

CODEN: LUTFD2/(TFRT-5224)/1-033/(1979)

REGLERING AV STRÄNGSPRUTA

KJELL BRÄNNSTRÖM

HANS MELCHER

INSTITUTIONEN FÖR REGLERTEKNIK
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
AUGUSTI 1979

Dokumentutgivare
Lund Institute of Technology
Handläggare Dept of Automatic Control
Gustaf Olsson
Författare
Kjell Brännström
Hans Melcher

Dokumentnamn
REPORT LUTFD2/(TFRT-5224)/1-033)/(1979)
Utgivningsdatum
August 1979
Dokumentbeteckning
Ärendebeteckning
66T6

10T4

Dokumenttitel och undertitel
Reglering av Strängspruta
(Control of a rubber extruder)

Referat (sammmandrag)
The purpose of this work has been to identify and control a rubber extruder. The product diameter variance has to be minimized. It is controlled by the setpoint value of the screw rotation speed. During the experiments it was not allowed to change or uncouple the temperature controller. A mathematic model has been derived by a process identification of measured data. The results indicate, that the product standard deviation is only one sixth of the stipulated tolerance value, already with no automatic control. Therefore it is not considered worthwhile to implement minimal variance controller, as no significant improvement can be expected.

It is considered interesting to further study the temperature control. It is believed that an improvement of this controller can increase the production

Referat skrivet av
authors rate without loosing in quality.

Förslag till ytterligare nyckelord
44T0

Klassifikationssystem och -klass(er)
50T0

Indextermer (ange källa)
52T0

Omfång
33 pages

Övriga bibliografiska uppgifter
56T2

Språk
Swedish

Sekretessuppgifter
60T0

ISSN
60T4

ISBN
60T6

Dokumentet kan erhållas från
Department of Automatic Control
Lund Institute of Technology,
P O Box 725, S-220 07 LUND 7, Sweden

Mottagarens uppgifter
62T4

Pris
66T0

DOKUMENTATABLAD enligt SIS 62 10 12

SIS-
DB 1

Blankett LU 11:25 1976-07

UPPGIFTER I DOKUMENTDATABLADET

Nedanstående uppgifter motsvaras av ledtext i blanketten. Beteckningarna består av radgångsnummer och tabuleringsläge (T-läge). De anger startläge, dvs var textrad normalt skall börja.

04T0 DOKUMENTUTGIVARE ISSUING ORGANIZATION

Fullständigt namn för den organisation (motsv) som utgivit dokumentet (uppgiften kan vara förtryckt).

04T4, 04T6 DOKUMENTNAMN OCH -BETECKNING DOCUMENT NAME AND REF.NO.

Dokumentnamn anger dokumentets typ och ändamål och då dokumentet har ett dokumentnamn utsätts detta (med versaler). Exempel: PM, RAPPORT, KOMPENDIUM, BESKRIVNING, INSTRUKTION, UTREDNING, ANBUD, STANDARD. Dokumentnamnet följs av en dokumentbeteckning som anger dokumentets plats i en serie, t ex rapportnummer, protokollnummer. Är dokumentet i första hand framställt för spridning utanför den egna organisationen bör beteckningen utformas så att utgivande institution kan identifieras med uppgift om enbart dokumentbeteckningen.

Exempel härpå är rapportnumrering enligt amerikansk nationell standard (ANSI Z39-23) och det av ISO tillämpade beteckningssystemet för dokument i olika utvecklings-skeden.

06T0 HANDLÄGGARE

Person som sakbearbetar ärendet hos dokumentutgivaren.

06T4 UTGIVNINGSDATUM DATE OF ISSUE

Dokumentbladet förses med dokumentets utgivningsdatum. Datum skall anges enligt SIS 01 02 11, dvs numeriskt i ordningen år, månad, dag (exempel 1975-07-03) eller alfanumeriskt med de tre första bokstäverna av månadens namn (exempel Aug 1975).

06T6 ÄRENDEBETECKNING PROJECT NO. ETC

Exempel på ärendebeteckning är diarienummer, projektnummer, kontonummer, kort sakord eller annan beteckning som hänför sig till det i dokumentet behandlade ärendet ("sak").

08T0 FÖRFATTARE AUTHOR(S)/CORPORATE AUTHORS

I första hand anges dokumentets författare. Vid kollektivt författarskap (t ex kommitté) anges för dokumentet ansvarigt organ. Även projektledare, redaktör eller annan "handläggare" kan anges. Namn bör anges i följden (1) hela förnamn (2) efternamn. Titel erfordras ej.

10T0 (RESERV)

Fältet (motsv v2 i standardiserad brevblankett) kan utnyttjas då flera författarnamn förekommer. Fältet kan även användas för namn och adress på mottagare av dokumentdatabladet, t ex dokumentationscentral.

10T4 ANSLAGSGIVARE SPONSORING ORGANIZATION

Fältet (motsv h2 i standardiserad brevblankett) bör reserveras för namn och postadress på anslagsgivare eller annan institution som i egenskap av finansierande organ (för ett projekt) återopas i dokumentet.

18T0 DOKUMENTTITEL OCH UNDERTITEL DOCUMENT TITLE AND SUBTITLE

Fältet används för dokumentets titel och (ev) undertitel. Antalet bilagor anges inom parentes efter den första titeluppgiften. Titeluppgifterna får ej förkortas eller på annat sätt förändras, men de kan kompletteras med exempelvis översättning till engelska.

26T0 REFERAT (SAMMANDRAG) ABSTRACT

Texten i fältet skall bestå av ett sammandrag av dokumentets innehåll. Nyckelord skall understrykas.

Det bör uppmärksammas att sammandraget bör kunna återges i reproduktion på kort i format A6L eller i förminskning. Detta motiverar att referatet skrivs med början i tabuleringsläget T2. (Vid början i TO iaktas en radlängd av högst 125 mm).

Anm: ISO 214 - Documentation - Abstracts ger ledning vid utformning och redigering av referat.

42T0 REFERAT (SAMMANDRAG) SKRIVET AV ABSTRACT WRITTEN BY

Det förutsätts att sammandraget i första hand skrivs av dokumentets författare. Härvid anges "förf" i rutan. Om annan än författaren är ansvarig för referatet (sammandraget) kan initial och efternamn eller enbart initialer anges.

44T0 FÖRSLAG TILL (YTTERLIGARE) NYCKELORD KEY WORDS

Med nyckelord avses ord som författaren finner bäst karakteriserar innehållet i det refererade dokumentet. Antalet nyckelord bör vara minst 5 och högst 15.

55T0 KLASSIFIKATIONSSYSTEM OCH KLASS(ER) CLASSIFICATION SYSTEM AND CLASS(ES)

I fältet anges beteckningar för dokumentets ämnesinnehåll enligt något klassifikations-system.

52T0 INDEXTERMER INDEX TERMS

Härmed avses innehållsbeskrivande termer om de hämtats från en kontrollerande vokalbulär (tesaurus). Indextermerna kan avvika från nyckelorden (jfr 44T0) som kan fritt väljas. Den thesaurus eller motsv från vilken

indextermerna har hämtats skall anges efter sista indextermen.

56T2
ÖVRIGA BIBLIOGRAFISKA UPPGIFTER
Uppgifterna kan avse impressum (förlagsort, förlag, utgivningstid, tryckeri etc), upplaga, serietillhörighet och liknande.

56T0 OMFÄNG NUMBER OF PAGES

Uppgiften anges med antal sidor i det refererade dokumentet inkl bilagor, förekommande (särpaminerade) bilagor.

58T0 SPRÅK LANGUAGE

Dokumentets språk i det fall det är annat än svenska.

60T0 SEKRETESSUPPGIFTER SECURITY CLASSIFICATION

Uppgift om begränsad tillgänglighet hos dokumentet med hänsyn till sekretess och andra av myndighet (genom lagstiftning eller på annat sätt) eller av dokumentutgivaren gjorda inskränkningar.

60T4 ISSN

International Standard Serial Number. Anges endast för serier åsatt ISSN.

60T6 ISBN

International Standard Book Number. Anges endast för dokument med åsatt ISBN.

62T0 DOKUMENTET KAN ERHÅLLAS FRÅN DISTRIBUTION BY

Namn och (om möjligt) postadress på distributör av det refererade dokumentet.

62T4 MOTTAGARENS UPPGIFTER RECIPIENT'S NOTES

Fält som kan disponeras av mottagaren.

66T0 PRIS

Priset anges i svenska kronor såvida ej dokumentets spridning motiverar annan valuta.

För att möjliggöra maskinell läsning av text i dokumentdatabladet har teckensnitt ORC-B använts vid ifyllning av förlageblanketten. Teckensnittet behandlas i SIS 66 22 42 (under arbete 1976).

REGLERING AV STRÄNGSPRUTA

av Kjell Brännström och Hans Melcher

handledare: univ.lekt. Gustaf Olsson, LTH

Ett tack till:
tekn.lic. Lars Wängberg Trelleborgs AB
instrumentingenjör Bertil Nilsson Trelleborgs AB

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<u>1 INLEDNING</u>	sid. 4
<u>2 PROCESSEN.</u>	sid. 6
2.1 Beskrivning av strängspruta.	sid. 6
2.2 Mätsignaler.	sid. 8
2.3 Produktkvalite.	sid. 9
2.4 Reglerbarhet.	sid.10
<u>3 IDENTIFIERING.</u>	sid.11
3.1 Inledande stegsvarsexperiment.	sid.11
3.2 Val av samplingstid.	sid.12
3.3 Identifieringsexperiment.	sid.12
3.4 Modellstruktur.	sid.13
3.5 Identifiering börvärde varvtal-tryck	sid.15
3.6 Identifiering börvärde varvtal-ytterdiameter	sid.19
3.7 Identifiering tryck-ytterdiameter	sid.25
<u>4 ANALYS</u>	sid.27
4.1 Syntes av minimalvariansregulator	sid.27
4.2 Analys av slutna systemet	sid.28
4.3 Kvalitativ analys	sid.29
<u>5 SLUTSATSER</u>	sid.31
<u>6 REFERENSLISTA</u>	sid.32

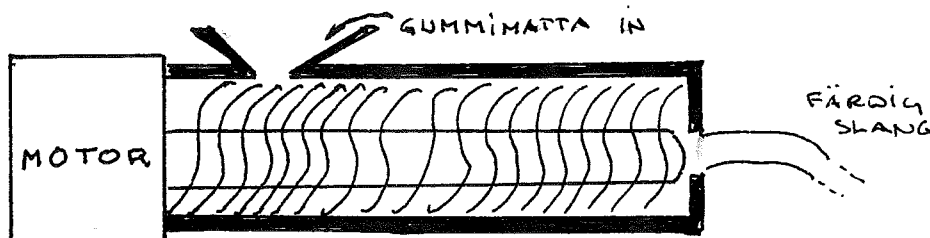
reglering av strängspruta

1 INLEDNING

Syftet med denna rapport är att undersöka möjligheterna att reglera en strängspruta. Denna används vid Trelleborg AB för framställning av gummislang. Slangen används som grundkomponent till tryckluft- och hydraulslang.

Rapporten är en fortsättning på [1], dock skall observeras att denna rapport behandlar en större strängspruta i industriell drift.

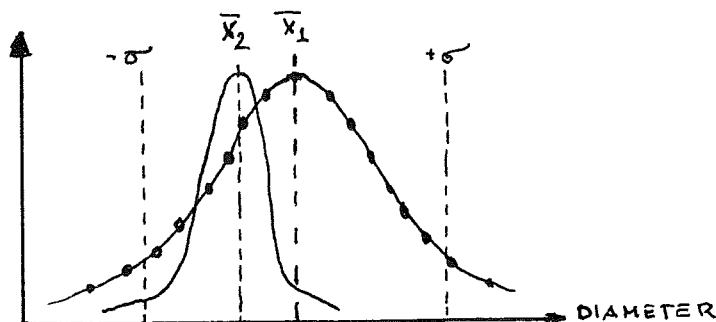
Strängsprutan arbetar enligt köttkvarnsprincipen dvs en gummimatta matas kontinuerligt in i den uppvärmda cylindern, mals och smälts för att slutgiltigen pressas ut genom ett munstycke till önskad slangdiameter och godstjocklek.



figur 1.1 Schematisk bild av strängsprutan

Avsikten med rapporten var att vid behov implementera en digital regulator som minimerar variansen på slangytterdiametern oberoende av gummikvalite och yttre störningar. Den första faktorn indikerar att regulatorn bör vara adaptiv typ. Den andra faktorn kan ej förbises i detta fall, eftersom strängsprutan befinner sig i industriell miljö. I denna miljö finns så gott som alltid yttre störningar som variationer på nätspänningen, spänningsspikar etc.

Att minimera variansen är naturligt då detta medför att mindre slang måste recirkuleras på grund av att ytterdiametern ligger utanför toleransgränserna. Toleransen på den aktuella slangen är ± 0.3 mm.



figur 1.2 Dimensionsfördelning vid olika varianser
I figur 1.2 ser man att förutom att kassationen minskar så

reglering av strängspruta

kan man också lägga medelvärdet för den tillverkade slangen närmare den nedre toleransgränsen. Detta medför en minskad åtgång av råvara.

I kapitel 2 beskrivs strängsprutans fysik, ur mekanisk och elektrisk synpunkt. Kapitel 3 behandlar de identifieringsexperiment som utförts samt resultaten av dessa. Syntes av regulator och analys av det slutna systemet behandlas i kapitel 4. Slutsatser och rekommendationer kommer slutligen i kapitel 5.

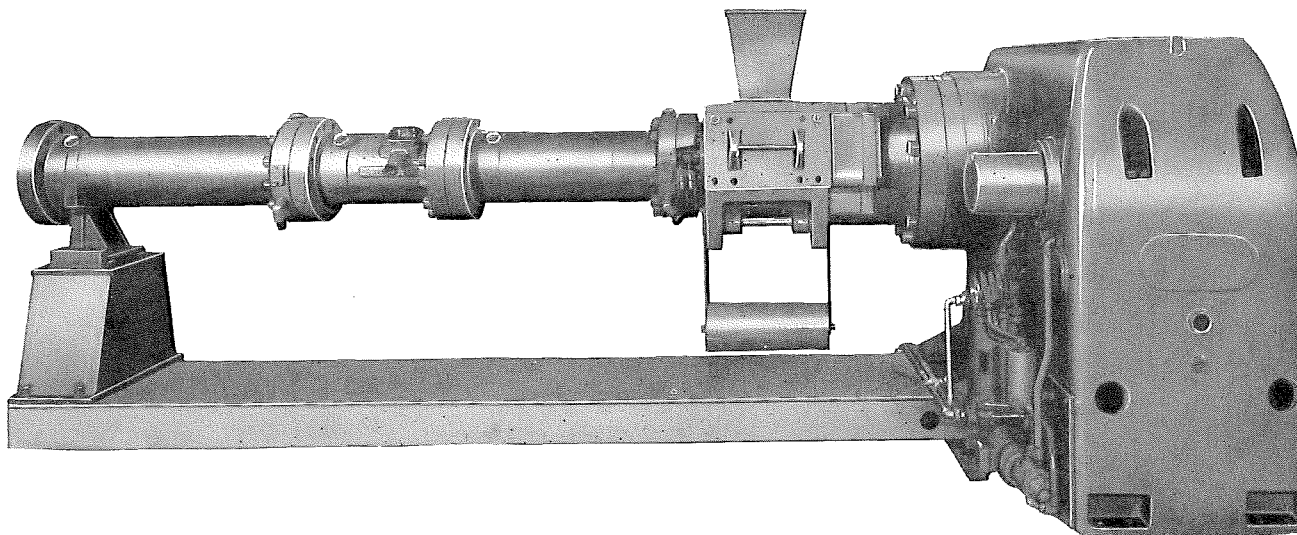
reglering av strängspruta

2 PROCESSEN.

I detta kapitel beskrives först strängsprutans fysik samt dess nuvarande reglersystem. Därefter följer en beskrivning av befintliga mätsignaler, deras kvalite och signalnivåer. I 2.3 redogörs för hur den tillverkade slangen kontrolleras och slutligen kommer i 2.4 en kort beskrivning av reglerbarheten hos systemet.

2.1 Beskrivning av strängsprutan.

Strängsprutan är av fabrikat Berstorff, typ GE 150*16D. Den är utrustad med 4 temperaturzoner, 2 i cylindern, 1 i fyllsektorn och 1 i skruven. De regleras var för sig av ett separat temperaturreglersystem.

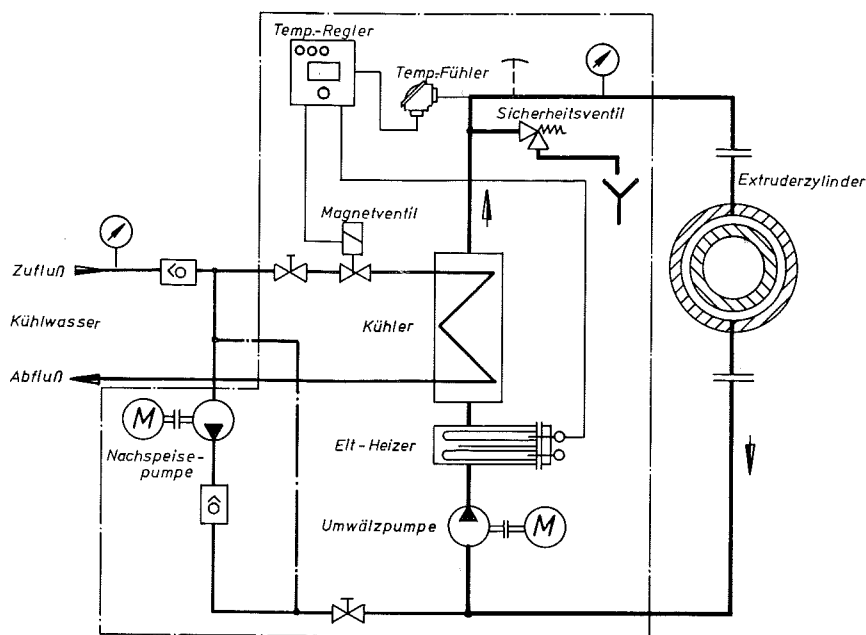


figur 2.1 Den aktuella strängsprutan

Skruven drivs med en likströmsmotor som är nedväxlad i en växellåda, så att skruvens maximala varvtal blir 36 rpm. Varvtalet regleras av ett tyristorsystem. Skruvens varvtal mäts av en tachometer, vilket medför att reglersystemet håller inställt varvtal även om matningsspänningen varierar.

Temperaturregleringssystem.

Temperaturregleringssystemet tillverkas av Berstorff, typ GE 150/4Z.



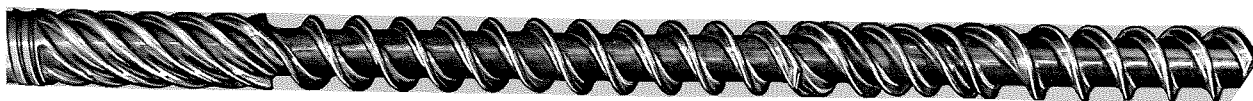
figur 2.2 Temperaturregleringssystemet

Systemet är ett slutet vattencirkulationssystem. I detta värms vattnet vid behov av ett elektriskt element och kyls vid behov av en värmeväxlare. Temperaturreglatorn håller en konstant temperatur på ingående vatten till strängsprutan.

Temperaturregleringen var fixerad och fick ej urkopplas under identifieringsexperimenten.

Strängsprutans fysik.

Gummiråvaran levereras i form av cirka 1 meter breda mattor från blandningsavdelningen. Mattan matas med jämn hastighet in i strängspruteintaget.



figur 2.3 Skruvens utformning

Genom skruvens rotation frammatas gummit mot munstycket. Energi tillföres gummassan främst genom friktion i gummit. Om detta ej räcker för att hålla rätt arbetstemperatur så tillföres energi via temperatureglersystemet. Bliir å andra sidan temperaturen för hög, så kyls systemet. Gummismältan pressas genom ett munstycke till önskad slangprofil. Därefter kyls slangen i ett vattenbad och rullas upp på pallar i längder om cirka 300 meter.

reglering av strängspruta

2.3 Mät signaler.

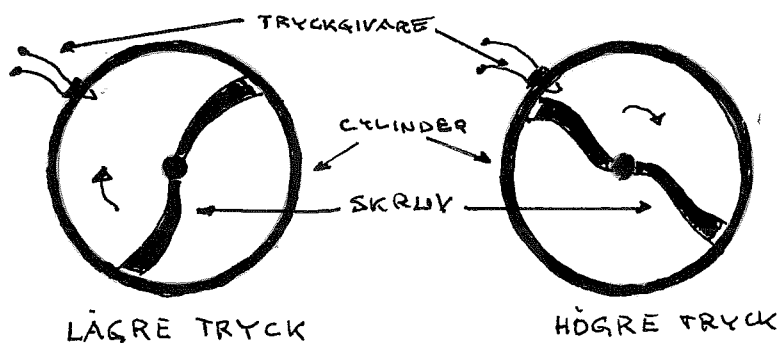
Följande mätsignaler finns tillgängliga:

1. Motorspänning
2. Ankarström
3. Börvärde till skruvens varvtal
4. Ärvärde, skruvens varvtal
5. Tryck i spruthuvudet
6. Temperatur i spruthuvudet
7. Ytterdiameter på tillverkad slang, cirka 1 dm efter spruthuvudet

Kommentarer om mätsignalerna och deras kvalitet.

Motorspänningen är direkt proportionell mot skruvens varvtal. Ankarströmmens storlek är proportionell mot momentet på skruven. Dessa signaler användes ej. Vid stegsvarsexperiment och identifiering används genomgående varvtalets börvärde. Kopplingen mellan bör- och ärvärde är momentan.

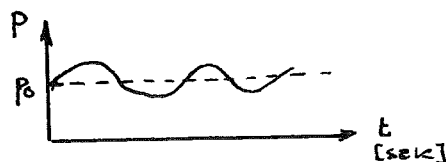
Tryckgivarens placering medförde att dess signal fick en överlagrad periodisk störning på grund av skruvens rotation. Se fig 2.4.



figur 2.4 Skruvrotationens inverkan på trycksignalen

Störningens frekvens (f) är två gånger skruvens varvtal:

$$f = \frac{\text{varvtalet} * 2}{60}$$



Det normala varvtalet på 15 rpm ger en frekvens på 0.5 Hz. Ytterdiametern mäts kontinuerligt med ett laserinstrument. Utsignalen från denna låg mellan 0 och 1 Volt vilket medför att den måste förstärkas 10 gånger. Detta för att anpassa

reglering av strängspruta

denna signal till datainsamlingssystemet.

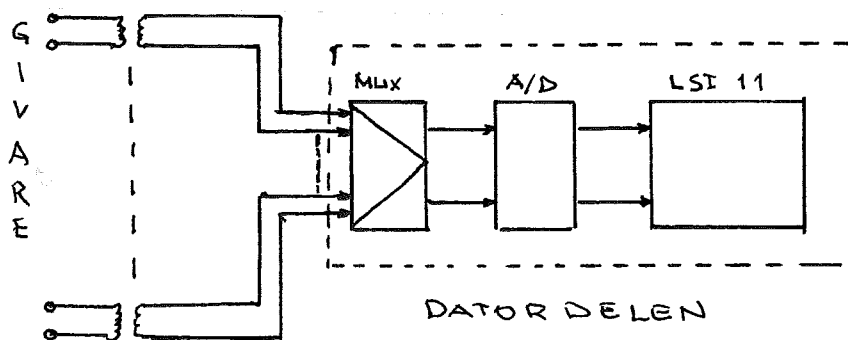
Samtliga mätsignaler omvandlades till spänningssignaler med nivåerna 0 till 10 V.

På grund av jordslingor uppstod stora inducerade spänningar i mätpunkterna. Exempelvis låg temperaturgivarens jordpunkt 50 V över systemjord. Detta problem eliminerades genom att koppla in likströmstransformatorer mellan givarna och datainsamlingssystemet. Härigenom blev systemen galvaniskt skilda från varandra.

Mätutrustning.

Datainsamlingssystemet bestod av:

LSI 11 minidator med dubbla flexskivor
8 analoga ingångar med en multiplexad 10-bitars A/D-omvandlare



figur 2.5 Datainsamlingssystemet

Datainsamlingssystemet administreras av programpaketet LOGGER [2].

2.3 Produktkvalite

Maskinoperatörens uppgift under drift är dels att övervaka processen dels att genom stickprov kontrollera att produkten uppfyller ställda krav.

Slangens dimensioner kontrolleras ungefär var 600:e meter. I ett vattenbad nedkyls en par decimeter lång slangbit, varefter ytterdiametern och godstjockleken mäts med ett skjutmått, omkretsen mäts med ett måttband och innerdiametern mäts med en tolk. Toleransen för ytterdiametern är $\pm 0.3\text{ mm}$, innerdiametern och tjocklekens tolerans är $\pm 0.1\text{ mm}$.

Operatören kan justera in dimensionen genom val av munstycke vid uppstarten samt genom justering av munstycket under drift.

reglering av strängspruta

2.4 Reglerbarhet.

Rapportens syfte är att undersöka möjligheterna att reglera slangens ytterdiameter med hjälp av kopplingen

varv -> tryck -> ytterdiameter

vid konstant temperatur.

Eftersom temperaturregleringen ej fick påverkas under drift kommer dess prestanda att påverka den identifierade modellen.

I [1] visades att trycket kan beskrivas som ett första ordningens system med varvet som insignal, en tidskonstant på cirka 1 sekund uppmättes. I denna rapport visas att även ytterdiametern kan beskrivas som ett första ordningens system.

3 IDENTIFIERING

I detta kapitel redogöres först för de inledande experimenten, deras syfte och resultat. Sedan väljes samplingstid på basis av de tidskonstanter som systemet har. Modellstrukturen visas i 3.4 och därefter följer en serie identifieringar med Maximum- Likelihood metoden. Gummisorten var hela tiden 5221, där ej annat anges.

3.1 Inledande stegsvarsexperiment

Syftet med de inledande experimenten var att:

- (i) kontrollera mätsignalernas kvalite, nivå och varians
- (ii) kontrollera strängsprutans ordningstal och jämföra med det resultat som [1] erhöill på den mindre labsprutan, samt att få en uppfattning om systemets tidskonstanter
- (iii) få en uppfattning om ev. olinjäriteter hos systemet
- (iv) få en approximation på överföringsfunktionen mellan börvärde varvtal-ytterdiameter
- (v) kontrollera olika gummisorters fysikaliska egenskaper

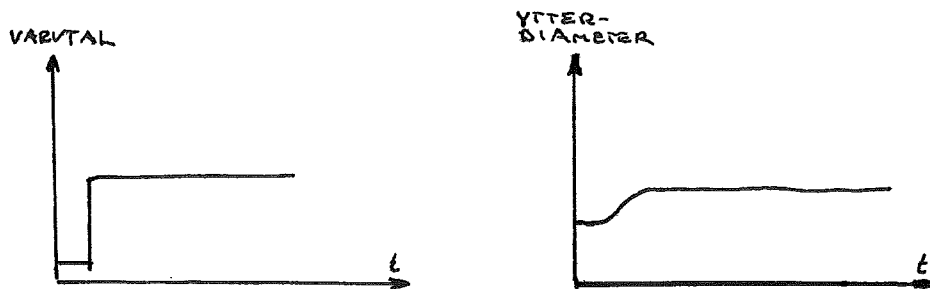
Utförande

Experimenten var två till antalet och utfördes på gummiblandningarna 132 och 5221, där det första är ett styvare material med mindre utsvällning efter munstycket. 132 är den kvalite som används till c:a 80% i produktionen. 5221 är den gummisort med störst utsvällning men den upptar en liten del av produktionen. Systemet stördes genom stegförändring av börvärdet till varvtalet, både uppåt och nedåt. Storleken på stegen var c:a 20% av driftsvarvtalet.

Resultat

Stegsvaren på ytterdiameter och tryck i sprutan registrerades på x-t-skivare. Kvaliten och nivån på signalerna var bra men variationen var liten, ca 0.6mm, dock uppvisade trycksignalen en periodisk störning, se 2.2. Stegsvaren tydde på första ordningens system, vilket vid en jämförelse med [1] föreföll rimligt. Tidskonstanterna var i storleksordning 1-2 sek. Jämförelse mellan steg uppåt och nedåt visade att systemet var linjärt i arbetsområdet, men för gummi 132 uppträdde ett mätningsfenomen. Ingen förändring i ytterdiameter kunde konstateras då varvet ökades.

reglering av strängspruta



figur 3.1 Enkelt stegsvar på ytterdiametern

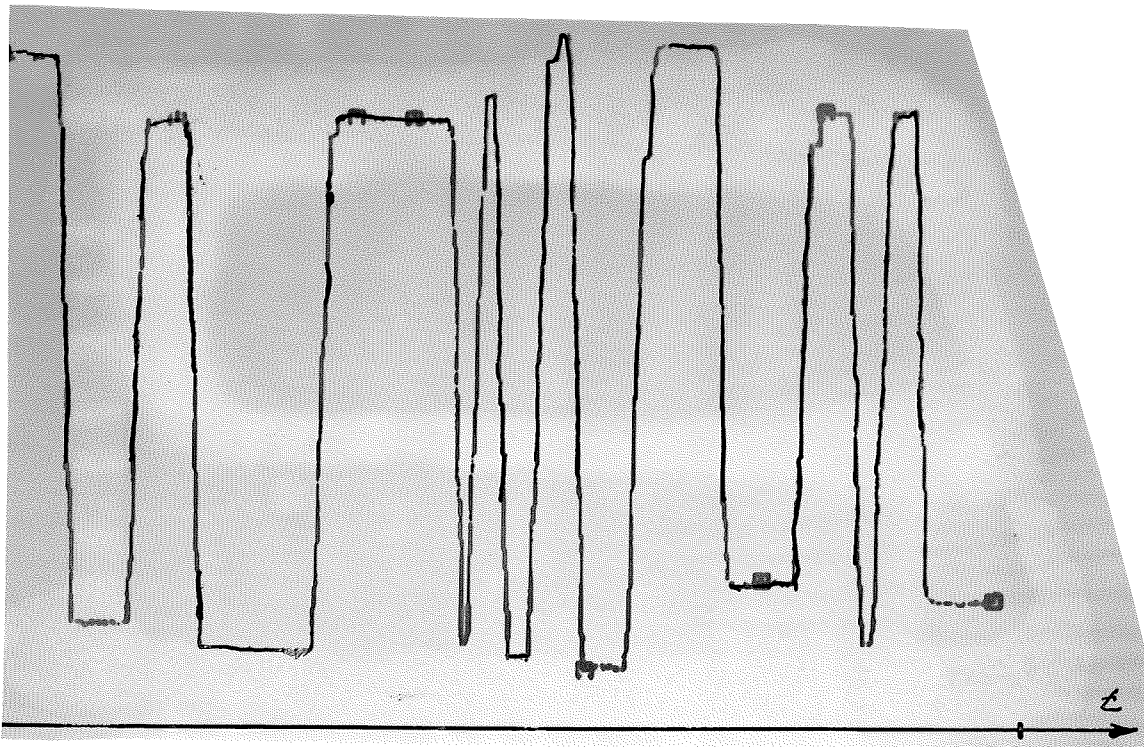
3.2 Val av samplingstid

Ett sätt att angripa den periodiska störningen på trycksignalen är att medelvärdesbilda denna över en hel period. Men då frekvensen varierar med varvtalet kommer periodtiden att ändras med detta, se 2.3. Detta blir omständigare än att sampla störningen. Stegsvarsanalysen gav att tidskonstanterna hos systemet var c:a 1 sek. Den periodiska störningen hos trycksignalen har en frekvens av 1/2 Hz vid 15 rpm. För att representera en period hos en sinusliknande signal behövs 10-20 sampel per period. Detta i kombination med tidskonstanterna gör att en samplingstid på 0.1 sek. var adekvat.

3.3 Identifieringsexperiment

Vid identifieringen användes en LSI-11 minidator med datainsamlingsprogrammet LOGGER [2]. Programmet läser av ingångarna på datorn vid varje sampel och lagrar mätvärden på massminne (flexskivor). Följande mätvärden loggades: börvärde varvtal, ärvärde varvtal, temp. och tryck i spruthuvudet, ytterdiameter. Gummityp vid experimentet var 5221. Som insignal (börvärde varvtal) användes dels en PRBS-signal dels stegstörning.

Pseudo-Random-Binary-Sequence är en i tiden slumpmässig variation mellan två nivåer. Vid experimentet användes en godtycklig handgenererad PRBS mellan 16 och 23 rpm. Stegstörningarna utfördes som tidigare.



figur 3.2 PRBS-signal

3.4 Modellstruktur

Ett dynamiskt system kan beskrivas med hjälp av en ordinär differentialekvation.

$$\frac{d^n y(t)}{dt^n} + \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} a_1 + \dots + a_n y(t) = b_1 \frac{d^{n-1} u(t)}{dt^{n-1}} + \dots + b_n u(t)$$

Ekvationen kan representeras på formen [3]

$$\frac{dx(t)}{dt} = A x(t) + B u(t)$$

$$y(t) = C x(t) + D u(t)$$

Användningen av dator medför transformation till diskret form med följande utseende [4]

$$x(t+T) = F x(t) + G u(t)$$

$$y(t) = C x(t) + D u(t)$$

där F och G ges av följande samband

$$F = e^{A \cdot T}$$

reglering av strängspruta

$$G = \int_0^T e^{A*s} B ds$$

T är samplingstiden

Låt nu

$$x(t-T) = q^{-1} x(t) \quad q \text{ skiftoperator}$$

Om systemet har endast en insignal och en utsignal kan systemet skrivas [5]

$$A(q^{-1}) y(t) = B(q^{-1}) u(t)$$

där

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_n q^{-n}$$

$$B(q^{-1}) = b_0 + b_1 q^{-1} + \dots + b_n q^{-n}$$

Denna modell representerar ett idealt system utan brus. Det verkliga bruset kan beskrivas som en sekvens av oberoende, normalfördelade stokastiska variabler $e(t)$, filtrerade genom ett digitalt filter, C.

Slutgiltiga modellen blir alltså

$$A(q^{-1}) y(t) = B(q^{-1}) u(t) + \lambda C(q^{-1}) e(t)$$

λ är brusets varians

Parametrarna estimeras med en Maximum-Likelihood algoritim. Identifiering med denna strategi utfördes m.h.a. programpaketet IDPAC [6].

Genom minimering av förlustfunktionen

$$V(\theta) = 0.5 \sum_{t=1}^N \text{eps}^2(t)$$

där

$$\text{eps}(t) = \frac{A(q^{-1}) y(t) - B(q^{-1}) u(t)}{C(q^{-1})}$$

och

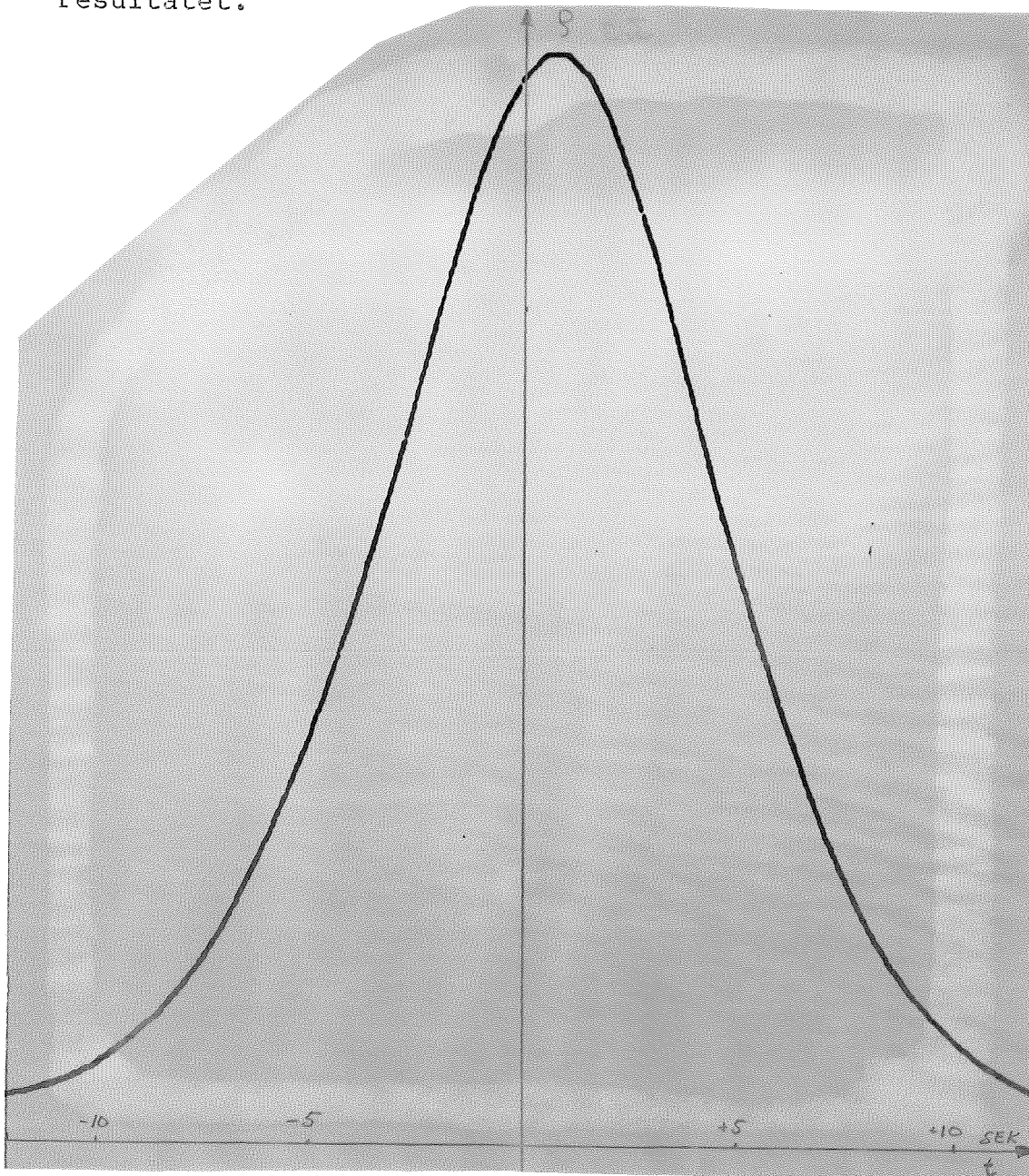
$$\hat{\theta} = \begin{bmatrix} a & \dots & a \\ b & \dots & b \\ c & \dots & c \end{bmatrix}$$

$$\begin{matrix} 1 & n & 1 & n & 1 & n \end{matrix}$$

erhölls den bästa skattningen av A , B och C * * *

3.5 Identifiering varvtal-tryck

For att verifiera kopplingen mellan varvtal och tryck studerades först korskorrelationen. Figur 3.3 visar resultatet.



figur 3.3 Korrelation varv-tryck

Som synes är trycket väl korrelerat till varvtalet.

reglering av strängspruta

Därefter utfördes ML-identifiering av ordning 1 och 2. Dessutom undersöktes om systemet kan representeras med direktterm

identifiering	direktterm	ordningstal
ML 1	nej	1
ML 2	nej	2
ML 3	ja	1
ML 4	ja	2

Vid identifieringen användes vart 5:e loggade mätvärde, vilket ger samplingstiden $T=0.5$ sekunder. Vid samtliga identifieringar har kompensation skett för ev. linjära trender i signalerna.

ML1:

$$* \begin{matrix} -1 & & -3 & -1 \\ A(q) = 1 - 1.302 \cdot 10^{-3} q \end{matrix}$$

$$* \begin{matrix} -1 & & -1 \\ B(q) = 0.124 q \end{matrix}$$

$$* \begin{matrix} -1 & & -1 \\ C(q) = 1 + 0.568 q \end{matrix}$$

$$\text{lamda} = 2.630 \cdot 10^{-3}$$

$$V(0) = 2.076 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Modellens pol: } p = 1.302 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Modellens nollställe: } n = 0$$

$$\text{Tidskonstanten } \tau = 0.08 \text{ sekunder}$$

reglering av strängspruta

ML2:

$$A(q^{-1}) = 1 - 0.577 q^{-1} - 0.355 q^{-2}$$

$$B(q^{-1}) = 0.165 q^{-1} - 0.157 q^{-2}$$

$$C(q^{-1}) = 1 - 0.309 q^{-1} - 0.145 q^{-2}$$

$$\lambda = 1.975 \cdot 10^{-3}$$

$$V(0) = 1.171 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Modellens poler: } p_1 = 0.950 \quad p_2 = -0.373$$

$$\text{Modellens nollställen: } n_1 = 0.953$$

(Tidskonstant tau = 9.75 sekunder)

Modellens negativa pol medför ingen kontinuerlig motsvarighet

ML3:

$$A(q^{-1}) = 1 - 0.153 q^{-1}$$

$$B(q^{-1}) = 0.102 q^{-1}$$

$$C(q^{-1}) = 1 - 0.600 q^{-1}$$

$$\lambda = 3.121 \cdot 10^{-3}$$

$$V(0) = 2.918 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Modellens pol: } p_1 = 0.153$$

$$\text{Modellens nollställe: } n_1 = 0$$

Tidskonstant tau = 0.27 sekunder

reglering av strängspruta

ML4:

$$A(q^{-1}) = 1 - 0.363 q^{-1} - 0.635 q^{-2}$$

$$B(q^{-1}) = 0.187 q^{-1} - 0.191 q^{-2}$$

$$C(q^{-1}) = 1 - 6.96 \cdot 10^{-2} q^{-1} - 0.493 q^{-2}$$

$$\lambda = 2.26 \cdot 10^{-3}$$

$$V(0) = 1.53 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Modellens poler: } p_1 = 0.999 \quad p_2 = -0.636$$

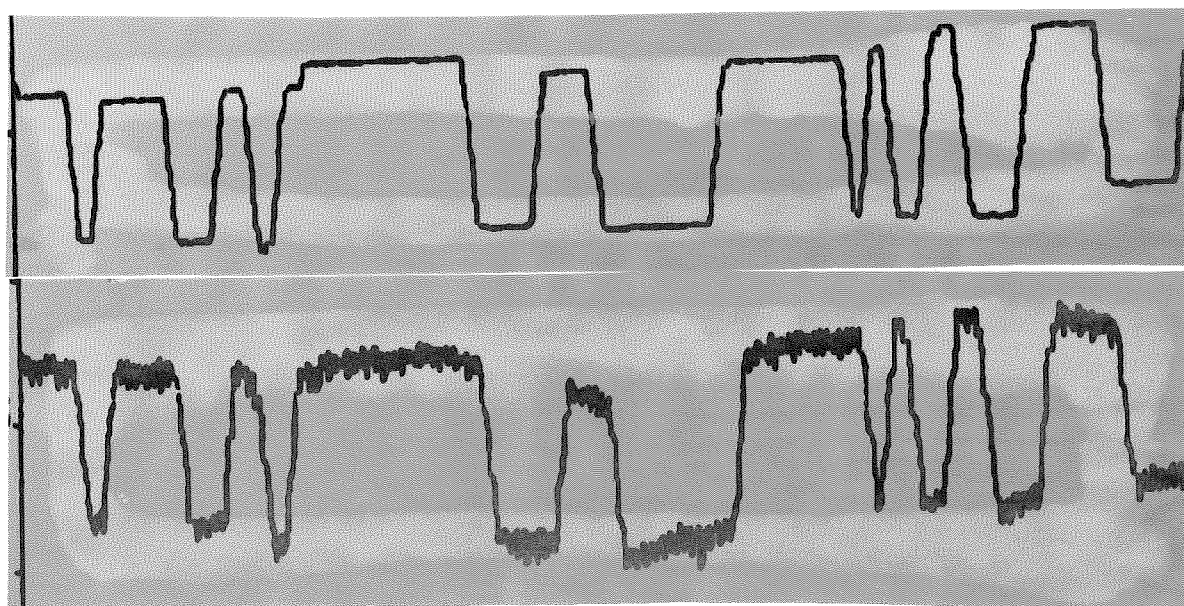
$$\text{Modellens nollställen: } n_1 = 1.019$$

(Tidskonstant $\tau = 409$ sekunder)

Modellens negativa pol medför ingen kontinuerlig motsvarighet

De långa tidskonstanterna i ML2 och ML4 beror antagligen på temperaturregulatorns inverkan. Regulatorn har en fast integraltid på 420 sekunder. Den snabba tidskonstanten i ML1 tyder på en direktterm vilket var förutsättningen i ML3.

Den bästa modellen är alltså ML3!

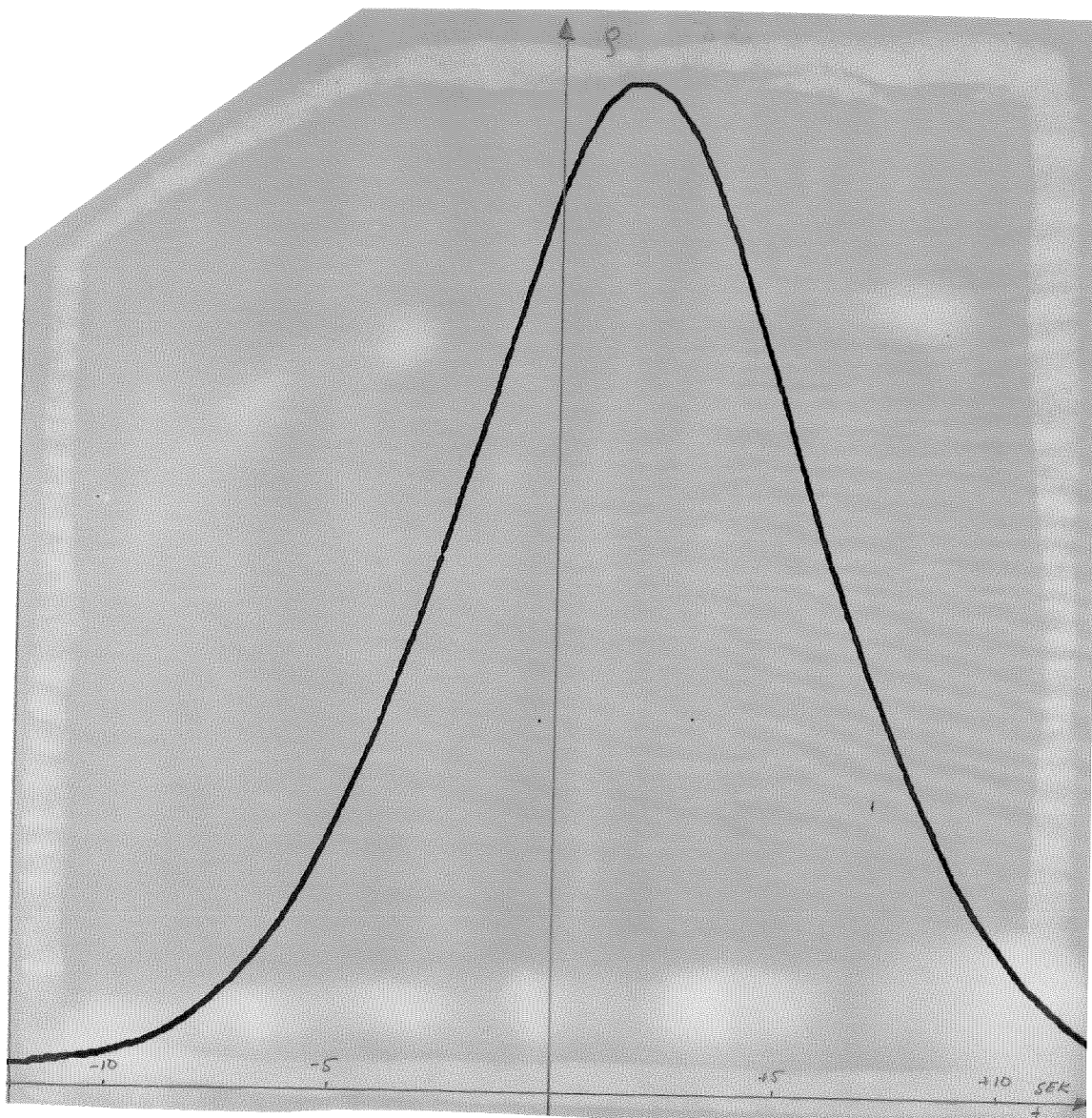


figur 3.4 Modellens utsignal jämfört med verkligheten
 Detta överensstämmer bra med resultatet i [1].

reglering av strängspruta

3.6 Identifiering varvtal-ytterdiameter

Korskorrelation börvärde varvtal-ytterdiameter framgår av fig 3.5.



figur 3.5 Korrelation varv-ytterdiameter

Ytterdiametern är väl korrelerad till varvtalet.

ML-identifiering utfördes av ordning 1 och 2. För att kompensera transportfördröjningen mellan munstycket och diametermätaren gjordes även identifiering med dödtid i modellen. Samplingstiden är 0.5 sek.

reglering av strängspruta

identifiering	dödtid	ordningstal
ML 11	0 sampel	1
ML 12	0 sampel	2
ML 13	1 sampel	1
ML 14	1 sampel	2
ML 15	2 sampel	1
ML 16	2 sampel	2

ML11

$$* \quad -1 \quad -1$$

$$A(q) = 1 - 0.664 q$$

$$* \quad -1 \quad -3 \quad -1$$

$$B(q) = 9.56 \cdot 10^{-3} q$$

$$* \quad -1 \quad -3$$

$$C(q) = 1 - 6.23 \cdot 10^{-3} q$$

$$\text{lamda} = 3.96 \cdot 10^{-4}$$

$$V(0) = 4.71 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Modellens poler: } p = 0.664$$

$$1$$

$$\text{Modellens nollställe: } n = 0$$

$$1$$

$$\text{Tidskonstant } \tau = 1.22 \text{ sekunder}$$

reglering av strängspruta

ML12

$$A(q^{-1}) = 1 - 1.374 q^{-1} + 0.502 q^{-2}$$

$$B(q^{-1}) = 8.29 \cdot 10^{-3} q^{-1} - 4.79 \cdot 10^{-3} q^{-2}$$

$$C(q^{-1}) = 1 - 0.828 q^{-1} + 0.235 q^{-2}$$

$$\lambda = 3.87 \cdot 10^{-4}$$

$$V(0) = 4.51 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Modellens poler: } p_{1,2} = 0.63 \pm j 0.17$$

$$\text{Modellens nollställe: } n_1 = 0.58$$

Svängande poler

ML13

$$A(q^{-1}) = 1 - 0.509 q^{-1}$$

$$B(q^{-1}) = 1.35 \cdot 10^{-2} q^{-1}$$

$$C(q^{-1}) = 1 + 8.60 \cdot 10^{-2} q^{-1}$$

$$\lambda = 4.03 \cdot 10^{-4}$$

$$V(0) = 4.87 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Modellens poler: } p_1 = 0.504$$

$$\text{Modellens nollställe: } n_1 = 0$$

$$\text{Tidskonstant } \tau = 0.74 \text{ sekunder}$$

reglering av strängspruta

ML14

$$A(q^{-1}) = 1 - 1.149 q^{-1} + 0.295 q^{-2}$$

$$B(q^{-1}) = 1.58 \cdot 10^{-2} q^{-1} - 1.18 \cdot 10^{-2} q^{-2}$$

$$C(q^{-1}) = 1 - 0.597 q^{-1} + 0.127 q^{-2}$$

$$\lambda = 3.88 \cdot 10^{-3}$$

$$V(0) = 4.43 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Modellens poler: } p_1 = 0.76 \quad p_2 = 0.39$$

$$\text{Modellens nollställe: } n_1 = 0.75$$

$$\text{Tidskonstanter } \tau_{1,2} = 1.82 \quad 0.53 \text{ sekunder}$$

ML15

$$A(q^{-1}) = 1 - 0.292 q^{-1}$$

$$B(q^{-1}) = 1.90 \cdot 10^{-2} q^{-1}$$

$$C(q^{-1}) = 1 + 0.336 q^{-1}$$

$$\lambda = 4.54 \cdot 10^{-4}$$

$$V(0) = 6.19 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Modellens poler: } p_1 = 0.292$$

$$\text{Modellens nollställe: } n_1 = 0$$

$$\text{Tidskonstant } \tau = 0.41 \text{ sekunder}$$

reglering av strangspruta

ML16

$$A(q^{-1}) = 1 - 0.857 q^{-1} + 2.36 \cdot 10^{-2} q^{-2}$$

$$B(q^{-1}) = 2.54 \cdot 10^{-2} q^{-1} - 2.11 \cdot 10^{-2} q^{-2}$$

$$C(q^{-1}) = 1 - 0.292 q^{-1} + 9.57 \cdot 10^{-2} q^{-2}$$

$$\lambda = 3.98 \cdot 10^{-4}$$

$$V(0) = 4.72 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Modellens poler: } p_1 = 0.82 \quad p_{21} = 0.03$$

$$\text{Modellens nollställe: } n_1 = 0.83$$

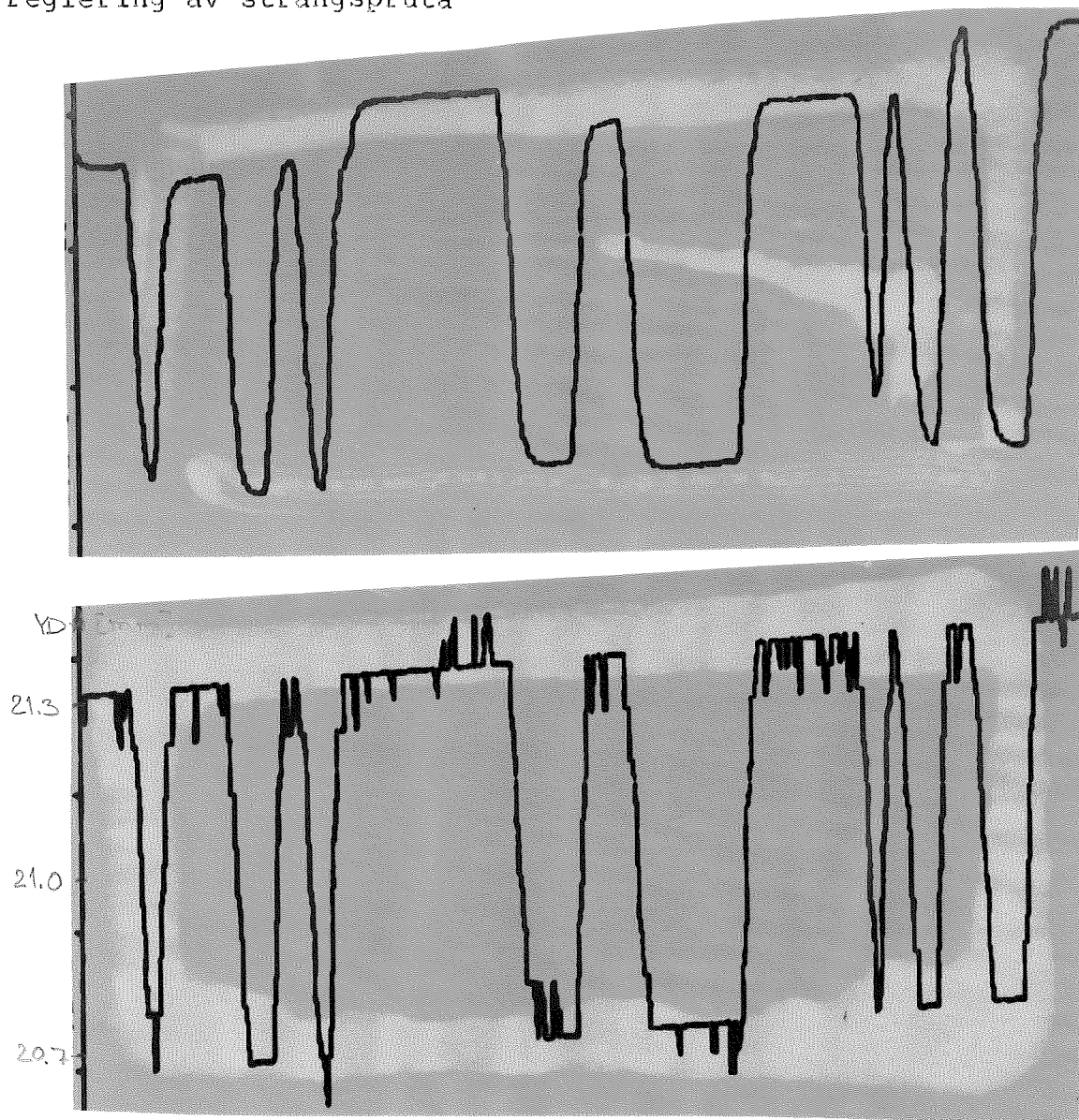
$$\text{Tidskonstanter } \tau_{1,2} = 2.50 \quad 0.14 \text{ sekunder}$$

Val av modell

ML 14 och ML 16 är mindre lämpliga på grund av att nollstället förkortar bort en pol, dvs icke observerbara svängningar kan uppstå i modellerna.

ML 12 har komplexkonjugerade poler vilket medför en dämpad svängning som inte antas motsvara den fysikaliska verkligheten.

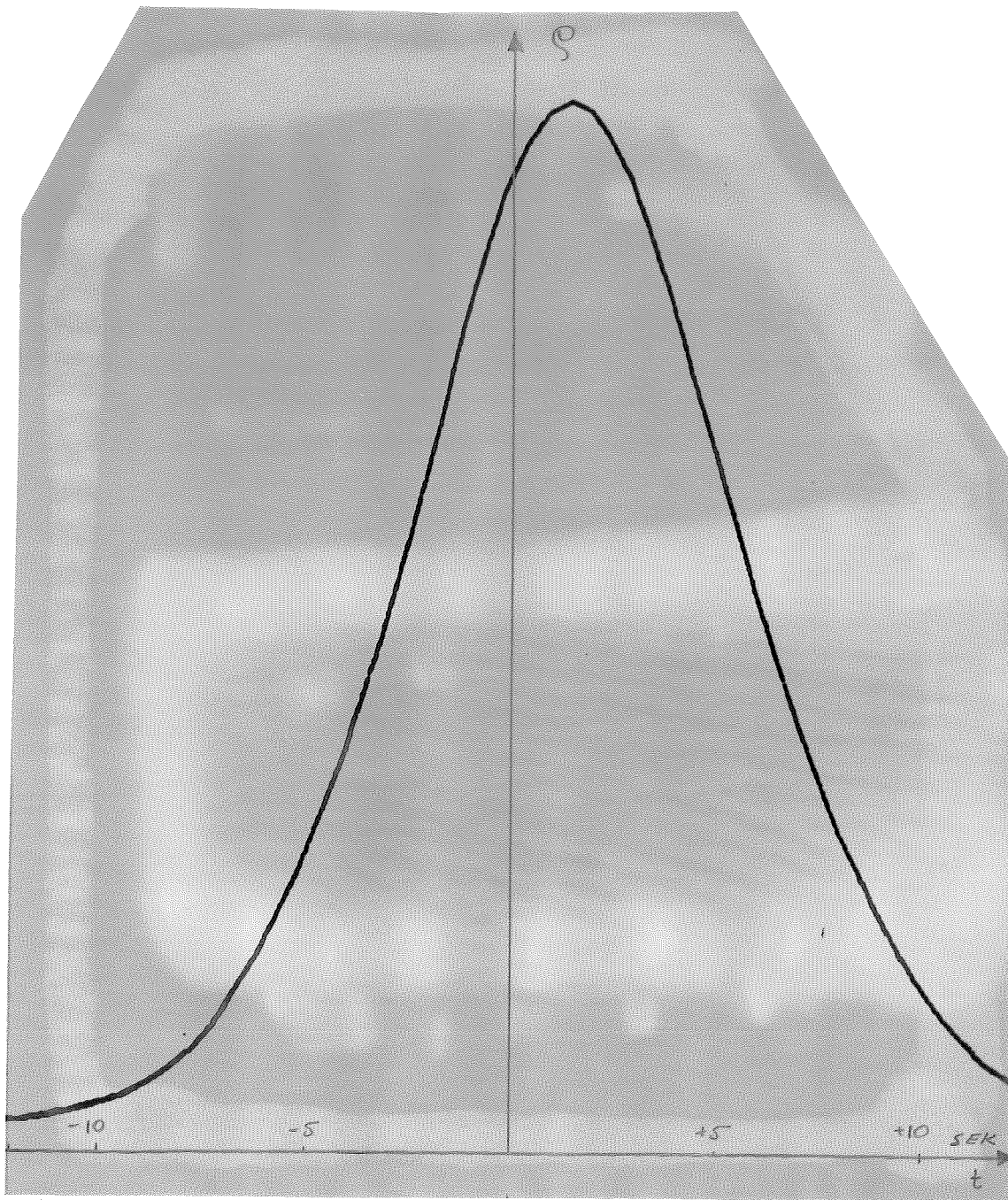
Med samplingsintervallet 0.5 sekunder är tidskonstanter under 1 sekund osäkra. Detta medför att ML 11 med tidskonstanten 1.2 sekunder accepteras som den bästa modellen.



figur 3.6 Modellens utsignal jämfört med den verkliga.

3.7 Identifiering tryck-ytterdiameter

Korskorrelationen mellan tryck och ytterdiameter framgår av figur 3.7.



figur 3.7 Korrelation tryck-ytterdiameter

Ytterdiameteren är väl korrelerad till trycket.

Eftersom både tryck och ytterdiameter representeras av första ordningens system från varvtalet, utfördes endast en identifiering. Den är av första ordningen utan direktterm.

reglering av strängspruta

Resultat

$$A(q^{-1}) = 1 - 0.669 q^{-1}$$

$$B(q^{-1}) = 7.24 \cdot 10^{-2} q^{-1}$$

$$C(q^{-1}) = 1 + 1.66 q^{-1}$$

$$\lambda = 4.45 \cdot 10^{-4}$$

$$V(0) = 5.95 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Modellens pol: } p_1 = 0.669$$

$$\text{Modellens nollställe: } n_1 = 0$$

$$\text{Tidskonstanten } \tau = 1.24$$

4 ANALYS

I detta kapitel syntetiseras först en minimalvariansregulator för ytterdiametern. Därefter analyseras systemet, med regulatorn inkopplad, matematiskt. Resultatet jämförs sedan med verkligheten. Gummisorten som användes vid identifieringen var 5221.

4.1 Syntes av minimalvariansregulator

Enligt [5] ges minimalvariansstrategin av följande samband:

$$u(t) = - \frac{G_{n-1}^*(q^{-1})}{F_{k-1}^*(q^{-1}) B_{k-1}^*(q^{-1})} y(t) \quad (4.1)$$

dar F_{k-1}^* och G_{n-1}^* är de polynom av lägsta ordning som

satisfierar

$$C_{k-1}^*(q^{-1}) = A_{k-1}^*(q^{-1}) F_{k-1}^*(q^{-1}) + q^{-k} G_{n-1}^*(q^{-1}) \quad (4.2)$$

A, B, C definierades tidigare i 3.6

$$F_{k-1}^*(q^{-1}) = 1 + f_1 q^{-1} + \dots + f_{k-1} q^{-k+1} \quad (4.3)$$

$$G_{n-1}^*(q^{-1}) = g_0 + g_1 q^{-1} + \dots + g_{n-1} q^{-n+1} \quad (4.4)$$

k systemets tidsfördröjningar
 n A-polynomets ordningstal

Den minimala variansen ges av

$$E_y(t) = \lambda \left(1 + f_1^2 + f_2^2 + \dots + f_{k-1}^2 \right) \quad (4.5)$$

reglering av strängspruta

4.2 Analys av slutna systemet

I kapitel 3.6 visades att den bästa modellen för kopplingen börvärde varvtal-ytterdiameter var ML-11

$$\begin{aligned}
 \text{ML-11:} \quad & A(q^{-1}) = 1 - 0.664 q^{-1} \\
 & B(q^{-1}) = 9.56 \cdot 10^{-3} q^{-3} \\
 & C(q^{-1}) = 1 - 6.23 \cdot 10^{-2} q^{-1} \\
 & \lambda = 3.96 \cdot 10^{-4}
 \end{aligned}$$

Identiteten (4.2) ger då

$$1 - 6.23 \cdot 10^{-2} q^{-1} = (1 - 0.664 q^{-1}) * (1 + g q^{-1})$$

$$\text{alltså } g = 0.602$$

Styrlagen har då följande utseende

$$u(t) = - \frac{0.602}{9.56 \cdot 10^{-2}} y(t) = - 62.97 y(t)$$

dvs en proportionell återkoppling.

Lambda multipliceras med en skalfaktor 100

Den minimala variansen blir då (4.5)

$$E y^2(t) = \lambda^2 = (3.96 \cdot 10^{-4})^2$$

vilket ger en standardavvikelse på

$$\sigma = 0.039 \text{ mm}$$

Detta är den optimala regulatorn!

4.3 Kvalitativ analys

För att ställa resultatet i 4.2 i relation till verkligheten gjordes först en beräkning av modellens standardavvikelse utan regulator, därefter beräknades det verkliga sigmat på loggade data. Om modellen skrivs på tillståndsform erhålls följande samband.

$$\text{Om } u(t) = 0$$

$$\Rightarrow (1 - 0.664 q^{-1}) y(t) = \lambda (1 - 6.23 \cdot 10^{-2} q^{-1}) e(t)$$

$$x(t+1) = 0.664 x(t) - \lambda \cdot 6.23 \cdot 10^{-2} e(t)$$

$$y(t) = x(t) + \lambda e(t)$$

där

$$F = [0.664]$$

$$R = E e(t) e^T(t) = (\lambda \cdot 6.23 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 1.0$$

För variansen vid stationärt tillstånd kan man ställa upp följande samband [5].

$$p = F p F^T + R$$

Detta ger

$$p = 0.664^2 p + (\lambda \cdot 6.23 \cdot 10^{-2})^2$$

$$p = 1.09 \cdot 10^{-9}$$

$$E y^2(t) = E (x(t) + \lambda e(t))^2 = p + \lambda^2 \cdot 1.0 = 1.58 \cdot 10^{-7}$$

$$V(y) = (0.040)^2$$

Modellens standardavvikelse är alltså
 $\sigma = 0.04 \text{ mm}$

En beräkning av σ på de mätdata som loggats gjordes m.h.a. IDPAC och gav som resultat

$$\sigma = 0.049 \text{ mm}$$

För att kontrollera ovanstående resultat loggades mätdata från den styvare gummisorten l32 och dessa data gav ett σ på

reglering av strängspruta

$$\sigma = 0.034 \text{ mm}$$

Systemet har för närvarande en standardavvikelse på c:a 0.05 mm (gummi 5221). Den optimala regulatorn ger en avvikelse på c:a 0.04 mm. Detta skall ställas i relation till toleransen på ytterdiametern som är 0.30 mm!

5 SLUTSATSER

Resultat

Strängsprutans standardavvikelse utan någon reglering på ytterdiamern är 0.05 mm för gummi 5221 och 0.03 för gummi 132. Den optimala minimalvariansregulatorn som reglerar ytterdiametern med varvtalets börvärde som insignal ger en standardavvikelse på 0.04 mm för gummi 5221. Eftersom toleransen på ytterdiametern är ± 0.30 mm är det onödigt att implementera en sådan regulator på strängsprutan.

Rekommendationer

Då den tillverkade produkten är en slang förefaller det rimligt att gummit sväller både inåt och utåt, radiellt sett dvs innerdiametern minskar och ytterdiametern ökar vid en varvtalsökning och vice versa. Toleransen på godstjocklek och innerdiameter är 0.10 mm. I förhållande till denna tolerans är en standardavvikelse på 0.05 mm signifikant.

Därför rekommenderas en undersökning av godstjockleken och innerdiameterns variationer vid drift.

Temperaturregleringen bör bli föremål för en noggrann undersökning. De nuvarande regulatorerna är fast inställda och kan ej justeras in till optimal reglering. Med bättre temperaturreglering bör en högre produktionshastighet uppnås utan kvalitetsförsämring.

reglering av strängspruta

6 REFERENSLISTA

- [1] C.Jensen,H.Olesen
Identifiering av strängspruta
Institutionen för reglerteknik,LTH 1978
- [2] T.Pålsson,L.Rading
Program för logging and data analysis on pdp11/03
Institutionen för reglerteknik,LTH 1977
- [3] K.J.Åström
Reglerteori
AWE/GEBERS 1976
- [4] K.J.Åström
Samplade system Föreläsningssanteckningar
Institutionen för reglerteknik,LTH 1979
- [5] K.J.Åström
Stokastiska system Föreläsningssanteckningar
Institutionen för reglerteknik,LTH 1971
- [6] J.Wieslander
IDPAC,users guide revision I Report 7605
Institutionen för reglerteknik,LTH 1976