

TEMPERATURREGLERING AV FORMSPRUTA

LARS CARLSSON
GÖRAN FRENNING

INSTITUTIONEN FÖR REGLERTEKNIK
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
AUGUSTI 1985

LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY DEPARTMENT OF AUTOMATIC CONTROL Box 118 S 221 00 Lund Sweden		Document name Master thesis	
		Date of issue August 1985	
		Document number CODEN:LUTFD2/(TFRT-5331)/1-085/(1985)	
Author(s) Lars Carlsson Göran Frenning		Supervisor Björn Wittenmark	
		Sponsoring organization	
Title and subtitle Temperaturreglering av formspruta. (Digital temperture control of an injection moulding machine.)			
Abstract This report describes a series of experiment performed on a injection moulding machine. The aim has been to find out how the digital control unit works and to find good set of parameteers for the control of the heating of the cylinder. Ziegler-Nicols methods have been used to find an approximative setting of the regulator parameters. Different stepresponses and tests when the injection moulding machine is in automatic production have been studied to optimize this setting. A good setting has been found. A translation between Ziegler-Nicols regulator parameters and the control units parameters have been calculated. Different tests have been made which results is an understanding of how the control unit is constructed. Finally future studies of the injection moulding machine are discussed.			
Key words			
Classification system and/or index terms (if any)			
Supplementary bibliographical information			
ISSN and key title			ISBN
Language Swedish	Number of pages 85	Recipient's notes	
Security classification			

DOKUMENTDATABLAD RT 3/81

Distribution: The report may be ordered from the Department of Automatic Control or borrowed through the University Library 2, Box 1010, S-221 03 Lund, Sweden, Telex: 33248 lubbis lund.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Inledning	Sid.	1 - 2
1. Formsprutan: Windsor HSI 200 MPC 80 EPR		3 - 8
2. Närmare beskrivning av sprutenheten		9 - 11
3. Beskrivning av PID-regulatorn för värmereglering		12 - 15
4. Test enligt Ziegler-Nichols metod		16 - 30
5. Test av regulatorn utan att processen är inkopplad		31 - 48
6. Uppstartsprov och stegprov		49 - 72
7. Produktionsprov		73 - 74
8. Resultat		75 - 77
Bilagor		78 - 82
Referenser		83

INLEDNING

Detta examensarbete har syftat till att undersöka temperaturregleringen av en digital formspruta av fabrikat Windsor HSI 200 MPC 80 EPR. Formsprutan är digital på så sätt att en dator tar hand om regleringen och styrning av formsprutans **alla** funktioner. Inställningen göres av operatören via ett tangentbord och en bildskärm. Microbrytare har ersatts av digitala vägmätanordningar och därmed finns alla tillstånd och inställningar för formsprutan lagrade i digital form i datorn.

Jämfört med konventionell analog teknik är den digitala formsprutan kompaktare, mera flexibel och mycket mer exakt. Inställningsmöjligheterna är också mycket bättre och dessutom finns, genom en kassettbandsmekanism, möjligheten att spara inställningen av optimerade data på magnetband. Denna data kan vid ett senare tillfälle läsas in i formsprutan och man slipper på så vis det tidsödande injusteringsarbetet innan maskinen är inställd optimalt.

Formsprutan arbetar genom att spruta upphettad plast in i en form. Upphettningen av plasten göres i en speciell cylinder. Själva cylindern är uppdelad i fyra värmezoner som regleras av datorn. Att plasten har rätt temperatur då plasten sprutas in i formen är mycket viktigt och därför är det också mycket viktigt att en effektiv värmerreglering av cylinderns värmezoner erhålles.

Examensarbetet har syftat till att optimera inställningen av de digitala PID-regulatorer som reglerar temperaturen på cylinderns fyra olika värmezoner. Dessa regulatorer var från fabrikanten Windsor inställda på värden som i och för sig gav en fungerande reglering men uppvärmningen tycktes gå onödigt långsamt. Alla zonerna var inställda på nästan identiskt lika värden. Detta var något svårförklarligt då värmezonernas fysiska utseende var mycket olika och därför också borde ha mycket olika värmedynamiska egenskaper.

För att utröna hur egentligen parametrarna för värmerregulatorerna skulle vara inställda användes Ziegler-Nichols självsvängningsmetod. En zon i taget provades genom att se hur zonen reagerade på en stegändring. Resultatet registrerades på en 4-kanalig plotter och zonen uppförande kunde utvärderas.

Datorns regulatorparametrar stämde emellertid inte överens med den klassiska regler-teorins parametrar. Det var därför svårt att översätta resultaten från Ziegler-Nichols testerna till hur I- och D-delen av PID-regulatorn skulle ställas in. Därför gjordes direkta mätningar och praktiska prov för att försöka utröna hur regulatorn var uppbyggd och hur I- och D-delen skulle ställas in. Mätningarna gjordes genom att isolera regulatorn från processen och undersöka hur den reagerade för stegändringar med olika inställningar. De praktiska proven var av karaktären **uppstartsprov**, d.v.s start av kall formspruta upp till driftstemperatur, och **stegprov** där störningar simulerades genom stegändringar. Dessutom gjordes produktionsprov där olika inställningar av regulatorerna provades under kontinuerlig drift.

Arbetet redovisas i denna rapport i följande kapitel. I kapitel 1 beskrivs formsprutan närmare medan kapitel 2 närmare behandlar sprutenheten, vars värme-regulatorer denna rapport handlar om. Kapitel 3 beskriver just dessa regulatorer och i kapitel 4 behandlas de Ziegler-Nichols test som gjorts med sprutenhetens värmeregulatorer. I kapitel 5 beskrivs andra test av regulatorerna medan kapitel 6 och 7 behandlar de stegprov, uppstartsprov och produktionsprov som gjorts för att undersöka och optimera den slutliga inställningen av värmeregulatorernas parametrar. Avslutningsvis summeras resultaten upp i kapitel 8 och förslag ges till framtida arbeten med formsprutan.

1. FORMSPRUTAN: WINDSOR HSI 200 MPC 80 EPR

1.1 Inledning

I detta kapitel beskrivs formsprutan, dess princip, funktion och uppbyggnad. Även formsprutans omfattande reglersystem beskrivs och dess fördelar respektive nackdelar diskuteras.

1.2 Formsprutan

Den formspruta som undersökts ur reglersynpunkt är av tyskt fabrikat och heter Windsor HSI 200 MPC 80 EPR. Formsprutan är avsedd att användas för plast av olika kvalitéter.

Windsor HSI 200 MPC 80 EPR kan sägas representera den senaste generationen av formsprutor. Man har med denna generation tagit steget från analog teknik till digital. Denna teknik medger en rad fördelar såsom stor flexibilitet, snabbare inställning och hög integreringsgrad.

Själva formsprutan (hårdvaran) heter Windsor HSI 200. 200 står för den låskraft som sprutan kan generera, i detta fallet 200 kN. Låskraften är den kraft med vilken formsprutan läser ihop formhalvorna. Olika utförande med olika låskrafter och utrustningar kan beställas från Windsor.

MPC 80 är beteckningen för det mikroprocessorsystem som omfattar samtliga regler- och övervakningssystem. MPC 80 kan sägas vara hjärnan i formsprutan.

1.3 Princip

En formspruta arbetar efter principen att plast i form av granulat hettas upp, knådas och smältes för att sedan med hjälp av högt tryck sprutas in i ett formrum där den får stelna. Formrummet delas sedan och den färdiga detaljen plockas ut.

Metoden kan liknas vid pressgjutning men formsprutning är en yngre tillverkningsmetod som enligt tillverkarna fortfarande befinner sig under utveckling.

Plasten måste vid tillverkningen ha exakt rätt temperatur för att den önskade detaljen skall bli riktig. Är plasten för sval blir dess viskositet för hög och plasten fyller då inte ut formrummet ordentligt. Är av andra sidan plasten för het, finns risken att plasten sönderdelas (nedbrytes) vilket medför svaga detaljer.

1.4 Uppbyggnad

De flesta formsprutor är uppbyggda enligt en och samma princip och Windsor MPC 80 är inget undantag. Uppbyggnaden framgår av nedanstående figur.

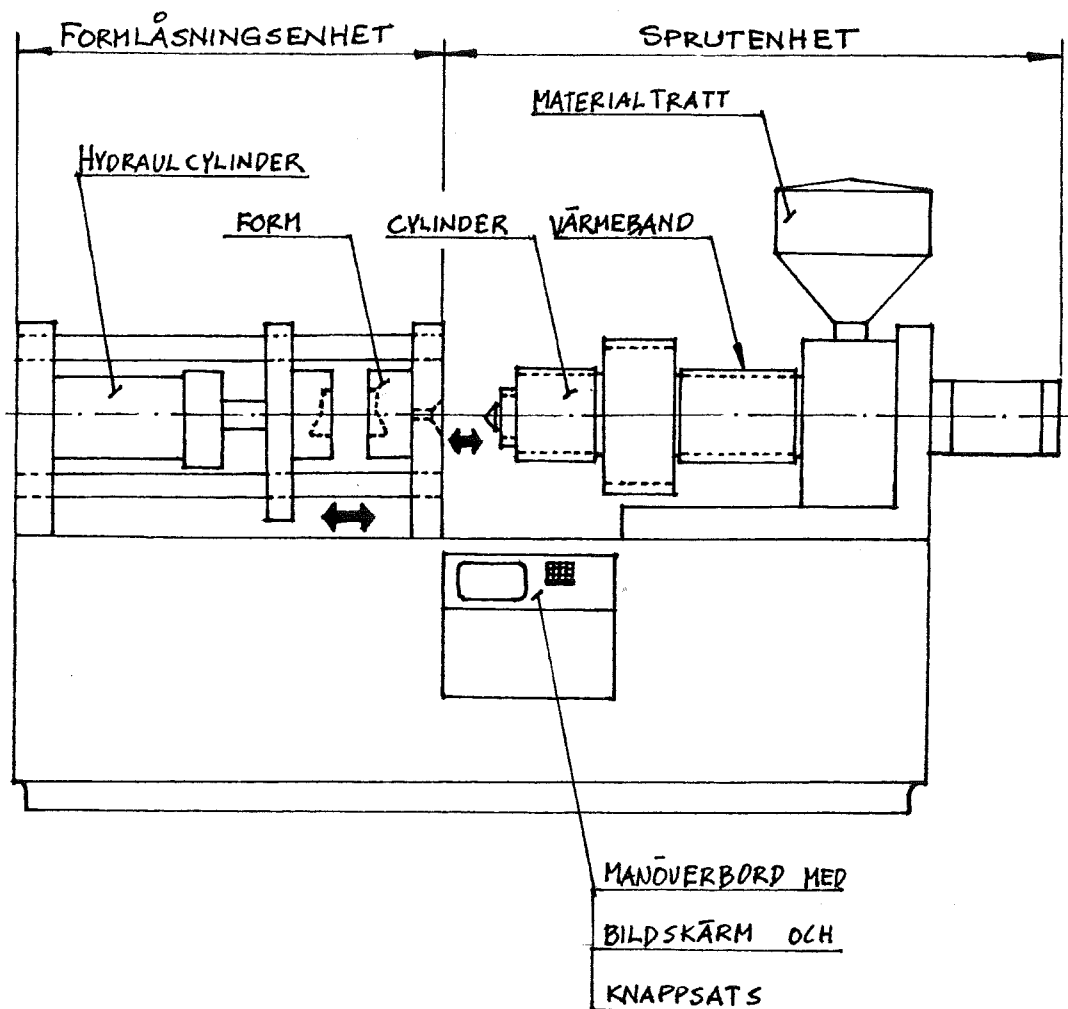


Fig. 1.1 Formsprutan

Som framgår av figur 1.1. kan man dela upp formsprutan i två delar, formlåsningseenhet och sprutenhet.

Formlåsningseenheten består av två formhalvor, en rörlig och en fast. Den rörliga formhalvan kan låsas mot den fasta med en hydraulisk kolv som utvecklar låskraften. Själva formrummet bildas mellan formhalvorna då dessa låses mot varandra. Formrummet står i förbindelse med sprutenheten via en kanal i den fasta formhalvan.

Sprutenheten består av en värmecylinder med tillhörande utrustning såsom hydraulpumpar, elmotorer, materialpåfyllningstratt o.s.v. Cylinderns uppgift är att värma upp och meddels en invändig skruv knåda sönder plastgranulaten till en enhetlig plastsmälta. Cylindern är indelad i fyra värmezoner. Varje värmezon utgörs av värmeband fastsatta runt om cylindern.

Plastgranulaten fylls på i materialtratten och matas in i cylindern via ett av kylvatten kylt metallblock.

Via manöverbordet som består av en bildskärm och en knappsats om 16 tangenter står operatören i kontakt med formsprutans olika funktioner.

1.5 Funktion

Formsprutan är avsedd att helautomatiskt och kontinuerligt producera färdiga plastdetaljer. Maskinen ställes in via manöverbordet och skall därefter helautomatiskt kunna producera de önskade detaljerna.

Sprutenhetens funktion

Plastgranulat fylls på i materialtratten. Denna behållare kan förses med automatisk påfyllning av material. Från materialtratten matas, via självfall, granulaten in i extrudern. Själva inloppet är ett av vatten kylt metallblock. Kylningen sker för att värme från extrudern inte skall sprida sig upp i materialtratten och klumpa ihop materialet där så att matningen förhindras. Matningen ombesörjes av skruven inuti cylindern. Denna skruv kan både rotera och beskriva en axiell rörelse. När skruven roterar matar den dels fram nytt material och dels maler den sönder och knådar befintligt material. Genom knådningen tillföres materialet friktionsvärme. Den axiella rörelsen av skruven medger att skruven kan arbeta som kolv och ombesörjer plastsmältans transport ut ur cylindern och in i formen.

Förutom den värme som utvecklas i cylindern genom skruvens roterande rörelse värms denna upp med hjälp av värmeband placerade runt om cylindern. Dessa värmeband är uppdelade i fyra zoner som var och en regleras av en regulator. Det är regleringen av dessa zoner som examensarbetet huvudsakligen handlar om.

Då plastsmältan uppnått rätt temperatur kan denna tryckas ut ur extrudern via ett munstycke in i formrummet. Själva tryckförloppet kan delas in i två stadier, insprutning och eftertryck.

Trycket erhålles med hjälp av skruvens axiella rörelse och både insprutnings- och eftertrycksförloppet kan med MPC 80-systemet ställas in på ett stort antal olika sätt. Insprutningsförloppet ombesörjer den huvudsakliga transporten av material in i formen. Eftertrycksförloppet ligger kvar med tryck på plastsmältan efter insprutningsförloppet för att fylla ut formen ordentligt.

Hela sprutenheten är rörlig och kan flyttas i axiellt led fram mot formläsningseenheten. Denna rörlighet utnyttjas under produktionscykeln så att formläsningseenheten inte skall avleda värme från extruderns munstycke. Sprutenheten ligger således bara an mot formläsningseenheten under insprutnings- och eftertrycksförloppet.

Formläsningseenhetens funktion

Formläsningseenheten erhåller plastsmälta från sprutenheten. Denna formas till en färdig detalj i den delbara formen.

Formen eller verktyget är delbart i två delar. Verktygets båda delar spännes upp på två uppspänningsplattor, en rörlig och en fast. Den fasta uppspänningsplattan (närmast sprutenheten) har ett kanalsystem som förser verktygets kanalsystem med plastsmälta. Via dessa kanalsystem transporteras plastsmältan in i verktygets formrum. På vissa verktyg med långa kanalsystem finns möjligheten att uppvärma dessa via ett zonsystem liknande det för cylindern. I MPC 80-systemet finns möjlighet att temperaturreglera 10 stycken sådana zoner.

Den rörliga verktygshalvan sitter alltså uppspänd på den rörliga uppspänningsplattan. Denna platta är i sin tur upphängd på fyra gejdrar och kan med en hydraulisk kolv skjutas fram och tillbaka så att verktyget kan öppnas och stängas. Det är denna hydrauliska kolv som även bygger upp låstrycket, i detta fallet max 200 kN. Via MPC 80-systemet kan öppnings- och stängningsförloppet ställas in på en mängd olika sätt.

Då detaljen är färdig öppnas verktyget och hydrauliska utstötare stöter ut detaljen.

Verktyget kan ganska snabbt bytas ut mot ett annat verktyg om produktionen önskas ändras.

För mera detaljerad information om formsprutor i allmänhet och formsprutan Windsor HSI 200 MPC 80 EPR i synnerhet se referens 1 och 2.

1.6 Mikroprocessorsystemet MPC 80

Via formsprutans manöverbord står operatören i kontakt med MPC 80-systemet och därigenom kan alla inställningsmöjligheter hos formsprutan utnyttjas. All kommunikation mellan operatören och MPC 80-systemet sker via manöverbordets bildskärm och tangentbord.

MPC 80-systemet arbetar med två mikroprocessorer som dels samlar in tryck-, temperatur-, hastighets- och lägesvärden och dels presenterar data på bildskärmen samt styr och reglerar formsprutans funktion.

Ett digitalt vägmätsystem för att samla in läs- och sprutenhetens lägespunkter finns och därigenom kan dessa enheters exakta läge bestämmas vid varje tidpunkt. Olika vägpunkter kan då också matas in digitalt och systemet övertar på detta vis den konventionella tekniken med "fast" logik såsom gränställare och mikrobrytare.

Integrerat i manöverbordet finns dessutom en kassettbandsmekanism. Från denna kassett kan data både läsas och skrivas. Den datamängd som skrives är den totala datamängden som behövs för inställning och körning med ett verktyg. Med hjälp av kassetten kan optimerade data för ett verktyg lagras undan och vid nyuppbyggnad på kortast möjliga tid matas in i systemet för ny produktion.

Eftersom den totala datamängden som MPC 80-systemet innehåller är för omfattande för att indikeras samtidigt, har den delats upp på olika sidor. En sida fyller upp bildskärmen och på dessa sidor kan data matas in på numrerade inmatningsrader.

Dessutom finns det i MPC 80 ett felövervakningssystem. Skulle fel eller störning av mer eller mindre allvarlig karaktär uppstå varnar systemet för detta genom en felindikering på bildskärmen. Närmare information om felet kan sedan avläsas på en särskild sida och lämpliga åtgärder för att avhjälpa felet kan vidtagas.

Skulle felet vara så allvarligt att maskinens funktion hotas, stoppas denna automatiskt.

För att kunna hämta ut och dokumentera viktig information från MPC-systemet finns möjlighet att ansluta en radskrivare till datorenheten. En 16-stifts databuss-kontakt finns på manöverbordets ena sida.

Man kan få vilken sida som helst i datorn utskriven på radskrivaren genom att helt enkelt "slå upp" sidan på bildskärmen och sedan slå in en kod på tangentbordet för att

starta utskriften. Hela sidan skrives då ut exakt som den ser ut på bildskärmen. I systemet finns också en tom sida dit man kan hämta speciellt intressanta rader från olika sidor för att på så sätt koncentrera den information man är särskilt intresserad av. Hela denna sida kan sedan också skrivas ut på samma sätt som ovan.

Under arbetets gång har en matris skrivare av fabrikat Epson MX 80 varit ansluten till formsprutan.

Sammanfattningsvis kan sägas att i styrsystemet MPC 80 övertar två mikroprocessorer följande uppgifter

- Betjänings- och indikeringsfunktioner
- Reglerfunktion
- Cykelstyrning
- Gränsvärdes- och felövervakning
- Automatisk maskininställning vid användning av en kassett som skrivits för ett verktyg

För närmare information om MPC 80-systemet se referens 2.

1.7 Fördelar och nackdelar med digitalt reglerad formspruta

Fördelar

Den största fördelen med digital teknik är den stora flexibilitet som uppnås. Formsprutan är lätt att ställa in via tangentbordet och bildskärmen ger en bra överblick över inställningsmöjligheterna. Dessutom medför den digitala tekniken att en större noggrannhet av de tillverkade detaljerna kan åstadkommas. Åtskilliga fler reglerfunktioner finns också på den digitala formsprutan.

Kassettenheten ger ytterligare en fördel genom att optimerade data för ett verktyg kan sparas undan och medge ytterst snabb inställning nästa gång verktyget användes.

Formsprutan blir dessutom kompakt uppbyggd genom den höga integreringsgraden. Det behövs nu inga kompletterande skåp med analoga regulatorer eftersom MPC 80-systemet tar hand om all reglering. Detta medför att platsbehovet blir ringa och driftsäkerheten större.

Nackdelar

Den främsta nackdelen är att tekniken är relativt komplicerad och ny. Detta medför att felsökning och åtgärdande av fel som inte felindikeringsystemet kan hitta, kräver välutbildad personal. Detta kan i värsta fall leda till längre produktionsstopp med dyra produktionsbortfall som följd.

1.8 Reglerfunktionen i MPC 80

I MPC 80-systemet finns inbyggt 14 stycken digitala PID-regulatorer. Fyra stycken av dessa används för värmereglering av sprutenheten medan de övriga tio kan användas för värmereglering av speciella verktyg med långa inloppskanaler.

Regulatorerna är inställda från fabriken. Inställningen kan ändras av användaren men denne måste då känna till den hemliga koden som annars låser de sidor där inställningen görs.

Inställningen av regulatorerna för värmereglering av sprutenheten var av fabriken alldeles för "snällt" gjorda. Temperaturen steg alldeles för långsamt och kapaciteten utnyttjades dåligt. Se kapitel 4, 6 och 7.

2. NÄRMARE BESKRIVNING AV SPRUTENHETEN

Cylindern består av ett rör av stål som värms upp av elektriska värmeband. Dessa värmeband är monterade runt rörets mantelyta. Inuti cylindern löper skruven. Skruven kan både rotera och ha en längsgående rörelse.

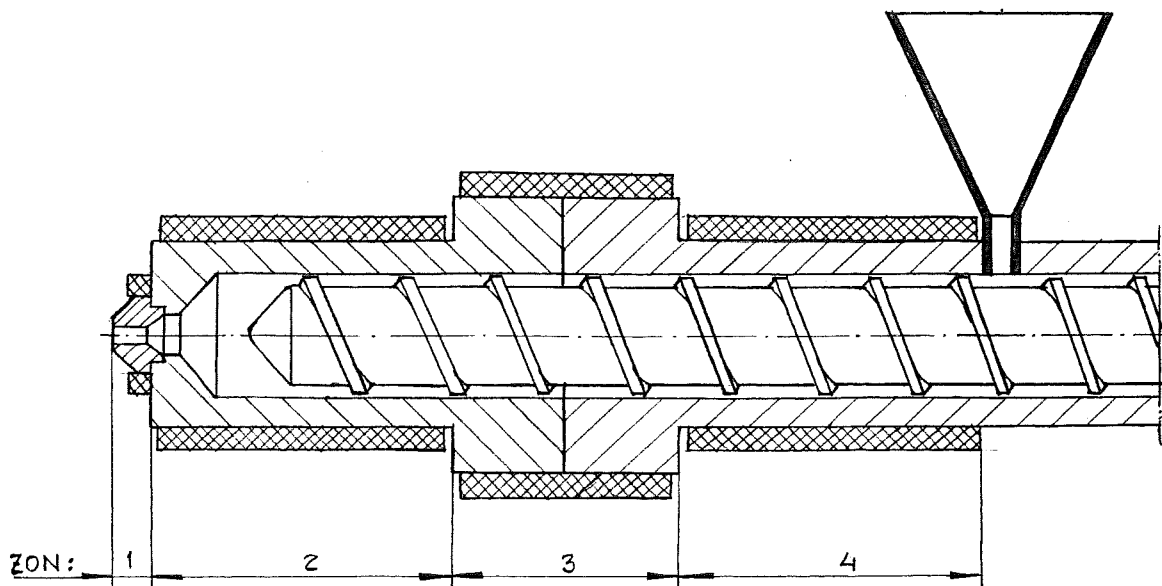


Fig 2.1 Skiss av cylinder

Cylindern delas in i 4 delar - värmezoner.

2.1 Värmezoner

Zon 1: Enbart munstycket. Zonen har liten massa och bör därför vara en snabb process att reglera.

Zon 2: Sträcker sig över cylinderutrymmet för smältan.

Zon 3: Zonen har stor massa p.g.a. cylinderskarven. Den bör därför vara en långsam process. Cylindern är delbar för att den främre delen skall kunna tas av och skruven bytas ut.

Zon 4: Har ungefär samma storlek och massa som zon 2. I denna zon matas granulaten in i skruven och plastificeras.

Normalt går värmeflödet från de elektriska värmebanden och inåt till plasten. Men om skjuvningsvärmerna under plastificeringen är hög, kan värmeflödet gå i motsatt riktning.

2.2 Temperaturgivare

I varje zon sitter en temperaturgivare. Givaren är placerad i cylinderväggen med mät-punkten nära intill inre mantelytan och plastsmältan. Detta för att differensen skall bli mindre mellan cylinderns och plastsmältans temperatur. Men denna placering ställer högre krav på regulatorn. Regulatorn skall klara av att reglera trots den fördröjning som uppstår mellan temperaturhöjningen i cylinderns yta och temperaturhöjningen vid mätunkten.

2.3 Beskrivning av en sprutcykel

En typisk sprutcykel ser ut på följande sätt:

Utgångsläge: Skruven är i bakre läget och cylinderutrymmet för smältan är fyllt av smält plast. Formen är stängd. Sprutenheten är i främre läget.

- 1/ Insprutning. Skruven rör sig axiellt och sprutar in plasten och fyller formrummet under högt tryck.
- 2/ Eftertryck. Håller plasten i cylindern och formrummet under visst tryck. Sker till lägre tryck. Efterpackar material under stelningsfasens första del för att motverka för stor krympning.
- 3/ Plastsmältan i formrummet kylv ned. Under tiden rör sig skruven tillbaka till utgångsläget med en roterande rörelse. Denna rotation matar in ny plast i cylindern samt plastificerar plasten. Mängden smält plast framför skruvspetsen ökar.
- 4/ Sprutenheten rör sig från verktyget. Smält plast kan annars läcka ut från cylindern och täppa till munstycket i formverktyget. Dessutom kan värme avledas från sprutmunstycket till verktyget.
- 5/ Formen öppnar sig då detaljen är kyld till formstabil tillstånd och den färdiga plastdetaljen stöts ut.
- 6/ Formen stängs och sprutenheten körs fram till verktyget igen.
- 7/ En ny sprutcykel kan börja.

2.4 Uppgifter på bildskärmen

På formsprutans bildskärm kan på sid. 10 ses följande:

13:45 08.08.1985

SIDA S 10		INMATN.: SIDA			
1	PLASTI.-CYLINDER - TEMPERATUR	FRAN=0	TILL=1	AER	1
2	VERKTYG/TEMP. AGGR. TEMPERATUR	FRAN=0	TILL=1	AER	0
3- 4	ZON 1 - 72-----	GRAD C	BOER 1-190	AER	33
5- 6	ZON 2 -- 72-----	GRAD C	BOER 1-190	AER	31
7- 8	ZON 3 --- 72-----	GRAD C	BOER 1-190	AER	30
9-10	ZON 4 ---- 72-----	GRAD C	BOER 1-190	AER	37

Fig 2.2 sid. 10 i datorn

Efter zonens nr anges styrsignalens värde, därefter anges bör-värdet och till sist är-värdet.

Styrsignalen är uttryckt i procent tid. Under en del av en konstant tidsperiod (4,5 sek) ger regulatorn ut effekt till det elektriska värmebandet. Styrsignalens 50% innebär alltså att värmebandet får effekt i 2,25 sekunder.

2.5 Olika plaster - olika inställningar

Olika sorters plaster kräver olika grad av värme för att nå smält tillstånd. Temperaturen skiljer också mellan zonerna. Zon 1 skall ha högst temperatur, därefter minskas temperaturen i steg om 5°C för varje zon.

Ex.	Mtrl	Zon 1	Zon 2	Zon 3	Zon 4
	ABS	220	215	210	205
	LDPE	200	195	190	185

Plasten kräver också olika munstycken och skruvspetsar beroende på vilken viskositet plasten har. Dessa skall lätt kunna bytas ut.

3. BESKRIVNING AV PID-REGULATORN FÖR VÄRMEREGLERING

De regulatorer som sköter värmeregleringen av cylinderns värmezoner och verktygets värmezoner är s.k. PID-regulatorer. Här följer en kort beskrivning av en PID-regulators funktion.

3.1 Funktion

P-delen: Innehåller en konstant K som multipliceras med felet (skillnaden mellan temperaturens är- och bör-värde). P-delen lägger alltså ut en styrsignal som är proportionell mot felet. En P-regulator ger ett stationärt fel.

I-delen: Innehåller en tidskonstant T_i . Opererar på summan av tidigare fel. Denna dels huvuduppgift är att ta bort det stationära felet som P-delen ger.

D-delen: Innehåller en tidskonstant T_d . D-delen deriverar felet i tiden vilket kan sägas uttrycka felets riktningskoefficient. På så sätt kan regulatorn förutsäga vad som kommer att hända och t.ex. dämpa styrsignalen vid börvärdesändringar för att undvika överslängar. Derivation kan även ske av är-värdet (mätsignalen), då undviks kraftiga steg i styrsignalen om bör-värdet och därmed felet ändras genom stegändringar.

3.2 Algoritm

Den enklaste versionen av en analog PID-regulator ser ut på följande sätt:

$$u(t) = K \cdot \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \cdot \frac{de}{dt} \right] \quad \text{..... 3.1}$$

eller

$$u(t) = K \cdot e(t) + \frac{K}{T_i} \int e(t) dt + K \cdot T_d \cdot \frac{de}{dt}$$

P-del

I-del

D-del

där $u(t)$ = styrsignalen till processen
 $e(t)$ = felet = börvärde - ärvärde = $y_{ref} - y$

I ekv 3.1 verkar förstärkningen K på hela parantesen. En annan algoritm där K endast inverkar på P-delen är:

$$u(t) = K \cdot e(t) + \frac{1}{T_i} \int e dt + T_d \cdot \frac{de}{dt} \quad \text{..... 3.2}$$

Om derivatan istället verkar på mätvärdet, y , ser det ut så här:

$$u(t) = K \cdot e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt - T_d \cdot \frac{dy}{dt} \quad \text{..... 3.3}$$

I skrivande stund är det inte klarlagt hur värmeregulatorns algoritm ser ut. Eftersom det är en digital regulator kan samplingstiden h vara med i algoritmen. Samplingstiden är det återkommande tidsintervall då datorn beräknar nya utsignaler. För

formsprutan har denna tid uppmätts till 4,5 sekunder.

Ex. på digital algoritm för PID-regulator:

$$u(t) = K \cdot \left[e(t) + \frac{h}{T_i} \int e dt + \frac{T_d}{h} \frac{de}{dt} \right] \quad \dots\dots\dots 3.4$$

I kapitel 5 utvecklas resonemanget om regulatorns struktur.

3.3 Parameterinställningar i datorn

På sidan 210 i datorn kan PID-regulatorns parametrar för cylinderns värmereglering utläsas.

13:39 08.08.1985

SIDA S 210

INMATN.: SIDA

VAERME PARAMETER

	KP/KFIL	KD/HYST	KI/LIM	KYI	KKD
1- 5 ZON	1 105	180	110	0	2
6-10 ZON	2 57	150	70	0	3
11-15 ZON	3 45	130	70	0	4
16-20 ZON	4 33	150	60	0	2

Fig. 3.1 Sid. 210 i datorn.

Windsors instruktionsbok bil. 1 ger följande:

KP = Proportionalfaktor

KI = Integralfaktor

KD = Derivationsfaktor

KKD = Ytterligare derivatafaktor, exponent med bas 2.

Den totala derivatafaktorn blir: $KD_{total} = KD \cdot 2^{(KKD)}$

I bil. 1 finns Windsors förklaring till parametrarna. Ingenting nämns dock om hur de är sammankopplade med K , T_i och T_d enl. ekv. 3.1.

Inställbara numeriska värden för parametrarna är 0 - 255.

Sidan 211 ger samma inställningsmöjligheter för värmereglering av verktygets tio värmezoner. Både för cylindern och verktyget gäller att det finns en PID-regulator för varje zon.

3.4 Windsors standardparametrar

För cylinderns zoner har Windsor ställt in följande parametrar

13:41 08.08.1985

SIDA 5 210

INMATN.: SIDA

VAERME PARAMETER

	KP/KFIL	KD/HYST	KI/LIM	KYI	KKD
1- 5 ZON	1 10	150	80	0	3
6-10 ZON	2 10	100	80	0	3
11-15 ZON	3 10	100	80	0	3
16-20 ZON	4 10	100	80	0	3

Fig. 3.2 Windsors standardparametrar.

Som synes är det bara KD på zon 1 som avviker från övriga KD. I övrigt har zonerna samma parametrar. Samma gäller för verktygets zoner på sid. 211.

Detta är egendomligt, då en enkel studie av cylinderns olika zoner ger vid handen att zonerna bör ha väldigt olika uppförande. Uppgiften blir därför att försöka ställa in dessa parametrar bättre och anpassa dem för varje zon. Detta studeras i kap. 4, 6 och 7.

3.5 Störningar vid reglering

För värmereglering av cylinderns zoner finns främst två störningskällor. Den största är det tillskott av värme som plasticeringen medför. Detta skjuvningsvärme kan bli så stort att, som tidigare nämnts, värmeflödet går åt motsatt håll.

Den andra störningen är kringliggande värmizoners inverkan. T.ex. zon 1 med sin lilla massa bör lätt kunna bli påverkad av temperaturändringar i zon 2 som har förhållandevis sett större massa.

3.6 Andra svårigheter

Ett annat problem är att upphettnings- respektive avsvälningshastigheterna för de olika zonerna är osymmetriska. Upphettningshastigheten är betydligt snabbare än avsvälningshastigheten. Skillnaden är enligt nedan

	Upphettning °C/min	Avsvälning °C/min
Zon 1	10	1.0
Zon 2	11	0.7
Zon 3	11	0.6
Zon 4	17,5	1.43

Mätningarna har gjorts vid full respektive ingen effekt på värmezonen. Denna skillnad medför att regulatorerna egentligen har två olika processer att reglera vid upphettning respektive avsvälning.

3.7 Krav på regulatorn

Cylinderns värmeregulatorer har två uppgifter. Vid uppstart skall cylindern värmas till inställt börvärde så snabbt som möjligt utan att någon översläng inträder. Det innebär en upphettning från rumstemperatur till ungefär 200 °C.

Regulatorn skall dessutom klara av att hålla temperaturen vid givet börvärde under produktionen trots störningar från plastificering och andra intilliggande zoner.

Regulatorinställningen får bli en mellanväg mellan dessa båda uppgifter. Tonvikten får dock läggas vid den senare, då uppförandet vid produktionen är viktigast.

4. TEST ENLIGT ZIEGLER-NICHOLS METOD

4.1 Inledning

Detta kapitel handlar om de tester som utförts på regulatorerna som reglerar värmningen av sprutenheten. Teorin bakom testerna kommer att beskrivas liksom hur testerna har utförts. I det sista avsnittet redovisas även resultatet av testerna.

4.2 Teorin för Ziegler-Nichols metod

Ziegler-Nichols metod är en metod som genom vissa test av hur regulatorn och processen uppför sig grovt ger inställningen för de olika parametrarna för både P, PI- och PID-regulatorer.

Två olika metoder finns enligt Ziegler-Nichols. Den ena kallas stegsvarmetoden och går ut på att den slutna reglerloopen enligt figur 5.4 kopplas ur och att man sedan gör en stegändring av referensvärdet.

Denna metod är enkel att använda och ger oftast ett gott resultat. Stegsvaret registreras och ur detta avläses sedan L och R enligt figur 4.1 nedan. Inställning kan sedan göras på olika regulatorer enligt figur 4.2. Emellertid går inte den öppna loopen som krävs för detta test att åstadkomma för PID-regulatorerna på sprutenheten. Alltför stora ingrepp i datornheten hade krävts för detta.

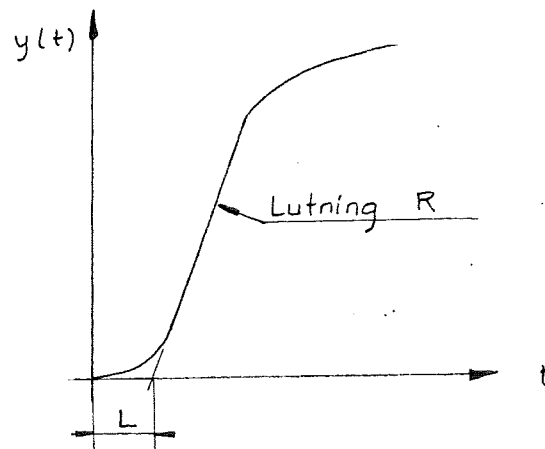


Fig. 4.1

Inställning			
Regulatorotyp	Kp	Ti	Td
P	$\frac{1}{RL}$		
PI	$\frac{0.9}{RL}$	3L	
PID	$\frac{1.2}{RL}$	2L	0.5L

Fig. 4.2

Den andra metoden enligt Ziegler-Nichols kallas för självsvängningsmetoden, se även referens 4. Denna går ut på att koppla bort I- och D-delen på PID-regulatorn och alltså bara använda sig av en P-regulator. Denna P-regulator användes sedan för att reglera processen, i detta fallet temperaturreglering av de fyra värmezonererna på sprutenheten, och ställes in på ett sådant sätt att processen precis självsvänger med konstant amplitud. Det värde man har inställt vid självsvängning kallas för K_{pmax} . Dessutom registreras periodtiden vid självsvängning, kallad T_p .

Ziegler-Nichols anger sedan följande riktvärden för inställning av regulatorer enligt denna metod, se fig. 4.3 nedan.

Inställning			
Regulatorotyp	Kp	Ti	Td
P	$0.5 \cdot K_{pmax}$		
PI	$0.45 \cdot K_{pmax}$	$\frac{T_p}{1.2}$	
PID	$0.6 \cdot K_{pmax}$	$\frac{T_p}{2}$	$\frac{T_p}{8}$

Fig. 4.3

4.3 Ziegler-Nichols test

4.3.1 Inledning

Det är alltså självvängningsmetoden som använts. Som tidigare nämnts är det emellertid svårt att översätta parametrarna enligt Windsor till de enligt Ziegler-Nichols.

Ziegler-Nichols bygger i princip på en regulettorekvation enligt

$$u = K_p \cdot \left[e + \frac{1}{T_i} \int e dt + T_d \cdot \frac{de}{dt} \right]$$

där u står för styrsignalen och e för felet mellan ärvärdet y och börvärdet y_r d.v.s.

$$e = y_r - y$$

Det har varit mycket svårt att från fabrikanterna Windsor få någon vägledning vad det gäller översättningen av K_I , K_D och K_{KD} till T_i och T_d . Vid tidpunkten för testen förelåg ingen som helst översättning av dessa parametrar.

Därför har bara P-delen av regulettorn kunnat bestämmas med hjälp av denna metod. I-delen och D-delen har provats fram genom att utgå ifrån Windsors standardparametrar samt genom att prova med olika inställningar under stegprov, uppstartsprov och produktionsprov. Dessa prov redovisas i kap. 6 och 7.

Alla tester som utfördes gjordes med sprutenheten fylld med plast. Detta för att processen skulle efterlikna den verkliga så mycket som möjligt. Dock gjordes testen med "stillastående" formspruta d.v.s. skruven rörde sig inte och ingen plast sprutades ut ur cylindern.

För att kontinuerligt kunna registrera hur temperaturerna ändrade sig under testerna anslöts en 6-kanalig **plotter** till formsprutan. Endast fyra av de sex kanalerna utnyttjades, en till varje värmezona på cylindern. Anslutningarna av de olika kanalerna gjordes till respektive värmezons termoelement. Signalen från ett av dessa termoelement är alltså lika med den mätsignal y som behandlas i datorenheten. Denna signal används för att på plottern rita upp kurvan för de olika zonernas verkliga temperatur.

Plottern var av fabrikat **W + W series 316** och fungerade utmärkt. Olika känslighet ($mV/^\circ C$) gick att ställa in och dessutom kunde pappersmatningshastigheten ändras inom ett brett register. På så vis kunde den önskade känsligheten på ett enkelt sätt erhållas.

När det i de kommande avsnitten talas om zoners och temperaturers svängningar eller kurvor är det alltså de temperaturkurvor som registrerats på plottern vid varje test och prov som avses. Dessa kurvor visas också för vissa test. Emellertid medger inte plotterns pappersformat att originalkurvorna återges utan dessa har omarbetats för att passa in i denna rapport. De omarbetade kurvorna har ritats upp med hjälp av programpaketet IDPAC från Institutionen för Reglerteknik.

4.3.2 Test av alla fyra värmezoner samtidigt

De första tester som utfördes gjordes på följande vis. Sprutenheten fylldes med plast och därefter värmdes cylindern upp till arbetstemperaturen för plasten ifråga. Berorande på vilken plast som användes var denna temperatur olika men oftast omkring $200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

När arbetstemperaturen uppnåtts med hjälp av PID-regulatorer inställda med Windsors standardparametrar, stängdes I- och D-delen av på sid. 210. Detta gjordes för alla fyra zonerna på en gång och dessa reglerades nu med hjälp av P-regulatorer.

P-regulatorerna ställdes nu in på värden som kunde tänkas ligga i närheten av stabilitetsgränsen för zonerna. Dessa värden togs fram mer eller mindre godtyckligt vid tidigare utförda prov av regulatorinställningen. De begynnelsevärden som P-regulatorerna ställdes in på var enligt nedan.

	Kp
Zon 1	60
Zon 2	60
Zon 3	60
Zon 4	60

Trots att processen nu endast reglerades av P-regulatorer, låg temperaturerna kvar stabilt vid bör-värdet eftersom zonerna inte utsattes för några större störningar.

En "störning" åstadkoms nu genom att höja bör-värdet med 2°C för alla fyra zonerna. En stegändring gjordes alltså och är-värdet för zonerna försökte nu ställa in sig på det nya bör-värdet. Är-värdena för zonerna svängde nu med olika amplituder och med olika periodtider. Efter ungefär 20-30 min tenderade vissa zoner, speciellt zon 1 och zon 2, att dämpas ut. Men det var mycket svårt att se om de svängningar som fanns kvar för alla zonerna var "naturliga" och berodde på störningar eller verkligen var kvarvarande instabila självsvängningar. Även efter så lång tid som 1,5 timmar var det fortfarande mycket svårt att tolka svängningarna.

Dessa svårigheter berodde på att de olika zonerna fysiskt är placerade intill varandra. Svängningar i den ena zonen kan därför överföras till den andra zonen och där antingen orsaka en svängning eller delvis dämpa ut en instabil svängning. Dessa svårigheter medförde att denna relativt snabba metod för Ziegler-Nichols-test fick överges.

4.3.3 Test av en värmezon i taget

Denna nya metod tog betydligt längre tid men blev i gengäld betydligt enklare att tolka. Metoden gick i stort sätt till på samma sätt som den förra men nu testades bara en zon i taget.

Plasten värmdes som innan upp till arbetstemperaturen kring 200°C med hjälp av PID-regulatorer inställda enligt Windsor. Den zon som skulle testas ställdes in på ett börvärde 2° under de övriga zonerna. När temperaturerna stabiliserat sig stängdes I- och D-del av på den zon som skulle testas. De övriga zonerna fortsatte att regleras av PID-regulatorer.

Den zon som testades gavs från början ett lågt K_p -värde. En stegändring gjordes för denna zon om $+2^\circ\text{C}$ upp till de övriga zonernas börvärde. På så vis stördes inte den testade zonen av omkringliggande zoner. Om den testade zonens svängningar dämpades ut höjdes K_p -värdet för denna med 10 enheter. Därefter höjdes de omkringliggande zonernas börvärde $+2^\circ\text{C}$ och ett nytt test kunde göras med en ny K_p -inställning.

Detta förfarande upprepades tills den testade zonen uppvisade en kvarvarande svängning med konstant amplitud. $K_{p\max}$ sattes då till 5 enheter under inställningen för självsvängningen d.v.s. $K_{p\max}$ sattes till medelvärdet av de två senaste inställningarna av K_p .

Denna noggrannhet ansågs vara tillräcklig eftersom Ziegler-Nichols metod endast är en grov tumregel för regulatorinställningen. När en zon hade testats klart gjordes förfarandet om med nästa zon o.s.v.

Det skall påpekas att processen är mycket långsam. Ibland tog det upp emot 1,5 timmar innan det gick att uttyda på plottern om zonen självsvängde eller dämpades ut. Detta medförde att arbetet tog mycket lång tid. För två zoner, zon 2 och 3, visade det sig vid kontroll att $K_{p\max}$ från början satts alldeles för högt. Testen för dessa zoner fick därför göras om.

4.3.4 Resultat av Ziegler-Nichols test

Efterhand som testen av zonerna fortskred framträdde alltmer en bild av vilken förstärkning de olika zonerna krävde. Zon 1 är den zon som kräver störst förstärkning och sedan avtar förstärkningen undan för undan för zonerna 2, 3 och 4. Resultatet för de olika zonerna redovisas här nedan.

Zon 1: Denna zon visade sig behöva den största förstärkningen. Detta beror på zonens relativt lilla massa och dess oisolerade mantelyta vilket ger snabb avkylningshastighet, se kap. 3.6. $K_{p\max}$ sattes till slut till 175. Alltså blir då den optimala inställningen:

$$K_p = 0.6 \cdot 175 = 105$$

Zon 2: Zon 2 har den näst största förstärkningen men den är dock bara ungefär hälften av vad zon 1 har. Zonen är relativt kort och dess mantelyta isolerad. $K_{p\max} = 95$. Optimal inställning:

$$K_p = 0.6 \cdot 95 = 57$$

Zon 3: Denna zon avviker mest från de andra i beteende beroende på sin stora massa. Detta ger en mycket "trög" zon med stor inneboende värmemängd med långsam avsvälning, se kap. 3.6. $K_{p\max} = 75$.

Optimal inställning:

$$K_p = 0.6 \cdot 75 = 45$$

Zon 4: Zonen påminner om zon 2 i beteende men har lägre förstärkning. Zonen är relativt lång och dess mantelyta isolerad. $K_{p\max} = 55$.

Optimal inställning:

$$K_p = 0.6 \cdot 55 = 33$$

Figurerna på de följande sidorna, fig. 4.4 - 4.11, visar de omarbetade kurvornas utseende för de olika zonerna. För varje zon visas dels hur zonen beter sig med en inställning just under instabilitetsgränsen och dels med en inställning just över instabilitetsgränsen. Medelvärden av dessa båda inställningar ger K_{pmax} för respektive zon. Figurerna visar tydligt att för respektive zon så ger de övre värdena en kvarstående instabil svängning och de undre värdena ger en utdöende svängning.

Zon 1.P-Regulator med KP=170.Svängningen dör ut efter ungefär 25 min.

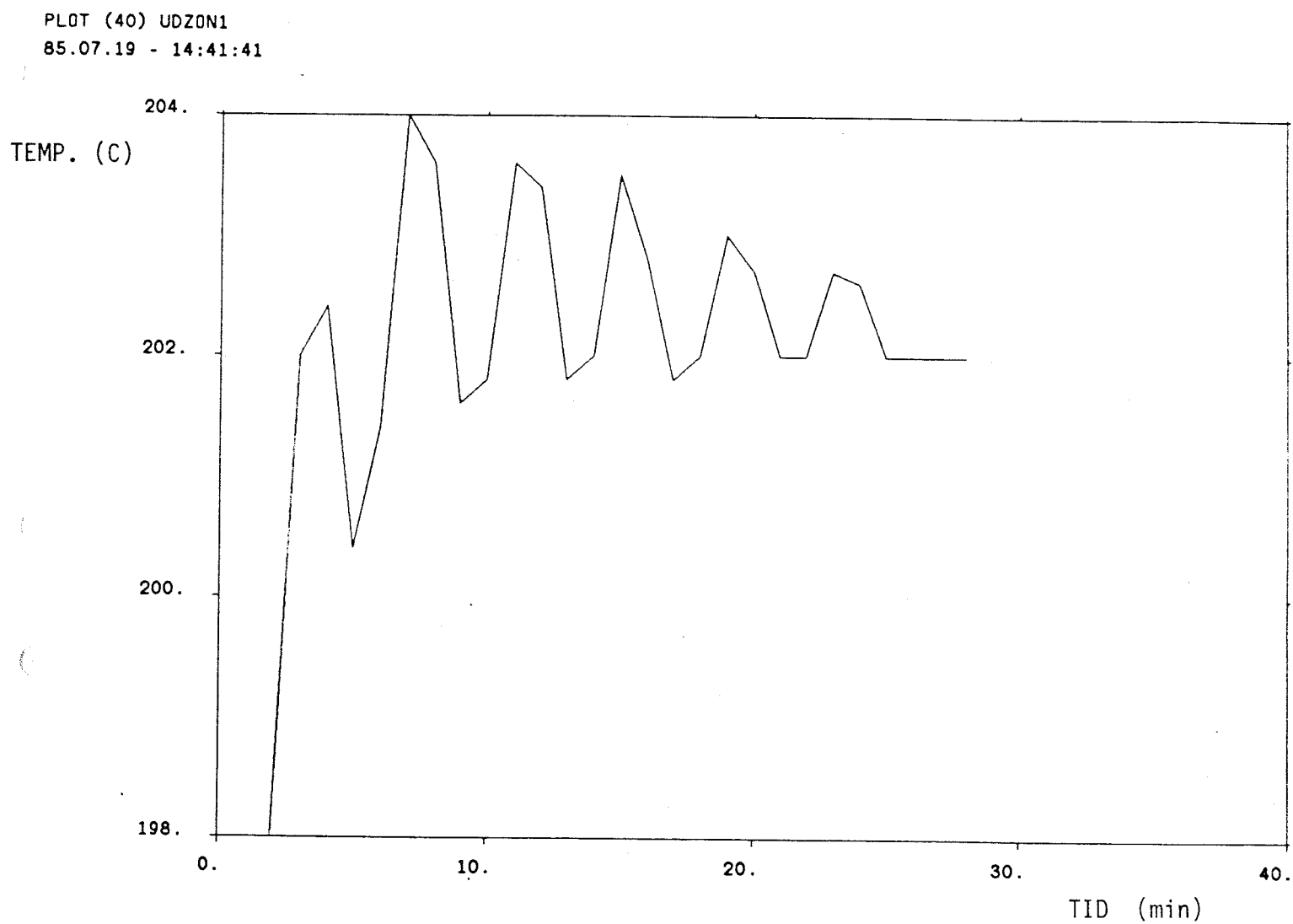


FIG. 4.4

Zon 1.P-Regulator med KP=180.Svänger med konstant amplitud.

PLOT (40) USZ0N1

5.07.19 - 14:42:54

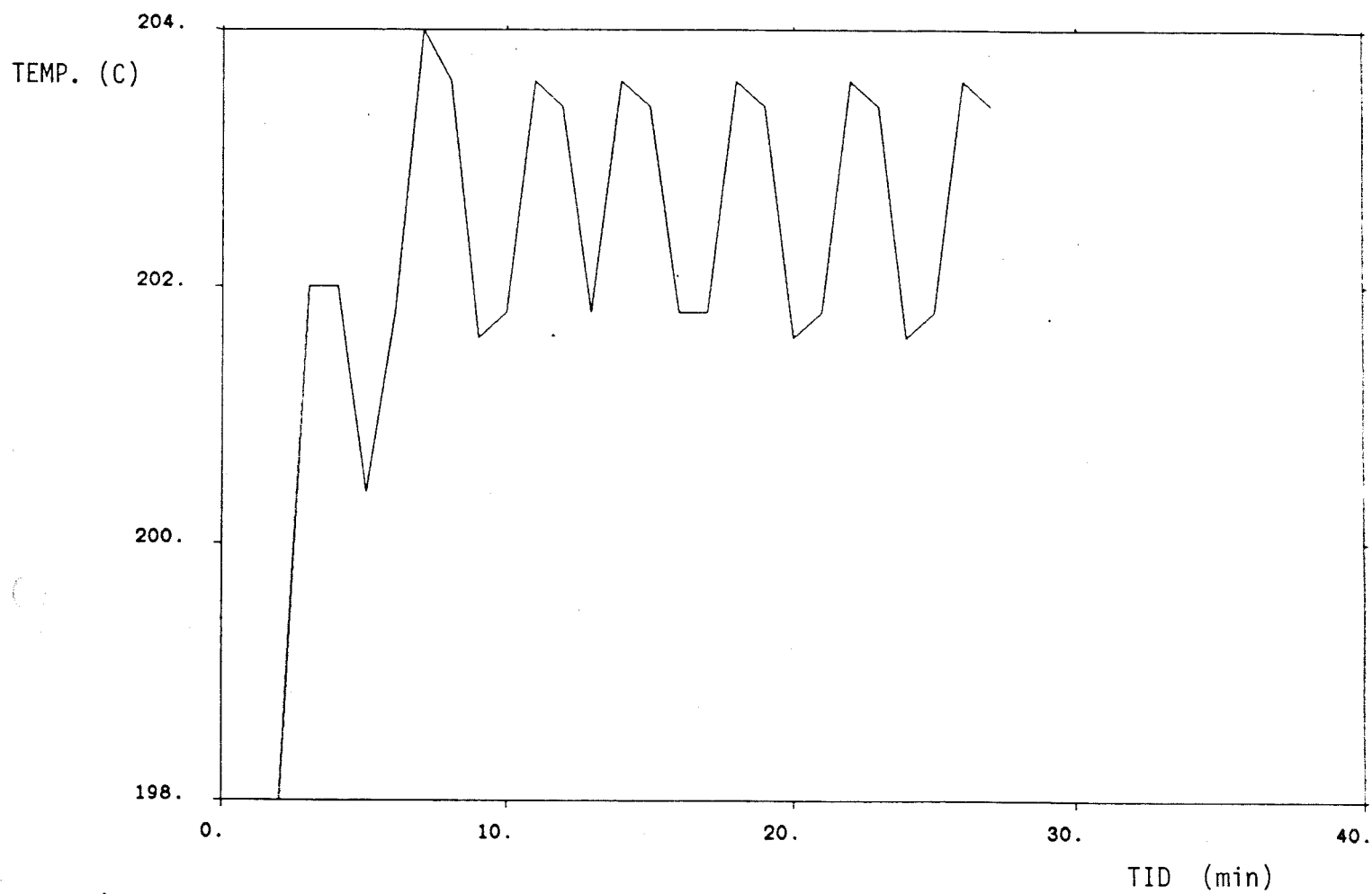


FIG. 4.5

Zon 2.P-Regulator med KP=90.Svängningen dör ut efter ungefär 40 min.

PLOT (50) USZON2
15.07.19 - 14:44:03

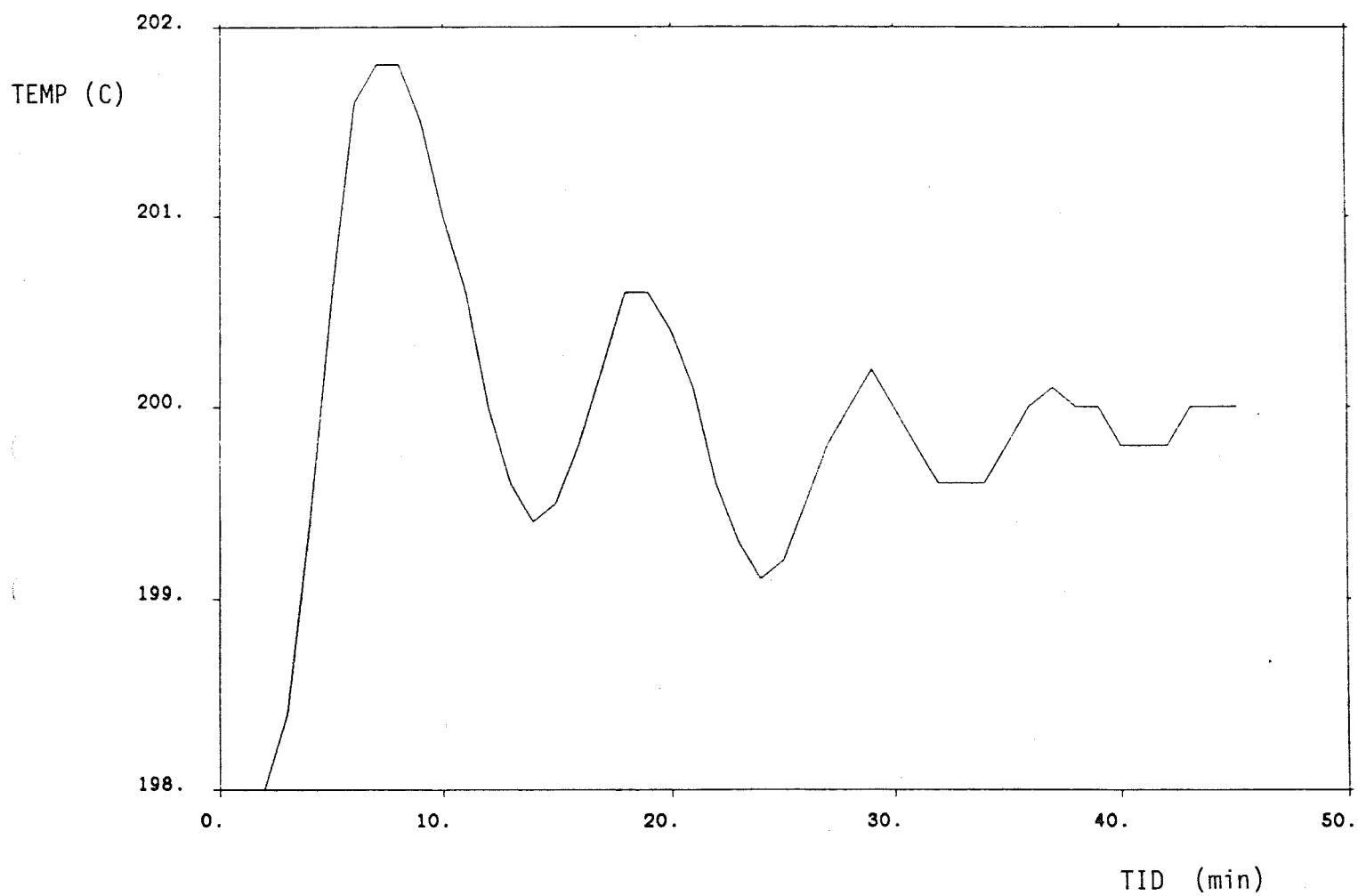


FIG. 4.6

Zon 2.P-Regulator med KP=100.Svänger med konstant amplitud.

PLOT (50) UDZON2
25.07.19 - 14:43:38

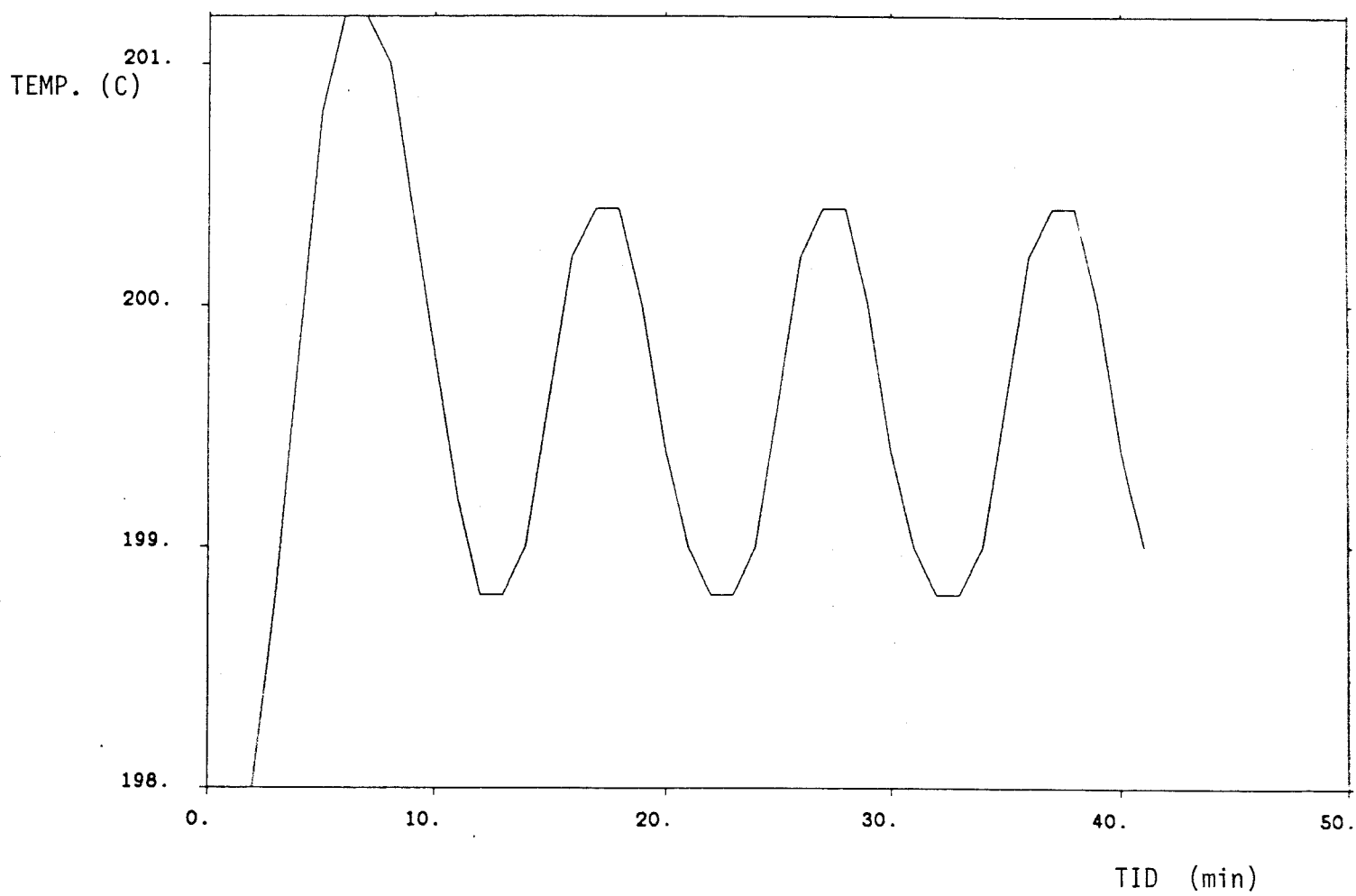


FIG. 4.7

Zon3.P-Regulator med KP=70.Svängningen dör ut efter ungefär 80 min.

PLOT UDZON3
85.07.19 - 14:44:26

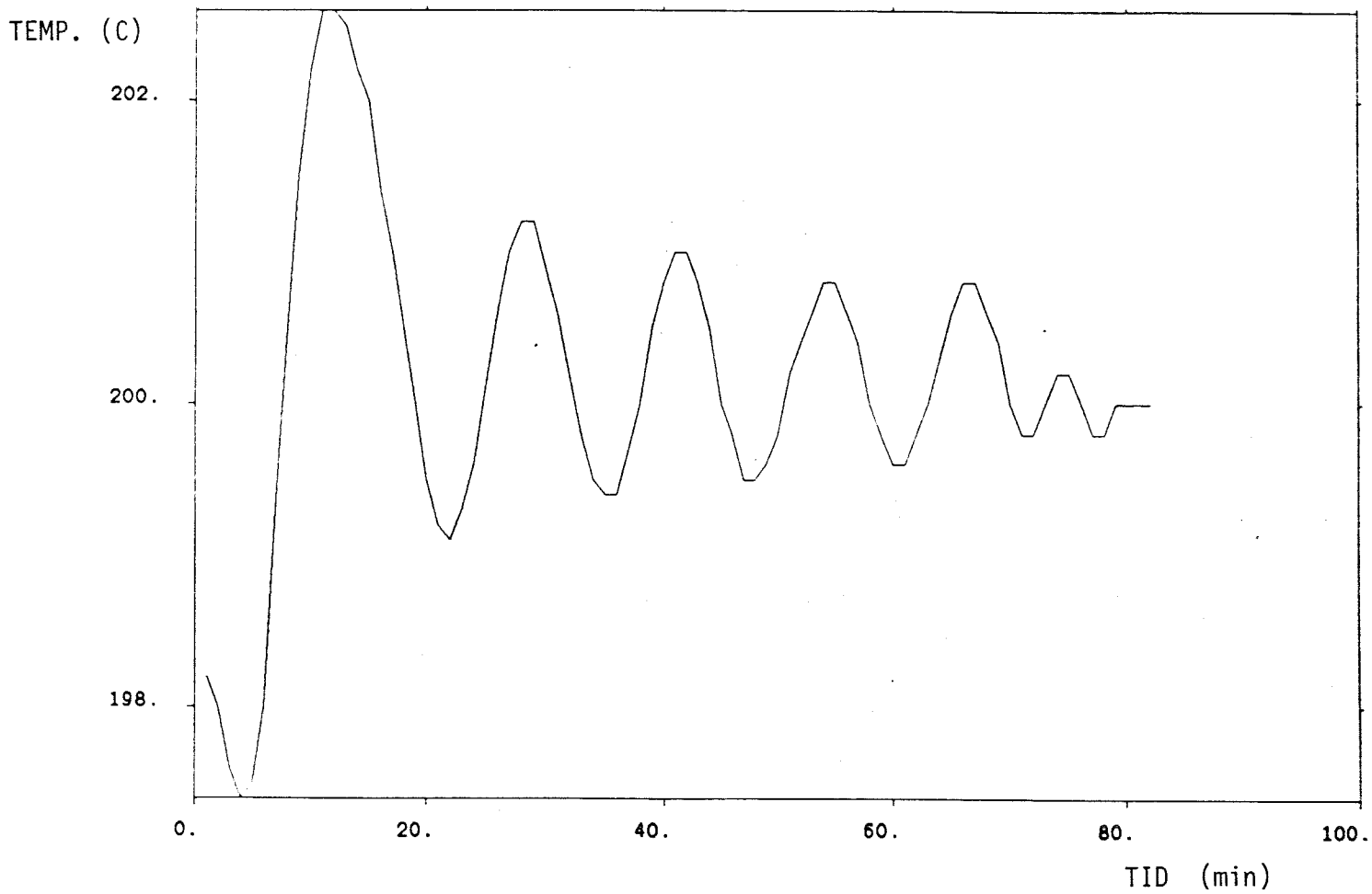


FIG. 4.8

Zon 3.P-Regulator med KP=80.Svänger med konstant amplitud.

PLOT USZ0N3

5.07.19 - 14:44:48

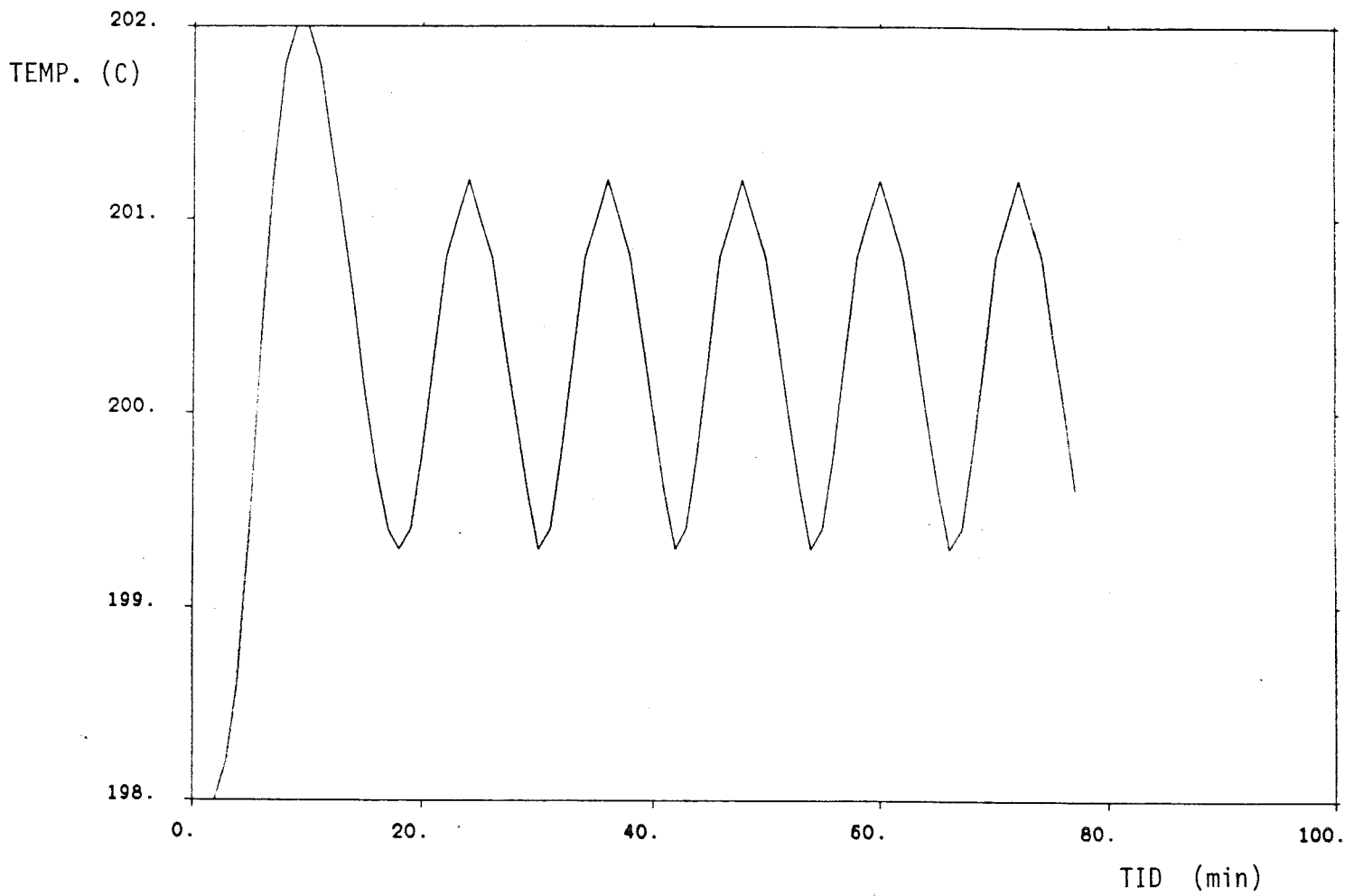


FIG 4.9

Zon 4.P-Regulator med KP=50.Svängningen dör ut efter ungefär 70 min.

PLOT UDZON4
95.07.19 - 14:45:11

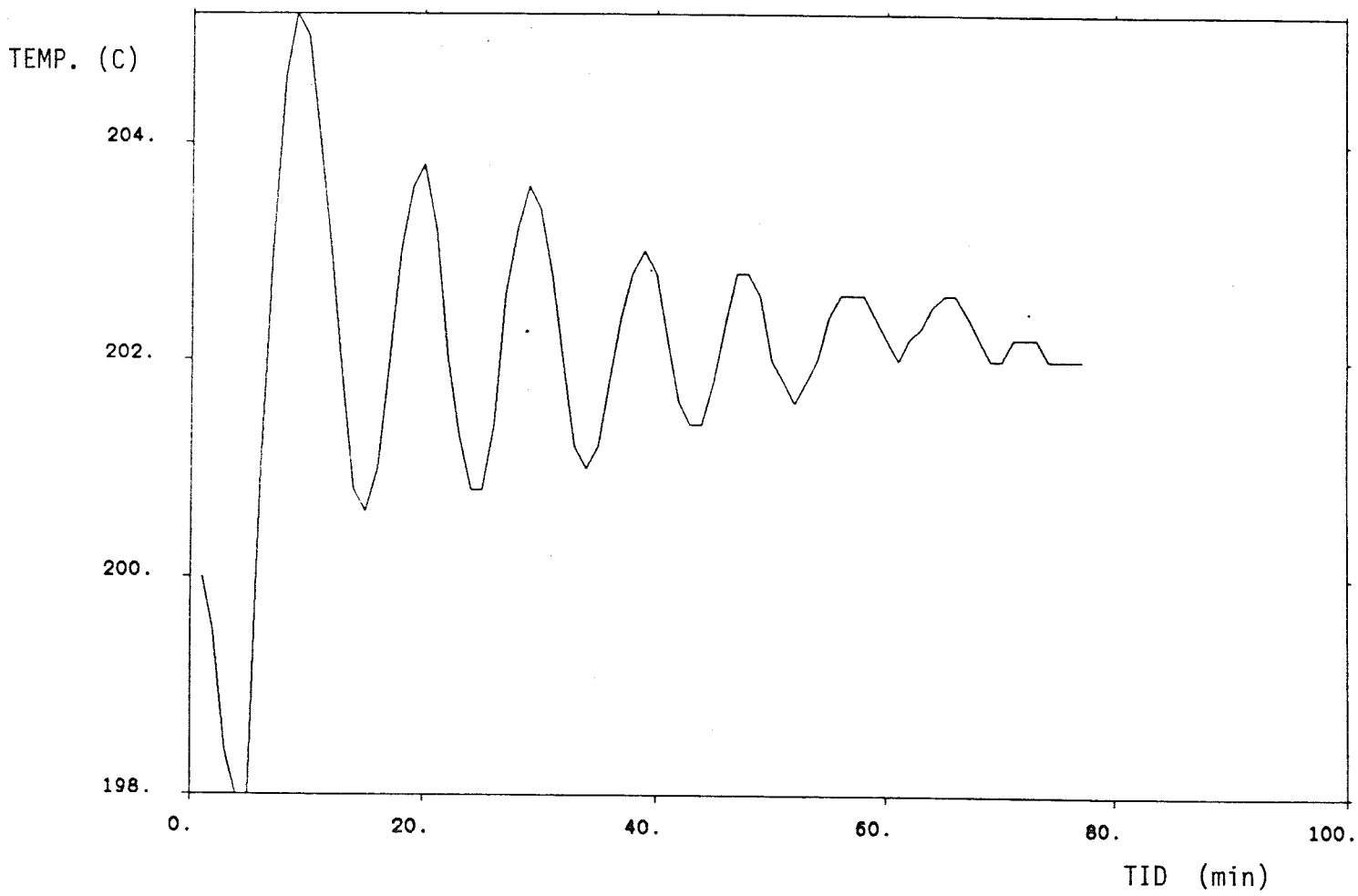


FIG 4.10

Zon 4.P-Regulator med KP=60.Svänger med konstant amplitud.

PLOT (80) USZ0N4
95.07.19 - 14:45:45

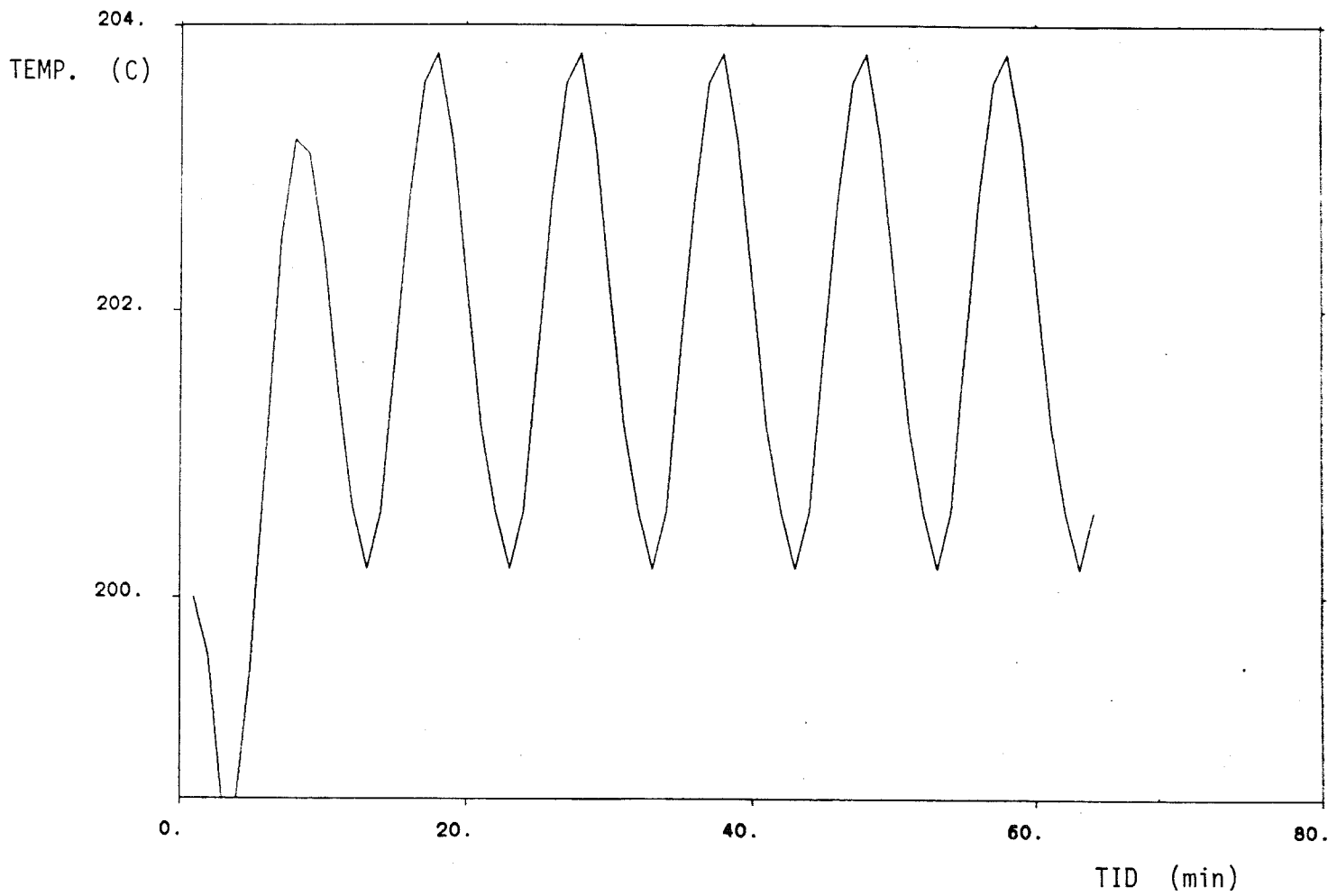


FIG. 4.11

Sammanfattning

	Kpmax	Optimal inställning = Kp
Zon 1	175	105
Zon 2	95	57
Zon 3	75	45
Zon 4	55	33

Periodtiderna för självsvängningarna, T_p , blev för de olika zonerna enligt följande.

	T_p (min)
Zon 1	4.875
Zon 2	9.25
Zon 3	12.15
Zon 4	9.15

4.3.5 Övrigt

Under testets gång ändrades I- och D-delarna på de zoner som inte testades. Detta gav en alltmer ökande insikt i hur dessa parametrar skulle ställas in. Emellertid rörde detta sig bara om gissningar, om än kvalificerade sådana, men den erfarenhet som härvid inhämtades skulle sedan i kombination med uppstartsprov och stegprov, se kap. 6 och 7 visa sig värdefull.

Resultaten av dessa ändringar av I- och D-delarna blev att KKD-delen av derivatadelen kunde fastläggas. Denna parameter är ju bara grovinställningen av D-delen och denna blev för de olika zonerna enligt nedan.

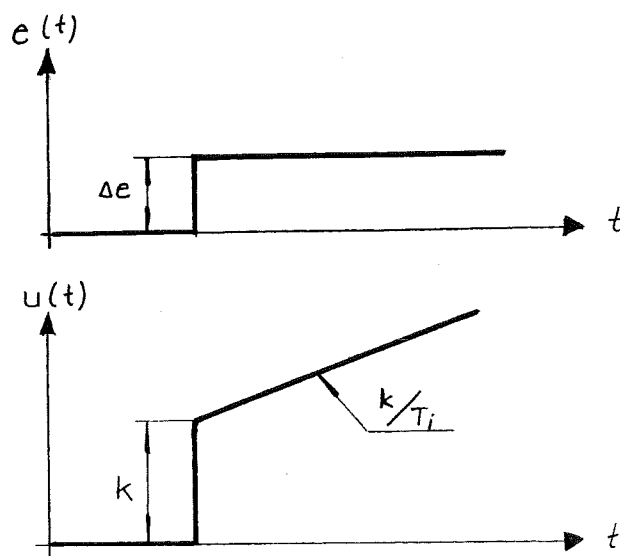
	KKD
Zon 1	2
Zon 2	3
Zon 3	4
Zon 4	2

5. TEST AV REGULATORN UTAN ATT PROCESSEN ÄR INKOPPLAD

I detta kapitel görs försök att påvisa regulatorns uppbyggnad samt samband mellan datorns parametrar K_P , K_D , K_I och reglerteorins parametrar K , T_D och T_I . Windsor har hittills inte gett någon information om detta och kommer kanske aldrig att göra det heller. Resultaten från detta kapitel kan därför vara nyttiga för det framtida arbetet med formsprutan.

5.1 Test PI-regulator - Teori

Vid ett steg i felet e där felvärdet sedan hålls konstant skall styrsignalen för en vanlig PI-regulator uppföra sig enligt nedanstående figur.



Fig, 5.1 Felsignal och styrsignal med PI-regulator

I styrsignalen kan man utläsa förstärkningen K samt lutningen K/T_I . Genom att utföra försöket med olika värden på K_P och T_I kan man utläsa om regleralgoritmen är uppbyggd enl. ekv. 3.1 med förstärkningen K utanför parantesen, eller enl. ekv. 3.2. Enklarest är att behålla värdet på K_I och bara ändra på K_P . Ändrar sig då lutningen i styrsignalen innebär det att K påverkar hela parantesen som i ekv. 3.1.

5.2 Försöksuppsättning

För att erhålla en konstant felsignal isolerar vi regulatorn i zon 1 genom att koppla ifrån processen och ge regulatorn mätvärdet y från ett likspänningsaggregat. Steget görs sedan genom en ändring av bör-värdet på sid. 10 i datorn.

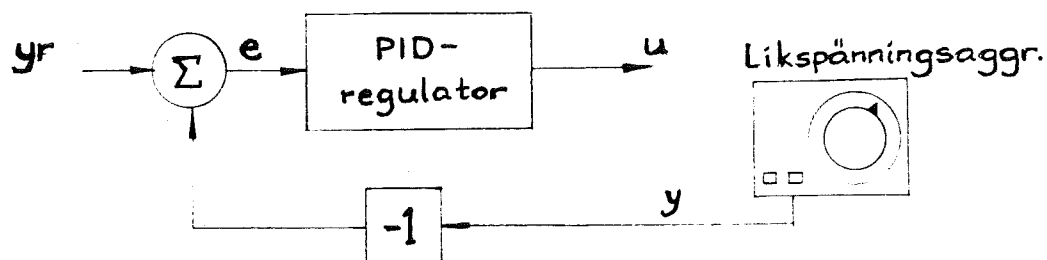


Fig. 5.2 Försöksuppsättning

Styrsignalen avläses på sid. 10 i datorn var 5:e sekund.

5.3 Utvärdering av kurvor - PI-regulator

Efter att ha plottat styrsignalen upptäcktes att denna inte uppförde sig som väntat. Som kan ses i fig. 5.3 stiger styrsignalen sakta upp i en båge tills den går över i en konstant lutning. Den borde egentligen uppfört sig som i fig. 5.1.

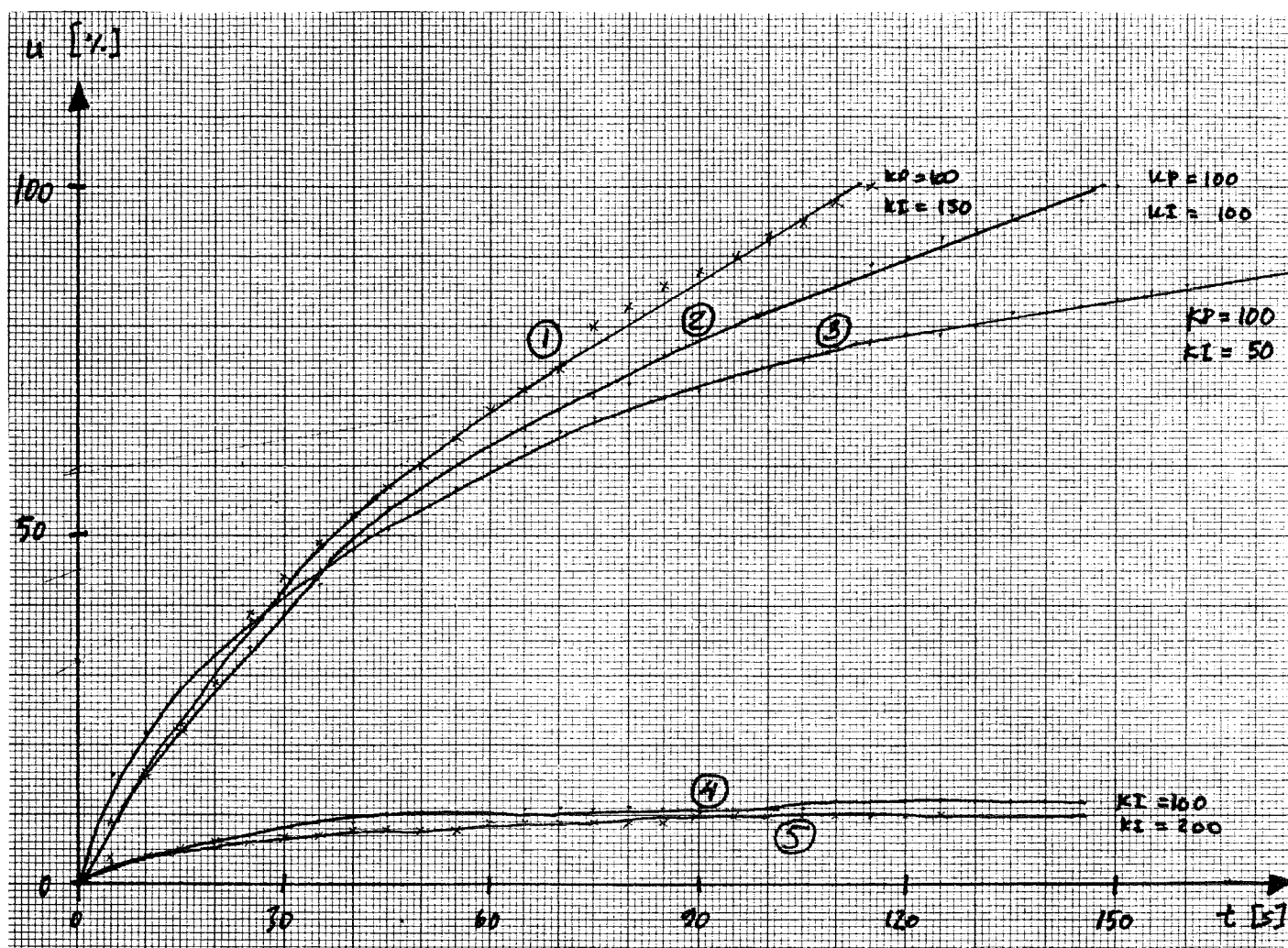


Fig. 5.3 Styrsignal som fkn av tiden

Kurva 1: $K_P = 100$, $K_I = 150$, $\Delta e = 5^\circ\text{C}$

2: $K_P = 100$, $K_I = 100$, $\Delta e = 5^\circ\text{C}$

3: $K_P = 100$, $K_I = 50$, $\Delta e = 5^\circ\text{C}$

4: $K_P = 0$, $K_I = 100$, $\Delta e = 5^\circ\text{C}$

5: $K_P = 0$, $K_I = 200$, $\Delta e = 5^\circ\text{C}$

För kurva 1-3 har K_P samma värde, medan K_I varierar.

Styrsignalen dämpad

Styrsignalens uppförande beror på någon slags dämpning. Detta kan man också se vid uppstart av cylindervärmen. Då dröjer det ett tag innan styrsignalen når 100%. Men är dämpningen placerad innanför eller utanför regulatorloopen?

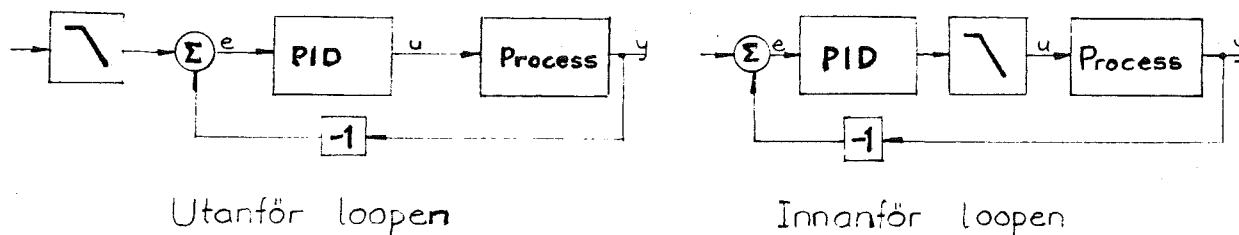


Fig. 5.4 Dämpningens placering

För att komma underfund med detta, görs ett steg med både bör-värdet och är-värdet. Ser då kurvorna lika ut, ligger dämpningen inne i loopen och verkar på felet. Annars ligger den utanför loopen och verkar på bör-värdet.

I fig. 5.5 kan man se att det inte spelar någon roll hur steget görs. De heldragna kurvorna visar styrsignalen då steget görs med bör-värdet. Kryssen i närheten av kurvorna visar styrsignalen då steget istället görs med är-värdet. Kryssen följer nästan exakt de heldragna kurvorna.

Alltså: Dämpningen ligger innanför loopen.

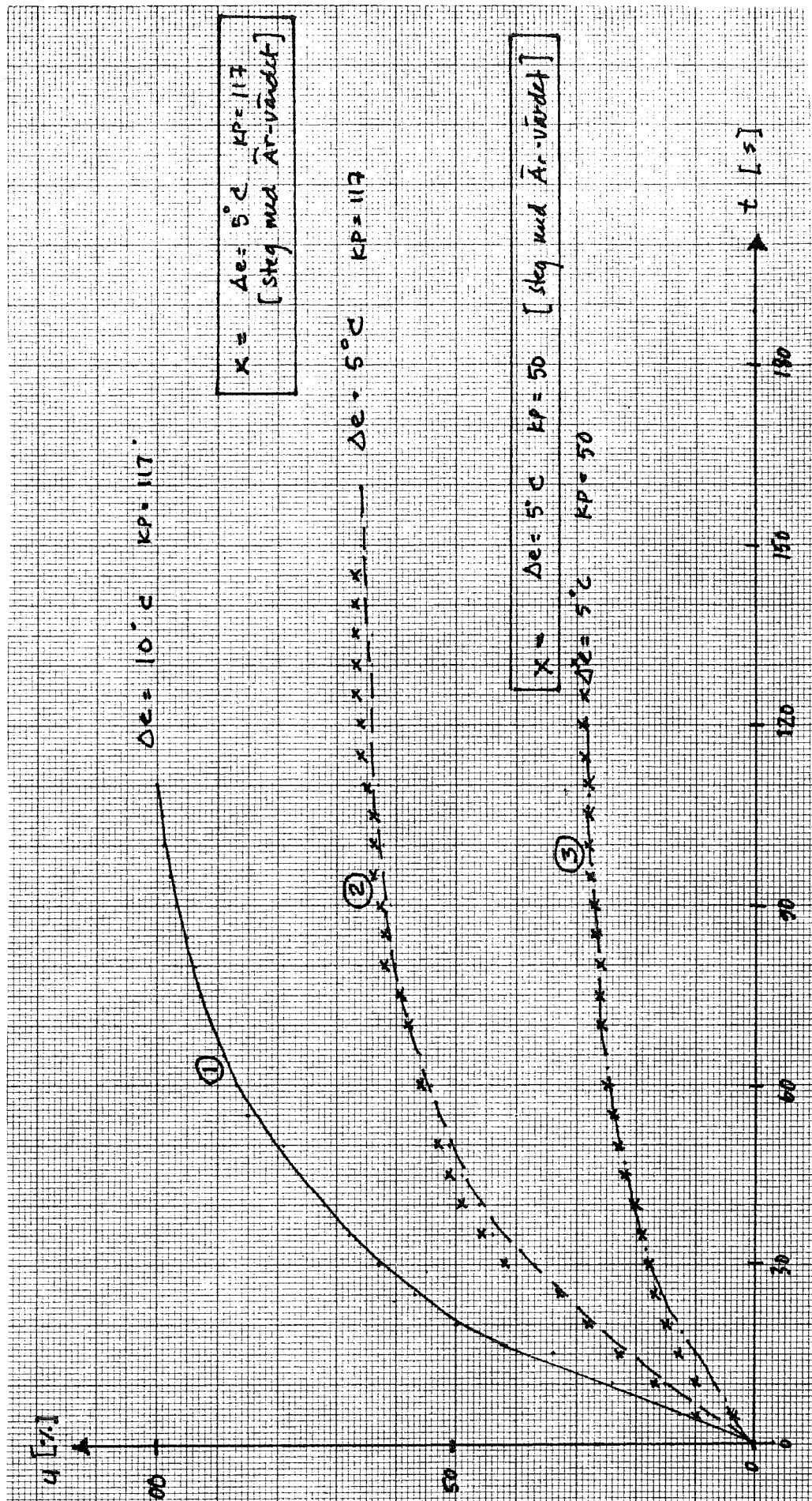


Fig. 5.5 Styrsignal som fkn av tiden

Kurva 1: $K_P = 117$, $K_I = K_D = 0$, $\Delta e = 10^\circ\text{C}$

2: $K_P = 117$, $K_I = K_D = 0$, $\Delta e = 5^\circ\text{C}$

3: $K_P = 50$, $K_I = K_D = 0$, $\Delta e = 5^\circ\text{C}$

För att få en uppfattning om hur dämpningen är konstruerad gör vi ett uppstartsprov. Detta kan ses i fig. 5.6 nedan. Tidskonstanten (upp till 63% styrsignal) för dämpningen är ca 30 sekunder. Detta kan även ses i fig. 5.5. Att döma av kurvans utseende så bör dämpningen vara konstruerad som ett enkelt lågpasfilter. Några fler undersökningar av dämpningens konstruktion görs ej.

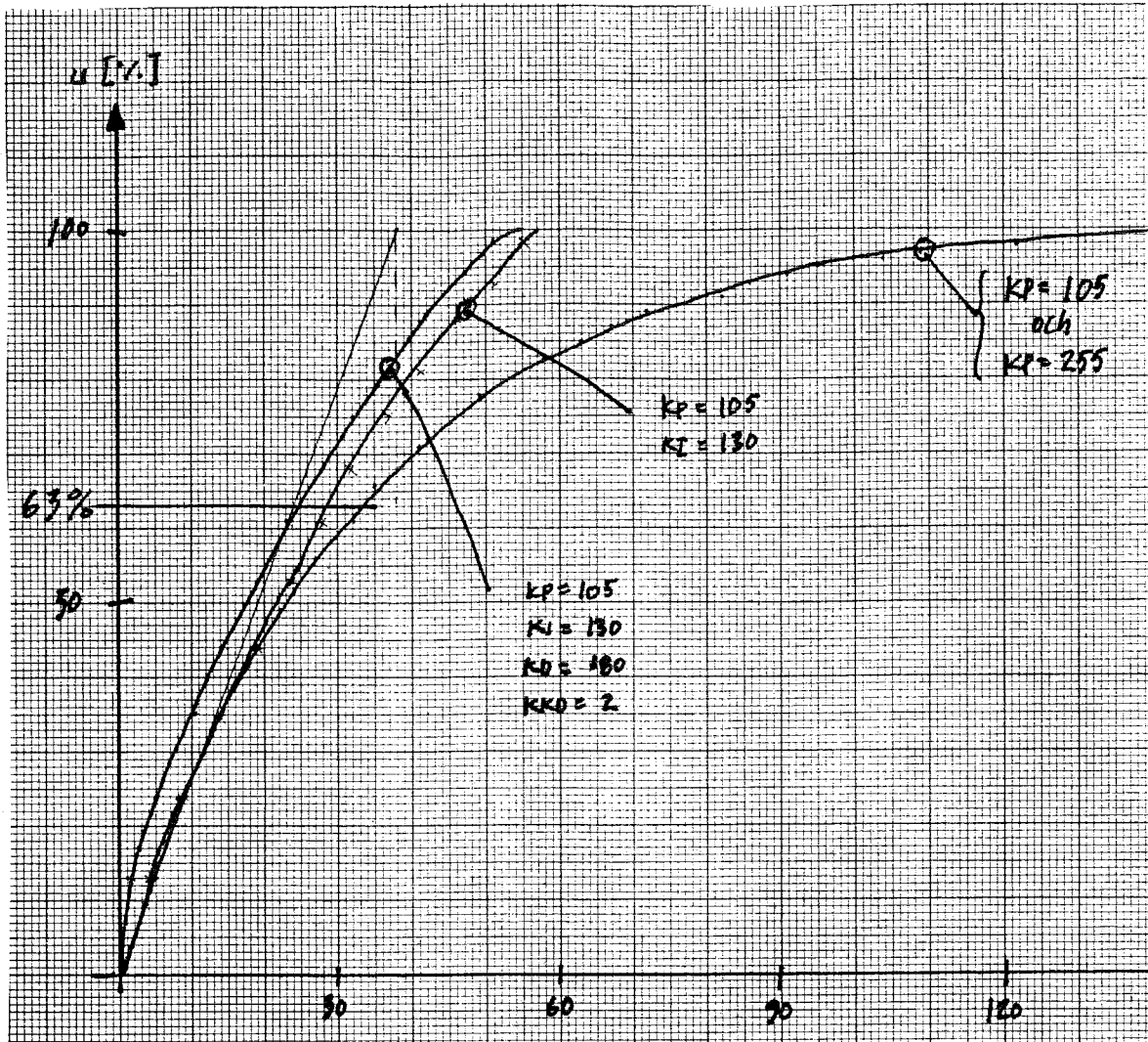


Fig. 5.6 Uppstartsprov, styrsignal som fkn av tiden.

Hur ser regulatoralgoritmen ut?

I de följande figurerna (fig. 5.7 - 5.11) visas kurvor för några olika regulatorinställningar. Genom att utföra försöken med några olika inställningar av KP och KI kan vi få fram en grund för en jämförelse mellan två olika regulatoruppbyggnader. Genom att räkna fram två lutningskonstanter, den första för en regulatoralgoritm enligt ekv. 3.1 och den andra enligt ekv. 3.2, och sedan jämföra den verkliga lutningen i figurerna med den beräknade lutningen enligt lutningskonstanterna kan algoritmens uppbyggnad bestämmas.

I figuren är det alltså den konstanta lutningen som efterfrågas, ej lutningen orsakad av dämpningen. Av denna orsak kan vi endast använda de styrsignal-kurvor som utförts med det konstanta felet 5°C.

Ur fig. 5.11 fås lutningen $l=0,40\%$ för kurvan med $KP=117$, $KI=100$ och felet 5°C.

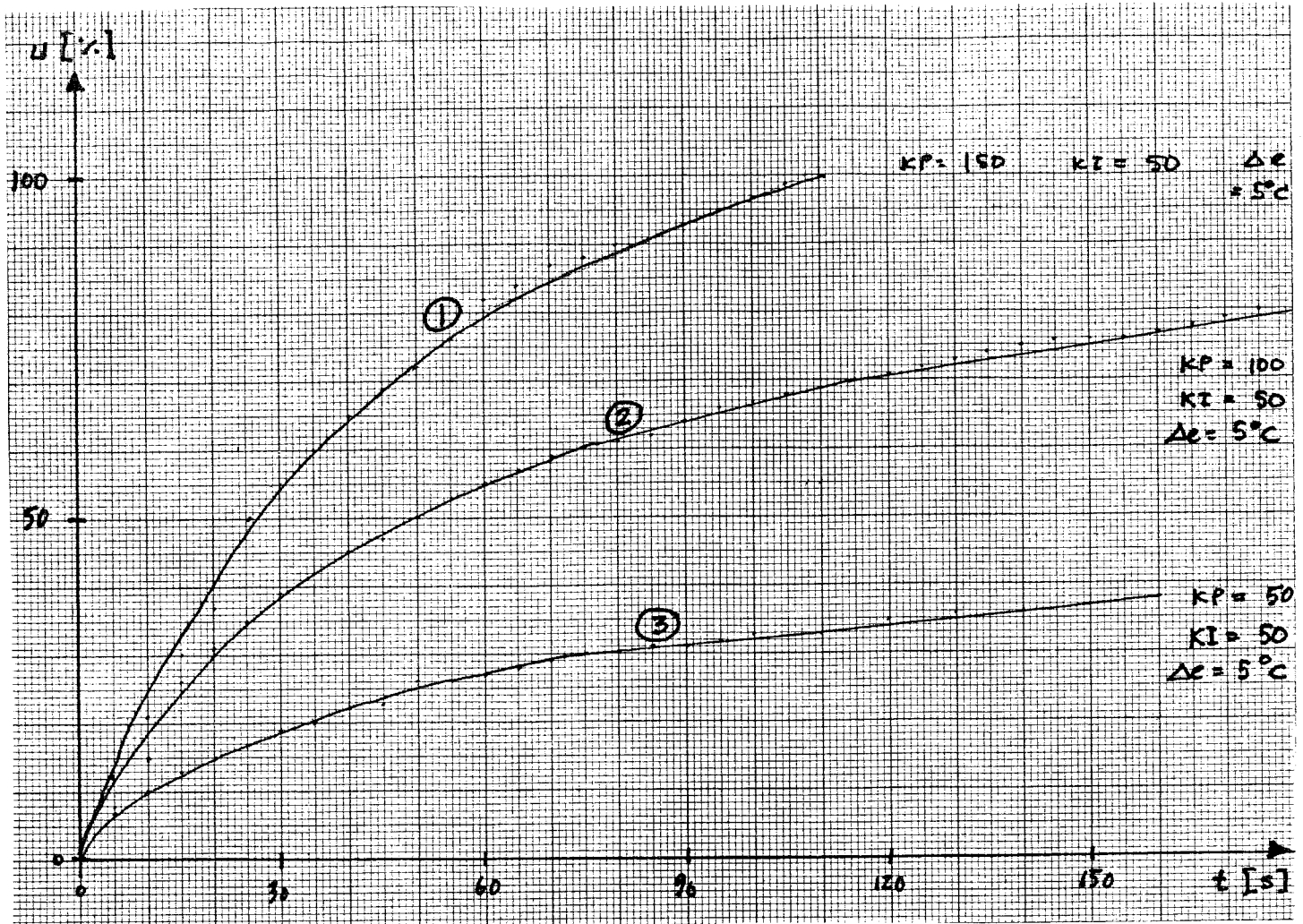


Fig. 5.7 Styrsignal som fkn av tiden

Kurva 1: $K_P = 150$, $K_I = 50$

2: $K_P = 100$, $K_I = 50$

3: $K_P = 50$, $K_I = 50$

För dessa kurvor gäller att K_I har samma värde medan K_P varieras.

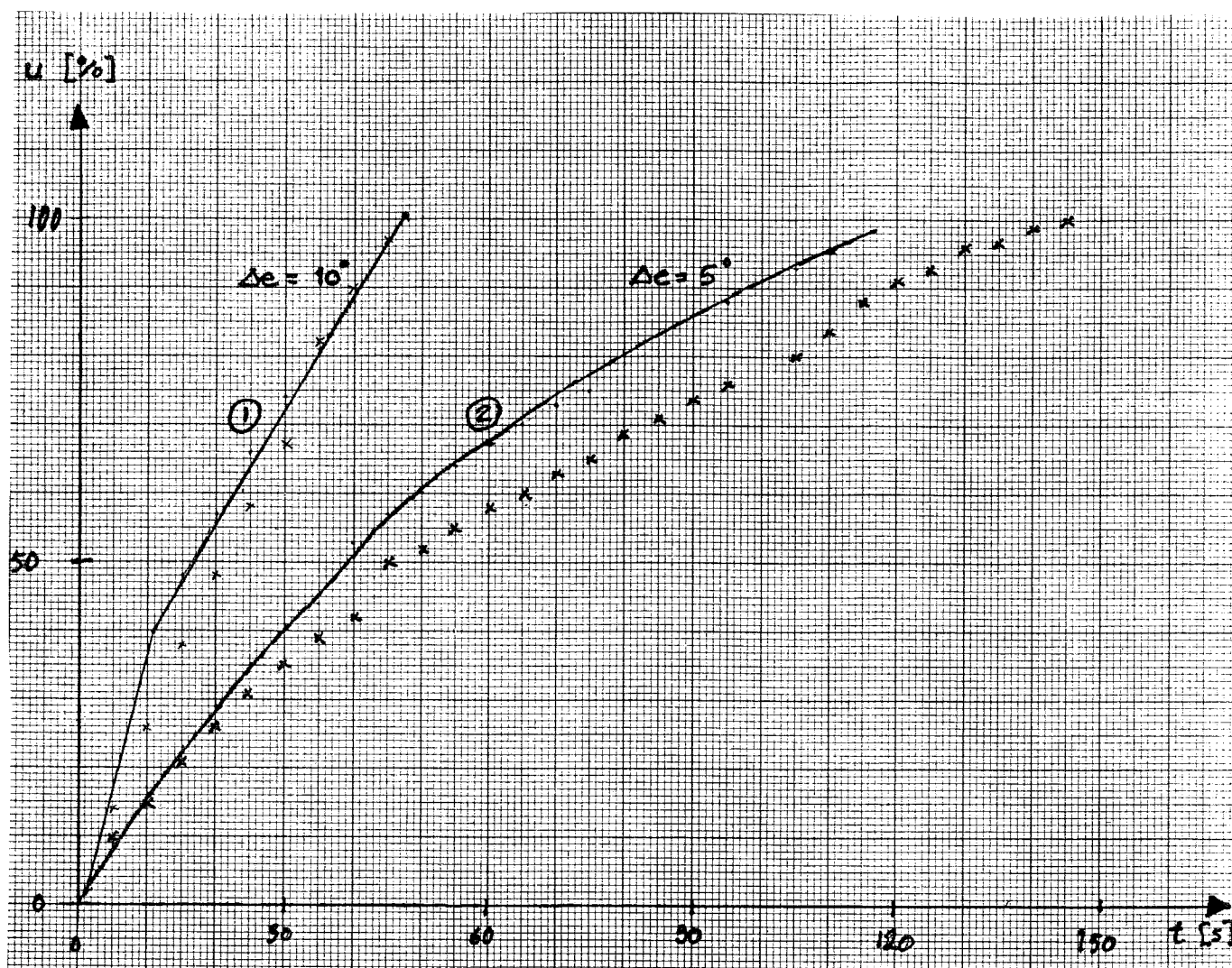


Fig. 5.8 Styrsignal som fkn av tiden.

Kurva 1: $K_P = 117$, $K_I = 150$, $\Delta e = 10^\circ\text{C}$

2: $K_P = 117$, $K_I = 150$, $\Delta e = 5^\circ\text{C}$

Kurvorna med kryssen är utförda med ärvärdes-steg. Krysskurvan för $\Delta e = 5^\circ\text{C}$ avviker lite från den heldragna kurvan. Detta beror på att samma storlek på felet Δe ej har uppnåtts.

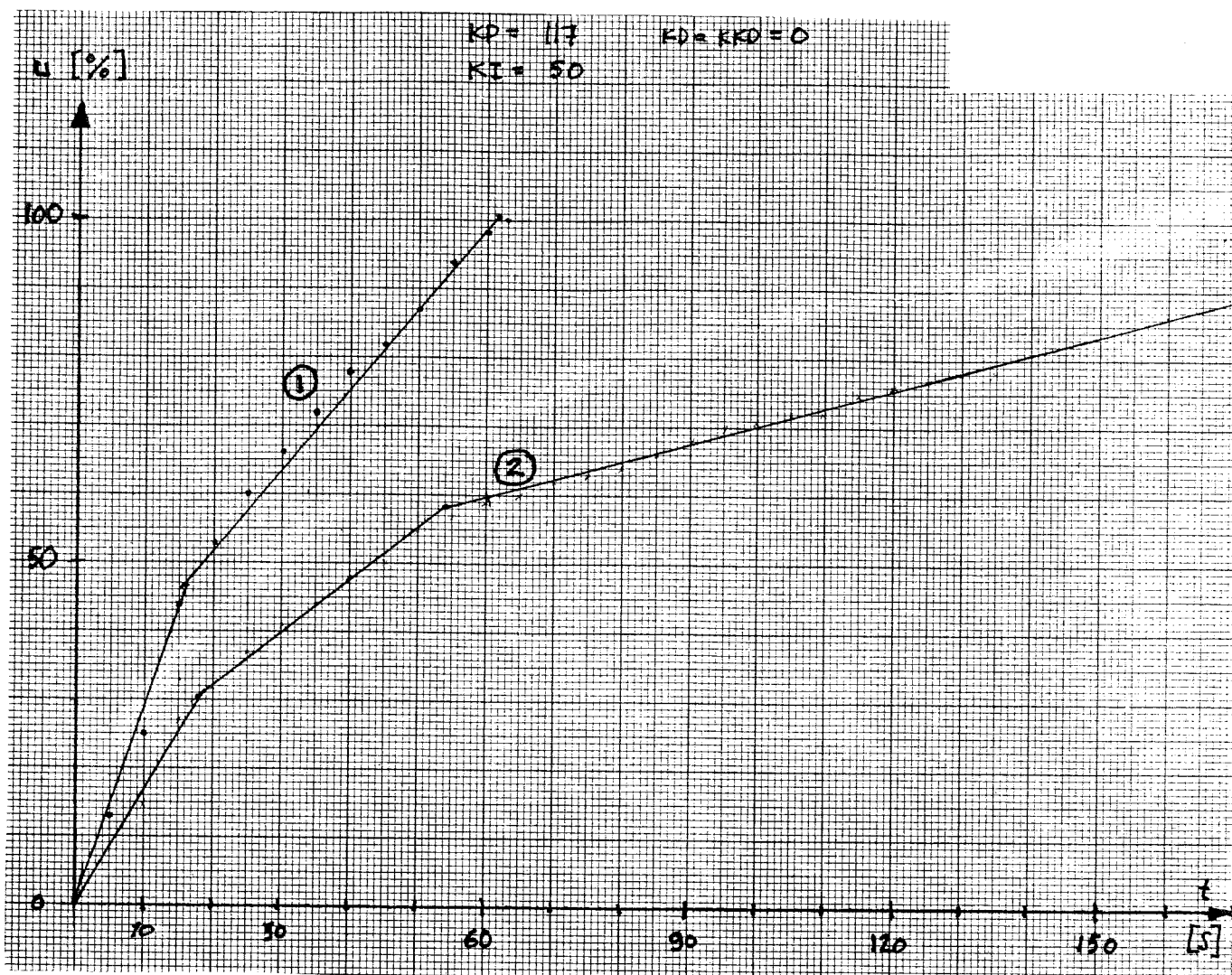


Fig. 5.9 Styrsignal som fkn av tiden.

Kurva 1: $K_P = 117$, $K_I = 50$, $\Delta e = 10^\circ\text{C}$

2: $K_P = 117$, $K_I = 50$, $\Delta e = 5^\circ\text{C}$

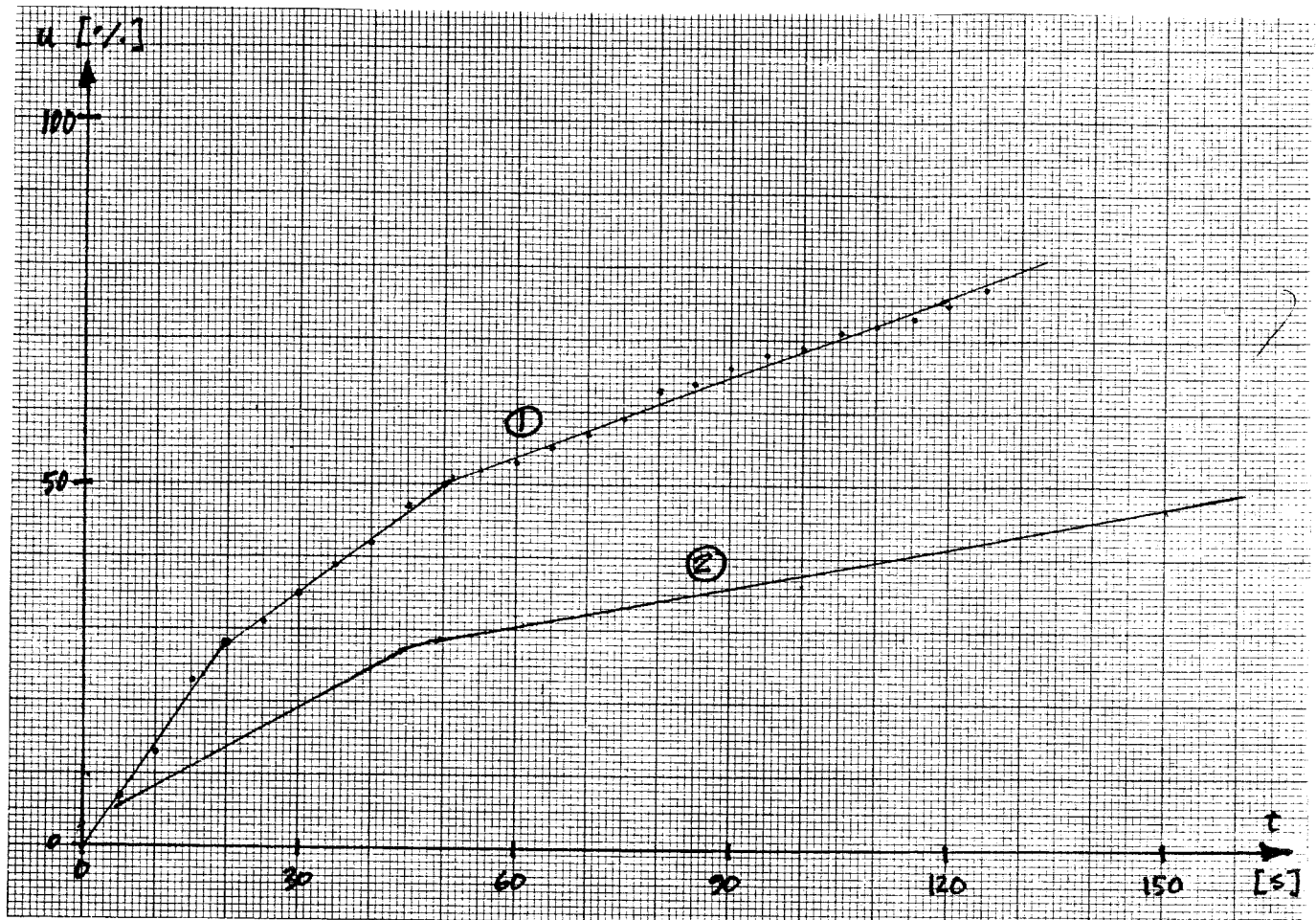


Fig. 5.10 Styrsignal som fkn av tiden.

Kurva 1: $K_P = 50$, $K_I = 100$, $\Delta e = 10^\circ\text{C}$

2: $K_P = 50$, $K_I = 100$, $\Delta e = 5^\circ\text{C}$

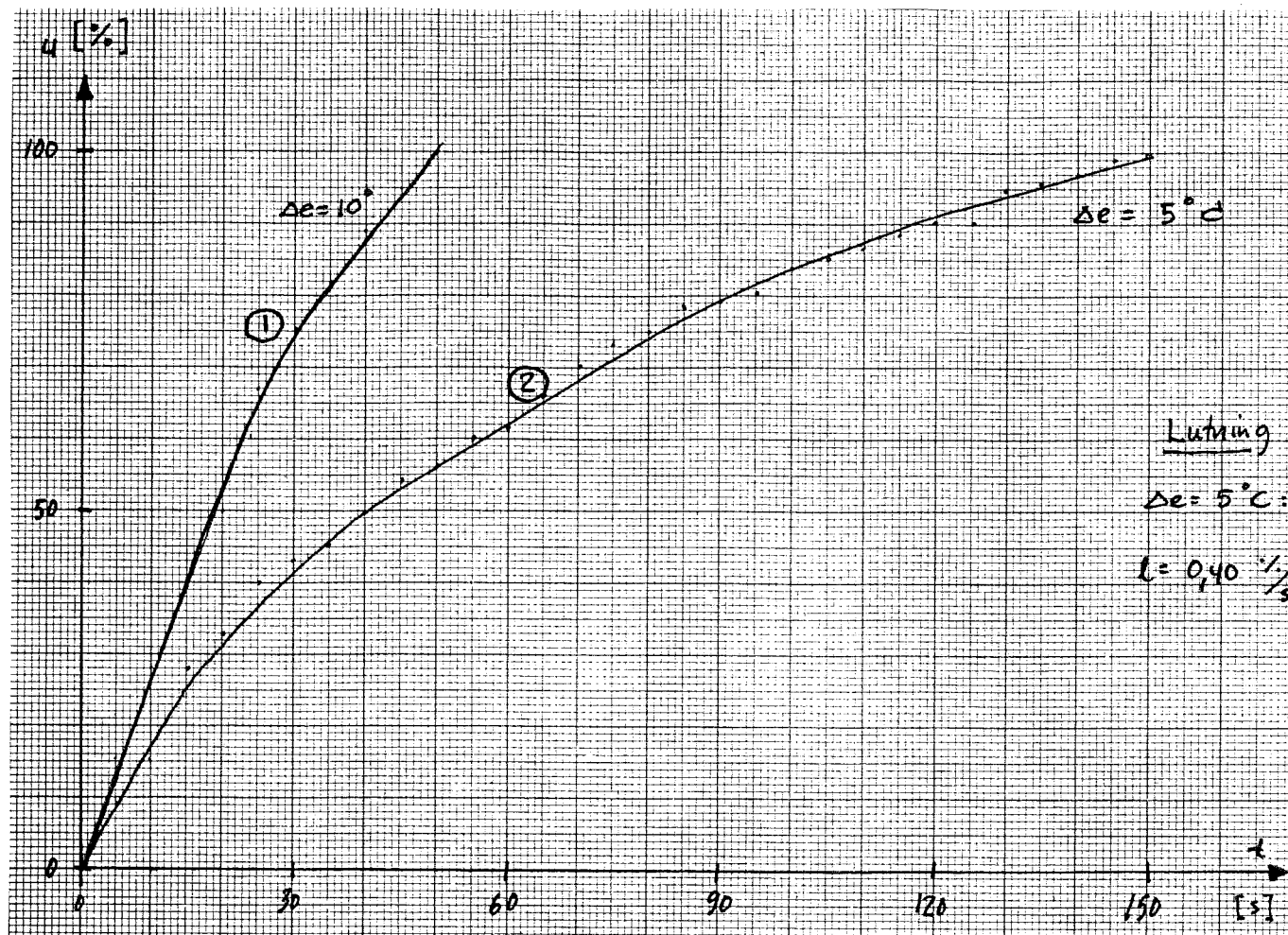


Fig. 5.11 Styrsignal som fkn av tiden.

Kurva 1: $K_P = 117$, $K_I = 100$, $\Delta e = 10^\circ\text{C}$

2: $K_P = 117$, $K_I = 100$, $\Delta e = 5^\circ\text{C}$

Lutningskonstanter:

1. K står utanför parantesen som i ekv. 3.1.

$$\begin{aligned} \text{Lutning} &= \text{konstant} \cdot K_P \cdot K_I \\ 0,40 &= x_1 \cdot 117 \cdot 100 & x_1 &= 3,419 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$$

2- K verkar endast på P-delen som i ekv. 3.2.

$$\begin{aligned} \text{Lutning} &= \text{konstant} \cdot K_I \\ 0,40 &= x_2 \cdot 100 & x_2 &= 4 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Tabell 5.1

Nr	KP	KI	Fel e	Verklig lutning	Lutning x_1	Lutning x_2
1	100	50	5°C	0,19 %/s	0,171	0,200
2	50	50	5°C	0,09 %/s	0,085	0,200
3	100	100	5°C	0,37 %/s	0,342	0,400
4	100	150	5°C	0,61 %/s	0,513	0,600
5	50	100	5°C	0,18 %/s	0,171	0,400
6	117	50	5°C	0,26 %/s	0,200	0,200

I tabellen ligger lutning x_1 närmast den verkliga lutningen. Alltså bör förstärkningen K ligga utanför parantesen och därmed ha inverkan på I-delen.

Men i fortsättningen antages att algoritmen ser ut enligt alternativ 1.

5.4 Test med endast D-delen inkopplad

I kap. 3 har tidigare nämnts att D-delen antingen kan verka på felet eller på mät-signalen.

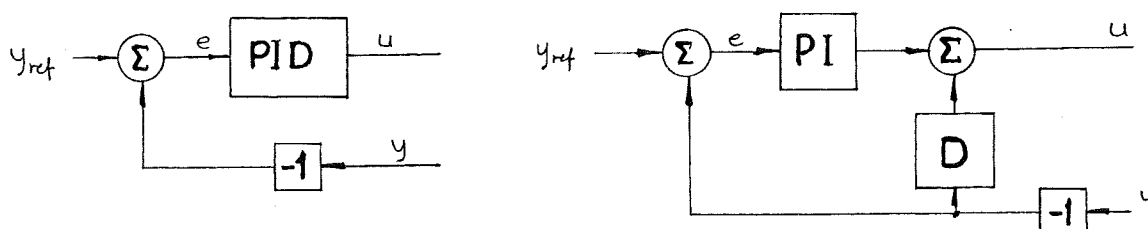


Fig. 5.12 D-delens placering

För att utröna hur D-delen är placerad sättes K_P och K_I till 0. Därefter görs ett steg och styrsignalen studeras. Om styrsignalen ändras innebär det att felet deriveras och regulatorn är då uppbyggd enligt vänstra figuren i fig. 5.12. Om den däremot ej ändras är det den högra figuren som gäller.

Men är regulatoralgoritmen uppbyggd enligt ekv. 3.1 med K_P som inverkar både på I-del och D-del innebär det att om $K_P = 0$ så blir hela uttrycket = 0. Därför testar vi också med $K_P = 1$. Ett så litet K_P -värde bör ej ge någon större reaktion från P-delen.

Resultat

Vid båda metoderna ger ett steg i felet ingen reaktion i styrsignalen. Alltså verkar D-delen endast på mätsignalen enligt högra figuren i fig. 5.12.

5.5 Samband dator - reglerteori - parametrar

I kap. 5 har en sannolik uppbyggnad av regulatorn tagits fram. I kap. 4 har data som kan användas till att approximera en PID-regulators inställning tagits fram. Genom att kunskaper om hur regulatorerna är konstruerad erhållits, så kan ett försök till översättning av Ziegler-Nichols regulatorkonstruktion till denna konstruktion nu göras.

Ziegler-Nichols metod (se kap. 4) har för zon 1 givit:

$$\begin{aligned} K_{\max} &= 175 \\ T_p &= 292 \text{ s} \end{aligned}$$

Enligt resultaten av tabell 5.1 ser regulatoralgoritmen ut enligt nedan:

$$u(t) = K_P \cdot \left[e(t) + K_I \int e(t) dt - K_{D_{\text{total}}} \cdot \frac{dy}{dt} \right] \quad \dots\dots\dots 5.1$$

Jämfört med Ziegler-Nichols regulatoralgoritm

$$u(t) = K \cdot \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt - T_d \cdot \frac{dy}{dt} \right] \quad \dots\dots\dots 5.2$$

Detta ger:

$$\begin{aligned} K_P &= K \\ K_I &= \frac{1}{T_i} \\ K_{D_{\text{total}}} &= T_d \end{aligned} \quad \dots\dots\dots 5.3$$

Ziegler-Nichols ger:

$$\begin{aligned} K &= 0,6 \cdot K_{\max} \\ T_i &= T_p/2 \\ T_d &= T_p/8 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots 5.4$$

För zon 1 gäller:

$$\begin{aligned} K &= 0,6 \cdot 175 &= 105 \\ T_i &= 292/2 &= 146 \text{ s} \\ T_d &= 292/8 &= 36,5 \text{ s} \end{aligned}$$

För zon 2 gäller:

$$\begin{aligned} K &= 0,6 \cdot 95 &= 57 \\ T_i &= 555/2 &= 277,5 \text{ s} \\ T_d &= 555/8 &= 69,4 \text{ s} \end{aligned}$$

För zon 3 gäller:

$$\begin{aligned} K &= 0,6 \cdot 75 &= 45 \\ T_i &= 729/2 &= 364,5 \text{ s} \\ T_d &= 729/8 &= 91,1 \text{ s} \end{aligned}$$

För zon 4 gäller:

$$\begin{aligned} K &= 0,6 \cdot 55 &= 33 \\ T_i &= 549/2 &= 274,5 \text{ s} \\ T_d &= 549/8 &= 68,6 \text{ s} \end{aligned}$$

Ett försök att hitta ett samband mellan datorns parametrar och reglerteorins parametrar görs nu. För varje värmezona har från olika försök en regulatorinställning som ger en tillfredsställande reglering av värmen tagits fram. Genom att jämföra denna regulatorinställning med Ziegler-Nichols approximerade parametrar kan det utrönas om ovan nämnda samband finns.

13:38 08.08.1985

SIDA 5 210

INMATN.: SIDA

VAERME PARAMETER

	KP/KFIL	KD/HYST	KI/LIM	KYI	KKD
1- 5 ZON	1 105	180	110	0	2
6-10 ZON	2 57	150	70	0	3
11-15 ZON	3 45	130	70	0	4
16-20 ZON	4 33	150	60	0	2

Fig. 5.13 Framtagna regulatorparametrar

Beräkningsexempel för zon 1

D-delen:

Den totala derivatafaktorn blir $KD_{total} = 180 \cdot 2^2 = 720$

Översättning från KD_{total} till T_d ger

$$KD_{total} = 720$$

$$T_d = 36,5 \text{ s}$$

$$KD_{total} = x_d \cdot T_d$$

..... 5.5

I ekv. 5.5 kan samplingstiden h ingå i konstanten x_d . En konstant kan alltså erhållas utan kunskap om hur regulatoralgoritmen ser ut .

$$720 = x_d \cdot 36,5$$

$$x_d = 19,7$$

I-delen:

Översättning från KI till T_i ger

$$KI = 110$$

$$KI \text{ (enligt Ziegler-Nichols)} = \frac{1}{T_i}$$

$$KI = x_i \cdot \frac{1}{T_i} \quad \dots\dots\dots 5.6$$

$$110 = x_i \cdot \frac{1}{146} \quad x_i = 16060$$

För de andra zonerna genomförs samma beräkningar vars resultat redovisas i nedanstående tabell.

Tabell 5.2

Zon	KD_{total}	T_d	X_d	KI	T_i	X_i
1	720	36,5	19,7	110	146	16060
2	1200	69,4	17,3	70	277,5	19425
3	2080	91,1	22,8	70	364,5	25515
4	600	68,6	8,7	60	274,5	16470

Medelvärde: $x_d = 17,1$ $x_i = 19368$

X_d avrundas till 20 och X_i till 19000.

Ekv. 5.5 och 5.6 kan då skrivas som

$$KD_{total} = KD \cdot 2^{KKD} = 20 \cdot T_d \quad \dots\dots\dots 5.7$$

$$KI = \frac{19000}{T_i} \quad \dots\dots\dots 5.8$$

Med hjälp av Ziegler-Nichols test enligt kap. 4 och dessa båda ekvationer kan regulatorns parametrar ställas in approximativt. Detta kan användas när verktygets 10 värmezoner skall ställas in. Det skulle också ge ett bevis om ekv. 5.7 och 5.8:s konstanter är rätt valda.

5.6 Sammanfattning

Försök och beräkningar i detta kapitel har dels gett insikt i regulatorns uppbyggnad och funktioner och dels gett en översättning mellan datorns parametrar och regler-teorins parametrar.

Följande har framkommit:

- Styrsignalen dämpas innan den når processen. Dämpningen uppför sig som ett lågpassfilter med en tidskonstant på 30-40 sekunder och är placerad inne i regulator-loopen.
- Regulatoralgoritmen har troligen följande utseende:

$$u(t) = KP \cdot \left[e(t) + KI \int e(t) dt - KD \cdot \frac{dy}{dt} \right]$$

Förstärkningen KP verkar på hela parantesen och påverkar därmed både P-, I- och D-delen.

- Som synes i algoritmen ovan verkar D-delen endast på märvärdet y.

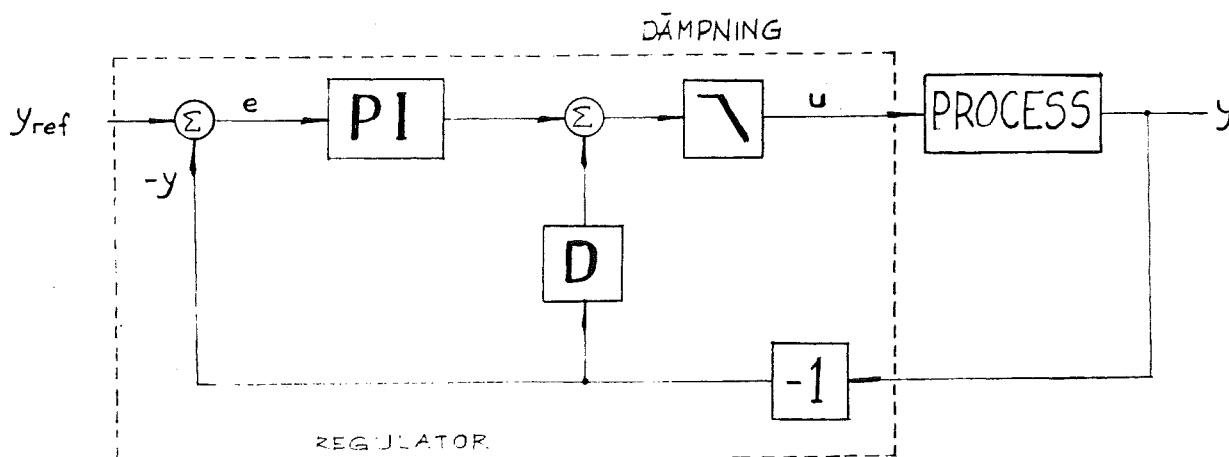


Fig. 5.14 Trolig regulatoruppbyggnad.

- Genom att jämföra de m.h.a. olika prov framtagna regulatorparametrarna med Ziegler-Nichols-testets regulatorparametrar har följande samband tagits fram:

$$KD_{total} = KD \cdot 2^{KKD} = 20 \cdot T_d$$

$$KI = \frac{19000}{T_i}$$

6. UPPSTARTSPROV OCH STEGPROV

6.1 Inledning

Detta kapitel behandlar de prov som gjorts med olika inställningar av PID-regulatorernas parametrar. Dels har Windsors standardparametrar provats och dels har de parametrar som enligt kapitel fyra testas fram provats med olika inställningar av I- och D-delarna för de olika zonerna.

Proven som gjorts har varit av formen uppstartsprov och stegprov. Uppstartsproven har inneburit att formsprutan startats upp från rumstemperatur till 180°C. Stegproven har ofta följt direkt efter uppstartsproven och har inneburit en stegändring av bör-värdet för att se hur zonerna klarar av störningar vid den egentliga produktionen.

Erfarenheterna vid dessa prov har kombinerats med varandra och med produktionsproven, se kap. 7, för att nå en inställning som medger en snabb uppstart utan för stora överslängar. Med översläng menas att är-värdet svänger över bör-värdet d.v.s. den verkliga temperaturen är en tid högre än den inställda temperaturen. Dessutom eftersträvas en jämn temperatur vid produktion samt att regulatorn bra kan klara av eventuella störningar av processen som kan förekomma när formsprutan är i produktion.

6.2 Uppstartsprov

6.2.1 Inledning

Uppstartsproven gjordes alla på samma sätt för att erhålla en jämförelsegrund. Formsprutan startades upp från stillastående, d.v.s. rumstemperatur, och tidpunkten för tillslag av värmen till cylindern registrerades. Bör-värdet ställdes in på 180° och på plottern registrerades hur temperaturerna för de olika zonerna steg upp mot bör-värdet. Då zonernas temperatur kommit upp i bör-värdet och låg där stabilt noterades tidpunkten igen för detta. Ju kortare tid från uppstart till bör-värde desto bättre.

Ur användarens synpunkt är det intressant att så snabbt som möjligt få upp temperaturen till bör-värdet så att produktionen kan komma igång. Onödigt stillestånd bör naturligtvis alltid undvikas av kostnadsskäl.

Temperaturen bör alltså så snabbt som möjligt stiga upp till bör-värdet för att där stabiliseras utan någon större översläng. En översläng på 1-2°C kan i detta fall accepteras, men inte mer. Överslängen bör undvikas inte så mycket med hänsyn till att plasten inte skall överhettas utan för att överslängen "tar tid". Alla zonerna har en mycket långsammare avsvlnings- än upphettningshastighet, se kap 3.6 så det kan ta lång tid för en översläng att återigen gå ner till bör-värdet.

Under Ziegler-Nichols testerna gjordes, som tidigare nämnts, vissa prov med olika inställningar av parametrarna för I-delen och D-delen på de olika regulatorerna. Tumregler för hur regulatorerna skulle ställas in hämtades från Windsors instruktioner gällande verkningarna av de olika parametrarna, se bil. 1. Detta förde med sig att vid uppstartsprovets början hade parametrar erhållits som gjorde att alla zonerna var grovt sett bra inställda. De här redovisade proven, uppstarts- såväl som stegproven, syftade till att fininställa dessa via Ziegler-Nichols testerna grovt inställda parametrar. Dessutom var det enda sättet att komma fram till hur I- och D-delen skulle ställas in då inte Windsors tekniker kunde komma med något besked vad egentligen parametrarna betyder.

6.2.2 Själva proven

Det första provet som gjordes hade följande inställning av parametrarna.

	KP	KD	KI	KKD
Zon 1	105	180	150	2
Zon 2	57	150	80	3
Zon 3	45	110	120	4
Zon 4	36	200	80	2

Fig. 6.1

Zonerna uppförde sig i stort sätt bra. Temperaturen gick snabbt upp till bör-värdet utan några större överslängar. Zon 4 verkade emellertid ha en något för hög D-del. Detta ledde till att temperaturkurvan fick ett s.k. trappsteg beroende på att regulatorn drar av effekt för tidigt för att sedan åter dra på effekt. Detta orsakar en trappstegsliknande knyck på temperaturkurvan. Trappstegen beror på att D-delen är för hög och att regulatorn därmed "ser för långt framåt" och drar av effekt för tidigt.

Innan nästa uppstartsprov gjordes flera stegprov som indikerade att zon 3 kunde ha något större D-del. Zon 1 hade också en något orolig temperaturkurva, varför I-delen för denna zon minskades något.

Nästa uppstartsprov gjordes därför med följande inställning

	KP	KD	KI	KKD
Zon 1	105	180	130	2
Zon 2	57	150	80	3
Zon 3	45	130	120	4
Zon 4	33	100	100	2

Fig. 6.2

Denna inställning tog bort trappsteget för zon 4 men i gengäld gjorde denna zon en översläng på 11^o vilket är alldeles för mycket. De övriga zonernas temperatur steg snabbt utan några större överslängar. En inställning av KD på 150 för zon 4 bör ge en bra kompromiss. Zon 2 och 3 hade vissa tendenser till att ha trappsteg men dessa var så små att det inte spelar någon större roll. För zon 3 är ett trappsteg dessutom näst intill oundvikligt då denna zon måste ha en stor D-del p.g.a. sin stora ackumulerade värmemängd.

Vissa smärre justeringar behövdes alltså för att få ett ännu bättre uppstartsresultat. Stegprov gjordes också i anslutning till uppstartsproven och dessa indikerade att vid mindre steg (+ 5^oC - + 10^oC) kunde zonerna mycket väl få ganska stora överslängar (+ 3^oC - + 4^oC) trots att detta inte hände vid själva uppstartsproven där ju steget var betydligt större (160^oC). Detta indikerade att I-delen var för stor i förhållande till D-delen för samtliga zoner.

Det sista egentliga uppstartsprovet som gjordes fick därmed följande inställning.

	KP	KD	KI	KKD
Zon 1	105	180	110	2
Zon 2	57	150	80	3
Zon 3	45	130	80	4
Zon 4	33	150	80	2

Fig. 6.3

Denna inställning ger en mycket bra uppstart. Temperaturerna stiger snabbt till börvärdet med mycket små överslängar, $+1^{\circ}\text{C}$ - $+2^{\circ}\text{C}$. Påföljande stegprov indikerar dock att I-delen för zonerna 2, 3 och 4 fortfarande är något för stora. Överslängarna blev nämligen fortfarande oacceptabelt höga, $+3^{\circ}\text{C}$ - $+4^{\circ}\text{C}$, för dessa zoner. Ytterligare stegprov gjordes där I-delarna succesivt minskades och till slut resulterade detta i följande **slutliga** inställning.

	KP	KD	KI	KKD
Zon 1	105	180	110	2
Zon 2	57	150	70	3
Zon 3	45	130	70	4
Zon 4	33	150	60	2

Fig. 6.4

Figurerna på de följande sidorna fig. 6.5 - 6.9 visar hur ett stegprov med dessa parametrar kan se ut. På fig. 6.5 visas hur stegprovet ser ut för alla fyra zonerna på en gång och fig. 6.6 - 6.9 visar hur de enskilda zonerna beter sig. Stegprovet som gjordes från 185°C till 190°C .

På fig. 6.10 görs ett uppstartsprov med parametrarna enligt fig. 6.4. Provet går från 22°C till 180°C . Av figuren framgår att temperaturen för de olika zonerna stiger snabbt och gör inga överslängar.

Stegprov för samtliga värmezoner. Steget som gjordes var på 5 C, från 185 C till 190 C. Zonerna är inställda enligt Fig. 6.4.

Zon 1 Kurva 1
 Zon 2 Kurva 2
 Zon 3 Kurva 3
 Zon 4 Kurva 4

Kurvorna ligger stabilt vid det nya börvärdet efter ungefär 16 min.

PLOT (25) SZ00N1 SZ00N2 SZ00N3 SZ00N4
 5.07.19 - 14:54:48

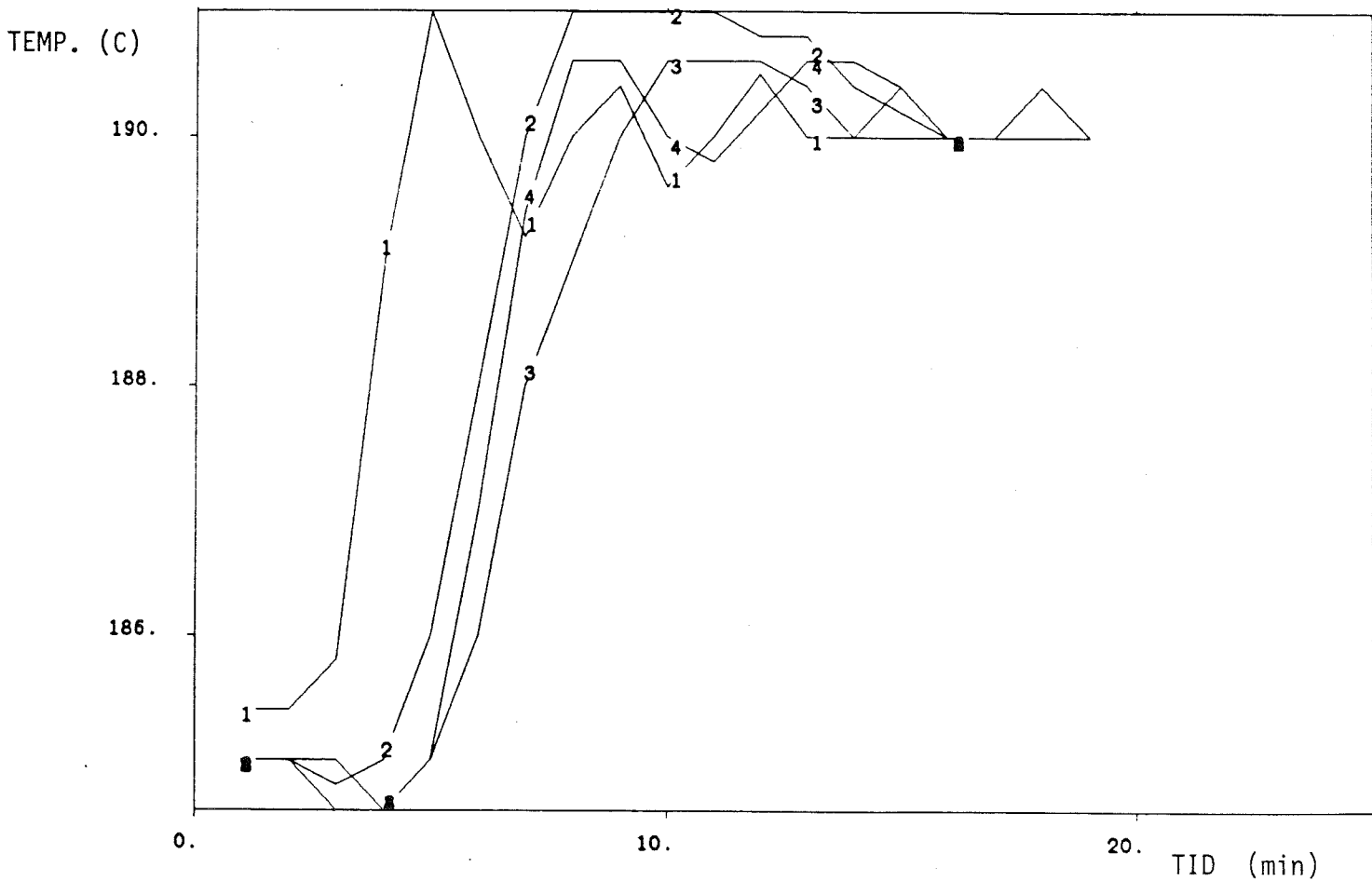


FIG. 6.5

Stegprov för zon 1 inställd enligt Fig. 6.4. Steget är från 185 C till 190 C.

PLOT (25) SZ00N1
85.07.19 - 14:55:17

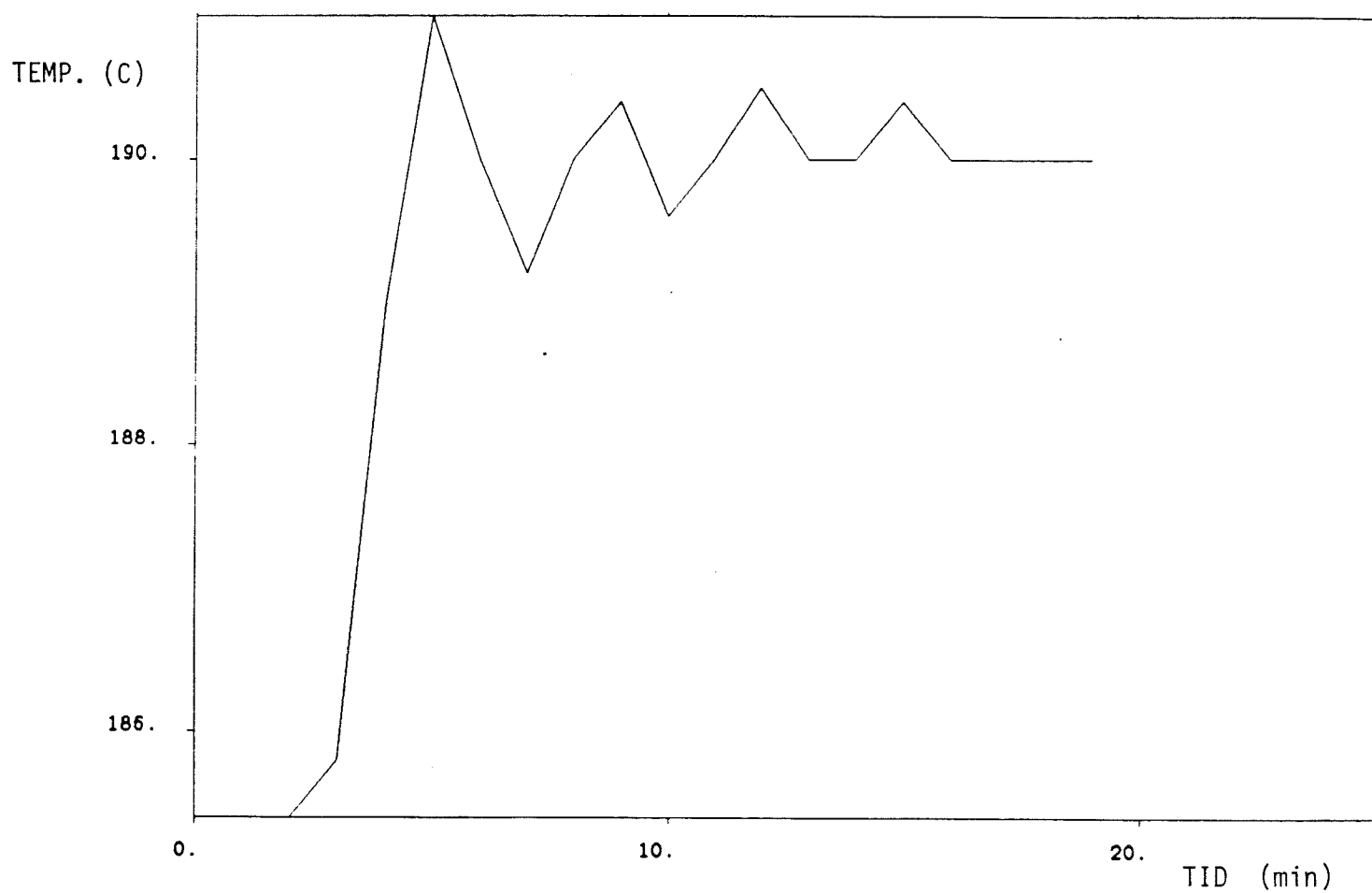


FIG. 6.6

Stegprov för zon 2 inställd enligt Fig. 6.4. Steget är från 185 C till 190 C.

PLOT (25) SZ00N2
95.07.19 - 14:55:30

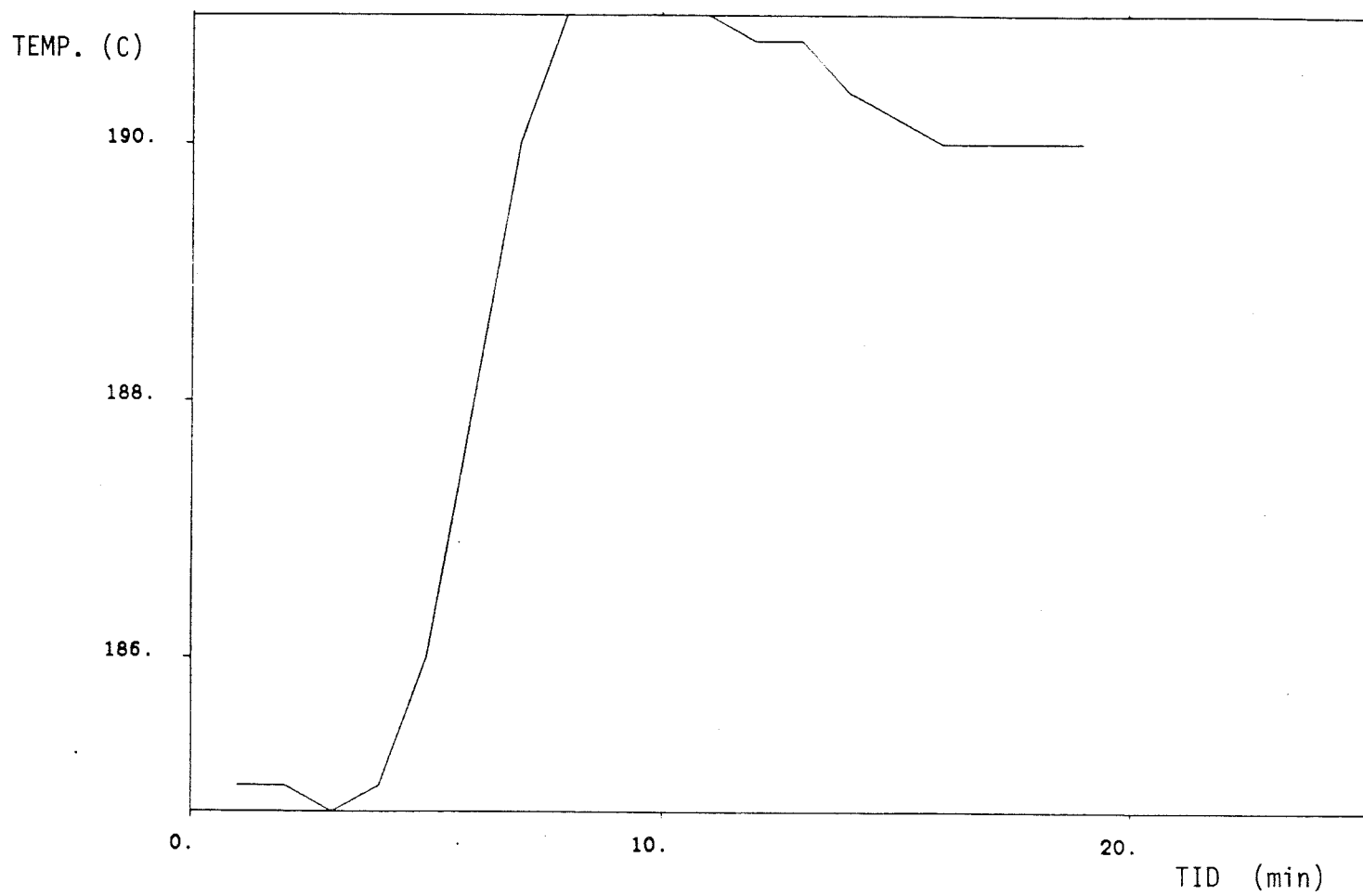


FIG. 6.7

Stegprov för zon 3 inställd enligt Fig. 6.4. Steget är från 185 C till 190 C.

PLOT (25). SZ00N3
85.07.19 - 14:55:44

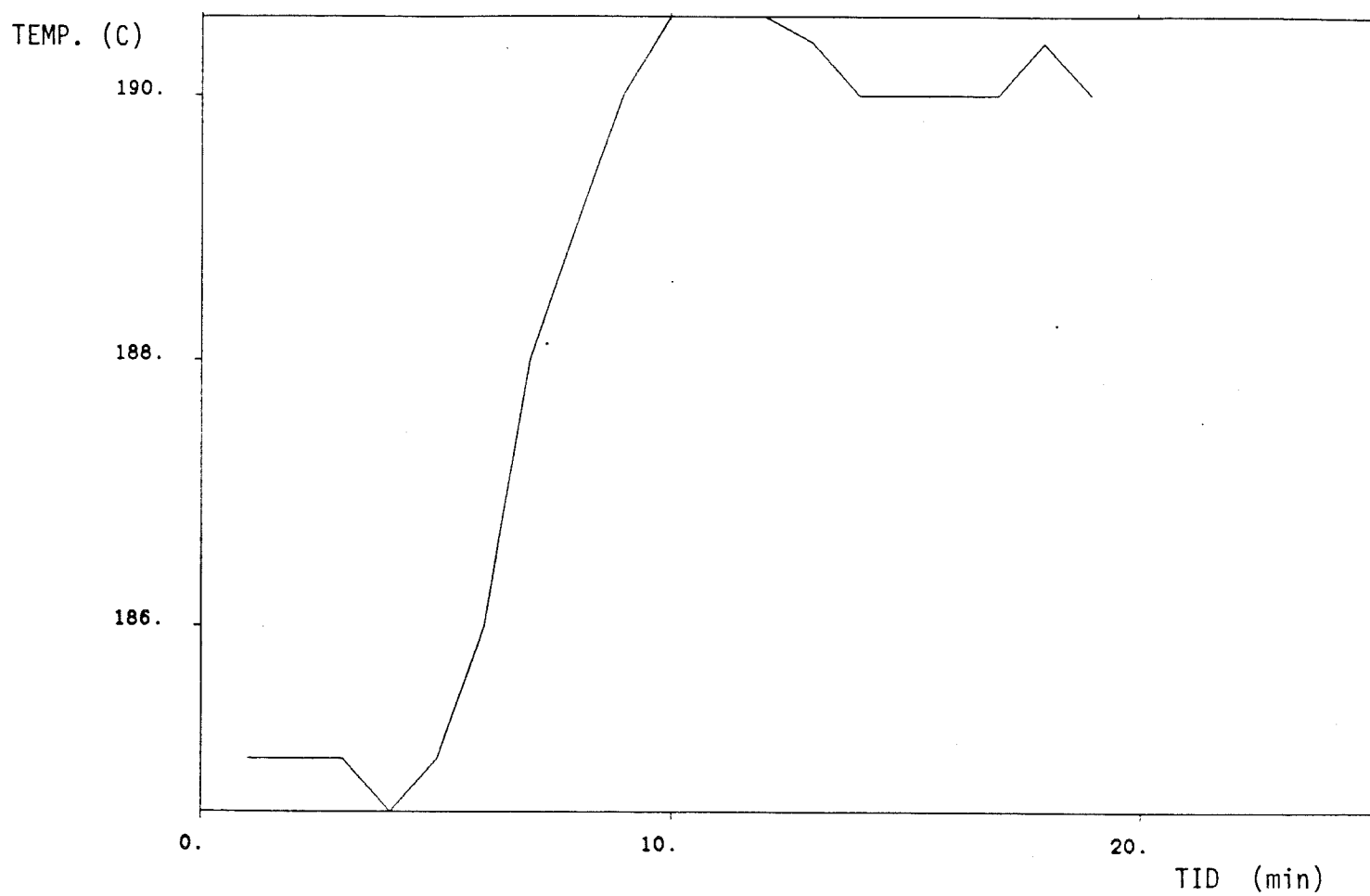


FIG. 6.8

Stegprov för zon 4 inställd enligt Fig. 6.4. Steget är från 185 C till 190 C.

PLOT (25) SZ00N4
85.07.19 - 14:56:14

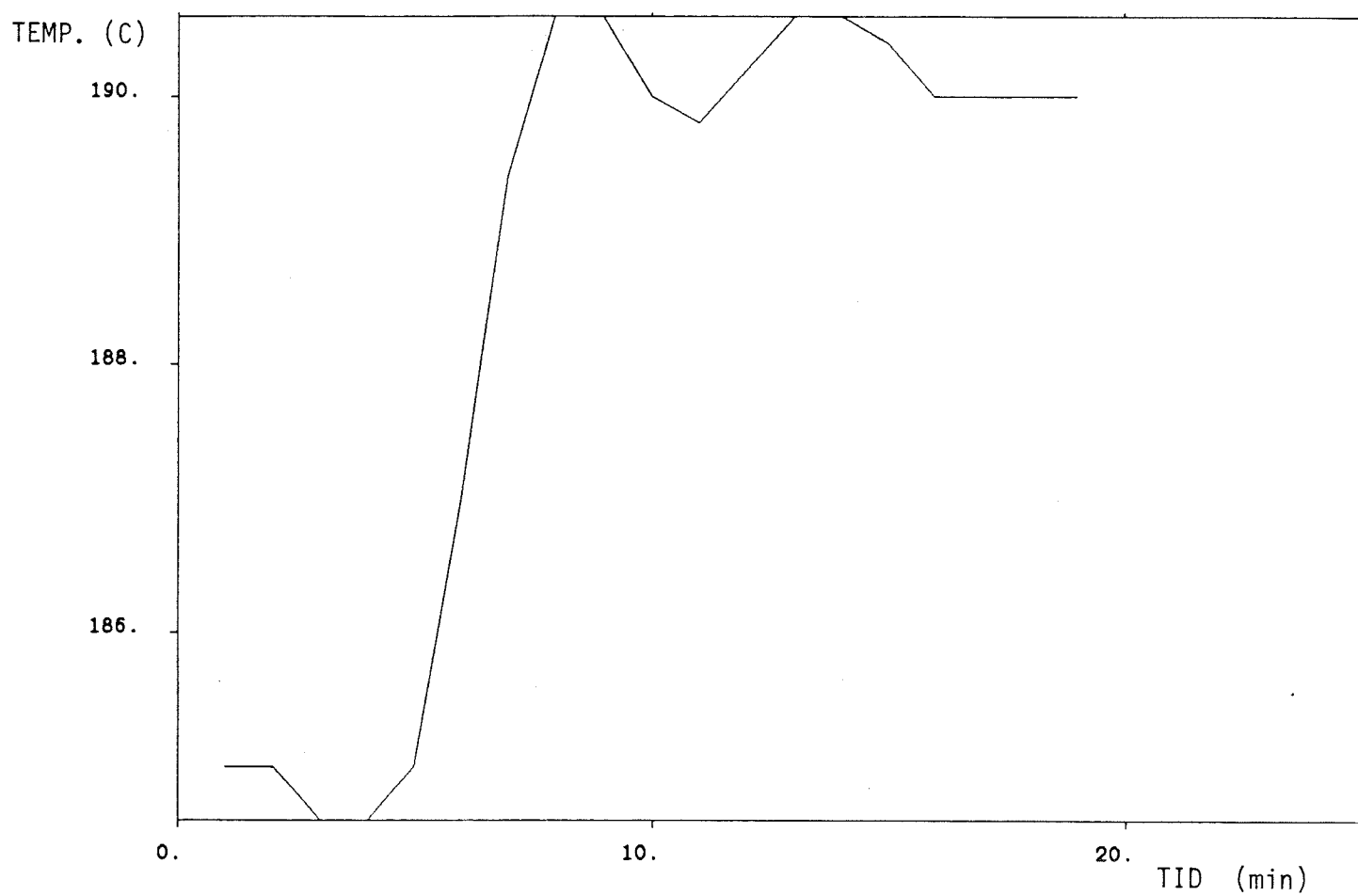


FIG. 6.9

Uppstartsprov för samtliga värmezoner, inställda enligt Fig. 6.4. Provet gick från 22 C till 180 C.

Zon 1 Kurva 1
 Zon 2 Kurva 2
 Zon 3 Kurva 3
 Zon 4 Kurva 4

Kurvorna ligger stabilt vid börvärdet efter ungefär 27 min.

PLOT (40) Z00N1 Z00N2 Z00N3 Z00N4
 15.07.19 - 14:34:31

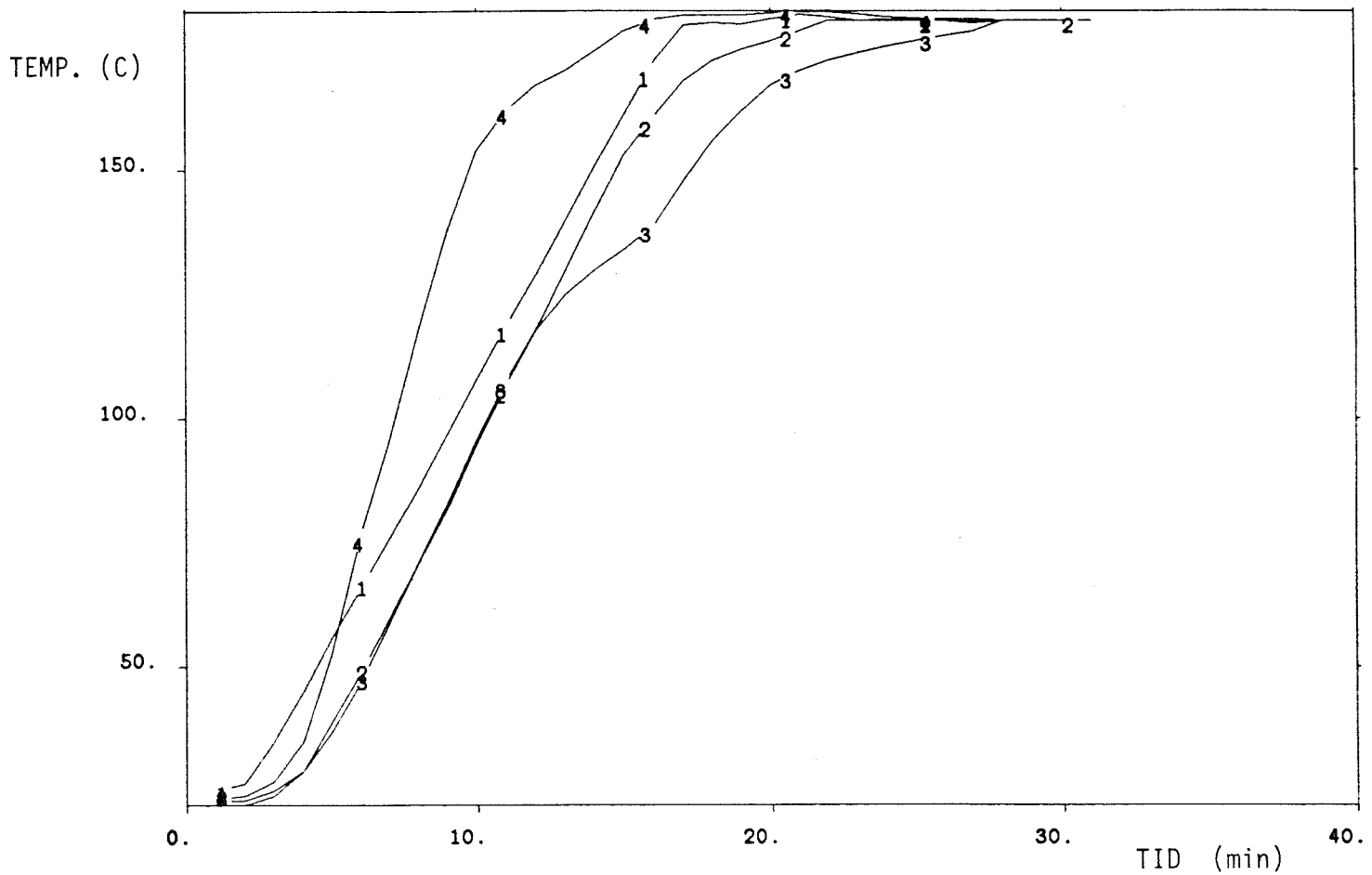


FIG. 6.10

6.3 Resultat och jämförelse med Windsors parametrar

För att kunna bedöma om parametrarna enligt fig. 6.4 ger bra PID-regulatorer har jämförelse gjorts med de enligt Windsors standardparametrar inställda PID-regulatorer. Jämförelse har gjorts både med stegprov och uppstartsprov.

Fig. 6.11 - 6.22 visar dessa jämförande prov. Fig. 6.11 visar hur parametrarna enligt fig. 6.4 klarar ett stegprov jämfört med Windsors parametrar. Tyvärr har olika stora steg gjorts men det framgår ändå att zonerna inställda enligt fig. 6.4 reagerar snabbare än zonerna inställda enligt Windsor. Fig. 6.12 visar stegprovet med bara Windsors parametrar och de följande figurerna 6.13 - 6.16 visar var zon för sig med Windsor.

Fig. 6.17 visar uppstartsprov med zonerna inställda enligt dels Windsors parametrar och dels enligt fig. 6.4. Det framgår här tydligt att de framtagna parametrarna enligt fig. 6.4 är klart överlägsna Windsors standardparametrar. Fig. 6.18 visar uppstart med Windsors parametrar. De följande figurerna 6.19 - 6.22 visar jämförelsen zon för zon d.v.s. varje zon dels inställd enligt fig. 6.4 (kurva 1) och dels inställd enligt Windsors standardparametrar (kurva 2).

Stegprov där parametrarna enligt Windsor och Fig. 6.4 jämförs. Olyckligtvis är steget för Windsors parametrar på 10 C medan steget för parametrarna enligt Fig. 6.4 endast är på 5 C. Kurvorna visar ändå att parametrarna enligt Fig. 6.4 ger en snabbare reaktion trots att steget här är mindre.

Fig. 6.4.	Windsor
Zon 1 ... Kurva 1	Zon 1 ... Kurva 5
Zon 2 ... Kurva 2	Zon 2 ... Kurva 6
Zon 3 ... Kurva 3	Zon 3 ... Kurva 7
Zon 4 ... Kurva 4	Zon 4 ... Kurva 8

PLOT (35) SZ00N1 SZ00N2 SZ00N3 SZ00N4 SZON1 SZON2 SZON3 SZON4
15.07.19 - 14:58:42

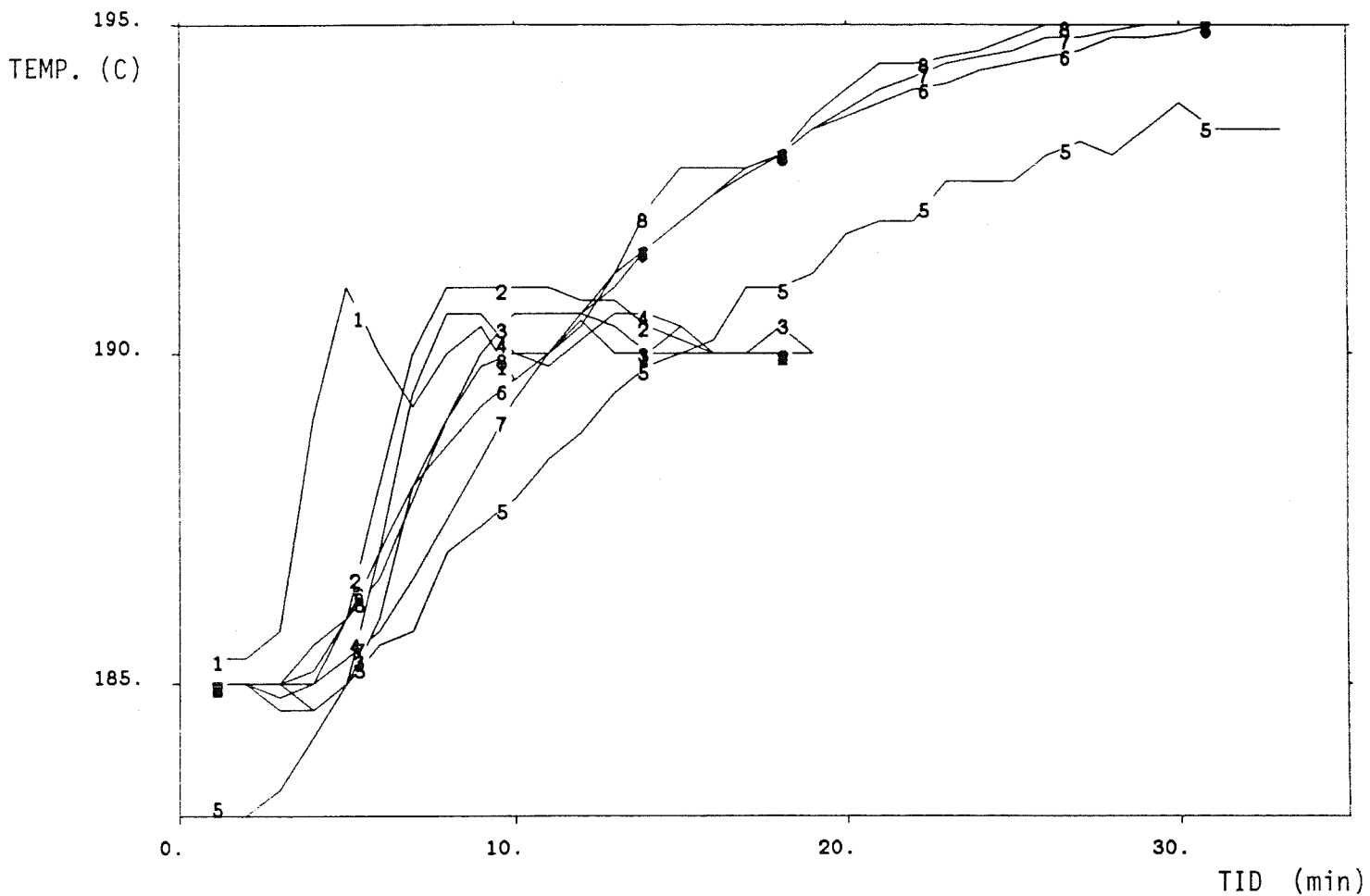


FIG. 6.11

Stegprov med parametrarna inställda enligt Windsor. Steget är från 185 C till 195 C.

Zon 1	Kurva 1
Zon 2	Kurva 2
Zon 3	Kurva 3
Zon 4	Kurva 4

PLOT (40) SZON1 SZON2 SZON3 SZON4
15.07.19 - 14:51:14

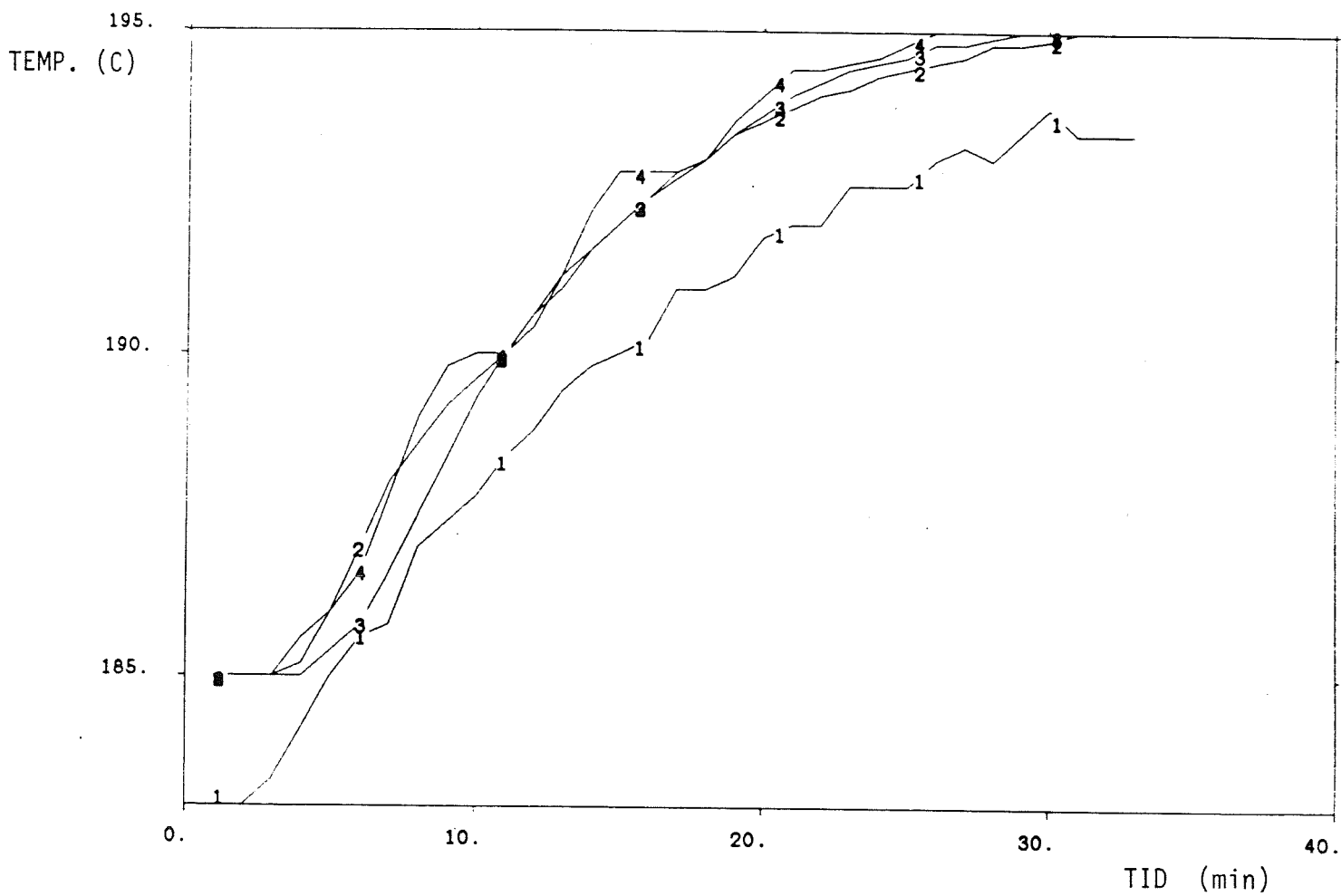


FIG. 6.12

Stegprov för zon 1 inställd enligt Windsor. Steget är från 185 C till 190 C.

PLOT (35) SZON1
85.07.19 - 14:56:38

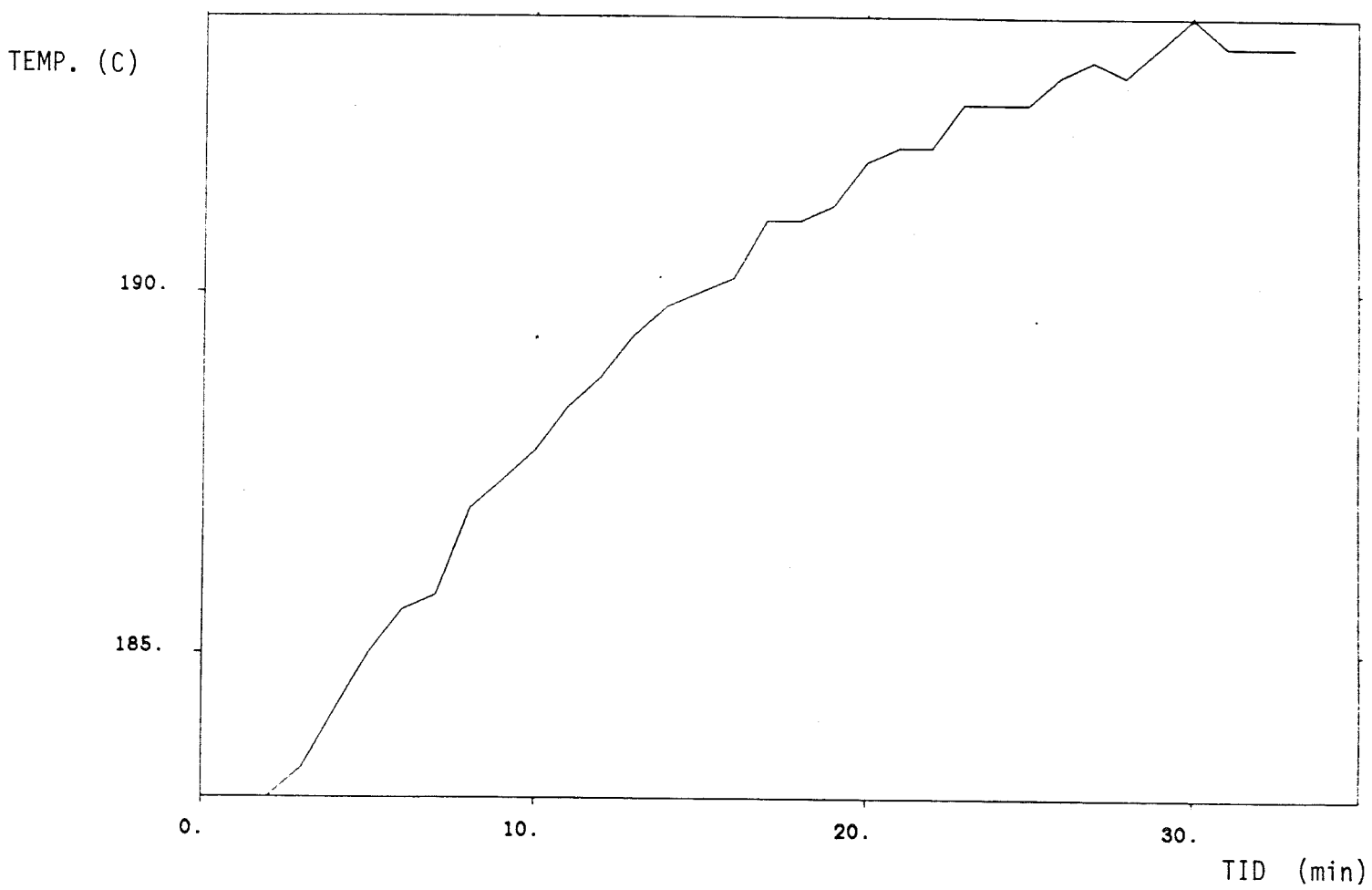


FIG. 6.13

Stegprov för zon 2 inställd enligt Windsor. Steget är från 185 C till 190 C.

PLOT (35) SZ0N2
85.07.19 - 14:57:02

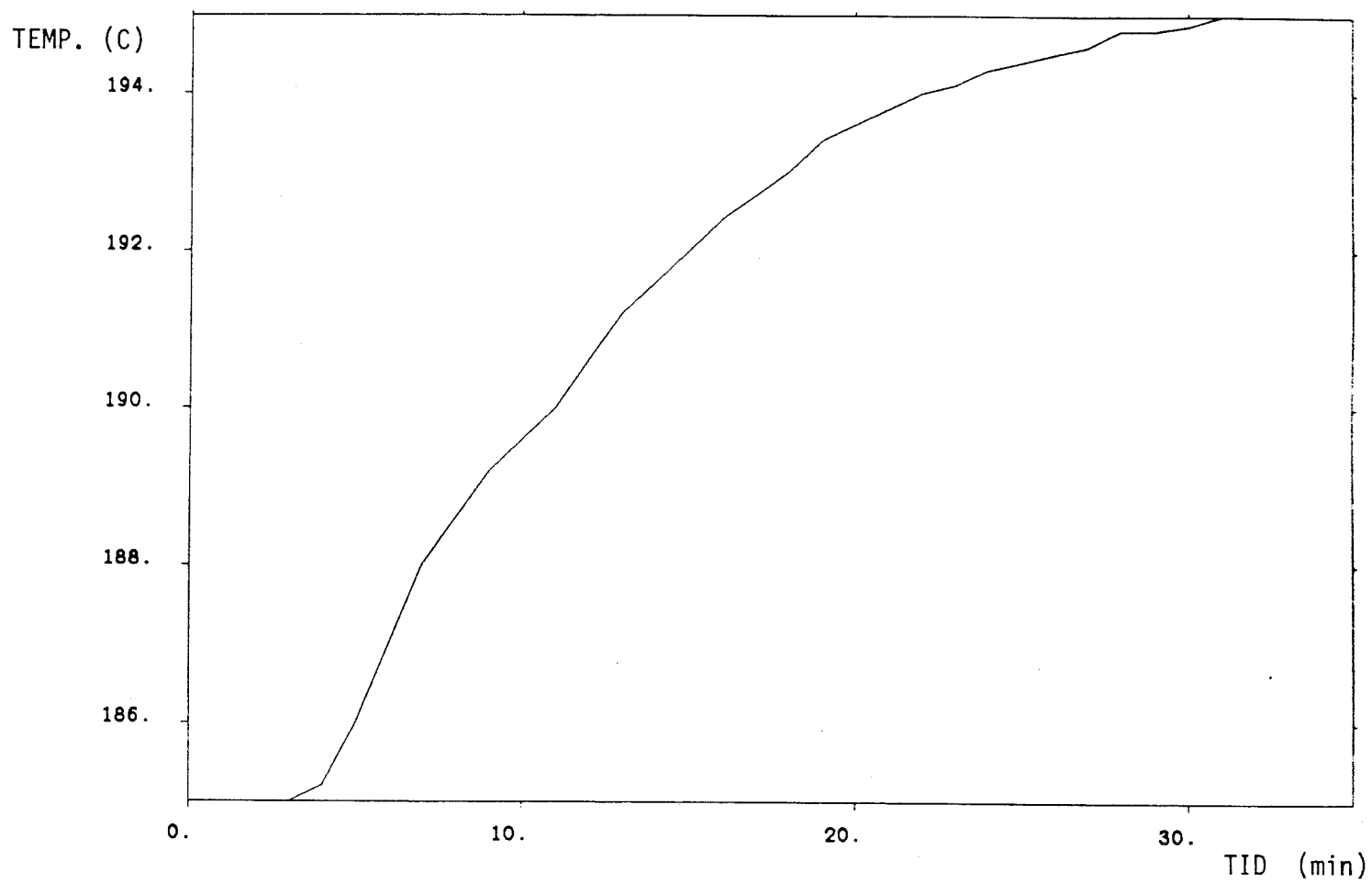


FIG. 6.14

Stegprov för zon 3 inställd enligt Windsor. Steget är från 185 C till 190 C.

PLOT (35) SZON3

5.07.19 - 14:57:23

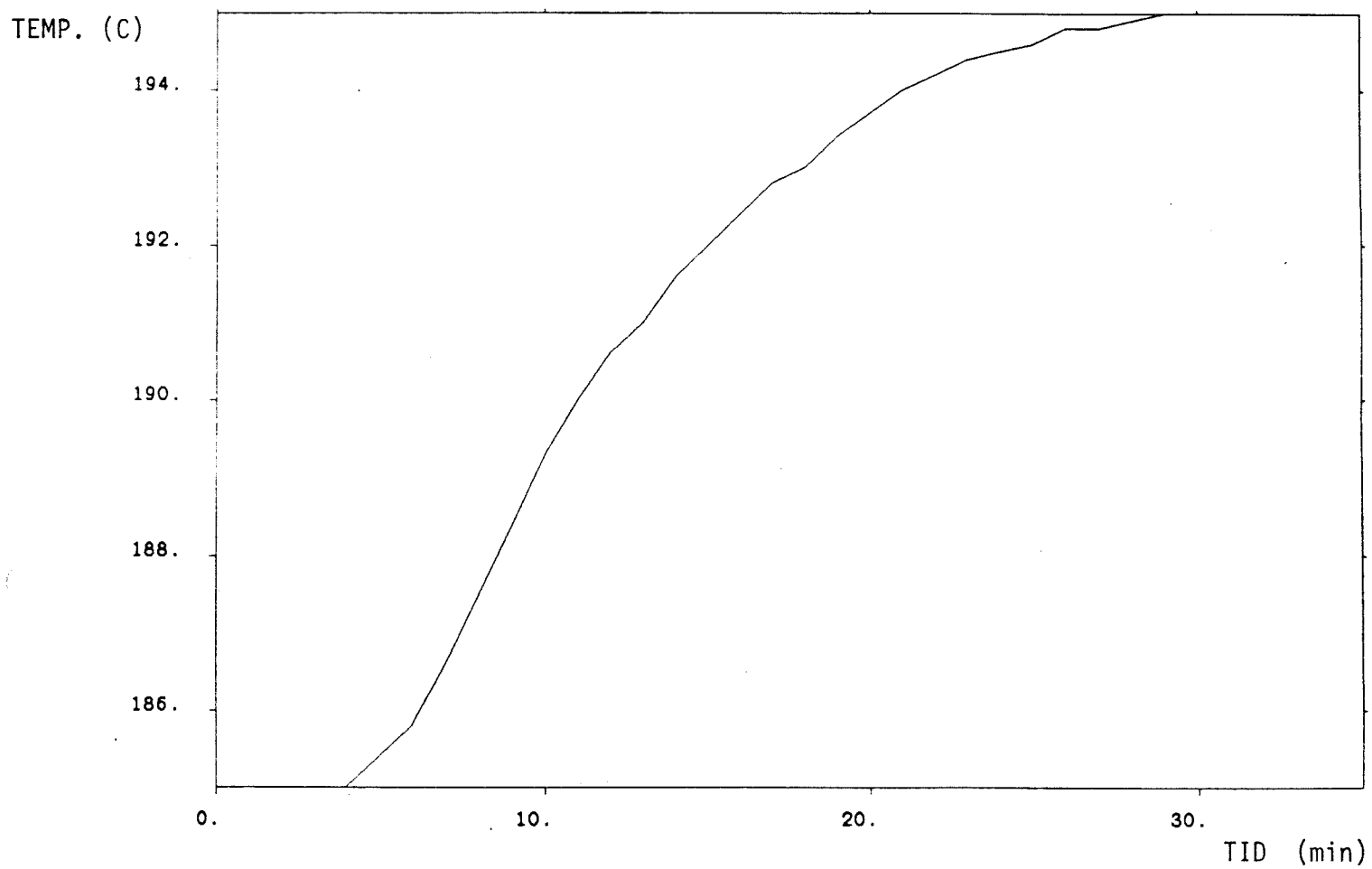


FIG. 6.15

Stegprov för zon 4 inställd enligt Windsor. Steget är från 185 C till 190 C.

PLOT (35) SZON4
85.07.19 - 14:57:44

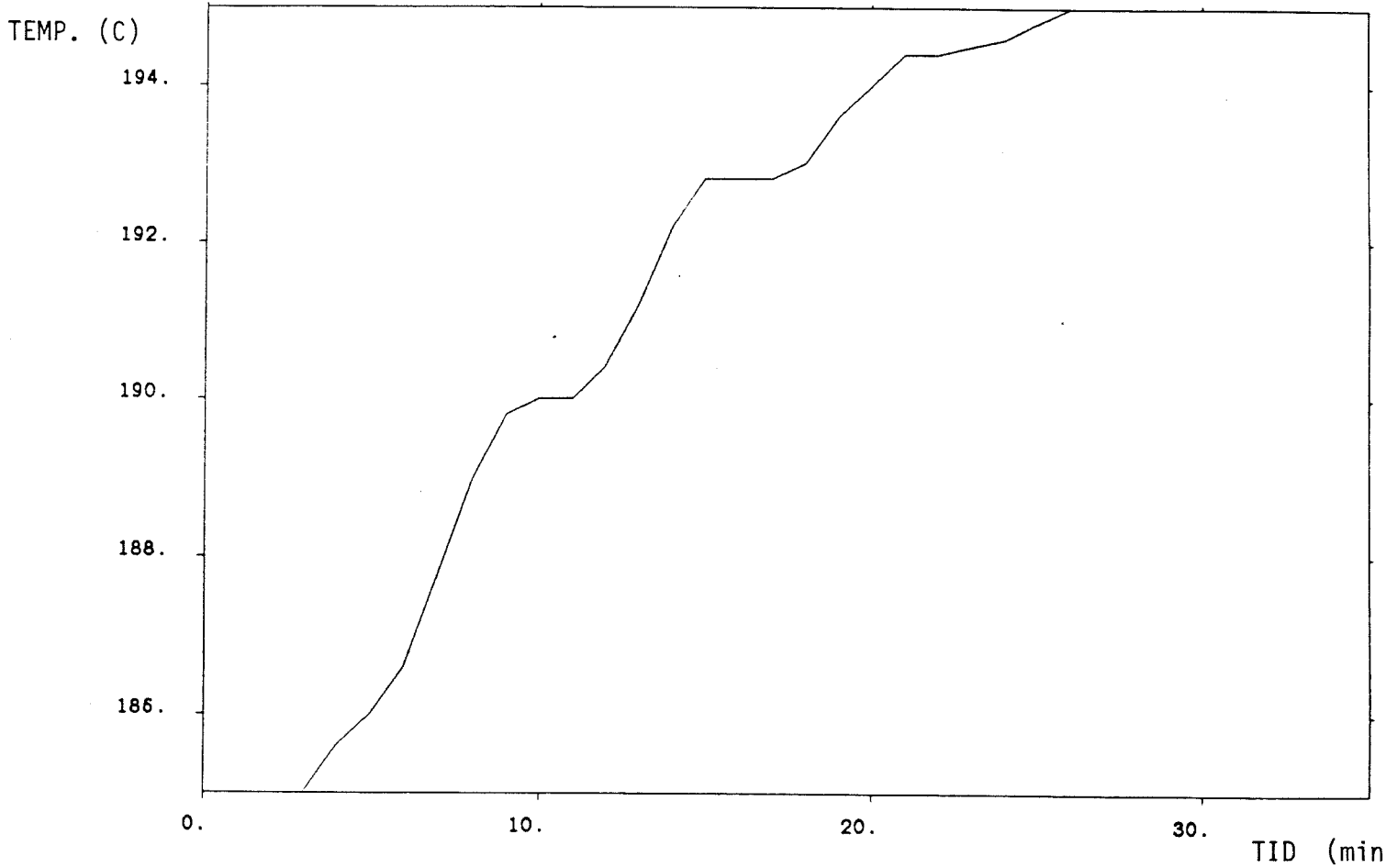


FIG. 6.16

Uppstartsprov för samtliga zoner dels inställda enligt Fig. 6.4 och dels inställda enligt Winsor. Provet gick från 22 C till 180 C.

Fig. 6.4

Zon 1	Kurva 1
Zon 2	Kurva 2
Zon 3	Kurva 3
Zon 4	Kurva 4

Winsor

Zon 1	Kurva 5
Zon 2	Kurva 6
Zon 3	Kurva 7
Zon 4	Kurva 8

PLOT Z00N1 Z00N2 Z00N3 Z00N4 Z0N1 Z0N2 Z0N3 Z0N4
 95.07.19 - 14:36:30

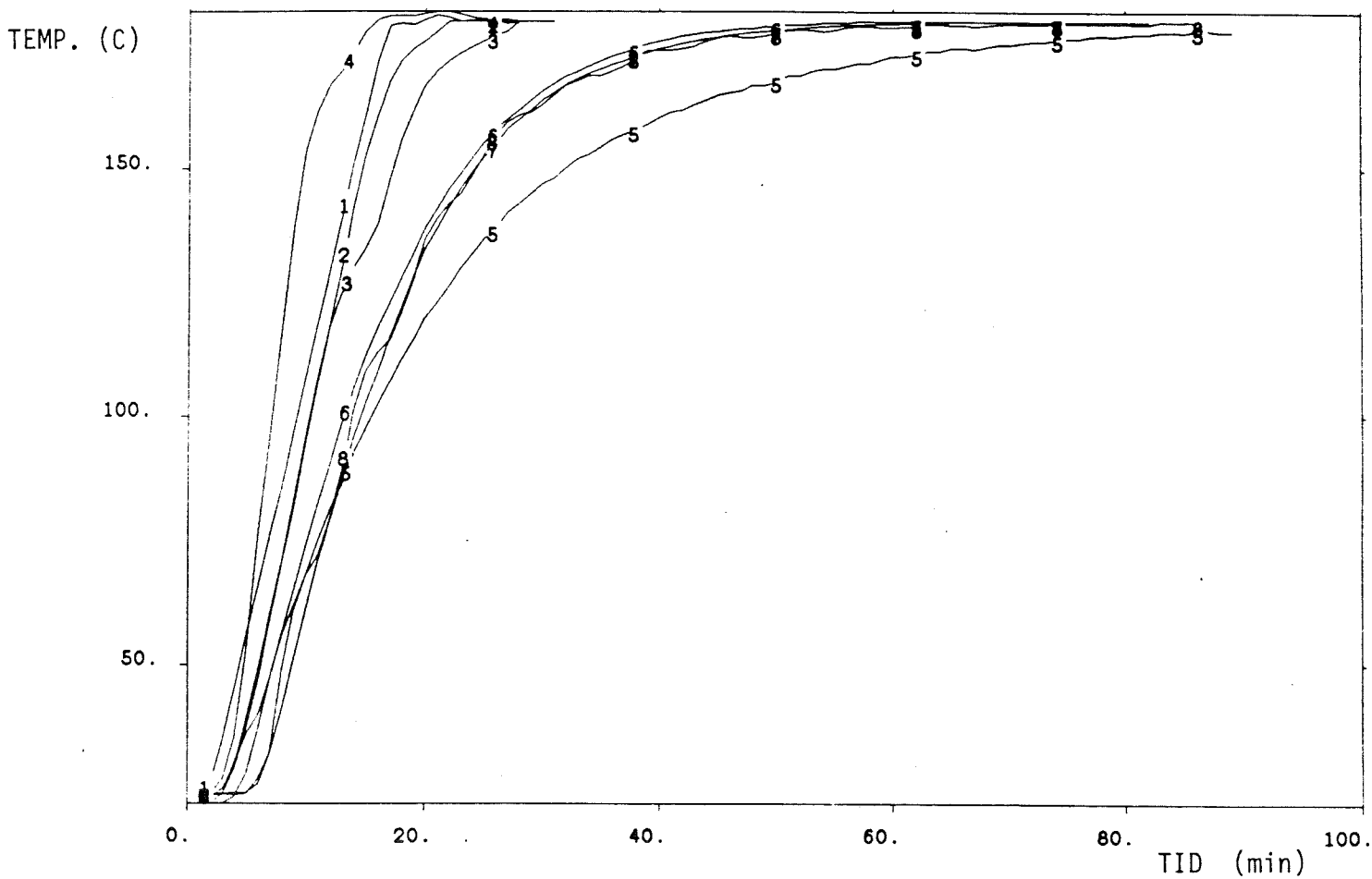


FIG. 6.17

Upstartsprov med parametrarna inställda enligt Windsor. Provet gick från 22 C till 180 C.

Zon 1 Kurva 1
Zon 2 Kurva 2
Zon 3 Kurva 3
Zon 4 Kurva 4

PLOT ZON1 ZON2 ZON3 ZON4
85.07.19 - 14:35:24

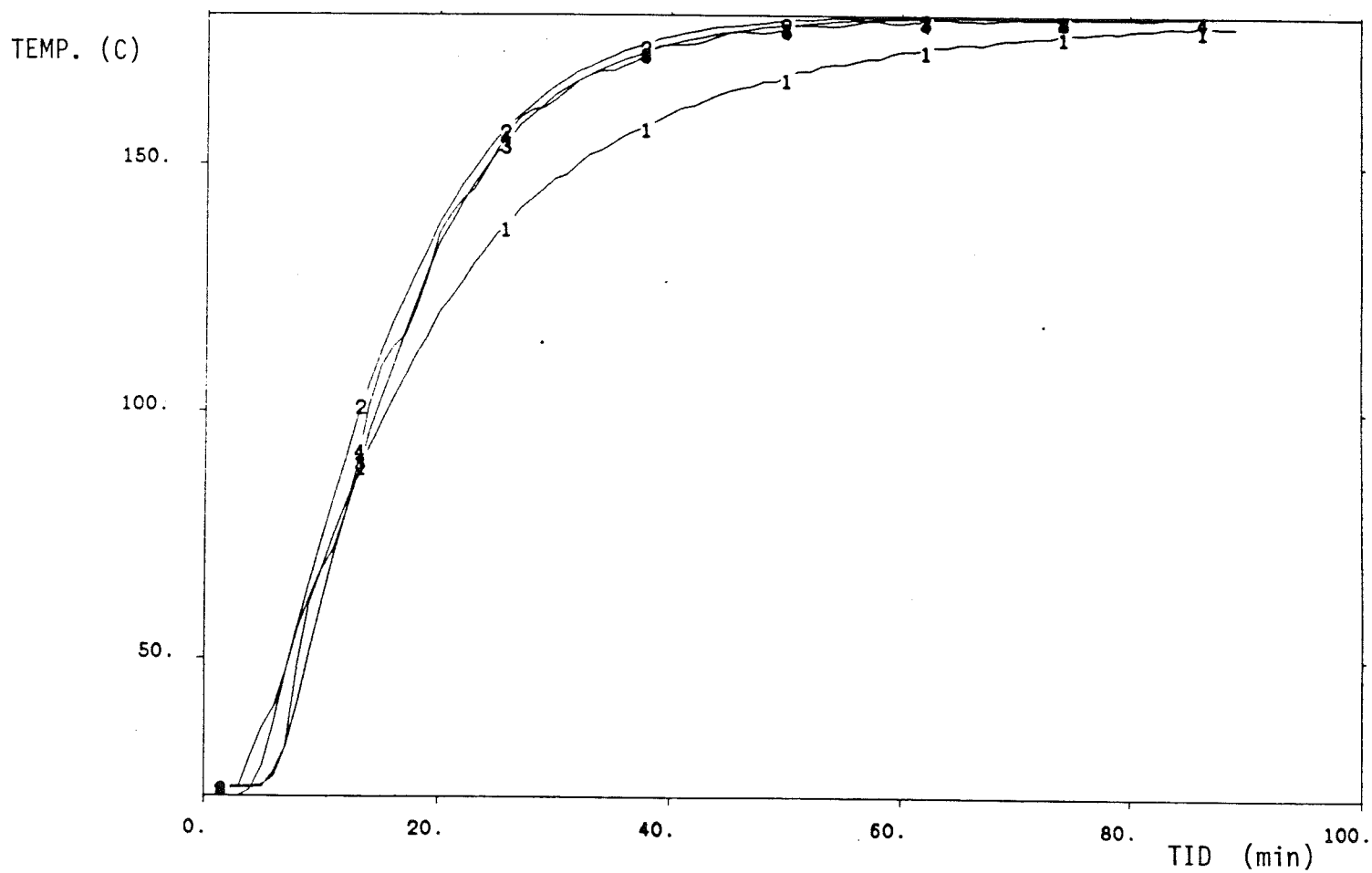


FIG. 6.18

Upstartsprov för zon 1 inställd enligt dels Fig. 6.4 (Kurva 1) och
dels Windsor (Kurva 2)

PLOT Z00N1 Z0N1
85.07.19 - 14:37:22

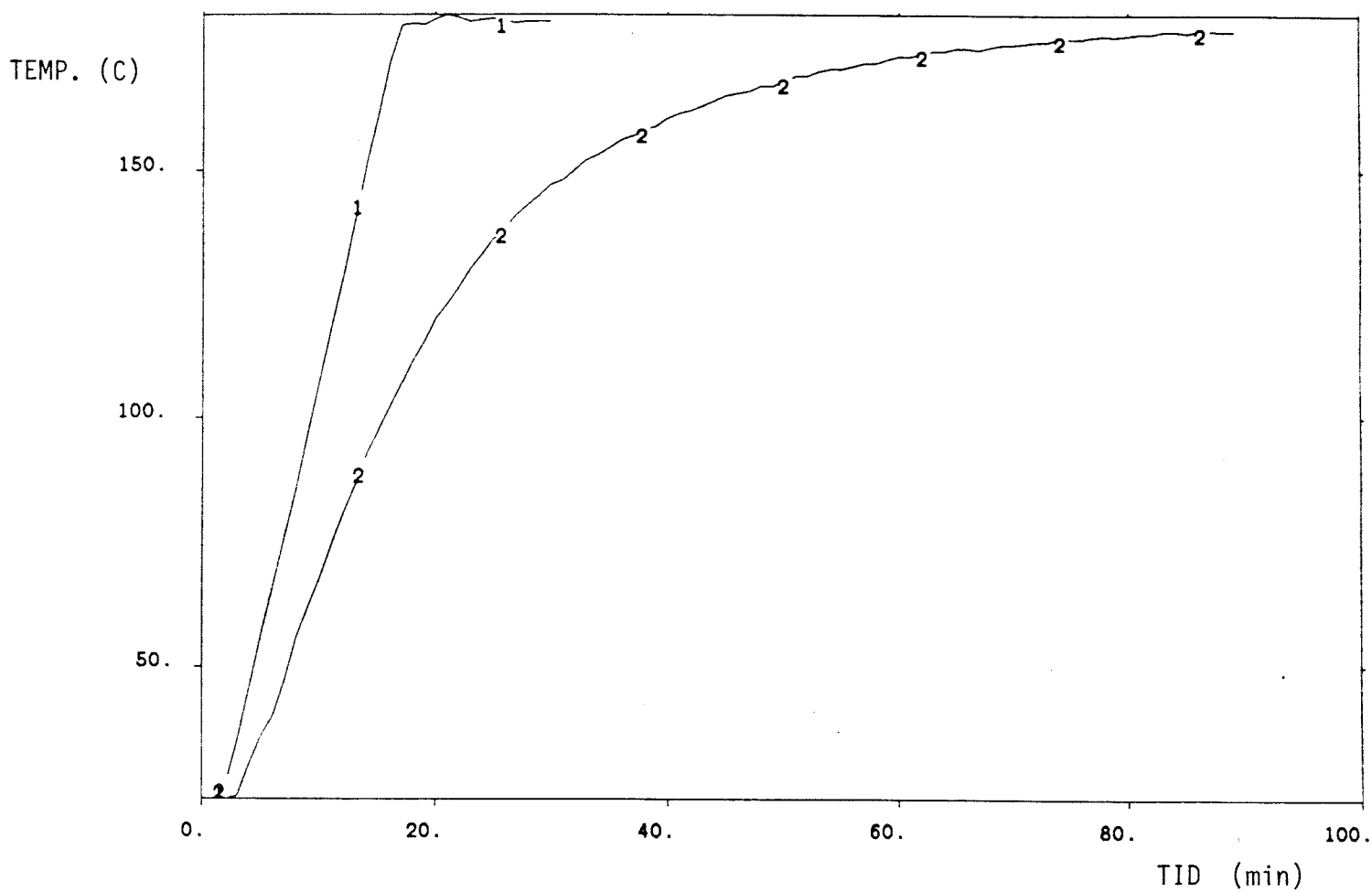


FIG. 6.19

Uppstartsprov för zon 2 inställd enligt dels Fig. 6.4 (Kurva 1) och
dels Windsor (Kurva 2).

PLOT Z00N2 Z0N2
85.07.19 - 14:37:55

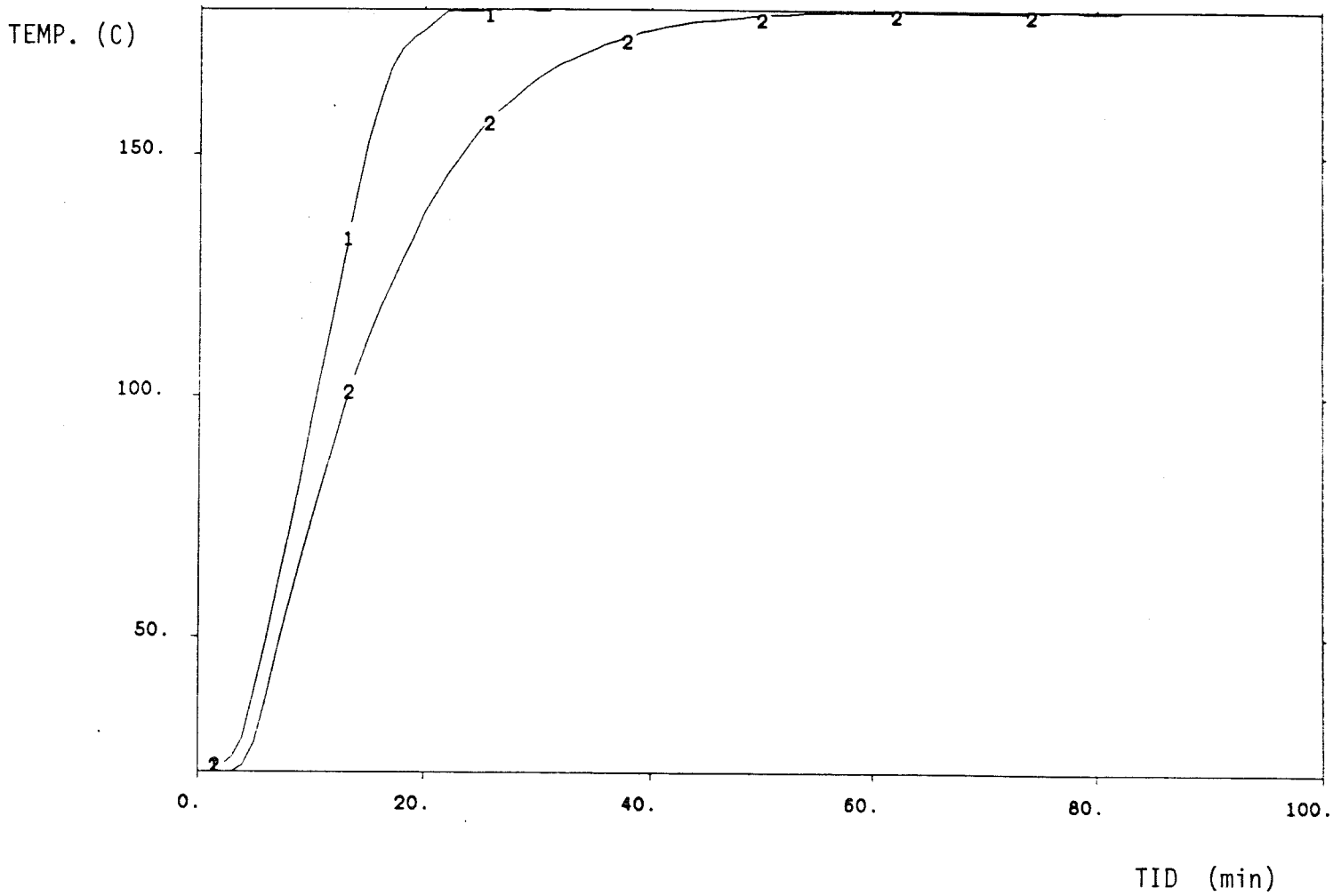


FIG. 6.20

Uppstartsprov för zon 3 inställd enligt dels Fig. 6.4 (Kurva 1) och
dels Windsor (Kurva 2).

PLOT Z00N3 Z0N3
85.07.19 - 14:38:23

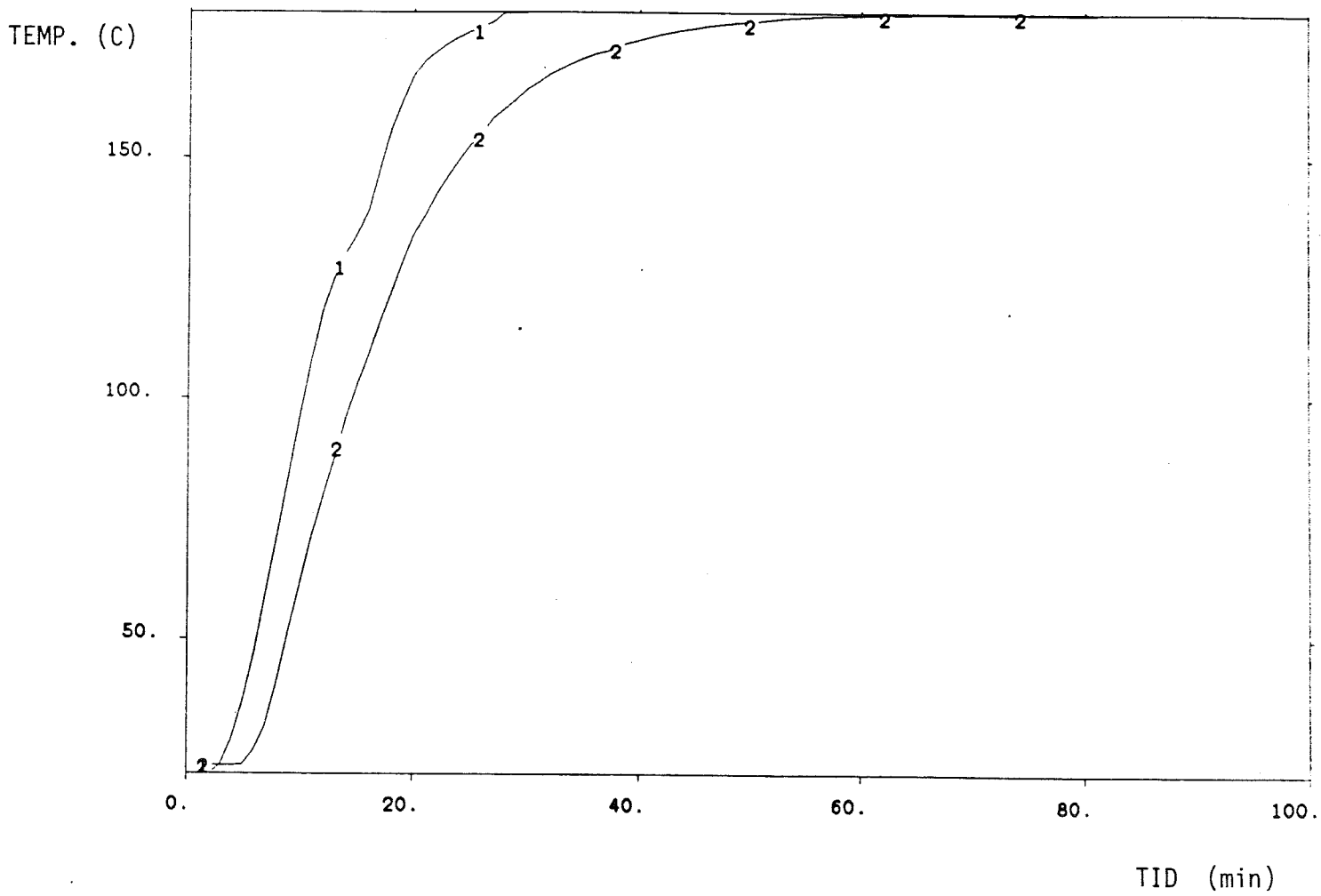


FIG. 6.21

Uppstartsprov för zon 4 inställd enligt dels Fig. 6.4 (Kurva 1) och
dels Windsor (Kurva 2).

PLOT Z00N4 Z0N4
85.07.19 - 14:40:34

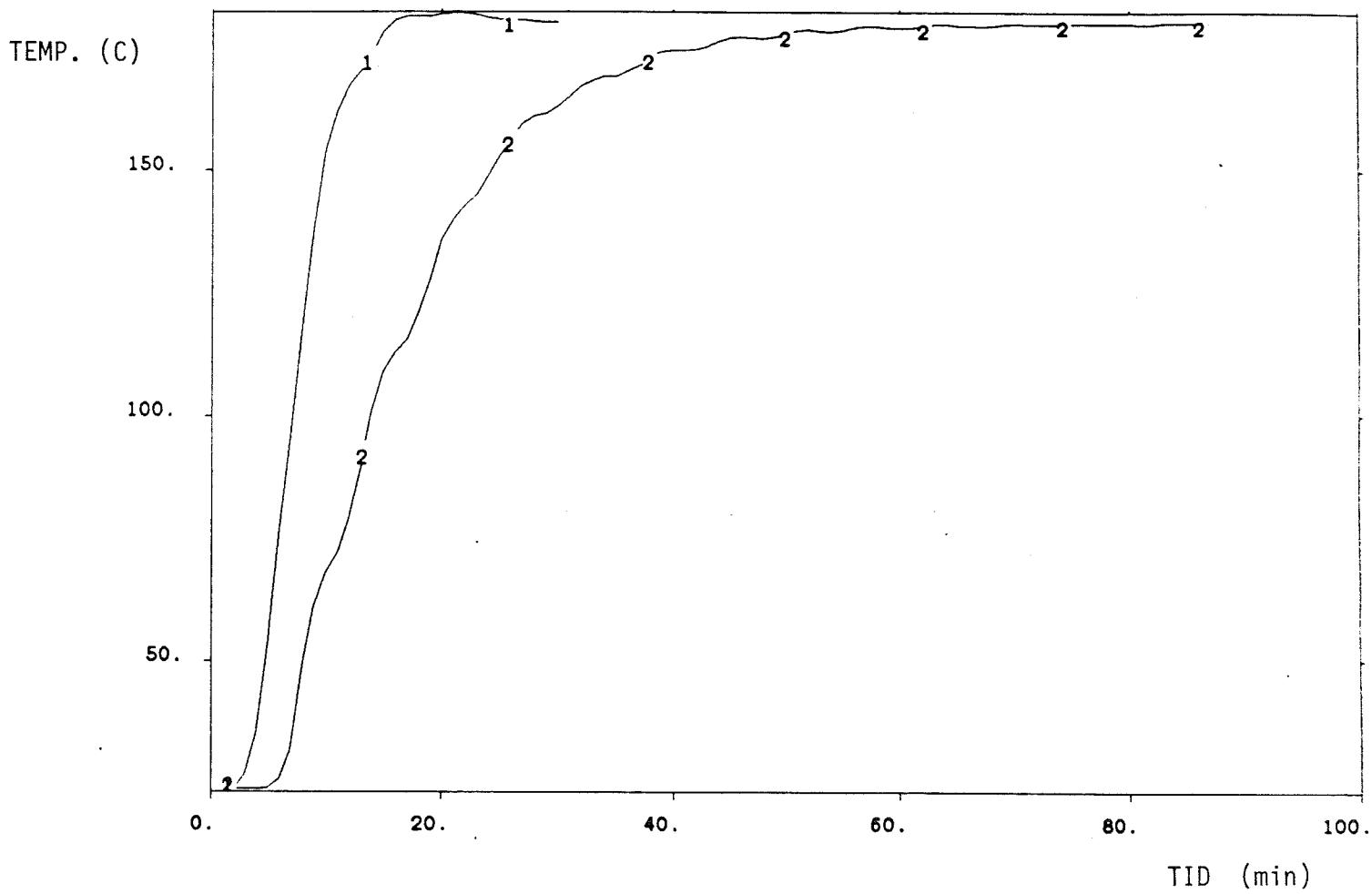


FIG. 6.22

Följande tabeller visar också på skillnaderna i inställning och resultat.

	KP		KD		KI		KKD	
	W	C-F	W	C-F	W	C-F	W	C-F
Zon 1	10	105	150	180	80	110	3	2
Zon 2	10	57	100	150	80	70	3	3
Zon 3	10	45	100	130	80	70	3	4
Zon 4	10	33	100	150	80	60	3	2

Tabell 6.5 Visar skillnaden mellan Windsors standardparametrar (W) och parametrarna (C-F) framtagna enligt denna rapport

	Tid till bör-värdet, 180°C, från rumstemperatur = uppstart		Erhållen översläng	
	W (min)	C-F (min)	W (°C)	C-F (°C)
Zon 1	90*	17,5	-	1
Zon 2	54	22	0	0
Zon 3	62	32	0	0
Zon 4	59	14,5	0	2

* När bara upp till 178°C

Tabell 6.6 Visar skillnaden vid uppstart mellan Windsors parametrar (W) och parametrar framtagna enligt denna rapport (C-F).

Av tabellerna framgår bland annat att när det gäller P-delen har stora skillnader i inställningarna erhållits. För zon 3 och zon 1 skiljer sig också D-delen markant. Dessutom har uppstartstiden blivit betydligt kortare. Om jämförelse görs för de långsammaste zonerna i de båda fallen, d.v.s. de zoner som avgör när produktionen kan starta, har formsprutan blivit en faktor 3 snabbare med inställningen enligt fig. 6.4.

6.4 Stegprov

6.4.1 Inledning

Närmare redovisning om stegproven lämnas inte här eftersom dessa varit intimt sammankopplade med uppstartsproven vilket framgår av kap. 6.2. Här nämns bara hur proven gick till och några intressanta iakttagelser.

6.4.2 Genomförande

Proven utfördes oftast efter det att ett uppstartsprov gjorts för att på så sätt kunna kombinera iakttagelserna från de två proven till en bra kompromiss.

Proven gjordes genom att höja bör-värdet för alla fyra zonerna i steg om $+2^{\circ}\text{C}$, $+5^{\circ}\text{C}$ eller $+10^{\circ}\text{C}$. Stegprov där bör-värdet sänktes utfördes bara någon enstaka gång och då blev resultatet också ganska ointressant. Detta beroende på att avsvlningshastigheten i sig själv är så långsam, se kap 3.6, att regulatorerna inte har några problem att klara av detta. Dock kan regulatorerna, genom sina D-delar, ytterligare försinka avsvlningshastigheten beroende på att dessa drar på effekt "för tidigt" och på så sätt orsakar nedåtgående trappsteg. Det bästa sättet att genomföra en nedåtgående stegändring torde därför vara att stänga av värmen till den eller de zoner vars temperatur skall sänkas. Avstängningen såväl som bör-värdesändringar kan göras på sid. 10 på bildskärmen. Därefter kan värmen kopplas på igen när är-värdet nått den inställda temperaturen.

Ett intressant fenomen kunde iakttagas vid vissa uppstartsprov och därefter följande stegprov. Trots att uppstartsprovet inte gett någon väsentlig översläng kunde mycket väl det efterföljande "enkla" stegprovet ge en väsentlig översläng på upp till $+5^{\circ}\text{C}$. Detta visade sig senare bero på en i förhållande till D-delen för stor I-del. I-delen dominerade vid korta steg över D-delen. D-delen verkar ju bara på utsignalen och innan denna hunnit reagera hade I-delen dragit på så pass mycket effekt att D-delen inte "hann med" att kompensera för detta. Fenomenet gällde bara zonerna 2, 3 och 4 vars massor är betydligt större än zon 1. Zon 1 reagerar omedelbart, p.g.a. sin låga massa, och här "hinner D-delen med" att kompensera för I-delens pådrag.

7. PRODUKTIONSPROV

7.1 Inledning

Produktionsproven gjordes med ett verktyg för tillverkning av termometerhölje. Plastmaterialet var ABS och inställningen av temperaturen för de olika zonerna var enligt nedan.

Zon 1	220°C
Zon 2	215°C
Zon 3	210°C
Zon 4	205°C

Denna från cylinderns munstycke avtagande temperatur är vanlig vid formsprutning av de flesta plastmaterial.

7.2 Genomförandet

Proven genomfördes vid automatisk produktion d.v.s. temperaturkurvorna registrerades då verktyget och formsprutan var inställda så att automatisk produktion kunde ske. Jämförelse gjordes mellan produktion med Windsors standardparametrar och med parametrar enligt fig. 6.4, d.v.s. de parametrar som denna rapport rekommenderar som optimala.

7.2.1 Produktion med Windsors standardparametrar

Generellt sätt låg temperaturerna vid produktion med dessa parametrar lungt och konstant kring ett värde. Parametrarna gav en hyfsad reglering men följande kunde noteras för de olika zonerna.

- Zon 1: Temperaturen nådde inte riktigt upp till 220°C vilket var det inställda värdet. Temperaturen låg istället på 218-219°C. Samma tendens fanns ju också för denna zon vid uppstart med Windsors parametrar. Temperaturkurvan beskriver en jämn och lugn rörelse.
- Zon 2: Bra reglering med lugn och jämn rörelse, dock ligger temperaturen en grad över bör-värdet, 216°C istället för 215°C. Förklaringen till detta finns i beskrivningen av zon 3.
- Zon 3: Denna zon har en lugn och jämn temperaturkurva men är-värdet ligger här hela 9°C över börvärdet, 219°C istället för 210°C. Detta trots att värmen till denna zon hela tiden är fränslagen. Någon reglering är det alltså inte frågan om här utan zonen kan inte snabbt nog bli av med den värme som produceras. Värmeflödet går åt motsatt håll, se kap. 2. Värmen produceras då skruven knädar och maler plasten. Det uppstår då friktionsvärme som är större än den erforderliga värme som behövs för att hålla temperaturen för zonen vid 210°C. Försök gjordes att få ner temperaturen genom att tillfälligt stänga av produktionen. Temperaturen sjönk då till 210°C men steg åter snabbt till 219°C då produktionen återupptogs. Den höga temperaturen på plasten här är förmodligen orsaken till att zon 2 ligger 1°C över börvärdet. Zon 2 får ju plast via zon 3.

Zon 4: Lugn och jämn temperaturkurva där är-värdet ligger exakt på bör-värdet 205°C.

7.2.2 Produktion med parametrar enligt kap. 6

Produktionen med dessa parametrar liknade i stort sett produktionen med Windsors parametrar. Dock förbättrades regleringen på några punkter.

Zon 1: Temperaturen låg nu exakt på bör-värdet och kurvan var nu ännu lugnare och jämnare.

Zon 2: Temperaturen ligger nu exakt på bör-värdet, 215°C trots att zon 3 har samma höga temperatur som tidigare.

Zon 3: Som sagt exakt samma uppträdande som för Windsors parametrar. En sänkning av skruvens varvtal medförde en sänkning av temperaturen till 218°C, men gav inget annat resultat. Temperaturkurvan är fortfarande lugn och jämn.

Zon 4: Lugn och jämn temperaturreglering med är-värdet exakt på bör-värdet 205°C.

7.3 Sammanfattning

Produktionsproven gav att både reglering med Windsors parametrar och av denna rapport rekommenderade parametrar gav ett bra resultat, dock med plus i kanten för rapportens parametrar.

Egenheten med zon 3 är svår att åtgärda. Trots att ingen värme tillförs zonen är dess temperatur 9°C över bör-värdet. Det kan hända att detta problemet endast uppstår för den provade plasten, ABS. En annan plast med andra egenskaper kanske ger ett helt annat uppträdande. Emellertid spelar det inte så stor roll att temperaturen i zon 3 är för hög då temperaturen för zon 2 är den rätta. Det är denna zons temperatur som till väsentlig del bestämmer plastproduktens kvalitet.

De av rapporten rekommenderade parametrarna kan alltså användas vid produktion. Resultatet blir sannolikt bättre än med Windsors standardparametrar.

8. RESULTAT

I detta kapitel sammanfattas de resultat som erhållits under examensarbetet.

8.1 Regulatorns uppbyggnad

Genom olika försök har nedanstående regulatoralgoritm framtagits som den mest troliga:

$$u(t) = KP \cdot \left[e(t) + KI \int e(t) dt - KD_{total} \cdot \frac{dy}{dt} \right]$$

där $u(t)$ = styrsignal till processen

$e(t)$ = felet (skillnaden mellan bör-värdet och är-värdet)

y = mätsignalen

KP, KI, KD_{total} = regulatorparametrar i datorn

Dessutom dämpas styrsignalen innan den når processen, i vårt fall värmebanden på cylindern. Dämpningen uppför sig som ett lågpasfilter med en tidskonstant på 30-40 sekunder.

Regulatorns uppbyggnad visas i denna figur:

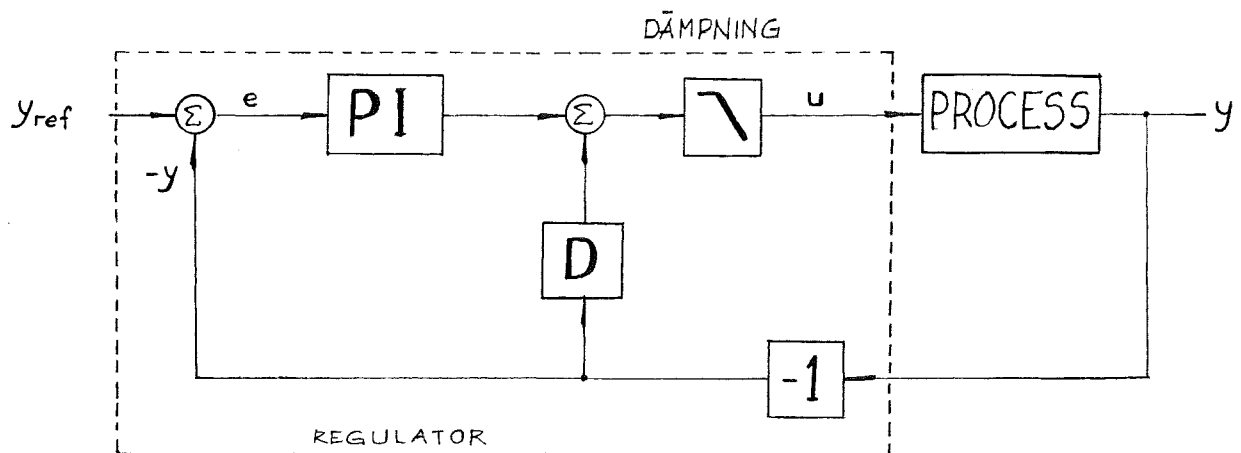


Fig. 8.1 Regulatorns uppbyggnad

8.2 Framtagen regulatorinställning

Under hela examensarbetet har olika regulatorparametrar ställts in och systemet studerats både vid uppstart, mindre stegändringar och produktion. Ur dessa studier har följande regulatorinställning framkommit.

13:39 08.08.1985

SIDA 5 210

INMATN.: SIDA

VAERME PARAMETER

	KP/KFIL	KD/HYST	KI/LIM	KYI	KKD
1- 5 ZON	1 105	180	110	0	2
6-10 ZON	2 57	150	70	0	3
11-15 ZON	3 45	130	70	0	4
16-20 ZON	4 33	150	60	0	2

Fig. 8.2 Framtagen regulatorinställning

Denna regulatorinställning har sedan jämförts med den standardinställning som Windsor gett. Denna jämförelse ger att:

- uppstartstiden minskats till **en tredjedel** med den framtagna regulatorinställningen.
- den framtagna regulatorinställningen är **bättre anpassad** till de olika cylinderzonerna och sköter värmeregleringen av dessa bättre.

8.3 Samband mellan datorns parametrar och Ziegler-Nichols-metodens parametrar

Jämförelser mellan de parametervärden som Ziegler-Nichols-testen gav och den regulatorinställning som vi provat oss fram till för varje zon har gjorts. På så sätt har konstanter framtagits som översätter bryggan mellan regulatorn och formsprutans reglerparametrar. Följande gäller:

$$K_P = 0,6 \cdot K_{\max}$$

$$K_{D_{\text{total}}} = K_D \cdot 2^{KKD} = 20 \cdot T_D$$

$$K_I = \frac{T_i}{19000} \quad \text{..... 8.1}$$

K_{\max} är förstärkningen vid instabilitetsgränsen

$$T_D = T_P/8$$

$$T_i = T_P/2$$

T_P är den instabila svängningens periodtid i sekunder.

En direkt översättning från T_P till $K_{D_{\text{total}}}$ och K_I ger:

$$K_{D_{\text{total}}} = K_D \cdot 2^{KKD} = 2,5 \cdot T_P$$

$$K_I = \frac{T_P}{38000} \quad \text{..... 8.2}$$

8.4 Framtida arbete

Det som närmast bör göras för att på något vis verifiera resultaten enligt denna rapport är att undersöka värmeregleringen av verktygets tio zoner.

Detta kan ske genom att utföra liknande Ziegler-Nichols tester som här har gjorts på verktyget. Framtagna K_{\max} - och T_P - värden skall sedan översättas m.h.a. ekv. 8.1 eller 8.2. De parametrar som kommer fram testas därefter i regulatorn med uppstartsprov, stegprov och produktionsprov.

Ur detta kan översättningskonstanterna i ekv. 8.1 och 8.2 kontrolleras och optimeras.

För att få ytterligare insikt i hur regulatorn är uppbyggd kan simuleringar i SIMNON göras. Denna insikt kan uppnås genom att studera olika regulator- och dämpningskonstruktioner och jämföra dessa med formsprutans regulator. Alltså ett slags identifieringsarbete av regulatorn.

I ett vidare perspektiv kan det också vara intressant att undersöka regulatorerna för regleringen av skruvens axiella rörelse både vad det gäller hastigheten och det då uppbyggda trycket.

Technische Information Nr. T05/02/84

Abteilung	Sachbearbeiter	Telefon-Durchw.	Datum	Ort
	Herr Vymazal	06194/684-302	30.06.1984	Maintal 2

Einstellanleitung für Temperaturregler MPC 80gültig ab Version 5.10

- Betr.: 1. Wirkung der Reglerparameter auf den Regler
2. Speicherung der Reglerparameter
3. Prinzipielles Vorgehen bei der Einstellung von Regeln
4.
5.
6.
7.
8.
9.

Verteiler:

Kundendienst
Test
Elektrokonstruktion
Ablage TI
Ablage MPC 80 Beschreibung

Einstellanleitung für Temperaturregler

Auf der Seite 210 und folgende, können die Reglerparameter für die Temperaturregler eingestellt werden. Die Seite 210 kann über den Geheimcode (S. 945, 3 sec warten 210) erreicht werden.

Heizungsparameter

	KP/KFIL	KD/HYST	KI/LIM	KYI	KKD
1 - 5 ZONE	1 20	50	80	0	3
6 - 10 ZONE	2 10	100	80	0	3
11 - 15 ZONE	3 10	100	50	0	3
16 - 20 ZONE	4 10	120	80	0	3
21 - 25 ZONE	5 10	120	80	0	4
26 - 30 ZONE	6 10	150	80	0	3
31 - 35 ZONE	7 10	150	80	0	3
36 - 40 ZONE	8 10	150	80	0	3
41 - 45 ZONE	9 16	150	80	0	3

Die Einstellwerte auf Seite 210 werden als Reglerparameter bezeichnet.

Es bedeutet:

KP	Proportionalfaktor
KI	Integralfaktor
KD	Differentialfaktor - 1
KKD	Differentialfaktor - 2 (Exponent zu KD)
KYI	- frei, keine Funktion

1. Wirkung der Reglerparameter auf den Regler

KP: Der Proportionalfaktor bestimmt die Verstärkung im Regelkreis. Je höher der Wert, desto stärker reagiert der Regler auf Soll-Istwert-Unterschiede, d.h., er versucht die Soll-Istwert-Differenz umso schneller auszugleichen.

Z.B.: Wenn der Istwert kleiner als der Sollwert ist, wird der Regler versuchen durch Erhöhung der Heizleistung die Temperaturdifferenz auszugleichen. Je größer KP eingestellt ist, umso größer wird die Erhöhung der Heizleistung sein, und umso schneller wird die Temperatur ansteigen. Steigt die Temperatur zu schnell an, besteht die Gefahr des Überheizens (Überschwingen). Ist die Isttemperatur größer als der Sollwert, wird der Regler die Heizleistung reduzieren und der Plastifizierzylinder wird beginnen, sich nach einiger Zeit (diese Zeit wird als Verzugszeit bezeichnet) abzukühlen.

Um ein Schwingen des Istwertes um den Sollwert zu verhindern, muß die Verstärkung des Reglers an die Regelstrecke (Plastifizierzylinder) angepaßt sein, d.h., die Einstellung des Proportionalfaktors muß an die Heizzone angepaßt sein.

KI: Der Integralfaktor bestimmt die Reaktion des Reglers auf Störgrößen, wie z.B.: Beginn PLastifizieren, Ende PLastifizieren.

KD: Der Differentialfaktor verhindert das Überschwingen beim Aufheizen des Zylinders. Er bewirkt das rechtzeitige Reduzieren der Heizleistung beim Aufheizen, um nicht über die gewünschte Solltemperatur hochzuheizen.

KYI: Zur Zeit keine Verwendung

KKD: Exponent zur Basis 2, wirkt als Multiplikator für KD. Dieser Wert wurde eingeführt, um einen weiten Einstellbereich für den Differentialanteil zur Verfügung zu stellen. Er wird meist auf 3 gestellt.
Bei langsamen Heizzonen (Zone 3 der C-E - Einheit (HSI) oder Zone 4 der F - Einheit) wird der Wert auf 4 eingestellt.
Bei schnellen Heißkanalregelkreisen wird der Wert auf 1 eingestellt.

2.

Speicherung der Reglerparameter

Die Reglerparameter bleiben im Dauerspeicher der MPC 88 erhalten.

Bei Datenverlust werden die Reglerparameter automatisch vom EPROM in den Dauerspeicher übertragen, wo die Werte so stehen, wie sie bei Auslieferung der Maschine eingestellt wurden.

Zusätzlich werden die Reglerparameter von Plastifizierzylinder und Werkzeugheizung auf Kassette gespeichert. (Auch wenn der Geheimcode ausgeschaltet ist).

D.h., beim Lesen der Kassette werden die auf der Kassette stehenden Reglerparameter in den Dauerspeicher übertragen. Die Werte auf Seite 210 werden überschrieben.