TFRT-5055

MATEMATISK MODELL AV ETT ÅNGKRAFTVERK

U. CHRISTER LARSSON
CHRISTER ÖHBOM

Examensarbete vid
institutionen för Regleringsteknik vid LTH

Ansvarig handledare:
Karl Eklund

Rapport RE-55, juli 1969

Matematisk modell av ett ångkraftverk.

Examensarbete utfört under vt 69 av
U.Christer Larsson och Christer Öhbom
vid Institutionen för reglerteknik vid
Tekniska Högskolan i Lund.

Ansvarig handledare: Karl Eklund

Innehåll.

Beteckningar.

Listan ger förklaringar till de använda beteckningarna. Symboler med stora bokstäver är de beteckningar, som användes i programmen.

m_s	ångflöde	(kg/s)
m_c , AMS	kylvatteflöde	(kg/s)
m_B	bränsleflöde	(kg/s)
Q_{gm}	värmeflöde från rökgas till metall	(kJ/s)
Q_{ms} , QMS	värmeflöde från metall till ånga	(kJ/s)
q	värmeflöde/längdenhet	(kJ/s,m)
T_m , TM	metalltemperatur	(^oC)
T_s , TS	ångtemperatur	(^oC)
c_{ps} , CPS	specifikt värme hos ångan vid konst. temp.	(kJ/kg,grd.)
c_{Ts} , CTS	specifikt värme hos ångan vid konst. tryck	(kJ/kg,bar)
c_{pm} , CPM	spec. värme hos metall	(kJ/kg,grd)
G_m, GM	metallmassor	(kg)
G_s	ångmassa	(kg)
p_s , PS	ångtryck	(bar)
i , AI	entalpi	(kJ/kg)
N_T	turbineffekt	(kW)
A_r , AR	ventilarea	(m^2)
v	specifik volym	(m^3/kg)
ρ	densitet	(kg/m^3)
η	verkningsgrad	

Inledning.

Föreliggande examensarbete är ett försök att få fram en enkel matematisk modell för ett ångkraftverk. Vi har försökt att göra en modell av så låg ordning som möjligt, men som trots sin enkelhet ger det karakteristiska dynamiska förloppet hos enheten vid belastningsändringar.

Följande komponenter har behandlats:
domen och förångningssystemet, helt enligt K.Eklunds rapport, ref.5.
överhettare
ångkylare
ventil
HT-turbin
mellanöverhettare
LT-turbin

För var och en av dessa delar bildas utifrån grundekvationerna de differential- eller linjära ekvationer, som beskriver förloppet. Denna samling ekvationssystem kopplas så ihop, och det erhållna ekvationssystemet reduceras till standardform S(A,B,C,D).
För var och en av komponenterna finns en subrutin, skriven i FORTRAN, som ger respektive dels ekvationssystem.
Erforderliga indata till dessa subrutiner finns i kommentarerna i början på vart program. Då dynamiken till största delen beror på den ångvolym, som ligger i överhettarna, har denna subrutin gjorts så att överhettaren kan delas in i ett godtyckligt antal sektioner. På så sätt kan man få en systemordning som passar till överhettarens storlek.
Data till det testexempel som körts är relaterade till panna P16 vid Öresundsverket i Malmö. Dessa data och beräkningsunderlaget för pannan har välvilligt ställts till vårt förfogande av Sydkraft.

Processbeskrivning.

Pannan är en dompanna av Steinmüllers konstruktion. Från domen leder 22 st. falltuber längs pannans baksida till samlingslådor vid pannbottnen. Från samlingslådorna strömmar vattnet genom de 788 koktuberna i eldstadens väggar tillbaka till domen. Förutom de fyra väggarna utgöres även "näsan" av koktuber. För att få ett lämpligt förhållande mellan kok- och överhettarytor är en del av frontväggen belagd med eldfast stampmassa.

Den i pannans koktuber genererade mättade ångan strömmar från domen till såväl ekonomiserns och mellanöverhettarens bärtuber som till de ångförande skiljeväggarna mellan dessa stråk till fördelningslådan för överhettarens bakvägg. Denna vägg tjänstgör som skiljevägg mellan eldstaden och bakre rökgasstråket.

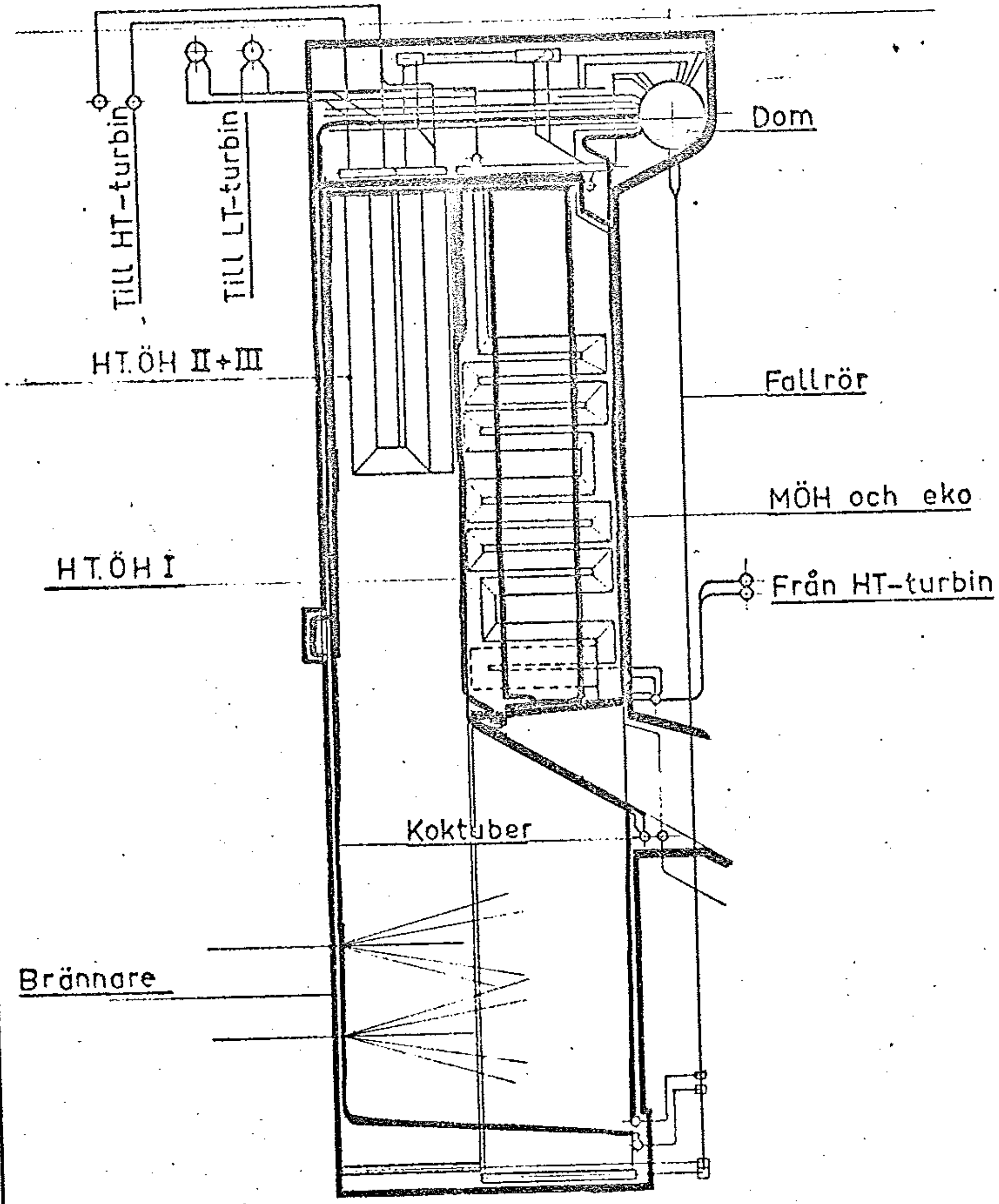
Ångan strömmar sedan genom bakväggens strålningsöverhettare, som vid rökgaspassagen från eldstaden till bakre draget utformats som en konvektionsöverhettare. Sedan fortsätter överhettaren över eldstadstaket och går ned över eldstadens frontvägg till 15 st. fördelningslådor. Från dessa lådor går sedan överhettaren uppåt igen över frontväggen och bildar därefter taket i pannan och går till den första ångkylaren.

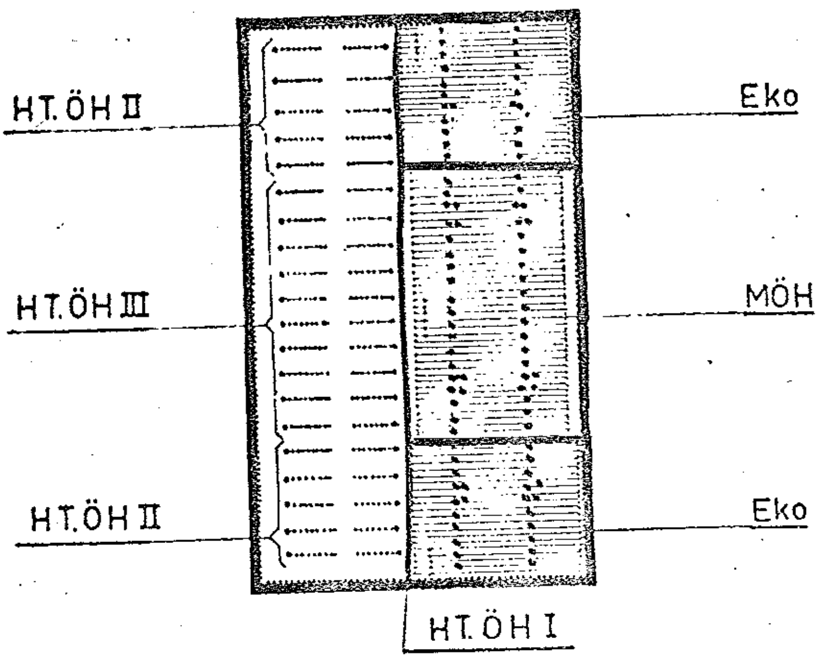
Från kylare I går ångan genom 10 st. hängande gardiner, s.k. schotten, till kylare II. Från kylare II går ångan genom 10 st. skärmar placerade i mitten av pannan till högtrycksöverhettarens utloppslådor. Från vardera utloppslådan går ångan till högtrycksturbinen.

Ångan som expanderat genom högtrycksturbinen leds tillbaka till pannan för mellanöverhettning. Mellanöverhettaren utgöres av liggande överhettarslingor och är placerad i den mellersta delen av bakre draget. Ångtemperaturregleringen sker genom spjäll i MÖH-stråket. (Vid normal fullast rörs inte detta spjäll). Från mellanöverhettaren går ångan slutligen till lågtrycksturbinen, och efter denna till kondensorn.

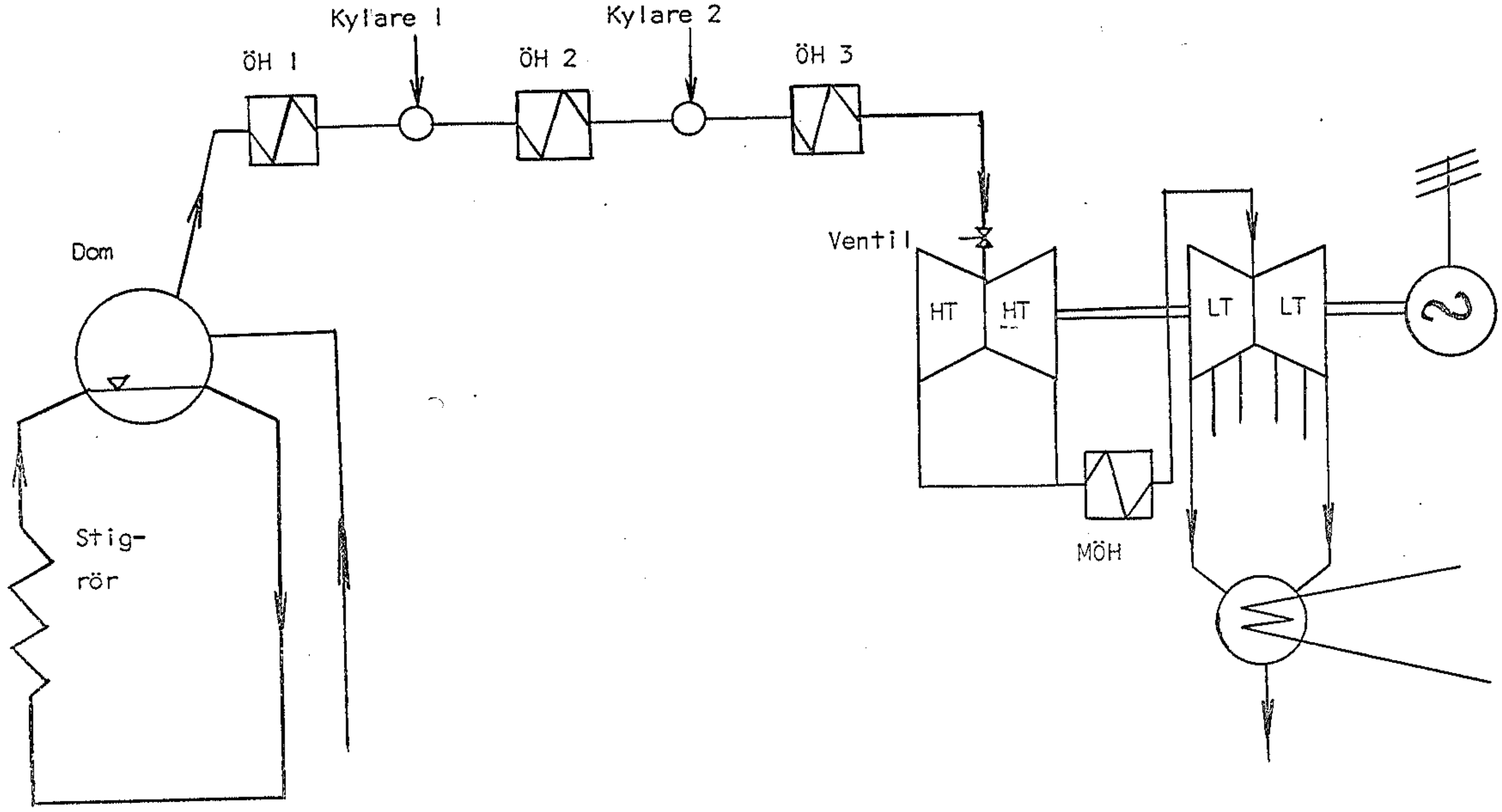
Turbinerna är av Stal-Lavals konstruktion. HT-turbinen är en motrotationsturbin medan LT-turbinen är en vanlig axialturbin.

De två följande bilderna visar schematiskt pannkonfigurationen och ångkraftprocessen.





Öresundsverket P/(



Ångkraftprocessen.

Dom.

Dom- och förångningsdel är helt i överensstämmelse med K.Eklunds rapport, Linear Mathematical Models of the Drum-Downcomer-Riser Loop of a Drum Boiler, ref. 5. ✓
Domdelen utgör ett femte ordningens system.
Det program som finns i rapporten har av Eklund gjorts om till en subrutin.
Angående de indata som behövs, så finns dessa listade i programhuvudet.

Överhettare.

Ett antal olika dynamiska överhettarmodeller har föreslagits i litteraturen, ref. 1,7,12. En jämförelse mellan stegsvar från olika modeller, visar att man får helt olika utseenden beroende på vilken modell man valt. Ett problem är därför att välja den bästa matematiska modellen. Ett annat val är frågan om huruvida ångan skall anses kompressibel eller ej, dvs. om tryckfallet i överhettaren skall medtagas eller ignoreras.

De dynamiska modellerna baseras på de partiella differentialekvationer, som erhålles från värme- och massbalanser. Därefter är det normala tillvägagångssättet att indela överhettaren i ett antal sektioner, och ersätta de med avseende på längden deriverade storheterna med differensapproximerade sådana. De så erhållna ordinära differentialekvationerna linjäriseras kring de stationära värdena, t.ex. de som gäller för normal fullastpunkt. Vi kommer att göra differensapproximationerna ett steg bakåt för att undvika icke-minimum faskaraktären hos stegsvaren.

Vårt mål har varit att få fram en flexibel dynamisk modell där antalet steg kan väljas fritt. Vidare att få en modell med viss komplexitet, för att försöka få någorlunda riktiga stegsvar. Vi önskar sedan med hjälp av en subrutin, skriven i FORTRAN, räkna ut de i differentialekvationerna ingående koefficienterna, för en given uppsättning indata, och slutligen få ett uttryck av typ AA z = 0. AA är här en matris med de uträknade koefficientvärdena, och z är en vektor innehållande tillståndsvariabler, insignaler och interna variabler. Det är därför nödvändigt att de i differentialekvationerna ingående variablerna kan uttryckas allmänt, och så att de kommer på rätt plats i matrisen, oberoende av det valda antalet steg. Det är också önskvärt att de indata som behövs är sådana som är lätta att erhålla i normala överhettarberäkningar.

Matematisk modell.

Följande partiella differentialekvationer kan uppställas för överhettaren, ref. II.

Värmebalans över tubväggen

$$Q_{gm} = Q_{ms} + G_m c_{pm} \frac{\partial T_m}{\partial t}$$

Värmebalans för ångan

$$q_{ms} = m_s c_{ps} \frac{\partial T_s}{\partial x} + g_s c_{ps} \frac{\partial T_s}{\partial t}$$

Tidsderivatan hos ångtemperaturen sättes här lika med noll, emedan vi bortser från värmeackumuleringen hos ångan. Vi skall dock i stegsvaren se vilken inverkan denna term har.

Vidare gäller följande samband

$$m_{s\,in} = m_{s\,ut} + \frac{d}{dt} G_s$$

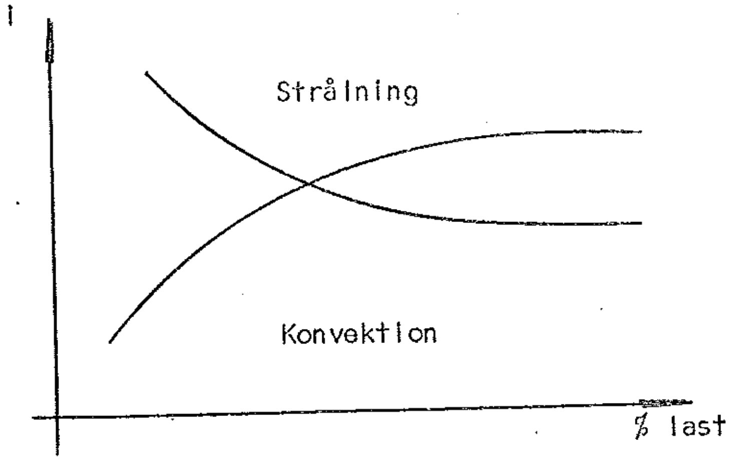
Ändringen i massinnehåll sättes lika med noll, och vi anser alltså att

$$m_{s\,in} = m_{s\,ut} = m_s$$

Om vi låter värmeövergångstalet från vägg till ånga lyda Nussels potensansats gäller

$$Q_{ms} = K_b m_s^{0.8} (T_m - T_s)$$

Vi betraktar sambandet mellan värmeflöde och oljeflöde som statiskt. Detta förutsätter att variationerna mellan aktuella och stationära värden inte är alltför stora. Ty vid större variationer sker en omfördelning av värmeflödet till olika delar av pannan beroende på den olinjära strålnings-konvektionskarakteristiken.



Strålnings-konvektionskarakteristiken

Om vi betraktar sambandet som statiskt så gäller

$$Q_{gm} = F\, m_B$$

För tryckfallet genom överhettaren har vi sambandet

$$\Delta p = K_a\, m_s^2$$

Vi har alltså fått fram följande matematiska samband för överhettaren

$$Q_{gm} = Q_{ms} + G_m c_{pm} \frac{T_m}{t}$$
$$q_{ms} = m_s c_{ps} \frac{T_s}{x}$$
$$\Delta p = K_a\, m_s^2$$
$$Q_{ms} = K_b\, m_s^{0.8}\, (T_m - T_s)$$
$$Q_{gm} = F\, m_B$$

Överhettaren delas nu upp i N sektioner med längden x, och differensapproximationerna utföres ett steg bakåt. T_{sn} anger temperaturen hos ångan efter den n:te sektionen.

För sektion n gäller

$$Q_{gmn} - Q_{msn} = G_{mn} c_{pm} \frac{dT_{mn}}{dt}$$
$$Q_{msn} = m_s \bar{c}_{psn}\, (T_{sn} - T_{sn-1})$$
$$p_{sn-1} - p_{sn} = K_{an}\, m_s^2$$
$$Q_{msn} = K_{bn}\, m_s^{0.8}\, (T_{mn} - T_{sn})$$
$$Q_{gmn} = F_n\, m_B$$

$\overline{c}_{psn}$ betecknar medelvärdet för specifika värmet hos ångan över sektion n.

Vi linjäriserar nu våra ekvationer och erhåller då

$$\Delta Q_{gmn} - \Delta Q_{msn} = G_{mn} c_{pm} \Delta \frac{dT_{mn}}{dt}$$

$$\Delta Q_{msn} = c_{psn} (T_{sn} - T_{sn-1}) \Delta m_s + m_s (c_{psn} \Delta T_{sn} - c_{psn-1} \Delta T_{sn-1}) +$$

$$+ m_s (c_{Tsn} \Delta p_{sn} - c_{Tsn-1} \Delta p_{sn-1})$$

$$\Delta p_{sn-1} - \Delta p_{sn} = 2 K_{an} m_s \Delta m_s$$

$$\Delta Q_{msn} = 0.8 K_{bn} / m_s^{0.2} (T_{mn} - T_{sn}) \Delta m_s + K_{bn} m_s^{0.8} (\Delta T_{mn} - \Delta T_{sn})$$

$$\Delta Q_{gmn} = F_n \Delta m_B$$

Då tryckfallet i stora överhettare kan uppgå till tio bar och mera, bör man inte försumma detta. Men specifika värmet för ångan beror på trycket och temperaturen, och därför kommer både tryck- och temperaturdifferenser med vid linjäriseringen. Konstanterna c_{ps} och c_{Ts} kan räknas ut med hjälp av ångtabell, ty vi definierar dem på följande sätt

$$c_{ps} = (\Delta i / \Delta T)_p = \text{konst.}$$

$$c_{Ts} = (\Delta i / \Delta p)_T = \text{konst.}$$

Vi eliminerar nu ΔQ_{gmn}, ΔQ_{msn} och Δp_{sn} och får då

$$a_1 \Delta \frac{dT_{mn}}{dt} - a_2 \Delta m_B + a_3 \Delta m_s + a_4 \Delta T_{mn} + a_5 \Delta T_{sn} = 0$$

$$a_6 \Delta m_s + a_7 \Delta T_{mn} + a_8 \Delta T_{sn} + a_9 \Delta T_{sn-1} + a_{10} \Delta p_{sn-1} = 0$$

Där

$a_1 = G_{mn} \cdot c_{pm}$

$a_2 = -F_n$

$a_3 = 0.8\ K_{bn}/m_s^{0.2}\ (\ T_{mn} - T_{sn}\ )$

$a_4 = K_{bn}\ m_s^{0.8}$

$a_5 = -a_4$

$a_6 = 0.8\ K_{bn}/m_s^{0.2}\ (\ T_{mn} - T_{sn}\ ) - c_{psn}\ (\ T_{sn} - T_{sn-1}\ ) + m_s^2\ c_{Tsn}\ 2\ K_{an}$

$a_7 = K_{bn}\ m_s^{0.8}$

$a_8 = -\ K_{bn}\ m_s^{0.8} - m_s\ c_{psn}$

$a_9 = m_s\ c_{psn-1}$

$a_{10} = m_s\ (\ c_{Tsn-1} - c_{Tsn}\ )$

Vi vill nu teckna dessa element på ett sådant sätt, att de kommer på rätt plats i vår AA-matris oavsett antalet sektioner. Det skall gälla att AA z = 0, där

$$z^T = (\Delta \frac{dT_{m1}}{dt} \ldots\ldots\ \Delta \frac{dT_{mn}}{dt}\ ,\ \Delta T_{m1} \ldots\ldots\ \Delta T_{mn}\ ,\ \Delta m_B\ ,\ \Delta m_s\ ,$$

$$\Delta T_{s0}\ ,\ \Delta p_0\ ,\ \Delta T_{s1} \ldots\ldots \Delta T_{sn}\ ,\ \Delta p_1 \ldots\ldots\ \Delta p_n\ )$$

Denna ordning på vektorn z har valts därför att den lämpar sig väl för reduktion till standardform.

För att kunna teckna elementen allmänt, tecknas dessa så att de motsvarar följande z-vektor

$$z^T = (\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, \Delta T_{s0} \ldots\ldots\ \Delta T_{sn}\ ,\ \Delta p_0 \ldots\ldots\ \Delta p_n\ )$$

därefter flyttas p_0-kolonnen till rätt plats.

Elementen i matris AA betecknas a_{ij} och uttryckes i variabeln n, som antar värden mellan l och N, vilket är antalet sektioner. Elementen blir då

$$a_{n,n} = G_{mn}\ c_{pm}$$

$$a_{n,n+N} = K_{bn}\ m_s^{0.8}$$

$$a_{n,2N+1} = -\ F_n$$

$$a_{n,2N+2} = 0.8\ K_{bn}/m_s^{0.2}\ (\ T_{mn} - T_{sn}\ )$$

$$a_{n,2N+3+n} = -\ K_{bn}\ m_s^{0.8}$$

$$a_{n+N,n+N} = K_{bn}\ m_s^{0.8}$$

$$a_{n+N,2N+2} = 0.8\ K_{bn}/m_s^{0.2}\ (\ T_{mn} - T_{sn}\ ) - \bar{c}_{psn}\ (\ T_{sn} - T_{sn-1}\ ) +$$
$$+\ m_s^2\ c_{Tsn}\ 2\ K_{an}$$

$$a_{n+N,2N+2+n} = m_s\ c_{psn-1}$$

$$a_{n+N,2N+3+n} = -\ K_{bn}\ m_s^{0.8} - m_s\ c_{psn}$$

$$a_{n+N,3N+3+n} = m_s\ (\ c_{Tsn-1} - c_{Tsn}\ )$$

$$a_{n+2N,2N+2} = -\ 2\ K_{an}\ m_s$$

$$a_{n+2N,3N+3+n} = 1.$$

$$a_{n+2N,3N+4+n} = -\ 1.$$

Stegsvarsanalys.

Vi är intresserade av att undersöka överföringsfunktionerna $\Delta T_{sl}/\Delta T_{s0}$ och $\Delta T_{sl}/\Delta Q_{gm}$ då dels c_{ps} anses vara konstant över steget, denna modell användes hos Anderson och Enns (ref. 2 och 7), dels då $c_{ps} = f\ (\ p,\ T\ )$.

Vidare vill vi se vilken inverkan gasdynamiken, termen $g_s\ c_{ps}\ \frac{\delta T_s}{\delta t}$, har på stegsvaren. Slutligen vill vi antyda hur indelning i flera steg kommer att påverka dem.

Utgångsekvationer är

$$Q_{gm} = Q_{ms} + G_m\ c_{pm}\ \frac{dT_m}{dt}$$

$$q_{ms} = m_s\ c_{ps}\ \frac{T_s}{x} + g_s\ c_{ps}\ \frac{T_s}{t}$$

$$m_{s\ in} = m_{s\ ut} = m_s$$

$$p_0 - p_l = K_a\ m_s^2$$

$$Q_{ms} = K_b\ m_s^{0.8}\ (\ T_{ml} - T_{sl}\ )$$

där index 0 betecknar inlopp och index l utlopp.

Efter linjärisering och Laplace-transformering erhålles

$$\Delta Q_{gm} = \Delta Q_{ms} + G_m\ c_{pm}\ s\ \Delta T_{ml}$$

$$\Delta Q_{ms} = m_s\ (\ c_{psl}\Delta T_{sl} - c_{ps0}\Delta T_{s0}\ ) + G_s\ c_{psl}\ s\Delta T_{sl} +$$

$$+ \bar{c}_{psl}\ (\ T_{sl} - T_{s0}\ )\Delta m_s + m_s\ (\ c_{Tsl}\Delta p_{sl} - c_{Ts0}\Delta p_{s0}\ )$$

$$\Delta p_{s0} - \Delta p_{sl} = 2\ K_a\ m_s\Delta m_s$$

$$\Delta Q_{ms} = 0.8\ K_b/m_s^{0.2}\ (\ T_{ml} - T_{sl}\ )\Delta m_s + K_b\ m_s^{0.8}\ (\ \Delta T_{ml} - \Delta T_{sl}\ )$$

Sätt nu $\Delta m_s = \Delta p_{s0} = \Delta p_{sl} = 0$. Vi får då

$$\Delta Q_{gm} = \Delta Q_{ms} + G_m\ c_{pm}\ s\ \Delta T_{ml}$$

$$\Delta Q_{ms} = m_s\ c_{psl} \Delta T_{sl} - m_s\ c_{ps0} \Delta T_{s0} + G_s\ c_{psl}\ s\ \Delta T_{sl}$$

$$\Delta Q_{ms} = K_b\ m_s^{0.8} \Delta T_{ml} - K_b\ m_s^{0.8} \Delta T_{sl}$$

Eliminera nu ΔQ_{ms} och ΔT_{ml}.

$$\Delta T_{sl} = \frac{b_l\ \Delta Q_{gm}}{b_2\ s^2 + b_3\ s + b_4} + \frac{(b_5\ s + b_9)\ \Delta T_{s0}}{b_6\ s^2 + b_7\ s + b_8}$$

där

$$b_l = K_b\ m_s^{0.8}$$

$$b_2 = G_m\ G_s\ c_{pm}\ c_{psl}$$

$$b_3 = G_m\ c_{pm}\ m_s\ c_{psl} + G_m\ c_{pm}\ K_b\ m_s^{0.8} + G_s\ c_{psl}\ K_b\ m_s^{0.8}$$

$$b_4 = K_b\ c_{psl}\ m_s^{1.8}$$

$$b_5 = m_s\ c_{ps0}\ G_m\ c_{pm}$$

$$b_6 = G_m\ G_s\ c_{pm}\ c_{psl}$$

$$b_7 = G_m\ c_{pm}\ m_s\ c_{psl} + G_m\ c_{pm}\ K_b\ m_s^{0.8} + G_s\ c_{psl}\ K_b\ m_s^{0.8}$$

$$b_8 = K_b\ c_{psl}\ m_s^{1.8}$$

$$b_9 = K_b\ c_{ps0}\ m_s^{1.8}$$

För att få verkliga sifferuttryck på överföringsfunktionerna, sätter vi in de data som gäller vid normal fullast, 160 MW.

Vid fullastpunkten gäller

K_b = 39.97
m_s = 130.56 kg/s
G_m = 71200 kg
G_s = 604 kg
c_{pm} = 0.544 kJ/kg°C
c_{ps0} = 9.36 kJ/kg°C
c_{ps1} = 3.34 kJ/kg°C
$\bar{c}_{ps}$ = 6.35 kJ/kg°C

Hur metall- och ångmassa erhållits redovisas i appendix.

<u>Fall 1.</u>

Här försummas värmeackumuleringen hos ångan och vi sätter $c_{ps0} = c_{ps1} = c_{ps}$. Vi får då överföringsfunktionen

$$\frac{\Delta T_{s1}}{\Delta Q_{gm}} = \frac{K}{1 + T\,s}$$

där

$$K = 1 \,/\, (c_{ps}\, m_s)$$

$$T = (G_m\, c_{pm}\, m_s\, \bar{c}_{ps} + G_m\, c_{pm}\, K_b\, m_s^{0.8}) \,/\, (K_b\, \bar{c}_{ps}\, m_s^{1.8})$$

Och med insatta värden får vi

$K = 1.21\ 10^{-3}$
$T = 66$

För ut- och inloppstemperaturerna blir överföringsfunktionen

$$\frac{\Delta T_{s1}}{\Delta T_{s0}} = \frac{1 + K\,s}{1 + T\,s}$$

där

$K = (G_m \cdot c_{pm}\, m_s\, c_{ps}) / (K_b\, c_{ps}\, m_s^{1.8})$

$T = (G_m\, c_{pm}\, m_s\, c_{ps} + G_m\, c_{pm}\, K_b\, m_s^{0.8}) / (K_b\, c_{ps}\, m_s^{1.8})$

Och med insatta värden erhålles

$K = 20$
$T = 66$

Fall 2.

Även nu försummas värmeackumuleringen hos ångan, men vi använder olika värden på ångans specifika värme och låter alltså $c_{ps0} \neq c_{psl}$ överföringsfunktionen mellan utloppstemperatur och värmeflöde blir då

$$\frac{\Delta T_{sl}}{\Delta Q_{gm}} = \frac{K}{1 + Ts}$$

där

$K = 1 / (c_{psl}\, m_s)$

$T = (G_m\, c_{pm}\, m_s\, c_{psl} + G_m\, c_{pm}\, K_b\, m_s^{0.8}) / (K_b\, c_{psl}\, m_s^{1.8})$

Och med insatta värden blir

$K = 2.29\ 10^{-3}$
$T = 108$

För ut- och inloppstemperaturerna blir överföringsfunktionen

$$\frac{\Delta T_{sl}}{\Delta T_{s0}} = \frac{K (1 + T_1 s)}{1 + T_2 s}$$

där

$$K = c_{ps0} \; / \; c_{ps1}$$

$$T_1 = (m_s \, c_{ps0} \, G_m \, c_{pm}) \; / \; (K_b \, c_{ps0} \, m_s^{1.8})$$

$$T_2 = (G_m \, c_{pm} \, m_s \, c_{ps1} + G_m \, c_{pm} \, K_b \, m_s^{0.8}) \; / \; (K_b \, c_{ps0} \, m_s^{1.8})$$

Och med insatta värden

$K = 2.80$
$T_1 = 20$
$T_2 = 108$

Fall 3.

Slutligen tar vi hänsyn till ångans värmeackumuleringsförmåga, och dessutom använder vi skilda värden på ångans specifika värme vid in- och utlopp. Överföringsfunktionen mellan utloppstemperatur och värmeflödet till överhettaren blir i så fall

$$\frac{\Delta T_{s1}}{\Delta Q_{gm}} = \frac{K}{1 + T_1 \, s + T_2 \, s^2} = \frac{K}{K_1 \, (1 + T_3 \, s)(1 + T_4 \, s)}$$

där

$$K = 1 \; / \; (c_{ps1} \, m_s)$$

$$T_1 = (G_m \, c_{pm} \, m_s \, c_{ps1} + G_m \, c_{pm} \, K_b \, m_s^{0.8} + G_s \, c_{ps1} \, K_b \, m_s^{0.8}) \; / \; (K_b \, c_{ps1} \, m_s^{1.8}$$

$$T_2 = (G_m \, G_s \, c_{pm} \, c_{ps1}) \; / \; (K_b \, c_{ps1} \, m_s^{1.8})$$

Och med insatta värden

$K = 2.29 \; 10^{-3}$	$K_1 = 0.01$
$T_1 = 113$	$T_3 = o.89$
$T_2 = 100$	$T_4 = 111$

Vi ser här att tidskonstanten för värmeackumuleringen hos ångan bara är 1/100 av tidskonstanten för värmeackumuleringen i metallmassorna.

Överföringsfunktionen för ut- och inloppstemperaturerna blir

$$\frac{\Delta T_{sI}}{\Delta T_{s0}} = \frac{K(1 + T s)}{1 + T_1 s + T_2 s^2} = \frac{K(1 + T s)}{K_1 (1 + T_3 s)(1 + T_4 s)}$$

där

$$K = c_{ps0} / c_{psI}$$

$$T = (m_s c_{ps0} G_m c_{pm}) / (K_b c_{ps0} m_s^{1.8})$$

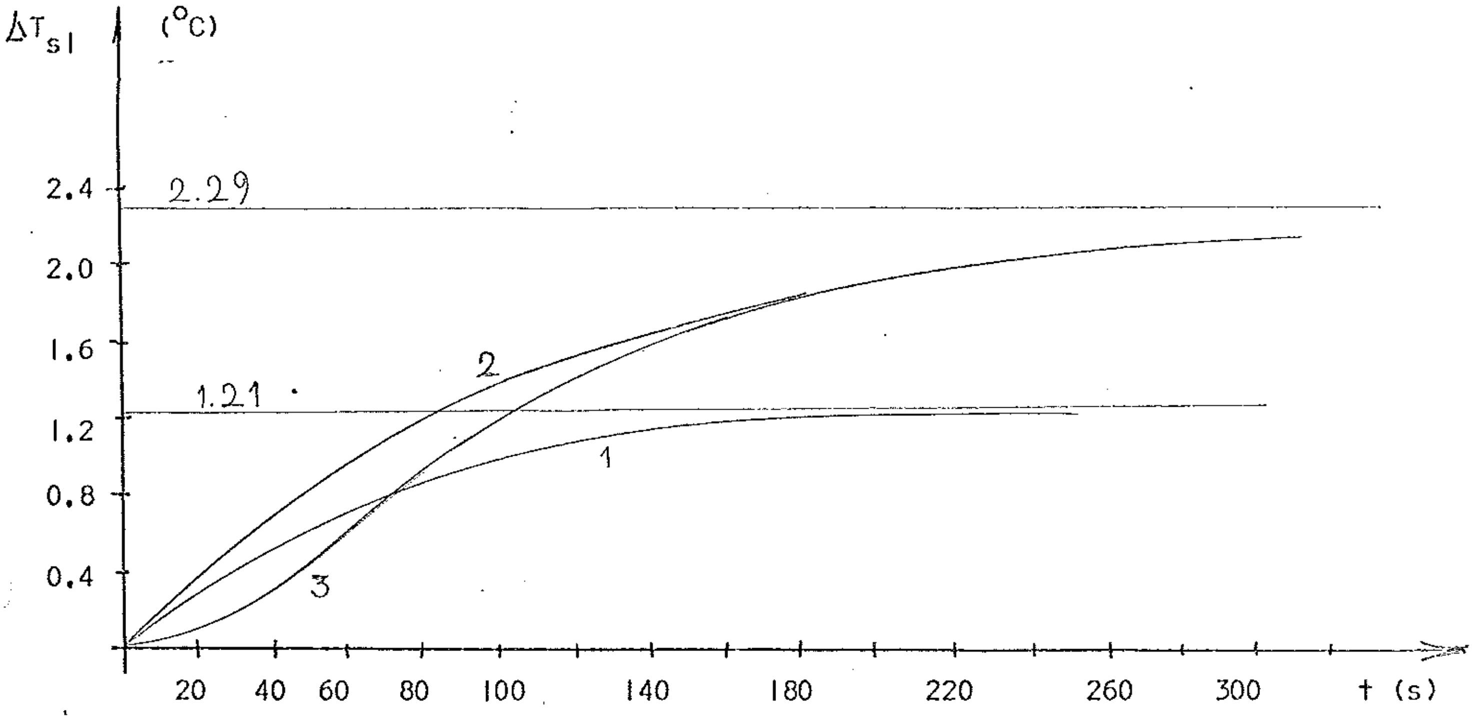
$$T_1 = (G_m c_{pm} m_s c_{psI} + G_m c_{pm} K_b m_s^{0.8} + G_s c_{psI} K_b m_s^{0.8}) / (K_b c_{psI} m_s^{1.8})$$

$$T_2 = (G_m G_s c_{pm} c_{psI}) / (K_b c_{psI} m_s^{1.8})$$

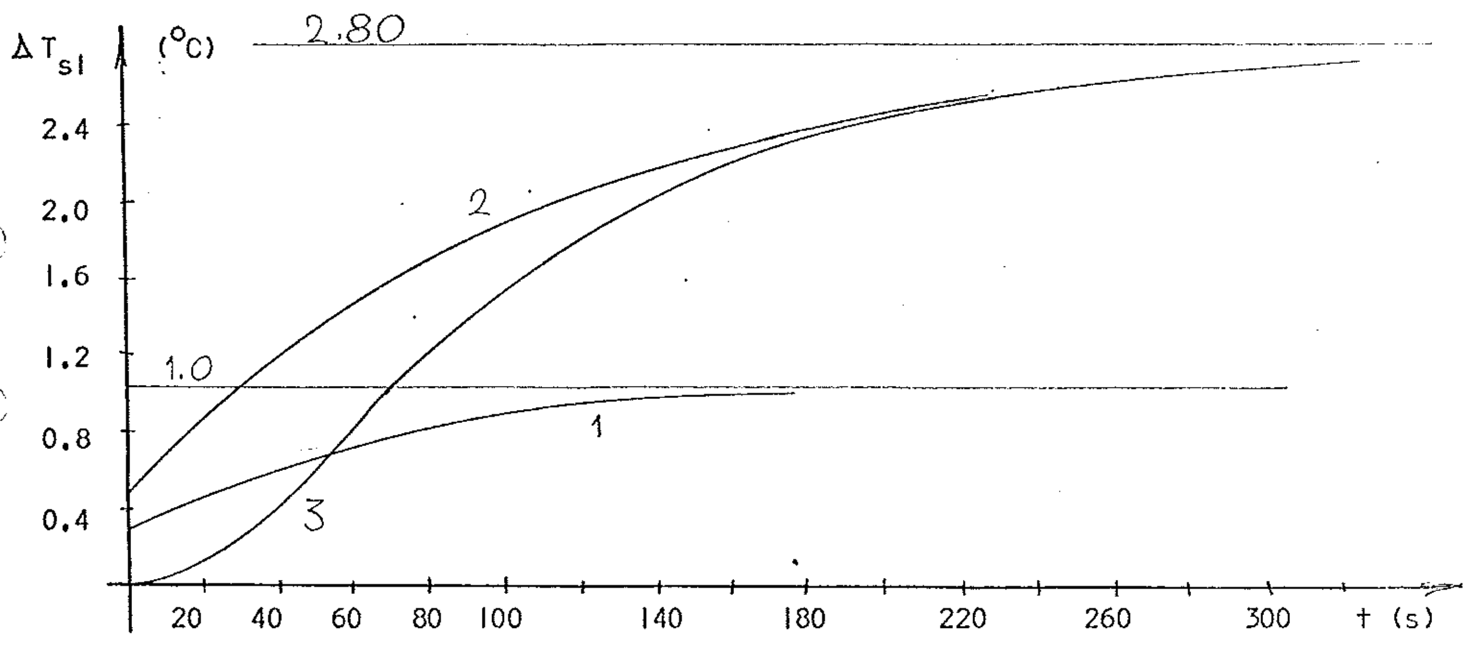
Och med insatta värden

$K = 2.80$	$K_1 = 0.01$
$T = 20$	$T_3 = 0.89$
$T_1 = 113$	$T_4 = 111$
$T_2 = 100$	

På nästa sida finns stegsvaren skisserade för de tre fallen, om värmeflödet ökar med 1000 kJ/s eller om inloppstemperaturen höjs med en grad.



Stegsvar för steget ΔQ_{gm} = 1000 kJ/s



Stegsvar för steget ΔT_{s0} = 1 ^oC

Vi skall nu se hur överföringsfunktionens utseende ändras då överhettaren delas in i N sektioner.
Sätt

$$\frac{\Delta T_{sn}}{\Delta T_{sn-1}} = \frac{p_n(s)}{q_n(s)}$$

Vid likformig delning får vi alltså för N steg

$$\frac{\Delta T_{sN}}{\Delta T_{s0}} = \prod_{n=1}^{N} \frac{p_n(s)}{q_n(s)} \approx \left(\frac{p(s)}{q(s)}\right)^N$$

Vi ser alltså att startvärdet exponentiellt går mot noll med ökande stegantal.

Nu söker vi uttrycket för

$$\frac{\Delta T_{sN}}{\Delta Q_{tot}} \quad \text{då} \quad \frac{\Delta T_{sn}}{\Delta T_{sn-1}} = \frac{p_n(s)}{q_n(s)}$$

Vi får nu

$$q_N(s)\Delta T_{sN} = \Delta Q_N + p_N(s)\Delta T_{sN-1}$$

$$q_{N-1}(s)\Delta T_{sN-1} = \Delta Q_{N-1} + p_{N-1}(s)\Delta T_{sN-2}$$

.

.

.

.

$$q_1(s)\Delta T_{s1} = \Delta Q_1$$

Varur erhålles

$$q_N \Delta T_{sN} = \Delta Q_N + \frac{p_N}{q_{N-1}} \Delta Q_{N-1} + \frac{p_N\, p_{N-1}}{q_{N-1}\, q_{N-2}} \Delta Q_{N-2} + \cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$+ \frac{p_N\, p_{N-1} \cdots\cdots\cdots\cdots p_2}{q_{N-1}\, q_{N-2} \cdots\cdots\cdots q_1} \Delta Q_1$$

Vid likformig delning får man då

$$\frac{\Delta T_{sN}}{\Delta Q_{tot}} \approx \frac{1}{p(s)\, N} \sum_{n=1}^{N} \frac{p(s)}{q(s)}^{n}$$

Kommentarer till stegsvarsanalysen.

Vi ser att om skilda värden användes på specifika värmet så erhålles rätt slutvärde oberoende av om värmeackumuleringen hos ångan medtages eller ej. Om däremot ett medelvärde på specifika värmet användes, kommer ett enhetssteg på ingångstemperaturen att ge samma temperaturhöjning på utgående ångan. En enkel räkning i ångtabellen visar att så inte kan vara fallet. Om vi tittar på överföringsfunktionen mellan utloppstemperatur och tillfört värme, ser vi att stegsvaret i samtliga fall börjar i origo, men att i fall 2 ΔT_{s1} är proportionell mot t och i fall 3 ΔT_{s1} är proportionell mot t^2 (för små t).
I stegsvaret för ΔT_{s1} / ΔT_{s0} är skillnaderna däremot större. Om värmeackumuleringen medtages börjar stegsvaret i origo, vilket är riktigt. Bortser vi från värmeackumuleringen börjar emellertid ΔT_{s1} ungefär i 0.5, men detta startvärde minskar exponentiellt med ökande stegantal.
För att hålla nere komplexiteten, bortser vi från värmeackumuleringen hos ångan. Det är visserligen dynamiken vi är intresserade av, men stegsvaren uppträder nästan likadant i de båda fallen, och vi vet ju att de snabbt närmar sig varandra med ett ökande stegantal.

Kommentar till subrutin.

Subrutinen för överhettaren finns listad i appendix. Programmet kallas SHEATER (SuperHEATER). I kommentarerna finns listat erforderliga indata.

K_a-värdet, proportionalitetskonstanten för tryckfallet genom överhettaren, matas in med det värde som gäller för hela överhettaren. Det antages sedan att tryckfallet sker linjärt, och K_a-värdet per sektion sättes alltså lika med $(K_a)_{total}$ / antalet sektioner.

Programmet räknar själv ut värdet på värmeövergångstalet mellan metall och ånga, K_b.
Vidare uträknas medelvärdet på ångans specifika värme, $\bar{c}_{ps}$.

Förutom AA-matrisen beräknar programmet även den Q-matris, som ingår i sambandet Q z = 0. z^T är här en vektor som innehåller utsignaler, vilka är tryck och temperatur efter överhettaren, tillståndsvariabler, styrsignaler och interna variabler. Alltså gäller

$$z^T = (\Delta T_{sn}, \Delta p_n, \Delta T_{m1} \ldots\ldots \Delta T_{mn}, \Delta m_s, \Delta T_{s0}, \Delta p_0,$$

$$\Delta T_{s1} \ldots\ldots \Delta T_{sn-1}, \Delta p_1 \ldots\ldots \Delta p_{n-1})$$

Om de båda matriserna AA och Q nu reduceras, vilket kan ske med subrutinen REDUCE, erhålles det dynamiska systemet för överhettaren på standardform S(A,B,C,D).

Ångkylare.

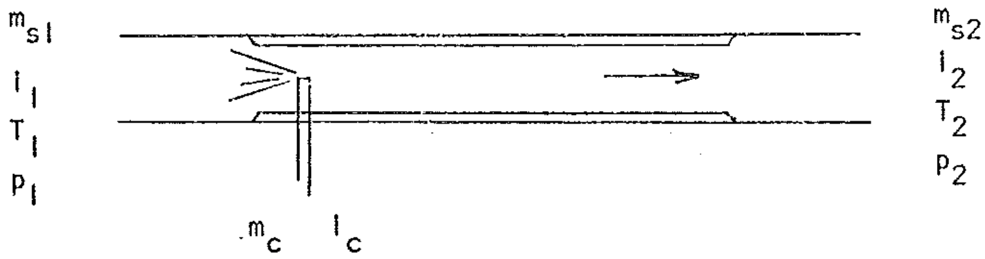
För att reglera högtrycksångans temperatur finns insprutningskylare mellan ÖH 1 och ÖH 2 respektive mellan ÖH 2 och ÖH 3. På varje ställe finns två kylare, en i vardera grenen, men vi betraktar dem som en enhet. Insprutningsflödet är alltså den totala mängden kylvatten. Insprutningsvattnet avtappas matarvattenledningen strax efter HT-förvärmarna. Vi bortser från dynamiken hos kylaren, och får alltså bara statiska samband.
Dessa samband ger då,

ändring i massinnehåll
ändring i värmeinnehåll
tryckfall över kylaren

Oftast är ju tryckfallet över kylaren mycket litet, men vi tar dock med sambandet i modellen. Vill man bortse från tryckfallet är det ju bara att sätta K_a-värdet lika med noll.

Subrutinen för ångkylaren benämnes ATTEMP. Listning av ATTEMP finns i appendix. Kommentarerna ger erforderliga indata.

Matematisk modell.



Värmebalans över kylaren ger

$$m_{s1}\, i_1 + m_c\, i_c = m_{s2}\, i_2 + \frac{d}{dt}\left(G_m\, c_{pm}\, T_m + G_a\, i_a \right)$$

Ändringen i värmeinnehåll hos massa och medium anser vi vara försumbar. Vi får då

$$m_{s1}\, i_1 + m_c\, i_c = m_{s2}\, i_2$$

Massbalansen ger

$$m_{s1} + m_c = m_{s2} + \frac{d}{dt}\, G_a$$

Försumma ändringen i massinnehåll, och vi får

$$m_{s1} + m_c = m_{s2}$$

Tryckfallet över kylaren erhålles genom sambandet

$$p_1 - p_2 = K_a\, m_{s2}^{\,2}$$

Dessutom gäller för entalpin

$$i_1 = f(T_1, p_1)$$

$$i_2 = f(T_2, p_2)$$

Om dessa ekvationer linjäriseras så får vi

$$i_1 \Delta m_{s1} + m_{s1} \Delta i_1 + i_c \Delta m_c = i_2 \Delta m_{s2} + m_{s2} \Delta i_2$$

$$\Delta m_{s1} + \Delta m_c = \Delta m_{s2}$$

$$\Delta p_1 - \Delta p_2 = 2 K_a m_{s2} \Delta m_{s2}$$

$$\Delta i_1 = c_{p1} \Delta T_1 + c_{T1} \Delta p_1$$

$$\Delta i_2 = c_{p2} \Delta T_2 + c_{T2} \Delta p_2$$

Vi eliminerar nu entalpiändringarna och får

$$i_1 \Delta m_{s1} + m_{s1} c_{p1} \Delta T_1 + m_{s1} c_{T1} \Delta p_1 + i_c \Delta m_c =$$

$$i_2 \Delta m_{s2} + m_{s2} c_{p2} \Delta T_2 + m_{s2} c_{T2} \Delta p_2$$

z^T sättes nu lika med

$$z^T = (\Delta T_2, \Delta p_2, \Delta m_{s1}, \Delta T_1, \Delta p_1, \Delta m_{s2}, \Delta m_c)$$

då blir AA-matrisen

$$AA = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & a_7 \\ 0 & 0 & a_8 & 0 & 0 & a_9 & a_{10} \\ 0 & a_{11} & 0 & 0 & a_{12} & a_{13} & 0 \end{bmatrix}$$

Elementen i AA-matrisen är

$a_1 = m_{s2}\ c_{p2}$

$a_2 = m_{s2}\ c_{T2}$

$a_3 = -\ I_1$

$a_4 = -\ m_{s1}\ c_{p1}$

$a_5 = -\ m_{s1}\ c_{T1}$

$a_6 = I_2$

$a_7 = -\ i_c$

$a_8 = 1.$

$a_9 = -\ 1.$

$a_{10} = 1.$

$a_{11} = 1.$

$a_{12} = -1.$

$a_{13} = 2\ K_a\ m_{s2}$

Ventil.

En pådragsventil är insatt före turbinens högtrycksdel för att reglera varvtalet och anpassa den avgivna effekten till nätets aktuella behov.
I vår modell bortser vi från dynamiken hos ställmotorn. Angående ställtid, se sid. VII:1.
Om man vill ta med ställmotorn, kan man anse att dess överföringsfunktion är

$$\frac{\Delta A_r}{\Delta u} = \frac{b}{1 + T_s s}$$

där

b = förstärkningen
T_s = tidskonstanten
ΔA_r = ändring i ventilarea
Δu = inställning av önskat ventilslag

Beroende på tryckfallet över ventilen, kan den arbeta dels med överkritisk dels med underkritisk ånghastighet. I det första fallet bestämmer ventilen massflödet helt oberoende av trycket efter densamma, men i det andra fallet måste detta medtagas i modellen.

Matematisk modell.

Följande fall behandlas: överkritiskt resp. underkritiskt tryckfall samt med och utan ställmotor.
Referens: Profos sid. 37 och 187.

1. Överkritisk med ställmotor.

Ventilekvation: $m_s = K_r\, p_l\, A_r$

Ställmotor : $b \Delta u = \Delta A_r + T_s\, \Delta \dot{A}_r$

Efter linjärisering erhålles

$$\Delta m_s = K_r\, p_l\, \Delta A_r + K_r\, A_r\, \Delta p_l$$

$$b \Delta u = \Delta A_r + T_s\, \Delta \dot{A}_r$$

Väljes Δm_s som utsignal, Δu och Δp_l som insignal erhålles på standardform, S(A,B,C,D)

$$\Delta \dot{A}_r = - 1 / T_s \cdot \Delta A_r + (b / T_s , 0) (\Delta u , \Delta p_l)^T$$

$$\Delta m_s = K_r\, p_l\, \Delta A_r + (0 , K_r \cdot A_r) (\Delta u , \Delta p_l)^T$$

2. Överkritisk utan ställmotor.

Om tidskonstanten sättes lika med noll blir ställmotorns ekvation

$$\Delta A_r = b \Delta u$$

och i standardformen erhåller man endast D-matrisen

$$\Delta m_s = (K_r\, p_l\, b , K_r \cdot A_r) (\Delta u , \Delta p_l)^T$$

3. Underkritisk med ställmotor.

Ventilekvation: $m_s^2 = K_r\ (p_1 - p_2)\ A_r^2$

Efter linjäriseringen blir sambanden

$$2\,m_s\,\Delta m_s = 2\,K_r\,(p_1 - p_2)\,A_r\,\Delta A_r + K_r\,A_r^2\,\Delta p_1 - K_r\,A_r^2\,\Delta p_2$$

$$b\,\Delta u = \Delta A_r + T_s\,\Delta \dot{A}_r$$

Väljes Δm_s som utsignal, Δu, Δp_1 och Δp_2 som insignaler erhålles på standardform

$$\Delta \dot{A}_r = a_1\,\Delta A_r + (b_1\,,\,0\,,\,0)\,(\Delta u\,,\,\Delta p_1\,,\,\Delta p_2)^T$$

$$\Delta m_s = c_1\,\Delta A_r + (0\,,\,d_1\,,\,d_2)\,(\Delta u\,,\,\Delta p_1\,,\,\Delta p_2)^T$$

där

$$a_1 = -\,1/T_s$$

$$b_1 = b/T_s$$

$$c_1 = \frac{K_r\,A_r}{m_s}\,(p_1 - p_2)$$

$$d_1 = K_r\,A_r^2\ /\ (2m_s)$$

$$d_2 = -\,K_r\,A_r^2\ /\ (2m_s)$$

$$d_3 = \frac{K_r\,b\,A_r}{m_s}\,(p_1 - p_2)$$

4. Underkritisk utan ställmotor.

Om tidskonstanten sättes lika med noll blir ställmotorns ekvation

$$\Delta A_r = b\,\Delta u$$

och i standardformen får man D-matrisen

$$\Delta m_s = (d_3 , d_1 , d_2) (\Delta u , \Delta p_1 , \Delta p_2)^T$$

där d_1-d_3 ges av uttrycken ovan.

Subrutinen för ventilen benämnes VALVE. Programmet räknar ut de i standardformens matriser ingående elementen. Programmet finns listat i appendix.

Turbin.

Om en allmän turbinmodell skall uppställas, kommer de matematiska sambanden att utgöras dels av rena värmebalanser för turbinen, dels av samband rörande generatorn, det elektriska nätets beskaffenhet, antal maskiner på nätet mm.
Turbinens dynamiska uppträdande kommer att bestämmas av de ångmassor, som ligger i överhettare och mellanöverhettare. Vidare kommer effektändringar på nätet att inverka på de dynamiska egenskaperna.
I vårt fall bortser vi emellertid från nätet och dess egenskaper och nöjer oss med de statiska samband för turbineffekten, som fås genom värmebalanser.
För modellen gäller följande antaganden:

- Det finns ingen ångvolym liggandes mellan pådragsventil och turbin.
- Turbinens verkningsgrad är konstant.
- Kondensortrycket är konstant.
- Turbinens dämpning är försumbar.
- För att simulera avtappningen i LT-turbinen ansätter vi ett ekvivalent massflöde, på så sätt att effekten blir korrekt.

Värmebalanserna tecknas så för hög- och lågtrycksdelen, och vi får då uttryck för respektive dels bidrag till effekten.

Vi skall på de följande sidorna studera en något mer realistisk modell, där vi har tagit en viss hänsyn till nätet.

En modell då nätet medtages.

Antag att maskinen arbetar på ett starkt nät. I så fall kan man sätta vinkelhastigheten konstant, ty vi har ju synkrona maskiner på ett starkt nät.
Men det gäller

$$M = P / \omega$$

alltså får vi i det närmaste proportionalitet mellan moment och effekt om varvtalet är konstant

$$M \approx P / \omega_o$$

Om vi så låter det belastande momentet, dvs. generatorns bromsande moment, vara insignal, kan vi få varvtalsändringen hos turbinen.
Ur sambandet

$$J \dot{\omega} = M_T - M_G \qquad (1)$$

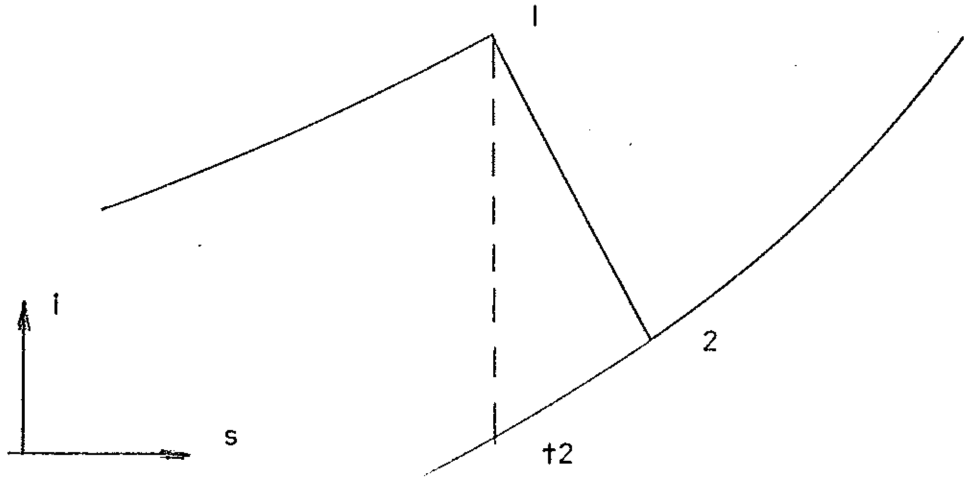
ser vi, att vi har en ren integration mellan belastningsändringen och varvtalsändringen. Tidskonstanten (ty. Anlaufzeit) har formen

$$T_a = J\omega_o / M_T$$

För kondensationsturbiner ligger denna mellan fem och tio sekunder. På detta sätt kan vi alltså låta belastningen variera och sedan studera vad som händer med varvtalet. Denna varvtalsändring kan vi få tack vare, att vi betraktar det öppna systemet.
Om man bortser från nätet, så beror tröghetsmomentet (J) endast på turbinens och generatorns massor. Detta fall är ekvivalent med, att generatorn arbetar på ett eget nät med rent ohmsk belastning. Om däremot ett allmänt nät medtagits i modellen, hade vi varit tvugna att ha ett större värde på tröghetsmomentet. Ty vid en ändring av varvtalet måste vår maskin dra med sig övriga maskiner, som inte går med samma varv.

Respektive turbindels bidrag till effekten fås på vanligt sätt med hjälp av värmebalanser. När sedan turbinmomentet skall beräknas, adderas de båda effekterna, och vi betraktar de båda turbinerna med sina generatorer som en enhet. Visserligen är hög- och lågtrycksdelen inte mekaniskt förbundna, men generatorerna är elektriskt kopplade och uppträder som en enhet. Med det erhållna turbinmomentet insatt i (I), kan vi alltså få reda på ändringen i varv för en viss belastningsändring.

Matematisk modell.



För högtrycksdelen gäller följande samband

$$i_1 = f(T_1, p_1)$$

$$s_1 = f(T_1, p_1)$$

$$s_1 = s_{t2}$$

$$i_{t2} = f(p_2, s_{t2})$$

$$i_1 - i_2 = \eta_v (i_1 - i_{t2})$$

$$N_t = m_s (i_1 - i_2)$$

$$T_2 = f(i_2, p_2)$$

För tryckfallet genom HT-turbinen gäller

$$m_s = C_T \sqrt{\frac{p_1}{v_1} \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2 \right)}$$

För att eliminera v_1 kan vi använda en modifiering av allmänna gaslagen. Ty enligt G. Tyllereds kompendium i mekanisk värmeteori (LTH, Inst. för mekanisk värmeteori) kan man sätta en lämplig faktor framför den allmänna gaskonstanten, och på så sätt få ett samband som gäller

i närheten av den betraktade punkten.
Vi har alltså

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = C \qquad \text{där} \qquad C = y\,R$$

Allmänna gaskonstanten $R = 461.5$ J / kg ^{o}K och ett lämpligt värde på y är 0.933
Om v_1 elimineras får vi alltså

$$K\,T_1\,m_s^2 = p_1^2 - p_2^2 \qquad \text{där}$$

$$K = C / C_T^2$$

Vi linjäriserar nu dessa ekvationer och får

$$\Delta i_1 = c_{p1}\,\Delta T_1 + c_{T1}\,\Delta p_1 \tag{1}$$

$$\Delta s_1 = d_{p1}\,\Delta T_1 + d_{T1}\,\Delta p_1 \tag{2}$$

$$2\,K\,T_1\,m_s\,\Delta m_s + K\,m_s^2\,\Delta T_1 = 2\,p_1\,\Delta p_1 - 2\,p_2\,\Delta p_2 \tag{3}$$

$$\Delta s_1 = \Delta s_{t2} \tag{4}$$

$$\Delta i_{t2} = c_{s2}\,\Delta p_2 + c_{ps2}\,\Delta s_{t2} \tag{5}$$

$$\Delta i_1 - \Delta i_2 = \eta_v\,(\Delta i_1 - \Delta i_{t2}) \tag{6}$$

$$\Delta N_t = \Delta m_s\,(i_1 - i_2) + m_s\,(\Delta i_1 - \Delta i_2) \tag{7}$$

$$\Delta i_2 = c_{p2}\,\Delta T_2 + c_{T2}\,\Delta p_2 \tag{8}$$

2,3,4 och 5 ger

$$\Delta i_{t2} = \left(c_{ps2}\,d_{T1} + c_{s2}\,\frac{p_1}{p_2}\right)\Delta p_1 + \left(c_{ps2}\,d_{p1} - \frac{c_{s2}\,K\,m_s^2}{2\,p_2}\right)\Delta T_1 - \frac{K\,T_1\,m_s\,c_{s2}}{p_2}\,\Delta m_s \tag{9}$$

6 och 7 ger

$$\Delta N_t = \Delta m_s \; (i_1 - i_2) + m_s \eta_v \; (\Delta i_1 - \Delta i_{t2}) \qquad (10)$$

1,9 och 10 ger

$$\Delta N_t = \Delta m_s \; (i_1 - i_2 + \frac{c_{s2} \, K \, T_1 \, m_s^2 \, \eta v}{p_2}) +$$
$$+ \Delta T_1 \; (m_s \eta_v \, c_{p1} - m_s \eta_v \, c_{ps2} \, d_{p1} + \frac{m_s^3 \, \eta v \, c_{s2} \, K}{2 \, p_2}) +$$
$$+ \Delta p_1 \; (m_s \eta_v \, c_{T1} - m_s \eta_v \, c_{ps2} \, d_{T1} - \frac{m_s \, \eta v \, c_{s2} \, p_1}{p_2}) \qquad (11)$$

1, 6 och 9 ger

$$\Delta i_2 = - \Delta m_s \frac{\eta v \, c_{s2} \, K \, T_1 \, m_s}{p_{2_2}} + \Delta T_1 \; (c_{p1} - \eta_v \, c_{p1} + \eta_v \, c_{ps2} \, d_{p1} -$$
$$- \frac{\eta v \, c_{s2} \, K \, m_s^2}{2 \, p_2}) + \Delta p_1 \; (c_{T1} - \eta_v \, c_{T1} + \frac{\eta v \, c_{s2} \, p_1}{p_2} +$$
$$+ \eta_v \, c_{ps2} \, d_{T1}) \qquad (12)$$

8 och 12 ger

$$\Delta T_2 = - \Delta m_s \frac{\eta v \, c_{s2} \, K \, T_1 \, m_s}{p_2 \, c_{p2}} +$$
$$+ \Delta T_1 \; (\frac{c_{p1}}{c_{p2}} - \eta_v \frac{c_{p1}}{c_{p2}} + \eta_v \, d_{p1} \frac{c_{ps2}}{c_{p2}} - \frac{\eta v \, c_{s2} \, K \, m_s^2}{2 \, p_2 \, c_{p2}}) +$$
$$+ \Delta p_1 \; (\frac{c_{T1}}{c_{p2}} - \eta_v \frac{c_{T1}}{c_{p2}} + \frac{\eta v \, c_{s2} \, p_1}{p_2 \, c_{p2}} + \eta_v \, d_{T1} \frac{c_{ps2}}{c_{p2}}) -$$
$$- \Delta p_2 \frac{c_{T2}}{c_{p2}} \qquad (13)$$

De i matrisen ingående sambanden ges av 3, 11 och 13.

X

AA-matrisen för högtrycksdelen blir

$$AA = \begin{bmatrix} 0 & a_1 & a_2 & 0 & a_3 & a_4 \\ a_5 & a_6 & 0 & a_7 & a_8 & a_9 \\ 0 & a_{10} & 0 & a_{11} & a_{12} & a_{13} \end{bmatrix}$$

där elementen är

$$a_1 = m_s \eta_v c_{T1} - m_s \eta_v c_{ps2} d_{T1} - \frac{m_s \eta_v c_{s2} p_1}{p_2}$$

$$a_2 = -1.$$

$$a_3 = m_s \eta_v c_{p1} - m_s \eta_v c_{ps2} d_{p1} + \frac{m_s^3 \; {}_v c_{s2} K}{2 p_2}$$

$$a_4 = i_1 - i_2 + \frac{c_{s2} K T_1 \eta_v}{p_2} m_s^2$$

$$a_6 = \frac{c_{T1}}{c_{p2}} - \eta_v \frac{c_{T1}}{c_{p2}} + \eta_v d_{T1} \frac{c_{ps2}}{c_{p2}} + \frac{\eta_v c_{s2} p_1}{p_2 c_{p2}}$$

$$a_5 = -1.$$

$$a_7 = -\frac{c_{T2}}{c_{p2}}$$

$$a_8 = \frac{c_{p1}}{c_{p2}} - \eta_v \frac{c_{p1}}{c_{p2}} + \eta_v d_{p1} \frac{c_{ps2}}{c_{p2}} - \frac{\eta_v c_{s2} K m_s^2}{2 p_2 c_{p2}}$$

$$a_9 = -\frac{\eta_v c_{s2} K T_1 m_s}{p_2 c_{p2}}$$

$$a_{10} = -2 p_1$$

$$a_{11} = 2\, p_2$$

$$a_{12} = K\, m_s^2$$

$$a_{13} = 2\, K\, T_1\, m_s$$

z-vektorn i sambandet AA z = 0 har utseendet

$$z^T = (\, \Delta T_2,\ \Delta p_1,\ \Delta N_t,\ \Delta p_2,\ \Delta T_1,\ \Delta m_s\,)$$

Vi skall nu se vad som gäller för lågtrycksdelen. Utgångsekvationerna är desamma som för högtrycksdelen med undantag av, att vi har ett annat uttryck för tryckfallet.
För tryckfallet genom LT-turbinen gäller

$$p_1 - p_2 = K\, m_s$$

De linjäriserade utgångsekvationerna kan nu skrivas upp.
Observera att $\Delta p_2 = 0$ för lågtrycksdelen, ty vi har antagit att kondensortrycket är konstant.

$$\Delta i_1 = c_{p1}\, \Delta T_1 + c_{T1}\, \Delta p_1 \tag{1}$$

$$\Delta s_1 = d_{p1}\, \Delta T_1 + d_{T1}\, \Delta p_1 \tag{2}$$

$$\Delta p_1 = K\, \Delta m_s \tag{3}$$

$$\Delta s_1 = \Delta s_{t2} \tag{4}$$

$$\Delta i_{t2} = c_{ps2}\, \Delta s_{t2} \tag{5}$$

$$\Delta i_2 = \Delta i_1\, (\, 1 - \eta_v\,) + \eta_v\, \Delta i_{t2} \tag{6}$$

$$\Delta N_t = \Delta m_s\, (\, i_1 - i_2\,) + m_s\, (\, \Delta i_1 - \Delta i_2\,) \tag{7}$$

$$\Delta i_2 = c_{p2}\, \Delta T_2 \tag{8}$$

2, 4 och 5 ger nu

$$\Delta i_{t2} = c_{ps2}\, d_{pl}\, \Delta T_l + c_{ps2}\, d_{Tl}\, \Delta p_l \qquad (9)$$

Därefter ger I, 6 och 9

$$\Delta I_2 = (1 - \eta_v)(c_{pl}\, \Delta T_l + c_{Tl}\, \Delta p_l) +$$

$$+ \eta_v (c_{ps2}\, d_{pl}\, \Delta T_l + c_{ps2}\, d_{Tl}\, \Delta p_l) \qquad (10)$$

Slutligen ger I, 7 och 10

$$\Delta N_t = \Delta m_s (I_l - I_2) +$$

$$+ \Delta T_l (\eta_v m_s c_{pl} - \eta_v c_{ps2}\, d_{pl}\, m_s) +$$

$$+ \Delta p_l (\eta_v c_{Tl}\, m_s - \eta_v c_{ps2}\, d_{Tl}\, m_s) \qquad (11)$$

Sambanden 3 och 11 ger de för AA-matrisen nödvändiga ekvationerna.

$$AA = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ 0 & a_5 & 0 & a_6 \end{bmatrix}$$

där

$a_1 = - 1.$

$a_2 = \eta_v c_{Tl}\, m_s - \eta_v c_{ps2}\, d_{Tl}\, m_s$

$a_3 = \eta_v m_s c_{pl} - \eta_v c_{ps2}\, d_{pl}\, m_s$

$a_4 = I_l - I_2$

$a_5 = - 1.$

$a_6 = K$

och där

$$z^T = (\Delta N_t, \Delta p_l, \Delta T_l, \Delta m_s)$$

Subrutinen , som heter TURBINE, är gjord på samma sätt som tidigare program. Den finns listad i appendix.

Ställmotorer och pumpar.

Nedan är uppräknat ställtider för de viktigaste ställmotorerna och pumparna.

Pådragsservo	0 - 100 %	4 - 5 sek
	100 - 0 %	0.3 - 0.4 sek
Matarvattenpumpar	0 - 100 %	70 sek
Reglerventil för brännolja	0 - 100 %	25 sek
Insprutningsventiler	0 - 100%	75 sek

Då modellen skall användas för att studera vad som händer vid små avvikelser från en viss belastningspunkt, anser vi att dynamiken hos motorer och pumpar ej behöver medtagas.

Reduktion till standardform.

Vi vill nu reducera våra matriser AA och Q till standardform, S(A,B,C,D). AA-matrisen skall alltså ge matriserna A och B, medan Q-matrisen skall ge C- och D-matrisen.
Resultatet blir således av formen

$$\frac{dx}{dt} = A\,x + B\,u$$

$$y = C\,x + D\,u$$

där
x är tillståndsvariabler
u är styrsignaler
y är utsignaler

Under förutsättning av att vi har rätt antal ekvationer, och att dessa är linjärt oberoende, så är alltså problemet i princip att lösa ett linjärt ekvationssystem.
Detta görs med hjälp av subrutinen REDUCE. Lösningen sker med hjälp av partionering av utgångsmatriserna. Metoden beskrives av K. Eklund i ref. 5.
För att kunna utföra partioneringen kräver REDUCE förutom AA- eller Q-matrisen uppgift om antalet deriverade tillståndsvariabler ($\dot{x}$), respektive antalet utsignaler. Vidare krävs uppgift om antalet interna variabler. Ytterligare uppgifter om programmet finns i kommentarerna till REDUCE. Listning av subrutinen finns i appendix. REDUCE kräver också subrutinen MIART för att lösa det linjära ekvationssystemet.

Då programmet för hela systemet visade sig kräva ganska stort minnesutrymme, gjordes med hjälp av Eklund en förbättrad version av REDUCE. Det nya programmet har namnet SPERED. SPERED har större dimensionsangivelser, och utnyttjar färre slaskmatriser, men för övrigt är programmen identiska.

Huvudprogram.

Program ÖRESUND, 15:e ordningens modell.

Vi har nu betraktat alla komponenter och gjort subrutiner för dessa. Sammanställningen nedan visar använda subrutiner och den komponent respektive subrutin behandlar.

- DR5M - dom
- SHEATER - överhettare
- ATTEMP - ångkylare
- VALVE - ventil
- TURBINE - turbin

- REDUCE - reduktion till standardform

Dessa subrutiner ger den AA-matris, i uttrycket AA z = 0, som representerar systemet. Då man efter anrop av subrutinen således fått AA-matrisen, verkar det naturligt att anropa REDUCE för att få de i delsystemets standardform ingående matriserna. Efter det att alla komponenter genomgåtts, har man alltså en uppsättning A-, B-, C- och D-matriser. Huvudprogrammet skulle följaktligen sammanställa dessa till de slutliga systemmatriserna.Detta problem är principiellt inte svårt att lösa. Det gäller i sammanställningen att eliminera de interna variablerna, t.ex. utstorheter på ett överhettarsteg vilka blir instorheter på efterföljande ångkylare.
Då kopplingen mellan vissa signaler är komplicerad, blir emellertid arbetet mycket tidsödande. Vi övergav därför detta sätt att lösa problemet, och gör det på ett "klumpigare" men mindre arbetskrävande sätt.
Vi gör nu i stället så, att vi bildar en stor AA- resp. Q-matris för hela systemet. Efter varje anrop av en subrutin inför vi alltså elementen från delsystemets AA-matris till rätt plats i den stora AA-matrisen. På detta sätt försvinner problemet att eliminera de utstorheter från en del som är instorheter på nästa. Vid ett närmare studium av den så erhållna matrisen, finner man vissa egenheter.
Massflödet bestämmes med hjälp av ventilen, men massflödet är insignal på domen. Flödet går alltså baklänges genom systemet.

Likadeles får man utgå från kondensortrycket och gå baklänges
för att få trycket efter ventilen.
Q-matrisens element erhålles ur AA-matrisens.
Då man nu har AA- och Q-matriserna, räcker det med att anropa
SPERED två gånger för att erhålla de i standardformen S(A,B,C,D)
ingående matriserna.
Observera, att de så erhållna C- och D-matriserna endast ger sambanden för de utsignaler, som är linjärkombinationer av tillståndsvariabler och insignaler. För att få med de utsignaler som representerar tillståndsvariablerna, får man sätta in ettor på lämpliga platser i C-matrisen och samtidigt lägga in en kolonn med nollor i den ursprungliga C-matrisen. En kolonn för varje ny tillståndsvariabel som tillkommer.
På de följande sidorna ges beteckningar för tillståndsvariabler, in- resp. utsignaler och interna variabler. Det finns vidare figurer, som visar elementens platser i de från subrutinerna erhållna AA-matriserna. Slutligen är det totala systemets AA- och Q-matris uppritade.
De återfinnes i mappen.

Beteckningar.

x = tillståndsvariabler
u = insignaler
y = utsignaler
v = interna variabler

Dom.

domtryck	x_0^1	$y_0^1 = u_1^4 \approx u_1^3$
nivå i dom	x_0^2	y_0^2
vattentemp. i dom	x_0^3	y_0^3
stigtubtemp.	x_0^4	y_0^4
ångkvalitet	x_0^5	y_0^5
bränsleflöde	u_0^1	
matarvattenflöde	u_0^2	
ånguttag	u_0^3	

ÖH I (4 delar).

ångtemp. ut		$y_1^1 = u_2^1$
tryck ut		$y_1^2 = u_2^2$
materialtemp. 1	x_1^1	y_1^3
" 2	x_1^2	y_1^4
" 3	x_1^3	y_1^5
" 4	x_1^4	y_1^6

bränsleflöde	u_1^1
ångflöde	$u_1^2 = y_2^3$
ångtemp. in	$u_1^3 \sim y_0^1$
tryck in	$u_1^4 = y_0^1$
3 st. mellanångtemp.	v_1^1 , v_1^2 , v_1^3
3 st. mellantryck	v_1^4 , v_1^5 , v_1^6

Kylare I.

ångtemp. in	$u_2^1 = y_1^1$
tryck in	$u_2^2 = y_1^2$
ångflöde ut	$u_2^3 = y_4^3$
kylvattenflöde	u_2^4
ångtemp. ut	$y_2^1 = u_3^3$
tryck ut	$y_2^2 = u_3^4$
ångflöde in	$y_2^3 = u_0^3 = u_1^2$

ÖH 2.

ångtemp. ut	$y_3^1 = u_4^1$
tryck ut	$y_3^2 = u_4^2$
materialtemp.	$x_3^1 \quad y_3^3$

bränsleflöde	u_3^1
ångflöde	$u_3^2 = y_4^3$
ångtemp. in	$u_3^3 = y_2^1$
tryck in	$u_3^4 = y_2^2$

<u>Kylare 2.</u>

ångtemp. in	$u_4^1 = y_3^1$
tryck in	$u_4^2 = y_3^2$
ångflöde ut	$u_4^3 = y_6^1$
kylvattenflöde	u_4^4
ångtemp. ut	$y_4^1 = u_5^3$
tryck ut	$y_4^2 = u_5^4$
ångflöde in	$y_4^3 = u_2^3 = u_3^2$

<u>öH 3.</u>

ångtemp. ut	$y_5^1 = u_7^2$
tryck ut	$y_5^2 = u_6^2$
materialtemp.	$x_5^1 \quad y_5^3$
bränsleflöde	u_5^1
ångflöde	$u_5^2 = y_6^1$
ångtemp. in	$u_5^3 = y_4^1$
tryck in	$u_5^4 = y_4^2$

Ventil (statisk).

Överkritisk.

Inställning av ventilläge	u_6^{1}
tryck in	$u_6^{2} = y_5^{2}$
ångflöde	$y_6^{1} = u_4^{3} = u_5^{2}$

Underkritisk.

Inställning av ventilläge	u_6^{1}
tryck in	$u_6^{2} = y_5^{2}$
tryck ut	$u_6^{3} = y_7^{2}$
ångflöde	$y_6^{1} = u_4^{3} = u_5^{2}$

Turbin, HT-del.

tryck ut	$u_7^{1} = y_8^{2}$
ångtemp. in	$u_7^{2} = y_5^{1}$
ångflöde	$u_7^{3} = y_6^{1}$
ångtemp. ut	$y_7^{1} = u_8^{3}$
tryck in	y_7^{2}
effekt	y_7^{3}

MÖH.

ångtemp. ut	$y_8^{1} = u_9^{1}$
tryck in	$y_8^{2} = u_7^{1}$

materialtemp. 1	$x_8^1 \quad y_8^3$
" 2	$x_8^2 \quad y_8^4$
" 3	$x_8^3 \quad y_8^5$
" 4	$x_8^4 \quad y_8^6$
bränsleflöde	u_8^1
ångflöde	$u_8^2 = y_6^1$
ångtemp. in	$u_8^3 = y_7^1$
tryck ut	$u_8^4 = y_9^1$
3 st. mellanångtemp.	v_8^1, v_8^2, v_8^3
3 st. mellantryck	v_8^4, v_8^5, v_8^6

<u>Turbin, LT-del.</u>

ångtemp. in	$u_9^1 = y_8^1$
ångflöde	$u_9^2 = y_6^1$
tryck in	$y_9^1 = u_8^4$
effekt	y_9^2

Dom:

Matris AA:

$\dot{x}_0^1$	$\dot{x}_0^2$	$\dot{x}_0^3$	$\dot{x}_0^4$	$\dot{x}_0^5$	x_0^1	x_0^2	x_0^3	x_0^4	x_0^5	u_0^1	u_0^2	u_0^3	v_0^1	v_0^2	v_0^3	v_0^4
a_{11}				a_{15}									a_{114}	a_{115}		
					a_{26}				a_{210}				a_{214}	a_{215}		
a_{31}				a_{35}	a_{36}		a_{38}		a_{310}				a_{314}	a_{315}		a_{317}
					a_{46}			a_{49}								a_{417}
			a_{54}							a_{511}						a_{517}
	a_{62}	a_{63}			a_{66}		a_{68}		a_{610}		a_{612}		a_{614}	a_{615}	a_{616}	
	a_{72}								a_{710}		a_{712}		a_{714}	a_{715}	a_{716}	
a_{81}	a_{82}								a_{810}			a_{813}	a_{814}		a_{816}	
					a_{96}		a_{98}								a_{916}	

Överhettare 1:

Matris AA:

$\dot{x}_1^1$	$\dot{x}_1^2$	$\dot{x}_1^3$	$\dot{x}_1^4$	x_1^1	x_1^2	x_1^3	x_1^4	u_1^1	u_1^2	u_1^3	u_1^4	v_1^1	v_1^2	v_1^3	y_1^1	v_1^4	v_1^5	v_1^6	y_1^2
a_{11}				a_{15}				a_{19}	a_{110}			a_{113}							
	a_{22}				a_{26}			a_{29}	a_{210}				a_{214}						
		a_{33}				a_{37}		a_{39}	a_{310}					a_{315}					
			a_{44}				a_{48}	a_{49}	a_{410}						a_{416}				
				a_{55}					a_{510}	a_{511}	a_{512}	a_{513}							
					a_{66}				a_{610}			a_{613}	a_{614}			a_{617}			
						a_{77}			a_{710}				a_{714}	a_{715}			a_{718}		
							a_{88}		a_{810}					a_{815}	a_{816}			a_{819}	
									a_{910}		a_{912}					a_{917}			
									a_{1010}							a_{1017}	a_{1018}		
									a_{1110}								a_{1118}	a_{1119}	
									a_{1210}									a_{1219}	a_{1220}

Kylare 1:

Matris Q:

y_2^1	y_2^2	y_2^3	u_2^1	u_2^2	u_2^3	u_2^4
a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}
		a_{23}				
	a_{32}			a_{35}	a_{36}	

Kylare 2:

Matris Q:

y_4^1	y_4^2	y_4^3	u_4^1	u_4^2	u_4^3	u_4^4
a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}
		a_{23}				
	a_{32}			a_{35}	a_{36}	

Överhettare 2:

Matris AA:

$\dot{x}_3^1$	x_3^1	u_3^1	u_3^2	u_3^3	u_3^4	y_3^1	y_3^2
a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}			a_{17}	
	a_{22}		a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}	
			a_{34}		a_{36}		a_{38}

Överhettare 3:

Matris AA:

$\dot{x}_5^1$	x_5^1	u_5^1	u_5^2	u_5^3	u_5^4	y_5^1	y_5^2
a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}			a_{17}	
	a_{22}		a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}	
			a_{34}		a_{36}		a_{38}

Ventil (statisk):

Alt. 1 överkritisk:

Matris D: $\begin{array}{cc} u_6^1 & u_6^2 \\ \hline \boxed{a_1'} & \boxed{a_2'} \end{array}$ Insättes som: $\begin{array}{ccc} y_6^1 & u_6^1 & u_6^2 \\ \hline \boxed{-1.} & \boxed{a_1'} & \boxed{a_2'} \end{array}$

Alt. 2 underkritisk:

Matris D: $\begin{array}{ccc} u_6^1 & u_6^2 & u_6^3 \\ \hline \boxed{a_1} & \boxed{a_2} & \boxed{a_3} \end{array}$ Insättes som: $\begin{array}{cccc} y_6^1 & u_6^1 & u_6^2 & u_6^3 \\ \hline \boxed{-1.} & \boxed{a_1} & \boxed{a_2} & \boxed{a_3} \end{array}$

Turbin:

Högtrycksdel:

Matris Q:

Y_7^1	Y_7^2	Y_7^3	u_7^1	u_7^2	u_7^3
	a_{12}	a_{13}		a_{15}	a_{16}
a_{21}	a_{22}		a_{24}	a_{25}	a_{26}
	a_{32}		a_{34}	a_{35}	a_{36}

Lågtrycksdel:

Matris D:

u_9^1	u_9^2
a_{11}	a_{12}
	a_{22}

Insättes som:

Y_9^1	Y_9^2	u_9^1	u_9^2
±0.	-1.	a_{11}	a_{12}
-1.	±0.		a_{22}

Mellanöverhettare:

Matris AA:

$\dot{x}_8^1$	$\dot{x}_8^2$	$\dot{x}_8^3$	$\dot{x}_8^4$	x_8^1	x_8^2	x_8^3	x_8^4	u_8^1	u_8^2	u_8^3	u_8^4	v_8^1	v_8^2	v_8^3	y_8^1	v_8^4	v_8^5	v_8^6	y_8^2
a_{11}				a_{15}				a_{19}	a_{110}			a_{113}							
	a_{22}				a_{26}			a_{29}	a_{210}				a_{214}						
		a_{33}				a_{37}		a_{39}	a_{310}					a_{315}					
			a_{44}				a_{48}	a_{49}	a_{410}						a_{416}				
				a_{55}					a_{510}	a_{511}		a_{513}							a_{512}
					a_{66}				a_{610}			a_{613}	a_{614}			a_{617}			
						a_{77}			a_{710}				a_{714}	a_{715}			a_{718}		
							a_{88}		a_{810}					a_{815}	a_{816}			a_{819}	
									a_{910}							a_{917}			a_{912}
									a_{1010}							a_{1017}	a_{1018}		
									a_{1110}								a_{1118}	a_{1119}	
									a_{1210}		a_{1220}							a_{1219}	

Subrutinen misslyckades med att bilda C- och D-matriser utgående från Q-matrisen i dess nuvarande form. Misslyckandet berodde på att antalet utsignaler var för stort. Vi överförde därför följande utsignaler till interna variabler:

y_1^2 , y_2^2 , y_3^2 , y_4^2 , y_5^2 , y_9^1

Dessa signaler beskriver vissa tryck, som är av mindre intresse.
Efter denna modifiering gav subrutinen C- och D-matriser.

Huvudprogram.

Program ÖRESUNY, 9:e ordningens modell.

Eftersom 15:e ordningens modell ger en mycket stor AA-matris (51,71), är risken stor att numeriska besvär helt eller delvis skall förstöra systemmatriserna. Av denna orsak nedbringades ordningstalet till 9 genom att varje överhettare gavs endast en tillståndsvariabel. Dessutom infördes DOUBLE PRECISION i reduceringsprogrammet.

9:e ordningens AA- och Q-matris bildas av samma delmatriser som stora systemet, och beteckningarna är desamma, varför endast AA- och Q-matriserna ges här i det mindre systemet.

Dessa återfinnes i mappen.

Egenvärden och systemmatriser.

Systemmatriserna bildas som förut omtalats med specialversionen av REDUCE, SPERED.
För egenvärdesbestämningen har använts ett program TQR av K. Mårtensson, LTH, som utnyttjar övre Hessenbergform. Egenvärdena har bestämts dels för överkritiskt, dels för underkritiskt system. Vidare har både 15:e och 9:e ordningens modell använts. Ingångsdata återfinnes i appendix.

Insignaler.

15:e och 9:e ordningens modell.

u_1 bränsleflöde
u_2 matarvattenflöde
u_3 kylvattenflöde I
u_4 kylvattenflöde II
u_5 läge hos reglerventil

Tillståndsvariabler.

15:e ordningen

x_1 domtryck
x_2 nivå i dom
x_3 vattentemp. i dom
x_4 stigtubtemp.
x_5 ångkvalitet
x_6 mat.temp. 1 i ÖH I
x_7 mat.temp. 2 i ÖH I
x_8 mat.temp. 3 i ÖH I
x_9 mat.temp. 4 i ÖH I
x_{10} mat.temp. i ÖH II
x_{11} mat.temp. i ÖH III
x_{12} mat.temp. 1 i MÖH
x_{13} mat.temp. 2 i MÖH
x_{14} mat.temp. 3 i MÖH
x_{15} mat.temp. 4 i MÖH

9:e ordningen

x_1 domtryck
x_2 nivå i dom
x_3 vattentemp. i dom
x_4 stigtubtemp.
x_5 ångkvalitet
x_6 mat.temp. i ÖH I
x_7 mat.temp. i ÖH II
x_8 mat.temp. i ÖH III
x_9 mat.temp. i MÖH

Utsignaler.

15:e ordningen

y_1 temp. f. kyl.I
y_2 temp. e. kyl.I
y_3 ångflöde f. kyl.I
y_4 temp. f. kyl.II
y_5 temp. e. kyl.II
y_6 ångflöde f. kyl.II
y_7 temp. f. ventil
y_8 ångflöde f. HT
y_9 temp. e. HT
y_{10} tryck f. HT
y_{11} effekt HT
y_{12} temp. e. MÖH
y_{13} tryck f. MÖH
y_{14} effekt LT

9:e ordningen

y_1 temp. f. kyl.I
y_2 temp. e. kyl.I
y_3 temp. f. kyl.II
y_4 temp. f. ventil
y_5 temp. e. HT
y_6 effekt HT
y_7 temp. f. LT
y_8 effekt LT

Underkritisk modell, 9:e ordningen

MATRIX A

-4.4745970157-002	-0.0000000000+000	1.4706005727-002	5.0337873357-002	-5.9664896969-001	8.7600323134-005
-7.1802484976-005	-0.0000000000+000	3.0574682316-004	2.2528765230-004	-2.3603479512-001	-1.1498588229-006
1.1515132622-002	-0.0000000000+000	-2.3641474834-002	2.4333637575-003	-3.5856803546+000	-1.2419787569-005
2.8135047671-002	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	-5.0241156557-002	0.0000000000+000	0.0000000000+000
-9.3397710995-005	-0.0000000000+000	1.5057128177-004	1.8196638102-004	-8.7259148911-002	-4.0980401365-007
-1.4451315616-002	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	-8.9690006829-003
-1.6291788846-002	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	2.5951368632-002
-1.8[illegible]8895[illegible]384-002	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	9.3581839118-003
-5.6440014231-003	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	4.5960176192-004

1.5294170169-004	5.3812321649-004	-4.8316906032-013
-2.0061987348-006	-7.0635096733-006	6.6613381477-015
-2.1690838264-005	-7.6293465803-005	7.2830630415-014
0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000
-7.1571212729-007	-2.5174000133-006	2.3869745029-015
1.5712158941-004	5.5264941907-004	-5.1159076975-013
-2.8244101497-002	5.8302562733-004	-6.3948646218-013
1.6343826112-002	-2.4027643788-002	-1.2221339055-012
8.0268258881-004	2.8233043278-003	-4.5223628274-003

MATRIX B

2.0008883434-011	1.9788968739-003	1.2507453196-002	1.1333469241-002	-1.8727500214-003
-9.9475983004-014	3.4061959172-005	-1.6417525567-004	-1.4876531465-004	2.4582079880-005
-1.4779288904-012	-3.2681973662-003	-1.7732801285-003	-1.6068351788-003	2.6551451734-004
1.2001990064-001	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000
-2.6645352591-014	-9.2574987784-006	-5.8511251479-005	-5.3019224496-005	8.7609320413-006
2.3264519994-001	0.0000000000+000	1.2845081817-002	1.1639407111-002	-1.9233033992-003
3.7116115398-001	0.0000000000+000	-1.5955035836-001	1.2279167815-002	-2.0290178849-003
4.9345253285-001	0.0000000000+000	-5.8189606422-002	-1.2946111078-001	-2.1830764361-003
1.0322114818-001	0.0000000000+000	-3.1128550903-003	-6.8253234961-003	-8.8261580686-004

MATRIX C

-7.8969364655-002	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	8.5351647234-001
1.3856316013-001	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	7.6411562299-001
-4.5744612756-002	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	3.5142091602-001
-7.2238283607-002	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.1366692254-001
2.5650600208-001	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	8.7417331085-002
1.2711632691+002	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	9.0188934105+000
-1.6195859911-002	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.3094670546-002
1.0453607516+003	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	-6.6858041628+000

4.8672234583-004	1.7119661812-003	1.1141310097-011
-1.0529255368-003	-3.7034929527-003	-1.5029399947-010
6.1374753679-001	-2.7573030064-004	-4.4337806711-012
1.9851633867-001	6.9824865450-001	-7.3418959801-010
1.5267219605-001	5.3699940360-001	2.4583641789-009
1.5751264896+001	5.5402490263+001	-1.0370276868-006
2.2869503189-002	8.0439725677-002	8.5922836319-001
-1.1670576124+001	-4.1070440955+001	1.0839872434+002

MATRIX D

0.0000000000+000	0.0000000000+000	3.9790769565-002	3.6055898515-002	-5.9579007324-003
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-4.6646667294+000	-7.7999651323-002	1.2888714472-002
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-2.1511761193+000	-5.8071844913-003	9.5958305651-004
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-6.9887732926-001	-1.5579801567+000	-2.4705265777-003
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-5.2074784342-001	-1.1675327164+000	4.8981546015-002
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-4.8328085345+001	-1.1056678474+002	2.1464782244+001
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-8.0934404230-002	-1.8025614827-001	-1.5684379543-003
0.0000000000+000	0.0000000000+000	9.9620828091+001	1.9883037932+002	1.7805049790+002

178
214
1994

THE EIGENVALUES ARE

REAL PART	IMAGINARY PART
-8.3536720835-002	7.9205996476-003
-8.3536720832-002	-7.9205996332-003
-6.2281630036-003	-2.7952935660-003
-6.2281626158-003	2.7952915838-003
-4.5223666755-003	1.9678109697-009
-2.6826444015-002	3.7250597551-004
-2.6826433961-002	-3.7250900434-004
-3.3995841090-002	0.0000000000+000
0.0000000000+000	0.0000000000+000

Överkritisk modell, 9:e ordningen

MATRIX A

-4.5819442138-002	-0.0000000000+000	1.9706005727-002	5.0337873357-002	-5.9664896969-001	-1.0311054810-011
-5.8368193308-005	-0.0000000000+000	3.0574682316-004	2.2528765230-004	-2.3603479512-001	1.3937390079-013
1.1660238304-002	-0.0000000000+000	-2.3641474834-002	2.4333637575-003	-3.5856803546+000	1.5353485640-012
2.8135047671-002	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	-5.0241156557-002	0.0000000000+000	0.0000000000+000
-8.8609795608-005	-0.0000000000+000	1.5057128177-004	1.8196638102-004	-8.7259148911-002	4.8443347726-014
-1.5502415400-002	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	-9.0589657165-003
-1.7400662394-002	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	2.5856458679-002
-1.9282018076-002	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	9.2560676457-003
-6.1263576042-003	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	4.1831625246-004

-7.9208890640-013	-3.7307584073-013	-2.7543051645-013
1.0476268175-014	4.6129844538-015	3.6153543618-015
1.2264927853-013	4.7695895823-014	3.9049953172-014
0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000
3.7560262979-015	1.4999736104-015	1.2884944647-015
-7.9582462186-013	-3.8621560702-013	-2.8286554127-013
-2.8409859284-002	-3.7938495339-013	-2.6878340830-013
1.6165482727-002	-2.4654937395-002	-4.9210297648-013
7.3057852080-004	2.5696900964-003	-4.5223628274-003

MATRIX B

1.8646146349-011	1.9788968739-003	1.2988189290-002	1.2428151053-002	-1.1908654186-002
-4.1776321905-014	3.4061959172-005	-1.7048549084-004	-1.6313432036-004	1.5631530377-004
-1.8890298663-012	-3.2681973662-003	-1.8414378700-003	-1.7620368393-003	1.6883836777-003
1.2001990064-001	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000
1.6862386956-014	-9.2574987784-006	-6.0760188175-005	-5.8140267269-005	5.5710003381-005
2.3264519993-001	0.0000000000+000	1.3338794994-002	1.2763633976-002	-1.2230118710-002
3.7116115398-001	0.0000000000+000	-1.5902950620-001	1.3465193153-002	-1.2902347913-002
4.9345253283-001	0.0000000000+000	-5.7629209346-002	-1.2818503334-001	-1.3881992004-002
1.0322114818-001	0.0000000000+000	-2.8862870644-003	-6.3094065508-003	-5.6124770001-003

MATRIX C

-8.2225402237-002	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	8.5323778377-001
1.4560693929-001	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	7.6471850940-001
-4.5220193524-002	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	3.5146580177-001
-7.3588445004-002	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.1355136040-001
2.8327478549-001	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	8.9708556663-002
1.3884699193+002	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.0022936553+001
-1.7053023061-002	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.3021304813-002
1.1926666884+003	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.6427397875+000

1.4139800442-012	5.8122395785-012	8.9016793936-011
3.3438141145-011	6.6222582973-012	-1.9781509764-011
6.1382592859-001	-2.2950530365-012	-1.3869794202-011
1.9831451236-001	6.9753876360-001	-1.7669208319-009
1.5667367511-001	5.5107394975-001	1.9626895665-009
1.7504800351+001	6.1570263566+001	-1.1445954442-006
2.2741371819-002	7.9989044634-002	8.5922836305-001
2.8690110889+000	1.0091275852+001	1.0839872468+002

MATRIX D

0.0000000000+000	0.0000000000+000	4.1320166385-002	3.9538480538-002	-3.7885771549-002
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-4.6679752704+000	-8.5533513993-002	8.1958211847-002
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-2.1514224450+000	-6.3680912522-003	6.1019049075-003
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-6.9824314328-001	-1.5565360550+000	-1.5709863261-002
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-5.3332143652-001	-1.1961639838+000	3.1146938246-001
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-5.3838108258+001	-1.2311363099+002	1.3649267970+002
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-8.0531785206-002	-1.7933934645-001	-9.9735602746-003
0.0000000000+000	0.0000000000+000	5.3915154637+001	9.4754213684+001	1.1322075996+003

1132
136
8

THE EIGENVALUES ARE

REAL PART	IMAGINARY PART
-8.3815166571-002	7.6261106320-003
-8.3815166594-002	-7.6261105603-003
-9.0589646981-003	-2.3060231502-010
-5.3900611589-003	7.3300189640-008
-4.5223781067-003	-7.3141455448-008
-2.4654977428-002	0.0000000000+000
-2.8409822085-002	0.0000000000+000
-3.3940813799-002	0.0000000000+000
0.0000000000+000	0.0000000000+000

SYSTEM MATRICES , överkritisk modell 15:e ordningen.

MATRIX A

-4.5819442142-002	-0.0000000000+000	1.9706005727-002	5.0337873357-002	-5.9664896969-001	3.2556179974-012
-5.8368193236-005	-0.0000000000+000	3.0574682316-004	2.2528765230-004	-2.3603479512-001	-2.1094237468-014
1.1660238305-002	-0.0000000000+000	-2.3641474834-002	2.4333637575-003	-3.5856803546+000	-3.0075941737-013
2.8135047671-002	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	-5.0241156557-002	0.0000000000+000	0.0000000000+000
-8.8609795589-005	-0.0000000000+000	1.5057128177-004	1.8196638102-004	-8.7259148911-002	-5.9778570982-015
-1.4584269620-003	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	-3.1103684488-002
-2.3897573618-002	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.8240999801-002
-8.2472592588-003	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	4.4076468949-003
-2.1293975808-002	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	5.5328293334-003
-2.1613800803-002	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	3.2939230576-003
-2.0790232903-002	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.1791550859-003
-3.6766433596-003	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.6200577375-004
-6.6939316182-003	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	6.4707291686-005
-7.6174740584-003	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	2.5617256731-005
-5.9061561699-003	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	7.5733696298-006

8.2858164774-012	-4.1278092056-012	-2.0235995106-012	-7.6028072726-013	-1.7053025658-013	0.0000000000+000
-1.0888512314-013	5.4199700282-014	2.7144952952-014	1.0880165641-014	2.4424906541-015	8.8817841969-016
-1.1742828931-012	5.8647531276-013	2.8643754035-013	1.1102230246-013	2.1316282072-014	0.0000000000+000
0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000
-3.8666986279-014	1.9371657056-014	9.4368957090-015	3.4694469519-015	9.9920072216-016	4.4408920985-016
8.4057205641-012	-4.1957548546-012	-2.0623502905-012	-7.8159700934-013	-1.9895196601-013	-1.1368683772-013
-2.8963385542-002	-5.8184568274-012	-3.9221959014-012	-1.0800249584-012	-2.5579538487-013	-1.1368683772-013
1.0563458707-002	-1.6376028192-002	-7.6028072726-013	-3.4816594052-013	-6.3948846218-014	0.0000000000+000
1.3260094470-002	7.0473191506-003	-2.3207268238-002	-7.8159700934-013	-1.9895196601-013	0.0000000000+000
7.8942848449-003	4.1955617146-003	1.6487680319-002	-2.8409859285-002	-1.7053025658-013	-1.1368683772-013
2.8259877229-003	1.5019227275-003	5.9022423079-003	1.6165482727-002	-2.4654937295-002	-3.4106051316-013
3.8826640029-004	2.0635126057-004	8.1091731275-004	2.2209982452-003	7.8119969761-003	-1.3870434233-002
1.5507884127-004	8.2419475396-005	3.2339131294-004	8.8709655954-004	3.1202169739-003	8.3792066071-003
6.1394852458-005	3.2629409446-005	1.2822676533-004	3.5119662446-004	1.2352765146-003	3.3172812083-003
1.8150497216-005	9.6464089274-006	3.7908376831-005	1.0382617174-004	3.6519152773-004	9.8070592142-004

0.0000000000+000	4.5474735089-013	1.8189894035-012
3.5527136788-015	1.4210854715-014	-5.6843418861-014
1.4210854715-014	-1.1368683772-013	-2.2737367544-013
0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000
1.3322676295-015	0.0000000000+000	-1.5987211555-014
-3.4106051316-013	0.0000000000+000	1.8189894035-012
-5.6843418861-013	-9.0949470177-013	5.4569682106-012
0.0000000000+000	-2.2737367544-013	1.1368683772-012
-2.2737367544-013	-1.8189894035-012	5.4569682106-012
-4.5474735089-013	-2.7284841053-012	6.3664629124-012
-9.0949470177-013	-1.8189894035-012	5.4569682106-012
-2.6687985155-011	5.7298166211-011	-4.4337866711-012
-1.3796608639-002	1.9554136088-011	-4.5474735089-013
8.3346041406-003	-1.3796608621-002	1.3642420527-012
2.4640056249-003	6.2238956942-003	-1.0302662286-002

MATRIX B

-4.0017766878-011	1.9788968739-003	1.2988189293-002	1.2428151057-002	-1.1908654189-002
2.2737367544-013	3.4061959172-005	-1.7048549089-004	-1.6313432042-004	1.5631530381-004
3.6379788071-012	-3.2681973662-003	-1.8414378705-003	-1.7620368397-003	1.6883836781-003
1.2001990064-001	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000	0.0000000000+000
8.5265128289-014	-9.2574987784-006	-6.0760188194-005	-5.8140267286-005	5.5710003397-005
4.3542609350-001	0.0000000000+000	1.3180911603-002	1.2612563366-002	-1.2085358061-002
2.6415441174-001	0.0000000000+000	1.8275449632-002	1.7487429812-002	-1.6756455030-002
2.3765756298-002	0.0000000000+000	5.7066260342-003	5.4605618056-003	-5.2323102548-003
1.3885427050-001	0.0000000000+000	1.3293872547-002	1.2720653542-002	-1.2188930067-002
3.7116115395-001	0.0000000000+000	-1.5854650158-001	1.3927372992-002	-1.3345208628-002
4.9345253281-001	0.0000000000+000	-5.7456303148-002	-1.2801958269-001	-1.4040527622-002
1.1197250634-001	0.0000000000+000	-7.9488326764-003	-1.7689234523-002	-2.8989908611-003
1.1197250637-001	0.0000000000+000	-3.4507658680-003	-7.5707330086-003	-6.0383938075-003
1.1197250638-001	0.0000000000+000	-1.6325265053-003	-3.4852085495-003	-7.1028821435-003
8.3615832690-002	0.0000000000+000	-6.7859558973-004	-1.3893372388-003	-5.5663885584-003

MATRIX C

-2.2125483865-001	0.0000000000+000	-0.0000000000+000	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.0869623051-001
2.1001131848-002	0.0000000000+000	-0.0000000000+000	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	9.7419524470-002
9.1888519442-001	0.0000000000+000	-0.0000000000+000	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	4.7258641444-011
-1.0248921408-001	0.0000000000+000	-0.0000000000+000	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	4.4774163045-002
-5.6897123591-002	0.0000000000+000	-0.0000000000+000	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	4.3358122632-002
4.1888519442-001	0.0000000000+000	-0.0000000000+000	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	4.8054893397-011
-9.2090885090-002	0.0000000000+000	-0.0000000000+000	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.4465609711-002
9.1888519437-001	0.0000000000+000	-0.0000000000+000	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	4.8047787970-011
2.6865737117-001	0.0000000000+000	-0.0000000000+000	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.1428211735-002
8.0760070023-001	0.0000000000+000	-0.0000000000+000	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	9.7160490828-004
1.3721382107+002	0.0000000000+000	-0.0000000000+000	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.2768486210+000
-5.3394841660-002	0.0000000000+000	-0.0000000000+000	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	2.9101743672-004
2.8898525001-001	0.0000000000+000	-0.0000000000+000	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.4909351131-011
1.1880932235+003	0.0000000000+000	-0.0000000000+000	-0.0000000000+000	0.0000000000+000	3.6714305446-002

2.6050365874-001	1.3844942283-001	5.4407728364-001	-2.0343726703-011	6.9025674065-011	-9.7344354799-013
2.3347766923-001	1.2408596759-001	4.0763190769-001	-7.4644290748-011	9.7077261851-013	-1.6210354715-014
-4.2698289348-011	6.7556626959-011	-4.9947601609-011	-7.6951778283-012	-6.3070615397-010	3.6379788071-012
1.0730669533-001	5.7030101250-002	2.2411637362-001	6.1382592840-001	-2.3782203084-010	3.4694469519-017
1.0391298326-001	5.5226451048-002	2.1702840544-001	5.9441289506-001	-1.4304227143-010	1.1056044968-010
-4.0653702626-011	6.8806293996-011	-4.5400128100-011	1.3926637621-012	-6.4889604801-010	3.5242919694-012
3.4668582703-002	1.8425250867-002	7.2407383432-002	1.9831451244-001	6.9753876386-001	-3.1100455544-011
-4.0845549165-011	6.8809846709-011	-4.5076631157-011	-2.2026824809-013	-6.5224980972-010	7.3896444519-013
2.7389091144-002	1.4556432284-002	5.7203735204-002	1.5667367501-001	5.5107394917-001	-9.3052676674-011
2.3285685008-003	1.2375602907-003	4.8633529373-003	1.3320098431-002	4.6851260484-002	-2.7284841053-012
3.0601220786+000	1.6263577302+000	6.3912457805+000	1.7504800269+001	6.1570263520+001	2.9603897066-003
6.9745848259-004	3.7067703186-004	1.4566032493-003	3.9896680996-003	1.4033003069-002	3.7605017627-002
-1.3328005366-011	2.1384227722-011	-1.5103410085-011	-2.8279600083-012	-2.1481127907-010	-2.5063755581-011
8.7990070370-002	4.6764045490-002	1.8377251205-001	5.0332944149-001	1.7703773965+000	4.7562743961+000

-5.8264504332-013	-8.5833562480-012	2.8421709430-012
-2.5153212846-012	2.8421709430-013	-3.5242919694-011
-2.9103330457-011	7.5488060247-011	-8.6401996668-011
-2.2759572004-015	4.7739590058-015	-1.8429702209-014
-4.0847680793-010	1.1141310097-011	-4.4292391975-010
2.8876456781-011	7.5033312896-011	1.4460965758-010
-8.6032514444-011	1.5501200323-010	-6.9530269951-010
6.1390892370-012	9.0949470177-012	2.4556356947-011
6.3039351517-010	-7.4965100794-010	-1.8371792976-009
5.5706550482-011	7.7307049651-012	-6.2755134422-011
-1.8109403310-007	7.3341652751-008	4.0745362639-007
9.4682915090-002	2.3916202992-001	6.0410557181-001
1.6939338821-010	-4.5815795601-011	-4.0972736315-010
1.1945028419+001	3.0172255955+001	7.6212886082+001

MATRIX D

0.0000000000+000	0.0000000000+000	5.7258910935-002	5.4789961893-002	-5.2499740865-002
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-4.6536900926+000	-7.1864298846-002	6.8860370937-002
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-9.5072264087-001	-9.0972839459-001	8.7170173666-001
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-2.1448569552+000	-8.5698676934-005	8.2116997680-005
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-2.0747519421+000	-4.6378322231+000	3.0224019443-002
0.0000000000+000	0.0000000000+000	4.9277359056-002	-9.0972839466-001	8.7170173663-001
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-6.9612196916-001	-1.5545063441+000	-1.7654732063-002
0.0000000000+000	0.0000000000+000	4.9277359055-002	9.0271605330-002	8.7170173659-001
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-5.3164565255-001	-1.1945604575+000	3.0993288442-001
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-3.1149231945-003	-2.4464167334-002	7.7081354969-001
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-5.3650876693+001	-1.2293447268+002	1.3632101044+002
0.0000000000+000	0.0000000000+000	-1.6763742489-002	-3.6328055413-002	-4.9165347659-002
0.0000000000+000	0.0000000000+000	1.5497507220-002	2.8390012826-002	2.7414626530-001
0.0000000000+000	0.0000000000+000	6.1960018179+001	1.1279626509+002	1.1272632334+003

THE EIGENVALUES ARE

REAL PART	IMAGINARY PART
-8.3815166021-002	-7.6261105986-003
-8.3815165975-002	7.6261105600-003
-5.3900764046-003	3.8956962656-011
-1.0302657033-002	7.4964411069-009
-1.3784136488-002	-4.3355498111-005
-1.3891758776-002	-1.3266919754-006
-1.3787775248-002	4.4636206280-005
-1.6376017398-002	3.8449272266-008
-2.3207271841-002	-8.5392569751-012
-2.4654924276-002	1.7223004349-010
-2.8409897297-002	-1.2576991878-010
-2.8963356003-002	0.0000000000+000
-3.1103681957-002	0.0000000000+000
-3.3940813881-002	0.0000000000+000
0.0000000000+000	0.0000000000+000

A(1,1)-elementet är av väsentlig betydelse för systemets dynamik. Några program kördes med varierande A(1,1)-element. Härvid visades att en liten ändring kan ge betydande ändring i motsvarande egenvärde.
Tryckfallet i en underkritisk modell över de olika överhettarna, ventilen och turbindelarna beskrivs i huvudsak av

$$m_s = k \sqrt{p_1 - p_2}$$

Om man bortser från kylvattenflöden och avtappningsmängderna från turbinen, så är massflödet detsamma från dom t.o.m. lågtrycksturbinen. Tryckfallen över delarna kan då adderas och summan ger ekvationen

$$m_s = k \sqrt{p_{\underline{d}om} - p_{\underline{k}ylare}}$$

Lineariserad

$$\Delta m_s = \frac{k}{2 \sqrt{p_d - p_k}} \; (\Delta p_d - \Delta p_k)$$

Insättes k-värdet från det statiska tillståndet så fås

$$\Delta m_s = \frac{m_s}{2 \sqrt{p_d - p_k}} \; (\Delta p_d - \Delta p_k)$$

Insättes följande data

m_s = 130 kg/s

p_d = 143 bar

p_k = 0

Δp_k = 0

så erhålles

$\Delta m_s = 0{,}46 \Delta p_d$

Denna koefficient är känslig numeriskt och kan ge ett A(1,1)-element som gör systemet t.o.m. instabilt. En tryckhöjning i domen kan således ej åstadkomma en tillräcklig massflödesökning, utan nivån i domen stiger starkt. Se även ref. 5 sid. 37.

Simulering.

För att få en uppfattning om modellens dynamiska riktighet, lades stegstörningar på de olika insignalerna. Stegsvaren för vissa tillståndsvariabler och vissa utsignaler plottades sedan för var och en av insignalerna.
Simuleringen tillgick så att det ursprungliga systemet, som har formen

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du$$

med hjälp av ett FORTRAN-program konverterades till samplad form dvs.

$$x(t + T) = \Phi x(t) + \Gamma u(t)$$
$$y(t) = \Theta x(t) + Du(t)$$

där

$$\Phi = \exp At$$
$$\Gamma = \int_0^T (\exp As)\, ds\ B$$

Utgående från detta samplade system och en given stegstörning på en viss insignal, var det med hjälp av ett FORTRAN-program möjligt att få ut plottade stegsvar av givna tillstånd och utsignaler.
I appendix finns stegsvar för en 9:e ordningens överkritisk modell.
Fig. 1-12 visar stegsvar då insignalen var en ökning av bränsleflödet, u_1, med 4 t/h.
Fig. 13-24 är stegsvar då slaget hos reglerventilen, u_5, minskas med 5%.
Fig. 25-29 är stegsvar för en ändring av 40 t/h hos matarvattenflödet, u_2-
Fig. 30-41 och fig. 42-48 visar stegsvar för en ändring på 4 t/h hos kylvattenflöde I, u_3, resp. kylvattenflöde II, u_4.

De stationära värdena har varit:

Kylvattenflöde I	3.87 kg/s
Kylvattenflöde II	1.04 kg/s
Matarvattenflöde	130.55 kg/s

Samplingsintervallet, T, har varit 5 sek.

Referenser.

1. Anderson J.H. : Superheater Dynamic Models. ASME 66-WA/HT-57
2. Andreson J.H., Kwan H.W., Qualtrough G.H. : Dynamic Models for Power Station Boilers. Third U.K.A.C. Control Convention 2-4:th April 1968.
3. von Bolte W. : Simulierung der Drehzahlregelung von Dampfturbinen mit Zwischenüberhitzung. BWK nr 6, 1967.
4. Eklund K. : En olinjär matematisk modell för en dompanna. Rapport 6801, mars 1968. Lunds Tekniska Högskola, Inst. för regleringsteknik.
5. Eklund K. : Linear Mathematical Models of the Drum-Downcomer-Riser Loop of a Drum Boiler. Report 6809 Nov. 1968. Lund Institute of Technology, Division of Automatic Control.
6. Eklund K. : Numerical Modelbuilding. Report 6808 Nov. 1968. Lund Institute of Technology, Division of Automatic Control.
7. Enns M. : Comparison of Dynamic Models of a Superheater. ASME, Journal of Heat Transfer, Nov. 1962, s. 375-385.
8. Jonasson J. : Dynamiska egenskaper hos en värmeväxlare. Rapport RE-34, aug. 1968. Lunds Tekniska Högskola. Inst. för regleringsteknik.
9. Kleinau W. : Regeldynamik von Dampfturbinen mit Zwischenüberhitzung. BWK nr 6, 1965.
10. Nicholson H. : Dynamic Optimisation of a Boiler-turboalternator Model.
11. Profos P. : Die Regelung von Dampfanlagen. Springer-Verlag 1962.
12. Thal-Larsen H. : Dynamics of Heat Exchangers and their Models. ASME, Journal of Basic Engineering, June 1960, s. 489-504.

APPENDIX.

Data till överhettare.

Tubmassorna beräknas med hjälp av de data som finns på ritning 651013. Längderna har mätts upp på den stora sammanställningsritningen.

Ångtemperaturerna fås ur katalogblad och ur de mätdata, som erhölls vid leveransprovningen av P16.

Metalltemperaturerna sättes 35°C högre än motsvarande ångtemperatur. Det har varit omöjligt att få mer exakta metalltemperaturer, men den ovan nämnda temperaturdifferensen har erhållits med hjälp av ett par kurvor från Steinmüllers leveransprovning.

Specifika värmet för ångan fås med hjälp av ångtabellen och definitionerna

$$c_{ps} = (\Delta i / \Delta T)_p = \text{konstant}$$

$$c_{Ts} = (\Delta i / \Delta p)_T = \text{konstant}$$

Specifika värmet för tuberna antages vara detsamma för alla tubmaterial.

F-värdet, dvs. proportionalitetskonstanten i sambandet

$$Q_{gm} = F \quad m_B$$

fås genom att för två olika laster, kring den stationära punkten, beräkna det tillförda värmet och så bilda differensen mellan dessa värmeflöden. Denna differens dividerad med skillnaden mellan bränsleflödena, ger det önskade F-värdet.
F-värdet fås alltså ur sambandet

$$F = \frac{(m_s \ \Delta i)_1 - (m_s \ \Delta i)_2}{m_{B1} - m_{B2}} = \frac{\dot{Q}_{ms1} - \dot{Q}_{ms2}}{m_{B1} - m_{B2}}$$

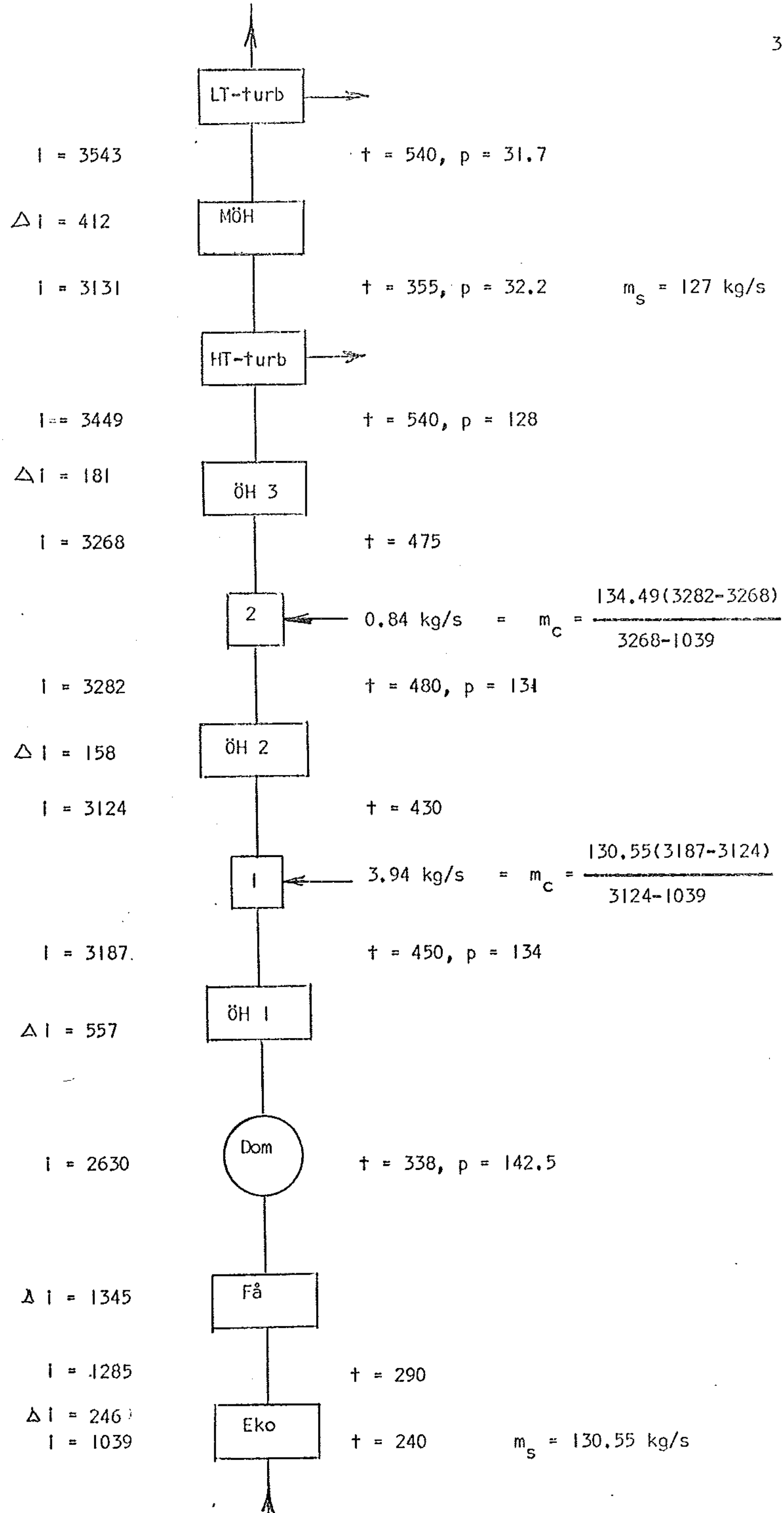
ty i det stationära fallet är $\dot{Q}_{gm} = \dot{Q}_{ms}$

K_a-värdet är proportionalitetskonstanten i uttrycket för tryckfallet genom överhettaren

$$\Delta p = K_a \dot{m}_s^2$$

Då tryckfallet över hela överhettaren och massflödet är känt, kan K_a-värdet beräknas. Vi antar sedan att tryckfallet är linjärt och låter prop. konstanten ha värdet K_a / n för var och en av sektionerna. Sektionerna är ju ungefär lika långa.

För att få en ungefärlig kontroll på att systemet som helhet är riktigt görs en enkel värmeteknisk beräkning på systemet. Insprutningsmängderna bestämmes så att temperaturfallen över kylarna blir de rätta. Kylvattnet tas från matarvattenledningen efter HT-förvärmarna, så vi känner alltså kylvattenentalpin. Då det finns dåliga uppgifter om trycken före och efter överhettarna, har dessa antagits med utgångspunkt från dom- och sluttryck. Vi bortser från tryckfallet över ångkylarna.


LT-turb
i = 3543
t = 540, p = 31.7
Δi = 412
MÖH
i = 3131
t = 355, p = 32.2
m_s = 127 kg/s
HT-turb
i = 3449
t = 540, p = 128
Δi = 181
ÖH 3
i = 3268
t = 475
2
0.84 kg/s = $m_c = \frac{134.49(3282-3268)}{3268-1039}$
i = 3282
t = 480, p = 131
Δi = 158
ÖH 2
i = 3124
t = 430
1
3.94 kg/s = $m_c = \frac{130.55(3187-3124)}{3124-1039}$
i = 3187
t = 450, p = 134
ÖH 1
Δi = 557
Dom
i = 2630
t = 338, p = 142.5
Δi = 1345
Få
i = 1285
t = 290
Δi = 246
Eko
i = 1039
t = 240
m_s = 130.55 kg/s

$Q_{Eko} = 130.55 \cdot 246 = 32115$ kJ/s

$Q_{Få} = 130.55 \cdot 1345 = 175590$ "

$Q_{ÖH1} = 130.55 \cdot 557 = 71724$ "

$Q_{ÖH2} = 134.49 \cdot 158 = 21249$ "

$Q_{ÖH3} = 135.53 \cdot 181 = 24531$ "

$Q_{MÖH} = 127.00 \cdot 412 = 52324$ "

$Q_{ui} = 377532$ "

Förbränningen kräver

$l_v = 1.05 \cdot 4.76 \cdot 0.0979 = 0.489$ Mol luft / kg bränsle
$= 10.96$ Nm^3 luft / kg bränsle .

Rökgasmängden blir

$g_v = 0.4934 \cdot 0.05 \cdot 4.76 \cdot 0.0979 = 0.516$ Mol avgaser / kg bränsle
$= 11.56$ Nm^3 avgaser / kg bränsle

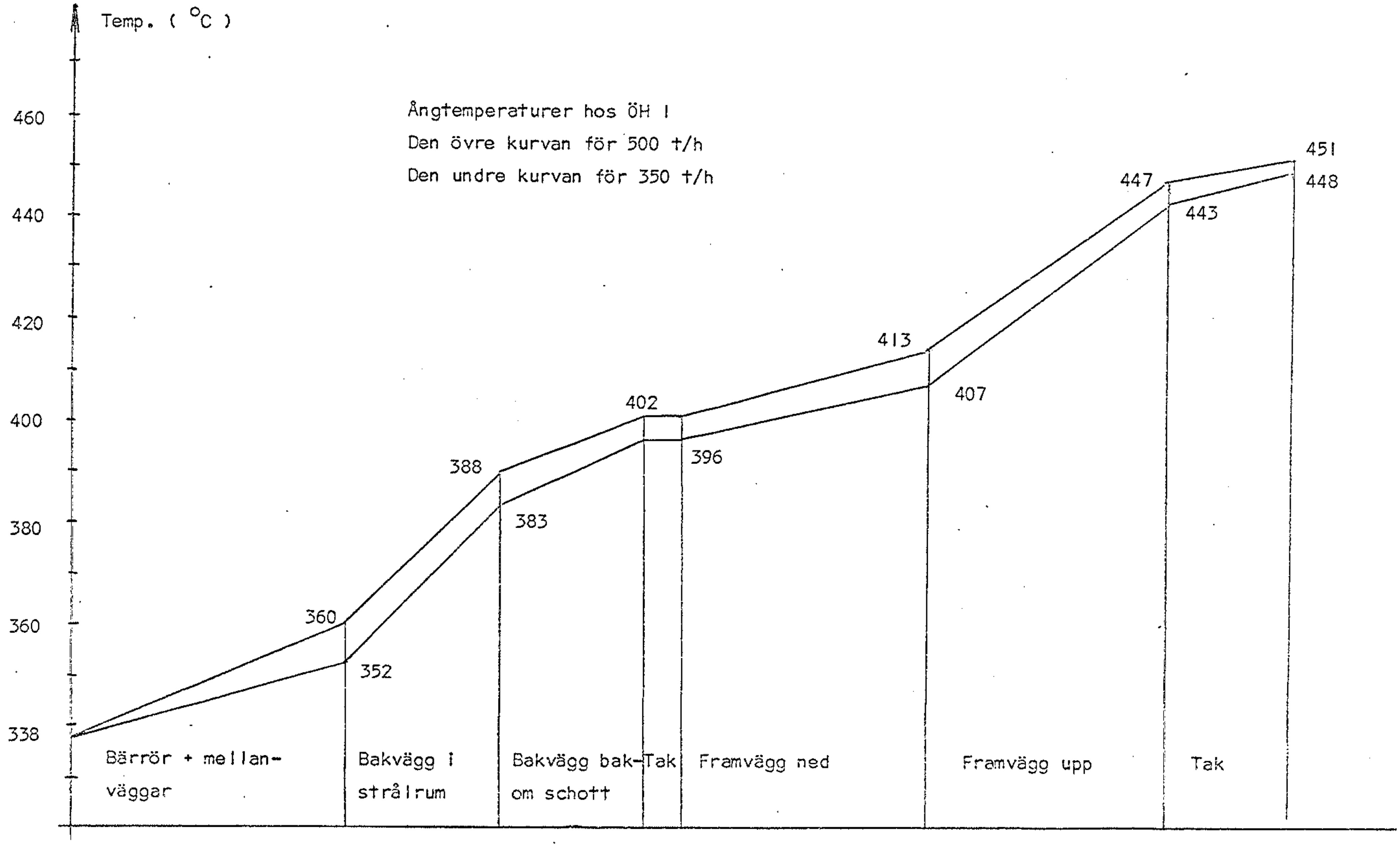
Sätt pannverkningsgraden till 0.97. Då erhålles

$Q_{uib} = 377532 : 0.97 = 389208$ kJ/s

Med $H_u = 9600$ kcal/kg, $l_v = 10.96$ Nm^3/kg br, $t_v = 40$ °C och $c_{pui} = 0.311$ kcal/Nm^3 får vi den erforderliga bränslemängden

$$B_{beräknat} = \frac{389208}{4.187 \; (9600 + 10.96 \cdot 0.311 \cdot 40)} = 9.55 \text{ kg/s}$$

Enligt mätningar skall bränsleflödet vara 34.1 t/h, dvs. 9.47 kg/s
Vi kan alltså förmoda att konfigurationen på sidan 3 är någorlunda riktig.


Temp. (°C)
460
440
420
400
380
360
338
Ångtemperaturer hos ÖH I
Den övre kurvan för 500 t/h
Den undre kurvan för 350 t/h
360
352
388
383
402
396
413
407
447
443
451
448
Bärrör + mellan-väggar
Bakvägg i strålrum
Bakvägg bak om schott
Tak
Framvägg ned
Framvägg upp
Tak

Beräkning av F-värden.

ÖH I.

För att bilda de erforderliga differenserna uträknas det tillförda värmet $\dot{Q}$ vid belastningarna 500 och 350 t/h, motsvarande värden på bränsleflödena erhålles ur bild 5.4.

$$(m_s)_{500} = 138.89 \text{ kg/s}$$

$$(m_s)_{350} = 97.22 \text{ kg/s}$$

$$\Delta m_B = 36250 - 26500 = 9750 \text{ kg/h}$$
$$= 2.708 \text{ kg/s}$$

	p(bar)	f($^\circ$C)	i(kJ/kg)	Δi	$\dot{Q}$(kJ/s)10^3	
0	142.5	338	2630.2			
1	140	360	2812.6	182.4	25.33	
2	138	402	3015.3	202.7	28.15	500 t/h
3	136.5	413	3060.0	44.7	6.21	
4	135	451	3181.1	121.1	16.82	
0	142.5	338	2630.2			
1	140	352	2762.1	131.9	12.82	
2	138	396	2985.5	223.4	21.72	350 t/h
3	136.5	407	3044.3	58.8	5.72	
4	135	448	3180.1	135.8	13.20	

	$\Delta\dot{Q}\ 10^3$	F
1	12.51	4619
2	6.43	2374
3	0.49	181
4	3.62	1337

ÖH 2.

p	t	i	Δi	$\dot{Q}\ 10^3$	$\Delta\dot{Q}\ 10^3$	
134	430	3124				
131	480	3285	158	21.25		470 t/h
					3.70	
134	430	3124				
131	480	3285	158	17.55		400 t/h

Δm_B = 34100 - 29750 = 4350 kg/h
= 1.208 kg/s

F = 3063 kJ/kg br.

ÖH 3.

p	t	i	Δi	$\dot{Q}\ 10^3$	$\Delta\dot{Q}\ 10^3$	
131	475	3268				
128	540	3449	181	24.53		470 t/h
					5.98	
131	480	3281				
128	540	3448	167	18.55		400 t/h

Δm_B = 1.208 kg/s

F = 4950 kJ/kg br.

MÖH.

p	t	i	Δi	$\dot{Q}\ 10^3$	$\Delta\dot{Q}\ 10^3$	
32.2	355	3131				
31.7	540	3543	412	52.32		470 t/h
					6.77	
32.2	353	3119				
31.7	533	3529	410	45.55		400 t/h

Δm_B = 1.208 kg/s

F = 5604 kJ/kg br.

Dom.

p	t	i	Δi	$\dot{Q}\ 10^3$	$\Delta\dot{Q}\ 10^3$	
147.7	285.4	1260.3				
145.6	339.7	2622.7	1362.4	177.86		470 t/h
					12.47	
142.5	268.7	1154.6				
138.1	335.5	2643.1	1488.5	165.39		400 t/h

Δm_B = 1.208 kg/s

F = 10325 kJ/kg br.

Beräkning av järnmassor ÖH I.

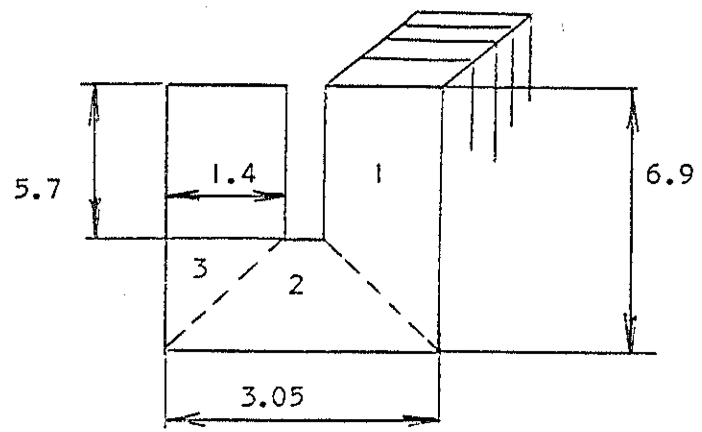
Del	Ant. rör	d_y (mm)	s (mm)	l (m)	Mat.	Massa (kg)	Σ
Bärrör MÖH-stråk	160	31.8	4.0	13.6	St.45.8	5964	
Bärrör Eko-stråk	80	31.8	4.5	13.6	15Mo3	3293	19541
Mellanväggar	268	31.8	4.0	14	15Mo3	10284	
Bakvägg 1	496	26.9	5.6	11	HT7	16041	
Bakvägg 2	496	26.9	3.6	3.8	HT8	3897	19938
Tak	496	26.9	3.6	3.8	HT5	3897	
Framvägg ned	248	35.0	4.5	12	13CrMo44	10068	13965
Framvägg upp	248	35.0	4.5	12	13CrMo44	10068	
Tak	496	26.9	3.6	7.5	HT8	7691	17759
						Σ 71203	

Samtliga material har densiteten = 7.85 kg/dm^3

Samtliga mat. har spec. värmet = 0.13 kcal/kg °C

= 0.544 kJ/kg °C

Beräkning av järnmassorna hos ÖH 2 och ÖH 3.



	Del	Ant. rör	d_y (mm)	s(mm)	Material	Massa (kg)
	1	360	31.8	5.0	HT7	7470
ÖH 2	2	360	31.8	4.5	HT8	1510
	3	360	31.8	4.0	HT5	6190
						Σ 15170
	1	400	31.8	6.0	HT7	8620
ÖH 3	2	400	31.8	5.0	HT8	1650
	3	400	31.8	5.6	13CrMo44	8170
						Σ 18440

Beräkning av järnmassa hos MÖH.

MÖH delas in i fyra sektioner av ungefär lika längd.
Sektionerna är numrerade med början i ånginloppet.

Sektion	Ant. rör	d_y(mm)	s(mm)	Material	Massa (kg)
1	480	44.5	3.6	4M10 Stato 21	23000
2	480	44.5	3.6	Stato 23	23000
3	480	44.5	3.6	Stato 28	23000
4	480	44.5	5	UDDCO 9	30800
					99800

Indata ÖH I.

G_{m1}	(kg)	19500
G_{m2}		20000
G_{m3}		14000
G_{m4}		17700
T_{s0}	(^{o}C)	338
T_{s1}		358
T_{s2}		401
T_{s3}		412
T_{s4}		450
T_{m1}	(^{o}C)	393
T_{m2}		436
T_{m3}		447
T_{m4}		485
c_{ps0}	(kJ/kg grd.)	9.21
c_{ps1}		5.61
c_{ps2}		4.01
c_{ps3}		3.74
c_{ps4}		3.15
c_{Ts0}	(kJ/kg bar)	-7.71
c_{Ts1}		-4.64
c_{Ts2}		-2.66
c_{Ts3}		-2.38
c_{Ts4}		-1.70
F_1	(kJ/kg br.)	4619
F_2		2874
F_3		181
F_4		1337
Q_{ms1}	(kJ/s)	21032
Q_{ms2}		27677
Q_{ms3}		5861
Q_{ms4}		17154
m_s	(kg/s)	130.55

$K_{a\ tot}$	$2.0539 \cdot 10^{-4}$
c_{pm} (kJ/kg grd.)	0.544

Indata ÖH 2 och ÖH 3.

	ÖH 2	ÖH 3
G_m (kg)	15170	18440
T_{s0} (^{o}C)	430	475
T_{s1}	480	540
T_{m1} (^{o}C)	515	570
c_{ps0} (kJ/kg grd.)	3.38	2.89
c_{ps1}	2.84	2.62
c_{Ts0} (kJ/kg bar)	-1.98	-1.40
c_{Ts1}	-1.40	-1.02
c_{pm} (kJ/kg grd.)	0.544	0.544
F_1 (kJ/kg br.)	3063	4950
m_s (kg/s)	134.49	135.33
Q_{ms} (kJ/s)	21249	24531
K_a	$1.6586 \cdot 10^{-4}$	$1.6333 \cdot 10^{-4}$

Indata till MÖH.

Vi antar här att värmeflödet och det totala F-värdet fördelar sig lika på de fyra sektionerna. Temperaturstegringen antas ske linjärt genom mellanöverhettaren.

G_{m1} (kg)	23000
G_{m2}	23000
G_{m3}	23000
G_{m4}	30800
T_{s0} (^{O}C)	355
T_{s1}	401
T_{s2}	447
T_{s3}	494
T_{s4}	540
T_{m1} (^{O}C)	431
T_{m2}	477
T_{m3}	524
T_{m4}	570
c_{ps0} (kJ/kg grd.)	2,32
c_{ps1}	2,27
c_{ps2}	2,25
c_{ps3}	2,25
c_{ps4}	2,25
c_{Ts0} (kJ/kg bar)	-2,10
c_{Ts1}	-1,70
c_{Ts2}	-1,37
c_{Ts3}	-1,15
c_{Ts4}	-0,97
Q_{ms} / sektion (kJ/s)	13081
F / sektion (kJ/kg br.)	1401
m_s (kg/s)	127
c_{pm} (kJ/kg grd.)	0,544
K_a	$0,31\ 10^{-4}$

9:e ordningens system.
Indata till ÖH I och MÖH.

	ÖH I	MÖH
G_m (kg)	71200	99800
T_{s0} (^oC)	338	355
T_{s1}	450	540
T_{m1}	442	501
c_{ps0} (kJ/kg grd.)	9.21	2.32
c_{ps1}	3.15	2.25
c_{Ts0} (kJ/kg bar)	-7.71	-2.10
c_{Ts1}	-1.70	-0.97
c_{pm} (kJ/kg grd.)	0.544	0.544
F_1 (kJ/kg br.)	9011	5604
m_s (kg/s)	130.55	127.00
Q_{ms} (kJ/s)	71724	52324
K_a	$2.0539\ 10^{-4}$	$0.31\ 10^{-4}$

Indata till ångkylare.

	Kyl. 1	Kyl. 2
m_{s1} (kg/s)	130.55	134.49
m_{s2}	134.49	135.53
i_1 (kJ/kg)	3187	3282
i_2	3124	3268
c_{p1} (kJ/kg grd.)	3.13	2.83
c_{p2}	3.39	2.90
c_{T1} (kJ/kg bar)	-1.68	-1.39
c_{T2}	-1.96	-1.41

K_a sättes lika med noll, ty vi försummar tryckfallet över kylarna.

Domdata.

Fallrör, läses in i DC-vektorn

Friktionskoefficient	0.1[illegible]	$V = 10.64$
Total tublängd (22 st)	638 m	
Längd av en tub	29 m	
Total flödesarea (d_y/s=177.8/16)	0.367 m^2	V
Total tubdiameter	3.21 m	V

Stigrör, läses in i R-vektorn

		$V_r = 36.96$
Friktionskoefficient	0.2	
Total tublängd (788 st)	22458 m	V
Längd av en tub	28.5 m	
Total flödesarea (d_y/s=57/5.6)	1.297 m^2	V OK
Total tubdiameter	36.09 m	V
Totala massan av stigtuberna	159310 kg	
Värme tillfört stigtuber	161359 kJ/s	

Dom, läses in i DM-vektorn

		~~13.43~~
Massan av vattnet i domen	10070 kg	~~15 m^3~~ 16.59
Volym ånga i dom	19.80 m^3	19.80
Våta ytan i domen	27 m^2	

Temperatur-täthet, läses in i TD-vektorn

Densitet hos mättat vatten	616.9 kg/m^3
Densitet hos mättad ånga	89.36 kg/m^3
Temperatur hos vatten i dom	320 °C
Temperatur hos stigtuber	460 °C
Förångningstemperatur	338 °C

Entalpi, läses in i vektor E

Entalpi hos vatten i dom	1461 kJ/kg
Entalpi hos matarvatten	1285 "
Entalpi hos mättat vatten	1579.2 "
Entalpi hos mättad ånga	2630.2 "
Förångningsentalpi	1050.9 "

Konstanter, läses in i vektor C

Prop.konstanten i temp.-tryckförhållandet vid mättnadstillstånd	0.56
Prop.konstanten i densitet-tryckförhållandet vid mättnadstillstånd	0.94
Prop.konstanten i vattenentalpi-tryckförhållandet vid mättnadstillstånd	3.93
Värmekapacitet hos vatten i dom	5.85
Värmekapacitet hos stigtuber	0.54
Prop.konstanten i ångentalpi-tryckförhållandet vid mättnadstillstånd	-2.70
Ångfördelningskonstant	2.0
Förlustfaktor	0.5
C1	-1596.0
C2	563.9

Turbindata.

Beräkning av den termodynamiska verkningsgraden hos turbinen.

Vi tittar på det fall då lasten är 160 MW.
Då gäller

i_1 = 3440 kJ/kg
i_2 = 3102 "

Det verkliga entalpifallet blir alltså

3440 - 3102 = 338

p_1 = 126 bar
i_1 = 3440 kJ/kg
p_2 = 32 bar

vilket ger $(i_2)_{adiabatisk}$ = 3040 kJ/kg

och det adiabatiska entalpifallet blir

3440 - 3040 = 400

Den termodynamiska verkningsgraden blir då

η_v = 338 / 400 = 0.845

Vi sätter då η_v = 0.85

Beräkning av ett ekvivalent massflöde, för att kompensera för avtappningen i LT-delen.
Vi tittar först på det fall då lasten är 160 MW.
HT-delens bidrag till effekten är då

$m_s \Delta i = 128.33 \cdot 338 = 43.5$ MW

LT-delens bidrag skall alltså vara 116.5 MW.
Entalpifallet över LT-delen är 1198.3 kJ/kg.
Massflödet som går in i LT-delen är 119.6 kg/s.
Detta är alltså massflödet efter mellanöverhettningen.
Vi söker nu ett ekvivalent massflöde så att det gäller

$m_{Ekv} \Delta i_{LT} = 116.5$

$Ekv \cdot 119.6 \cdot 1198.3 = 116.5 \cdot 10^3$

$Ekv = 0.813$

Prova nu hur detta värde stämmer då lasten är 135 MW.
HT-delens bidrag blir

$107 \cdot 334 = 36$ MW

LT-delens bidrag blir

$0.813 \cdot 100.4 \cdot 1206 = 98.5$ MW

Totala effekten blir

$36 + 98.5 = 134.5$ MW

Vårt beråknade Ekv-värde tycks alltså ge rätt effekt, inom det betraktade området.

Indata till turbin.

HT-del:

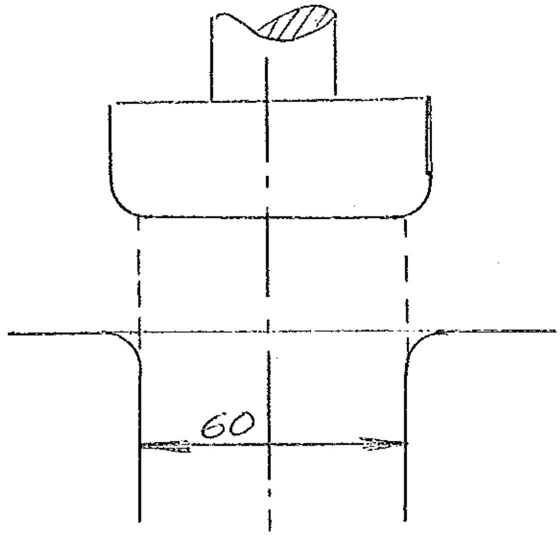
Entalpi inlopp	3445
" utlopp	3131
c_{p1}	2.58
c_{p2}	2.35
c_{T1}	-1.06
c_{T2}	-2.10
c_{ps2}	609.
d_{T1}	$-4.92 \cdot 10^{-3}$
d_{p1}	$3.19 \cdot 10^{-3}$
c_{s2}	9.76
Tryck inlopp	117
" utlopp	32.2
Massflöde	135.33
Termisk verkningsgrad	0.85
Temp. inlopp	532

LT-del:

Entalpi inlopp	3543
" utlopp	2338
c_{T1}	-0.90
c_{p1}	2.26
d_{T1}	$-1.51 \cdot 10^{-2}$
d_{p1}	$2.80 \cdot 10^{-3}$
c_{ps2}	294
Tryck inlopp	31.7
" utlopp	0.026
Massflöde (Ekv)	103.3
Termisk verkningsgrad	0.85

<u>Pådragsventil.</u>

Ventlöppning och kägla:



Med hjälp av den kurva, som visar sambandet mellan ventilslag och reglerventilens öppning för de olika ventilerna, vill vi få fram den kurva som beskriver relationen mellan total ventilarea och ventilslag.

Vi betraktar ventilarean som en cylinder. Maximal ventilarea per del skulle alltså bli

$\pi \cdot 30^2 = 2826 \text{ mm}^2$

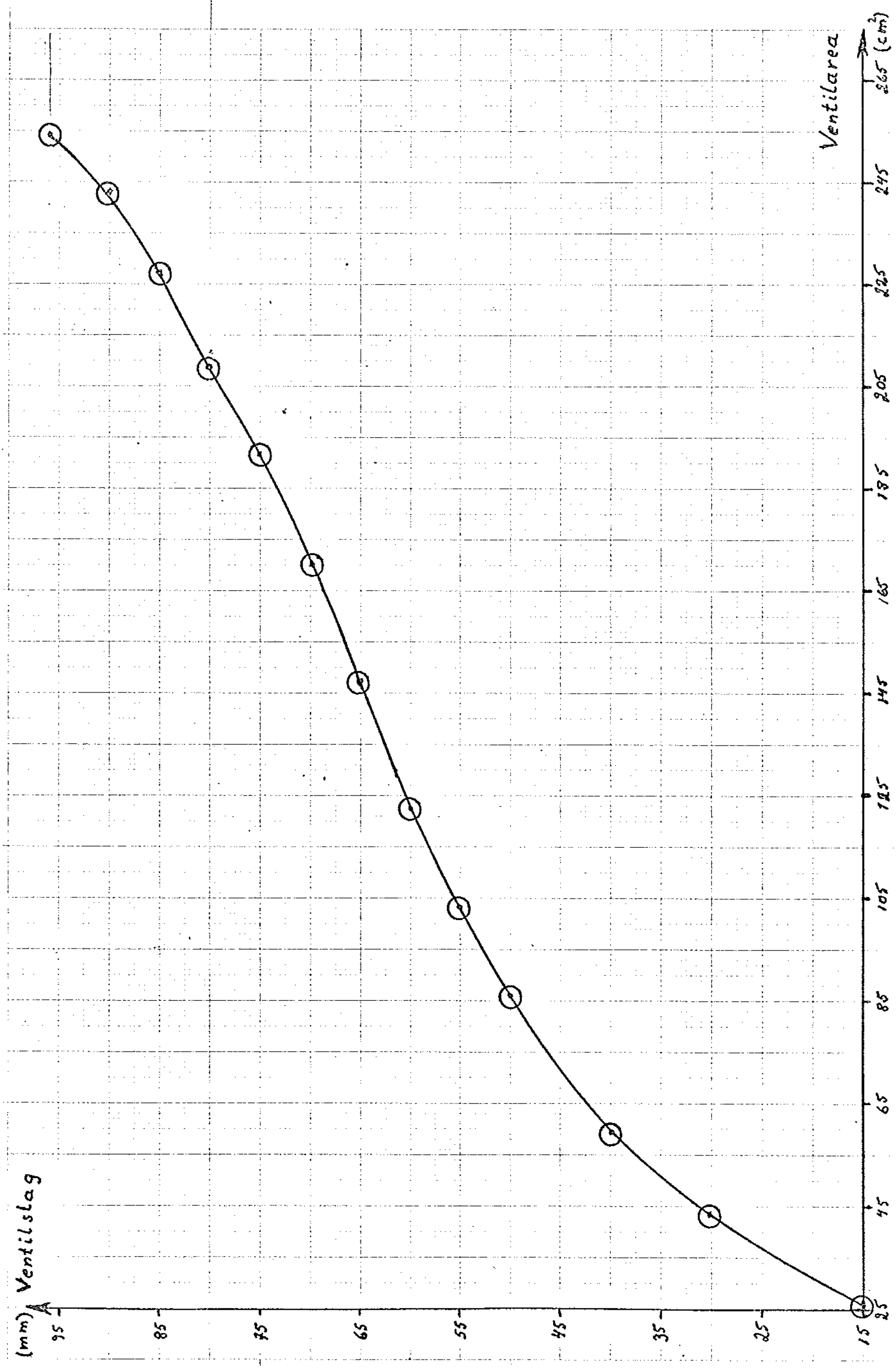
vilket inträffar då reglerventilens öppning är

$2826 / \pi \cdot 60 = 15 \text{ mm}$

Vi säger alltså att fullt öppen ventil svarar mot öppningen 15 mm. Ur kurvan ser vi att samtliga ventiler är fullt öppna då ventilslaget är 96 mm.
På nästa sida är ventilarean uträknad för olika värden på ventilslaget.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ventilslag (mm)					Ventilarea (mm^2)					Σ
96	2826	2826	2826	2826	2826	2826	2826	2826	2826	25434
90	"	"	"	"	"	"	"	2732	1789	24303
85	"	"	"	"	"	"	"	2035	848	22665
80	"	"	"	"	"	"	2600	1319		20875
75	"	"	2637	"	"	2637	1940	621		19139
70	"	"	2411	"	2750	2072	1319			17030
65	"	2675	2185	2562	2298	1526	678			14750
60	"	2374	1978	2185	1846	998				12207
55	"	2148	1752	1827	1356	471				10380
50	"	1884	1544	1432	904					8590
45	"	1601	1319	1092	433					7271
40	"	1338	1111	716						5921
30	"	829	659							4314
15	2524									2524

Ventilkarakteristika.



<u>Ventildata.</u>

vad från

Tryck inlopp	128
" utlopp	117
Förstärkning	188.5
Massflöde	135.33
Genomströmningsarea	25434 mm^2

D) Aufschreibungen der Leitstandswerte

Datum			Meßwert		Meßwert		Meßwert		Meßwert		Meßwert
Zeit											
Versuch Nr.		1		2		3		4		5	
Speisewasser:											
Menge	t/h	252		322		205		467		470	
Temp. vor Eco	°C	205	207	218	219	196	197	235	236	236	237
Temp. hint. Eco li	°C	232	227.4	251	248.1	220	214.4	288	284.5	289	285.3
Temp. hint. Eco re	°C	235	230.9	256	252.7	222	220.6	288	284.8	283	285.4
Sp.W. Druck vor Eco li.	atü		135.8		138.7		132.9		148.3		147.7
Heißdampf:											
Menge	t/h	255		330	320.4	212	201.6	470	462.1	475	466.3
Trommeldruck	atü	131.5	133.8	134.5	136.6	129	130.7	143.7	145.6	147.5	145.6
HD-Druck li/re	atü	129	128.4 / 127.8	129	128.4 / 128.7	128	127.4 / 126.7	131	131.4 / 129.8	131	131.4 / 129.6
Temperatur vor K I li	°C	454		444		443		436		438	
Temperatur vor K I re	°C	433		440		440		437		438	
Einspritzung K I li	t/h	3.0		2.3		0.6		0.8		0.9	
Einspritzung K I re	t/h	0.2		2.0		1.0		0.9		0.9	
Temperatur nach K I li	°C	431		430		431		429		429	
Temperatur nach K I re	°C	431		430		433		432		432	
Temperatur vor K II li	°C	475		482		470		482		483	
Temperatur vor K II re	°C	472		478		470		482		483	
Einspritzung K II li	t/h	0		0		0		0.5		0.6	
Einspritzung K II re	t/h	0		0		0		0.6		0.5	
Temperatur nach K II li	°C	472		477		470		478		477	
Temperatur nach K II re	°C	472		476		470		480		480	
HD-Austritt li (Komp. graph.)	°C	540	539.6	540	533.7	537	535.6	541	534.8	540	538
HD-Austritt re (Komp. graph.)	°C	542	539.8	541	531.5	535	534.4	541	537.4	540	538
Zwischenüberhitzer:											
Menge	t/h				302.3		193.9		432.4		434.0
Druck vor ZÜ	atü	17.3		22.4		13.9		32.2		32.3	
Druck nach ZÜ	atü	17.0		21.9		13.7		31.7		31.9	
Effekt	MW		87.9		112.4		71		160.6		161.1

L. & C. STEINMÜLLER GMBH GUMMERSBACH	Malmö P 16 Kesselleitstandwerte	2

Versuch		1		2		3		4		5	
Temperatur vor K ZÜ li	°C	345	342.1	349	347.2	336	334.1	356	354.1	357	355
Temperatur vor K ZÜ re	°C	343	342.8	348	347.3	334	333.9	355	354.2	355	354.9
Einspritzung K ZÜ li	t/h	0		0		0		0		0	
Einspritzung K ZÜ re	t/h	0		0		0		0		0	
Temperatur nach K ZÜ li	°C	348		352		338		359		360	
Temperatur nach K ZÜ re	°C	348		351		339		358		359	
Temperatur nach ZÜ li	°C	544	540	541	541.2	522	520.7	536	539.8	536	539.8
Temperatur nach ZÜ re	°C	546	538	542	537.9	523	519	539	534.1	539	534.5
Frischluft:											
Menge oben li 10^3	Nm^3/h	55		70		90		97		97	
Menge oben re 10^3	Nm^3/h	57		70		93		107		108	
Menge unten li 10^3	Nm^3/h	55		73		-		98		97	
Menge unten re 10^3	Nm^3/h	64		76		-		92		92	
Menge Summe 10^3	Nm^3/h	231		289		183		394		394	
Druck hinter Lüfter li	mm WS	240		295		225		375		380	
Druck hinter Lüfter re	mm WS	240		295		225		375		380	
Druck vor Luvo li	mm WS	235		300		220		370		375	
Druck vor Luvo re	mm WS	235		280		220		360		370	
Druck hinter Luvo li	mm WS	210		250		200		290		295	
Druck hinter Luvo re	mm WS	210		250		200		290		290	
Druck vor Br. oben li	mm WS	175		210		150		230		230	
Druck vor Br. oben re	mm WS	175		200		145		220		225	
Druck vor Br. unten li	mm WS	155		180		-		210		210	
Druck vor Br. unten re	mm WS	150		180		-		210		210	
Temperatur hinter Lüfter li	°C		42		44		43		43		44
Temperatur hinter Lüfter re	°C		43		44		43		43		44
Temperatur vor Luvo li	°C		54		57		52		45		58
Temperatur vor Luvo re	°C		60		64		64		44		60
Temperatur hinter Luvo li	°C		404		419		380		446		448
Temperatur hinter Luvo re	°C		397		400		375		439		442
vor Brennergr.-Lufttemp. °C	LO		397		401		376		407		412
	LU		408		418		363		414		437
	RO		395		405		371		416		420
	RU		403		417		344		436		439
Heizöl											
Menge / Steinm. Diff-Druck Messung	t/h	18.9		23.5		15.7	16.58	33.4		33.5	34.1
Menge Br. oben li	t/h						8.26				8.6
Menge Br. oben re	t/h						8.32				8.4
Menge Br. unten li	t/h										8.7
Menge Br. unten re	t/h										8.4
Öltemperatur vor Brenner	°C	98		96		97		94		95	
Menge Korr.	Kg/h		19176		24064		15850		33650		33827

L. & C. STEINMÜLLER GMBH GUMMERSBACH	Malmö P 16 Kesselleistandswerte	3

Versuch		1		2		3		4		5		
Druck Vorlauf	atü	37		41.5		49.5		50.5		51		
Druck Rücklauf	atü	16		21		29		31.5		31.5		
Differenzdruck	at	21		20.5		20.5		19		19.5		
Düsen-Nr. 1121/1811				=		=		=		=		
Brenner-Nr.		1-12		1-12		7-12		1-12		1-12		
Rauchgas												
Zug Feuerraum	mm WS	5		5		4		4		4		
Zug vor Eco li/re	mm WS	9/11		9/11		8/9		8/8		9/10		
Zug ~~vor~~ Eco re/li	mm WS	24/28		26/31		22/27		38/46		40/47		
Zug nach ZÜ li	mm WS	85		107		65		140		140		
Zug nach ZÜ re	mm WS											
Zug vor Luvo li	mm WS	83		115		60		140		142		
Zug vor Luvo re	mm WS	83		115		60		143		145		
Zug hinter Luvo li	mm WS	135		168		85		250		255		
Zug hinter Luvo re	mm WS	155		198		122		280		280		
Temperatur vor ZÜ	°C	740		740		780		795		795		
Temperatur vor Eco li	°C	535		675		500		785		785		
Temperatur vor Eco re	°C	615		695		500		800		785		
Temperatur hinter ZÜ li	°C											
Temperatur hinter ZÜ re	°C											
Temperatur ~~hinter Eco~~ vor Luvo li	°C				452		421		475		476	
Temperatur ~~hinter Eco~~ vor Luvo re	°C				458		419		493		486	
Temperatur hinter Luvo li	°C	158		166	158	145	136	160	149	179	170	
Temperatur hinter Luvo re	°C	152		165	159	148	144	154	149	176	170	
Zug vor Saugzug li/re	mmWS	138/134		188/189		197/192		277/272		283/280		
O_2-Gehalt												
vor Luvo li	%	0.85	0.9	0.85	0.77	1.05	1.09	0.9	0.74	0.8	0.69	
vor Luvo re	%	0.8	0.95	0.8	0.77	0.65	0.77	0.6	0.63	0.6	0.66	
hinter Luvo li	%		3.14		3.24		4.1		3.31		2.93	
hinter Luvo re	%		2.95		2.74		2.71		1.70		1.9	
Klappenstellung												
Eco-Klappe li	%	2		10		0		27		28		
Eco-Klappe re	%	2		10		0		28		28		
ZÜ-Klappe li	%	100		100		100		100		100		
ZÜ-Klappe re	%	100		100		100		100		100		

L. & C. STEINMÜLLER GMBH GUMMERSBACH	Malmö P 16 Kesselleitstandswerte	1

Datum			Meßwert		Meßwert		Meßwert		Meßwert		Meßwert
Zeit											
Versuch Nr.		6		7		8		10a		10b	
Speisewasser:											
Menge	t/h	492		395		67		441		465	
Temp. vor Eco	°C	238	239	227	229	150	149	210 (232)	211 (233)	213	213
Temp. hint. Eco li	°C	292	289.7	272	268.9	188	184.4	277 (288)	272 284	276	273
Temp. hint. Eco re	°C	293	290.1	272	268.7	192	188.3	277 (280)	273.2	275	271.9
Sp.W. Druck vor Eco li.	atü		147.7		142.5		128.5 (mit FV 7)				
Heißdampf:											
Menge	t/h	500	488.0	405		70	70.35	446 (448)	[illegible]	474	
Trommeldruck	atü	143.5	145.6	138.1	140.6	128.0	127.7	140.5	144.6 143.6	140.8	144.6
HD-Druck li/re	atü	130	129.4 127.8	130	130.4 127.7	127.5	126.4 125.7	131	131.4 130.4	130.	129.4 126.7
Temperatur vor K I li	°C	439		435		403		447		445	
Temperatur vor K I re	°C	435		440		405		450		451	
Einspritzung K I li	t/h	1.3		0.7		0		4.0		3.2	
Einspritzung K I re	t/h	0.7		0.5		0		4.5		4.4	
Temperatur nach K I li	°C	431		428		400		430		431	
Temperatur nach K I re	°C	429		432		402		430		433	
Temperatur vor K II li	°C	485		482		420		485		487	
Temperatur vor K II re	°C	480		482		422		484		486	
Einspritzung K II li	t/h	0.7		0		0		1.5		0.6	
Einspritzung K II re	t/h	0.6		0		0		1.5		2.9	
Temperatur nach K II li	°C	480		482		420		478		481	
Temperatur nach K II re	°C	479		482		422		479		477	
HD-Austritt li (Komp. graph)	°C	540	537	542	541	475	471.4	538	539 538	537	539
HD-Austritt re (Komp. graph)	°C	540	536.9	543	541	475	472.2	540	537 536.5	539	536.7
Zwischenüberhitzer:											
Menge	t/h		451.0				65.3				
Druck vor ZÜ	atü	33.8		27.3		3.2		32.1		33.8	
Druck nach ZÜ	atü	33.3		26.8		2.8		31.5		33.4	
Effekt	MW		169		135.9		20.2		154. 156.6		165.1

L. & C. STEINMÜLLER GMBH GUMMERSBACH	Malmö P 16 Kesselleitstandwerte	2

Versuch		6		7		8		10a		10b	
Temperatur vor K ZÜ li	°C	358	356	355	353	258	257.7	362	354 360	365	362
Temperatur vor K ZÜ re	°C	357	356	354	352.8	256	255.5	360	357 360	363	362
Einspritzung K ZÜ li	t/h	0		0		0		0		0	
Einspritzung K ZÜ re	t/h	0		0		0		0		0	
Temperatur nach K ZÜ li	°C	361		358		262		365		363	
Temperatur nach K ZÜ re	°C	360		357		260		364		366	
Temperatur nach ZÜ li	°C	535	539.7	540	530	440	438.6	530	536.5 533.9	530	532.3 536.6
Temperatur nach ZÜ re	°C	539	534	540	523.1	445	434.7	535	540.8 544.2	535	540.1 541.6
Frischluft:											
Menge oben li	10^3 Nm^3/h	101		80		36		94		99	
Menge oben re	10^3 Nm^3/h	104		91		34		108		117	
Menge unten li	10^3 Nm^3/h	100		86				94		97	
Menge unten re	10^3 Nm^3/h	106		83				99		101	
Menge Summe	10^3 Nm^3/h	411		340		70		395		414	
Druck hinter Lüfter li	mm WS	410		280		225		370		380	
Druck hinter Lüfter re	mm WS	405		270		225		370		380	
Druck vor Luvo li	mm WS	400		270		225		365		375	
Druck vor Luvo re	mm WS	390		265		220		365		370	
Druck hinter Luvo li	mm WS	310		210		220		290		290	
Druck hinter Luvo re	mm WS	310		210		220		290		290	
Druck vor Br. oben li	mm WS	240		165		190		230		230	
Druck vor Br. oben re	mm WS	240		165		185		215		210	
Druck vor Br. unten li	mm WS	220		140		-		210		210	
Druck vor Br. unten re	mm WS	220		140		-		210		210	
Temperatur hinter Lüfter li	°C		44		40		45		40		42
Temperatur hinter Lüfter re	°C		44		42		47		42		44
Temperatur vor Luvo li	°C		44		53		50		40		42
Temperatur vor Luvo re	°C		44		61		60		41		44
Temperatur hinter Luvo li	°C		450		433		299		439		445
Temperatur hinter Luvo re	°C		441		430		299		430		437
Vor Brennergr.-Lufttemp. °C	LO		411		399		291		401		437
	LU		435		420		293		425		430
	RO		417		408		296		407		[illegible]
	RU		418		426		294		429		436
Heizöl											
Menge / Steinm. Diffdruck Messung	t/h	35.1	36.15	28.2	28.7	5.8		33.0 (31.8)		34.8	
Menge Br. oben li	t/h		8.15		7.08						
Menge Br. oben re	t/h		9.15		7.14						
Menge Br. unten li	t/h		9.15		7.23						
Menge Br. unten re	t/h		9.0		7.25						
Öltemperatur vor Brenner	°C	94		94		97		96		96	
Menge Korr.	Kg/h	35375		28745		5750		32332 33149		35000	

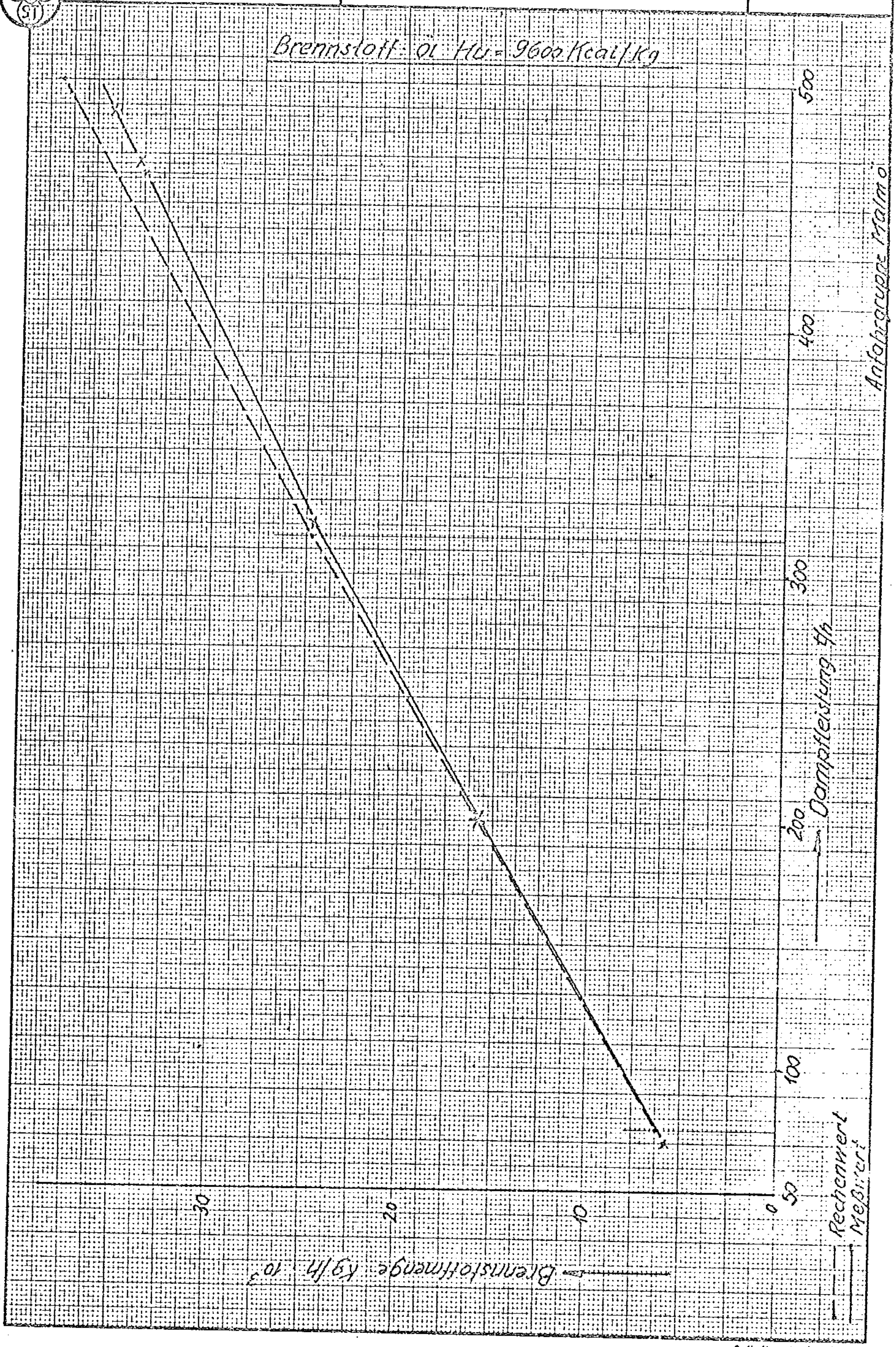
L. & C. STEINMÜLLER GMBH GUMMERSBACH	Malmö P 16 Kesselleitstandswerte	3

Versuch	Einheit	6	Meßwert	7	Meßwert	8	Meßwert	10a	Meßwert	10b		
Druck Vorlauf	atü	52.5		46.5		54		50.5		52		
Druck Rücklauf	atü	33		26.5		34		30.5		32		
Differenzdruck	at	19.5		20		20		20		20		
Düsen-Nr. M21/1811		〃		〃		〃		〃		〃		
Brenner-Nr.		1-12		1-12		8+11		1-12		1-12		
Rauchgas												
Zug Feuerraum	mm WS	4		4-5		5		4-5		5		
Zug vor Eco li/re	mm WS	9/10		9/10		10/11		10/11		10/11		
Zug ~~vor~~ Eco re/li	mm WS	44/52		30/38		23/28		43/53		45/55		
Zug nach ZÜ li	mm WS	143		123		33		135		143		
Zug nach ZÜ re	mm WS											
Zug vor Luvo li	mm WS	150		124		25		136		146		
Zug vor Luvo re	mm WS	150		124		25		136		148		
Zug hinter Luvo li	mm WS	270		210		49		245		265		
Zug hinter Luvo re	mm WS	295		235		65		270		290		
Temperatur vor ZÜ	°C	800		750		520		780		780		
Temperatur vor Eco li	°C	805		755		380		790		800		
Temperatur vor Eco re	°C	810		750		380		805		805		
Temperatur hinter ZÜ li	°C											
Temperatur hinter ZÜ re	°C											
Temperatur ~~hinter Eco~~ vor Luvo li	°C		491				322					
Temperatur ~~hinter Eco~~ vor Luvo re	°C		498				323					
Temperatur hinter Luvo li	°C	165	157	168		114	100	155		160		
Temperatur hinter Luvo re	°C	160	156	169		115	103	149		156		
Zug vor Saugzug li/re	mmWS	300/295		235/227		29/29		[illegible]		[illegible]		
O_2-Gehalt												
vor Luvo li	%	0.8	0.75	0.7	0.76	3.0	3.1	1.2		1.0		
vor Luvo re	%	0.7	0.83	0.6	0.8	3.0	3.15	0.9		0.9		
hinter Luvo li	%		2.52		3.0		11.4					
hinter Luvo re	%		1.6		2.0		8.7					
Klappenstellung												
Eco-Klappe li	%	32		19		0		32		32		
Eco-Klappe re	%	32		18		0		32		32		
ZÜ-Klappe li	%	100		100		100		100		100		
ZÜ-Klappe re	%	100		100		100		100		100		

L. & C. STEINMÜLLER GMBH GUMMERSBACH

Malmö P16 03.5760

Bild 5.4

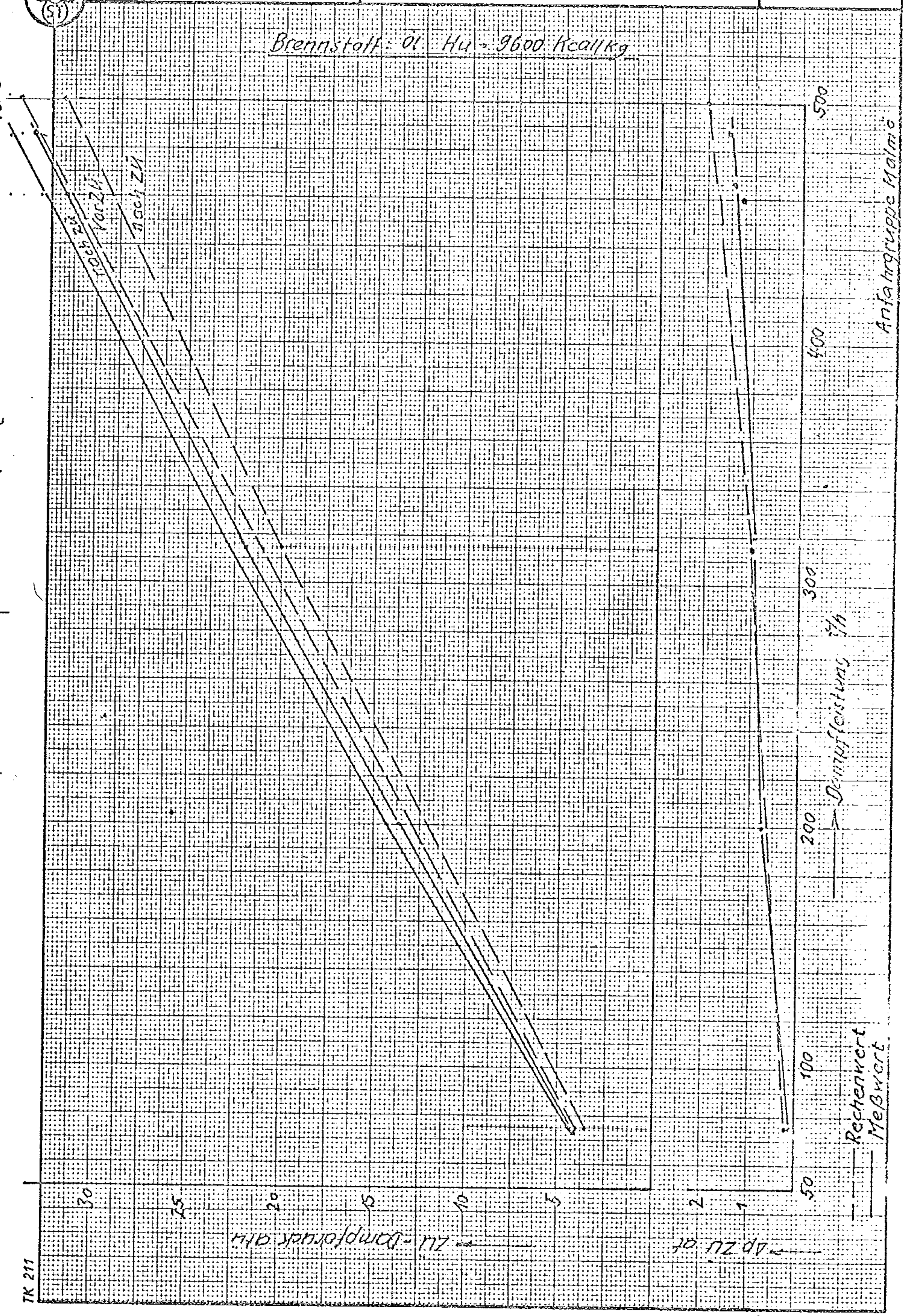


TK 211

L. & C. STEINMÜLLER GMBH GUMMERSBACH

Malmö P16 03.5760

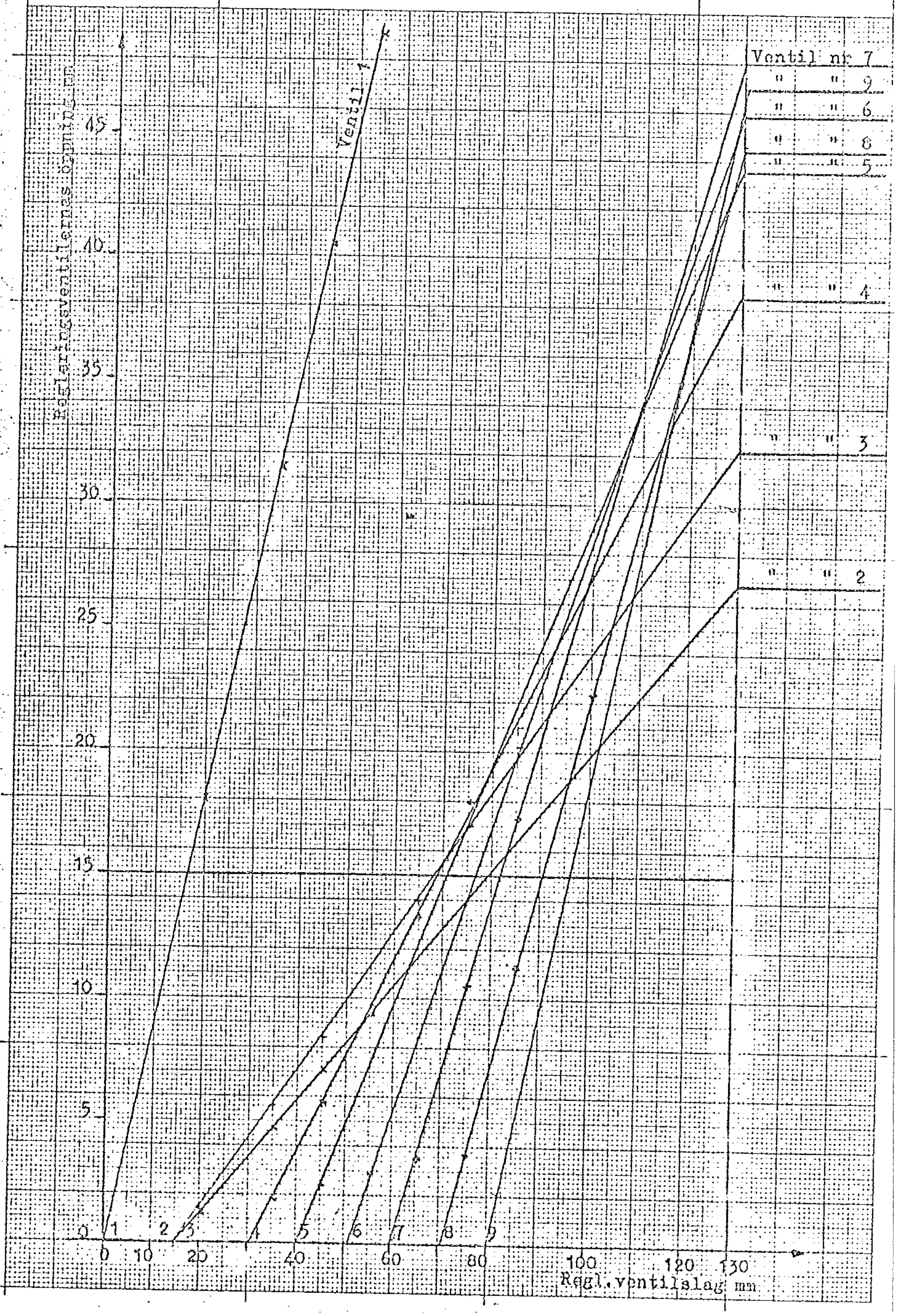
Bild 2.2

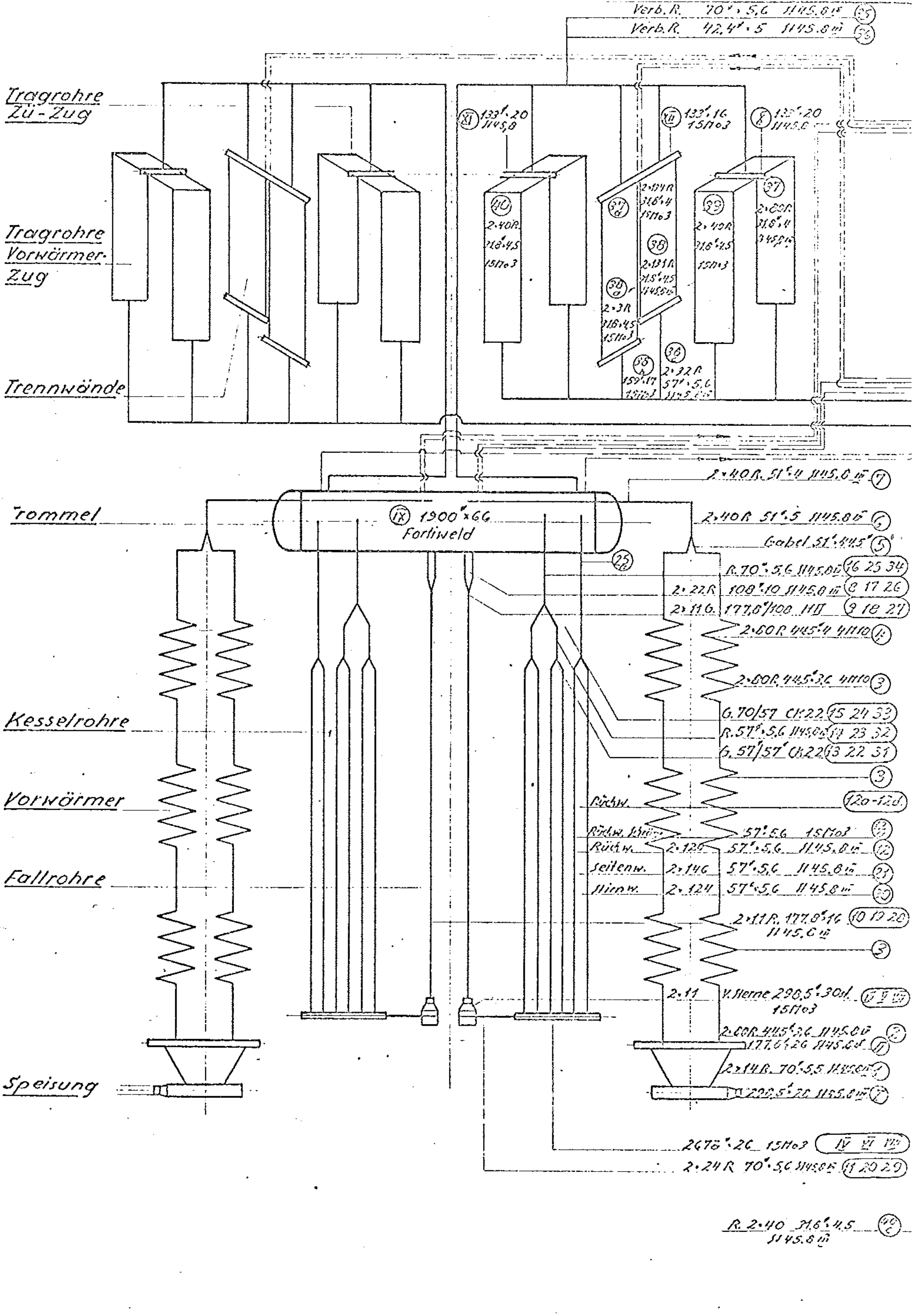


Sydkraft
Ångkraftbyrån
6.5.1965/Fnn

G 16 Regl.-vent.
Regl.-vent. öppning enl. ritning 78836.

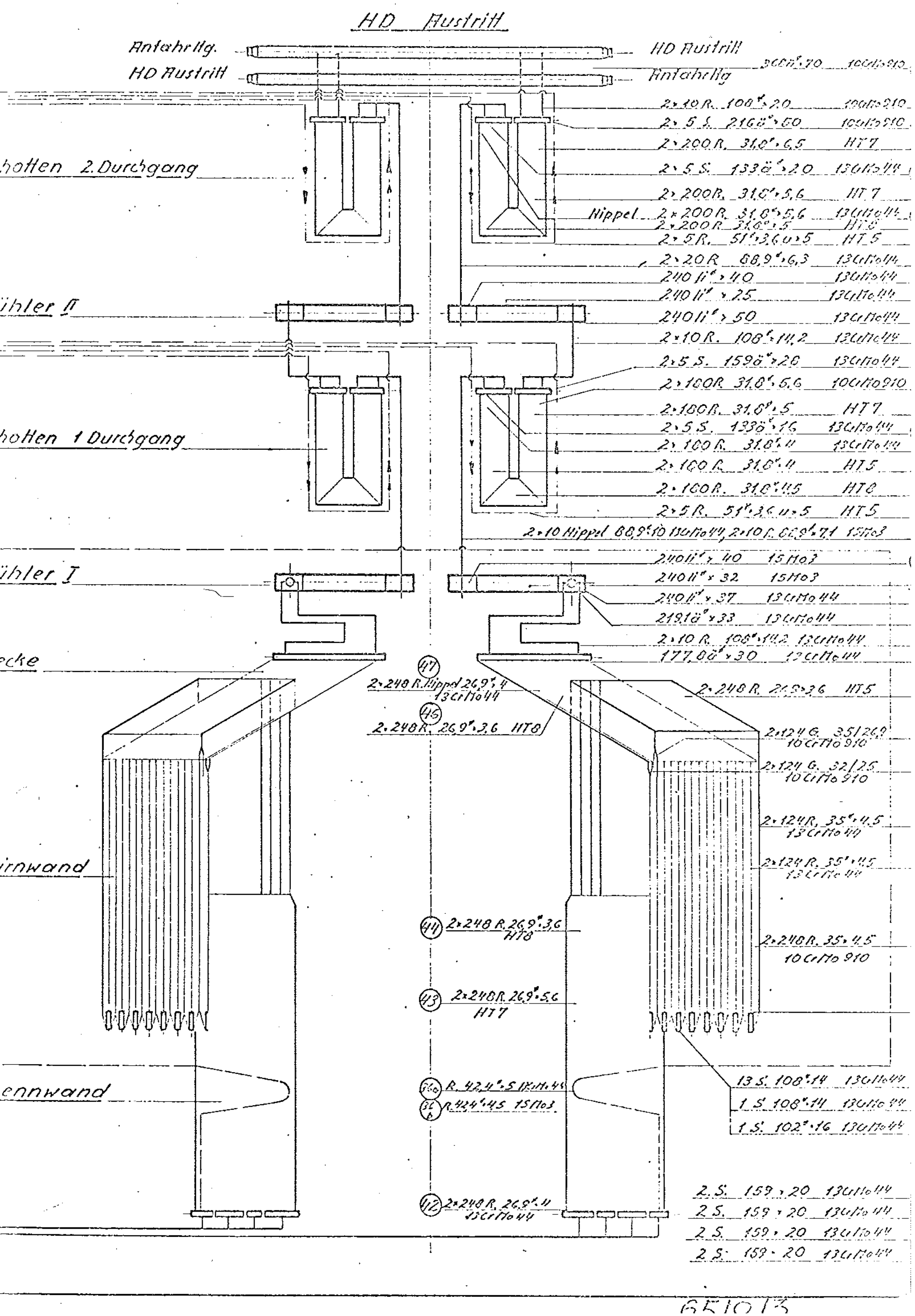
ÅP - 15



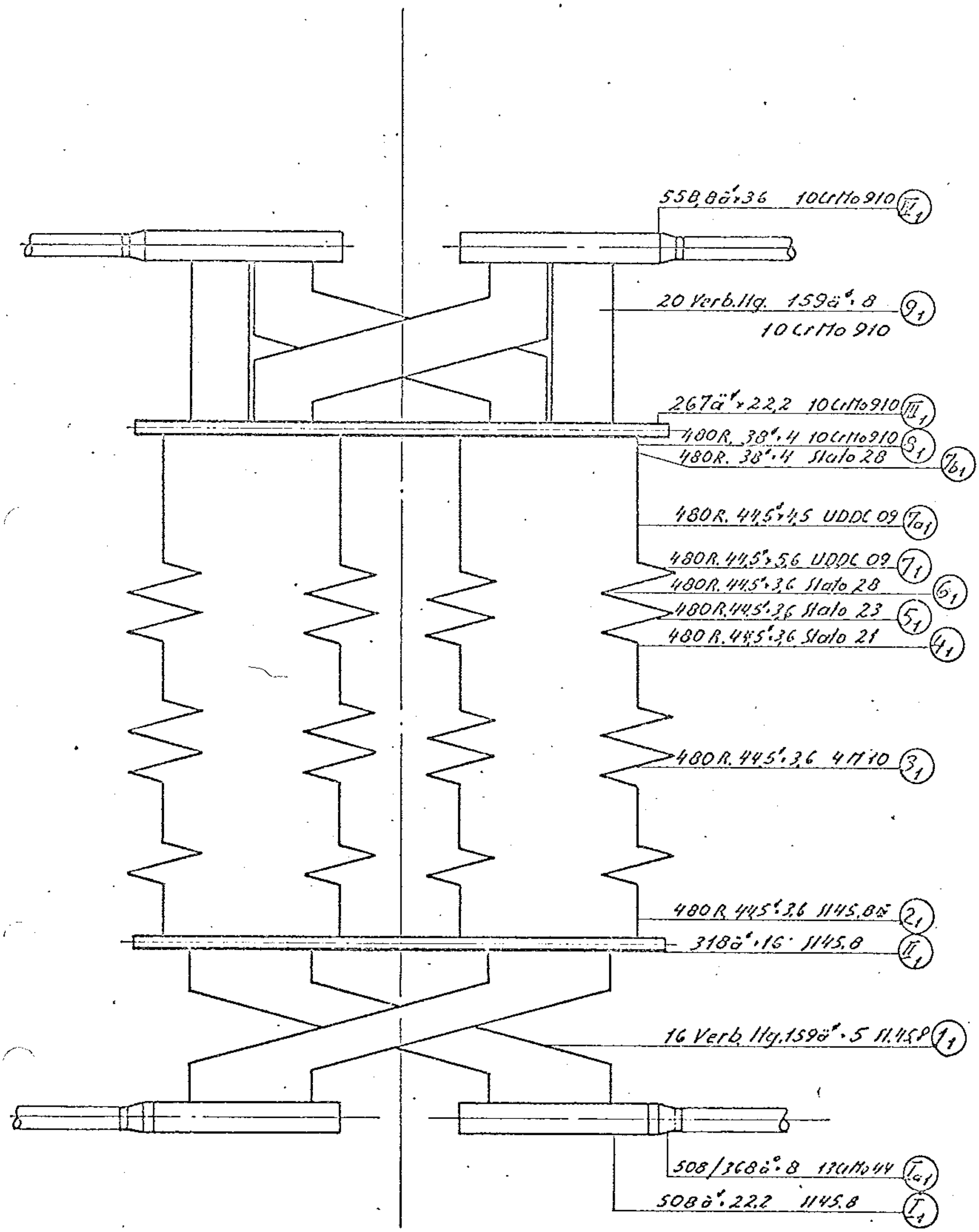


Tragrohre Zü-Zug
Tragrohre Vorwärmer-Zug
Trennwände
Trommel
Kesselrohre
Vorwärmer
Fallrohre
Speisung
Verb. R. 70⌀ · 5,6 11 45,8
Verb. R. 42,4⌀ · 5 11 45,8
1900⌀ × 66 Fortiweld
Gabel 51⌀ 445⌀
Rückw.
Seitenw.
Stirnw.
2 · 40 R 51⌀ · 4 11 45,8
2 · 40 R 51⌀ · 5 11 45,8
2 · 60 R 44,5⌀ · 4 41110
2 · 60 R 44,5⌀ · 3,6 41110
G. 70/57 Ck 22
R. 57⌀ · 5,6 11 45,8
G. 57/57 Ck 22
57⌀ · 5,6 15 Mo 3
2 · 11 R 177,8⌀ · 16 11 45,8
V. Sterne 298,5⌀ · 30 d. 15 Mo 3
2 · 14 R 70⌀ · 5,5 11 45,8
267⌀ · 26 15 Mo 3
2 · 24 R 70⌀ · 5,6 11 45,8
R. 2 · 40 31,6⌀ · 4,5 11 45,8

651013


HD Austritt
Anfahrltg.
HD Austritt
HD Austritt
Anfahrltg
hotten 2. Durchgang
2×10 R. 108°×20
2×5 S. 216ä°×50
2×200 R. 31,8°×6,5 HT7
2×5 S. 133ä°×20 13CrMo44
2×200 R. 31,8°×5,6 HT7
Nippel 2×200 R. 31,8°×5,6 13CrMo44
2×200 R. 31,8°×5 HT8
2×5 R. 51°×3,6 u×5 HT5
2×20 R 88,9°×6,3 13CrMo44
240 li°×40 13CrMo44
240 li°×25 13CrMo44
ühler II
240 li°×50 13CrMo44
2×10 R. 108°×14,2 13CrMo44
2×5 S. 159ä°×20 13CrMo44
2×100 R 31,8°×6,6 10CrMo910
2×100 R. 31,8°×5 HT7
2×5 S. 133ä°×16 13CrMo44
hotten 1 Durchgang
2×100 R. 31,8°×4 13CrMo44
2×100 R. 31,8°×4 HT5
2×100 R. 31,8°×4,5 HT8
2×5 R. 51°×3,6 u×5 HT5
2×10 Nippel 88,9°×10 13CrMo44, 2×10 R. 88,9°×7,1 15Mo3
ühler I
240 li°×40 15Mo3
240 li°×32 15Mo3
240 li°×37 13CrMo44
219,1ä°×33 13CrMo44
2×10 R. 108°×14,2 13CrMo44
ecke
177,8ä°×30 13CrMo44
47
2×248 R. Nippel 26,9°×4 13CrMo44
2×248 R. 26,9×3,6 HT5
46
2×248 R. 26,9°×3,6 HT8
2×124 G. 35/26,9 10CrMo910
2×124 G. 32/25 10CrMo910
2×124 R. 35°×4,5 13CrMo44
2×124 R. 35°×4,5 13CrMo44
irnwand
44
2×248 R. 26,9°×3,6 HT8
2×248 R. 35×4,5 10CrMo910
43
2×248 R. 26,9°×5,6 HT7
13 S. 108°×14 13CrMo44
ennwand
R. 42,4°×5 13CrMo44
R. 42,4°×4,5 15Mo3
1 S. 108°×14 13CrMo44
1 S. 102°×16 13CrMo44
42
2×248 R. 26,9°×4 13CrMo44
2. S. 159×20 13CrMo44
2. S. 159×20 13CrMo44
2. S. 159×20 13CrMo44
2. S. 159×20 13CrMo44
65IO13

Zwischenüberhitzer Austritt.

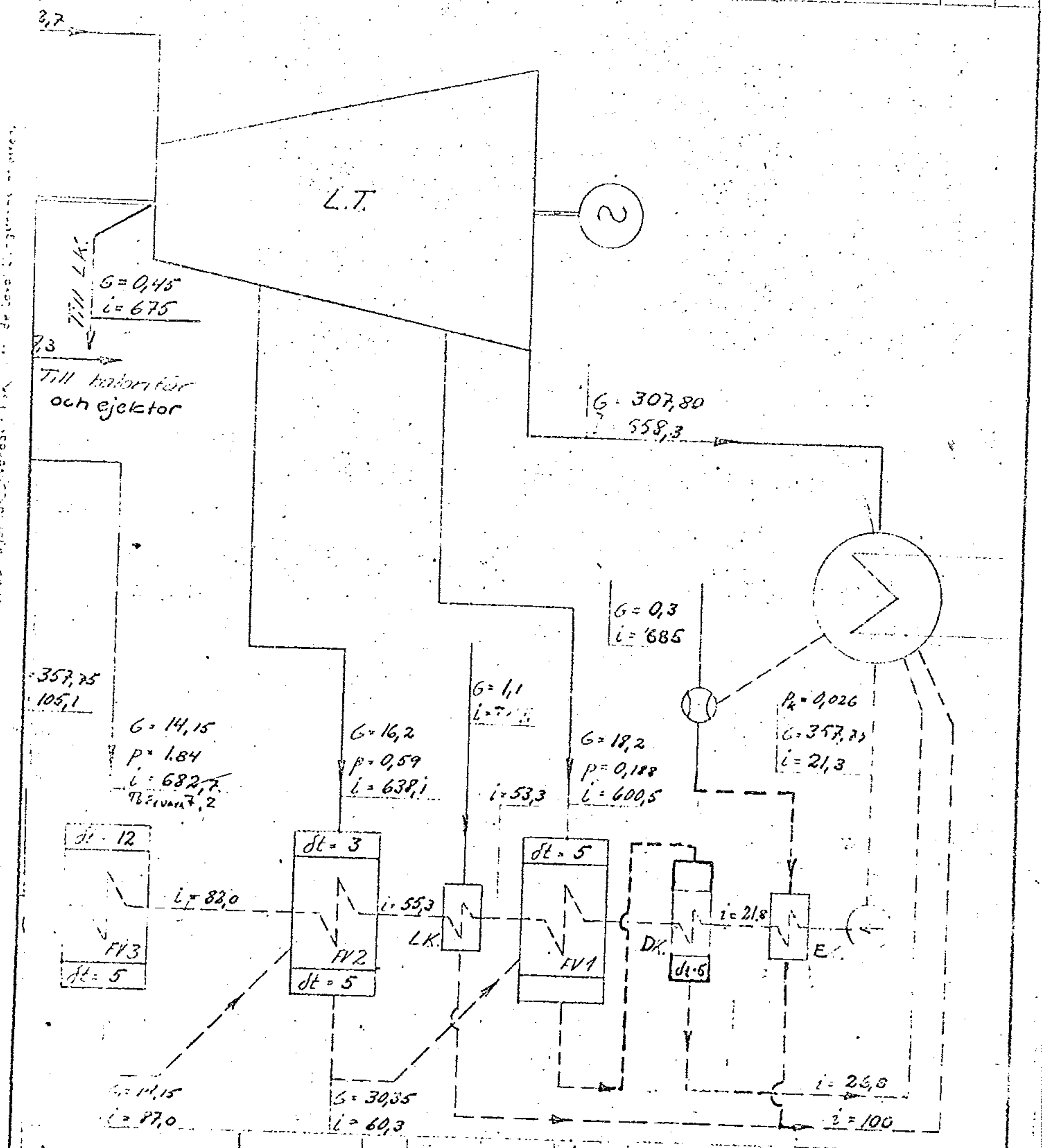


Zwischenüberhitzer Eintritt

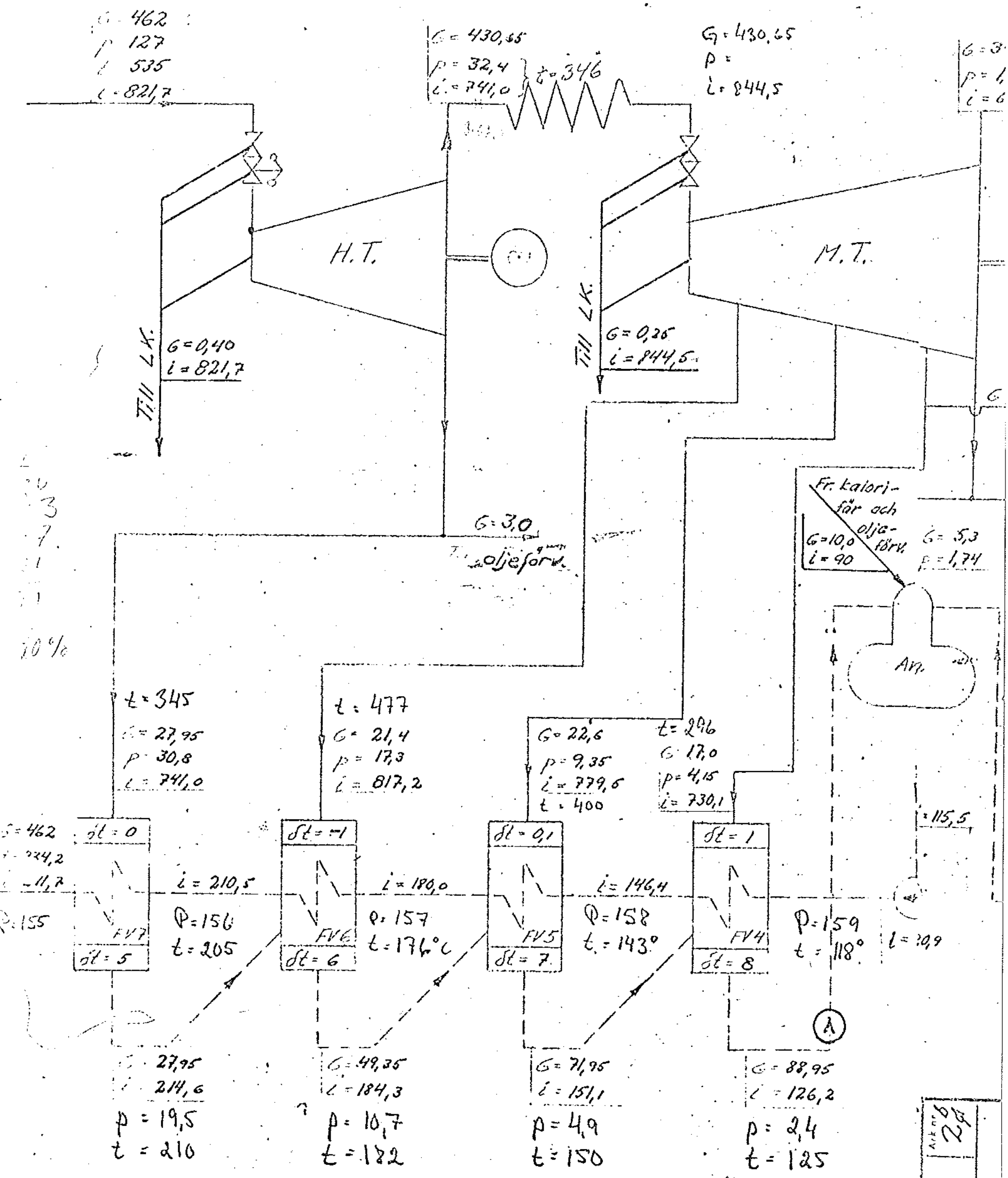
No. 651013

12.10.65 ...

Bet.	Ändring	Införd



Delbeteckning Ritad 18/4 -61 Gf. Kontr. Prodgr. Godk.	Material (sluttillstånd) Ytjämnhet	Tol. för icke direkt toleranssatta mått enl. K-20021-1 SMS 715 medel. Garanti.
Arkivnummer:	Överensstämmer i princip med	Skala DF HG
de Laval Ljungström FINSPONG SWEDEN	B-2101-2102 Last: 160 MW.	Ark. nr 206 Ant. ark 96 164



G = mängd i [t/h]

p = tryck i [ata]

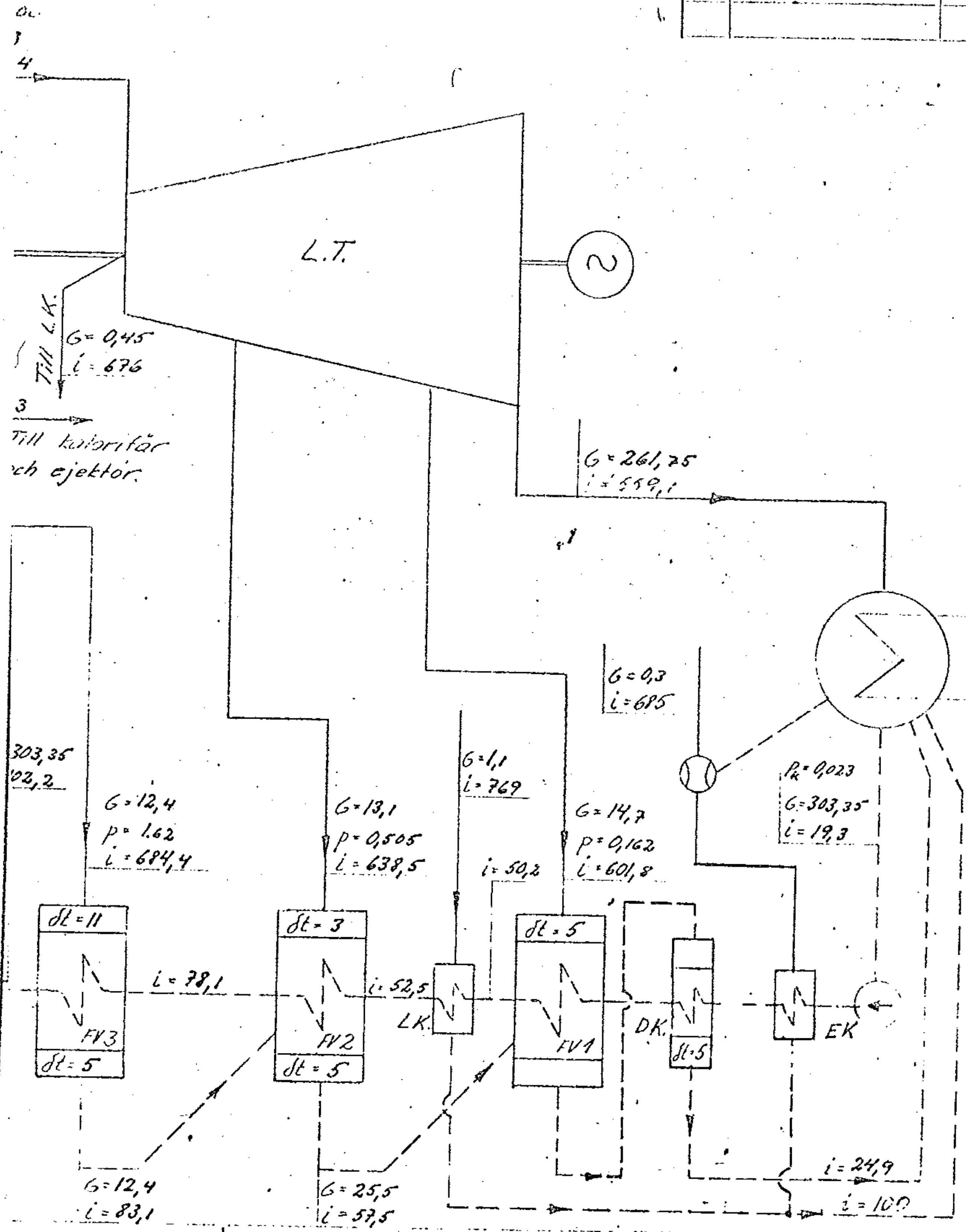
t = temp. i [°C]

i = entalpi i [kcal/kg]

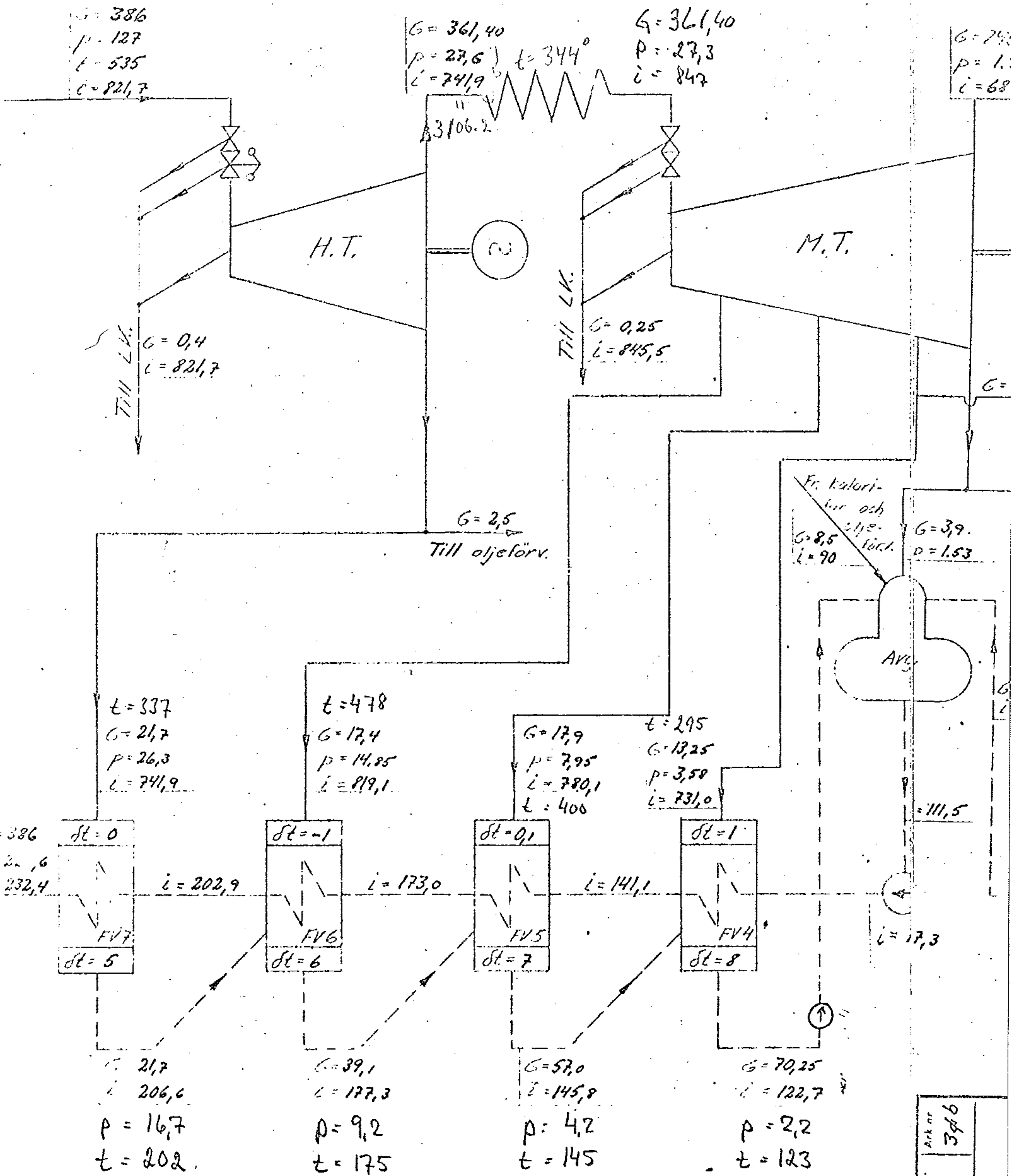
535
345
190

96164

Bet.	Ändring	Införd



Delbeteckning	Material (sluttillstånd)	Tol. för icke direkt toleranssatta mått enl. K-20021-1 SMS 715 medel. Garanti.	
Ritad 20/10-61	Ytjämnhet		
Kontr. / Prodgr. / Godk.	Överensstämmer i princip med	Skala	DF / HG
Arkivnummer:			
de Laval Ljungström FINSPONG SWEDEN	B-2101-2102 Last: 135 MW.	Ark. nr 306	Ant. ark
		96164	



G = mängd i [t/h]

p = tryck i [ata]

t = temp. i [°C]

i = entalpi i [kcal/kg]

Ark nr 3#6

96164

TYP

PROGRAM.

```
      PROGRAM ORESUND
C
C     COMPUTES THE STANDARD FORM S(A,B,C,D) OF A 15TH ORDER BOILER AND
C     TURBINE MODEL, GIVEN THE ORIGINAL LINEARIZED EQUATION MATRICES AA,
C     THESE MATRICES ARE COMPUTED IN THE SUBROUTINES.
C     THE INPUT DATA ARE MACRO BOILER DATA.
C     REQUIRED INPUT DATA ARE LISTED IN THE COMMENTS OF THE SUBROUTINES.
C     REFERENCE,C.LARSSON-C.OHBOM,
C     MATEMATISK MODELL AV ETT ANGKRAFTVERK.
C     AUTHORS,C.LARSSON-C.OHBOM, MAJ-69
C
C     SUBROUTINES REQUIRED
C        DRSM
C        SHEATER
C        ATTEMP
C        VALVE
C        TURBINE
C
      DIMENSION AA(51,71),AA1(20,20),SV(10),DC(10),R(10),DM(10),TD(10),E
     *(10),G(10),F(15),TS(15),TM(15),CPS(15),C1S(15),CPM(15),GM(15),OMS(
     *15),BK(15),Q1(20,20),AMS(15),AI(15),B2(5),D2(5),P(5),D1(20,20),A11
     *(5),C1(5),CP(5),Q(34,50)
C
C     READ DRUM-DATA
C
      READ 1001,ICRITIC
 1001 FORMAT(I1)
      READ 1,(DC(I),I=1,5)
      READ 1,(R(I),I=1,7)
      READ 1,(DM(I),I=1,3)
      READ 1,(TD(I),I=1,5)
      READ 1,(E(I),I=1,5)
      READ 1,(G(I),I=1,10)
      READ 1,F(1)
    1 FORMAT(4E20.10)
      IPRINT = 1
      IA = 20
      IB = 20
      IC = 10
C
      CALL DRSM(DC,R,DM,TD,E,G,IPRINT,AA1,SV,IA,IB,IC,KUF)
C
      IF (KUF-3) 3,3,4
    4 PRINT 5,KUF
    5 FORMAT(1H1,*FAILURE IN DRSM*,I3)
      GO TO 999
    3 PRINT 6
    6 FORMAT(//*VECTOR SV*/)
      PRINT 7,(SV(I),I=1,10)
    7 FORMAT(E20.10)
      DO 10 I=1,51
      DO 10 J=1,71
   10 AA(I,J) = 0.
C
C     ARRANGE DRUM-MATRIX IN MATRIX AA
C
```

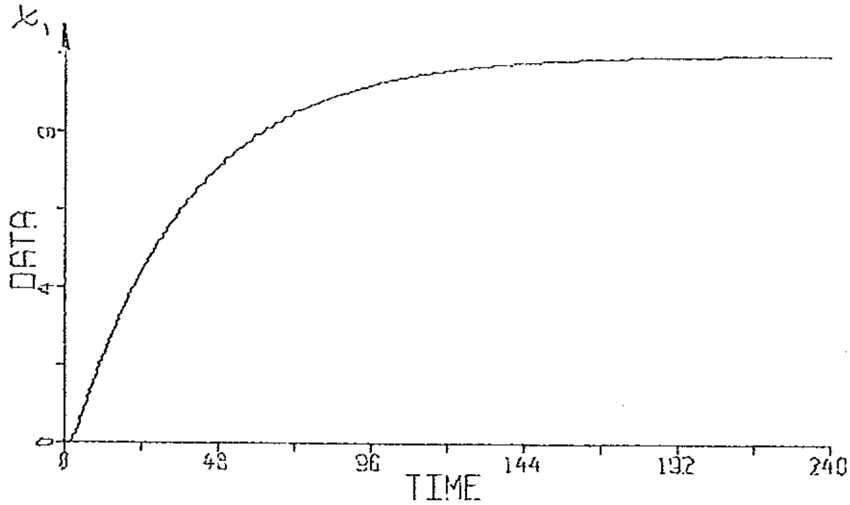
```
      DO 30 I=1,9
      DO 15 J=1,5
      AA(I,J) = AA1(I,J)
   15 AA(I,J+15) = AA1(I,J+5)
      DO 20 J=1,2
   20 AA(I,J+30) = AA1(I,J+10)
      AA(I,50) = AA1(I,13)
      DO 30 J=1,4
   30 AA(I,J+35) = AA1(I,J+13)
      AA(5,31) = F(1)*AA(5,31)
C
C     READ SUPERHEATER DATA
C
      IND = 0
      READ 1,IEU
      N = 4
  100 CONTINUE
      READ 1,(F(I),I=1,N)
      READ 1,(TM(I),I=1,N)
      READ 1,(CPM(I),I=1,N)
      READ 1,(GM(I),I=1,N)
      READ 1,(QMS(I),I=1,N)
      K = N+1
      READ 1,(TS(I),I=1,K)
      READ 1,(CPS(I),I=1,K)
      READ 1,(CTS(I),I=1,K)
      READ 1,AK,AML
      IA = 20
      IB = 20
      IC = 15
      IPRINT = 2
C
      CALL SHEATER(AA1,Q1,AK,BK,F,TS,TM,AML,CPS,CTS,CPM,GM,QMS,IA,IB,IC,
     *N,IPRINT,IERR)
C
      IF(IERR-1)104,101,104
  101 PRINT 102
  102 FORMAT(/* FAILURE. N IS TOO GREAT */)
      GO TO 999
  104 IND = IND+1
      GO TO (105,125,140,155),IND
C
C     ARRANGE SUPERHEATER-1 IN MATRIX AA
C
  105 DO 110 I = 1,4
      K = I+9
      AA(K,I+5) = AA1(I,I)
      AA(K,I+20) = AA1(I,I+4)
      AA(K+4,I+20) = AA1(I+4,I+4)
  110 AA(K,31) = AA1(I,9)
      DO 115 I = 1,3
      K = I+9
      AA(K,I+41) = AA1(I,I+12)
      AA(K+4,I+41) = AA1(I+4,I+12)
      AA(K+5,I+41) = AA1(I+5,I+12)
      AA(K+5,I+44) = AA1(I+5,I+16)
```

```
      AA(K+8,I+44) = AA1(I+8,I+16)
  115 AA(K+9,I+44) = AA1(I+9,I+16)
      DO 120 I = 1,12
      K = I+9
  120 AA(K,50) = AA1(I,10)
      AA(13,40) = AA1(4,16)
      AA(17,40) = AA1(8,16)
      AA(18,16) = AA1(9,12)
      AA(14,16) = AA1(5,12)+1E0*AA1(5,11)
      AA(21,41) = AA1(12,20)
      N = 1
      GO TO 100
C
C     ARRANGE SUPERHEATER-2 IN MATRIX AA
C
  125 DO 130 I = 1,2
      K = I+24
      AA(K,25) = AA1(I,2)
      AA(K+1,49) = AA1(I+1,6)
  130 AA(K,51) = AA1(I,7)
      DO 135 I = 1,3
      K = I+24
  135 AA(K,55) = AA1(I,4)
      AA(25,10) = AA1(1,1)
      AA(25,31) = AA1(1,3)
      AA(26,48) = AA1(2,5)
      AA(27,52) = AA1(3,8)
      N = 1
      GO TO 100
C
C     ARRANGE SUPERHEATER-3 IN MATRIX AA
C
  140 DO 145 I = 1,2
      K = I+30
      AA(K,26) = AA1(I,2)
      AA(K+1,54) = AA1(I+1,6)
  145 AA(K,56) = AA1(I,7)
      DO 150 I = 1,3
      K = I+30
  150 AA(K,58) = AA1(I,4)
      AA(31,11) = AA1(1,1)
      AA(31,31) = AA1(1,3)
      AA(32,53) = AA1(2,5)
      AA(33,57) = AA1(3,8)
      N = 4
      GO TO 100
C
C     ARRANGE REHEATER IN MATRIX AA
C
  155 DO 160 I = 1,4
      K = I+37
      AA(K,I+11) = AA1(I,I)
      AA(K,I+26) = AA1(I,I+4)
      AA(K+4,I+26) = AA1(I+4,I+4)
  160 AA(K,31) = AA1(I,9)
      DO 165 I = 1,3
```

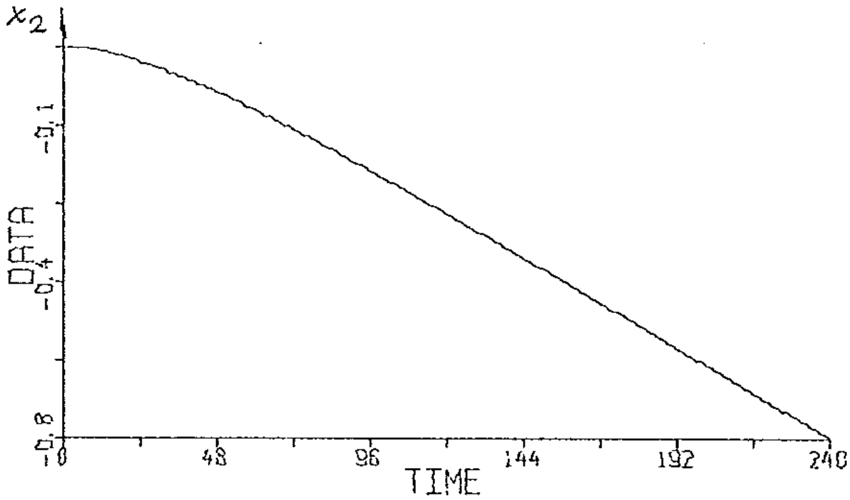
```
      K = I+37
      AA(K,I+63) = AA1(I,I+12)
      AA(K+4,I+63) = AA1(I+4,I+12)
      AA(K+5,I+63) = AA1(I+5,I+12)
      AA(K+5,I+66) = AA1(I+5,I+16)
      AA(K+8,I+66) = AA1(I+8,I+16)
  165 AA(K+9,I+66) = AA1(I+9,I+16)
      DO 170 I = 1,12
      K = I+37
  170 AA(K,58) = AA1(I,10)
      AA(41,62) = AA1(4,16)
      AA(45,62) = AA1(8,16)
      AA(46,63) = AA1(9,12)
      AA(49,70) = AA1(12,20)
      AA(42,59) = AA1(5,11)
      AA(42,63) = AA1(5,12)
C
C     READ ATTEMPERATOR-DATA
C
      IND = 0
  200 READ 1,(AMS(I),I=1,2)
      READ 1,(CPS(I),I=1,2)
      READ 1,(CIS(I),I=1,2)
      READ 1,(AI(I),I=1,2)
      READ 1,AK
      IPRINT = 1
      IA = 20
      IB = 20
      IC = 15
C
      CALL ATTEMP (AA1,AMS,CPS,CIS,AI,AK,IA,IB,IC,IPRINT)
C
      IND = IND+1
      GO TO (210,230),IND
C
C     ARRANGE ATTEMP-MATRIX IN MATRIX AA
C
  210 CONTINUE
      DO 225 I=1,3
      DO 215 J=1,3
  215 AA(I+21,J+47) = AA1(I,J)
      DO 220 J=1,2
  220 AA(I+21,J+39) = AA1(I,J+3)
      AA(I+21,55) = AA1(I,6)
  225 AA(I+21,33) = AA1(I,7)
      GO TO 200
  230 CONTINUE
      DO 245 I=1,3
      DO 235 J=1,3
  235 AA(I+27,J+52) = AA1(I,J)
      DO 240 J=1,2
  240 AA(I+27,J+50) = AA1(I,J+3)
      AA(I+27,58) = AA1(I,6)
  245 AA(I+27,34) = AA1(I,7)
C
C
```

```
C       READ VALVE-DATA
        READ 1,(P(I),I=1,2)
        READ 1,TL,BL,AML,AR
        IPRINT = 1
        IA = 5
C
        CALL VALVE (A2,B2,C2,D2,P,TL,BL,AML,AR,ICRITIC,IA,IPRINT)
C
C       ARRANGE VALVE-MATRIX IN MATRIX AA
C
        AA(34,35) = D2(1)
        AA(34,57) = D2(2)
        IF (ICRITIC.EQ.0) AA(34,57) = D2(2)/(2*AML)
        IF (ICRITIC.EQ.0) AA(34,60) = D2(3)/(2*AML)
        AA(34,58) = -1.
C
C       READ TURBINE-DATA
C
        NHT = 1
        IND = 0
  700   READ 1,(AI1(I),I=1,2)
        READ 1,(CT(I),I=1,2)
        READ 1,CS2,DT1,DP1
        READ 1,(CP(I),I=1,2)
        READ 1,(P(I),I=1,2)
        READ 1,AML,AN,CPS2,T1
        IA = 20
        IB = 20
        IC = 5
        IPRINT = 1
C
        CALL TURBINE(Q1,D1,AI1,CT,CP,P,CS2,DT1,DP1,AML,AN,T1,CPS2,IA,IB,IC
       *,NHT,IPRINT)
C
        IND = IND+1
        GO TO (710,910),IND
C
C       ARRANGE TURBINE-MATRICES IN MATRIX AA
C
  710   CONTINUE
        DO 720 I=1,3
        DO 715 J=1,3
  715   AA(I+34,J+58) = Q1(I,J)
        AA(I+34,63) = Q1(I,4)
        AA(I+34,56) = Q1(I,5)
  720   AA(I+34,58) = Q1(I,6)
        NHT = 0
        GO TO 700
  910   CONTINUE
        AA(53,62) = D1(1,1)
        AA(50,58) = D1(1,2)
        AA(51,58) = D1(2,2)
        AA(51,70) = -1.
        AA(50,71) = -1.
C
C
```

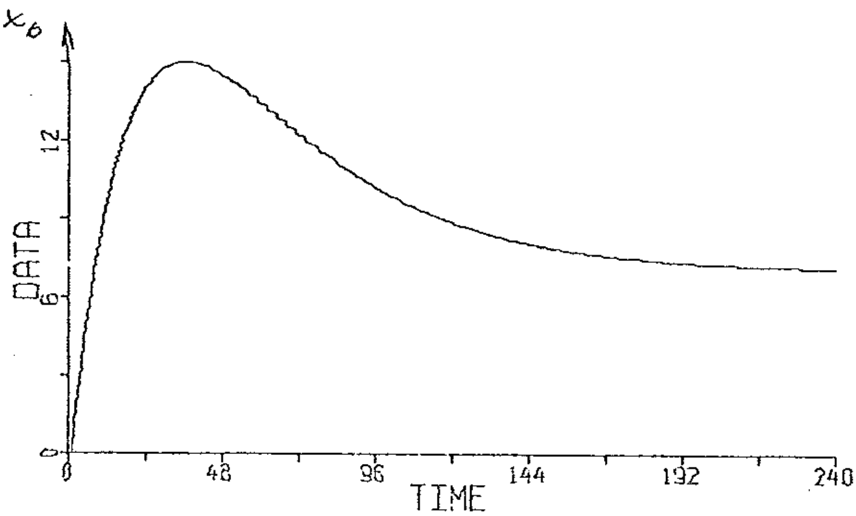
```
C       ARRANGE MATRIX Q FROM MATRIX AA
C
        DO 500 I=1,34
        DO 500 J=1,50
   500  Q(I,J) = 0.
        Q(1,21) = AA(4,16)
        Q(2,21) = AA(9,16)
        Q(2,22) = AA(9,18)
        Q(1,23) = AA(4,19)
        Q(1,38) = AA(4,39)
        Q(2,37) = AA(9,38)
        DO 505 I=6,13
        DO 505 J=1,2
   505  Q(I,J) = AA(I+11,J+39)
        DO 510 I=3,13
        DO 510 J=3,10
   510  Q(I,J) = AA(I+11,J+45)
        Q(3,21) = AA(14,16)
        Q(7,21) = AA(18,16)
        DO 515 K=1,4
   515  Q(K+2,K+23) = AA(K+13,K+20)
        DO 520 I=3,10
        DO 520 J=39,44
   520  Q(I,J) = AA(I+11,J+3)
        Q(11,34) = AA(22,33)
        Q(12,34) = AA(23,33)
        DO 525 I=14,18
        DO 525 J=3,13
   525  Q(I,J) = AA(I+12,J+45)
        Q(14,28) = AA(26,25)
        Q(16,35) = AA(28,34)
        Q(17,35) = AA(29,34)
        DO 530 I=19,24
        DO 530 J=8,18
   530  Q(I,J) = AA(I+13,J+45)
        Q(19,29) = AA(32,26)
        Q(21,36) = AA(34,35)
        DO 535 I=25,34
        DO 535 J=13,18
   535  Q(I,J) = AA(I+17,J+45)
        DO 540 I=32,34
        DO 540 J=19,23
   540  Q(I,J) = AA(I+17,J+51)
        DO 545 K=1,4
        Q(K+24,K+29) = AA(K+41,K+26)
        DO 545 I=25,32
        DO 545 J=45,50
   545  Q(I,J) = AA(I+17,J+19)
        DO 990 I=1,5
   990  CALL SKIPFILE(31)
        WRITE(31),((AA(I,J),J=1,71),I=1,51)
        WRITE(31),((Q(I,J),J=1,50),I=1,34)
   999  CONTINUE
        CALL EXIT
        END
```



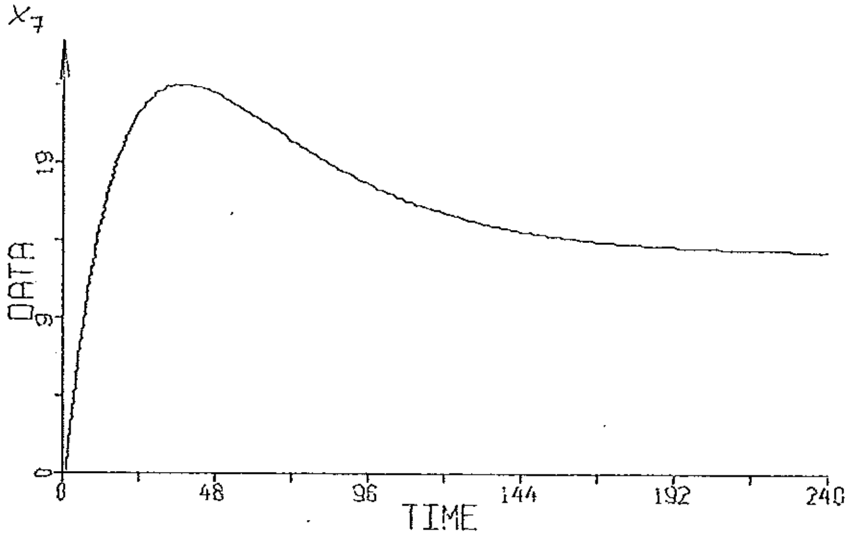
1. x_1 är domtryck.



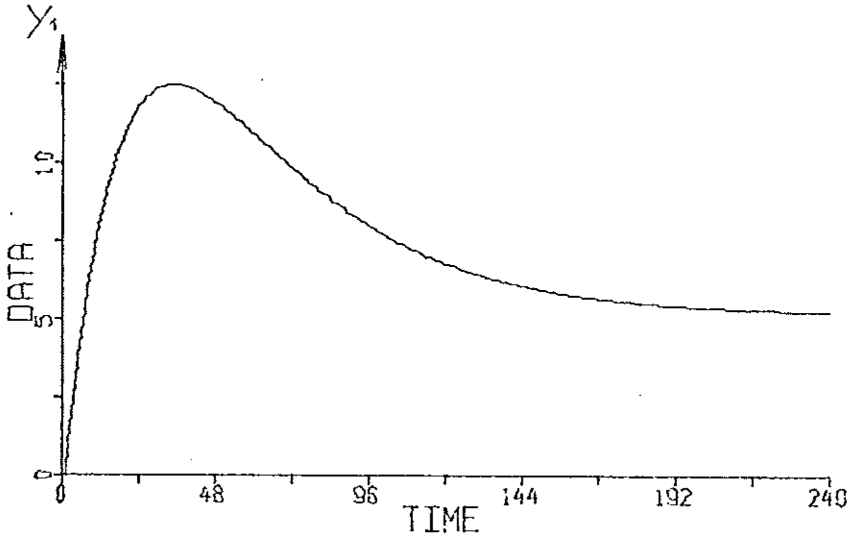
2. x_2 är nivå i dom.



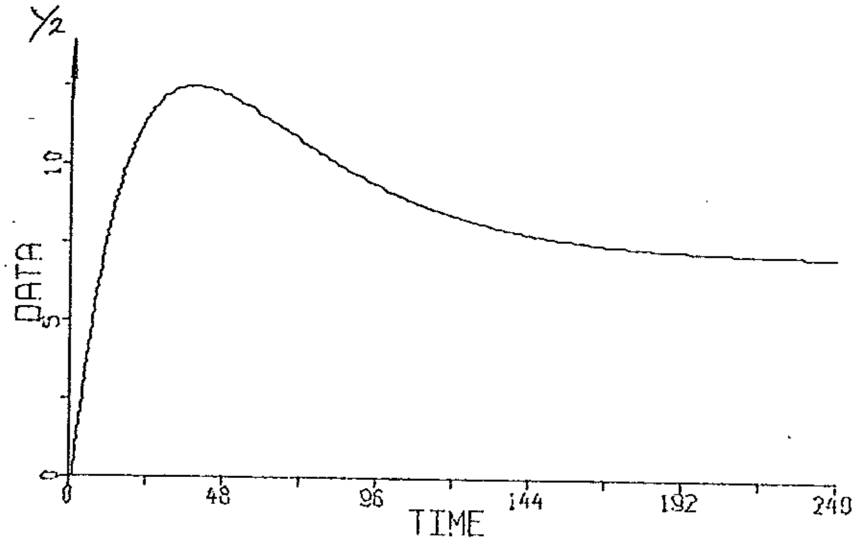
3. x_6 är materialtemperatur i ÖH I.



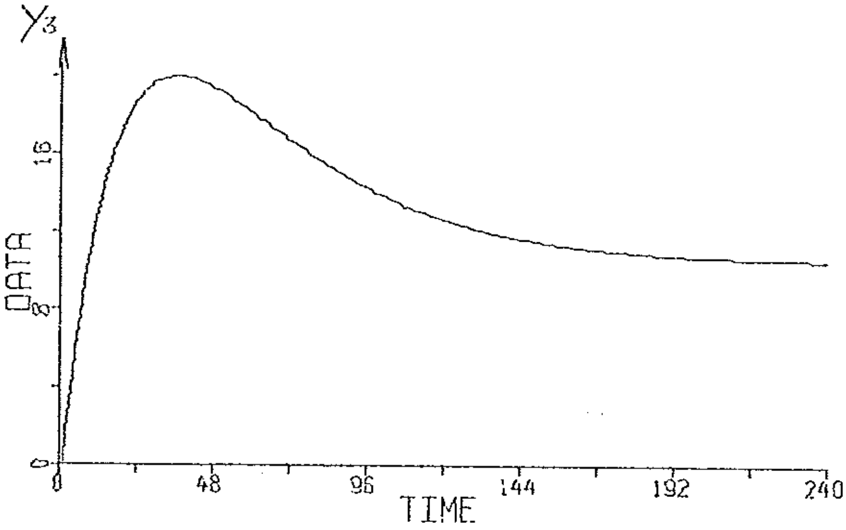
4. x_7 är materialtemperatur i ÖH II.



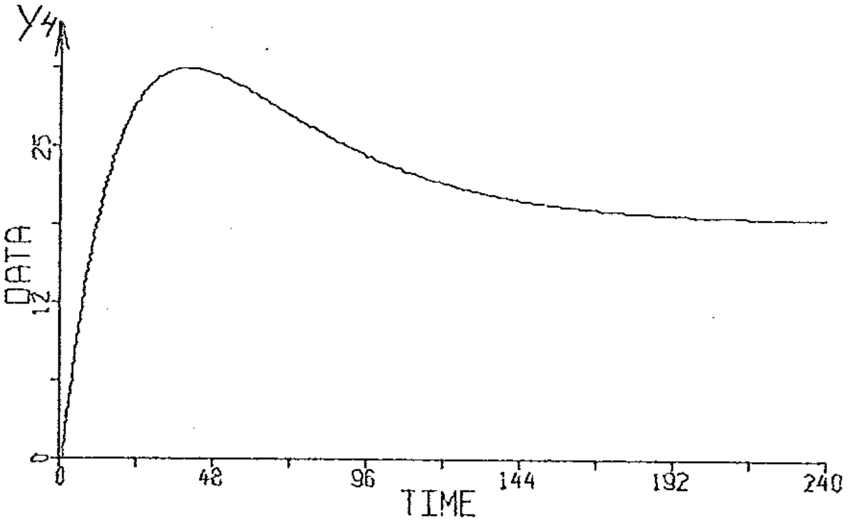
5. y_1 är temperatur före kylare I.



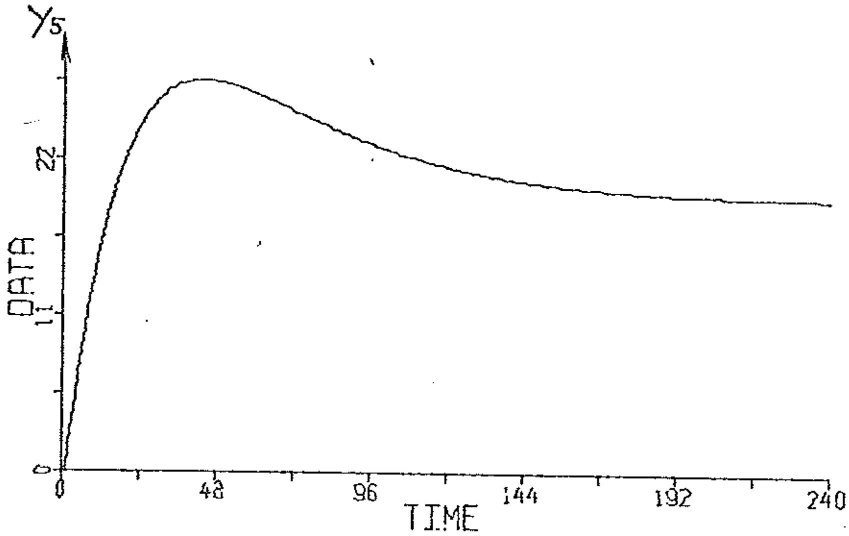
6. y_2 är temperatur efter kylare I.



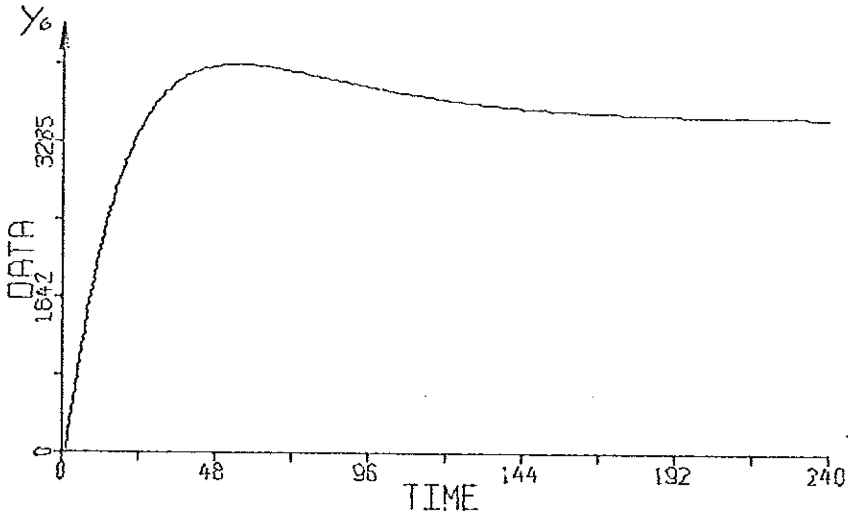
7. y_3 är temperatur före kylare II.



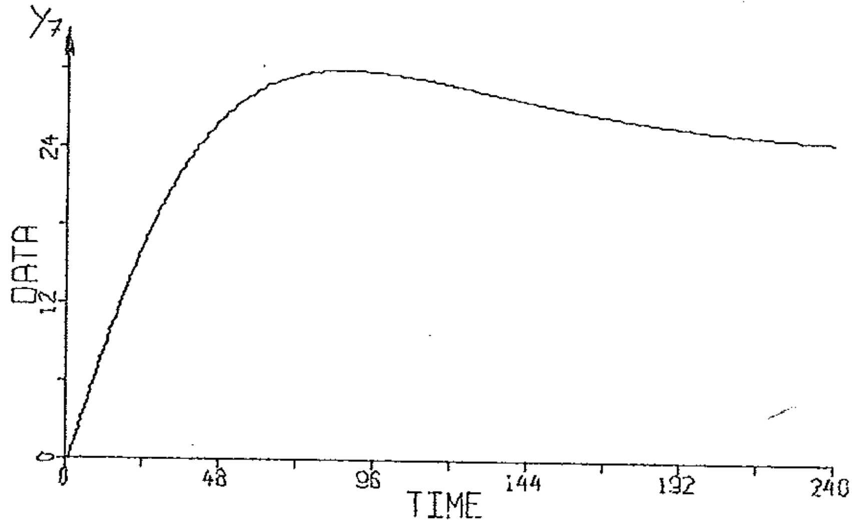
8. y_4 är temperatur före ventil.



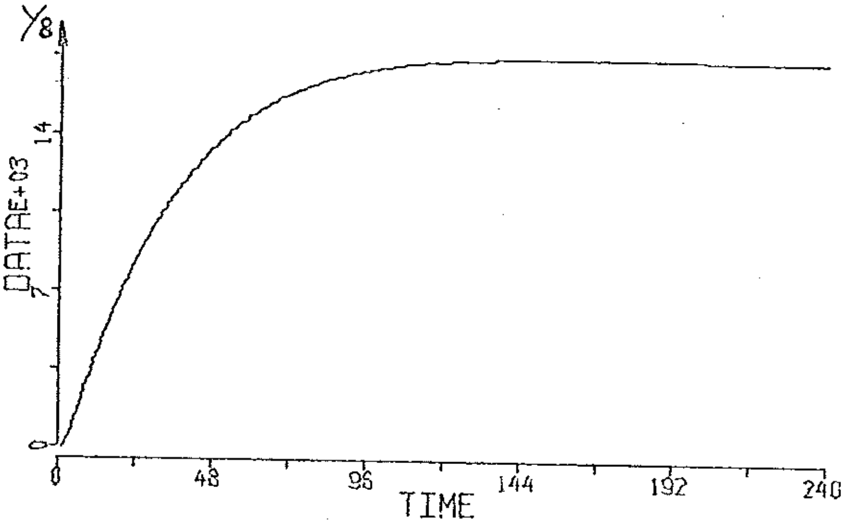
9. y_5 är temperatur efter HT.



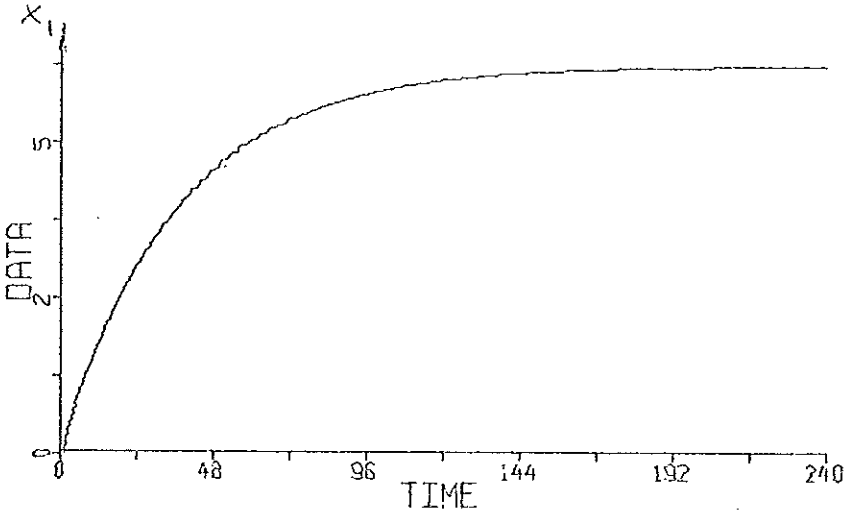
10. y_6 är effekt hos HT.



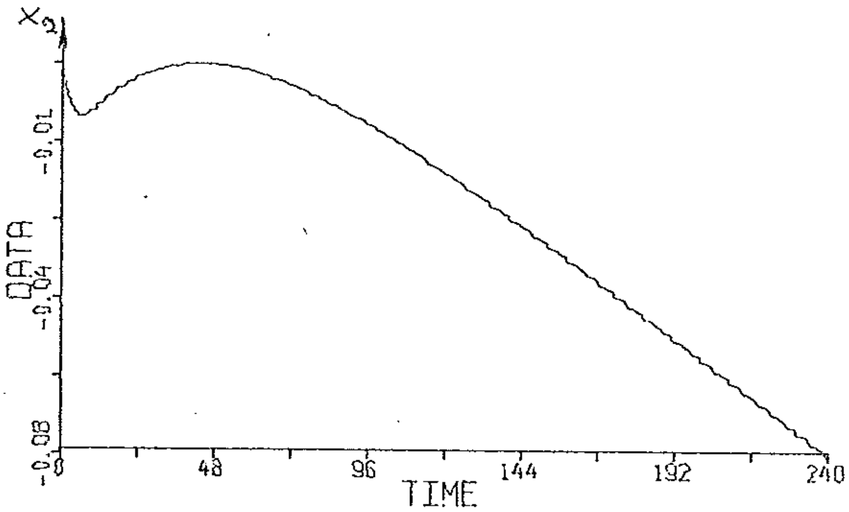
11. y_7 är temperatur före LT.



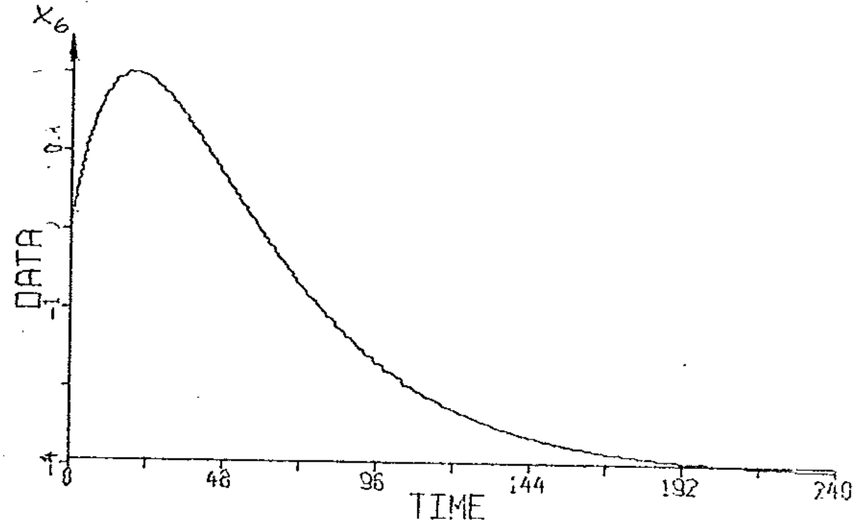
12. y_8 är effekt hos LT.



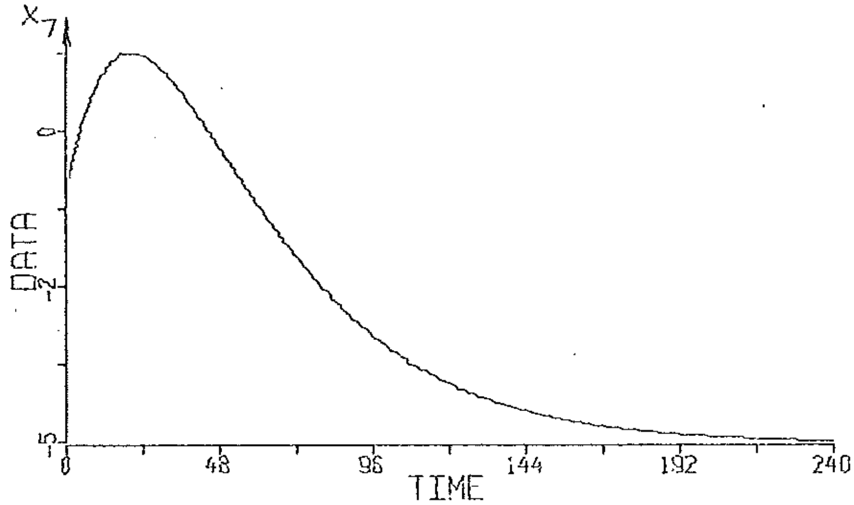
13. x_1 är domtryck.



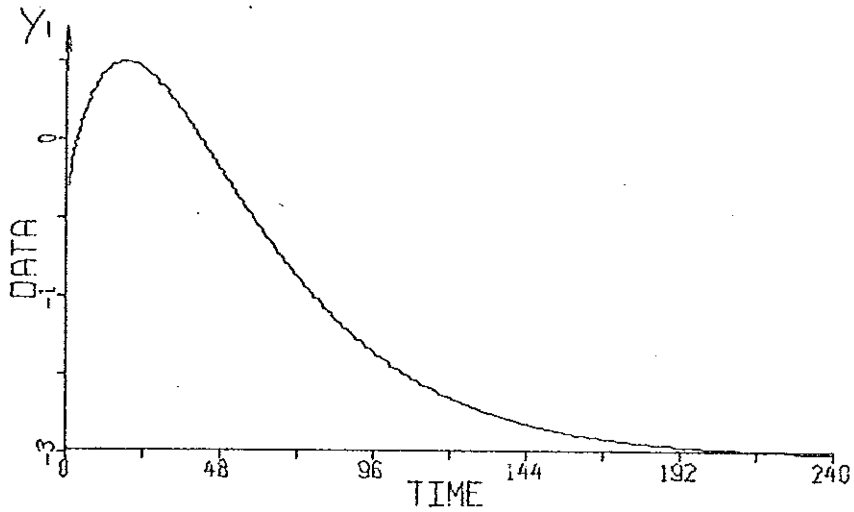
14. x_2 är nivå i dom.



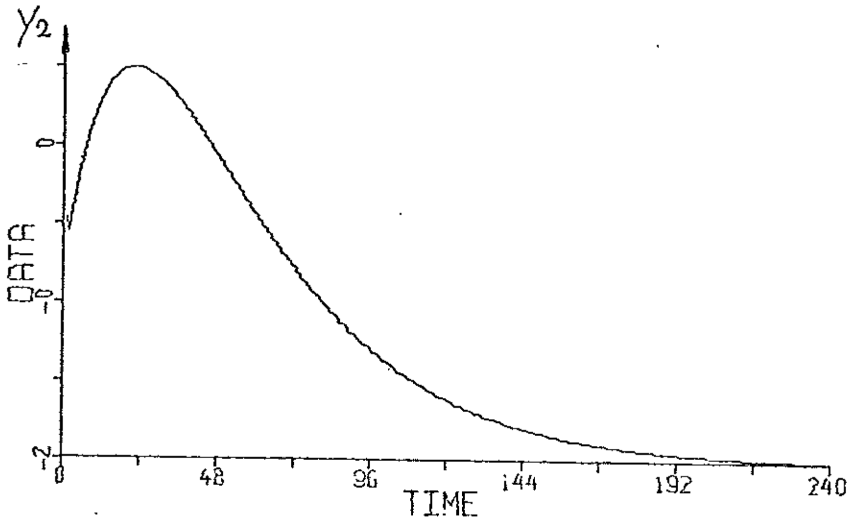
15. x_6 är materialtemperatur i ÖH I.



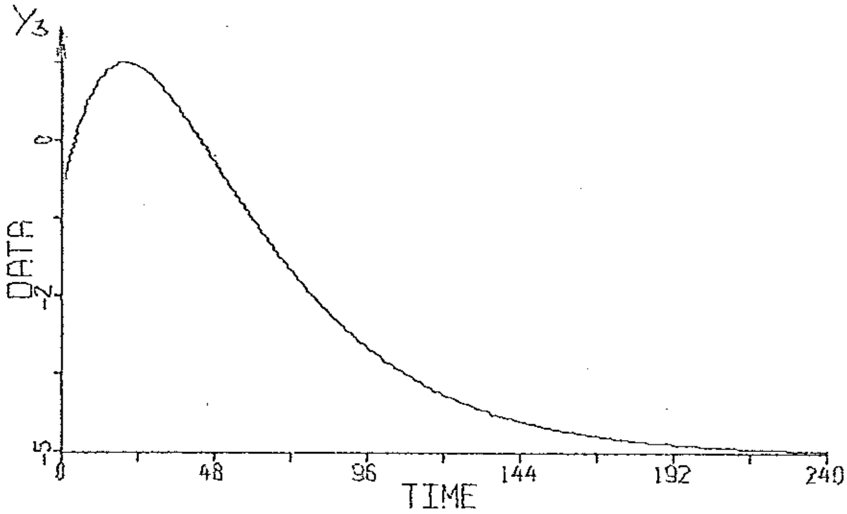
16. x_7 är materialtemperatur i ÖH II.



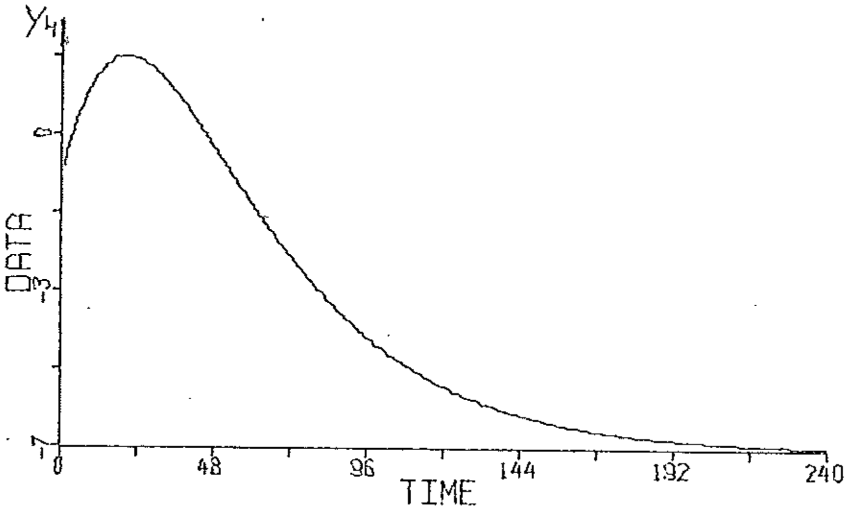
17. y_1 är temperatur före kylare I.



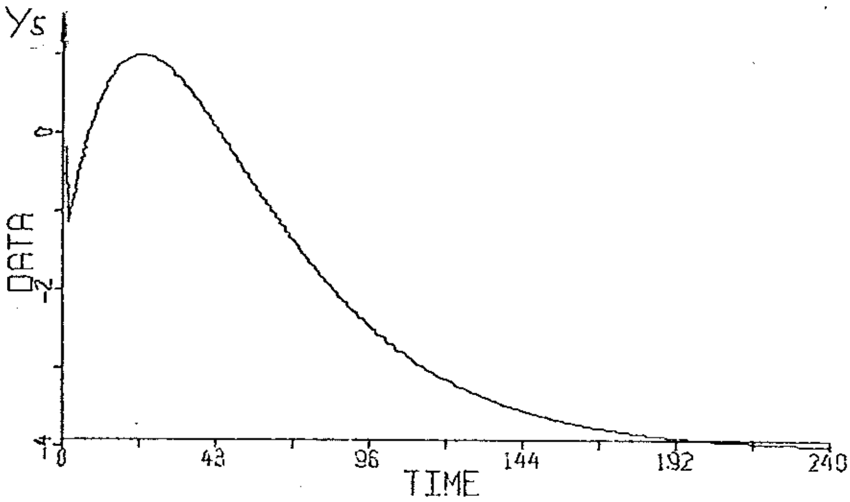
18. y_2 är temperatur efter kylare I.



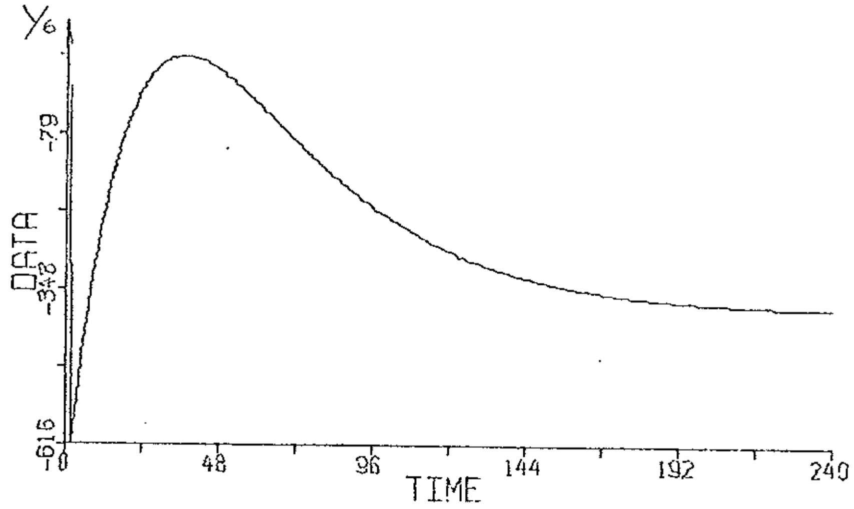
19. y_3 är temperatur före kylare II.



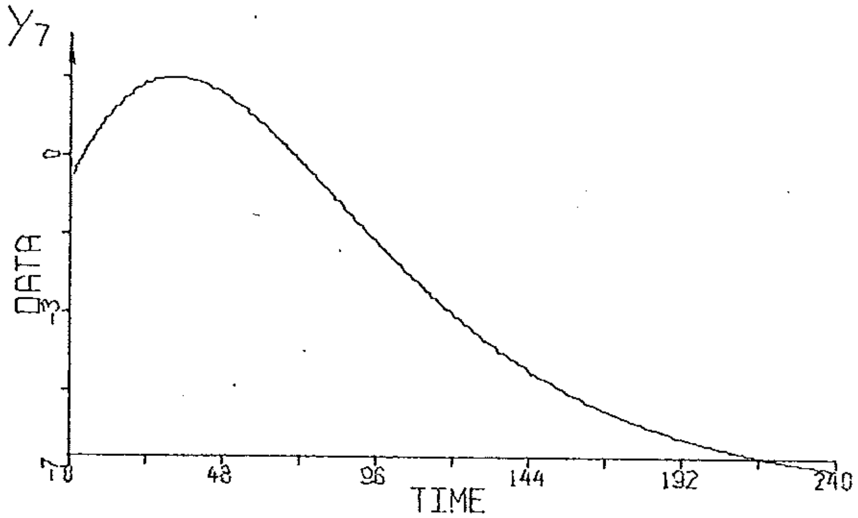
20. y_4 är temperatur före ventil.



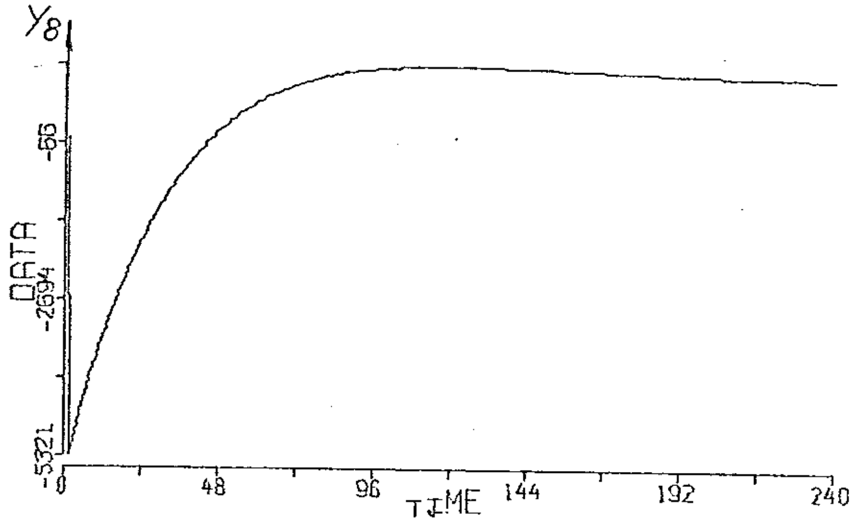
21. y_5 är temperatur efter HT.



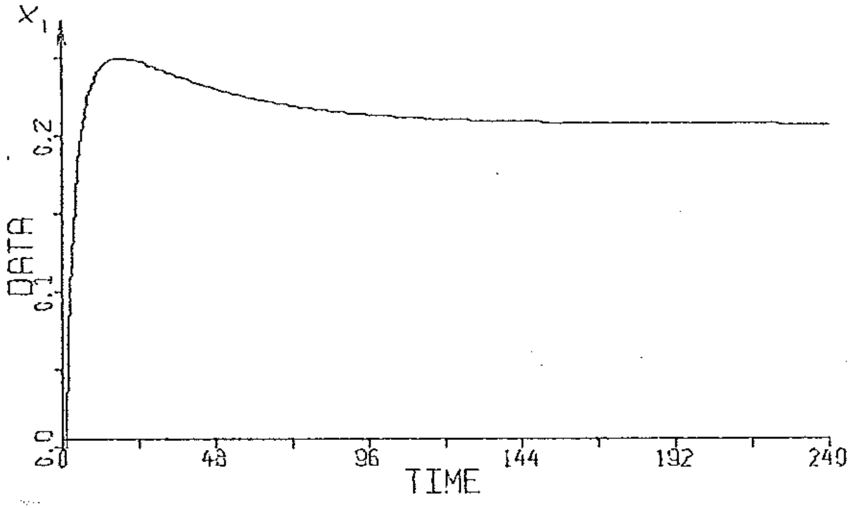
22. y_6 är effekt hos HT.



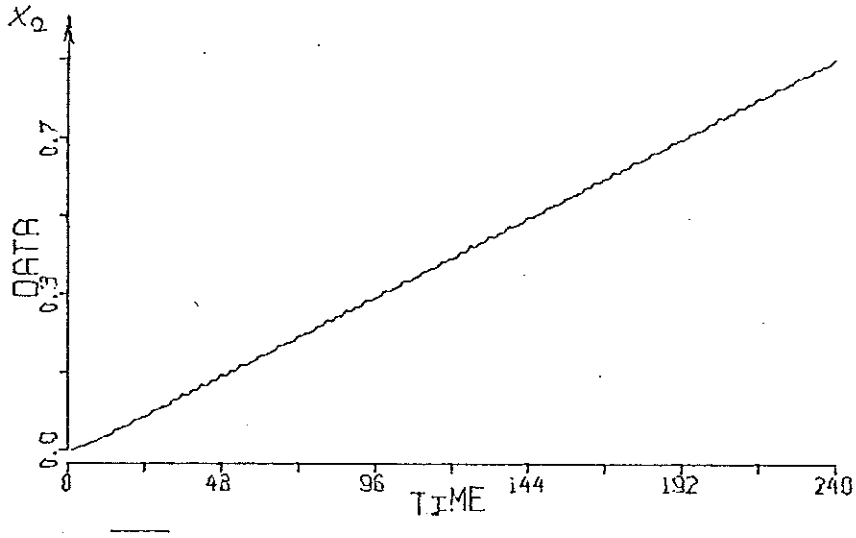
23. y_7 är temperatur före LT.



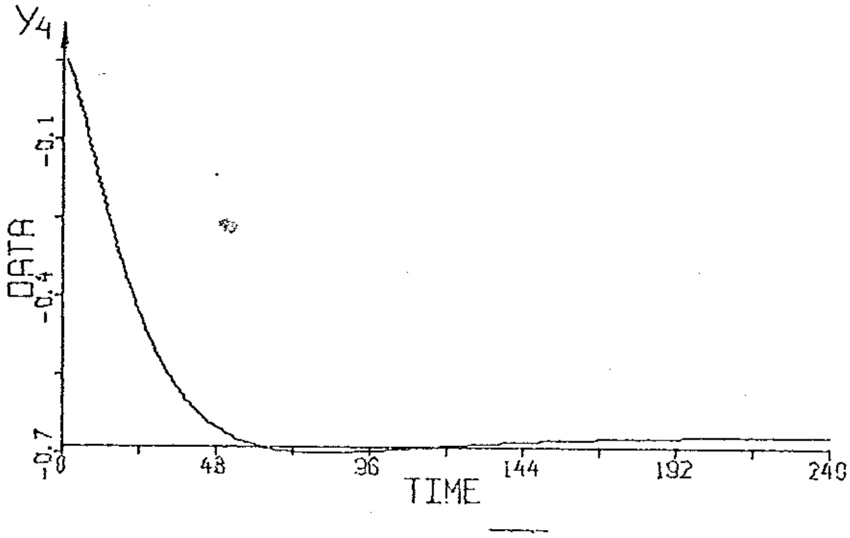
24. y_8 är effekt hos LT.



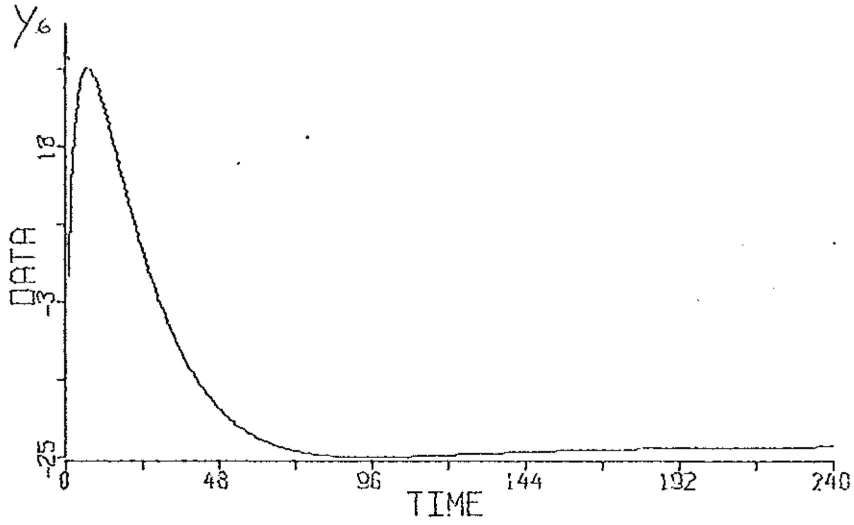
25. x_1 är domtryck.



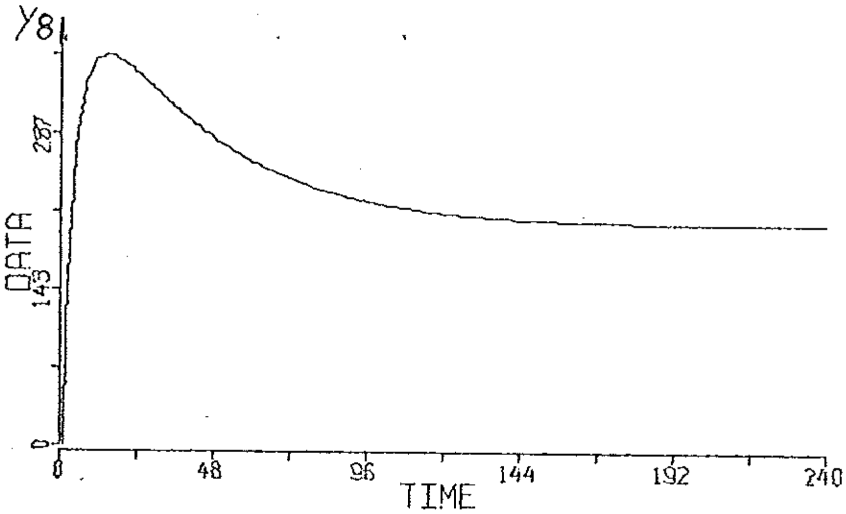
26. x_2 är nivå i dom.



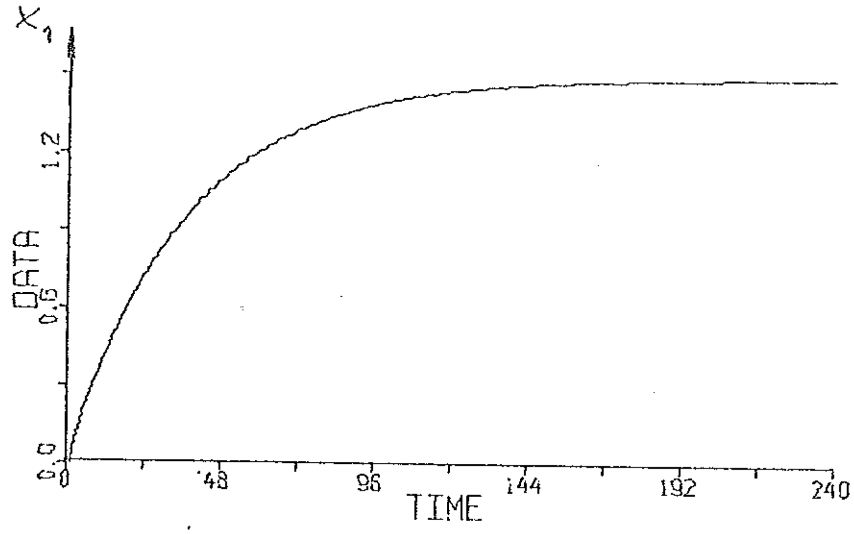
27. y_4 är temperatur före ventil.



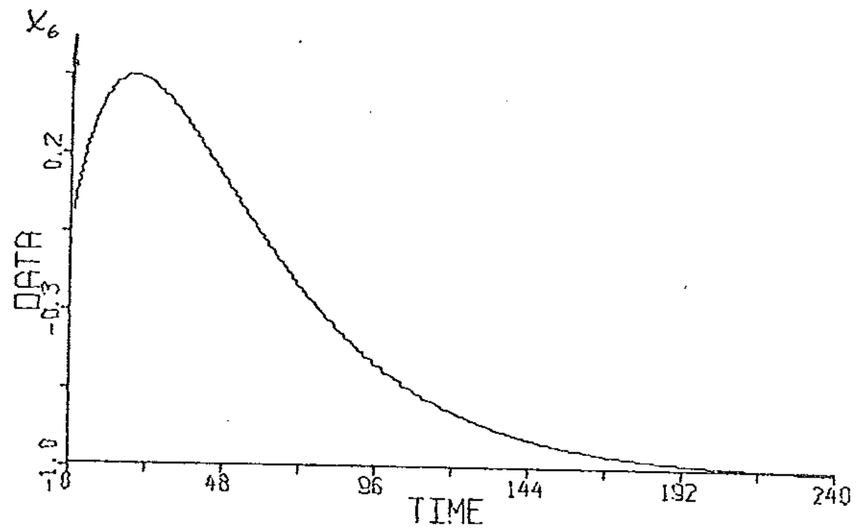
28. y_6 är effekt hos HT.



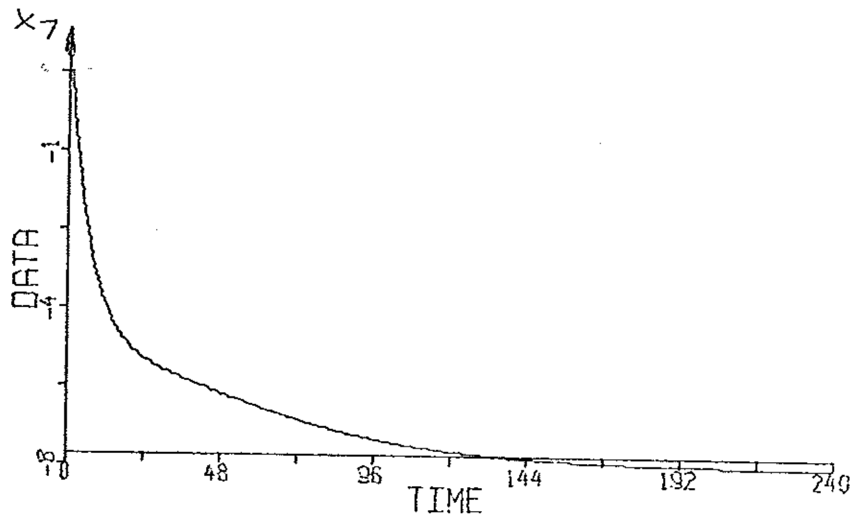
29. y_8 är effekt hos LT.



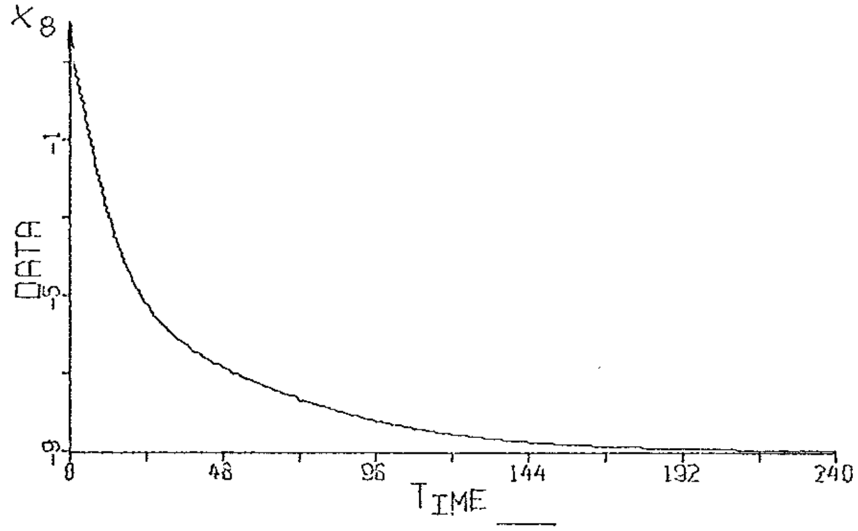
30. x_1 är domtryck.



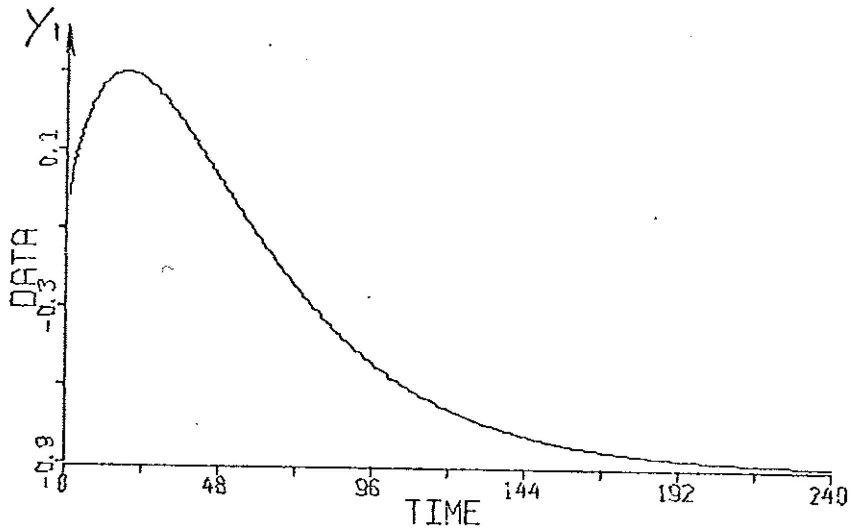
31. x_6 är materialtemperatur i ÖH I.



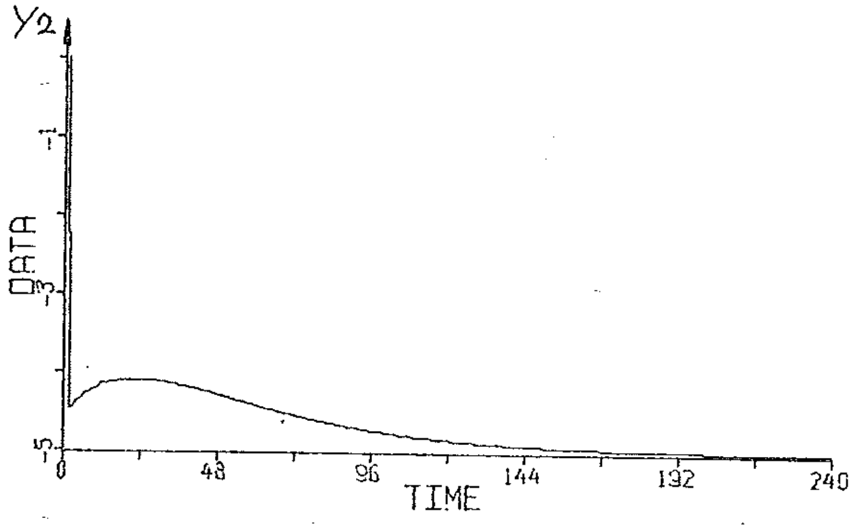
32. x_7 är materialtemperatur i ÖH II.



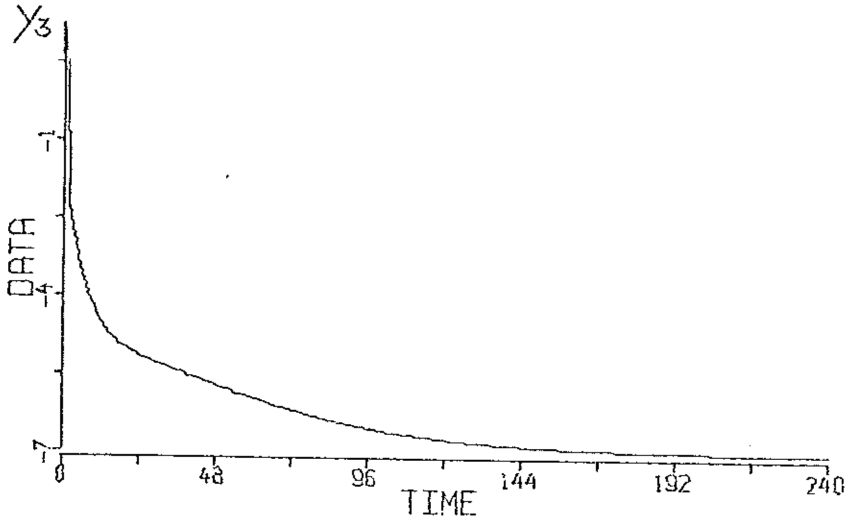
33. x_8 är materialtemperatur i ÖH III.



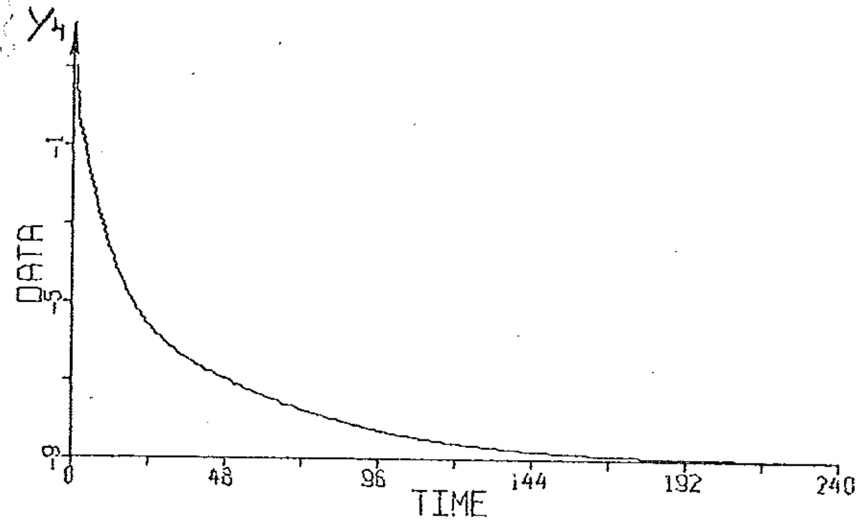
34. y_1 är temperatur före kylare I.



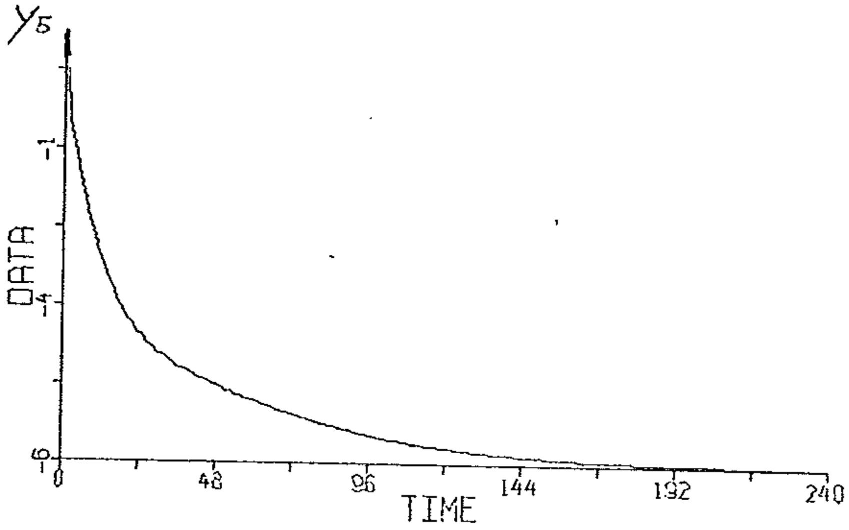
35. y_2 är temperatur efter kylare I.



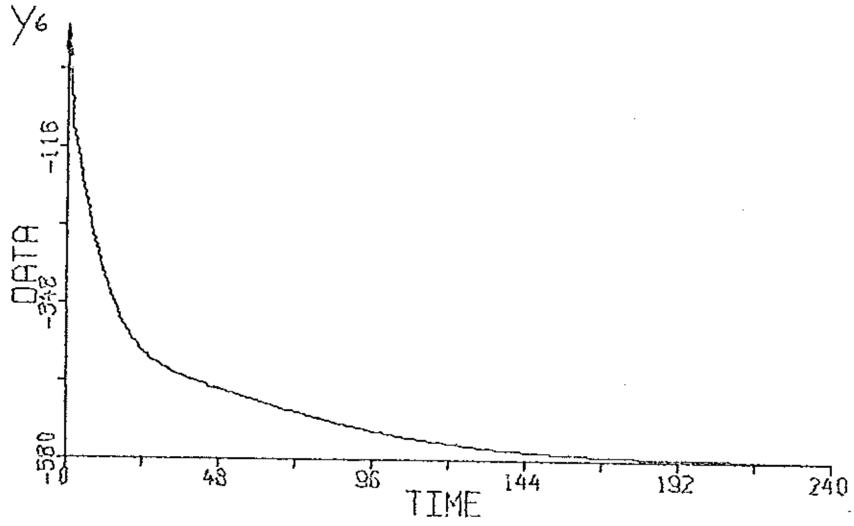
36. y_3 är temperatur före kylare II.



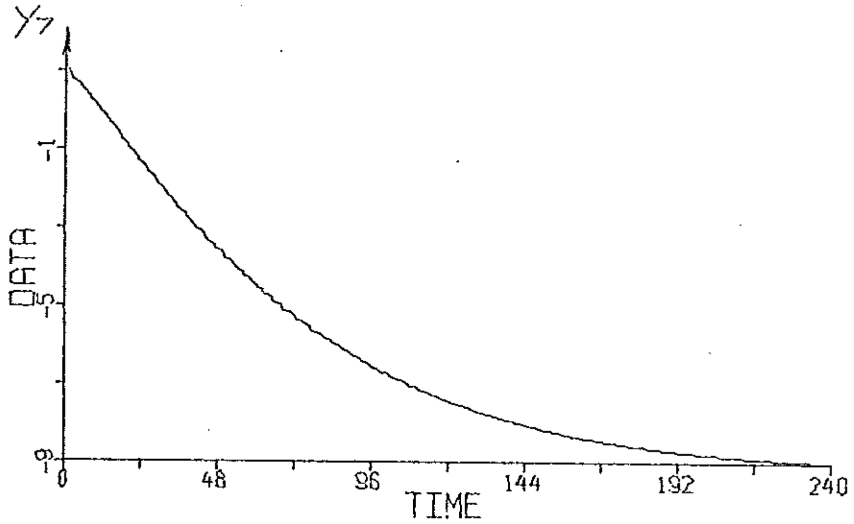
37. y_4 är temperatur före ventil.



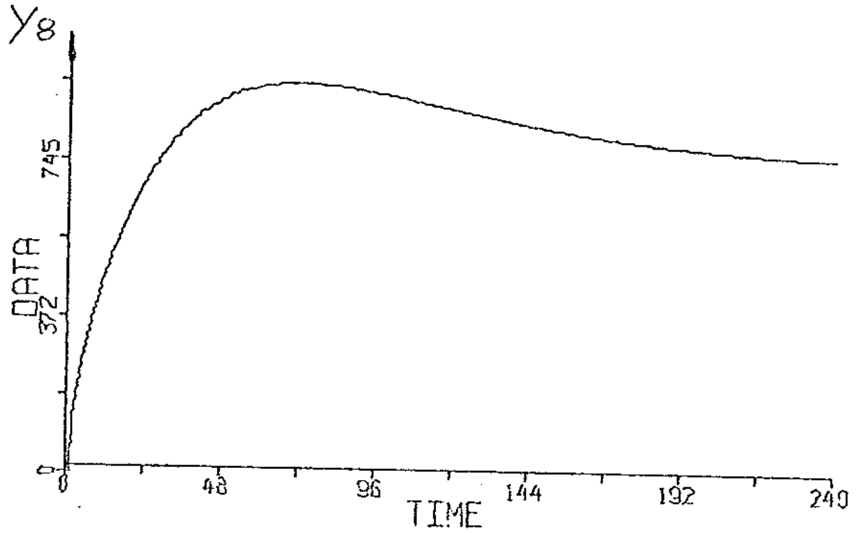
38. y_5 är temperatur efter HT.



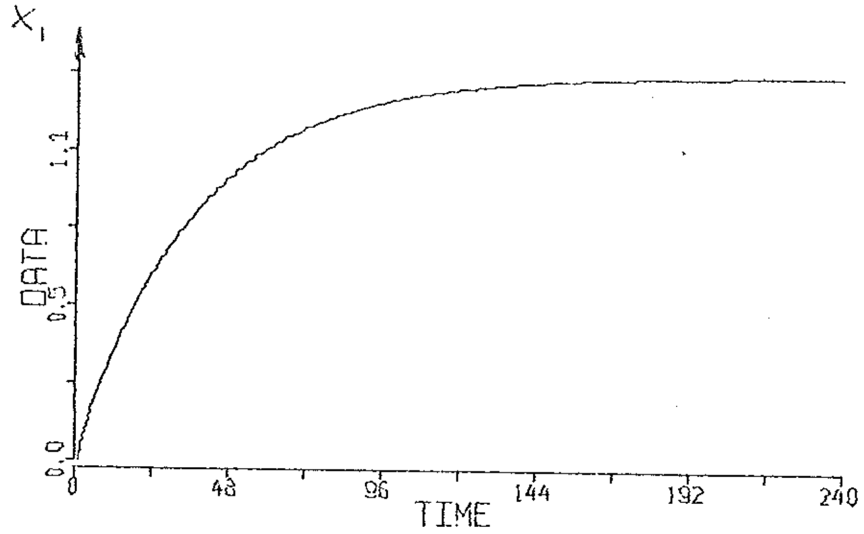
39. y_6 är effekt hos HT.



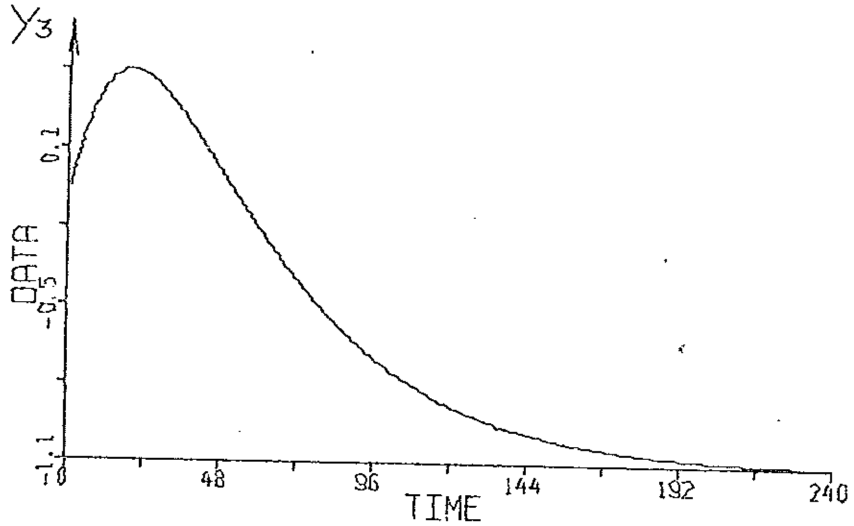
40. y_7 är temperatur före LT.



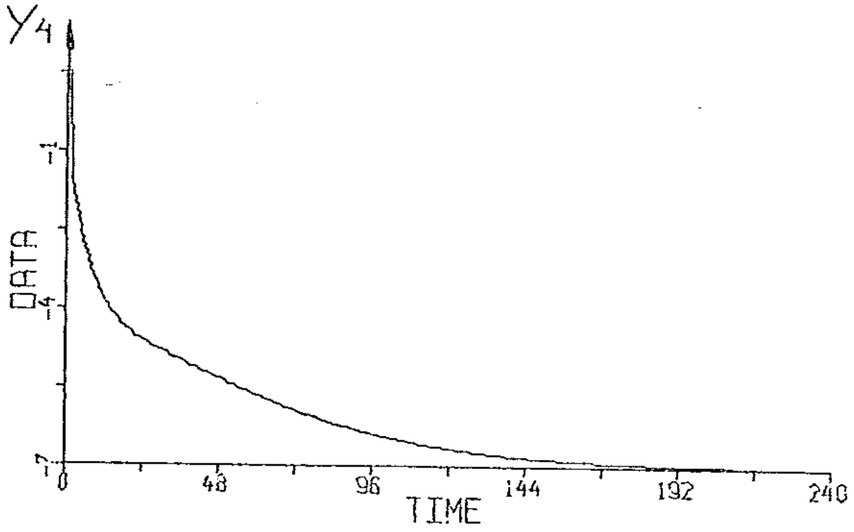
41. y_8 är effekt hos LT.



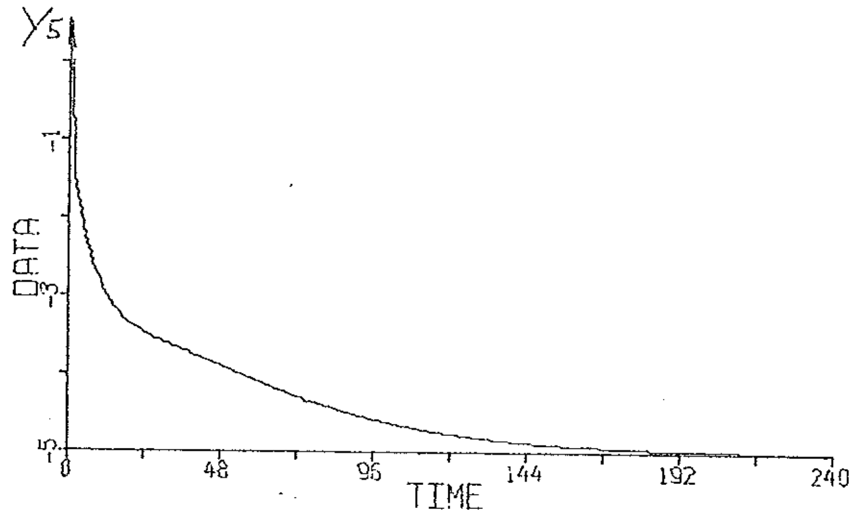
42. x_1 är domtryck.



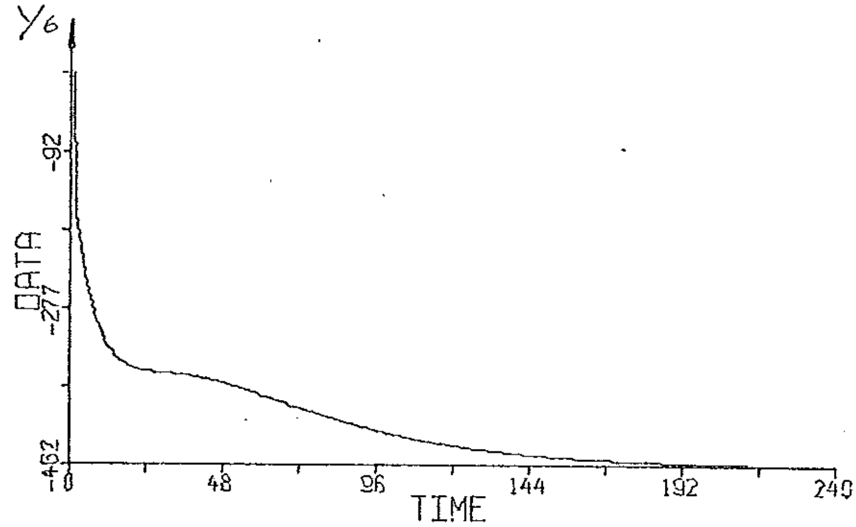
43. y_3 är temperatur före kylare II.



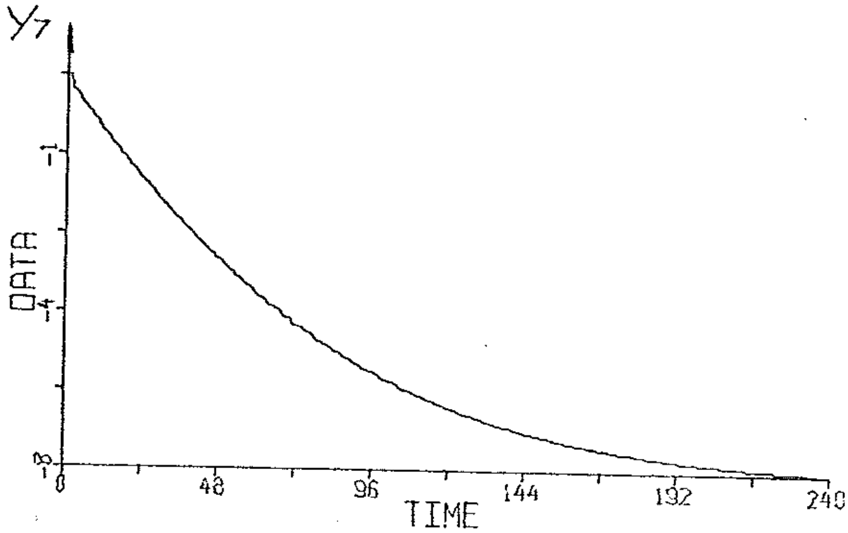
44. y_4 är temperatur före ventil.



45. y_5 är temperatur efter HT.



46. y_6 är effekt hos HT.



47. y_7 är temperatur före LT.