

MIKRODATORREGLERING AV EN TUNNELUGN

THOMAS VONHEIM

Institutionen för Reglerteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
December 1977

# MIKRODATORREGLERING AV EN TUNNELUGN

Examensarbete utfört av:

Thomas Vonheim

Handledare: Jan Holst

Institutionen för Reglerteknik  
vid Lunds Tekniska Högskola

Lund December 1977

## Sammanfattning

I samband med den slutliga bränningen av porslinet vid framställning av sanitetsporslin är det nödvändigt att följa en experimentellt bestämd temperaturprofil längs ugnen. I denna rapport presenteras ett förslag till mikrodatorbaserad reglering av de brännare som användes för att uppnå denna temperaturprofil. En av reglerlooparna har realiserats och utvecklingen av program och nödvändig utrustning såsom motor, anpassningsenhet och termoelement diskuteras. Den föreslagna regleringen har med gott resultat testats i anläggningen.

## Abstract

In connection with the final burning when manufacturing sanitary porcelain it is necessary to control the temperature along the oven according to an experimentally determined temperature profile. In this report a micro-computer based control system of the burners in the oven is presented. One of the control loops have been implemented and the development of the necessary programs and equipment such as for example motor and thermocouple is discussed. The proposed control has been successfully tested in the factory.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning	5
2. Ugnen	6
2.1 Utseende, storlek	6
2.2 Funktion, brännkurvor	7
3. Befintligt reglersystem	10
3.1 Nuvarande manuella reglering	10
3.2 Givare, placering	10
3.3 Mätnoggrannhet	11
3.4 Brännare	12
4. Förberedande undersökning av processen	14
5. Datorreglering av ugnen	18
5.1 Typ av reglering	18
5.2 Zonindelning av brännare	19
6. Tillgängligt mikrodatorsystem	21
6.1 Hårdvaran	21
6.2 Mjukvaran	22
7. Realisering av hjälpbrännarregleringen	24
7.1 Ställmotorn	24
7.2 Termoelementen	25
7.3 Program	26
7.4 Uppstart	33
8. Resultat från testkörningar	34
9. Sammanfattning	36
10. Referenser	37
Appendix	38

## 1. INLEDNING

Vid framställning av sanitetsporslin är en av de sista faserna bränning av godset. Bränningen skall ske efter ett visst temperatur-tids samband. För att uppnå detta används vid IFÖ SANITAR en c:a 100 meter lång tunnelugn där godset får passera igenom på vagnar. Man har olika temperaturer på olika ställen i en sådan ugn, och kan på så sätt få ett önskvärt temperatur-tids samband. Regleringen av temperaturen i tunnelugnen sker idag helt manuellt och syftet med detta examensarbete är att föreslå en lösning på en mikrodatorbaserad reglering och presentera en implementering av en av reglerlooparna.

I rapporten kommer först i kapitel 2 en genomgång av hur tunnelugnen ser ut och fungerar. Vidare kommer i kapitel 3 en genomgång av det befintliga regler-systemet. För att lära känna processen gjordes en del undersökningar och försök, som presenteras i kapitel 4. Därefter ges i kapitel 5 ett förslag på en typ av reglering man kan använda och i kapitel 6 presenteras den tillgängliga datorutrustningen. I kapitel 7 presenteras programmen som användes vid implementeringen. Resultat från testkörningar i fabriken ges i kapitel 8. Slutligen ges i kapitel 9 en sammanfattning på hela examensarbetet.

## 2. UGNEN

### 2.1 Utseende, storlek

Ugnen är en c:a 100 m lång tunnelugn. Man kan dela upp ugnen i tre olika delar: förvärmningszon, brännzon och kylzon. För att man lättare skall kunna hitta kring ugnen och lättare kunna referera till någon del, har man delat upp ugnen i 54 "fack". Fack nr 1 är där man tar in godset. Mellan fack 20 och 28 sitter det 14 oljebrännare på var sida om ugnen, totalt 28 st.

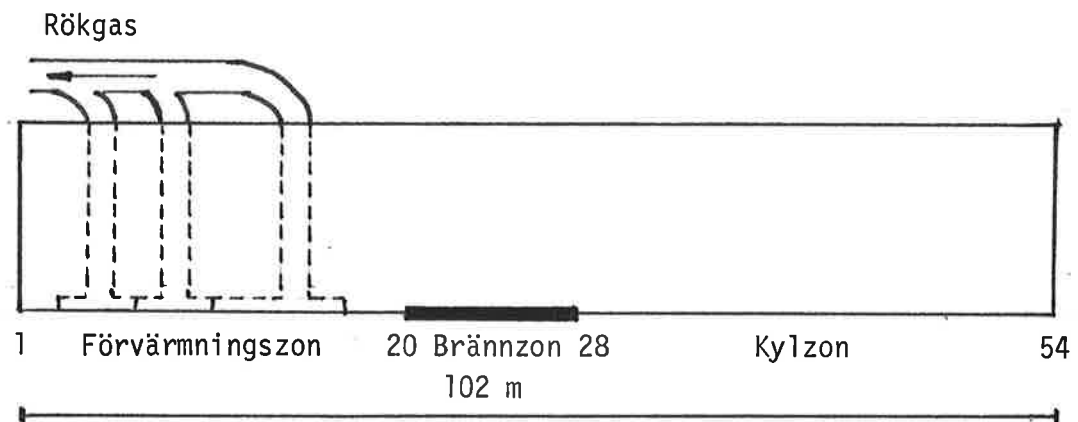


Fig 2.1 Principskiss över ugnen

Godset som skall brännas ställer man på vagnar som förs genom ugnen. Fig 2.2 visar ett tvärsnitt genom ugnen vid brännarna.

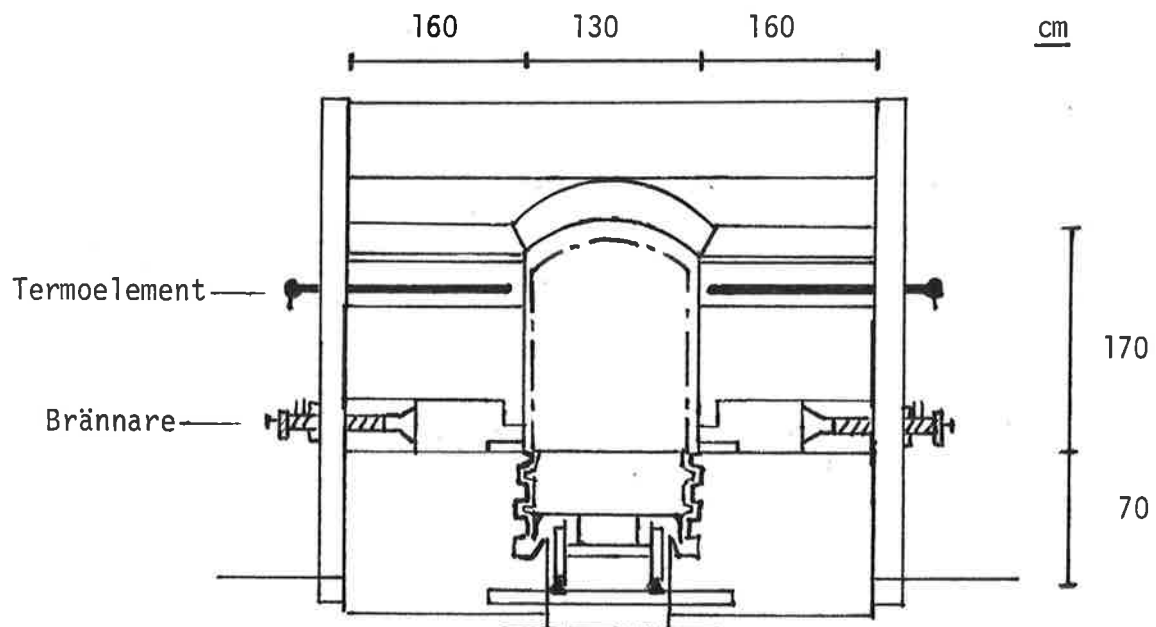


Fig 2.2 Tvärsnitt genom ugnen

Oljebrännarna sticker inte direkt in i ugnen utan de sitter i en brännkammare. Därifrån kommer sedan värmen ut i ugnen direkt genom hål i tegelväggen och indirekt via uppvärmning av väggen. På varje sida om brännaren finns det en observationslucka där man kan se in i brännkammaren.

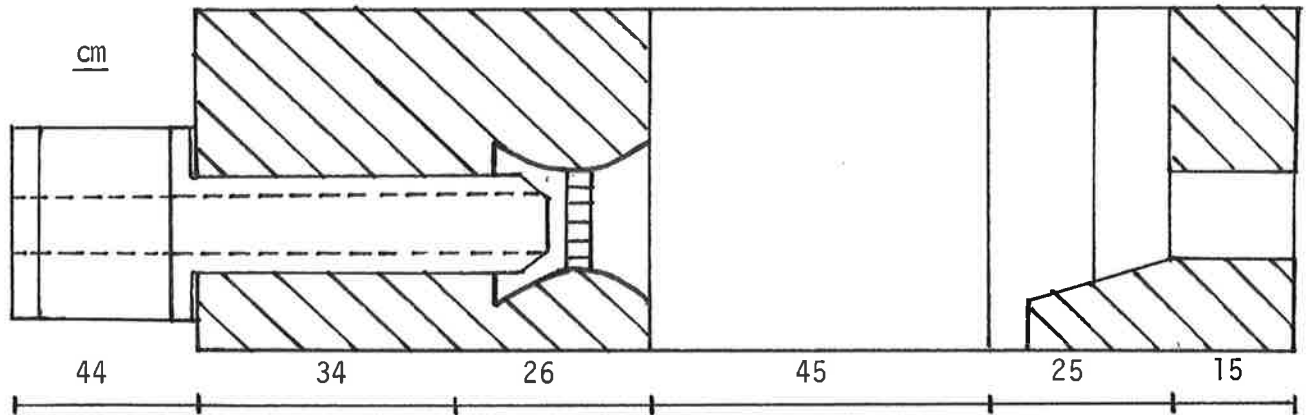


Fig 2.3 Brännkammare, snitt från sidan

I förvärmningszonen sitter det en fläkt som suger ut rökgaserna från ugnen. Med hjälp av fläkten hålls också ett visst undertryck i förvärmningszonen. Genom att variera inställningen för rökgasspjällen kan man variera temperaturen i ugnens framkant.

## 2.2 Funktion, brännkurvor

Ugnen fungerar så att det som man vill bränna ställs på en vagn, som sedan får passera igenom ugnen. Längden på en vagn är lika lång som ett fack och det innebär att det får plats 54 vagnar inne i ugnen samtidigt. För att vagnarna skall kunna passera igenom ugnen har man ett skjutverk till hjälp. Det fungerar så att med jämna tidsintervall, c:a 40 min, låter man skjutverket föra in en vagn i ugnen, där tidsintervallet kallas skjuttid. Då kommer samtliga andra vagnar som finns inne i ugnen att skjutas fram ett fack och det kommer även ut en vagn ur ugnen. Själva inskjutningen tar endast någon minut och då rör sig samtliga vagnar, för att därefter stå stilla tills det är dags för nästa vagn att skjutas in. Om man använder en skjuttid på 40 min så kommer en vagn att vara inne i ugnen i 54x40 min, d.v.s. c:a 35 tim. För en viss skjuttid vill man ha en viss temperaturprofil. Att man ligger så nära en viss temperaturprofil som möjligt är viktigast i

brännzonen och det är också där man har störst möjlighet att påverka temperaturen via brännarna.

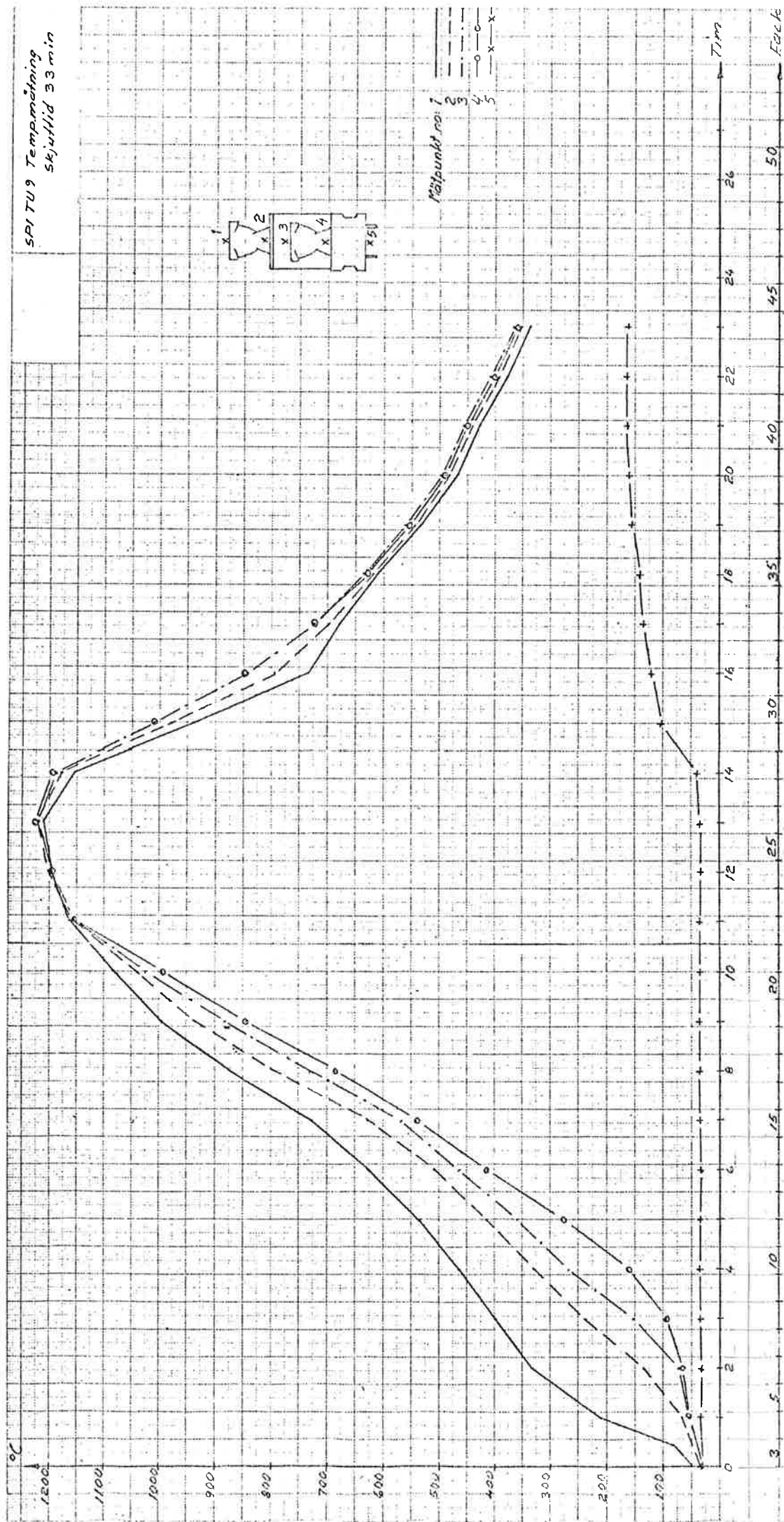
Hur en temperaturprofil skall se ut för en viss skjuttid har man kommit fram till genom experiment. Fig 2.4 visar en sådan temperaturprofil.

Ju lägre skjuttid man har desto produktivare är ugnen, men då måste man hålla en högre temperatur för att godset skall bli tillräckligt bränt.

Uppställningen av godset på en vagn sker inte planlöst utan man har en speciell uppställning som kallas en standardvagn. Utöver standardvagnarna sätter man upp godset på 3 olika andra sätt och då kallas dessa specialvagnar. Gemensamt för specialvagnarna är att den totala volymen och massan hos godset är större än hos standardvagnarna. Detta innebär att då en specialvagn skall brännas kommer den att kräva mer energi än en standardvagn. Om man har standardvagnar i ugnen och kör in några specialvagnar så kommer därför temperaturen att sjunka.



Fig. 2.4 Brännkurva dvs temperaturprofil genom ugnen.



### 3. BEFINTLIGT REGLERSYSTEM

#### 3.1 Nuvarande manuella reglering

Det nuvarande regelsystemet är helt manuellt och syftar till att hålla temperaturen vid brännkurvorna.

Det fungerar så att en operatör observerar ett temperaturfel och försöker att kompensera det genom att ändra lämpliga brännarinställningar. I praktiken fungerar det så att man först efter en viss trend i temperaturavvikelsen ändrar brännarna. Den som kör ugnen vet även när det är dags för specialvagnar och kan förbereda ugnen på det genom att ändra lämpliga brännare. Det fungerar alltså som en form av framkoppling. Om man skulle vilja öka eller minska effekten på samtliga brännare, så kan man ändra på trycket i oljeledningen som går till samtliga brännare.

Då man ändrar brännarinställningarna i de högre facken får man tänka på att röken och därmed en viss mängd värme sugts mot förvärmningszonen. Det innebär att en ändring av en brännare i ett visst fack kommer att påverka temperaturen i de lägre facken. Se fig 2.1.

#### 3.2 Givare, placering

Det man reglerar på är temperaturen inne i ugnen så därför är det temperaturen som mäts. Man mäter temperaturerna i ugnen med 15 st termoelement. I facken 6, 8, 19, 32 och 45 har man en givare i varje fack. Medan man i facken 22, 24, 25, 27 och 29 har två givare, en på varje sida av ugnen.

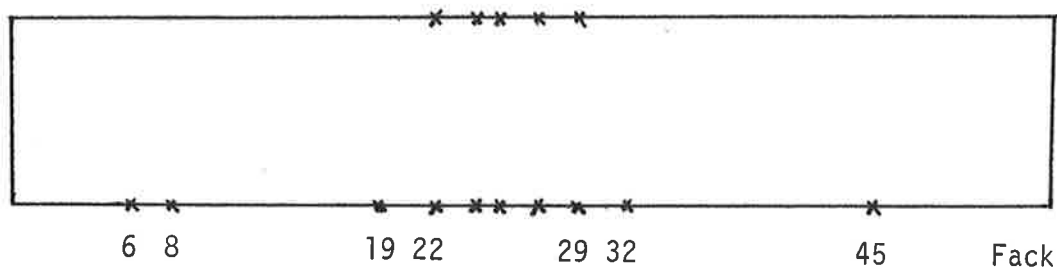


Fig 3.1 Termoelementens placering

Temperaturerna som mäts kan vara upp till  $1400^{\circ}\text{C}$ , därför används som givare termoelement av typen PtRh-Pt(10% Pt). Utspänningen från dessa termoelement ligger mellan 0 och 15 mV.

Termotrådarna är monterade i ett porslinsrör som är tillslutet i ena änden och med ett anslutningshuvud i den andra änden. Det varma lödstället är i den förslutna änden. Längden på porslinsröret med huvud varierar mellan 1 m och 1,5 m beroende på var de är placerade i ugnen.

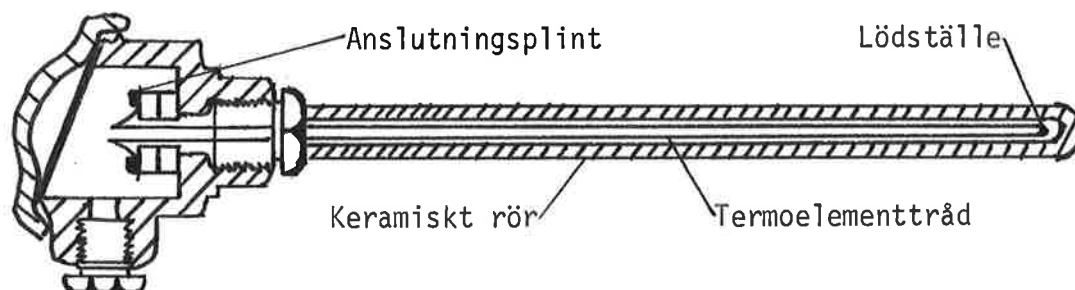


Fig. 3.2 Termoelement

Termoelementen är instuckna genom hål i ugnsväggen och med den förslutna änden i jämnhöjd med insidan av ugnsväggen. Se fig 2.2.

Då brännkammarna bara tål en viss högsta temperatur så mäter man dessa temperaturer minst en gång om dagen. Det går till så att man öppnar en observationslucka i brännkammaren och sedan mäter med en optisk pyrometer. Detta gör man i samtliga brännkammare.

### 3.3 Mätnoggrannhet

Mätsystemet består av termoelement, kompensationsledning och en skrivare. Tillåtna toleranser för termoelementen enligt DIN 43710, se fig 3.3.

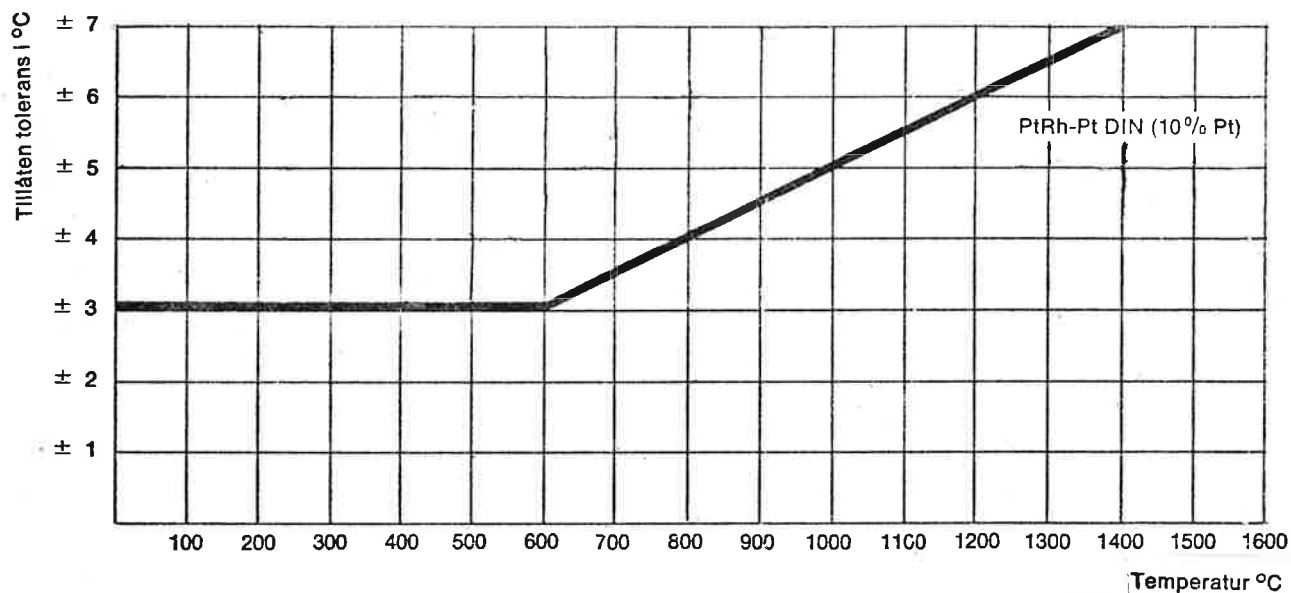


Fig 3.3 Tillåtna toleranser för termoelementen

Ovanstående ger att termoelementen kan variera inom ett intervall på  $\pm 6^{\circ}\text{C}$  vid  $+1200^{\circ}\text{C}$ . Ifall de termotrådar som man använder kommer ifrån samma rulle kan man anta att trådarna är likvärdiga. Detta innebär att en temperaturskillnad mellan två termoelement mäts betydligt noggrannare än enligt ovanstående. Kompensationsledningen ger ett för oss försumbart fel.

Skrivaren är av klass 0,25 vilket ger ett fel på  $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$ . Detta är ett systematiskt fel och det innebär att absoluta felet är  $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$  och man har samma fel vid alla mätningar. Vid  $+1200^{\circ}\text{C}$  ger oss ovanstående ett absolut fel på  $\pm 9,5^{\circ}\text{C}$ .

Då en temperaturskillnad mellan två termoelement mäts betydligt noggrannare så blir själva temperaturprofilen tämligen säkert bestämd men denna profil kan alltså variera inom ett 20-graders intervall. Vid bränning av godset märker man när man får ett godtagbart resultat och då försöker man att hålla temperaturprofilen på den nivå som skrivaren visar.

### 3.4 Brännare

Brännarna man använder är Hauck 779. I brännaren varierar man tilloppet av olja och luft med två spakar, en för varje. För att uppnå optimal förbränning så skall kvoten mellan olje- och luftflödet vara konstant. Brännaren

är proportionell och då skall man kunna koppla ihop olje- och luftspaken. Så när man t.ex. ökar oljetillflödet skall även lufttillflödet öka så att kvoten förblir konstant.

Detta fungerar inte och därför har man satt upp luftflödet så att det skall räcka till för alla tänkbara oljeinflödesinställningar. Man varierar alltså endast på oljetillflödet. Med anledning av detta får man en försämrad oljeekonomi.

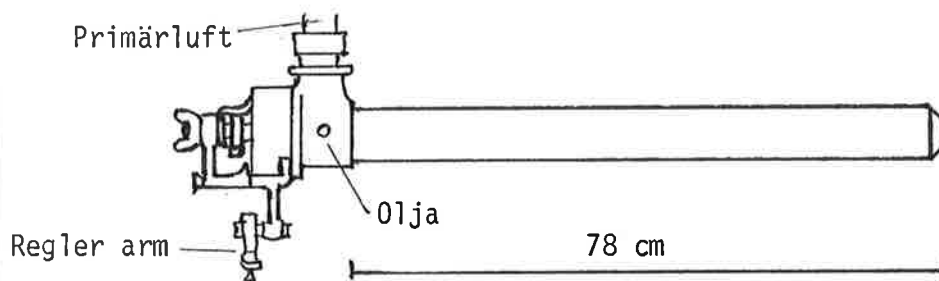


Fig 3.4 Brännare

Då oljan inte är helt ren kan det hända att en brännare sätter igen och då brinner den inte med full effekt. Man tar då ut den igensatta brännaren för rengöring. Under den tid det tar, sätter man in en annan brännare.

Maximalförbrukningen av olja för en brännare är 8 l/tim, men ett medelvärde på 5 l/tim är vanligast. Ugnen förbrukar således c:a 140 l/tim.

Brännarnas placering i ugnen framgår av figur 3.5.

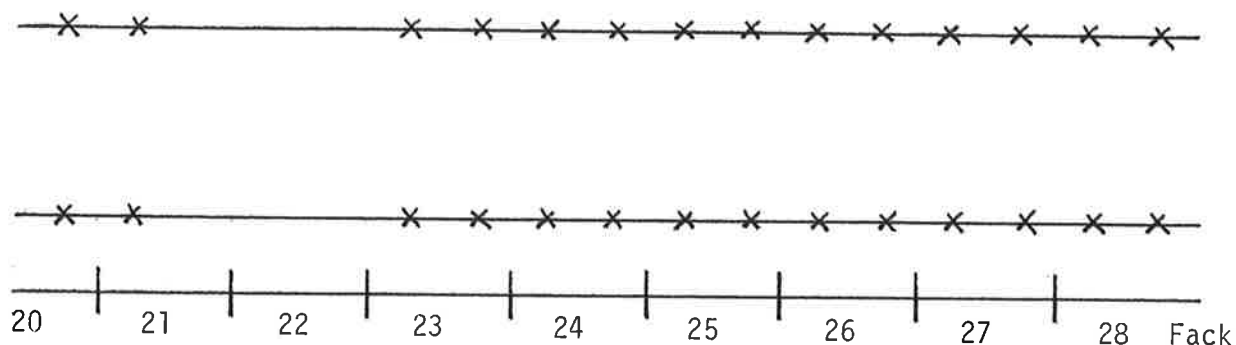


Fig 3.5 Brännarnas placering

#### 4. FÖRBEREDANDE UNDERSÖKNING AV PROCESSEN

För att få reda på hur brännkammartemperaturen varierade och reagerade för ändringar på brännarinställningen, stack man in två termoelement i brännkammaren, ett i varje observationslucka. Vidare testades hur man skulle kunna detektera en igensättning samt gjordes en uppskattning av systemets mätnoggrannhet.

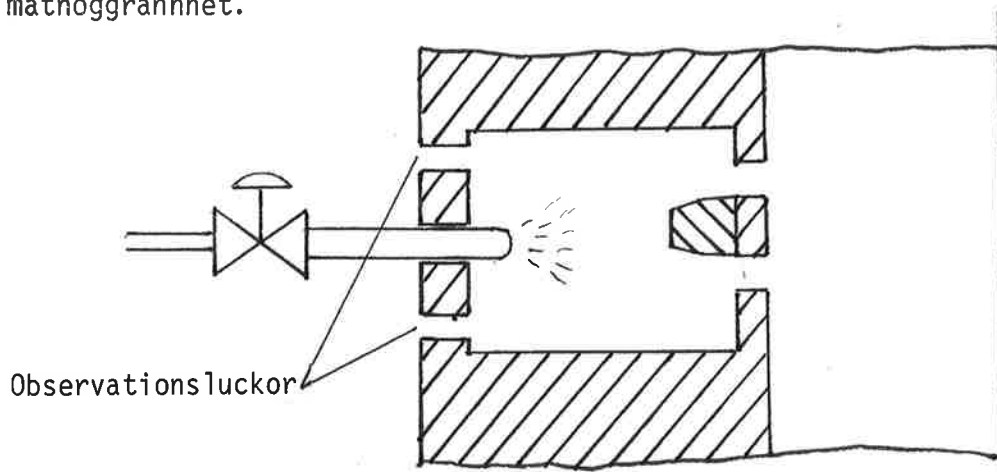


Fig 4.1 Brännkammare, snitt uppifrån

När det talas om att termoelementet har varit inskjutet  $X$  cm så är det avståndet från den inre änden på röret till yttersidan av brännkammaren som avses. Jfr också bild av brännkammaren.

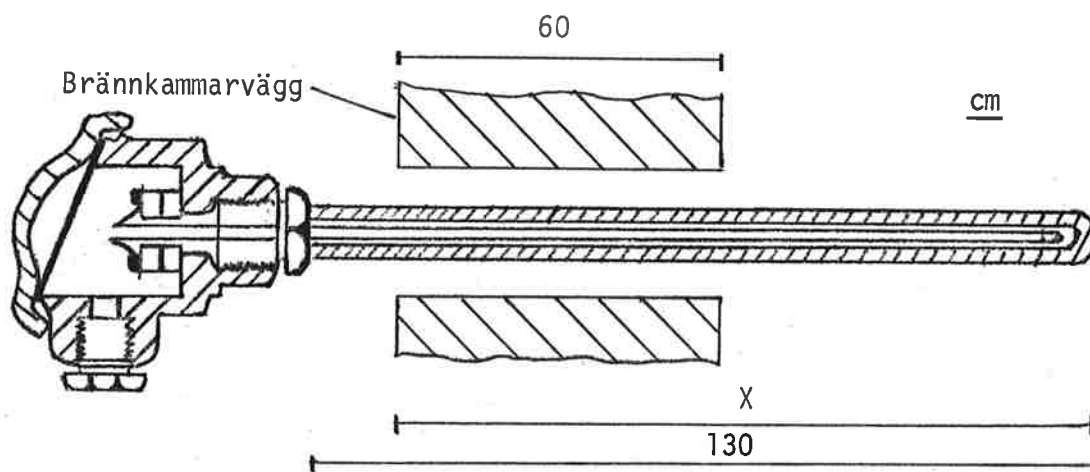


Fig 4.2 Termoelement inskjutet  $X$  cm

Mätning med termoelementen 70 cm instuckna i brännkammaren.

Man mätte med två minuters intervall. Variationerna mellan vänster och höger termoelement rörde sig mellan 18 - 25°C vid c:a 1220°C. Vänster termoelement var hela tiden störst. Den stora temperaturskillnaden beror på att termoelementen satt precis i mynningen av observationskanalerna och det blir i lä av själva lågan, jfr fig 4.1.

Den största variationen mellan två på varandra följande mätningar var 6°C. Största medelvärdesförändringen för de två termoelementen under en 2-minutersperiod var 4°C.

Mätning med termoelementen 60 cm instuckna.

Mätningen gjordes med två minuters intervall. Variationerna mellan vänster och höger rörde sig mellan 35 - 45°C vid c:a 1150°C. Vänster var hela tiden störst. Den största variationen mellan två mätningar var 4°C. Största medelvärdesförändringen mellan två mätningar var 2°C.

Införning av termoelementen från 60 cm till 80 cm inne.

Hela införningen tog 3 min, men redan efter två minuter hade temperaturen hos det högra termoelementet kommit ifatt det vänstra efter att ha legat 40°C lägre vid starten. Temperaturen var 80°C högre vid 80 cm inne än vid 60 cm inne. Vid 80 cm inne var skillnaden mellan vänster och höger termoelement max 1°C.

Vid 90 cm inne är temperaturskillnaden mellan vänster och höger max 3°C.

Vid en mycket större minskning av bränsletillflödet i en brännare än som skulle bli fallet vid en automatisk reglering erhöll man en kurva enligt fig 4.3. Det tog c:a 20 minuter innan temperaturnedgången upphörde. Totalt minskade temperaturen 65°C. De 6 första minuterna minskade temperaturen 40°C. Mätningen skedde med termoelementen 80 cm inne.

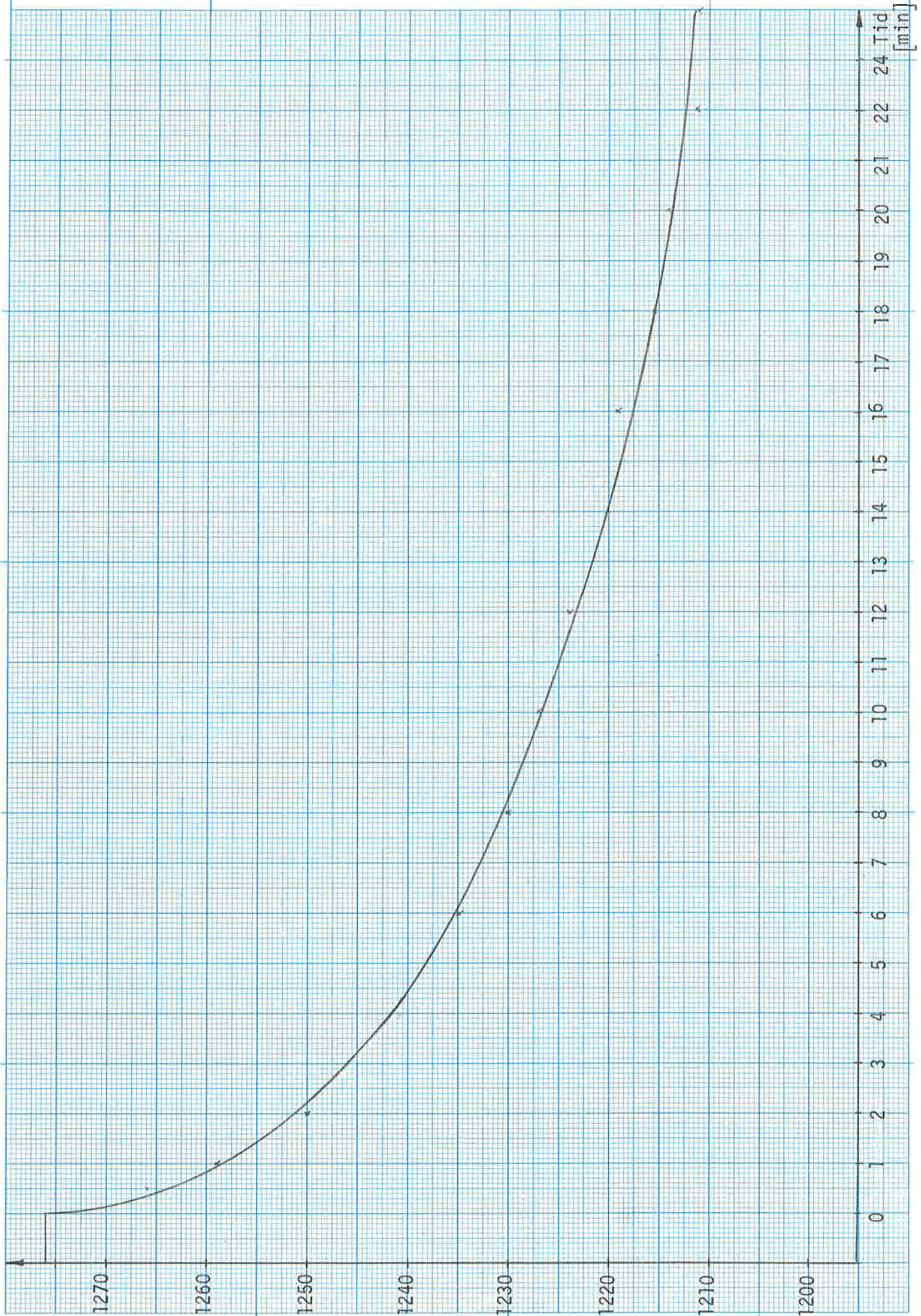
Fig. 4.3 Temperaturkurva vid en mycket kraftig oljeminskning.

514 A4  
SIS 73 25 01



Nr 1624.

[°C] Temp.





Simulering av en igensättning av ett brännarmunstycke.

En igensättning innebär att munstycket sätter igen så att inte oljan kan komma fram jämnt runt om munstycket. Därmed blir också lågan sned.

För att göra en sådan simulering sattes ett av de tre radiella hålen i ett munstycke igen. Vid 80 cm inne erhöll man en temperaturdifferens mellan vänster och höger termoelement på  $20^{\circ}\text{C}$ .

Uppskattning av noggrannheten hos temperaturskrivaren.

Man mätte termospänningen direkt över ett termoelement, spänningen motsvarade  $+1201^{\circ}\text{C}$ . Skrivaren inne i manöverrummet visade  $+1195^{\circ}\text{C}$ , en skillnad på  $6^{\circ}\text{C}$ , jfr avsnitt 3.3.

Av ovanstående framgår att man bör ha termoelementen 80 cm instuckna för att temperaturskillnaden mellan vänster och höger skall vara så liten som möjligt, eftersom man då bäst detekterar en igensättning.

## 5. DATORREGLERING AV UGNEN

### 5.1 Typ av reglering

Vid ugnreglering är det ofta bra med kaskadreglering, jfr Åström, och det kommer att användas här. I vårt fall kommer den inre loopen att bestå av två termoelement (a) (endast ett uttrit) som mäter temperaturen i brännkammaren (b). Den signalen är sedan mätvärde till P-regulatorn (c) i den inre loopen. P-regulatorn (c) ställer ut sin reglersignal till motorn (d), som ändrar brännaren (e). P-regulatorns (c) börvärde erhålls från PID-regulatorns (f) reglersignal. PID-regulatorn (f) i den yttre loopen får sitt mätvärde från en temperaturgivare (g) som sitter inne i ugnen.

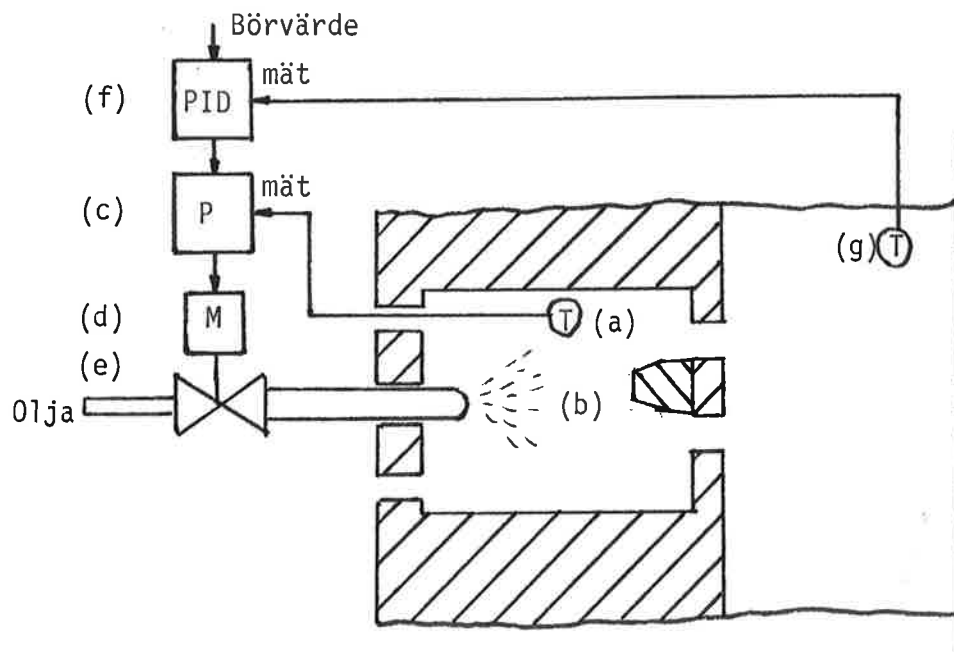


Fig 5.1 Skiss över reglersystemet

Anledningen till att två termoelement används i den inre loopen är att man skall kunna se när en igensättning uppstår eller ifall ett termoelement skulle gå sönder. Dessa två termoelement skall sitta en på var sida om brännaren. I normala fall bildar man medelvärdet av de två och detta värde motsvarar sedan mätsignalen till P-regulatorn (c) i fig 5.1.

Funktionen kommer att bli följande:

Börvärdet till PID-regulatorn jämförs med temperaturen i ugnen (g) och så länge de överensstämmer händer inget i den yttre loopen. Men skulle inte mätvärdet till P-regulatorn i den inre loopen vara lika med börvärdet från PID-regulatorn till P-regulatorn så kommer motorn att ändras. Då ett fel detekteras i den yttre loopen (fel temperatur i ugnen) ger PID-regulatorn ett nytt börvärde till P-regulatorn, som då strävar efter att ändra temperaturen i brännkammaren. Denna temperaturändring kommer efter en viss tid att slå igenom ute i ugnen, vars temperatur då kommer att gå mot det önskade värdet.

## 5.2 Zonindelning av brännare

Eftersom man har 28 st brännare är det inte rimligt att reglera alla individuellt utan man får göra någon form av gruppering.

Genom de erfarenheter man har av ugnen vet man dessutom att man inte behöver reglera alla brännare utan det räcker med vissa.

Detta innebär att man kan låta ungefär hälften av brännarna vara "hjälpbrännare". Med detta menas att de inte regleras via en kaskadkoppling utan endast består av den inre loopen i kaskadregleringen, som då kommer att hålla brännkammartemperaturen konstant.

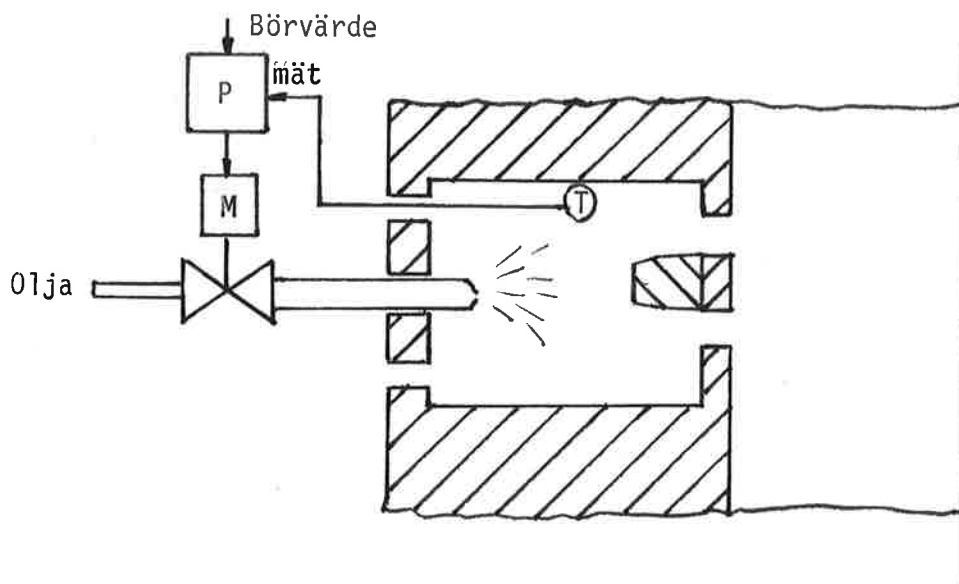
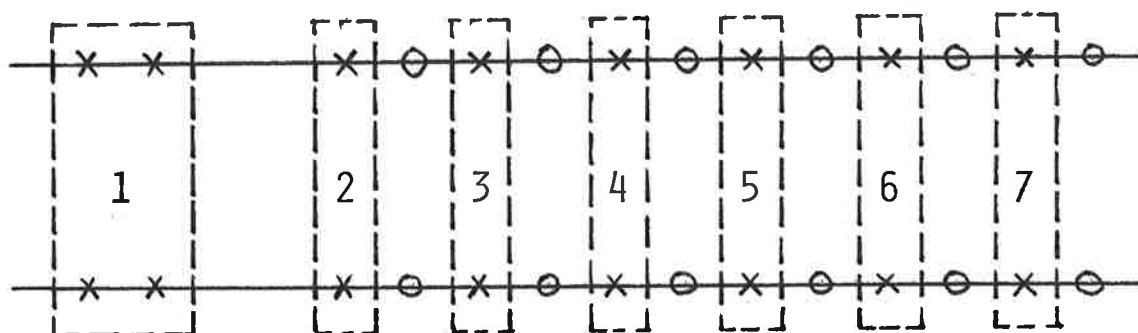


Fig 5.2 Hjälpbrännarreglering

Dessa brännare kommer bara att hjälpa till att hålla temperaturen uppe i ugnen.

Börvärdena till hjälpbrännarna sätts individuellt, det kan vara lämpligt att låta börvärdena ligga på ett konstant avstånd ifrån den ideala brännkurvan.

Grupperingen av de brännare som skall sköta om själva temperaturregleringen av ugnen kan göras på olika sätt och en gruppering är följande:



X=Temperaturreglerbrännare

O=Hjälppbrännare

Fig 5.3 Zonindelning av ugnen

Man delar in ugnen i sju zoner med hjälpbrännare mellan sex av dem. De fyra förbrännarna får bilda en zon medan de övriga zonerna endast består av två motstående brännare.

I varje brännarzon behövs ett termoelement (se (g) i fig 5.1) som ger ugnens temperatur till kaskadregleringen.

## 6. TILLGÄNGLIGT MIKRODATORSYSTEM

### 6.1 Hårdvaran

Datorsystemet består av en IMSAI 8080 mikrodator, en videoterminal och som massminne en kassettbandspelare.

IMSAI 8080 har en Intel 8080 som processorchip. Vidare är den uppbyggd så att alla minnen och I/O-enheter finns på kort som ansluts via en buss (typ S-100). Korten trycks fast via en kontakt direkt på bussen och det spelar ingen roll hur de olika korten sitter i förhållande till varandra.

Följande kort fanns tillgängliga:

4k-RAM Random-access-memory

Man har 4 st 4k-RAM alltså 16k RAM primärminne. Det är statiska minnen och de kan skrivskyddas.

8k-EPROM Eraseable-programmable-read-only-memory

Ett kort där man kan ha 8 st EPROM. Man kan även programmera EPROM:arna på detta kort. I 1k EPROM ligger det en monitor som man använder då man skall programmera något annat EPROM.

2-SIO Series input/output

Består av två serie in-/utgångar. Man kan bygga kortet för olika överföringshastigheter.

4-PIO Parallell input/output

Innehåller 4 st parallella in-/utgångar med latchar på utgångarna som håller kvar värdet även då datorn inte skickar ut det.

### MIO Multiple input/output

På det kortet finns det två likadana parallella in-/utgångar och en serie in-/utgång som nämnts ovan. Dessutom finns det ett interface för en vanlig audio-kassettbandspelare.

### D+7AIO Digital plus seven analog input/output

Det är en 7-kanals A/D - D/A-omvandlare. In- resp. utspänning ligger mellan +2,54 V och -2,56 V. Delar man upp området i 256 steg får man att ett steg motsvarar 20 mV. Tyvärr finns det inga latchar på D/A-utgången. Det innebär att om man vill ha ett visst analogt värde liggande på en utgång så måste man från datorns sida ligga och skicka ut detta värde med jämna tidsintervall, högst ett par sekunder mellan varje utskickning. På kortet finns även en parallell in-/utgång.

### PIC Priority interrupt card

Ett mycket viktigt kort då man skall köra realtidsprogram eftersom det innehåller en interruptklockfunktion. Man kan låta klockan generera avbrott med ett tidsavstånd mellan 0,1 ms och 1 s.

Sammanfattningsvis har man 16k RAM, 8k EPROM, 3 st serie in-/utgångar, 7 st parallella in-/utgångar, 1 st kassettbandspelarin-/utgång, 7 st analoga in-/utgångar samt en avbrottsklocka.

## 6.2 Mjukvaran

I systemet ingår assembler, editor, debugger, loader, monitor samt en 6k BASIC-interpretator.

All programmering har skett i BASIC. Det gör det möjligt att använda avbrottsklockan vilket är nödvändigt för att kunna använda systemet i reell tid.

I permanenta reglersystem behöver man ha ett realtidsoperativsystem så att man t.ex. kan gå in och ändra i sin reglering även under drift. Något

sådant operativsystem fanns det ej tillgång till. När man ville ändra parametrar i sitt reglerprogram fick man stanna datorn, ändra och därefter starta igen. Detta går bra vid experimentkörningar men hade varit olämpligt vid verklig drift, jfr även avsnitt 7.3.

Avbrottssystemet arbetar tillsammans med PIC-kortet vars funktion är att skicka ut avbrott med jämna tidsintervall. När ett avbrott genereras hoppar man alltid till en bestämd adress i minnet. Där finns det tre ord lediga så att man kan lägga in en hoppinstruktion och en adress. Programmet fortsätter då på den inskrivna adressen och utför de instruktioner man har skrivit. Sist i avbrottsrutinen har man en return-instruktion och då hoppar man tillbaka till det ställe man befann sig då avbrottet kom, jfr kapitel 7.4.

## 7. REALISERING AV HJÄLPBRÄNNARREGLERINGEN

Hela det föreslagna reglersystemet i avsnitt 5 har inte realiserats, utan i detta sammanhang begränsas arbetet till regleringen av en hjälpbrännare, principiellt så som visas i fig. 5.2. I denna realisering ingår en dator-enhet, två termoelement, reglermotor och en anpassningsenhet. Den senare skall anpassa termospänningen till en lämplig spänning för A/D-omvandlaren och även anpassa den D/A-omvandlade reglersignalen till motorn.

### 7.1 Ställmotorn

Ställmotorn är av typ Honeywell M944J. Det är en växelspanningsmatad motor med två lindningar. Beroende på vilken av dessa två lindningar som är strömförande går motorn åt endera hållet. Motorn innehåller även en svärs potentiometer och om man t.ex. lägger  $\pm 0,5$  V över denna så kan man på dess mittuttag ta ut en spänning som är direkt proportionell mot läget hos motorn.

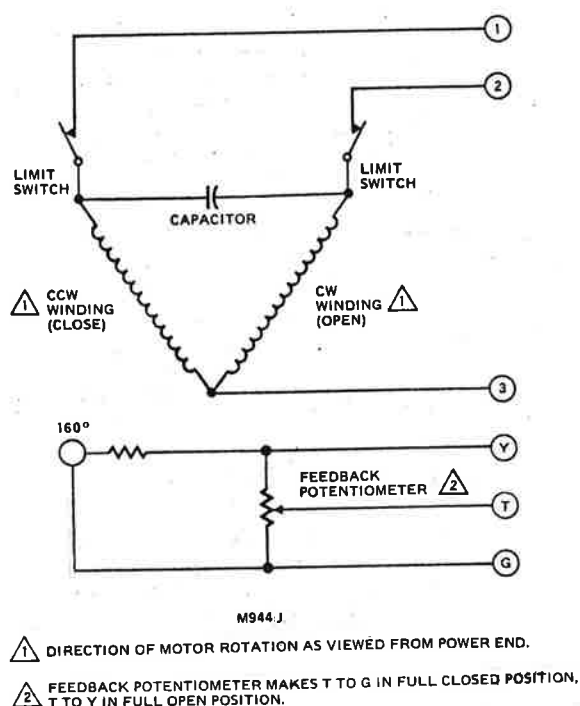


Fig. 7.1 Motorns interna koppling

För att kunna styra motorn från datorn används en koppling enligt fig 7.2. Kretsen fungerar så att den analoga utsignalen ifrån datorn som bestämmer vilket läge som motorn skall inta, spänningsdelas och jämförs med signalen



från motorns svarsvariometer. Beroende på vilket tecken skillnadssignalen har så drar ett av reläen, en av motorlindningarna leder ström och motorn går åt ett visst håll. Motorn strävar att röra sig så att skillnaden mellan svarsvariometer och den spänningsdelade analoga insignalen blir så liten som möjligt. Då den förstärkta skillnadssignalen har blivit tillräckligt liten kommer inget av reläerna att dra och motorn står stilla. Motorn har då intagit det läge som den analoga insignalen anger.

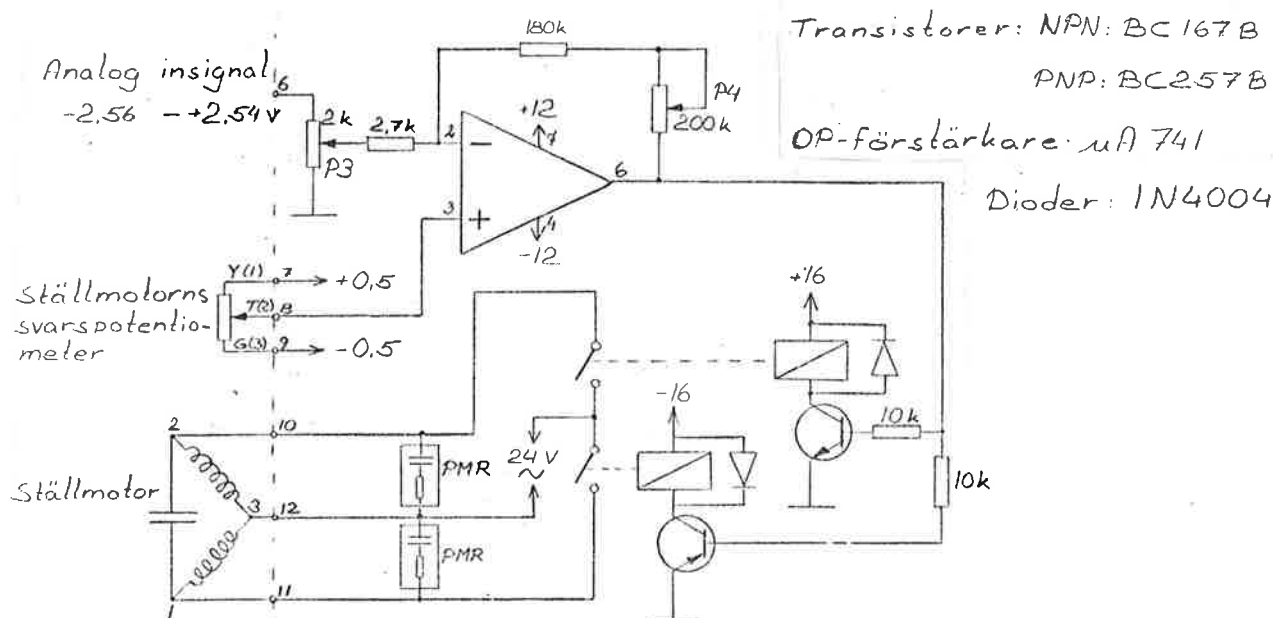


Fig. 7.2 Anpassningsenhet för motorn

## 7.2 Termoelementen

Termoelementen har beskrivits i avsnitt 3.2 och de är applicerade som i fig 4.2. De lämnar ifrån sig en spänning som ligger mellan 0 och 15 mV, men denna spänning är för låg för datorns A/D-omvandlare och måste därför förstärkas, vilket görs med kretsen enligt fig 7.3.

Eftersom man har två termoelement och bara vill bygga en förstärkningskrets så har man en bistabil vippra där man kan skifta termoelement. Om man som insignal till A/D-omvandlaren har en spänning som motsvarar en termospänning på 0 till 15 mV, så får man bara en upplösning på  $5,7^{\circ}\text{C}$  då A/D-omvandlaren endast har 8 bitars noggrannhet. Det tycker man är lite för dåligt, därför har man ett mätområde till där insignalen till A/D-omvandlaren motsvarar en termospänning mellan 10 - 15 mV och det ger en upplösning på  $1,6^{\circ}\text{C}$ . Att man just har valt 10 - 15 mV beror på att temperaturen vid normal drift ligger inom detta intervall.

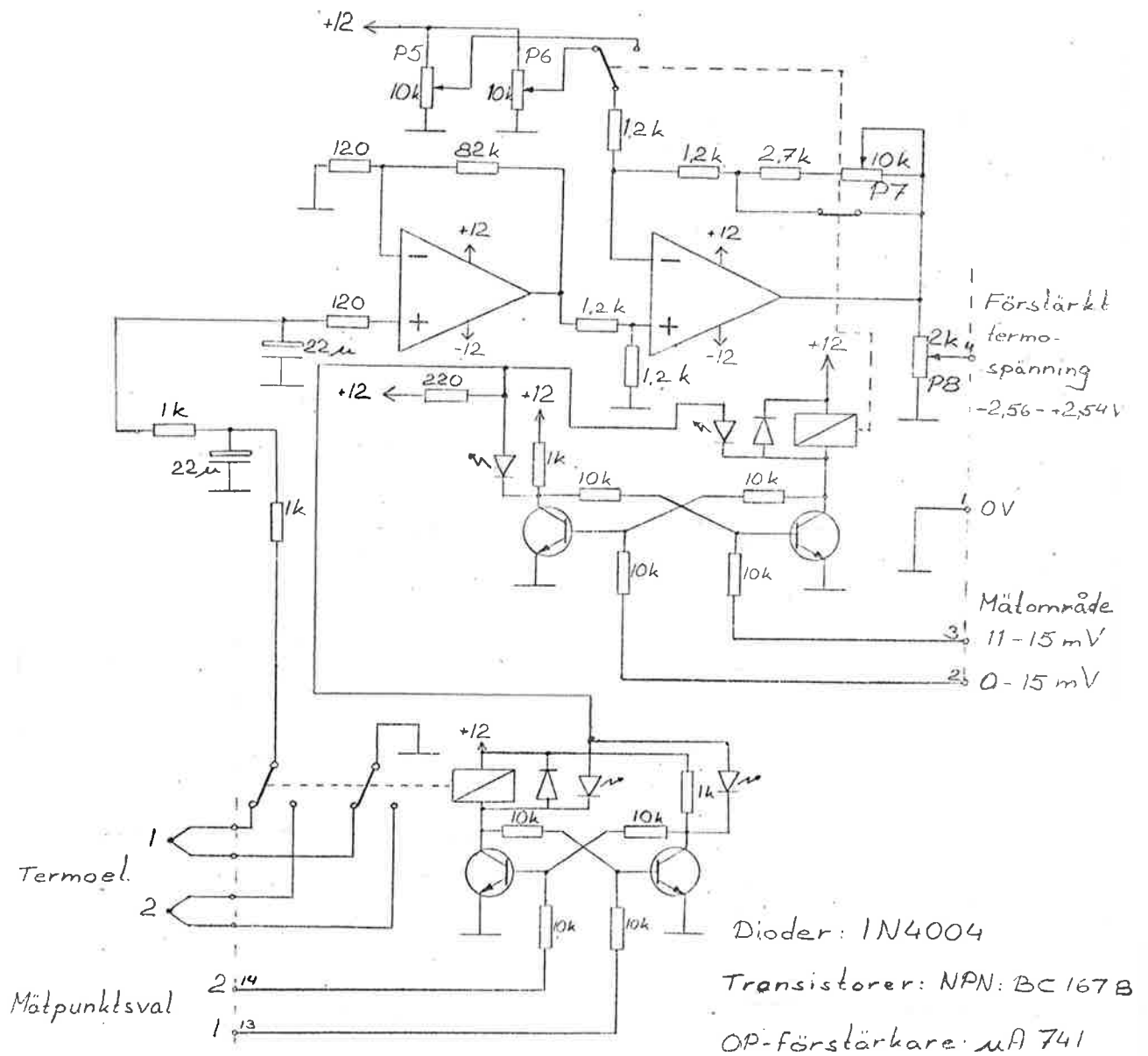


Fig. 7.3 Anpassningsenhet för termoelementen

### 7.3 Program

Programmet är skrivet i BASIC, för att programmeringen skulle bli så enkel som möjligt, samt möjliggöra viss operatör-kommunikation. I detta fall har man bara en reglerloop så datorn hinner gott och väl med att göra vad den ska under ett sample-intervall. Hade man haft fler loopar hade det blivit problem med att få tiden att räcka till. Dessutom hade det behövts ett mera avancerat operativsystem för att sköta regleringen, jfr Wieslander.

Reglerprogrammet består av huvudprogram samt subrutiner för mätdatabehandling, regulator och utskrift.

#### Huvudprogram

Huvudprogrammet börjar med en väntslinga som bara ligger och skickar ut det aktuella motorläget ML samt väntar på att ett avbrott (B2=1) skall genereras.

I datorn har man ett avbrottssystem som aktiveras då man startar upp programmet och som sedan kommer att generera ett avbrott varje sekund. I avbrottsrutinen sätts en händelsevariabel, B2, som startar exekveringen av huvudprogrammet. Varje gång det sker ett avbrott har man en klocka som räknas upp en sekund och på så sätt håller man reda på aktuell tid. Klockan har man också för att man skall kunna gå in och reglera med ett godtyckligt tidsavstånd. Tidsavståndet mellan två regleringar sätter man genom att tilldela variabeln Z1 ett värde som är lika med det antal sekunder man vill ha mellan två regleringstillfällen.

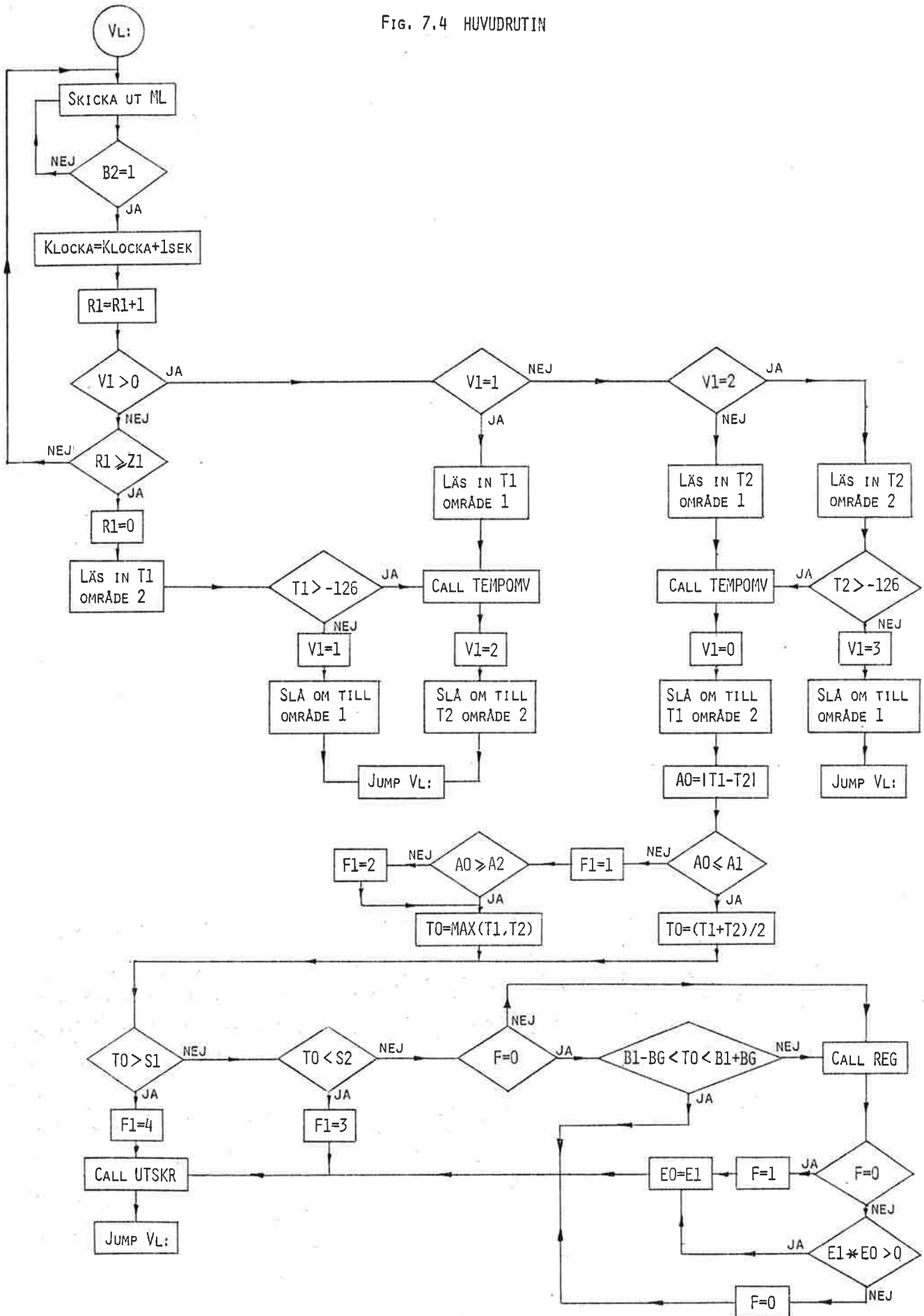
Då det har gått ett tidsavstånd som är lika med Z1 kommer man in och skall reglera.

Man börjar med att läsa in termoelement 1 (T1) område 2 (anpassningsenheten står rätt). A/D-omvandlaren ger ett värde som ligger mellan +127 och -128. Skulle man vid inläsningen av term 1 område 2 få ett värde som är lika med -128 då har man en termospanning som är  $\leq 10$  mV och man måste skifta mätområde och göra om mätningen. När man har ett tal som ligger mellan +127 och -127 så hoppar man till en subrutin TEMPOMV, den omvandlar A/D-signalen till ett riktigt temperaturvärde.

Därefter skiftar man om till termoelement 2 (T2) område 2 och går till väga likadant som för termoelement 1.

Varje gång man gör en skiftning av termoelement, område eller bådadera så slår man om minst ett relä. För att vara säker på att reläet har hunnit slå om ordentligt så hoppar man ut till väntslingan och väntar där en sekund. Därefter fortsätter man i sitt program där den inläsning sker som man nyss har beordrat. Parametern V1 är den som håller reda på

FIG. 7.4 HUVUDRUTIN



var man befinner sig i programmet. Vid uppstart av systemet skall  $V1=0$ . När man har läst in bägge termoelementen och omvandlat deras utspänningar till temperaturer så slår man om till termoelement 1 område 2 för att man skall komma rätt nästa gång man skall in och reglera.

För att kunna detektera en igensättning eller ett fel på det ena termoelementet så bildar man absolutbeloppet ( $A\emptyset$ ) av skillnaden mellan de två temperaturerna. Om  $A\emptyset$  är mindre än ett visst värde,  $A1$ , så bildar man medelvärde ( $T\emptyset$ ) av de två temperaturerna. Skulle  $A\emptyset$  ligga mellan  $A1$  och  $A2$  så ger man utskriftsrutinen ett meddelande om igensättning och reglerar på maxtemperaturen av de två. Reglerar på maxtemperaturen gör man även om  $A\emptyset$  skulle vara större än  $A2$  för då har man ett fel på det ena termoelementet och utskriftsrutinen meddelas om detta. Lämpliga värden på  $A1$  och  $A2$  är  $15^{\circ}\text{C}$  resp.  $50^{\circ}\text{C}$ .

Nu har man en temperatur,  $T\emptyset$ , som är bildad som medelvärdet mellan de två temperaturerna eller som maxvärdet av dem. Detta värde testas om det ligger inom rimliga gränser.  $T\emptyset$  testas först mot en övre gräns ( $S1$ ) och därefter mot en undre gräns ( $S2$ ). Skulle  $T\emptyset$  ligga utanför detta intervall så gör man en felutskrift men ingen reglering.

Själva regleringen går till så att så länge man ligger inom ett visst avstånd ( $BG$ ) ifrån börvärdet ( $B1$ ) så händer inget.

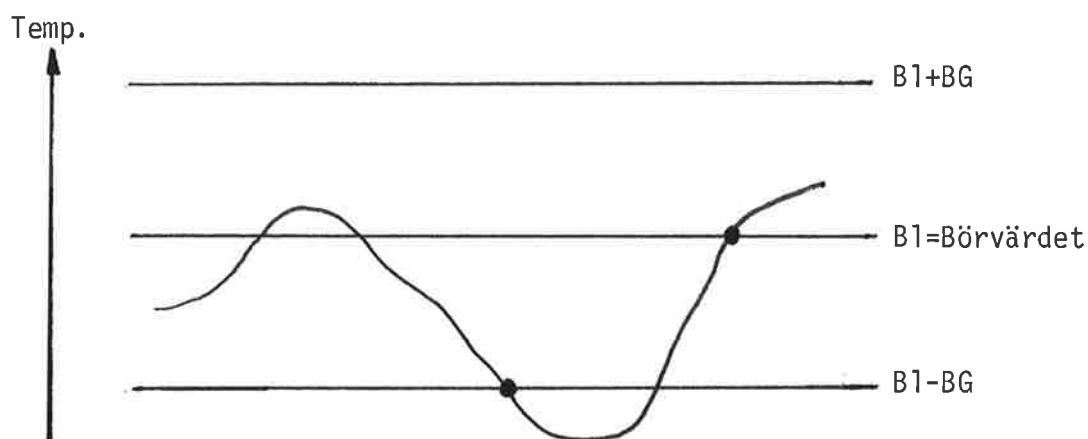


Fig. 7.5 Reglerfönster

Skulle ett värde ligga utanför fönstret B1+BG så kommer det att drivas inte bara in i fönstret utan också så att reglerfelet byter tecken. Det innebär att om man får ett värde som ligger under B1-BG kommer det att ökas successivt så att det kommer på andra sidan om B1. När man har gjort detta hoppar man till en subrutin UTSKR som ger en utskrift av processvärden och fel. Därefter lägger man sig åter i väntslingan.

### Mätdatabehandling

Denna subrutin gör om den A/D-omvandlade termospänningen till ett temperaturvärde.

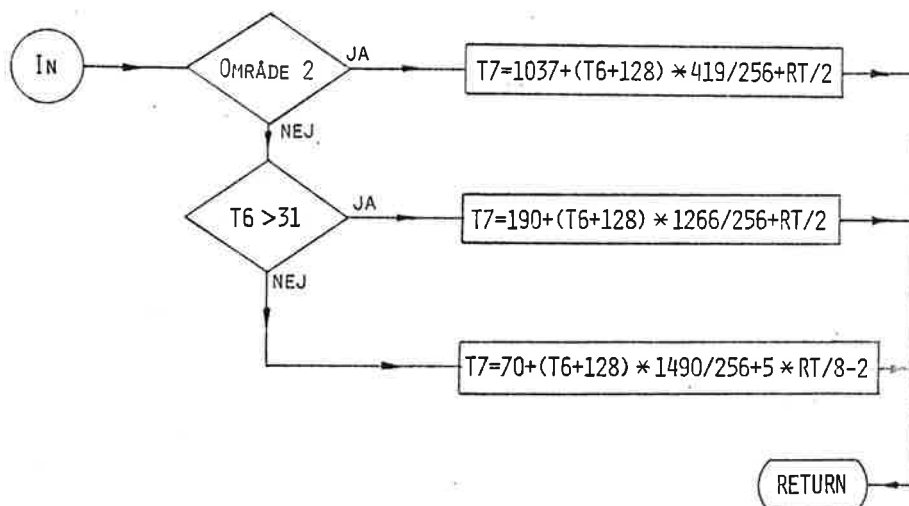
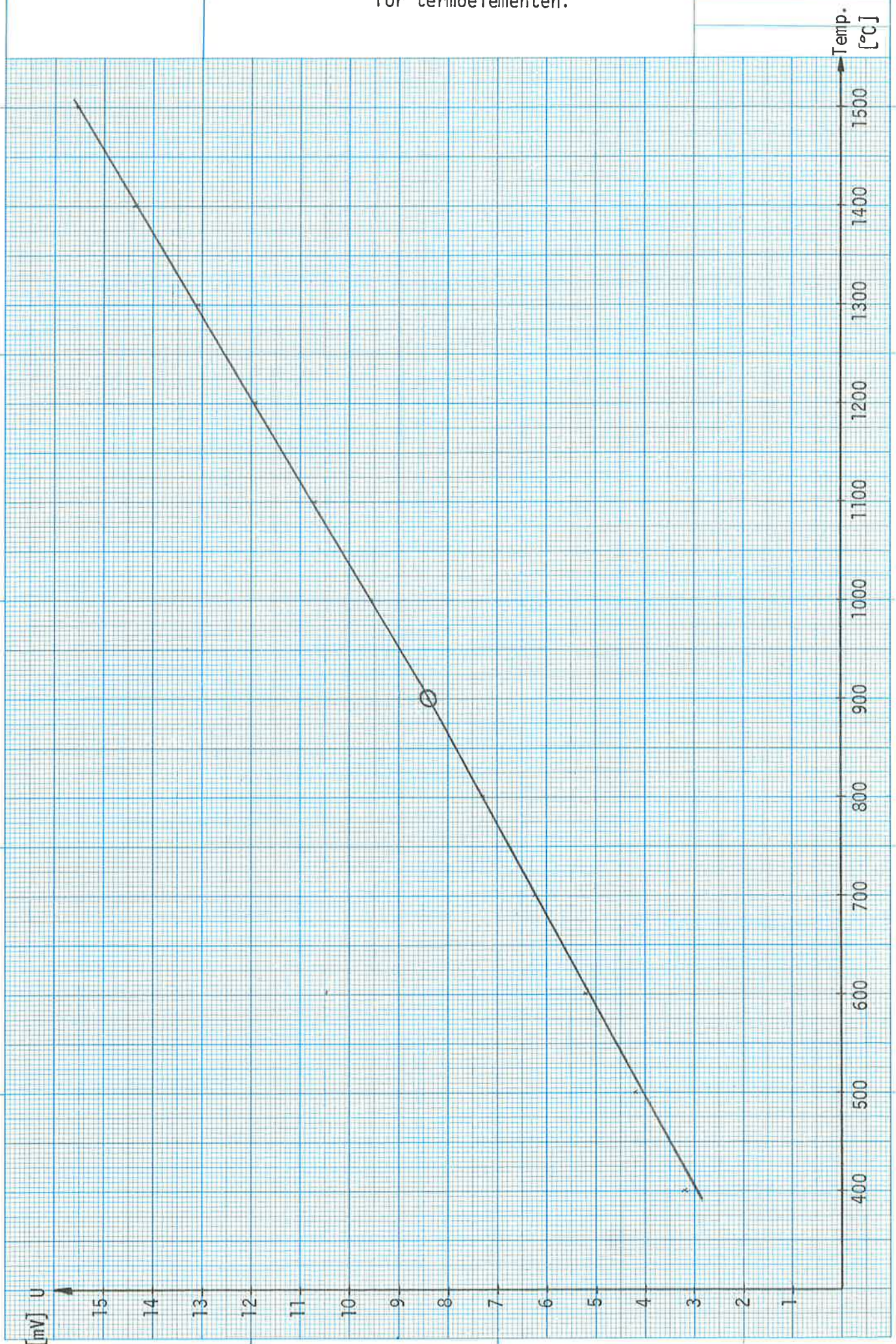


Fig. 7.6 Temperaturrutinen

Genom variabeln O1 tar man hänsyn till vilket område man har i anpassningsenheten. Temperaturen beror ej linjärt på termospänningen, men en god approximation uppnås genom två linjära områden med en brytpunkt vid 900°C.

Se figur 7.7.

Fig. 7.7 Temperatur-spännings sambandet för termoelementen.



## Regulator

I detta fallet en vanlig P-regulator med begränsare.

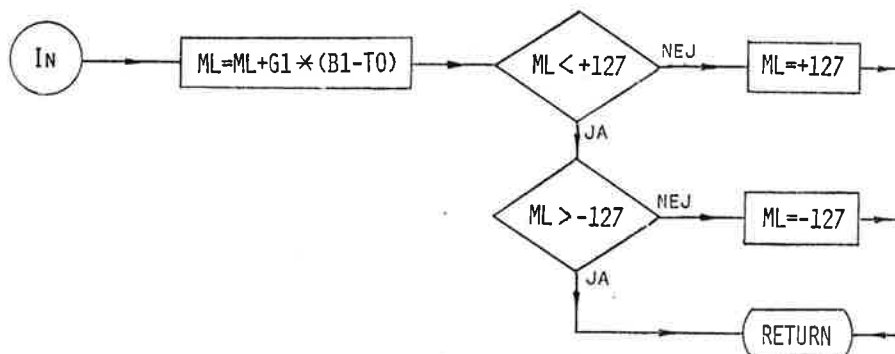


Fig. 7.8 Regulatorrutinen

## Utskrift

En utskrift får man varje gång man vill gå in och reglera, alltså med ett tidsavstånd som är lika med  $Z1$ .

I utskriften får man tid, temperaturer på vänster och höger termoelement, motorläget och om det har uppstått något fel, en kommentar om felet. Då ett fel skrivs ut får man även en akustisk signal (BELL).

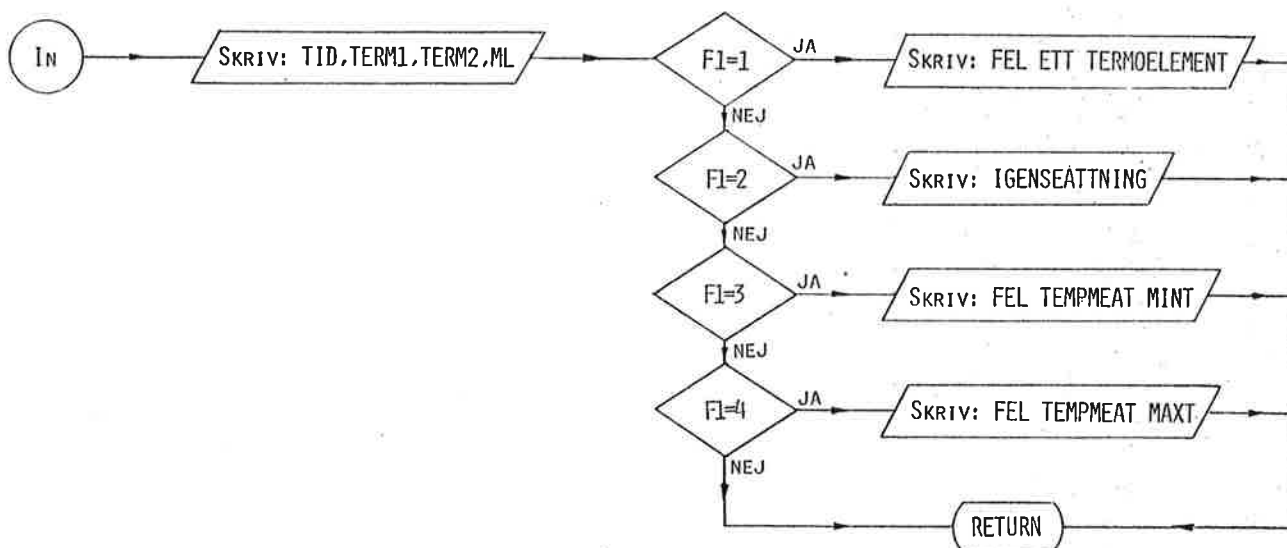


Fig. 7.9 Utskriftsrutinen



## 7.4 Uppstart

Utöver de förut beskrivna rutinerna behöver man vid uppstart lägga in en rutin för att ta hand om avbrott. Dessutom behöver man ge startvärden åt vissa parametrar i rutinerna. Adresser och cellinnehåll ges i hexadecimal form.

På adress 0000 lägger man in en instruktion EI, enable interrupt, som sätter på avbrottssystemet så att avbrott som genereras ifrån avbrottsklockan kan tagas emot av avbrottsrutinen. På adress 0038 lägger man in en hoppinstruktion till adress 2900. Vid ett avbrott kommer man alltid till adress 0038 och då hoppar man vidare till avbrottsrutinen på adress 2900. I cellerna 2900-290A ligger avbrottsrutinen som räknar upp innehållet i minnescell 2A00 (10752 decimalt) med ett och därefter återvänder till huvudrutinen. Se appendix. Vid uppstart ska cell 2A00 nollställas.

Allra först i huvudrutinen kommer en parameterlista, där de ingående variablerna ska tilldelas värde före start. Variablerna B2,R1,O1,V1,F och F1 måste ha vissa bestämda värden medan övriga variabler kan tilldelas godtyckliga värden. En del lämpliga sådana värden finns föreslagna i listningen av rutinerna, se appendix.

När man startar upp systemet så ska anpassningsenheten stå i läge termoelement 1 och område 2. Område 2 innebär 10-15 mV området. Anledningen till att område 2 ska vara inkopplat är att man har bäst upplösning där och det är där man kommer att ligga vid de flesta mätningar.

## 8. RESULTAT FRÅN TESTKÖRNINGAR

Föregående implementering av en reglerloop kördes kontinuerligt under en vecka, och det hela fungerade helt tillfredsställande. Figurerna 8.1 och 8.2 visar vad som hände med motorläget och temperaturen i brännkammaren vid två börvärdesändringar. När dessa kurvor har tagits upp har man haft ett samplingsintervall på en minut och reglerfönstret har varit  $\pm 15^{\circ}\text{C}$ , jfr fig. 7.5.

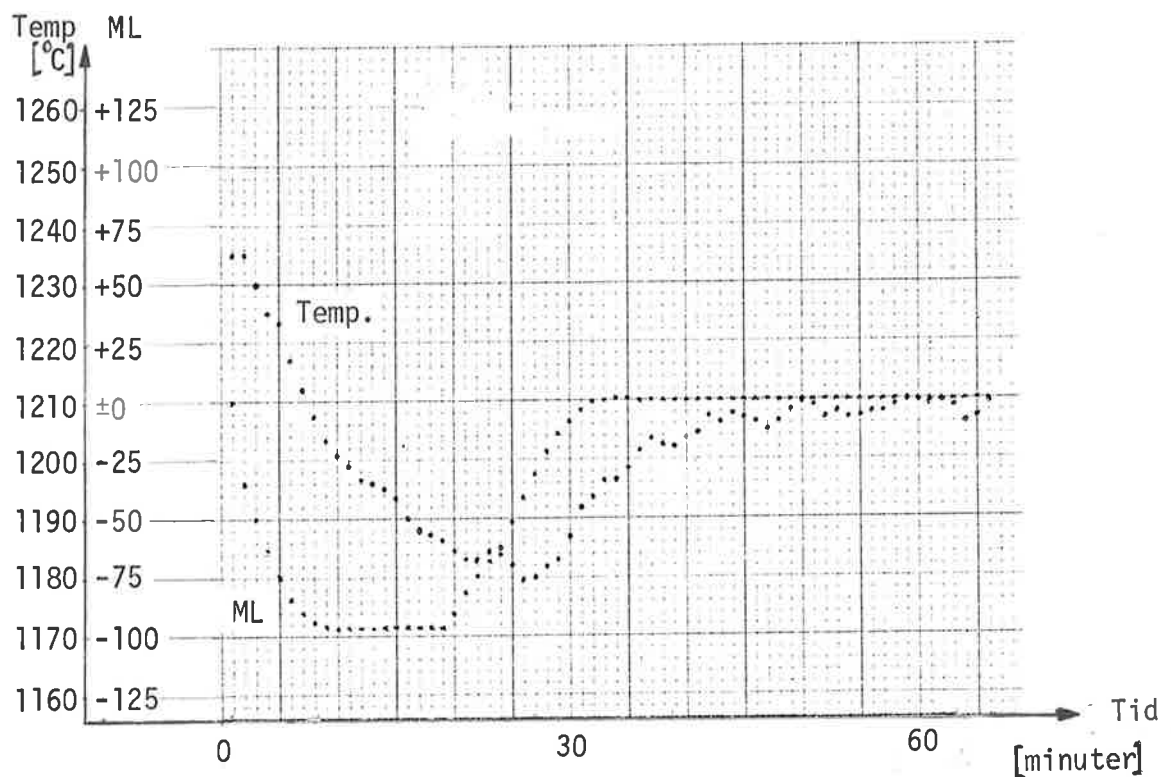
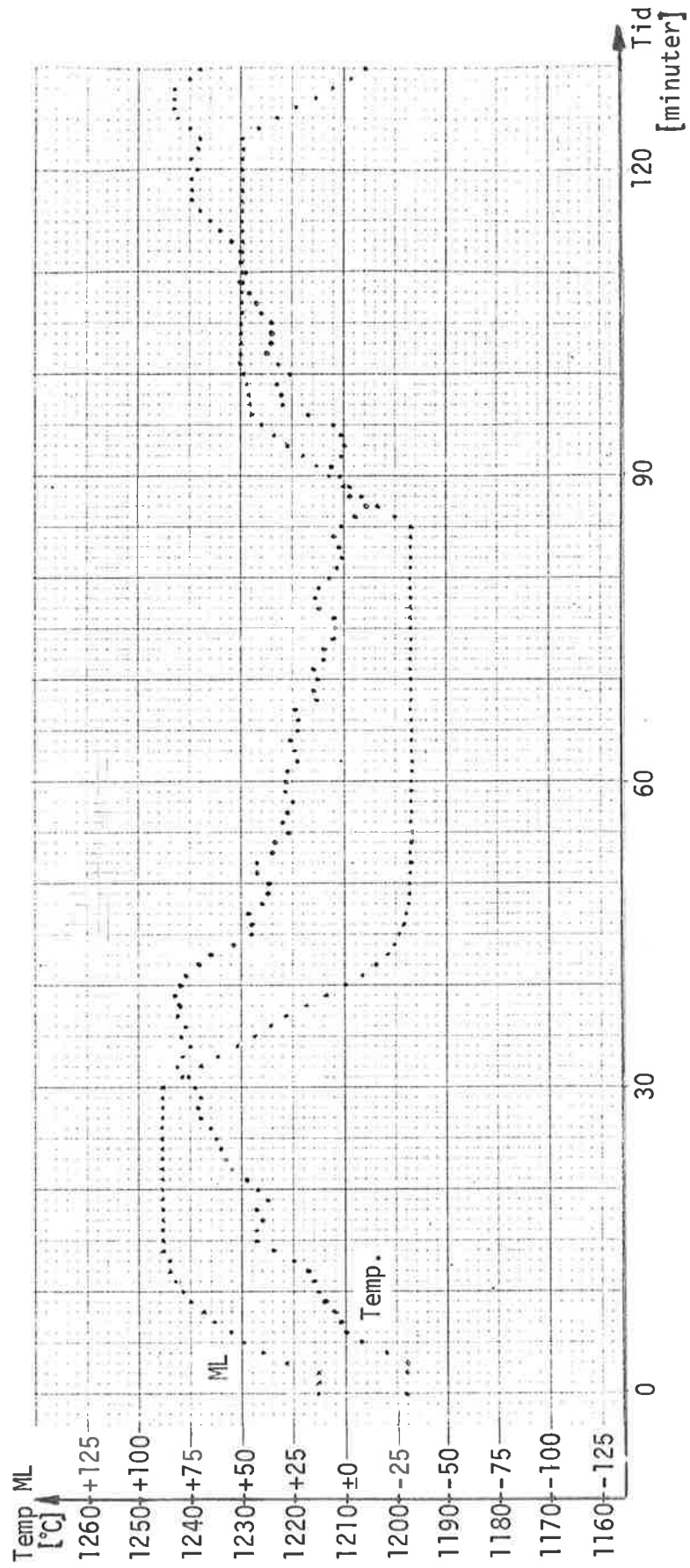


Fig. 8.1 Börvärdes ändring från 1235°C till 1200°C.

Fig. 8.2 Börvärdes ändring från 1200 °C till 1225 °C.



## 9. SAMMANFATTNING

Regleringen som presenterades i kapitel 5 och som sedan realiserades i kapitel 7 fungerade helt tillfredsställande vid testkörning. Vid testkörningarna framkom det heller inget som talade emot en datorstyrning av tunnelugnen. Men för att utröna den saken ordentligt behöver man bygga upp större reglerloopar och göra flera experimentkörningar. Hur sådana saker som specialvagnar och skjuttidsändringar påverkar regleringen är delvis berört, men för att komma fram till lämpliga datorprogram som tar hänsyn till dessa saker behövs experiment.

I automatiska system blir det problem vid spänningsbortfall, och här behövs utredas hur man då ska kunna reglera ugnen manuellt.

Då man vid IFÖ har flera tunnelugnar som ligger bredvid varandra så kan man även diskutera huruvida man kan använda en dator för att styra flera ugnar. Nackdelen med det är att eftersom datorenheten endast utgör en liten del av den totala kostnaden för ett automatiskt regler-system, är det av driftsäkerhetsskäl lämpligast att ha en dator för varje ugn.

## 10. REFERENSER

- Aström, K. J.: Reglerteori, Almqvist & Wiksell, 2:a uppl., Uppsala 1976
- Wieslander, J.: Datorn som systemkomponent, Ingenjörsläroverket,  
Stockholm 1977

APPENDIX    Initieringsdialog och komplettering av BASIC-program för  
att avbrottsrutinen skall fungera.

Vid initiering av BASIC-interpretatorn anges  
MEMORY SIZE 10496.

Nedanstående subrutin inskrives i RAM-minne med hjälp av monitor:

0000 EI            FB

0038 JMP          C3

0039              00

003A              29

2900 PUSH PSW    F5

2901 EI            FB

2902 LDA          3A

2903              00

2904              2A

2905 INR A        3C

2906 STA          32

2907              00

2908              2A

2909 POP          F1

290A RET          C9

## BASIC-reglerprogram

```

2   K1=          sek }
4   K2=          min } aktuell tid
6   K3=          tim }
8   ML=          motorläget
10  B2=Ø
12  R1=Ø
14  Z1= [12Ø]    sample-intervallet i sek
16  O1=2        område
18  A1= [15]    undre igensättningsgräns
20  A2= [5Ø]    övre igensättningsgräns
22  S1= [15ØØ]  övre felgräns
24  S2= [5ØØ]  undre felgräns
26  B1=         börvärdet
28  BG= [15]    reglerfönstret
30  G1= [Ø.5]   förstärkningen
32  RT=         rumstemperaturen
34  V1=Ø
36  F=Ø
38  F1=Ø
100 OUT 5Ø,31
110 B2=PEEK(1Ø752)
120 IF ML<Ø THEN 15Ø
130 M4=ML
150 M4=ML+256
160 OUT 9,M4
170 IF B2<1 THEN 1ØØ
180 B2=B2-1
190 POKE 10752,B2
200 K1=K1+1
210 IF K1<>6Ø THEN 29Ø
220 K1=Ø
230 K2=K2+1
240 IF K2<>6Ø THEN 29Ø
250 K2=Ø

```

```
260 K3=K3+1
270 IF K3<>24 THEN 290
280 K3=0
290 R1=R1+1
300 IF V1>0 THEN 410
310 IF R1<Z1 THEN 100
320 R1=0
330 T1=INP(9)
340 IF T1=<127 THEN 360
350 T1=T1-256
360 IF T1>-126 THEN 450
370 V1=1
380 O1=1
390 OUT 8,5
400 GOTO 100
410 IF V1<>1 THEN 520
420 T1=INP(9)
430 IF T1=<127 THEN 450
440 T1=T1-256
450 T6=T1
460 GOSUB 1500
465 T7=INT(T7+0.5)
470 T1=T7
480 V1=2
490 O1=2
500 OUT 8,10
510 GOTO 100
520 IF V1<>2 THEN 610
530 T2=INP(9)
540 IF T2=<127 THEN 560
550 T2=T2-256
560 IF T2>-126 THEN 640
570 V1=3
580 O1=1
590 OUT 8,9
600 GOTO 100
```



```
610 T2=INP(9)
620 IF T2>=0 THEN 640
630 T2=T2-256
640 T6=T2
650 GOSUB 1500
655 T7=INT(T7+0.5)
660 T2=T7
670 V1=0
680 O1=2
690 OUT 8,6
700 A0=ABS(T1-T2)
710 IF A0>=A1 THEN 740
720 T0=(T1+T2)/2
730 GOTO 780
740 F1=1
750 IF A0>=A2 THEN 770
760 F1=2
770 T0=-((T1>T2)*T1-(T1<=T2)*T2)
780 IF T0>=S1 THEN 920
790 IF T0>S2 THEN 820
800 F1=3
810 GOTO 930
820 IF F<>0 THEN 840
830 IF T0>B1-BG AND T0<B1+BG THEN 930
840 GOSUB 1300
850 IF F<>0 THEN 890
860 F=1
870 E0=E1
880 GOTO 930
890 IF E0=<0 AND E1=<0 OR E0>=0 AND E1>=0 THEN 870
900 F=0
910 GOTO 930
920 F1=4
930 GOSUB 1000
940 F1=0
950 GOTO 1000
```

## Utskriftsrutinen

```

1000 PRINT K3;K2;K1;TAB(15);"TERM1=";T1;TAB(32);"TERM2=";T2;TAB(49);
      "ML=";ML;
1010 ON F1 GOTO 1040,1060,1080,1100
1020 PRINT
1030 RETURN
1040 PRINT "FEL ETT TERMOELEMENT"
1050 RETURN
1060 PRINT "IGENSÄTTNING"
1070 RETURN
1080 PRINT "FEL TEMP MÅT MINT"
1090 RETURN
1100 PRINT "FEL TEMP MÅT MAXT"
1110 RETURN

```

## Regulatorrutinen

```

1300 E1=B1-T0
1310 ML=ML+INT(G1*E1)
1320 IF ML<128 THEN 1350
1330 ML=127
1340 GOTO 1370
1350 IF ML>-127 THEN 1370
1360 ML=-127
1370 RETURN

```

## Temperaturrutinen

```

1500 IF O1<>2 THEN 1530
1510 T7=1037+(T6+128)*419/256+RT/2
1520 GOTO 1570
1530 IF T6>31 THEN 1560
1540 T7=70+(T6+128)*1490/256+5*RT/8-2
1550 GOTO 1570
1560 T7=190+(T6+128)*1266/256+RT/2
1570 RETURN

```