

Examensarbete

**Scheduling of library staff with respect to demands and
staff competence**

Claes Arvidson, Emelie Karlsson

LITH - MAT - EX - - 04 / 04 - - SE

Scheduling of library staff with respect to demands and staff competence

Optimeringslära, Linköpings Universitet

Claes Arvidson, Emelie Karlsson

LiTH - MAT - EX - - 04 / 04 - - SE

Examensarbete: **30 hp**

Level: **A**

Supervisor: **T. Larsson**,
Optimeringslära, Linköpings Universitet

Examiner: **E. Rönnberg**,
Optimeringslära, Linköpings Universitet

Linköping: **June 2016**

Abstract

Here is where you can write your abstract. It may be very long, or it may be very short, the reason you have an abstract is for people not to be forced to read lots of crap.

But still, they will have to read your abstract. After all, the abstract is what everyone reads. . .

Keywords: Keyword One, Chemostat, Another Key-Word, Key, Clé, Mot de cle, Nyckelhål, XBOX, Dagens viktigaste nyckelord, and Keywords.

URL for electronic version:

<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-77777>

Acknowledgements

I would like to thank my supervisor, I would like to thank my supervisor, I would like to thank my supervisor, I would like to thank my supervisor...

I also have to thank, I would like to thank my supervisor, I would like to thank my supervisor, I would like to thank my supervisor, I would like to thank my supervisor...

My opponent NN also deserves my thanks, I would like to thank my supervisor, I would like to thank my supervisor, I would like to thank my supervisor...

Nomenclature

Most of the reoccurring abbreviations and symbols are described here.

Symbols

Y_0 The amount of the variable Y inserted into a system.
 \hat{Y} The unit-dimension of the variable Y , for example $\hat{t} = 1s$.
 \bar{Y}_i A steady state (number i) value of Y .

K_i Constants used in kinetic expressions, for example K_I .

\mathbf{A} The system matrix.

Abbreviations

CPI Competitive Product Inhibition (or Inhibited)
CSI Competitive Substrate Inhibition (or Inhibited)
CSTR Continuous Stirred Tank (bio)Reactor
MMI Michaelis-Menten Inhibition (or Inhibited)

Contents

1	Introduction	1
1.1	Background	1
1.2	Problem description	1
2	Literature review	3
2.1	Tour scheduling problem (TSP)	3
2.2	Personnel task scheduling problem (PTSP)	3
2.3	Shift minimisation personnel task scheduling problem (SMPTSP)	3
2.4	Fixed/flexible job scheduling problem (FJSP)	4
2.5	Work load allocation and worker satisfaction	4
3	Implementation insights	5
4	The ideal CSTR: the chemostat	7
4.1	Some simple models of biological growth	7
4.1.1	Exponential growth	7
4.1.2	The logistic equation	7
4.2	The chemostat	7
A	The Linearized stability	11
A.1	The Linearization	11

List of Figures

List of Tables

1.1	Personal	1
1.2	Yttre och inre uppgifter	2
1.3	Krav	2

Chapter 1

Introduction

1.1 Background

1.2 Problem description

Examensarbetet går ut på att lägga ett arbetsschema för personalen vid Norrköpings bibliotek. Problemet går i grund och botten ut på att fylla alla uppgifter på de stationer som tillhör bibliotekets utåtriktade verksamhet (så kallade yttre tjänst) med personal av rätt kompetens samtidigt som personalen får tid över till övriga uppgifter (så kallad inre tjänst). Schemat som tas fram ska även uppfylla de regelverk och önskemål som finns kring personalens individuella scheman, till exempel de arbetstider som ingår i de olika tjänsterna. Då det även ingår helgarbete i personalens arbetsuppgifter ska lediga dagar fördelas enligt arbetsmiljölagen gällande veckovilan.

Utöver detta ska schemat även medföra en robusthet så att störningar i den yttre tjänsten, i form av att personal blir sjuk eller uppbokad annonstädes, ska gå att avhjälpa med en reservlista. Denna reservlista består av de bibliotekarier och assistenter som är tillgängliga under arbetsdagen.

Personalen på biblioteket är begränsad och utgör de resurser som finns att tillgå. Varje enskild personal har en uppsättning *egenskaper* och *kompetenser*. Kompetenser syftar på personalens förmåga att arbeta vid någon av de yttre stationerna; Expedition, Norpan, Informationsdisk, Bokbuss och Hageby samt några av de inre stationerna; inköp, katalogisering med mera. De egenskaper som identifierats hos en personal finns beskrivna i tabell 1.1. Totala arbetsskraften består av 40 stycken arbetare på biblioteket.

Table 1.1: Personal

Egenskap	Beskrivning
Arbetsomfattning	0-100 %
Anställningsform	Bibliotekarie/Assistent
Kompetens	Inre och yttre tjänster som personalen klarar av.
Specialkompetens	Vilken tjänst personalen är specialicerad på.
Veckovila	Hur personalen tar ut sin veckovila efter helgarbete.
Övriga önskemål	Jobbar ej kväll etc

De yttre och inre uppgifterna kan ses som behov av personal som måste täckas av de den personal som finns att tillgå. De olika yttre uppgifterna som behöver utföras inkluderar arbete vid olika stationer vid olika tidpunkter och datum. Uppgifterna återkommer inom ett 10-veckorsintervall vilket gör att de tillhör en viss tid under en viss dag en viss vecka. Dessutom så har varje uppgift en bestämd längd.

Varje sådan uppgift kan, liksom personalen, karaktäriseras av vissa egenskaper som finns representerade i tabell 1.2.

Table 1.2: Yttre och inre uppgifter

Yttre uppgift	Egenskap
	Starttid, sluttid, vecka och tidsåtgång
	Station
	Krav på antal bibliotikarier av rätt kompetens.
	Krav på antal assistenter av rätt kompetens.
	Krav på totala antalet personal.
Inre uppgift	Egenskap
	Vecka, Tidsåtgång
	Typ
	Krav på antal bibliotikarier av rätt kompetens.
	Krav på antal assistenter av rätt kompetens.

Utöver de ovan nämnda resurserna och behoven, finns ett antal krav som ställs på hur schemat får utformas. Dessa kan delas upp i arbetsvillkor, robusthetskrav samt övriga krav och finns representerade i tabell 1.3.

Table 1.3: Krav

Arbetsmiljökrav	Beskrivning
	En person ska arbeta med en yttre eller inre uppgift under sin arbetstid.
	Helgarbete ska fördelas rättvist mellan personalen.
	Helgarbete innefattar arbete under lördag och påföljande söndag.
	Minst 36 timmar sammanhängande ledighet per 7 dagars arbete.
	Högst ett kvällspass per personal i veckan.
	Schemat ska upprepa sig var 10e vecka.
	Varje arbetsvecka ska ha liknande struktur i största möjliga mån..
	Schemat ska i möjligaste mån variera arbetsuppgifterna för personalen.
Robusthetskrav	Beskrivning
	För varje yttre uppgift ska det finnas minst en reserv.
	Reserverna ska vara av rätt kompetens för uppgiften de är reserver till.
	Reserverna ska vara lika fördelade över alla yttre uppgifter.
Övriga krav	Beskrivning
	Personalen ska ha en dag utan yttre uppgifter som tillägnas plocklistan.

Den optimala schemat ska inte endast uppfylla kraven ovan, utan även

Chapter 2

Literature review

The scheduling problem has been studied since the 1960's as a mathematical optimization problem. (The Use of Mathematical Models in Plant Maintenance Decision Making, 1967) In surveys such as "An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering" Ernst et al. 2004, covers papers from 1954. The bibliography covers the most important contributions to the area of scheduling up to the year 2004 and divides the area into different subcategories. Below, we have identified the most relevant areas of scheduling in relation to the problem at hand.

2.1 Tour scheduling problem (TSP)

In the paper review of different scheduling problem written by Ernst et al. (2004) one can see a number of references to tour scheduling problems. However, there are significantly lower number of references regarding heterogeneous workforce.

Papers of interest: "Task assignment and tour scheduling": Loucks and Jacobs, 1991

"Scheduling Restaurant Workers to Minimize Labor Cost and Meet Service Standards" Choi, Hwang and Park, 2009

"An integer linear programming-based heuristic for scheduling heterogeneous, part-time service employees" Heterogenous work force, tour scheduling. Using two objective functions Hojati and Patil, 2010

2.2 Personnel task scheduling problem (PTSP)

Most likely our problem. Definition is "in which a set of tasks with fixed start and finish times have to be allocated to a heterogeneous workforce". The objective of these problems is to minimise the overall cost of personnel required to perform all tasks.

Papers of interest: "The Personnel Task Scheduling Problem", Mohan Krishnamoorthy, Andreas T. Ernst (2001) - probably the most fundamental article

"Task assignment for maintenance personnel": Roberts and Escudero, 1983a, 1983b

"A stochastic programming model for scheduling maintenance personnel" Duffuaa and Al-Sultan, 1999

2.3 Shift minimisation personnel task scheduling problem (SMPTSP)

Difference: "The only cost incurred is due to the number of personnel (shifts) that are used."

Papers of interest: "Algorithms for large scale Shift Minimisation Personnel Task Scheduling Problems" Krishnamoorthy, Ernst, Baatar (2011)

"The shift minimisation personnel task scheduling problem: A new hybrid approach and computational insights" Smet, Wauters, Mihaylov, Berghe (2014)

"Fast local search and guided local search and their application to British Telecom's workforce scheduling problem" Tsang and Voudouris, 1997 - also with travelling costs, investigates two methods.

"A Triplet-Based Exact Method for the Shift Minimisation Personnel Task Scheduling Problem" Baatar et al., 2015

2.4 Fixed/flexible job scheduling problem (FJSP)

Identical skill of the workers/machines and identical skill requirements of the operations to execute.

Problem defined in: "Algorithms for large scale Shift Minimisation Personnel Task Scheduling Problems" M. Krishnamoorthy <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037>

Problem: "A metaheuristic for the fixed job scheduling problem under spread time constraints" André Rossi, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054809002251> (Fixed job)

Cemal Özgüven <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X11004173> (Flexible job) Processors with a ready time, due date etc. (??)

2.5 Work load allocation and worker satisfaction

Trötthet och uttråkad. Något vi borde ta med i litteraturen enligt Torbjörn, fast inte leta källor på det.

Source: "Employee positioning and workload allocation", Eiselt, Marianov, 2006 "Scheduling part-time and mixed-skilled workers to maximize employee satisfaction" Mohammad Akbari 2012

"Scheduling part-time personnel with availability restrictions and preferences to maximize employee satisfaction" Srimathy Mohan 2008

Chapter 3

Implementation insights

Chapter 4

The ideal CSTR: the chemostat

In this chapter we study exponential growth, the logistic...

4.1 Some simple models of biological growth

4.1.1 Exponential growth

If $\mu = \text{constant} > 0$, we get $X(t) = X_0 e^{\mu t}$.

4.1.2 The logistic equation

Let us assume that $\frac{dX}{dt} = \mu \cdot X$, with $\mu = \mu(S) = k \cdot S \dots$

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = kSX & (a) \\ \frac{dS}{dt} = -\alpha kSX & (b) \end{cases}$$
$$\frac{dX}{dt} = r\left(1 - \frac{X}{B}\right)X \quad (4.1)$$

An explicit solution to (4.1) is: $X(t) = \frac{X_0 B}{X_0 + (B - X_0)e^{-rt}}$, if $0 < X_0 < B$. It can be found by separating variables in equation (4.1)

4.2 The chemostat

A chemostat is made of two main parts; a nutrient reservoir, and a growth-chamber, reactor, in which the bacteria reproduces.

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = \mu(S)X - \overbrace{X \frac{F}{V}}^{\text{new}} \\ \frac{dS}{dt} = -\alpha \mu(S)X - \underbrace{S \frac{F}{V} + S_0 \frac{F}{V}}_{\text{new}} \end{cases} \quad (4.2)$$

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & \sigma\alpha_1 \\ -\frac{1}{\alpha_1} & -\sigma - 1 \end{pmatrix}$$

The invariant line: conclusions

Model	Monods Chemostat	CSI-CSTR
μ	$\frac{S}{1+S}$	$\frac{S}{1+S+\frac{S^2}{K_I}}$
$\frac{dX}{dt}$	$\alpha_1 \frac{S}{1+S} X - X$	$\alpha_1 \frac{S}{1+S+\frac{S^2}{K_I}} X - X$
$\frac{dS}{dt}$	$-\frac{S}{1+S} X - S + \alpha_2$	$-\frac{S}{1+S+\frac{S^2}{K_I}} X - S + \alpha_2$
XNC	$S = \frac{1}{\alpha_1 - 1}$	$S = \frac{K_I(\alpha_1 - 1)}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{K_I(\alpha_1 - 1)}{2}\right)^2 - K_I}$
SNC	$X = \frac{(\alpha_2 - S)(1+S)}{S}$	$X = \frac{(\alpha_2 - S)(1+S+\frac{S^2}{K_I})}{S}$
limit	—	$K_I \rightarrow \infty$

The other three models, the chemostat, the MMI-CSTR and the CPI-CSTR are quite similar in comparison to the CSI-CSTR.

Monods chemostat does not “feel” this inhibition and does not care...

Here is an example of how to cite books in your bibliography. This text will be displayed at the end of chapter two. This is some kind of bibliography, according to [1], we have... And according to [1, 2] we have something else.

Bibliography

- [1] Lennart Råde, Bertil Westergren, (2001), *Mathematics Handbook for Science and Engineering*, Studentlitteratur, Lund.
- [2] Torkel Glad, Lennart Ljung, (1989), *Reglerteknik grundläggande teori*, Studentlitteratur, Lund.

Appendix A

The Linearized stability

A.1 The Linearization

$F(x)$, a one-variable function of x can be Taylor-expanded around a fix X . We get $F(X + x) = F(X) + F'(X)x + O(x^2)$. For small perturbations of x around X we get the linearization: $F(X + x) \approx F(X) + F'(X)x$, containing only the constant and the linear terms.

For functions of two variables $F(X + x, S + s)$ and $G(X + x, S + s)$:

$$\begin{cases} F(X + x, S + s) = F(X, S) + F'_X(X, S)x + F'_S(X, S)s + O((x + s)^2) \\ G(X + x, S + s) = G(X, S) + G'_X(X, S)x + G'_S(X, S)s + O((x + s)^2) \end{cases}$$

```
function chemostat_inhibited(alpha1, alpha2, xp0, sp0, xc)
%
%chemostat_inhibited Displays a phaseportrait, nullclines
% and an Euler-path of an inhibited Chemostat.
% chemostat_inhibited(alfa1, alfa2, np0, cp0, nc) will run if
% alpha1 > 1/xc, thus there is a reproduction.
% alpha2 > 1/(xc*alpha1-1), thus there is sufficient stock-nutrition.
% xp0 > 0 , you can not have a nonpositive population.
% sp0 > 0 , you can not have a nonpositive concentration.
% xc > 0
%
% The blue arrows represent the vectorfield.
% The black lines are two of the three nullclines.
% The black dotted line is the invariant line (no solution crosses it).
% The red line is an Eulerpath, starting in + and ending in *.
%
% Try the following:
% chemostat_inhibited(5, 3, 0.2, 0.3, 6)
%
% by Per Erik Strandberg, 2003-2004.
%

% Start-condition:
%-----
if ((alpha1>1) & (alpha2>0) & (sp0>0) & (xp0>0) & xc>0),

    if (alpha2<1/(alpha1-1)),
        disp(' ')
        disp (' (HINT: Only the trivial steady state, alpha2 is too small...)')
    else
        disp(' ')
        disp (' (HINT: Two steady states, alpha2 is quite large...)')
    end
end
```

```
% The illegal indata case:
%-----
else
    disp('  chemostat_inhibited.m by Per Erik Strandberg, 2003-2004.')
```

Did not Finish OK. (You used illegal indata.)'

```
    disp(' ')
    disp(' For syntax help type: help chemostat_inhibited .')
```

disp(' ')

```
end
```

Copyright

The publishers will keep this document online on the Internet - or its possible replacement - for a period of 25 years from the date of publication barring exceptional circumstances. The online availability of the document implies a permanent permission for anyone to read, to download, to print out single copies for your own use and to use it unchanged for any non-commercial research and educational purpose. Subsequent transfers of copyright cannot revoke this permission. All other uses of the document are conditional on the consent of the copyright owner. The publisher has taken technical and administrative measures to assure authenticity, security and accessibility. According to intellectual property law the author has the right to be mentioned when his/her work is accessed as described above and to be protected against infringement. For additional information about the Linköping University Electronic Press and its procedures for publication and for assurance of document integrity, please refer to its WWW home page: <http://www.ep.liu.se/>

Upphovsrätt

Detta dokument hålls tillgängligt på Internet - eller dess framtida ersättare - under 25 år från publiceringsdatum under förutsättning att inga extraordinära omständigheter uppstår. Tillgång till dokumentet innebär tillstånd för var och en att läsa, ladda ner, skriva ut enstaka kopior för enskilt bruk och att använda det oförändrat för ickekommersiell forskning och för undervisning. Överföring av upphovsrätten vid en senare tidpunkt kan inte upphäva detta tillstånd. All annan användning av dokumentet kräver upphovsmannens medgivande. För att garantera äktheten, säkerheten och tillgängligheten finns det lösningar av teknisk och administrativ art. Upphovsmannens ideella rätt innefattar rätt att bli nämnd som upphovsman i den omfattning som god sed kräver vid användning av dokumentet på ovan beskrivna sätt samt skydd mot att dokumentet ändras eller presenteras i sådan form eller i sådant sammanhang som är kränkande för upphovsmannens litterära eller konstnärliga anseende eller egenart. För ytterligare information om Linköping University Electronic Press se förlagets hemsida <http://www.ep.liu.se/>

© 2016, Claes Arvidson, Emelie Karlsson