REGLERING AV FRYSHUS

OLLE FRIDOLF

RE-150 November 1974
Inst. för Reglerteknik
Lunds Tekniska Högskola

REGLERING AV FRYSHUS

Examensarbete för civilingenjörsexamen utfört av Olle Fridolf vid institutionen för Reglerteknik vid Lunds Tekniska Högskola i samarbete med Frigoscandia AB i Helsingborg.

Handledare: Lennart Ljung
Ulf Borisson

1974

INNEHÅLL

Abstract.		1
Kapitel 1.	Inledning.	3
Kapitel 2.	Modellbyggandet.	4
	1. inledning	4
	2. uppställandet av ekvationerna	5
	3. beteckningar och parametervärden	11
	4. simulering och modifiering av modellen	12
Kapitel 3.	Beskrivning av mätningarna.	14
	1. inledning	14
	2. mätningarna i rum 12	14
	3. mätningarna i rum 27	16
Kapitel 4.	Jämförelser mellan mätningar och modell.	18
	1. inledning	18
	2. parametrarna i rum 12	18
	3. en jämförelse mellan mätningarna och simuleringarna för rum 12	21
	4. parametrarna i rum 27	22
	5. en jämförelse mellan luftens tidskonstant vid mätning och beräkning för rum 27	23
Kapitel 5.	Reglerexperiment på modellen.	24
	1. inledning	24
	2. kyla bara på natten	24
	3. dörröppnandet	25
	4. haveri	27
	5. reglersynpunkter	28
Kapitel 6.	Slutsatser.	30
	1. sammanfattning	30
	2. användning	30
	3. förbättringar	31

Appendix A. Programutskrifter.

Appendix B. Figurer.

Appendix C. Referenser.

ABSTRACT.

A simple mathematical model has been made for the heat exchange in a freezing chamber. By this the contents of the room have been regarded as a warm and a cold mass. Equations for convection and radiation between these masses, the room air and the cooling pipes have been made from physical data. The heat transference in the articles, which is described by partial differential equations, has been approximated with ordinary differential equations. The number of states is six.

Comparative measurements have been carried out at Frigoscandia's establishments in Helsingborg. Then among others the temperatures in a warm and a cold articles and the temperature in the room were measured. A comparison between measurement results and simulation of the mathematical model shows that the course in the room can be rather well described with only a simple model. This foremost applies to the slow time constant which represents the articles.

The model can be further improved by paying attention to the dynamics in walls, floor and ceiling. It would also be possible to make an identification on the measurement data.

ABSTRACT.

En enkel matematisk modell har ställts upp för värmeväxlingen i ett frysrum. Härvid har innehållet i rummet betraktats, som en varm och en kall massa. Ekvationer för konvektion och strålning mellan dessa massor, rumsluften och kylrören har satts upp utifrån fysikaliska data. Värmeledningen i varorna, som beskrives av partiella differentialekvationer har approximerats med vanliga differentialekvationer. Antalet tillstånd är sex.

Vid Frigoscandias anläggningar i Helsingborg har jämförande mätningar utförts. Därvid mättes bl.a. temperaturerna i en varm och en kall vara, samt temperaturen i rummet. En jämförelse mellan mätresultat och simulering av den matematiska modellen visar, att man redan med en enkel modell någorlunda väl kan beskriva förloppet i rummet. Detta gäller främst de långsamma moderna, som representerar varorna.

Modellen kan förbättras ytterligare, om man tar hänsyn till dynamiken i väggar, golv och tak. Man skulle också kunna tänka sig att göra en identifiering på mätdata.

KAPITEL 1. INLEDNING.

Efter kontakter mellan institutionen för Reglerteknik och Frigoscandia under 1972, framkom önskemål om, att man skulle försöka göra något åt företagets höga elkostnader. Tanken var, att man efter en del studier skulle kunna göra en matematisk modell för ett fryshus, varvid elförbrukningen skulle vara insignal och lufttemperaturen i rummet utsignal. Genom att sedan på ett lämpligt sätt matcha denna mot eltaxan, så skulle man kanske kunna minimera elkostnaderna för ett fryshus. Detta examensarbete är en länk i detta arbete.

Examensarbetet behandlar värmeväxlingen i ett fryshus. En modell har ställts upp och simulerats på institutionens dator PDP-15. Dessutom har jämförande mätningar skett vid Frigoscandias anläggningar i Helsingborg.

I kapitel 2 beskrives hur modellen byggts upp och i kapitel 3 hur mätningarna gått till. En jämförelse mellan mätningar och modell görs i kapitel 4 och i kapitel 5 ges exempel på hur modellen kan användas.

Handledare vid institutionen har Lennart Ljung och Ulf Borisson varit. Vid Frigoscandia har bl.a. Anders Lindborg, Lars Ek och Karl-Johan Forsberg bistått med råd och dåd. Samtliga har varit till stor hjälp.

KAPITEL 2. MODELLBYGGANDET.

1. inledning

I detta kapitel skall en modell ställas upp för värmeväxlingen i ett frysrum. Modellen skall beskriva sambandet mellan inkommen kyla och rumstemperaturen:

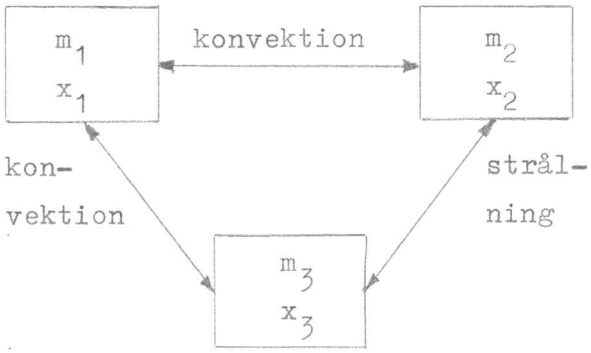
Parametrarna i modellen har anpassats till de förhållanden som rådde i rum 12 på Frigoscandia då mätningarna gjordes. Frysrummet antas innehålla ett antal varma kroppar som just kommit in och ett antal kalla kroppar som har befunnit sig i rummet så länge, att de har antagit luftens temperatur. De varma och kalla varorna antas vara av samma slag, dvs värmekonduktivitet, värmekapacitivitet och värmeövergångskoefficient för de två varorna antas vara lika.

I rummet antas det råda fullständig luftblandning, dvs rumstemperaturen är lika stor överallt i rummet vid en specifik tidpunkt. I modellen har alla störningar antagits vara oberoende av temperaturvariationerna i rummet. Både värmen som kommer in genom väggarna (V) och den som kommer in genom öppna dörrar (W) beror visserligen på differensen mellan rums- och utomhustemperaturen, x_1 resp. x_u, men x_1 varierar bara någon grad och x_u är någorlunda konstant under en dag. Värmen från truckar, människor och belysning (Q_0) har på samma sätt antagits vara konstant.

2. uppställandet av ekvationerna

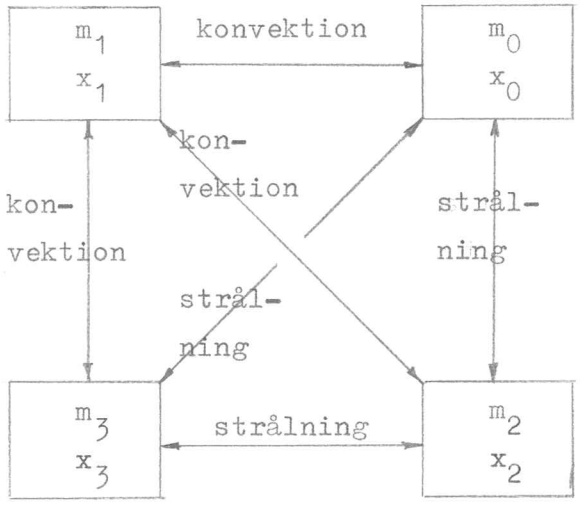
Jag har först betraktat de varma kropparna, som en varm kropp med samma temperatur rakt igenom och med massan m_2. På samma sätt har de kalla kropparna blivit en med massan m_3.

Vi har alltså nu ett rum innehållande massorna m_2 och m_3 med temperaturerna x_2 resp. x_3, samt luftmassan m_1 vars temperatur är x_1:



Mellan luften och resp. vara har man konvektion och mellan varorna strålning.

För att man skall kunna hålla temperaturen i rummet konstant, så måste man ta in kyla. Detta sker genom att det finns kylrör i taket. Inuti rören strömmar kall ammoniak. Om man försummar inverkan från själva rören och antar, att man har ammoniak med massan m_0 och temperaturen x_0, så kan figuren ovan utökas:



Dvs man får konvektion mellan ammoniak och luft, samt strålning mellan ammoniak och de båda varorna m_2 och m_3. Temperaturen x_0 är här på samma sätt som x_1 en sorts medeltemperatur.

I rummet finns det ännu fler kroppar att ta hänsyn till. Närmast till hands ligger väggarna. Dessa skulle kunna behandlas precis som m_2 och m_3 och skulle ge ytterliggare en långsam tidskonstant i systemet. Väggarnas inverkan har emellertid försummats.

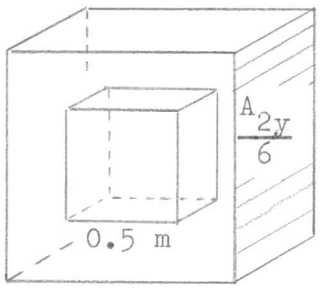
Ett sätt att förbättra modellen på föregående sida är att ta hänsyn till värmeledningen i m_2 och m_3. Enligt [1] kan man göra det genom att välja ett ekvivalent värmeövergångstal:

$$\frac{1}{\alpha_{ekv}} = \frac{1}{\alpha} + \frac{3}{8} \cdot \frac{b}{\lambda}$$

med { $2b$ = kroppens totala tjocklek; λ = kroppens värmeledningsförmåga; α = värmeövergångstal

Eftersom värmeledningen beskrives av partiella differentialekvationer, så kan man försöka approximera dessa med vanliga differentialekvationer. Låt oss som exempel titta på den varma kroppen m_2.

Antag, att alla varor lagras i "enhetskuber" med dimensionerna 1m x 1m x 1m. Detta motsvarar ungefär en pall x/ varor. Pallen är visserligen inte riktigt kubisk, men det är en relativt bra approximation. Lägg i kuben i ett koordinatsystem med origo i mitten och med koordinataxlarna parallella med respektive kubkanter. Dela kuben i en yttre och en inre kub med sidförhållandet 1:1, dvs volymförhållandet 1:7 mellan den inre och yttre kroppen.

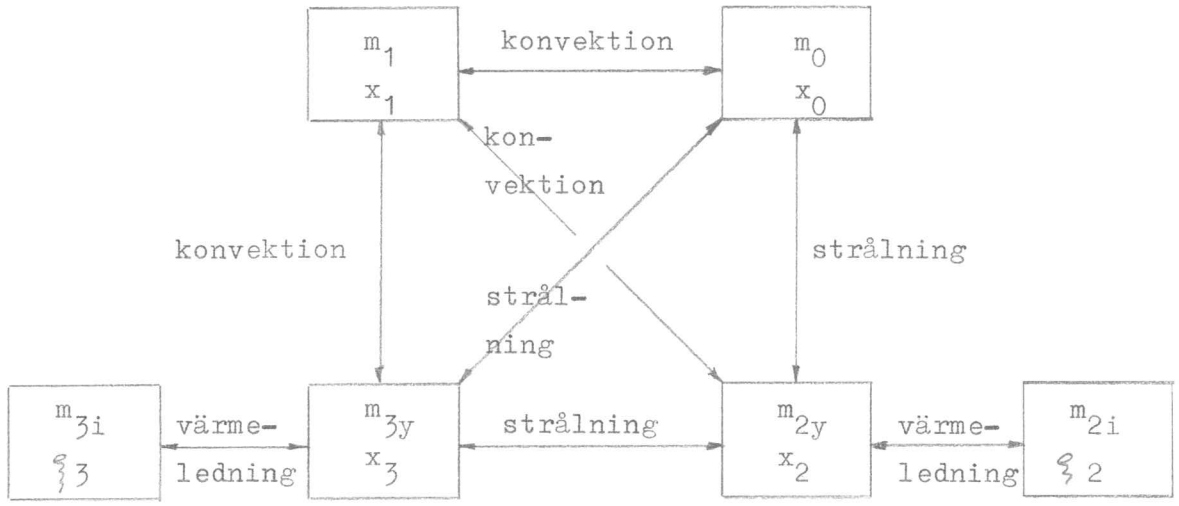


Massorna betecknas m_{2i} och m_{2y}. Gränsytorna betecknas A_{2i} och A_{2y} och kommer alltså att förhålla sig som 1:4. Nu antar vi, att temperaturen är konstant inom respektive volym, ξ_2 i den inre och x_2 i den yttre.

---

x/ Vid fryslagring precis som vid nästan all annan lagring användes träpallar ("SJ-pallar"). En pall har en yta på ca 1 m^2 (0.8 x 1.2). På denna lägges sedan varorna lämpligt förpackade. En pall är sedan byggd så att den enkelt kan lyftas av en gaffeltruck. En fullastad innehåller i regel ca 1 m^3.

Om man gör på samma sätt med m_3 så fås:



Ekvationerna för detta system blir:

$$m_0 c_0 \dot{x}_0 = Q(u-x_0)+A_0\alpha_0(x_1-x_0)+K_{02}\{(x_2+273)^4-(x_0+273)^4\}+K_{03}\{(x_3+273)^4-(x_0+273)^4\} \quad (1)$$

$$m_1 c_1 \dot{x}_1 = \alpha A_{2y}(x_2-x_1)+\alpha A_{3y}(x_3-x_1)+\alpha_0 A_0(x_0-x_1)+m_1 c_1(V+W+Q_0) \quad (2)$$

$$m_{2y} c \dot{x}_2 = -\alpha A_{2y}(x_2-x_1)+\frac{\lambda A_{2i}}{l}(\xi_2-x_2)-K_{23}\{(x_2+273)^4-(x_3+273)^4\}-K_{20}\{(x_2+273)^4-(x_0+273)^4\} \quad (3)$$

$$m_{2i} c \dot{\xi}_2 = -\frac{\lambda A_{2i}}{l}(\xi_2-x_2) \quad (4)$$

$$m_{3y} c \dot{x}_3 = -\alpha A_{3y}(x_3-x_1)+\frac{\lambda A_{3i}}{l}(\xi_3-x_3)+K_{32}\{(x_2+273)^4-(x_3+273)^4\}-K_{30}\{(x_3+273)^4-(x_0+273)^4\} \quad (5)$$

$$m_{3i} c \dot{\xi}_3 = -\frac{\lambda A_{3i}}{l}(\xi_3-x_3) \quad (6)$$

Antagandet om enhetsmassorna ger, om tätheten sättes till 1000 kg/m^3 (dvs som vatten) följande samband:

$$A_{2i} = 1.5 \cdot 10^{-3} \cdot m_2 \qquad m_{2i} = 0.125 \cdot m_2$$

$$A_{2y} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot m_2 \qquad m_{2y} = 0.875 \cdot m_2$$

$$A_{3i} = 1.5 \cdot 10^{-3} \cdot m_3 \qquad m_{3i} = 0.125 \cdot m_3$$

$$A_{3y} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot m_3 \qquad m_{3y} = 0.875 \cdot m_3$$

I ekvationerna (1) - (6) förekommer indicerade konstanter K_{ij} i strålningstermerna.

ex.: $K_{02}\{(x_2+273)^4-(x_0+273)^4\}=$

$$= 5.67 \cdot A_0 \cdot F_{02} \cdot 3600\left\{\left(\frac{x_2+273}{100}\right)^4-\left(\frac{x_0+273}{100}\right)^4\right\} \qquad \text{(ur ekv (1))}$$

Här är F_{02} synfaktorn vid strålning från rören (med ytan A_0) till varan m_2.

På motsvarande sätt finns K_{20} i ekv (3):

$K_{20} = 5.67 \cdot 3600 \cdot A_{2y} \cdot F_{20}$

I fortsättningen sättes $K_{20} = K_{02}$, $K_{32} = K_{23}$ och $K_{30} = K_{03}$.

De ekvationer som vi nu har gäller under förutsättning, att vi har en varm massa. När m_2 antagit samma temperatur som m_3, så bör man i konsekvens med det tidigare bara betrakta en massa (m_2+m_3). Efter lämpliga kompletteringar och förenklingar fås ekvationssystemet på nästa sida.

$$m_0 c_0 \dot{x}_0 = \begin{cases} Q(u-x_0)+A_0\alpha_0(x_1-x_0)+K_{02}\left\{(x_2+273)^4-(x_0+273)^4\right\}+K_{03}\left\{(x_3+273)^4-(x_0+273)^4\right\} & x_2 > x_3 \\ Q(u-x_0)+A_0\alpha_0(x_1-x_0)+(K_{02}+K_{03})\cdot\left\{(x_3+273)^4-(x_0+273)^4\right\} & x_2 \leq x_3 \end{cases}$$

$$m_1 c_1 \dot{x}_1 = \begin{cases} \alpha\cdot 6\cdot 10^{-3} m_2(x_2-x_1)+\alpha\cdot 6\cdot 10^{-3} m_3(x_3-x_1)+\alpha_0 A_0(x_0-x_1)+(V+W+Q_0)\cdot m_1 c_1 & x_2 > x_3 \\ \alpha\cdot 6\cdot 10^{-3}(m_2+m_3)(x_3-x_1)+\alpha_0 A_0(x_0-x_1)+(V+W+Q_0)\cdot m_1 c_1 & x_2 \leq x_3 \end{cases}$$

$$0.875\cdot c\dot{x}_2 = \begin{cases} -\alpha\cdot 6\cdot 10^{-3}(x_2-x_1)+\dfrac{\lambda\cdot 1.5\cdot 10^{-3}}{1}(\xi_2-x_2)-\dfrac{K_{23}}{m_2}\left\{(x_2+273)^4-(x_3+273)^4\right\}-\dfrac{K_{20}}{m_2}\left\{(x_2+273)^4-(x_0+273)^4\right\} & x_2 > x_3 \\ 0.875\cdot c\dot{x}_3 & x_2 \leq x_3 \end{cases}$$

$$0.125\cdot c\dot{\xi}_2 = \begin{cases} -\dfrac{\lambda\cdot 1.5\cdot 10^{-3}}{1}(\xi_2-x_2) & \xi_2 > \xi_3 \\ 0.125\cdot c\dot{\xi}_3 & \xi_2 \leq \xi_3 \end{cases}$$

$$0.875\cdot c\dot{x}_3 = \begin{cases} -\alpha\cdot 6\cdot 10^{-3}(x_3-x_1)+\dfrac{\lambda\cdot 1.5\cdot 10^{-3}}{1}(\xi_3-x_3)+\dfrac{K_{23}}{m_3}\left\{(x_2+273)^4-(x_3+273)^4\right\}-\dfrac{K_{03}}{m_3}\left\{(x_3+273)^4-(x_0+273)^4\right\} & x_2 > x_3 \\ -\alpha\cdot 6\cdot 10^{-3}(x_3-x_1)+\dfrac{\lambda\cdot 1.5\cdot 10^{-3}}{1}(\xi_3-x_3)-\dfrac{(K_{02}+K_{03})}{(m_2+m_3)}\left\{(x_3+273)^4-(x_0+273)^4\right\} & x_2 \leq x_3 \end{cases}$$

$$0.125\cdot c\dot{\xi}_3 = -\frac{\lambda\cdot 1.5\cdot 10^{-3}}{1}(\xi_3-x_3)$$

3. beteckningar och parametervärden

De parametrar som är specifika för ett visst material eller en viss vara (c, λ, α) har uppskattats med hjälp av tillgänglig litteratur och är därför endast approximativa, men de kan ändå anses vara representativa för de varor som finns i frysrum 12. Rummets dimensioner och varornas massor har valts till vad de var vid mätningarna. I kapitel 4 finns presenterat bakgrunden till valet av parametervärden.

massor:

m_0	= ammoniakens massa	= 14 kg
m_1	= luftens massa	= 10000 kg
m_2	= varma kroppens hela massa	= 150000 kg
m_{2y}	= varma kroppens yttre massa	
m_{2i}	= varma kroppens inre massa	
m_3	= kalla kroppens hela massa	= 1238000 kg
m_{3y}	= kalla kroppens yttre massa	
m_{3i}	= kalla kroppens inre massa	

ytor:

A_0	= kylrörens yta	= 3600 m^2
A_{2y}	= varma kroppens yttre yta	
A_{2i}	= varma kroppens inre yta	
A_{3y}	= kalla kroppens yttre yta	
A_{3i}	= kalla kroppens inre yta	

α_0	= värmeövergångskoeff. för kylrören	= 15840 J/h•m^2•grad
α	= värmeövergångskoeff. för varorna	= 36000 J/h•m^2•grad
c_0	= värmekapacitiviteten för ammoniak	= 2060 J/kg•grad
c_1	= värmekapacitiviteten för luft	= 1000 J/kg•grad
c	= värmekapacitiviteten för varorna	= 4000 J/kg•grad
λ	= värmekonduktiviteten för varorna	= 5220 J/h•m•grad
l	= skikttjockleken vid värmeledningen i varorna	= 0.25 m
F_{02}	= synfaktorn vid strålning mellan kylrör och varma varor	= 0.1

F_{03} = synfaktorn vid strålning mellan kylrör och kalla varor = 0.4

F_{23} = synfaktorn vid strålning mellan varma och kalla varor = 0.5

Q = ammoniakens strömningshastighet = $1 \cdot 10^7$ J/h·grad

u = förångningstemperaturen = -38 °C

V = värmeförlust genom väggar, golv och tak = 9.0 °/h

W = värmeförlust p.g.a. dörröppnande = 0 °/h

Q_0 = värmeförlust p.g.a. truckar, människor och belysning = 3.4 °/h

temperaturer:

x_0 = ammoniaktemperaturen

x_1 = rumslufttemperaturen

x_2 = varma varans yttre temperatur

ξ_2 = varma varans inre temperatur

x_3 = kalla varans yttre temperatur

ξ_3 = kalla varans inre temperatur

4. simulering och modifiering av modellen

Om man beskriver systemet, som det ser ut nu, i SIMNON [2] och försöker simulera det, så visar det sig att simuleringen kommer att ta en orimligt lång tid (2-3 timmar). Orsaken till detta är, att systemet innehåller två snabba tidskonstanter, ammoniak och luft.

Den lösning jag har valt på detta problem är helt enkelt att sätta ekvationerna 1 och 2 till noll. Detta är ett fel, som inte är alltför stort eftersom x_0 och x_1 är ungefär konstanta. Därmed kan man lösa ut x_0 och x_1 och sätta in i de övriga ekvationerna. Detta kräver dock först, att man linjäriserar de olinjära strålningstermerna i ekvation 1. Eftersom x_0 och x_3 är ungefär konstanta, så har jag linjäriserat kring dem.

Dvs $\{(x_2+273)^4 - (x_0+273)^4\} \approx 4T_0^3(x_2-x_0) = t_2^4 - T_0^4$

$\{(x_3+273)^4 - (x_0+273)^4\} \approx \text{konst} = T_3^4 - T_0^4$

där T_j = kroppen j:s konstanta temperatur i Kelvingrader.

Vilket fel gör man, när man linjäriserar?
Antag, att $t_2^4 - T_0^4$ skall linjäriseras. $T_0 \approx$ konst. $t_2 = T_0+\Delta t$.

$$\Rightarrow \quad t_2^4 - T_0^4 = (T_0+\Delta t)^4 - T_0^4 = T_0^4\left\{(1+\frac{\Delta t}{T_0})^4 - 1\right\}$$

men $(1+\frac{\Delta t}{T_0})^4 = 1 + 4\frac{\Delta t}{T_0} + \frac{4\cdot 3}{2}\cdot(\frac{\Delta t}{T_0})^2 + \ldots\ldots$ (serieutveckling)

$$\Rightarrow \quad t_2^4 - T_0^4 = 4T_0^3\cdot\Delta t + 6T_0^2\cdot(\Delta t)^2 + \ldots. \approx 4T_0^3\cdot\Delta t$$

men $\dfrac{6T_0^2\cdot(\Delta t)^2}{4T_0^3\cdot\Delta t} = 1.5\cdot\dfrac{\Delta t}{T_0}$

Om T_0 = 250 och vi accepterar ca 10% fel i strålningstermen, vilket inte är särskilt mycket med tanke på de osäkerheter som finns i parametrarna, så fås $\Delta t = 16^\circ$. Ett så stort Δt lär vi dock aldrig få.

Systemet finns beskrivet i SIMNON-filen FRI4C (appendix A, utskrift 3 och 4). En simulering finns i figur 12 appendix B.

KAPITEL 3. BESKRIVNING AV MÄTNINGARNA.

1. inledning

För att få underlag för jämförelser mellan den uppbyggda modellen och verkligheten, så företogs en del mätningar under sommaren. I frysrum 12 vid Frigoscandias anläggningar i Helsingborg gjorde jag själv i samarbete med laboratoriepersonalen mätningar. I frysrum 27 pågick samtidigt mätningar, som ingick i en studie för Fläktfabriken och Frigoscandia. Dessa mätningar har jag också tagit del av.

2. mätningarna i rum 12

rummet och dess innehåll

Frysrum 12 hos Frigoscandia i Helsingborg har en golvyta på 1865 m^2 och en invändig höjd på 7.5 m. Rummet tillhör de äldre vid anläggningen. Kylan kommer in via fenrörsförångare i taket. Detta är helt enkelt rör, som hänger uppe under taket i 15 grupper med vardera 10 längder. Inne i rören cirkulerar ett köldmedium (ammoniak). I rummet stiger alltså den "varma" luften upp mot taket, där den avkyles innan den åter sjunker ner mot golvet. Varje grupp med fenrör kan avfrostas för sig. Detta sker bara några gånger per år, om rummet enbart används som fryslagerrum. Rum 12 användes emellertid som infrysningsrum, vilket innebär att rören kan få avfrostas upp till en gång per dygn. P.g.a. rummets användningsområde, så kompletterades rummet för något år sedan med två stycken fläktförångare, som placerades ovanför dörren. Figur 1 i appendix B visar rummets utseende, rörens och fläktarnas placering, samt "möbleringen" i rummet under mätningarna. I figurerna 2, 3 och 4 finns också utdrag ur uppgifter om fenrörsförångarna från leverantören (STAL).

Varorna i rum 12 bestod i början av juli av allehanda matvaror såsom fisk, juice, köttbullar, hamburgare osv. De ligger i regel

förpackade i kartonger som sedan är staplade på vanliga "SJ-pallar". Eftersom matvarorna har ungefär samma täthet som vatten och eftersom en kartong dessutom innehåller relativt mycket luft, så har jag uppskattat vikten hos en 1.2 m hög pall till 500 kg och vikten hos en 1.75 m hög pall till 700 kg. I dessa värden ligger hänsynstagande till arbetare och förmäns uppskattningar. Om rummet är fullbelagt bör det rymma 3-4000 ton. När mätningarna utfördes, så höll man på att tömma rummet för att fylla det med ärtor. En pall ärtor är 1.75 m hög och väger ca 900 kg. Omsättningen i rummet var alltså stor under försökstiden.

mätningarna

Mätningarna utfördes mellan kl 18 torsdagen den 18.7 och kl 10 tisdagen den 23.7 1974. Temperaturerna mättes med termoelement och registrerades av en 6-punktsskrivare av märket Philips. Temperaturerna ritades i ^{o}C. Punkttätheten på kurvorna var inställd på 30 punkter per timme och kurva. Kurvorna har sedan avlästs med ett "hemmabygge" vid institutionen för Byggnadskonstruktionslära. Med apparaten kan man helt enkelt avläsa kurvan vid valfria tidpunkter med hjälp av en resistansbrygga och en digitalvoltmeter. Genom att trycka på en knapp stansas utslaget på en pappersremsa. Det sammanlagda felet i de uppritade kurvorna är av storleksordningen $\pm$ 0.2^{o}. Mätpunkt 1 befinner sig inuti en kartong med fisk. Placeringen var sådan, att den torde motsvara yttertemperaturen i en "kall" vara (se modellbyggandet). Mätpunkt 2 fanns mitt inne i en pall med 30 st 30-kilos ärtsäckar och torde motsvara någonting mellan ytter- och innertemperaturen hos en "varm" vara. Punkt 3 mätte lufttemperaturen. Den befann sig 4 m över golvet. Med en skrivare av märket NAF mättes dessutom lufttemperaturen (mätpunkt 4) strax innanför dörren ungefär på samma höjd som mätpunkt 3. Alla 4 mätpunkternas läge i rummet finns inritat i figur 1.

Under hela mätperioden räknades antalet nyinkomna och uttagna pallar en gång per dygn. Med hjälp av de tidigare uppskattade vikterna per pall, så fick jag en uppskattning av vikten på de "varma" resp. "kalla" varorna. Nyinkomna pallar bestod, som

tidigare nämnts, alltid av ärtor. Ut togs alltid "kalla" varor. Även möbleringen i rummet antecknades, dvs var de olika varorna fanns placerade i rummet. I figur 1 finns möbleringen skissad. Det skall också påpekas, att ärtpallar kom in dygnet runt medan uttag i regel bara gjordes under normal arbetstid. Under försöket var omsättningen i rummet så stor att kylan var på för fullt dygnet runt. Avfrostning skedde en gång per dygn.

resultat

I figur 5 i appendix B finns mätpunkt 1 (fisk), 2 (ärtor) och 3 (luft) plottade i SYNPAC [3] med hjälp av de stansade remsorna. Kurvorna visar de 100 första timmarna. Längs tidsaxeln finns också inritat hur mycket ärtor som kommit in, samt hur mycket varor som totalt funnits inne. Resultatet från mätpunkt 4 finns i figur 6.

Ur kurvan för ärtorna kan man se, när avfrostning har skett i rörgruppen precis över ärtpallen.

Ur kurvan för punkt 4 ser man, när arbetsintensiteten har varit som störst i rummet.

Ur kurvorna ser man dessutom, att det finns en snabb tidskonstant på några minuter, som representerar luften och en långsammare tidskonstant på flera timmar, som kommer från varornas stora värmekapacitet.

3. mätningarna i rum 27

rummet och dess innehåll

Frysrum 27 vid Helsingborgsanläggningen har en golvyta på 1370 m^2 och en invändig höjd på 7.5 m. Rummet är modernare än rum 12 och kylningen sker enbart genom fläktförångare. Dessa är placerade uppe vid taket mitt i rummet. I motsats till rum 12 användes detta rum enbart som fryslagerrum. Det innebär, att om-

sättningen är liten i rummet. Uttagen massa är av storleksordningen 1/40 x totala massan i hela rummet. Detta medför också att kylan bara är på under natten, när strömmen är billigare. Figur 7 i appendix B visar rummets utseende, fläktförångarnas placering och hur man möblerar i rummet.

I rummet har man placerat in 36 stycken termoelement. Detta har skett i samarbete mellan Frigoscandia och Fläktfabriken. På 9 platser finns vardera 3 termoelement jämt fördelade i höjdled. De övriga finns på fläktförångarna. Se figur 7.

Varorna i rummet bestod i början av augusti av diverse matvaror. Medelvikten har uppskattats till 500 kg per pall.

mätningarna

Den mätning jag har valt ut utfördes mellan kl 19.30 och 21.10 onsdagen den 31.7 1974. Temperaturerna har mätts med en 24-punkts Philipsskrivare. Tiden mellan två mätningar på samma plats var 4 minuter. Jag har valt ut två temperaturer, punkt 3 och 20. Ca. kl 19.40 sattes kylan på, dessförinnan hade den varit avslagen. Båda punkterna motsvarar lufttemperaturen på olika platser i rummet. Under själva mätningen har inga observationer gjorts beträffande mängden varor. Med hjälp av förmän på platsen har dock totala mängden varor inne i rummet uppskattats till 2000 ton. Under dagen hade ca 30 ton varor satts in.

resultat

I figur 8 finns mätpunkt 3 och 20 plottade i SYNPAC med hjälp av stansade remsor.Kurvorna visar de första 100 minuterna.

KAPITEL 4. JÄMFÖRELSER MELLAN MÄTNINGAR OCH MODELL.

1. inledning

I detta kapitlet skall jag simulera min ursprungliga modell med 6 tillstånd under 10 timmar för att jämföra med mätningarna. Övriga jämförelser gör jag med den förenklade modellen, eftersom den inte belastar maskinen så mycket. För rum 12 gör jag jämförelser både för varorna och luften. I rum 27 är däremot osäkerheten om bl.a. varornas massor så stor, att jag har nöjt mig med att jämföra luftens tidskonstant.

2. parametrarna i rum 12

I detta avsnitt skall jag försöka motivera hur jag har valt parametervärdena och initialvärdena till FRI4C.

α_0: Enligt fenrörsleverantören bör α_0 väljas till ca 4.4 $W/m^2 \cdot grad$ vid en förångningstemperatur på $-38^\circ C$ och en temperaturdifferens på 13°.

α: Enligt [1] är värmeövergångskoefficienten för kött ca 10 $J/m^2 \cdot s \cdot grad$.

c_0: Enligt Tefyma = 2060 $J/kg \cdot grad$ för ammoniak.

c_1: Enligt Tefyma = 1000 $J/kg \cdot grad$ för luft.

c: Enligt Tefyma är värmekapacitiviteten för vatten = 4180 $J/kg \cdot grad$. Matvaror består ju till största delen av vatten, varför jag har valt 4000 $J/kg \cdot grad$.

λ: Enligt [1] är värmeledningstalet för kött ca 1.45 $J/m \cdot s \cdot grad$.

m_1: Luftens massa har uppskattats till 10 ton.

m_2: De varma varornas massa har uppskattats till 150 ton.

m_3: De kalla varornas massa har uppskattats till 1238 ton.

A_0: Fenrörens yta har med hjälp av leverantörens uppgifter (se appendix B) uppskattats till 2000 m^2. I rummet fanns dessutom 2 stycken fläktförångare på vardera 400 m^2 förångaryta. Enligt Frigoscandia så kan man ungefär anta, att 1 m^2 fläktförångaryta motsvarar 2 m^2 fenrörsyta. Med dessa uppgifter som grund, så har jag valt A_0 till 3600 m^2.

F_{02},F_{03}: $F_{02} + F_{03}$ + synfaktorn mellan kylrör och väggar, golv och tak skall vara 1. Jag har uppskattat F_{02} och F_{03} till 0.1 resp. 0.4.

F_{23}: Synfaktorn mellan varma och kalla varor har på samma sätt uppskattats till 0.5.

T_0,T_3: Efter körningar med FRIG4 har jag valt $T_0 = T_3 = 246.5$.

Q: Enligt Frigoscandia är strömningshastigheten någonting i storleksordningen 1 till 10 m/s. Q betecknar en sorts medelvärde i modellen. Jag har valt 8 m/s.

m_0: Ammoniakens massa har uppskattats till 14 kg.

u: Förångningstemperaturen var -38°C.

V: Värmeflödet in genom väggar, golv och tak har jag satt till 25 kW, vilket motsvarar 9 °/h.

Q_0: Värmen från belysning, truckar och liknande har jag satt till 3.4 °/h.

W: Värmen in genom dörrarna har jag satt till 0. I gengäld är V och Q_0 väl tilltagna.

$x_2(0), \xi_2(0)$: Den uppmätta temperaturen hade begynnelsevärdet $-16.3\ ^{\circ}$ och den motsvarade någonting mellan x_2 och ξ_2, förmodligen närmast x_2. Jag har valt båda initialvärdena till -16.3°.

$x_3(0), \xi_3(0)$: Vid mätningarna var begynnelsetemperaturen hos fisken $-26.5\ ^{\circ}$, därför har jag valt båda till -26.5.

Ovanstående värden medför följande siffervärden i SIMNON-filerna FRI4C och FRIG4:

```
[FRI4C]
X2    : -16.30000
XSI2  : -16.30000
X3    : -26.50000
XSI3  : -26.50000
M0    :  14.00000
C0    :  2060.000
A0    :  3600.000
ALFA  :  36000.00
C     :  4000.000
LAMDA:   5220.000
L     : 0.2500000
T3    :  246.5000
M1    :  10000.00
C1    :  1000.000
ALFA0:   15840.00
F02   : 0.1000000
T0    :  246.5000
Q     : 1.0000000E+07
F03   : 0.4000000
U     : -38.00000
M2    :  150000.0
M3    :  1238000.
V     :  9.000000
W     : 0.0000000
Q0    :  3.400000
F23   : 0.5000000
```

```
[FRIG4]
X0    : -26.30000
X1    : -25.00000
X2    : -16.30000
XSI2  : -16.30000
X3    : -26.50000
XSI3  : -26.50000
M0    :  14.00000
C0    :  2060.000
A0    :  3600.000
ALFA  :  36000.00
C     :  4000.000
LAMDA:   5220.000
L     : 0.2500000
M1    :  10000.00
C1    :  1000.000
M2    :  150000.0
M3    :  1238000.
ALFA0:   15840.00
Q     : 1.0000000E+07
U     : -38.00000
V     :  9.000000
W     : 0.0000000
Q0    :  3.400000
F02   : 0.1000000
F03   : 0.4000000
F23   : 0.5000000
```

3. en jämförelse mellan mätningarna och simuleringarna för rum 12

Som tidigare nämnts har jag tvingats att göra simuleringarna med en modell, där derivatorna för tillstånden x_0 och x_1 har satts till 0 (FRI4C). För att få en uppfattning om hur väl modellerna överensstämmer, så har jag simulerat FRIG4 och FRI4C under 10 timmar med precis samma parametrar. Resultatet finns i figurerna 10 och 11 i appendix B. Som synes får man nästan exakt samma kurvor.

I figur 9 finns de 10 första timmarna av mätningarna plottade. En jämförelse med motsvarande simuleringar visar, att ärtornas nedkylning ungefär överensstämmer med kurvan för den varma kroppens yttertemperatur. Man lägger dessutom märke till att beteendet hos den kalla varan och fisken överensstämmer. De skillnader som finns beror till största delen på att parametrarna i vissa fall kanske har uppskattats lite fel. Däremot var det ju inte att vänta att lufttemperaturen skulle överensstämma mellan modell och verklighet. Detta beror naturligtvis på att modellens lufttemperatur är en sorts medeltemperatur (bl.a. på grund av antagandet om fullständig luftblandning i rummet) som knappast har sin motsvarighet någonstans i rummet. Nu kan man visserligen säga, att förhållandet är liknande för alla temperaturerna, men eftersom luften har en mycket snabbare tidskonstant än varorna, så märks detta inte mer än i lufttemperaturen.

I figur 12 visas samma simulering av FRI4C som ovan, men nu under 100 timmar. Den bör jämföras med motsvarande bild över mätningarna (figur 5). Iaktagelserna från ovan går igen. Dock lägger man märke till en väsentlig skillnad mellan kurvorna. Den kalla varan utsätts för en kraftig stegstörning i modellen. Detta beror på att i modellen antages alla ärtorna (150 ton) ha satts in precis vid tidpunkten 0. I verkligheten har naturligtvis detta skett under en längre tidsrymd (storleksordningen 1 dygn) och därför har de inte alla en temperatur på -16.3 ^{o} vid tiden 0. Om man t.ex. sätter den varma varans massa till

20 ton, så ser det bättre ut (figur 13). Modellen tycks alltså relativt väl beskriva verkligheten.

4. parmetrarna i rum 27

Motiven för ett visst värde presenteras bara för de fall då de skiljer sig från avsnitt 2.

A_0: I rum 27 finns enbart fläktförångare, men med ledning av uppgiften från Frigoscandia, att 1 m^2 fläktförångaryta ungefär motsvarar 2 m^2 fenrör, så har A_0 satts till 1600. Därmed har jag försökt undvika problemet att luften rör sig snabbare p.g.a. fläktarna.

m_1: Luftens massa har uppskattats till 8 ton.

m_2: De varma varornas massa har uppskattats till 30 ton.

m_3: De kalla varornas massa har uppskattats till 2000 ton.

T_0, T_3: Efter korta körningar med FRIG4 har jag valt $T_0 = T_3 = 246.5$.

m_0: Ammoniakens massa har uppskattats till 6 kg.

Sammanställning av de parametervärden som behövs för att bestämma egenvärdena:

m_0 :	6	c_0 :	2060
A_0 :	1600	α :	36000
c :	4000	λ :	5220
l :	0.25	m_1 :	8000
c_1 :	1000	m_2 :	30000
m_3 :	2000000	α_0 :	15840
Q :	$1 \cdot 10^7$	F_{02}:	0.3
F_{23}:	0.5		

5. en jämförelse mellan luftens tidskonstant vid mätning och beräkning för rum 27

Eftersom osäkerheten, om hur mycket varor som fanns i rum 27 vid mätningarna, så har jag enbart jämfört tidskonstanterna för luften. Ur mätningarna får man en tidskonstant på ca 6 minuter. Om man bestämmer egenvärdena för modellen med parametervärden enligt avsnitt 4, så blir tidskonstanten ca 1-2 minuter. Som synes är de av samma storleksordning. Man kan knappast vänta sig att få ut mer p.g.a. den stora osäkerheten.

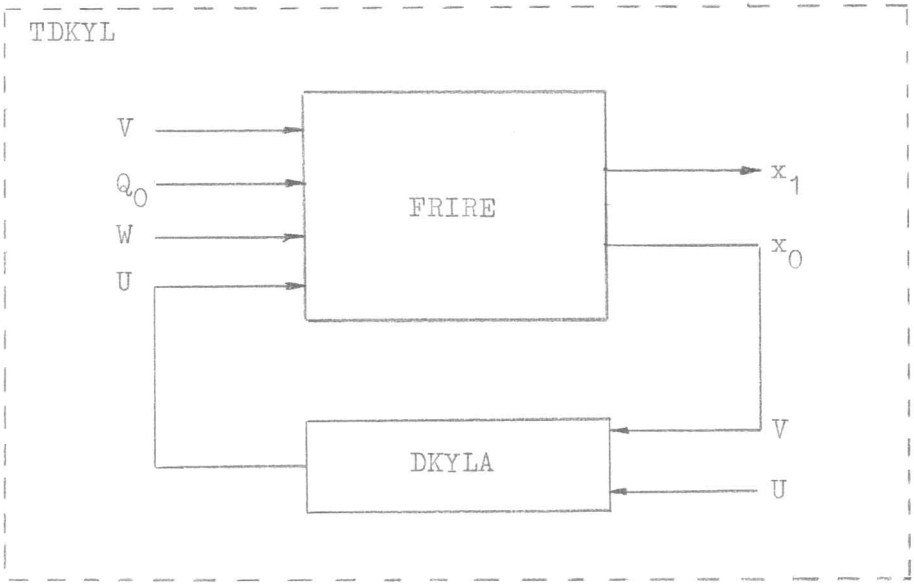
KAPITEL 5. REGLEREXPERIMENT PÅ MODELLEN.

1. inledning

I detta kapitel skall jag med några exempel visa, vad man kan använda den framtagna modellen till. Det jag skall beskriva är t.ex. vad som skulle hända om frysanläggningen havererade. Hur länge kan man klara sig utan kyla? Genom att simulera detta på dator, så kan man få en känsla för sådana frågeställningar utan att man behöver riskera varorna. I avsnitt 5 tar jag upp några synpunkter på regleringen.

2. kyla bara på natten

I detta avsnitt har jag ett system, som bara får kyla under natten. Simuleringen antas starta kl 14 och kylan är på mellan kl 20 och kl 06. Simuleringen göres över 100 timmar och vid start antas alla varor ha temperaturen -26.5 ^{o}C. Parametervärdena visas på nästa sida. Systemet finns skissat nedan och SIMNON-filerna finns i utskrift 5, 6 och 7 i appendix A. Resultatet finns i figur 14.

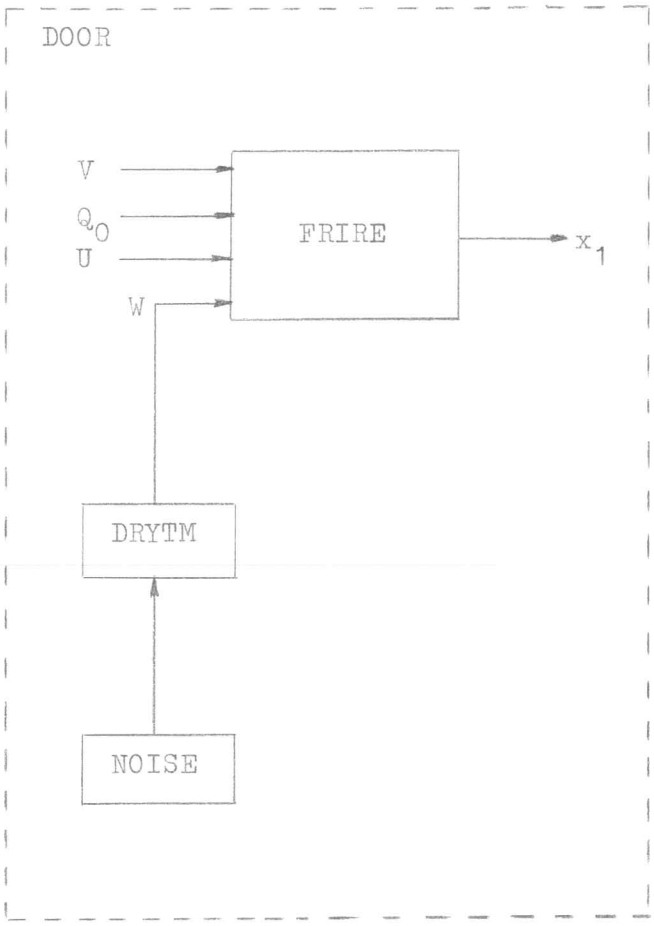


```
[FRIRE]
X2    : -26.50000
XSI2  : -26.50000
X3    : -26.50000
XSI3  : -26.50000
M0    :  14.00000
C0    :  2060.000
A0    :  3600.000
ALFA  :  36000.00
C     :  4000.000
LAMDA:   5220.000
L     : 0.2500000
T3    :  246.5000
M1    :  10000.00
C1    :  1000.000
ALFA0:   15840.00
F02   : 0.1000000
T0    :  246.5000
Q     : 1.0000000E+07
F03   : 0.4000000
M2    :  150000.0
M3    :  1238000.
V     :  9.000000
Q0    :  3.400000
F23   : 0.5000000
[DKYLA]
TINIT: 0.0000000
K1    :  20.00000
K2    :  6.000000
DT1   : 0.2500000
[IDKYL]
```

3. dörröppnandet

I detta avsnitt vill jag bara visa hur det ser ut, om man antar att dörrarna öppnas relativt ofta under arbetets gång. Jag har helt enkelt lagt på ett diskret brus med 3 olika amplituder som insignal till systemet. Amplituderna har varit 0, 1 eller 2 gånger ett uppskattat max.värde (6 ^{o}/h). Störningen har dessutom fått en dygnsvariation, så att dörrarna bara öppnas under arbetstid. Parametervärdena finns på nästa sida tillsammans med ett blockschema för systemet. SIMNON-filerna finns i utskrift 8, 9

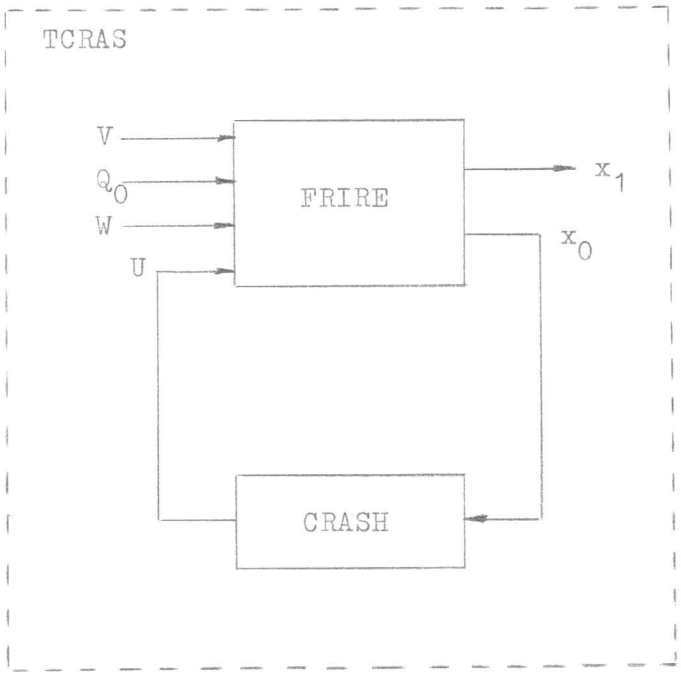
och 10. Resultatet finns i figur 15 och störsignalen i figur 16.




```
[FRIRE]
X2    : -16.30000
XSI2  : -16.30000
X3    : -26.50000
XSI3  : -26.50000
M0    :  14.00000
C0    :  2060.000
A0    :  3600.000
ALFA  :  36000.00
C     :  4000.000
LAMDA:   5220.000
L     : 0.2500000
T3    :  246.5000
M1    :  10000.00
C1    :  1000.000
ALFA0:   15840.00
F02   : 0.1000000
T0    :  246.5000
Q     : 1.0000000E+07
F03   : 0.4000000
M2    :  150000.0
M3    :  1238000.
V     :  9.000000
Q0    :  3.400000
F23   : 0.5000000
[DRYTM]
TINIT: 0.0000000
DT1   : 0.2500000
[NOISE]
R11   :  1.000000
DT1   : 0.0000000
DT    : 0.2500000
SAME  :  1.000000
[DOOR ]
AMP   :  6.000000
```

4. haveri

På liknande sätt kan man också se vad som händer, om kylan helt plötsligt faller bort. I mitt exempel gör den det under 24 timmar. Om det får ske vid infrysning under precis samma förhållanden, som i kapitel 4:2, så får man resultatet enligt figur 17. En jämförelse visar, att det helt naturligt tar något längre tid att frysa ner den varma varan. Någon katastrof blir det emellertid ej, ty dels tar varma varan upp kyla från den kalla och dessutom så har varorna tidskonstanter på åtskilliga timmar. I figur 18 visas samma förlopp men med alla varornas begynnelsetemperaturer lika. Blockschema och parametervärden finns nedan, samt SIMNON-filerna i utskrift 11, 12 och 13.




```
[FRIRE]
X2    : -16.30000
XSI2  : -16.30000
X3    : -26.50000
XSI3  : -26.50000
M0    :  14.00000
C0    :  2060.000
A0    :  3600.000
ALFA  :  36000.00
C     :  4000.000
LAMDA:   5220.000
L     : 0.2500000
T3    :  246.5000
M1    :  10000.00
C1    :  1000.000
ALFA0:   15840.00
F02   : 0.1000000
T0    :  246.5000
Q     : 1.0000000E+07
F03   : 0.4000000
M2    :  150000.0
M3    :  1238000.
V     :  9.000000
Q0    :  3.400000
F23   : 0.5000000
[CRASH]
TINIT: 0.0000000
T1    :  12.00000
T2    :  36.00000
DT1   : 0.2500000
[TCRAS]
```

5. reglersynpunkter

Hur resonerar Frigoscandia, när man skall dimensionera en frysanläggning ?

Utgångsdata är storleken på fryshuset, dvs rumsvolymen. Man ställer därefter upp en tabell över beräknat kylbehov. Här visas ett realistiskt exempel, som Frigoscandia har gjort:

rumsvolym: 10 x 52 x 81 m^3

	kcal/dygn	%
väggar	510000	11.0
tak	890000	19.5
golv	810000	17.5
belysning	365000	8.0
truckar	103000	2.0
ventilation	378000	8.0
fläktarbete	565000	12.0
produktionsbelastning	1000000	22.0
	4621000	

Gångtid ca 20 timmar/dygn $\Rightarrow$ anläggningsstorlek $\approx$ 230000 kcal/h.

Verkligt installerat: 430000 kcal/h vid förångningstemperaturen -40 °C i 2 st enheter.

Härvid har man då tagit hänsyn till ev. utbyggnad, samt leverantörens produktprogram.

En förångningstemperatur på -40 °C motsvarar ca -30 °C i rummet. Orsaken till att man har denna temperatur är främst, att verkningsgraden för processen blir bäst då. För varornas hållbarhet spelar det knappast någon roll om temperaturen är -28 eller -32 °. Det viktigaste är, att man ligger under -23 till -25 °. Vid betydligt lägre temperaturer kan man dock få problem med kvaliteten p.g.a. cellsprängning.

synpunkter

Det mest slående med detta sätt att diskutera tycker jag är, att man räknar fram de olika kylbehoven med raffinerade formler och

sedan summeras allt på slutet, varefter man lägger till 50-100 % för att "vara säker". Tillgång till modeller för olika driftfall vid design av ett fryshus har här en uppenbar plats, ty vad är det som säger att överslagsberäkningarna ger bäst resultat ? Jo i stort sett inget annat än erfarenheterna från andra anläggningar. Dessa erfarenheter är visserligen mycket viktiga, men i dagens läge med stigande energikostnader kan det vara viktigt att ha rätt dimension på anläggningen. Som de föregående kapitlen visat, så kan man ju redan med en relativt enkel modell beskriva värmeväxlingen på ett tillfredsställande sätt. I ett längre perspektiv med automatiska datorstyrda fryslager blir det kanske naturligare, att även använda datortekniken för dimensionering av fryshus.

Om man synar förlusterna i det givna exemplet reagerar man också för fler saker. Ventilationsförlusterna uppgår till knappt 10 % av hela kylbehovet eller till 1/3 av produktionsbelastningen. Enligt uppgift från Frigoscandia är detta ett av de största problemen. Detta beror främst på att dörrarna lämnas öppna i onödan. Idag öppnas och stänges dörrarna till frysrummen genom att man drar i ett snöre, som hänger vid dörren. Varför använder man sig inte av fotoceller t.ex. ? Dagens varuhus och stormarknader visar ju upp många förträffliga sätt att öppna och stänga dörrar.

KAPITEL 6. SLUTSATSER.

1. sammanfattning

Jämförelserna mellan mätningar och simuleringar har visat en god överensstämmelse. Vi har sett, att de flesta skillnaderna har sin förklaring i att t.ex. en massa eller värmeövergångstal har uppskattats lite felaktigt. Trots detta har jämförelserna visat, att vi har en snabb tidskonstant som kommer från luften och en betydligt långsammare från varorna. Modellen måste anses vara en bra beskrivning av vad som händer i ett frysrum.

2. användning

I kapitel 5 visade jag en del exempel på hur man kan använda modellen. Detta är naturligtvis ett viktigt användningsområde, att kunna se vad som händer vid olika driftsfall utan att varorna förstörs. Andra användningsområden är t.ex. datorstyrning.

Man skulle ju kunna försöka beskriva eltaxan, som en matematisk modell för att slutligen kunna se hela frysanläggningen som en enda stor svart låda, där varorna är insignaler och elkostnaden är utsignalen:

På detta sätt skulle man kunna minimera energikostnaden för ett fryshus eller en hel frysanläggning. Om det dessutom skulle visa sig lönsamt är naturligtvis svårare att säga. Det beror t.ex. på hur mycket man kan spara på eltaxan. Att på ett vettigt sätt beskriva eltaxan kan bara det vara ett invecklat problem, eftersom den tycks innehålla många regler. Debiteringen kan ske på tre sätt:

1. Fast debitering beroende av kontrakterat behov i kW.
2. Debitering beroende av maximalt behov i kW under aktuell period.
3. Debitering av förbrukningen under den aktuella perioden i kostnad per kWh.

Tarifferna är i regel konstruerade så att de gynnar en stabil kraftförbrukning.

Som synes kan datortekniken finna många användningar för ett företag som Frigoscandia. Jag har mest behandlat användningen vid dimensionering och reglering av en frysanläggning. I ett längre perspektiv kan man också räkna med helt automatiska fryslager, där en dator styr lagerhållningen. Detta lär dock bara bli realistiskt om varuomsättningen i rummet är tillräckligt stor.

3. förbättringar

Den modell som jag har gjort på värmeväxlingen kan naturligtvis förbättras. Närmast till hands ligger det att ta med väggar, golv och tak som tillstånd, samt att införa utomhustemperaturen. Det vore också intressant att se, om man kan minska energikostnaden genom att t.ex. sänka temperaturen i rummet någon grad dagen innan det skall komma en sändning varor.

Dessutom borde man kanske börja titta lite mer "bakom" kylan. Vad händer t.ex. i maskinrummet ? Dessa förbättringar och försök att se hela anläggningen som en svart låda enligt avsnitt 2, kombinerat med lämpliga mätningar skulle kunna utgöra ett trevligt examensarbete för några intresserade teknologer.

APPENDIX A

programutskrifter

Utskrift 1. SIMNON-filen FRIG4.

```
CONTINUOUS SYSTEM FRIG4      "6:E ORDNINGENS SYSTEM
STATE X0 X1 X2 XSI2 X3 XSI3
DER DX0 DX1 DX2 DXSI2 DX3 DXSI3
INITIAL
P0=M0*C0
P1=2.04E-4*A0
P2=ALFA*6E-3
P3=0.875*C
P4=LAMDA*1.5E-3/L
P5=0.125*C
P6=2.04E-4*6E-3
P7=M1*C1
P8=M2+M3
A01=ALFA0*A0/P0
A00= -A01-Q/P0
A0K=Q*U/P0
A10=ALFA0*A0/P7
A12=P2*M2/P7
A14=P2*M3/P7
A14P=P2*P8/P7
A11= -A10-A12-A14
A11P= -A10-A14P
A1K=V+W+Q0
A21=P2/P3
A23=P4/P3
A22=-A21-A23
A22P= -A23
A32=P4/P5
S02=P1*F02/P0
S04=P1*F03/P0
S00=-S02-S04
S00P= -S04
S20= P1*F02/(M2*P3)
S24=P6*F23/P3
S22=-S20-S24
S40=P1*F03/(M3*P3)
S40P=P1*F03/(P8*P3)
S42=P6*F23/(M3*P3)
S44= -S40-S42
S44P= -S40P
ALFA0:15840
ALFA:36000
C0:2060
C1:1000
C:4000
LAMDA:5220
L:0.25
Q:1.8E7
M0:6
M1:8025
M2:30000
M3:2000000
V:12.9
Q0:3.4
U:-31
W:0
A0:1600
F02:0.3
F03:0.3
F23:0.5
DYNAMICS
T04=ABS(X0+273)↑4
T24=ABS(X2+273)↑4
```

Utskrift 2. SIMNON-filen FRIG4 forts.

```
T34=ABS(X3+273)↑4
Z01=A00*X0+A01*X1+A0K+S00*T04+S02*T24+S04*T34
Z02=A00*X0+A01*X1+A0K+S00P*T04+S04*T34
DX0=IF X2>X3 THEN Z01 ELSE Z02
Z11=A10*X0+A11*X1+A12*X2+A14*X3+A1K
Z12=A10*X0+A11P*X1+A14P*X3+A1K
DX1=IF X2>X3 THEN Z11 ELSE Z12
Z41=A21*X1+A22*X3+A23*XSI3+S40*T04+S42*T24+S44*T34
Z42=A21*X1+A22*X3+A23*XSI3+S40P*T04+S44P*T34
DX3=IF X2>X3 THEN Z41 ELSE Z42
DXSI3=A32*X3-A32*XSI3
Z21=A21*X1+A22*X2+A23*XSI2+S20*T04+S22*T24+S24*T34
DX2=IF X2>X3 THEN Z21 ELSE DX3
DXSI2=IF XSI2>XSI3 THEN A32*X2-A32*XSI2 ELSE DXSI3
X0:-28
X1:-25
X2:-16.3
XSI2:-16.3
X3:-26.5
XSI3:-26.5
END
```

Utskrift 3. SIMNON-filen FRI4C.

```
CONTINUOUS SYSTEM FRI4C          " 6:E ORDNINGENS SYSTEM;
STATE X2 XSI2 X3 XSI3            " DX0 OCH DX1 HAR SATTS =0
DER DX2 DXSI2 DX3 DXSI3
INITIAL
P0=M0*C0
P1=2.04E-4*A0
P2=ALFA*6E-3
P3=0.875*C
P4=LAMDA*1.5E-3/L
P5=2.04E-4*6E-3*4*T3↑3
P6=0.125*C
P7=2.04E-4*6E-3
P8=M1*C1
" 6:E ORDNINGENS SYSTEM:
"
"M0*C0*DX0   = A00*X0+A01*X1+A02*X2+A0K                          X2>X3
"              A00P*X0+A01*X1+A0KP                               X2<X3
"
"DX1         = A10*X0+A11*X1+A12*X2+A14*X3+A1K                  X2>X3
"              A10*X0+A11P*X1+A14P*X3+A1K                        X2<X3
"
"DX2         = A21*X1+A22*X2+A23*XSI2+S20*T04+S22*T24+S24*T34   X2>X3
"              DX3                                               X2<X3
"
"DXSI2       = A32*X2-A32*XSI2                                 XSI2>XSI3
"              DXSI3                                           XSI2<XSI3
"
"DX3         = A21*X1+A22*X3+A23*XSI3+S40*T04+S42*T24+S44*T34   X2>X3
"              A21*X1+A22*X3+A23*XSI3+S40P*T04+S44P*T34          X2<X3
"
"DXSI3       = A32*X3-A32*XSI3
"
"
A01=A0*ALFA0
A02=F02*P1*4*T0↑3
A00= -A01-A02-Q
A00P= -A01-Q
A0K=F03*P1*(T3↑4-T0↑4)+Q*U
A0KP=(F02+F03)*P1*(T3↑4-T0↑4)+Q*U
A10=A01/P8
A12=P2*M2/P8
A14=P2*M3/P8
A14P=P2*(M2+M3)/P8
A11= -A10-A12-A14
A11P= -A10-A14P
A1K=V+W+Q0
A21=P2/P3
A23=P4/P3
A22= -A21-A23
A32=P4/P6
S24=F23*P7/P3
S20=F02*P1/(M2*P3)
S22= -S20-S24
S42=F23*P7*M2/(M3*P3)
S40=F03*P1/(M3*P3)
S40P=(F02+F03)*P1/((M2+M3)*P3)
S44= -S40-S42
S44P= -S40P
K0=A01*A10-A00*A11
K0P=A01*A10-A00P*A11P
K1=A01/A00
K1P=A01/A00P
E2=(A00*A12-A02*A10)/K0
```

Utskrift 4. SIMNON-filen FRI4C forts.

```
E4=A00*A14/K0
E4P=A00P*A14P/K0P
EK=(A00*A1K-A10*A0K)/K0
EKP=(A00P*A1K-A10*A0KP)/K0P
D2= -K1*E2-A02/A00
D4= -K1*E4
D4P= -K1P*E4P
DK= -K1*EK-A0K/A00
DKP= -K1P*EKP-A0KP/A00P
D24=A21*E4
D24P=A21*E4P
D2K=A21*EK
D2KP=A21*EKP
D42=A21*E2
D44=A22+D24
D44P=A22+D24P
D22=A22+D42
D22P=A22
ALFA0:15840
ALFA:36000
C0:2060
C1:1000
C:4000
LAMDA:5220
L:0.25
Q:1.8E7
M0:14
M1:16000
M2:194000
M3:1238000
A0:3600
T0:242
T3:246.5
U: -38
V:9.0
Q0:3.4
W:0
F02:0.3
F03:0.3
F23:0.5
DYNAMICS
X0=IF X2>X3 THEN D2*X2+D4*X3+DK ELSE D4P*X3+DKP
X1=IF X2>X3 THEN E2*X2+E4*X3+EK ELSE E4P*X3+EKP
T04=ABS(X0+273)↑4
T24=ABS(X2+273)↑4
T34=ABS(X3+273)↑4
B42=IF X2>X3 THEN D42 ELSE 0
B44=IF X2>X3 THEN D44 ELSE D44P
B2K=IF X2>X3 THEN D2K ELSE D2KP
B0=IF X2>X3 THEN S40 ELSE S40P
B2=IF X2>X3 THEN S42 ELSE 0
B4=IF X2>X3 THEN S44 ELSE S44P
DX3=B42*X2+B44*X3+A23*XSI3+B2K+B0*T04+B2*T24+B4*T34
DXSI3=A32*X3-A32*XSI3
DX2=IF X2>X3 THEN D22*X2+A23*XSI2+D24*X3+D2K+S20*T04+S22*T24+S24*T34 ELSE DX3
DXSI2=IF XSI2>XSI3 THEN A32*X2-A32*XSI2 ELSE DXSI3
X2: -16.3
XSI2: -16.3
X3: -26.5
XSI3: -26.5
END
```

Utskrift 5. SIMNON-filer för simulering av nattkyla.

```
CONTINUOUS SYSTEM FRIRE          " 6:E ORDNINGENS SYSTEM;
STATE X2 XSI2 X3 XSI3            " DX0 OCH DX1 HAR SATTS =0
DER DX2 DXSI2 DX3 DXSI3
INPUT U W
OUTPUT Y0 Y1
INITIAL
P0=M0*C0
P1=2.04E-4*A0
P2=ALFA*6E-3
P3=0.875*C
P4=LAMDA*1.5E-3/L
P5=2.04E-4*6E-3*4*T3↑3
P6=0.125*C
P7=2.04E-4*6E-3
P8=M1*C1
" 6:E ORDNINGENS SYSTEM:
"
"M0*C0*DX0   = A00*X0+A01*X1+A02*     X2+A0K                          X2>X3
"              A00P*X0+A01*X1+A0KP                                     X2<X3
"
"DX1         = A10*X0+A11*X1+A12*     X2+A14*X3+A1K                   X2>X3
"              A10*X0+A11P*X1+A14P*X3+A1K                              X2<X3
"
"DX2         = A21*X1+A22*X2+A23*XSI2+S20*T04+S22*T24+S24*T34        X2>X3
"              DX3                                                     X2<X3
"
"DXSI2       = A32*X2-A32*XSI2                                       XSI2>XSI3
"              DXSI3                                                   XSI2<XSI3
"
"DX3         = A21*X1+A22*X3+A23*XSI3+S40*T04+S42*T24+S44*T34        X2>X3
"              A21*X1+A22*X3+A23*XSI3+S40P*T04+S44P*T34                X2<X3
"
"DXSI3       = A32*X3-A32*XSI3
"
"
A01=A0*ALFA0
A02=F02*P1*4*T0↑3
A00= -A01-A02-Q
A00P= -A01-Q
A0K=F03*P1*(T3↑4-T0↑4)
A0KP=(F02+F03)*P1*(T3↑4-T0↑4)
A10=A01/P8
A12=P2*M2/P8
A14=P2*M3/P8
A14P=P2*(M2+M3)/P8
A11= -A10-A12-A14
A11P= -A10-A14P
A1K=V+Q0
A21=P2/P3
A23=P4/P3
A22= -A21-A23
A32=P4/P6
S24=F23*P7/P3
S20=F02*P1/(M2*P3)
S22= -S20-S24
S42=F23*P7*M2/(M3*P3)
S40=F03*P1/(M3*P3)
S40P=(F02+F03)*P1/((M2+M3)*P3)
S44= -S40-S42
S44P= -S40P
K0=A01*A10-A00*A11
K0P=A01*A10-A00P*A11P
K1=A01/A00
```

Utskrift 6. SIMNON-filer för simulering av nattkyla forts.

```
K1P=A01/A00P
E2=(A00*A12-A02*A10)/K0
E4=A00*A14/K0
E4P=A00P*A14P/K0P
EK=(A00*A1K-A10*A0K)/K0
EKP=(A00P*A1K-A10*A0KP)/K0P
EU= -A10*Q/K0
EUP= -A10*Q/K0P
EW=A00/K0
EWP=A00P/K0P
D2= -K1*E2-A02/A00
D4= -K1*E4
D4P= -K1P*E4P
DK= -K1*EK-A0K/A00
DKP= -K1P*EKP-A0KP/A00P
DU= -K1*EU-Q/A00
DUP= -K1P*EUP-Q/A00P
DW= -A01/K0
DWP= -A01/K0P
D24=A21*E4
D24P=A21*E4P
D2K=A21*EK
D2KP=A21*EKP
D2U=A21*EU
D2UP=A21*EUP
D2W=A21*EW
D2WP=A21*EWP
D42=A21*E2
D44=A22+D24
D44P=A22+D24P
D22=A22+D42
D22P=A22
ALFA0:15840
ALFA:36000
C0:2060
C1:1000
C:4000
LAMDA:5220
L:0.25
Q:1E7
M0:14
M1:10000
M2:150000
M3:1238000
A0:3600
T0:246.5
T3:246.5
V:9.0
Q0:3.4
F02:0.1
F03:0.4
F23:0.5
OUTPUT
Z01=D2*X2+D4*X3+DK+DU*U+DW*W
Z02=D4P*X3+DKP+DUP*U+DWP*W
X0=IF X2>X3 THEN Z01 ELSE Z02
Z11=E2*X2+E4*X3+EK+EU*U+EW*W
Z12=E4P*X3+EKP+EUP*U+EWP*W
X1=IF X2>X3 THEN Z11 ELSE Z12
Y0=X0
Y1=X1
DYNAMICS
T04=ABS(X0+273)↑4
T24=ABS(X2+273)↑4
```

<u>Utskrift 7</u>. SIMNON-filer för simulering av nattkyla forts.

```
T34=ABS(X3+273)↑4
B42=IF X2>X3 THEN D42 ELSE 0
B44=IF X2>X3 THEN D44 ELSE D44P
B2K=IF X2>X3 THEN D2K ELSE D2KP
B2U=IF X2>X3 THEN D2U ELSE D2UP
B2W=IF X2>X3 THEN D2W ELSE D2WP
B0=IF X2>X3 THEN S40 ELSE S40P
B2=IF X2>X3 THEN S42 ELSE 0
B4=IF X2>X3 THEN S44 ELSE S44P
DX3=B42*X2+B44*X3+A23*XSI3+B2K+B2U*U+B2W*W+B0*T04+B2*T24+B4*T34
DXSI3=A32*X3-A32*XSI3
Z=D22*X2+A23*XSI2+D24*X3+D2K+D2U*U+D2W*W+S20*T04+S22*T24+S24*T34
DX2=IF X2>X3 THEN Z ELSE DX3
DXSI2=IF XSI2>XSI3 THEN A32*X2-A32*XSI2 ELSE DXSI3
X2: -16.3
XSI2: -16.3
X3: -26.5
XSI3: -26.5
END
```

- -

```
DISCRETE SYSTEM DKYLA
TIME T
INPUT U V
OUTPUT Y
TSAMP TS
INITIAL
TS=TINIT
TINIT:0
OUTPUT
D=INT((T+14)/24)
KL=T-D*24+14
S=IF KL>K1 OR KL<K2 THEN 1 ELSE 0
Y=IF S>0 THEN U ELSE V
DYNAMICS
TS=T+DT1
DT1:0.25
K1:20
K2:6
END
```

- -

```
CONNECTING SYSTEM TDKYL
U[DKYLA]=-38
V[DKYLA]=Y0[FRIRE]
W[FRIRE]=0
U[FRIRE]=Y[DKYLA]
END
```

Utskrift 8. SIMNON-filer för simulering av dörröppnandet.

```
CONTINUOUS SYSTEM FRIRE          " 6:E ORDNINGENS SYSTEM;
STATE X2 XSI2 X3 XSI3            " DX0 OCH DX1 HAR SATTS =0
DER DX2 DXSI2 DX3 DXSI3
INPUT U W
OUTPUT Y0 Y1
INITIAL
P0=M0*C0
P1=2.04E-4*A0
P2=ALFA*6E-3
P3=0.875*C
P4=LAMDA*1.5E-3/L
P5=2.04E-4*6E-3*4*T3↑3
P6=0.125*C
P7=2.04E-4*6E-3
P8=M1*C1
" 6:E ORDNINGENS SYSTEM:
"
"M0*C0*DX0   = A00*X0+A01*X1+A02*     X2+A0K                          X2>X3
"              A00P*X0+A01*X1+A0KP                                    X2<X3
"
"DX1         = A10*X0+A11*X1+A12*     X2+A14*X3+A1K                   X2>X3
"              A10*X0+A11P*X1+A14P*X3+A1K                             X2<X3
"
"DX2         = A21*X1+A22*X2+A23*XSI2+S20*T04+S22*T24+S24*T34        X2>X3
"              DX3                                                    X2<X3
"
"DXSI2       = A32*X2-A32*XSI2                                       XSI2>XSI3
"              DXSI3                                                  XSI2<XSI3
"
"DX3         = A21*X1+A22*X3+A23*XSI3+S40*T04+S42*T24+S44*T34        X2>X3
"              A21*X1+A22*X3+A23*XSI3+S40P*T04+S44P*T34               X2<X3
"
"DXSI3       = A32*X3-A32*XSI3
"
"
A01=A0*ALFA0
A02=F02*P1*4*T0↑3
A00= -A01-A02-Q
A00P= -A01-Q
A0K=F03*P1*(T3↑4-T0↑4)
A0KP=(F02+F03)*P1*(T3↑4-T0↑4)
A10=A01/P8
A12=P2*M2/P8
A14=P2*M3/P8
A14P=P2*(M2+M3)/P8
A11= -A10-A12-A14
A11P= -A10-A14P
A1K=V+Q0
A21=P2/P3
A23=P4/P3
A22= -A21-A23
A32=P4/P6
S24=F23*P7/P3
S20=F02*P1/(M2*P3)
S22= -S20-S24
S42=F23*P7*M2/(M3*P3)
S40=F03*P1/(M3*P3)
S40P=(F02+F03)*P1/((M2+M3)*P3)
S44= -S40-S42
S44P= -S40P
K0=A01*A10-A00*A11
K0P=A01*A10-A00P*A11P
K1=A01/A00
```

Utskrift 9. SIMNON-filer för simulering av dörröppnandet forts.

```
K1P=A01/A00P
E2=(A00*A12-A02*A10)/K0
E4=A00*A14/K0
E4P=A00P*A14P/K0P
EK=(A00*A1K-A10*A0K)/K0
EKP=(A00P*A1K-A10*A0KP)/K0P
EU= -A10*Q/K0
EUP= -A10*Q/K0P
EW=A00/K0
EWP=A00P/K0P
D2= -K1*E2-A02/A00
D4= -K1*E4
D4P= -K1P*E4P
DK= -K1*EK-A0K/A00
DKP= -K1P*EKP-A0KP/A00P
DU= -K1*EU-Q/A00
DUP= -K1P*EUP-Q/A00P
DW= -A01/K0
DWP= -A01/K0P
D24=A21*E4
D24P=A21*E4P
D2K=A21*EK
D2KP=A21*EKP
D2U=A21*EU
D2UP=A21*EUP
D2W=A21*EW
D2WP=A21*EWP
D42=A21*E2
D44=A22+D24
D44P=A22+D24P
D22=A22+D42
D22P=A22
ALFA0:15840
ALFA:36000
C0:2060
C1:1000
C:4000
LAMDA:5220
L:0.25
Q:1E7
M0:14
M1:10000
M2:150000
M3:1238000
A0:3600
T0:246.5
T3:246.5
V:9.0
Q0:3.4
F02:0.1
F03:0.4
F23:0.5
OUTPUT
Z01=D2*X2+D4*X3+DK+DU*U+DW*W
Z02=D4P*X3+DKP+DUP*U+DWP*W
X0=IF X2>X3 THEN Z01 ELSE Z02
Z11=E2*X2+E4*X3+EK+EU*U+EW*W
Z12=E4P*X3+EKP+EUP*U+EWP*W
X1=IF X2>X3 THEN Z11 ELSE Z12
Y0=X0
Y1=X1
DYNAMICS
T04=ABS(X0+273)↑4
T24=ABS(X2+273)↑4
```

Utskrift 10. SIMNON-filer för simulering av dörröppnandet forts.

```
T34=ABS(X3+273)↑4
B42=IF X2>X3 THEN D42 ELSE 0
B44=IF X2>X3 THEN D44 ELSE D44P
B2K=IF X2>X3 THEN D2K ELSE D2KP
B2U=IF X2>X3 THEN D2U ELSE D2UP
B2W=IF X2>X3 THEN D2W ELSE D2WP
B0=IF X2>X3 THEN S40 ELSE S40P
B2=IF X2>X3 THEN S42 ELSE 0
B4=IF X2>X3 THEN S44 ELSE S44P
DX3=B42*X2+B44*X3+A23*XSI3+B2K+B2U*U+B2W*W+B0*T04+B2*T24+B4*T34
DXSI3=A32*X3-A32*XSI3
Z=D22*X2+A23*XSI2+D24*X3+D2K+D2U*U+D2W*W+S20*T04+S22*T24+S24*T34
DX2=IF X2>X3 THEN Z ELSE DX3
DXSI2=IF XSI2>XSI3 THEN A32*X2-A32*XSI2 ELSE DXSI3
X2: -16.3
XSI2: -16.3
X3: -26.5
XSI3: -26.5
END
```

- -

```
DISCRETE SYSTEM DRYTM
TIME T
INPUT U
OUTPUT Y
TSAMP TS
INITIAL
TS=TINIT
TINIT:0
OUTPUT
D=INT((T+14)/24)
KL=T-D*24+14
S=IF KL>17.9 OR KL<6 THEN 1 ELSE 0
Y=IF S>0 THEN 0 ELSE U
DYNAMICS
TS=T+DT1
DT1:0.25
END
```

- -

```
CONNECTING SYSTEM DOOR
U[DRYTM]=AMP*INT(ABS(E1[NOISE]))
W[FRIRE]=Y[DRYTM]
U[FRIRE]= -38
AMP:6
END
```

Utskrift 11. SIMNON-filer för simulering av haveri.

```
CONTINUOUS SYSTEM FRIRE          " 6:E ORDNINGENS SYSTEM;
STATE X2 XSI2 X3 XSI3           " DX0 OCH DX1 HAR SATTS =0
DER DX2 DXSI2 DX3 DXSI3
INPUT U W
OUTPUT Y0 Y1
INITIAL
P0=M0*C0
P1=2.04E-4*A0
P2=ALFA*6E-3
P3=0.875*C
P4=LAMDA*1.5E-3/L
P5=2.04E-4*6E-3*4*T3↑3
P6=0.125*C
P7=2.04E-4*6E-3
P8=M1*C1
" 6:E ORDNINGENS SYSTEM:
"
"M0*C0*DX0   = A00*X0+A01*X1+A02*     X2+A0K                                  X2>X3
"              A00P*X0+A01*X1+A0KP                                           X2<X3
"
"DX1         = A10*X0+A11*X1+A12*     X2+A14*X3+A1K                           X2>X3
"              A10*X0+A11P*X1+A14P*X3+A1K                                    X2<X3
"
"DX2         = A21*X1+A22*X2+A23*XSI2+S20*T04+S22*T24+S24*T34                X2>X3
"              DX3                                                           X2<X3
"
"DXSI2       = A32*X2-A32*XSI2                                               XSI2>XSI3
"              DXSI3                                                         XSI2<XSI3
"
"DX3         = A21*X1+A22*X3+A23*XSI3+S40*T04+S42*T24+S44*T34                X2>X3
"              A21*X1+A22*X3+A23*XSI3+S40P*T04+S44P*T34                      X2<X3
"
"DXSI3       = A32*X3-A32*XSI3
"
"
A01=A0*ALFA0
A02=F02*P1*4*T0↑3
A00= -A01-A02-Q
A00P= -A01-Q
A0K=F03*P1*(T3↑4-T0↑4)
A0KP=(F02+F03)*P1*(T3↑4-T0↑4)
A10=A01/P8
A12=P2*M2/P8
A14=P2*M3/P8
A14P=P2*(M2+M3)/P8
A11= -A10-A12-A14
A11P= -A10-A14P
A1K=V+Q0
A21=P2/P3
A23=P4/P3
A22= -A21-A23
A32=P4/P6
S24=F23*P7/P3
S20=F02*P1/(M2*P3)
S22= -S20-S24
S42=F23*P7*M2/(M3*P3)
S40=F03*P1/(M3*P3)
S40P=(F02+F03)*P1/((M2+M3)*P3)
S44= -S40-S42
S44P= -S40P
K0=A01*A10-A00*A11
K0P=A01*A10-A00P*A11P
K1=A01/A00
```

Utskrift 12. SIMNON-filer för simulering av haveri forts.

```
K1P=A01/A00P
E2=(A00*A12-A02*A10)/K0
E4=A00*A14/K0
E4P=A00P*A14P/K0P
EK=(A00*A1K-A10*A0K)/K0
EKP=(A00P*A1K-A10*A0KP)/K0P
EU= -A10*Q/K0
EUP= -A10*Q/K0P
EW=A00/K0
EWP=A00P/K0P
D2= -K1*E2-A02/A00
D4= -K1*E4
D4P= -K1P*E4P
DK= -K1*EK-A0K/A00
DKP= -K1P*EKP-A0KP/A00P
DU= -K1*EU-Q/A00
DUP= -K1P*EUP-Q/A00P
DW= -A01/K0
DWP= -A01/K0P
D24=A21*E4
D24P=A21*E4P
D2K=A21*EK
D2KP=A21*EKP
D2U=A21*EU
D2UP=A21*EUP
D2W=A21*EW
D2WP=A21*EWP
D42=A21*E2
D44=A22+D24
D44P=A22+D24P
D22=A22+D42
D22P=A22
ALFA0:15840
ALFA:36000
C0:2060
C1:1000
C:4000
LAMDA:5220
L:0.25
Q:1E7
M0:14
M1:10000
M2:150000
M3:1238000
A0:3600
T0:246.5
T3:246.5
V:9.0
Q0:3.4
F02:0.1
F03:0.4
F23:0.5
OUTPUT
Z01=D2*X2+D4*X3+DK+DU*U+DW*W
Z02=D4P*X3+DKP+DUP*U+DWP*W
X0=IF X2>X3 THEN Z01 ELSE Z02
Z11=E2*X2+E4*X3+EK+EU*U+EW*W
Z12=E4P*X3+EKP+EUP*U+EWP*W
X1=IF X2>X3 THEN Z11 ELSE Z12
Y0=X0
Y1=X1
DYNAMICS
T04=ABS(X0+273)↑4
T24=ABS(X2+273)↑4
```

Utskrift 13. SIMNON-filer för simulering av haveri forts.

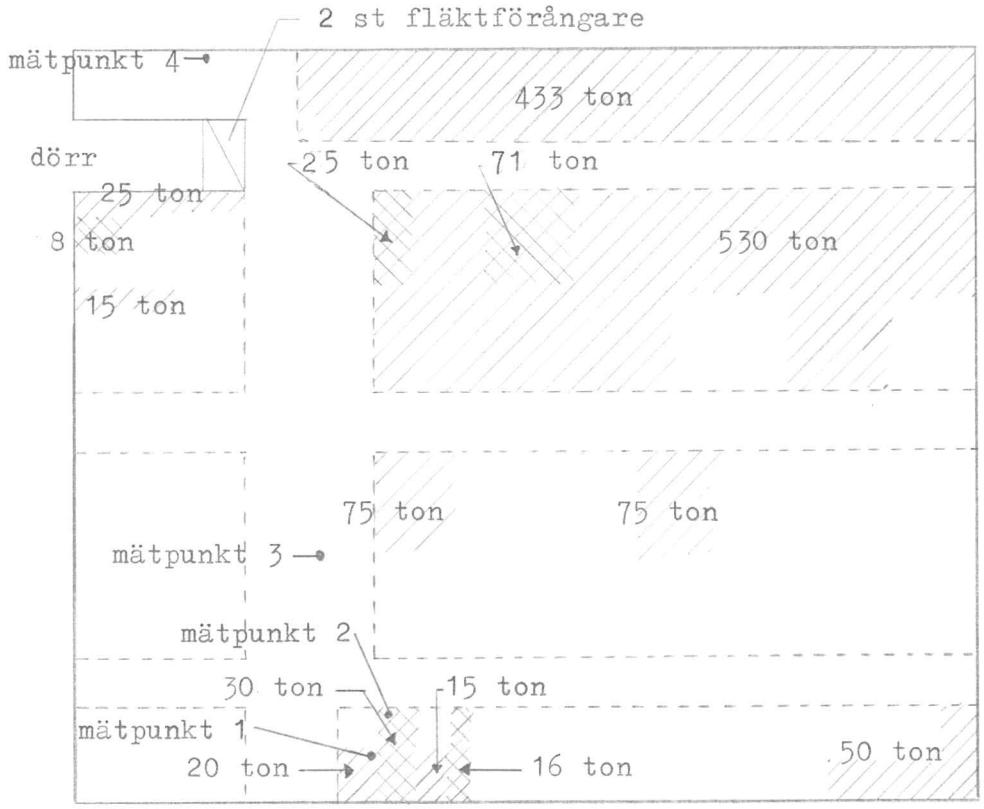
```
T34=ABS(X3+273)↑4
B42=IF X2>X3 THEN D42 ELSE 0
B44=IF X2>X3 THEN D44 ELSE D44P
B2K=IF X2>X3 THEN D2K ELSE D2KP
B2U=IF X2>X3 THEN D2U ELSE D2UP
B2W=IF X2>X3 THEN D2W ELSE D2WP
B0=IF X2>X3 THEN S40 ELSE S40P
B2=IF X2>X3 THEN S42 ELSE 0
B4=IF X2>X3 THEN S44 ELSE S44P
DX3=B42*X2+B44*X3+A23*XSI3+B2K+B2U*U+B2W*W+B0*T04+B2*T24+B4*T34
DXSI3=A32*X3-A32*XSI3
Z=D22*X2+A23*XSI2+D24*X3+D2K+D2U*U+D2W*W+S20*T04+S22*T24+S24*T34
DX2=IF X2>X3 THEN Z ELSE DX3
DXSI2=IF XSI2>XSI3 THEN A32*X2-A32*XSI2 ELSE DXSI3
X2: -16.3
XSI2: -16.3
X3: -26.5
XSI3: -26.5
END
```

```
DISCRETE SYSTEM CRASH
TIME T
INPUT U
OUTPUT Y
TSAMP TS
INITIAL
TS=TINIT
TINIT:0
OUTPUT
S=IF T>T1 AND T<T2 THEN 1 ELSE 0
Y=IF S>0 THEN U ELSE -38
DYNAMICS
TS=T+DT1
DT1:0.25
T1:12
T2:36
END
```

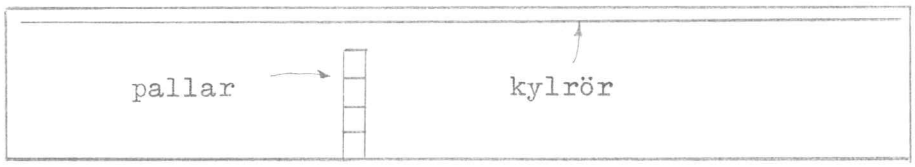
```
CONNECTING SYSTEM TCRAS
U[CRASH]=Y0[FRIRE]
U[FRIRE]=Y[CRASH]
W[FRIRE]=0
END
```

APPENDIX B

figurer



rum 12 uppifrån



rum 12 från sidan

kalla varor

varma varor

Figur 1. Utseende och möblering, samt kylrörs och fläktförångares placering i rum 12.

FENRÖRSFÖRÅNGARE
GFA,GFB

KAPACITETSDATA

Kyleffekten kan beräknas med formeln:

$$Q_2 = k \cdot A \cdot \theta_{in} \text{ kcal/h}$$

Q_2 = kyleffekt kcal/h.

k = värmegenomgångstal kcal/m^2h°C, tages ur diagram 1.

A = kylyta m^2 (för fenrörsförångare GFB med total längd = L m är A = 0,48·L m^2).

θ_{in}= skillnaden °C mellan rumstemp. och förångningstemp.

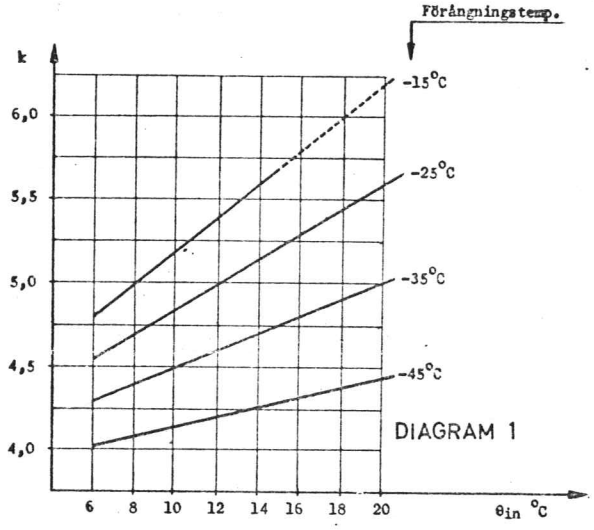


Diagram 1: k-värden för fenrörsförångare

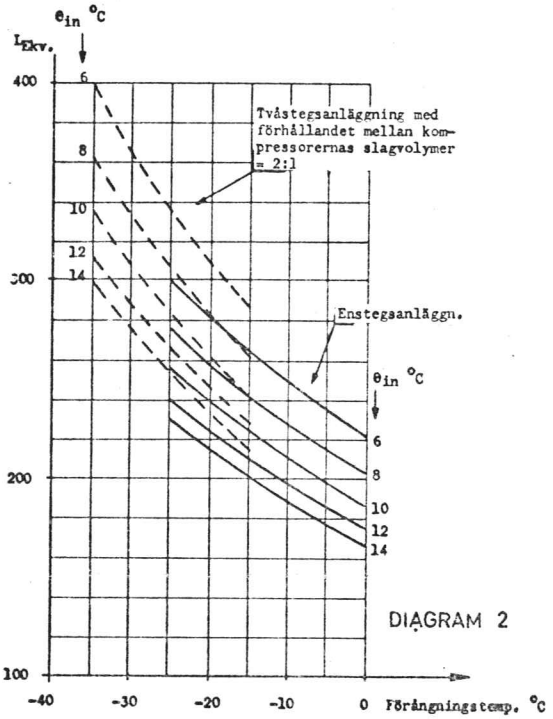


Diagram 2: Max. rekommenderad fenrörslängd per slinga i en ammoniakanläggning för pumpcirkulation.

TRYCKFALL

Ju större rörlängd (kylyta) som kopplas i serie i en slinga, ju större blir tryckfallet. Tryckfallet medför en sänkning av kompressorns kapacitet, varför det måste maximeras.

Diagram 2 anger för en ammoniakanläggning max. ekvivalenta rörlängd (= L_{Ekv} m) som rekommenderas för seriekoppling. Tryckfallet motsvarar här ca. 0,5°C på ångtryckskurvan. För fenrörsförångare GFA anger tabell (i måttuppgifter över fenrörsförångare) direkt L_{Ekv} m. För fenrörsförångare GFB beräknas L_{Ekv} m genom att till fenrörslängden addera 3 m för varje 180°-krök.

Om flera slingor skall parallellkopplas måste man se till att slingornas ekvivalenta rörlängder blir så lika som möjligt. Kan olikheter ej undvikas bör injusteringsventil inmonteras i slingorna med de lägre tryckfallen.

PÅFROSTNING

k-värdena i diagram 1 gäller för frostbelagda fenrör.

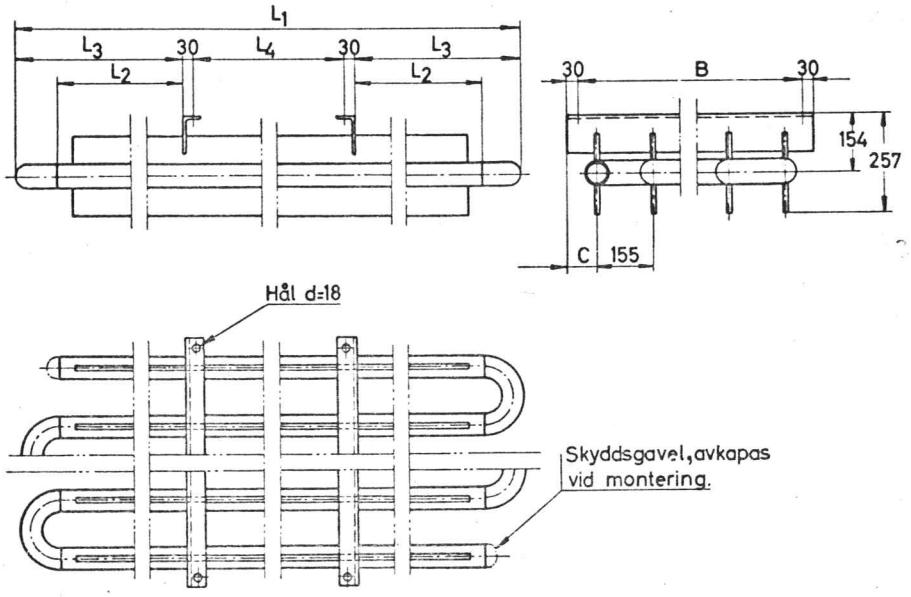
Lämplig tid mellan två avfrostningar är beroende av frosttillväxtens hastighet vilken i sin tur är beroende av driftsförhållandena. Erfarenheterna visar att vid en rumstemp. av ca -20°C och θ_{in} = 6 á 7°C, tiden mellan två avfrostningar normalt kan uppgå till ca 1 år.

Figur 2. Datablad från STAL.

FENRÖRSFÖRÅNGARE GFA

Elementen är i överkanten försedda med tvärstag i vilka upphängningsjärn eller skruvar kan fästas. Elementens båda anslutningar är försedda med påsvetsade skyddsgavlar, vilka avkapas vid montering. Som standard levereras elementen rostskyddade med en aluminiumglänsande asfaltfärg, vilken visat sig mycket lämplig för fryslagerrum.

FENRÖRSFÖRÅNGARE
GFA, GFB



Beställn.nr.	l_1	L_2	L_3	L_4	B	C	Eff. kylyta A m^2	Total rörlängd m	Ekv. rörlängd $L_{Ekv.}$ m	Tot. inre rörvolym liter	Antal rör i bredd	Vikt netto kg	Skeppningsdata vikt kg	Skeppningsdata volym m^3
1824 277-A	2518	403	509	1440	700	70	5,6	12,5	25	26	5	94	140	0,6
-B	3287	425	531	2165			7,4	16,4	30	34		123	190	0,8
-C	4109	449	555	2939			9,4	20,5	33	42		152	240	1,0
-D	4826	557	663	3440			11,1	24,0	36	50		178	280	1,2
-E	5410	849	955	3440			12,5	27,0	39	56		197	310	1,3
-F	6292	1040	1146	3940			14,6	31,4	43	65		232	360	1,5
1824 278-A	2518	403	509	1440	1000	65	7,8	17,6	36	37	7	133	205	0,85
-B	3287	425	531	2165			10,4	23,0	41	48		173	265	1,1
-C	4109	449	555	2939			13,2	28,7	47	60		214	325	1,4
-D	4826	557	663	3440			15,6	33,8	52	70		250	380	1,6
-E	5410	849	955	3440			17,6	37,8	56	79		282	430	1,8
-F	6292	1040	1146	3940			20,5	44,0	62	92		326	495	2,1
1824 279-A	2518	403	509	1440	1300	60	10,1	22,7	47	47	9	170	260	1,1
-B	3287	425	531	2165			13,4	29,6	54	62		222	335	1,4
-C	4109	449	555	2939			16,9	37,0	61	77		275	415	1,8
-D	4826	557	663	3440			20,0	43,5	68	90		321	485	2,0
-E	5410	849	955	3440			22,6	48,7	73	102		360	540	2,3
-F	6292	1040	1146	3940			26,3	56,7	81	118		420	630	2,7
1824 280-A	2518	403	509	1440	1600	55	12,3	27,8	58	58	11	208	310	1,3
-B	3287	425	531	2165			16,4	36,3	66	76		272	405	1,7
-C	4109	449	555	2939			20,7	45,3	75	94		336	500	2,1
-D	4826	557	663	3440			24,4	53,2	83	111		393	585	2,5
-E	5410	849	955	3440			27,6	59,6	90	124		440	655	2,8
-F	6292	1040	1146	3940			32,2	69,3	99	144		511	740	3,3

Figur 3. Datablad från STAL.

FENRÖRSFÖRÅNGARE GFB

Ett installationsexempel återfinnes i fig. 1 i beskrivning över fenrörsförångare. GFB användes framför allt i större fryslagerrum där den har visat sig kostnadsmässigt fördelaktigare än GFA. Antalet rörkrökar är litet, vilket ger lågt cirkulationsmotstånd under drift och god kondensatavrinning vid varmgasavfrostning.

Fenrören levereras med hål för upphängningspendlar, borrade i övre fenan. Fenrören levereras i av kunden specificerade längder, dock max. 6400 mm.

ståndet L_1 mellan dessa rörlängder insvetsas skarvfenrör med approx. längden $L_1/2$ (se fig. 2).

På montageplatsen sammansvetsas rören till större längder som lyftes upp till sina pendellägen under taket. Därefter påsättes och svetsas ändkrökarna. Fenrören skall ligga i horisontalplanet och bör uppriktas så att avvikelsen understiger ca. 20 mm. En större avvikelse kan tolereras endast om den "går i rätt riktning", d.v.s. att kondensatet vid varmgasavfrostning får ett fall från rör till rör.

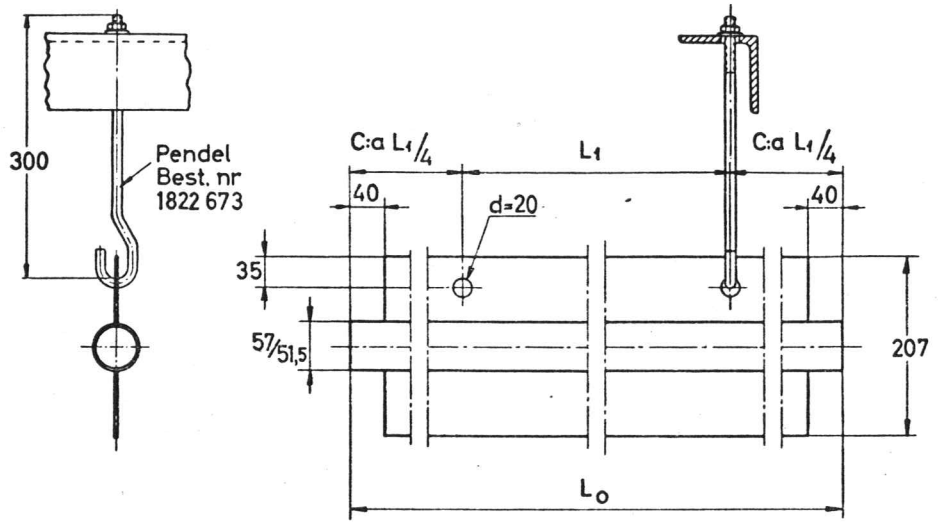


Fig.1

Vid beställning anges måtten L_0 och L_1. Avståndet mellan två upphängningspendlar = L_1 bör ej överstiga 4500 mm. För att undvika att max. böjningspåkänning i fenröret ej inträffar vid en skarv, upphänges lämpligen endast varannan rörlängd i pendlar, och med pendelav-

Belastningen på pendelfästet i taket kan uppskattas med ledning av att fenröret med fyllning och isbeläggning väger ca. 13,5 kg/m.

Köldmediefyllningen kan beräknas med ledning av att inre rörvolymen är 2,1 lit./m.

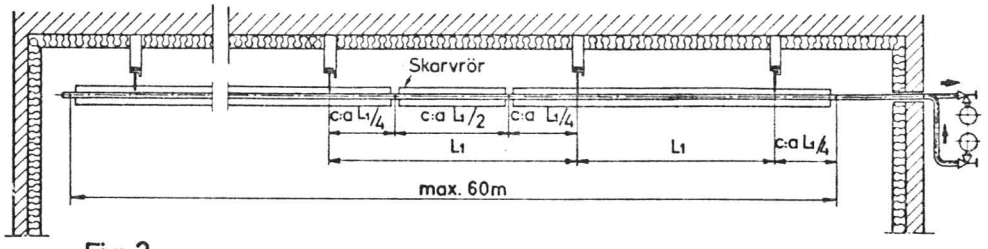


Fig. 2

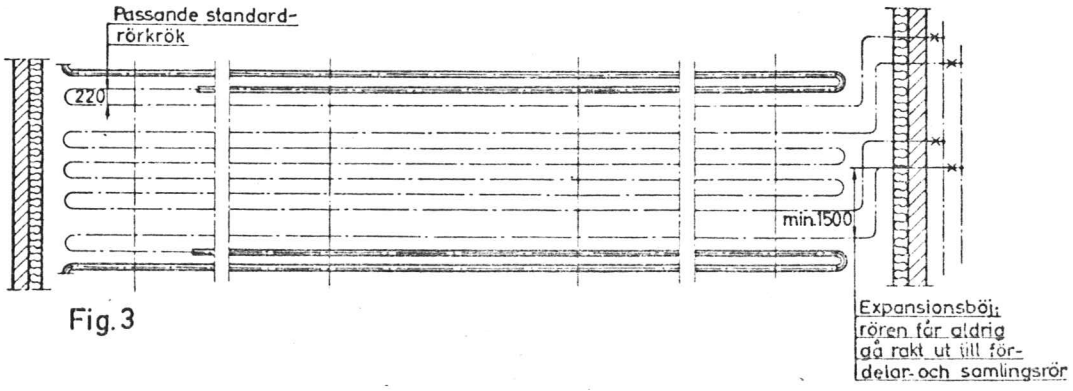
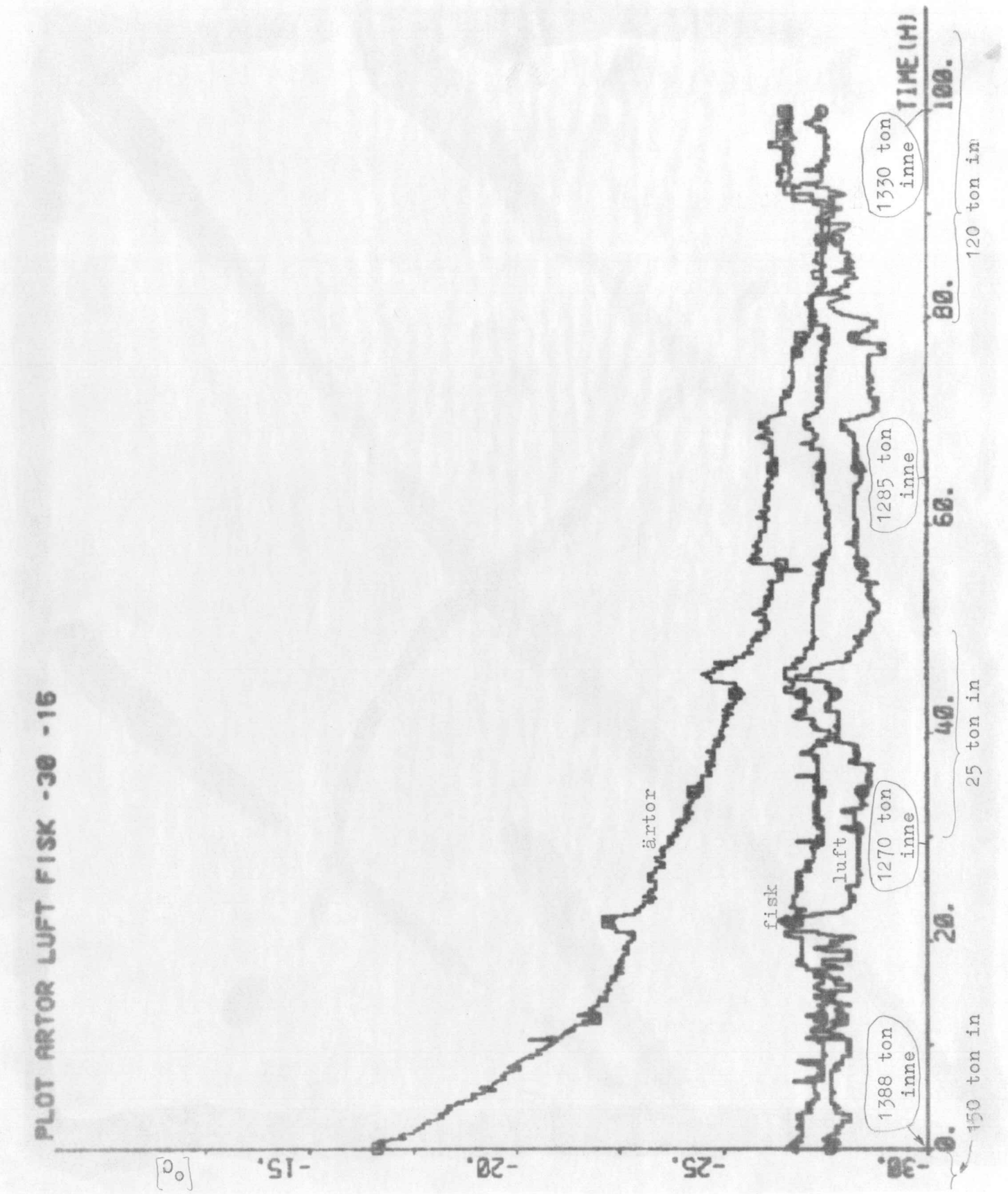
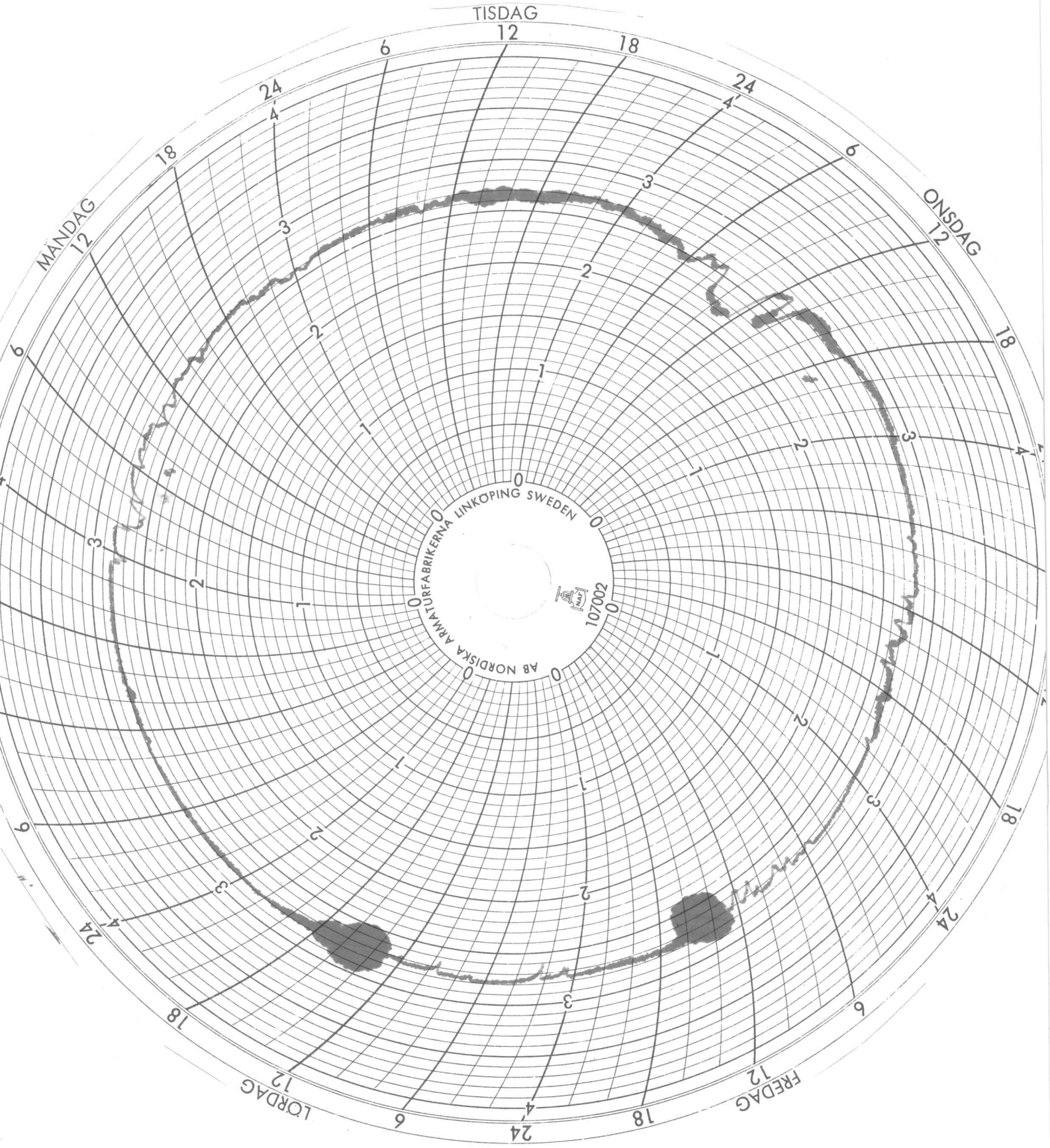


Fig. 3

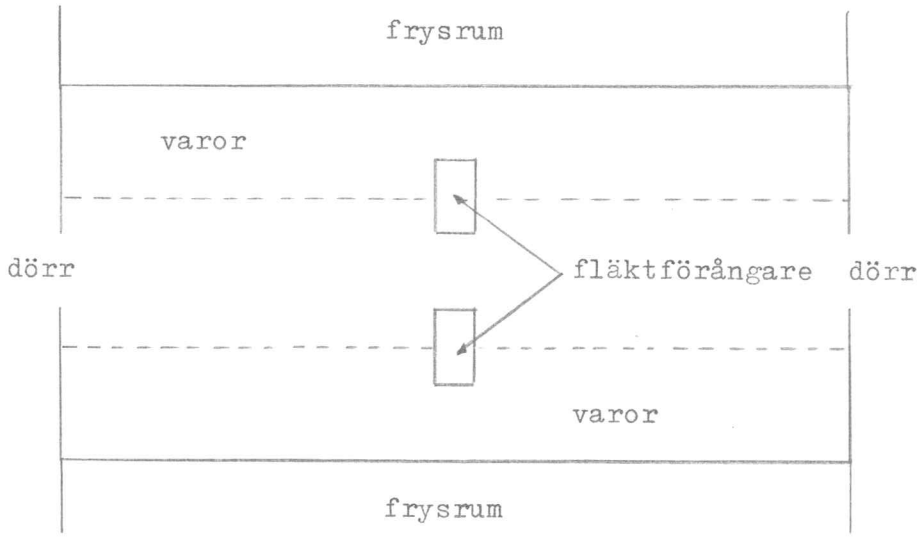
Figur 4. Datablad från STAL.

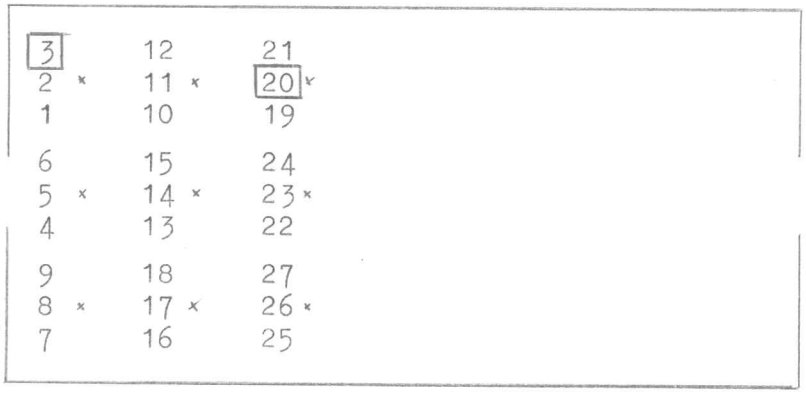


Figur 5. Mätningar i rum 12 torsdagen den 18.7 kl 18 - måndagen den 22.7 kl 22.

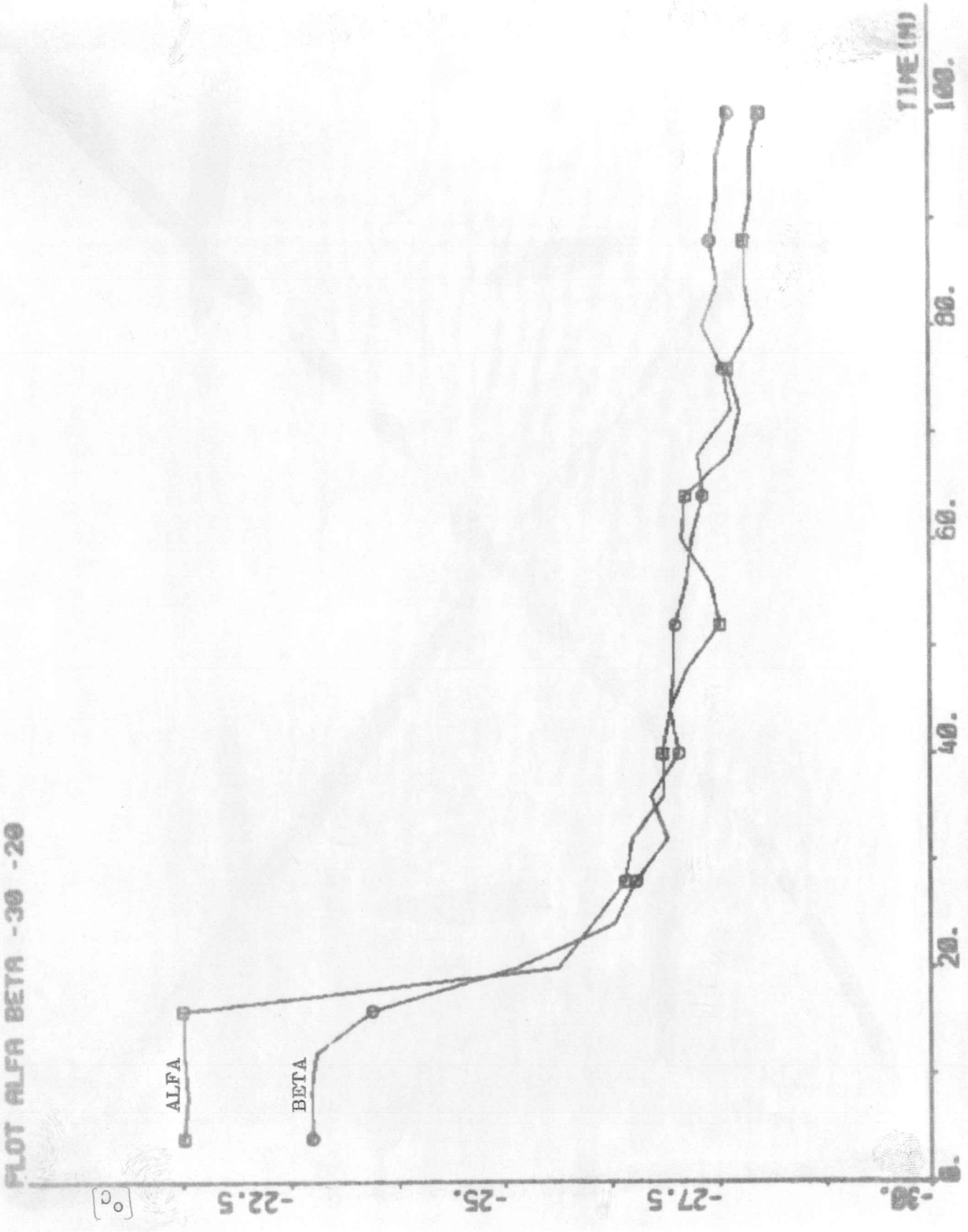


Figur 6. Uppmätt lufttemperatur innanför dörren i rum 12 tisdagen den 16.7 kl 10 - tisdagen den 23.7 kl 10.

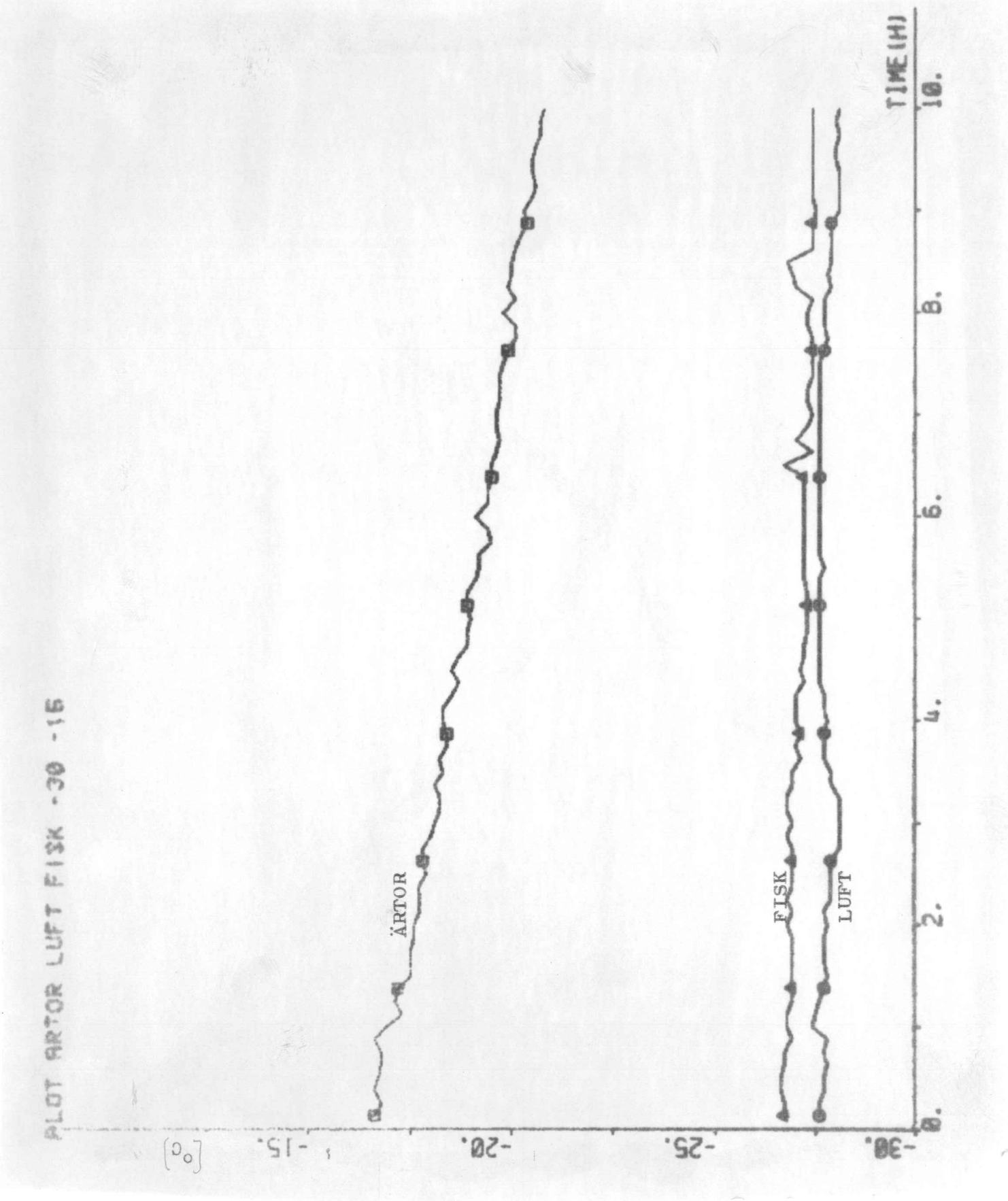




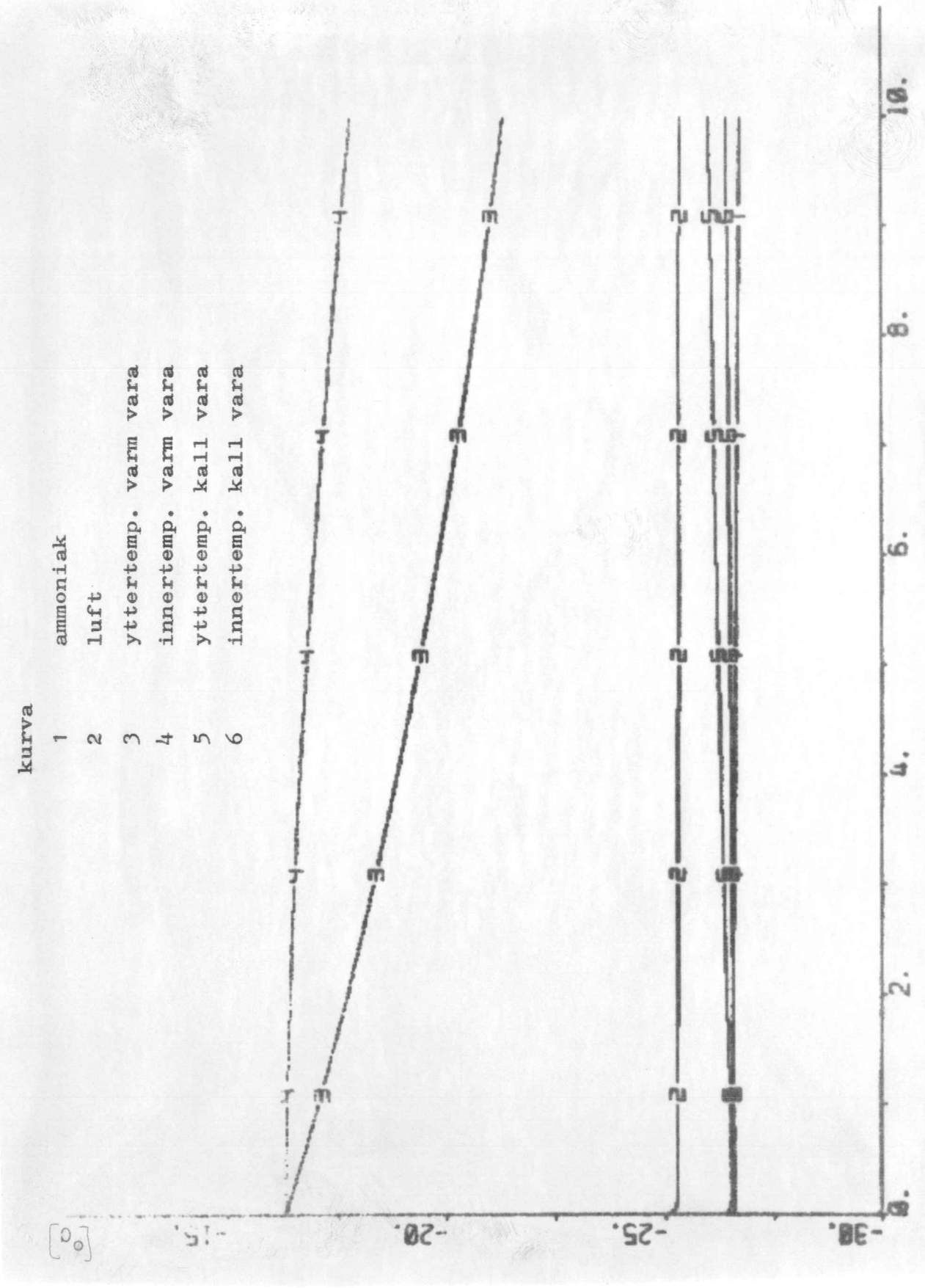
Figur 7. Utseende, möblering och fläktförångarnas placering i rum 27 (överst).
Mätpunkternas placering (underst)



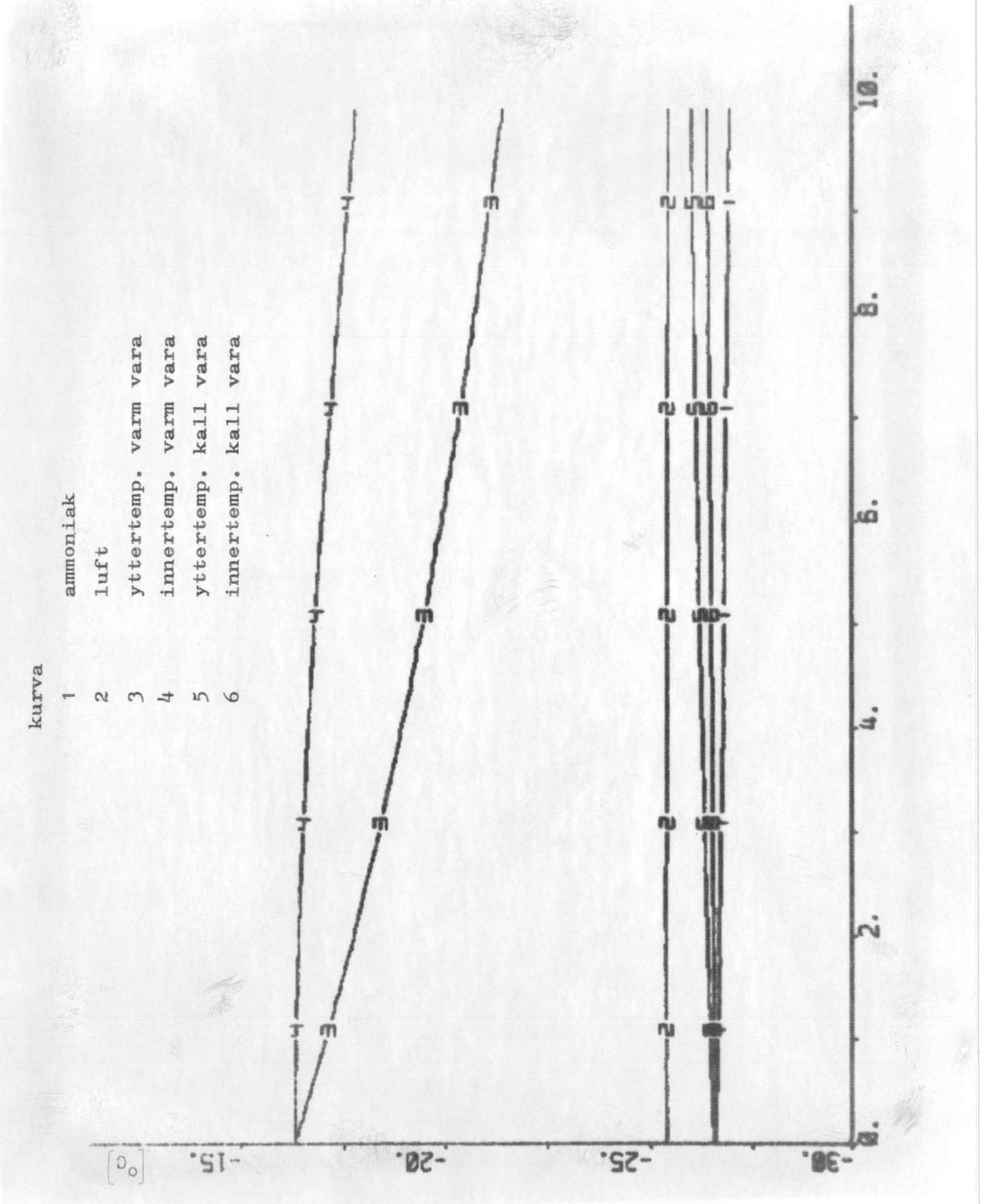
Figur 8. Mätpunkt 3 (ALFA) och 20 (BETA) kl 19.30 - 21.10 onsdagen den 31.7 i rum 27.



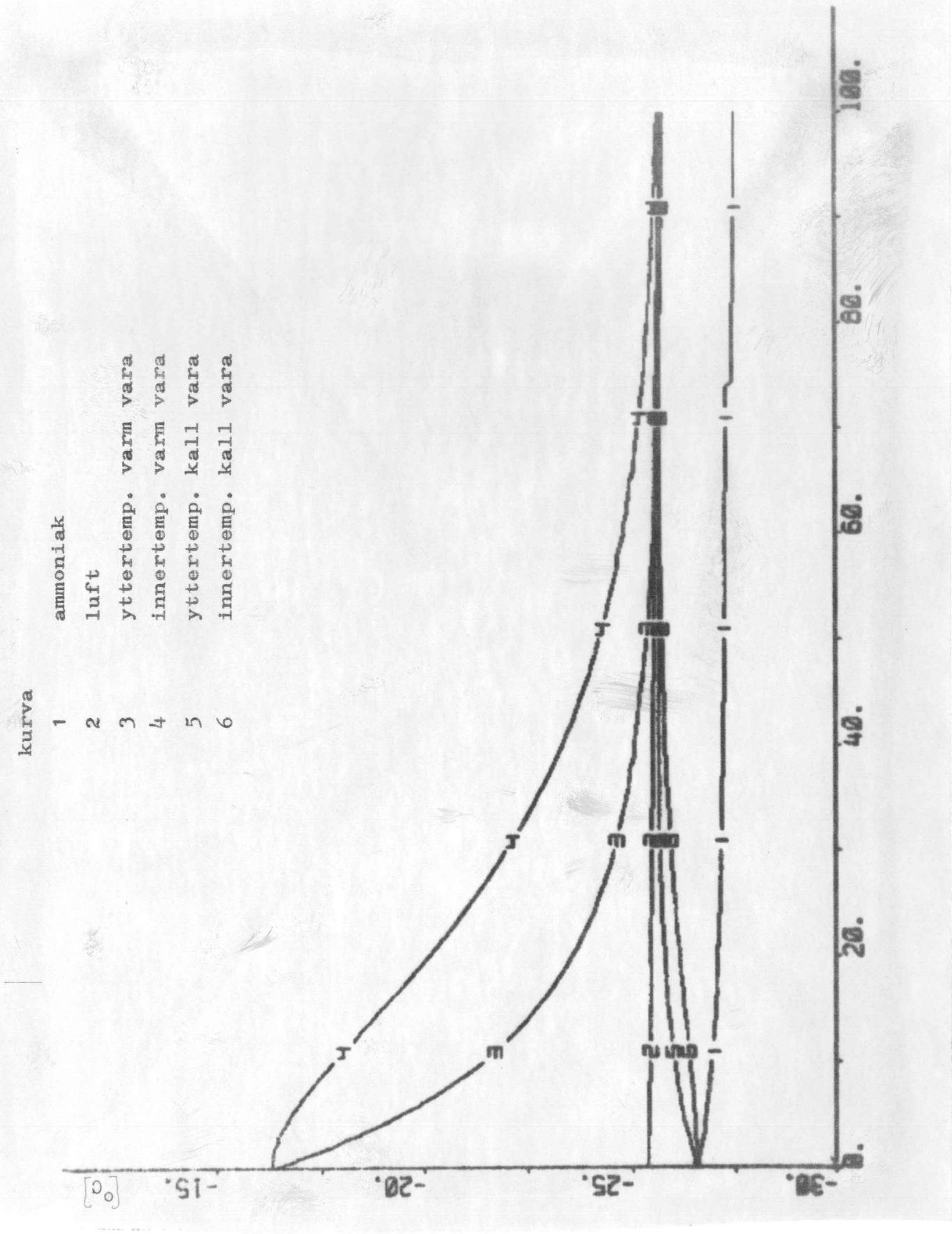
Figur 9. De första 10 timmarna i figur 5 (dvs vid mätningarna i rum 12).



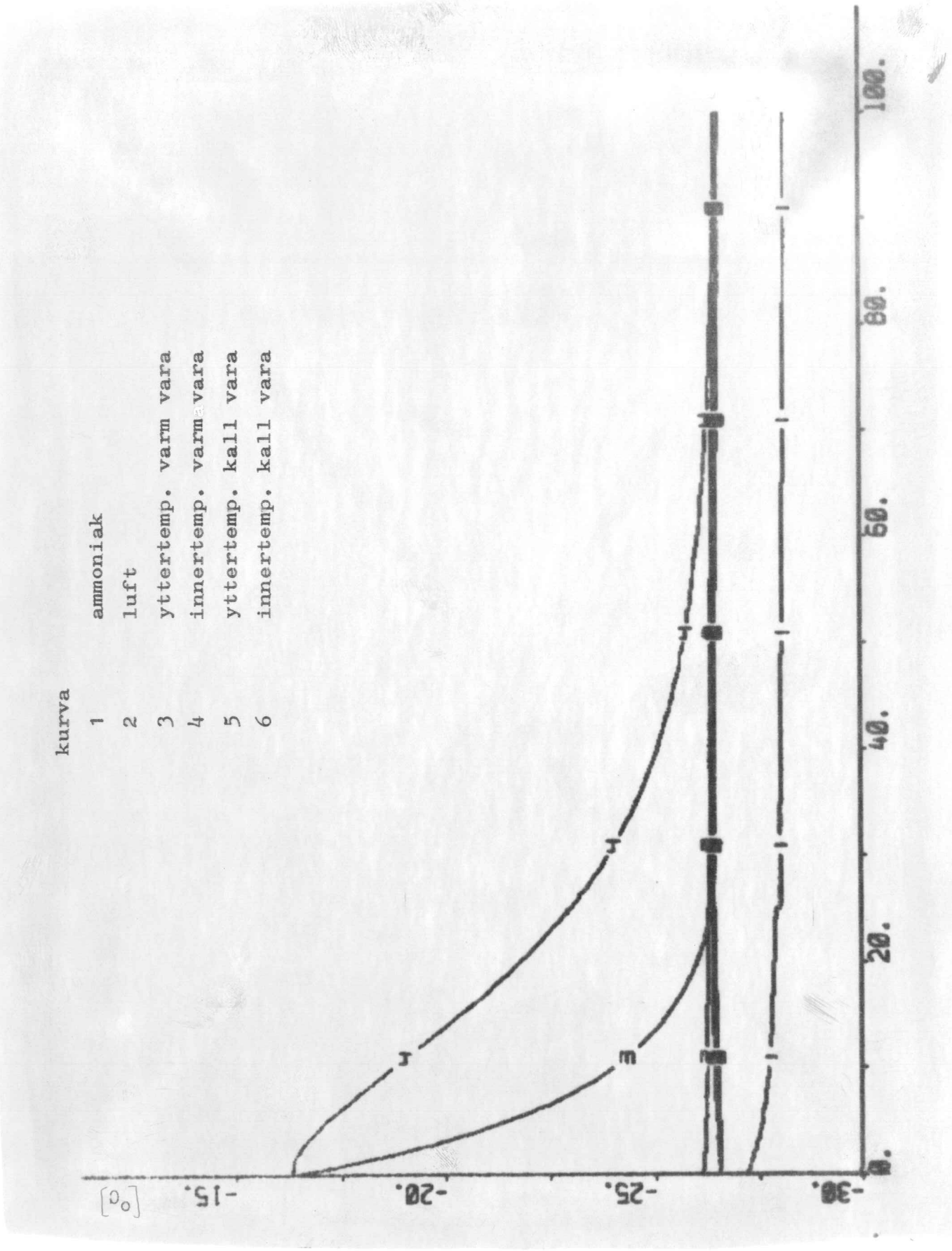
Figur 10. Simulering av de första 10 timmarna i rum 12 med FRIG4.



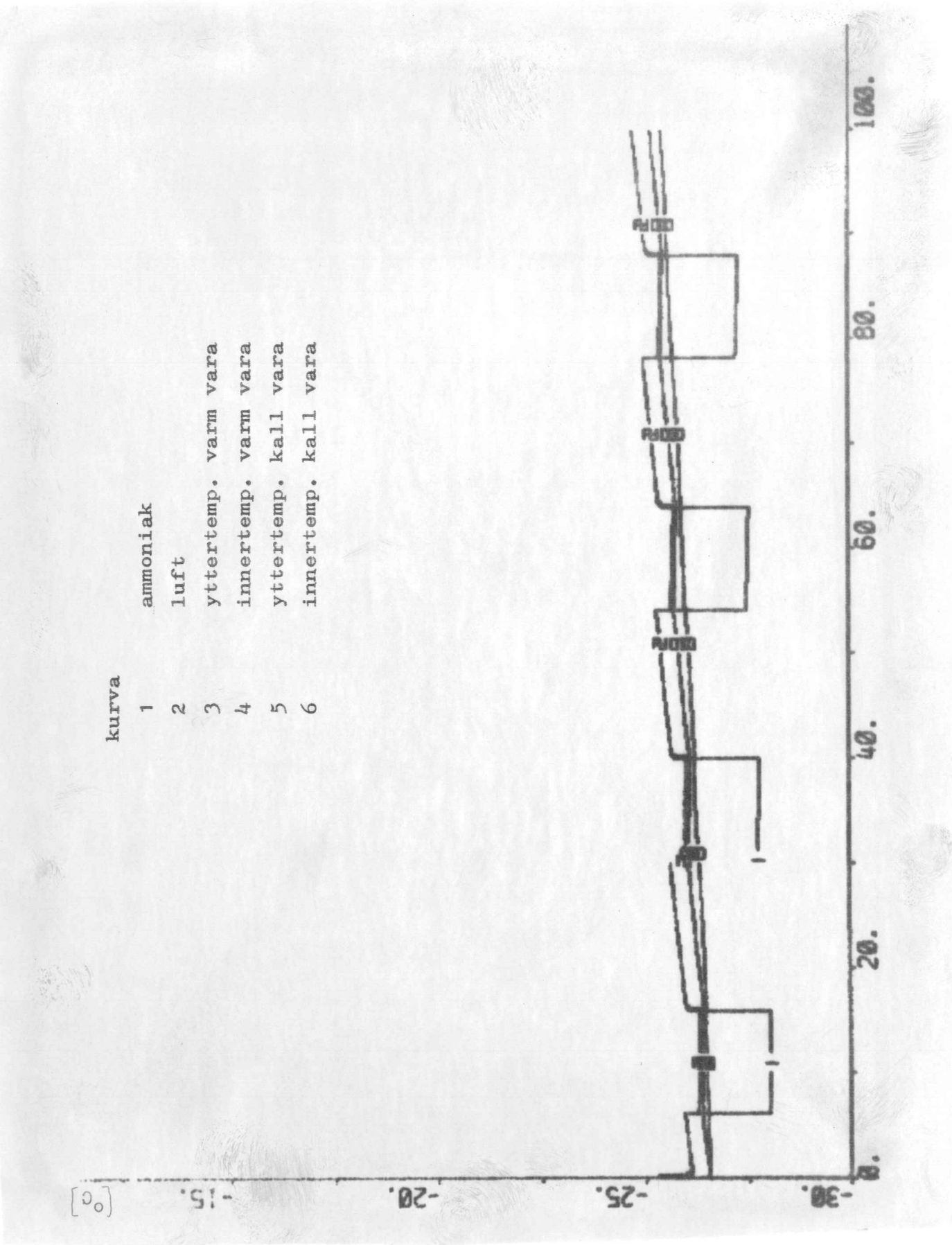
Figur 11. Simulering av de första 10 timmarna i rum 12 med FRI4C.



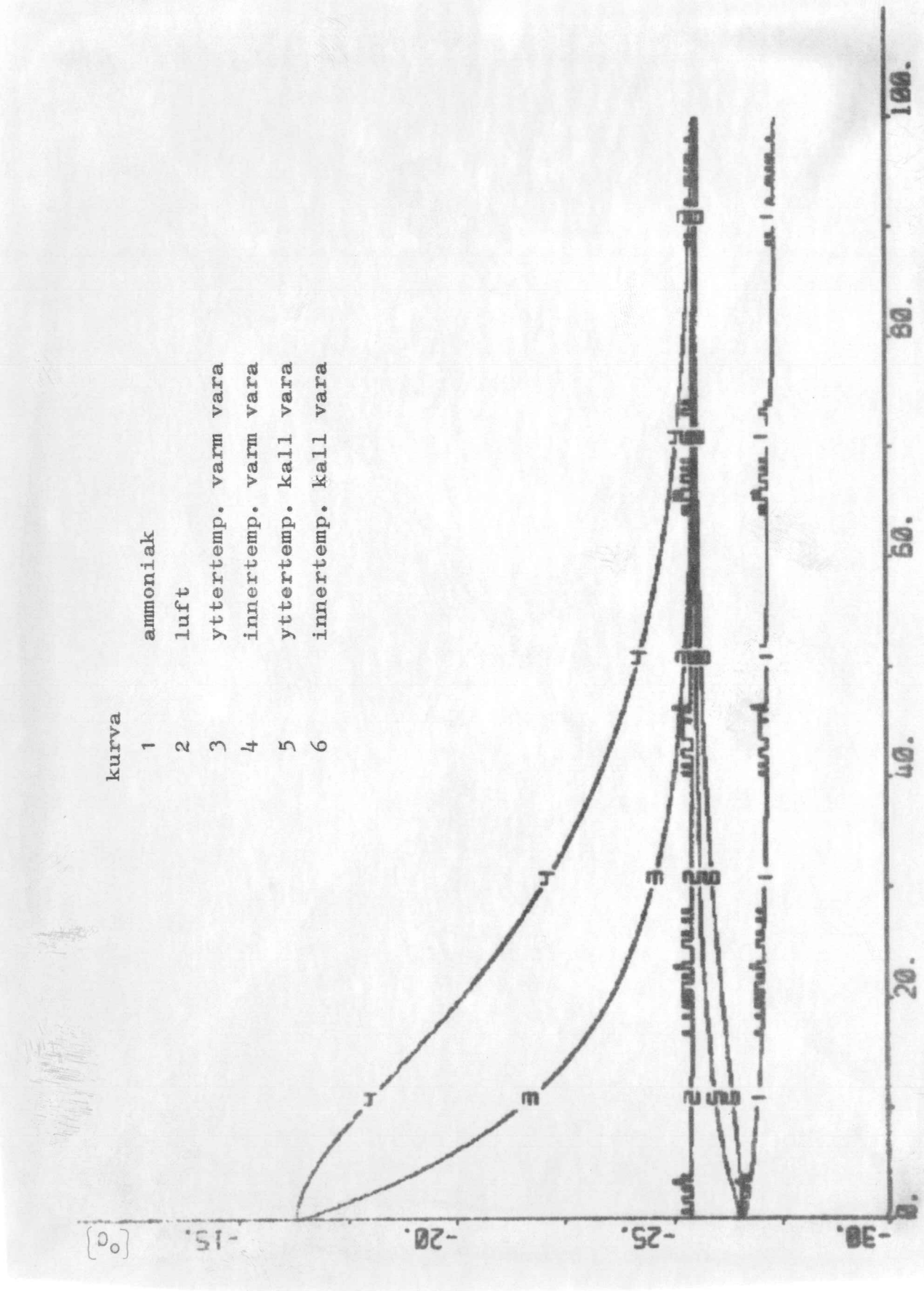
Figur 12. Simulering av de första 100 timmarna i rum 12, när m_2=150 ton.



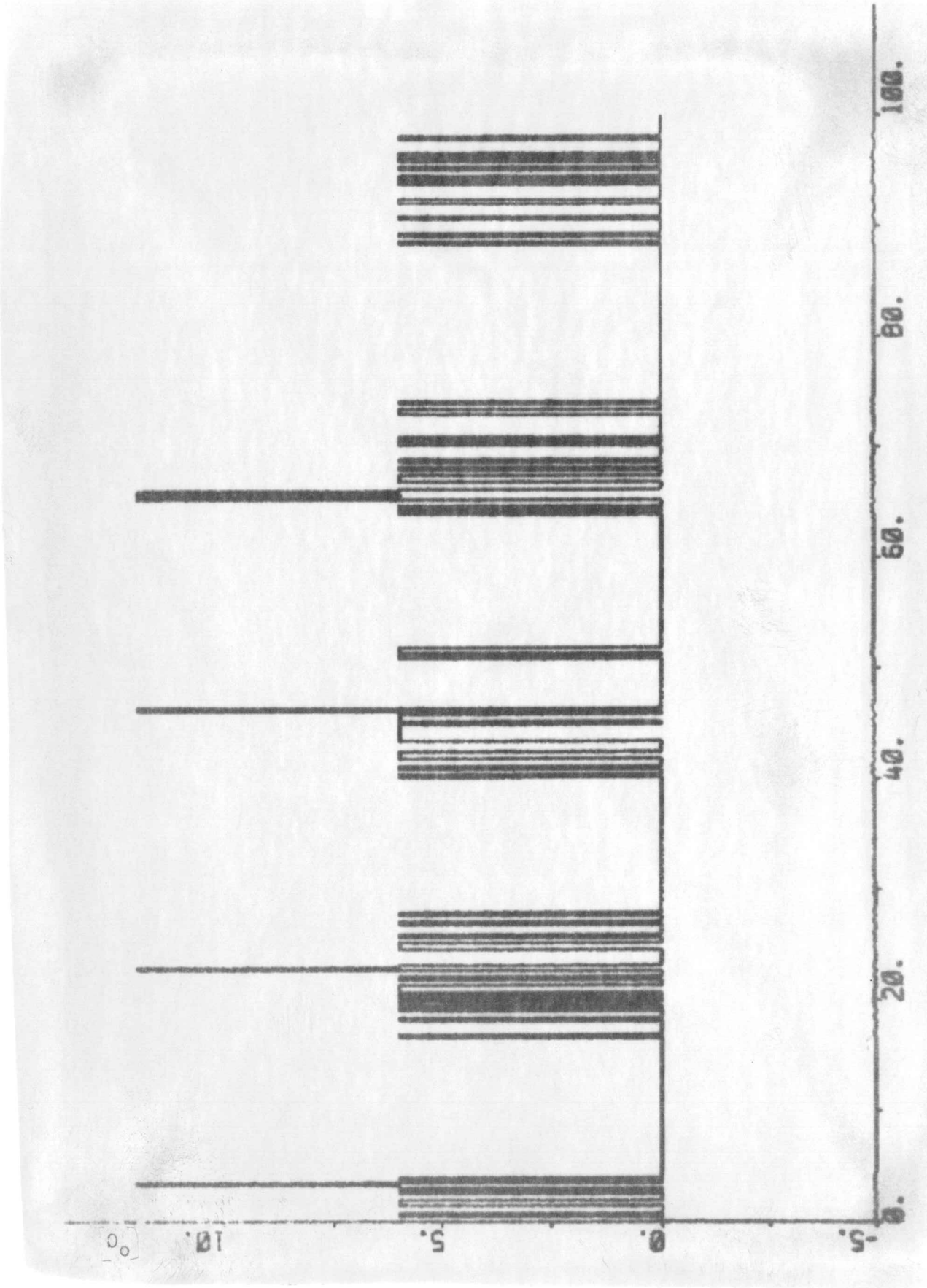
Figur 13. Simulering av de 100 första timmarna i rum 12, när m_2=20 ton.



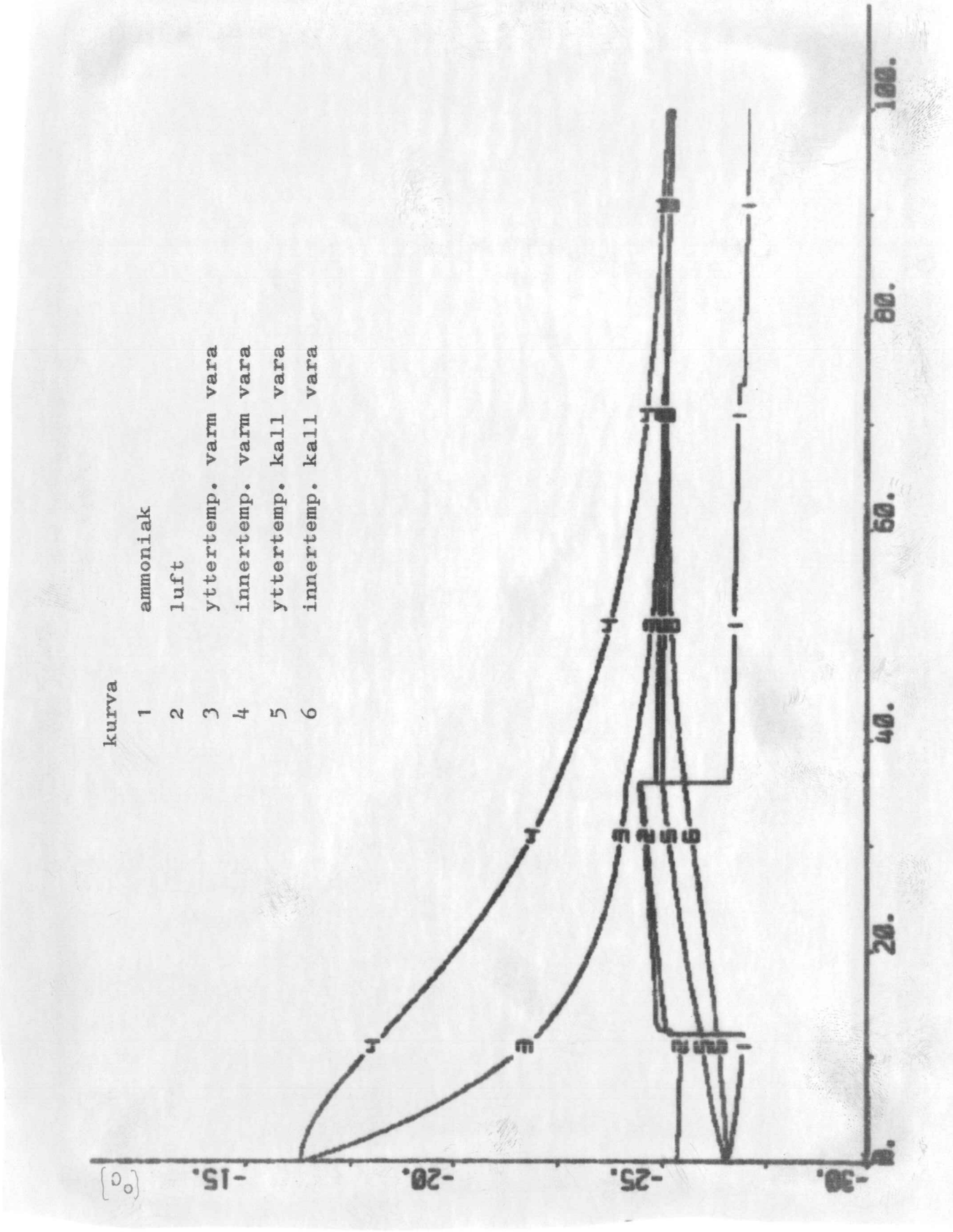
Figur 14. Simulering under 100 timmar, då kylan bara ligger på under natten.



Figur 15. Simulering under 100 timmar med dörröppnandet, som en stokastisk störsignal.



Figur 16. Den stokastiska störsignalen, som representerar dörröppnandet i systemet DOOR.



Figur 17. Simulerat haveri under infrysningen.

Figur 18. Simulerat haveri under fryslagring.

APPENDIX C. REFERENSER.

[1] KYLTEKNIK I OCH II, föreläsningar vid KTH 1950, Matts Bäckström.

[2] SIMNON, ett interaktivt simuleringsprogram för olinjära system, Hilding Elmqvist.

[3] SYNPAC, ett interaktivt program för syntes av reglersystem, Tord Novén m.fl.