

OPTIMERING AV VALSINSTÄLLNINGARNA I ETT VALSVERK

Claes Källström

Examensarbete utfört vid  
Institutionen för Regleringsteknik,  
Lunds Tekniska Högskola

1970

Handledare: Krister Mårtensson

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

ABSTRACT.....	1
INLEDNING.....	2
I OPTIMERING.....	3
1. Dynamisk programmering.....	3
2. Matematisk modell av valsprocessen.....	5
3. Formulering och lösning av optimeringsproblemet.....	10
4. Körning på datamaskin av optimeringsprogrammet.....	16
5. Analys av den optimala strategin.....	17
II SIMULERING.....	23
1. Simuleringsprogrammet.....	23
2. Analys av simuleringen.....	26
APPENDIX.....	32
A. Enheter.....	32
B. Bokstavsbeteckningar.....	33
C. Parametrar.....	34
D. Flödesplan över optimeringsprogrammet.....	35
E. Listning av optimeringsprogrammet.....	39
F. Resultatutskrift från optimeringsprogrammet.....	45
G. Flödesplan över simuleringsprogrammet.....	85
H. Listning av simuleringsprogrammet.....	94
I. Resultatutskrift från simuleringsprogrammet.....	108
J. Referenser.....	124

## ABSTRACT

On Optimal Roll Settings of a Rolling Mill

A metal rolling process is examined and shown to be inherently a discrete, multistage decision process. The performance measure of this process is explicit: the metal is to be rolled to a specified thickness within specified boundaries of temperature (for metallurgical purposes) at minimum dollar cost. Due to physical limitations of the roll structure and the drive system, constraints on the roll force and torque must be included.

An algorithm, developed through dynamic programming, is used to generate an optimal roll setting policy. The optimization is performed on a computer and the programming language is Fortran.

The optimal roll setting policy is then examined in a digital simulation of a rolling mill, and open and closed control is compared.

## INLEDNING

Syftet med ex.arbetet är att optimera valsinställningarna i ett valsverk. Detta innebär att man för en viss begynnelse-tjocklek på metallen söker de valsinställningar, som gör kostnaden för att valsa ner metallen till en föreskriven tjocklek så liten som möjligt. Denna nedvalsning skall ske inom ett givet temperaturintervall (av metallurgiska skäl) samtidigt som vissa begränsningar av krafter och vridmoment i valsverket beaktas.

Optimeringen görs med hjälp av dynamisk programmering på en datamaskin (CD 3600 i Uppsala). Programmeringsspråket är Fortran. Resultatet skall alltså vara ett datamaskinprogram, till vilket man läser in begränsningar, önskad sluttjocklek m.m. och från vilket man får ut den optimala strategin, dvs. de optimala valsinställningarna.

Nästa steg i ex.arbetet är att skriva ett datamaskinprogram som simulerar ett valsverk, och sedan i detta simulerade valsverk använda den optimala strategin och jämföra öppen och slutna styrning av valsprocessen.

Då den använda matematiska modellen av valsprocessen bygger på amerikanska arbeten är sorterna genomgående amerikanska. Omvandlingstal för de använda enheterna finns i Appendix A. Bokstavs-beteckningar och motsvarande identifierare i programmen finns samlade i Appendix B. I Appendix finns för övrigt siffervärden på använda konstanter, flödesscheman, programlistningar, referenser m.m.

Till sist vill jag framföra ett varmt tack till Oxelösunds Järnverk, som har bidragit med en del material.

## I OPTIMERING

1. Dynamisk programmering.

För att minimera kostnaden behövs en optimeringsmetod. Till den här använda, dynamisk programmering, skall ges en kort introduktion. För ett djupare studium rekommenderas någon lärobok i ämnet, t.ex. R. Bellman: "Dynamic Programming". I Appendix J: Referenser finns ett flertal böcker om dynamisk programmering upptagna.

Först skall optimeringsproblemet formuleras matematiskt. Vi betraktar alltså ett reglersystem, som vi vill styra på ett sådant sätt, att kostnaden blir minimal. De grundläggande ingredienserna i ett optimeringsproblem är:

- i) de dynamiska ekvationerna för det system som skall styras
- ii) olika begränsningar på variablerna
- iii) randvillkor på tillståndsvariablerna i begynnelse- och eventuellt i sluttidpunkten
- iv) en förlustfunktion (eller vinstfunktion) som beskriver effektiviteten av den styrning som göres. Denna förlustfunktion skall minimeras.

För ett tidsdiskret system kan den dynamiska ekvationen skrivas

$$x(t+1) = \phi(x(t), u(t), t) \quad (1.1)$$

där  $x(t)$  är en  $n$ -dimensionell tillståndsvektor

$u(t)$  är en  $n$ -dimensionell styrvektor

och  $\phi$  är en  $n$ -dimensionell vektorfunktion.

Begynnelsestillståndet vid tiden  $t_0$  är givet som  $x(t_0)=x_0$ . Även sluttillståndet  $x(t_1)$  kan vara specificerat.

Förlustfunktionen är en skalär och antar formen

$$V = \sum_{t=0}^N g(x(t), u(t), t) \quad (1.2)$$

där  $g$  är en skalär funktion. Summationen sker från tiden  $t_0=0$  till tiden  $t_0+N$ . Sluttidpunkten är  $t_1=t_0+N+1$ .

Vi kan även införa olika begränsningar i  $x$  och  $u$ .

Den precisa formuleringen av optimeringsproblemet blir därmed:

Sök den styrning som

- a) satisfierar begränsningarna för  $u$
- b) överför systemet från begynnelsestillståndet till ett (ibland) föreskrivet slutstillstånd
- c) minimerar förlustfunktionen  $V$

Den svåraste delen av en optimering är ofta att finna en förlustfunktion som återger de verkliga kostnaderna. Då den optimala lösningen beror på den valda förlustfunktionen är också att märka, att man aldrig kan finna en "absolut" optimal styrning, utan endast en optimal lösning för en given förlustfunktion.

Det finns i princip två metoder att finna en optimal lösning till det formulerade problemet. Den ena bygger på Pontryagins maximumprincip, som kan betraktas som en utvidgning av variationskalkylen, den andra, dynamisk programmering, på den s.k. optimalitetsprincipen.

Vi skall nu kortfattat behandla den sistnämnda metoden. Dynamisk programmering är till sin struktur rekursiv, och är alltså speciellt lämpad att användas på tidsdiskreta system. Man börjar "bakifrån", dvs. från slutstillståndet och räknar bakåt i tiden till begynnelsestillståndet. Den rekursiva strukturen gör att metoden med fördel kan användas då man har tillgång till en datamaskin.

Först skall vi formulera den tidigare nämnda optimalitetsprincipen:

En optimal sekvens av styrningar har den egenskapen att vilket tillstånd vi än kommer från och vilket styringrepp som än gjorts måste den återstående styrningen vara optimal.

Vi kallar förlustfunktionen över den optimala vägen från tidpunkten  $k$  till  $N+1$  för

$$V^0(x, k) = \min_{u(j), j=k, \dots, N} \sum_{j=k}^N g(x(j), u(j), j) \quad (1.3)$$

Optimalitetsprincipen ger nu den rekursiva lösningen

$$V^0(x, k) = \min_{u(k)} [g(x, u, k) + V^0(x(k+1), k+1)] \quad (1.4)$$

Men då  $x(k+1) = \varphi(x(k), u(k), k)$  fås

$$V^0(x, k) = \min_{u(k)} \left[ g(x, u, k) + V^0(\varphi(x, u, k), k+1) \right] \quad (1.5)$$

där  $V^0(\varphi(x, u, k), k+1)$  är den minimala förlustfunktionen från det tillstånd  $\varphi(x, u, k)$  som styrningen  $u(k)$  resulterat i.

Ur ekvationen fås alltså  $V^0(x, k)$  som funktion av  $V^0(x, k+1)$ . Vi måste alltså lösa ekvationen bakåt i tiden. Som randvärde erhålles

$$V^0(x, N) = \min_u ( g(x, u, N) ) \quad (1.6)$$

Man börjar med detta randvärde och räknar bakåt i tiden tills man når begynnelsepunkten  $t_0$ .

Metoden ger en optimal lösning från varje tillstånd. Detta innebär, om vi har brus i systemet och efter en styrning kommer till ett tillstånd  $x^*$  istället för till det avsedda  $x$ , att vi även från detta nya tillstånd  $x^*$  har den optimala styrningen.

Dynamisk programmering är tydligen relativt lätt att tillämpa. Svårigheten är istället av beräkningsmässig natur. Det krävs stort minnesutrymme i datamaskinen, och beräkningstiden blir ofta lång.

## 2. Matematisk modell av valsprocessen.

När man vill valsa ner en plåt till en bestämd tjocklek, kan man i allmänhet inte göra detta med bara en valsning. Man måste istället succesivt minska tjockleken på plåten genom att valsa plåten flera gånger, annars skulle påfrestningarna i valsverket bli alltför stora. När man låter plåten passera mellan valsarna kallas det ett stick. Tiden är naturligt diskret, och man kan kalla valsningen en tidsdiskret flerstegsprocess.

I fig. 2.1 (s.6) visas ett kvartovalsverk, och en del termer som kommer att användas finns förklarade. Kvartoverk innebär att valsverket arbetar med fyra valsar, två stödvalsar och två arbetsvalsar. En schematisk bild av valsprocessen visas i fig. 2.2 (s.6).

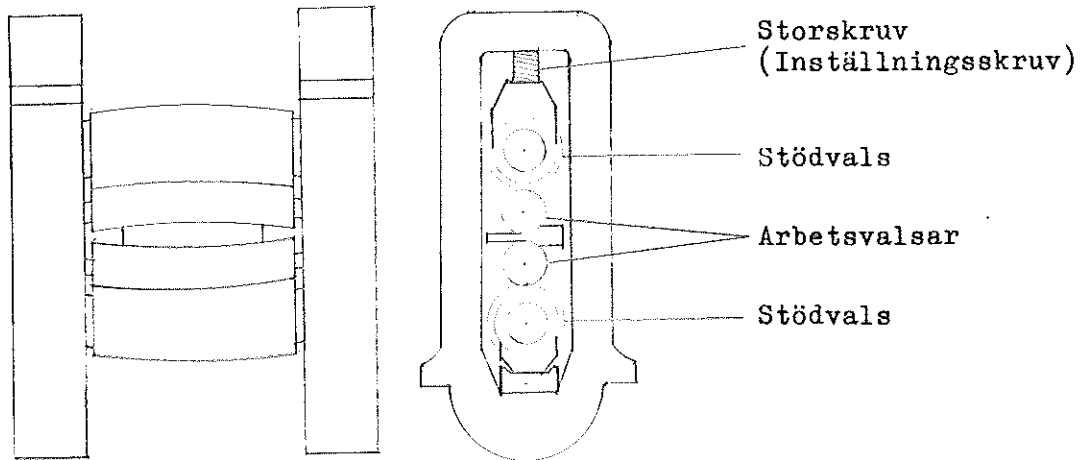


Fig. 2.1  
Kvartoverk.

Valsverk med fyra valsar, två stödvalsar och två arbetsvalsar. Den vänstra bilden visar att verket fjädrar tillbaka något under valsningen, samtidigt som valsarna böjs en aning.

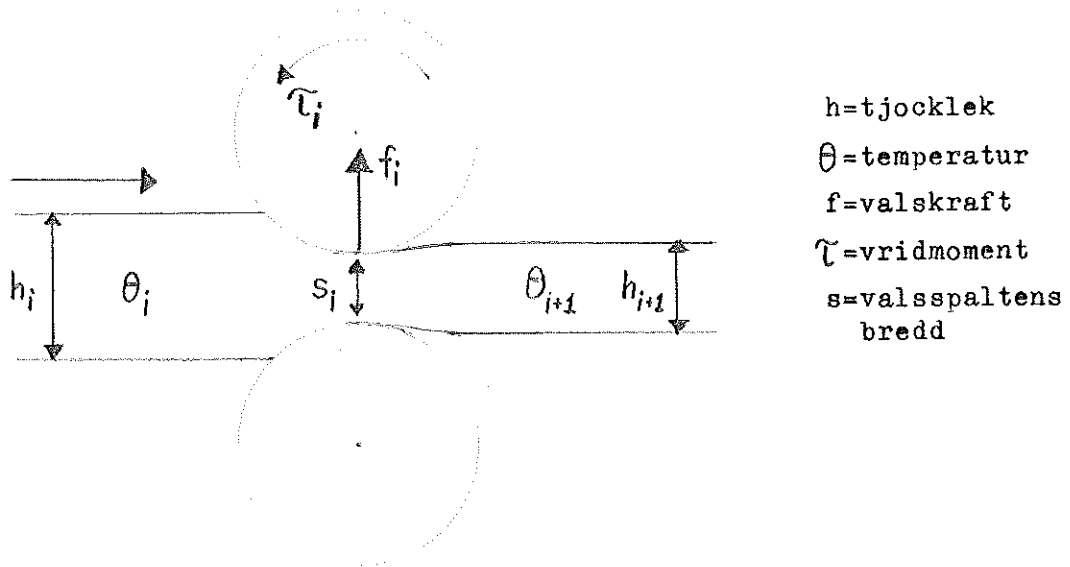


Fig. 2.2

Schematisk bild av valsprocessen.

Bilden visar det  $i$ :te sticket, därav indexen. Observera att  $h_{i+1} > s_i$  p.g.a. att plåten är något elastisk, men framför allt p.g.a. att det finns en viss fjädring i valsverket.  $s_i$  är alltså valsspaltens bredden innan valsningen börjat, dvs. innan valsverket har fjädrat tillbaka.



Vi behöver nu en matematisk modell av valsprocessen. Den hämtas från Lopresti and Patton: "On Optimal Closed Loop Control of a Rolling Mill", som i sin tur refererar till Schultz and Smith: "Determination of a Mathematical Model for Rolling Mill Control". Det är en empirisk modell av ett reversibelt kvartovalsverk. Vissa förenklingar är gjorda i modellen. Den i fig. 2.1 (s.6) illustrerade valsböjningen bortses ifrån (fjädringen i verket är däremot medtagen), och plåtbredden anses som konstant under valsningen. Vi skall nu ställa upp de i modellen ingående ekvationerna, och fig. 2.2 (s.6) rekommenderas som illustration.

Ur kostnadssynpunkt är två saker speciellt intressanta, nämligen tiden och energiåtgången för ett stick. I ekvationen för tiden per stick ingår inte bara passeringstiden utan också ett konstant tidstillägg för omkastning av drivmotorerna och inställning av valsspalten. Uttrycket för själva passeringstiden förutsätter en relativt konstant drivmotor-hastighet under valsningen. Ekvationen är

$$\lambda_i = \lambda_d + \left[ \frac{V_s}{R\omega_m w_s} \right] \frac{1}{h_{i+1}} \quad (2.1)$$

där  $\lambda_i$  = total tid för det i:te sticket (sekunder)

$\lambda_d$  = omkastnings- och inställningstid (sekunder)

$V_s$  = plåtvoly (cubic inches)

$R$  = (arbets)valsradie (inches)

$\omega_m$  = genomsnittlig vals-vinkelhastighet (radianer per sekund)

$w_s$  = plåtbredd (inches)

$h_{i+1}$  = plåttjocklek efter det i:te sticket (inches).

För energiåtgången per stick fås ekvationen

$$e_i = 2k_1 \omega_m \tau_i (\lambda_i - \lambda_d) \quad (2.2)$$

där  $e_i$  = energiåtgång för det i:te sticket (kilowatt-timmar)

$k_1$  = konstant faktor som innehåller konversionen från "ton-foot-seconds" till "kilowatt-timmar" och verkningsgraden hos det elektriska drivsystemet.

$\tau_i$  = vridmoment under det i:te sticket (ton-feet).

För att göra modellen fullständig behöver vi följande ekvationer:

Valskraften

$$f_i = \left[ k_2 \frac{(h_i - h_{i+1})}{h_i} 10^{-k_3 \theta_i} + k_4 R/h_i + (k_5 - k_6 \theta_i) \right] \cdot \sqrt{R(h_i - h_{i+1})} \cdot w_s \quad (2.3)$$

Vridmomentet

$$\tau_i = [k_7 + k_8 h_{i+1}] f_i \sqrt{R(h_i - h_{i+1})} \quad (2.4)$$

Plåttjockleken

$$h_{i+1} = s_i + \left[ k_9 + k_{10} (k_{11} - w_s) D^{-k_{12}} \right] f_i \quad (2.5)$$

(där valsspaltbredden,  $s_i$ , förutsättes icke-negativ och mindre än ingångstjockleken hos plåten,  $h_i$ )

Den andra termen är fjädringen i valsverket.

Plåttemperaturen

$$\theta_{i+1} = \theta_i - k_{13} \frac{\bar{e}(h_{i+1})}{h_{i+1}} \theta_i^4 \lambda_i + k_{14} e_i \quad (2.6)$$

Den mellersta termen är avsvälningen under sticket och den sista termen är energiökningen vid deformationen.

Bokstavs-beteckningarna har följande betydelse:

$f_i$  = valskraft under det  $i$ :te sticket (tons)

$\tau_i$  = (motor)vridmoment under det  $i$ :te sticket (ton-feet)

$s_i$  = valsspaltsinställning (spaltbredd) under det  $i$ :te sticket (inches) (Se fotnot)

$D$  = stödvalsdiameter (inches)

$\theta_i$  = plåttemperatur före det  $i$ :te sticket (grader Rankine)

$\bar{e}(h_{i+1})$  = effektiv emission hos plåten efter det  $i$ :te sticket

$k_2 - k_{14}$  = konstanter, som bestäms empiriskt.

Fotnot: I fortsättningen används "valsspaltsinställning" och "spaltbredd" i samma betydelse, dvs. valsspaltbredden innan valsverket har fjädrat tillbaka.

Vi har alltså sex ekvationer och nio variabler. Om vi väljer de tre variablerna  $h_i$ ,  $\theta_i$  och  $s_i$  som oberoende, kan vi i princip erhålla följande funktioner:

$$\theta_{i+1} = \theta(\theta_i, h_i, s_i) \quad (2.7)$$

$$h_{i+1} = h(\theta_i, h_i, s_i) \quad (2.8)$$

$$e_i = e(\theta_i, h_i, s_i) \quad (2.9)$$

$$\lambda_i = \lambda(\theta_i, h_i, s_i) \quad (2.10)$$

$$f_i = f(\theta_i, h_i, s_i) \quad (2.11)$$

$$\tau_i = \tau(\theta_i, h_i, s_i) \quad (2.12)$$

Funktionerna (2.7) - (2.12) kan dock inte generellt erhållas explicit, utan man måste då använda iterativa metoder.

Ur reglerteknisk synpunkt kan vi nu i valsprocessen betrakta  $(\theta_i, h_i)$  som ett tvådimensionellt tillståndsrum,  $s_i$  som insignal och  $e_i, \lambda_i, f_i$  och  $\tau_i$  som utsignaler.

Valsverket kan av naturliga skäl inte tåla hur stora påfrestningar som helst, utan en övre gräns för valskraften måste införas:

$$f(\theta_i, h_i, s_i) \leq F_{\max} \quad (2.13)$$

Även det från motorerna erhållna vridmomentet måste ha en övre gräns:

$$\tau(\theta_i, h_i, s_i) \leq \tau_{\max} \quad (2.14)$$

Av metallurgiska skäl vill man valsa plåtarna inom ett visst temperaturintervall:

$$\theta_{\min} \leq \theta_i \leq \theta_{\max} \quad (2.15)$$

Vi har nu fått en fullständig matematisk modell av valsprocessen att arbeta vidare med.

### 3. Formulering och lösning av optimeringsproblemet.

I detta avsnitt skall vi formulera optimeringsproblemet och med hjälp av dynamisk programmering beskriva en lösningsmetod, som är användbar i ett datamaskinprogram.

Optimeringsproblemet kan formuleras sålunda:

Sök den sekvens av valsspaltsinställningar  $s_1, s_2, \dots$  som överför plåten från begynnelsestillståndet  $(h_1, \theta_1)$  till den önskade sluttjockleken  $h_{\min}$ , så att kostnaden blir minimal, utan att temperaturen hamnar utanför det tillåtna intervallet och utan att valskrafter eller vridmoment blir för stora.

Vi behöver alltså en funktion som beskriver kostnaden. En sådan är i praktiken ofta svår att finna. Vi väljer förlustfunktionen så att kostnaden blir proportionell mot tiden och energiåtgången. Om  $N$  är det antal stick som behövs för att valsa ned plåten från begynnelsestillståndet  $(h_1, \theta_1)$  till sluttillståndet  $(h_{N+1}, \theta_{N+1})$ , där den önskade sluttjockleken  $h_{\min} = h_{N+1}$ , får förlustfunktionen följande utseende:

$$V(h_1, \theta_1, s_1, \dots, s_N) = \sum_{i=1}^N (k_1 \lambda_i + k_2 e_i) \quad (3.1)$$

där  $k_1$  är kostnaden per sekund och  $k_2$  är kostnaden per kilowatt-timme. Jämför med ekv. (1.2) s.3. Kostnaden är alltså beroende av begynnelsestillståndet och den sekvens av insignaler (dvs. valsspaltsinställningar) vi väljer.

Den dynamiska programmeringen och optimalitetsprincipen ger nu den minimala kostnaden (jfr ekv. (1.4) s.4):

$$V^0(h_1, \theta_1) = \min_{s_1} [(k_1 \lambda_1 + k_2 e_1) + V^0(h_2, \theta_2)] \quad (3.2)$$

där  $s_1$  måste väljas så att inte någon av begränsningarna (2.13), (2.14) eller (2.15) på s.9 överskrides.

Det är naturligt att precisera en maximal begynnelsejocklek,  $h_{\max}$ , och det tillåtna tillståndsrummet blir då en rektangel:

$$h_{\min} \leq h \leq h_{\max} \quad (3.3)$$

$$\theta_{\min} \leq \theta \leq \theta_{\max} \quad (3.4)$$

För att kunna tillämpa vår framställning av den dynamiska programmeringen måste dock detta tillståndsrum diskretiseras. Detta görs genom att dela upp tillståndsrummet i  $(P+1) \cdot (M+1)$  punkter. (Se fig. 3.1)

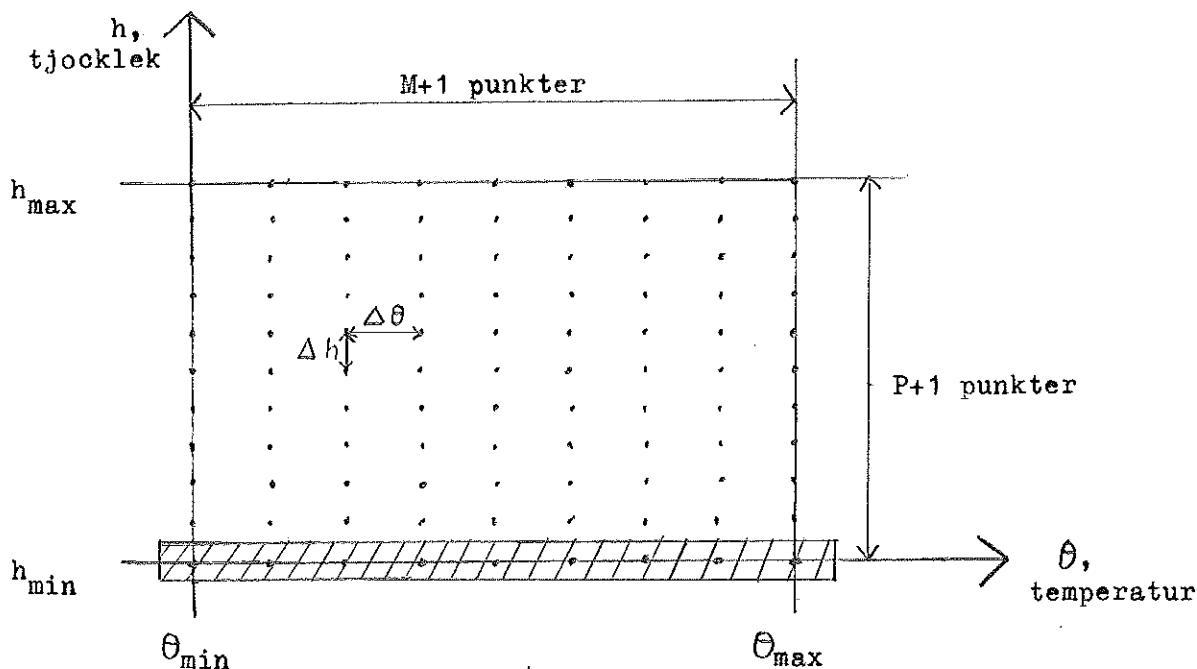


Fig. 3.1

Det diskretiserade tillståndsrummet.

Den streckade rektangeln utgör det område, i vilket sluttillståndet  $(h_{N+1}, \theta_{N+1})$  måste ligga, för att plåten skall kunna bli godkänd.

Den totala mängden tillåtna tillstånd kan skrivas:

$$H = \left\{ h : h = h_{\min} + k \frac{h_{\max} - h_{\min}}{P} ; k=0, 1, \dots, P \right\} \quad (3.5)$$

$$T = \left\{ \theta : \theta = \theta_{\min} + l \frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{M} ; l=0, 1, \dots, M \right\} \quad (3.6)$$

Avståndet i h-led mellan punkterna blir

$$\Delta h = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{P} \quad (3.7)$$

och i  $\theta$ -led

$$\Delta \theta = \frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{M} \quad (3.8)$$

Det område i vilket det verkliga sluttillståndet  $(h_{N+1}, \theta_{N+1})$  skall ligga blir:

$$|h_{N+1} - h_{\min}| \leq \frac{\Delta h}{2} \quad (3.9)$$

$$\theta_{\min} - \frac{\Delta \theta}{2} \leq \theta_{N+1} \leq \theta_{\max} + \frac{\Delta \theta}{2} \quad (3.10)$$

(Om termen  $\frac{\Delta \theta}{2}$  i de två ytterleden i den sista olikheten skall vara med eller ej kan diskuteras, men är i princip ointressant)

I fig. 3.1 (s.11) är detta område streckat.

I den teori om dynamisk programmering som gavs i avsnitt 1 förutsattes även en diskret mängd tillåtna styrsignaler. I den kommande framställningen visar det sig, att man på ett listigt sätt kan kringgå detta krav. En naturlig begränsning av insignalen (valsspaltsbredden) är emellertid:

$$0 \leq s_i \leq h_{\max} \quad (3.11)$$

Den av Lopresti och Patton i sin artikel angivna lösningsmetoden skiljer sig från den som här kommer att ges. De har nämligen förutsatt, att den minimala kostnaden från ett godtyckligt tillstånd alltid fås, då antalet stick är minimalt, vilket i praktiken troligen är sant, men teoretiskt sett är ett tvivelaktigt antagande. Om man från ett tillstånd kan nå sluttillståndet med  $N$ , men ej färre, stick, är det inte säkert att den minimala kostnaden för  $N$  stick är den verkligt minimala, utan denna kanske fås genom att göra  $N+n$  stick, där  $n$  är ett positivt heltal.

Vi skall nu formulera om de i avsnitt 2 givna ekvationerna (2.1) - (2.6) och olikheterna (2.13) och (2.14), samt förlustfunktionen (3.1), genom att införa parametrarna  $p_1 - p_{21}$  och den nya variabeln  $\Delta h_i$ , där

$$\Delta h_i = \text{tjockleksreduktionen under det } i\text{:te sticket (inches).}$$

Sorter och numeriska värden, hämtade ur artikeln av Lopresti och Patton, på parametrarna finns tabellerade i Appendix C. Ekv. (3.12) har ingen tidigare motsvarighet.

Tillståndsekvationerna:

$$h_{i+1} = h_i - \Delta h_i \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} \theta_{i+1} = \theta_i - p_{12} \left[ p_4 - p_5 \left( \frac{\theta_i}{1000} \right) (h_i - \Delta h_i) \right] \left( \frac{\theta_i}{1000} \right)^4 \left( \frac{\lambda_i}{h_i - \Delta h_i} \right) + \\ + p_6 e_i \end{aligned} \quad (3.13)$$

Utsignalerna:

$$f_i = \frac{h_i - \Delta h_i - s_i}{p_{15}} \quad (3.14)$$

$$\tilde{\tau}_i = \left[ p_2 + p_3(h_i - \Delta h_i) \right] \sqrt{p_{17} \Delta h_i} f_i \quad (3.15)$$

$$\lambda_i = p_{16} + \frac{60 p_{12}}{2\pi p_{13} p_{14} p_{17} (h_i - \Delta h_i)} \quad (3.16)$$

$$e_i = p_1 p_{14} \tilde{\tau}_i (\lambda_i - p_{16}) \quad (3.17)$$

Förlustfunktionen:

$$V(h_1, \theta_1, s_1, \dots, s_N) = \sum_{i=1}^N (p_{20} \lambda_i + p_{21} e_i) \quad (3.18)$$

Begränsningar av utsignalerna:

$$f_i \leq p_{18} \quad (3.19)$$

$$\tilde{\tau}_i \leq p_{19} \quad (3.20)$$

Den nya variabeln  $\Delta h_i$  kan lösas ur de två valskraftekvationerna:

$$f_i = \left[ \left( \frac{p_7 \Delta h_i}{h_i} \right)^{10} - p_8 \theta_i + p_9 p_{17} / h_i + \right. \\ \left. + (p_{10} - p_{11} \theta_i) \right] p_{13} \sqrt{p_{17} \Delta h_i} \quad (3.21)$$

$$f_i = \frac{h_i - \Delta h_i - s_i}{p_{15}} \quad (3.22)$$

Detta kan göras iterativt med t.ex. Newton-Raphsons metod.

Beteckningarna är de samma som tidigare. Observera dock att plåttemperaturen  $\theta_i$  i dessa ekvationer och i fortsättningen har sorten grader Fahrenheit i stället för grader Rankine. Ekv. (3.13) fås ur ekv. (2.6) genom att införa den effektiva emissionens beroende av  $h_{i+1}$  och  $\theta_i$ . Faktorn  $60/2\pi$  i ekv. (3.16) kommer av att vi övergått att räkna valshastigheten varv/min i stället för rad/sek.

För att undvika den tidigare omnämnda ekvationslösningen med Newton-Raphsons metod, skall ett till en början något bakvänt betraktelsesätt presenteras. Vi tänker oss tjockleksreduktionen  $\Delta h_i$  som "insignal" och valsspaltbredden  $s_i$  som en av utsignalerna. Ekv. (3.14) bör då skrivas:

$$s_i = h_i - \Delta h_i - p_{15} f_i \quad (3.23)$$

Om vi fixerar ett  $\Delta h_i$  (en "insignal"), kan vi genom enkla insättningar i systemekvationerna få det nya tillståndet och utsignalerna, däribland  $s_i$ , dvs. den valsspaltinställning som ger den fixerade tjockleksreduktionen  $\Delta h_i$ . På detta sätt behöver vi inte lösa någon ekvation, och vi kan låta  $s_i$  anta alla värden i intervallet  $0 \leq s_i \leq h_{\max}$ . Att vi inte behöver diskretisera  $s_i$  beror på att vi infört en annan insignal  $\Delta h_i$ , som i stället måste vara diskret. Detta är emellertid ingen svårighet, då p.g.a. den tidigare diskretiseringen av tillståndsrummet måste gälla:

$$\Delta h_i = k \cdot \Delta h, \quad k = 0, 1, \dots, K \quad \text{där } K = (h_i - h_{\min}) / \Delta h \quad (3.24)$$

$\Delta h$  är liksom tidigare punktavståndet i h-led. (Se ekv. (3.7) och fig. 3.1)

Vi indicerar nu de tillåtna tillstånd genom att ange koordinaterna i tillståndsrummet, dock på det bakvända sättet  $(h_k, \theta_1)$ . Vi förskjuter också axlarna, så att deras skärningspunkt ligger i  $(1,1)$ . (Se fig. 3.2)

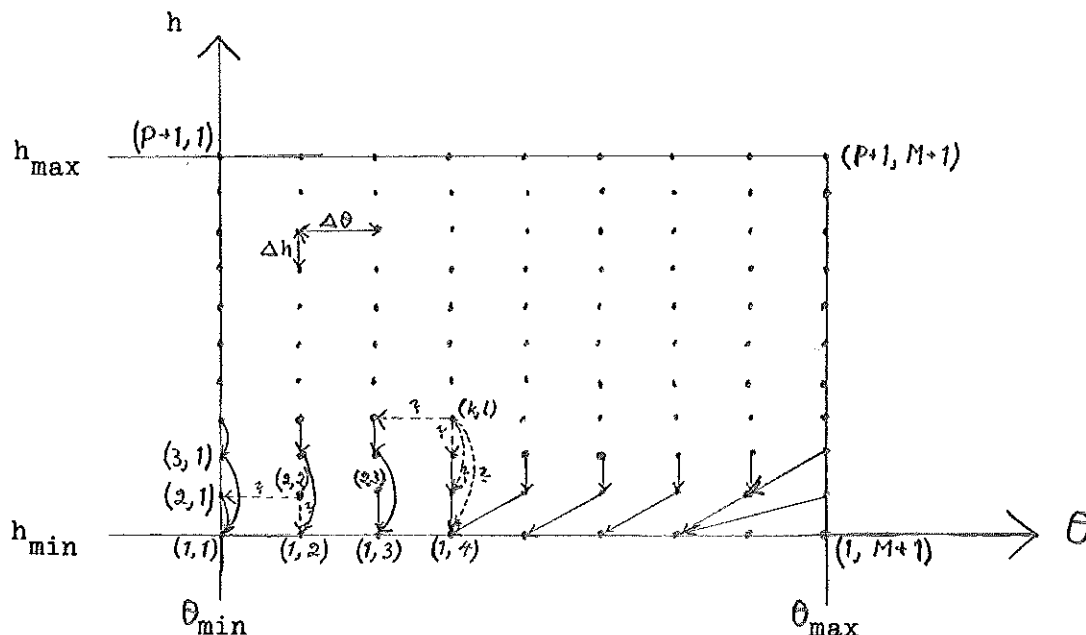


Fig. 3.2

Indicering av tillståndsrummet.

Pilarna anger den optimala strategin. (Jämför även med fig. 3.1)



Vi representerar nu de minimala kostnaderna från samtliga tillstånd med en  $(M+1) \times (P+1)$ -matris, där ett element  $V_{k1}$  är den minimala kostnaden att valsa ned en plåt från tillståndet  $(h_k, \theta_1)$ . Om vi indicerar matrisen på vanligt sätt, kommer matriselementen inte att korrespondera med punkterna i fig. 3.2, utan matrisen blir "upp och nedvänd". Detta vållar dock inga besvär, fränsett en viss försiktighet vid utskrift av matrisen från data-maskinen.

På samma sätt inför vi matriser för den optimala valsspaltsinställningen, antalet stick, och vilket nytt tillstånd, som den optimala styrningen leder till. Vi kan alltså för ett godtyckligt tillstånd se i matriserna hur stor den minimala kostnaden är, hur många stick som behövs, vilken den första valsspaltsinställningen skall vara och till vilket tillstånd denna insignal för systemet. För detta nya tillstånd kan vi sedan upprepa proceduren tills plåtens tjocklek är den önskade.

När vi skall beräkna elementen i matriserna sätter vi först  $V_{11}, \dots, V_{1(M+1)}$  lika med noll, ty för dessa tillstånd är plåttjockleken redan den önskade. Vi behöver inte göra någon valsning, så kostnaden blir noll. Sedan studerar vi tillståndet  $(h_2, \theta_1)$ . Den enda möjliga "insignalen" är  $\Delta h_1 = \Delta h$ . Vi sätter in detta värde i ekv. (3.12) - (3.23) och kontrollerar att begränsningarna av valskraften  $f_i$  och vridmomentet  $\bar{T}_i$  (formlerna (3.19) och (3.20)) inte överskrides. Vi måste också kontrollera att vi inte hamnar utanför de tillåtna temperaturgränserna (olikheten (3.4)). Skulle något av villkoren ovan inte vara uppfyllt sättes elementet med index 21 lika med -1 i alla matriserna, för att markera att vi från detta tillstånd, som vi kan kalla ett stopptillstånd, aldrig kan nå den önskade sluttjockleken.

Sedan flyttar vi oss ett steg i positiv  $\theta$ -riktning, till tillståndet  $(h_2, \theta_2)$ . I detta tillstånd har vi också möjlighet att inte göra något stick, dvs. låta plåten svalna så att vi hamnar i tillståndet  $(h_2, \theta_1)$ . (Se fig. 3.2) För detta åtgår ingen energi, men väl tid. Vi förutsätter att plåten inte kan värmas upp mellan sticken, så att det är omöjligt att gå från tillståndet  $(h_2, \theta_2)$  till tillståndet  $(h_2, \theta_3)$ . Vi jämför sedan kostnaden att valsa så att tjockleksreduktionen blir  $\Delta h$  med kostnaden att först låta plåten svalna och sedan valsa. Det billigaste sättet väljes, allt enligt ekv. (3.2). (Observera att tillståndsindexen i denna ekvation hänför sig till "tiden", dvs. antalet stick vi redan har gjort) Vi fortsätter sedan på samma sätt, i  $\theta$ -led t.o.m.  $\theta = \theta_{\max}$ , varefter vi börjar om på nästa rad.

För ett godtyckligt tillstånd  $(h_k, \theta_1)$  undersöks "insignalerna"  $\Delta h_i = \Delta h, 2\Delta h, 3\Delta h, \dots$  tills någon av  $f_i$  eller  $\tilde{T}_i$  blir för stor, eller tills vi skulle få en tjocklek mindre än  $h_{\min}$ . (Se fig. 3.2) Vi undersöker sedan kostnaden att låta plåten svalna, och väljer den väg som ger den totalt minsta kostnaden att nå sluttjockleken, under hänsyntagande till de angivna begränsningarna. Skulle samtliga möjliga insignaler medföra att någon av begränsningarna överskrides eller att det nya tillståndet är ett stopptillstånd, är det bara att markera tillståndet  $(h_k, \theta_1)$  som ett stopptillstånd.

När vi på detta sätt har beräknat samtliga element i matriserna, har vi erhållit en optimal lösning, enligt den i avsnitt 1 omnämnda optimalitetsprincipen. Resonemanget ovan motiverar även det från början något konstlade införandet av "insignalen"  $\Delta h_i$ , som har gett oss uppenbara fördelar.

Hur den beskrivna metoden har överförs till ett datamaskinprogram kan studeras i Appendix D och E, där flödesplan resp. programlistning finns.

#### 4. Körning på datamaskin av optimeringsprogrammet.

Vid körning på datamaskin av optimeringsprogrammet användes följande värden:

$$h_{\min} = 0.5 \text{ in.}$$

$$h_{\max} = 2.4 \text{ in.}$$

$$\theta_{\min} = 1200 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\theta_{\max} = 2300 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$F_{\max} = p_{18} = 750 \text{ Tons}$$

$$\tilde{T}_{\max} = p_{19} = 7.5 \text{ Ton-Ft.}$$

$$M = 44$$

$$P = 76$$

Enligt ekv. (3.7) och (3.8) fås:

$$\Delta h = 0.025 \text{ in.}$$

$$\Delta \theta = 25 \text{ }^\circ\text{F.}$$

En tabell över värdena på parametrarna  $p_1 - p_{21}$  finns, som förut nämnts, i Appendix C.

Värdena på  $M$  och  $P$  är valda så att vi skall få en så fin diskretisering av tillståndsrummet som möjligt, utan att datamaskinens kärnminneskapacitet överskrides. Vi behöver ju lagra fem  $(M+1) \times (P+1)$  -matriser, dvs. i vårt fall fordras en kapacitet av  $5 \times 45 \times 77 = 17\ 325$  ord. Ytterligare minnesutrymme erfordras givetvis för att lagra övriga variabler och själva programmet.

Det kan noteras, att det något opraktiska sättet att använda två matriser för den rad (IRAD) resp. kolonn (KOL), som styrningen leder till, är en följd av att man vill hålla den erforderliga minneskapaciteten nere. Skulle man för varje tillstånd lagra den optimala sekvensen av insignaler, skulle man behöva ett  $N \times (M+1) \times (P+1)$  -fält, där  $N$  är det maximala antalet stick, som någon gång erfordras. Dessutom behövs två  $(M+1) \times (P+1)$  -matriser för kostnaden och antalet stick. Om vi sätter  $N=10$  blir minnesutrymmet  $10 \times 45 \times 77 + 2 \times 45 \times 77 = 41\ 580$  ord, dvs. mer än dubbelt så stort jämfört med tidigare.

Till sist skall nämnas, att för datamaskinen CD 3600 i Uppsala blev kompileringstiden ca 17 sekunder och exekveringstiden ca 1 minut.

## 5. Analys av den optimala strategin.

I detta avsnitt skall vi analysera den optimala strategi, som vi fått genom att köra vårt optimeringsprogram. Den fullständiga resultatutskriften finns i Appendix F, men då matriserna är mycket svåröverskådliga finns en grafisk framställning av strategin i fig. 5.1.

Några kommentarer kan vara på sin plats. Av den fullständiga strategin i övre, vänstra delen av fig. 5.1 ser man, att det är optimalt att göra en liten styrning, så att plåten kommer till ett tillstånd, från vilket man kan valsa kraftigt "jämnt ut" till sluttillståndet. Se t.ex. tillståndet (66,8). Här gör vi en liten styrning till tillståndet (65,8), istället för att valsa kraftigt mot sluttillståndet. Den lilla skillnaden i tjocklek mellan de två tillstånden hade då måst tas igen just innan sluttillståndet var uppnått, och detta hade blivit dyrare, än att göra det vid så stor tjocklek som möjligt. (Jfr ekv. (3.16), (3.17) och (3.18).) Därför är det mönster, som visas i den övre, vänstra delen av fig. 5.1 karakteristiskt för hela den optimala strategin.

Området med stopptillstånd i närheten av  $\theta_{\min}$  beror givetvis på att plåten får en alltför låg temperatur innan sluttillståndet är uppnått.

Att vi får mindre optimala tjockleksreduktioner ju mindre tjockleken är, beror på att valskraften ökar med minskad tjocklek. (Jfr ekv. (3.21).)

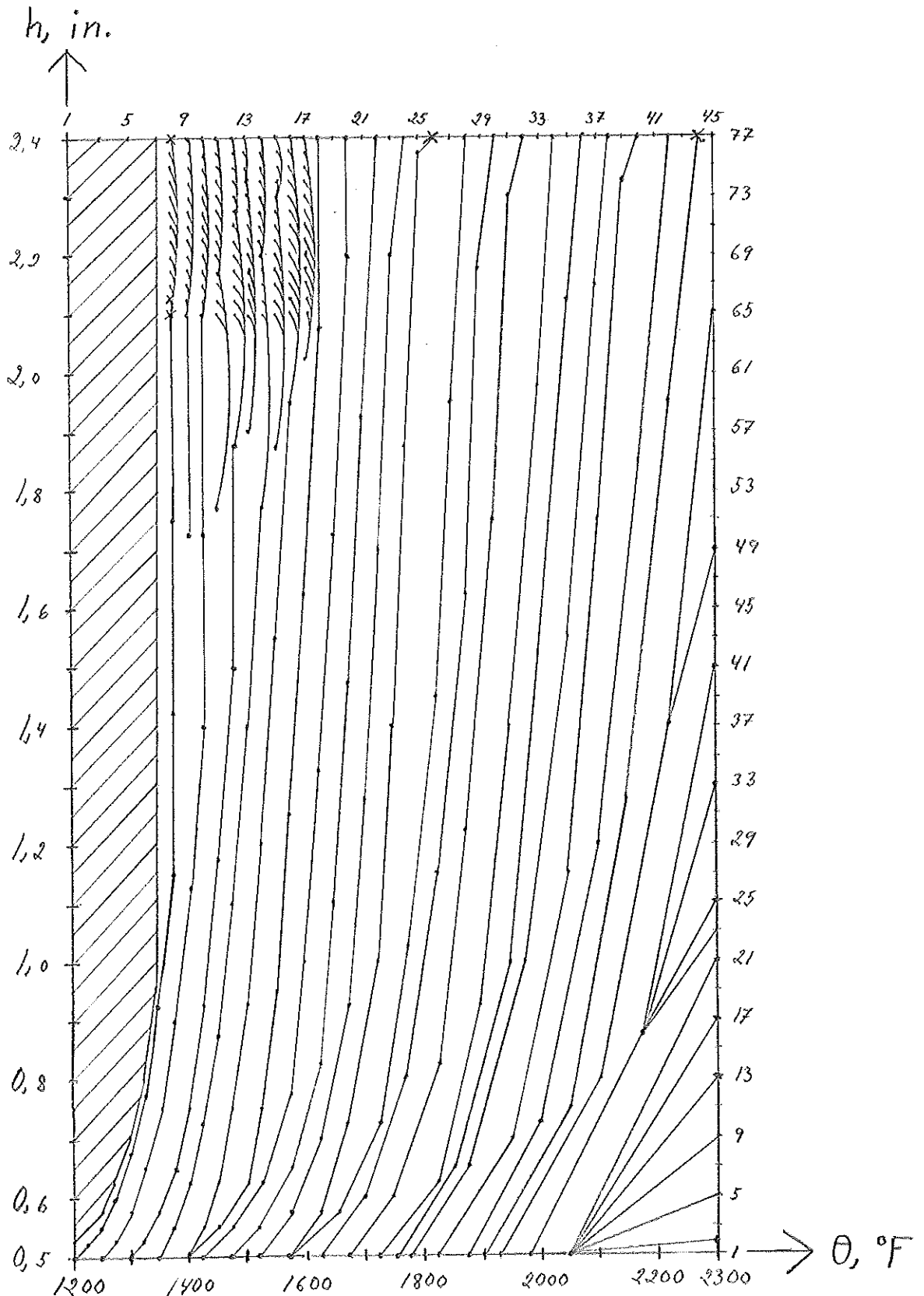


Fig. 5.1

Den optimala strategin.

Endast i övre, vänstra delen är den fullständiga strategin utritad, för övrigt finns bara vissa optimala vägar. Det streckade området till vänster utgörs av stopptillstånd. Talen överst och till höger är indiceringen av tillståndsrummet.

	Begynnelsestillstånd		
	(77,8)	(77,26)	(77,44)
Kostnad, V (\$)	2.61	1.63	0.94
Spaltbredd, s (in.)	2.068	2.368	1.921
Antal stick, N	11	7	4

Fig. 5.2

Optimala värden för tre olika tillstånd.

De tre begynnelsestillstånden motsvarar tjockleken 2.4 in. och temperaturerna 1375, 1825 resp. 2275 °F. (Se fig. 5.1)

En sammanställning av kostnaden, första insignalen och antalet stick för tre olika begynnelsestillstånd finns i fig. 5.2. Som synes minskar både kostnaden och antalet stick med ökad begynnelsestemperatur, vilket är ganska naturligt.

Den förlustfunktion vi använder har följande form (jfr med ekv. (3.18)):

$$V = \sum_{i=1}^N (p_{20}\lambda_i + p_{21}e_i) \quad (5.1)$$

där  $p_{20}$  är kostnaden per tidsenhet, och

$p_{21}$  är kostnaden per energienhet.

Vi skall nu undersöka hur känslig den optimala strategin är för variationer av  $p_{20}$  och  $p_{21}$ . Vi utgår från de värden parametrarna har haft tidigare, och ändrar dem på olika sätt. Vi väljer följande värdepar:

$p_{20}$  (\$/sek.): 0.05 0.25 0.50 0.01 0.05 0.05

$p_{21}$  (\$/kWhr): 0.01 0.01 0.01 0.01 0.05 0.10

Det första paret är det vi använt tidigare.

Genom att köra optimeringsprogrammet med dessa olika kombinationer av parametervärden och jämföra de optimala strategierna, fann vi, att dessa avvek högst obetydligt från den tidigare analyserade, dvs. den i fig. 5.1. Man kunde dock konstatera, att strategin var något känsligare för variationer av  $p_{21}$  än  $p_{20}$ . Strategin med parameterkombination 5 blev naturligt nog precis likadan som den med kombination 4, medan kostnaden blev fem gånger så stor.

		Begynnelsestillstånd	
$p_{20}$	$p_{21}$	(77,8)	(77,44)
0.05	0.01	2.61	0.94
0.25	0.01	12.99	4.67
0.50	0.01	25.98	9.33
0.01	0.01	0.53	0.19
0.05	0.05	2.64	0.96
0.05	0.10	2.68	0.99

Fig. 5.3

Kostnaden från två tillstånd för olika värden på  $p_{20}$  och  $p_{21}$ . Den första insignalen och antalet stick ändrades inte för dessa två begynnelsestillstånd vid variation av parametervärdena, så dessa uppgifter kan fås ur fig. 5.2. Sorten på kostnaden är som tidigare \$.

Även om strategierna var ganska lika ändrades kostnadsmatriserna i de olika fallen mycket. I fig. 5.3 finns kostnaden från två olika begynnelsestillstånd i de sex fallen tabellerad. Det framgår att kostnaden är betydligt känsligare för variation av  $p_{20}$  än  $p_{21}$ . (För själva strategin var det alltså tvärt om.)

Till sist i detta avsnitt skall vi kontrollera hur väl vår matematiska modell av valsprocessen stämmer överens med verkligheten. Vi skall i vår optimala strategi lägga in värden från två plåtar, som har valsats vid Oxelösunds Järnverk med en annan strategi.

Först måste vi beräkna en strategi med nya värden på begränsningar och parametrar. Vi väljer följande begränsningar:

$$h_{\min} = 0.6 \text{ in.}$$

$$h_{\max} = 6.3 \text{ in.}$$

$$\theta_{\min} = 1200 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\theta_{\max} = 2300 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$M = 22$$

$$P = 114$$

Enligt ekv. (3.7) och (3.8) fås:

$$\Delta h = 0.05 \text{ in.}$$

$$\Delta \theta = 50 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Följande parametervärden ändrades:

$$p_6 = 2 \text{ } ^\circ\text{F/kWhr}$$

$$p_{12} = 50 \times 10^3 \text{ in.}^3 \text{ (plåtvolymen)}$$

$$p_{13} = 130 \text{ in. (plåtbredden)}$$

$$p_{18} = 2300 \text{ Tons (F}_{\text{max}})$$

$$p_{19} = 23 \text{ Ton-Ft. (}\hat{t}_{\text{max}})$$

För övrigt används de parametervärden som finns i Appendix C, p.g.a. att vi inte känner till de korrekta. Hade vi gjort det, skulle vi naturligtvis erhållit ett ännu bättre resultat.

I fig. 5.4 finns den erhållna strategin. Det kan observeras, att det inte finns något område med stopptillstånd. De två streckade kurvorna är värden från plåtar, som har valsats vid Oxelösunds Järnverk. Den horisontella linjen vid tjockleken 2.5 in. utgör en gräns, nedanför vilken den plåtbredd ( $p_{13}$ ) vi använt vid beräkning av strategin, stämmer överens med den verkliga plåtbredden. Vid denna plåttjocklek ändrades nämligen plåtbredden i de gjorda valsningarna.

Som synes av fig. 5.4 föreligger en mycket god överensstämmelse mellan modell och verklighet, trots brister i de använda parametervärdena. Temperaturen  $1950 \text{ } ^\circ\text{F}$  vid tjockleken 1.05 in. för den ena plåten är möjligen felaktig, då temperaturen är svårt att mäta. Det är att märka, att för de valsade plåtarna är endast vissa tillstånd uppmätta.

Till sist skall betonas, att vi inte kan säga något om hur "bra" vår optimala strategi är på grundval av den gjorda jämförelsen, utan endast få en uppfattning om hur väl den använda matematiska modellen stämmer överens med verkligheten.

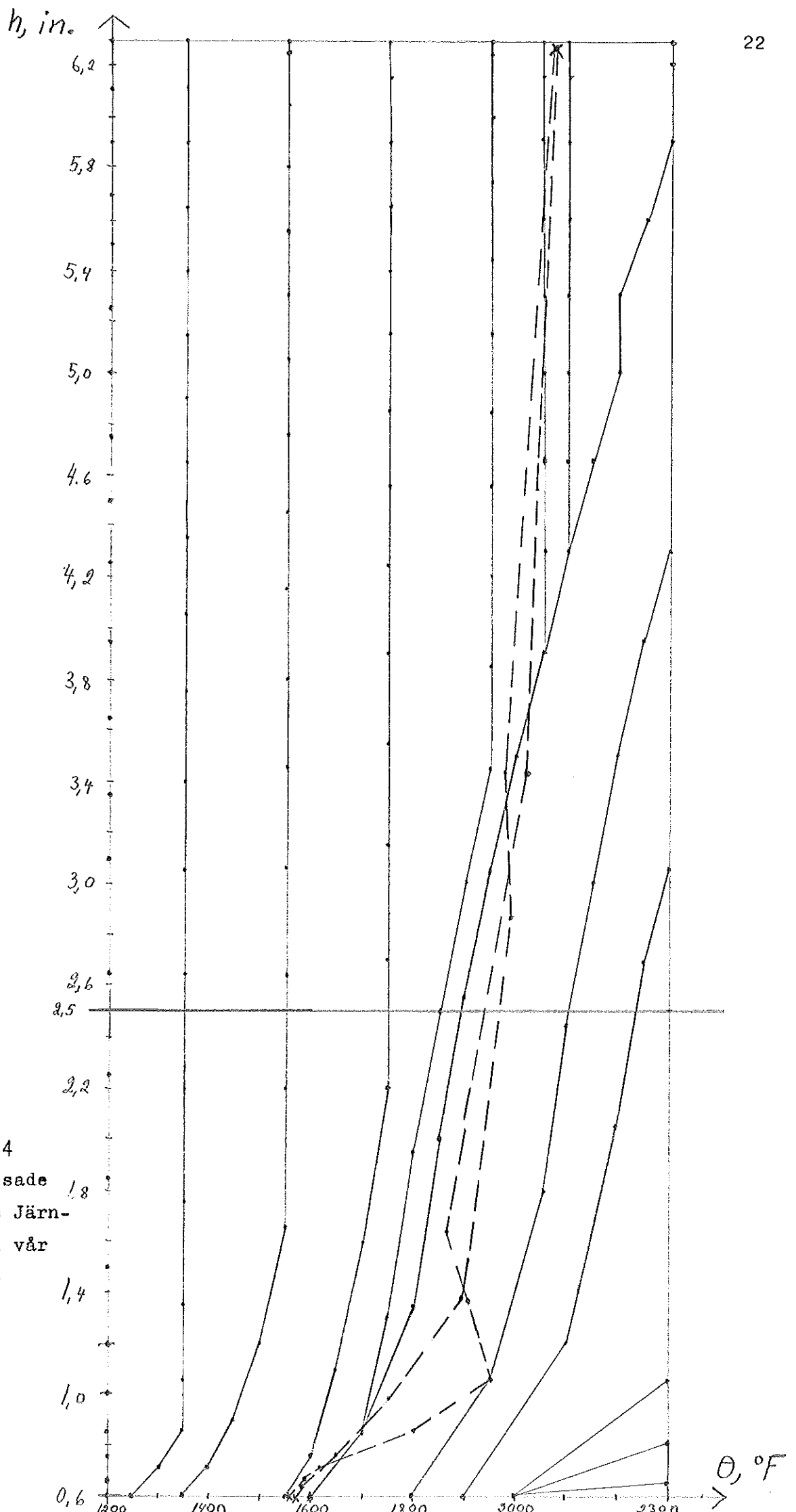


Fig. 5.4  
Två plåtar valsade  
vid Oxelösunds Järn-  
verk inlagda i vår  
optimala stra-  
tegi.



## II SIMULERING

### 1. Simuleringsprogrammet.

För att kunna testa den optimala strategin, behövs ett datamaskinprogram, som simulerar ett valsverk. Om vi vill få en realistisk bild av verkligheten, måste vi då införa brus i systemet.

Vi förutsätter att vi har ett nominellt begynnelsestillstånd  $(h_{\text{nom}}, \theta_{\text{nom}})$ , som kan betraktas som ett medelvärde av en mängd initialtillstånd. Betraktar vi en godtycklig plåt, så antar vi, att den har ett begynnelsestillstånd, som är normalfördelat. Egentligen är fördelningsfunktionen två-dimensionell, men vi betraktar den som två en-dimensionella fördelningsfunktioner. Begynnelsejockleken antas alltså normalfördelad med medelvärdet  $h_{\text{nom}}$  och standardavvikelsen  $\sigma_1$ , och begynnelsetemperaturen antas normalfördelad med medelvärdet  $\theta_{\text{nom}}$  och standardavvikelsen  $\sigma_2$ .

Ett analogt sätt att uttrycka sig är, att vi lägger ett normalfördelat brus med medelvärdet noll på det nominella initialtillståndet. I simuleringsprogrammet används den sista metoden, och bruset erhålls genom att anropa en biblioteks-subroutine RANSS, som genererar normalfördelade slumpstal med medelvärdet noll och standardavvikelsen 1. Den önskade standardavvikelsen, t.ex.  $\sigma_1$ , fås sedan genom att multiplicera slumpstalen med  $\sigma_1$ , ty följande gäller:

Om den stokastiska variabeln  $X$  är  $N(0,1)$ , så gäller för den stokastiska variabeln  $Y = aX$ , att  $Y$  är  $N(0, |a|)$ .

För att från ett godtyckligt tillstånd, och med en viss insignal  $s_i$ , få reda på nästa tillstånd, används de ekvationer som finns i avsnitt I:3, sidorna 12 och 13. Observera dock, att vi nu inte kan komma ifrån den på sid. 13 nämnda ekvationslösningen.

Vi väljer att genomföra lösningen med Newton-Raphsons metod. Den ekvation, vars rot vi söker, får enligt ekv. (I:3.21) och (I:3.22) följande utseende:

$$f(\Delta h_i) = \left[ \left( \frac{p_7 \Delta h_i}{h_i} \right) 10^{-p_8 \theta_i} + p_9 p_{17} / h_i + (p_{10} - p_{11} \theta_i) \right] p_{13} \sqrt{p_{17} \Delta h_i} - (h_i - \Delta h_i - s_i) / p_{15} = 0 \quad (\Delta h_i \geq 0) \quad (1.1)$$

I fig. 1.1 visas det ungefärliga utseendet hos funktionen  $f(\Delta h_i)$ .

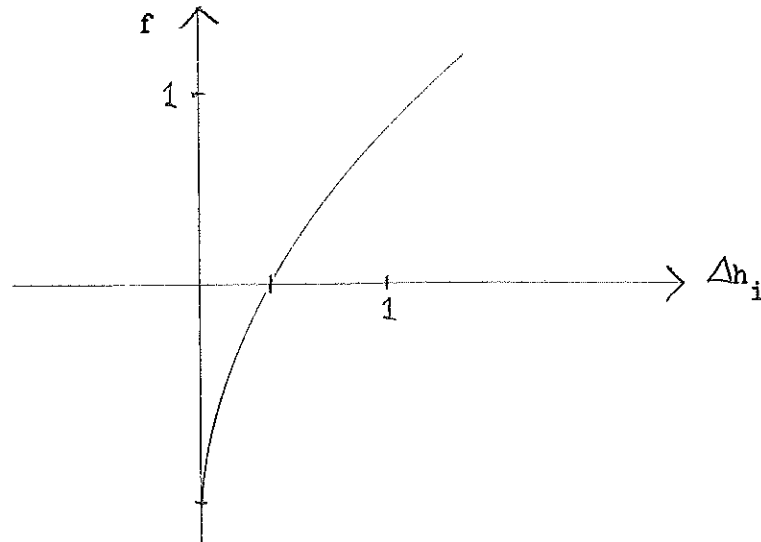


Fig. 1.1

Funktionen  $f(\Delta h_i)$ .

Funktionen har endast ett nollställe.

Det framgår att tangenten för  $\Delta h_i = 0$  är parallell med  $f$ -axeln, vilket kan ställa till problem vid iterationen, då nollstället ligger nära  $f$ -axeln, liksom det faktum att funktionen endast är definierad för  $\Delta h_i \geq 0$ . Vi måste välja ett litet startvärde (dock inte noll!) vid iterationen, för att vara säkra på att inte hamna utanför definitionsområdet eller ännu värre, hamna i skärningspunkten med  $f$ -axeln (där tangenten är parallell med  $f$ -axeln) och få ett felaktigt nollställe. Ett litet startvärde ger emellertid i många fall en långsammare konvergens, vilket dock måste accepteras. Genom att undersöka olika startvärden, fann vi, att  $\Delta h_i = 10^{-5}$  var ett lämpligt val.

Om vi byter ut  $\Delta h_i$  mot  $x$ , blir Newton-Raphsons iterationsformel:

$$x_{n+1} = x_n - f(x_n) / f'(x_n) \quad (1.2)$$

När vi nu känner det nya tillståndet, som den matematiska modellen ger, måste vi lägga brus på detta, ty vår modell beskriver naturligtvis inte valsprocessen exakt. Bruset tänkes vara av samma natur som tidigare, och standardavvikelsen för tjockleken betecknar vi  $\sigma_3$ , och för temperaturen  $\sigma_4$ . I det fall då vi mäter tillståndet efter varje stick, dvs. använder sluten styrning, kan vi betrakta mätfelet i tillståndet som en del av tillståndsbruset ovan.

Till sist skall vi lägga brus även på insignalen, ty p.g.a. glapp hos inställningsskruven för valsspaltsbredden blir inte insignalen alltid exakt den önskade. Bruset på insignalen antas också vara normalfördelat, med medelvärde noll och standardavvikelsen  $\sigma_5$ .

En sammanställning av standardavvikelserna hos brusen blir (medelvärdena är noll):

- $\sigma_1$  - begynnelse-tjockleken
- $\sigma_2$  - begynnelse-temperaturen
- $\sigma_3$  - tjockleken
- $\sigma_4$  - temperaturen
- $\sigma_5$  - valsspaltsbredden

I simuleringsprogrammet används tre olika styrningar, som betecknas 1, 2 och 3:

- 1 - Öppen styrning utan mätning av initialtillståndet. (Vi använder alltså den strategi, som ges av begynnelse-tillståndet  $(h_{\text{nom}}, \theta_{\text{nom}})$ .)
- 2 - Öppen styrning med mätning av initialtillståndet, (och val av strategi därefter).
- 3 - Sluten styrning. (Vi mäter alltså tillståndet efter varje stick, och väljer ny insignal därefter.)

Vid styrning 1 och 2 stoppar vi innan strategin är fullbordad, om valskraften eller vridmomentet blir för stort. I styrning 3 stoppar vi också om plåten hamnar utanför det tillåtna temperaturintervallet.

Vid styrning 3 anser vi, att plåten är färdigvalsad, då för plåttjockleken följande gäller:

$$h_{i+1} \leq h_{\text{min}} + \text{Tol} \quad (1.3)$$

där Tol = toleransen (inches).

Toleransen har följande innebörd. Om sluttjockleken ligger mellan  $(h_{\text{min}} + \text{Tol})$  och  $(h_{\text{min}} - \text{Tol})$ , och temperaturen inom det tillåtna intervallet, är plåten godkänd. Den naturliga toleransen är ju annars  $\Delta h/2$ , men det är inte nödvändigt att använda den.

Till simuleringsprogrammet läses in det antal plåtar man vill ha valsade. Programmet simulerar då ett valsverk, som först använder styrning 1 för detta antal plåtar, sedan styrning 2 och 3.

Resultatutskriften består alltså av tre analoga delar, som representerar varsin styrning. I resultatutskriften finns antalet gånger olika begränsningar har överskridits, olika medelvärden, fördelningar av sluttjockleken, sluttemperaturen, valskraften och vridmomentet, m.m.

Simuleringsprogrammets flödesplan finns i Appendix G, programlistning i Appendix H och resultatutskrift från en körning i Appendix I. Ett beteckningssätt i utskriften kanske behöver förklaras. Termen "finished slabs" anger plåtar, som valsats färdigt, dvs. inte har stoppats p.g.a. att någon begränsning har överskridits. Termen "good finished slabs" är de plåtar bland de ovannämnda, som hamnat innanför toleransområdet, och alltså blivit godkända.

Simuleringsprogrammet använder alltså den optimala strategi, som optimeringsprogrammet har beräknat. För den skull har matriserna från optimeringsprogrammet lagrats på magnetband och läses därifrån in till simuleringsprogrammet.

Kompileringstiden för simuleringsprogrammet (med subroutiner) blev på CD 3600 ca 50 sekunder. Kör man 100 plåtar med varje styrsätt, blev exekveringstiden ca 30 sekunder, och med 1000 plåtar blev den ca 2 minuter och 50 sekunder.

## 2. Analys av simuleringen.

I simuleringsprogrammet används samma värden som finns i avsnitt I:4 på sid. 16, liksom de parametervärden, som finns i Appendix C, med undantag av värdena på  $F_{\max}$  ( $p_{18}$ ) och  $\bar{t}_{\max}$  ( $p_{19}$ ). Följande nya värden används också:

$$h_{\text{nom}} = 2.11 \text{ in.}$$

$$\theta_{\text{nom}} = 1760 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\varepsilon = 10^{-8}$$

$$\text{Antal plåtar} = 100$$

$$\text{KK} = 21$$

Det nominella initialtillståndet är valt godtyckligt, men så att ingen plåt hamnar utanför det tillåtna temperaturintervallet eller i området med stopptillstånd. Detta endast för att resultaten skall bli mera lättöverskådliga, ty själva simuleringsprogrammet klarar naturligtvis av dylika faciliteter.

$\epsilon$  är noggrannheten hos roten till den ekvation, som löses iterativt.

KK är ett godtyckligt, positivt, udda heltal, som används i det första anropet av den slumpvals-genererande subrutinen RANSS. För samma värde på KK fås alltid exakt samma sekvens av slumpval.

Simuleringen kommer att utföras med olika värden på brusets standardavvikelse  $\sigma$  och toleransen Tol. Det visar sig också, att om vi använder de värden på  $F_{\max}$  och  $\tau_{\max}$  som den optimala strategin är beräknad för, kommer ett stort antal plåtar att stoppas p.g.a. att valskraften eller vridmomentet blir för stort. Detta hänger samman med att den optimala strategin utnyttjar så stora valskrafter och vridmoment som möjligt, och när man då inför brus i systemet uppstår denna effekt. Ett gott råd är alltså att beräkna den optimala strategin med något mindre värden på  $F_{\max}$  och  $\tau_{\max}$  än de korrekta. Även  $F_{\max}$  och  $\tau_{\max}$  kommer att varieras.

Följande två uppsättningar brus kommer att användas:

Litet brus:

$$\sigma_1 = 0.06$$

$$\sigma_2 = 65$$

$$\sigma_3 = 0.015$$

$$\sigma_4 = 20$$

$$\sigma_5 = 0.015$$

Stort brus:

$$\sigma_1 = 0.07$$

$$\sigma_2 = 75$$

$$\sigma_3 = 0.02$$

$$\sigma_4 = 25$$

$$\sigma_5 = 0.02$$

Toleransen får följande värden:

$$\text{Tol} = 0.0125, 0.025, 0.04, 0.05 \text{ in.}$$

$F_{\max}$  och  $\tau_{\max}$  kommer att varieras parvis med följande värden:

$$F_{\max} = 750, 900, 1000 \text{ Tons}$$

$$\tau_{\max} = 7.5, 9.0, 10.0 \text{ Ton-Ft.}$$

En sammanfattning av resultaten vid variation av toleransen finns i fig. 2.1 och vid variation av  $F_{\max}$  och  $\tau_{\max}$  i fig. 2.2. Termen "medelantalet stick för avslutade plåtar" innebär att endast stick gjorda på avslutade plåtar (dvs. ingen begränsning har överskridits, men det är inte säkert att sluttjockleken ligger inom toleransgränserna) är medtagna. För övrigt är principen den, att t.ex. termen "kostnad/godkänd plåt" innebär att totala kostnaden för samtliga plåtar har delats med antalet godkända plåtar.

Ur fig. 2.1 och 2.2 kan man utläsa, att sluten styrning (styrning 3) är bättre i förhållande till de andra ju större brus det finns i systemet, och att styrning 2 blir bättre i förhållande till styrning 1, när bruset på initialtillståndet ökar. Sluten styrning är bättre vid små toleranser, och vid små  $F_{\max}$  och  $\tau_{\max}$ , men vid stora toleranser, stora  $F_{\max}$  och  $\tau_{\max}$  och litet brus är skillnaden mellan de tre styrningarna obetydlig.

Kostnaden/godkänd plåt är i de flesta fall störst för sluten styrning, och ibland är denna kostnad större för styrning 2 än för styrning 1. Detta verkar konstigt, då sluten styrning borde vara den bästa och styrning 1 den sämsta. Förklaringen är den, att det inte kostar något extra i vår modell, när valskraften eller vridmomentet blir för stort. Det enda som händer är att vi inte valsar plåten vidare. I de allra flesta fall fås det minsta antalet överskridningar med styrning 3 och det största med styrning 1.

En principiellt betydligt viktigare aspekt på den stora kostnaden/godkänd plåt med sluten styrning är följande. Om plåten p.g.a. tillståndsbruset skulle få en tjocklek, som är något större än den önskade, är det enligt sid. 17 och fig. 5.1 sid. 18 optimalt att göra en liten valsning till den önskade tjockleken. På sid. 17 nämndes, att detta var karakteristiskt för hela den optimala strategin. Denna extra valsning kan aldrig "tas igen", ty om vi en annan gång skulle få en tjocklek, som är mindre än den önskade, kan vi inte tjäna något stick på det. Antalet stick/godkänd plåt blir därför oftast störst med sluten styrning, vilket i sin tur påverkar kostnaden/godkänd plåt.

Tittar man på den procentuella andelen godkända plåtar, visar det sig att sluten styrning är den bästa. P.g.a. de stora kostnader, som en för stor valskraft (t.ex. en bräckt vals) eller ett för stort vridmoment kan medföra, måste sluten styrning anses vara den bästa i de flesta fall.

Tol	Styrning	Litet brus			Stort brus		
		1	2	3	1	2	3
0.0125	Godkända plåtar (%)	55	52	65	30	40	50
	Avslutade plåtar utanför toleransgränserna (%)	42	48	34	58	54	47
	Plåtar, för vilka $f > F_{\max}$ och/eller $\tilde{\tau} > \tilde{\tau}_{\max}$ (%)	3	0	1	12	6	3
	Kostnad/godkänd plåt (\$)	2.58	2.90	3.24	4.64	3.68	4.33
	Antal stick/godkänd plåt	10.85	12.25	13.66	19.57	15.58	18.26
	Medelantalet stick för avslutade plåtar	6.00	6.37	8.86	6.00	6.27	9.14
0.025	Godkända plåtar (%)	83	80	91	59	61	83
	Avslutade plåtar utanför toleransgränserna (%)	14	20	8	29	33	14
	Plåtar, för vilka $f > F_{\max}$ och/eller $\tilde{\tau} > \tilde{\tau}_{\max}$ (%)	3	0	1	12	6	3
	Kostnad/godkänd plåt (\$)	1.71	1.89	2.23	2.36	2.42	2.60
	Antal stick/godkänd plåt	7.19	7.96	9.42	9.95	10.21	11.04
	Medelantalet stick för avslutade plåtar	6.00	6.37	8.58	6.00	6.27	9.11
0.04	Godkända plåtar (%)	94	98	100	77	80	95
	Avslutade plåtar utanför toleransgränserna (%)	3	2	0	11	14	1
	Plåtar, för vilka $f > F_{\max}$ och/eller $\tilde{\tau} > \tilde{\tau}_{\max}$ (%)	3	0	0	12	6	4
	Kostnad/godkänd plåt (\$)	1.51	1.54	2.02	1.81	1.84	2.14
	Antal stick/godkänd plåt	6.35	6.50	8.57	7.62	7.79	9.13
	Medelantalet stick för avslutade plåtar	6.00	6.37	8.57	6.00	6.27	8.70
0.05	Godkända plåtar (%)	97	99	100	84	91	97
	Avslutade plåtar utanför toleransgränserna (%)	0	1	0	4	3	1
	Plåtar, för vilka $f > F_{\max}$ och/eller $\tilde{\tau} > \tilde{\tau}_{\max}$ (%)	3	0	0	12	6	2
	Kostnad/godkänd plåt (\$)	1.46	1.52	1.92	1.66	1.62	2.07
	Antal stick/godkänd plåt	6.15	6.43	8.21	6.99	6.85	8.82
	Medelantalet stick för avslutade plåtar	6.00	6.37	8.21	6.00	6.27	8.57

Fig. 2.1

$$F_{\max} = 1000 \text{ Tons}, \quad \tilde{\tau}_{\max} = 10 \text{ Ton-Ft.}$$

$\bar{\tau}_{\max}$	Styrning	Litet brus			Stort brus		
		1	2	3	1	2	3
7.5	Godkända plåtar (%)	22	23	35	19	14	34
	Avslutade plåtar utanför toleransgränserna (%)	0	0	0	0	1	0
	Plåtar, för vilka $f > F_{\max}$ och/eller $\bar{\tau} > \bar{\tau}_{\max}$ (%)	78	77	65	81	85	66
	Kostnad/godkänd plåt (\$)	3.21	3.35	3.92	3.39	5.04	4.01
	Antal stick/godkänd plåt	13.91	14.61	17.00	14.68	22.14	17.41
	Medelantalet stick för avslutade plåtar	6.00	6.22	8.86	6.00	6.60	8.71
9	Godkända plåtar (%)	86	87	97	68	88	93
	Avslutade plåtar utanför toleransgränserna (%)	0	1	0	1	2	1
	Plåtar, för vilka $f > F_{\max}$ och/eller $\bar{\tau} > \bar{\tau}_{\max}$ (%)	14	12	3	31	10	6
	Kostnad/godkänd plåt (\$)	1.61	1.68	2.00	1.94	1.64	2.10
	Antal stick/godkänd plåt	6.79	7.10	8.55	8.22	6.94	8.98
	Medelantalet stick för avslutade plåtar	6.00	6.31	8.26	6.00	6.29	8.38
10	Godkända plåtar (%)	97	99	100	84	91	97
	Avslutade plåtar utanför toleransgränserna (%)	0	1	0	4	3	1
	Plåtar, för vilka $f > F_{\max}$ och/eller $\bar{\tau} > \bar{\tau}_{\max}$ (%)	3	0	0	12	6	2
	Kostnad/godkänd plåt (\$)	1.46	1.52	1.92	1.66	1.62	2.07
	Antal stick/godkänd plåt	6.15	6.43	8.21	6.99	6.85	8.82
	Medelantalet stick för avslutade plåtar	6.00	6.37	8.21	6.00	6.27	8.57

Fig. 2.2

Toleransen är 0.05 in.  $F_{\max}$  är 750, 900 resp. 1000 Tons.



	Litet brus			
	Styrning	1	2	3
Antal godkända plåtar		841	897	966
Antal avslutade plåtar utanför tol.-omr.		19	23	4
Antal gånger $f > F_{\max}$		140	80	30
Antal gånger $\tau > \tau_{\max}$		0	0	0
Antal gånger $f > F_{\max}$ och $\tau > \tau_{\max}$ samtidigt		0	0	0
Total kostnad för 1000 plåtar (\$)		1381.20	1469.14	1963.58
Totalt antal stick		5830	6211	8346
Kostnad/stick (\$)		0.2369	0.2365	0.2353
Kostnad/plåt (\$)		1.38	1.47	1.96
Kostnad/godkänd plåt (\$)		1.64	1.64	2.03
Antal stick/plåt		5.83	6.21	8.35
Medelantalet stick för avslutade plåtar		6.00	6.32	8.34
Antal stick/godkänd plåt		6.93	6.92	8.64

Fig. 2.3

Toleransen är 0.04 in.  $F_{\max}$  är 900 Tons, och  $\tau_{\max}$  är 9 Ton-Ft. Antalet valsade plåtar är 1000.

I fig. 2.3 finns ett urval av resultaten från den simulering, vars resultatutskrift finns i Appendix I. Tidigare kördes 100 plåtar vid varje simulering, men här valsas 1000 plåtar, vilket naturligtvis ger noggrannare resultat. I resultatutskriften i Appendix I finns även fördelningen hos sluttjockleken, sluttemperaturen, valskraften och vridmomentet m.m.

## APPENDIX A

Enheter

1 foot = 12 inches (in.) = 30.480 cm

1 inch = 25.400 mm

1 cu. inch (in<sup>3</sup>) = 16.387 cm<sup>3</sup>

1 ton = 1016 kp = 9964 N

1 ton-foot = 309.9 kpm

1 dollar (\$) ≈ 5.20 S.Kr.

Omvandling grader Fahrenheit (°F) - °C:

$$C = \frac{5}{9} ( F - 32 )$$

Omvandling från Rankine-temperatur till °F:

$$F = R - 459.6$$

## APPENDIX B

Bokstavsbeteckningar

Beteckning	Identifierare	
D		stödvälsdiameter
$\Delta h_i$	DHI	tjockleksreduktion (under det i:te sticket)
$\Delta h$	DH	punktavstånd i h-led
$\Delta \theta$	DTE	punktavstånd i $\theta$ -led
$\bar{e}$		effektiv emission
e	E	energiåtgång
$\mathcal{E}$	EPS	noggrannhet vid iterationen
f	F	valskraft
$F_{\max}$	P(18)	maximal valskraft
h	HI	tjocklek
$h_{\min}$	HMIN	minimal (önskad) tjocklek
$h_{\max}$	HMAX	maximal tjocklek
$h_{\text{nom}}$	HNOM	nominell begynnelse-tjocklek
k		konstant
KK	KK	positivt, udda heltal (används i RANSS)
$\lambda$	ALAM	tid (för stick)
$\lambda_d$		omkastnings- och inställningstid
M	IM (-1)	M+1 (IM) är antalet punkter i $\theta$ -led
N		antal stick
P	IP (-1)	P+1 (IP) är antalet punkter i h-led
$p_1-p_{21}$	P(1)-P(21)	parametrar (se Appendix C)
R		(arbets)valsradie
s	S	valsspaltbredd (innan valsverket fjädrat tillbaka)
$\sigma_1-\sigma_5$	B(1)-B(5)	standardavvikelser (se sid. 25)
Tol	TOL	tolerans
$\tau$	TAU	vridmoment
$\tau_{\max}$	P(19)	maximalt vridmoment
$\theta$	TEI	plåttemperatur
$\theta_{\min}$	TEMIN	minimal temperatur
$\theta_{\max}$	TEMAX	maximal temperatur
$\theta_{\text{nom}}$	TENOM	nominell begynnelse-temperatur
V	V	kostnad
$V_s$		plåtvoly
$w_s$		plåtbredd

## APPENDIX C

Parametrar

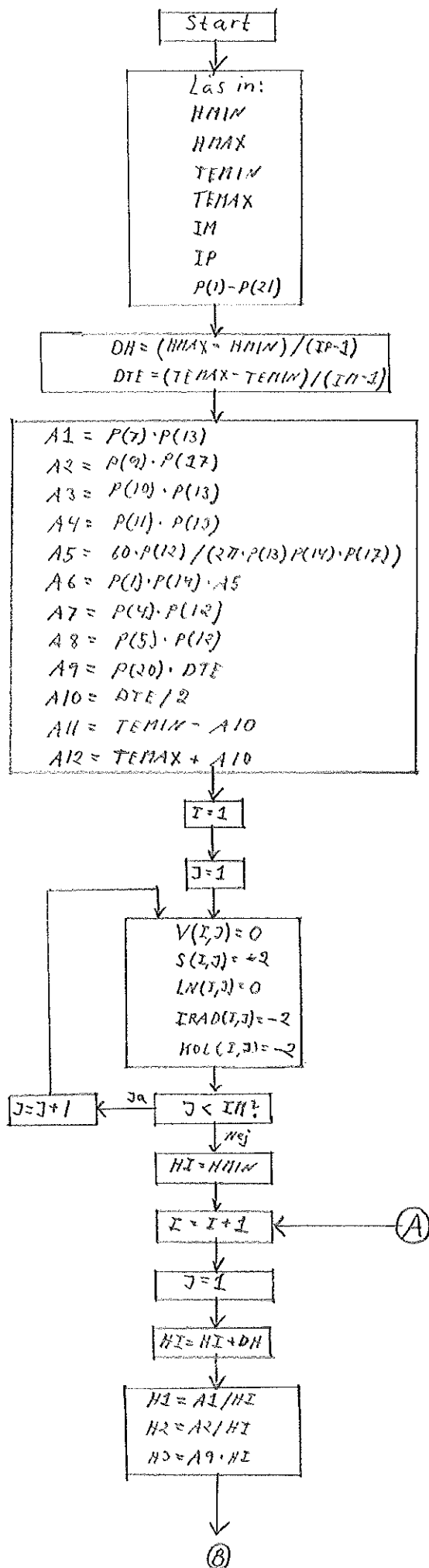
$p_1$	$= 95 \times 10^{-6}$	(Kwhr-min/Ton-Ft.-Sec)
$p_2$	$= 12 \times 10^{-4}$	(Ft./in.)
$p_3$	$= 11 \times 10^{-4}$	(Ft./in <sup>2</sup> )
$p_4$	$= 28 \times 10^{-6}$	(1/(Deg.F) <sup>3</sup> -sec.-in <sup>2</sup> )
$p_5$	$= 19 \times 10^{-8}$	(1/(Deg.F) <sup>4</sup> -sec.-in <sup>3</sup> )
$p_6$	$= 3.4$	(Deg.F/Kwhr) Se fotnot.
$p_7$	$= 40$	(Ton/in <sup>2</sup> )
$p_8$	$= 10 \times 10^{-4}$	(1/Deg.F)
$p_9$	$= 50 \times 10^{-3}$	
$p_{10}$	$= 60 \times 10^{-1}$	(Tons/in <sup>2</sup> )
$p_{11}$	$= 10 \times 10^{-4}$	(Tons/in <sup>2</sup> -Deg.F)
$p_{12}$	$= 30 \times 10^3$	(in <sup>3</sup> ) - plåtvolymer
$p_{13}$	$= 50$	(in) - plåtbredd
$p_{14}$	$= 500$	(RPM) - varvtal (varv/min)
$p_{15}$	$= 50 \times 10^{-6}$	(in/Ton)
$p_{16}$	$= 4$	(sec.) - omkastningstid
$p_{17}$	$= 20$	(in.) - valsradie
$p_{18}$	$= 750$	(Tons) - $F_{\max}$
$p_{19}$	$= 7.5$	(Ton-Ft) - $\tau_{\max}$
$p_{20}$	$= 0.05$	(\$/sec)
$p_{21}$	$= 0.01$	(\$/Kwhr)

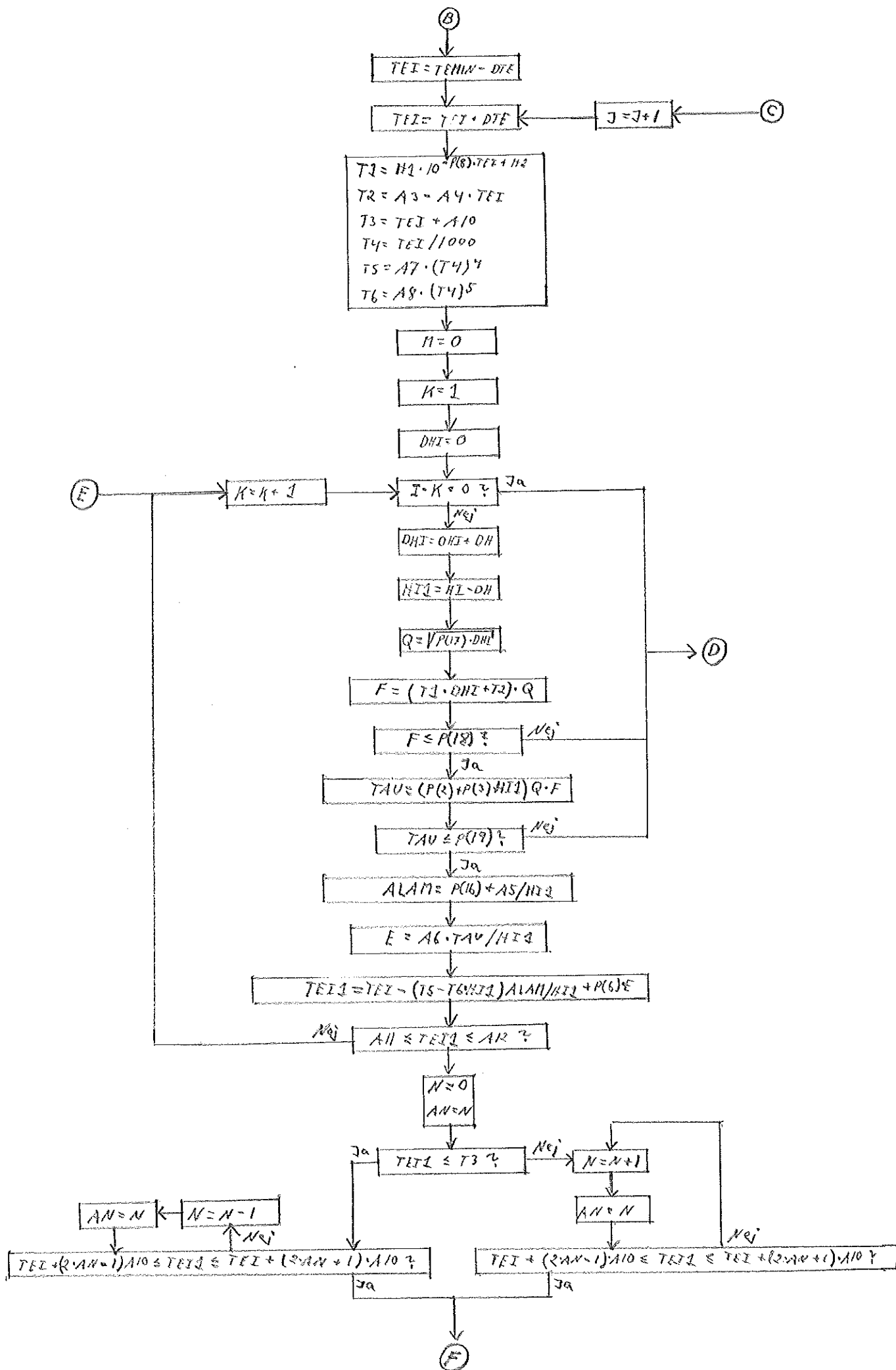
Fotnot: I artikeln av Lopresti och Patton måste värdet på  $p_6$  vara fel, ty det är alldeles för stort. Här har värdet på  $p_6$  fåtts genom en del räkningar med hjälp av järns täthet och specifika värme, samt plåtvolymer, som ju är känd ( $p_{12}$ ).

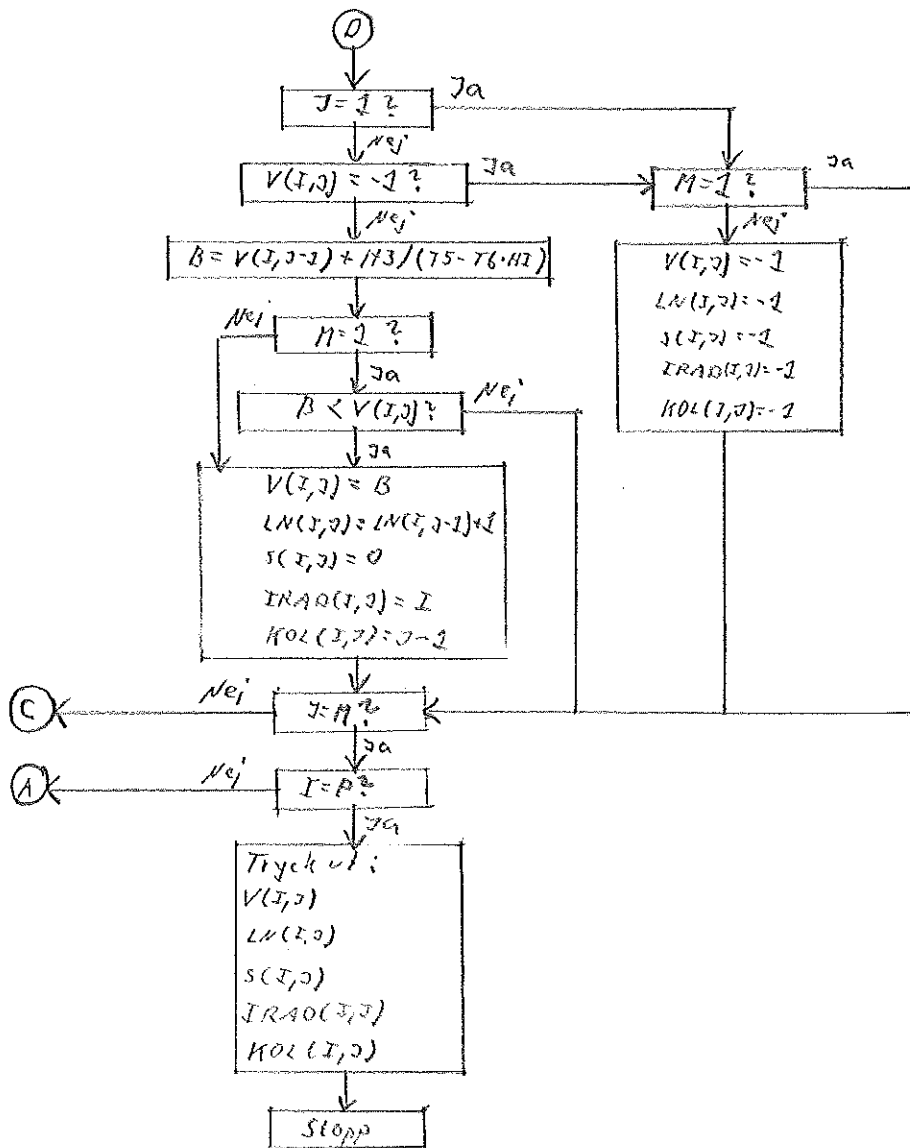
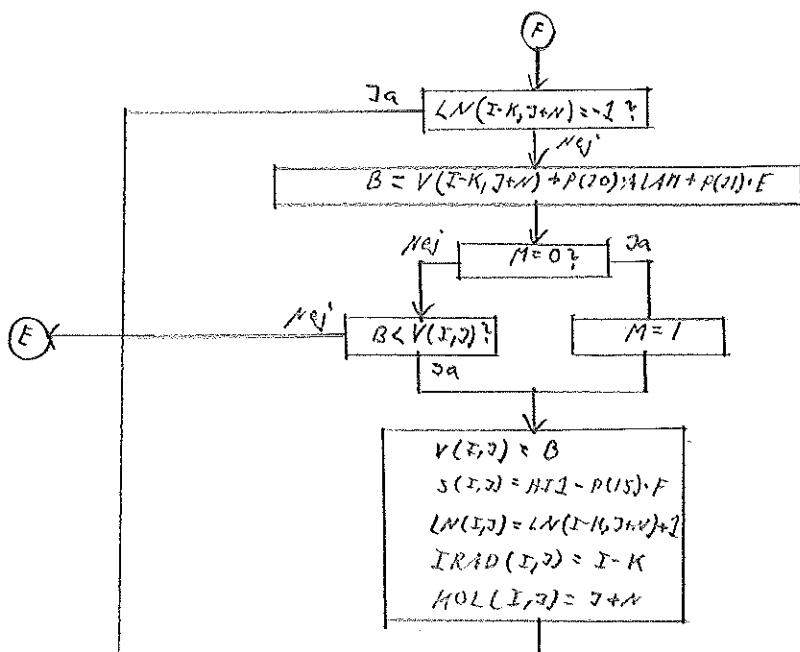
## APPENDIX D

Flödesplan över optimeringsprogrammet

På sidorna 36, 37 och 38 finns en flödesplan över optimeringsprogrammet. Variablerna är kodade för programmet redan i flödesplanen.









## APPENDIX E

Listning av optimeringsprogrammet

25/07-69

## PROGRAM VALSVERK

```

C
C COMPUTES THE OPTIMAL ROLL SETTING POLICY USING DYNAMIC PROGRAMMING.
C REFERENCE, LOPRESTI AND PATTON, ON OPTIMAL CLOSED LOOP CONTROL OF A
C *ROLLING MILL, JACC 68, P.767.
C AUTHOR, CLAES KALLSTROM 17/07-69.
C
C HMIN- DESIRED PLATE THICKNESS, INCHES.
C HMAX- MAXIMUM PLATE THICKNESS, INCHES.
C TEMIN- MINIMUM PLATE TEMPERATURE, DEG.F.
C TEMAX- MAXIMUM PLATE TEMPERATURE, DEG.F.
C IM- NUMBER OF POINTS IN TEMPERATURE RANGE (MAX 45).
C IP- NUMBER OF POINTS IN THICKNESS RANGE (MAX 77).
C P- CONSTANTS ACCORDING TO THE REFERENCE. VECTOR OF DIMENSION 21.
C V- COST FUNCTION, DOLLARS. MATRIX OF ORDER IP*IM.
C S- ROLL SETTING, INCHES. MATRIX OF ORDER IP*IM.
C LN- OPTIMAL NUMBER OF PASSES. MATRIX OF ORDER IP*IM.
C IRAD- ROW TO WHICH THE CONTROL LEADS. MATRIX OF ORDER IP*IM.
C KOL- COLUMN TO WHICH THE CONTROL LEADS. MATRIX OF ORDER IP*IM.
C IF AN ELEMENT IN V,S,LN,IRAD OR KOL IS EQUAL TO -1, THERE IS NO WAY TO THE
C *DESIRED THICKNESS.
C IF AN ELEMENT IN S,IRAD OR KOL IS EQUAL TO -2, WE HAVE RECEIVED THE
C *DESIRED THICKNESS.
C
C SUBROUTINE REQUIRED
C NONE
C
C DIMENSION V(77,45), S(77,45), LN(77,45), IRAD(77,45), KOL(77,45),
C *P(21)
C COMMON V, S, LN
C
C READ 100,HMIN,HMAX,TEMIN,TEMAX,IM,IP,P
100 FORMAT(2F7.3,2F8.2/2I4/11E7.1/10E7.1)
C
C RM=IM
C RP=IP
C
C CONSTANTS ARE COMPUTED.
C DH- THE STEP IN THICKNESS RANGE.
C DH=(HMAX-HMIN)/(RP-1.)
C DTE- THE STEP IN TEMPERATURE RANGE.
C DTE=(TEMAX-TEMIN)/(RM-1.)
C PI=3.1415926536
C A1=P(7)*P(13)
C A2=P(9)*P(17)
C A3=P(10)*P(13)
C A4=P(11)*P(13)
C A5=(30.*P(12))/(PI*P(13)*P(14)*P(17))
C A6=P(1)*P(14)*A5
C A7=P(4)*P(12)
C A8=P(5)*P(12)
C A9=P(20)*DTE
C A10=DTE*0.5
C A11=TEMIN-A10
C A12=TEMAX+A10
C
C INITIAL CONDITIONS ARE INTRODUCED.

```

25/07-69

```

C      I IS INDEX OF THE THICKNESS, J OF THE TEMPERATURE.
      I=1
      DO 1 J=1,IM
      V(I,J)=0.
      S(I,J)=-2.
      LN(I,J)=0
      IRAD(I,J)=-2
1      KOL(I,J)=-2
C      HI IS THE THICKNESS.
      HI=HMIN
C
C      THE THICKNESS INCREASES.
2      I=I+1
      J=1
      HI=HI+DH
C      3 CONSTANTS DEPENDENT ON THE THICKNESS ARE COMPUTED.
      H1=A1/HI
      H2=A2/HI
      H3=A9*HI
C
C      TEI IS THE TEMPERATURE.
      TEI=TEMIN-DTE
C      THE TEMPERATURE INCREASES.
3      TEI=TEI+DTE
C      6 CONSTANTS DEPENDENT ON THE TEMPERATURE ARE COMPUTED.
      T1=H1*10.**(-P(8)*TEI+H2)
      T2=A3-A4*TEI
      T3=TEI+A10
      T4=TEI*0.001
      T5=A7*T4**4
      T6=A8*T4**5
C
C      M=0 MEANS THAT THE COMPUTER NOT YET HAS FOUND A WAY FROM THIS STATE TO THE
C      *DESIRED THICKNESS. WHEN IT IS FOUND, M=1. HERE IS M=0 THE INITIAL
C      *CONDITION.
      M=0
C      K IS INDEX OF THE ROLL SETTING. DHI IS THE PASS REDUCTION. HERE THE
C      *INITIAL CONDITIONS ARE INTRODUCED.
      K=1
      DHI=0.
C
C      IF THE THICKNESS AFTER THE PASS IS LESS THAN THE DESIRED THICKNESS,
C      *GO TO 11.
4      IF (I.EQ.K) GO TO 11
C      THE PASS REDUCTION INCREASES.
      DHI=DHI+DH
C      THE THICKNESS AFTER THE PASS IS COMPUTED.
      HI1=HI-DHI
      Q=SQRT(P(17)*DHI)
C      THE ROLL FORCE IS COMPUTED.
      F=(T1*DHI+T2)*Q
C      IF THE FORCE IS TOO GREAT, GO TO 11.
      IF(F.GT.P(18)) GO TO 11
C      THE ROLL TORQUE IS COMPUTED.
      TAU=(P(2)+P(3)*HI1)*Q*F
C      IF THE TORQUE IS TOO GREAT, GO TO 11.

```

25/07-69

```

C      IF(TAU.GT.P(19)) GO TO 11
C      THE PASS TIME IS COMPUTED.
C      ALAM=P(16)+A5/HI1
C      THE PASS ENERGY IS COMPUTED.
C      E=A6*TAU/HI1
C      THE TEMPERATURE AFTER THE PASS IS COMPUTED.
C      TEI1=TEI-(T5-T6*HI1)*ALAM/HI1+P(6)*E
C      IF THIS TEMPERATURE IS TOO HIGH OR TOO LOW, GO TO 10.
C      IF(TEI1.LT.A11) GO TO 10
C      IF(TEI1.GT.A12) GO TO 10
C
C      INDEX OF THE STATE AFTER THE PASS IS COMPUTED.
C      N=0
C      AN=N
C      IF(TEI1.LE.T3) GO TO 6
5      N=N+1
C      AN=N
C      IF(TEI1.GT.TEI+(2.*AN+1.)*A10) GO TO 5
C      GO TO 7
6      IF(TEI1.GE.TEI+(2.*AN-1.)*A10) GO TO 7
C      N=N-1
C      AN=N
C      GO TO 6
C
C      7      IK=I-K
C      JN=J+N
C      IF THE STATE AFTER THE PASS IS A STOP STATE, GO TO 10.
C      IF(LN(IK,JN).EQ.-1) GO TO 10
C      THE COST FUNCTION IS COMPUTED.
C      B=V(IK,JN)+P(20)*ALAM+P(21)*E
C      IF THERE IS ALREADY A COST FUNCTION, THE LESS IS CHOSEN.
C      IF (M.EQ. 0) GO TO 8
C      IF (B.GE. V(I,J)) GO TO 10
C      GO TO 9
8      M=1
C
C      THE VALUES OF THE OPTIMAL CONTROL ARE STORED.
9      V(I,J)=B
C      S(I,J)=HI1-P(15)*F
C      LN(I,J)=LN(IK,JN)+1
C      IRAD(I,J)=IK
C      KOL(I,J)=JN
C
C      THE ROLL SETTING INCREASES.
10     K=K+1
C      GO TO 4
C
C      HERE IS THE COST OF LETTING THE SLAB COOL DOWN COMPUTED AND COMPARED
C      *WITH THE ALREADY EXISTING COST.
11     IF(J.EQ.1) GO TO 13
C      IF (V(I,J-1).EQ. -1) GO TO 13
C      B=V(I,J-1) + H3/(T5-T6*HI)
C      IF(M.EQ.0) GO TO 12
C      IF(B.GE. V(I,J)) GO TO 14
C      IF IT IS BETTER TO COOL DOWN THE SLAB, THE OPTIMAL VALUES ARE STORED HERE.

```

25/07-69

```

12  V(I,J)=B
    S(I,J)=0.
    LN(I,J)=LN(I,J-1)+1
    IRAD(I,J)=I
    KOL(I,J)=J-1
    GO TO 14
13  IF(M.EQ. 1) GO TO 14
C   M=0 MEANS THAT THE STATE IS A STOP STATE AND SO THE VALUE -1 IS STORED.
    V(I,J)=-1.
    S(I,J)=-1.
    LN(I,J)=-1
    IRAD(I,J)=-1
    KOL(I,J)=-1
C
C   IF J=IM AND I=IP PRINT THE VALUES AND THEN STOP. IN OTHER CASE, INCREASE I
C   *RESPECTIVELY J AND START FROM THE BEGINNING.
14  IF(J.EQ.IM) GO TO 15
    J=J+1
    GO TO 3
15  IF(I.NE.IP) GO TO 2
C
    PRINT 101, HMIN, HMAX, TEMIN, TEMA, IM, IP
101  FORMAT(5X,19HDESIRED THICKNESS =,F4.1,1X,3HIN./5X,19HMAXIMUM THICK
    *NESS =,F4.1,1X,3HIN./5X,21HMINIMUM TEMPERATURE =,F7.1,1X,6HDEG.F./
    *5X,21HMAXIMUM TEMPERATURE =,F7.1,1X,6HDEG.F./5X,40HNUMBER OF POINT
    *S IN TEMPERATURE RANGE = ,I2/5X,38HNUMBER OF POINTS IN THICKNESS R
    *ANGE = ,I2)
C
    PRINT 102,(P(I),I=1,21)
102  FORMAT (/5X,10HP(1)-P(21)/3X,11E9.1/3X,10E9.1)
C
    PRINT 103
103  FORMAT (///5X,15HCOST FUNCTION V/)
    I=IP
16  PRINT 104, (V(I,J),J=1,IM)
104  FORMAT (/15F8.4/15F8.4/15F8.4)
    IF(I.EQ.1) GO TO 17
    I=I-1
    GO TO 16
17  PRINT 105
105  FORMAT(///5X,14HROLL SETTING S/)
    I=IP
18  PRINT 104,(S(I,J),J=1,IM)
    IF(I.EQ.1) GO TO 19
    I=I-1
    GO TO 18
19  PRINT 106
106  FORMAT (///5X,23HNUMBER OF PASSES N (LN)/)
    I=IP
20  PRINT 107,(LN(I,J),J=1,IM)
107  FORMAT (/23I5/22I5)
    IF(I.EQ.1) GO TO 21
    I=I-1
    GO TO 20
21  PRINT 108
108  FORMAT (///5X,37HROW TO WHICH THE CONTROL LEADS (IRAD)/)

```

25/07-69

```
      I=IP
22  PRINT 107, (IRAD(I,J),J=1,IM)
      IF(I.EQ.1) GO TO 23
      I=I-1
      GO TO 22
23  PRINT 109
109  FORMAT (///5X,39HCOLUMN TO WHICH THE CONTROL LEADS (KOL)/)
      I=IP
24  PRINT 107, (KOL(I,J),J=1,IM)
      IF (I.EQ.1) GO TO 25
      I=I-1
      GO TO 24
25  CALL EXIT
      END
```

## APPENDIX F

Resultatutskrift från optimeringsprogrammet

Tyvärr är matriserna mycket svåröverskådliga, p.g.a. att de har måst delas upp i små delar. Talen till vänster anger index för tjockleken, och talen överst anger index för temperaturen. Jfr med fig. 5.1 sid. 18. Beteckningen 5/20/35 har följande betydelse: 5;an hänför sig till det första värdet, 20 till det andra och 35 till det tredje, inom varje grupp om tre värden.

DESIRED THICKNESS = 0.5 IN.  
 MAXIMUM THICKNESS = 2.4 IN.  
 MINIMUM TEMPERATURE = 1200.0 DEG.F.  
 MAXIMUM TEMPERATURE = 2300.0 DEG.F.  
 NUMBER OF POINTS IN TEMPERATURE RANGE = 45  
 NUMBER OF POINTS IN THICKNESS RANGE = 77

P(1)\*P(21)  
 9.5-005 1.2-003 1.1-003 2.8-005 1.9-007 3.4-000 4.0-001 1.0-003 5.0-002 6.0-000 1.0-003  
 3.0+004 5.0+001 5.0+002 5.0-005 4.0+000 2.0+001 7.5+002 7.5+000 5.0-002 1.0-002 1.0-002



## COST FUNCTION V

	1/16/31			5/20/35				
77	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,6053
	1,8891	1,8865	1,8853	1,8823	1,8793	1,6558	1,6556	1,6537
	1,3997	1,3984	1,1776	1,1753	1,1702	1,1684	1,1684	1,1678
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,6052
	1,8890	1,8865	1,8853	1,8823	1,8792	1,6557	1,6556	1,6537
	1,3997	1,3983	1,1775	1,1752	1,1701	1,1684	1,1683	1,1678
75	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,6052
	1,8890	1,8864	1,8852	1,8822	1,8792	1,6557	1,6555	1,6536
	1,3996	1,3983	1,1775	1,1752	1,1701	1,1683	1,1683	1,1677
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,6051
	1,8889	1,8863	1,8851	1,8822	1,8791	1,6556	1,6555	1,6536
	1,3996	1,1833	1,1774	1,1751	1,1700	1,1683	1,1683	1,1677
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,6050
	1,8888	1,8863	1,8851	1,8821	1,8791	1,6555	1,6554	1,6535
	1,1857	1,1833	1,1774	1,1751	1,1700	1,1682	1,1682	1,1677
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,6050
	1,8888	1,8862	1,8850	1,8821	1,8790	1,6555	1,6553	1,6535
	1,1857	1,1832	1,1773	1,1750	1,1699	1,1682	1,1682	1,1676
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,6049
	1,8887	1,8862	1,8850	1,8820	1,8790	1,6554	1,6553	1,6534
	1,1856	1,1832	1,1773	1,1750	1,1699	1,1682	1,1681	1,1676
70	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,6049
	1,8887	1,8861	1,8849	1,8820	1,8789	1,6554	1,6552	1,6534
	1,1856	1,1831	1,1772	1,1749	1,1698	1,1681	1,1681	1,1675
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,6048
	1,8886	1,8861	1,8849	1,8819	1,6659	1,6553	1,6552	1,4250
	1,1855	1,1831	1,1772	1,1749	1,1698	1,1681	1,1680	1,1675
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,6047
	1,8885	1,8860	1,8848	1,8819	1,6658	1,6553	1,6551	1,4249
	1,1855	1,1830	1,1771	1,1748	1,1697	1,1680	1,1680	0,9530
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,6047
	1,8885	1,8860	1,8848	1,6685	1,6657	1,6552	1,6551	1,4248
	1,1854	1,1829	1,1771	1,1748	1,1697	1,1680	0,9541	0,9530
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,6046
	1,8884	1,8859	1,8847	1,6684	1,6657	1,6552	1,6550	1,4248
	1,1854	1,1829	1,1770	1,1748	0,9544	0,9544	0,9540	0,9529
65	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,3909
	1,8884	1,8858	1,8847	1,6684	1,6656	1,6551	1,6550	1,4247
	1,1853	1,1828	1,1770	1,1747	0,9544	0,9544	0,9540	0,9529
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,3909
	1,8883	1,8858	1,6708	1,6683	1,6656	1,6550	1,6549	1,4247
	1,1853	1,1828	1,1769	0,9557	0,9543	0,9543	0,9539	0,9528
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,3908
	1,8883	1,8857	1,6707	1,6682	1,6655	1,6550	1,6548	1,4246
	1,1852	1,1827	1,1769	0,9557	0,9543	0,9542	0,9539	0,9528

	10/25/40			15/30/45			
77	2,3602	2,3601	2,3587	2,3542	2,3507	2,1110	2,1064
	1,6384	1,6362	1,6300	1,4175	1,4157	1,4032	1,4031
	1,1666	1,1577	1,1577	0,9419	0,9386	0,9383	0,9375
	2,3601	2,3601	2,3586	2,3541	2,3506	2,1109	2,1063
	1,6383	1,4179	1,4177	1,4175	1,4156	1,4031	1,4031
	1,1666	1,1577	1,1577	0,9419	0,9385	0,9382	0,9374
75	2,3600	2,3600	2,3585	2,3541	2,3506	2,1109	2,1063
	1,6383	1,4178	1,4177	1,4174	1,4156	1,4031	1,4030
	1,1665	1,1576	0,9450	0,9418	0,9385	0,9382	0,9374
	2,3600	2,3599	2,3585	2,3540	2,1382	2,1108	2,1062
	1,6382	1,4177	1,4176	1,4174	1,4155	1,4030	1,4030
	0,9453	0,9453	0,9449	0,9418	0,9384	0,9381	0,9373
	2,3599	2,3599	2,3584	2,3540	2,1381	2,1108	1,8937
	1,6382	1,4177	1,4176	1,4173	1,4155	1,4030	1,4029
	0,9452	0,9452	0,9449	0,9417	0,9384	0,9381	0,9373
	2,3599	2,3598	2,3584	2,1413	2,1381	2,1107	1,8936
	1,6381	1,4176	1,4175	1,4173	1,4154	1,4029	1,4029
	0,9452	0,9452	0,9448	0,9417	0,9383	0,9381	0,9372
	2,3598	2,3598	2,3583	2,1412	2,1380	2,1106	1,8936
	1,4232	1,4176	1,4174	1,4172	1,4153	1,4029	1,1867
	0,9451	0,9451	0,9448	0,9416	0,9383	0,9380	0,9372
70	2,3597	2,3597	2,3583	2,1412	2,1380	2,1106	1,8935
	1,4232	1,4175	1,4174	1,4172	1,4153	1,4028	1,1867
	0,9451	0,9451	0,9447	0,9416	0,9382	0,9380	0,9372
	2,3597	2,3596	2,3582	2,1411	2,1379	1,8975	1,8935
	1,4231	1,4175	1,4173	1,4171	1,4152	1,4028	1,1866
	0,9450	0,9450	0,9447	0,9415	0,9382	0,9379	0,9371
	2,3596	2,3596	2,1450	2,1410	2,1378	1,8975	1,8934
	1,4231	1,4174	1,4173	1,4170	1,1896	1,1895	1,1865
	0,9450	0,9450	0,9446	0,9415	0,9381	0,9379	0,9371
	2,3596	2,3595	2,1449	2,1410	2,1378	1,8974	1,8933
	1,4230	1,4174	1,4172	1,4170	1,1895	1,1895	1,1865
	0,9449	0,9449	0,9446	0,9415	0,9381	0,9378	0,9370
	2,3595	2,3595	2,1448	2,1409	2,1377	1,8973	1,8933
	1,4229	1,4173	1,4172	1,4169	1,1894	1,1894	1,1864
	0,9449	0,9449	0,9445	0,9414	0,9381	0,9378	0,9370
65	2,1458	2,1458	2,1448	2,1409	2,1376	1,8973	1,8932
	1,4229	1,4172	1,4171	1,4169	1,1894	1,1894	1,1864
	0,9448	0,9448	0,9445	0,9414	0,9380	0,9377	0,7186
	2,1458	2,1457	2,1447	2,1408	2,1376	1,8972	1,8932
	1,4228	1,4172	1,4171	1,4168	1,1893	1,1893	1,1863
	0,9448	0,9448	0,9445	0,9413	0,9380	0,9377	0,7185
	2,1457	2,1456	2,1446	2,1407	2,1375	1,8971	1,8931
	1,4228	1,4171	1,4170	1,4168	1,1893	1,1892	1,1863
	0,9447	0,9447	0,9444	0,9413	0,9379	0,7204	0,7185

1/16/31

5/20/35

*1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,3907
1,8882	1,6715	1,6707	1,6682	1,6654	1,6549	1,6548	1,4245
1,1851	1,1827	1,1768	0,9556	0,9542	0,9542	0,9538	0,9527

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,3907
1,8882	1,6715	1,6706	1,6681	1,6654	1,6549	1,4386	1,4245
1,1851	1,1826	1,1768	0,9556	0,9542	0,9541	0,9537	0,9527

60

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,3906
1,8881	1,6714	1,6705	1,6681	1,6653	1,6548	1,4385	1,4244
1,1850	1,1826	0,9600	0,9555	0,9541	0,9541	0,9537	0,9526

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,3905
1,6734	1,6713	1,6705	1,6680	1,6653	1,6548	1,4384	1,4244
1,1850	1,1825	0,9599	0,9555	0,9541	0,9540	0,9536	0,9526

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,3905
1,6733	1,6713	1,6704	1,6679	1,4398	1,4397	1,4384	1,4243
1,1849	1,1825	0,9598	0,9554	0,9540	0,9540	0,9536	0,9525

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,3904
1,6732	1,6712	1,6704	1,6679	1,4398	1,4396	1,4383	1,4242
1,1849	0,9615	0,9598	0,9553	0,9539	0,9539	0,9535	0,9525

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,3903
1,6731	1,6711	1,6703	1,6678	1,4397	1,4396	1,4382	1,4242
1,1848	0,9614	0,9597	0,9553	0,9539	0,9539	0,9535	0,9524

55

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,3903
1,6731	1,6711	1,6702	1,6678	1,4396	1,4395	1,4382	1,4241
1,1848	0,9614	0,9597	0,9552	0,9538	0,9538	0,9534	0,9524

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,3902
1,6730	1,6710	1,6702	1,6677	1,4396	1,4394	1,4381	1,4241
1,1847	0,9613	0,9596	0,9552	0,9538	0,9538	0,9534	0,9523

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,3901
1,6729	1,6709	1,6701	1,6676	1,4395	1,4394	1,4380	1,4240
0,9663	0,9612	0,9595	0,9551	0,9537	0,9537	0,9533	0,9522

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,3901
1,6729	1,6709	1,6700	1,6676	1,4394	1,4393	1,4380	1,4240
0,9663	0,9612	0,9595	0,9551	0,9537	0,9536	0,9533	0,9522

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,1736
1,6728	1,6708	1,6700	1,6675	1,4394	1,4392	1,4379	1,2057
0,9662	0,9611	0,9594	0,9550	0,9536	0,9536	0,7278	0,7278

50

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,1736
1,6727	1,6708	1,6699	1,4481	1,4393	1,4392	1,4379	1,2057
0,9661	0,9611	0,9594	0,9549	0,9536	0,9535	0,7277	0,7277

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,1735
1,6727	1,6707	1,4506	1,4481	1,4392	1,4391	1,2070	1,2056
0,9661	0,9610	0,9593	0,9549	0,9535	0,9535	0,7277	0,7276

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,1734
1,6726	1,6706	1,4505	1,4480	1,4392	1,4390	1,2069	1,2055
0,9660	0,9609	0,9593	0,9548	0,9535	0,9534	0,7276	0,7276

=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,1733
1,6725	1,6706	1,4504	1,4479	1,4391	1,4390	1,2068	1,2054
0,9659	0,9609	0,9592	0,9548	0,9534	0,9534	0,7275	0,7275

	10/25/40			15/30/45			
	2,1456	2,1456	2,1446	2,1407	2,1375	1,8971	1,8930
	1,4227	1,4171	1,4170	1,4167	1,1892	1,1892	1,1862
	0,9447	0,9447	0,9444	0,9412	0,9379	0,7204	0,7184
	2,1455	2,1455	2,1445	2,1406	2,1374	1,8970	1,8930
	1,4226	1,4170	1,4169	1,4167	1,1891	1,1891	1,1862
	0,9446	0,9446	0,9443	0,9412	0,7224	0,7203	0,7184
60	2,1455	2,1454	2,1444	2,1406	2,1374	1,8969	1,8929
	1,4226	1,4170	1,4169	1,4166	1,1891	1,1891	1,1861
	0,9446	0,9446	0,9443	0,9411	0,7224	0,7203	0,7183
	2,1454	2,1454	2,1444	2,1405	2,1373	1,8969	1,8929
	1,4225	1,4169	1,4168	1,2001	1,1890	1,1890	1,1860
	0,9445	0,9445	0,9442	0,7228	0,7223	0,7202	0,7183
	2,1453	2,1453	2,1443	2,1404	2,1372	1,8968	1,8928
	1,4225	1,4169	1,4168	1,2000	1,1890	1,1890	1,1860
	0,9445	0,9445	0,7228	0,7227	0,7223	0,7202	0,7182
	2,1453	2,1452	2,1443	2,1404	1,9221	1,8968	1,8928
	1,4224	1,4168	1,2014	1,1999	1,1889	1,1889	1,1859
	0,9444	0,9444	0,7228	0,7227	0,7222	0,7201	0,7181
	2,1452	2,1452	2,1442	1,9250	1,9220	1,8967	1,6774
	1,2015	1,2014	1,2013	1,1999	1,1889	1,1888	1,1859
	0,9444	0,9444	0,7227	0,7226	0,7222	0,7201	0,7181
55	2,1451	2,1451	2,1441	1,9250	1,9220	1,8966	1,6773
	1,2014	1,2013	1,2013	1,1998	1,1888	1,1888	1,1858
	0,9443	0,7254	0,7226	0,7226	0,7221	0,7200	0,7180
	2,1451	2,1450	2,1441	1,9249	1,9219	1,8966	1,6773
	1,2014	1,2012	1,2012	1,1997	1,1887	1,1887	1,1858
	0,9443	0,7254	0,7226	0,7225	0,7220	0,7199	0,7180
	2,1450	2,1450	2,1440	1,9248	1,9218	1,8965	1,6772
	1,2013	1,2012	1,2011	1,1997	1,1887	1,1887	1,1857
	0,9442	0,7253	0,7225	0,7224	0,7220	0,7199	0,7179
	2,1449	2,1449	1,9278	1,9247	1,9217	1,6803	1,6771
	1,2012	1,2011	1,2011	1,1996	1,1886	1,1886	1,1857
	0,7277	0,7252	0,7225	0,7224	0,7219	0,7198	0,7179
	2,1449	2,1449	1,9277	1,9247	1,9217	1,6803	1,6771
	1,2012	1,2010	1,2010	1,1995	1,1886	1,1886	0,9682
	0,7277	0,7252	0,7224	0,7223	0,7219	0,7198	0,7178
50	1,9282	1,9282	1,9277	1,9246	1,9216	1,6802	1,6770
	1,2011	1,2010	1,2009	1,1995	1,1885	1,1885	0,9681
	0,7276	0,7251	0,7224	0,7223	0,7218	0,7197	0,7178
	1,9281	1,9281	1,9276	1,9245	1,9215	1,6801	1,6769
	1,2010	1,2009	1,2009	1,1994	1,1885	0,9687	0,9681
	0,7276	0,7251	0,7223	0,7222	0,7218	0,7197	0,7177
	1,9281	1,9280	1,9275	1,9245	1,9215	1,6800	1,6768
	1,2010	1,2008	1,2008	1,1994	1,1884	0,9686	0,9680
	0,7275	0,7250	0,7222	0,7222	0,7217	0,7196	0,7177
	1,9280	1,9279	1,9274	1,9244	1,9214	1,6799	1,6768
	1,2009	1,2008	1,2008	1,1993	1,1884	0,9685	0,9679
	0,7274	0,7249	0,7222	0,7221	0,7217	0,7196	0,7176

1/16/31

5/20/35

	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,1732
	1,6725	1,4521	1,4503	1,4478	1,4390	1,4389	1,2067	1,2054
	0,9659	0,9608	0,9591	0,9547	0,9533	0,9533	0,7275	0,7275
45	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,1731
	1,4526	1,4520	1,4503	1,4478	1,4390	1,4388	1,2067	1,2053
	0,9658	0,9608	0,9591	0,9547	0,9533	0,9533	0,7274	0,7274
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,1731
	1,4525	1,4519	1,4502	1,4477	1,4389	1,4388	1,2066	1,2052
	0,9657	0,9607	0,9590	0,9546	0,9532	0,7336	0,7273	0,7273
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,1730
	1,4524	1,4518	1,4501	1,4476	1,4389	1,4387	1,2065	1,2052
	0,9657	0,9606	0,9590	0,9546	0,7343	0,7335	0,7305	0,7273
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,1729
	1,4523	1,4517	1,4500	1,4475	1,4388	1,2186	1,2064	1,2051
	0,9656	0,9606	0,7344	0,7343	0,7342	0,7335	0,7305	0,7272
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,1728
	1,4522	1,4517	1,4500	1,4475	1,4387	1,2185	1,2064	1,2050
	0,9655	0,9605	0,7343	0,7343	0,7342	0,7334	0,7304	0,7271
40	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,1728
	1,4521	1,4516	1,4499	1,2193	1,2191	1,2184	1,2063	1,2050
	0,9655	0,7350	0,7342	0,7342	0,7341	0,7333	0,7303	0,7271
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,1727
	1,4521	1,4515	1,4498	1,2192	1,2190	1,2184	1,2062	1,2049
	0,9654	0,7349	0,7341	0,7341	0,7340	0,7333	0,7303	0,7270
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,9525
	1,4520	1,4514	1,4497	1,2191	1,2190	1,2183	1,2062	1,2048
	0,9654	0,7348	0,7341	0,7340	0,7340	0,7332	0,7302	0,7269
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,9524
	1,4519	1,4513	1,4497	1,2190	1,2189	1,2182	1,2061	0,9798
	0,7382	0,7348	0,7340	0,7340	0,7339	0,7331	0,7301	0,7269
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,9523
	1,4518	1,4513	1,4496	1,2189	1,2188	1,2181	1,2060	0,9797
	0,7381	0,7347	0,7339	0,7339	0,7338	0,7330	0,7301	0,7268
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,9522
35	1,4517	1,4512	1,4495	1,2188	1,2187	1,2180	1,2060	0,9796
	0,7380	0,7346	0,7338	0,7338	0,7337	0,7330	0,7300	0,7268
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,9521
	1,4517	1,4511	1,2254	1,2187	1,2186	1,2179	1,2059	0,9796
	0,7379	0,7345	0,7338	0,7337	0,7337	0,7329	0,7299	0,7267
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,9520
	1,4516	1,2274	1,2253	1,2187	1,2185	1,2179	0,9825	0,9795
	0,7378	0,7344	0,7337	0,7337	0,7336	0,7328	0,7299	0,7266
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,9520
	1,4515	1,2273	1,2252	1,2186	1,2185	0,9833	0,9824	0,9794
	0,7378	0,7344	0,7336	0,7336	0,7335	0,7328	0,7298	0,4989
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,9519
	1,2280	1,2272	1,2251	1,2185	1,2184	0,9832	0,9823	0,9793
	0,7377	0,7343	0,7335	0,7335	0,7334	0,7327	0,7297	0,4988

	10/25/40			15/30/45			
	1,9279	1,9279	1,9273	1,9243	1,9213	1,6799	1,6767
	1,2008	1,2007	1,2007	0,9707	0,9707	0,9685	0,9679
	0,7274	0,7249	0,7221	0,7220	0,7216	0,7195	0,7176
45	1,9278	1,9278	1,9273	1,9242	1,9213	1,6798	1,6766
	1,2008	1,2007	1,2006	1,1992	0,9706	0,9684	0,9678
	0,7273	0,7248	0,7221	0,7220	0,7215	0,7195	0,7175
	1,9277	1,9277	1,9272	1,9242	1,9212	1,6797	1,6766
	1,2007	1,2006	1,2006	1,1991	0,9705	0,9683	0,9677
	0,7272	0,7248	0,7220	0,7219	0,7215	0,7194	0,7175
	1,9277	1,9276	1,9271	1,9241	1,9211	1,6797	1,4538
	1,2006	1,2005	1,2005	1,1991	0,9705	0,9683	0,9677
	0,7272	0,7247	0,7219	0,7219	0,7214	0,7194	0,7174
	1,9276	1,9276	1,9271	1,9241	1,7023	1,6796	1,4537
	1,2006	1,2005	1,2004	0,9766	0,9704	0,9682	0,9676
	0,7271	0,7246	0,7219	0,7218	0,7214	0,7193	0,4938
	1,9275	1,9275	1,9270	1,7049	1,7022	1,6795	1,4537
	1,2005	1,2004	1,2004	0,9765	0,9703	0,9681	0,9675
	0,7271	0,7246	0,7218	0,7218	0,7213	0,4947	0,4937
40	1,9274	1,9274	1,9269	1,7048	1,7021	1,4569	1,4536
	1,2005	1,2003	1,2003	0,9765	0,9702	0,9680	0,9675
	0,7270	0,7245	0,7218	0,7217	0,7213	0,4946	0,4936
	1,9274	1,9273	1,9269	1,7047	1,7020	1,4568	1,4535
	1,2004	1,2003	0,9791	0,9764	0,9702	0,9680	0,9674
	0,7269	0,7245	0,7217	0,7217	0,4957	0,4946	0,4936
	1,9273	1,9273	1,7067	1,7046	1,7019	1,4567	1,4534
	1,2003	1,2002	0,9790	0,9763	0,9701	0,9679	0,9673
	0,7269	0,7244	0,7217	0,7216	0,4956	0,4945	0,4935
	1,7068	1,7067	1,7066	1,7045	1,4588	1,4566	1,4533
	0,9797	0,9797	0,9789	0,9762	0,9700	0,9678	0,9673
	0,7268	0,7243	0,7216	0,4967	0,4955	0,4944	0,4934
	1,7067	1,7066	1,7065	1,7044	1,4587	1,4565	1,4532
	0,9796	0,9796	0,9788	0,9762	0,9699	0,9678	0,9672
	0,7267	0,7243	0,7216	0,4966	0,4954	0,4944	0,4933
35	1,9400	1,7065	1,7064	1,7043	1,4586	1,4564	1,4532
	0,9795	0,9795	0,9788	0,9761	0,9699	0,9677	0,7389
	0,7267	0,7242	0,4977	0,4965	0,4954	0,4943	0,4933
	1,9399	1,7064	1,7063	1,7043	1,4585	1,4564	1,4531
	0,9795	0,9794	0,9787	0,9760	0,9698	0,9676	0,7389
	0,7266	0,7242	0,4976	0,4964	0,4953	0,4942	0,4932
	1,9398	1,7064	1,7062	1,7042	1,4584	1,4563	1,4530
	0,9794	0,9794	0,9786	0,9759	0,9697	0,9676	0,7388
	0,7266	0,4989	0,4976	0,4964	0,4952	0,4941	0,4931
	1,9397	1,7063	1,7061	1,7041	1,4583	1,4562	1,4529
	0,9793	0,9793	0,9785	0,9759	0,9697	0,7425	0,7387
	0,4988	0,4988	0,4975	0,4963	0,4951	0,4941	0,4931
	1,7168	1,7062	1,7060	1,7040	1,4582	1,4561	1,4528
	0,9792	0,9792	0,9784	0,9758	0,9696	0,7424	0,7386
	0,4987	0,4987	0,4974	0,4962	0,4951	0,4940	0,4930

	1/16/31			5/20/35				
30	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,9518
	1,2279	1,2271	1,2250	1,2184	1,2183	0,9831	0,9822	0,9792
	0,7376	0,7342	0,7335	0,7335	0,7334	0,7326	0,7297	0,4987
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,9517
	1,2278	1,2270	1,2249	1,2183	1,2182	0,9830	0,9821	0,9791
	0,7375	0,7341	0,7334	0,7334	0,7333	0,7326	0,5000	0,4986
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,9516
	1,2277	1,2269	1,2248	1,2183	1,2181	0,9829	0,9820	0,9790
	0,7374	0,7341	0,7333	0,7333	0,7332	0,7325	0,4999	0,4985
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7266
	1,2276	1,2268	1,2247	1,2182	1,2181	0,9828	0,9819	0,9790
	0,7374	0,7340	0,7332	0,7332	0,5014	0,5013	0,4998	0,4985
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7265
	1,2275	1,2267	1,2246	1,2181	0,9919	0,9827	0,9818	0,9789
	0,7373	0,7339	0,7332	0,7332	0,5013	0,5012	0,4997	0,4984
25	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7264
	1,2274	1,2266	0,9920	0,9919	0,9918	0,9826	0,9817	0,9788
	0,7372	0,7338	0,7331	0,7331	0,5012	0,5011	0,4996	0,4983
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7262
	1,2273	1,2265	0,9919	0,9918	0,9917	0,9825	0,9816	0,9787
	0,7371	0,7338	0,7330	0,5027	0,5011	0,5010	0,4996	0,4982
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7261
	1,2272	1,2264	0,9918	0,9917	0,9916	0,9824	0,9816	0,9786
	0,7370	0,7337	0,7330	0,5026	0,5010	0,5009	0,4995	0,4981
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7260
	1,2271	1,2263	0,9916	0,9915	0,9914	0,9823	0,9815	0,9786
	0,7370	0,7336	0,5041	0,5025	0,5009	0,5008	0,4994	0,4980
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,4871
	1,2270	0,9956	0,9915	0,9914	0,9913	0,9823	0,7498	0,7498
	0,5042	0,5041	0,5040	0,5024	0,5008	0,5007	0,4993	0,4979
20	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,4869
	0,9968	0,9955	0,9914	0,9913	0,9912	0,9822	0,7497	0,7496
	0,5041	0,5040	0,5039	0,5023	0,5007	0,5006	0,4992	0,4978
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,4868
	0,9966	0,9953	0,9913	0,9912	0,9911	0,7511	0,7496	0,7495
	0,5040	0,5039	0,5038	0,5022	0,5006	0,5005	0,4991	0,4978
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,4946	1,4866
	0,9965	0,9952	0,9912	0,9911	0,7510	0,7510	0,7495	0,7494
	0,5039	0,5038	0,5037	0,5021	0,5005	0,5005	0,4990	0,4977
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,4944	1,2474
	0,9964	0,9951	0,9911	0,9910	0,7509	0,7508	0,7493	0,7493
	0,5037	0,5037	0,5036	0,5020	0,5004	0,5004	0,4989	0,4976
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,4943	1,2472
	0,9962	0,9949	0,9910	0,9909	0,7508	0,7507	0,7492	0,7491
	0,5036	0,5036	0,5035	0,5018	0,5003	0,5003	0,4988	0,4975
15	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,4941	1,2471
	0,9961	0,9948	0,9909	0,9908	0,7506	0,7505	0,7491	0,7490
	0,5035	0,5035	0,5034	0,5017	0,5002	0,5002	0,4987	0,4974

	10/25/40			15/30/45			
30	1,7166	1,7061	1,7059	1,7039	1,4581	1,4560	1,2280
	0,9791	0,9791	0,9784	0,9757	0,7435	0,7424	0,7385
	0,4986	0,4986	0,4973	0,4961	0,4950	0,4939	0,4929
	1,7165	1,7060	1,7058	1,4774	1,4580	1,2288	1,2279
	0,9790	0,9790	0,9783	0,7435	0,7434	0,7423	0,7384
	0,4986	0,4985	0,4972	0,4960	0,4949	0,4939	0,4929
	1,7164	1,7059	1,4794	1,4772	1,4580	1,2287	1,2278
	0,9789	0,9789	0,9782	0,7434	0,7433	0,7422	0,7384
	0,4985	0,4985	0,4972	0,4960	0,4948	0,4938	0,4928
	1,7163	1,7058	1,4793	1,4771	1,2309	1,2286	1,2277
	0,9790	0,9789	0,7444	0,7433	0,7432	0,7421	0,7383
	0,4984	0,4984	0,4971	0,4959	0,4948	0,4937	0,4927
1,4803	1,4802	1,4792	1,4770	1,2308	1,2285	1,2276	
0,9789	0,9788	0,7443	0,7432	0,7431	0,7420	0,7382	
0,4983	0,4983	0,4970	0,4958	0,4947	0,4936	0,4927	
25	1,4802	1,4800	1,4790	1,2317	1,2307	1,2284	1,2275
	0,9788	0,9787	0,7442	0,7431	0,7430	0,7419	0,7381
	0,4982	0,4982	0,4969	0,4957	0,4946	0,4936	0,4926
	1,4800	1,4799	1,4789	1,2316	1,2305	1,2283	1,2274
	0,9787	0,7486	0,7441	0,7430	0,7429	0,7418	0,7380
	0,4981	0,4981	0,4969	0,4957	0,4945	0,4935	0,4925
	1,4799	1,4798	1,4788	1,2314	1,2304	1,2282	1,2273
	0,9786	0,7485	0,7440	0,7429	0,7428	0,7417	0,7379
	0,4981	0,4980	0,4968	0,4956	0,4945	0,4934	0,4924
	1,4798	1,4796	1,4787	1,2313	1,2303	1,2281	1,2272
	0,7498	0,7484	0,7439	0,7428	0,7427	0,7416	0,7379
	0,4980	0,4980	0,4967	0,4955	0,4944	0,4934	0,4924
1,4796	1,4795	1,4786	1,2312	1,2302	1,2280	1,2271	
0,7497	0,7483	0,7438	0,7427	0,7426	0,7415	0,7378	
0,4979	0,4979	0,4966	0,4954	0,4943	0,4933	0,2595	
20	1,4795	1,4794	1,4785	1,2311	1,2301	1,2279	1,2270
	0,7496	0,7482	0,7437	0,7426	0,7425	0,7415	0,5041
	0,4978	0,4978	0,4965	0,4953	0,4942	0,2595	0,2594
	1,4794	1,4793	1,2462	1,2310	1,2300	0,9968	0,9967
	0,7495	0,7481	0,7436	0,7425	0,7424	0,7414	0,5040
	0,4978	0,4977	0,4964	0,4953	0,2594	0,2594	0,2593
	1,4793	1,2474	1,2460	1,2309	0,9967	0,9966	0,9965
	0,7493	0,7480	0,7435	0,7424	0,7423	0,5057	0,5039
	0,4977	0,4976	0,4964	0,2594	0,2593	0,2593	0,2592
	1,2473	1,2472	1,2459	0,9980	0,9966	0,9965	0,9964
	0,7492	0,7479	0,7434	0,7423	0,5056	0,5056	0,5038
	0,4976	0,4975	0,2593	0,2593	0,2592	0,2592	0,2591
1,2471	1,2470	0,9979	0,9978	0,9964	0,9963	0,9963	
0,7491	0,7477	0,7433	0,7422	0,5055	0,5055	0,5036	
0,4975	0,2592	0,2592	0,2592	0,2591	0,2591	0,2590	
15	1,2470	1,2469	0,9978	0,9977	0,9963	0,9962	0,9961
	0,7490	0,7476	0,7432	0,5073	0,5054	0,5053	0,5035
	0,2592	0,2591	0,2591	0,2590	0,2590	0,2590	0,2589







## ROLL SETTING S

	1/16/31			5/20/35				
77	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,0683
	1,9129	1,9921	2,0450	2,1243	2,1775	1,8887	1,8891	1,9678
	2,2321	2,2856	1,8667	1,9448	2,0490	2,1014	2,1016	2,1279
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,0699
	1,9141	1,9933	2,0463	2,1257	2,1790	1,8898	1,8901	1,9689
	2,2337	2,2876	1,8676	1,9457	2,0501	2,1025	2,1027	2,1291
75	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,0715
	1,9153	1,9946	2,0476	2,1272	2,1806	1,8909	1,8912	1,9700
	2,2355	2,2899	1,8685	1,9467	2,0512	2,1037	2,1039	2,1303
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,0731
	1,9165	1,9959	2,0490	2,1288	2,1824	1,8920	1,8923	1,9712
	2,2375	1,7653	1,8694	1,9477	2,0523	2,1050	2,1051	2,1316
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,0749
	1,9178	1,9973	2,0505	2,1305	2,1844	1,8931	1,8934	1,9724
	1,7140	1,7662	1,8704	1,9487	2,0535	2,1063	2,1065	2,1330
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,0767
	1,9191	1,9987	2,0520	2,1323	2,1865	1,8943	1,8946	1,9737
	1,7149	1,7671	1,8714	1,9498	2,0548	2,1077	2,1079	2,1345
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,0786
	1,9205	2,0002	2,0536	2,1342	2,1891	1,8955	1,8958	1,9750
	1,7158	1,7680	1,8724	1,9509	2,0562	2,1093	2,1094	2,1362
70	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,0807
	1,9219	2,0017	2,0553	2,1364	2,1923	1,8968	1,8971	1,9764
	1,7167	1,7690	1,8735	1,9521	2,0576	2,1110	2,1111	2,1380
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,0829
	1,9233	2,0034	2,0571	2,1390	1,6877	1,8981	1,8984	1,6628
	1,7177	1,7700	1,8746	1,9533	2,0592	2,1129	2,1130	2,1403
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,0853
	1,9248	2,0051	2,0591	2,1423	1,6888	1,8995	1,8997	1,6638
	1,7186	1,7710	1,8757	1,9546	2,0609	2,1151	2,1152	1,5394
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,0882
	1,9264	2,0069	2,0613	1,6633	1,6899	1,9009	1,9011	1,6649
	1,7196	1,7720	1,8769	1,9560	2,0628	2,1180	1,5140	1,5402
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	2,0917
	1,9281	2,0089	2,0639	1,6644	1,6911	1,9024	1,9026	1,6660
	1,7207	1,7731	1,8781	1,9574	1,4882	1,4886	1,5148	1,5410
65	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7138
	1,9299	2,0112	2,0672	1,6656	1,6923	1,9040	1,9041	1,6671
	1,7217	1,7742	1,8794	1,9590	1,4890	1,4894	1,5156	1,5418
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7154
	1,9317	2,0138	1,5875	1,6669	1,6935	1,9056	1,9058	1,6682
	1,7228	1,7754	1,8808	1,4377	1,4899	1,4902	1,5164	1,5426
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7170
	1,9338	2,0172	1,5887	1,6681	1,6948	1,9074	1,9075	1,6694
	1,7240	1,7766	1,8823	1,4385	1,4907	1,4911	1,5173	1,5435

	10/25/40			15/30/45			
77	2,0686	2,0690	2,1490	2,2564	2,3109	2,1763	2,2838
	2,1781	2,2314	2,3676	1,8648	1,9171	2,1526	2,1528
	2,1542	2,3132	2,3133	1,8175	1,8952	1,9213	1,9732
	2,0702	2,0705	2,1507	2,2585	2,3136	2,1780	2,2861
	2,1796	1,8390	1,8394	1,8657	1,9181	2,1539	2,1541
	2,1554	2,3154	2,3155	1,8183	1,8960	1,9221	1,9741
75	2,0718	2,0720	2,1524	2,2608	2,3170	2,1797	2,2887
	2,1812	1,8400	1,8403	1,8667	1,9191	2,1554	2,1555
	2,1567	2,3182	1,7414	1,8191	1,8969	1,9230	1,9750
	2,0734	2,0737	2,1542	2,2635	1,8627	2,1816	2,2921
	2,1829	1,8410	1,8413	1,8677	1,9202	2,1569	2,1570
	1,7158	1,7161	1,7422	1,8199	1,8977	1,9239	1,9759
	2,0751	2,0753	2,1562	2,2669	1,8639	2,1837	1,8384
	2,1848	1,8421	1,8424	1,8688	1,9213	2,1585	2,1586
	1,7165	1,7168	1,7429	1,8207	1,8986	1,9248	1,9769
	2,0769	2,0771	2,1583	1,8384	1,8653	2,1860	1,8397
	2,1869	1,8431	1,8434	1,8698	1,9224	2,1603	2,1604
	1,7174	1,7176	1,7438	1,8216	1,8996	1,9257	1,9779
	2,0788	2,0790	2,1607	1,8398	1,8666	2,1886	1,8410
	1,7133	1,8442	1,8445	1,8709	1,9235	2,1623	1,6635
	1,7182	1,7185	1,7446	1,8225	1,9005	1,9267	1,9790
70	2,0808	2,0810	2,1634	1,8411	1,8680	2,1920	1,8423
	1,7143	1,8454	1,8456	1,8721	1,9247	2,1647	1,6644
	1,7190	1,7193	1,7454	1,8234	1,9015	1,9277	1,9801
	2,0830	2,0831	2,1669	1,8426	1,8694	1,7376	1,8436
	1,7154	1,8465	1,8468	1,8732	1,9260	2,1677	1,6654
	1,7199	1,7201	1,7463	1,8243	1,9025	1,9288	1,9812
	2,0854	2,0855	1,7375	1,8440	1,8709	1,7389	1,8450
	1,7164	1,8477	1,8480	1,8745	1,5876	1,5880	1,6663
	1,7208	1,7210	1,7472	1,8253	1,9036	1,9299	1,9825
	2,0882	2,0883	1,7389	1,8455	1,8724	1,7402	1,8464
	1,7175	1,8490	1,8492	1,8757	1,5885	1,5889	1,6673
	1,7217	1,7219	1,7481	1,8263	1,9047	1,9311	1,9838
	2,0918	2,0918	1,7403	1,8471	1,8740	1,7416	1,8479
	1,7187	1,8503	1,8505	1,8771	1,5895	1,5898	1,6683
	1,7226	1,7229	1,7491	1,8273	1,9059	1,9323	1,9852
65	1,6877	1,6882	1,7418	1,8487	1,8757	1,7430	1,8495
	1,7198	1,8516	1,8518	1,8784	1,5904	1,5908	1,6693
	1,7236	1,7238	1,7500	1,8284	1,9072	1,9337	1,3635
	1,6892	1,6897	1,7433	1,8504	1,8774	1,7444	1,8511
	1,7210	1,8531	1,8533	1,8799	1,5914	1,5918	1,6703
	1,7246	1,7248	1,7511	1,8296	1,9085	1,9351	1,3642
	1,6907	1,6912	1,7449	1,8522	1,8793	1,7459	1,8528
	1,7223	1,8546	1,8547	1,8815	1,5925	1,5928	1,6714
	1,7256	1,7258	1,7521	1,8308	1,9100	1,3131	1,3649

1/16/31

5/20/35

	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7187
	1,9361	1,5631	1,5899	1,6694	1,6961	1,9094	1,9095	1,6706
	1,7251	1,7779	1,8839	1,4394	1,4916	1,4919	1,5182	1,5444
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7204
	1,9387	1,5644	1,5912	1,6708	1,6975	1,9115	1,4877	1,6719
	1,7264	1,7792	1,8856	1,4403	1,4925	1,4928	1,5191	1,5453
60	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7222
	1,9421	1,5657	1,5925	1,6722	1,6989	1,9141	1,4888	1,6732
	1,7277	1,7806	1,3629	1,4411	1,4934	1,4937	1,5200	1,5462
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7241
	1,5137	1,5670	1,5938	1,6736	1,7004	1,9173	1,4899	1,6746
	1,7290	1,7821	1,3638	1,4421	1,4944	1,4947	1,5209	1,5472
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7260
	1,5150	1,5684	1,5952	1,6751	1,4377	1,4381	1,4911	1,6760
	1,7304	1,7837	1,3647	1,4430	1,4953	1,4956	1,5219	1,5482
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7280
	1,5164	1,5698	1,5966	1,6767	1,4388	1,4393	1,4923	1,6775
	1,7319	1,3132	1,3656	1,4440	1,4963	1,4966	1,5229	1,5492
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7302
	1,5178	1,5713	1,5981	1,6783	1,4401	1,4405	1,4935	1,6791
	1,7336	1,3141	1,3665	1,4449	1,4974	1,4976	1,5239	1,5503
55	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7325
	1,5192	1,5728	1,5997	1,6801	1,4413	1,4417	1,4948	1,6807
	1,7354	1,3150	1,3675	1,4460	1,4984	1,4987	1,5250	1,5514
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7351
	1,5207	1,5743	1,6013	1,6819	1,4426	1,4430	1,4961	1,6825
	1,7374	1,3160	1,3684	1,4470	1,4995	1,4998	1,5261	1,5525
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7380
	1,5223	1,5760	1,6030	1,6840	1,4439	1,4443	1,4975	1,6845
	1,2384	1,3170	1,3695	1,4481	1,5007	1,5009	1,5273	1,5537
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,7417
	1,5239	1,5777	1,6048	1,6863	1,4453	1,4456	1,4989	1,6867
	1,2393	1,3180	1,3705	1,4492	1,5019	1,5021	1,5285	1,5550
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,3881
	1,5256	1,5796	1,6067	1,6889	1,4467	1,4470	1,5004	1,2630
	1,2403	1,3190	1,3716	1,4504	1,5031	1,5033	1,1127	1,1131
50	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,3899
	1,5274	1,5815	1,6088	1,2887	1,4482	1,4485	1,5020	1,2642
	1,2413	1,3200	1,3727	1,4516	1,5045	1,5046	1,1135	1,1139
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,3917
	1,5293	1,5836	1,2629	1,2900	1,4498	1,4500	1,2385	1,2654
	1,2423	1,3211	1,3738	1,4529	1,5059	1,5060	1,1144	1,1148
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,3936
	1,5313	1,5860	1,2643	1,2913	1,4514	1,4516	1,2397	1,2666
	1,2434	1,3223	1,3750	1,4542	1,5073	1,5075	1,1152	1,1156
	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,3955
	1,5334	1,5887	1,2657	1,2927	1,4531	1,4533	1,2410	1,2679
	1,2445	1,3234	1,3763	1,4557	1,5090	1,5091	1,1161	1,1165

	10/25/40			15/30/45			
	1,6923	1,6927	1,7465	1,8541	1,8812	1,7474	1,8546
	1,7236	1,8562	1,8563	1,8832	1,5935	1,5938	1,6725
	1,7267	1,7269	1,7532	1,8320	1,9116	1,3138	1,3656
	1,6940	1,6943	1,7482	1,8561	1,8834	1,7490	1,8565
	1,7249	1,8579	1,8580	1,8850	1,5946	1,5949	1,6737
	1,7279	1,7280	1,7544	1,8334	1,2626	1,3145	1,3663
	1,6957	1,6960	1,7499	1,8582	1,8857	1,7507	1,8586
60	1,7263	1,8598	1,8599	1,8871	1,5957	1,5960	1,6749
	1,7290	1,7292	1,7556	1,8349	1,2633	1,3152	1,3670
	1,6974	1,6977	1,7518	1,8606	1,8885	1,7524	1,8609
	1,7278	1,8619	1,8620	1,4135	1,5969	1,5971	1,6761
	1,7303	1,7304	1,7569	1,2379	1,2640	1,3159	1,3678
	1,6993	1,6995	1,7537	1,8634	1,8919	1,7543	1,8636
	1,7293	1,8644	1,8644	1,4145	1,5981	1,5983	1,6774
	1,7316	1,7317	1,2382	1,2386	1,2647	1,3166	1,3686
	1,7012	1,7014	1,7558	1,8669	1,4884	1,7563	1,8670
	1,7309	1,8675	1,3628	1,4155	1,5993	1,5995	1,6788
	1,7330	1,7331	1,2389	1,2393	1,2655	1,3174	1,3693
	1,7032	1,7034	1,7580	1,4628	1,4899	1,7584	1,4377
	1,3630	1,3634	1,3638	1,4166	1,6006	1,6008	1,6802
	1,7345	1,7346	1,2397	1,2401	1,2662	1,3182	1,3702
	1,7053	1,7055	1,7605	1,4642	1,4914	1,7608	1,4391
55	1,3641	1,3645	1,3649	1,4177	1,6019	1,6021	1,6818
	1,7362	1,1626	1,2405	1,2408	1,2670	1,3190	1,3710
	1,7076	1,7078	1,7633	1,4658	1,4929	1,7635	1,4405
	1,3652	1,3656	1,3660	1,4188	1,6033	1,6035	1,6834
	1,7381	1,1633	1,2413	1,2416	1,2678	1,3198	1,3718
	1,7102	1,7103	1,7668	1,4674	1,4945	1,7670	1,4420
	1,3663	1,3667	1,3671	1,4199	1,6048	1,6050	1,6853
	1,7403	1,1641	1,2421	1,2424	1,2686	1,3206	1,3727
	1,7131	1,7132	1,3881	1,4690	1,4962	1,3630	1,4435
	1,3675	1,3679	1,3682	1,4211	1,6064	1,6066	1,6873
	1,1127	1,1649	1,2429	1,2432	1,2694	1,3215	1,3736
	1,7167	1,7168	1,3897	1,4707	1,4979	1,3645	1,4450
	1,3687	1,3691	1,3694	1,4224	1,6081	1,6083	1,1877
	1,1135	1,1657	1,2438	1,2441	1,2703	1,3224	1,3745
	1,3634	1,3640	1,3914	1,4725	1,4997	1,3660	1,4467
50	1,3700	1,3703	1,3707	1,4237	1,6100	1,6101	1,1886
	1,1143	1,1665	1,2446	1,2449	1,2711	1,3233	1,3755
	1,3652	1,3657	1,3931	1,4743	1,5016	1,3676	1,4483
	1,3713	1,3716	1,3719	1,4250	1,6121	1,1630	1,1896
	1,1151	1,1674	1,2455	1,2458	1,2720	1,3242	1,3765
	1,3670	1,3675	1,3949	1,4762	1,5036	1,3692	1,4501
	1,3727	1,3730	1,3732	1,4264	1,6145	1,1641	1,1907
	1,1160	1,1682	1,2464	1,2467	1,2730	1,3252	1,3775
	1,3688	1,3693	1,3967	1,4783	1,5057	1,3709	1,4519
	1,3741	1,3744	1,3746	1,4279	1,6177	1,1651	1,1917
	1,1168	1,1691	1,2474	1,2477	1,2739	1,3262	1,3786

1/16/31

5/26/35

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,3976
1,5358	1,2133	1,2671	1,2942	1,4549	1,4551	1,2423	1,2692
1,2456	1,3247	1,3776	1,4572	1,5107	1,5108	1,1170	1,1174

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,3997
1,1875	1,2148	1,2686	1,2957	1,4568	1,4570	1,2436	1,2705
1,2467	1,3259	1,3789	1,4588	1,5127	1,5128	1,1179	1,1183

45

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,4020
1,1890	1,2163	1,2702	1,2973	1,4589	1,4590	1,2450	1,2719
1,2479	1,3273	1,3804	1,4606	1,5150	0,9883	1,1189	1,1192

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,4043
1,1905	1,2178	1,2718	1,2989	1,4612	1,4613	1,2465	1,2734
1,2492	1,3287	1,3819	1,4626	0,9626	0,9891	1,0416	1,1202

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,4069
1,1921	1,2194	1,2734	1,3006	1,4639	1,0879	1,2480	1,2749
1,2505	1,3301	0,9625	0,9630	0,9635	0,9900	1,0426	1,1212

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,4096
1,1937	1,2211	1,2752	1,3024	1,4672	1,0892	1,2495	1,2765
1,2519	1,3317	0,9635	0,9640	0,9644	0,9909	1,0435	1,1222

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,4128
1,1955	1,2228	1,2770	1,0628	1,0634	1,0906	1,2512	1,2782
1,2533	0,9378	0,9644	0,9649	0,9653	0,9919	1,0445	1,1233

40

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,4166
1,1972	1,2246	1,2790	1,0642	1,0648	1,0920	1,2529	1,2800
1,2548	0,9388	0,9654	0,9659	0,9663	0,9929	1,0455	1,1244

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,1133
1,1991	1,2265	1,2811	1,0657	1,0662	1,0935	1,2548	1,2820
1,2564	0,9398	0,9665	0,9669	0,9673	0,9939	1,0466	1,1256

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,1154
1,2011	1,2285	1,2833	1,0673	1,0678	1,0950	1,2567	0,9625
0,8877	0,9408	0,9675	0,9679	0,9683	0,9949	1,0477	1,1268

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,1177
1,2032	1,2307	1,2858	1,0689	1,0694	1,0966	1,2589	0,9638
0,8887	0,9419	0,9686	0,9690	0,9694	0,9960	1,0489	1,1281

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,1200
1,2054	1,2330	1,2886	1,0706	1,0710	1,0983	1,2612	0,9652
0,8898	0,9430	0,9698	0,9701	0,9705	0,9971	1,0500	1,1294

35

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,1224
1,2077	1,2355	0,9637	1,0723	1,0727	1,1001	1,2639	0,9666
0,8909	0,9442	0,9709	0,9713	0,9717	0,9983	1,0513	1,1308

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,1250
1,2103	0,9375	0,9653	1,0742	1,0746	1,1019	0,9138	0,9681
0,8921	0,9454	0,9722	0,9725	0,9728	0,9995	1,0526	1,1323

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,1277
1,2133	0,9392	0,9670	1,0762	1,0765	0,8877	0,9153	0,9696
0,8933	0,9466	0,9735	0,9738	0,9741	1,0008	1,0540	0,7125

-1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	=1,0000	1,1306
0,9130	0,9410	0,9689	1,0782	1,0785	0,8892	0,9168	0,9712
0,8945	0,9480	0,9748	0,9751	0,9754	1,0022	1,0554	0,7134

	10/25/40			15/30/45			
	1,3708	1,3712	1,3986	1,4804	1,5080	1,3727	1,4539
	1,3756	1,3758	1,3760	1,1128	1,1133	1,1662	1,1928
	1,1177	1,1700	1,2484	1,2486	1,2749	1,3273	1,3798
	1,3728	1,3732	1,4007	1,4828	1,5105	1,3745	1,4559
45	1,3771	1,3773	1,3775	1,4311	1,1143	1,1673	1,1939
	1,1186	1,1710	1,2494	1,2496	1,2759	1,3284	1,3810
	1,3749	1,3752	1,4028	1,4853	1,5133	1,3764	1,4582
	1,3787	1,3789	1,3791	1,4328	1,1154	1,1684	1,1950
	1,1195	1,1719	1,2505	1,2507	1,2770	1,3296	1,3822
	1,3771	1,3774	1,4050	1,4882	1,5169	1,3784	1,1631
	1,3805	1,3806	1,3808	1,4348	1,1165	1,1696	1,1962
	1,1205	1,1729	1,2516	1,2518	1,2781	1,3308	1,3836
	1,3795	1,3797	1,4074	1,4918	1,1635	1,3806	1,1647
	1,3823	1,3825	1,3826	1,0382	1,1177	1,1708	1,1975
	1,1215	1,1740	1,2527	1,2529	1,2793	1,3321	0,8382
	1,3820	1,3822	1,4101	1,1376	1,1653	1,3829	1,1663
	1,3843	1,3845	1,3846	1,0393	1,1189	1,1720	1,1987
	1,1225	1,1751	1,2539	1,2541	1,2806	0,8126	0,8389
40	1,3847	1,3849	1,4131	1,1393	1,1670	1,1135	1,1680
	1,3866	1,3867	1,3868	1,0405	1,1201	1,1733	1,2001
	1,1236	1,1762	1,2552	1,2554	1,2819	0,8133	0,8396
	1,3878	1,3879	1,4167	1,1412	1,1689	1,1152	1,1698
	1,3892	1,3892	0,9883	1,0417	1,1214	1,1747	1,2015
	1,1247	1,1774	1,2565	1,2567	0,7877	0,8140	0,8403
	1,3916	1,3917	1,0879	1,1431	1,1708	1,1170	1,1716
	1,3924	1,3925	0,9895	1,0429	1,1228	1,1761	1,2029
	1,1258	1,1786	1,2580	1,2581	0,7884	0,8148	0,8411
	1,0885	1,0892	1,0899	1,1451	1,0638	1,1188	1,1736
	0,9631	0,9637	0,9907	1,0442	1,1242	1,1776	1,2045
	1,1270	1,1799	1,2595	0,7627	0,7892	0,8155	0,8419
	1,0906	1,0913	1,0919	1,1472	1,0657	1,1207	1,1756
	0,9644	0,9649	0,9920	1,0456	1,1257	1,1792	1,2062
	1,1283	1,1813	1,2612	0,7635	0,7899	0,8163	0,8427
35	1,2314	1,0934	1,0940	1,1494	1,0676	1,1228	1,1777
	0,9657	0,9662	0,9933	1,0470	1,1272	1,1809	0,8629
	1,1296	1,1827	0,7378	0,7643	0,7907	0,8171	0,8435
	1,2343	1,0957	1,0962	1,1517	1,0697	1,1249	1,1800
	0,9671	0,9676	0,9947	1,0484	1,1288	1,1827	0,8640
	1,1310	1,1843	0,7386	0,7651	0,7915	0,8180	0,8443
	1,2376	1,0980	1,0985	1,1541	1,0718	1,1271	1,1825
	0,9685	0,9690	0,9962	1,0499	1,1306	1,1847	0,8651
	1,1325	0,7128	0,7394	0,7659	0,7924	0,8188	0,8452
	1,2415	1,1005	1,1009	1,1567	1,0740	1,1295	1,1851
	0,9701	0,9705	0,9977	1,0516	1,1324	0,8127	0,8663
	0,7131	0,7136	0,7402	0,7667	0,7933	0,8197	0,8461
	0,9631	1,1032	1,1035	1,1596	1,0764	1,1320	1,1882
	0,9716	0,9720	0,9993	1,0533	1,1345	0,8138	0,8675
	0,7139	0,7144	0,7411	0,7676	0,7942	0,8206	0,8471



1/16/31

5/20/35

30	-1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	1,1338
	0,9149	0,9429	0,9707	1,0804	1,0807	0,8908	0,9184	0,9729
	0,8958	0,9493	0,9762	0,9765	0,9768	1,0036	1,0570	0,7143
	-1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	1,1372
	0,9168	0,9449	0,9727	1,0828	1,0830	0,8925	0,9201	0,9747
	0,8971	0,9508	0,9777	0,9780	0,9782	1,0051	0,6883	0,7152
	-1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	1,1414
	0,9189	0,9469	0,9748	1,0854	1,0856	0,8942	0,9219	0,9766
	0,8986	0,9523	0,9793	0,9795	0,9798	1,0067	0,6893	0,7161
	-1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	0,8875
	0,9210	0,9491	0,9771	1,0884	1,0885	0,8961	0,9238	0,9786
	0,9001	0,9539	0,9810	0,9812	0,6626	0,6632	0,6902	0,7171
	-1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	0,8903
	0,9233	0,9515	0,9795	1,0920	0,7878	0,8980	0,9258	0,9808
	0,9017	0,9557	0,9828	0,9830	0,6636	0,6642	0,6912	0,7182
25	-1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	0,8932
	0,9257	0,9539	0,7881	0,7888	0,7896	0,9001	0,9279	0,9831
	0,9033	0,9575	0,9848	0,9850	0,6646	0,6652	0,6923	0,7192
	-1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	0,8963
	0,9283	0,9566	0,7900	0,7908	0,7915	0,9023	0,9302	0,9857
	0,9052	0,9596	0,9870	0,6384	0,6657	0,6663	0,6934	0,7204
	-1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	0,8996
	0,9311	0,9596	0,7921	0,7928	0,7935	0,9046	0,9326	0,9886
	0,9071	0,9618	0,9896	0,6395	0,6668	0,6674	0,6945	0,7216
	-1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	0,9031
	0,9342	0,9628	0,7944	0,7950	0,7956	0,9072	0,9353	0,9922
	0,9092	0,9644	0,6131	0,6406	0,6680	0,6686	0,6957	0,7228
	=1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	0,7896
	0,9376	0,7397	0,7968	0,7973	0,7979	0,9100	0,6878	0,6886
	0,6128	0,6136	0,6143	0,6418	0,6693	0,6698	0,6970	0,7241
20	-1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	0,7931
	0,7127	0,7421	0,7994	0,7998	0,8003	0,9132	0,6896	0,6904
	0,6141	0,6148	0,6155	0,6431	0,6706	0,6711	0,6984	0,7256
	=1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	0,7968
	0,7152	0,7446	0,8021	0,8025	0,8029	0,6627	0,6916	0,6924
	0,6154	0,6161	0,6168	0,6445	0,6720	0,6725	0,6998	0,7271
	=1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	0,7397	0,8009
	0,7180	0,7474	0,8052	0,8055	0,6639	0,6648	0,6938	0,6945
	0,6168	0,6175	0,6181	0,6459	0,6735	0,6740	0,7014	0,7287
	=1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	0,7440	0,7143
	0,7209	0,7505	0,8085	0,8087	0,6662	0,6670	0,6962	0,6968
	0,6184	0,6190	0,6196	0,6475	0,6751	0,6755	0,7030	0,7304
	=1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	0,7485	0,7185
	0,7242	0,7538	0,8122	0,8123	0,6688	0,6695	0,6987	0,6993
	0,6200	0,6206	0,6212	0,6491	0,6769	0,6773	0,7048	0,7323
15	=1,0000	=1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	=-1,0000	0,7535	0,7231
	0,7277	0,7575	0,8165	0,8166	0,6716	0,6722	0,7015	0,7020
	0,6218	0,6224	0,6229	0,6509	0,6788	0,6791	0,7068	0,7344

	10/25/40			15/30/45			
30	0,9654	1,1060	1,1062	1,1628	1,0789	1,1348	0,9142
	0,9733	0,9737	1,0009	1,0551	0,7878	0,8150	0,8688
	0,7148	0,7153	0,7419	0,7685	0,7951	0,8216	0,8480
	0,9680	1,1090	1,1092	0,9141	1,0816	0,8878	0,9162
	0,9751	0,9754	1,0027	0,7884	0,7890	0,8163	0,8701
	0,7157	0,7162	0,7429	0,7695	0,7960	0,8226	0,8491
	0,9706	1,1124	0,8876	0,9163	1,0845	0,8899	0,9183
	0,9769	0,9772	1,0046	0,7897	0,7903	0,8176	0,8715
	0,7166	0,7171	0,7438	0,7705	0,7971	0,8236	0,8501
	0,9734	1,1165	0,8900	0,9187	0,8635	0,8921	0,9205
	0,9789	0,9792	0,7635	0,7910	0,7916	0,8189	0,8729
	0,7176	0,7181	0,7448	0,7715	0,7981	0,8247	0,8512
	0,8625	0,8634	0,8925	0,9213	0,8657	0,8944	0,9228
	0,9810	0,9812	0,7649	0,7924	0,7930	0,8204	0,8745
	0,7186	0,7191	0,7458	0,7725	0,7992	0,8258	0,8524
25	0,8653	0,8660	0,8952	0,8392	0,8682	0,8969	0,9253
	0,9833	0,9835	0,7663	0,7940	0,7945	0,8219	0,8761
	0,7197	0,7201	0,7469	0,7737	0,8003	0,8270	0,8536
	0,8682	0,8689	0,8980	0,8418	0,8708	0,8995	0,9280
	0,9858	0,7128	0,7679	0,7955	0,7960	0,8235	0,8779
	0,7208	0,7212	0,7481	0,7748	0,8015	0,8282	0,8549
	0,8713	0,8719	0,9010	0,8445	0,8735	0,9023	0,9309
	0,9887	0,7143	0,7695	0,7972	0,7977	0,8252	0,8797
	0,7220	0,7224	0,7492	0,7761	0,8028	0,8296	0,8563
	0,8746	0,8751	0,9043	0,8474	0,8764	0,9053	0,9340
	0,6877	0,7159	0,7713	0,7990	0,7995	0,8270	0,8817
	0,7232	0,7236	0,7505	0,7774	0,8042	0,8310	0,8578
	0,8781	0,8785	0,9078	0,8505	0,8796	0,9086	0,9375
	0,6894	0,7177	0,7731	0,8010	0,8013	0,8290	0,8839
	0,7245	0,7249	0,7518	0,7787	0,8056	0,8325	0,8592
20	0,8819	0,8822	0,9117	0,8538	0,8831	0,9122	0,9416
	0,6912	0,7195	0,7751	0,8030	0,8034	0,8311	0,8860
	0,7259	0,7262	0,7533	0,7802	0,8072	0,8341	0,8890
	0,8861	0,8863	0,9399	0,8575	0,8869	0,9134	0,9444
	0,6931	0,7215	0,7773	0,8053	0,8056	0,8334	0,8880
	0,7274	0,7277	0,7548	0,7818	0,8087	0,8356	0,8910
	0,8910	0,7126	0,7433	0,8615	0,7155	0,7163	0,7172
	0,6951	0,7236	0,7796	0,8077	0,8080	0,8378	0,8920
	0,7290	0,7293	0,7564	0,7833	0,8103	0,8381	0,8930
	0,7152	0,7162	0,7470	0,6881	0,7187	0,7195	0,7202
	0,6974	0,7259	0,7822	0,8104	0,8085	0,8393	0,8940
	0,7307	0,7309	0,7591	0,7860	0,8130	0,8402	0,8950
	0,7193	0,7201	0,6907	0,6916	0,7223	0,7229	0,7236
	0,6998	0,7284	0,7850	0,8135	0,8091	0,8409	0,8960
	0,7326	0,7329	0,7603	0,7888	0,8158	0,8430	0,8970
15	0,7238	0,7244	0,6946	0,6954	0,7262	0,7267	0,7272
	0,7024	0,7312	0,7882	0,8167	0,8119	0,8426	0,8980
	0,4630	0,4638	0,4645	0,4653	0,4660	0,4667	0,4673





NUMBER OF PASSES N (LN)

1/24

5/8

10/33

15/58

20/43

77

-1 7

-1 7

-1 6

-1 6

-1 6

-1 6

11 6

10 6

10 5

10 5

10 5

9 5

9 5

8 5

8 5

8 5

8 4

8 4

7 4

7 7

75

-1 7

-1 6

-1 6

-1 6

-1 6

-1 6

11 6

10 6

10 5

10 5

10 5

9 5

9 5

8 5

8 4

8 4

8 4

8 4

7 4

7 7

77

-1 7

-1 6

-1 6

-1 6

-1 6

-1 6

11 5

10 5

10 5

10 5

9 5

9 5

8 5

8 4

8 4

8 4

8 4

7 4

7 4

7 7

70

-1 6

-1 6

-1 6

-1 6

-1 6

-1 5

11 5

10 5

10 5

9 5

9 5

8 5

8 4

8 4

8 4

8 4

8 4

7 4

7 4

7 7

70

-1 6

-1 6

-1 6

-1 6

-1 6

-1 5

11 5

10 5

10 5

9 5

9 5

8 5

8 4

8 4

8 4

8 4

7 4

7 4

7 4

7 6

70

-1 6

-1 6

-1 6

-1 5

-1 5

-1 5

11 5

10 5

9 5

9 5

8 4

8 4

8 4

8 4

8 4

8 4

7 4

7 4

7 4

7 6

65

-1 6

-1 6

-1 6

-1 5

-1 5

-1 5

10 5

9 5

9 5

9 4

9 4

8 4

8 4

8 4

8 4

8 4

8 4

7 4

7 4

7 6

65

-1 6

-1 6

-1 6

-1 5

-1 5

-1 5

10 5

9 5

9 4

9 4

8 4

8 4

8 4

8 4

8 4

8 4

8 4

7 4

7 4

7 6





1/24

5/28

10/33

15/38

20/43

35

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

30

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

25

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 4

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3

1 3







ROW TO WHICH THE CONTROL LEADS (IRAD)

1/24  
5/28

10/33

15/38

20/43

77 69 71 76 57 59 68 68 71 65 73 65 57 68 60 72 74 66 69 73 68 62 64 67 55 69 58 58 58 61 61

75 69 56 56 57 59 68 68 71 65 73 65 57 68 60 72 74 66 69 73 68 62 64 67 55 69 58 58 58 61 61

69 69 56 56 57 59 68 68 71 65 73 65 57 68 60 72 74 66 69 73 68 62 64 67 55 69 58 58 58 61 61

69 69 56 56 57 59 68 68 71 65 73 65 57 68 60 72 74 66 69 73 68 62 64 67 55 69 58 58 58 61 61

69 69 56 56 57 59 68 68 71 65 73 65 57 68 60 72 74 66 69 73 68 62 64 67 55 69 58 58 58 61 61

70 51 56 56 57 59 68 68 71 65 73 65 57 68 60 72 74 66 69 73 68 62 64 67 55 69 58 58 58 61 61

51 51 56 56 57 59 68 68 71 65 73 65 57 68 60 72 74 66 69 73 68 62 64 67 55 69 58 58 58 61 61

51 51 56 56 57 59 68 68 71 65 73 65 57 68 60 72 74 66 69 73 68 62 64 67 55 69 58 58 58 61 61

51 51 56 56 57 59 68 68 71 65 73 65 57 68 60 72 74 66 69 73 68 62 64 67 55 69 58 58 58 61 61

51 51 56 56 57 59 68 68 71 65 73 65 57 68 60 72 74 66 69 73 68 62 64 67 55 69 58 58 58 61 61

51 51 56 56 57 59 68 68 71 65 73 65 57 68 60 72 74 66 69 73 68 62 64 67 55 69 58 58 58 61 61

65 51 56 56 57 59 68 68 71 65 73 65 57 68 60 72 74 66 69 73 68 62 64 67 55 69 58 58 58 61 61

51 51 56 56 57 59 68 68 71 65 73 65 57 68 60 72 74 66 69 73 68 62 64 67 55 69 58 58 58 61 61









	1/24		5/28		10/33		15/38		20/43							
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30



COLUMN TO WHICH THE CONTROL LEADS (KOL)

1/24 5/28 10/33 15/38 20/43

77 23 24 25 26 27 28 29 30 31 10 32 11 33 12 34 13 35 14 36 15 37 16 38 17 39 18 40 19 41 20 42 21 43 22

75 23 24 25 26 27 28 29 30 31 10 32 11 33 12 34 13 35 14 36 15 37 16 38 17 39 18 40 19 41 20 42 21 43 22

70 23 24 25 26 27 28 29 30 31 10 32 11 33 12 34 13 35 14 36 15 37 16 37 17 38 18 39 19 40 20 41 21 42 22

65 23 24 25 26 27 28 29 30 31 10 32 11 33 12 33 13 34 14 35 15 36 16 37 17 38 18 39 19 40 20 41 21 42 22

23 24 25 26 27 28 29 30 31 10 32 11 32 12 33 13 34 14 35 15 36 16 37 17 38 18 39 19 40 20 41 21 42 22

23 24 25 26 27 28 29 30 31 10 32 11 33 12 34 13 35 14 36 15 37 16 37 17 38 18 39 19 40 20 41 21 42 22

23 24 25 26 27 28 29 30 31 10 32 11 33 12 34 13 35 14 36 15 37 16 37 17 38 18 39 19 40 20 41 21 42 22

23 24 25 26 27 28 29 30 31 10 32 11 33 12 34 13 35 14 36 15 37 16 37 17 38 18 39 19 40 20 41 21 42 22

23 24 25 26 27 28 29 30 31 10 32 11 33 12 34 13 35 14 36 15 37 16 37 17 38 18 39 19 40 20 41 21 42 22

23 24 25 26 27 28 29 30 31 10 32 11 33 12 34 13 35 14 36 15 37 16 37 17 38 18 39 19 40 20 41 21 42 22

23 24 25 26 27 28 29 30 31 10 32 11 33 12 34 13 35 14 36 15 37 16 37 17 38 18 39 19 40 20 41 21 42 22

23 24 25 26 27 28 29 30 31 10 32 11 32 12 33 13 34 14 35 15 36 16 37 17 38 18 39 19 40 20 41 21 42 22

23 24 25 26 27 28 29 30 31 10 32 11 32 12 33 13 34 14 35 15 36 16 37 17 38 18 39 19 40 20 41 21 42 22

1/24 5/28 10/33 15/38 20/42

23 #1 =1 =1 #1 =1 #1 =1 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 17 18 18 19 20 21 22

23 #1 =1 =1 #1 =1 #1 =1 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 17 18 18 19 20 21 22

23 #1 =1 =1 #1 =1 #1 =1 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 17 18 18 19 20 21 22

60 23 #1 =1 =1 #1 =1 #1 =1 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 17 18 18 19 20 21 22

23 #1 =1 =1 #1 =1 #1 =1 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 17 18 18 19 20 21 22

23 #1 =1 =1 #1 =1 #1 =1 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 17 18 18 19 20 21 22

23 #1 =1 =1 #1 =1 #1 =1 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 17 18 18 19 20 21 22

55 23 #1 =1 =1 #1 =1 #1 =1 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 17 18 18 19 20 21 22

23 #1 =1 =1 #1 =1 #1 =1 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 17 18 18 19 20 21 22

23 #1 =1 =1 #1 =1 #1 =1 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 17 18 18 19 20 21 22

23 #1 =1 =1 #1 =1 #1 =1 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 17 18 18 19 20 21 22

23 #1 =1 =1 #1 =1 #1 =1 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 17 18 18 19 20 21 22

23 #1 =1 =1 #1 =1 #1 =1 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 17 18 18 19 20 21 22

50 23 #1 =1 =1 #1 =1 #1 =1 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 17 18 18 19 20 21 22



1/24 5/8

10/33

15/38

20/43

35	23	-1	23	=1	24	-1	25	=1	26	-1	27	=1	28	=1	8	9	9	31	10	31	11	32	12	33	13	34	14	35	15	36	16	37	17	38	18	39	19	38	20	39	21	40	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

23	-1	23	=1	24	-1	25	=1	26	-1	27	=1	28	=1	8	9	9	31	10	31	11	32	12	33	13	34	14	35	15	36	16	37	17	38	18	39	19	38	20	39	21	40	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

23	-1	23	=1	24	-1	25	=1	26	-1	27	=1	28	=1	8	9	9	31	10	31	11	32	12	33	13	34	14	35	15	36	16	37	17	38	18	39	19	38	20	39	21	40	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

23	-1	23	=1	24	-1	25	=1	26	-1	27	=1	28	=1	8	9	9	31	10	31	11	32	12	33	13	34	14	35	15	36	16	37	17	38	18	39	19	38	20	39	21	40	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

23	-1	23	=1	24	-1	25	=1	26	-1	27	=1	28	=1	8	9	9	31	10	31	11	32	12	33	13	34	14	35	15	36	16	37	17	38	18	39	19	38	20	39	21	40	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

30	23	-1	23	=1	24	-1	25	=1	26	-1	27	=1	28	=1	8	9	9	31	10	31	11	32	12	33	13	34	14	35	15	36	16	37	17	38	18	39	19	38	20	39	21	40	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

23	-1	23	=1	24	-1	25	=1	26	-1	27	=1	28	=1	8	9	9	31	10	31	11	32	12	33	13	34	14	35	15	36	16	37	17	38	18	39	19	38	20	39	21	40	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

23	-1	23	=1	24	-1	25	=1	26	-1	27	=1	28	=1	8	9	9	31	10	31	11	32	12	33	13	34	14	35	15	36	16	37	17	38	18	39	19	38	20	39	21	40	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

22	-1	23	=1	24	-1	25	=1	26	-1	27	=1	28	=1	7	8	8	31	10	31	11	32	12	33	13	34	14	35	15	36	16	37	17	38	18	39	19	38	20	39	21	40	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

22	-1	23	=1	24	-1	25	=1	26	-1	27	=1	28	=1	7	8	8	31	10	31	11	32	12	33	13	34	14	35	15	36	16	37	17	38	18	39	19	38	20	39	21	40	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

25	22	-1	23	=1	24	-1	25	=1	26	-1	27	=1	28	=1	7	8	8	31	10	31	11	32	12	33	13	34	14	35	15	36	16	37	17	38	18	39	19	38	20	39	21	40	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

22	-1	23	=1	24	-1	25	=1	26	-1	27	=1	28	=1	7	8	8	31	10	31	11	32	12	33	13	34	14	35	15	36	16	37	17	38	18	39	19	38	20	39	21	40	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

22	-1	23	=1	24	-1	25	=1	26	-1	27	=1	28	=1	7	8	8	31	10	31	11	32	12	33	13	34	14	35	15	36	16	37	17	38	18	39	19	38	20	39	21	40	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

22	-1	23	=1	24	-1	25	=1	26	-1	27	=1	28	=1	7	8	8	29	9	10	30	11	31	12	32	13	33	14	34	15	35	16	36	17	37	18	38	19	38	20	39	21	40	22
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----





## APPENDIX G

### Flödesplan över simuleringprogrammet

Programmet består av ett huvudprogram och två subroutiner. Dessutom anropas subroutinen HANSS, som är en bibliotekssubroutine.

A

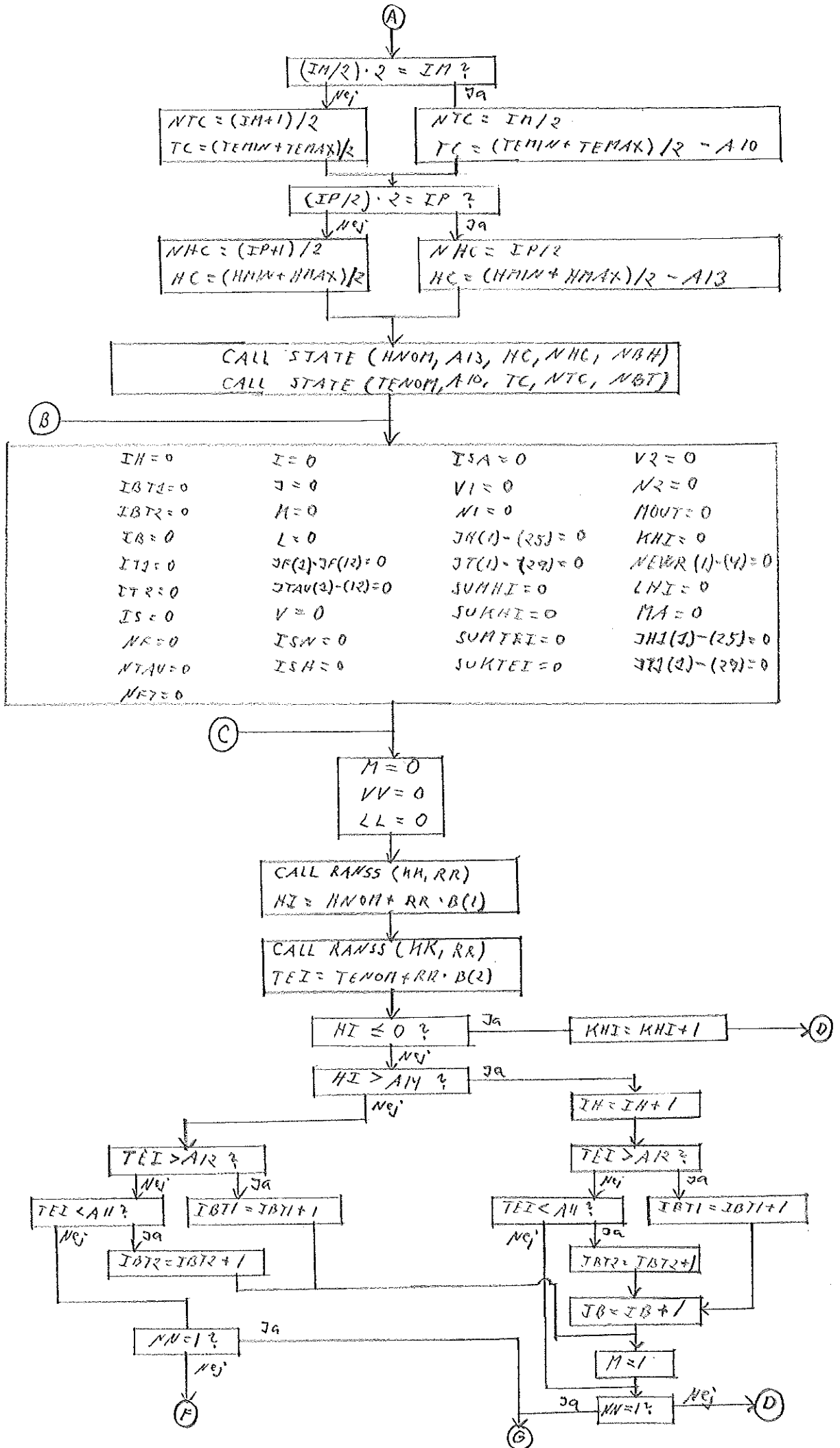
$C_2 = 1/P(15)$   
 $A_{26} = P(26) \cdot DTE$   
 $A_{19} = P(5) \cdot P(12)$   
 $A_{18} = P(14) \cdot P(12)$   
 $A_{17} = P(3) \cdot A_1$   
 $A_{16} = HMIN - TOL$   
 $A_{15} = HMIN + TOL$   
 $A_{14} = HMAX + A_{13}$   
 $A_{13} = AK \cdot 0.5$   
 $A_{12} = TENMAX + A_{10}$   
 $A_{11} = TENMIN - A_{10}$   
 $A_{10} = DTE \cdot 0.5$   
 $A_9 = P(9) \cdot A_1$   
 $A_8 = P(1) \cdot P(14) \cdot A_7$   
 $A_7 = 30 \cdot P(2) / (P(1) \cdot P(13) \cdot P(14) \cdot P(12))$   
 $A_6 = P(11) \cdot A_2$   
 $A_5 = P(10) \cdot A_2$   
 $A_4 = P(9) \cdot P(12)$   
 $A_3 = P(2) \cdot A_2$   
 $A_2 = P(13) \cdot A_1$   
 $A_1 = \sqrt{P(13)}$   
 $PI = 3.1415926536$   
 $DTE = (TENMAX - TENMIN) / (RN - 1)$   
 $DI = (HMAX - HMIN) / (RP - 1)$

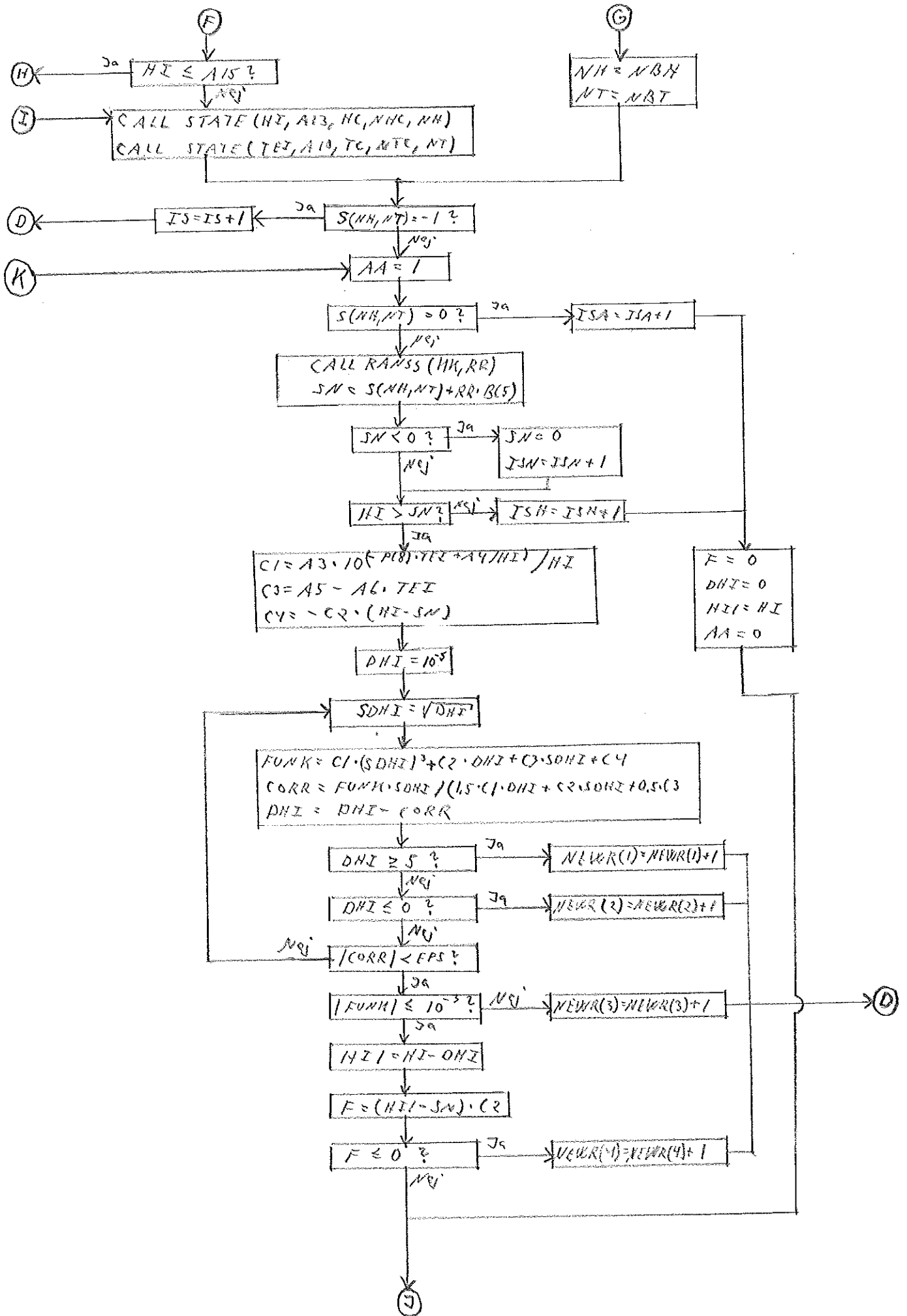
$RP = IP$   
 $RN = IN$   
 $HM = HK$

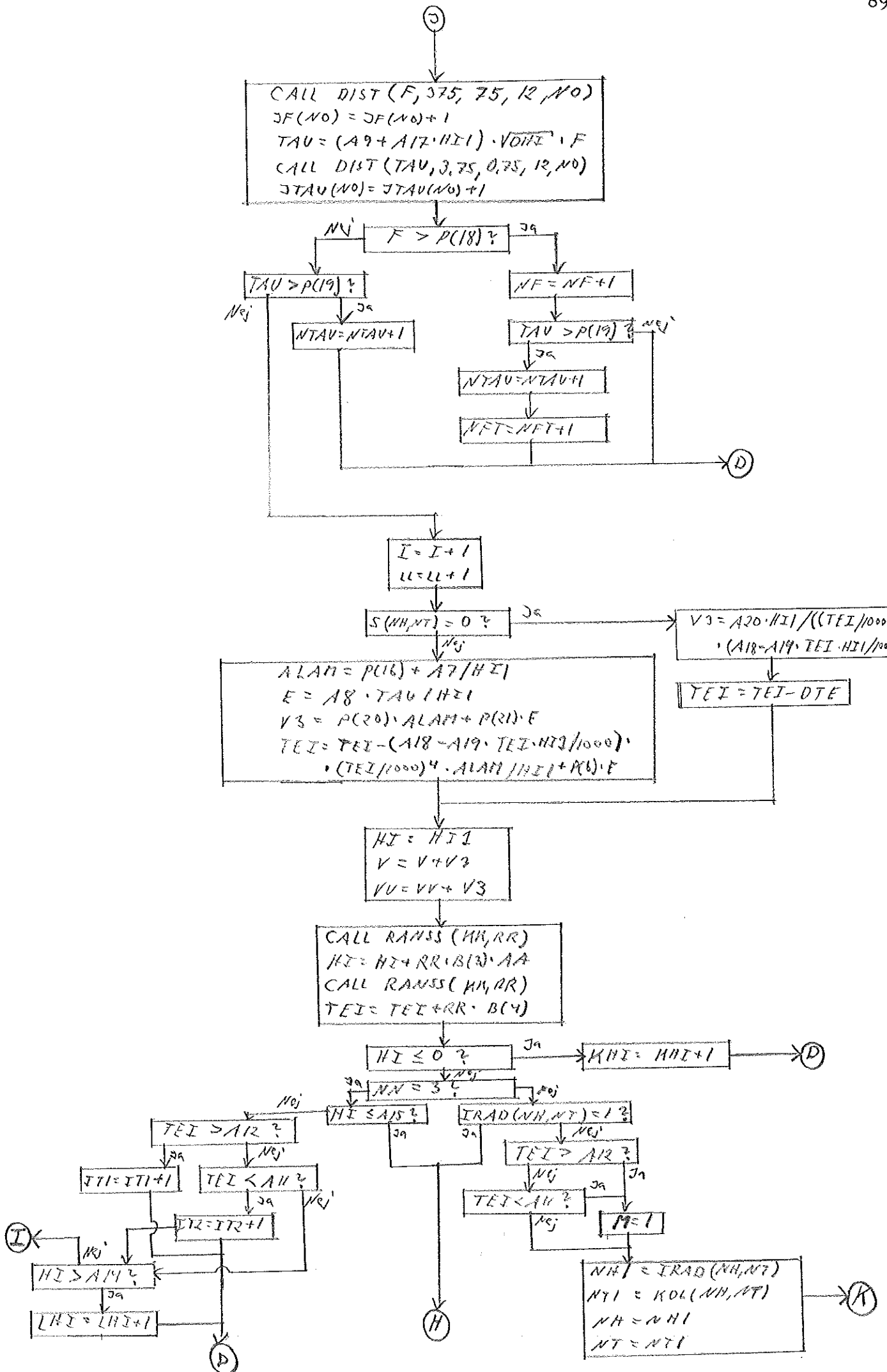
Las m:  
 HMIN  
 HMAX  
 TENMIN  
 TENMAX  
 IM  
 IP  
 $P(2) - P(22)$   
 $P(3) - P(5)$   
 HMIN  
 HMAX  
 TENMIN  
 TENMAX  
 IM  
 IP  
 $P(2) - P(22)$   
 $P(3) - P(5)$   
 HMIN  
 HMAX  
 TENMIN  
 TENMAX  
 IM  
 IP  
 S(IP, IM)  
 IRAO(IP, IM)  
 KOL(IP, IM)

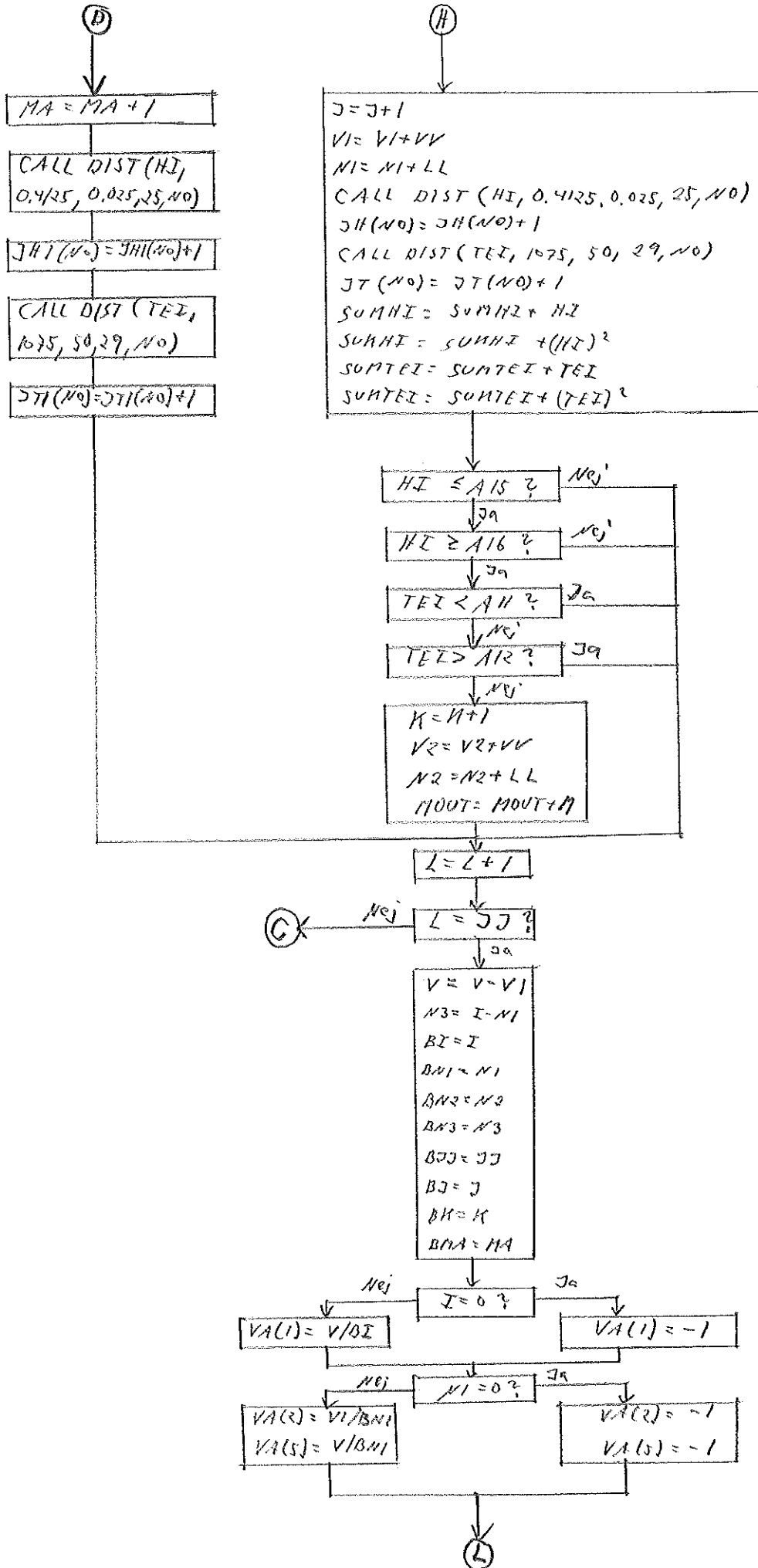
START

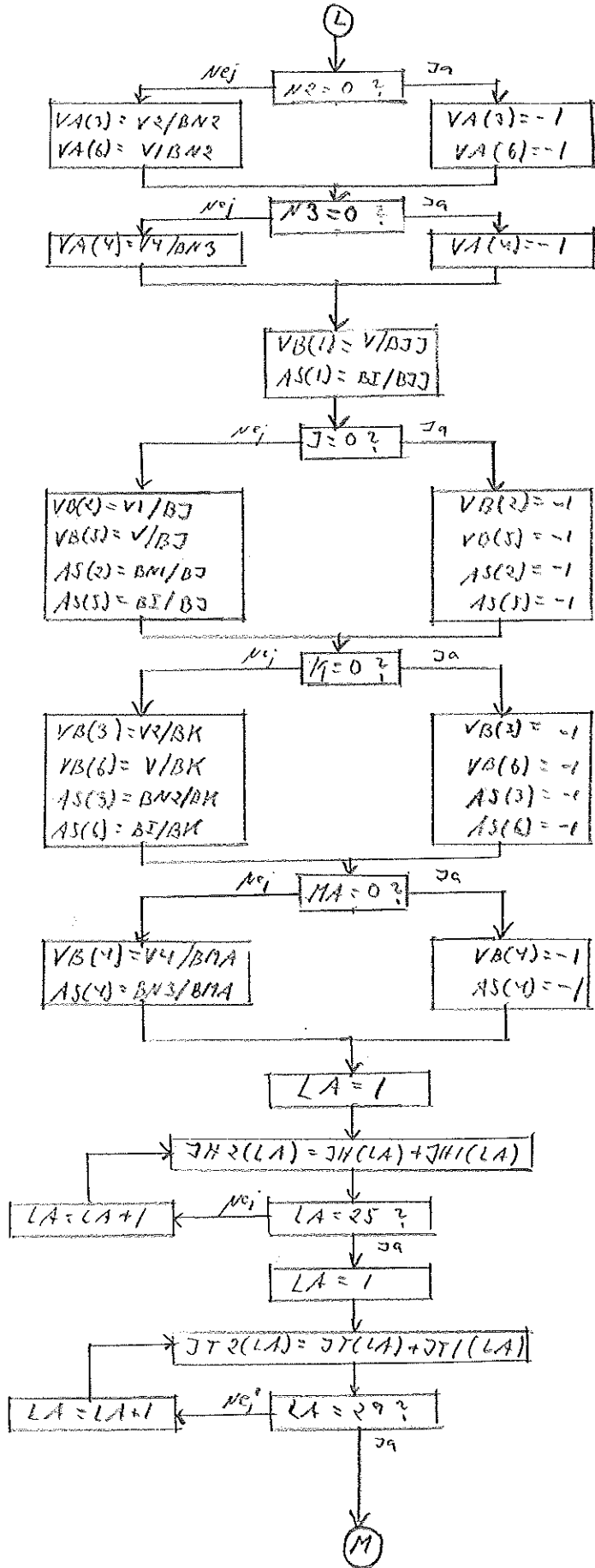


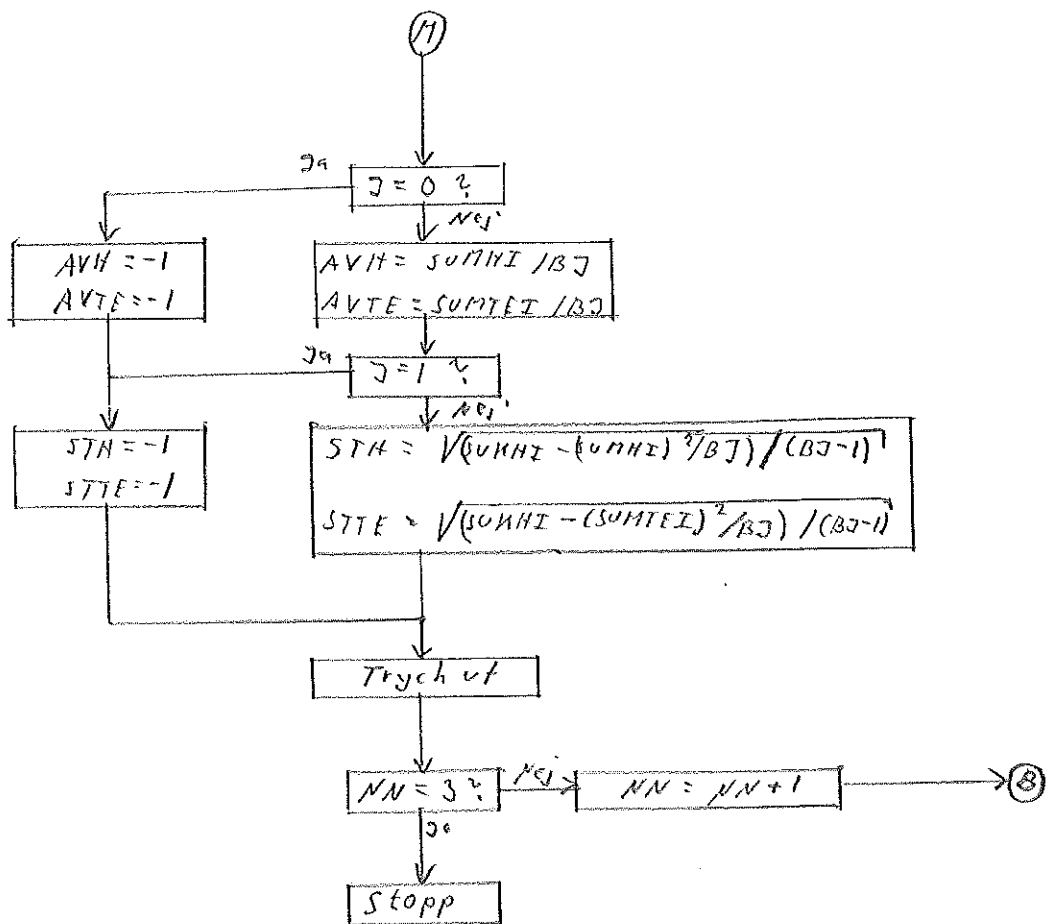




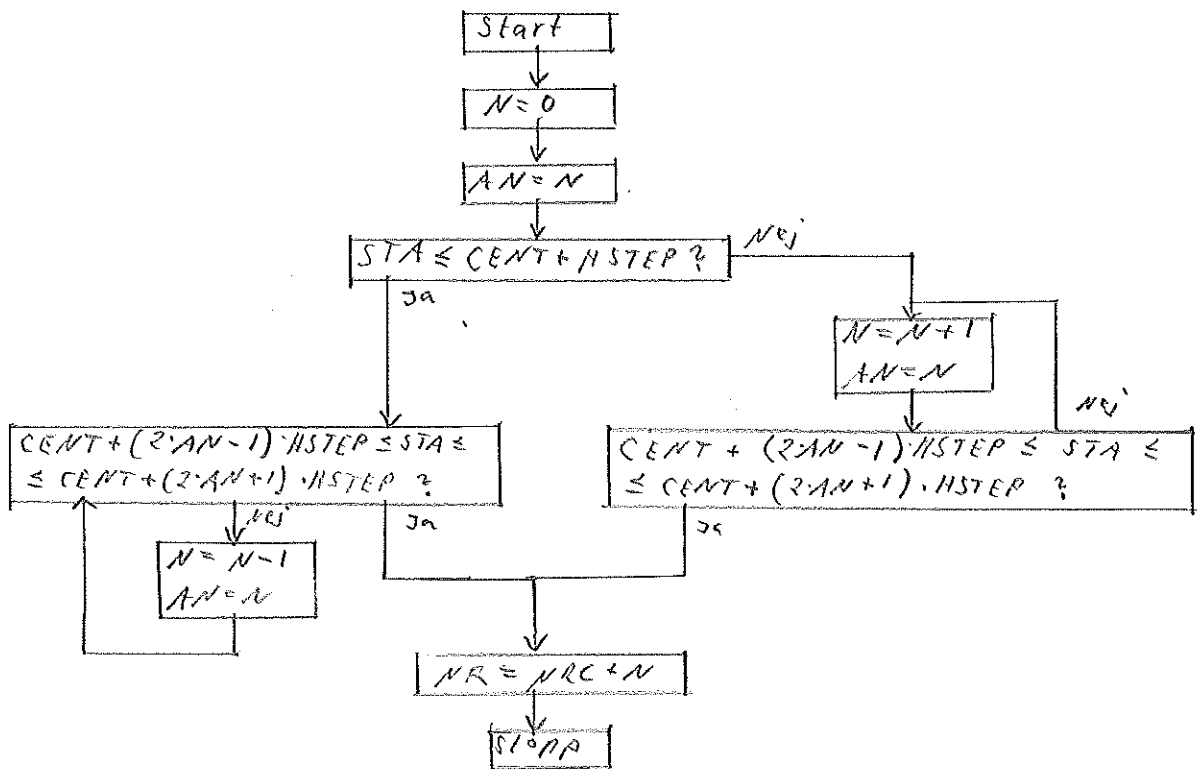




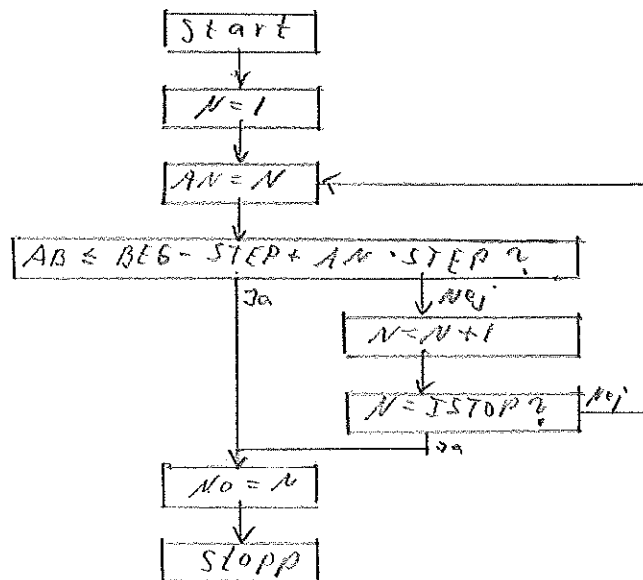




SUBROUTINE STATE (STA, HSTEP, CENT, NRC, NR)



SUBROUTINE DIST (AB, BEG, STEP, ISTOP, NO)



## APPENDIX H

Listning av simuleringsprogrammet



5.5B

19/12-69

## PROGRAM VALSIM

```

C
C SIMULATES A ROLLING MILL WITH THREE DIFFERENT KINDS OF CONTROL.
C 1. OPEN LOOP CONTROL WITHOUT MEASURING THE INITIAL STATE.
C 2. OPEN LOOP CONTROL BY MEASURING THE INITIAL STATE.
C 3. CLOSED LOOP CONTROL.
C REFERENCE, LOPRESTI AND PATTON, ON OPTIMAL CLOSED LOOP CONTROL OF A
C ROLLING MILL, JACC 68, P.767.
C AUTHOR, CLAES KALLSTROM 15/09-69.
C
C HMIN= DESIRED PLATE THICKNESS, INCHES.
C HMAX= MAXIMUM PLATE THICKNESS, INCHES.
C TEMIN= MINIMUM PLATE TEMPERATURE, DEG.F.
C TEMAX= MAXIMUM PLATE TEMPERATURE, DEG.F.
C IM= NUMBER OF POINTS IN TEMPERATURE RANGE (MAX 45).
C IP= NUMBER OF POINTS IN THICKNESS RANGE (MAX 77).
C P= CONSTANTS ACCORDING TO THE REFERENCE. VECTOR OF DIMENSION 21.
C S= ROLL SETTING, INCHES. MATRIX OF ORDER IP*IM.
C IRAD= ROW TO WHICH THE CONTROL LEADS. MATRIX OF ORDER IP*IM.
C KOL= COLUMN TO WHICH THE CONTROL LEADS. MATRIX OF ORDER IP*IM.
C B= STANDARD DEVIATION OF THE NOISE. VECTOR OF DIMENSION 5.
C HNOM= NOMINAL INITIAL THICKNESS, INCHES.
C TENOM= NOMINAL INITIAL TEMPERATURE, DEG.F.
C KK= ARBITRARY, POSITIVE, ODD NUMBER USED IN THE SUBROUTINE RANSS.
C JJ= NUMBER OF SLABS.
C EPS= PRECISION IN THE ITERATION.
C TOL= TOLERANCE.
C NN=1 MEANS THAT ALL THE THREE DIFFERENT SIMULATIONS WILL BE MADE.
C NN=2 MEANS THAT THE TWO LAST SIMULATIONS WILL BE MADE.
C NN=3 MEANS THAT ONLY THE LAST SIMULATION (USING CLOSED LOOP
C CONTROL) WILL BE MADE.
C
C SUBROUTINE REQUIRED
C       RANSS
C       DIST
C       STATE
C
C DIMENSION IRAD(77,45), KOL(77,45), JF(12), JTAU(12), JH(25),
*JT(29), NEWR(4), JH1(25), JT1(29), JH2(25), JT2(29), P(214,
*B(5), S(77,45), VA(6), VB(6), AS(6)
C
C READ 100, HMIN, HMAX, TEMIN, TEMAX, IM, IP, P, B, HNOM, TENOM,
*KK, NN, JJ, EPS, TOL
100  FORMAT(2F7.3,2F8.2/2I4/11E7.1/10E7.1/5E9.2/2F9.3/11I4/11I2/11I6/
*1E9.2/ 1E11.4)
C READ (10) ((S(I,J), J=1,IM), I=1,IP)
C READ (10) ((IRAD(I,J), J=1,IM), I=1,IP)
C READ (10) ((KOL(I,J), J=1,IM), I=1,IP)
C
C MM=KK
C RM=IM
C RP=IP
C
C CONSTANTS ARE COMPUTED.
C DH= THE STEP IN THICKNESS RANGE.
C DH=(HMAX-HMIN)/(RP-1.)
C DTE= THE STEP IN TEMPERATURE RANGE.

```

15.58

19/12-69

```

DTE=(TEMAX-TEMIN)/(RM-1.)
PI=3.1415926536
A1=SQRT(P(17))
A2=P(13)*A1
A3=P(7)*A2
A4=P(9)*P(17)
A5=P(10)*A2
A6=P(11)*A2
A7=(30.*P(12))/(PI*P(13)*P(14)*P(17))
A8=P(1)*P(14)*A7
A9=P(2)*A1
A10=DTE*0.5
A11=TEMIN-A10
A12=TEMAX+A10
A13=DH*0.5
A14=HMAX+A13
A15=HMIN+TOL
A16=HMIN-TOL
A17=P(3)*A1
A18=P(4)*P(12)
A19=P(5)*P(12)
A20=P(20)*DTE
C2=1./P(15)

```

C THE NOMINAL DISCRETE INITIAL STATE IS COMPUTED.

C IF((IM/2)\*2 .EQ. IM) GO TO 1

NTC=(IM+1)/2

TC=(TEMIN+TEMAX)/2.

GO TO 2

1 NTC=IM/2

TC=(TEMIN+TEMAX)/2. - A10

2 IF((IP/2)\*2 .EQ. IP) GO TO 3

NHC=(IP+1)/2

HC=(HMIN+HMAX)/2.

GO TO 4

3 NHC=IP/2

HC=(HMIN+HMAX)/2. - A13

4 CALL STATE (HNOM, A13, HC, NHC, NBH)

CALL STATE (TENOM, A10, TC, NTC, NRT)

C INITIAL CONDITIONS ARE INTRODUCED.

5 IH=0

IBT1=0

IBT2=0

IB=0

IT1=0

IT2=0

IS=0

NF=0

NTAU=0

NFT=0

I=0

J=0

K=0

L=0

ISN=0

```

ISH=0
ISA=0
N1=0
N2=0
MOUT=0
KHI=0
LHI=0
MA=0
V=0.
V1=0.
V2=0.
SUMHI=0.
SUKHI=0.
SUMTEI=0.
SUKTEI=0.
DO 6 LA=1,12
JF(LA)=0
6 JTAU(LA)=0
DO 7 LA=1,25
JH(LA)=0
7 JH1(LA)=0
DO 8 LA=1,29
JT(LA)=0
8 JT1(LA)=0
DO 9 LA=1,4
9 NEWR(LA)=0
C
10 M=0
LL=0
VV=0.
C
C NOISE OF THE NOMINAL INITIAL STATE IS INTRODUCED.
CALL RANSS(KK, RR)
HI=HNOM+RR*B(1)
CALL RANSS(KK, RR)
TEI=TENOM+ RR*B(2)
C
C HERE EXAMINES IF THE INITIAL STATE IS SITUATED OUTSIDE THE
C ALLOWED REGION.
IF(HI .GT. 0.) GO TO 11
KHI=KHI+1
GO TO 43
11 IF(HI .GT. A14) GO TO 15
IF(TEI .LE. A12) GO TO 12
IBT1=IBT1+1
GO TO 18
12 IF(TEI .GE. A11) GO TO 13
IBT2=IBT2+1
GO TO 18
13 IF(NN .EQ. 1) GO TO 20
IF(HI .LE. A15) GO TO 42
C THE DISCRETE STATE IS COMPUTED IN THE SUBROUTINE STATE.
14 CALL STATE(HI, A13, HC, NHC, NH)
CALL STATE(TEI, A10, TC, NTC, NT)
GO TO 21
15 IH=IH+1

```

19/12-69

,58

```

IF (TEI .GT. A12) GO TO 16
IF (TEI .GE. A11) GO TO 19
IBT2=IBT2+1
GO TO 17
16  IBT1=IBT1+1
17  IB=IB+1
18  M=1
19  IF (NN .NE. 1) GO TO 43
20  NH=NBH
    NT=NBT
C
C   IF THE ROLL SETTING =-1, WE JUMP OUT.
21  IF (S(NH,NT) .NE. -1.) GO TO 22
    IS=IS+1
    GO TO 43
22  AA=1.
C   IF THE ROLL SETTING =0, ANOTHER WAY IS CHOSEN.
    IF (S(NH,NT) .NE. 0.) GO TO 23
    ISA=ISA+1
    GO TO 30
C   NOISE OF THE ROLL SETTING IS INTRODUCED.
23  CALL RANSS(KK, RR)
    SN=S(NH,NT)+RR*B(5)
    IF (SN .GE. 0.) GO TO 24
    SN=0.
    ISN=ISN+1
C   IF THE ROLL SETTING IS GREATER THAN THE THICKNESS, ANOTHER WAY
C   IS CHOSEN.
24  IF (HI .GT. SN) GO TO 25
    ISH=ISH+1
    GO TO 30
C
C   THE PASS REDUCTION IS COMPUTED ITERATIVELY, USING NEWTON-RAPHSONSS
C   METHOD.
25  C1=A3*10.**(-P(8)*TEI+A4/HI)/HI
    C3=A5-A6*TEI
    C4=-C2*(HI-SN)
    DHI=1.E-5
26  SDHI=SQRT(DHI)
    FUNK=C1*SDHI**3+C2*DHI+C3*SDHI+C4
    CORR=FUNK*SDHI/(1.5*C1*DHI+C2*SDHI+0.5*C3)
    DHI=DHI-CORR
C   IF THE ITERATION DOESN'T CONVERGE, WE JUMP OUT.
    IF (DHI.LT. 5.) GO TO 27
    NEWR(1)=NEWR(1)+1
    GO TO 43
27  IF (DHI .GT. 0.) GO TO 28
    NEWR(2)=NEWR(2)+1
    GO TO 43
C   IF THE DESTRED PRECISION IS NOT ATTAINED, WE START FROM THE
C   BEGINNING AGAIN.
28  IF (ABS(CORR) .GE. EPS) GO TO 26
C
C   IF (ABS(FUNK) .LE. 1.E-3) GO TO 29
    NEWR(3)=NEWR(3)+1
    GO TO 43

```

.5B

19/12-69

```

29  HI1=HI-DHI
    F=(HI1-SN)*C2
C   IF WE GET A CURIOUS WORTH OF THE FORCE, WE JUMP OUT.
    IF (F .GT. 0.) GO TO 31
    NEWR(4)=NEWR(4)+1
    GO TO 43
C   THIS WAY IS USED WHEN THE SLAB ONLY COOLS DOWN.
30  F=0.
    DHI=0.
    HI1=HI
    AA=0.
C
C   31  CALL DIST(F, 375., 75., 12, NO)
    JF(NO)=JF(NO)+1
    TAU=(A9+A17*HI1)*SQRT(DHI)*F
    CALL DIST(TAU, 3.75, 0.75, 12, NO)
    JTAU(NO)=JTAU(NO)+1
C
C   IF THE FORCE OR THE TORQUE IS TOO GREAT, WE JUMP OUT.
C   IF (F .GT. P(18)) GO TO 32
    IF (TAU .LE. P(19)) GO TO 33
    NTAU=NTAU+1
    GO TO 43
32  NF=NF+1
    IF (TAU .LE. P(19)) GO TO 43
    NTAU=NTAU+1
    NFT=NFT+1
    GO TO 43
C
C   33  I=I+1
    LL=LL+1
C
C   THE COST AND THE PLATE TEMPERATURE ARE COMPUTED.
C   IF (S(NH,NT) .EQ. 0.) GO TO 34
    ALAM=P(16)+A7/HI1
    E=A8*TAU/HI1
    V3=P(20)*ALAM+P(21)*E
    TEI=TEI-(A18-A19*TEI*HI1/1000.)*(TEI/1000.)**4*ALAM/HI1+P(6)*E
    GO TO 35
34  V3=A20*HI1/((TEI/1000.)**4*(A18-A19*TEI*HI1/1000.))
    TEI=TEI-DTE
35  HI=HI1
    V=V+V3
    VV=VV+V3
C
C   NOISE OF THE THE STATE IS INTRODUCED.
    CALL RANSS(KK, RR)
    HI=HI+RR*B(3)*AA
    CALL RANSS(KK, RR)
    TEI=TEI+RR*B(4)
    IF (HI .GT. 0.) GO TO 36
    KHI=KHI+1
    GO TO 43
C
C   ONE WAY FOR OPEN LOOP CONTROL, ONE FOR CLOSED LOOP CONTROL.
36  IF (NN .EQ. 3) GO TO 39

```

5.5B

19/12-69

```

C      IF OUR SCHEMA FOR OPEN LOOP CONTROL IS ENDED, WE JUMP OUT.
      IF (IRAD(NH,NT) .EQ. 1) GO TO 42
      IF (TEI .GT. A12) GO TO 37
      IF (TEI .GE. A11) GO TO 38
37     M=1
38     NH1=IRAD(NH,NT)
      NT1=KOL(NH,NT)
      NH=NH1
      NT=NT1
C      HERE WE JUMP BACK IN A NEW STATE.
      GO TO 22
C
C      IF WE HAVE RECEIVED THE DESIRED THICKNESS IN OUR CLOSED LOOP
C      CONTROL, WE JUMP OUT.
39     IF (HI .LE. A15) GO TO 42
C      IF THE NEW STATE IS SITUATED OUTSIDE OUR ALLOWED REGION, WE JUMP
C      OUT, IN OTHER CASE, WE JUMP BACK.
      IF (TEI .GT. A12) GO TO 40
      IF (TEI .LT. A11) GO TO 41
      IF (HI .LE. A14) GO TO 14
      LHI=LHI+1
      GO TO 43
40     IT1=IT1+1
      GO TO 43
41     IT2=IT2+1
      GO TO 43
C
C      THE SLAB IS NOW FINISHED, AND WE DO SOME COMPUTATIONS.
42     J=J+1
      V1=V1+VV
      N1=N1+LL
      CALL DIST(HI, 0.4125, 0.025, 25, NO)
      JH(NO)=JH(NO)+1
      CALL DIST(TEI, 1075., 50., 29, NO)
      JT(NO)=JT(NO)+1
      SUMHI=SUMHI+HI
      SUKHI=SUKHI+HI**2
      SUMTEI=SUMTEI+TEI
      SUKTEI=SUKTEI+TEI**2
C
C      WE EXAMINES IF THE FINISHED SLAB IS SITUATED IN OUR ALLOWED
C      REGION.
      IF (HI .GT. A15) GO TO 44
      IF (HI .LT. A16) GO TO 44
      IF (TEI .LT. A11) GO TO 44
      IF (TEI .GT. A12) GO TO 44
      K=K+1
      V2=V2+VV
      N2=N2+LL
      MOUT=MOUT+M
      GO TO 44
C
C      IF SOMETHING HAPPENS BEFORE WE RECEIVE OUR DESIRED THICKNESS,
C      WE JUMP HERE.
43     MA=MA+1
      CALL DIST(HI, 0.4125, 0.025, 25, NO)

```

5.5B

19/12-69

```

      JH1(NO)=JH1(NO)+1
      CALL DIST (TE1, 1075., 50., 29, NO)
      JT1(NO)=JT1(NO)+1
C
44    L=L+1
C     IF WE HAVE NOT MADE ENOUGH SLABS, WE START FROM THE BEGINNING
C     WITH A NEW SLAB.
C     IF(L .NE. JJ) GO TO 10
C
C     SOME COMPUTATIONS OF AVERAGES ARE DONE BEFORE OUTPUT.
      V4=V-V1
      N3=I-N1
      BI=I
      BN1=N1
      BN2=N2
      BN3=N3
      BJJ=JJ
      BJ=J
      BK=K
      BMA=MA
      IF(I .EQ. 0) GO TO 200
      VA(1)=V/BI
      GO TO 201
200   VA(1)=-1.
201   IF(N1 .EQ. 0) GO TO 202
      VA(2)=V1/BN1
      VA(5)=V/BN1
      GO TO 203
202   VA(2)=-1.
      VA(5)=-1.
203   IF(N2 .EQ. 0) GO TO 204
      VA(3)=V2/BN2
      VA(6)=V/BN2
      GO TO 205
204   VA(3)=-1.
      VA(6)=-1.
205   IF(N3 .EQ. 0) GO TO 206
      VA(4)=V4/BN3
      GO TO 207
206   VA(4)=-1.
207   VB(1)=V/BJJ
      AS(1)=BI/BJJ
      IF(J .EQ. 0) GO TO 208
      VB(2)=V1/BJ
      VB(5)=V/BJ
      AS(2)=BN1/BJ
      AS(5)=BI/BJ
      GO TO 209
208   VB(2)=-1.
      VB(5)=-1.
      AS(2)=-1.
      AS(5)=-1.
209   IF(K .EQ. 0) GO TO 210
      VB(3)=V2/BK
      VB(6)=V/BK
      AS(3)=BN2/BK

```

,5B

19/12-69

```

AS(6)=BI/BK
GO TO 211
210  VR(3)=-1.
      VR(6)=-1.
      AS(3)=-1.
      AS(6)=-1.
211  IF(MA .EQ. 0) GO TO 212
      VR(4)=V4/BMA
      AS(4)=BN3/BMA
      GO TO 213
212  VR(4)=-1.
      AS(4)=-1.
213  DO 45 LA=1,25
45    JH2(LA)=JH(LA)+JH1(LA)
      DO 46 LA=1,29
46    JT2(LA)=JT(LA)+JT1(LA)
      IF(J .EQ. 0) GO TO 215
      AVH=SUMHI/BJ
      AVTE=SUMTEI/BJ
      IF(J .EQ. 1) GO TO 214
      STH=SQRT((SUKHI-SUMHI**2/BJ)/(BJ-1.))
      STTE=SQRT((SUKTEI-SUMTEI**2/BJ)/(BJ-1.))
      GO TO 216
214  STH=-1.
      STTE=-1.
      GO TO 216
215  AVH=-1.
      AVTE=-1.
      STH=-1.
      STTE=-1.
C
216  IF(NN .GE. 2) GO TO 47
      PRINT 101
101  FORMAT(32X, 53HOPEN LOOP CONTROL WITHOUT MEASURING THE INITIAL STA
+TE/32X, 53(1H*))
      GO TO 49
47  IF(NN .EQ. 3) GO TO 48
      PRINT 102
102  FORMAT(1H1, 34X, 48HOPEN LOOP CONTROL BY MEASURING THE INITIAL STA
+TE/35X, 48(1H*))
      GO TO 49
48  PRINT 103
103  FORMAT(1H1, 56X, 19HCLOSED LOOP CONTROL/ 51X, 19(1H*))
C
49  PRINT 104, NN
104  FORMAT(/58X, 3HNN=, I1/)
      PRINT 105, HMIN, HMAX, TEMIN, TEMAX, IM, IP
105  FORMAT(5X, 19HDESIRED THICKNESS =, F4.1, 1X, 3HIN./5X, 19HMAXIMUM THICK
*NESS =, F4.1, 1X, 3HIN./5X, 21HMINIMUM TEMPERATURE =, F7.1, 1X, 6HDEG.F./
*5X, 21HMAXIMUM TEMPERATURE =, F7.1, 1X, 6HDEG.F./5X, 40HNUMBER OF POINT
*S IN TEMPERATURE RANGE = , 16/5X, 38HNUMBER OF POINTS IN THICKNESS R
*ANGE = , I6)
      PRINT 106, HNOM, TENOM, EPS, JJ, MM, TOL
106  FORMAT(5X, 27HNOMINAL INITIAL THICKNESS =, F6.3, 4H IN./5X,
+29HNOMINAL INITIAL TEMPERATURE =, F9.3, 7H DEG.F./5X, 26HEPSILON IN
+ THE ITERATION =, F9.2/5X, 17HNUMBER OF SLABS =, I6/5X, 38HARBITRA

```



19/12-69

5.58

```

+RY, POSITIVE, ODD NUMBER (KK) =, I4/5X, 17HTHE TOLERANCE =+--,
+F9.6, 4H IN.)
  PRINT 107, P
107  FORMAT(/21H CONSTANTS P(1)-P(21)/11E9.1/10E9.1)
      PRINT 108, B
108  FORMAT(/43H STANDARD DEVIATIONS OF THE NOISE B(1)-B(5)/5E10.2)
C
  PRINT 109, DH, DTE
109  FORMAT(/30H THE STEP IN THICKNESS RANGE =,F7.4, 4H IN./
+32H THE STEP IN TEMPERATURE RANGE =, F7.2, 7H DEG.F.)
C
  PRINT 110, JJ, J, K, MA
110  FORMAT(/29H TOTAL NUMBER OF SLABS (JJ) =,I6/31H NUMBER OF FINISH
+ED SLABS (J) =,I6/83H NUMBER OF GOOD FINISHED SLABS, I.E. SLABS WI
+THIN THE BOUNDARIES OF TOLERANCE (K) =, I6/36H NUMBER OF NOT FINIS
+HED SLABS (MA) =, I6)
C
  PRINT 111, NF, NTAU, NFT
111  FORMAT(/39H NUMBER OF TIMES FORCE .GT. FMAX (NF) =,I6/
+42H NUMBER OF TIMES TORQUE .GT. TMAX (NTAU) =,I6/
+41H NUMBER OF TIMES BOTH NF AND NTAU (NFT) =, I6)
C
  PRINT 112, IH, IBT1, IBT2, IB, IT1, IT2
112  FORMAT(/57H NUMBER OF TIMES THE INITIAL THICKNESS IS TOO GREAT (IH
+) =,I6/61H NUMBER OF TIMES THE INITIAL TEMPERATURE IS TOO GREAT (IB
+T1) =,I6/59H NUMBER OF TIMES THE INITIAL TEMPERATURE IS TOO LOW (IB
+T2) =,I6/48H NUMBER OF TIMES BOTH IH AND IBT1 OR IBT2 (IB) =,I6/
+75H NUMBER OF TIMES IN CLOSED LOOP CONTROL THE TEMPERATURE IS TOO
+GREAT (IT1) =,I6/74H NUMBER OF TIMES IN CLOSED LOOP CONTROL THE TEM
+PERATURE IS TOO LOW (IT2) =, I6)
C
  PRINT 113, IS, MOUT
113  FORMAT(/95H NUMBER OF TIMES THE ROLL SETTING .EQ. -1, I.E. THERE I
+S NO WAY TO THE DESIRED THICKNESS (IS) =,I6//115H NUMBER OF GOOD F
+INISHED SLABS WHICH HAVE BEEN OUTSIDE THE ALLOWED TEMPERATURE REGI
+ON IN OPEN LOOP CONTROL (MOUT) =,I6)
C
  PRINT 114, V, V1, V2, V4
114  FORMAT(/17H TOTAL COST (V) =,F12.4,2H $/30H COST OF FINISHED SLAB
+S (V1) =,F12.4,2H $/35H COST OF GOOD FINISHED SLABS (V2) =,F12.4,
+2H $/34H COST OF NOT FINISHED SLABS (V4) =,F12.4,2H $)
C
  PRINT 115, I, N1, N2, N3
115  FORMAT (/28H TOTAL NUMBER OF PASSES (I) =, I6/41H NUMBER OF PASSES
+OF FINISHED SLABS (N1) =,I6/ 47H NUMBER OF PASSES OF GOOD FINISHED
+ SLABS (N2) =,I6/46H NUMBER OF PASSES OF NOT FINISHED SLABS (N3) =
+,I6)
C
  PRINT 116, VA
116  FORMAT(/29H AVERAGE COST / PASS (VA), $/1X,28(1H#)/17H ALL SLAB
+S (V/I) =,F12.4/24H FINISHED SLABS (V1/N1) =,F12.4/29H GOOD FINISHED
+ SLABS (V2/N2) =,F12.4/28H NOT FINISHED SLABS (V4/N3) =,F12.4/
+45H TOTAL COST / PASS OF FINISHED SLABS (V/N1) =,F12.4/50H TOTAL C
+OST / PASS OF GOOD FINISHED SLABS (V/N2) =,F12.4)
C
  PRINT 117, VB

```

.5B

19/12-69

117 FORMAT(/29H AVERAGE COST / SLAB (VB), \$/1X,28(1H\*)/18H ALL SLABS  
 +(V/JJ)=,F12.4/23H FINISHED SLABS (V1/J)=,F12.4/28H GOOD FINISHED S  
 +LABS (V2/K)=,F12.4/28H NOT FINISHED SLABS (V4/MA)=,F12.4/  
 +35H TOTAL COST / FINISHED SLAB (V/J) =,F12.4/  
 +40H TOTAL COST / GOOD FINISHED SLAB (V/K) =,F12.4)

C

PRINT 118, AS

118 FORMAT(/28H AVERAGE STAGES / SLAB (AS)/1X,27(1H\*)/18H ALL SLABS (  
 +I/JJ)=,F12.4/23H FINISHED SLABS (N1/J)=,F12.4/28H GOOD FINISHED SL  
 +ABS (N2/K)=,F12.4/28H NOT FINISHED SLABS (N3/MA)=,F12.4/  
 +47H TOTAL NUMBER OF PASSES / FINISHED SLAB (I/J) =,F12.4/  
 +52H TOTAL NUMBER OF PASSES / GOOD FINISHED SLAB (I/K) =,F12.4)

C

PRINT 119

119 FORMAT( ///37H DISTRIBUTION OF FINAL SLAB THICKNESS/1X,36(1H\*))  
 PRINT 120

120 FORMAT(/29X,3HNOT/16X,28HFINISHED FINISHED TOTALLY/18X,  
 +5HSLABS,5X, 5HSLABS/1X,46(1H\*))

PRINT 121

121 FORMAT (5X, 6HINCHES)

C

LA=25

50 BLA=LA

T=0.3875+BLA\*0.025

PRINT 122, T, JH(LA), JH1(LA), JH2(LA)

122 FORMAT (F12.5, 3I10)

LA=LA-1

IF(LA .GE. 1) GO TO 50

PRINT 123, J, MA, JJ

123 FORMAT(1X, 46(1H\*)/12X, 3I10)

C

PRINT 124, AVH, STH

124 FORMAT (//50H AVERAGE FINAL THICKNESS OF FINISHED SLABS (AVH) =,  
 +F12.4,4H IN./64H STANDARD DEVIATION OF FINAL THICKNESS OF FINISHED  
 + SLABS (STH) =,F12.4)

C

PRINT 125

125 FORMAT(///39H DISTRIBUTION OF FINAL SLAB TEMPERATURE/1X,38(1H\*))  
 PRINT 120

PRINT 126

126 FORMAT(4X, 6HDEG.F.)

C

LA=29

51 BLA=LA

T=1000.+8LA\*50.

PRINT 122, T, JT(LA), JT1(LA), JT2(LA)

LA=LA-1

IF(LA .GE. 1) GO TO 51

PRINT 123, J, MA, JJ

C

PRINT 127, AVTE, STTE

127 FORMAT (//52H AVERAGE FINAL TEMPERATURE OF FINISHED SLABS (AVTE)=,  
 +F12.4,7H DEG.F./67H STANDARD DEVIATION OF FINAL TEMPERATURE OF FIN  
 +ISHED SLABS (STTE) =, F12.4)

C

PRINT 128

19/12-69

```

5.5B
128  FORMAT(1H1,29H DISTRIBUTION OF FORCE LEVELS/1X,28(1H*)//4X,4HTONS)
C
    LA=12
52   BLA=LA
      T=262.5+BLA*75.
      PRINT 129, T, JF(LA)
129  FORMAT (F12.5, I10)
      LA=LA-1
      IF(LA .GE. 1) GO TO 52
      LB=I+NF+NTAU-NFT
      PRINT 130, LB
130  FORMAT(1X,24(1H*)/12X,I10)
C
      PRINT 131
131  FORMAT(///30H DISTRIBUTION OF TORQUE LEVELS/1X,29(1H*)//
+2X, 8HFT.-TONS)
C
    LA=12
53   BLA=LA
      T=2.625+BLA*0.75
      PRINT 129, T, JTAU(LA)
      LA=LA-1
      IF(LA .GE. 1) GO TO 53
      PRINT 130, LB
C
      PRINT 132
132  FORMAT(///17H INTERNAL INDICES/1X, 16(1H*))
      PRINT 133, NTC, TC, NHC, HC
133  FORMAT(//5H NTC=,I10/4H TC=,F12.4/5H NHC=,I10/4H HC=,F12.4)
C
      PRINT 134, NEWR
134  FORMAT(/16H NEWR(1)-NEWR(4)/4I10)
C
      PRINT 135, ISN, ISA, ISH, KHI, LHI
135  FORMAT(/5H ISN=,I10/5H ISA=,I10/5H ISH=,I10/5H KHI=,I10/5H LHI=,
+I10)
C
      IF(NN .EQ. 3) GO TO 54
      NN=NN+1
      GO TO 5
54   CALL EXIT
      END

```

FN5.5B

19/12-69

```
      SUBROUTINE STATE(STA, HSTEP, CENT, NRC, NR)
C
C      SUBROUTINE FOR PROGRAM VALSIM.
C      AUTHOR, CLAES KALLSTROM 5/08-69.
C
C      SUBROUTINE REQUIRED
C          NONE
C
      N=0
      AN=N
      IF (STA .GT. CENT + HSTEP) GO TO 2
1     IF (STA .GE. CENT + (2.*AN-1.)*HSTEP ) GO TO 3
      N=N-1
      AN=N
      GO TO 1
2     N=N+1
      AN=N
      IF (STA .LE. CENT+(2.*AN+1.)*HSTEP) GO TO 3
      GO TO 2
3     NR=NRC+N
      RETURN
      END
```

15.5B

19/12-69

```
SUBROUTINE DIST (AR, REG, STEP, ISTOP, NO)
C
C SUBROUTINE FOR PROGRAM VALSIM.
C AUTHOR, CLAES KALLSTROM 14/08-69.
C
C SUBROUTINE REQUIRED
C     NONE
C
N=1
1 AN=N
  IF (AR .LE. REG-STEP+AN*STEP) GO TO 2
  N=N+1
  IF (N .NE. ISTOP) GO TO 1
2 NO=N
  RETURN
  END
```

## APPENDIX I

Resultatutskrift från simuleringsprogrammet

OPEN LOOP CONTROL WITHOUT MEASURING THE INITIAL STATE  
\*\*\*\*\*

NN=1

DESIRED THICKNESS = 0.5 IN.  
 MAXIMUM THICKNESS = 2.4 IN.  
 MINIMUM TEMPERATURE = 1200.0 DEG.F.  
 MAXIMUM TEMPERATURE = 2300.0 DEG.F.  
 NUMBER OF POINTS IN TEMPERATURE RANGE = 45  
 NUMBER OF POINTS IN THICKNESS RANGE = 77  
 NOMINAL INITIAL THICKNESS = 2.110 IN.  
 NOMINAL INITIAL TEMPERATURE = 1760.000 DEG.F.  
 EPSILON IN THE ITERATION = 1.00-008  
 NUMBER OF SLABS = 1000  
 ARBITRARY POSITIVE ODD NUMBER (KK) = 21  
 THE TOLERANCE =+- 0.040000 IN.

CONSTANTS P(1)-P(21)  
 9.5-005 1.2-003 1.1-003 2.8-005 1.9-007 3.4+000 4.0+001 1.0-003 5.0-002 6.0+000 1.0-003  
 3.0+004 5.0+001 5.0+002 5.0-005 4.0+000 2.0+001 9.0+002 9.0+000 5.0-002 1.0-002

STANDARD DEVIATIONS OF THE NOISE B(1)-B(5)  
 6.00-002 6.50+001 1.50-002 2.00+001 1.50-002

THE STEP IN THICKNESS RANGE = 0.0250 IN.  
 THE STEP IN TEMPERATURE RANGE = 25.00 DEG.F.

TOTAL NUMBER OF SLABS (JJ) = 1000  
 NUMBER OF FINISHED SLABS (J) = 860  
 NUMBER OF GOOD FINISHED SLABS, I.E. SLABS WITHIN THE BOUNDARIES OF TOLERANCE (K) = 841  
 NUMBER OF NOT FINISHED SLABS (M4) = 140

NUMBER OF TIMES FORCE .GT. FMAX (NF) = 140  
 NUMBER OF TIMES TORQUE .GT. TMAX (NTAU) = 0  
 NUMBER OF TIMES BOTH NF AND NTAU (NFT) = 0

NUMBER OF TIMES THE INITIAL THICKNESS IS TOO GREAT (IH) = 0  
 NUMBER OF TIMES THE INITIAL TEMPERATURE IS TOO GREAT (IBT1) = 0  
 NUMBER OF TIMES THE INITIAL TEMPERATURE IS TOO LOW (IBT2) = 0  
 NUMBER OF TIMES BOTH IH AND IRT1 OR IRT2 (IR) = 0  
 NUMBER OF TIMES IN CLOSED LOOP CONTROL THE TEMPERATURE IS TOO GREAT (IT1) = 0  
 NUMBER OF TIMES IN CLOSED LOOP CONTROL THE TEMPERATURE IS TOO LOW (IT2) = 0

NUMBER OF TIMES THE ROLL SETTING .EQ. -1. I.E. THERE IS NO WAY TO THE DESIRED THICKNESS (IS) = 0

NUMBER OF GOOD FINISHED SLABS WHICH HAVE BEEN OUTSIDE THE ALLOWED TEMPERATURE REGION IN OPEN LOOP CONTROL (MOUT) = 0

TOTAL COST (V) = 1381.1976 \$  
 COST OF FINISHED SLABS (V1) = 1225.4038 \$  
 COST OF GOOD FINISHED SLABS (V2) = 1198.3556 \$  
 COST OF NOT FINISHED SLABS (V4) = 155.7938 \$

TOTAL NUMBER OF PASSES (I) = 5830  
 NUMBER OF PASSES OF FINISHED SLABS (N1) = 5160  
 NUMBER OF PASSES OF GOOD FINISHED SLABS (N2) = 5046  
 NUMBER OF PASSES OF NOT FINISHED SLABS (N3) = 670



AVERAGE COST / PASS (VA), \$

\*\*\*\*\*

ALL SLABS (V/I)= 0.2369  
 FINISHED SLABS (V1/N1)= 0.2375  
 GOOD FINISHED SLABS (V2/N2)= 0.2375  
 NOT FINISHED SLABS (V4/N3)= 0.2325  
 TOTAL COST / PASS OF FINISHED SLABS (V/N1) = 0.2677  
 TOTAL COST / PASS OF GOOD FINISHED SLABS (V/N2) = 0.2737

AVERAGE COST / SLAB (VB), \$

\*\*\*\*\*

ALL SLABS (V/JJ)= 1.3812  
 FINISHED SLABS (V1/J)= 1.4249  
 GOOD FINISHED SLABS (V2/K)= 1.4249  
 NOT FINISHED SLABS (V4/MA)= 1.1128  
 TOTAL COST / FINISHED SLAB (V/J) = 1.6060  
 TOTAL COST / GOOD FINISHED SLAB (V/K) = 1.6423

AVERAGE STAGES / SLAB (AS)

\*\*\*\*\*

ALL SLABS (I/JJ)= 5.8300  
 FINISHED SLABS (N1/J)= 6.0000  
 GOOD FINISHED SLABS (N2/K)= 6.0000  
 NOT FINISHED SLABS (N3/MA)= 4.7857  
 TOTAL NUMBER OF PASSES / FINISHED SLAB (I/J) = 6.7791  
 TOTAL NUMBER OF PASSES / GOOD FINISHED SLAB (I/K) = 6.9322

DISTRIBUTION OF FINAL SLAB THICKNESS

\*\*\*\*\*

		NOT	
	FINISHED	FINISHED	TOTALLY
	SLABS	SLABS	

\*\*\*\*\*

INCHES

1.01250	0	1	1
0.98750	0	1	1
0.96250	0	4	4
0.93750	0	0	0
0.91250	0	0	0
0.88750	0	0	0
0.86250	0	0	0
0.83750	0	0	0
0.81250	0	0	0
0.78750	0	0	0
0.76250	0	3	3
0.73750	0	11	11
0.71250	0	2	2
0.68750	0	1	1
0.66250	0	0	0
0.63750	0	10	10
0.61250	0	62	62
0.58750	0	41	41
0.56250	16	4	20
0.53750	197	0	197
0.51250	444	0	444
0.48750	192	0	192
0.46250	11	0	11
0.43750	0	0	0
0.41250	0	0	0

\*\*\*\*\*

860	140	1000
-----	-----	------

AVERAGE FINAL THICKNESS OF FINISHED SLABS (AVH) = 0.5006 IN.  
 STANDARD DEVIATION OF FINAL THICKNESS OF FINISHED SLABS (STH) = 0.0178

DISTRIBUTION OF FINAL SLAB TEMPERATURE

\*\*\*\*\*

DEG.F.	FINISHED SLABS	NOT FINISHED SLABS	TOTALLY
2450.00000	0	0	0
2400.00000	0	0	0
2350.00000	0	0	0
2300.00000	0	0	0
2250.00000	0	0	0
2200.00000	0	0	0
2150.00000	0	0	0
2100.00000	0	0	0
2050.00000	0	0	0
2000.00000	0	0	0
1950.00000	0	0	0
1900.00000	0	0	0
1850.00000	0	0	0
1800.00000	0	0	0
1750.00000	0	0	0
1700.00000	2	0	2
1650.00000	25	5	30
1600.00000	119	28	147
1550.00000	334	51	385
1500.00000	271	40	311
1450.00000	89	15	104
1400.00000	20	1	21
1350.00000	0	0	0
1300.00000	0	0	0
1250.00000	0	0	0
1200.00000	0	0	0
1150.00000	0	0	0
1100.00000	0	0	0
1050.00000	0	0	0
*****			
	860	140	1000

AVERAGE FINAL TEMPERATURE OF FINISHED SLABS (AVTE)= 1531.3932 DEG.F.  
 STANDARD DEVIATION OF FINAL TEMPERATURE OF FINISHED SLABS (STTE) = 49.0237

## DISTRIBUTION OF FORCE LEVELS

\*\*\*\*\*

TONS	
1162.50000	2
1087.50000	11
1012.50000	42
937.50000	85
862.50000	305
787.50000	1295
712.50000	2565
637.50000	1191
562.50000	366
487.50000	73
412.50000	23
337.50000	12

\*\*\*\*\*

5970

## DISTRIBUTION OF TORQUE LEVELS

\*\*\*\*\*

FT.-TONS

11.62500	0
10.87500	0
10.12500	0
9.37500	0
8.62500	4
7.87500	20
7.12500	140
6.37500	355
5.62500	984
4.87500	777
4.12500	696
3.37500	2994

\*\*\*\*\*

5970

## INTERNAL INDICES

\*\*\*\*\*

NTC= 23  
 TC= 1750.0000  
 NHC= 39  
 HC= 1.4500

NEWR(1)-NEWR(4)

0 0 0 0

ISN= 0  
 ISA= 0  
 ISH= 0  
 KHI= 0  
 LHI= 0

OPEN LOOP CONTROL BY MEASURING THE INITIAL STATE  
\*\*\*\*\*

NN=2

DESIRED THICKNESS = 0.5 IN.  
 MAXIMUM THICKNESS = 2.4 IN.  
 MINIMUM TEMPERATURE = 1200.0 DEG.F.  
 MAXIMUM TEMPERATURE = 2300.0 DEG.F.  
 NUMBER OF POINTS IN TEMPERATURE RANGE = 45  
 NUMBER OF POINTS IN THICKNESS RANGE = 77  
 NOMINAL INITIAL THICKNESS = 2.110 IN.  
 NOMINAL INITIAL TEMPERATURE = 1760.000 DEG.F.  
 EPSILON IN THE ITERATION = 1.00E-008  
 NUMBER OF SLABS = 1000  
 ARBITRARY POSITIVE ODD NUMBER (KK) = 21  
 THE TOLERANCE =+- 0.040000 IN.

7.0-003 1.0-003 1.0-007 3.4+000 4.0+001 1.0-003 5.0-002 6.0+000 1.0-003  
3.0+004 5.0+001 5.0+002 5.0-005 4.0+000 2.0+001 9.0+002 9.0+000 5.0-002 1.0-002

STANDARD DEVIATIONS OF THE NOISE R(1)-R(5)

6.00-002 6.50+001 1.50-002 2.00+001 1.50-002

THE STEP IN THICKNESS RANGE = 0.0250 IN.  
THE STEP IN TEMPERATURE RANGE = 25.00 DEG.F.

TOTAL NUMBER OF SLARS (JJ) = 1000  
NUMBER OF FINISHED SLARS (J) = 920  
NUMBER OF GOOD FINISHED SLARS I.E. SLARS WITHIN THE BOUNDARIES OF TOLERANCE (K) = 897  
NUMBER OF NOT FINISHED SLARS (MA) = 80

NUMBER OF TIMES FORCE .GT. FMAX (NF) = 80  
NUMBER OF TIMES TORQUE .GT. TMAX (NTAU) = 0  
NUMBER OF TIMES BOTH NF AND NTAU (NFT) = 0

NUMBER OF TIMES THE INITIAL THICKNESS IS TOO GREAT (IH) = 0  
NUMBER OF TIMES THE INITIAL TEMPERATURE IS TOO GREAT (IBT1) = 0  
NUMBER OF TIMES THE INITIAL TEMPERATURE IS TOO LOW (IBT2) = 0  
NUMBER OF TIMES BOTH IH AND IBT1 OR IBT2 (IR) = 0  
NUMBER OF TIMES IN CLOSED LOOP CONTROL THE TEMPERATURE IS TOO GREAT (IT1) = 0  
NUMBER OF TIMES IN CLOSED LOOP CONTROL THE TEMPERATURE IS TOO LOW (IT2) = 0

NUMBER OF TIMES THE ROLL SETTING .EQ. -1. I.E. THERE IS NO WAY TO THE DESIRED THICKNESS (IS) = 0

NUMBER OF GOOD FINISHED SLARS WHICH HAVE BEEN OUTSIDE THE ALLOWED TEMPERATURE REGION IN OPEN LOOP CONTROL (MOUT) = 0

TOTAL COST (V) = 1469.1432 \$  
COST OF FINISHED SLARS (V1) = 1377.4480 \$  
COST OF GOOD FINISHED SLARS (V2) = 1343.8070 \$  
COST OF NOT FINISHED SLARS (V4) = 91.6953 \$

TOTAL NUMBER OF PASSES (I) = 6211  
NUMBER OF PASSES OF FINISHED SLARS (N1) = 5815  
NUMBER OF PASSES OF GOOD FINISHED SLARS (N2) = 5673  
NUMBER OF PASSES OF NOT FINISHED SLARS (N3) = 396

AVERAGE COST / PASS (VA), \$  
 \*\*\*\*\*  
 ALL SLABS (V/I)= 0.2365  
 FINISHED SLABS (V1/N1)= 0.2369  
 GOOD FINISHED SLABS (V2/N2)= 0.2369  
 NOT FINISHED SLABS (V4/N3)= 0.2316  
 TOTAL COST / PASS OF FINISHED SLABS (V/N1) = 0.2526  
 TOTAL COST / PASS OF GOOD FINISHED SLABS (V/N2) = 0.2590

AVERAGE COST / SLAB (VB), \$  
 \*\*\*\*\*  
 ALL SLABS (V/J)= 1.4691  
 FINISHED SLABS (V1/J)= 1.4972  
 GOOD FINISHED SLABS (V2/K)= 1.4981  
 NOT FINISHED SLABS (V4/MA)= 1.1462  
 TOTAL COST / FINISHED SLAB (V/J) = 1.5969  
 TOTAL COST / GOOD FINISHED SLAB (V/K) = 1.6378

AVERAGE STAGES / SLAB (AS)  
 \*\*\*\*\*  
 ALL SLABS (I/JJ)= 6.2110  
 FINISHED SLABS (N1/J)= 6.3207  
 GOOD FINISHED SLABS (N2/K)= 6.3244  
 NOT FINISHED SLABS (N3/MA)= 4.9500  
 TOTAL NUMBER OF PASSES / FINISHED SLAB (I/J) = 6.7511  
 TOTAL NUMBER OF PASSES / GOOD FINISHED SLAB (I/K) = 6.9242

DISTRIBUTION OF FINAL SLAB THICKNESS  
 \*\*\*\*\*

	FINISHED SLABS	NOT FINISHED SLABS	TOTALLY
*****			
INCHES			
1.01250	0	0	0
0.98750	0	0	0
0.96250	0	0	0
0.93750	0	0	0
0.91250	0	0	0
0.88750	0	1	1
0.86250	0	0	0
0.83750	0	1	1
0.81250	0	0	0
0.78750	0	3	3
0.76250	0	4	4
0.73750	0	5	5
0.71250	0	0	0
0.68750	0	6	6
0.66250	0	4	4
0.63750	0	8	8
0.61250	0	22	22
0.58750	1	22	23
0.56250	18	4	22
0.53750	230	0	230
0.51250	460	0	460
0.48750	195	0	195
0.46250	16	0	16
0.43750	0	0	0
0.41250	0	0	0
*****			
	920	80	1000

AVERAGE FINAL THICKNESS OF FINISHED SLABS (AVH) = 0.5008 IN.  
 STANDARD DEVIATION OF FINAL THICKNESS OF FINISHED SLABS (STH) = 0.0182

DISTRIBUTION OF FINAL SLAB TEMPERATURE

\*\*\*\*\*

DEG.F.	FINISHED SLABS	NOT FINISHED SLABS	TOTALLY
2450.00000	0	0	0
2400.00000	0	0	0
2350.00000	0	0	0
2300.00000	0	0	0
2250.00000	0	0	0
2200.00000	0	0	0
2150.00000	0	0	0
2100.00000	0	0	0
2050.00000	0	0	0
2000.00000	0	0	0
1950.00000	0	0	0
1900.00000	0	0	0
1850.00000	0	0	0
1800.00000	0	0	0
1750.00000	1	1	2
1700.00000	5	7	12
1650.00000	45	11	56
1600.00000	135	25	160
1550.00000	271	21	292
1500.00000	261	9	270
1450.00000	134	5	139
1400.00000	57	0	57
1350.00000	10	1	11
1300.00000	1	0	1
1250.00000	0	0	0
1200.00000	0	0	0
1150.00000	0	0	0
1100.00000	0	0	0
1050.00000	0	0	0
*****			
	920	80	1000

AVERAGE FINAL TEMPERATURE OF FINISHED SLABS (AVTE) = 1522.6185 DEG.F.  
 STANDARD DEVIATION OF FINAL TEMPERATURE OF FINISHED SLABS (STTE) = 64.3048

## DISTRIBUTION OF FORCE LEVELS

\*\*\*\*\*

TONS	
1162.50000	1
1087.50000	4
1012.50000	10
937.50000	65
862.50000	237
787.50000	1390
712.50000	2643
637.50000	822
562.50000	426
487.50000	334
412.50000	216
337.50000	143
*****	
	6291

## DISTRIBUTION OF TORQUE LEVELS

\*\*\*\*\*

FT.-TONS	
11.62500	0
10.87500	0
10.12500	0
9.37500	0
8.62500	1
7.87500	3
7.12500	101
6.37500	563
5.62500	637
4.87500	705
4.12500	704
3.37500	3577
*****	
	6291

## INTERNAL INDICES

\*\*\*\*\*

NTC= 23  
 TC= 1750.0000  
 NHC= 39  
 HC= 1.4500

NEWR(1)-NEW(4)  
 0 0 0 0

ISN= 0  
 ISA= 0  
 ISH= 0  
 KHI= 0  
 LHI= 0



CLOSED LOOP CONTROL  
\*\*\*\*\*

NN=3

DESIRED THICKNESS = 0.5 IN.  
MAXIMUM THICKNESS = 2.4 IN.  
MINIMUM TEMPERATURE = 1200.0 DEG.F.  
MAXIMUM TEMPERATURE = 2300.0 DEG.F.  
NUMBER OF POINTS IN TEMPERATURE RANGE = 45  
NUMBER OF POINTS IN THICKNESS RANGE = 77  
NOMINAL INITIAL THICKNESS = 2.110 IN.  
NOMINAL INITIAL TEMPERATURE = 1760.000 DEG.F.  
EPSILON IN THE ITERATION = 1.00-008  
NUMBER OF SLABS = 1000  
ARBITRARY. POSITIVE. ODD NUMBER (KK) = 21  
THE TOLERANCE =+- 0.040000 IN.

9.5-005 1.2-003 1.1-003 2.8-005 1.9-007 3.4+000 4.0+001 1.0-003 5.0-002 6.0+000 1.0-003  
3.0+004 5.0+001 5.0+002 5.0-005 4.0+000 2.0+001 9.0+002 9.0+000 5.0-002 1.0-002

STANDARD DEVIATIONS OF THE NOISE B(1)-R(5)  
6.00-002 6.50+001 1.50-002 2.00+001 1.50-002

THE STEP IN THICKNESS RANGE = 0.0250 IN.  
THE STEP IN TEMPERATURE RANGE = 25.00 DEG.F.

TOTAL NUMBER OF SLABS (JJ) = 1000  
NUMBER OF FINISHED SLABS (J) = 970  
NUMBER OF GOOD FINISHED SLABS, I.E. SLABS WITHIN THE BOUNDARIES OF TOLERANCE (K) = 966  
NUMBER OF NOT FINISHED SLABS (MA) = 30

NUMBER OF TIMES FORCE .GT. FMAX (NF) = 30  
NUMBER OF TIMES TORQUE .GT. TMAX (NTAU) = 0  
NUMBER OF TIMES BOTH NF AND NTAU (NFT) = 0

NUMBER OF TIMES THE INITIAL THICKNESS IS TOO GREAT (IH) = 0  
NUMBER OF TIMES THE INITIAL TEMPERATURE IS TOO GREAT (IBT1) = 0  
NUMBER OF TIMES THE INITIAL TEMPERATURE IS TOO LOW (IBT2) = 0  
NUMBER OF TIMES BOTH IH AND IBT1 OR IBT2 (IR) = 0  
NUMBER OF TIMES IN CLOSED LOOP CONTROL THE TEMPERATURE IS TOO GREAT (IT1) = 0  
NUMBER OF TIMES IN CLOSED LOOP CONTROL THE TEMPERATURE IS TOO LOW (IT2) = 0

NUMBER OF TIMES THE ROLL SETTING .EQ. -1. I.E. THERE IS NO WAY TO THE DESIRED THICKNESS (IS) = 0

NUMBER OF GOOD FINISHED SLABS WHICH HAVE BEEN OUTSIDE THE ALLOWED TEMPERATURE REGION IN OPEN LOOP CONTROL (MOUT) = 0

TOTAL COST (V) = 1963.5799 \$  
COST OF FINISHED SLABS (V1) = 1903.0094 \$  
COST OF GOOD FINISHED SLABS (V2) = 1896.2051 \$  
COST OF NOT FINISHED SLABS (V4) = 60.5705 \$

TOTAL NUMBER OF PASSES (I) = 8346  
NUMBER OF PASSES OF FINISHED SLABS (N1) = 8086  
NUMBER OF PASSES OF GOOD FINISHED SLABS (N2) = 8057  
NUMBER OF PASSES OF NOT FINISHED SLABS (N3) = 260

AVERAGE COST / PASS (VA), \$  
 \*\*\*\*\*  
 ALL SLABS (V/I)= 0.2353  
 FINISHED SLABS (V1/N1)= 0.2353  
 GOOD FINISHED SLABS (V2/N2)= 0.2353  
 HOT FINISHED SLABS (V4/N3)= 0.2330  
 TOTAL COST / PASS OF FINISHED SLABS (V/N1) = 0.2428  
 TOTAL COST / PASS OF GOOD FINISHED SLABS (V/N2) = 0.2437

AVERAGE COST / SLAB (VB), \$  
 \*\*\*\*\*  
 ALL SLABS (V/JJ)= 1.9636  
 FINISHED SLABS (V1/J)= 1.9619  
 GOOD FINISHED SLABS (V2/K)= 1.9629  
 HOT FINISHED SLABS (V4/MA)= 2.0190  
 TOTAL COST / FINISHED SLAB (V/J) = 2.0243  
 TOTAL COST / GOOD FINISHED SLAB (V/K) = 2.0327

AVERAGE STAGES / SLAB (AS)  
 \*\*\*\*\*  
 ALL SLABS (I/JJ)= 8.3460  
 FINISHED SLABS (N1/J)= 8.3361  
 GOOD FINISHED SLABS (N2/K)= 8.3406  
 HOT FINISHED SLABS (N3/MA)= 8.6667  
 TOTAL NUMBER OF PASSES / FINISHED SLAB (I/J) = 8.6041  
 TOTAL NUMBER OF PASSES / GOOD FINISHED SLAB (I/K) = 8.6398

DISTRIBUTION OF FINAL SLAB THICKNESS  
 \*\*\*\*\*

	FINISHED SLABS	NOT FINISHED SLABS	TOTALLY
INCHES			
1.01250	0	0	0
0.98750	0	0	0
0.96250	0	0	0
0.93750	0	0	0
0.91250	0	0	0
0.88750	0	0	0
0.86250	0	0	0
0.83750	0	0	0
0.81250	0	0	0
0.78750	0	0	0
0.76250	0	1	1
0.73750	0	0	0
0.71250	0	0	0
0.68750	0	0	0
0.66250	0	4	4
0.63750	0	4	4
0.61250	0	0	0
0.58750	0	4	4
0.56250	50	17	67
0.53750	428	0	428
0.51250	356	0	356
0.48750	125	0	125
0.46250	11	0	11
0.43750	0	0	0
0.41250	0	0	0
*****	970	30	1000

AVERAGE FINAL THICKNESS OF FINISHED SLABS (AVH) = 0.5102 IN.  
 STANDARD DEVIATION OF FINAL THICKNESS OF FINISHED SLABS (STH) = 0.0196

DISTRIBUTION OF FINAL SLAB TEMPERATURE

\*\*\*\*\*

DEG.F.	FINISHED SLABS	NOT FINISHED SLABS	TOTALLY
2450.00000	0	0	0
2400.00000	0	0	0
2350.00000	0	0	0
2300.00000	0	0	0
2250.00000	0	0	0
2200.00000	0	0	0
2150.00000	0	0	0
2100.00000	0	0	0
2050.00000	0	0	0
2000.00000	0	0	0
1950.00000	0	0	0
1900.00000	0	0	0
1850.00000	0	0	0
1800.00000	0	0	0
1750.00000	1	0	1
1700.00000	6	0	6
1650.00000	30	0	30
1600.00000	74	3	77
1550.00000	172	5	177
1500.00000	239	3	242
1450.00000	220	10	230
1400.00000	144	5	149
1350.00000	62	4	66
1300.00000	18	0	18
1250.00000	4	0	4
1200.00000	0	0	0
1150.00000	0	0	0
1100.00000	0	0	0
1050.00000	0	0	0
*****			
	970	30	1000

AVERAGE FINAL TEMPERATURE OF FINISHED SLABS (AVTE)= 1482.2577 DEG.F.  
 STANDARD DEVIATION OF FINAL TEMPERATURE OF FINISHED SLABS (STTE) = 78.5198

## DISTRIBUTION OF FORCE LEVELS

\*\*\*\*\*

TONS

1162.50000	0
1087.50000	0
1012.50000	5
937.50000	25
862.50000	82
787.50000	646
712.50000	2461
637.50000	1185
562.50000	756
487.50000	860
412.50000	748
337.50000	1608

\*\*\*\*\*

8376

## DISTRIBUTION OF TORQUE LEVELS

\*\*\*\*\*

FT.-TONS

11.62500	0
10.87500	0
10.12500	0
9.37500	0
8.62500	0
7.87500	2
7.12500	51
6.37500	381
5.62500	467
4.87500	709
4.12500	625
3.37500	6141

\*\*\*\*\*

8376

## INTERNAL INDICES

\*\*\*\*\*

TIC= 23  
 TC= 1750.0000  
 EHC= 39  
 HC= 1.4500

NEWR(1)-NEWR(4)

0 0 0 0

ISN= 0  
 ISA= 0  
 ISH= 19  
 CHI= 0  
 LHI= 0

## APPENDIX J

Referenser

R. Bellman: Dynamic Programming  
Princeton 1957

R. Bellman & S. Dreyfus: Applied Dynamic Programming  
Princeton 1962

D. Wilde: Optimum Seeking Methods  
Prentice Hall

P. V. Lopresti and T. N. Patton: On Optimal Closed Loop Control  
of a Rolling Mill  
JACC 68 p.767

Schultz and Smith: Determination of a Mathematical Model for Rolling  
Mill Control  
Iron and Steel Engineer, Vol. XLII, pp 127-133, May 1965.