

CODEN: LUTFD2/(TFRT-5345)/1-64/(1986)

Värmemängdmätning för fjärrvärmenät
kombinerat med reglering av flöde
och differenstemperatur

Peter Engström

Institutionen för Reglerteknik
Lunds Tekniska Högskola
Februari 1986

Department of Automatic Control Lund Institute of Technology P.O. Box 118 S-221 00 Lund Sweden	<i>Document name</i> MASTER THESIS	
	<i>Date of issue</i> February 1986	
	<i>Document Number</i> CODEN: LUTFD2/(TFRT-5345)/1-64/(1986)	
<i>Author(s)</i> Peter Engström	<i>Supervisor</i> Björn Wittenmark	
	<i>Sponsoring organisation</i>	
<i>Title and subtitle</i> Värmemängdmätning för fjärrvärmenät, kombinerat med reglering av flöde och differens-temperatur (Measurements of heatflow in heating networks combined with control of flow and difference temperature)		
<i>Abstract</i> <p>In this report heat quantity measuring and temperature regulation of smaller heating networks have been studied. At lower flows, as well as at lower difference temperatures, the accuracy of the measurement is very low. Today's control of a heating plant endeavour to let the temperature of the water into the heating network follow the heat requirement. This control strategy leads to small heat losses in the network. It also leads to very low difference temperatures when the heat requirement is low (in the summer half). The low difference temperature implicates a debiting error between 3-20%, usually too low.</p> <p>The purpose of this work has been to replace the debiting and control units with one, combined unit. Then not only the forward temperature but also the difference temperature and the flow can be controlled. A higher accuracy then can be guaranteed, even though the heat requirement is low. To investigate some strategies a dynamical model of a heating network has been used. Simulations have shown that it's possible to find a new operating point, which leads to a more accurate debiting. A suggestion to a simple, combined debiter-controller is presented. The suggestion has been implemented in a PC-system, ASEA Masterpiece 260. In purpose to verify the theories practically, the PC-system has been installed in a small heating plant. The new control strategy turned out to be very good. The debiting error could be reduced with almost 5%. For a more precise estimation of how much a heat producer can recover, further tests must be done.</p>		
<i>Key words</i>		
<i>Classification system and/or index terms (if any)</i>		
<i>Supplementary bibliographical information</i>		
<i>ISSN and key title</i>		<i>ISBN</i>
<i>Language</i> Swedish	<i>Number of pages</i> 68	<i>Recipient's notes</i>
<i>Security classification</i>		

**VÄRMEMÄNGDMÄTNING FÖR FJÄRRVÄRMENÄT, KOMBINERAT MED
REGLERING AV FLÖDE OCH DIFFERENSTEMPERATUR**

PETER ENGSTRÖM

Examensarbete utfört på Sydkraft AB, Malmö under
sommaren och hösten 1985.

Handledare: Sven Ferdinandsson, Sydkraft
Jan-Åke Nilsson, Sydkraft
Björn Wittenmark, Inst. för reglerteknik, LTH

FÖRORD

Denna rapport utgör ett examensarbete inom institutionen för Reglerteknik, LTH, och har utförts på Sydkraft AB, Malmö. Handledare för examensarbetet har varit Sven Ferdinandsson och Jan-Åke Nilsson, Sydkraft, samt Björn Wittenmark, LTH.

Avsikten med arbetet har varit att ta fram ett konkret förslag till en kombinerad värmemängdsmätare och regulator för ett mindre fjärrvärmenät, samt att prova detta i praktiken.

Att försöka sätta sig in i värmeteknikens problematik, terminologi m.m. har varit ganska arbetsamt, men samtidigt mycket stimulerande.

Även arbetet med ASEA Master har varit nyttigt och mycket givande. Det enda som saknades på den s.k. husmaskin som jag använde var ett minne med batteri-backup. När man kommer ut till anläggningen efter ett spänningsfall inser man plötsligt vikten av att ha tagit en backup av den senaste programversionen, istället för den som fanns 20 ändringar tidigare.

Fortfarande är det för mig en gåta hur man kan köra ända till Kävlinge bara för att, när man kommer fram, upptäcka att man glömt nyckeln till panncentralen i Malmö. Vilken känsla att stå utanför en låst dörr helt maktlös. För att inte tala om när PC-programmet skulle ändras. Vid ankomsten till Kävlinge upptäcker jag att programmeringshjälpmedlet står kvar i Malmö. Vad hjälper det då att man har nyckeln med sig? Som sagt var, mycket givande.

Jag vill rikta ett stort tack till mina handledare som hela tiden ställt upp med tips, idéer och kritik. Jag har aldrig behövt stå handfallen.

Jag vill även, på detta sätt, tacka hustruaspiranten Carina som stått ut med mig och mina ibland något onormala dygnsrytmer. Just nu undrar hon nog var jag blir av.

Malmö den 5 december 1985 kl 02.06



Peter Engström

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid.</u>
0. SAMMANFATTNING	1
1. ALLMÄNT OM VÄRMEMÄNGDSMÄTNING	3
1.1 Definitioner och teori	3
1.2 Mätning av temperatur	6
1.3 Mätning av flöde	7
1.4 Integrering	10
2. REGLERING AV FRAMLEDNINGSTEMPERATUR	12
3. PROBLEMFÖRMULERING OCH LÖSNINGSFÖRSLAG	14
3.1 Examensarbetets bakgrund och omfattning	14
3.2 Några förslag till regulator	15
3.3 Utveckling av förslag till regulator	17
3.4 Förslag till metod för integrering	20
4. SIMULERING	21
4.1 Modell av ett fjärrvärmenät	21
4.2 Simuleringar	26
4.3 Kommentarer till resultatet	27
5. IMPLEMENTERING	29
5.1 Allmänt	29
5.2 ASEA MasterPiece - för- och nackdelar	30
5.3 Kommentarer till PC-programmet	32
6. TESTNING OCH UTVÄRDERING	37
6.1 Installering	37
6.2 Testning	37
6.3 Utvärdering	38
REFERENSER	
BILAGOR	

0. SAMMANFATTNING

Detta examensarbete behandlar värmemängdsmätning i mindre fjärrvärmenät, typ radhusområden, samt regleringen av framledningstemperaturen till dessa nät. Värmemängdsmätning används för debiteringsmätning i fjärrvärmecentraler. Den levererade värmemängden bestäms matematiskt som:

$$Q = \int c(T)\rho(T)q_v \Delta T dt$$

där

$c(T)$	=	specifika värmekapaciteten hos vattnet [J/K*kg]
$\rho(T)$	=	vattnets densitet [kg/l]
q_v	=	volymflödet genom nätet [l/s]
ΔT	=	differenstemperatur [K]

Värmemängdsmätningen blir såväl vid låga flöden som vid låga differensstemperaturer mycket noggrann. Regleringen av temperaturen ut i fjärrvärmenätets framledning sker med hjälp av en shuntventil. Denna styr hur stor del av returvattnet som skall släppas genom pannan för uppvärmning. Framledningstemperaturen regleras idag så att den följer nätets värmebehov, börvärdet bestäms via utomhustemperaturen. Detta för att få så små förluster som möjligt ute i nätet. Därmed fås ett näst intill maximalt flöde genom nätet, utom då värmebehovet är mycket litet.

Under sommarhalvåret är nätets värmebehov litet, vilket medför en mycket låg differensstemperatur, ofta med bibehållet högt flöde ut i nätet. Den låga differensstemperaturen leder i sin tur till feldebitering, oftast för låg, med mellan 3-20%. Detta innebär naturligtvis stora ekonomiska förluster för olika värmeleverantörer. Så länge som regleringen av framledningstemperaturen endast strävar efter att följa nätets värmebehov kommer problemet att kvarstå.

För att förbättra debiteringen ytterligare måste det alltså till ett nytänkande och det är vad som ligger bakom detta examensarbete. Arbetet har syftat till att ersätta debiterings- och regleringsenheterna med en enda, kombinerad enhet. Därmed kan regulatorn även styra differensstemperaturen och flödet. På detta sätt kan en utrustning byggas upp, där man i normal drift kan garantera hög noggrannhet på värmemängdsmätningen, trots den låga lasten.

För att teoretiskt undersöka om en sådan reglering är möjlig har en dynamisk modell av ett fjärrvärmenät tagits fram. Med hjälp av simuleringspaketet SIMNON har nätets reaktion på olika ändringar av framledningstemperaturen kunnat studeras. Simuleringarna visade att det med en höjning av framledningstemperaturen är möjligt att sänka flödet och höja differensstemperaturen. Simuleringarna visade vidare att det är möjligt att hitta en ny arbetspunkt för nätet, i vilken man får en betydligt noggrannare debitering.

Ett förslag till en enkel kombinerad värmemängdsmätare-regulator har därefter tagits fram. Förslaget innebär i korthet att en korrektionsfaktor lägges till det ur utomhustemperaturen beräknade börvärdet för framledningstemperaturen. Genom att höja eller sänka denna korrektionsfaktor kan man öka eller minska differensstemperaturen, resp. minska eller öka flödet. Framledningstemperaturen kommer fortfarande att följa ändringar i värmebehovet, men man har fått en betydligt noggrannare debitering.

Förslaget till en kombinerad regulator-värmemängdsmätare har sedan implementerats i ett PC-system, ASEA MasterPiece 260. MasterPiece är en familj av avancerade PC-system (PC=Programmable Controller), som förutom ren styrlogik även innehåller flyttalsaritmetik, filter, regulatorer m.m. Dessutom innehåller MasterPiece mycket fina dokumentationsmöjligheter. Det inmatade PC-programmet kan presenteras grafiskt med s.k. PC-element. Varje PC-element representerar en komplett funktion (logisk grind, regulator m.m.). Detta dokumentationssätt är överlägset de flesta andra PC-systemen på marknaden.

För att kunna verifiera teorierna praktiskt installerades PC-systemet i en anläggning, radhusområdet Arvidsborg i Kävlinge. Den framtagna regulatorn, som i sig är väldigt enkel, visade sig fungera mycket bra. Med den något förnyade reglerstrategin kunde felet i debiteringen minskas ned nästan 5%. Detta innebär att kunden kunde ha debiterats med ytterligare ca 4.3 MWh totalt under månaderna maj-augusti. Enkelheten hos regulatorn gör att den snabbt kan installeras i ett flertal liknande anläggningar. För en noggrannare bedömning av hur mycket man som leverantör av värme, kan tjäna in bör dock mer omfattande tester utföras.

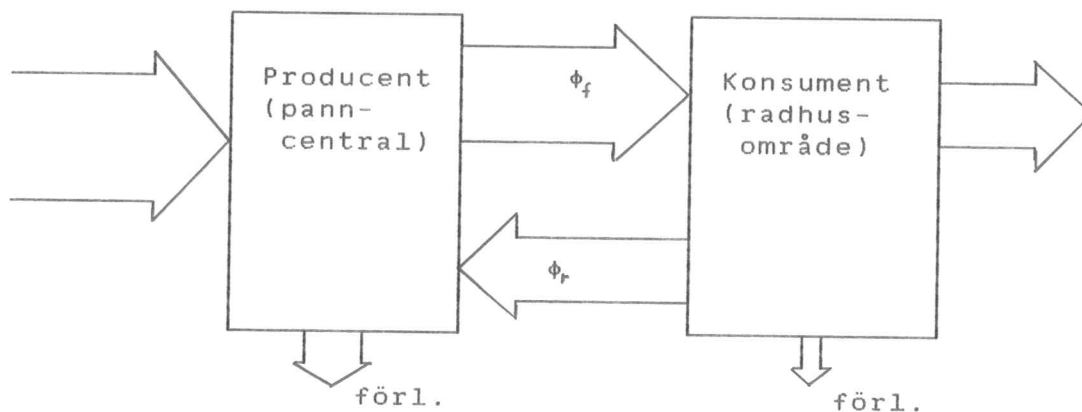
Detta arbete har alltså visat att man, genom att tumma lite på tankarna att låta framledningstemperaturen följa lasten enligt en förutbestämd kurva, kan åstadkomma en betydligt noggrannare debitering. Detta faktum borde vara något att tänka på för olika leverantörer av värme.

1. ALLMÄNT OM VÄRMEMÄNGDSMÄTNING

1.1 DEFINITIONER OCH TEORI

Vid mätning av producerad/konsumerad vattenburen energi används begreppet värmefflöde. Värmefflödet, ϕ , är den värme(energi)mängd per tidsenhet som passerar ett fysiskt tvärsnitt av vattenstammen. Värmefflödet får därför dimensionen effekt (energi per tidsenhet) d.v.s. [Watt=Joule/s].

Den värmemängd, Q , som under en viss tid produceras/konsumeras definieras som tidsintegralen av värmefflödet. Förbrukad energi på mottagarsidan (t.ex. radhusområde) blir då skillnaden mellan utsänd och mottagen energi sett från produktionssidan (t.ex. panncentral).



Figur 1.1

Den förbrukade energin uttrycks som:

$$Q = \int (\phi_f - \phi_r) dt = \int \phi dt$$

där ϕ_f och ϕ_r är värmefflödet i fram- resp. returledningen.

$$\phi = \phi_f - \phi_r = h(T_f, p_f)q_m - h(T_r, p_r)q_m$$

där

$h(T, p)$ = specifik entalpi d.v.s. den inre energi (J/kg) som finns i vattnet vid en viss temperatur och ett visst tryck

q_m = massflöde (kg/s) = $\rho(T)q_v$, där i sin tur

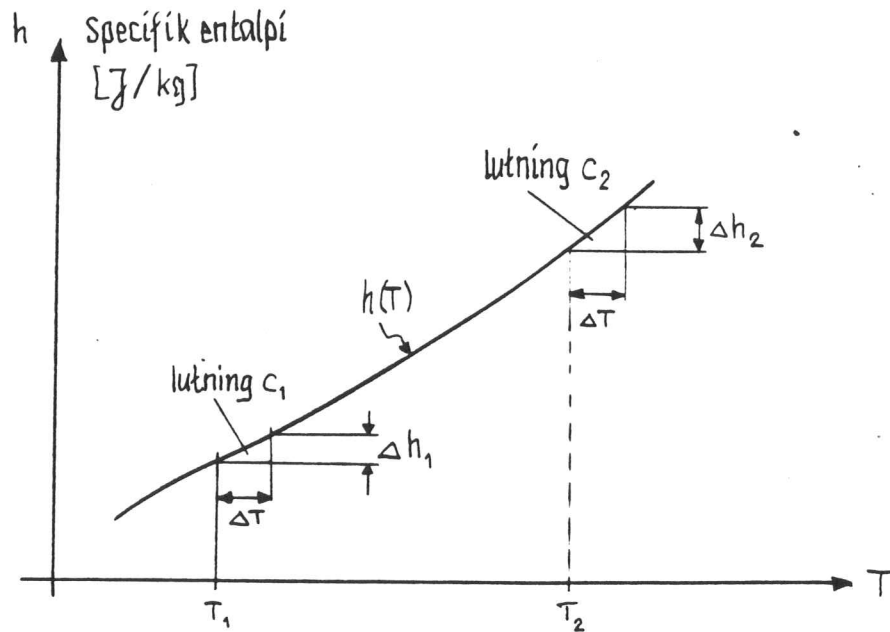
ρ = densitet (kg/l)

q_v = volymflöde (l/s)

Då specifika entalpin uppvisar mycket litet tryckberoende (en tryckändring på 10 bar motsvarar en entalpiändring på ca 0,1% vid 100°C) försummas detta. Då fås istället:

$$\phi = [h(T_f) - h(T_r)]q_m = \Delta h * q_m$$

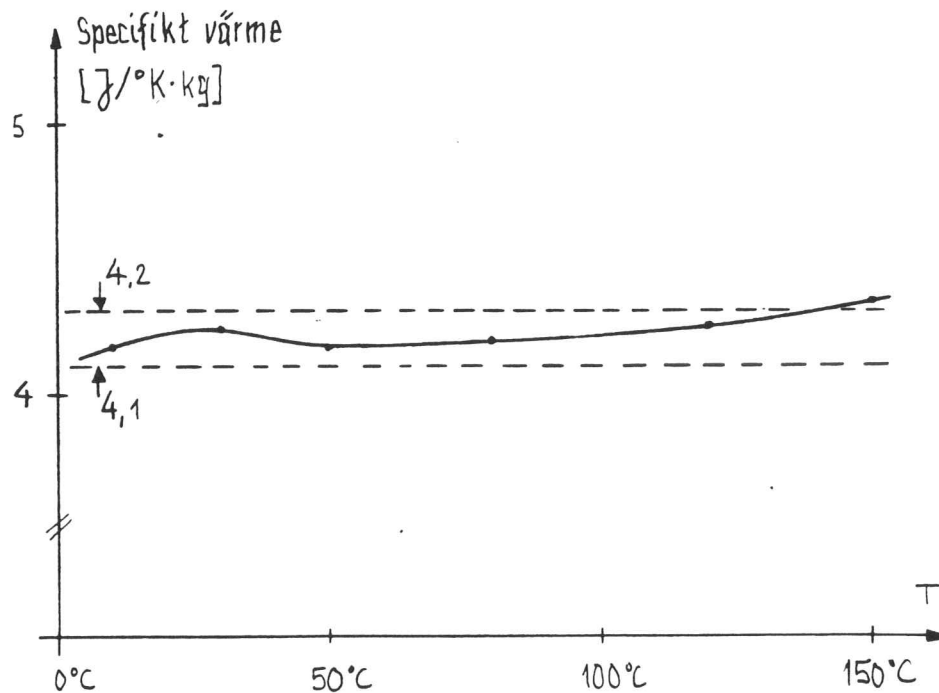
$$h(T) = h_0 + c * T \Rightarrow \phi = c * \Delta T * q_m, \text{ där } \Delta T = T_f - T_r$$



Figur 1.2

Som framgår av figur 1.2 är $c(T)$ lutningen i $h(T)$ -kurvan vid temperaturen T och motsvarar den värmemängd som går åt för att höja temperaturen hos 1 kg vatten med 1 K.

c kallas specifik värme och har ett temperaturberoende enligt figur 1.3.



Figur 1.3 Specifika värmets variation med temperaturen för vatten med trycket konstant = 10 bar.

Den förbrukade värmen hos mottagarsidan fås alltså som:

$$Q = \int c(T) \rho(T) q_v \Delta T dt$$

För att kunna beräkna den förbrukade värmemängden behöver man alltså kunna mäta följande tre storheter:

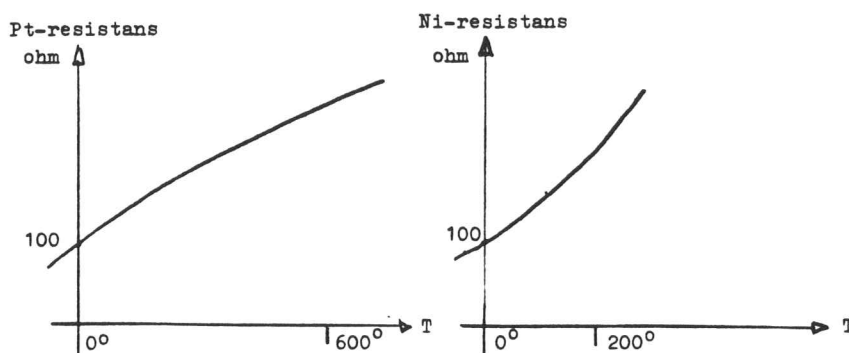
- Temperaturen i framledningen, T_f
- Temperaturen i returledningen, T_r
- Volymflödet, q_v

1.2 MÄTNING AV TEMPERATUR

Vid mätning av temperatur utnyttjas att rena metaller har temperaturberoende resistans. Platina och Nickel har visat sig bäst lämpade att använda som motståndstermometrar. De mest framträdande egenskaperna hos dessa metaller är nämligen:

- nästan linjärt motstånds-temperaturberoende
- hög temperaturkoefficient
- god åldringsbeständighet

I de flesta fall användes Platina med resistansen 100Ω vid 0°C och givarna kallas då Pt-100 givare.



Vid 0°C har Pt 100 motståndsvärdet = 100 ohm
 " " " Pt 250 " " = 250 "
 osv. och d:o för Ni-givare.

Figur 1.4 Motstånd-temperaturberoende hos Platina och Nickel

Nu är ju inte naturen så snäll så att alla givare visar samma temperatur utan varje givare har en individuell avvikelse. Vid mätning av ΔT försöker man därför hitta två givare som visar samma temperatur i ett antal punkter utan att bry sig om vad de visar för absolut temperatur. Detta kallas för parning. Trots parningen kan givarna visa ett fel i ΔT på upp till 0.06°K . Detta innebär att vid litet ΔT kommer felet i mätningen att bli mycket stort (6% vid $\Delta T=1.0^\circ$, 12% vid $\Delta T=0.5^\circ$).

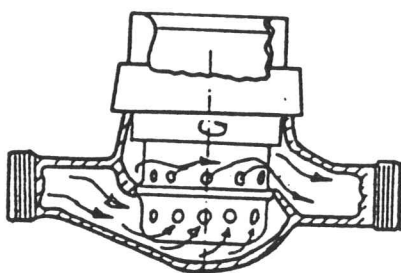
För att få en noggrann värmemängdsmätning är det alltså viktigt att använda parade motståndstermometrar och att försöka undvika alltför små ΔT .

1.3 MÄTNING AV FLÖDE

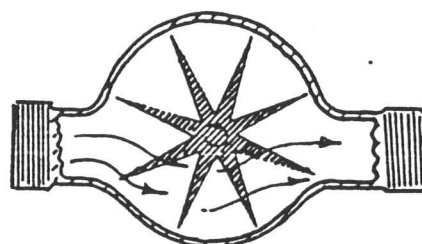
Flödesmätning kan utföras på många sätt. Man brukar dela in mätarna i grupper efter vilken fysikalisk mätmetod som ligger till grund för mätningen. Det finns i stort sett tio sådana grupper men marknaden domineras av två: rotordrivna resp. induktiva mätare.

Rotordrivna mätare

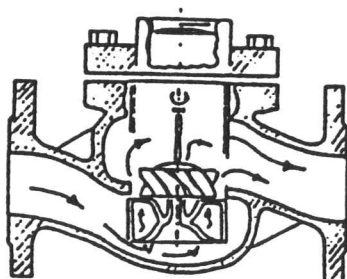
Dessa mätare har någon form av rotor som flödet får att rotera. Rotationshastigheten blir proportionell mot flödet. De vanligaste rotordrivna mätarna är Woltman- och vinghjulsmätare.



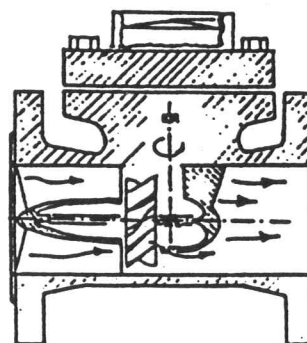
Flerstråligt vinghjul



Enstråligt vinghjul



Woltman typ WS



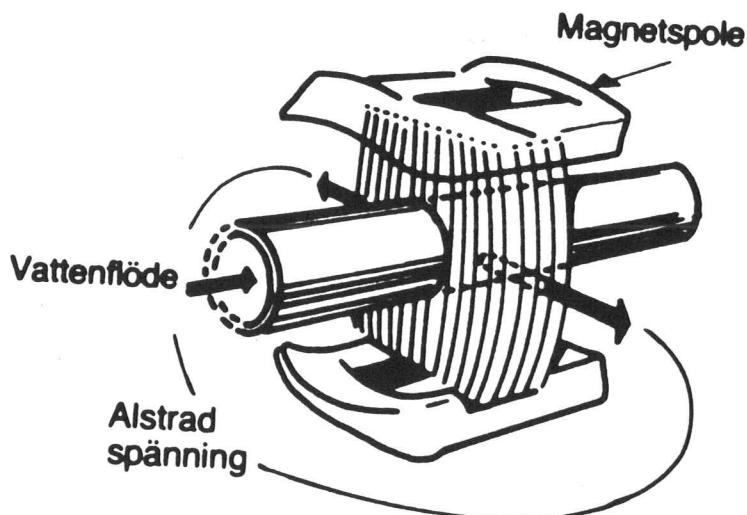
Woltman typ WP

Figur 1.5 Rotordrivna flödesmätare

Mätarna är relativt billiga men har i gengäld dålig noggrannhet. Dessutom måste de monteras så att det finns en lång raksträcka både före och efter givaren. En annan nackdel är att givaren utsätts för olika typer av slitage som med tiden kommer att medföra ännu större felvisning.

Induktiva mätare

Induktiva mätare bygger på Faradays lag. Den säger att när en ledare rör sig tvärs igenom ett stationärt magnetfält induceras en spänning som är proportionell mot ledarens hastighet.



Figur 1.6 Princip för induktiv flödesmätning

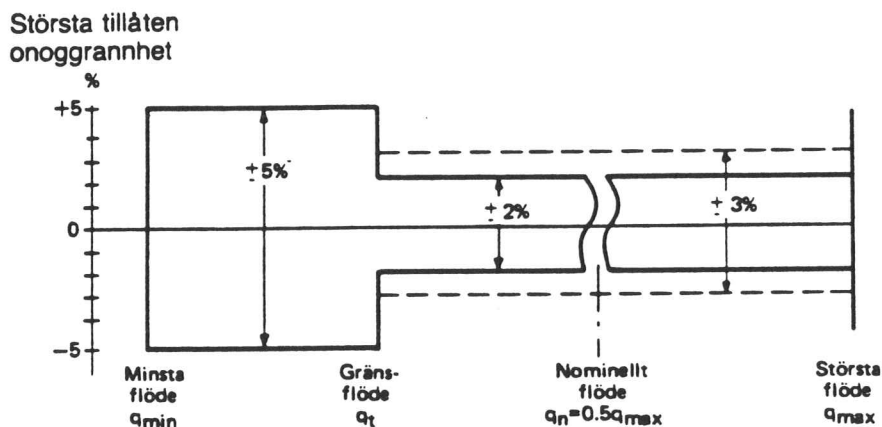
Vid induktiv flödesmätning strömmar vätskan genom ett, mot flödesriktningen, vinkelrätt magnetfält. I vätskan induceras en spänning proportionell mot hastigheten och därmed även mot volymflödet. En förutsättning är att vätskan har en ledningsförmåga på minst $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ (vatten har $500\text{--}800 \mu\text{S}/\text{cm}$). Den inducerade spänningen känns av med två elektroder som står i direkt kontakt med vätskan.

De induktiva mätarna är relativt dyra men har många fördelar. Bland dessa kan nämnas:

- Mycket god noggrannhet
- Linjär mätning
- Inga tryckförluster
- Korta raksträckor
- Ingen förslitning (inga rörliga delar)
- Mätning oberoende av strömningsprofil

Noggrannhet

Nedan redovisas de klassningar som görs vid typgodkännande av flödesmätare hos Statens Provningsanstalt.



Mätarna indelas med hänsyn till värdena på q_{min} och q_t i fyra grupper enligt följande tabell:

Grupp	$q_n < 15 \text{ m}^3/\text{h}$	$q_n \geq 15 \text{ m}^3/\text{h}$
A q_{min}	$0.04 q_n$	$0.08 q_n$
q_t	$0.10 q_n$	$0.20 q_n$
B q_{min}	$0.02 q_n$	$0.04 q_n$
q_t	$0.08 q_n$	$0.15 q_n$
C q_{min}	$0.01 q_n$	$0.02 q_n$
q_t	$0.06 q_n$	$0.10 q_n$
D q_{min}	$0.01 q_n$	
q_t	$0.015 q_n$	

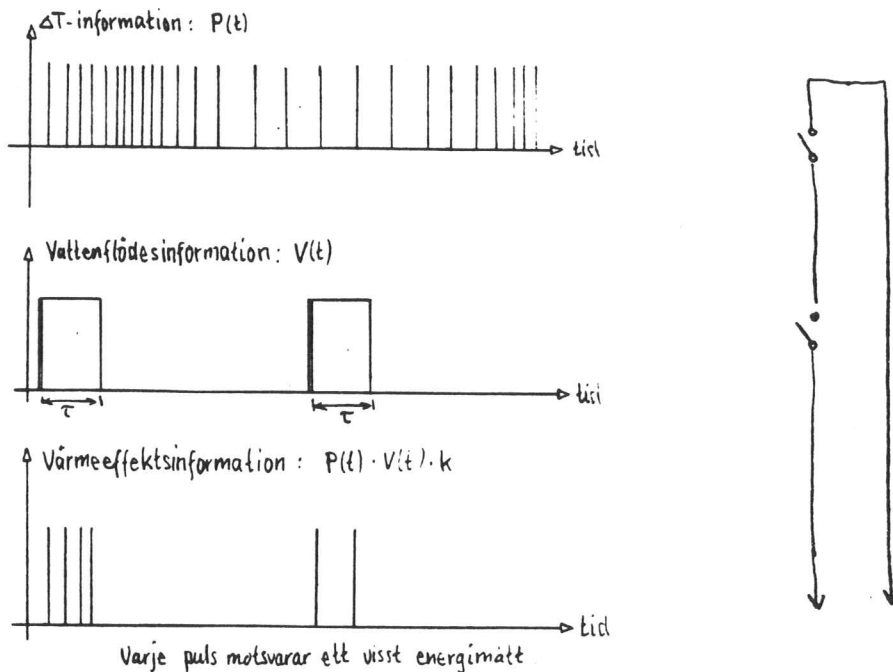
Vid tester visar det sig att de rotordrivna mätarna, ibland efter att ha fått dispens, klarar klass 3A medan de induktiva mätarna klarar klass 2 utan problem. I verkligheten har de induktiva givarna ett fel $< 0.5\%$ då $q > q_t$

För att få en noggrann värmemängdsmätning är det alltså viktigt att undvika flöden $< q_t$. Dessutom kan det löna sig att satsa på induktiva flödesgivare.

1.4 INTEGRERING

För att integrera värmeeffekten Φ till energi måste produkten $q \cdot \Delta T$ digitaliseras. I själva digitaliseringsprocessen sker lämpligen en omvandling så att en puls innehåller informationen att (sen föregående puls) en viss energimängd uppmätts. Genom att räkna pulserna i ett räkneverk fås energisumman.

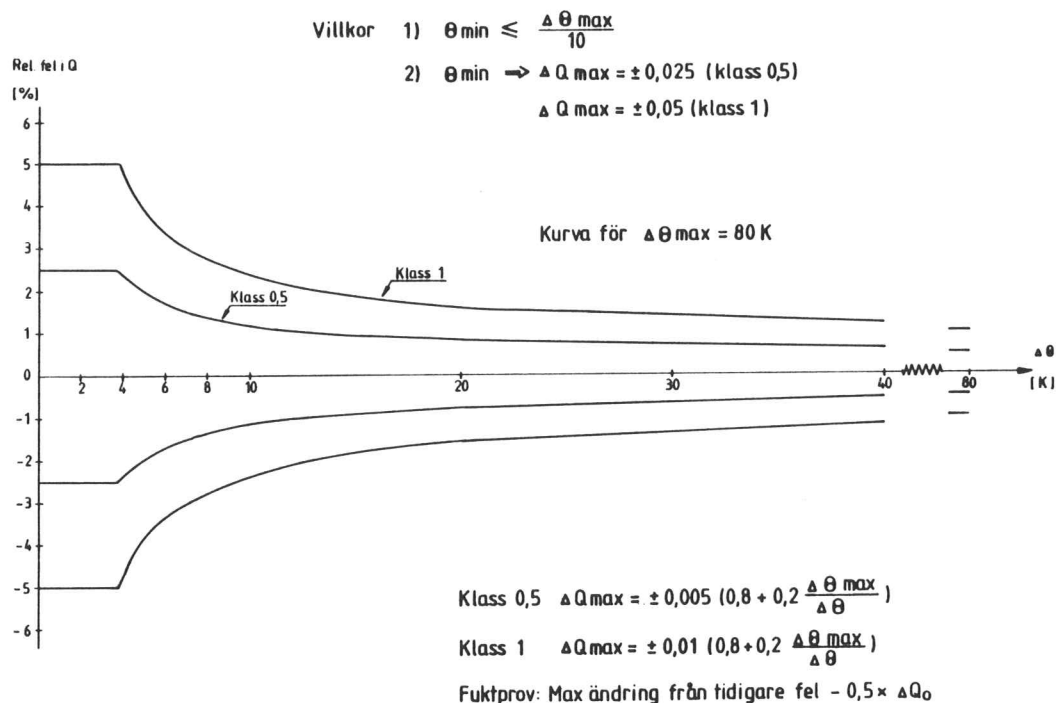
Digitaliseringen kan göras på många sätt. Ofta fås från flödesgivaren en digital signal som motsvarar en viss vattenvolym. ΔT kan då omvandlas till ett pulståg med frekvensen proportionell mot ΔT . Multiplikation av temperaturdifferensen med flödet sker genom multiplikation (modulation) av de digitaliserade signalerna (se figur nedan). En grundförutsättning är att flödespulserna är relativt långa.



Figur 1.8 Multiplikation av q och ΔT sedan signalerna digitaliserats

Om flödessignalen finns tillgänglig som analog signal kan man först multiplicera temperaturdifferens- och flödessignalerna och därefter digitalisera denna signal.

Oavsett vilken metod man använder är naturligtvis integreringen behäftad med fel. Tillåten onoggrannhet enligt Statens Provningsanstalts bestämmelser redovisas i figuren nedan



Figur 1.9 SP:s bestämmelser för integreringsverk (omgivningstemp. mellan +5 & +50 °C)

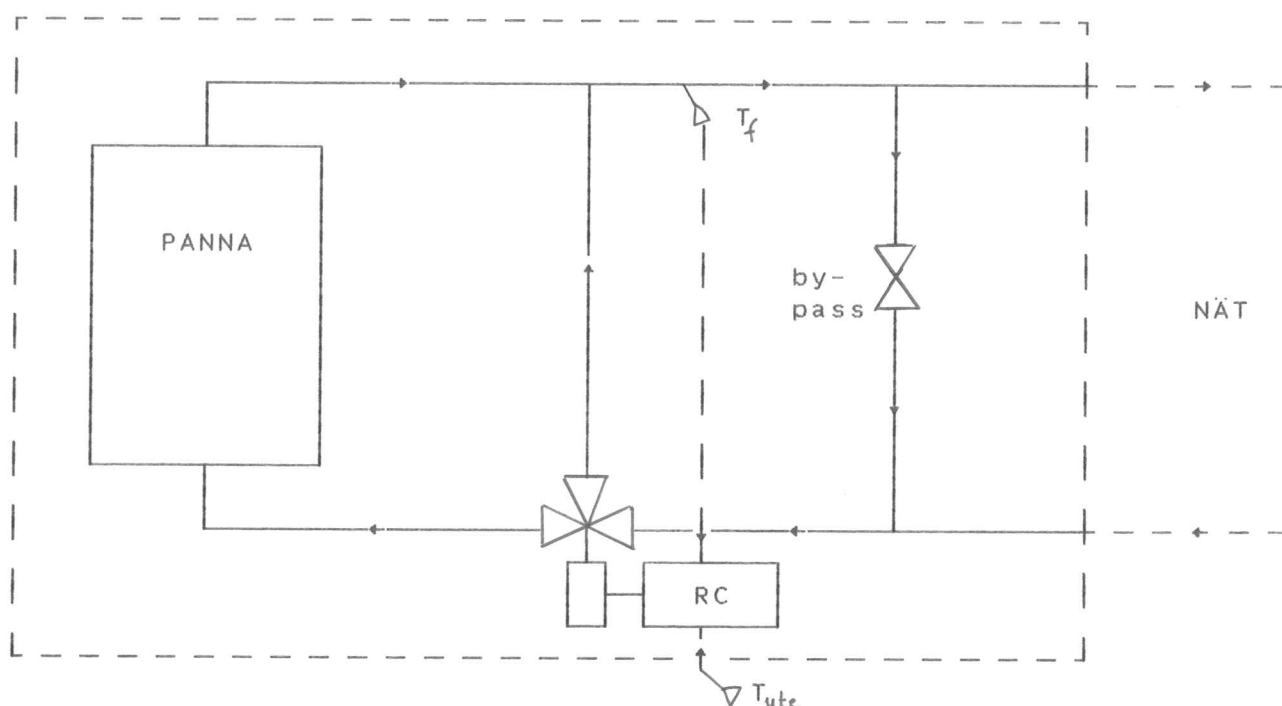
Som framgår av figuren växer relativa felet då ΔT blir litet. Det absoluta felet (beror på signalomvandling, digitalisering m.m.) är ju alltid lika stort, oberoende av hur stor differens temperatur man har.

Det framgår än en gång att för att få en noggrann värmemängdsmätning är det viktigt att försöka undvika alltför små ΔT .

2. REGLERING AV FRAMLEDNINGSTEMPERATUR

En förenklad bild av en panncentral ges i figur 2.1. Bypass-slingan är till för att utjämna trycket om detta, av någon anledning är större i returledningen än i framledningen.

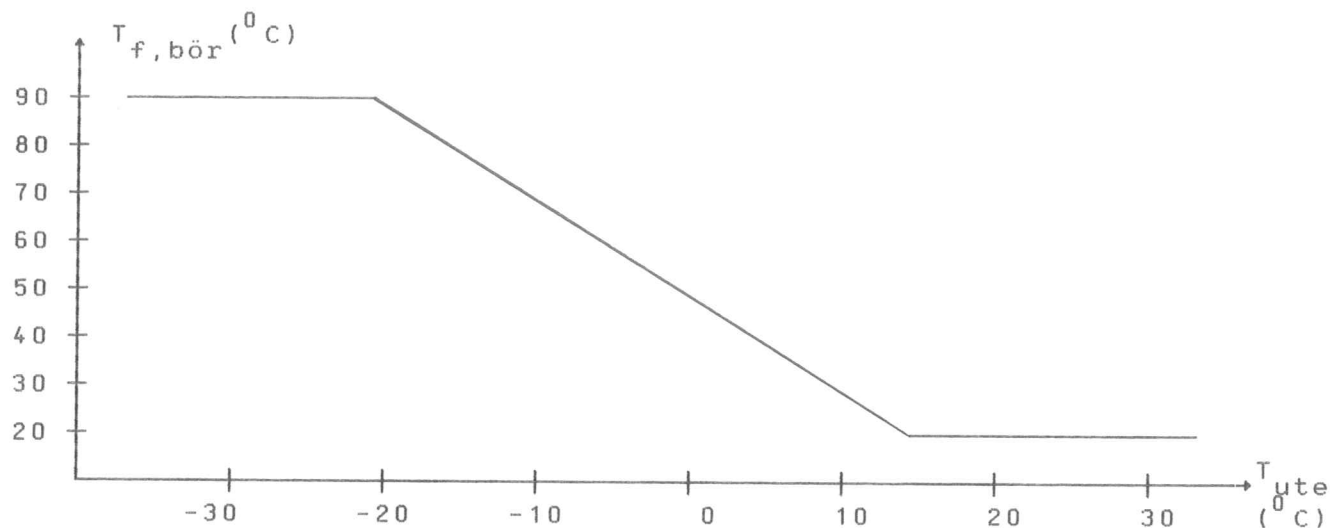
Det finns även en bypass-slinga längst ut i nätet så att det, även om radiatorventilerna är stängda, finns varmt vatten tillgängligt då ventilerna öppnas.



Figur 2.1 Förenklad bild av en panncentral

För reglering av temperaturen i framledningen ut till nätet används en styrventil. För en varmare framledningstemperatur släpper ventilen större mängd av returledningsvattnet genom pannan för uppvärmning. Ventilen ställs i sin tur in med hjälp av en ställmotor som från reglerkretsten (RC) får "öka"- resp. "minska"-pulser.

Framledningstemperaturens börvärde, $T_{f,bör}$, fås i dagens regulatorer via utomhustemperaturen, T_{ute} . Funktionen $T_{f,bör}(T_{ute})$ framgår av figuren nedan.



Figur 2.1 Exempel på bestämning av $T_{f,bör}$ som funktion av T_{ute}

Av erfarenhet vet man att effektbehovet ute i nätet har i princip samma utseende, men då utan de båda brytpunkterna. Avsikten med denna reglermetod är att inte släppa in mer värme än nödvändigt i nätet. Med lämpligt valda brytpunkter fås istället ett näst intill maximalt flöde (ty $\phi = k \cdot q \cdot \Delta T$) genom nätet utom när utomhustemperaturen närmar sig inomhustemperaturens börvärde. Då kommer flödet att sjunka ty effektbehovet minskar ute i nätet. Vid "varma" utomhustemperaturer (vår-sommar-höst) blir ΔT relativt litet för att sedan öka när utomhustemperaturen sjunker (och effektbehovet ökar).

Fördelen med denna reglermetod är att man får en mycket bra verkningsgrad (ty låga förluster i nätet). Nackdelen är att man får väldigt stora fel i debiteringen (ty ΔT blir litet) under sommarhalvåret.

3. PROBLEMFÖRMULERING OCH LÖSNINGSFÖRSLAG

3.1 EXAMENSARBETETS BAKGRUND OCH OMFATTNING

Som framgår av kap. 1 är värmemängdsmätning behäftad med olika fel. Störst onoggrannhet i mätningen fås vid låga flöden eller differens-temperaturer. Om t.ex. $\Delta T < 3^{\circ}\text{C}$ fås ett relativt fel som ligger mellan 3-20%.

Som beskrivits i kap. 2 regleras framledningstemperaturen endast med avseende på utomhustemperaturen och då med syftet att ha så låg framledningstemperatur som möjligt. Detta medför att man nästan alltid har ett högt flöde ut i nätet. Då energiförbrukningen är relativt låg (vår-sommar-höst) fås ofta mycket låga differens-temperaturer som då kommer att medföra mycket stora fel i debiteringen. I allmänhet är felet negativt, d.v.s. man debiterar för lågt, vilket innebär stora ekonomiska förluster.

Det enda som hitills gjorts för att försöka minska debiteringsfelen är att man försöker använda noggrannare givare (induktiva flödes-givare, Pt-1000 givare) och integreringsverk. Dessa förbättringar medför naturligtvis en noggrannare debitering men vid låga differens-temperaturer blir felet fortfarande mycket stort. Så länge som framledningstemperaturen endast regleras efter utomhustemperaturen kommer man alltså ofta att ha låga differens-temperaturer, och därmed en mycket onoggrann debitering, under sommarhalvåret.

För att förbättra debiteringen ytterligare måste det alltså till ett nytänkande och det är vad som ligger bakom detta examensarbete. Arbetet bygger på en s.k. "kafferast-idé" som Jan-Åke Nilsson kläckt. Idén går ut på att samla regulator och värmemängdsmätare i en enhet istället för att, som nu, låta dem arbeta helt oberoende av varandra. Regulatorn skulle då även kunna "titta på" differens-temperatur och flöde och försöka hitta en annan arbetspunkt där mätnoggrannheten blir betydligt större.

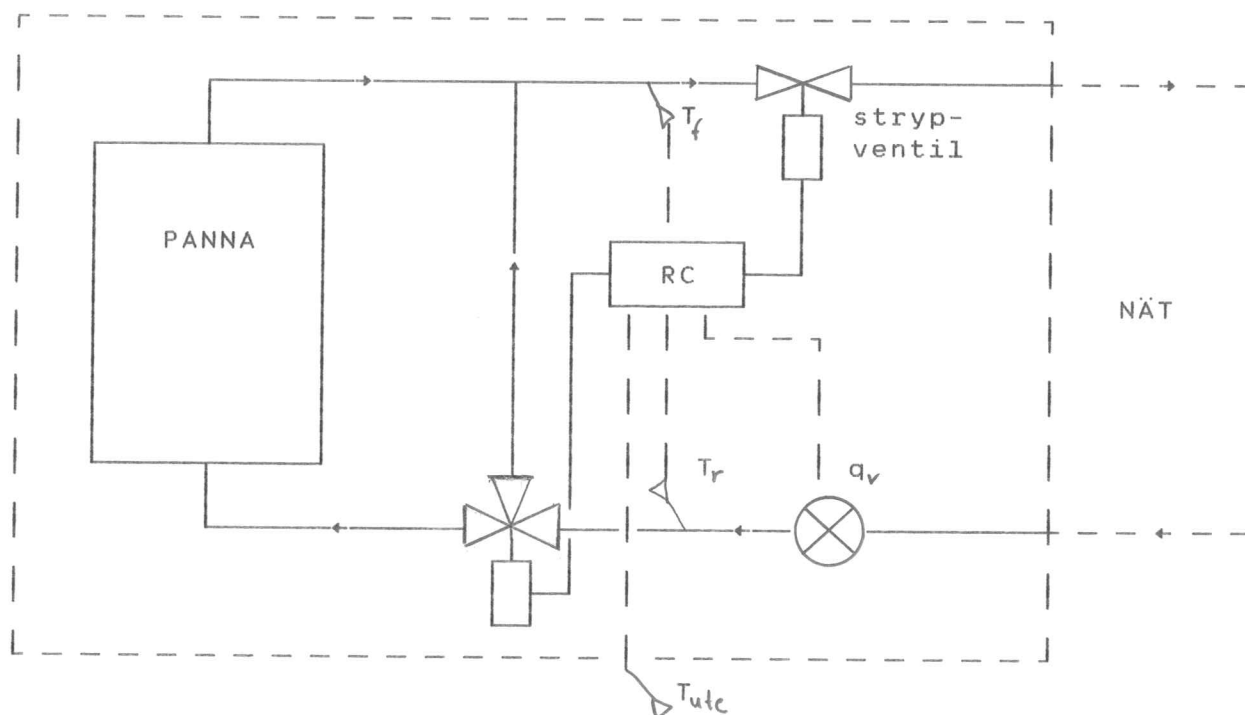
Examensarbetet har gått ut på:

- att med hjälp av simuleringspaketet SIMNON verifiera att Jan-Åkes idéer är riktiga
- att designa reglerkretsar och mätkretsar
- att implementera regler- och mätkretsar i ett PC-system
- att installera systemet i en konkret anläggning och verifiera teorierna praktiskt

3.2 NÅGRA FÖRSLAG TILL REGULATOR

Att ta fram en regulator som använder både utomhustemperatur och flöde resp. differensstemperatur som insignaler är lite problematiskt. Det beror på att nätet reagerar mycket långsamt på ändringar i framledningstemperaturen. Det tar i storleksordningen en timme att reagera (d.v.s. ändra flödet genom radiatorerna) på en ändring.

Ett sätt att undvika problemet med den långsamma flödesändringen skulle då kunna vara att man med en ventil direkt varierar flödet (se figur). Då man lätt kan räkna ut det momentana effektbehovet ($\phi = k \cdot q \cdot \Delta T$) kan man också räkna ut vilket flöde som ger ett önskat ΔT . Genom att sedan långsamt styra in framledningstemperaturen kommer strypningen i reglerventilen att minska och till slut har man hittat en ny arbetspunkt för nätet.



Figur 3.1 Flödesreglering genom strypning

Problemet med denna "reglerstrategi" är att då reglerventilen börjar strypa fås ett tryckfall över denna och man kommer inte att få något tryck, och därmed inget flöde, längst ut i nätet. Man har alltså flyttat strypningen från radiatorventilerna in till reglerventilen. Detta innebär att de som bor längst ut inte kommer att få någon uppvärmning av huset så länge som reglerventilen stryper flödet. Denna reglerstrategi kommer alltså endast att fungera då man har en förbrukare. Därför fick denna idé som från början kändes bra förkastas.

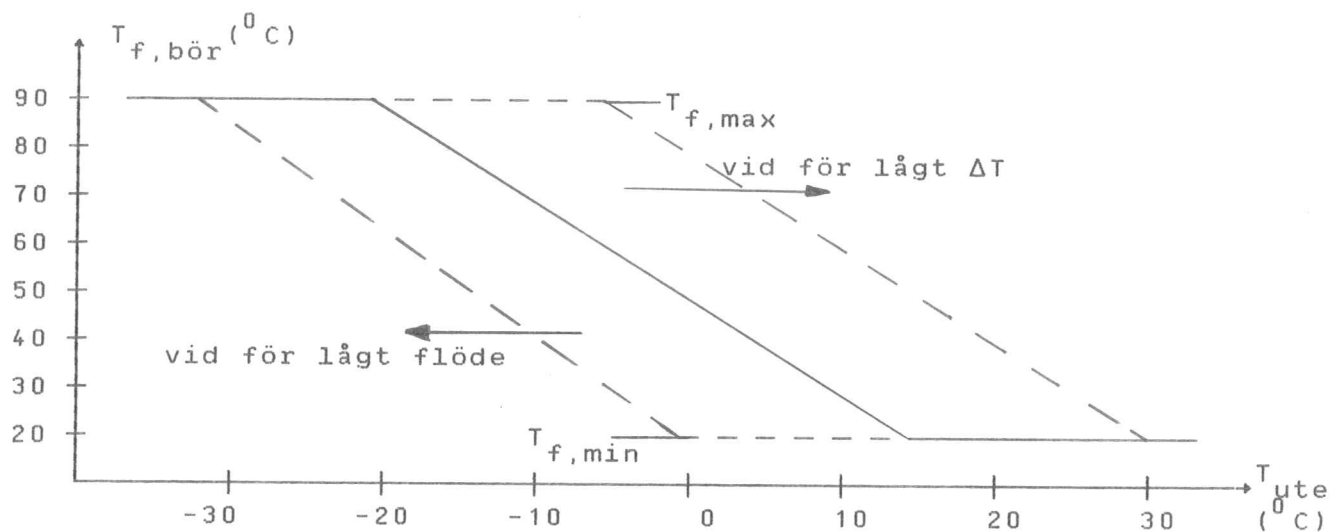
Ett annat sätt att variera flödet skulle vara varvtalsreglering av pumpen som driver ut vattnet i nätet. Men då fås samma problem som med strypventilen nämligen att man inte får något tryck längst ut i nätet. Istället kan man spara på pumpen genom varvtalsreglering, då med uppmätt differenstryck, över ventilen i nätets sämsta punkt, som insignal. Denna varvtalsreglering används redan idag i ett flertal anläggningar.

Att mer eller mindre direkt bättra på debiteringen genom reglering av flödet visar sig alltså vara svårt. Istället återstår då att reglera framledningstemperaturen och då acceptera att det tar lång tid att hitta en ny arbetspunkt. En metod är att på något sätt beräkna en framledningstemperatur som man vet kommer att ge önskad arbetspunkt med tiden. För att kunna detta måste man ha tillgång till en matematisk modell av nätet. Att ta fram en sådan modell är ganska tidsödande och dessutom blir lösningen endast användbar för ett specifikt nät.

Istället valde jag att göra en lösning som efter ändring av framledningstemperaturen väntar och ser hur nätet reagerar. Målet är att hela tiden försöka ha ett flöde och ett ΔT som ger en noggrann debitering. Om t.ex. ΔT är för litet kommer en höjning av framledningstemperaturen att medföra en sänkning av flödet (radiatorerna stryper) och därmed en höjning av ΔT . Om däremot flödet är för lågt kommer en sänkning av framledningstemperaturen att ge ett ökat flöde men samtidigt ett lägre ΔT .

3.3 UTVECKLING AV FÖRSLAG TILL REGULATOR

Som utgångspunkt för lämplig framledningstemperatur valde jag kurvan i fig.2.2 som endast tar hänsyn till utomhustemperaturen. På detta börvärde hänges sedan en korrektion för att hitta en bättre arbetspunkt med noggrannare debitering. På detta sätt kommer framledningstemperaturen fortfarande att bero på utomhustemperaturen, och följa ändringar i denna, men även på ΔT och flödet. Den ursprungliga kurvan kommer alltså, med hjälp av korrektionen, att parallellförflyttas (se figur).



Figur 3.2 Korrigering av $T_{f,bör}$

Det korrigerade börvärdet $T_{f,korr}$ fås då som:

$$T_{f,korr} = T_{f,bör}(T_{ute}) + korr$$

$$T_{f,min} \leq T_{f,korr} \leq T_{f,max}$$

Som undre gränser för ΔT användes de två värden som ger ett relativt fel $\geq 1\%$ (ΔT_{db}) resp. $\geq 2\%$ (ΔT_{min}) i temperaturmätningen.

Som undre gränser för flödet användes gränserna q_t och q_{min} som finns angivna för flödesgivaren.

Målet är att så länge som möjligt (d.v.s. så länge flödet kan hållas tillräckligt högt) ha ett så pass högt ΔT att det relativa felet i temperaturmätningen blir mindre än 1%. Samtidigt fås då även ett klart mindre relativt fel i integreringen och debiteringen blir mycket noggrannare. Vid små energibehov kommer flödet då att bli mycket litet men får inte bli mindre än det minimala flöde som är bestämt av givaren. Då både flödet och ΔT är bra (d.v.s. ger bra noggrannhet) skall börvärdet, om möjligt, återgå till den normala okorrigerade kurvan. För att förhindra att korrektionen korr "sticker i väg" åt ena eller andra hållet vid mycket låg belastning tillåts korr endast ligga inom området [korrmin..korrmax] där t.ex. korrmin=-15° och korrmax=+15° (gränserna blir naturligtvis nätberoende). Detta innebär att regulatorn, genom att ändra korrektionen, försöker hitta en, ur debiteringssynpunkt, bättre arbetspunkt. Om den inte lyckas med detta når korr något av sina gränsvärden och regulatorn "ger upp".

Med ovanstående resonemang fås följande villkor för ändring av korr:

- korr:=korr+ Δ korr om
 - $\Delta T < \Delta T_{db}$, och
 - $q > q_t$, och (förbättring av ΔT då flödet är bra)
 - $T_{f,bör} + korr < T_{f,max}$, och
 - korr < korrmax

eller om

 - $\Delta T > \Delta T_{db}$, och
 - $q > q_t$, och
 - korr < 0, och (korr \rightarrow 0 då flöde och ΔT är bra)
 - $T_{f,bör} + korr < T_{f,max}$
- korr:=korr- Δ korr om
 - $q < q_{min}$, och
 - $T_{f,bör} + korr > T_{f,min}$, och (ovillkorlig förbättring av flöde)
 - korr > korrmin

eller om

 - $\Delta T > \Delta T_{db}$, och
 - $q < q_t$, och (förbättring av flöde då ΔT är bra)
 - $T_{f,bör} + korr > T_{f,min}$, och
 - korr > korrmin

eller om

 - $\Delta T > \Delta T_{db}$, och
 - $q > q_t$, och
 - korr > 0, och (korr \rightarrow 0 då flöde och ΔT är bra)
 - $T_{f,bör} + korr > T_{f,min}$

Dessa villkor kommer att återfinnas både i simuleringarna och i den realiserade regulatorn.

Reglerproblemet har alltså reducerats till en bestämning av lämpligt börvärde för den reglerkrets som styr framledningstemperaturen. Denna reglerkrets har ej diskuterats här då den fanns mer eller mindre färdig i PC-systemet. Fördelen med denna metod är att regulatorn inte blir speciellt nätberoende utan kan snabbt installeras i olika panncentraler.

3.4 FÖRSLAG TILL METOD FÖR INTEGRERING

Den förbrukade värmen beräknas ur:

$$\int c(T) \cdot \rho(T) \cdot q_v \cdot \Delta T \, dt \quad (\text{se kap.1})$$

Istället för att sätta vattnets specifika värme och densitet konstanta, tas deras temperaturberoende med i beräkningen som därmed blir noggrannare. Funktionerna $c(T)$ och $\rho(T)$ har approximerats med polynom. För att ta fram approximationspolynomen har jag använt ett program, framtaget av Dan Nordström, Sydkraft. Mätpunkter till programmet är tagna ur tabellsamlingen "Zustandsgrößen von Wasser und Wasserdampf in SI-Einheiten" (ref.3). Valda mätpunkter för c resp. ρ framgår av bil.1 och bil.2. Programmet gav följande polynom:

$$\begin{aligned} c(T) \approx & 5.7508025 \cdot 10^{-14} \cdot T^6 - 3.82525031 \cdot 10^{-11} \cdot T^5 + \\ & + 1.00698249 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 - 1.29026945 \cdot 10^{-6} \cdot T^3 + \\ & + 9.19206233 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 3.11957964 \cdot 10^{-3} \cdot T + \\ & + 4.21673899 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho(T) \approx & 1.18207499 \cdot 10^{-12} \cdot T^5 - 4.29193553 \cdot 10^{-10} \cdot T^4 + \\ & + 6.90445103 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 - 8.69299884 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + \\ & + 7.31073618 \cdot 10^{-5} \cdot T + 0.999809793 \end{aligned}$$

Istället för att använda volympulserna från flödesgivaren valde jag att använda den analoga signalen. Även temperaturen fås som analog signal.

Själva integreringen göres genom att, på vanligt sätt approximera integralen med en summa. En gång i minuten går alltså "integreringsverket" in och läser av aktuella värden, antar att de varit samma den senaste minuten, beräknar c och ρ , beräknar värmemängden och summerar denna till den totala energisumman. Debiteringsfelet som uppstår p.g.a. denna approximation är mycket litet och kan försummas. På en minut har inte ΔT och flödet ändrats nämnvärt mycket. Nätet är ju mycket trögt, tidskonstanter på upp till en timme är inte ovanliga.

4. SIMULERING

När man kommit så här långt dyker det upp en del frågeställningar. De viktigaste frågorna var:

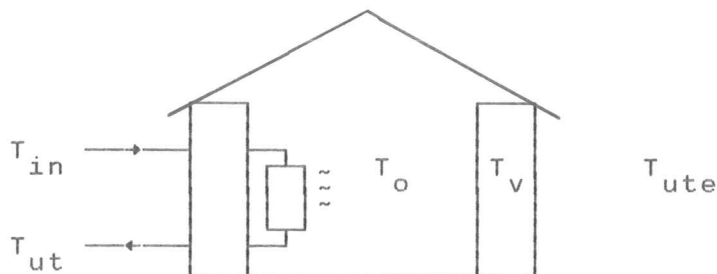
- hur stora ändringar i framledningstemperaturen för att få önskat ΔT , går det över huvud taget ?
- i vilken storleksordning skall korrmax vara, d.v.s. hur långt är det lönt att öka framledningstemperaturen för att försöka öka ΔT ?
- hur mycket ökar förlusterna i nätet vid ökad framledningstemperatur ?
- kommer hushållen i nätet att få lida av att framledningstemperaturen varierar, blir det större svängningar i rumstemperaturen ?

De här frågorna ville jag försöka få svar på genom dynamiska simuleringar. Som modell av ett fjärrvärmenät har jag använt en något modifierad version av den modell av ett fjärrvärmenät i Skurup, som presenteras i ett examensarbete av Björn Malmström (ref.4). Använda modeller presenteras här endast kortfattat, för utförligare information rekommenderas Björn Malmströms rapport. Att göra en modell av förlusterna i ett fjärrvärmenät är svårt då dessa är mycket beroende av nätets utseende. På detta stadium var det ännu inte klart i vilken anläggning regulatorn skulle installeras. Därför togs denna bit bort ur simuleringen.

4.1 MODELL AV ETT FJÄRRVÄRMENÄT

4.1.1 BEBYGGELSEN

De olika husen ute i fjärrvärmenätet sammanföres till ett stort hus. Termisk dynamik antages återfinnas på två ställen: i radiatorerna och i husväggarna.



Figur 4.1 Temperaturer

För temperaturerna användes följande beteckningar:

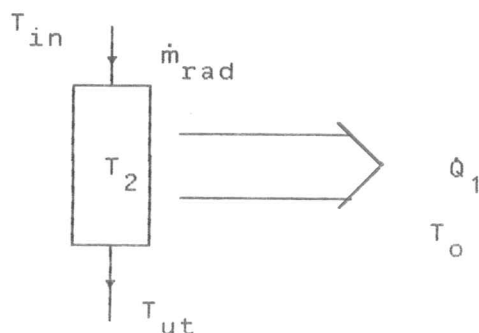
T_{in} = radiatorvattnets temperatur vid inloppet till radiatorn

$T_{ut} = T_2$ = radiatorvattnets temperatur i, och vid utloppet från radiatorn

T_o = rumstemperaturen

T_v = väggens temperatur

T_{ute} = utomhustemperaturen



Figur 4.2 Radiatorns energiflöde

Radiatorns dynamik fås som "ändring i upplagrad energi = energiflöde in - energiflöde ut i rummet":

$$M \cdot C_p \cdot \frac{dT_{ut}}{dt} = \dot{m}_{rad} \cdot C_p (T_{in} - T_{ut}) - \dot{Q}_1$$

$$\dot{Q}_1 = k_{rad} (T_2 - T_o)$$

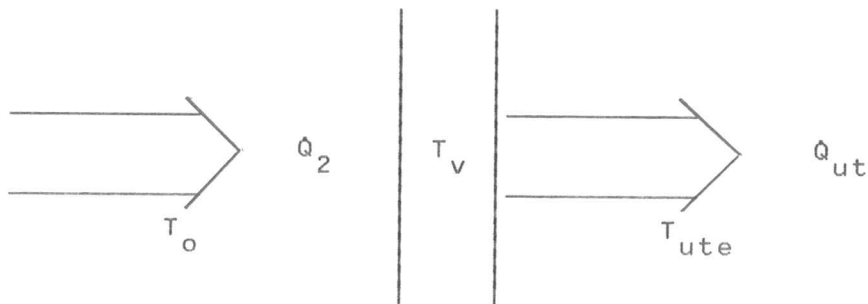
där

M = vattenmassan i radiatorn (kg)

C_p = vattnets specifika värme (kJ/kg K)

\dot{m}_{rad} = flödet genom radiatorn (kg/s)

\dot{Q}_1 = energiflödet från radiatorn in i rummet (kW)



Figur 4.3 Energiflöde i husväggarna

Husväggarnas dynamik bestäms genom ansättning av tidskonstanter:

$$\frac{dT_v}{dt} = \frac{(T_o - T_v)}{\text{Time1}} - \frac{(T_v - T_{ute})^{2.5}}{\text{Time2}}$$

Energiflödet från rummet in i väggen ansätts som:

$$Q_2 = k_{vin}(T_o - T_v)$$

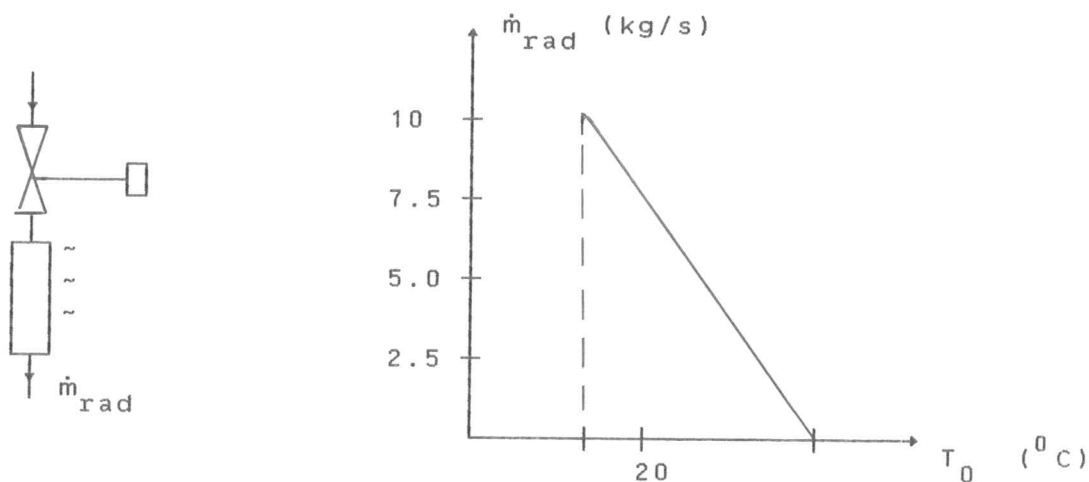
Ingen energilagring i rumsluften => $Q_1 = Q_2$ =>

$$T_o = (k_{rad} * T_2 + k_{vin} * T_v) / (k_{rad} + k_{vin})$$

De båda tidskonstanterna Time1 och Time2 sätts till 10 resp. 5 timmar.

Konstanterna k_{vin} och k_{rad} bestäms ur ett jämviktstillstånd då $T_{ute} = -3 \text{ } ^\circ\text{C}$, belastningen $Q = 194 \text{ kW}$, $dT_{v/dt} = 0$, $T_o = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ och $T_{in} = T_{f,bör}$. Då fås $k_{vin} = 8965 \text{ kW/}^\circ\text{C}$ och $k_{rad} = 10874 \text{ kW/}^\circ\text{C}$.

Flödet genom radiatoren, \dot{m}_{rad} , regleras av termostatventil, se figur.



Figur 4.4 Termostatventil på radiatorelement

Termostatventilen förutsätts reglera flödet så att det är 7.5 kg/s när rumstemperaturen $T_o = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$. Ventilen förutsätts vidare kunna reglera flödet mellan $0-10 \text{ kg/s}$ i intervallet $19.5-21.5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Resonemanget ger:

$$\dot{m}_{rad} = 5(20 - T_o + 1.5)$$

Programmet med bebyggelsens dynamik återfinnes i "CONTINUOUS SYSTEM RADHOUSE"

4.1.2 REGULATORN

Istället för att ta fram en modell av den regulator som styr ställdonet har jag använt den "överordnade regulator" som bestämmer framledningstemperaturens börvärde. Jag är ju endast intresserad av hur nätet reagerar på ändringar i framledningstemperaturen. Jag har sedan antagit att ställdonsregulatorn reglerar in den nya framledningstemperaturen på någon minut. Denna tidsfördröjning, som egentligen kunde försummats återfinns i "DISCRETE SYSTEM REGDELAY".

För bestämning av nytt börvärde användes de villkor som togs fram i kap.3. För att nätet skall hinna reagera väntar börvärdesregulatorn 20 minuter innan den bestämmer ett nytt börvärde. Programmet för börvärdesregulatorn återfinns i "DISCRETE SYSTEM REG1".

4.1.3 KULVERTSYSTEMET

Mellan panncentral och bebyggelse finns ett kulvertsystem. Längden hos kulvertsystemet medför en tidsfördröjning på 10 minuter i vardera riktningen, detta värde varierar från anläggning till anläggning. Naturligtvis fås temperaturförluster i kulvertsystemet. En direkt insättning i de formler som kan fås från leverantörer ger att förlustökningarna blir mycket små och är försumbara. Därför modelleras kulvertsystemet som en ren tidsfördröjning. Programmet återfinns i "DISCRETE SYSTEM BDELAY".

4.1.4 TEMPERATURSTÖRNINGAR

Som störning har använts utetemperaturen, T_{ute} , som är den temperatur regulatorn använder för att via kurvan T_{ute} i fig. 2.2 beräkna det okorrigerade börvärdet. Då utomhusgivaren oftast sitter både i skugga och i lä är ju inte T_{ute} den temperatur som husväggarna känner av. Som temperatur till husväggarna har därför använts $T_{ute} +$ en temperaturstörning, $T_{ute, fel}$. Bägge störningarna har satts sinusformade:

$$T_{ute} = \text{amp1} * \sin(t/T_1) - \text{kyla}$$

$$T_{ute, fel} = \text{amp2} * \sin(t/T_2)$$

T_{ute} har i simuleringarna haft periodtiden 1 dygn och amplituden 5°C .

$T_{ute, fel}$ har dels haft långsamma periodtider på två dygn (soliga sommardagar) dels snabba periodtider på 15 minuter (växlande molnighet/växlande vind)

Temperaturstörningarna och sammankoppling av in- och ut signaler mellan modulerna återfinns i "CONNECTING SYSTEM NAT".

SIMNON-programmen finns redovisade i bilaga 3.

4.2 SIMULERINGAR

För att studera nätets uppförande och få svar på tidigare ställda frågor gjordes en hel del simuleringar. Medelvärden hos utomhustemperaturen har i alla simuleringar legat mellan $10-25^{\circ}$ då det ju är på sommarhalvåret som problemen med onoggrann debitering är som störst. Simuleringar med de olika temperaturstörningarna gjordes dels med den gamla reglerstrategin och dels med den förnyade.

I denna rapport redovisas tre fall:

Fall I: $T_{ute} = 5 \cdot \sin(t/3.82) + 15$

$$T_{ute, fel} = 5 \cdot \sin(t/7.64)$$

d.v.s medeltemperaturen $+15^{\circ}C$, mycket långsam ändring i $T_{ute, fel}$ (ett dygn soligt, ett dygn blåsig)

Fall II: $T_{ute, fel} = 1 \cdot \sin(t/0.159)$

d.v.s. samma T_{ute} som ovan, snabba ändringar i $T_{ute, fel}$ (växlande molnighet/växlande vind)

Fall III: $T_{ute} = +19^{\circ}$
 $T_{ute, fel} = 0$

d.v.s. utetemperaturen konstant = $+19^{\circ}$, då fås ett mycket litet energibehov eftersom börvärdet inomhus är 20° .

I simuleringarna studerades:

- differenstemperaturen
- flödet
- börvärdet hos framledningstemperaturen
- korrektionen (endast fall III)
- inomhustemperaturen

Resultatet av simuleringarna plottades och finns i bilaga 4-6.

4.3 KOMMENTARER TILL RESULTATET

Simuleringarna har gjorts med ett, specifikt fjärrvärmenät. Det bör dock påpekas att utseendet hos Skurups fjärrvärmenät är mycket typiskt. Simuleringsresultaten är därför signifikativa för ett flertal mindre fjärrvärmenät.

I bil. 4:2 resp. 5:2 presenteras resultaten av simuleringsfallen I och II med den gamla reglerstrategin, d.v.s okorrigerat börvärde. Önskade mingränser för flödet (1 kg/s) och differensstemperaturen (4°C) har markerats i graferna. Det framgår klart att med den gamla strategin fås ett näst intill maximalt flöde (mrad) ut i nätet. Det är endast när energibehovet är mycket lågt som flödet sjunker. I gengäld är differensstemperaturen mycket låg, precis som väntat. ΔT går inte över mingränsen 4°C utan ligger istället omkring 1-2°C. Vid utomhustemperaturer över 10°C (d.v.s. under sommarhalvåret) kommer, vilket tidigare diskuterats, värmemängdsmätningen att ha dålig noggrannhet p.g.a. ett för lågt ΔT .

I bil. 4:3 resp. 5:3 presenteras istället resultaten av simuleringsfallen I och II med den nyare reglerstrategin. Skillnaden gentemot den gamla strategin framgår mycket klart. Differensstemperaturen stiger till 4°C och flödet sjunker, precis som planerat. Det är endast när det i princip inte finns något energibehov som differensstemperaturen sjunker. Genom att höja framledningstemperaturen 10-15°C fås en ny arbetspunkt med betydligt noggrannare debitering, den förnyade reglerstrategin har alltså den önskade funktionen.

Ur bil. 4:3 och 5:3 framgår också att ΔT ligger och svänger kring sin önskade mingräns hela tiden. Anledningen till detta är att regulatorn hela tiden försöker sänka korrektionsfaktorn så fort som ΔT går över 4°C. För att motverka detta programmerades ett dödband in vid implementeringen.

Istället för att, som i den tidigare strategin, hålla flödet konstant (och näst intill maximalt) hålles nu differensstemperaturen konstant (=4°C) och därmed följer flödet lasten. Detta framgår tydligt då man jämför flödet (mrad) i bil. 4:3 resp. 5:3 med utetemperaturen ($T_{ute} + T_{ute, fel}$) i bilagorna 4:1 resp. 5:1.

Vad som kan tyckas lite mer förvånande är att inomhustemperaturen (T_0) verkar bli mycket stabilare med den förnyade reglerstrategin. Med den gamla uppträder svängningar med ca 3°C amplitud kring börvärdet, med den nya fås en avvikelse på maximalt någon grad. Signifikansen hos detta resultat är något tveksam, men det pekar på att kunderna i alla fall inte kommer att "lida" av den nya strategin, snarare tvärtom.

Simuleringsfall III användes endast för att bestämma ett lämpligt värde på den maximala korrektionsfaktorn, $korr_{max}$. Utomhustemperaturen sattes 1°C lägre än inomhustemperaturens börvärde, därmed fås ett mycket lågt värmebehov. Med $korr_{max}$ satt till 20°C fås den ur mätsynpunkt bästa arbetspunkten. Ett lämpligt värde på $korr_{max}$ har därför i fortsättningen antagits vara ca 20°C.

Sammanfattningsvis kan alltså sägas att den förnyade reglerstrategin ser ut att fungera mycket bra. Genom att höja framledningstemperaturen 10-15^o fås en klart förbättrad debitering, då ΔT blir högre. Ett lämpligt värde på korrmax bör vara ca 20^o. Rumstemperaturen blir troligen stabilare än tidigare.

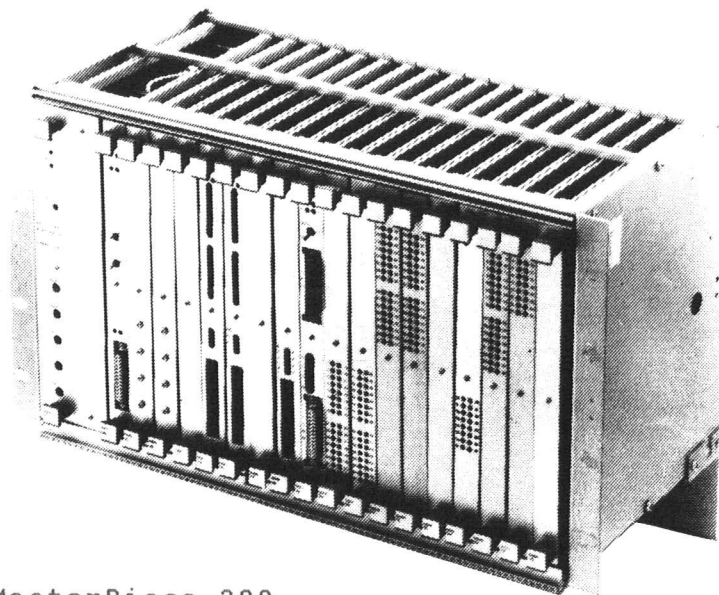
Men förlusterna då, hur mycket kommer kunderna att få betala för värmeenergi som de inte kan utnyttja? Givetvis kommer värmeförlusterna ut från rören att öka då framledningstemperaturen ökar. Samtidigt kommer dock tryckfallsförlusterna i rörkrökar m.m. att minska ty flödet minskar. Förlusterna i rörledningssystemet kommer därmed inte att öka nämnvärt. Däremot fås en ökad energiförlust p.g.a. den ökade strypningen i radiatorernas termostatventiler. Men då dessa ventiler sitter inne i husen kommer denna s.k. förlust att avges till huset som värme, och därmed komma kunden till nytta. Detta innebär att med denna nya reglerstrategi kommer kunden inte att bli lurad så till vida att kostnaderna för outnyttjad energi blir högre, däremot blir kostnaderna högre p.g.a. noggrannare debitering.

5. IMPLEMENTERING

För implementering var avsikten att en ASEA MasterPiece 160 skulle användas. Då det på Sydskraft även fanns en MasterPiece 260 tillgänglig valdes denna istället. Därmed kunde ett antal utskrifter för att lättare kunna utvärdera den nya reglerstrategin genereras, en möjlighet som saknas på den mindre 160. Det bör dock påpekas att en MasterPiece 160 är fullt tillräcklig för att lösa regleruppgiften i övrigt.

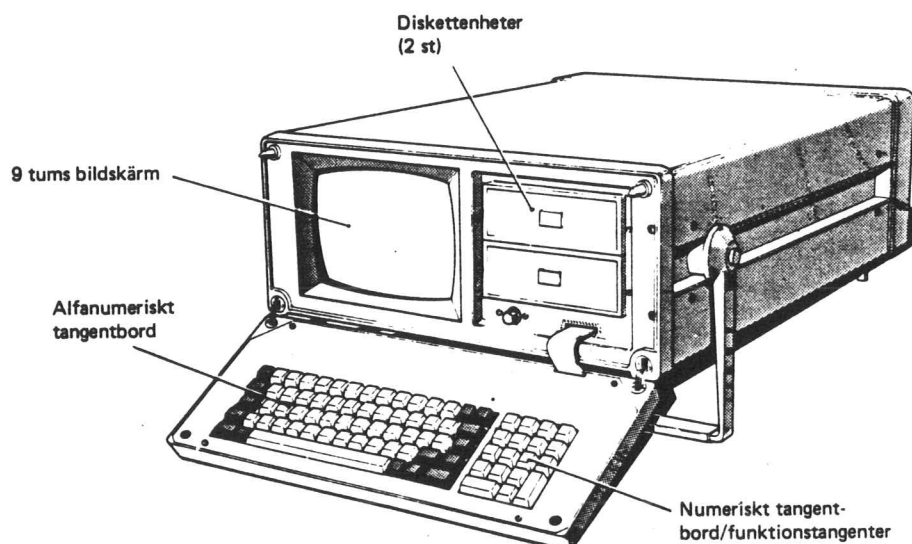
5.1 ALLMÄNT

Det finns ett stort antal mer eller mindre sofistikerade PC-system (PC=Programmable Controller) på marknaden idag. ASEA MasterPiece är ett av de mera kraftfulla som förutom ren styrlogik även innehåller flyttalsberäkningar, 1- och 2-poliga filter, regulatorer m.m. Dessutom fås en förnämlig grafisk dokumentation.



Figur 5.1 MasterPiece 200

MasterPiece (MP) är uppdelat på två system, dels MP100 som är ett mindre system för styrning och övervakning av maskiner och mindre processavsnitt, dels MP200 som är ett större system för styrning och övervakning av industriella processer. För man-maskin kommunikation användes ASEA MasterView, som är den övergripande benämningen på de olika enheter som behövs för att processen skall kunna övervakas. MasterView100 är en familj av små panelenheter. Dessa sitter ute vid maskinerna i processen och används för övervakning och intrimning. MasterView800 används för processinformation på färgbildskärm i form av översikts-, grupp-, objekt- och processbilder, trendkurvor m.m.

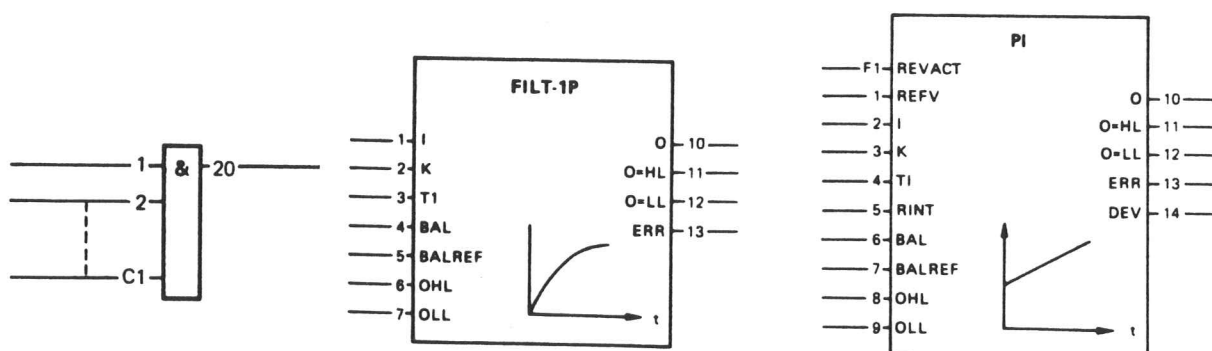


Figur 5.2 MasterAid 214

Vid programmering av MP användes ett eget högnivåspråk, ASEA MasterPiece Language. Språkets minsta element är en komplett funktion som t.ex. en logisk grind, ett filter, en regulator o.s.v. Programmet byggs upp av flera funktioner (PC-element) som sedan knyts samman till en fungerande modul. För programmering används programmeringshjälpmedlet MasterAid 214. Med MasterAid 214 programmerar man med funktionselementen presenterade som grafiska symboler på skärmen. Programmet dokumenteras i riktiga krets-scheman och kan fås ut på grafisk printer.

5.2 ASEA MASTERPIECE - FÖRDELAR OCH NACKDELAR

Under implementeringen av förslaget till kombinerad värmemängds-mätare och regulator framkom en hel del för- och nackdelar med ASEA MasterPiece. Det som gör MasterPiece till ett av de mest välgenomtänkta PC-systemen är att både programmering och dokumentering av program göres med hjälp av färdiga funktionselement (PC-element), vart och ett representerat av en grafisk symbol. Som tidigare nämnts representerar ett PC-element en komplett funktion som t.ex. en logisk grind, ett filter, en regulator m.m. Det finns f.n. ca 100 olika PC-element utgivna.



Figur 5.3 Exempel på PC-element

Även databasen konfigureras, dimensioneras och ifylles med hjälp av olika funktionselement som kan presenteras grafiskt på programmeringshjälpmedlets bildskärm.

Programmeringsspråket bygger på att programmet delas upp i väl avgränsade moduler, som sedan kommunicerar med varandra via ett antal in- och utsignaler. Detta är en klar fördel, programmet blir nämligen mycket strukturerat. Dessutom kan exekveringen av de olika modulerna styras från programmeringshjälpmedlet. Detta underlättar mycket vid testning och driftsättning då de olika modulerna kan testas var för sig.

En annan fördel är att PC-elementen kan presenteras grafiskt på hjälpmedlets skärm i samband med programmeringen. Programmeringen är uppbyggd som en dialog mellan programmeraren och datorn. Önskade PC-element för de olika modulerna tas fram och placeras i exekveringsordning i ett träd. När elementens in- och utgångar skall knytas samman underlättar den grafiska representationen mycket, speciellt i början av programmeringen då man ännu inte lärt sig vilka in- och utgångar som finns till de olika elementen.

Det område där MasterPiece är överlägset de flesta andra PC-system är dokumentationen. Programmet skrives ut på grafisk printer i form av riktiga kretsscheman. Om signalerna används på ytterligare sidor anges detta med sidhänvisningar. Programmet blir därför mycket lättöverskådligt vilket underlättar mycket vid felsökning.

Tyvärr innebär programmeringssättet och språket även en del problem. Det stora problemet är den stora dokumentation som behövs för att kunna programmera MasterPiece. Att lära sig all denna dokumentation är näst intill omöjligt. Det har dessutom inte gått att samla all dokumentation i en handbok, det finns istället ett flertal olika manualer. Detta leder till att det, speciellt i början, blir mycket letande i de olika manualerna i samband med programmeringen. Efterhand lär man sig dock de vanligaste kommandona men det upplevs ändå som störande att då och då börja leta i de olika handböckerna.

En annan nackdel med dokumentationen kring MasterPiece är att den släpar efter något, troligen p.g.a. den snabba vidareutvecklingen. Tyvärr leder detta till problem då man inte har aktuell dokumentation om systemet, PC-elementen m.m.

Dessvärre har några av PC-elementen fått en funktion som inte helt överensstämmer med den som finns angiven i databladet för resp. element. En del felaktigheter har t.o.m. lett till att systemet har upphört med programexekveringen. Dock pågår förbättring av dessa element parallellt med utvecklingen av nya.

Sammanfattningsvis kan sägas att ASEA MasterPiece är ett relativt användarvänligt system. Efter en första inkörningsperiod med den myckna dokumentationen upplevdes systemet som mycket behagligt. Jag anser att detta programmeringssätt är klart överlägset alla de olika typer av reläspråk som annars dominerar marknaden.

5.3 KOMMENTARER TILL PC-PROGRAMMET

Programmet i sin helhet återfinnes i en separat bilaga. Då de grafiska symbolerna är ganska självtalande presenteras de olika styrmodulerna här ganska kortfattat.

5.3.1 STYRMODUL 1 - FELÖVERVAKNING OCH HANTERING AV ANALOGA INSIGNALER

I block 1 övervakas de analoga temperatur- och flödessignalerna. För framledningstemperaturen övervakas även att den ligger inom de tillåtna värden som anges av fjärrvärmenätet. Då ett fel uppstår indikeras detta m.h.a. ett FAULT-element. Även en logisk signal för fast debitering aktiveras då ett fel uppstår.

I block 2 filtreras de analoga insignalerna i lågpasfilter för att sedan användas i programmet. Det finns även lågpasfilter i databaselementen, men dessa visade sig fungera mindre bra. I registren REG sparas även de analoga värden som fanns 10 minuter tidigare. Registren uppdateras en gång i minuten. Vid ett fel som innebär att fast debitering är lämplig fryses dessa värden och används i debiteringen via balanseringsingångarna på filterelementen. Fjärrvärmenätets energiförbrukning ändras mycket långsamt och därför blir den fasta debiteringen ganska relevant.

5.3.2 STYRMODUL 2 - FELUTSKRIFTER

I block 1 genereras diverse signaler för aktivering av felutskrift. Då ett fel uppstår ges signal för utskrift av "nytt fel". Då operatören kommer till platsen kan han aktivera en digital ingång, då ges signal för utskrift av kvarstående fel. Då alla fel har försvunnit ges signal för en utskrift som talar om detta.

I detta block finns även signaler som talar om då flödet resp. differensstemperaturen går under den gräns som satts för noggrann debitering. Dessutom ges utskriftsignal då regulatören höjer eller sänker framledningstemperaturen för att öka ΔT (och sänka flödet) resp. öka flödet (och minska ΔT). Därmed fås även dokumenterad information om hur regulatören har löst sin uppgift.

I block 2 återfinnes de TEXT- och PRINT-element som producerar och sänder aktuella textrader till en printer. Felutskrifterna aktiveras av signalerna från block 1. Då ett nytt fel inträffar talar utskriften om vilket fel som har inträffat, tidpunkt samt de mätvärden som används av den då påbörjade fasta debiteringen.

Utskriften av kvarstående fel ansågs senare onödig då dessa även indikeras med lampor. Därför har dessa utskriftselement tagits bort. Då felet försvinner talas detta om med text, dock utan tidsangivelse. Denna utskrift skall egentligen kompletteras med tidsangivelse för att vara användbar.

När flödet resp. ΔT passerar sina mingränser antingen uppåt eller nedåt anges detta i klartext, tillsammans med tidsangivelse. Det samma gäller när regulatorn höjer eller sänker framledningstemperaturen.

I figur 5.27 visas exempel på några av utskriftena.

```
*****  
INGA STORA FEL KVAR,  
NORMAL DEBITERING PÅBÖRJAD  
*****
```

```
*****  
TID: 04:31:55.8  
DELTAT HAR GÅTT UNDER MINGRANS  
*****
```

```
*****  
TID: 04:48:58.8  
HÖJNING AV FRAMLEDNTEMP FÖR  
ATT FÖRBÄTTRA DELTAT  
*****
```

```
*****  
TID: 04:58:22.8  
DELTAT HAR GÅTT ÖVER MINGRANS  
*****
```

Figur 5.27 Exempel på utskrifter

5.3.3 STYRMODUL 3 - NORMALA UTSKRIFTER

För att dokumentera vad som händer i processen skrivs aktuella värden ut varje timme. Signal för utskrift genereras i block 1 m.h.a. de s.k. TIMER-elementen.

I block 2 återfinnes de tillhörande TEXT- och PRINT-elementen. Vid "timutskrift" skrivs även levererad energi under den senaste timmen ut. Vid "dygnsutskrift" skrivs dessutom förbrukad energi under det senaste dygnet ut. Exempel på utskrifter visas i figur 5.28.

```
*****  
NYTTDYGNNYTTDYGNNYTTDYGNNYTTDYGNNYTTDYGN  
IDAG SKRIVER VI: 1985-09-22  
*****
```

```
TID: 00:00:00.1  
TFRAM: 45.1 RETUR: 41.5 DIFFT: 3.5  
FLÖDE: 3.9KG/S EFFEKTFÖRBR: 57.0kW  
LEV ENERGI SENASTE TIMMEN: 56.2kWh  
LEV ENERGI SENASTE DYGNET: 1459.9kWh
```

```
TID: 01:00:00.1  
TFRAM: 45.1 RETUR: 41.5 DIFFT: 3.5  
FLÖDE: 3.9KG/S EFFEKTFÖRBR: 56.8kW  
LEV ENERGI SENASTE TIMMEN: 55.8kWh
```

Figur 5.28 Exempel på utskrifter

5.3.4 STYRMODUL 4 - SINGLEEXEKVERINGSSIGNALER

I denna modul genereras exekveringssignaler för de styrmoduler som skall singleexekveras.

Debiteringsberäkning sker en gång i minuten i enlighet med kap. 3.4.

Var 20:e minut beräknas ett nytt börvärde för framlednings-temperaturen enl. kurvan i figur 3.2. Denna cykeltid är beroende av vilken dödtid som finns i processen.

PI-regulatorn i styrmodul 8 exekveras var 30:e sekund. 30 sekunder är den beräknade stigtiden för Pt100-givaren i framledningen.

5.3.5 STYRMODUL 5 - DEBITERING

Denna modul exekveras en gång i minuten, aktuella mätvärden antages varit samma sedan föregående exekvering, och den levererade energin under den gångna minuten beräknas.

I block 1 beräknas spec. värmen $c(T)$ och densiteten $\rho(T)$ med medelvärdet av temperaturen i fram- och returledningen som insignal. Beräkningen göres med det approximationspolynom som tagits fram i kap.3.4.

I block 2 beräknas integraldelsumman för den gångna minuten och adderas till den rest som kommer från styrmodul 6. Resultatet adderas till timintegralen och dygnsintegralen som används i utskrifterna i styrmodul 3. Delsumman används även i styrmodul 6.

5.3.6 STYRMODUL 6 - PULSER TILL RÄKNEVERK

För att presentera levererad energi används ett pulsräkneverk. I denna modul genereras en puls per kWh till räkneverket. Då en ny delsumma beräknats i modul 5 läses denna in. Så länge resten av delsumman är större än 1 kWh ges en ny puls till räkneverket och delsummans rest minskas med 1.0 kWh.

Modulens cykeltid är anpassad så att delsumman hinner räknas ned med god marginal, innan nästa delsumma adderas till, även vid stort energiuttag.

5.3.7 STYRMODUL 7 - BÖRVÄRDE FÖR FRAMLEDNINGSTEMPERATUR

I denna modul beräknas, i enlighet med kap.3.3, ett nytt värde för framledningstemperaturen var 20:e minut. I block 1 beräknas det okorrigerade börvärdet ur en kurva med i princip samma utseende som kurvan i figur 2.1. Skillnaden är att kurvan har andra brytpunkter, anpassade till aktuellt fjärrvärmenät.

I block 2 hängs korrektionen av börvärdet på. Villkoren för att bestämma den nya korrektionen är de som anges i kap.3.3. Efter limitering av det nya, korrigerade börvärdet ges detta som utsignal från modulen (se bil. 7).

5.3.8 STYRMODUL 8 - PI-REGULATORN

PI-elementet exekveras var 30:e sekund, då detta är den beräknade stigtiden hos Pt100-givaren i framledningen. Vid längre stigtider, vilket inte är ovanligt, ändras singleexekveringstiden i styrmodul 4.

PI-regulatorn (se bil. 8) är inställd så att stegsvaret blir ganska långsamt och man får ingen översläng. Detta är ingen nackdel då processen i sig är väldigt långsamt. Det kan i vissa nät ta en timme innan det reagerar på en ändring i framledningstemperaturen.

5.3.9 STYRMODUL 9 - PULSNING AV TREVÄGSVENTIL

Utsignalen från PI-elementet i modul 8 användes som insignal till den pulsade regulatorn CON-PU1. Regulatorn styr ställdonet till den shuntventil som styr framledningstemperaturen (se figur 2.1).

När det är möjligt att få lägesåterföring från ställdonet användes denna som insignal, i annat fall sättes ingången SIM till 1 och CON-PU1 simulerar ventilläget internt istället. Storleken hos de olika styrsignalerna beror på vilket ställdon som användes.

6. TESTNING OCH UTVÄRDERING

6.1 INSTALLERING

För att verifiera teorierna praktiskt installerades PC-systemet i en anläggning under september månad. För detta ändamål valdes radhusområdet Arvidsborg i Kävlinge. Denna anläggning har under sommaren ett mycket lågt ΔT och har därmed en onoggrann debitering. För uppvärmningen svarar 2 st. naturgaseldade pannor, se bil.8.

För att få en noggrannare debitering installerades en induktiv flödesgivare av klass I, istället för den befintliga rotordrivna mätaren. Nya temperaturgivare monterades in, därmed kunde de båda integreringsverken arbeta parallellt och jämföras mot varandra.

För att kunna jämföra de båda reglerstrategierna styrdes nätet varannan vecka enligt den gamla strategin och varannan enligt den nya. Vid byte av reglerstrategi lästes gasklockan av, på så sätt skulle pannans verkningsgrad, i de båda fallen, kunna jämföras. De utskrifter som genereras av PC-programmet skulle ge en bra bild av hur regulatören arbetar.

För att undvika den svängning hos ΔT , som kan ses i simuleringen, programmerades ett dödband in. När ΔT ligger inom $\Delta T_{\min} \pm 0.1$, och flödet är tillräckligt högt, ändras inte börvärdet för framledningstemperaturen. Denna ändring gjordes mycket sent och finns därför inte med i dokumenteringen!

6.2 TESTNING

Vid testningen med det nya PC-systemet uppstod en del problem. De två veckorna med reglering enligt den gamla strategin har ej kunnat dokumenteras. Första veckan genererades inga utskrifter då de s.k. TIMER-elementen i PC-programmet inte fungerade som de skulle. Vid den andra körningen enligt den gamla strategin drabbades området av ett spänningsfall p.g.a. en uppgrävd kabel. Då minnet i PC:n inte var försett med batteri back-up raderades detta ut. Detta var både första och sista gången som jag, efter gjorda program- och parameterändringar vid idrifttagningen, inte tar ut någon back-up av programmet på floppy-disc.

Under de båda veckor då fjärrvärmenätet reglerades enligt den nya strategin inträffade, märkligt nog, inga sådana missöden. Istället kunde metervis av utskrifter tas om hand.

6.3 UTVÄRDERING

Då inte mätningarna blev vad de borde blivit blir utvärderingen ganska mager. Planerna på att jämföra debiteringen under två, i väderhänseende, lika dagar med olika reglerstrategier fick läggas åt sidan. Det fanns nämligen inte några användbara data från de dagar då nätet reglerats enligt den gamla strategin.

Även planerna på att jämföra pannans verkningsgrad skrinlades, delvis p.g.a. de problem som tidigare beskrivits, men i huvudsak därför att en sådan jämförelse inte blir rättvis med så pass korta intervall. När den nya strategin kopplas in höjes ju framledningstemperaturen och naturligtvis temperaturen i hela nätet. Detta innebär en högre gasåtgång. När sedan den gamla strategin kopplas in är nätet uppvärmt och det förbrukas i princip ingen gas under den första tiden. Beräknade verkningsgrader för pannan hade därför blivit felaktiga. För bättre resultat fodras betydligt längre intervall med resp. strategi.

Hos de båda integreringsverken noterades ingen märkbar skillnad. Under provmånaden summerades samma värmemängd fram.

Den nya reglerstrategin visade sig fungera alldeles utmärkt. Differenstemperaturen höjdes efter hand samtidigt som flödet sjönk, precis som planerat. När den gamla strategin användes var differenstemperaturen 0.9-1.1⁰, när den nya strategin användes steg differenstemperaturen till 4.0⁰. Flödet låg dock fortfarande klart över den gräns där onoggrannheten ökar.

Felet i debiteringen fås som

$$\epsilon = \sqrt{\epsilon_T^2 + \epsilon_f^2 + \epsilon_I^2}$$

där

ϵ_T = felet hos de parade Pt100-givarna

ϵ_f = felet hos flödesmätaren

ϵ_I = felet hos integreringsverket

Enligt gjorda mätningar (ref.2) är ett fel i ΔT på upp till 0.06⁰ inte ovanligt. Då fås

$$\epsilon_T = \frac{0.06}{1.0} = 6\% \quad (\text{gamla strategin})$$

$$\epsilon_T = \frac{0.06}{4.0} = 1.5\% \quad (\text{nya strategin})$$

Då flödet i bägge fallen är över q_t fås $\epsilon_f = 1.0\%$. I själva verket är noggrannheten hos den induktiva mätaren 0.5%, men den är klassad för 1.0%.

Felet i integreringsverket är svårt att bestämma, därför används kurvan över tillåtet fel för klass I i figur 1.9.

$$\Delta T = 1.0^0 \Rightarrow \epsilon_I \approx 8\%$$

$$\Delta T = 4.0^0 \Rightarrow \epsilon_I \approx 5\%$$

Totala felet i debiteringen fås med den gamla strategin som

$$\epsilon = \sqrt{6^2 + 1^2 + 8^2} \approx 10\%$$

och med den nya strategin

$$\epsilon = \sqrt{1.5^2 + 1^2 + 5^2} \approx 5.3\%$$

Med den nya strategin har alltså felet i debiteringen nästan halverats!!!

Det bör här påpekas att givarna och integreringsverken nästan alltid kalibreras så att felen är negativa, d.v.s. kunden debiteras för lågt. Denna kalibrering göres för att inte kunden skall debiteras för högt.

Hur mycket kan den ökade noggrannheten ge i ökade debiteringsintäkter? I Kävlinge var förbrukningen, med ett ΔT på ca 10, 30 kWh/h d.v.s. 720 kWh/dygn i augusti månad. Antag att detta är den genomsnittliga förbrukningen under maj-augusti. Under dessa fyra månader förbrukas ca 86 MWh. Med den nya reglerstrategin hade kunden kunnat debiteras med ytterligare ca 5% eller 4.3 MWh!!

Att detta nya tankesätt ger en bättre debitering är härmed ganska klart. Frågan om kostnaden för att producera värmen blir dyrare har ej kunnat klaras ut. För att kunna räkna mer noggrant på hur stora inkomstökningar som kan åstadkommas fodras en längre testning, förslagsvis över en hel sommar och i flera anläggningar.

Avslutningsvis kan alltså sägas att Jan-Åkes kafferast-idé visade sig vara bra. Genom att tumma lite på tankarna att ha så låg värme i nätet som möjligt fås en betydligt noggrannare debitering. Detta faktum borde vara något att tänka på för olika värmeleverantörer.

REFERENSER

1. SIFU. Fjärrvärme 6, Värmemätning. Kurspärm
2. Vattenfall. Värmemängdsmätning - Laboratorieförsök, Felanalys, Rekommendationer.
3. Zustandsgrößen von Wasser und Wasserdampf in SI-Einheiten. Springer-Verlag.
4. Malmström, Björn. Dynamisk modellering och simulering av värmecentral med fjärrvärmenät - tillämpning Skurup. LTH.
5. Åström, Karl-Johan. A simnon tutorial. LTH.
6. Diverse användarhandledningar, datablad m.m. för ASEA Master
7. Diverse material från ett flertal leverantörer av värmemängds- och flödesmätare, ingen nämnd och ingen glömd.

MÄTPUNKTSFÖRTECKNING FÖR PIDDE

UPPGJÖRD

MÄTPUNKT	X-KOORDINAT	Y-KOORDINAT
1	0	4.217
2	10	4.193
3	20	4.182
4	30	4.179
5	40	4.179
6	50	4.181
7	60	4.185
8	70	4.19
9	80	4.197
10	90	4.205
11	100	4.216
12	110	4.229
13	120	4.245
14	130	4.263
15	140	4.285
16	150	4.31
17	160	4.339
18	170	4.371
19	180	4.408
20	190	4.449

TEXTFIL:PIDDE

KOEFFICIENTERNA GÄLLER FÖR FÖLJANDE VÄRDE PÅ EPSILON=7E-04

POLYNOMETS GRADTAL=6

$F(X)=C(6)*X^6+...+C(0)$

POLYNOMETS KOEFFICIENTER ÄR:

$C(0)= 4.21673899$

$C(1)= -3.11957964E-03$

$C(2)= 9.19206233E-05$

$C(3)= -1.29026945E-06$

$C(4)= 1.00698249E-08$

$C(5)= -3.82525031E-11$

$C(6)= 5.7508025E-14$

TEXTFIL:PIDDE

INFORMATION OM HUR APPROXIMATIONEN LYCKATS

ANTAL MÄTPUNKTER= 20

APPROXIMATIONSPOLYNOMETS GRADTAL= 6

EPSILON= 7E-04

MÄTPUNKT I	X(I)	F(X(I))	F*(X(I))	FEL(I)
1	0	4.217	4.21673899	-2.61006877E-04
2	10	4.193	4.19354192	5.41919842E-04
3	20	4.182	4.18228594	2.85938382E-04
4	30	4.179	4.17831184	-6.88163564E-04
5	40	4.179	4.17854881	-4.51190397E-04
6	50	4.181	4.18115895	1.58948824E-04
7	60	4.185	4.18522314	2.23137438E-04
8	70	4.19	4.19046833	4.6832487E-04
9	80	4.197	4.19703626	3.62601131E-05
10	90	4.205	4.20529357	2.93571502E-04
11	100	4.216	4.2156833	-3.16707417E-04
12	110	4.229	4.22861778	-3.82216647E-04
13	120	4.245	4.24441304	-5.86958602E-04
14	130	4.263	4.26326446	2.64460221E-04
15	140	4.285	4.28526393	2.63929367E-04
16	150	4.31	4.3104584	4.58406284E-04
17	160	4.339	4.33894985	-5.01517206E-05
18	170	4.371	4.37103658	3.65730375E-05
19	180	4.408	4.40739602	-6.03983179E-04
20	190	4.449	4.4493089	3.08895484E-04

MÄTPUNKTSFÖRTECKNING FÖR PIDDE2

UPPGJORD

MÄTPUNKT	X-KOORDINAT	Y-KOORDINAT
1	0	.9998
2	5	1
3	10	.9997
4	20	.998303
5	30	.9957184
6	40	.99226
7	50	.988045
8	60	.9831875
9	70	.977708
10	80	.971628
11	90	.965158
12	100	.95813

TEXTFIL:PIDDE2

KOEFFICIENTERNA GÄLLER FÖR FÖLJANDE VÄRDE PÅ EPSILON=4E-05

POLYNOMETS GRADTAL=5

$F(x) = C(5) \cdot x^5 + \dots + C(0)$

POLYNOMETS KOEFFICIENTER ÄR:

- C(0)= .999809793
- C(1)= 7.31073618E-05
- C(2)= -8.69299884E-06
- C(3)= 6.90445103E-08
- C(4)= -4.29193553E-10
- C(5)= 1.18207499E-12

TEXTFIL:PIDDE2

INFORMATION OM HUR APPROXIMATIONEN LYCKATS

ANTAL MÅTPUNKTER= 12

APPROXIMATIONS POLYNOMETS GRADTAL= 5

EPSILON= 4E-05

MÅTPUNKT I	X(I)	F(X(I))	F*(X(I))	FEL(I)
1	0	.9998	.999809793	9.7930897E-06
2	5	1	.999966371	-3.36291268E-05
3	10	.9997	.999736438	3.64375301E-05
4	20	.998303	.998282208	-2.07915436E-05
5	30	.9957184	.995724594	6.19445928E-06
6	40	.99226	.992266447	6.44708052E-06
7	50	.988045	.988050167	5.16627915E-06
8	60	.9831875	.983171886	-1.56138558E-05
9	70	.977708	.977695657	-1.23423524E-05
10	80	.971628	.971667634	3.9634062E-05
11	90	.965158	.965130259	-2.77413055E-05
12	100	.95813	.958136446	6.44591637E-06

```
CONTINUOUS SYSTEM radhouse
TIME t
INPUT tin tute tutefel
OUTPUT tut mtot
STATE t2 tv
DER dt2 dtv
mrad1 = kt*(tob-to+1.5)
mrad = IF mrad1<0 THEN 0 ELSE IF mrad1>firm THEN firm ELSE mrad1
mtot = mrad+bypass
q2 = kvin*(to-tv)
dt2 = 3600*((tin-t2)*mrad-q1/c)/m
q1 = q2
to = (t2*krad+kvin*tv)/(krad+kvin)
tuk = tute+tutefel
dtv = (to-tv)/time1 + (abs(tuk-tv))
tut = (t2*mrad+bypass*tin)/(mrad+bypass)
expon:2.5
kt:5
firm:10
tob:20
c:4182
m:3650
kvin:8965
krad:10874
time1:10
time2:5
bypass:1
END
```

```

DISCRETE SYSTEM  reg1
INPUT tut m tute tin
OUTPUT tinbor
STATE corr
NEW ncorr
TIME t
TSAMP ts
deltat = tin-tut
tref = trf-k1*tute
tfbor = IF  tref>tfbmax  THEN tfbmax ELSE IF  tref<tfbmin  THEN tfbmin EL
test1 = IF  deltat>deltatdb AND corr<0 AND m>mt  THEN 1 ELSE 0
test2 = IF  deltat<deltatdb AND m>mt AND corr<corrmax THEN 1 ELSE 0
test3 = IF (test1 OR test2)AND tfbor+corr<tfbmax THEN 1 ELSE 0
test4 = IF  m<mmin AND corr>corrmin THEN 1 ELSE 0
test5 = IF  deltat>deltatdb AND m<mt AND corr>corrmin THEN 1 ELSE 0
test6 = IF  deltat>deltatdb AND m>mt AND corr>0 THEN 1 ELSE 0
test7 = IF (test4 OR test5 OR test6) AND tfbor+corr>tfbmin THEN 1 ELSE 0
"korr = IF  test3  THEN corr+1 ELSE IF test7  THEN corr-1 ELSE corr
korr = 0
tinbor = tfbor+korr
ncorr = korr
ts = t+tk*h
h:0.03333
tk:10
"tk=10 => var tjugonde minut
trf:44.7
k1:1.58
tfbmax:90
tfbmin:20
dtmin:2
deltatdb:4
corrmin:-20
corrmax:20
mt:1
mmin:0.5
END

```

```
DISCRETE SYSTEM bdelay
TIME t
TSAMP ts
INPUT u1 u2
OUTPUT y1 y2
STATE x11 x12 x13 x14 x15
STATE x21 x22 x23 x24 x25
NEW n11 n12 n13 n14 n15
NEW n21 n22 n23 n24 n25
n11 = u1
n12 = x11
n13 = x12
n14 = x13
n15 = x14
y1 = x15
"
n21 = u2
n22 = x21
n23 = x22
n24 = x23
n25 = x24
y2 = x25
ts = t+h
h:0.03333
END
```

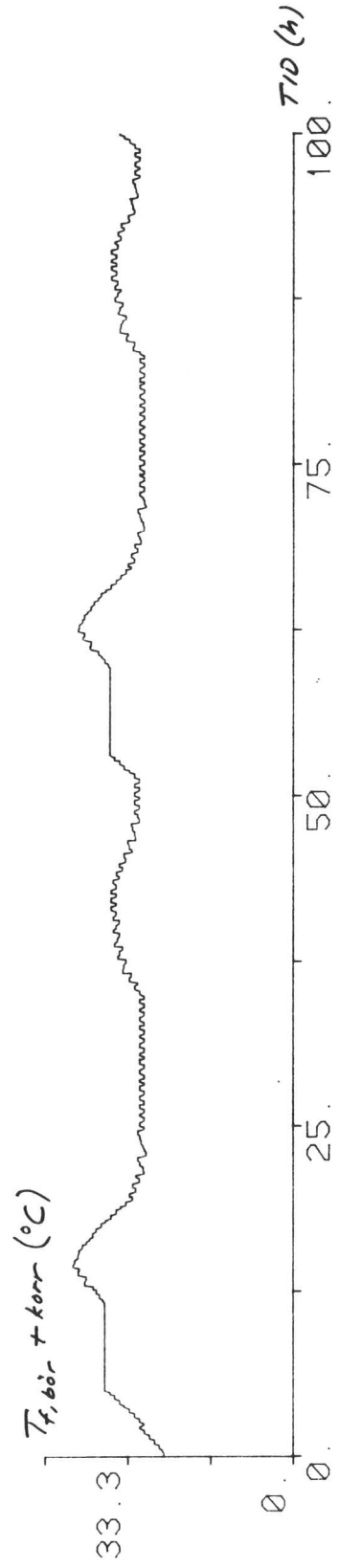
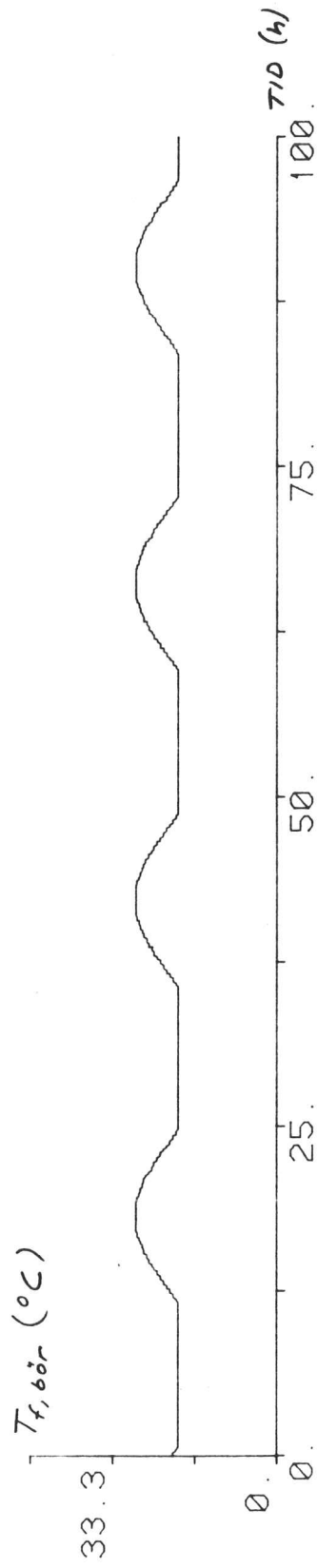
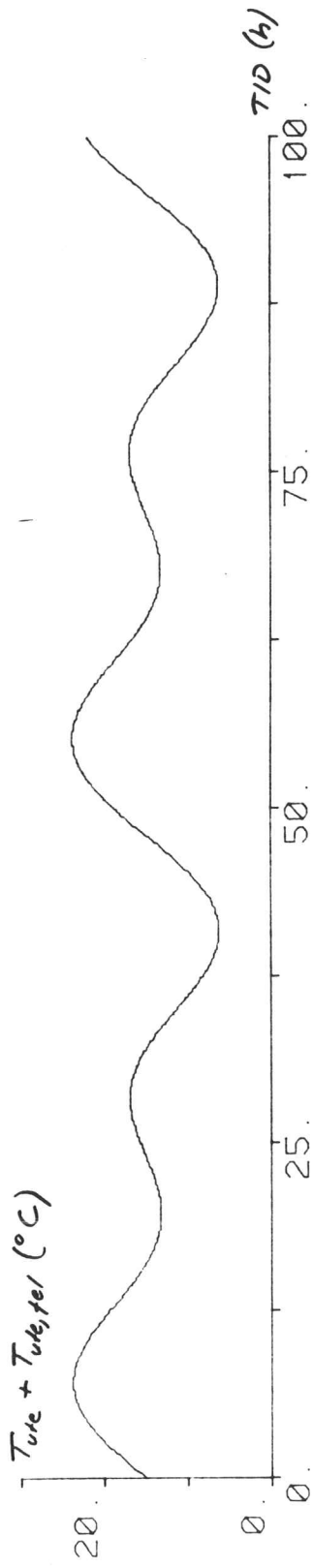
```
DISCRETE SYSTEM regdelay
INPUT tbor
OUTPUT tin
STATE temp
NEW ntemp
TIME t
TSAMP ts
ntemp = tbor
tin = temp
ts = t+h
h:0.0167
END
```

```
CONNECTING SYSTEM nat
"Ännu så länge som Skurup
TIME t
u1ÄbdelayÅ = tinÄregdelayÅ
tinÄreg1Å = tinÄregdelayÅ
tborÄregdelayÅ = tinborÄreg1Å
u2ÄbdelayÅ = tutÄradhouseÅ
tinÄradhouseÅ = y1ÄbdelayÅ
tutÄreg1Å = y2ÄbdelayÅ
mÄreg1Å = mtotÄradhouseÅ
tuteÄreg1Å = amp1*sin(t/3.82)-kyla
tuteÄradhouseÅ = amp1*sin(t/3.82)-kyla
"=> periodtiden 2 dygn
tutefelÄradhouseÅ = amp2*sin(t/0.159)
"=> periodtiden 15 minuter (växlande molnighet, blåsig)
amp1:5
amp2:1
kyla:18
END
```

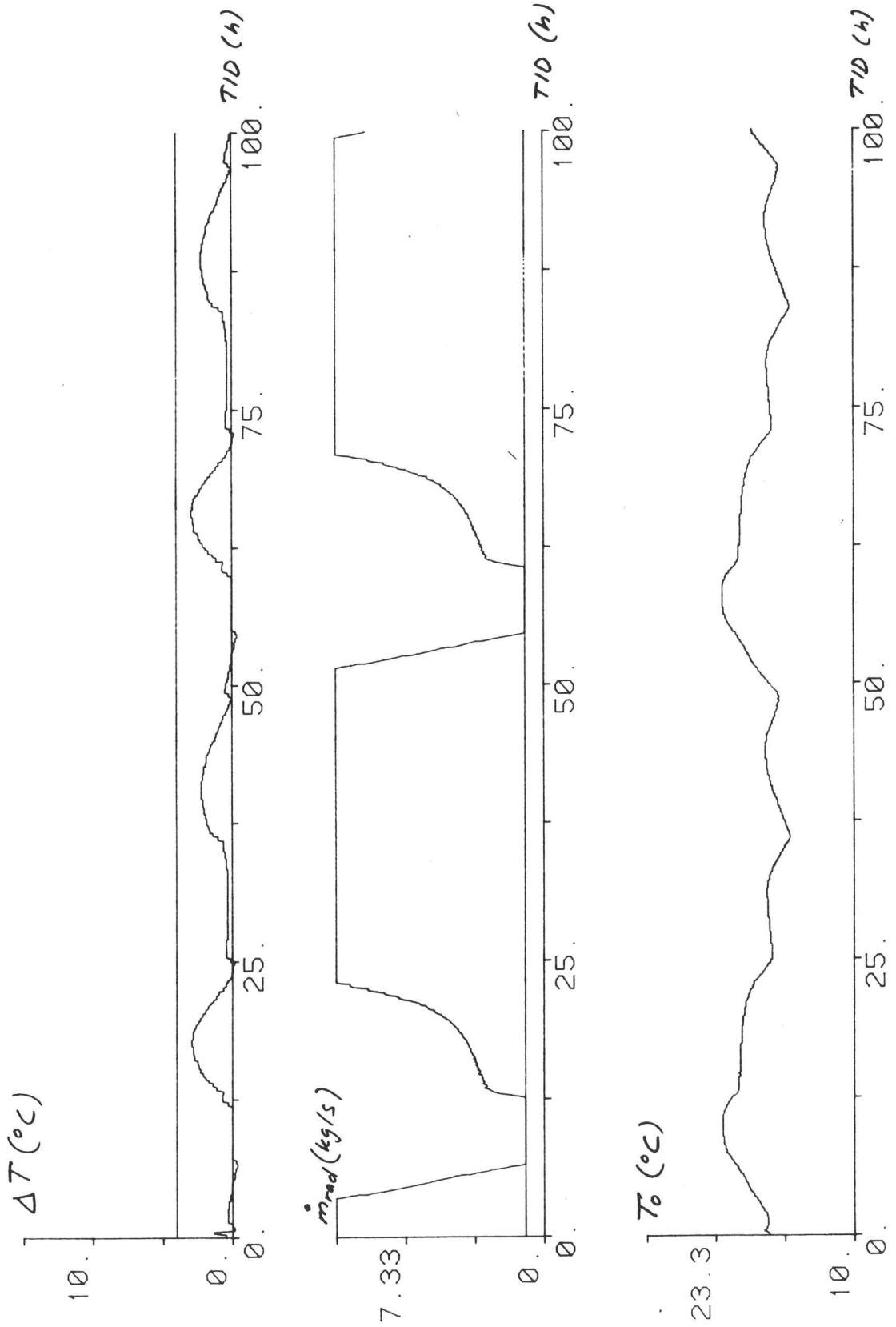
```
MACRO tryagain t
syst reg1 radhouse bdelay regdelay nat
par kyla:t
algor rk
simu 0 2
initial
save inits
get inits
store deltat deltatdb u1 y2 mtot mt tuteÄreg1Å tuk corr
simu 0 100
END
```

```
MACRO graphs
split 3 1
axes h 0 100 vx 0 15
show deltat deltatdb
area 2 1
axes h 0 100 vx 0 11
show mtot mt
area 3 1
axes h 0 100 vx -30 30
show tuk tuteÄreg1Å
END
```

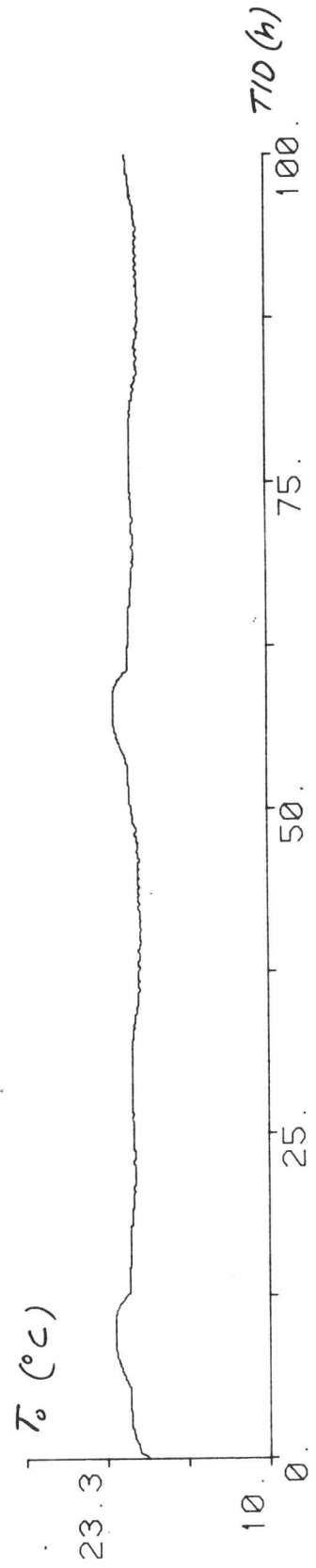
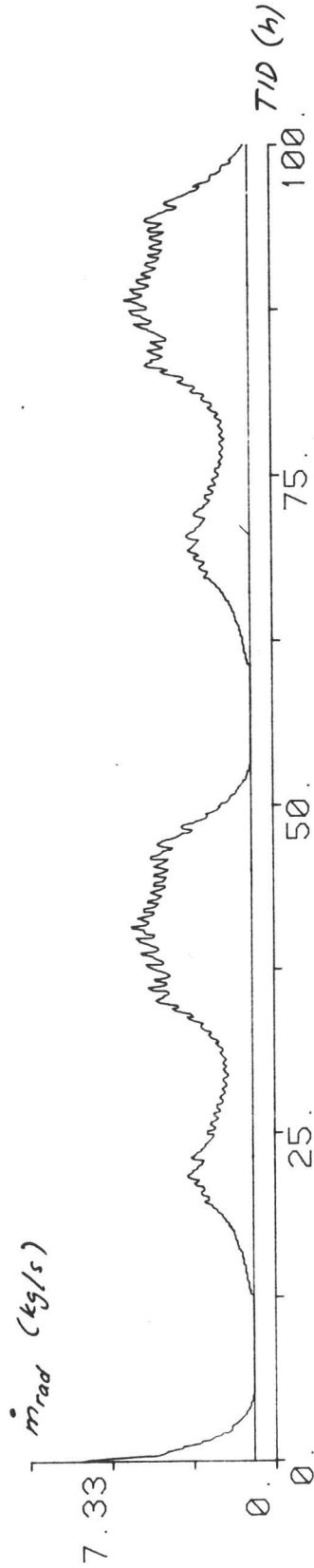
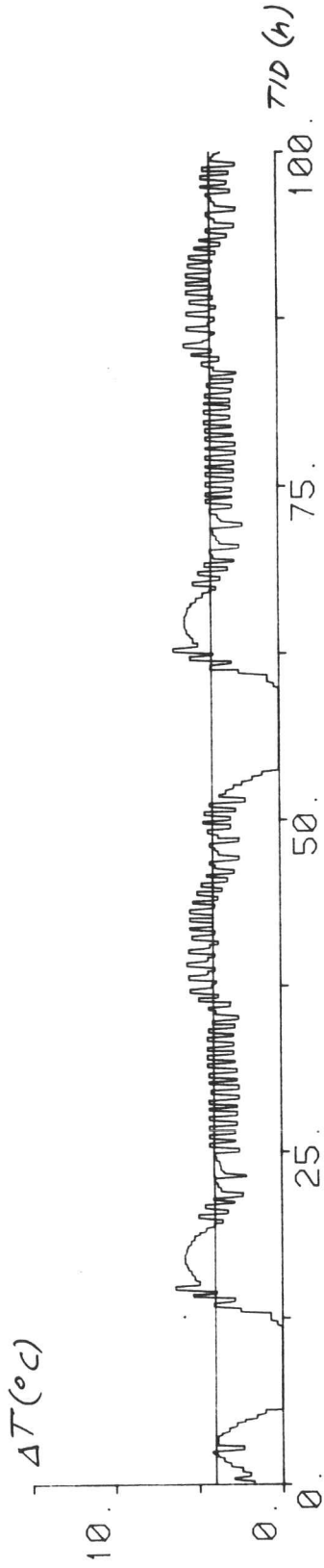
Simulering fall I



Utan korrigerat värde

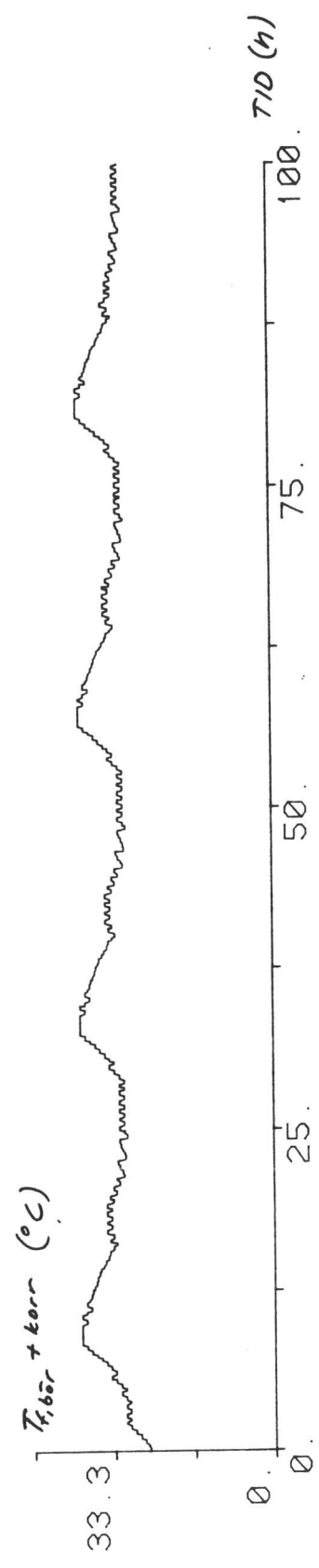
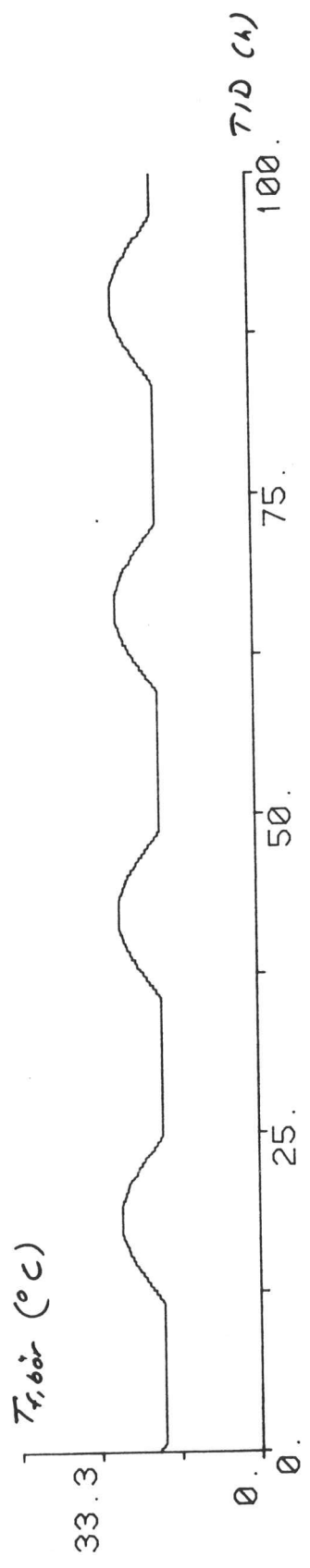
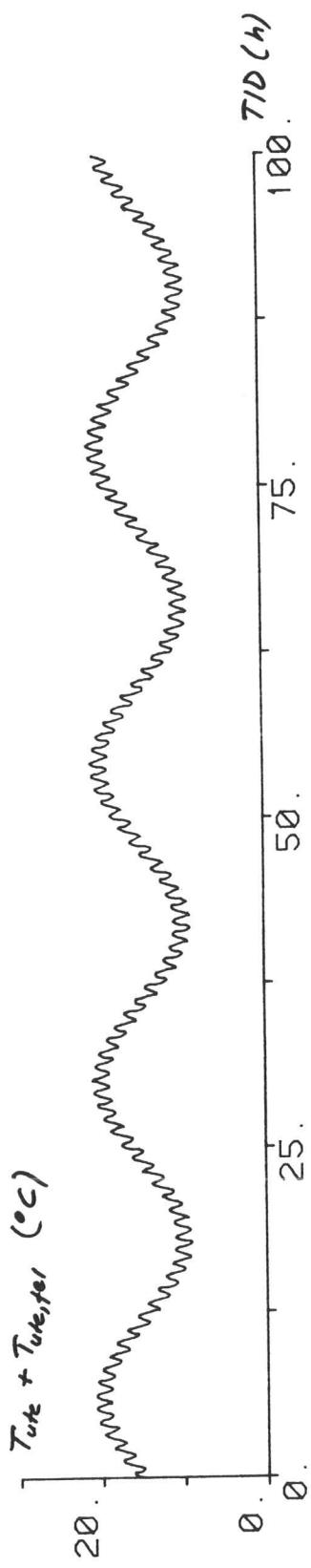


Med korrigerad berrvärde:

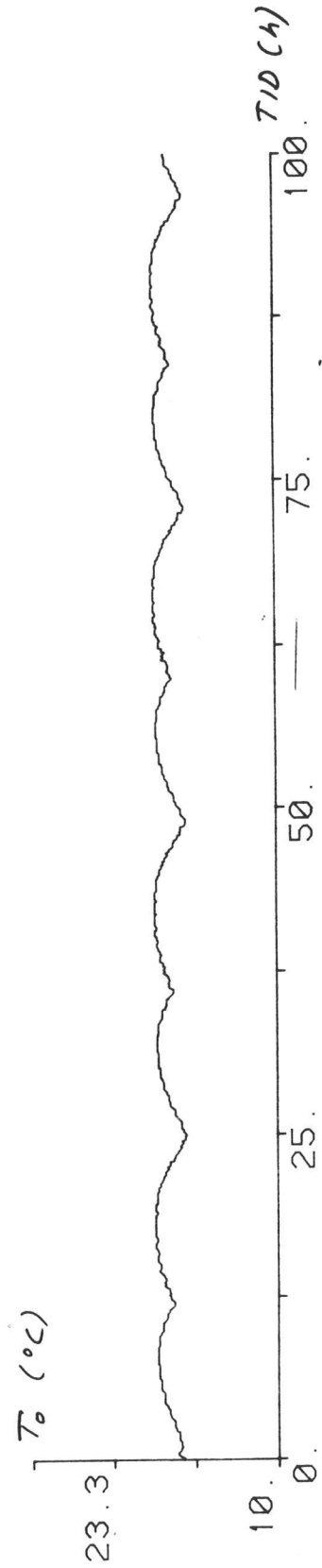
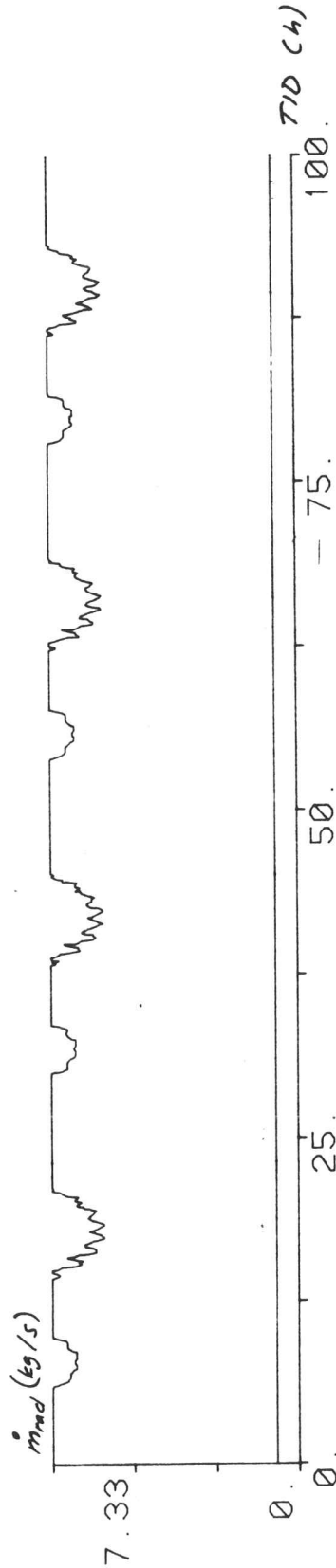
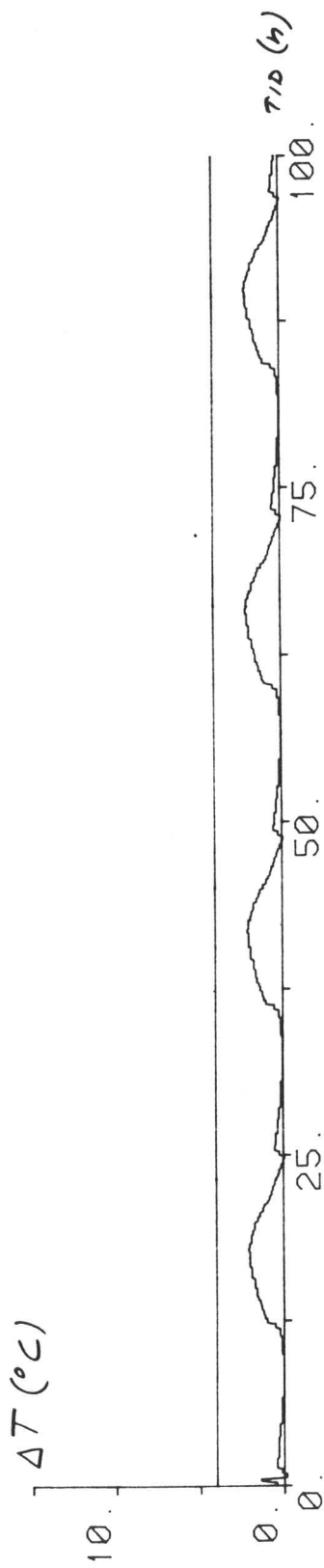


Simulering fall II.

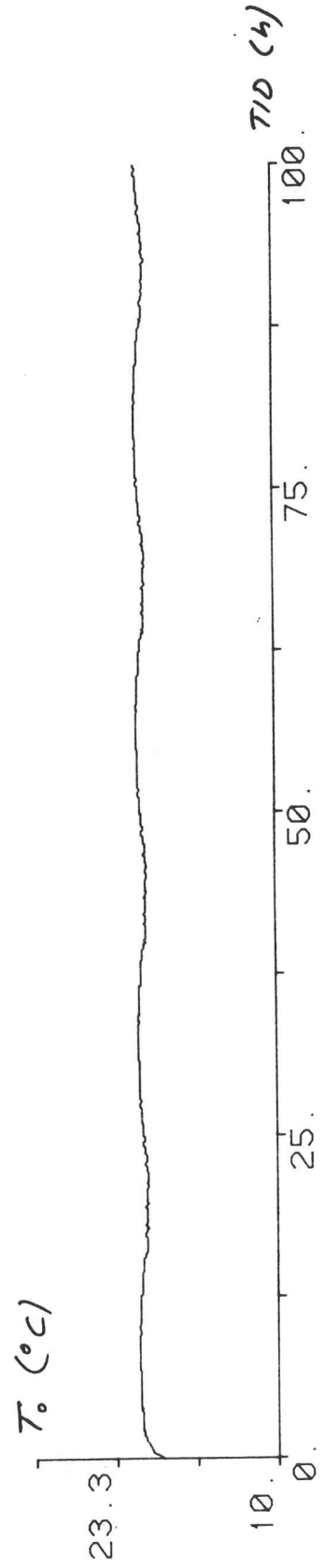
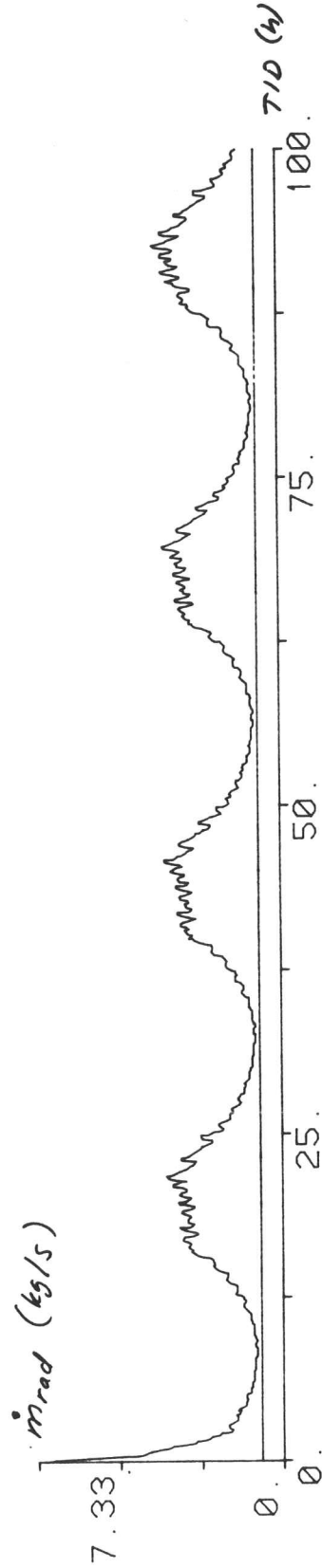
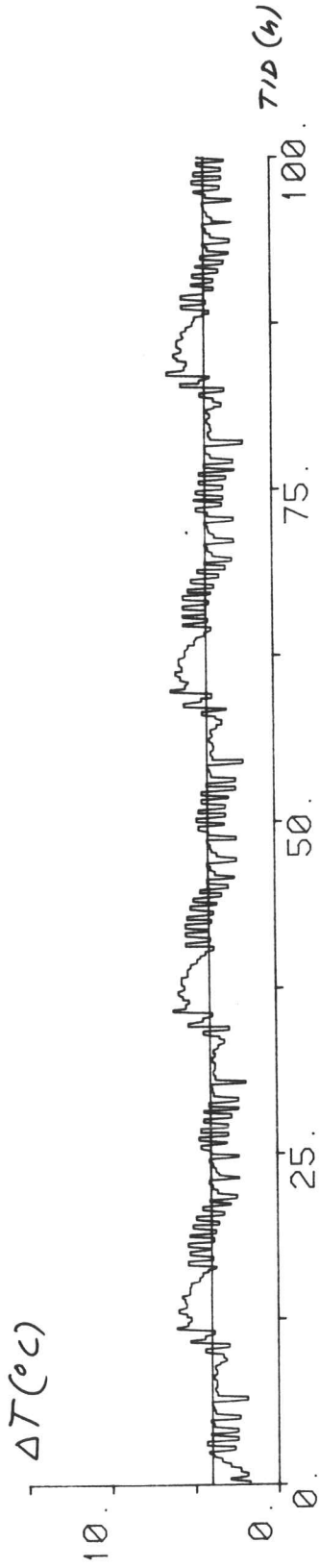
Bil. 5:1



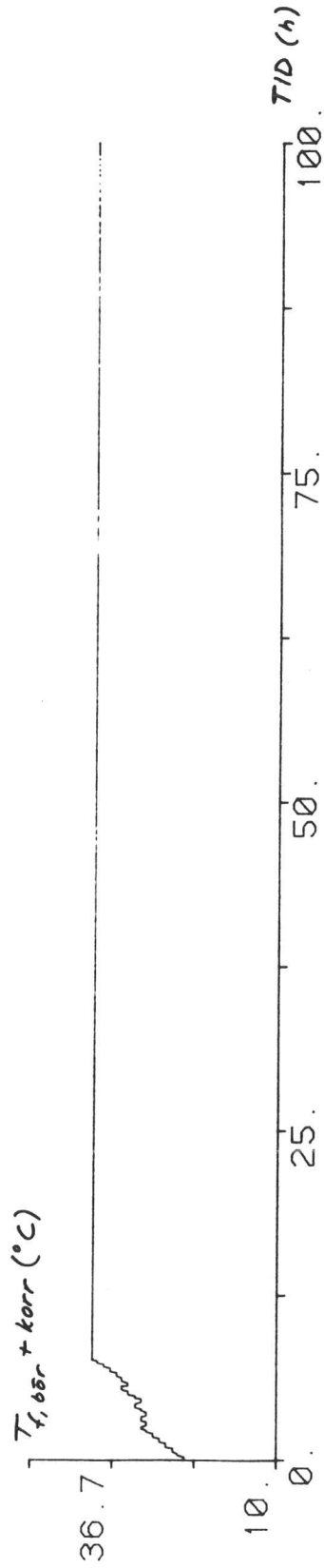
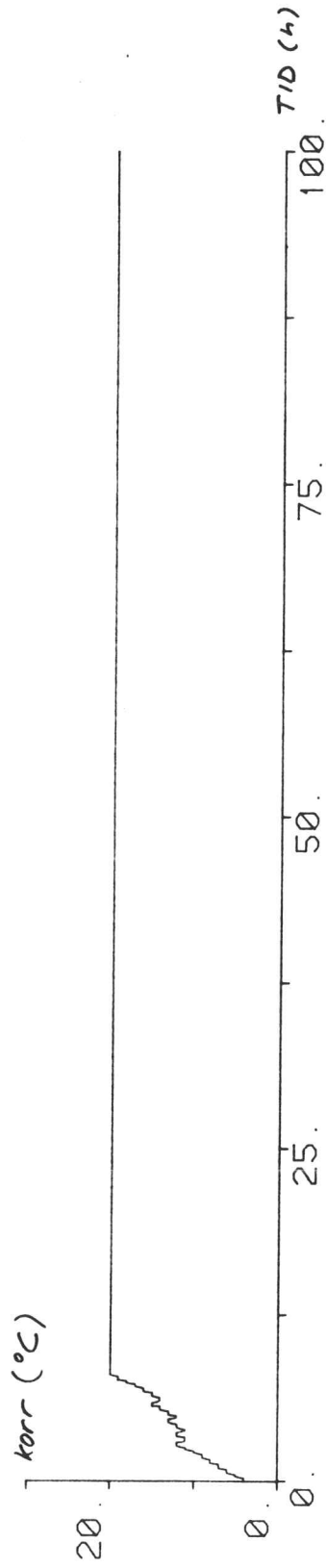
Okorrigerat b rsv rde:



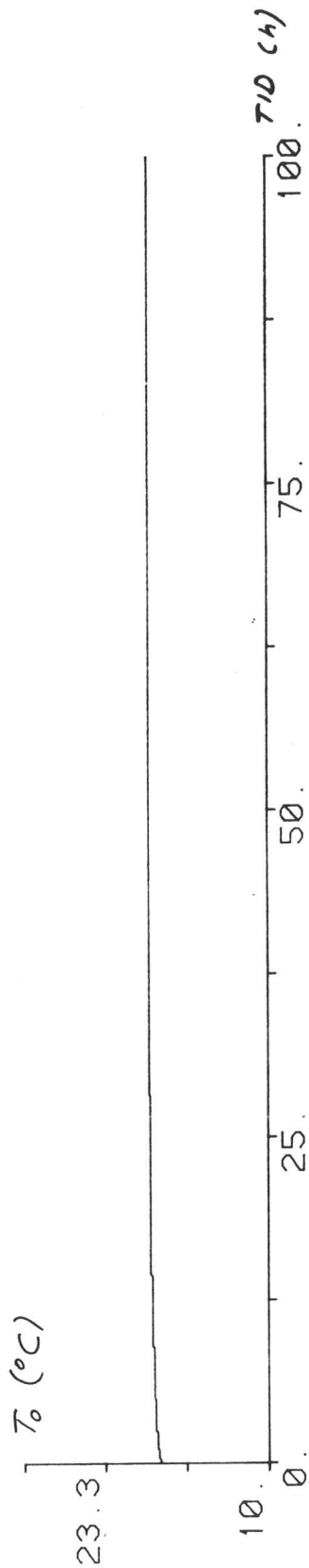
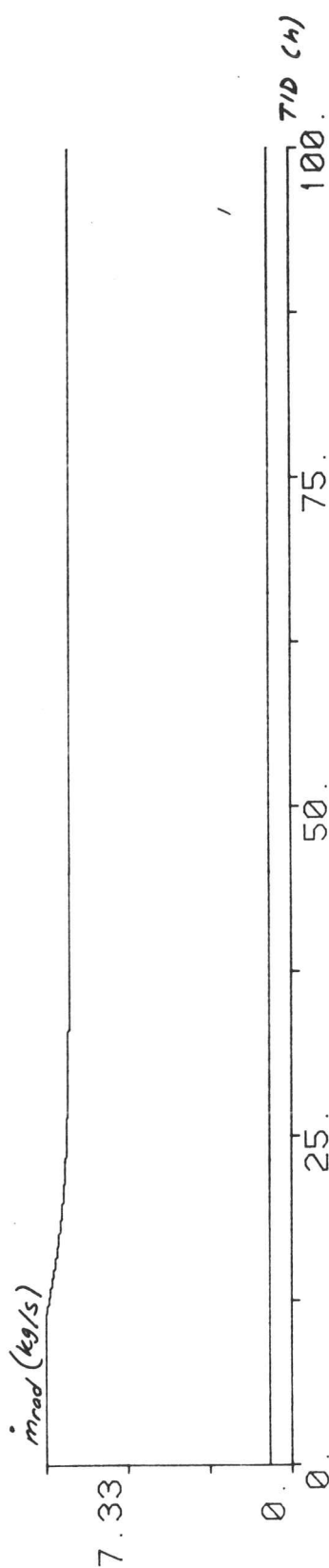
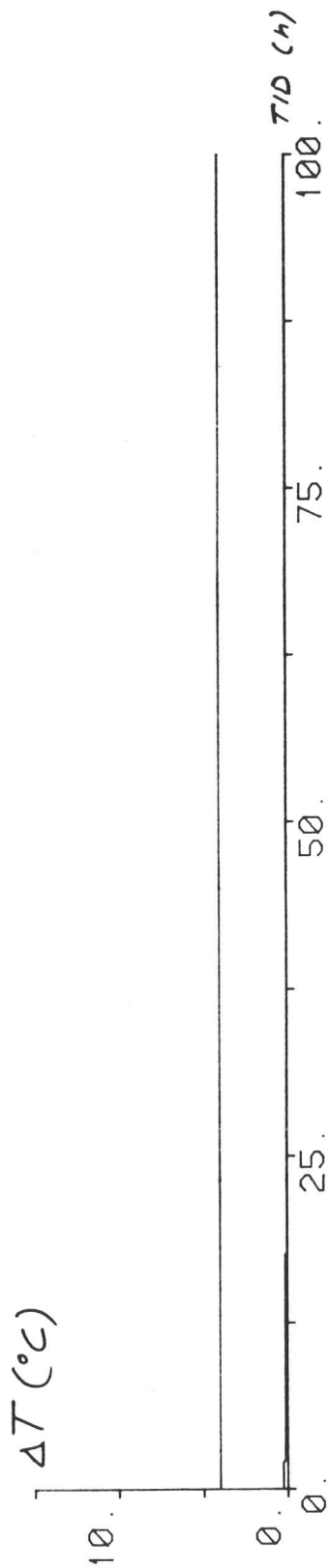
Korrigerat dörvärde:



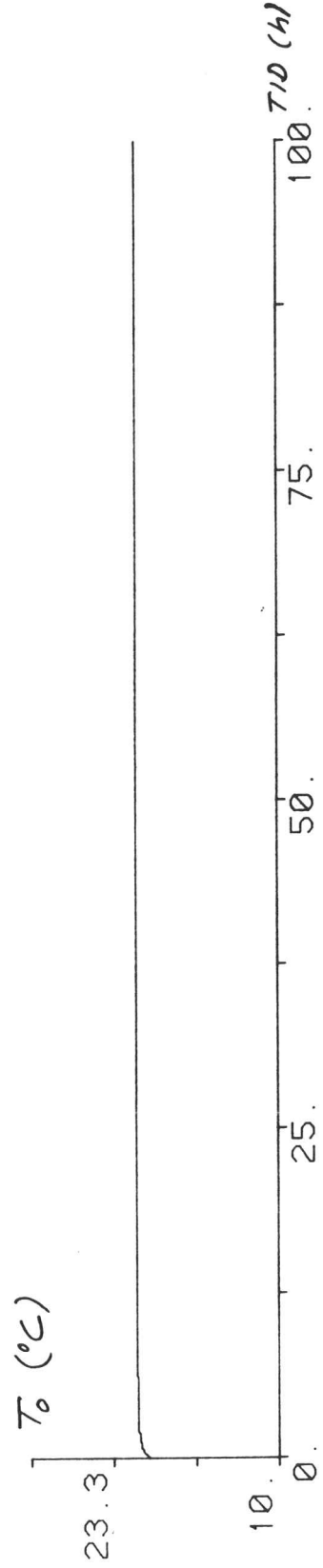
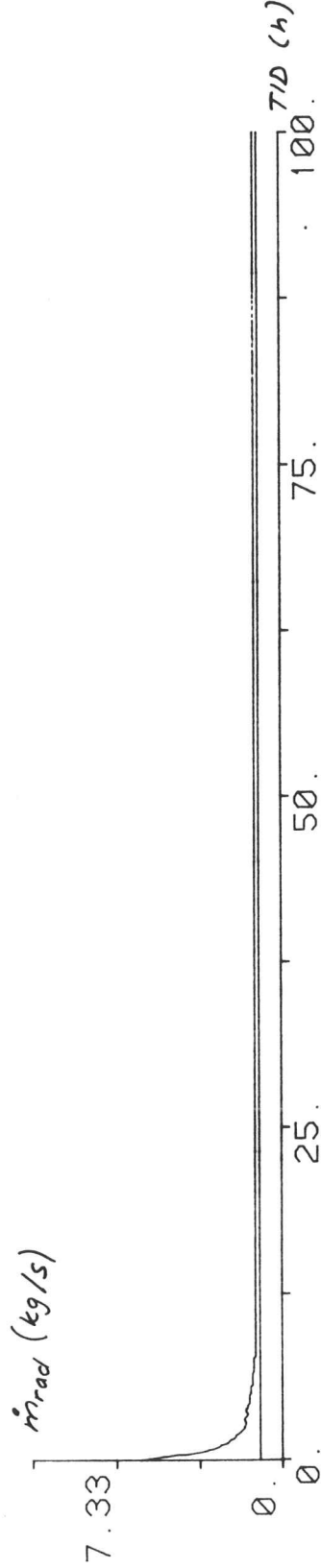
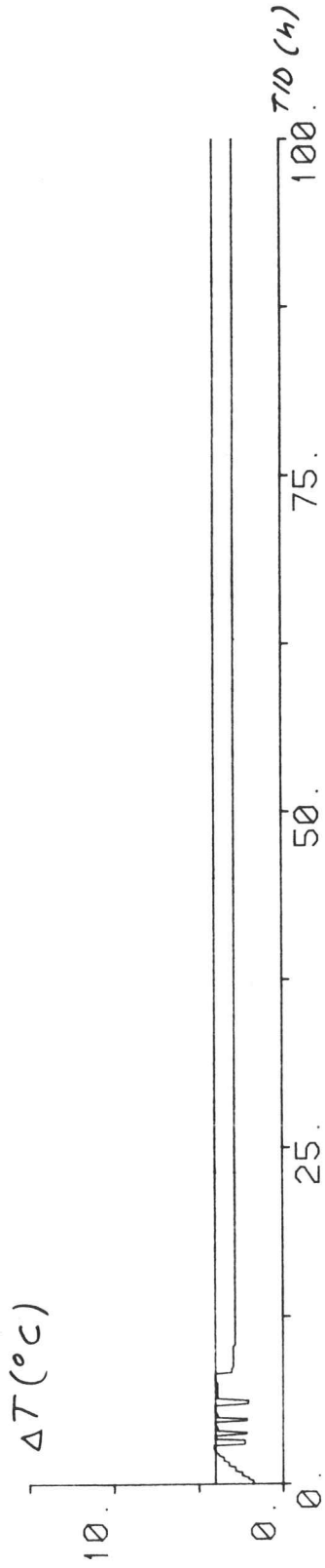
Simulering fall III



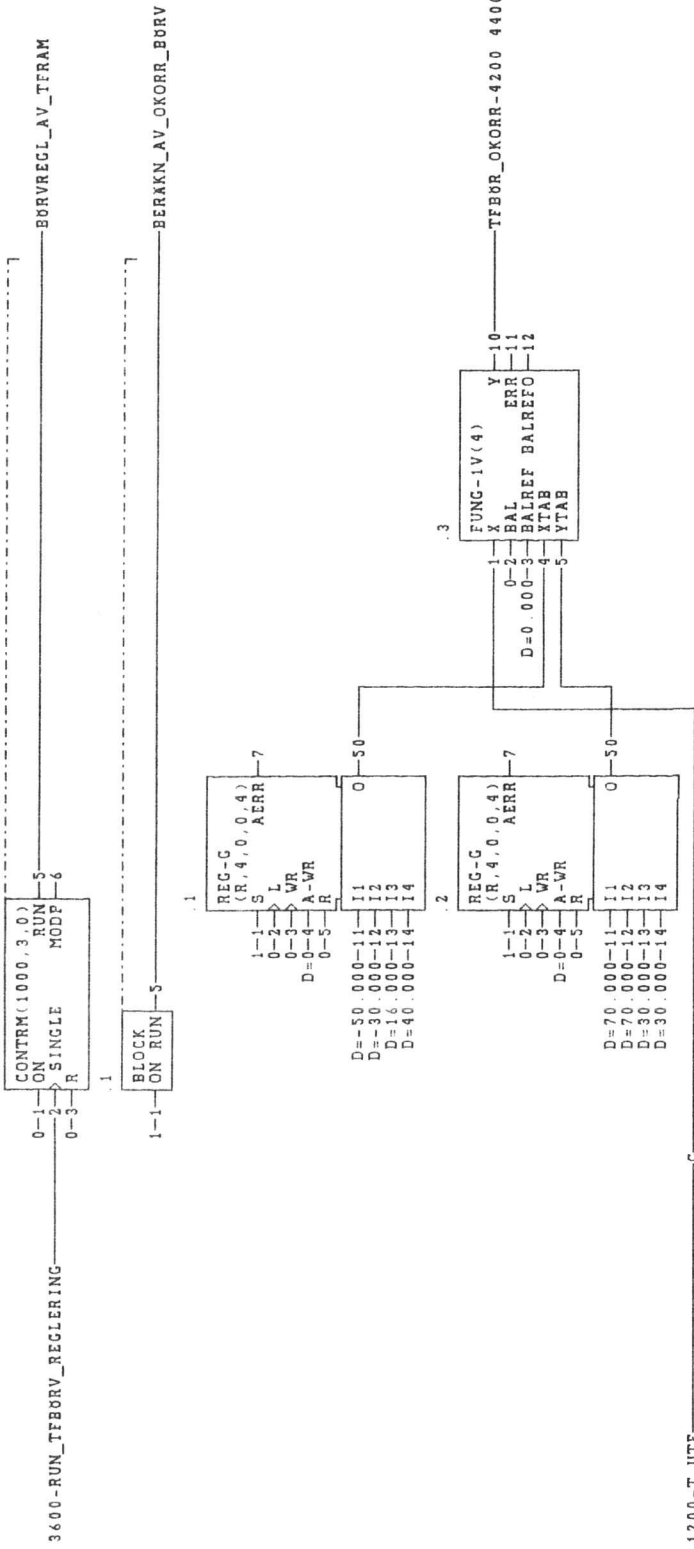
Okorrigerat berrärde.

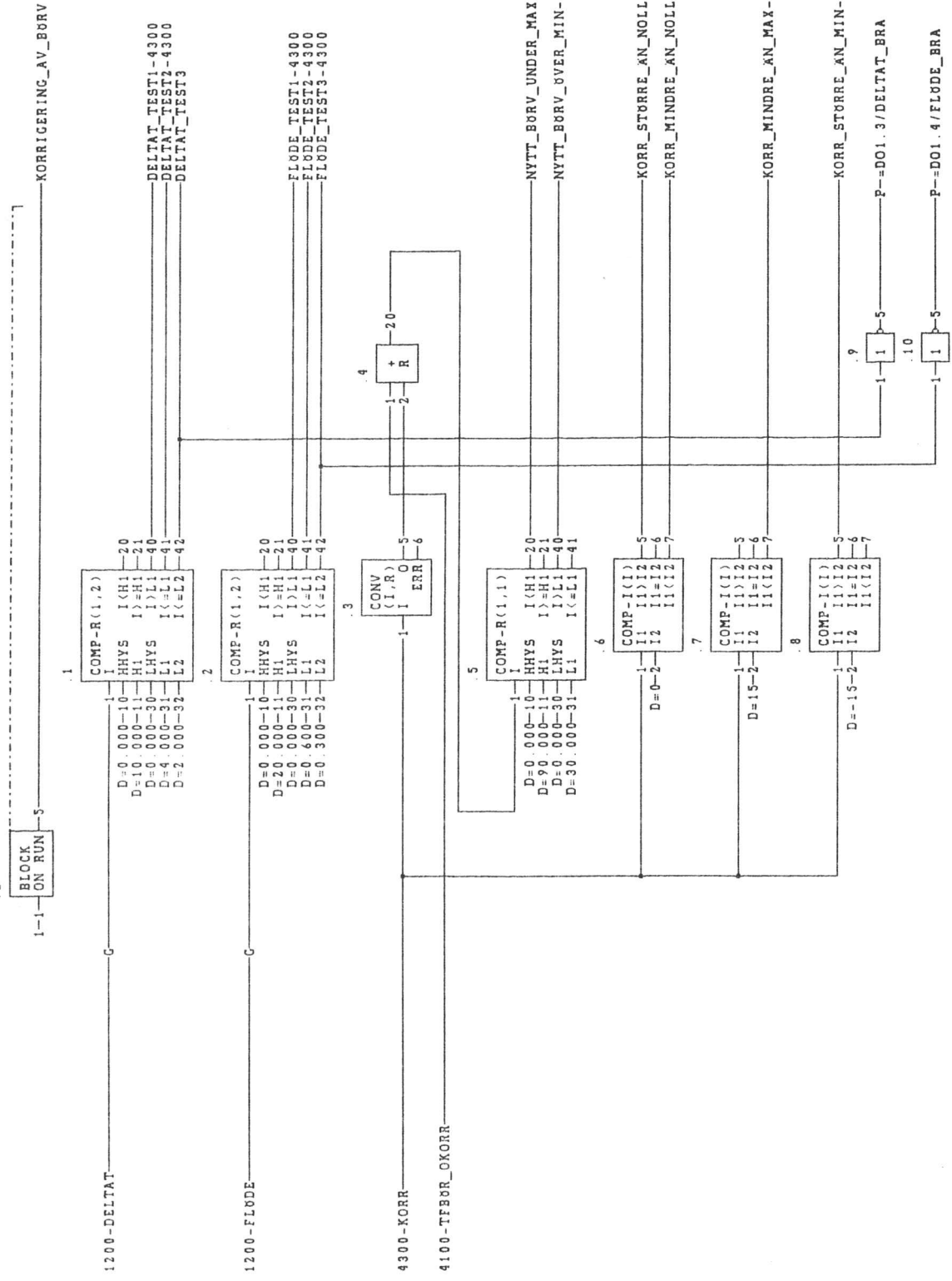


Korrigerat börvärde:



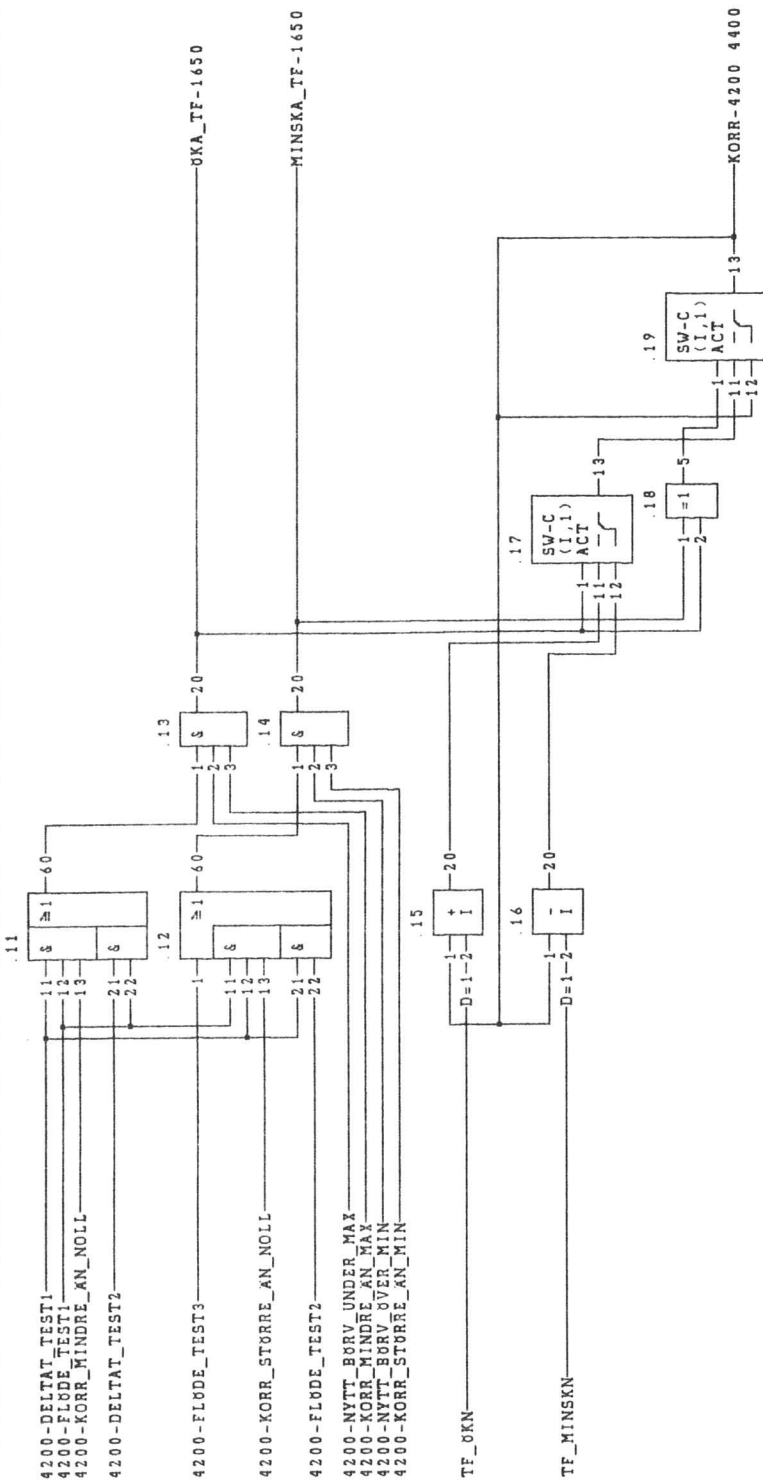
Bil 7:1



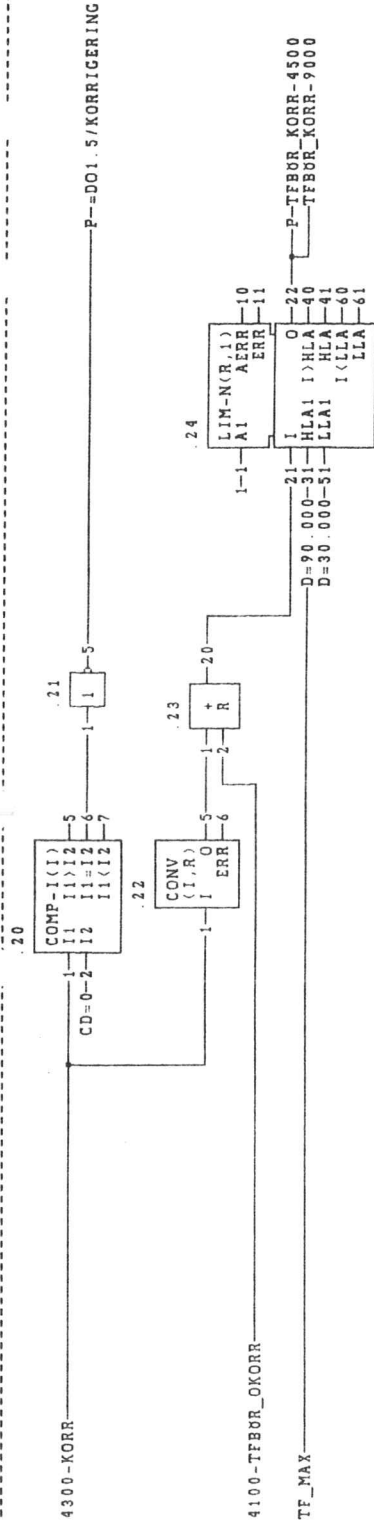


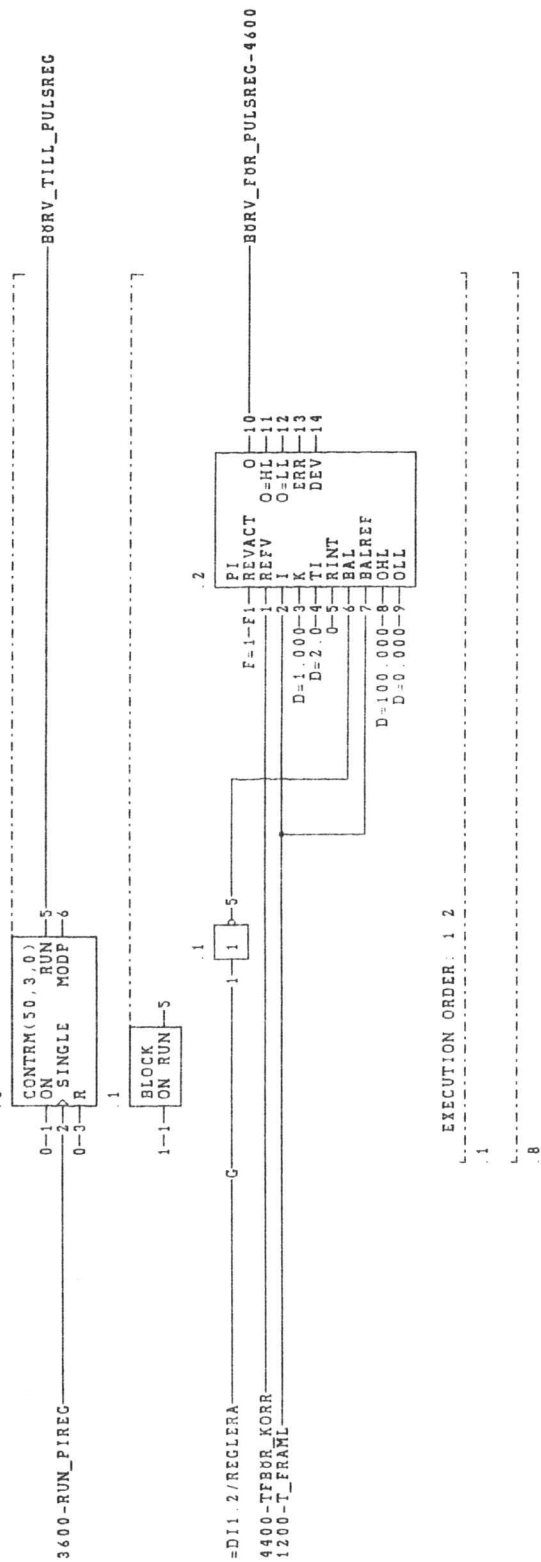
EXECUTION ORDER: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

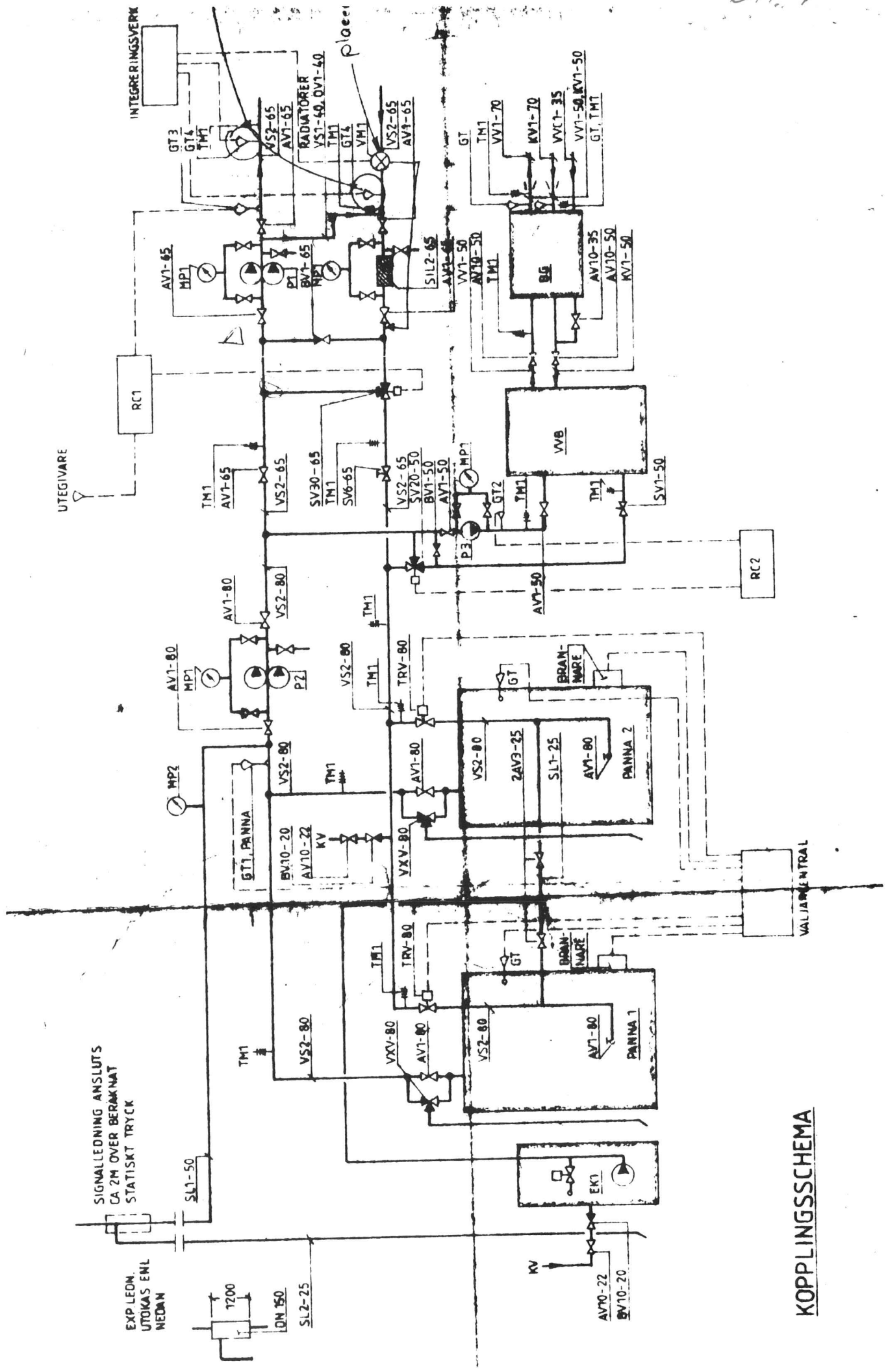
Bil 7:3



EXECUTION ORDER: 11 12 13 14 15 16 17 18 19







KOPPLINGSCHEMA