



# LUND UNIVERSITY

## Master's Theses in Automatic Control 1973-1974 (Examensarbeten 73/74)

Wittenmark, Björn

1974

*Document Version:*

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Wittenmark, B. (Ed.) (1974). *Master's Theses in Automatic Control 1973-1974 (Examensarbeten 73/74)*. (Reports TFRT-4205). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

*Total number of authors:*

1

### 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

TFRT-6005

MASTER THESES IN AUTOMATIC CONTROL 73/74  
(EXAMENSARBETEN 73/74)

B. WITTENMARK

Report 7426 November 1974  
Lund Institute of Technology  
Department of Automatic Control

TILLHÖR REFERENSBIBLIOTEKET

UTLÅNAS EJ

MASTER THESES IN AUTOMATIC CONTROL 73/74  
(EXAMENSARBETEN 73/74)

B. Wittenmark

ABSTRACT

Abstracts of master theses (examensarbeten) made at the Division of Automatic Control, Lund, during the academic year 1973/1974 are collected in this report. It contains abstracts of 14 theses made by 21 students. The report reflects some of the research done at the Division of Automatic Control and can be seen as a complement to Process Control 1973/1974 (Report 7425) which summarizes the activities at the Division.

TABLE OF CONTENTS

Page

1. Introduction	1
2. List of theses	3
3. Subject index	5
4. Abstracts	6

APPENDIX: Examensarbeten i reglerteknik HT-73.

## 1. INTRODUCTION.

The education for civilingenjörsexamen (master degree) is completed with an independent work. This master thesis (examensarbete) shall prove that the student has learned how to attack and solve larger problems. The work is assumed to take three months of full time work and the work is done by one or two students.

This report is a collection of abstracts of master theses made at the Division of Automatic Control in Lund during the academic year 1973/1974. During this time 14 theses were finished by 21 students.

The major part of the theses is made within the framework of the graduate research program at the Division. But some of the theses are made for instance as feasibility studies or made in cooperation with the industry or other divisions. The report can thus be seen as a supplement to the survey of the research activities at the Division of Automatic Control reported in:

Aström, K.J., Olsson, G: Process Control 1973-1974. Report 7425, Division of Automatic Control, Lund Institute of Technology.

All master theses are written in Swedish with abstracts in English. Every thesis is presented in this report with the name of the author and with one abstract in Swedish and one in English. Also at each abstract the name of the responsible advisor is given within brackets. In several cases two or more advisors have been engaged with different kinds of work or ideas.

Further information concerning the results can be obtained from the Division of Automatic Control by contacting the

responsible advisor. The theses are available at the Division library and may be bought at reproduction cost.

Every year a list of suitable subjects for master theses is published in Swedish. The list for 73/74 is given in Appendix.

## 2. LIST OF THESES.

- RE-132 Nerman H. and Perby M-L.: Simulering av andning (Respiratory simulation). September 1973.
- RE-133 Jönsson G.: Parameteruppskattning i olinjär modell för ångkraftverk (Parameter estimation in a nonlinear model of a boiler-turbin unit). September 1973.
- RE-134 Gunnarsson J.: Undersökning av simuleringsspråket SIMSCRIPT (An investigation of the simulation language SIMSCRIPT). October 1973.
- RE-135 Hedenström J.: En enkel monetaristisk modell av Sveriges ekonomi (A simple monetarist model of the Swedish economy). December 1973.
- RE-136 Gutman P-O. and Olsson R.: Dynamiska modeller för reningsverk (Dynamic models for waste water treatment plants). March 1974.
- RE-137 Hylander B.: Utbildning och arbetsmarknad - En dynamisk systemmodell (Education and labor market - - A dynamic model). April 1974.
- RE-138 Nilsson G.: Inloppslåderreglering (Head-box control). March 1974.
- RE-139 Casenberg K. and Sandberg E.: Prognosmetoder (Prediction methods). April 1974.
- RE-140 Johannesson H. and Wesström J-O.: Jämförelse mellan några rekursiva identifieringsmetoder (A comparison of different recursive identification methods). August 1974.
- RE-141 Bengtsson B. and Egardt B.: Ett interaktivt programpaket för simulering av självinställande regulatorer (An interactive program package for simulation of self-tuning regulators). August 1974.

- RE-142 Elvgren F. and Krantz L.: Identifiering av återkopplade system (Identification of feedback systems). August 1974.
- RE-143 Persson L.: Konjugerade gradientmetoden för optimala styrproblem (Investigation of the conjugate gradient method for optimal control). July 1974.
- RE-144 Persson R.: Straff-funktionsmetoder för numerisk lösning av optimala styrproblem (Penalty function methods for numerical solution of optimal control problems). July 1974.
- RE-145 Bengtsson L. and Paulsson S-A.: Dimensionering av operatörspanel (Construction of a operator console). August 1974.



## 3. SUBJECT LIST.

Adaptive systems	141
Analysis and synthesis	138
Biological and medical systems	132
Digital computers	
Man-machine interaction	145
Simulation languages	134
Economic systems	135
Identification	
Nonlinear estimation	133
Recursive identification methods	140, 142
Model building	
Power plant	133
Waste water treatment plant	136
Optimal control	143, 144
Prediction methods	139
Sociological systems	137

## 4. ABSTRACTS.

RE-132 September 1973

(P. Hagander)

Nerman, Henrik

Perby, Maja-Lisa

Simulering av andning.

En simuleringsmodell för digital dator, baserad på en modell av B. Koch, har utvecklats för att beskriva hur gaser absorberas och elimineras i människans lungor och vävnader. Andningssystemet och nödvändiga delar av blodcirkulationen finns med. Systemet beskrivs som ett återkopplat system: tidal volym, andningsfrekvens, blodflöde i hjärta och hjärna regleras av kemiska mätningar av syre och koldioxidkoncentrationer. Andningsmönstret antas vara triangulärt i stationaritet. Hänsyn har tagits till gasernas transportfördröjningar i blodet.

Olika gasblandningar inandas. Simuleringen ger andningsmönster, blodflöde och gaskoncentrationer i blod och vävnader som funktioner av tiden.

Modellen har utvidgats till att ge en mera detaljerad beskrivning av andningsmekaniken för olika lungparametrar. Parametrarna kan väljas för att beskriva lungor med normal funktion såväl som lungor som påverkats av olika sjukdomar i en eller båda lungorna. Parametrarna är: flödesmotstånd i övre och nedre luftvägar, elastiska tånjbarheten (komplians) i lungor och bröstorg, funktionell residual volym, inaktiva volymen, eventuella diffusionshinder för  $O_2$  och  $CO_2$  mellan alveol och lungkapillär. Simuleringen av den utvidgade modellen ger ytterligare information om tryck, luftflöden och gaskoncentrationer i olika delar av luftvägarna och lungorna som funktion av tiden.

Alla simuleringar har jämförts med klinisk erfarenhet. Vidare utveckling av modellen föreslås, speciellt de reglertekniska aspekterna.

#### Respiratory Simulation.

A digital computer simulation model, based on a model by B. Koch, is developed to describe how gases are absorbed and eliminated in the human lungs and tissues. Respiration and related parts of circulation are included. The system is described as a closed-loop system: tidal volume, frequency of breath, cardiac output and blood flow to the brain are regulated by chemical measurement of the concentrations of oxygen and carbon dioxide. The steady-state breathing pattern is assumed to be of triangular form. The transport times of the gases by the blood are taken account of.

Different gaseous mixtures are inhaled. Simulation yields breathing pattern, blood flow, concentrations of gases in blood and tissues in the course of time.

The model is extended to a more detailed description of the mechanics of breathing at different lung parameters. The parameter can be chosen to describe normally functioning lungs, as well as lungs which are affected by various diseases, in one or both lungs. The parameters are: flow resistance in upper airways, flow resistance in lower airways, compliance of the lungs, compliance of the breast cage, the functional residual capacity, dead space, obstruction to diffusion of  $O_2$  and  $CO_2$  between alveoli and lung capillaries. Simulation of the extended model yields additional information about pressure, air flow and gaseous mixture in various parts of the airways and the lungs in the course of time.

All simulation experiments are compared with clinical experiences. Further extensions of the model are suggested, especially in the field of control theory.

RE-133 September 1973  
Jönsson, Gustav

(S. Lindahl,  
I. Gustavsson)

Parameteruppskattning i olinjär modell för ångkraftverk.

Avsikten med arbetet är att utifrån fysikaliska lagar bestämma en matematisk modell av ett ångkraftverk. Genom att utnyttja mätningar gjorda vid Öresundsverket i Malmö bestäms sedan numeriska värden på konstanter och parametrar.

Målet har varit att i första hand prediktera elektrisk uteffekt samt tryck i dom och mellanöverhettare.

Modellen presenteras som två olinjära första ordningens differentialekvationer. För att modellens gradtal inte skall bli för stort har det varit nödvändigt att göra förenklingar och approximationer.

Som tillståndsvariabler har valts domtryck och tryck i mellanöverhettare. Insignaler är matarvattenflöde, bränsleflöde samt reglerventilens läge.

Parameter Estimation in a Nonlinear Model of a Boiler-Turbine Unit.

The purpose is to establish a dynamic model of a reheat boiler-turbine unit suitable for power system studies. The primary task is to relate active power to the manipulated variables. To obtain a low order model several simplifying assumptions and approximations have been made. These are guided by data collected at Öresundsverket in Malmö.

The model consists of only two nonlinear first order differential equations. The state variables are drum and reheater pressure. The manipulated variables are fuel flow, control valve position and feedwater flow. Numerical values of ten uncertain parameters were estimated from the experimental data.

RE-134 October 1973  
Gunnarsson, Jan

(B. Wittenmark)

Undersökning av simuleringsspråket SIMSCRIPT.

Examensarbetet avser att undersöka för- och nackdelarna hos simuleringsspråket SIMSCRIPT. Programspråket lärdes med hjälp av manual och läroböcker i SIMSCRIPT. Två modeller konstruerades för att undersöka SIMSCRIPT-språkets uppbyggnad. Modellerna beskriver två olika slags system, dels ett, som blott är tänkt och ett, som redan existerar. Den första modellen simulerar arbetet vid ett löpande band. Modellen illustrerar användningen av några för SIMSCRIPT typiska hjälpmedel t.ex. köer och tidsrutin. Det andra exemplet är en modell av tentamenssystemet vid LTH. Systemet är ganska komplext. Den studiestatistik, som ställs samman, är otillräcklig för att göra en detaljerad modell. Den här använda, förenklade modellen är inte särskilt väl avpassad för indelning av systemet i SIMSCRIPT:s speciella simuleringsvärld och utnyttjar därför inte alla SIMSCRIPT:s fördelar. Hur man använder de specifika SIMSCRIPT-uttrycken framgår däremot tydligt i programmet.

An Investigation of the Simulation Language SIMSCRIPT.

The intention is to investigate the advantages and disadvantages with the simulation language SIMSCRIPT. The programming language was learnt from manual and books about SIMSCRIPT. Two models were made to examine the SIMSCRIPT language construction. The models describe two different systems, one fictive and the other existing system. The first model simulates the work at an assembly line. The model illustrates the use of the typical SIMSCRIPT tools

as queues and time routines. The second example is a model of the test system at Lund Institute of Technology. The system is rather complex. The data for the studies, that are gathered, are not sufficient to construct a detailed model. The used, simplified model is not especially well fitted for SIMSCRIPT, and therefore does not use all the advantages of the programming language. The use of the specific SIMSCRIPT statements is, however, clearly demonstrated in the program. Finally the results and the experiences from the SIMSCRIPT simulations are summed up.

RE-135 December 1973  
Hedenström, John

(K.J. Aström)

En enkel monetaristisk modell av Sveriges ekonomi.

Några klassiska dynamiska modeller för ekonomiska system presenteras. Vidare görs en jämförelse mellan keynesianska och monetaristiska modeller. Därefter följer olika försök att, i form av lineära differensekvationer med konstanta koefficienter, konstruera monetaristiska modeller för Sverige med utgångspunkt från en välkänd undersökning av USA:s ekonomi, den s.k. St. Louis-modellen.

Samspelet mellan penningpolitik, finanspolitik, export och nationalinkomst undersöktes för åren 1954 t.o.m. 1971. Parameteruppskattningarna utfördes med maximum-likelihood och minsta-kvadrat identifiering på processdatorn PDP-15 vid institutionen för reglerteknik.

Det visar sig att man trots ofullkomligheter i vissa data-serier och relativt få mätpunkter kan få en god uppfattning om hur de undersökta ekonomiska variablerna påverkar varandra.

Modellerna visar bl.a. att penningpolitik respektive finanspolitik och export under den aktuella perioden har haft motsatta inflytanden på svensk nationalinkomst. Jämförelser görs med USA och övriga Skandinavien.

I appendices redovisas en känd och omdiskuterad metod att ansätta tidsfördröjningar i ekonomiska modeller samt redogöres för olika sätt att införa säsongsvariationer.



A Simple Monetarist Model of the Swedish Economy.

Some classical dynamic models for macro economic systems are presented. Then follow comparisons between keynesian and monetarist models. The greatest part of the thesis deals with different constructions of monetarist models for Sweden in the shape of linear difference equations with constant coefficients. The starting-point has been a well-known examination of the U.S. economy, the so-called St. Louis model.

The accordance between monetary and fiscal actions, export and national income has been examined with reference to the period 1954 - 71. The estimations of coefficients have been done with maximum-likelihood and least-square identification using a PDP-15 computer.

In spite of some imperfections in certain data series and only 72 samples for each variable it is possible to get a good idea of the way in which the examined variables affect each other.

Among other things the models show that during the actual period monetary actions on one hand and fiscal actions and export on the other have had different influences on the Swedish national income. These examinations have been compared with those made in USA, Denmark, Finland and Norway.

In appendices a well-known and debated method of applying time-delays on economic models as well as different ways of season-adjusting economic data are discussed.

RE-136 March 1974

(G. Olsson)

Gutman, Per-Olof

Olsson, Rickard

Dynamiska modeller för reningsverk.

Syftet har varit att göra en studie av dynamiska modeller på avloppsreningsprocesser. Rapporten består av en litteraturstudie och två olika identifieringar.

Litteraturstudien omfattar en genomsökning av relevanta tidskrifter, och resultatet utgöres av en abstract-samling av artiklar, som behandlar dynamiska aspekter av avloppsreningsteknik. En dynamisk modell av en aktivslam-anläggning presenteras utförligare.

Identifiering är utförd på data från en aktivslamprocess i Palo Alto, Calif. Experiment och identifiering har vidare utförts på en kemisk fällningsprocess vid Sjölundaverket, Malmö. Linjära stokastiska modeller av första och andra ordningen presenteras av de båda processerna.

Dynamic Models for Waste Water Treatment Plants.

The purpose is to study dynamic models of processes used in waste water treatment. The report consists of a literature study and identifications of two different unit processes.

The literature study consists of a thorough search of some relevant periodicals, and the result is presented as a collection of abstracts of articles, treating dynamic aspects of waste water treatment technology. A dynamic model of an activated sludge process is presented in

detail.

Identifications have been performed on data from an activated sludge process in Palo Alto, Calif. Chemical precipitation experiments followed by maximum likelihood identifications have also been performed for a unit of the Sjölanda Waste Water Treatment Plant, Malmö. Linear stochastic dynamic models of first and second order of the two processes are presented.

RE-137 April 1974

(G. Olsson)

Hylander, Bengt

Utbildning och arbetsmarknad - en dynamisk systemmodell.

Studien är att betrakta som ett försök att med hjälp av reglertekniska metoder studera den dynamiska kopplingen mellan utbildnings- och arbetsmarknadssystemen i en högt aggregerad, kvantitativ flödesmodell. En stor del av studien upptas av diskussion kring grundläggande frågeställningar och antaganden, modellavgränsningar och dataunderlag.

I centrum för intresset står arbetsmarknadslägets inverkan på tillflödet till högre utbildning samt den inverkan som det därvid resulterande utflödet i sin tur får på arbetsmarknadsläget, d.v.s. en återkopplingsring i systemet.

Parameterskattningarna har genomförts på en PDP-15 med hjälp av ett maximum likelihood identifieringsprogram för multiple input, single output, linjära, dynamiska differensekvationer. De skattade ekvationerna kopplas sedan samman till ett ekvationssystem (en vektor-differensekvation) med 6 utsignaler och 10 insignaler. Den totala modellen måste dock betraktas som högst preliminär. Åtskilligt arbete återstår ännu med att specificera den grundläggande strukturen i systemet.

Studien avslutas med en exemplifiering av hur enkla reglertekniska metoder (olika slag av återkopplingar) skulle kunna tillämpas för styrning av en modell av detta slag samt med rekommendationer och riktlinjer för fortsatt analys och modellbygge.

Education and Labor Market - A Dynamic Model.

The study is to be considered as a first attempt to apply automatic control theory and methods to an investigation of the dynamic interrelationship between the educational and the labor market systems in a highly aggregate, quantitative flow model. A considerable part of the study consists of a discussion on the conceptualization of the problem, basic assumptions, model boundaries and the availability of data needed.

Of primary interest is the influence of the labor market situation on the flow of students into higher education and the influence that the corresponding flow out of education (a few years later) in turn has on the labor market situation, i.e. there is a feed-back loop in the system.

The parameter estimations have been computed on a PDP-15 with a maximum likelihood identification program for multiple input, single output linear dynamic difference equations (IDPAC). The estimated equations are then put together into a system of difference equations (a vector-difference equation) with 6 outputs and 10 inputs. The total model is highly preliminary. Much work still remains to be done in specifying basic system structure.

The study concludes with an example showing how simple feed-back control methods could be used on a model of this kind and with recommendations for further analysis and model building.

RE-138 March 1974  
Nilsson, Gustav

(B. Wittenmark)

### Inloppslådereglering.

I rapporten undersöks reglering av en enkel sluten inloppslåda. Modellen är baserad på fysikaliska grundekvationer. Olika reglerstrategier har jämförts. Dels konventionella PI-regulatorer för totaltryck/mäldflödesreglering och för totaltryck/luftflödesreglering. Vidare har använts regulatorer byggda på linjärvadratisk teori. I dessa regulatorer har integratorer introducerat genom utökning av tillståndsvektorn. Med de använda kriterierna och restriktionerna gav linjärvadratisk reglering med integratorer det bästa resultatet.

### Head-Box Control.

Control of a head-box is investigated in the report. The model is obtained from fundamental physical equations. Different control strategies have been compared. First conventional PI control for pressure/pulp flow control and for pressure/air flow control are used. Second regulators based on linear quadratic theory have been used, with and without integrators in the system. With the used loss function and restrictions the linear quadratic regulator with integrator gave the best result.

RE-139 April 1974

(J. Holst)

Casenberg, Kjell

Sandberg, Erik

### Prognosmetoder.

I examensarbetet behandlas k-steps prediktion av endimensionella tidsserier. Prediktionsmetoderna: glidande medelvärde, exponentiell utjämning, s.k. Optimal Prediction, och en heuristisk metod testas och jämföres på såväl simulerade som verkliga data!

Jämförelsen mellan de olika metoderna baseras på prediktionsfelets medelvärde och varians. Undersökningen visar att metoder som på ett eller annat sätt är adaptiva, d. v.s. förmår ta hänsyn till tidsvariationer i processbeskrivningen, är att föredra. Likaledes framgår att metoder som utnyttjar speciella, a priori kända, egenskaper hos data t.ex. trender eller säsongvariationer ger bättre prediktioner. Av metoderna som behandlas i examensarbetet har exponentiell utjämning och den heuristiska metoden i viss utsträckning dessa båda egenskaper.

### Prediction Methods.

In this master thesis the problem of k-step prediction of one-dimensional time series is treated. The prediction methods moving average, exponential smoothing, the so-called Optimal Prediction, and a heuristic method are tested and compared on both simulated and non-simulated data.

The comparison between the different methods is based on the mean value and the variance of the prediction error.

It is shown that methods which in one way or other are adaptive, i.e. can handle time variations in the description of the time series are superiour. Also the work shows that methods which take into consideration special a priori known features of the data e.g. trends or seasonal variations have a better performance. Of the herein considered methods, the exponential smoothing and the heuristic method in different ways have these two properties.



RE-140 August 1974  
Johannesson, Håkan  
Wesström, John Olov

(I. Gustavsson  
T. Söderström)

Jämförelser mellan några rekursiva identifieringsmetoder.

Fyra olika rekursiva identifieringsmetoder, en baserad på minstra kvadrat-metoden, en baserad på instrumental variable-metoden samt två baserade på maximum likelihood-metoden presenteras. De presenterade algoritmerna används för att identifiera olika simulerade system. Resultaten av dessa identifieringar används för att jämföra de fyra olika algoritmerna. Maximum likelihood-algoritmerna ger i allmänhet bäst uppskattningar, medan instrumental variable-metoden ger osäkra skattningar för ordningstal större än 1. Det har också visats att den ena av ML-algoritmerna inte konvergerar för vissa system.

A Comparison of Different Recursive Identification Methods.

Four different recursive identification algorithms, one based upon the least squares method, one based upon the instrumental variable method and two based upon the maximum likelihood method, are presented. These algorithms are used to identify different simulated systems. The results of these identifications are used to compare the four different algorithms. The maximum likelihood algorithms give in general the best estimates, while the instrumental variable method gives uncertain estimates for system orders greater than one. It has also been shown that one of the ML algorithms does not converge for certain systems.

RE-141 August 1974  
Bengtsson, Bengt  
Egardt, Bo

(S. Selander  
T. Söderström  
B. Wittenmark)

Ett interaktivt programpaket för simulering av självinställande regulatorer.

Denna rapport utgör dokumentation av resultat och erfarenheter av simuleringar med självinställande regulatorer.

I första hand redovisas konstruktionen av ett interaktivt programpaket för simulering av vissa typer av adaptiva regulatorer, s.k. självinställande regulatorer. I enlighet med erfarenheterna vid institutionen är paketet kommandostyrt.

I rapporten ingår också en del, som presenterar några regulator-algoritmer samt resultat av simuleringar med dessa. Bl.a. studeras en regulator typ med en rekursiv maximum likelihood-identifiering.

An Interactive Program Package for Simulation of Self-Tuning Regulators.

This MS thesis report provides documentation of results and experience obtained from simulation of self-tuning regulators.

The main purpose is to show the construction of an interactive program package, which is used for simulations of some special types of adaptive controllers, called self-tuning regulators. According to the experience at the division, the program package is command driven.

A part of the report presents some regulator algorithms and the results obtained by simulation. For example, one type of regulator with a recursive maximum likelihood-identification is considered.

RE-142 August 1974

Elvgren, Folke

Krantz, Lars

(I. Gustavsson

L. Ljung

T. Söderström)

### Identifiering av återkopplade system.

Den modellnoggrannhet som kan uppnås med identifiering beror bl.a. på under vilka betingelser de experimentella data tagits fram. Genom simuleringar studeras noggrannheten för ett antal olika experimentbetingelser. Experiment med återkopplade system med olika typer av regulatorer och open loop experiment med olika typer av insignaler jämföres. För detta ändamål har ett speciellt datasimuleringsprogram framtagits.

### Identification of Feed-back Systems.

The achievable accuracy of models derived by identification depends on a number of factors, e.g. the conditions during the experiments. The accuracy is studied by simulation for a number of different experiments: open loop experiments with different types of input signals and closed loop experiments with different types of regulators. For this purpose a special simulation program has been written.

RE-143 July 1974  
Persson, Leif

(K. Mårtensson)

Konjugerade gradientmetoden för optimala styrproblem.

I detta examensarbete presenteras ett datorprogram (ICG1) för numerisk lösning av optimala styrproblem. Programmet är baserat på en konjugerad gradientmetod i insignalrummet, och varje beräkning av gradienten innebär en lösning av systemekvationerna. Programmet är skrivet i FORTRAN och för att köra olika exempel på dator, behöver endast en subrutin ändras.

Programmet har testats på exempel av olika svårighetsgrad och jämförelser med andra lösningsmetoder har gjorts.

Investigation of the Conjugate Gradient Method for Optimal Control.

In this thesis a computer program (ICG1) for numerical of optimal control problems is presented. The program is based on a conjugate gradient method in the control space, and at every computation of the gradient, the system equations are solved. The program is written in FORTRAN and to solve different examples on a computer, only one subroutine needs to be changed.

The program has been tested on examples of different complexity and comparisons with two other methods have been done.

RE-144 July 1974  
Persson, Rolf

(K. Mårtensson)

Straff-funktionsmetoder för numerisk lösning av optimala styrproblem.

Ett datorprogram (IPF1) för numerisk lösning av optimala styrproblem presenteras. Programmet är baserat på en metod som utnyttjar en "Penalty Function" (straff-funktion), som skall minimeras. Programmet är skrivet i FORTRAN och för att köra olika exempel på dator behöver endast en subrutin ändras. Programmet har testats på exempel av olika svårighetsgrad och jämförelser med andra lösningsmetoder har gjorts.

Penalty Function Methods for Numerical Solution of Optimal Control Problems.

A computer program (IPF1) for numerical solution of optimal control problems is presented. The program is based on a method using a "Penalty Function", which is to be minimized. The program is written in FORTRAN and to solve different examples on a computer only one subroutine needs to be changed.

The program has been tested on examples of different complexity and comparisons with two other methods have been done.

RE-145 August 1974

(J. Wieslander)

Bengtsson, Lennart

Paulsson, Sven-Arne

### Dimensionering av operatörspanel.

Examensarbetet ger konstruktionsprinciper, såväl hårdvara- som mjukvarumässiga, för en operatörspanel anpassad till institutionens processdator och DDC-paket.

Panelen är implementerad m.h.a. en mikrodator av fabrikkatet TRANSINTRO med centralenhet INTEL 8008.

En av de grundläggande idéerna vid programmeringen av mikrodatorn är, att en nedtryckt knapp ger en markering i en kö. Denna kö arbetas sedan av efterhand som mikrodatorn får tid.

Operatören kan visa och ändra värdena på regulatorparametrarna. Parametrar kan dock förses med ändringsförbud, vilket då anges genom att "ändring förbjuden"-lampan tänds.

Vissa av parametrarna har försetts med kontrollgränser (rimlighetsgränser), mot vilka nya parametervärden testas innan de godkänns.

Med hjälp av knapparna "nodutskrift" och "grupputskrift" kan operatören få översiktsinformation utskriven på teletype eller radskrivare.

Operatörsfel eller inträffade alarm indikeras på panelen genom att "FEL"- respektive "ALARM"-lampan tänds.

### Construction of an Operator Console.

This report gives constructing principles, hardware ones as well as software ones, for an operator's console adapted to the process computer and DDC software package of the Division of Automatic Control.

The console is implemented with a micro computer, trademark TRANSINTRO with CPU INTEL 8008.

One of the main ideas, in programming the micro computer, is that a pressed push-button gives a marking in a queue. The micro computer then takes care of the stored information when there is time.

The operator is able to display and change the values of the regulator parameters. Parameters can, however, be attached with alteration prohibition. If that is so, the light "alteration prohibited" will be lit.

Some parameters have been attached with limits. A new parameter value is tested against these limits before it is approved.

By means of the push-buttons "node display" and "group display" the operator can get surveyable information written on teletype or lineprinter.

Faults caused by the operator or alarms will be indicated with the lights "FAULT" and "ALARM" respectively.



# EXAMENSARBETEN REGLERTEKNIK

HÖSTTERMINEN 1973

I denna skrift ges några förslag på examensarbeten i reglerteknik. Arbetena presenteras i ett antal avsnitt, vars rubriker definierar examensarbetenas allmänna innehåll. I varje avsnitt ges några konkreta förslag till examensarbete. Förslagen finns utförligare beskrivna i en pärm, som finns på institutionens bibliotek. Listan över examensarbeten förändras ständigt, så om listan nu ej innehåller något arbete, som intresserar, kan det dyka upp nya förslag längre fram. Den som är intresserad, är välkommen till institutionen för närmare diskussion. Första kontakt bör tagas med univ lektor Björn Wittenmark.

Många av de angivna examensarbetena kräver kunskap i FORTRAN-programmering.

Förutom de arbeten, som presenteras här, brukar även vissa större företag, t ex ASEA och SAAB, varje år ge ut listor med examensarbeten. I dessa finnes ofta många arbeten inom ämnet reglerteknik.

Det är önskvärt, att teknolog, som utför examensarbeten i reglerteknik, deltagar i undervisningen i någon av fortsättningskurserna. Då dessa kurser ligger på vårterminen i fyran, kan det ur studietidssynpunkt vara fördelaktigt att påbörja examensarbetet innan fortsättningskursen är avslutad.

För varje examensarbete finns en ansvarig handledare. Preliminär handledare finns angivna vid varje förslag.

LA Leif Andersson  
GB Gunnar Bengtsson  
TG Torkel Glad  
IG Ivar Gustavsson  
PH Per Hagander  
JH Jan Holst  
LL Lennart Ljung  
GO Gustaf Olsson  
LP Lars Pernebo  
SS Staffan Selander  
TS ~~Torsten~~ Söderström  
JW Johan Wieslander  
BW Björn Wittenmark  
KJÅ Karl Johan Åström

## 1. MODELLBYGGE, IDENTIFIERING

Vid tillämpning av reglerteknik på styrning av industriella processer är det mycket väsentligt att ha tillgång till effektiva metoder för att bestämma matematiska modeller. Ofta är det opraktiskt, om ej omöjligt, att erhålla sådana modeller direkt ur de grundläggande fysikaliska lagarna. Man är då hänvisad till att bestämma de matematiska modellerna genom mätning på processen.

Processidentifiering är en systematisk metod att utifrån mätningar bestämma de differentialekvationer eller den överföringsfunktion, som beskriver processen. Detta är ett av institutionens aktuella forskningsområden. Ett flertal examensarbeten finnes inom detta område.

### 1.1 Experiment och identifiering på processer i reningsverk (GO)

Institutionen skall göra experiment på reningsverket i Sjö-lunda. Arbetet omfattar genomförande av experiment och framtagning av matematiska modeller.

### 1.2 Strukturidentifiering av pappersmaskin (BW)

Med hjälp av gjorda experiment skall olika modeller av en pappersmaskin undersökas. På detta sätt vill man undersöka om de hypoteser som gjorts vid modellbygget kan bekräftas genom mätningarna.

### 1.3 Identifiering av återkopplade system (IG,LL,TS)

För att göra regulatorer är man intresserad av det öppna systemets överföringsfunktion. I många fall måste man dock ha en regulator inkopplad på systemet då man gör sina experiment. Hur skall man göra och vilken noggrannhet kan man få på modellen av det öppna systemet?

#### 1.4 Rekursiva identifieringsmetoder (TS,IG)

För att snabba upp beräkningarna och minska antalet data, som behöver lagras i datorns kärnminne vill man att identifieringsmetoderna skall vara rekursiva i tiden. Examensarbetet innefattar en undersökning och jämförelse av olika sådana metoder.

#### 1.5 Val av insignal vid identifiering (IG)

För att få ut det mesta möjliga av ett experiment är det önskvärt att använda stora insignaler, men på grund av produktionstekniska skäl måste insignalerna ofta begränsas. Hur skall man i sådana fall välja sin insignal?

#### 1.6 Identifiering av poler och nollställena i överföringsfunktioner (LL)

I de flesta parametriska identifieringsmetoder uppskattar man parametrarna i överföringsfunktionen och ej explicit poler och nollställena. Arbetet avser att undersöka möjligheten att direkt estimerar poler och nollställena.

#### 1.7 Identifiering av flervariabla system (IG)

De flesta identifieringsmetoder är avsedda för system med en insignal och en utsignal. Arbetet innebär en undersökning av hur man kan göra för att identifiera system med flera in- och utsignaler.

#### 1.8 Revidering av IDPAC (SS,IG)

Vid institutionen har utvecklats ett interaktivt programpaket för identifiering. Examensarbetet omfattar en revidering och utvidgning av detta programpaket.

## 2. ANALYS OCH SYNTES

Inom detta avsnitt finns examensarbeten av teoretisk såväl som praktisk natur. All väsentlig teori, som presenteras i allmänna kursen i reglerteknik, är så utformad, att den lätt kan automatiseras. Allt arbete, som fordras för analys och syntes, kan utföras med hjälp av en datamaskin. Vi har sedan lång tid tillbaka på institutionen delvis med hjälp av examensarbeten arbetat med att skriva lämpliga subrutiner. Typexempel är transformation av koordinatsystem i tillståndsrum, beräkning av stegsvar, impulssvar, simulering, syntes av system med given överföringsfunktion, rekonstruktion av tillståndsvariabler m m.

### 2.1 Reglering av enkelpendeln (BW,LA)

Till institutionens hydraulservo kan vi koppla en vagn med en pendel. Denna pendel skall balanseras i upprätt läge. Arbetet avser dimensionering av en regulator, som gör återkoppling från samtliga tillstånd. Dessutom skall undersökas om kalibreringsfel hos givare kan elimineras genom att rekonstruera felet och ta med det i regulatorn.

### 2.2 Reglering av tanksystem (TS)

Vid institutionen finns en nybyggd process, som skall användas dels för demonstration av komponenter och dels för undersökning av olika regulatorer. Inom examensarbetet skall man göra en matematisk modell för processen, undersöka de olika mätgivarna och göra styrexperiment med olika typer av regulatorer.

### 2.3 Dead-beat reglering av värmestaven (JH)

Om man känner den matematiska modellen för en process och om processen är styrbar kan man styra processens tillstånd till önskat läge. Denna typ av experiment skall utföras genom att styra temperaturen i en värmestav som är ansluten till institutionens processdator.

#### 2.4 Simulering av styrsystem för båtar (CK)

Genom identifieringsexperiment har matematiska modeller för båtar bestämts. Nästa steg är att undersöka olika regulatorer som kan vara användbara vid styrning av båtar.

#### 2.5 Betydelsen av poler och nollställena i flervariabla system (GB)

Arbetet avser att genom teoretiska överläggningar och simuleringar undersöka hur poler och nollställena påverkar systemet då det har flera insignaler och utsignaler.

#### 2.6 Lösning av servoproblemet genom approximation av linjärkvadratiska styrlagar (GB)

Genom att göra återkoppling från samtliga tillstånd kan man flytta ett systems poler. Arbetet avser att undersöka en metod som approximerar dessa styrlagar då endast systemets utsignaler är tillgängliga för återkoppling.

#### 2.7 Konstruktion av PID-regulator (LA, BW)

En analog PID-regulator skall konstrueras för att kunna användas på institutionens små analogmaskiner.

#### 2.8 Inverkan av kvantisering (BW)

Hur påverkas ett systems prestanda om styrsignalen eller mät-signalen kvantiseras?

#### 2.9 Experimentell undersökning av dynamiska system (LA)

Arbetet består i att konstruera en tillsatsanordning till institutionens hydraulservo så att man kan studera det dynamiska sambandet mellan förskjutning och kraft.

2.10 Konstruktion av demonstrationsprocess (BW)

Examensarbetet avser uppbyggnad av en liten demonstrationsprocess för att åskådliggöra en transportfördröjnings inverkan på ett system.

### 3. OPTIMAL REGLERING

Genom att formulera syntesproblem som optimeringsproblem kan många av variationskalkylens kraftfulla resultat tillämpas för att dimensionera reglersystem. De väsentliga teoretiska problemen är i princip lösta, men mycket arbete återstår vad beträffar utvecklingen av numeriska algoritmer. Detta är också ett av institutionens aktuella forskningsområden. Ett programpaket för dimensionering av regulatorer och styrlagar för linjära system med kvadratisk kriterium, både för diskreta och kontinuerliga system, har utvecklats. Dessa programpaket har tillämpats på några konkreta exempel. Erfarenhet från ytterligare tillämpningar är emellertid mycket väsentligt. Följande arbeten finnes.

#### 3.1 Jämförelse mellan några metoder för funktionsminimering (TG)

En viktig del inom optimeringsläran är algoritmer för minimering av flervariabla funktioner. Olika metoder skall undersökas genom simulering.

#### 3.2 Tuning av linjär-kvadratiska styrlagar (GB)

Linjär-kvadratisk optimering bygger på att man väljer en förlustfunktion på basis av denna får man sedan fram en styrlag. Därefter undersöker man  $t$  ex stegsvaret och modifierar förlustfunktionen tills ett tillfredsställande resultat har uppnåtts. Arbetet avser att utarbeta regler för hur återkopplingsparametrarna skall ställas in med bibehållen stabilitet.

#### 3.3 Linjärkvadratiska regulatorer för oändligt dimensionella system (LL)

Arbetet avser att jämföra den optimala lösningen med olika sätt att differensapproximera de oändligt dimensionella systemen.



### 3.4 Styrning av temperatur i ett fryshus (LL)

Arbetet avser att ge förslag till styrstrategier vilka minimerar kostnaderna för att reglera temperaturen i ett fryshus. Mätningar på en industriell anläggning (Frigoscandia) avses ingå i exjobbet.

#### 4. ESTIMERING OCH PREDIKTION

Då alla tillståndsvariabler ej är mätbara måste dessa rekonstrueras om man vill göra en regulator som bygger på återkoppling från samtliga tillstånd. För linjära system vet man hur den optimala regulatorn ser ut men däremot finnes det många sätt på vilka man kan programmera algoritmerna. Man har även försökt att överföra tankarna som ligger bakom Kalmanfiltreringen till olinjära system s k utvidgad Kalman. Vidare förekommer ofta system där parametrarna är tidsvariabla och okända. Ett annat problem uppkommer då man vill uppskatta en signal vid en tidpunkt längre fram i tiden. Detta kallas för prediktion.

##### 4.1 Kommandostyrt program för reelltidsidentifiering och simulering av olinjära filter (GO)

För att underlätta undersökningen av olika metoder för reelltidsidentifiering vill man ha ett flexibelt programpaket med vars hjälp parametrar och strukturen i filtren lätt kan förändras.

##### 4.2 Prediktion med hjälp av Kalmanfilter (JH)

Arbetet avser att undersöka en prediktor som är baserad på idéerna bakom Kalmanfilter.

##### 4.3 Prediktion av tillflöde till reningsverk (GO)

För att kunna styra reningsverk så bra som möjligt är det önskvärt att kunna prediktera tillflödet under de närmaste timmarna. Några idéer skall undersökas genom simulering.

## 5. REELLTIDSBERÄKNING. PROCESSDATORER

Som ett led i institutionens verksamhet, som är koncentrerad på processreglering, har vi inköpt en processdator, som levererats i juli 1970. Avsikten är bl a att på denna implementera och testa utvecklade numeriska algoritmer på verkliga processer. Att göra beräkningar i reell tid och med ett mycket begränsat minnesutrymme till sitt förfogande ställer helt andra krav än då samma sak görs på en stor dator. Bland examensarbeten i direkt samband med processdatorer finnes:

### 5.1 Spooling på radskrivaren (JW)

För att flera personer skall kunna använda datorn samtidigt fordras att det finns program t ex för att styra utskriften på radskrivaren så att de olika användarnas program ej blandas. Program för detta skall utvecklas för institutionens dator.

### 5.2 Kommandoavkodare för interaktiva program (JW)

Många program styrs med hjälp av kommandon. Avkodningen av dessa skall standardiseras och automatiseras för att programmeringen av interaktiva program skall kunna bli effektivare.

### 5.3 Dimensionering av operatörspanel (JW)

Institutionens processdator är utrustad med ett enkelt processregleringspaket. För att underlätta kommunikationen mellan operatör och dator vill man ha en operatörspanel. Arbetet omfattar undersökning av vad som behövs för detta dels i form av program och dels i form av elektronik.

## 6. ADAPTIVA REGLERSYSTEM

Adaptiva reglersystem kan automatiskt anpassa regulatorns parametrar till en varierande systemdynamik. En speciell klass av adaptiva regulatorer som har utvecklats vid institutionen är de självinställande regulatorerna, som med framgång har används på flera industriella processer. Inom detta område finns följande examensarbeten

### 6.1 Självinställande regulator med referensvärdesföljning (BW)

De självinställande regulatorerna är ursprungligen avsedda för stationär reglering med konstant referensvärde då systemet störs av brus. Strukturen skall nu förbättras så att regulatorn även klarar varierande referensvärden.

### 6.2 Självinställande regulator baserad på reelltids maximum likelihood identifiering (BW)

En mer komplicerad identifieringsalgoritm skall användas för att kunna utöka klassen av system som man kan styra. Identifieringsmetoden estimerar såväl systemets överföringsfunktion som brusets karaktäristik.

### 6.3 "Open loop feedback control" (BW)

Detta är en metod föreslagen i litteraturen. Arbetet omfattar en undersökning av denna metod och en jämförelse med t ex en självinställande regulator.

### 6.4 Suboptimal dual reglering (BW)

I adaptiva regulatorer är det ofta en konflikt mellan estimeringen av parametrarna och regleringen. Estimeringen blir bra om utsignalerna är stora men då blir regleringen dålig. Med duala regulatorer försöker man göra optimal avvägning mellan estimeringen och regleringen.

## 7. PROGRAMMERING

### 7.1 Simulering och datagenerering (IG,CK)

I flera sammanhang är det nödvändigt att simulera dynamiska system med eller utan störningar. Sådana användningsområden är generering av data för test av identifieringsprogram eller för Monte Carlo simuleringar för att utröna skattningars noggrannhet etc. Avsikten är att skriva ett flexibelt programpaket för simulering och datagenerering. Olika systemrepresentationer skall kunna användas. Ett antal olika insignaltyper och störningar med olika karakteristika skall kunna genereras. Något tillämpningsexempel kommer att ingå.

### 7.2 Automatisering av klassiska syntesmetoder (LP)

Det finns ett programpaket för klassiska syntesmetoder, som institutionen fått från Imperial College. Detta håller på att flyttas över till institutionens dator. Exjobbet avser att komplettera paketet med t ex beräkning av felkoefficienter, fas- och amplitudmarginal och konstruktion av kompensering-länkar. Exjobbet kan starta någon gång i vår.

### 7.3 Transformerig till kanonisk form (PH,TS)

Det finns i huvudsak två metoder föreslagna för transformering till kanoniska former. Exjobbet avser att utarbeta och uttesta subrutiner för dessa metoder och att jämföra deras egenskaper. Exjobbet kan ev utvecklas till att även behandla ett närliggande problem. Goda kunskaper i numerisk analys och programmering är önskvärda.

## 8. MEDICINSKA, BIOLOGISKA, SOCIALA, EKONOMISKA SYSTEM

Reglerteknikens metoder börjar i allt större utsträckning att tillämpas även på icke tekniska system. Inom företagsökonomi har man således infört reglertekniska begrepp under rubriker såsom management information system, management control system. Tillämpningar finnes även inom medicinska, sociala och biologiska system. Inom dessa fält har vi några examensarbeten, som består i att studera sådana system med reglertekniska metoder. Syftet är att undersöka hur icke endast kvalitativa utan även kvantitativa aspekter av reglertekniken kan överföras till dessa typer av system.

### 8.1 Tracer analys (PH)

Med hjälp av experiment vill man göra modeller som talar om hur mediciner sprids i kroppen. Arbetet avser analys och framtagning av "styrlagar" för läkemedelsdosering.

### 8.2 Studium av biologiska tillväxtprocesser (GO)

Arbetet avser litteraturstudier och simulering av modeller för biologisk tillväxt. Detta är av intresse t ex i de biologiska stegen i reningsverk.

### 8.3 Matematiska modeller för föroreningars spridning i luft och vatten (GO)

Arbetet avser litteraturstudier av modeller för spridning av olika ämnen i luft och vatten. Även detta examensarbete har tillämpningar inom miljövårdsområdet.

### 8.4 Nationalekonomiska modeller (KJÅ)

Inom litteraturen finns ett antal förslag hur man skall bygga upp modeller för ett lands ekonomi. Vilka variabler är det som är av primärt intresse och vilka samband skall man utnyttja? Arbetet avser att göra en sammanställning och analys av de föreslagna modellerna.