



# LUND UNIVERSITY

## Reglering under osäkerhet

Åström, Karl Johan; Gustavsson, Ivar

1978

*Document Version:*  
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*  
Åström, K. J., & Gustavsson, I. (1978). *Reglering under osäkerhet*. (Research Reports TFRT-3152). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

*Total number of authors:*  
2

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:  
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00



REGLERING UNDER OSÄKERHET

K.J. ÅSTRÖM  
G.I. GUSTAVSSON

Institutionen för Reglerteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
December 1978

REGLERING UNDER OSÄKERHET

K J Aström och I Gustavsson  
Institutionen för reglerteknik  
Lunds Tekniska Högskola

Dokumentutgivare  
 Lund Institute of Technology  
 Handläggare Department of Automatic Control  
 I Gustavsson  
 Författare  
 08T0  
 K J Aström  
 I Gustavsson

Dokumentnamn  
 FINAL REPORT LUTFD2/(TFERT-3152)/1-26/(1978)  
 Utgivningsdatum  
 06T4  
 Dec 1978  
 Dokumentbeteckning  
 Aredebeteckning  
 04T6  
 STU Project  
 73-3546  
 74-3476  
 76-3804

10T4

Dokumenttitel och undertitel  
 18T0  
 REGLERING UNDER OSÄKERHET  
 (Control under uncertainty)

Referat (sammandrag)  
 26T0  
 Basic knowledge for identification and for design of adaptive regulators and adaptive predictors has been developed. The most significant results concern identification of closed loop systems, convergence of recursive stochastic difference equations and self-tuning regulators. The studies have included both analysis and simulations as well as several feasibility studies carried out as experiments on industrial processes. Algorithms and software have been developed for identification and for different adaptive regulators. They have shown to be very efficient in many application projects.

Primarily the process industry has been considered as the user of the results. The algorithms and the design methods are, however, quite general and may be applicable in a great number of areas, such as the paper and pulp industry, the steel industry, the energy area, system analysis, biomedicine.

Referat skrivet av  
 Authors

Förslag till ytterligare nyckelord  
 44T0

Klassifikationssystem och -klass(er)  
 50T0

Indextermer (ange källa)  
 52T0

Omfång  
 26 pages

Övriga bibliografiska uppgifter  
 56T2

Språk  
 58T0  
 Swedish

Sekretessuppgifter  
 60T0

ISSN  
 60T4

ISBN  
 60T6

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

Mottagarens uppgifter  
 62T4

Pris  
 66T0

DOKUMENTATABLAD enligt SIS 62 10 12

SIS-DB 1

## 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 utvecklingskedan.

### 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, tex 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) åberopas i dokumentet.

### 18T0 DOKUMENTITEL 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 T0 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 (thesaurus). 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 OMFÅNG NUMBER OF PAGES

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

## 1. INLEDNING

Vid Institutionen för reglerteknik, LTH utvecklades under åren 1967-73 grundläggande kunskap om processidentifiering, delvis inom ramen för forskningsprojekt stödda av STU. Detta innebar att metoder och algoritmer framtoogs, men också att en stor praktisk erfarenhet av identifiering av olika industriella processer byggdes upp. Under tiden 1970-73 påbörjades forskningen på självinställande regulatorer vid institutionen. Inom båda dessa områden kvarstod en rad olösta centrala problem. Mot denna bakgrund och med hänsyn till institutionens höga kunskapsnivå inom stokastisk regler-teori startades 1973 forskningsprojektet Reglering under osäkerhet. Avsikten var att angripa några viktiga problem inom identifiering och självinställande regulatorer. Huvudmålet för projektet har varit att utveckla kunskapen om och verktygen för processidentifiering och självinställande regulatorer till en sådan nivå att dessa metoder kan användas rutinemässigt i ett industriellt sammanhang. Ett problem är den långa tid det tar att introducera ny teknik i industrin. Utvecklingen främst på datorsidan har emellertid och kommer än mer att underlätta spridandet av de verktyg som utvecklats för identifiering och reglering.

Forskningen inom identifiering har i huvudsak varit förlagd till åren 1973-76 men en viss uppföljande verksamhet har skett även efter 1976. Forskningen på självinställande regulatorer har försiggått under hela projekttiden.

Följande problem inom identifiering har studerats: identifiering av återkopplade system, analys av rekursiva identifieringsmetoder och konsistens av olika estimatorer. Resultat har också tagits fram för identifiering av flerveriabila system. I samarbete med andra projekt har metoder för identifiering av flerveriabila system med given struktur också utvecklats.

Inom området självinställande regulatorer har självinställare utvecklats för flervariabla system och för system med besvärlig dynamik, t.ex. icke minimum fas system. Konvergens och stabilitet av självinställande algoritmer av olika slag har studerats. Sambandet med andra typer av adaptiva algoritmer har undersökts. Algoritmer för dual reglering har utvecklats och provats i simuleringar. Adaptiv prediktion har studerats och tillämpats på data från svenska elkraftnätet. Forskning på extremalsökande algoritmer har inletts.

Den stora styrkan med detta projekt av grundforskningskaraktär har varit att det kunnat bilda grunden för flera projekt av tillämpningstyp. Vad beträffar identifiering har metod- och algoritmutvecklingen liksom erfarenhetsupbyggnaden varit av utomordentligt stort värde vid utvecklingen av det interaktiva programmet IDPAC inom projektet Datorstödd identifiering. Samma gäller utvecklingen av programmet LISPID inom samarbetsprojektet med SSPA. IDPAC har sålts till flera intressenter och används rutinmässigt på flera håll. Även i andra projekt har programvaran och kunskaperna kunnat utnyttjas, t.ex. vid identifiering av reningsverksdynamik (projekt tillsammans med Datema AB), identifiering av biologiska system (NFR-stött projekt), identifiering av modeller för uppvärmning av byggnader (BFR-stött projekt), identifiering av pappersmaskindynamik (projekt med STF I), identifiering av kärnreaktordynamik (projekt med OECD Halden Reactor Project och Sydsvenska Kraft AB). Kunskaperna om de självinställande regulatorerna har utnyttjats vid utvecklingen av en adaptiv autopilot i ett samarbetsprojekt med Kockums AB. Vidare har de använts i ett BFR-stött projekt med syfte att reglera rumsuppvärmning på ett mera ekonomiskt sätt. De har också använts vid reglering av pappersmaskin, malmkross och entalpiväxlare.

I denna slutrapport redovisas den forskning som bedrivits vid Institutionen för reglerteknik, LTH och som faller inom ramen för projektet Reglering under osäkerhet. Detta område är centralt för institutionen och flera personer, som ej har varit direkt anställda inom projektet, har varit involverade i denna forskning. Därigenom har de uppnådda resultaten blivit omfattande och av hög klass. STUs stöd motsvarar 12.5 manår. Institutionen har av egna resurser satsat åtminstone lika mycket. Av institutionens resurser som direkt kan hänföras till projektet märks 1.5 års professorstid. Fem doktorsavhandlingar (ca 10 manår) och 19 examensarbeten (ca 3 manår) ligger direkt inom projektet. Vidare har ytterligare två doktorsavhandlingar nära anknytning till projektet. Det är vår bedömning att en koncentration av resurser av detta slag är nödvändig för att i dag bedriva kvalificerad forskning inom dessa områden.

## 2. RESULTATREDOVISNING

I detta avsnitt ges en kortfattad sammanfattning av de viktigaste forskningresultaten samt referenslistor över publikationer. Avsnittet är uppdelat i två huvuddelar, identifiering och adaptiva regulatorer. Vart och ett av dessa avsnitt är sedan uppdelat i mindre avsnitt där vart och ett av de viktigaste delområdena beskrivs.

### 2.1 Identifiering

#### 2.1.1 Identifiering av återkopplade system

De flesta processer, vars dynamik man försöker bestämma genom identifiering, arbetar normalt i ett slutet regler-system. I många fall måste regulatorerna av olika skäl vara inkopplade under ett identifieringsexperiment. Grundläggande villkor för när det är möjligt att använda data från sådana experiment har framtagits. Noggrannhetsaspekter har också studerats vilket resulterat i nya aspekter på design av identifieringsexperiment. Idéerna har tillämpats bland annat vid identifiering av båtdynamik. Därvid framkom att denna teknik ger goda resultat trots att kursavvikelserna under experimentet kunde hållas mycket måttliga. Detta innebär att identifieringsexperiment nu kan utföras rutinmässigt utan att fartygets normala drift störs nämnvärt.

#### Referenser:

Elygren, F and L Krantz (1974): Identifiering av återkopplade system. TFRT-5142, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Gustavsson, I, L Ljung and T Söderström (1974): Identification of linear multivariable process dynamics using closed loop experiments. TFRT-3069, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Gustavsson, I, L Ljung and T Söderström (1976): Identification of processes in closed loop - identifiability and accuracy aspects. Preprints 4th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, Tbilisi, USSR. Invited survey paper.

Gustavsson, I, L Ljung and T Söderström (1977): Identification of processes in closed loop - identifiability and accuracy aspects. Survey paper. Automatica 13, 59-75.

Ljung, L, I Gustavsson and T Söderström (1974): Identification of linear multivariable systems operating under linear feedback control. IEEE Transactions on Automatic Control, AC-19, 836-841.

Söderström, T, I Gustavsson and L Ljung (1975): Identifiability conditions for linear systems operating in closed loop. Int J of Control 21, 243-255.

Söderström, T, L Ljung and I Gustavsson (1974): On the accuracy of identification and the design of identification experiments. TFRT-3086, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Söderström, T, L Ljung and I Gustavsson (1975): On the accuracy problem in identification. Proc 6th IFAC World Congress, Boston, Mass, USA.

Söderström, T, L Ljung and I Gustavsson (1976): Identifiability conditions for linear multivariable systems operating under feedback. IEEE Transactions on Automatic Control AC-21, 837-840.

### 2.1.2 Rekursiva identifieringsmetoder

I många tillämpningar är det önskvärt att erhålla resultaten av en identifiering allt eftersom mätningarna kommer in. Så kan vara fallet då processen successivt ändrar dynamiken. I adaptiva system är rekursiviteten en nödvändighet eftersom regleringreppen baseras på de skattade parametrarna. Processövervakning för detektering av fel etc är en annan tillämpning. En systematisk studie av ett stort antal rekursiva identifieringsalgoritmer har genomförts. Det har visat sig att de flesta algoritmerna kan beskrivas enhetligt med en generell rekursiv ekvation. Konvergensgenskaper och noggrannhet har undersökts. Undersökningarna har lett fram till nya algoritmer och förbättringar av tidigare föreslagna algoritmer. Systematiseringen har medfört en betydligt bättre överblick över detta område av identifieringen.

#### Referenser:

Åström, K J (1974): A self-tuning parameter estimator. Publication No 74/55 (Research report), Dept of Computing and Control, Imperial College of Science and Technology, London. Also report TFRT-3114, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Åström, K J and D Mayne (1978): A new algorithm for recursive estimation of parameters in controlled ARMA processes. Report, Imperial College of Science and Technology, London, Jan 1978.

Johannesson, H and J O Wesström (1974): Jämförelse mellan några rekursiva identifieringsmetoder. TFRT-5140, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Ljung, L (1975): Asymptotic dispersion of stochastic approximation algorithms. Automation and Remote Control 36, 1532-1536.

Ljung, L, T Söderström and I Gustavsson (1975): Counter-examples to general convergence of a commonly used recursive identification method. IEEE Transactions on Automatic Control AC-20, 643-652.

Morf, M and L Ljung (1976): Fast algorithms for recursive identification. IEEE International Symposium on Information Theory, Ronneby, Sweden.

Olsson, G and J Holst (1973): A comparative study of sub-optimal filters for parameter estimation. TFRT-3057, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Olsson, G and J Holst (1974): A comparative study of sub-optimal filters for parameter estimation. Symposium on Digital Filtering, Institute of Applied Mathematics, Stockholm.

Söderström, T, L Ljung and I Gustavsson (1974): A comparative study of recursive identification methods. TFRT-3085, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Söderström, T, L Ljung and I Gustavsson (1976): Analysis of some on-line identification methods. Presented at the 4th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, Tbilisi, USSR.

Söderström, T, L Ljung and I Gustavsson (1978): A theoretical analysis of recursive identification methods. Automatica 14, 231-244.

### 2.1.3 Rekursiva stokastiska algoritmer

Rekursiva differensekvationer som är stokastiska och olinjära uppkommer i många sammanhang, t. ex. vid rekursiv identifiering, adaptiva reglering, tillståndsestimering i kraftsystem. För relativt allmänna sådana rekursiva differensekvationer har det visats att konvergensen hänger intimt samman med stabilitetsegenskaperna hos ett associerat system av olinjära

ordinära differentialekvationer. Denna teknik har gjort det möjligt att undersöka konvergensen hos ett stort antal praktiskt använda algoritmer för rekursiv identifiering, adaptiv reglering etc. Studierna har ibland också lett till nya algoritmer med förbättrade egenskaper.

Referenser:

Ljung, L (1974): Convergence of recursive stochastic algorithms. TFRT-3070, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Ljung, L (1974): Stochastic convergence of algorithms for identification and control. TFRT-1008, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Ljung, L (1974): Convergence of recursive stochastic algorithms. Preprints IFAC Conference on Stochastic Control Theory, Budapest, Hungary.

Ljung, L (1975): On the convergence of certain recursive algorithms. TFRT-7076, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Ljung, L (1975): Theorems for the asymptotic analysis of recursive stochastic algorithms, TFRT-3096, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Ljung, L (1976): Analysis of recursive stochastic algorithms. TFRT-7097, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Ljung, L (1976): On the convergence of certain recursive algorithms. TFRT-7100, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Ljung, L (1976): On positive real transfer functions and the convergence of some recursive schemes. TFRT-3138, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Ljung, L and S Lindahl (1975): Convergence properties of a method for state estimation in power systems. Int J of Control 22, 113-118.

#### 2.1.4 Konsistens av prediktionsfelsmetoder

En viktig klass av identifieringsmetoder bygger på minimering av prediktionsfelet, t. ex. maximum likelihood metoden. Konsistensegenskaper för denna klass av metoder har undersökts för generella modellstrukturer och insignaler.

Existerande resultat för konsistens har därvid kunnat utvidgas bl. a. till att omfatta system med återkoppling där denna även kan vara adaptiv. Konsistensegenskaperna har undersökts också för det i praktiken vanliga fallet att det verkliga systemet är mera komplext än den använda modellstrukturen. Den bästa noggrannheten uppnås genom minimering av ett determinantkriterium.

#### Referenser:

- Caines, P E and L Ljung (1976): Asymptotic normality and accuracy of prediction error estimates. Research report 7602, Dept of Electrical Engineering, University of Toronto, Canada. Also in Proc JACC, Purdue University.
- Ljung, L (1974): Consistency for prediction error identification methods. TFRT-3072, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Ljung, L (1975): On the consistency of prediction error identification methods. TFRT-7077, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Ljung, L (1975): On consistency and identifiability. Proc Symposium on Stochastic Systems, Univ of Kentucky, Lexington, Kentucky, USA. Also report TFRT-7081, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Ljung, L (1976): Consistency of the least squares identification method. IEEE Transactions on Automatic Control AC-21, 779-781.
- Ljung, L (1976): On the consistency of prediction error identification methods. In "System Identification: Advances and Case Studies" (Eds R K Mehra and D G Lainiotis), Academic Press, New York.
- Sternby, J (1976): On consistency for the method of least squares using martingale theory. TFRT-7104, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Sternby, J (1977): On consistency for the method of least squares using martingale theory. IEEE Transactions on Automatic Control AC-22, 346-352.
- Sternby, J (1978): Comments on 'Convergence of least squares identification algorithms applied to unstable stochastic processes. Int J Systems Sci 9, 837-838.

### 2.1.5 Identifiering - allmänt

Utöver de i tidigare avsnitt beskrivna resultaten har viktiga resultat tagits fram för bestämning av optimala strukturer för flervariabla system, för konvergensgenskaper hos generaliserade minstakvadratmetoden och för entydigheten av maximum likelihoodskattningar. Därutöver har flera artiklar publicerats som översiktligt redovisar identifieringens betydelse för modellbygge och reglering och som ger en bild av var identifieringen står i dag.

#### Referenser:

Åström, K J (1974): System modeling for control and optimization. Institut de la Vie Conference on "Vers un plan d'actions pour l'humanité - Problèmes et perspectives", Paris.

Åström, K J (1975): Lectures on system identification. Chapter 3. Frequency response analysis. TFRT-3093, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Åström, K J (1976): State of the art and needs in process identification. Engineering Foundation Conference on Chemical Process Control, Asilomar Conference Grounds, Pacific Grove, California, USA. Also report TFRT-7088, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Åström, K J (1976): State of the art and needs in process identification. AIChE Symposium Series 72, No 159, 184-194.

Åström, K J (1977): The role of system identification in process modeling. VDE-Berichte 276, 13-30.

Åström, K J, and T Söderström (1974): Uniqueness of the maximum likelihood estimates of the parameters of an ARMA model. IEEE Transactions on Automatic Control AC-19, 769-773.

Banyasz, C (1973): Identification in the presence of noise. TFRT-3065, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Ljung, L, and J Rissanen (1976): On canonical forms, parameter identifiability and the concept of complexity. Preprints 4th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, Tbilisi, USSR.

Rissanen, J, and L Ljung (1975): Estimation of optimum structures and parameters for linear systems. Proc Symposium - Advanced School of Algebraic System Theory, Udine, Italy. Published by Springer Verlag.

Söderström, T (1973): On the asymptotic estimates of least squares identification. TFRT-3107, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Söderström, T (1973): On the euclidean algorithm applied to polynomials of models obtained by least squares identification. TFRT-3108, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Söderström, T (1973): Test of common factors of identified models. TFRT-7035, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Söderström, T (1974): Convergence properties of the generalized least squares identification method. Automatica 10, 617-626.

Söderström, T (1974): On the generalized least squares method. Counterexamples to general convergence. Automatica 10, 681-684.

Söderström, T (1974): Convergence of identification methods based on instrumental variable approach. Automatica 10, 685-688.

Söderström, T (1975): On the uniqueness of maximum likelihood identification. Automatica 11, 193-197.

#### 2.1.6 Identifiering - tillämpningar

Genom samarbete mellan detta projekt och STU-projekten Datorstödd dimensionering och Bestämning av fartygsdynamik med processidentifiering gjordes en effektivisering av resurserna som möjliggjorde utvecklandet av två avancerade programsystem för dataanalys och identifiering. Dessa programsystem, IDPAC och LISPID, har visat sig vara mycket användbara i praktiska tillämpningar för framtagande av processmodeller ur experimentella data. Till övervägande delen har själva identifieringarna utförts inom andra forskningsprojekt, som examensarbeten eller inom ramen för doktorsavhandlingar. Resurser från detta projekt har i första hand använts för experimentplanering och handledning. Vi har således bl. a. samarbetat med STFI och Sydsvenska Kraft AB och lärt ut identifiering och handhavandet av programmen. Det rutinmässiga användandet av IDPAC inom dessa företag har sedan kunnat skötas av deras egen personal.

De viktigaste tillämpningarna har varit:

- o identifiering av båtdynamik (inom ramen för STU-projekten tillsammans med SSPA och Kockums Mek. Verkstad, Malmö, 75-4053 resp. 73-4187)
- o identifiering av pappersmaskindynamik (samarbete med STFI) bl. a. för utvärdering av existerande system för ytvikts- och fukthaltsreglering
- o identifiering av reningsverksdynamik (samarbete med bl. a. Datema AB inom ramen för ett STU-projekt)
- o identifiering av klimatiserade byggnader (inom ramen för ett projekt stött av BFR)
- o identifiering av kärnreaktordynamik, Olsson (1975) och Bergman och Gustavsson (1978)
- o identifiering av dynamiken i en fluidiserad bädd (utförts tillsammans med gästforskare från Institute of Chemical Fundamentals, Prag)
- o identifiering av föroreningar i vattendrag (utfört av gästforskare från Cambridge University, England)
- o identifiering av makroekonomiska modeller (i samarbete med Institutionen för nationalekonomi, Lund)<sup>+</sup>
- o identifiering av farmakokinetiska modeller (tillsammans med Institutionen för Klinisk Farmakologi)<sup>+</sup>
- o identifiering av olika biologiska processer (inom ramen för ett forskningsprojekt stött av NFR)

#### Referenser:

Åström, K J, and B Häggman (1974): Paper machine dynamics. Preprints 4th IFAC /IFIP Conference on Digital Computer Applications to Process Control, Zürich, Switzerland.

Åström, K J, and C Källström (1976): Identification of ship steering dynamics. *Automatica* 12, 9-22.

Åström, K J, C Källström, N H Norrbin and L Byström (1974): The identification of linear ship steering dynamics using maximum likelihood parameter estimation. TFRT-3089, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Åström, K J, C Källström, N H Norrbin and L Byström (1975): The identification of linear ship steering dynamics using maximum likelihood parameter estimation. Statens Skeppsprovsningsanstalt nr 75, 1-105.

<sup>+</sup>Dessa arbeten ingår i doktorsavhandlingar.

Beck, M B (1974): Maximum likelihood identification applied to a DO-BOD-algae model for a freshwater stream. TFRT-3117, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Beck, M B (1974): The identification and prediction of urban sewer flows - a preliminary study. TFRT-3118, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Beck, M B (1974): The identification of algal population dynamics in a freshwater stream. Proc IFIP Working Conference on Modelling and Simulation of Water Resource Systems, Ghent, Belgium.

Beck, M B and P C Young (1975): A dynamic model for BO-BOD relationships in non-tidal stream. TFRT-3120, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Bergman, S and I Gustavsson (1978): Identification of global noise in a boiling water reactor by means of spectral and parametric methods. To be published in Journal of Nuclear Science and Technology.

Gustavsson, I (1974): Identification of industrial process dynamics. TFRT-1007, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Gustavsson, I (1975): Survey of applications of identification in chemical and physical processes. Automatica 11, 3-24.

Gustavsson, I and H Östlund (1974): Time series analysis of standing using maximum likelihood technique. TFRT-7071, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Gutman, P O and R Olsson (1974): Dynamiska modeller för reningsverk. TFRT-5136, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Havlíček, A and I Gustavsson (1978): Dynamical identification of the cooling system in a fluidized bed combustor. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-7153)/1-67/(1978).

Hedenström, J (1973): En enkel monetaristisk modell av Sveriges ekonomi. TFRT-5135, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Herbertsson, C G and B Lundin (1975): Identifiering av människans överföringsoperator. TFRT-5162, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

- Holmberg, P and J Larsson (1975): Dynamiska modeller samt simulering och reglering av ångavluftarsystem på en turbintanker. TFRT-5152, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Hylander, B (1974): Utbildning och arbetsmarknad - En dynamisk systemmodell. TFRT-5137, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Josefsson, G (1978): Dynamiska modeller för belastning på ett kraftnät. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-5212)/1-54/(1978).
- Jönsson, G (1973): Parameteruppskattning i olinjär modell för ångkraftverk. TFRT-5133, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Ekström, L, R Hänsel, L Jensen and L Ljung (1974): Different dynamic models in an airconditioned building. TFRT-3073, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Jensen, L (1978): Digital reglering av klimatprocesser. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-1014)/1-263/(1978).
- Källström, C, T Essebo and K J Åström (1976): A computer program for maximum likelihood identification of linear, multivariable stochastic systems. Preprints 4th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, Tbilisi, USSR.
- Larsson, R and G Schröder (1974): Dynamiska modeller för primärsedimentering i reningsverk. TFRT-5146, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Leden, B (1975): Identification and dead-beat control of a heat diffusion process. TFRT-1009, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Leden, B (1976): Maximum likelihood identification of a heat diffusion process - a pole clustering effect. *Int J Control* 24, 217-227.
- Leden, B, M H Hamza and M A Sheirah (1976): Different methods for estimating thermal diffusivity of a heat process. *Automatica* 12, 445-456.
- Olsson, G (1975): Maximum likelihood identification of some loops of the Halden Boiling Water Reactor. OECD Halden Reactor Project Report HPR 176.
- Olsson, G (1976): Modeling and identification of a nuclear reactor. In "System Identification: Advances and Case Studies", (Eds. R K Mehra and D G Lainiotis), Academic Press, New York.

Olsson, G (1976): Estimation and identification problems in wastewater treatment. IIASA Workshop on Recent Developments in Real-time Forecasting/Control of Water Resource Systems, Laxenberg, Austria. Invited paper.

Olsson, G and J F Andrews (1977): Estimation and control of biological activity in the activated sludge process using dissolved oxygen measurements. Preprints IFAC Symposium on Environmental Systems Planning, Design and Control, Kyoto, Japan.

Olsson, G and O Hansson (1976): Maximum likelihood identification of the dissolved oxygen dynamics of the Käppala wastewater treatment plant. TFRT-7094, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Olsson, G and O Hansson (1976): Modeling and identification of an activated sludge process. Preprints 4th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, Tbilisi, USSR.

Olsson, G and O Hansson (1976): Stochastic modeling and computer control of a full scale wastewater treatment plant. Symposium on Models in Air and Water Pollution, The Institute of Measurement and Control, London, England. Also report TFRT-7106, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

## 2.2 Adaptiva regulatorer

### 2.2.1 Självinställare -teori

Självinställande regulatorer har i simuleringar och i flera tillämpningar visat mycket goda egenskaper. En omfattande teoriutveckling har skett och algoritmer har framtagits för vissa klasser av flervariabla system och för system av icke minimumfas karaktär. Konvergensenskaperna för den enkla självinställaren med minsta kvadrattimering och minimalvariansstyrning är nu väl kända. Relationerna mellan självinställare och modellreferensmetoder har klarlagts. De stabiliserande egenskaperna har börjat studeras. Andra typer av självinställare med andra estimeringsmetoder och med andra reglerstrategier, t. ex. polplacering, har delvis undersökts. Olika strukturer för självinställande regulatorer för servoproblemet har jämförts. Programpaket har utvecklats som underlättar simulerings- och lämplighetsstudier.

## Referenser:

- Åström, K J (1974): Theory and applications of self-tuning regulators. Lecture notes in Economic and Mathematical Systems. Control theory, numerical methods and computer systems modelling. International Symposium Rocquencourt, IRIA, pp 669-680, No 107. Also report TFRT-7068, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Åström, K J (1974): A self-tuning regulator for non-minimum phase systems. TFRT-3113, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Åström, K J (1975): Self-tuning regulators. NASA CP-003. Proc NASA Workshop on Systems Reliability Issues Future Aircraft, pp 51-67. Also report TFRT-3126, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Åström, K J, U Borisson, L Ljung and B Wittenmark (1975): Theory and applications of adaptive regulators based on recursive parameter estimation. Proc 6th IFAC World Congress, Boston, Mass, USA.
- Åström, K J, U Borisson, L Ljung and B Wittenmark (1977): Theory and applications of self-tuning regulators. Automatica 13, 457-476.
- Åström, K J and I Gustavsson (1978): Analysis of a self-tuning regulator in a servoloop. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-3150)/1-58/(1978).
- Åström, K J, B Westerberg and B Wittenmark (1978): Self-tuning controllers based on pole-placement design. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-3148)/1-52/(1978).
- Åström, K J and B Wittenmark (1974): Analysis of a self-tuning regulator for nonminimum phase systems. Preprints IFAC Symposium on Stochastic Control, Budapest, Hungary.
- Bengtsson, B and B Egardt (1974): Ett interaktivt programpaket för simulering av självinställande regulatorer. TFRT-5141, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Borisson, U (1975): Self-tuning regulators - industrial application and multivariable theory. TFRT-1010, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Borisson, U (1976): A computer program for simulation of multivariable self-tuning regulators. TFRT-7096, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.
- Borisson, U (1976): Self-tuning regulators for a class of multivariable systems. Preprints 4th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, Tbilisi, USSR.

Egardt, B (1978): A unified approach to model reference adaptive systems and self-tuning regulators. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-7134)/1-67/(1978).

Egardt, B (1978): Unification of some adaptive control schemes. Part I: Continuous time. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-7140)/1-28/(1978).

Gustavsson, I (1978): User's guide for a program package for simulation of self-tuning regulators. Dept of Automatic control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-7149)/1-76/(1978).

Lindgren, S (1978): Decentraliserad reglering av stora system med självinställande regulatorer. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-5208)/1-80/(1978).

Ljung, L and B Wittenmark (1974): Asymptotic properties of self-tuning regulators. TFRT-3071, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Ljung, L and B Wittenmark (1974): Analysis of a class of adaptive regulators. Preprints IFAC Conference on Stochastic Control Theory, Budapest, Hungary.

Ljung, L and B Wittenmark (1976): On a stabilizing property of adaptive regulators. Preprints 4th IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, Tbilisi, USSR.

Westerberg, B (1977): Självinställande regulator baserad på polplacering. Dept of Automatic Control, Lund Institute, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-5198)/1-65/(1978).

### 2.2.2 Självinställare - tillämpningar

De inom projektet utvecklade och teoretiskt undersökta självinställande regulatorerna har med framgång prövats på industriella processer inom ramen för andra projekt. Således har ett projekt tillsammans med Kockums för design av adaptiva autopiloter för stora tankbåtar utnyttjat dessa idéer. I projektet med klimatreglering av byggnader har enkla typer av självinställare använts. Självinställare har också testats på en pappersmaskin och på en malkross i samarbete med Billerud AB resp LKAB. Ett visst samarbete

har skett med SAAB-Scania, Jönköping för utvecklandet av programvara för en självinställare för en mikro dator.

Referenser:

Alsholm, O, U Borisson, O Stavnes and B Wittenmark (1973): A feasibility study of self-tuning regulators. TFRT-3063, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Asparnäs, B and P Foisack (1975): Simulering av styrsystem för tankfartyg. TFRT-5154, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Asparnäs, B and C Källström (1975): Simulering av adaptiv fartygsstyrning med Kalmanfilter. TFRT-3123, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Åström, K J (1977): Why use adaptive techniques for steering large tankers? TFRT-3144, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Borisson, U and R Syding (1974): Self-tuning control of an ore crusher. Preprints 4th IFAC/IFIP Symposium on Digital Computer Applications to Process Control, Zürich, Switzerland.

Borisson, U and R Syding (1976): Self-tuning control of an ore crusher. Automatica 12, 1-7.

Borisson, U and B Wittenmark (1973): Moisture content control on a paper machine - an application of a self-tuning regulator. TFRT-7038, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Borisson, U and B Wittenmark (1974): An industrial application of a self-tuning regulator. Preprints 4th IFAC/IFIP Conference on Digital Computer Applications to Process Control, Zürich, Switzerland.

Jensen, L and R Hänsel (1974): Computer control of an enthalpy exchanger. TFRT-3081, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Jensen, L (1978): Digital reglering av klimatprocesser. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-1014)/1-263/(1978).

Jeppsson, O (1975): En självinställande regulator för satsprocesser. TFRT-5156, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden.

Kiziroglu, G (1976): Implementation of a self-tuning regulator on a microcomputer. TFRT-5182, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden.

Källström, C, K J Åström, N E Thorell, J Eriksson and L Sten (1977): Adaptive autopilots for steering of large tankers. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-3145)/1-35/(1977).

Källström, C, K J Åström, N E Thorell, J Eriksson and L Sten (1978): Adaptive autopilots for large tankers. Proc 7th IFAC World Congress, Helsinki, Finland.

Wittenmark, B (1974): Adaptive control of a papermachine. Computers, Electronics and Control 1974, Calgary, Canada.

### 2.2.3 Duala regulatorer

De självinställande regulatorerna är ibland otillräckliga för att åstadkomma en god styrning. Detta är exempelvis fallet om systemet har okända parametrar som varierar. Man kan då försöka använda en dual regulator som aktivt via insignalen förbättrar parameterskattningarna samtidigt som den styr systemet. Den optimala regulatorn är emellertid alltför komplex för att vara praktiskt användbar. Ett par approximationer har tagits fram och provats på system med varierande parametrar. De uppvisar i vissa fall ett betydligt bättre uppförande än den självinställande regulatorn. En betydande insikt har också nåtts vad beträffar problemet att avgöra för vilka processer en dual regulator ger avsevärt bättre resultat än en enklare regulator.

#### Referenser:

Abramowicz, H and K J Stymne (1975): Duala regulatorer. TFRT-5159, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden

Mannerfelt, C F (1977): Undersökning av några duala regulatorer. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-5194)/1-29/(1977).

Pernebo, L and J Sternby (1977): A comparison of two suboptimal dual controllers on a first-order system. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-7117)/1-30/(1977).

Sternby, J (1974): Analytical solution of a simple dual control problem. TFRT-3088, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Sternby, J (1976): A simple dual control problem with an analytical solution. IEEE Transactions on Automatic Control AC-21, 840-844.

Sternby, J (1977): Topics in dual control. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-1012)/1-135/(1977).

Sternby, J (1978): A regulator for time-varying stochastic systems. Proc 7th IFAC World Congress, Helsinki, Finland.

Wittenmark, B (1975): An active suboptimal dual controller for systems with stochastic parameters. Automatic Control Theory and Applications 3, 13-19.

#### 2.2.4 Adaptiv prediktion

Goda prognoser är användbara inom flera olika samhällssektorer, t. ex. för prognosticering av energiförbrukning eller för lagerstyrning. Olika adaptiva prediktorer har föreslagits och sedan studerats både ur teoretisk och praktisk synpunkt. De olika algoritmerna har jämförts sinsemellan och med existerande prognosmetoder vad beträffar asymptotiska och transienta egenskaper. Algoritmerna kan behandla en tidsvariabel processbeskrivning och en periodisk komponent i data. De har applicerats på data från det svenska elkraftnätet. Resultaten visar att dessa algoritmer är lika bra eller bättre än andra publicerade metoder applicerade på dessa data. Resultaten visar att denna typ av prediktorer definitivt är praktiskt användbara.

#### Referenser:

Axelsson, B, G Bramsmark, L Bredenfeldt, K Casenberg, K Edberg, H Jeppson, H G Nilsson, B Nordh and E Sandberg (1973): Prognosmetoder. TFRT-7061, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Casenberg, K and E Sandberg (1974): Prognosmetoder. TFRT-5139, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Holst, J (1974): Användande av självinställande prediktorer för prognos av belastning i kraftsystem. TFRT-3119, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Holst, J (1977): Adaptive prediction and recursive estimation. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-1013)/1-206/(1977).

Holst, J (1978): Adaptive short-term prediction of power load. Load data. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-7146)/1-17/(1978).

Wittenmark, B (1974): A self-tuning predictor. IEEE Transactions on Automatic Control AC-19, 848-851.

### 2.2.5 Adaptiva system - allmänt

Förutom vad som redovisats i tidigare avsnitt har ytterligare en del forskning utförts inom området adaptiva system. Det gäller bland annat självinställande filter för utjämning, extremalsökande algoritmer och beräkning av gränser för vad som överhuvudtaget är möjligt att åstadkomma med adaptiv styrning.

#### Referenser:

Åström, K J (1974): Stochastic control theory and some of its industrial applications. Preprints IFAC Symposium on Stochastic Control, Budapest, Hungary.

Åström, K J (1974): A test example for adaptive control. TFRT-7065, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Åström, K J (1977): Control of systems with uncertain parameters. TFRT-7115, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Hagander, P and B Wittenmark (1976): A self-tuning filter for fixed lag smoothing. TFRT-7091, Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

Hagander, P and B Wittenmark (1976): A self-tuning filter for fixed lag smoothing. Presented at the IEEE International Symposium on Information Theory, Ronneby, Sweden.

Hagander, P and B Wittenmark (1977): A self-tuning filter for fixed-lag smoothing. IEEE Transactions on Information Theory IT-23, 377-384.

Sternby, J (1978): Analysis of an extremal controller for Hammerstein models. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-7142)/1-15/(1978).

Sternby, J (1978): Turn-off reduction for the cautious regulator - a simulation study. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN:LUTFD2/(TFRT-7143)/1-10/(1978).

Sternby, J (1978): Certainty equivalence and an identification problem from econometry. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN:LUTFD2/(TFRT-7144)/1-5/(1978).

Sternby, J (1978): Performance limits in adaptive control. Dept of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. CODEN: LUTFD2/(TFRT-7145)/1-9/(1978).

### 3. SLUTSATSER. FÖRSLAG

#### 3.1 Huvudresultat

Grundläggande kunskap har utvecklats för identifiering av processdynamik, dimensionering av adaptiva regulatorer och adaptiva prediktorer. De viktigaste områdena inom identifiering som studerats är identifiering av återkopplade system, konvergens av rekursiva stokastiska algoritmer och rekursiva identifieringsmetoder samt konsistens av prediktionsfelsmetoder. Självinställande regulatorer har framtagits för flervariabla system och för system med besvärlig dynamik. Konvergens och stabilitet för dessa regulatorer har studerats. Olika dimensioneringsmetoder för adaptiva regulatorer har utvecklats. Algoritmer och programvara har framtagits. Omfattande simuleringar har utförts för att prova de adaptiva regulatorerna. Deras lämplighet för industriell processreglering har visats genom flera prov på industriella processer.

#### 3.2 Användbarhet

De teoretiska resultaten är av god internationell klass. Detta styrkes av det faktum att flera forskningsgrupper tagit upp våra idéer och fortsatt forskningen i olika riktningar. Det bästa exemplet på detta är de självinställande regulatorerna. Forskning på dessa har tagits upp av ETH, Zürich, Univ Stuttgart, Univ Bochum, Oxford University, Harvard University, University of California, University of Manchester, University of Alberta, Uppsala Universitet, Linköpings Högskola, University of Grenoble, EDF (Electricité de France) m fl.

De erhållna resultaten ger också en god grund för industriella tillämpningar av adaptiv reglering även om det fortfarande återstår mycket arbete innan det finns kommersiella adaptiva regulatorer. Mängden av tillämpningar både av identifiering och adaptiva regulatorer visar att de framtagna algoritmerna och den utvecklade programvaran utgör ett kraftfullt verktyg för analys av olika processer och design av regulatorer.

### 3.3 Tillämpningsområden

Den praktiska tillämpningen av metoderna har i första hand gällt processindustrin. De problem som kan angripas i denna industri med hjälp av processidentifiering är t.ex. "trouble shooting", utvärdering av det befintliga systemets uppförande, bestämning av hur stora förbättringar som kan nås genom en bättre reglering och dimensionering av regulatorerna.

De självinställande regulatorerna utvecklades från början som minimalvariansregulatorer avsedda i första hand för reglering av variabler av typ kvalitet, t.ex. fukthaltsreglering av papper.

Resultaten är emellertid generella och kan tillämpas inom många områden. Några exempel kan ges. Identifierings- och prediktionsalgoritmerna kan användas för

- prognosberäkningar
- tidsserieanalys
- inom systemanalys, t.ex. för prediktion av vattenflöden i hydrologi, prediktion av marknadsföringsinsatser.

Detta exemplifierar användbarheten inom stora vida områden. Det är naturligtvis omöjligt att täcka alla tillämpningar inom ett projekts ram. Vi har gjort punktinsatser inom pappersindustrin genom samarbete med Billerud AB och STFI. Det förefaller som om detta nu är en accepterad teknik inom pappersindustrin.

Det borde finnas ett liknande stort område inom stålindustrin. Utländska studier kan tas som indikation på att bättre processkunskap och bättre reglering kan uppnås. Vi har emellertid ännu ej gjort några insatser inom stålindustrin.

Ett annat stort område gäller energi. Energiområdet är ett vitt område, där insatser bör göras och där sannolikheten är stor att man kan ha stor samhällshytta av de gjorda insatserna. I ett projekt stött av BFR har vi påbörjat studier av vad som kan åstadkommas i förbättringar vid uppvärmning av hus. Ytterligare punktnyttan av den gjorda insatsen. Ytterligare punktinsatser har gjorts

insatser har gjorts tillsammans med Ångpanneföreningen, Malmö, Sydsvenska Kraft AB och Institutionen för Byggnadskonstruktionslära vid LTH. Mycket återstår dock att göra.

Andra områden där vi gjort punktinsatser är autopiloter för tankbåtar, olika biologiska system, reningsverk, extrudrar.

### 3.4 Betydelsen av STUs stöd

Utan stödet från STU står det klart att resultaten hade blivit av betydligt mindre omfattning. Projektet ger en ram och en samordning som har avsevärda positiva effekter.

### 3.5 Spridning av resultaten

Resultaten sprids genom rapporter, artiklar, seminarier, kontaktdagar med industrin och genom de kurser i identifiering och adaptiva system vi gett. Vi försöker också genom olika lämplighetsstudier och konsultverksamhet varvad med forskningen ytterligare verka för spridningen av kunskaperna till olika industribranscher. En annan för spridningen viktig verksamhet är utbildningen av civilingenjörer, speciellt via de examensarbetare som vi handleder. De interaktiva programpaketen av typen IDPAC har visat sig vara ett bra sätt att sprida resultaten. Våra erfarenheter indikerar att en ingenjör efter cirka en veckas utbildning kan lära sig använda processidentifiering i enkla tillämpningar om han har tillgång till IDPAC. För att få en stor spridning av resultaten är det dock nödvändigt att programsystem av typen IDPAC underhålls och utvecklas. Det är f.n. ej klart hur detta skall göras på bästa sätt.

Vi har också ett stort kontaktutbyte med industrier och institutioner både i Sverige och utomlands. Bland annat har ett flertal gästforskare verkat vid institutionen vilket gett oss ett värdefullt utbyte. Bland dessa kan nämnas prof H Kushner, dr B Beck, prof D Mayne, prof O Jacobs, dr A Havlicek och prof A Foss. Trots den informationsverksamhet som vi försökt genomföra upplever vi svårigheten att sprida kunskap om metodernas möjligheter som en av flaskhalsarna. Goda kurser kräver stora insatser och dessutom kontinuitet vilket ej är lätt att ordna med nuvarande hårda projektinriktning från STU.