpanel, furu	0,02	0,14	290
	3 lag papp	-	-	-
	Uteluft	-	-	-
<u>Mellanväggar</u> 2 st á 13,4 m <sup>2</sup>	Ljus tapet	-	-	-
	Lättbetong	0,075	0,151	125
	Min.ull, 16 kg/m <sup>3</sup>	0,10	0,0406	3,90
	Arm. betong	0,08	1,51	560
	Cellplast, Gullfiber styrolit, 15 kg/m <sup>3</sup>	0,10	0,0406	5,76
	Korridorluft, norr o. söder	-	-	-



## Forts. Värmedata för provrummet vid BKL. LTH.

Yta	Skiktmaterial	Tjocklek [m]	$\lambda$ [W/°Cm]	S [Wh/°Cm <sup>3</sup> ]
<u>Korr.vägg</u> 8,7 m <sup>2</sup>	Ljus tapet	-	-	-
	Lättbetong	0,075	0,151	125
	Min.ull, 16 kg/m <sup>3</sup>	0,10	0,0406	3,90
	Arm. betong	0,08	1,51	560
	Cellplast	0,10	0,0406	5,76
	Spånplatta, omålad	0,02	0,13	290
	Korr.luft, väster			
	Masonit, omålad	0,004	0,13	465
<u>Dörr t. korr.</u> 1,5 m <sup>2</sup>	Luft	0,04	0,0256	0,30
	Masonit, omålad	0,004	0,13	465
	Korr.luft, väster			
<u>Dörrglas</u> 0,5 m <sup>2</sup>	Maskinglas	0,002	0,81	605
	Korr.luft, väster			
<u>Fasadvägg</u> 3,1 m <sup>2</sup>	Vit målning	-	-	-
	Lättbetong	0,25	0,151	125
	Ljus yta, österfasad			
	Uteluft			
<u>Fönster</u> 7,6 m <sup>2</sup>	Maskinglas P3	0,003	0,81	605
	Luft	0,009	0,0256	0,30
	Maskinglas P3	0,003	0,81	605
	Uteluft, österfasad			

(Ermabodas isolerglasruta. Totalt k-värde ang. till 2,7) kcal/m<sup>2</sup> ch

Då material i ovanstående lista ej är specificerat gäller spec. tidigare i listan.

## RESULTAT FRÅN MAXIMUM LIKELIHOOD-IDENTIFIERING.[3].

## Strålningsförsöket S 2

n	1	2	3
$a_1$	$-0,801 \pm 0,018$	$-1,329 \pm 0,061$	$-2,229 \pm 0,110$
$a_2$		$0,365 \pm 0,052$	$1,576 \pm 0,171$
$a_3$			$-0,342 \pm 0,066$
$a_4$			
$b_{10}$	$0,138 \pm 0,002$	$0,127 \pm 0,002$	$0,128 \pm 0,002$
$b_{11}$	$-0,071 \pm 0,003$	$-0,120 \pm 0,011$	$-0,236 \pm 0,017$
$b_{12}$		$0,010 \pm 0,006$	$0,123 \pm 0,021$
$b_{13}$			$-0,012 \pm 0,007$
$b_{14}$			
$b_{20}$			
$b_{21}$	$0,016 \pm 0,007$	$0,063 \pm 0,023$	$0,076 \pm 0,027$
$b_{22}$		$-0,056 \pm 0,024$	$-0,143 \pm 0,052$
$b_{23}$			$0,068 \pm 0,026$
$b_{24}$			
$c_1$	$0,360 \pm 0,079$	$-0,838 \pm 0,105$	$-1,739 \pm 0,145$
$c_2$		$0,347 \pm 0,101$	$1,089 \pm 0,204$
$c_3$			$-0,336 \pm 0,104$
$c_4$			
$\lambda$	$0,128$	$0,102$	$0,101$
$V$	$1,109$	$0,709$	$0,687$

## Konvektiva försöket K1

n	1	2
$a_1$	$-0,872 \pm 0,039$	$-1,498 \pm 0,087$
$a_2$		$0,488 \pm 0,085$
$a_3$		
$b_{10}$	$0,305 \pm 0,006$	$0,284 \pm 0,008$
$b_{11}$	$-0,223 \pm 0,015$	$-0,372 \pm 0,035$
$b_{12}$		$0,092 \pm 0,030$
$b_{13}$		
$b_{20}$		
$b_{21}$	$0,020 \pm 0,012$	$0,038 \pm 0,022$
$b_{22}$		$-0,037 \pm 0,020$
$b_{23}$		
$c_1$	$0,000 \pm 0,175$	$-1,024 \pm 0,119$
$c_2$		$0,189 \pm 0,110$
$c_3$		
$\lambda$	$0,173$	$0,150$
$V$	$1,968$	$1,530$

## Radiatorförsöket R1

n	1	2	3
a <sub>1</sub>	-0,855±0,035	-1,385±0,082	-2,364±0,157
a <sub>2</sub>		0,392±0,078	1,787±0,237
a <sub>3</sub>			-0,420±0,090
a <sub>4</sub>			
b <sub>10</sub>	0,092±0,002	0,091±0,002	0,091±0,002
b <sub>11</sub>	-0,062±0,004	-0,104±0,009	-0,193±0,015
b <sub>12</sub>		0,017±0,007	0,123±0,020
b <sub>13</sub>			-0,020±0,007
b <sub>14</sub>			
b <sub>20</sub>			
b <sub>21</sub>	0,000	0,000	0,000
b <sub>22</sub>		0,000	0,000
b <sub>23</sub>			0,000
b <sub>24</sub>			
c <sub>1</sub>	0,233±0,084	-0,487±0,102	-1,516±0,144
c <sub>2</sub>		0,000	0,583±0,108
c <sub>3</sub>		..	0,000
c <sub>4</sub>		3	
λ	0,186	0,151	0,149
V	2,369	1,542	1,504

4. P.

## ÖVERSLAGSBERÄKNING PÅ K-VÄRDEN.

Genom att bilda medelvärden för olika temperaturer över hela försök kan överslagsberäkningar göras för olika byggheders k-värden eller för olika modellparametrar. För samtliga försök har medelvärde beräknats för uppvärmningsanordningens temperatur U1, ytterluftens temperatur U2, rumsluftens temperatur Y1 och väggytans temperatur Y2. Med differenserna U1 - Y1 och U2 - Y1 kan k-värdet uppskattas mellan värmesystem och rumsluft och mellan ytterluft och rumsluft.

	U1	U2	Y1	Y2	Y1-Y1	U2-Y1
S1	48,6	-2,5	28,4	30,5	30,8	-20,5
S2	47,7	-3,6	28,8	30,7	32,4	-19,9
K1	32,5	-1,0	25,2	23,9	26,1	- 7,3
K2	33,4	1,4	26,9	25,4	25,5	- 6,5
R1	54,6	,5	26,5	25,3	26,0	-28,0
R2	56,6	,6	27,7	26,4	27,1	-29,2

Medeleffekten för de olika försökstyperna var 1600, 1180 och 1000 W.

För de olika försökstyperna fås följande k-värden mellan värmesystem och rumsluft:

80 W/m<sup>2</sup> grad för strålningssuppv.  
 170 W/m<sup>2</sup> grad för konvektivsuppv.  
 36 W/m<sup>2</sup> grad för radiatoruppv.

Samma sak för k-värdet mellan ytterluft och rumsluft, som är:

51 W/m<sup>2</sup> grad strålningsuppv.  
46 W/m<sup>2</sup> grad konvektivuppv.  
38 W/m<sup>2</sup> grad radiatoruppv.

# JÄMFÖRELSE MELLAN STRÅLNING OCH KONVEKTION VID STRÅLNINGS- OCH RADIATORUPPVÄRMNING.

Vid de två effektnivåer, som användes under varje försök, bestämdes temperaturer hos element U1 och rumsluft Y1.

		U1 °C	Y1 °C	U1-Y1 °C
Strålningsförsöket	max.nivå	56	29	27
	min.nivå	40	27	13
Radiatorförsöket	max.nivå	67	27	40
	min.nivå	41	24	17

Med en effektiv yta på  $10 \text{ m}^2$  hos elfolien i taket och med ett värmeövergångstal på  $0,58 \text{ W/m}^2\text{grad}$  fås följande uppdelning av värmetillförseln:

	Konvektion	Strålning	Totalt
max.	160 W	1940 W	2100 W
min.	75 W	850 W	925 W

För radiatorförsöket fås om effektiva ytan sätts till  $2,0 \text{ m}^2$  och värmeövergångstalet till  $10 \text{ W/m}^2\text{grad}$  följande fördelning:

	Konvektion	Strålning	Totalt
max.	800 W	600 W	1400 W
min.	340 W	220 W	560 W

## FÖRORD.

För att göra alla diagram överskådliga har följande förkortningar för de olika signalerna i diagrammen använts:

P för uppvärmningsanordningens effektförbrukning i W  
U1 för uppvärmningsanordningens temperatur i grader  
U2 för ytterluftens temperatur i grader  
Y1 för rumsluftens temperatur i grader  
Y2 för mellanväggens temperatur på 0 mm djup i grader  
Y3 för mellanväggens temperatur på 25 mm djup i grader  
Y4 för mellanväggens temperatur på 50 mm djup i grader  
Y5 för mellanväggens temperatur på 75 mm djup i grader  
YM1 för modellens rumslufttemperatur i grader  
YM2 för modellens väggyttemperatur i grader  
E1 för skillnaden  $Y1 - YM1$   
E2 för skillnaden  $Y2 - YM2$

Vidare är all gradering av vertikala axlar i grader utom för effekten P, som är graderad i W. Hela axeln omfattar 10 grader och ibland 20 grader, om graderad i grader. Alla horisontella axlar är graderade i timmar och endast de översta kurvorna har erhållit gradering. En skaldel omfattar 10 mätningar eller 10·20 minuter.

Ett undantag är diagrammen 7 - 14, vilka har samtliga vertikala axlar graderade i grader och samtliga horisontella axlar i samplingsintervall. I diagrammen är kurvorna uppifrån följande: insignal 1 U1, insignal 2 U2, utsignal Y1, residualerna R, modellens deterministiska utsignal YM1 och sist felet  $E1 = Y1 - YM1$ .



Diagramförteckning.

## Nummer

- |         |  |
|---------|--|
| 1 - 3   | P, U1, U2, Y1 och Y2 för S1, K1 och R1.  |
| 4 - 6   | U1, U2, Y1, Y2, Y3, Y4, Y5 för S1, K1 och R1.  |
| 7 - 14  | Simulering av Maximum-Likelihood-identifieringsresultat för S2, K1 och R1 [3].   |
| 15 - 23 | Simulering av modeller baserade på byggdata. Kurvorna är uppifrån P, U2, Y1, YM1 och E1.                                       |
| 24 - 35 | Simulering av strukturidentifieringsresultat för modeller med en utsignal. Kurvorna är U1, U2, Y1, YM1 och E1.                 |
| 36 - 41 | Simulering av strukturidentifieringsresultat för modeller med två utsignaler. Kurvorna är U1, U2, Y1, Y2, YM1, YM2, E1 och E2. |

Diagram nr 1

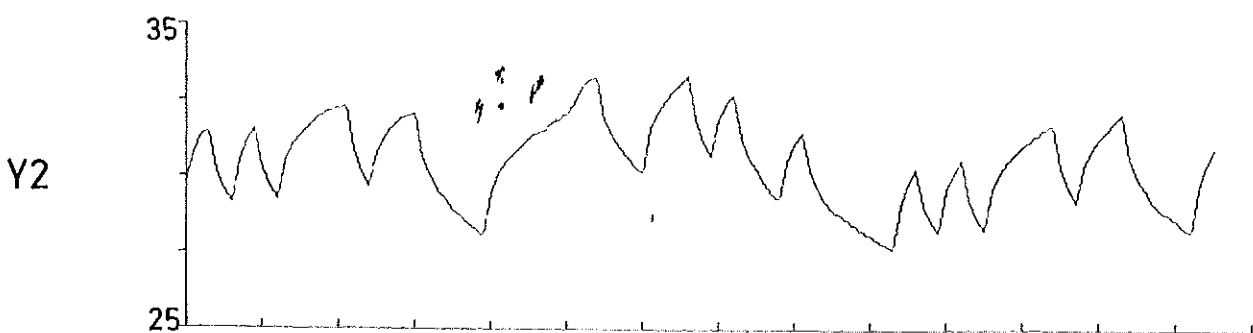
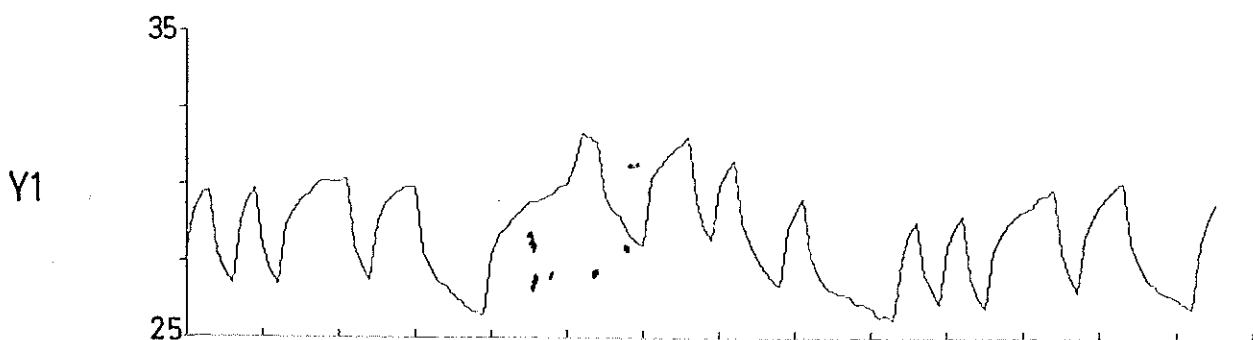
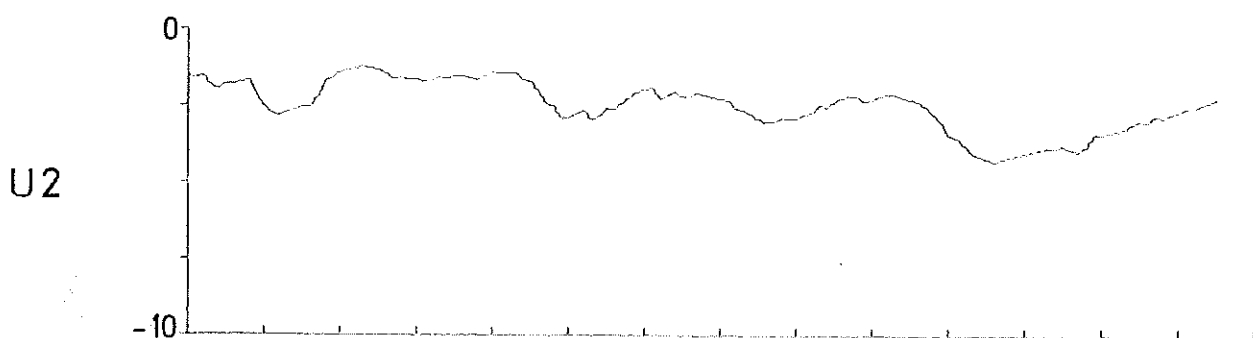
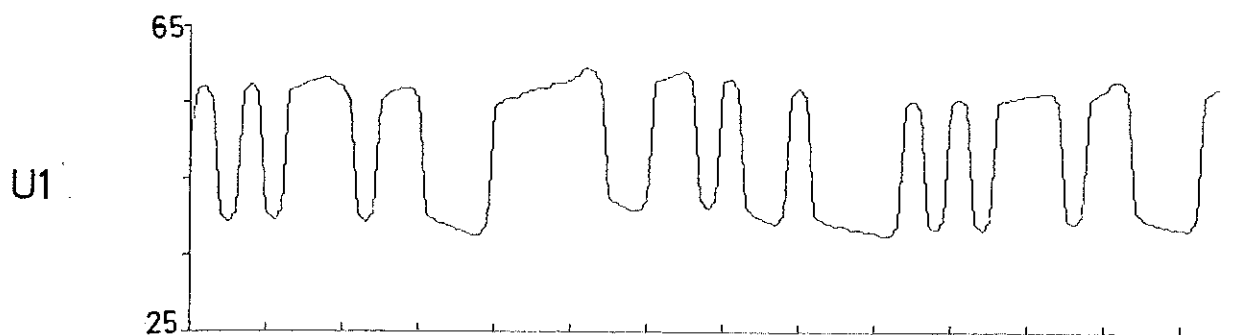
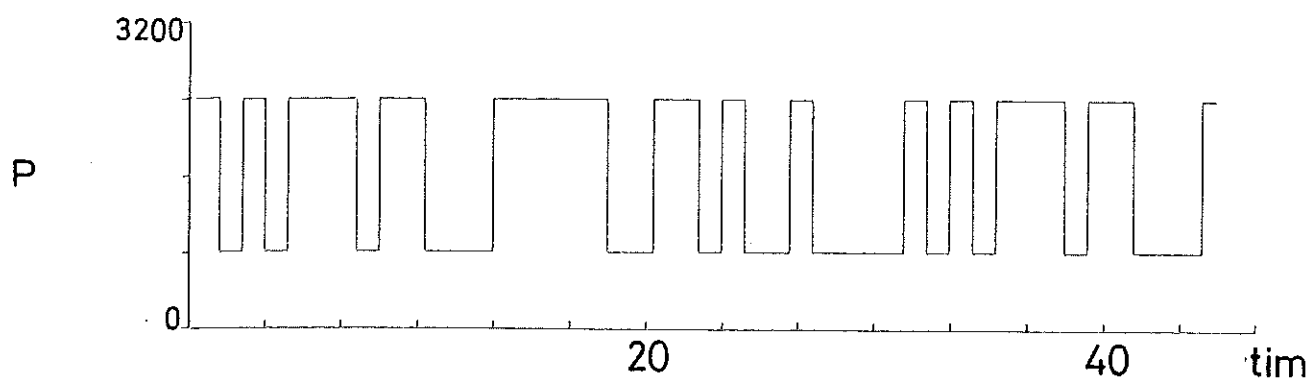


Diagram nr 2

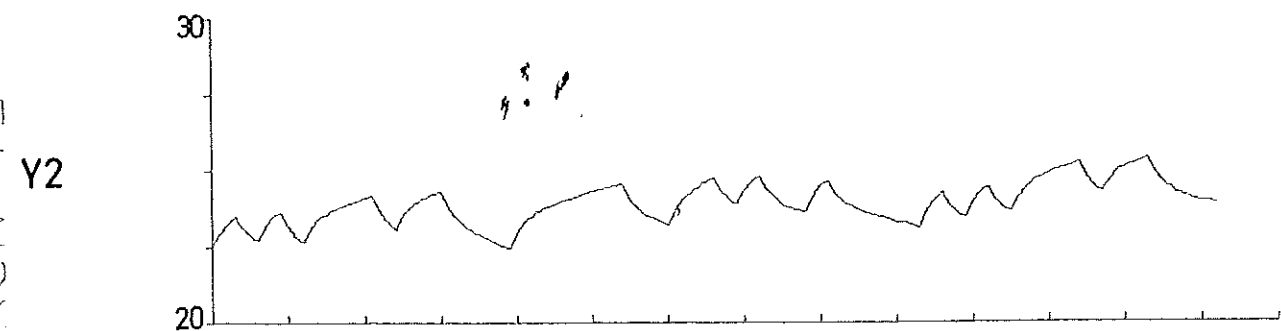
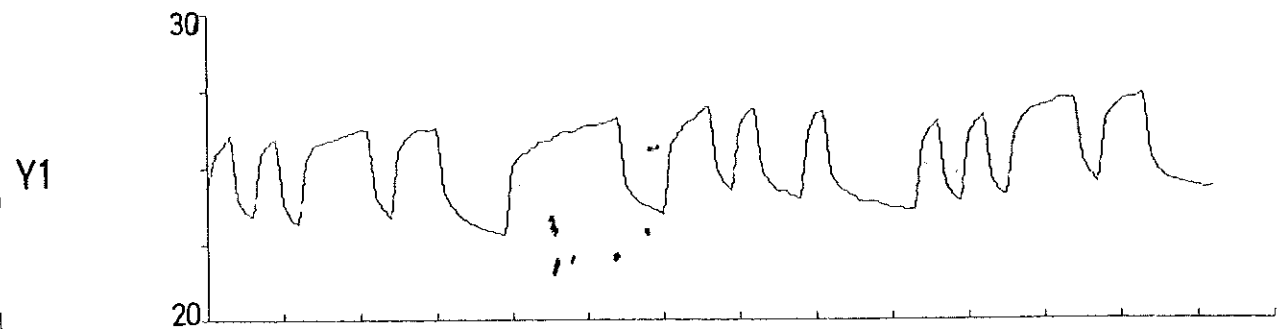
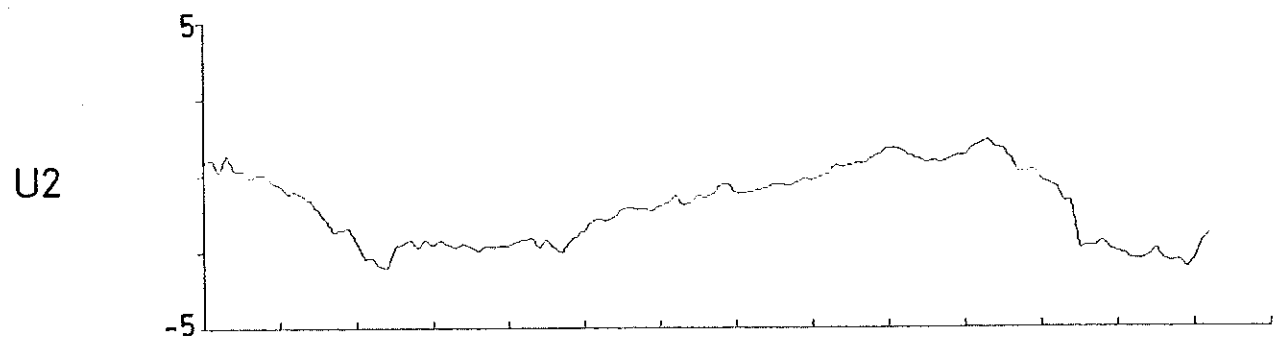
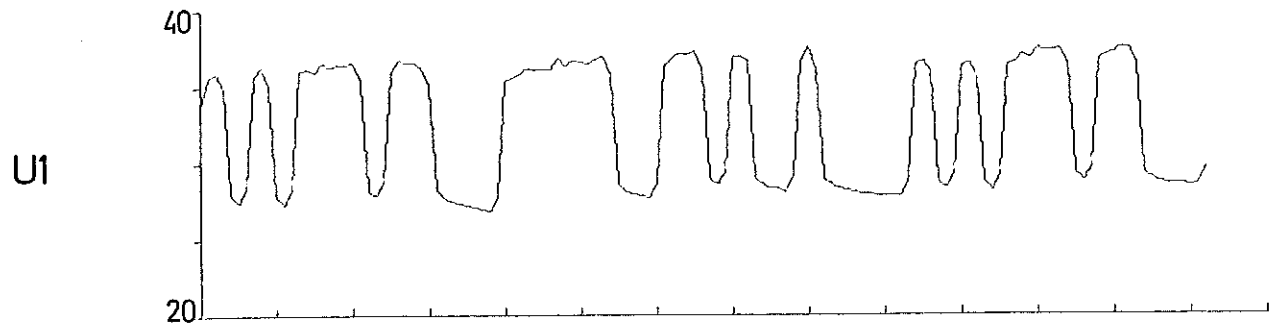
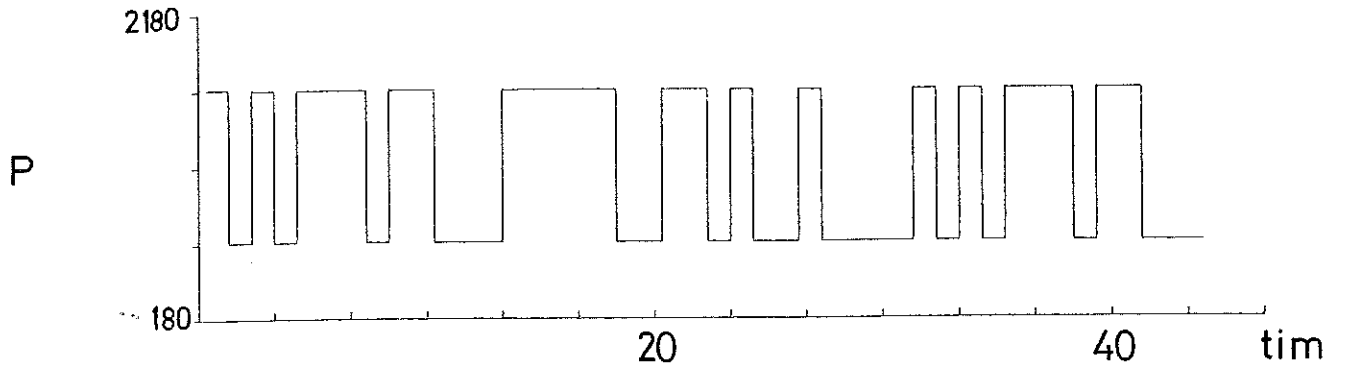
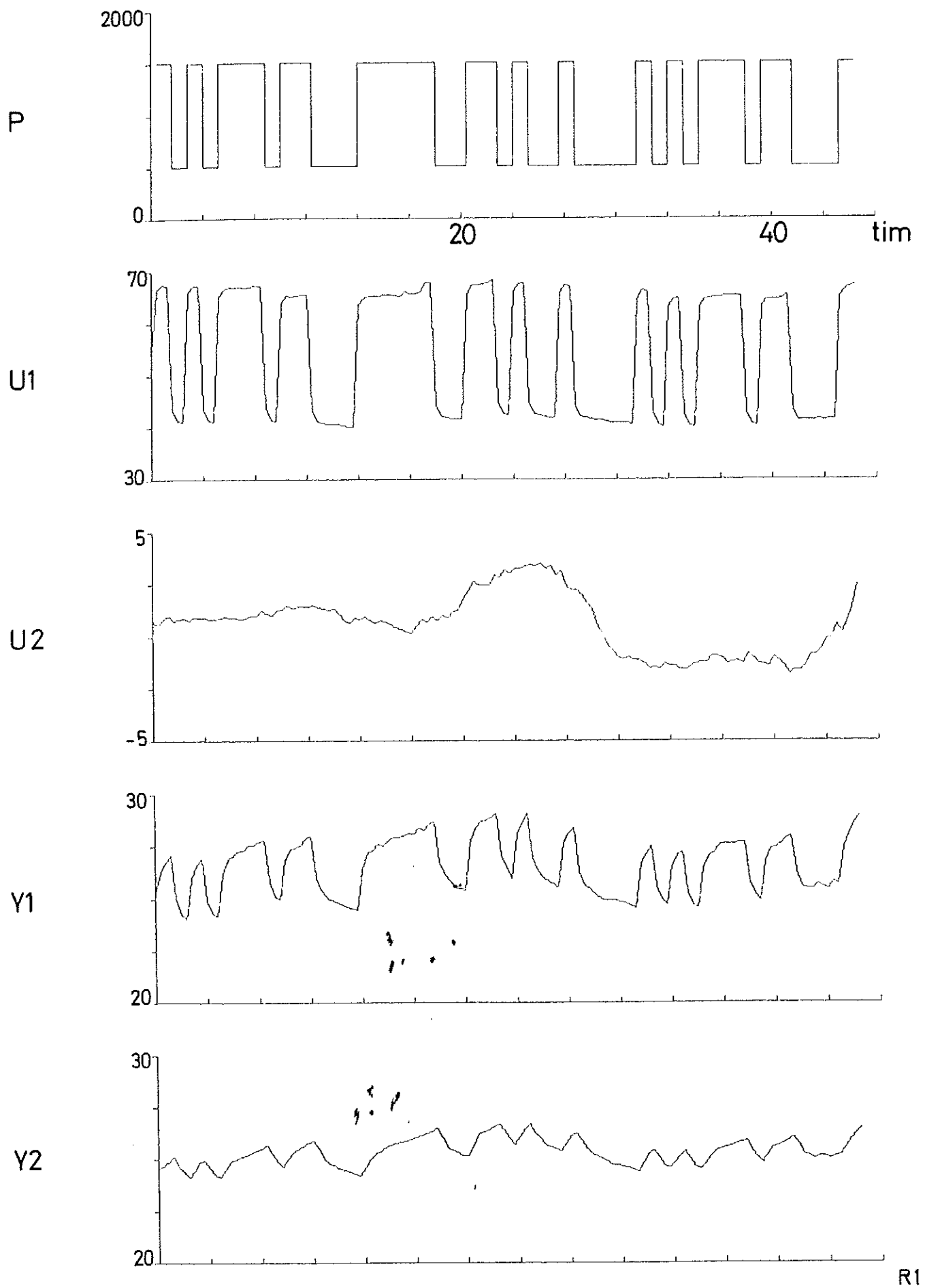


Diagram nr 3



RUN ID PLTVGG ACCOUNT 208475

Diagram nr 4

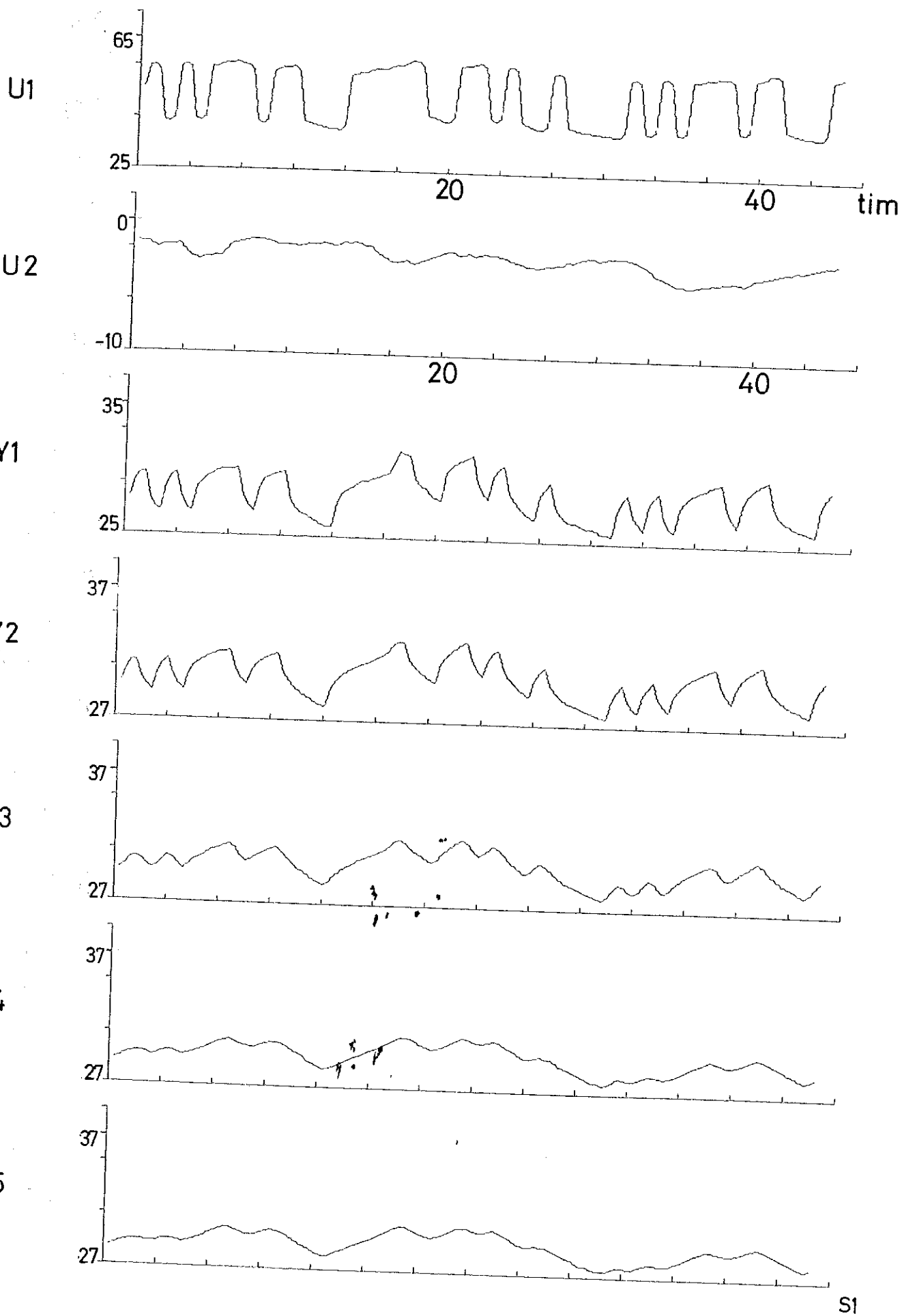
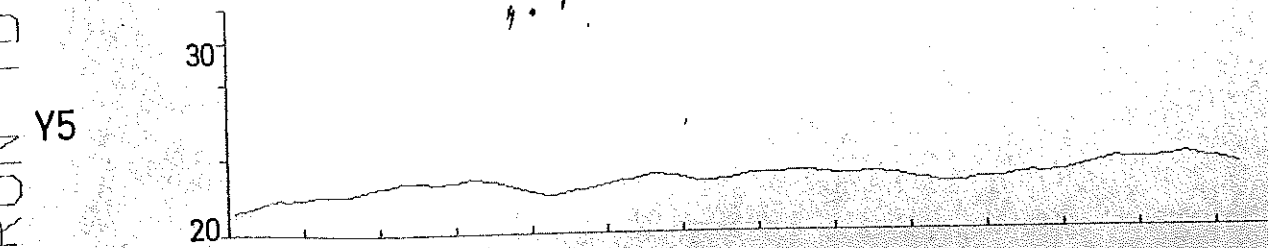
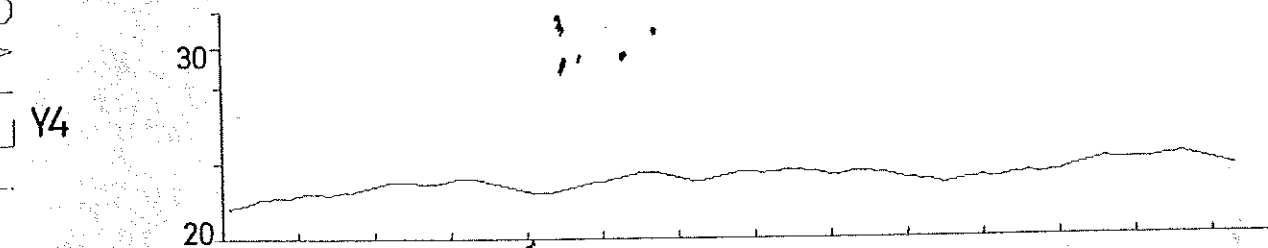
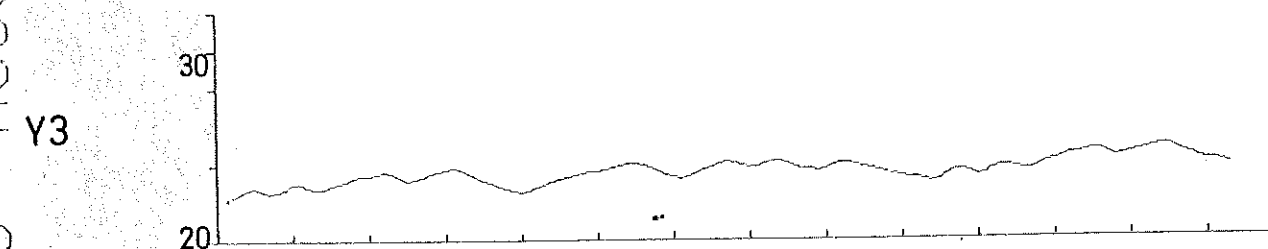
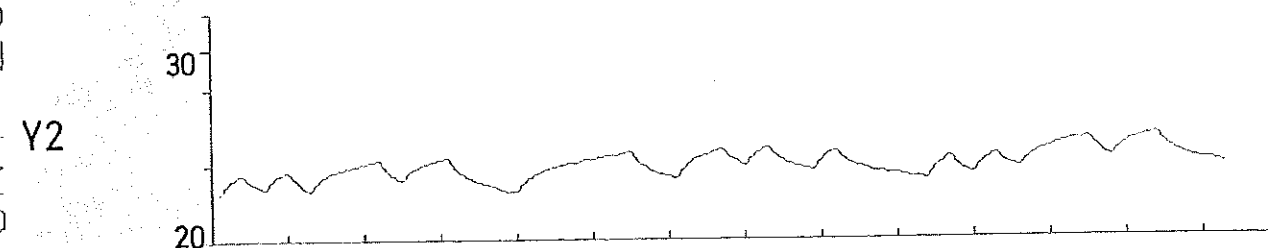
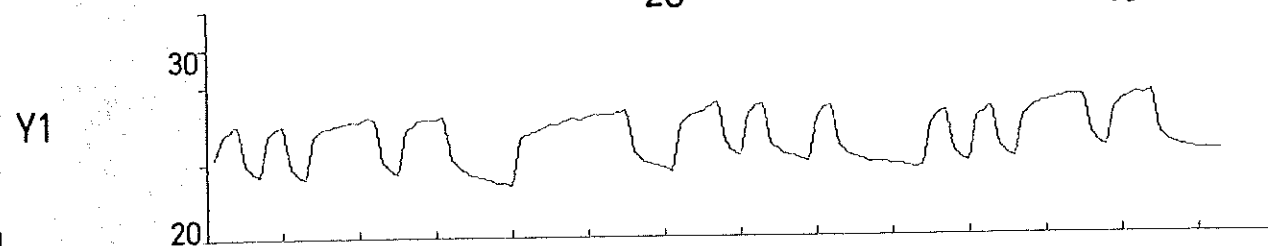
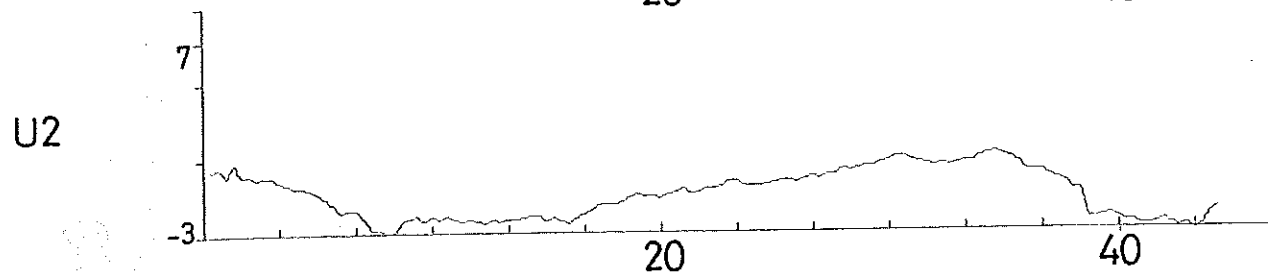
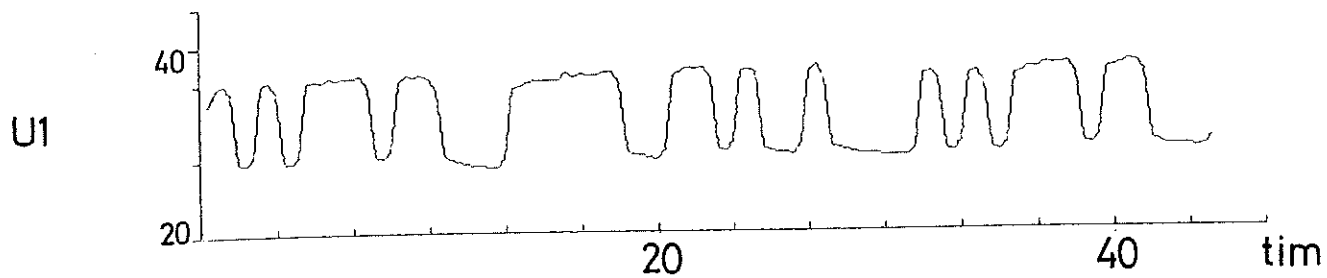


Diagram nr 5



RUN ID PLTVGG ACCOUNT 208475

Diagram nr 6

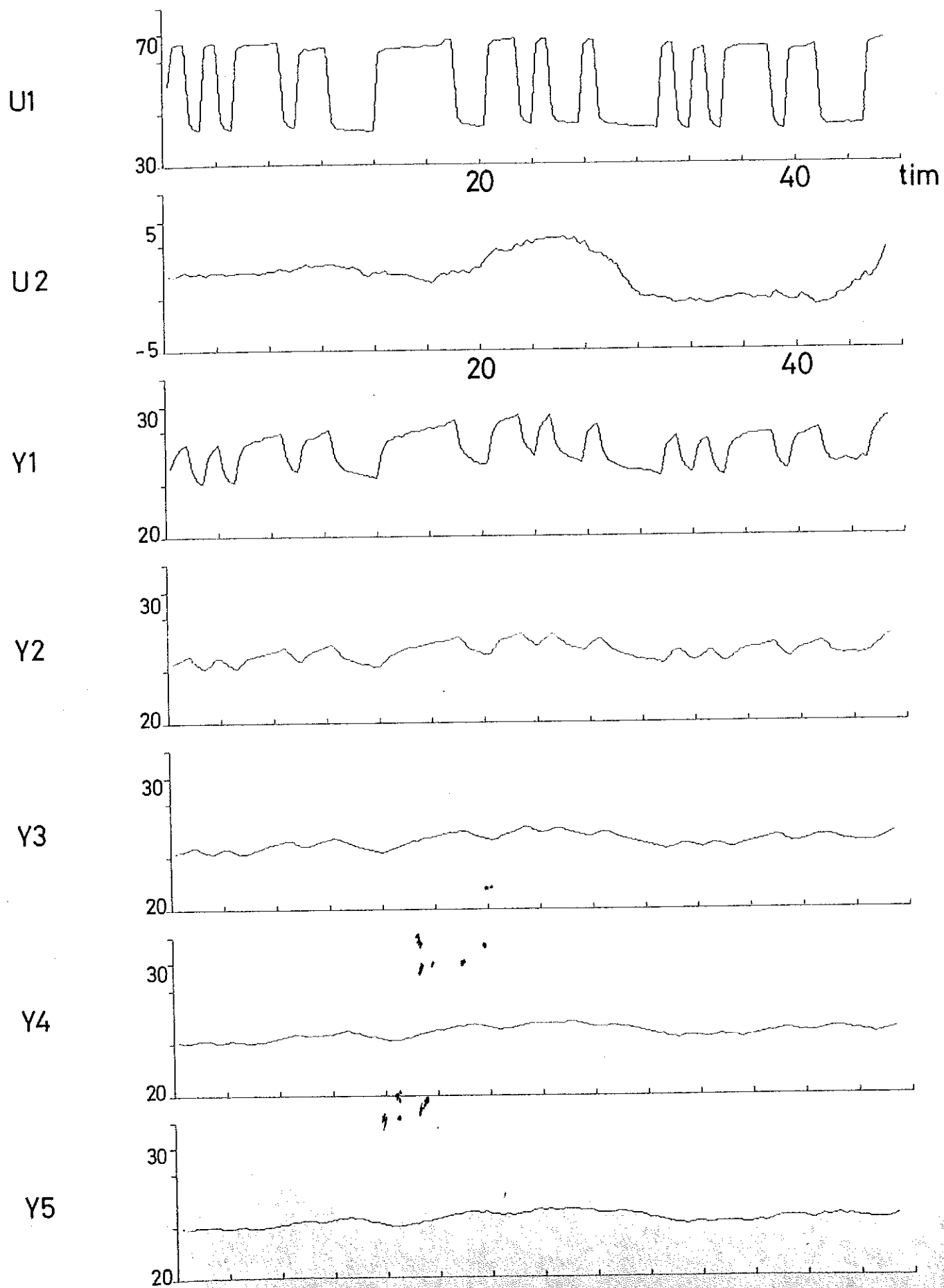


Diagram nr 7 [3].

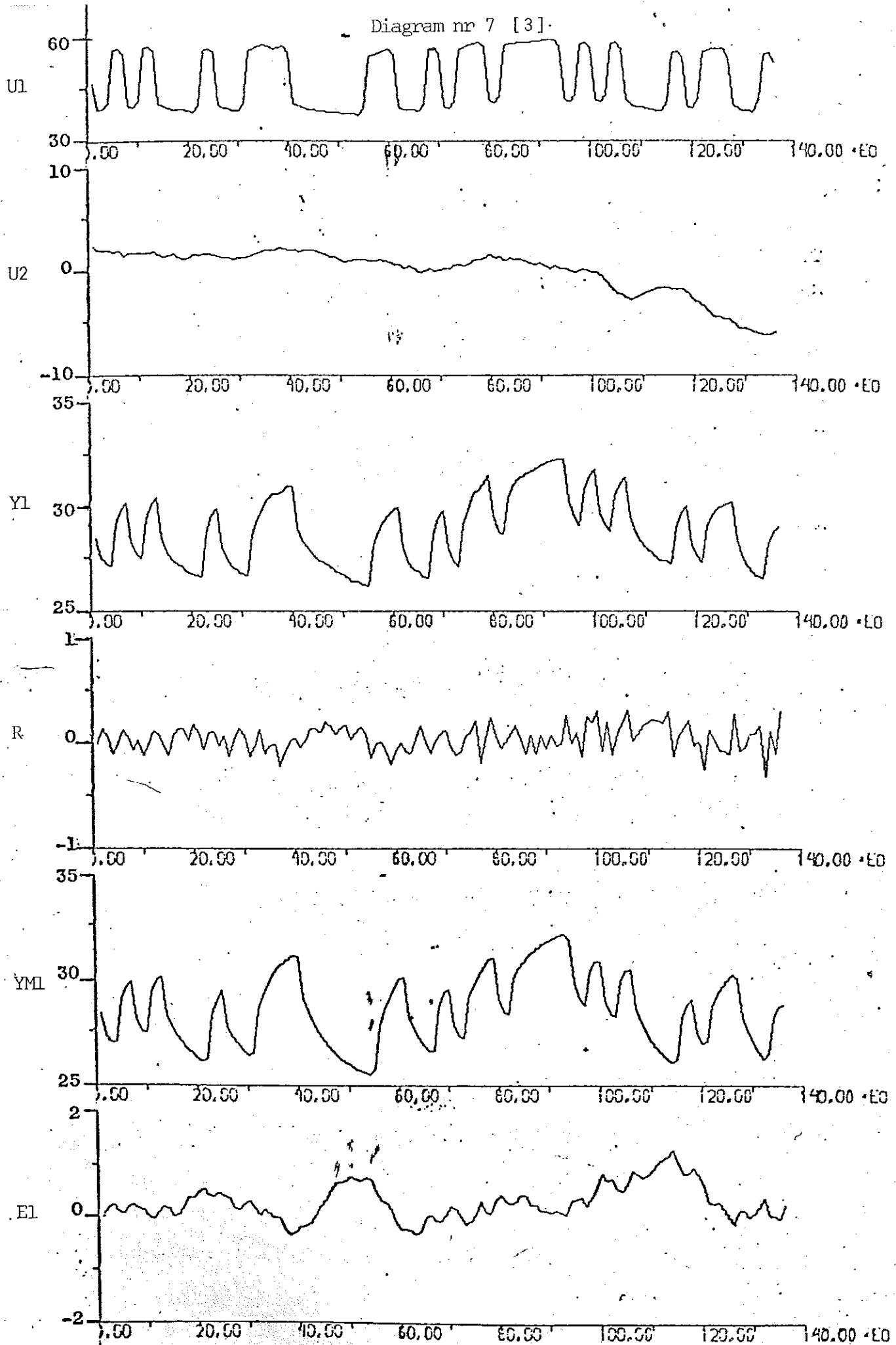
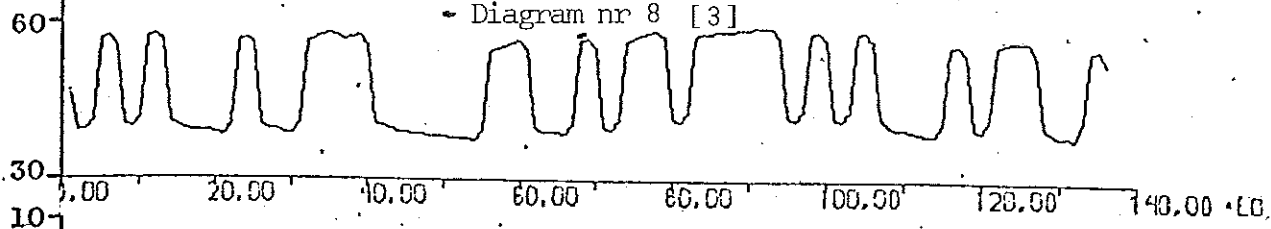


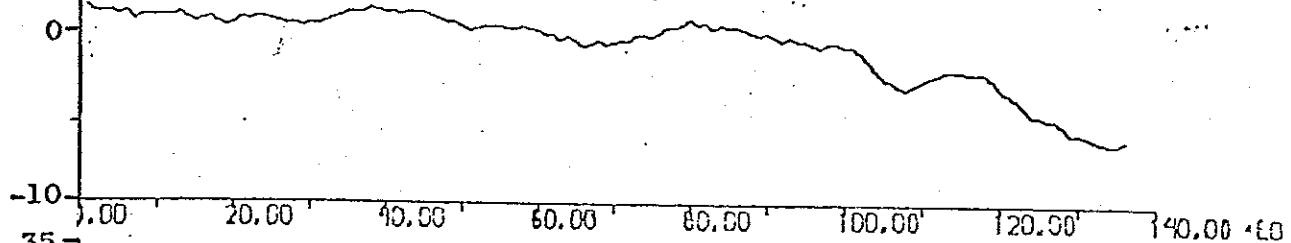


Diagram nr 8 [3]

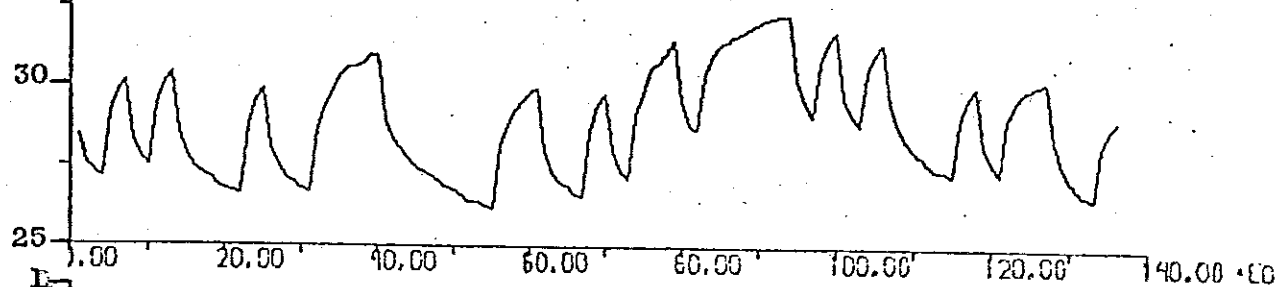
U1



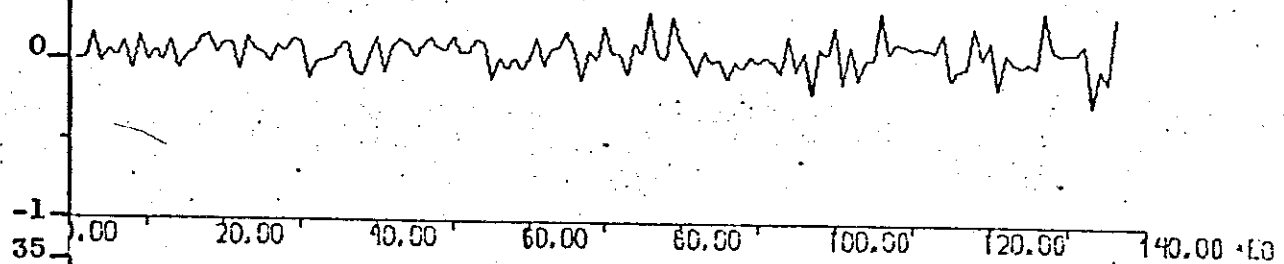
U2



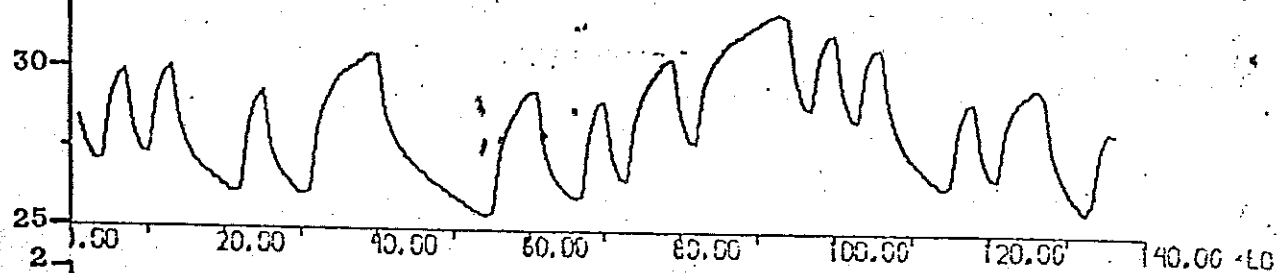
Y1



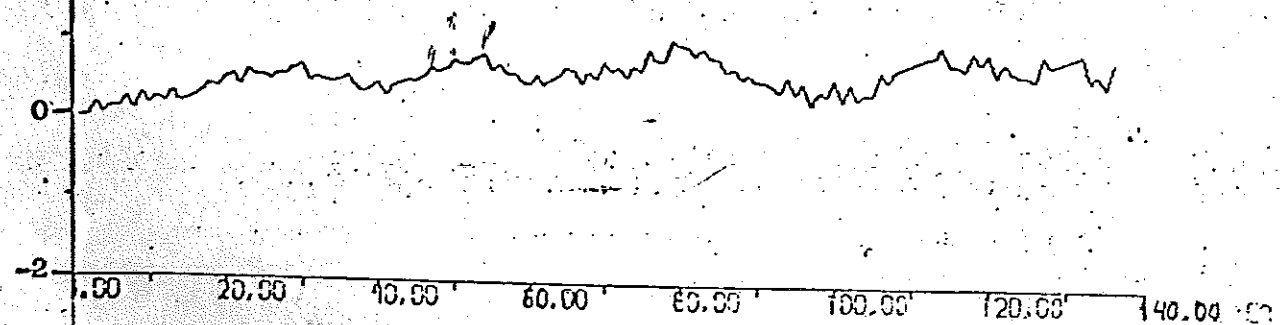
R

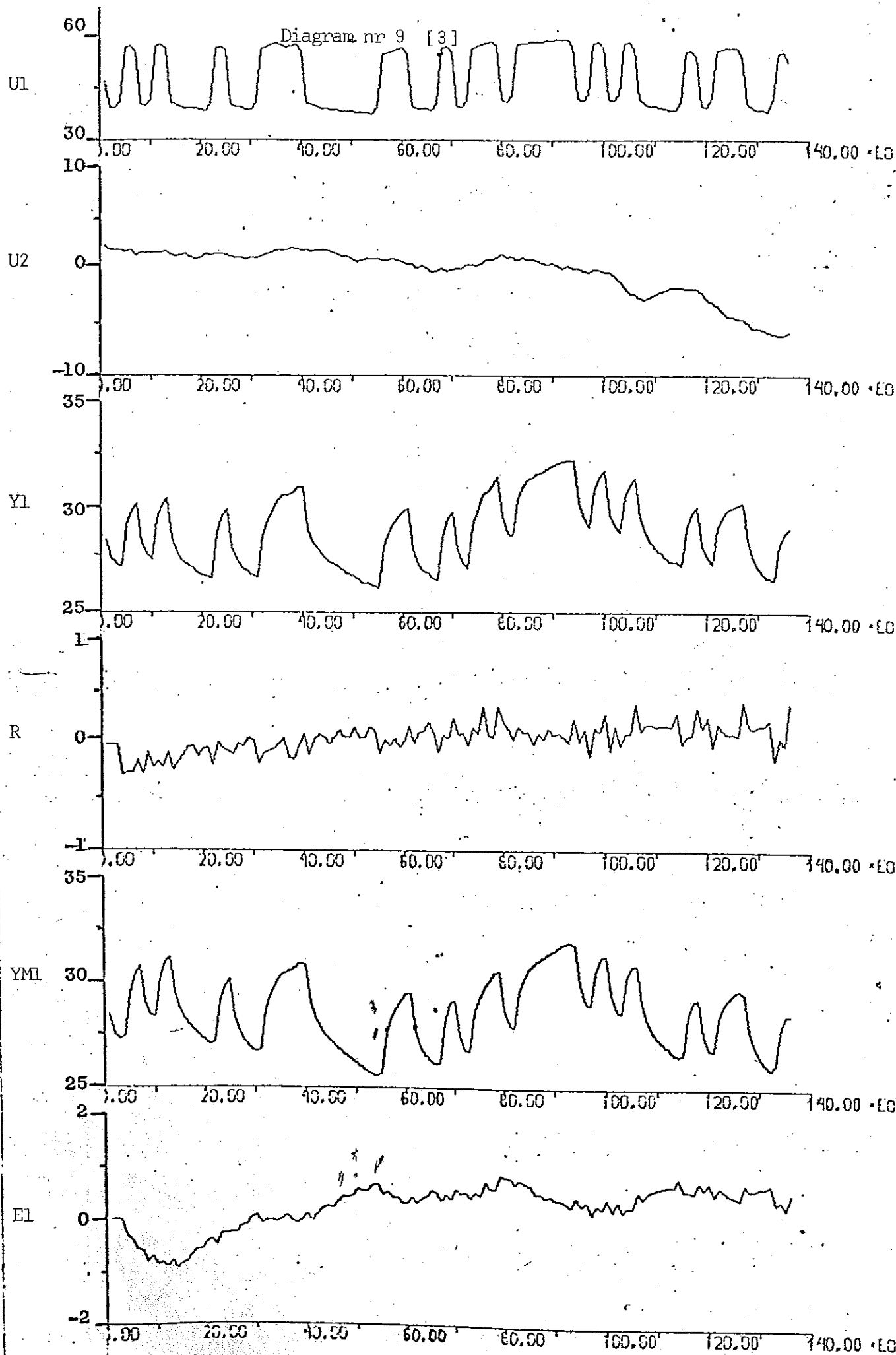


YMI



E1





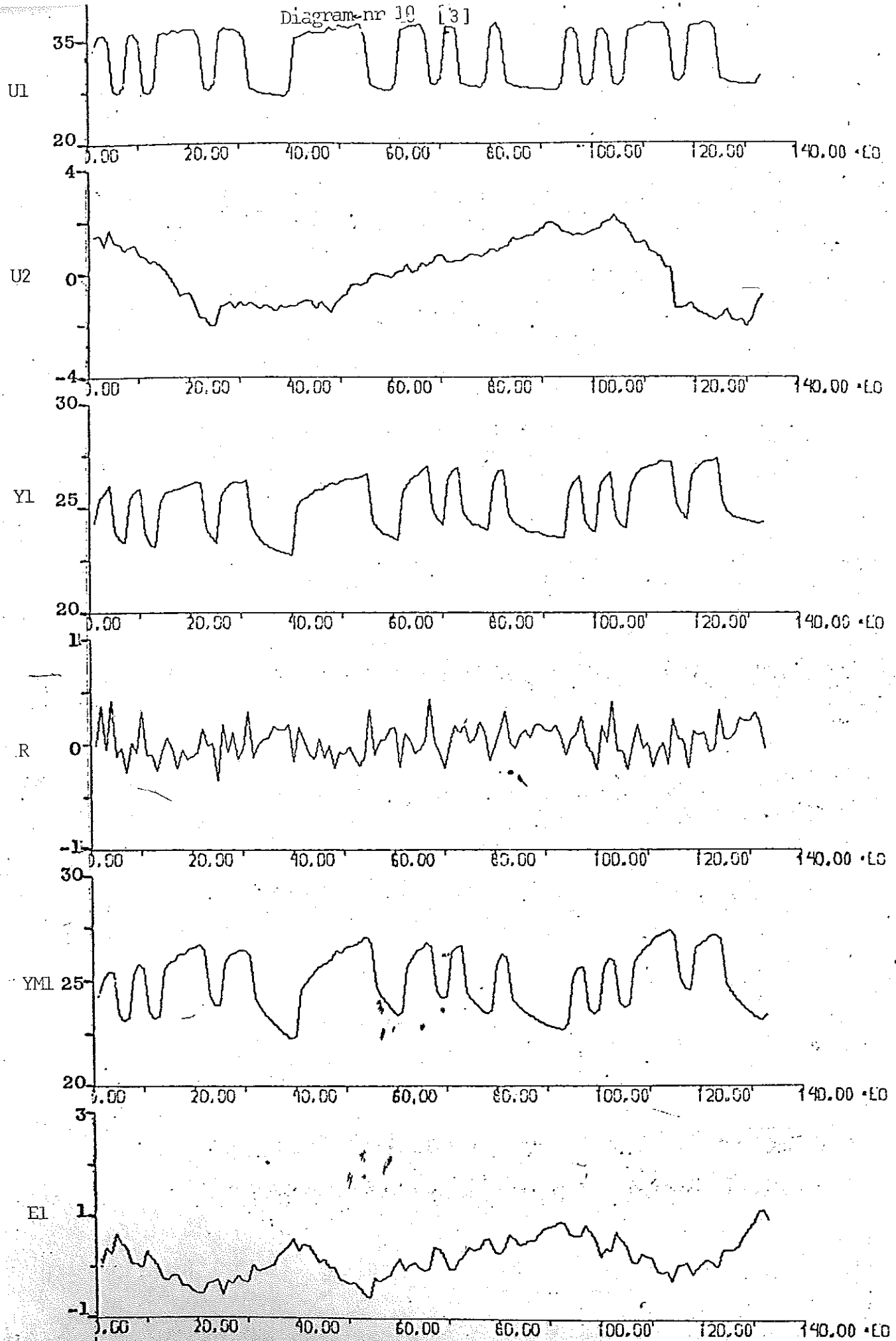
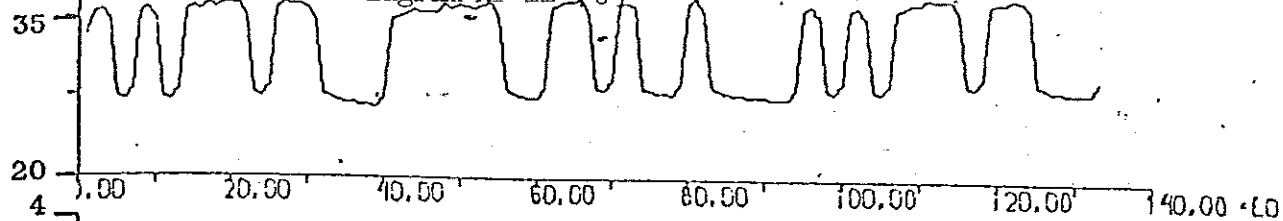
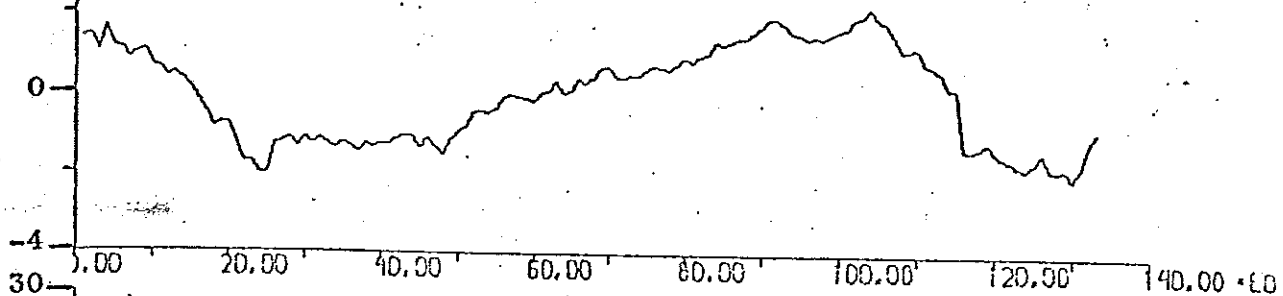


Diagram nr 11. (3)

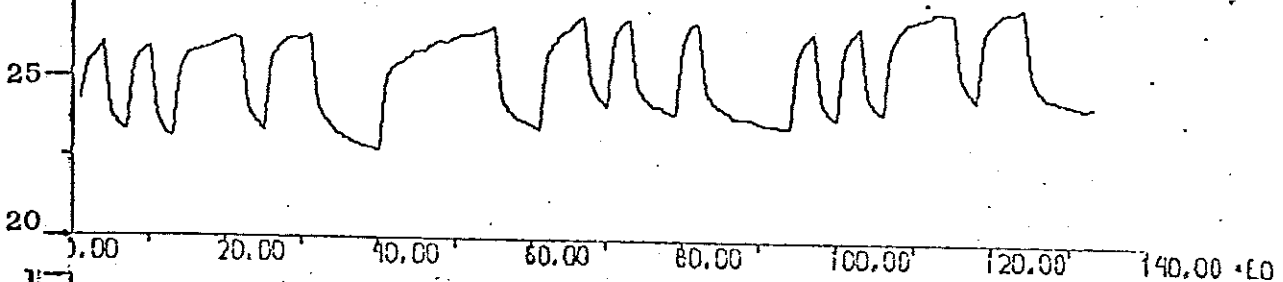
U1



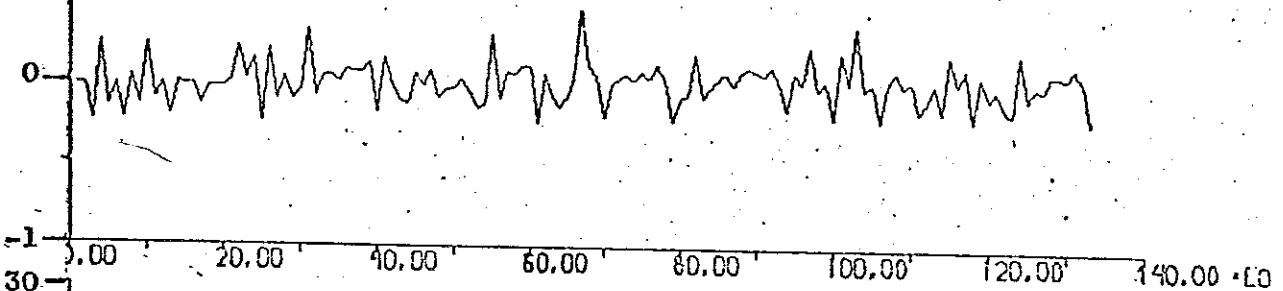
U2



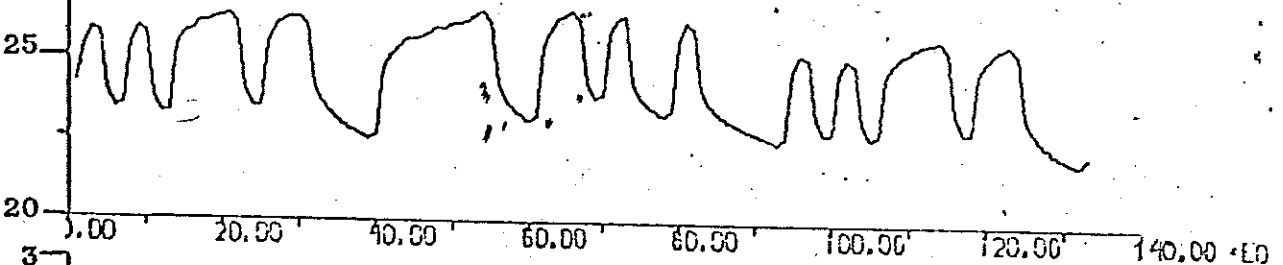
Y1



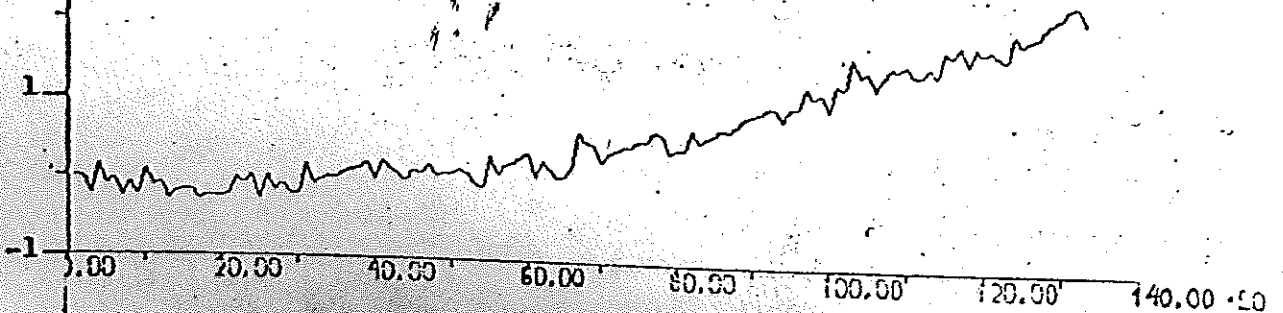
R



YML



E1



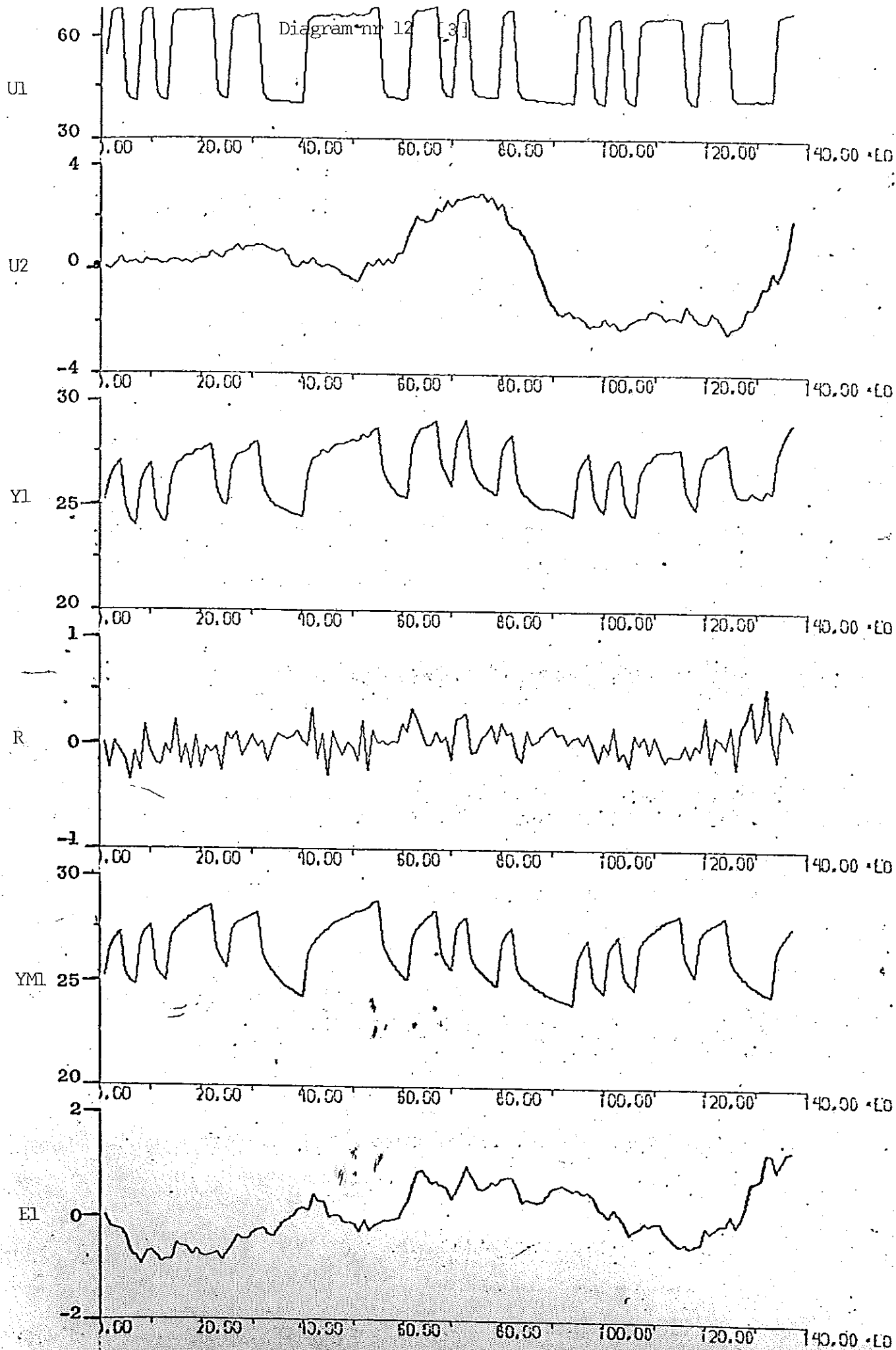
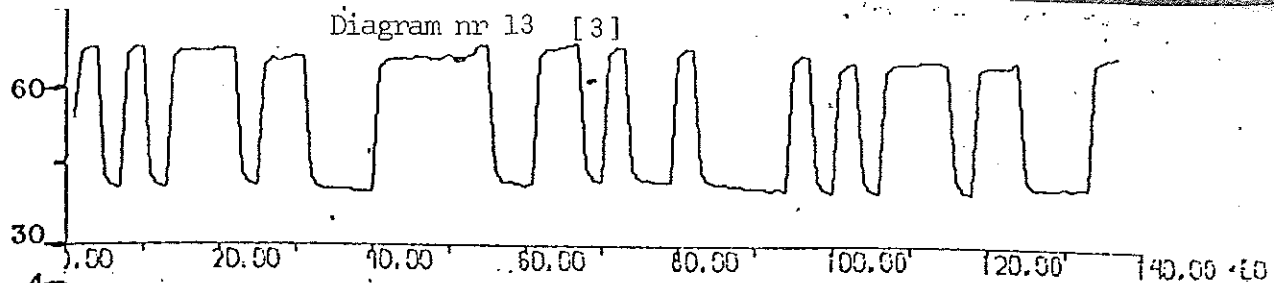
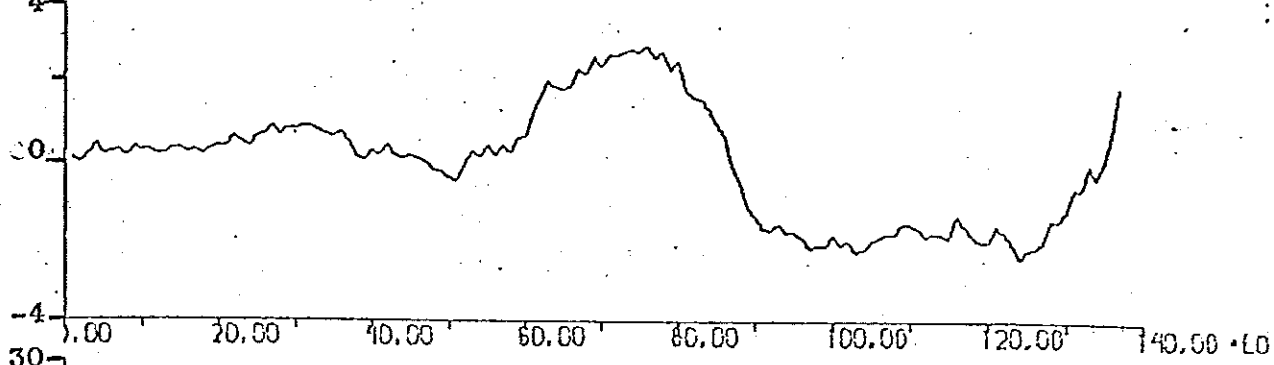


Diagram nr 13 [3]

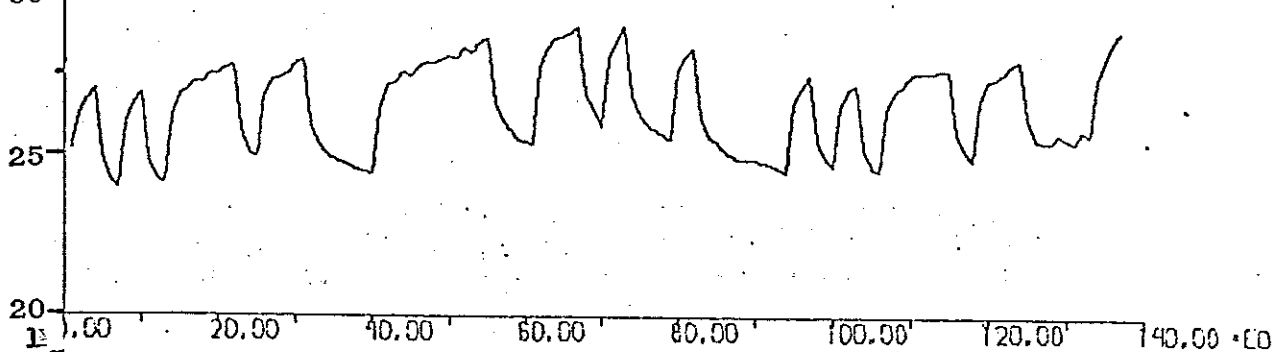
U1



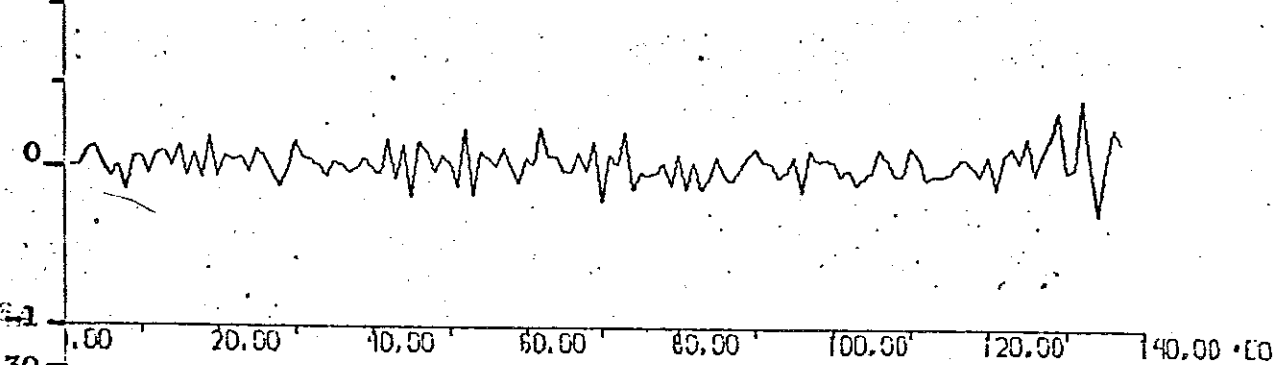
U2



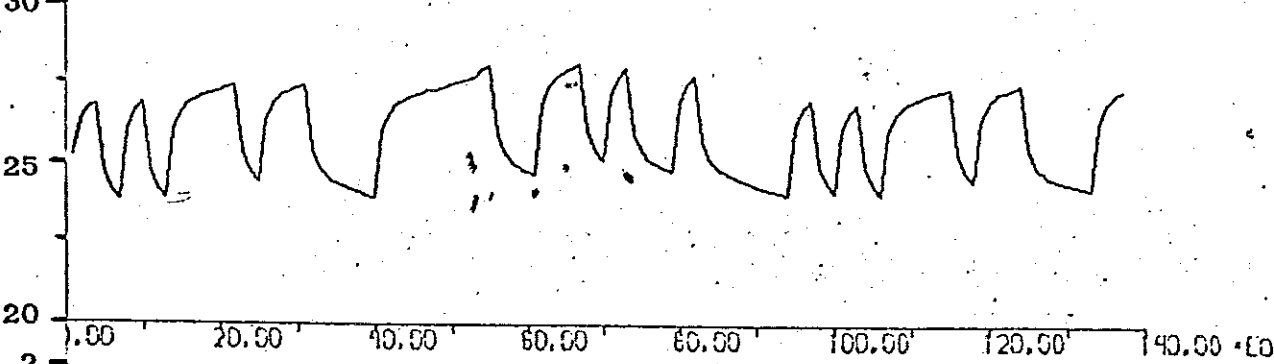
Y1



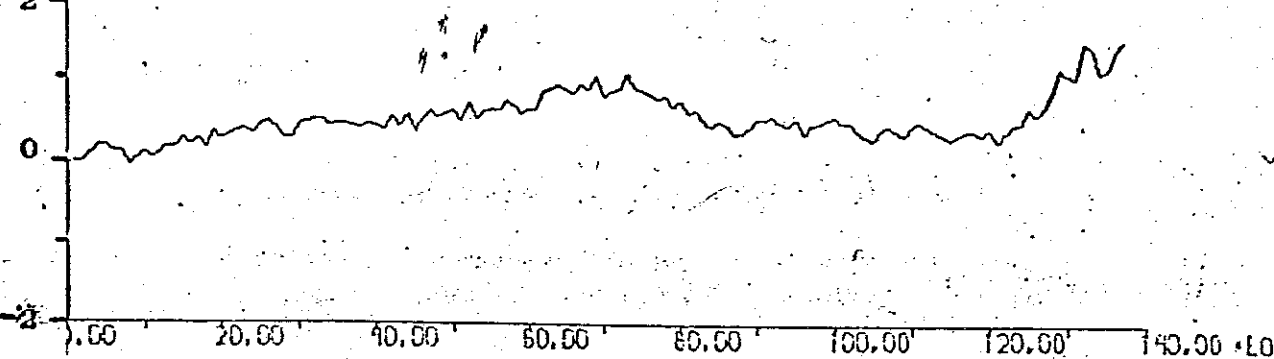
RMI



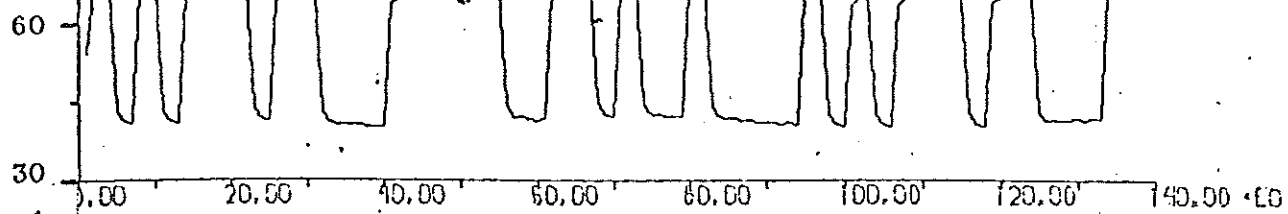
YMI



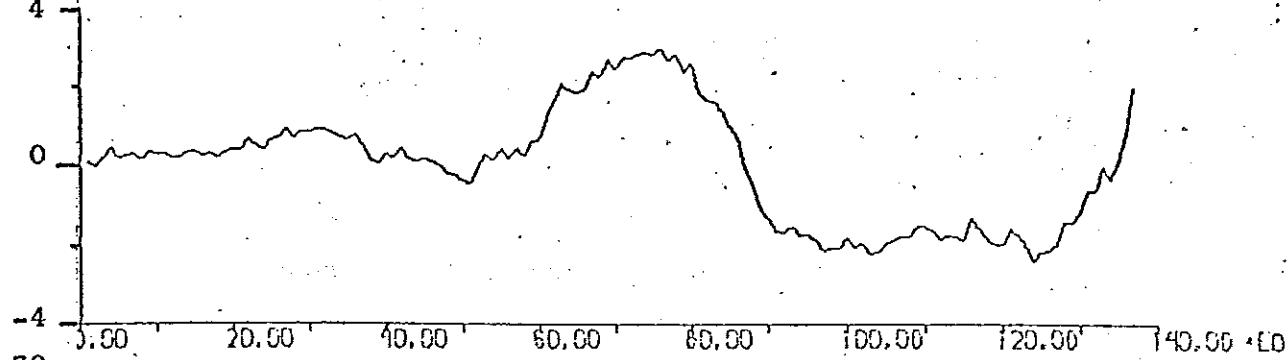
E1



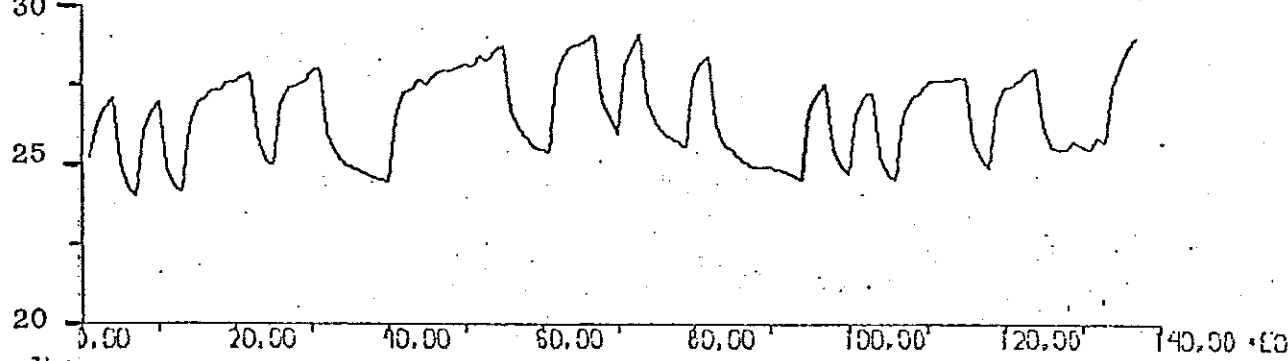
U1



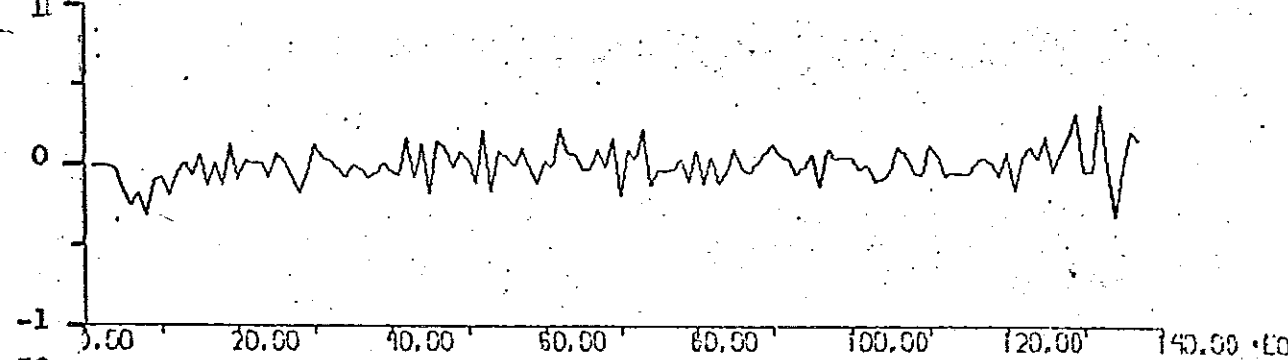
U2



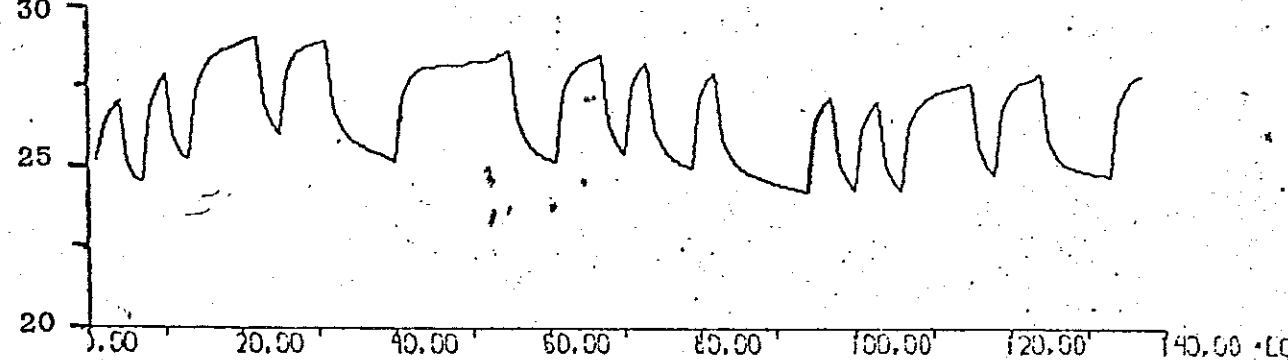
Y1



R



YMI



E1

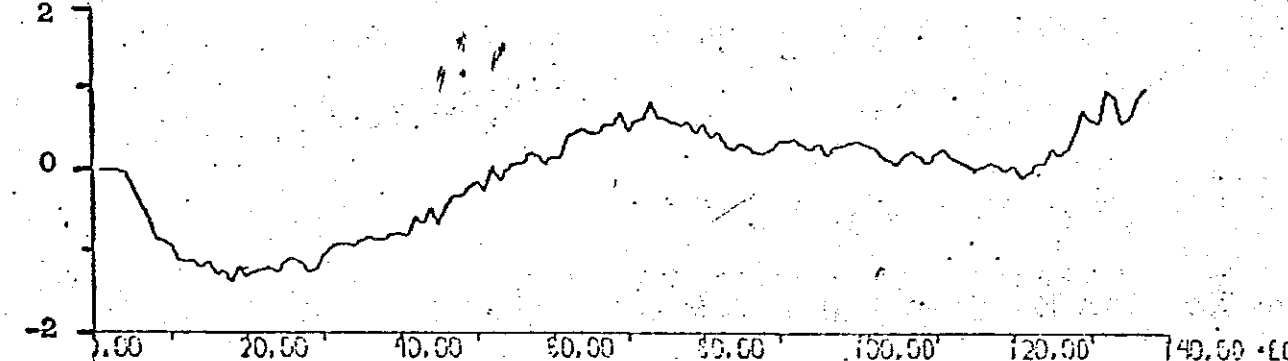
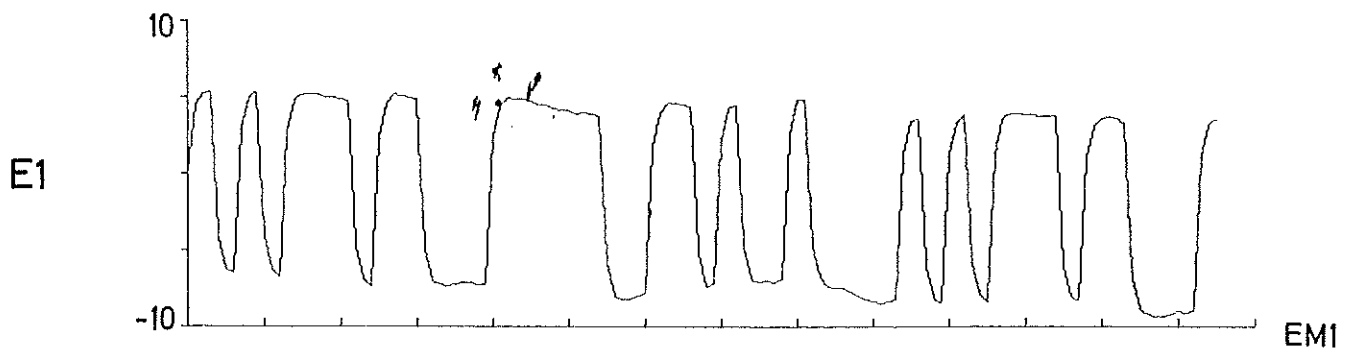
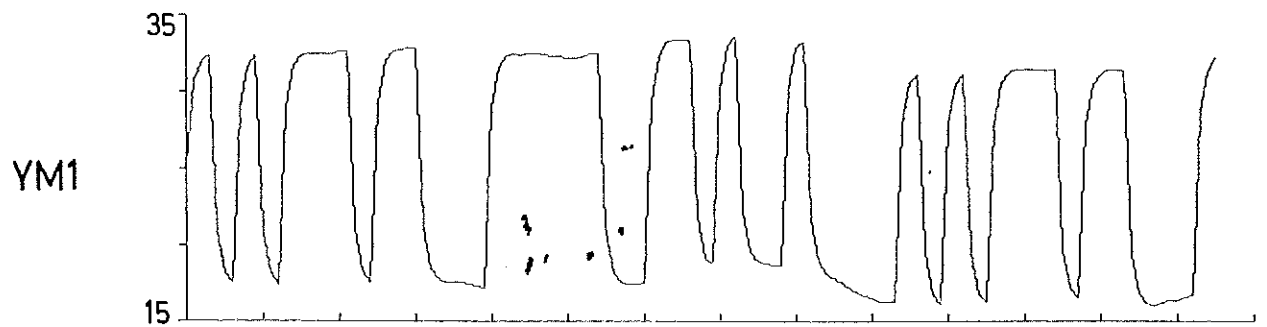
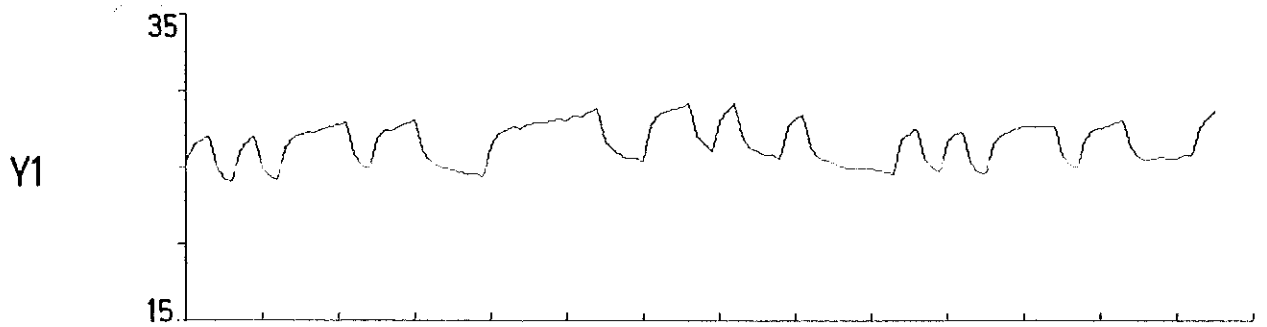
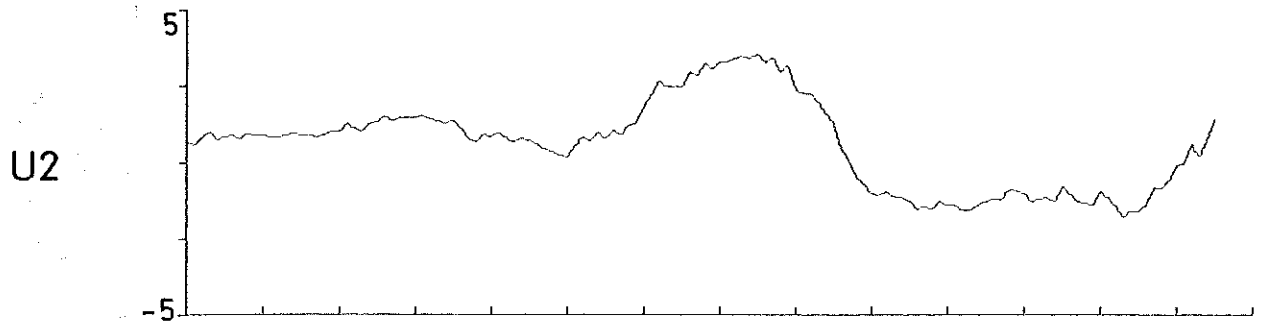
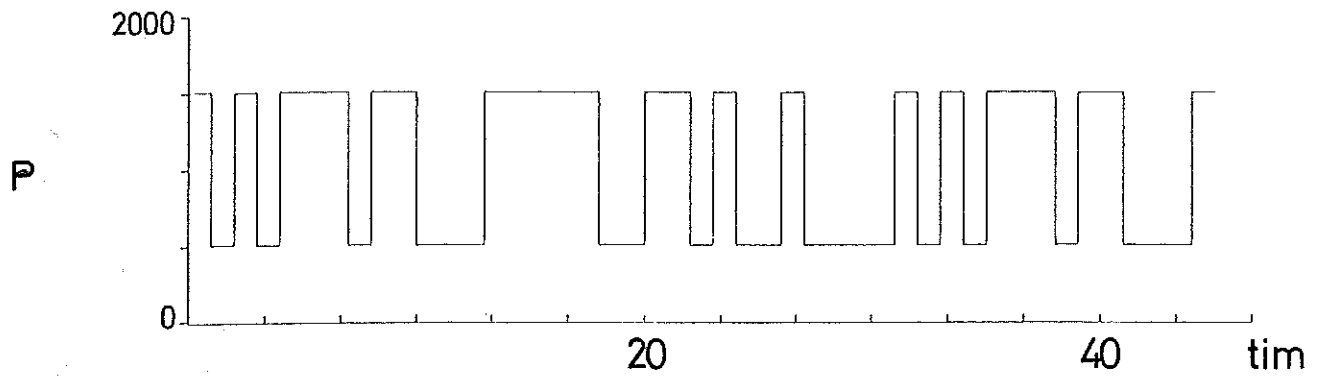


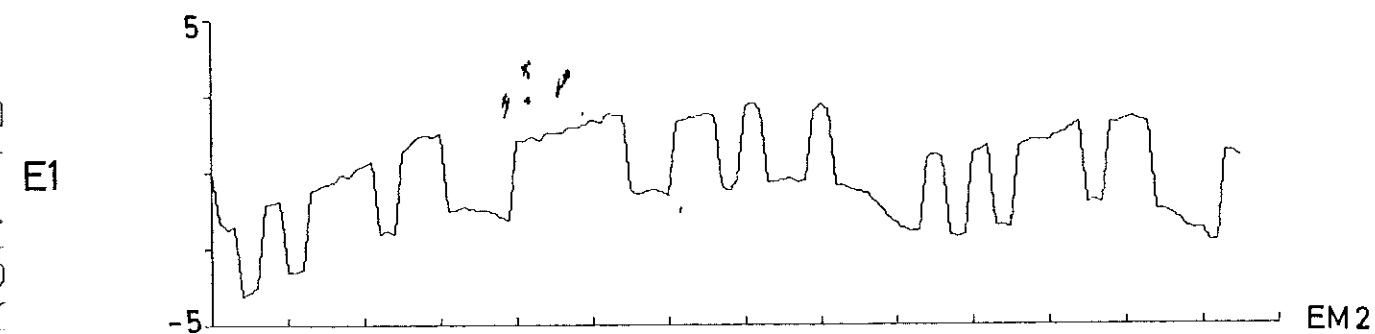
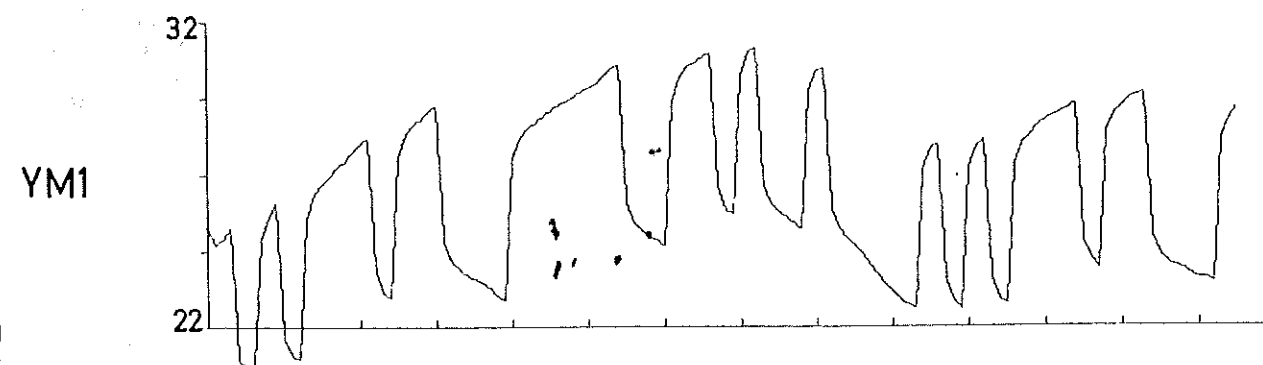
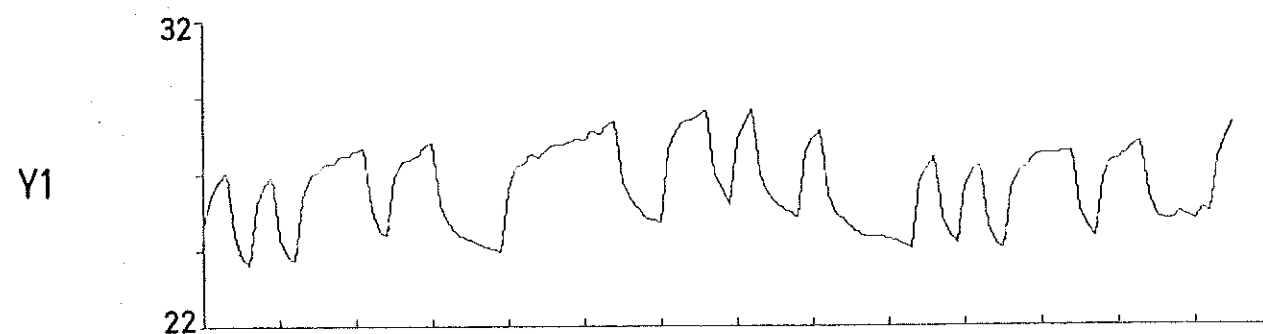
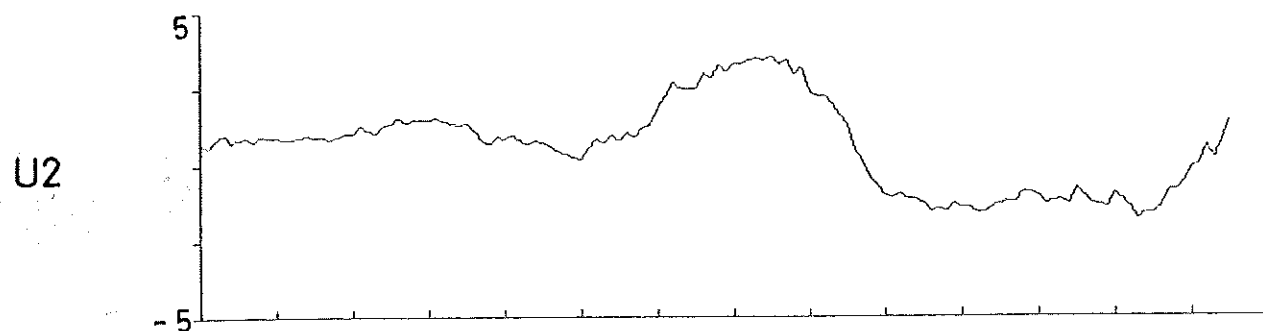
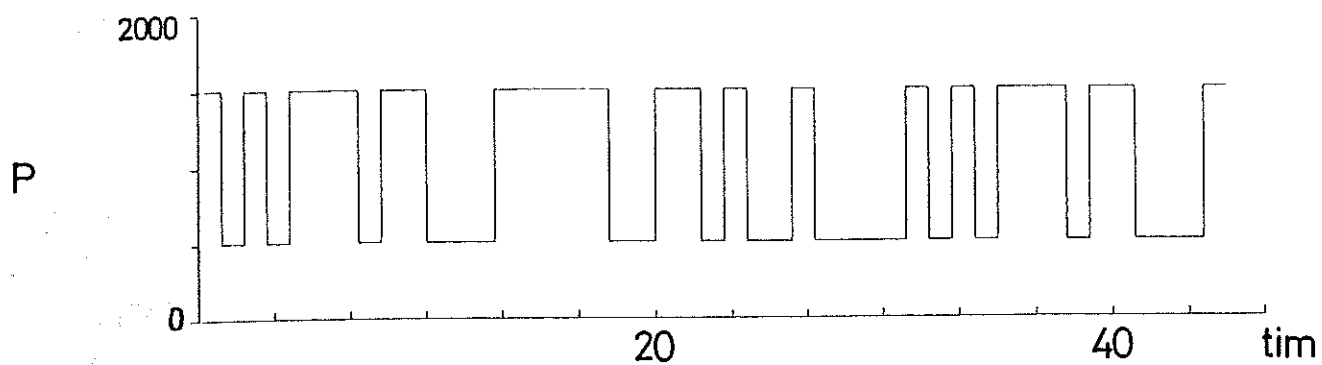
Diagram nr 15



RUN ID RUMSIM ACCOUNT 208475

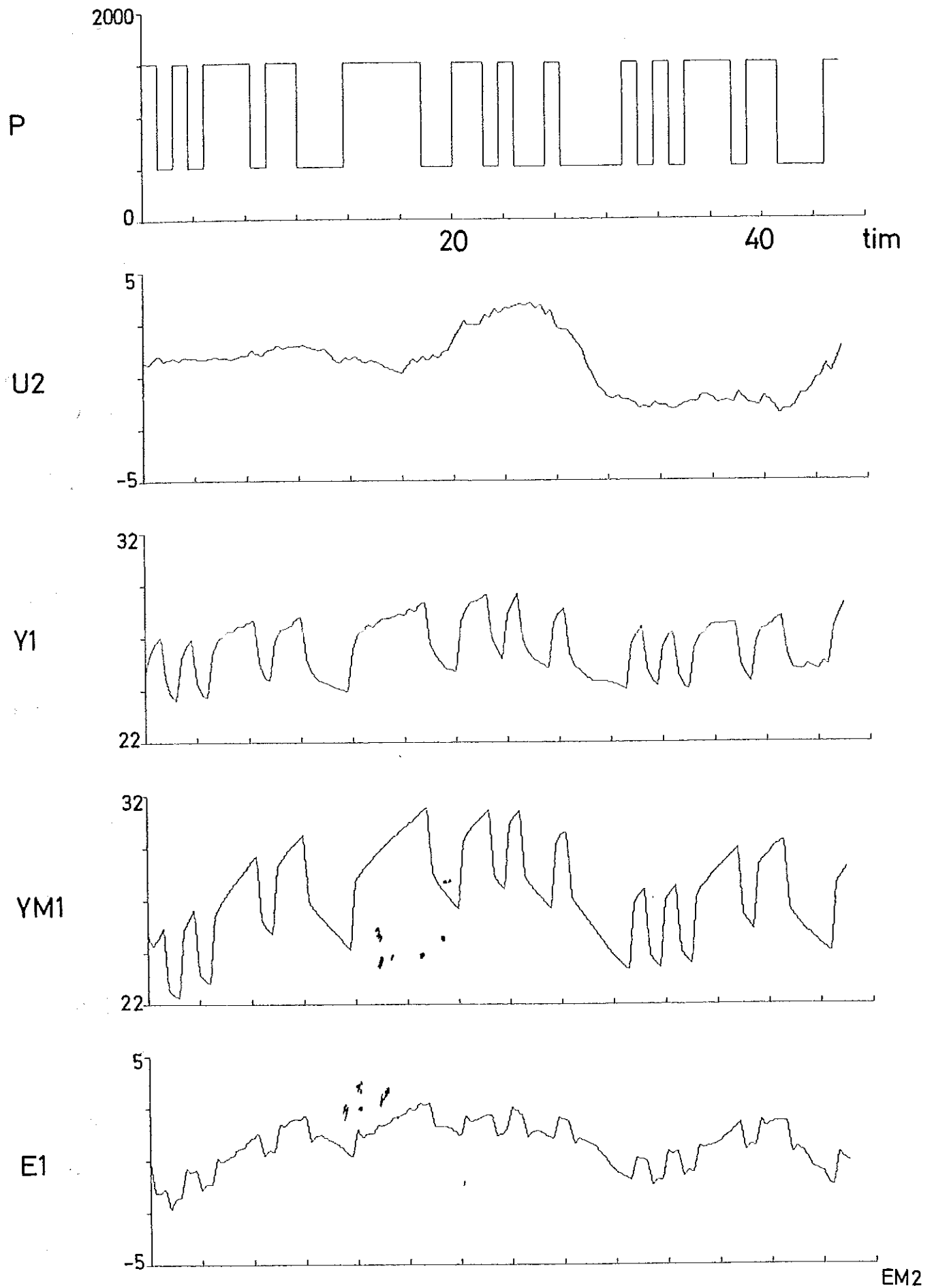


Diagram nr 16



RUN ID RUMSIM ACCOUNT 208475

Diagram nr 17



n=5

EM2

Diagram nr 18

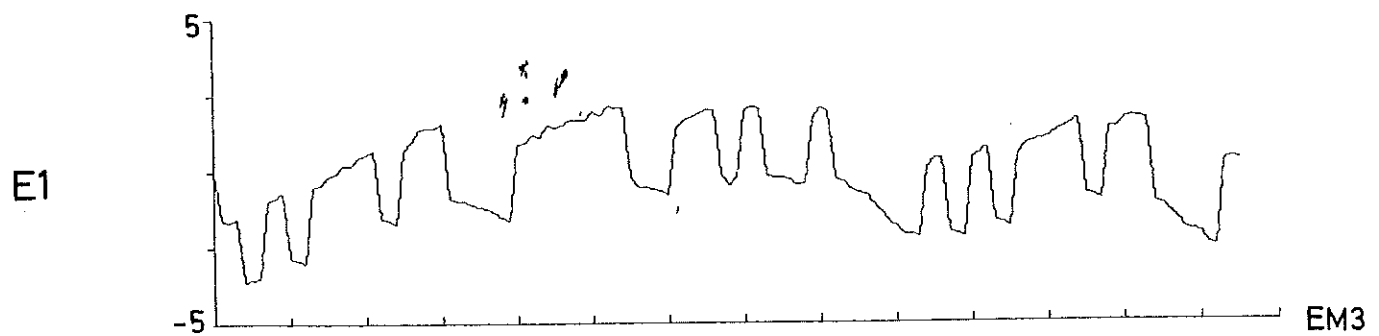
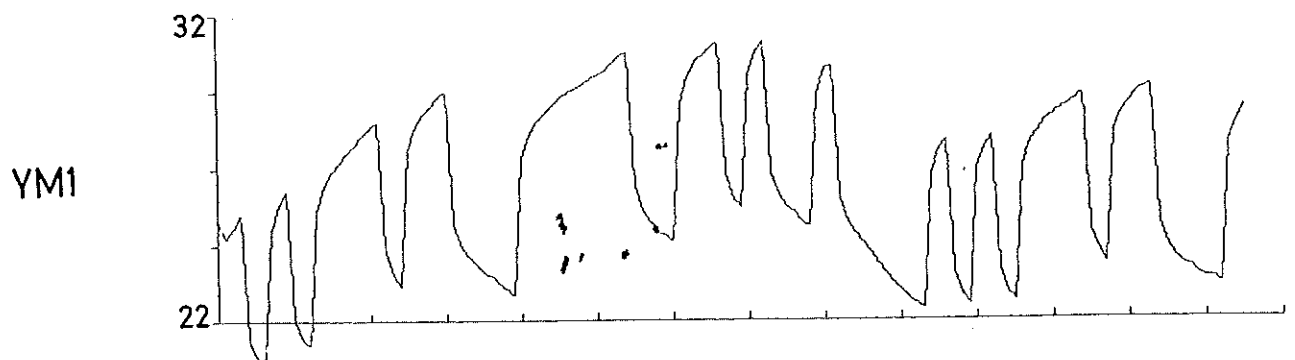
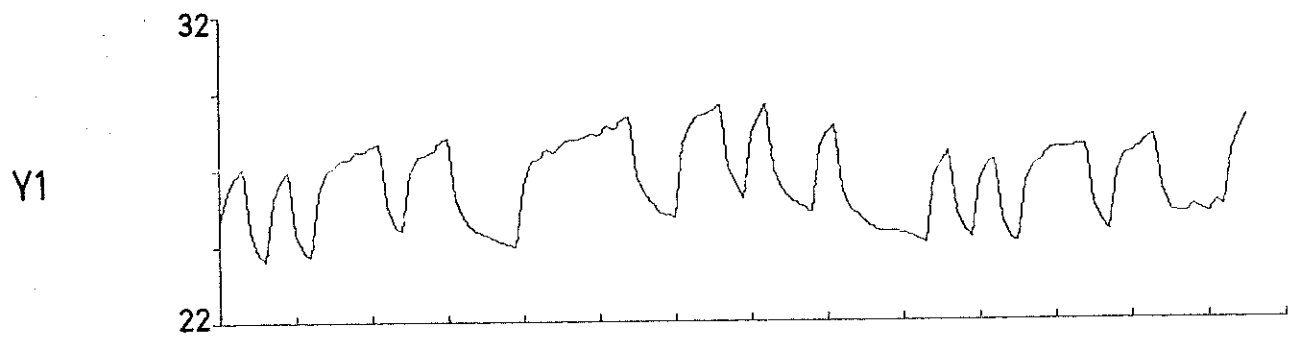
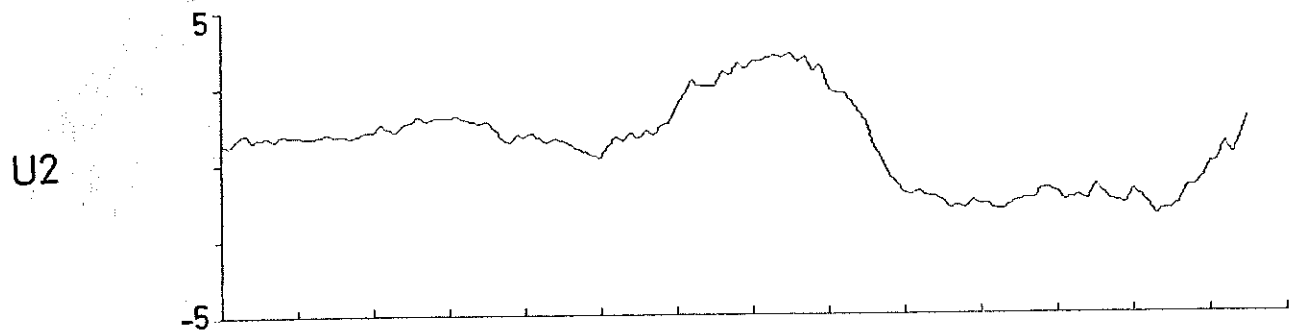
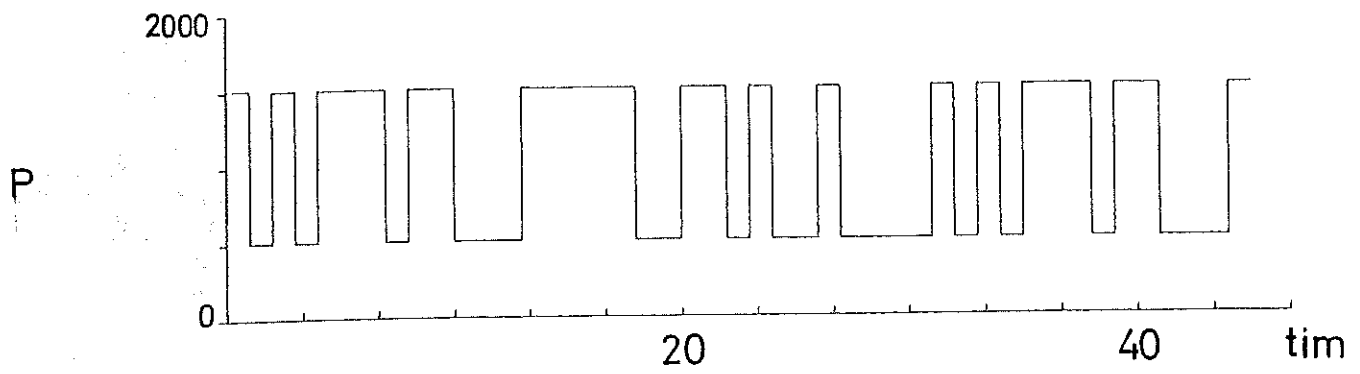
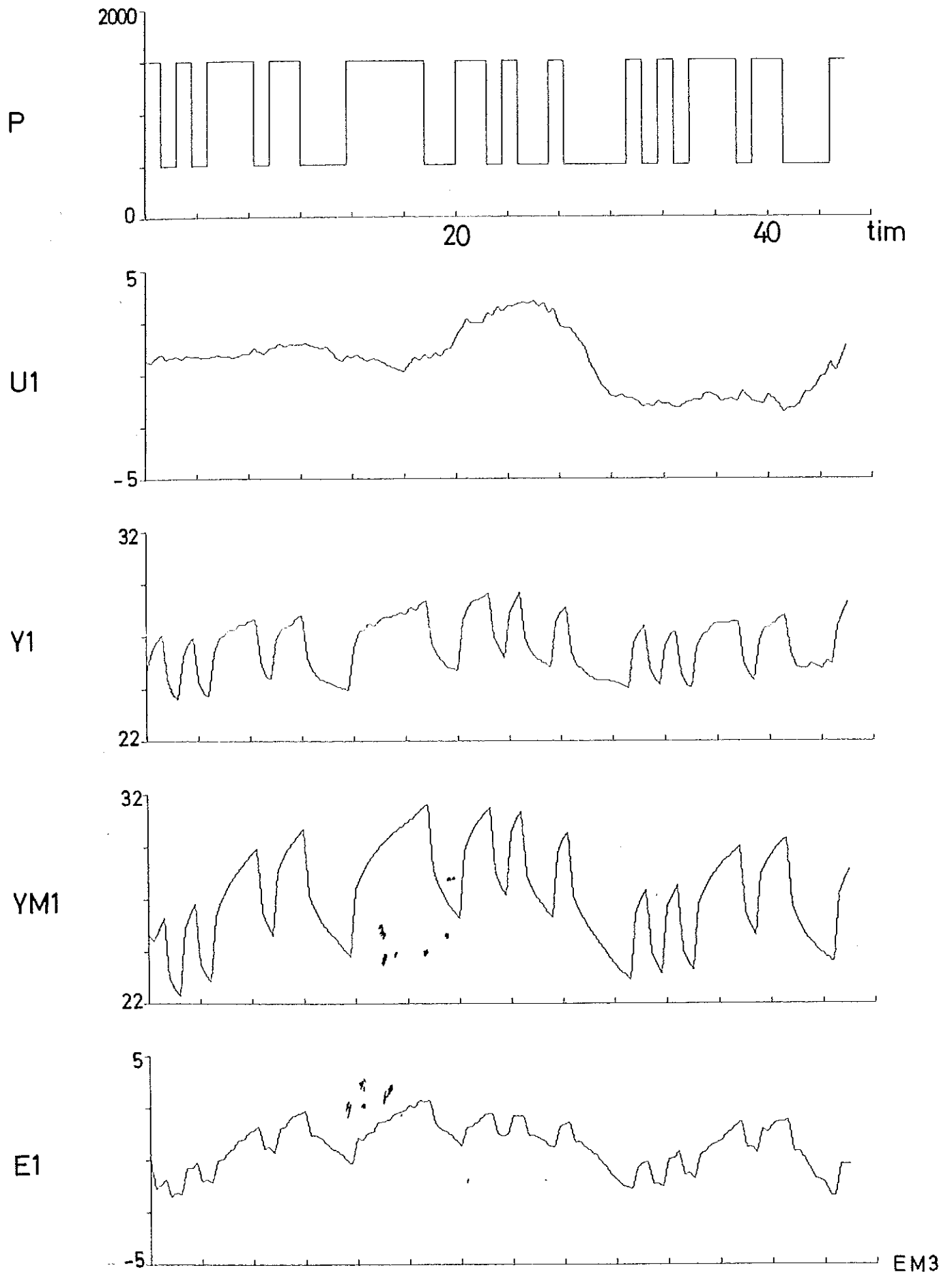


Diagram nr 19



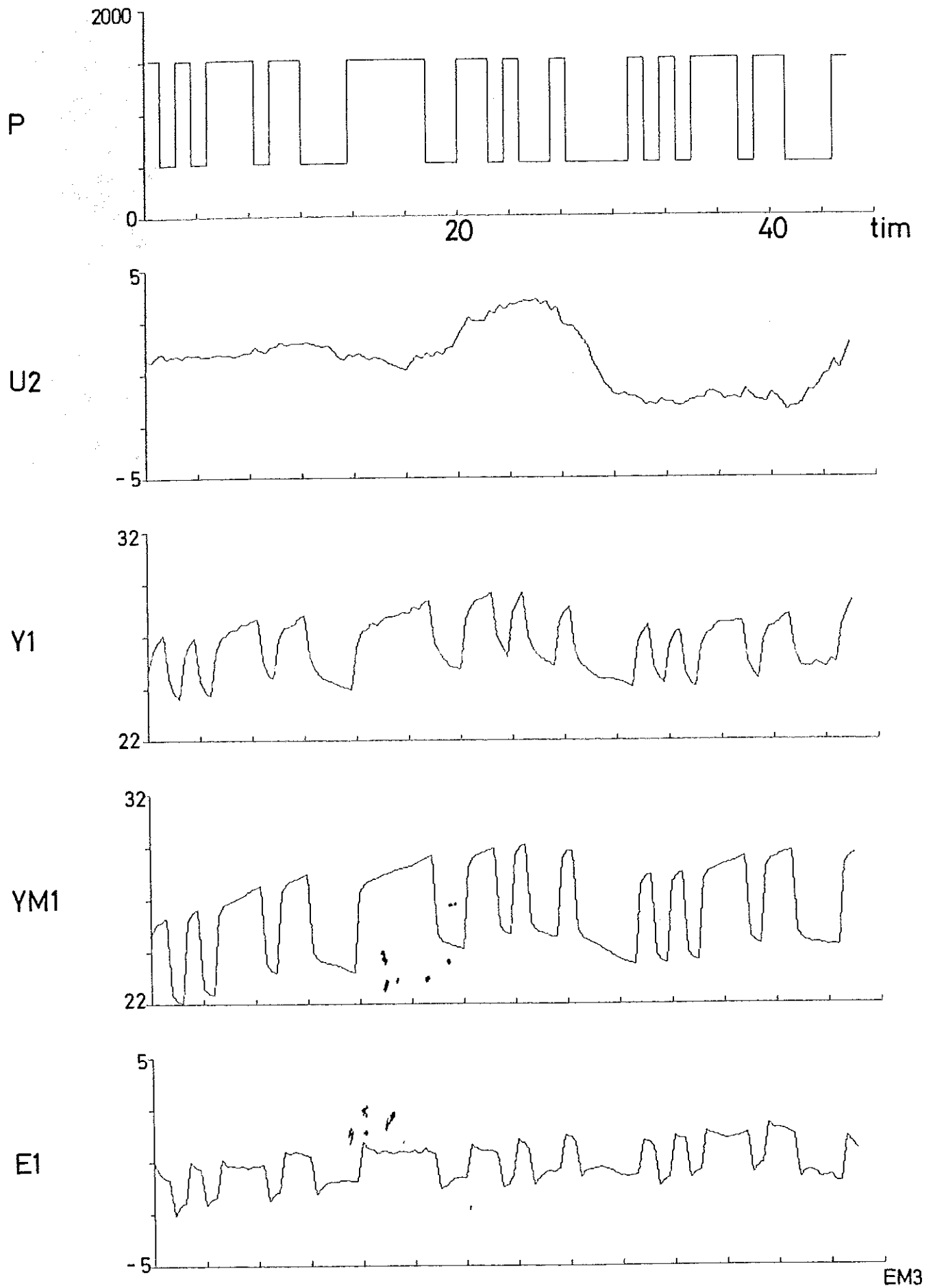


Diagram nr 21

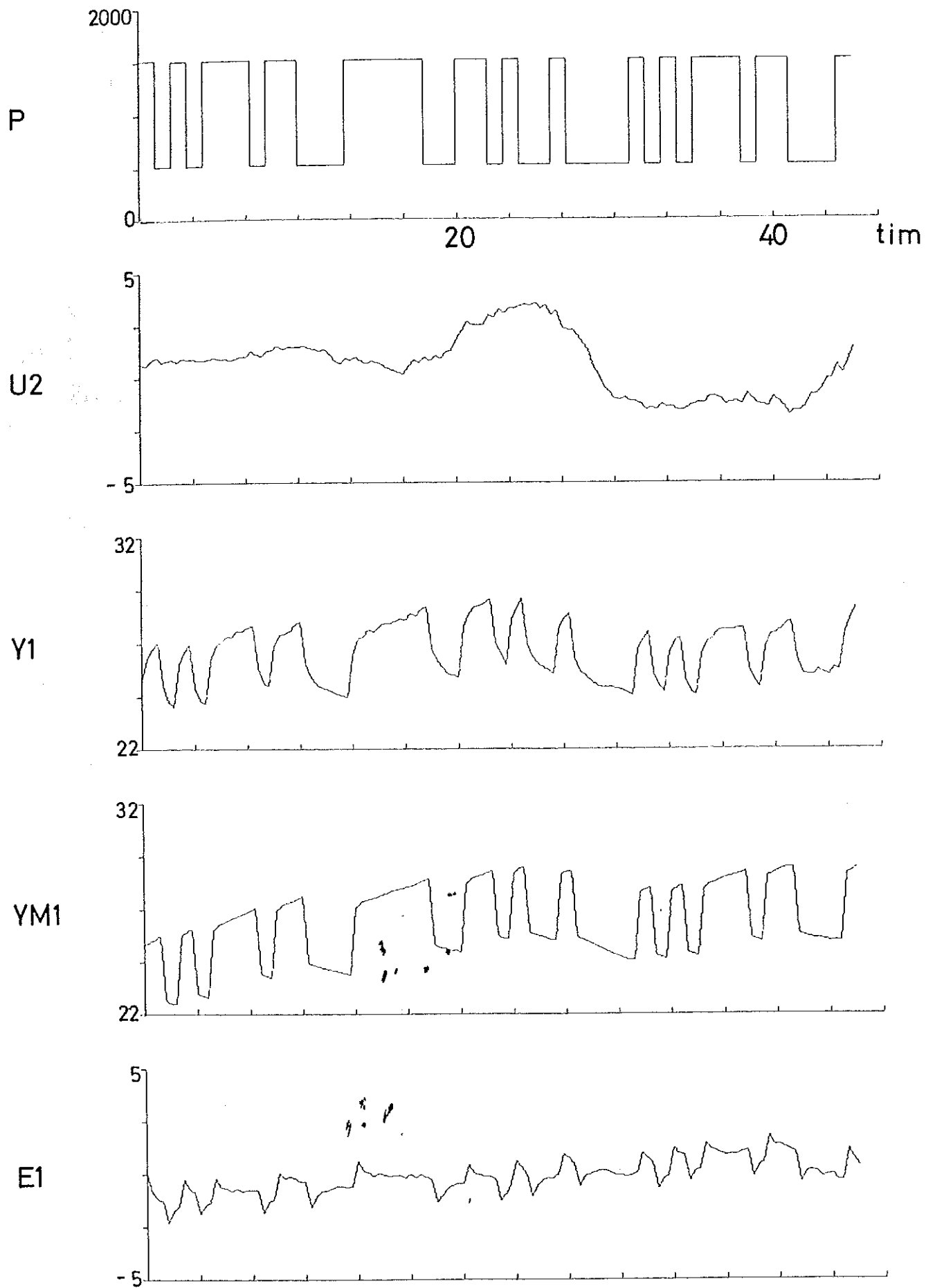
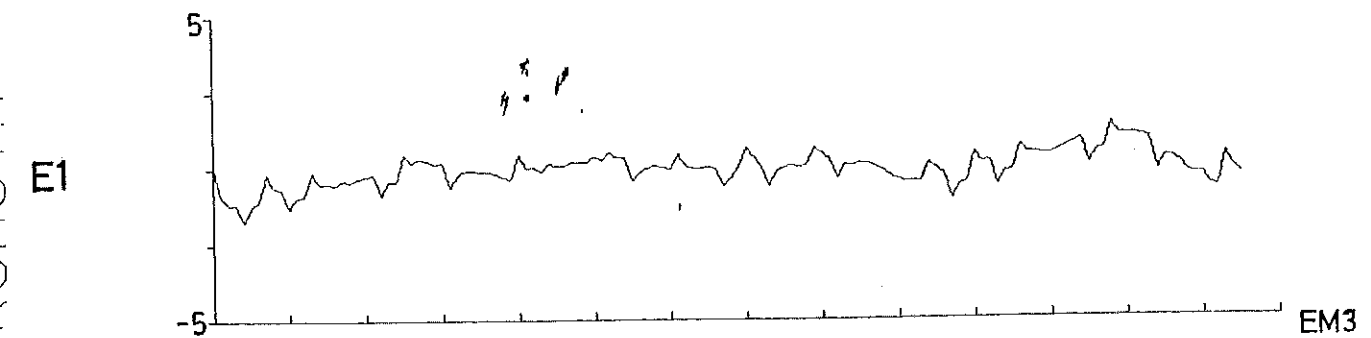
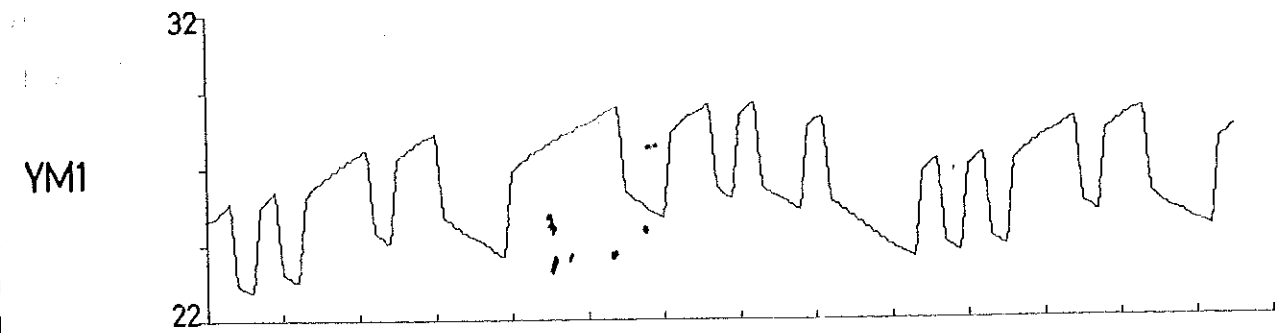
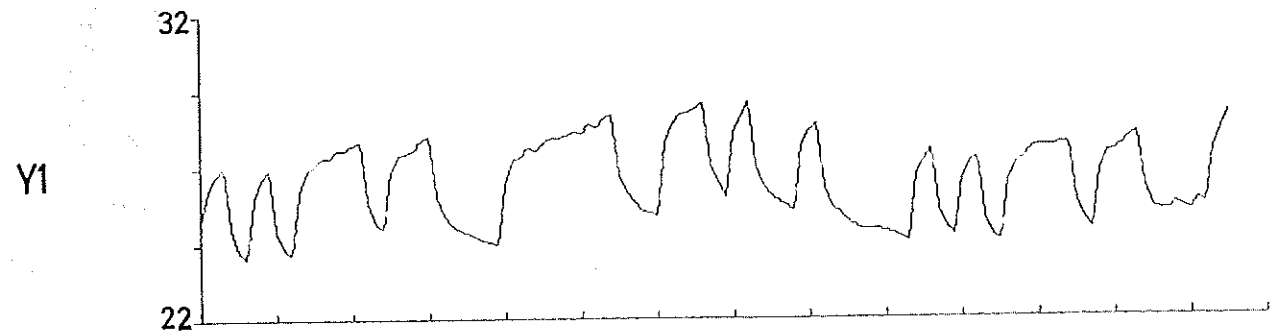
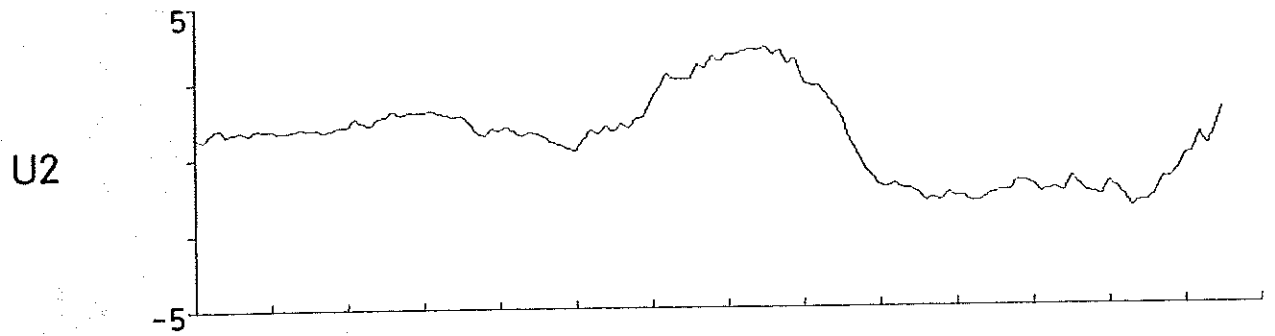
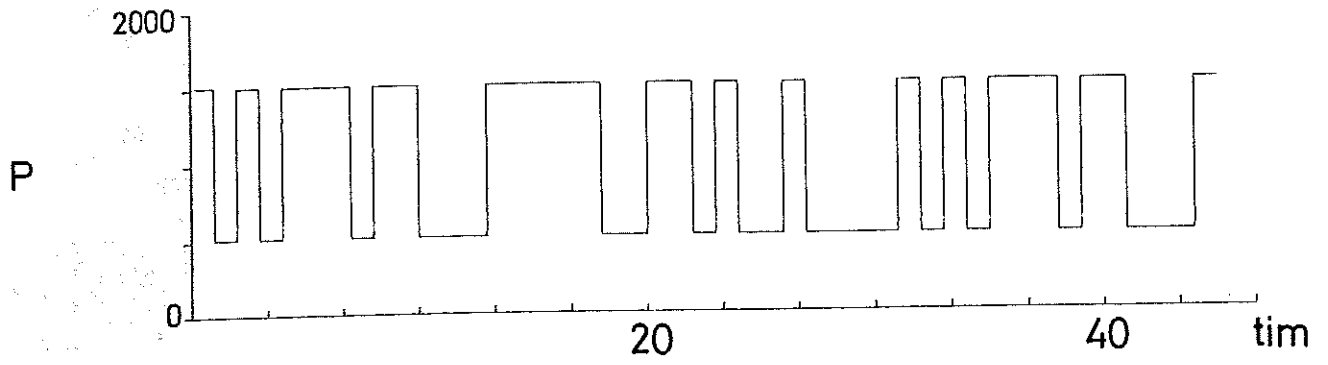
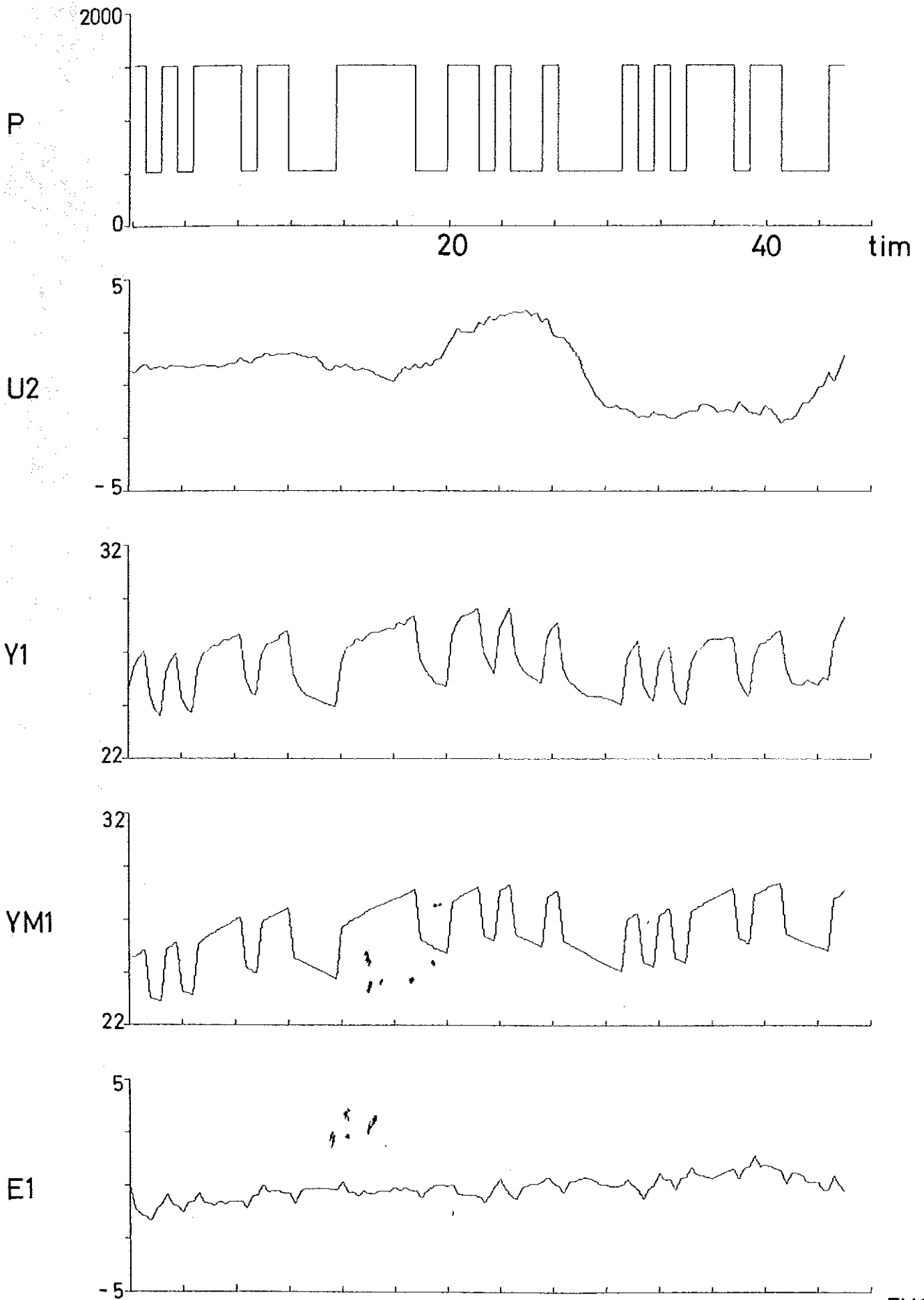


Diagram nr 22



RUMSIM 208475 26 APR 71 16:38:32

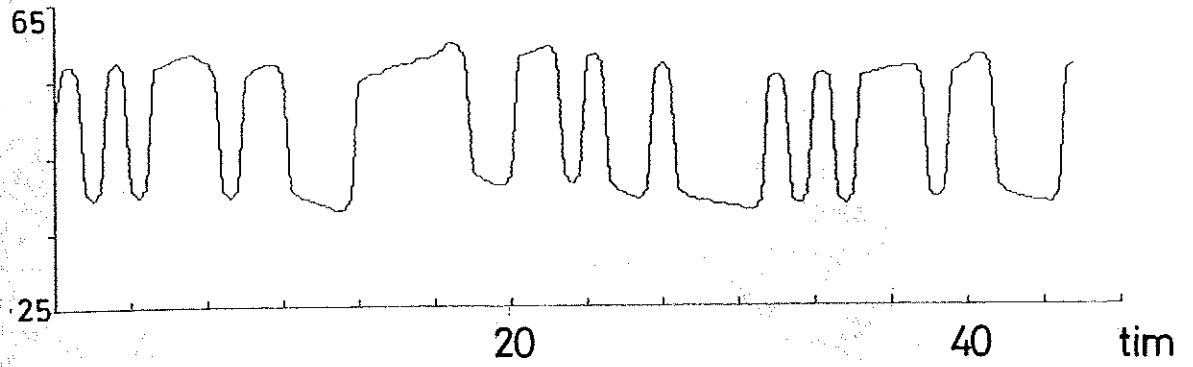
RUMSIM 208475 28 APR 71 17:24:44



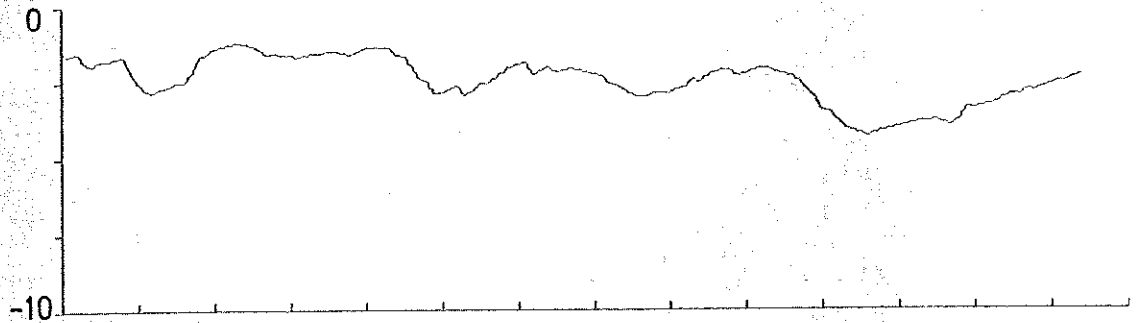


RUN ID RUMSIM ACCOUNT 208475

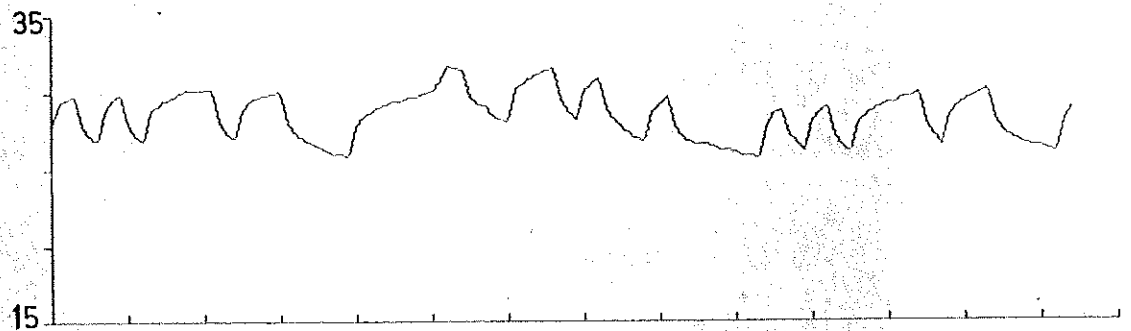
U1



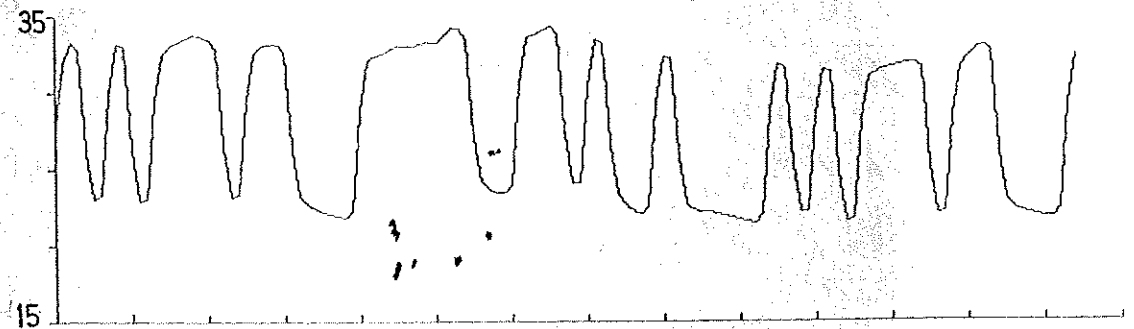
U2



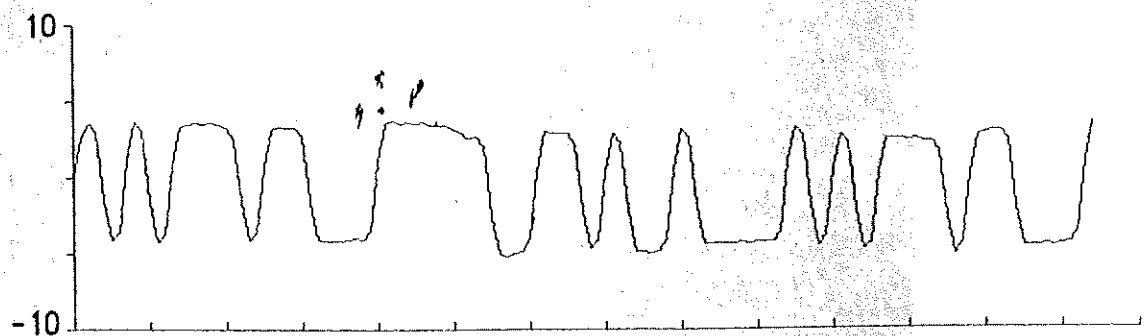
Y1

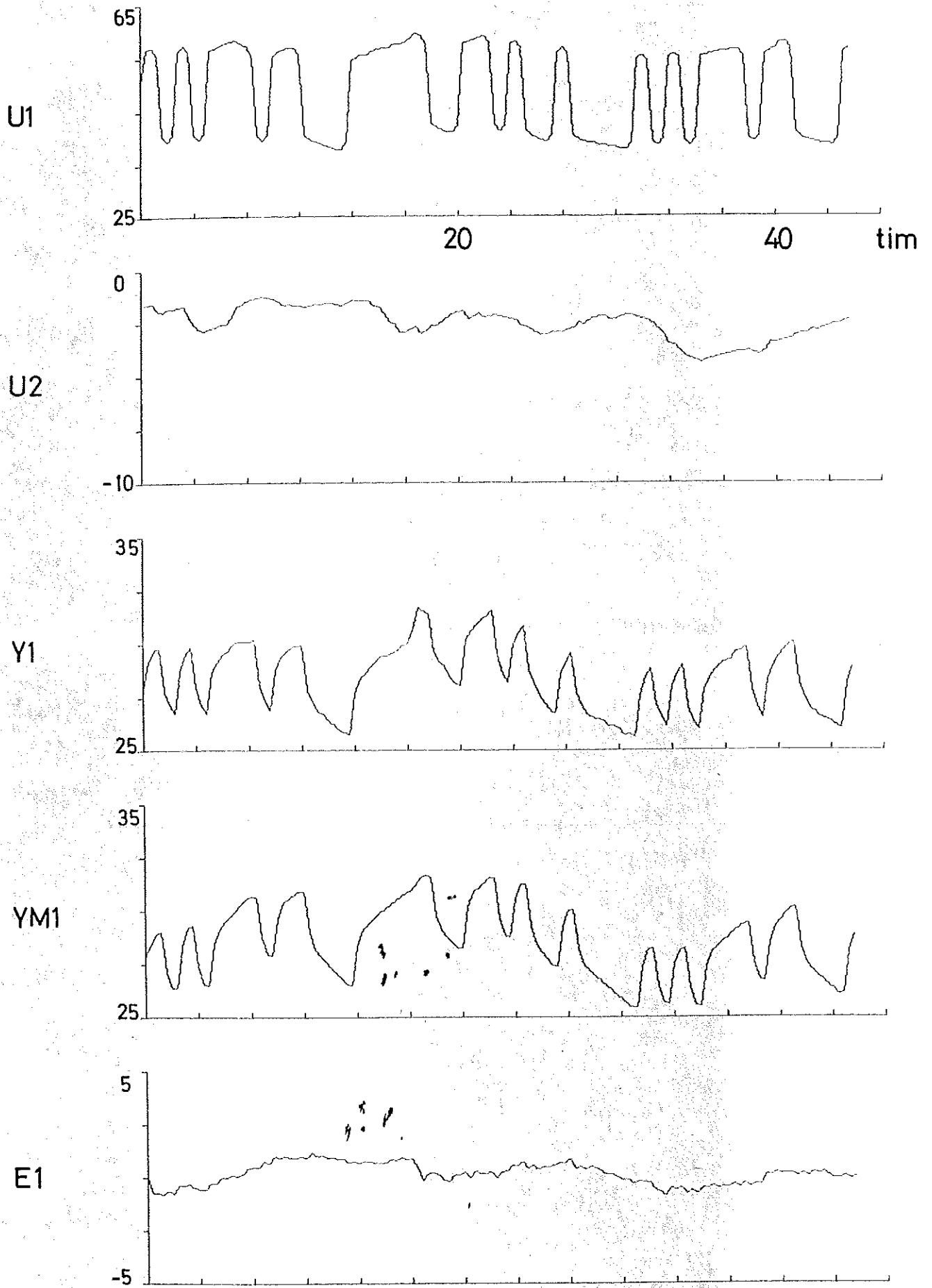


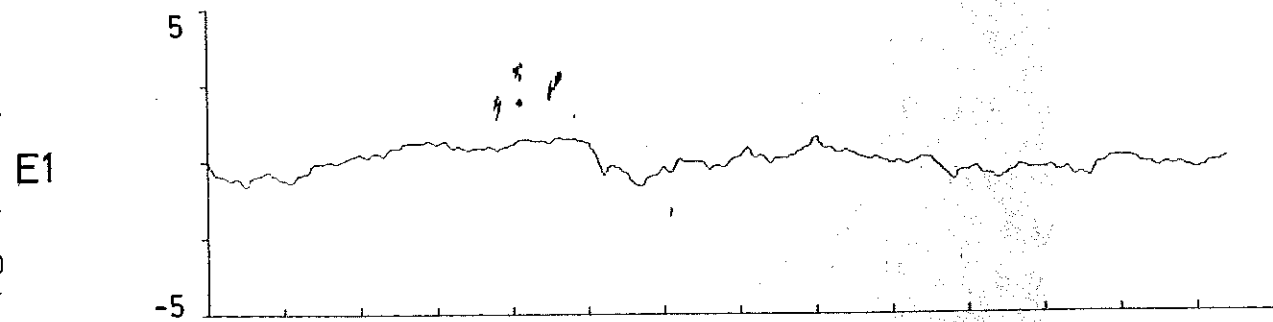
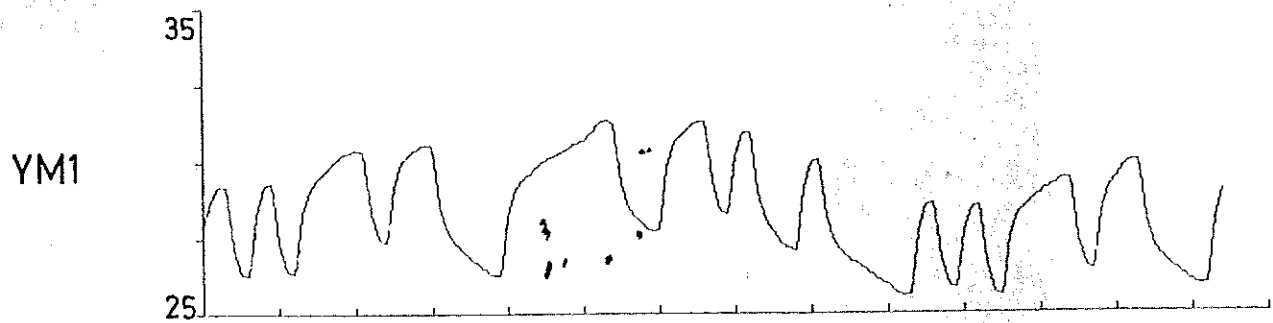
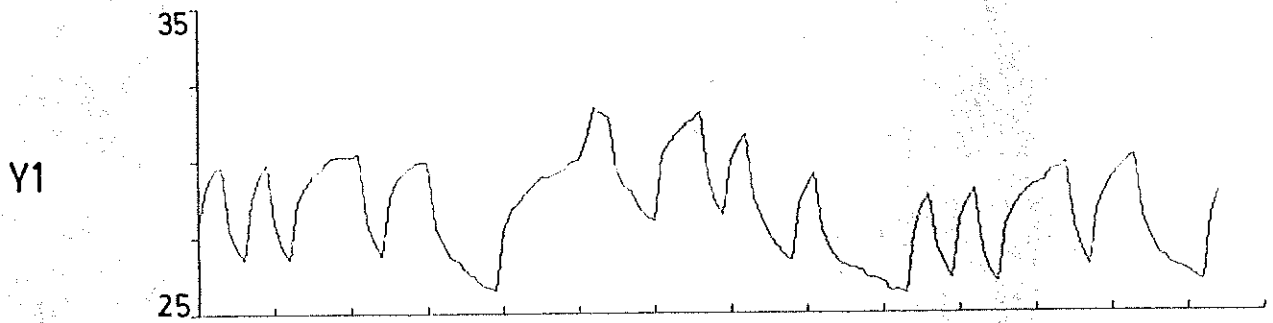
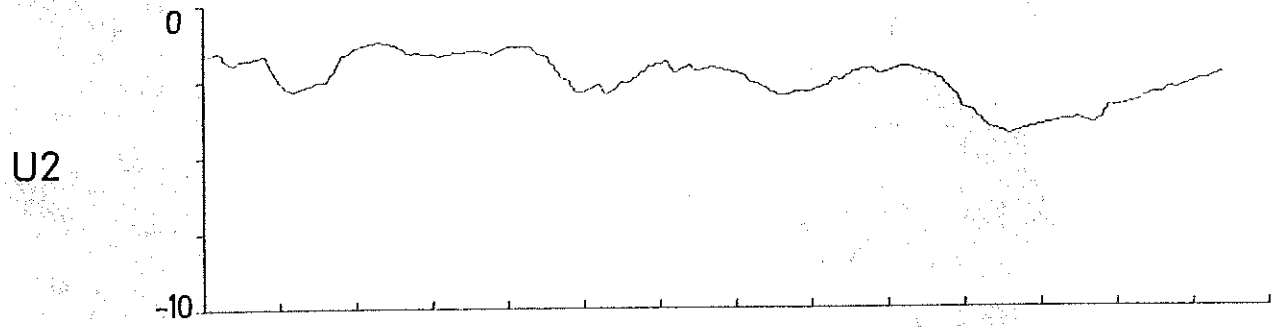
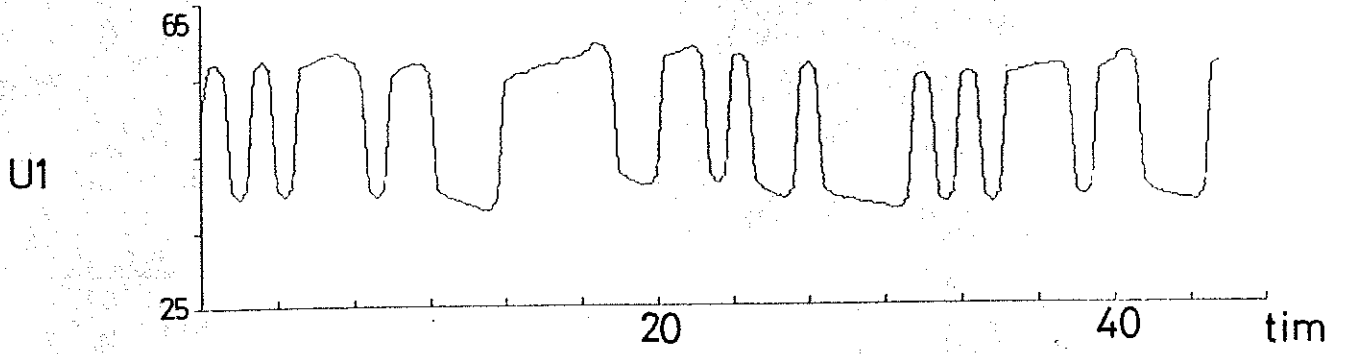
YM1



E1

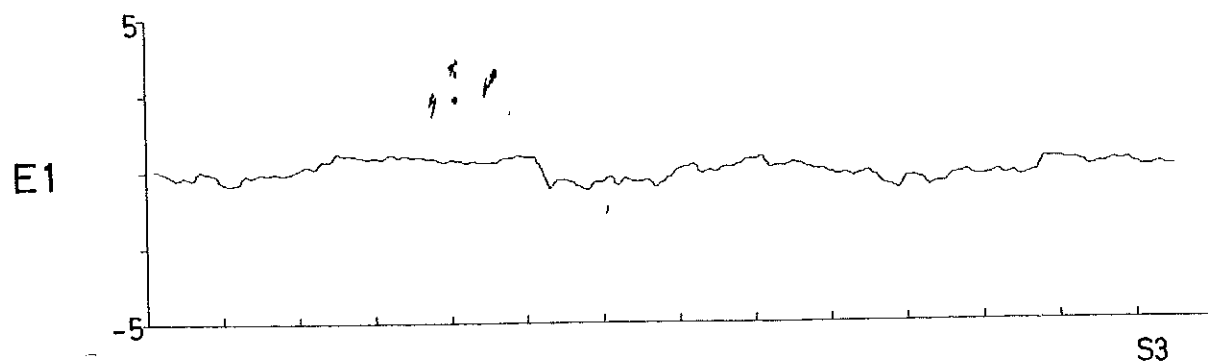
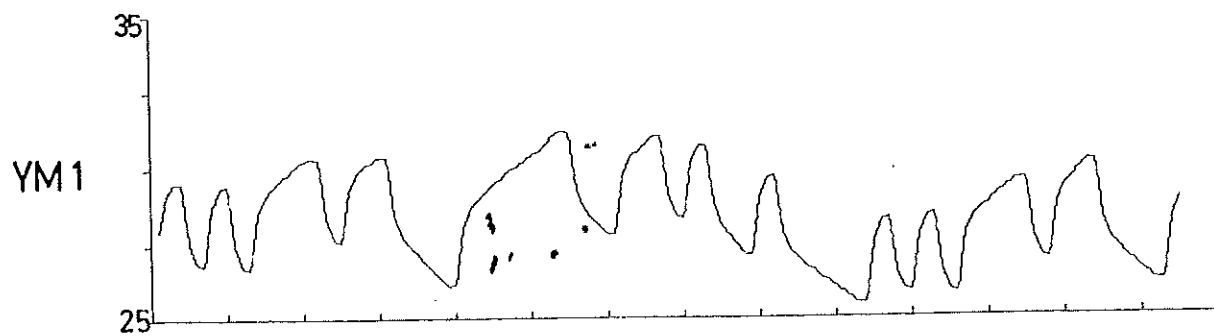
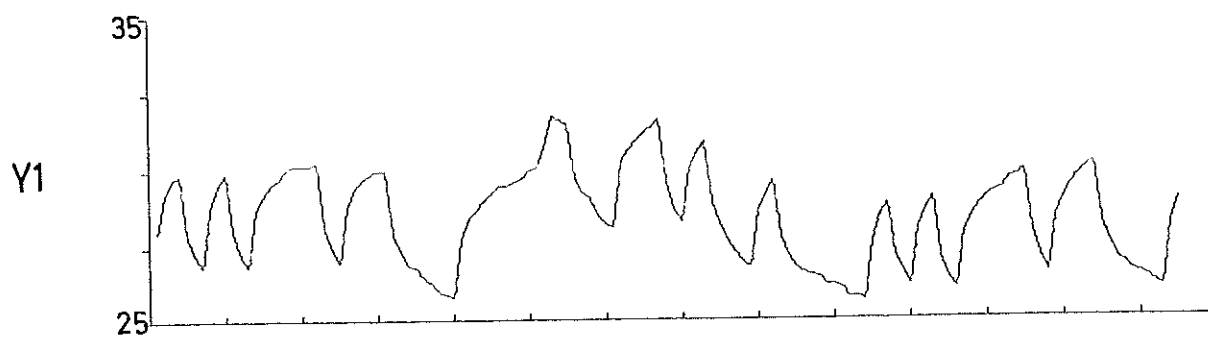
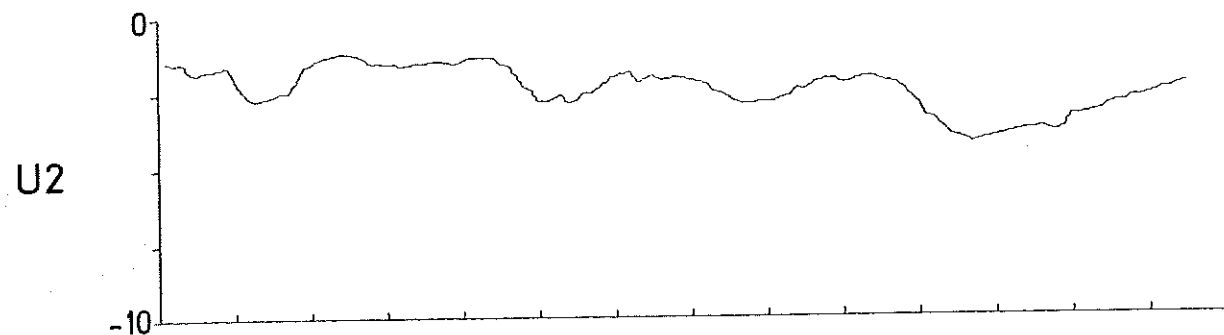
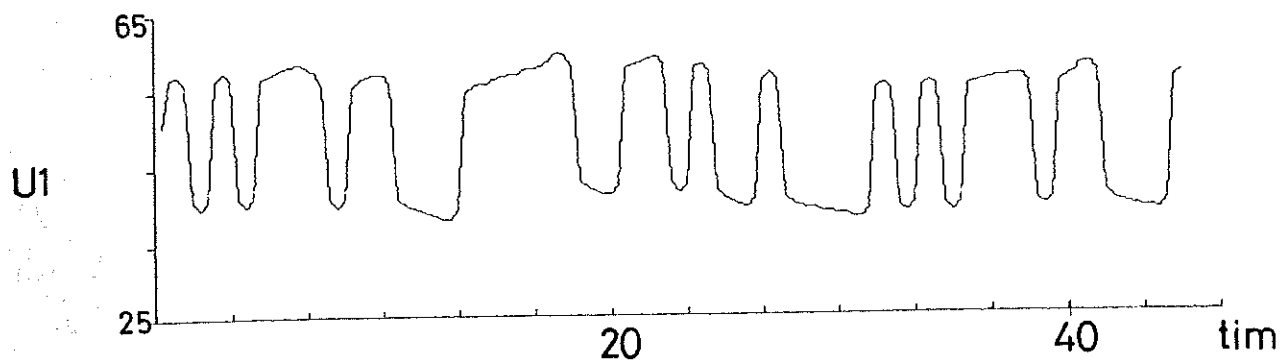






RUN ID RUMSIM ACCOUNT 208475

Diagram nr 27



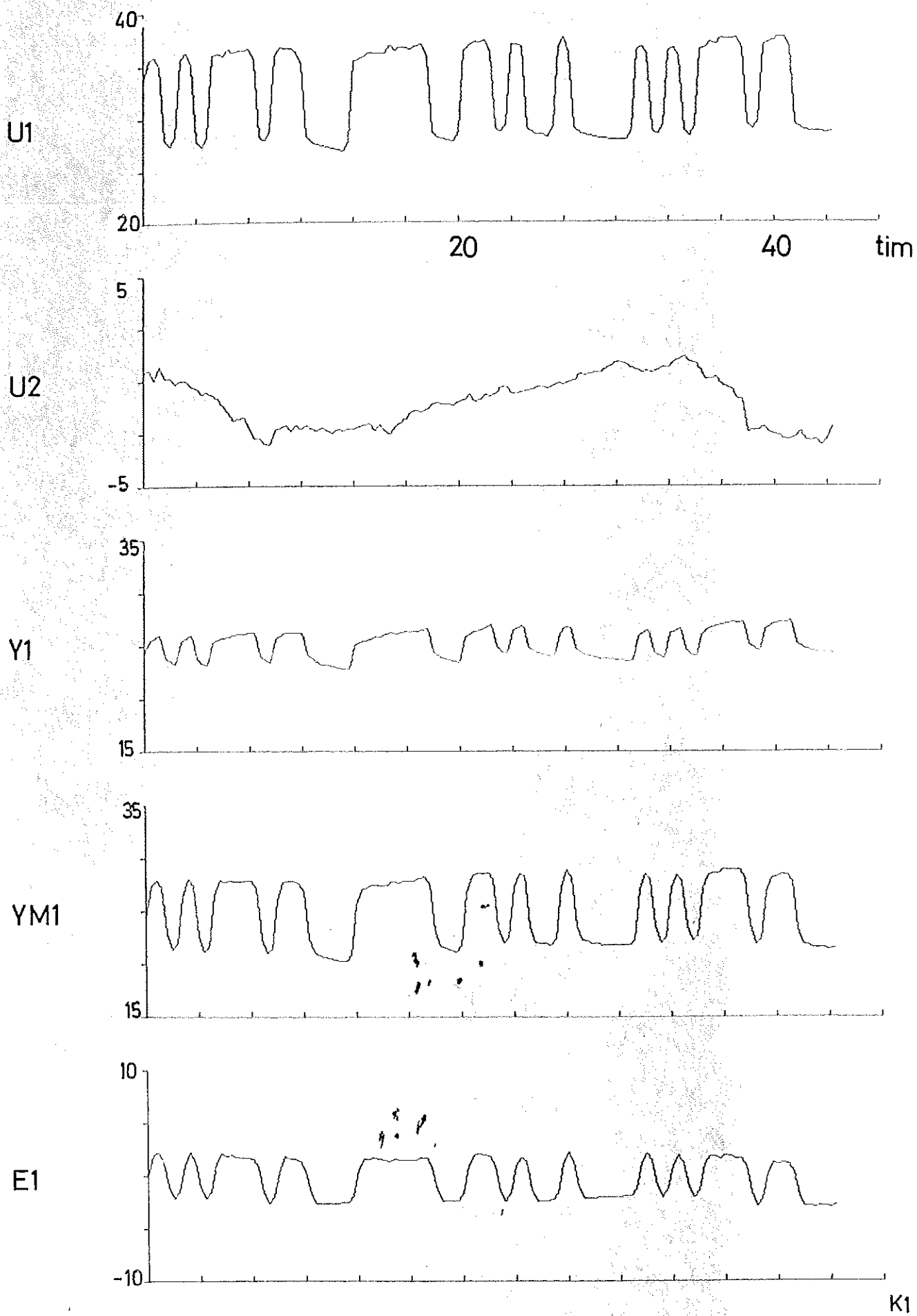


Diagram nr 29

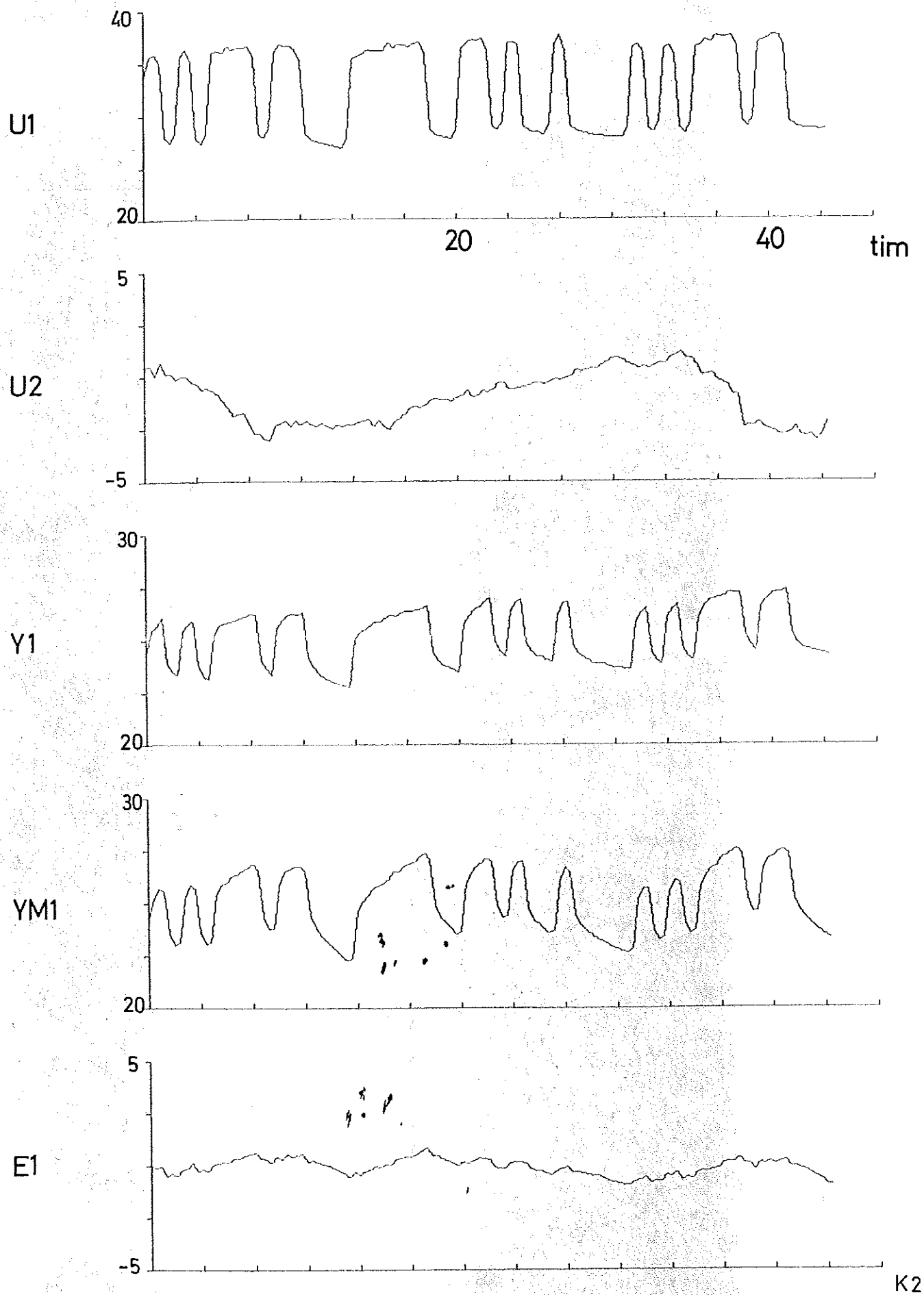


Diagram nr 30

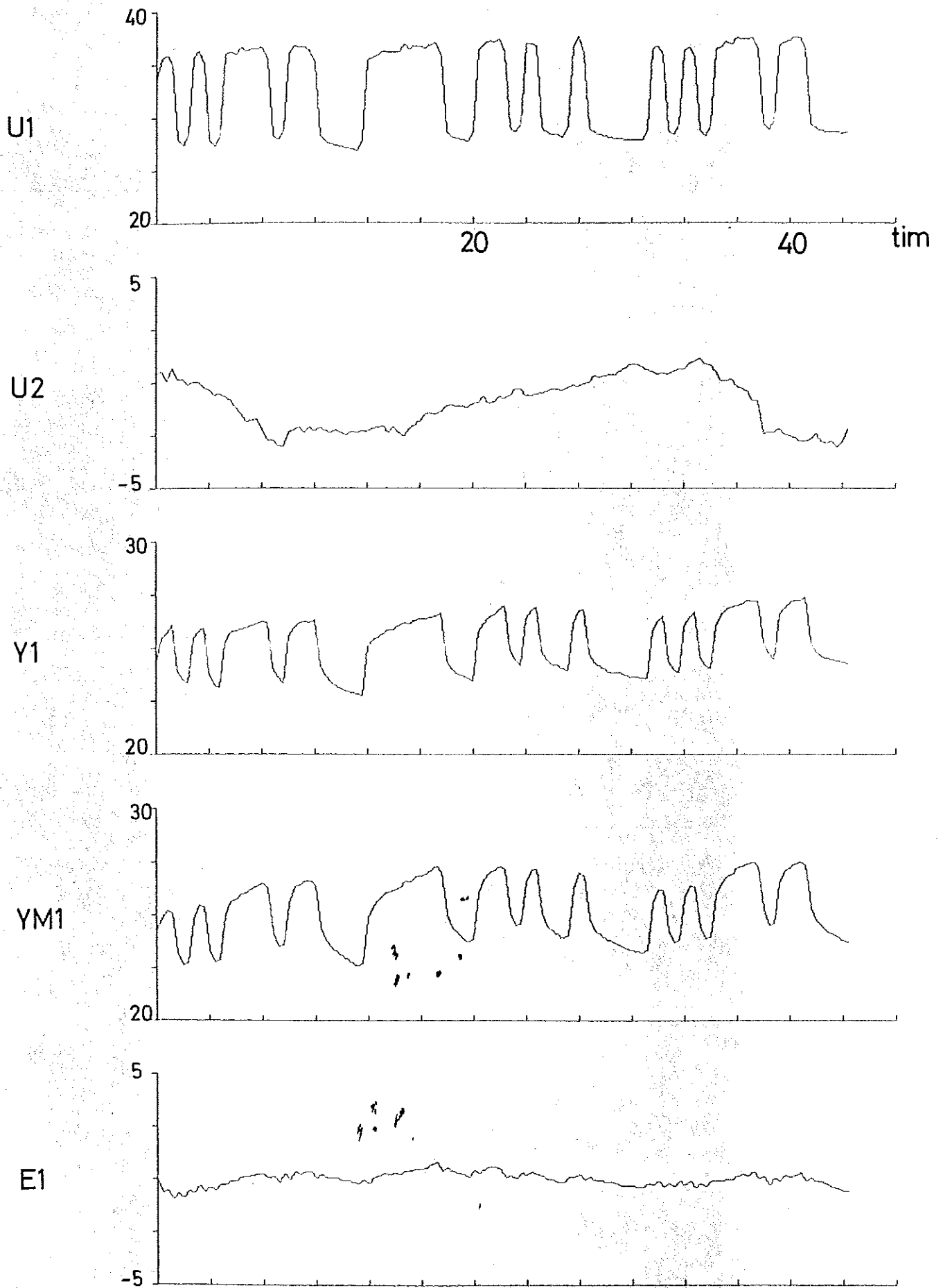
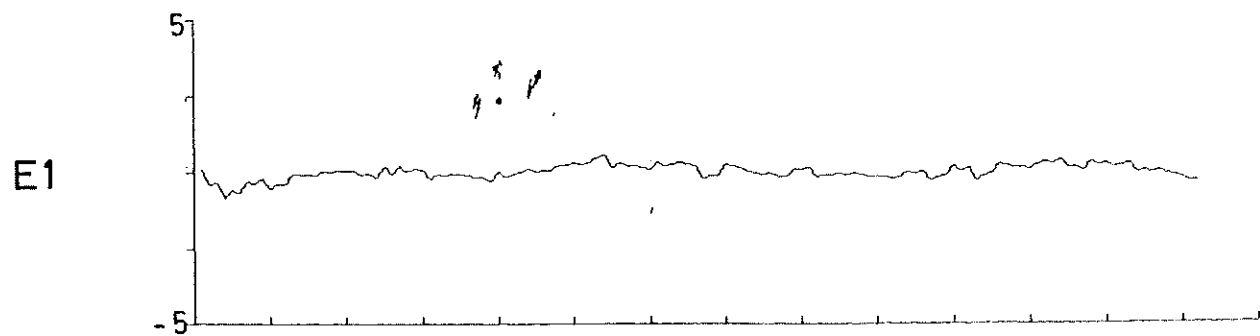
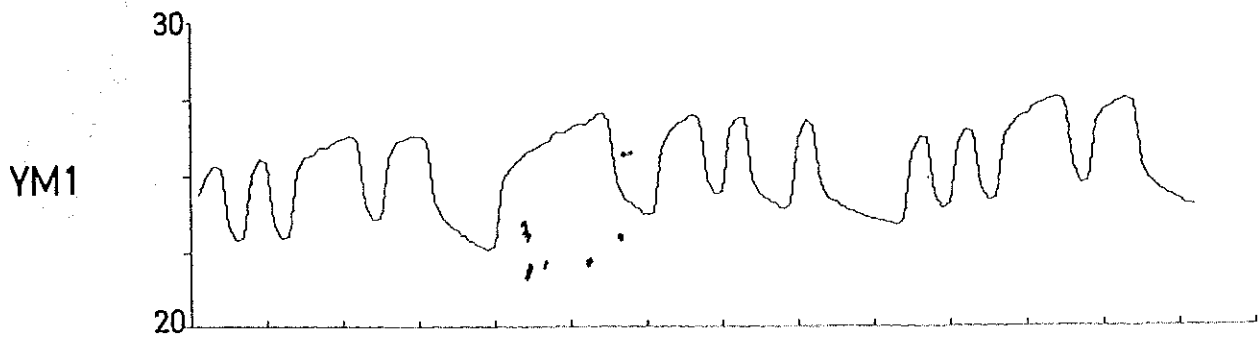
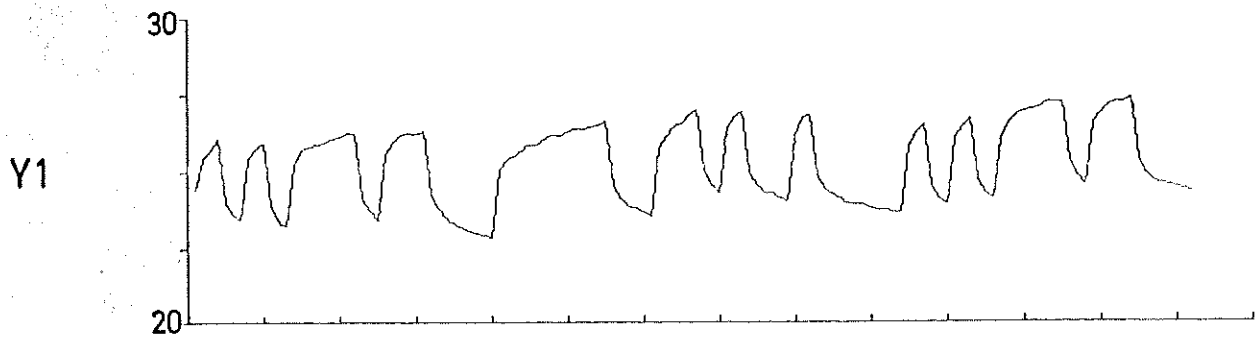
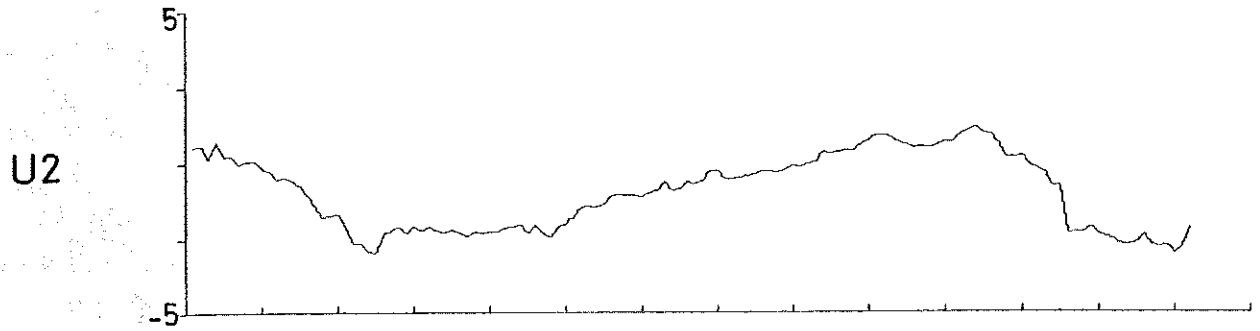
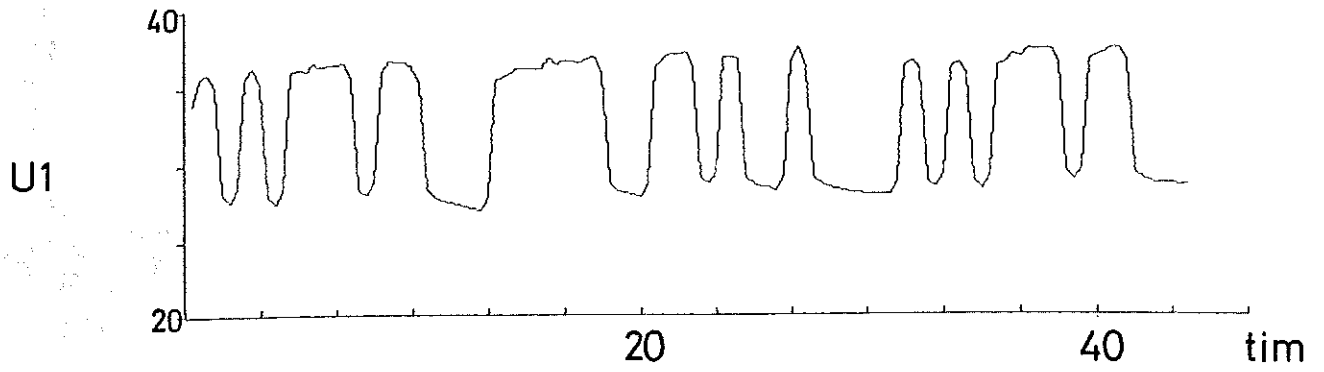


Diagram nr 31



STRUK2 208475 04 MAY 71 22:00:11



Diagram nr 32

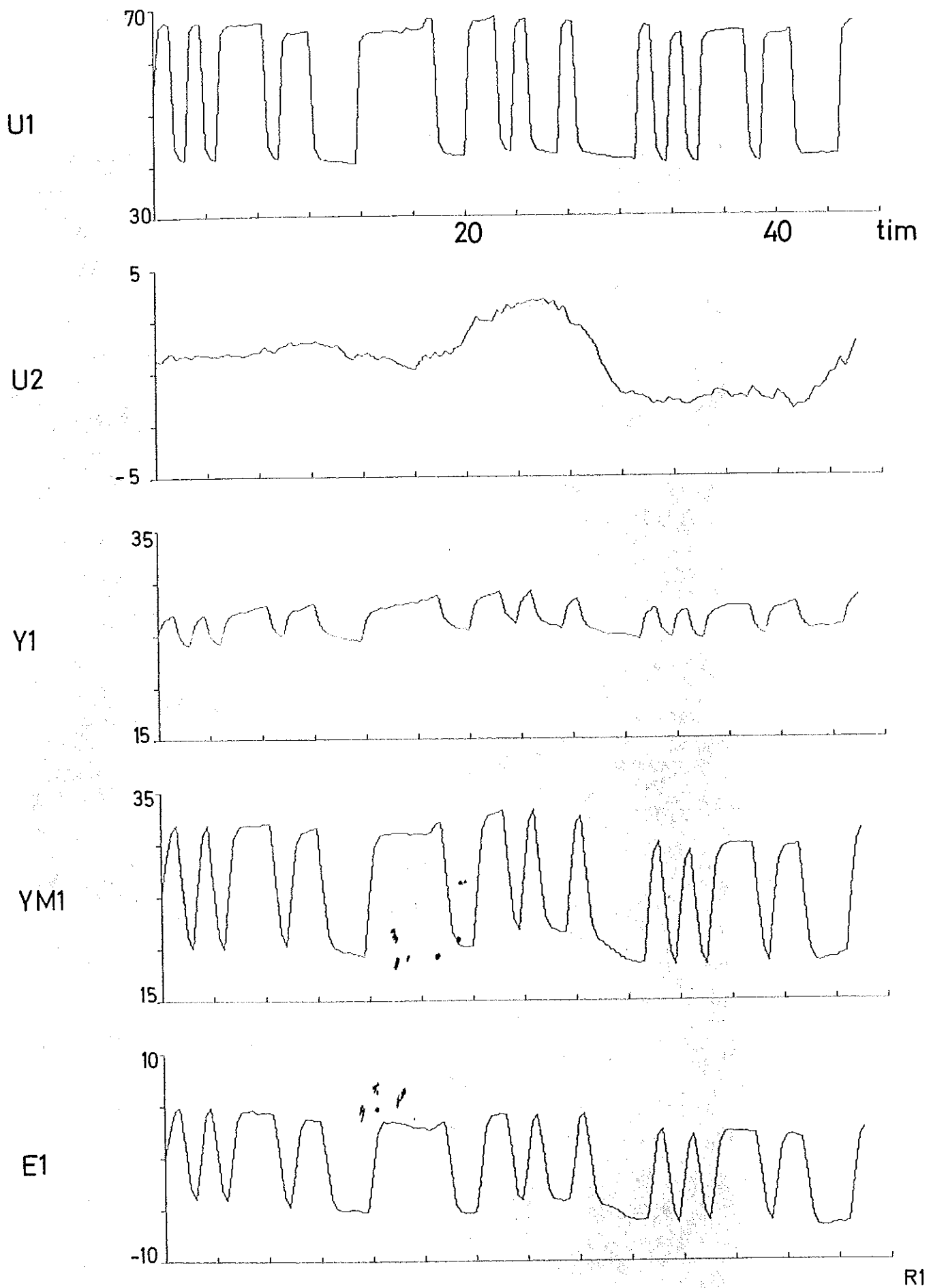


Diagram nr 33

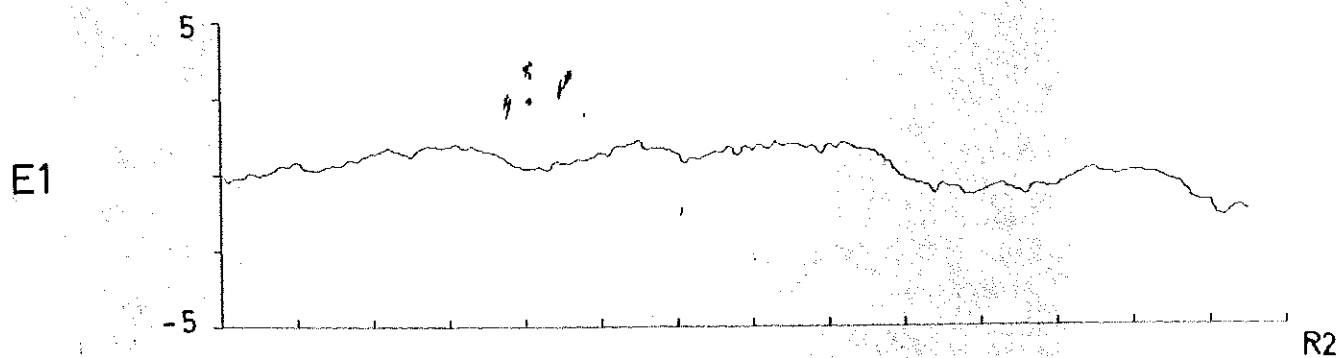
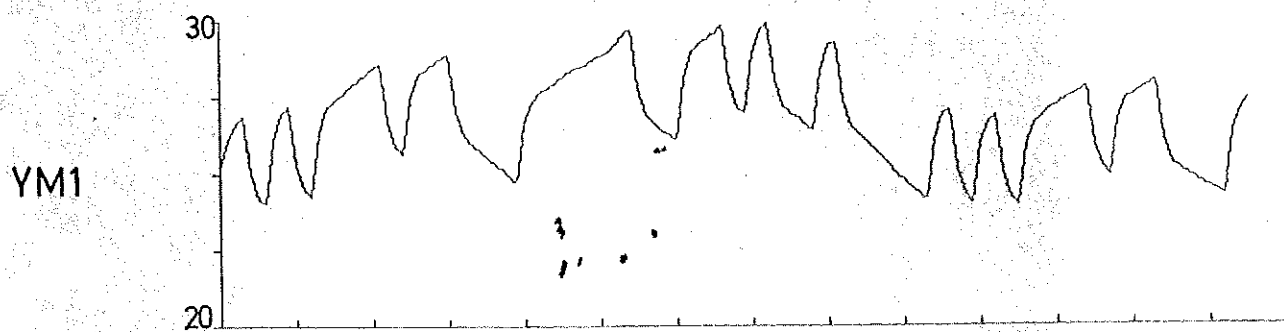
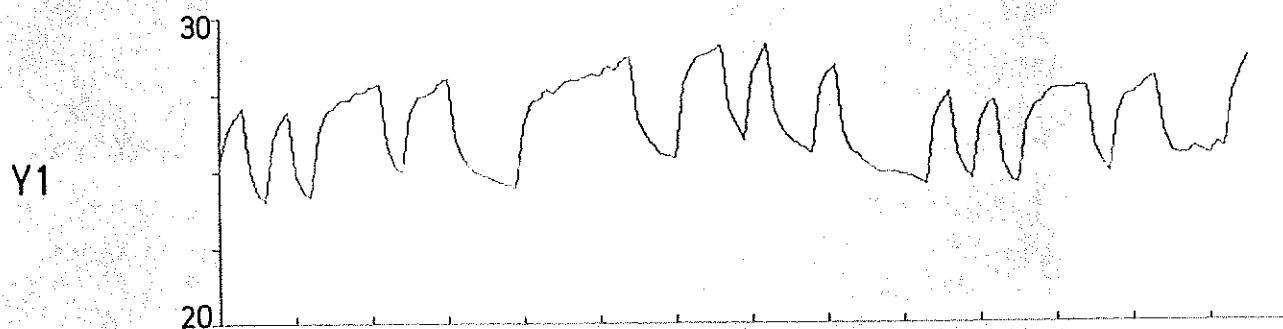
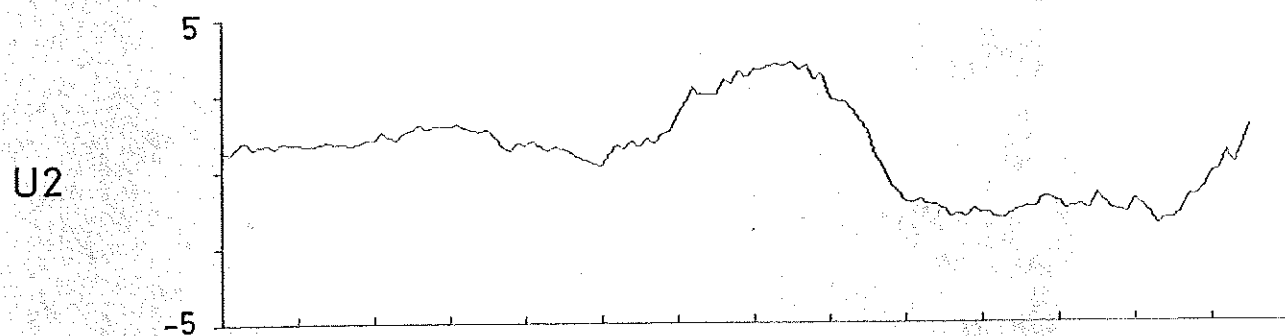
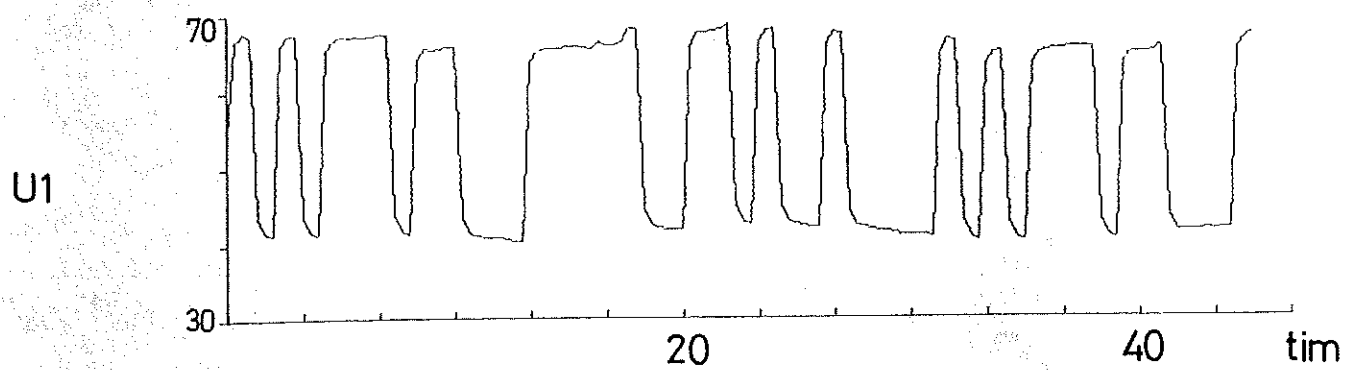
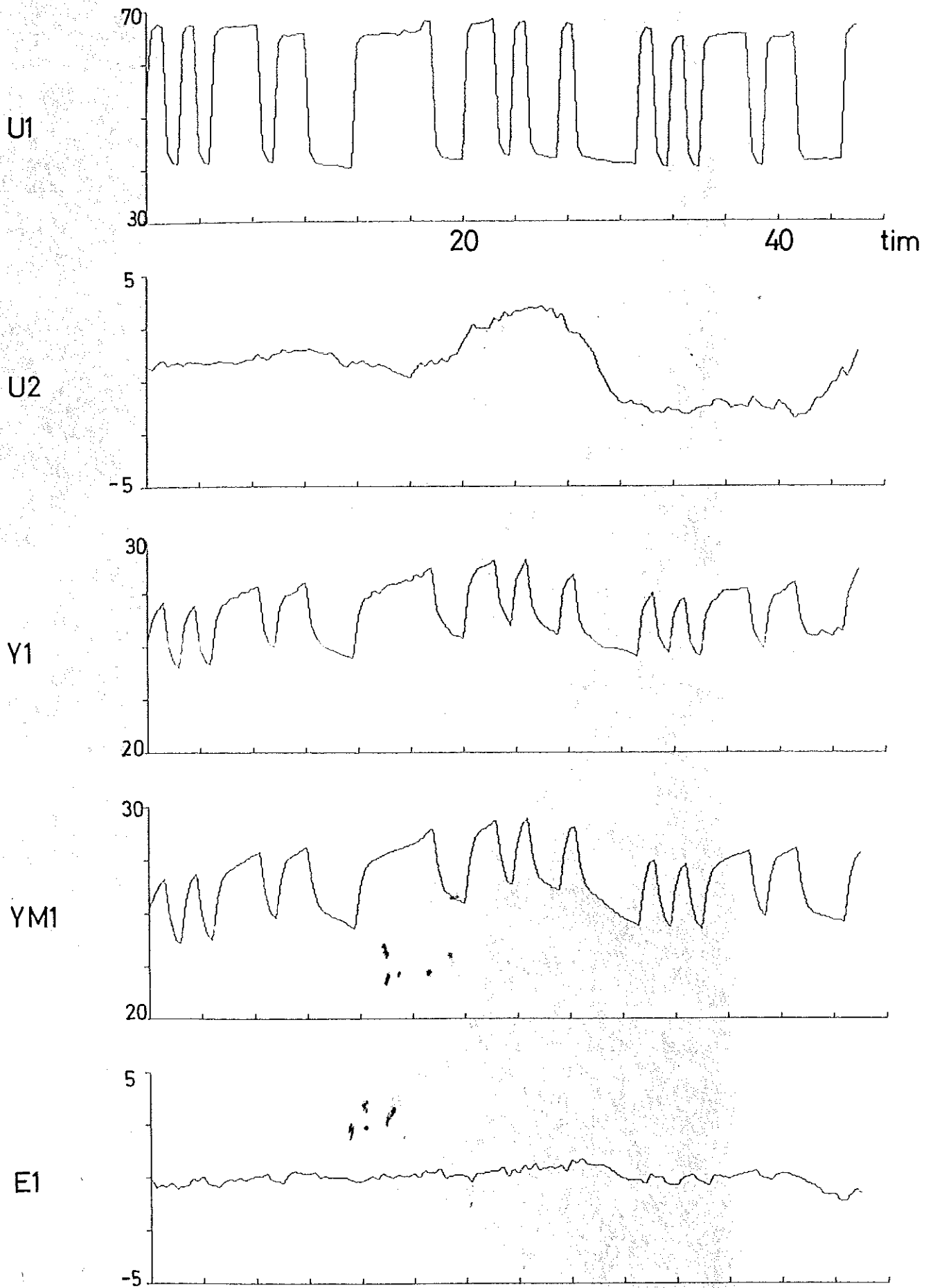
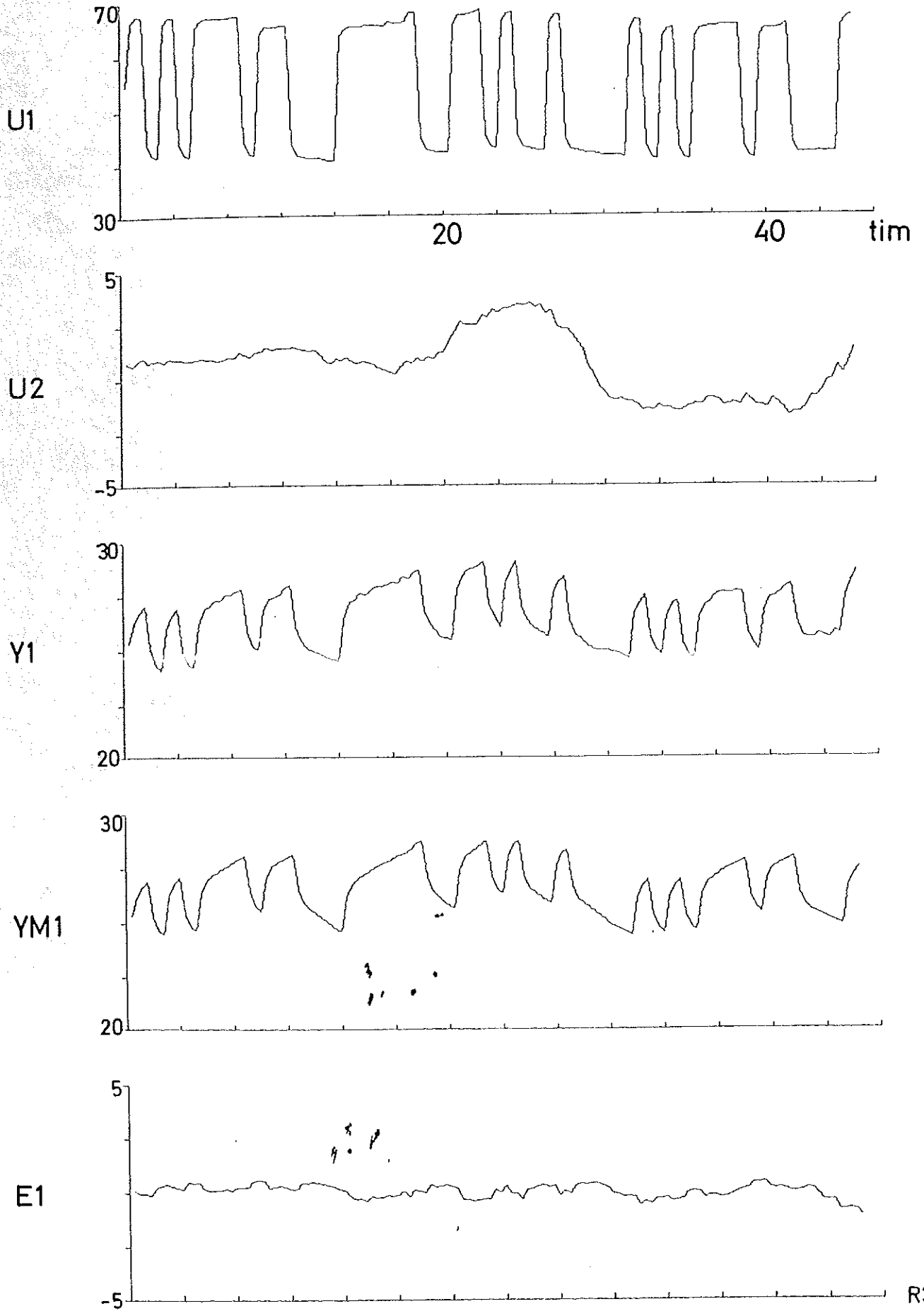


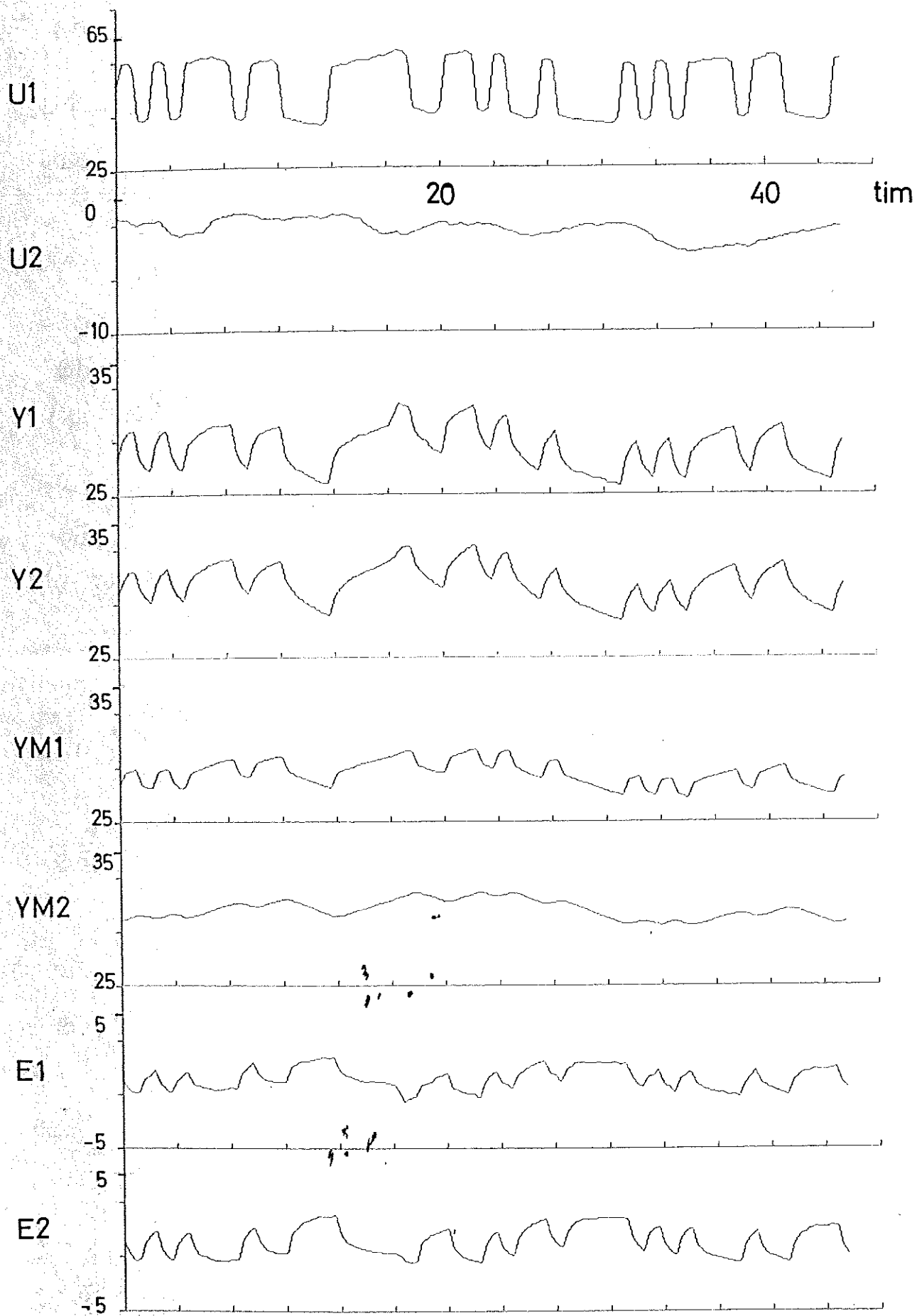
Diagram nr 34



STRUK3 208475 04 MAY 71 21:59:42



RUN ID DYN SIM ACCOUNT 208475



RUN ID DYN SIM ACCOUNT 208475

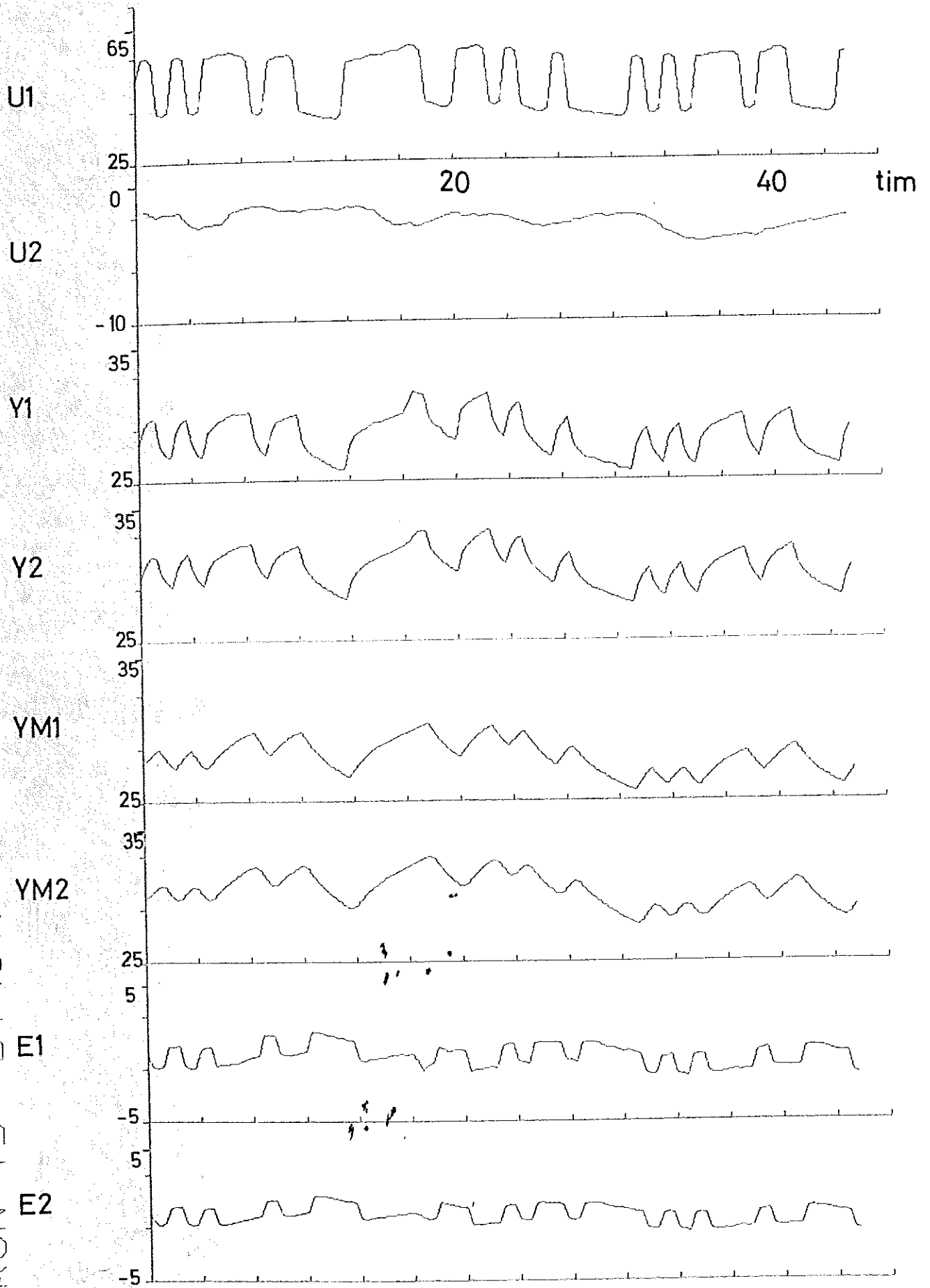


Diagram nr 38

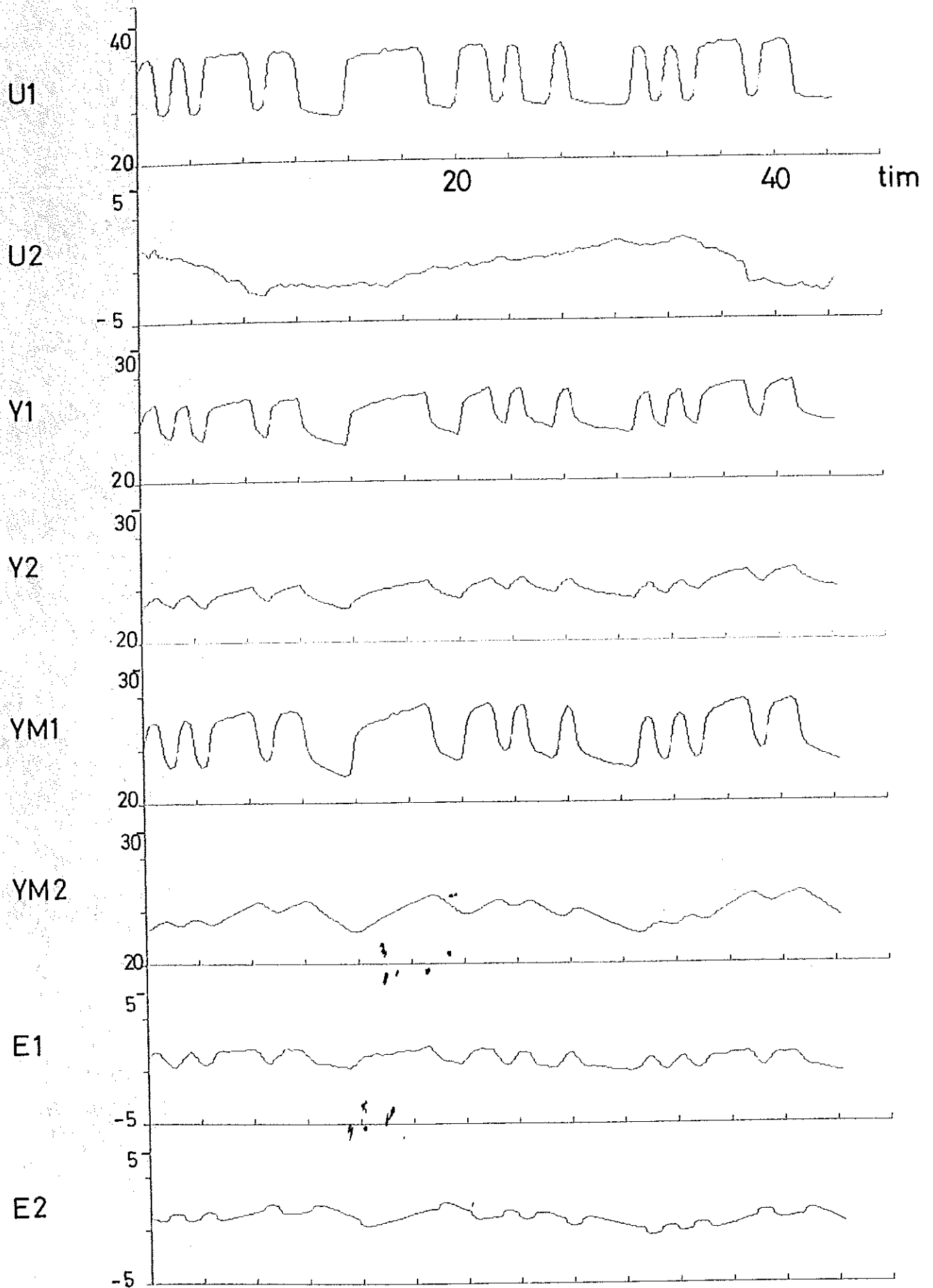
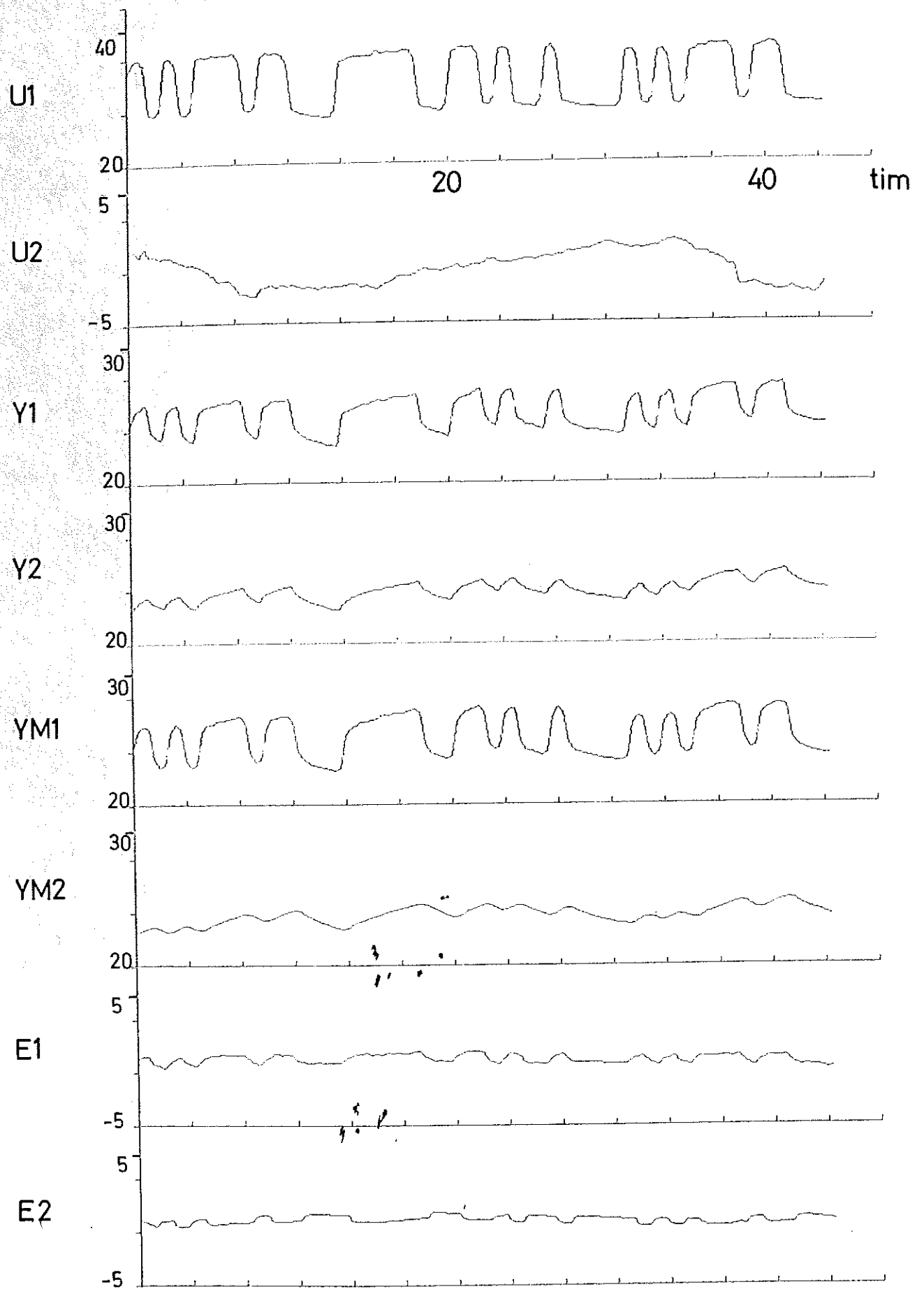


Diagram nr 39





RUN ID SIMRUM ACCOUNT 208475

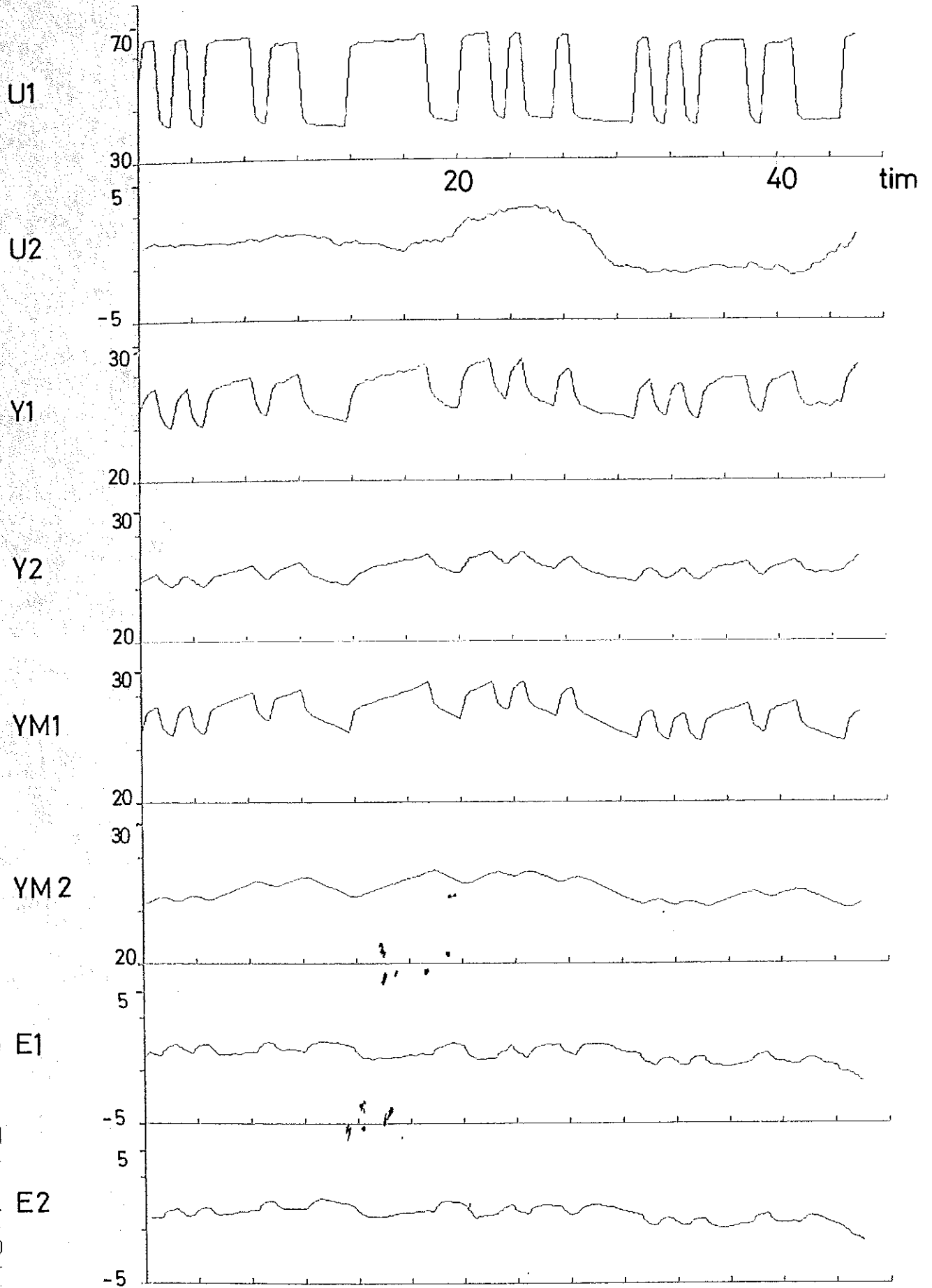


Diagram nr 41

