



*Johannesburg  
2016-11-15*

*Från latmanskonger  
på räknesticka till  
optimeringsmetoder  
för planering av  
processer och produktion*

*Professor em. Tapio Westerlund*



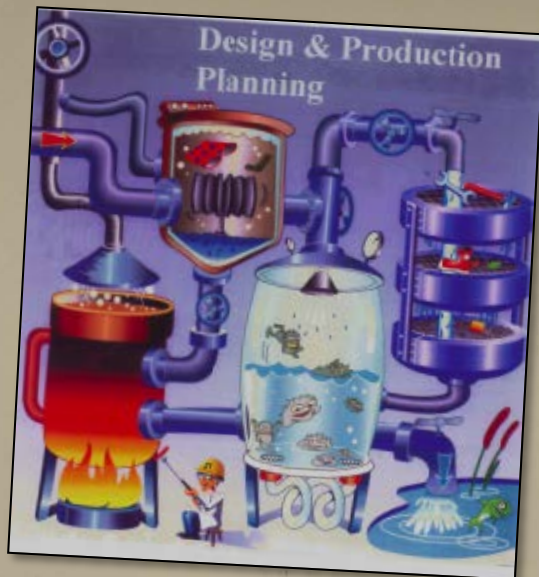
*Anläggnings- och systemteknik  
Åbo Akademi  
2018-01-10*

## KORT OM INNEHÅLLET

<i>Utmaningar .....</i>	<i>3</i>
<i>för att kunna lösa process- &amp; systemtekniska problemställningar</i>	
<i>Klassificering av problem Vad är MINLP ?.....</i>	<i>9</i>
<i>Några milstolpar .....</i>	<i>21</i>
<i>Några tillämpningar .....</i>	<i>48</i>
<i>Framtiden ? .....</i>	<i>77</i>
<i>Sammanfattning .....</i>	<i>81</i>

# *Process- och produktionsplanering*

## UTMANINGAR



- ENERGI
- MILJÖ
- EKONOMI
- PROCESSTEKNIK
- PRODUKTIONSTEKNIK
- AUTOMATION
- RÅVAROR & PRODUKTER
- SÄKERHET
- LAGSTIFTNING & AVTAL
  - ❖ Patentlagen
  - ❖ Arbetstidslagen
  - ❖ Tryckkärlslagen
  - ❖ Luftvårdslagen
  - ❖ Vattenlagen
  - ❖ ...
  - ❖ Leveransavtal
  - ❖ Kollektivavtal
  - ❖ ...



# Process- och produktionsplanering

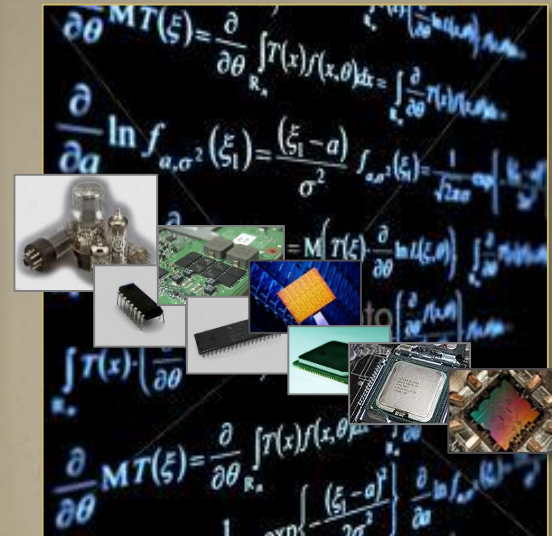
## UTMANINGAR



Räknesticka

# □ FÖRBÄTTRADE BERÄKNINGSTEKNISKA MÖJLIGHETER

Hårdvara - mjukvara & metoder!



Elektronrör -> halvledare & integrerade kretsar -> två och flerkärniga processorer -> kvantdatorer !



## *Process- och produktionsplanering*

### **UTMANINGAR**

- *Omfattande problemställningar*
- *Ofta måste man kunna uttrycka fysikaliska och kemiska förlopp med krångliga uttryck*
- *Man borde kunna beakta logiska val*
- *Man önskar helst få fram den bästa lösningen i avseende på något uppställt kriterium*

### **□ FÖRBÄTTRADE BERÄKNINGSTEKNISKA MÖJLIGHETER**

#### **Hårdvara - mjukvara & metoder!**

- *Metoder som effektivt kan lösa stora problem*
- *Metoder som kan hantera både linjära och icke-linjära uttryck*
- *Metoder som kan hantera logiska villkor*
- *Optimeringsmetoder*  
LP → NLP → MILP - MINLP !

## *Process- och produktionsplanering*

### *UTMANINGAR*

- *Omfattande problemställningar*
- *Ofta måste man kunna uttrycka fysikaliska och kemiska förlopp med krångliga uttryck (termodynamik, transportfenomen...)*
- *Man borde kunna beakta logiska val*
- *Man önskar helst få fram den bästa lösningen i avseende på något uppställt kriterium*

### *FÖRBÄTTRADE BERÄKNINGSTEKNISKA MÖJLIGHETER*

#### *Hårdvara - mjukvara & metoder!*

- *Metoder som effektivt kan lösa stora problem*
- *Metoder som kan hantera både linjära och icke-linjära uttryck*
- *Metoder som kan hantera logiska villkor*
- *Optimeringsmetoder  
LP → NLP → MILP - MINLP!*

## *Process- och produktionsplanering*

### **UTMANINGAR**

- *Omfattande problemställningar*
- *Ofta måste man kunna uttrycka fysikaliska och kemiska förlopp med krångliga uttryck*
- *Man borde kunna beakta logiska val*
- *Man önskar helst få fram den bästa lösningen i avseende på något uppställt kriterium*

### **□ FÖRBÄTTRADE BERÄKNINGSTEKNISKA MÖJLIGHETER**

#### **Hårdvara - mjukvara & metoder!**

- *Metoder som effektivt kan lösa stora problem*
- *Metoder som kan hantera både linjära och icke-linjära uttryck*
- *Metoder som kan hantera logiska villkor*
- *Optimeringsmetoder*  
*LP → NLP → MILP - MINLP !*



## *Process- och produktionsplanering*

### **UTMANINGAR**

- *Omfattande problemställningar*
- *Ofta måste man kunna uttrycka fysikaliska och kemiska förlopp med krångliga uttryck*
- *Man borde kunna beakta logiska val*
- *Man önskar helst få fram den bästa lösningen i avseende på något fastställt kriterium*

### **□ FÖRBÄTTRADE BERÄKNINGSTEKNISKA MÖJLIGHETER**

#### **Hårdvara - mjukvara & metoder!**

- *Metoder som effektivt kan lösa stora problem*
- *Metoder som kan hantera både linjära och icke-linjära uttryck*
- *Metoder som kan hantera logiska villkor*
- *Optimeringsmetoder  
LP -> NLP -> MILP -> MINLP*

**KLASSIFICERING AV  
PROBLEM**

*(som beskrivs med  
matematiska uttryck)*

*Vad är MINLP ?*

**KLASSIFICERING AV  
PROBLEM**

*(som beskrivs med  
matematiska uttryck)*

**Variabler**

**\* Flyttalsvariabler**

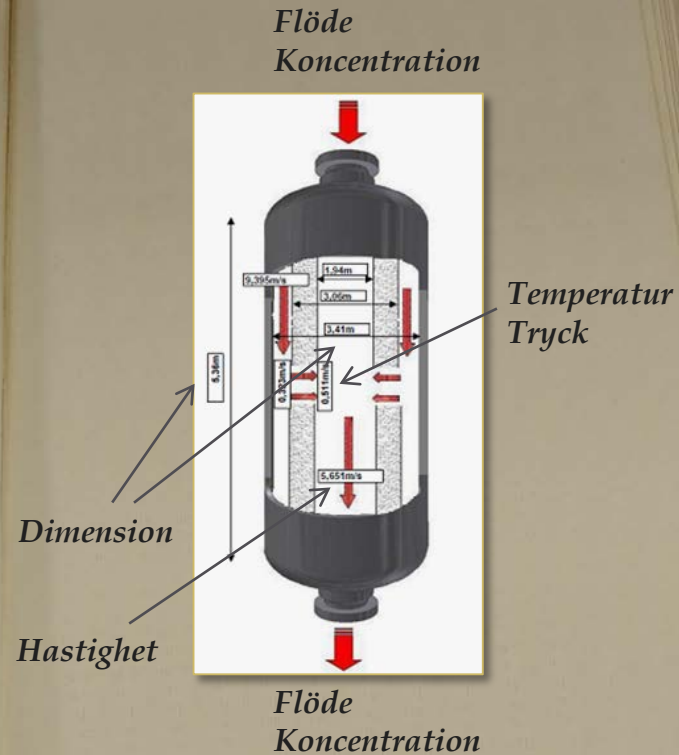


# KLASSIFICERING AV PROBLEM

(som beskrivs med  
matematiska uttryck)

## Variabler

\* *Flyttalsvariabler*



# KLASSIFICERING AV PROBLEM

*(som beskrivs med  
matematiska uttryck)*

## Variabler

- \* *Flyttalsvariabler*
- \* *Heltalsvariabler*

*Med heltalsvariabler kan  
man formulera logiska villkor*

# KLASSIFICERING AV PROBLEM

(som beskrivs med  
matematiska uttryck)

## Variabler

\* *Flyttalsvariabler*

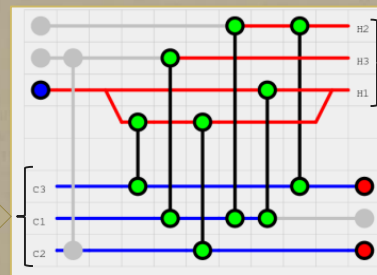
\* *Heltalsvariabler*

Med heltalsvariabler kan  
man formulera logiska villkor

Med logiska villkor kan man t.ex. beskriva  
kopplingar i ett processflödesschema eller  
exempelvis schemalaggningen av olika  
produkter & processer vid produktionsplanering.

Exempel: Värmeåtervinningsystem

- Vilka kalla strömmar skall den varma strömmen H1 värma?
- Om H1 skall värma flera kalla strömmar - i vilken ordning borde värmeväxlarna då kopplas?
- Borde man uppdelna någon av strömmarna? o.s.v.



*Varma  
strömmar*

*Kalla  
strömmar*



# KLASSIFICERING AV PROBLEM

(som beskrivs med  
matematiska uttryck)

## Variabler

- \* Flyttalsvariabler
- \* Heltalsvariabler

## Funktioner

- \* Linjära
- \* Icke-linjära
  - Konvexa
  - Icke-konvexa

- \* med egenskaper rörande...
  - Kontinuitet, differentierbarhet
  - Typ; algebraiska, differential-, integralfunktioner
  - Avbildning; en-, flervärda funktioner
  - Definitions-, värde- & nivå mängder  $\{x/f(x) \leq 0\}$

Med heltalsvariabler kan  
man formulera logiska villkor

Krånliga uttryck = icke-linjära

The screenshot shows the Wikipedia article for the Ergun equation. At the top, there is a navigation bar with 'Article', 'Talk', 'Read', 'Edit', 'View history', and a search box. Below the navigation bar is the Wikipedia logo and the text 'WIKIPEDIA The Free Encyclopedia'. The main content of the article is titled 'Ergun equation' and includes the following text: 'The Ergun equation, derived by the Turkish chemical engineer Sabri Ergun in 1952, expresses the friction factor in a packed column as a function of the Reynolds number:'. The equation is given as  $f_p = \frac{150}{Gr_p} + 1.75$ . Below the equation, it states 'where  $f_p$  and  $Gr_p$  are defined as' and provides the definitions:  $f_p = \frac{\Delta p}{L} \frac{D_p}{\rho V_s^2} \left( \frac{\epsilon^3}{1 - \epsilon} \right)$  and  $Gr_p = \frac{D_p V_s \rho}{(1 - \epsilon) \mu}$ . The article also includes a list of navigation links on the left side, such as 'Main page', 'Contents', 'Featured content', 'Current events', 'Random article', 'Donate to Wikipedia', 'Interaction', 'Help', 'About Wikipedia', 'Community portal', 'Recent changes', 'Contact Wikipedia', 'Toolbox', 'Print/export', and 'Languages'.

# KLASSIFICERING AV PROBLEM

(som beskrivs med matematiska uttryck)

## Variabler

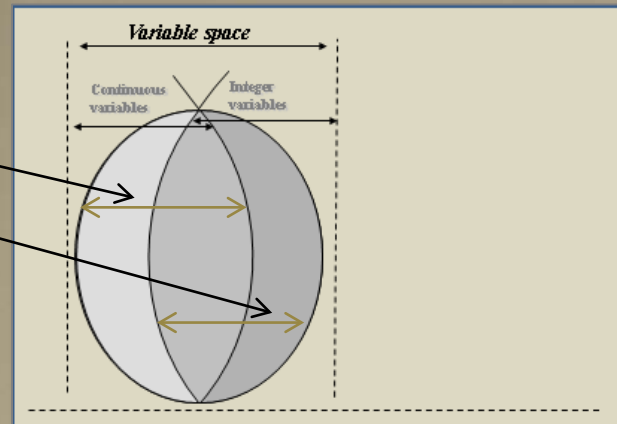
- \* Flyttalsvariabler
- \* Heltalsvariabler

## Funktioner

- \* Linjära
- \* Icke-linjära
  - Konvexa
  - Icke-konvexa
- \*med egenskaper rörande...

Med heltalsvariabler kan man formulera logiska villkor

Krängliga uttryck = icke-linjära



# KLASSIFICERING AV PROBLEM

(som beskrivs med  
matematiska uttryck)

## Variabler

- \* Flyttalsvariabler
- \* Heltalsvariabler

## Funktioner

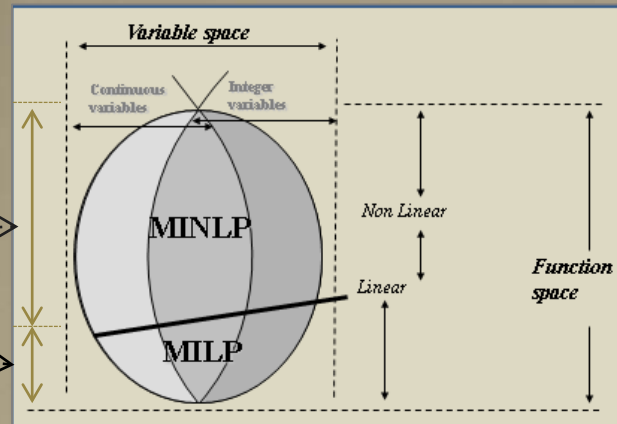
- \* Linjära
- \* Icke-linjära

- Konvexa
- Icke-konvexa

\*med egenskaper rörande...

Med heltalsvariabler kan  
man formulera logiska villkor

Krängliga uttryck = icke-linjära





# KLASSIFICERING AV PROBLEM

(som beskrivs med  
matematiska uttryck)

## Variabler

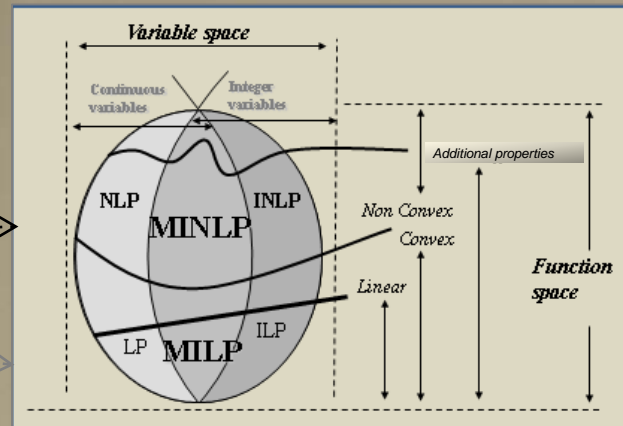
- \* Flyttalsvariabler
- \* Heltalsvariabler

## Funktioner

- \* Linjära
- \* Icke-linjära
  - Konvexa
  - Icke-konvexa
- \* med egenskaper rörande...

Med heltalsvariabler kan  
man formulera logiska villkor

Krängliga uttryck = icke-linjära



# KLASSIFICERING AV PROBLEM

(som beskrivs med matematiska uttryck)

## Variabler

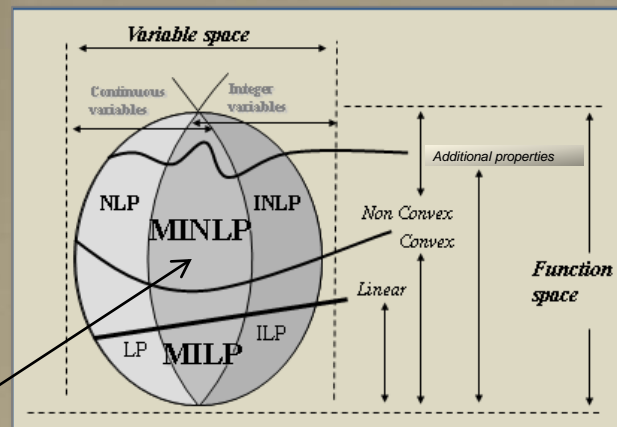
- \* Flyttalsvariabler
- \* Heltalsvariabler

## Funktioner

- \* Linjära
  - \* Icke-linjära
    - Konvexa
    - Icke-konvexa
- \*med egenskaper rörande...

Med heltalsvariabler kan man formulera logiska villkor

Krängliga uttryck = icke-linjära



- Många process- och produktionsplaneringsproblem kan formuleras som MINLP problem!
- MINLP innefattar flera olika undergrupper!

## ... och hur formuleras MINLP problem?

$$\begin{aligned} \min f(x) \\ x \in X \\ X = \{x \mid g(x) \leq 0\} \end{aligned}$$

$$x = \begin{bmatrix} x_c \\ x_i \end{bmatrix}; x_c \in \mathbb{R}^n \wedge x_i \in \mathbb{Z}^m \\ x_{LB} \leq x \leq x_{UB}$$

MINLP problem där  $f(x)$  är kvasikonvex och heltalsrelaxeringen\* av mängden  $X$  är konvex kallas för generaliserat konvexa MINLP problem. Sådana problem kan lösas till globalt optimum med "konvexa" metoder.

Om  $f(x)$  inte är kvasikonvex eller heltalsrelaxeringen av  $X$  inte är en konvex mängd kan man använda s.k. globaloptimeringsmetoder. Om  $f(\cdot)$  & funktionerna  $g(\cdot)$  är två gånger differentierbara finns globaloptimeringsmetoder som kan lösa problemet till globalt optimum; t.ex. som en sekvens av generaliserat konvexa MINLP problem.

\*heltalsrelaxering  $x_i \in \mathbb{R}^m$

## Några enkla omformuleringar

1) Om objektfunktionen,  $f(x)$ , inte är linjär eller kvadratisk brukar man ersätta hela objektfunktionen eller additiv del,  $q(x)$ , av den med en extra variabel,  $x_{n+1}$ , och för varje sådan del införa ett extra bivillkor av typen;

$$q(x) - x_{n+1} \leq 0$$

2) Ifall det i problemet finns icke-linjära likhetsvillkor,  $h(x) = 0$ , kan dessa omformas t.ex. till,

$$\begin{aligned} h(x) &\leq 0 \\ -h(x) &\leq 0 \end{aligned}$$

Linjära likhets- och olikhetsvillkor kan införas som sådana.



## ... och hur formuleras MINLP problem?

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^* &\in \arg \min_{\mathbf{x} \in X} f(\mathbf{x}) \\ X &= \{ \mathbf{x} \mid \mathbf{g}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{0} \} \end{aligned}$$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_c \\ \mathbf{x}_i \end{bmatrix}; \mathbf{x}_c \in \mathbb{R}^n \wedge \mathbf{x}_i \in \mathbb{Z}^m$$
$$\mathbf{x}_{LB} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{x}_{UB}$$

MINLP problem där  $f(\mathbf{x})$  är kvasikonvex och heltalsrelaxeringen\* av mängden  $X$  är konvex kallas för **generaliserat konvexa MINLP problem**. Sådana problem kan lösas till globalt optimum med "konvexa" metoder.

Om  $f(\mathbf{x})$  inte är kvasikonvex eller heltalsrelaxeringen av  $X$  inte är en konvex mängd kan man använda s.k. **globaloptimeringsmetoder**. Om  $f(\cdot)$  & funktionerna  $\mathbf{g}(\cdot)$  är två gånger differentierbara finns globaloptimeringsmetoder som kan lösa problemet till globalt optimum; t.ex. som en sekvens av generaliserat konvexa MINLP problem.

\*heltalsrelaxering  $\mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^m$

## Några enkla omformuleringar

1) Om objektfunktionen,  $f(\mathbf{x})$ , inte är linjär eller kvadratisk brukar man ersätta hela objektfunktionen eller additiv del,  $q(\mathbf{x})$ , av den med en extra variabel,  $x_{n+1}$ , och för varje sådan del införa ett extra bivillkor av typen:

$$q(\mathbf{x}) - x_{n+1} \leq 0$$

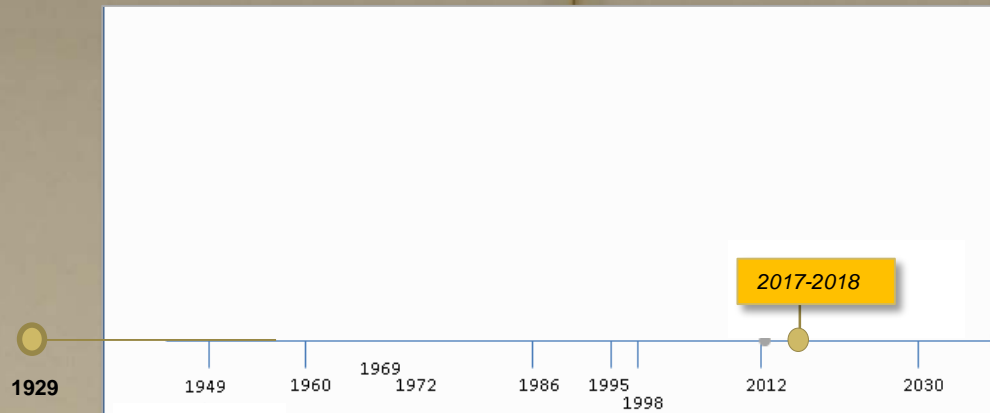
2) Ifall det i problemet finns icke-linjära likhetsvillkor,  $\mathbf{h}(\mathbf{x}) = \mathbf{0}$ , kan dessa omformas t.ex. till,

$$\begin{aligned} \mathbf{h}(\mathbf{x}) &\leq \mathbf{0} \\ -\mathbf{h}(\mathbf{x}) &\leq \mathbf{0} \end{aligned}$$

Linjära likhets- och olikhetsvillkor kan införas som sådana.

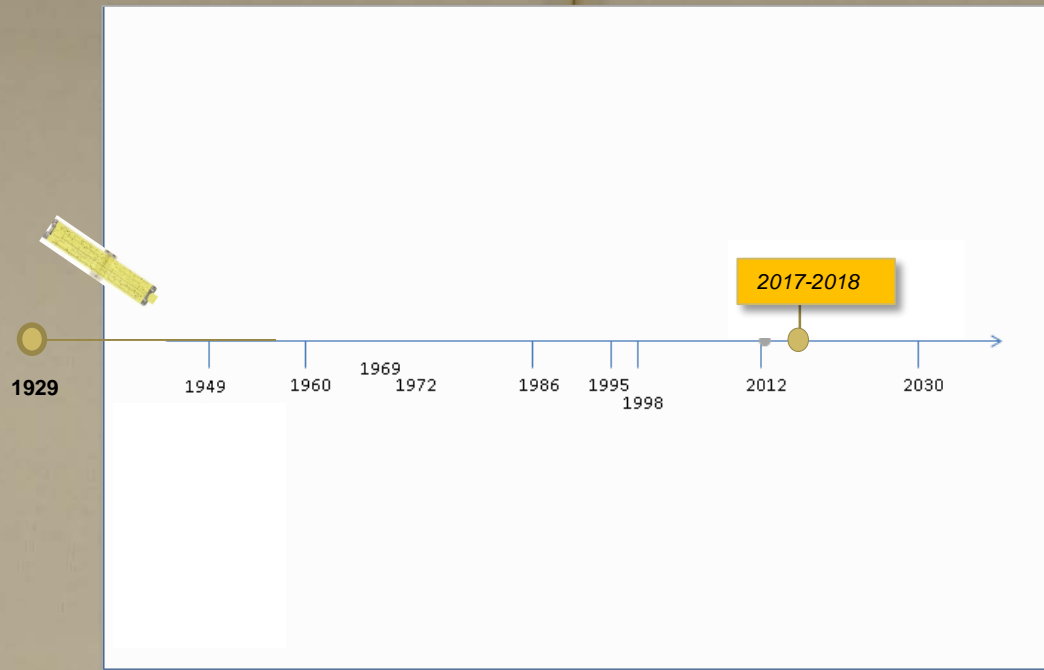
*När har man börjat kunna  
lösa MINLP problem?*

*Några milstolpar*



*När har man börjat kunna  
lösa MINLP problem?*

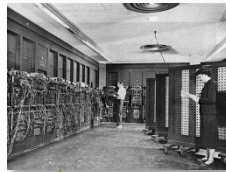
*Några milstolpar*



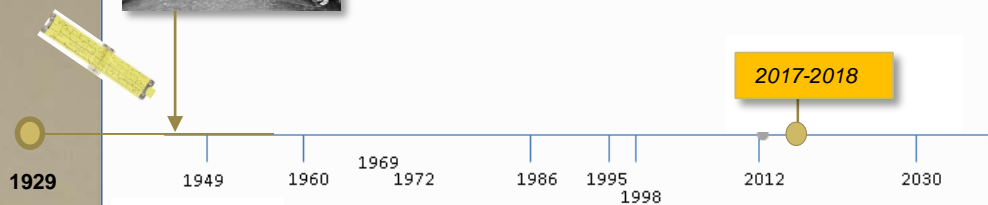


*När har man börjat kunna lösa MINLP problem?*

*Några milstolpar*

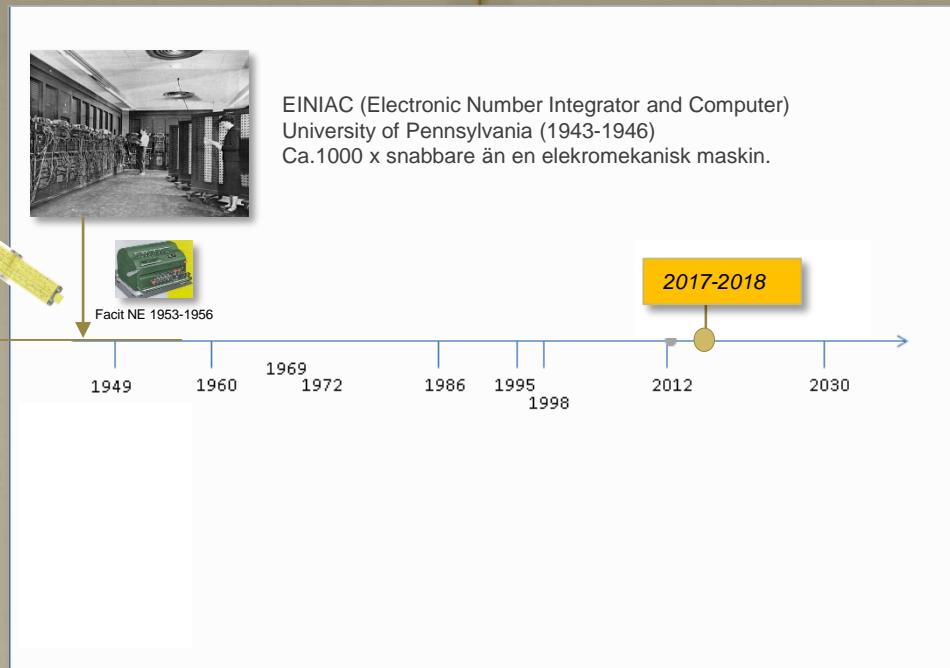


ENIAC (Electronic Number Integrator and Computer)  
University of Pennsylvania (1943-1946)  
Ca. 1000 x snabbare än en elektromekanisk maskin.



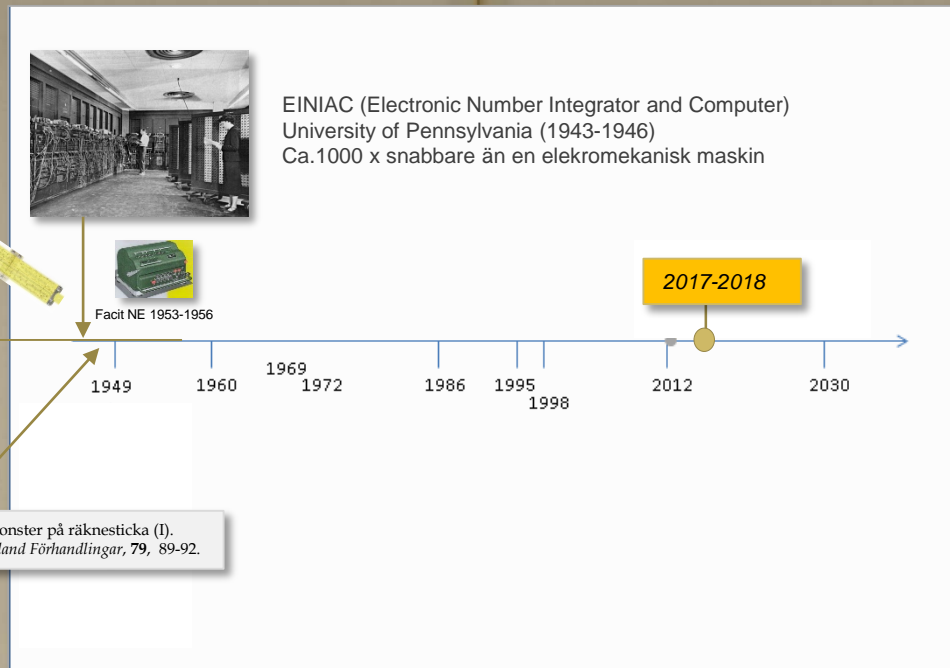
*När har man börjat kunna lösa MINLP problem?*

*Några milstolpar*



När har man börjat kunna  
lösa MINLP problem?

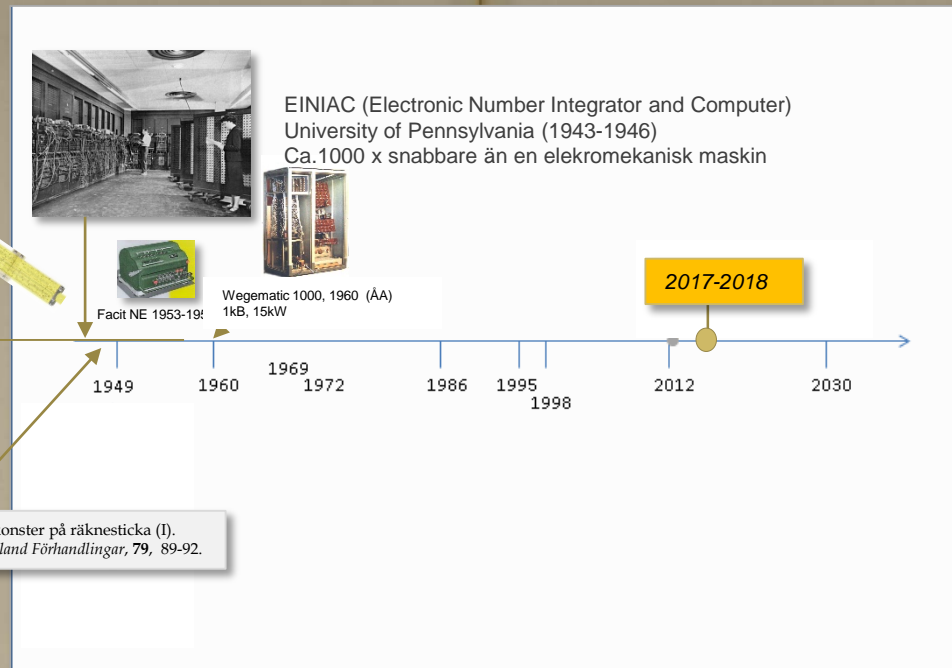
Några milstolpar





När har man börjat kunna  
lösa MINLP problem?

Några milstolpar



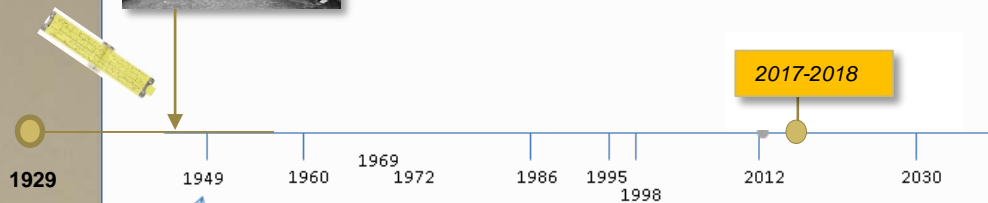
[Salin J. \(1949\)](#). Latmanskonster på räknesticka (I).  
Tekniska föreningens i Finland Förhandlingar, 79, 89-92.

När har man börjat kunna lösa MINLP problem?

Några milstolpar



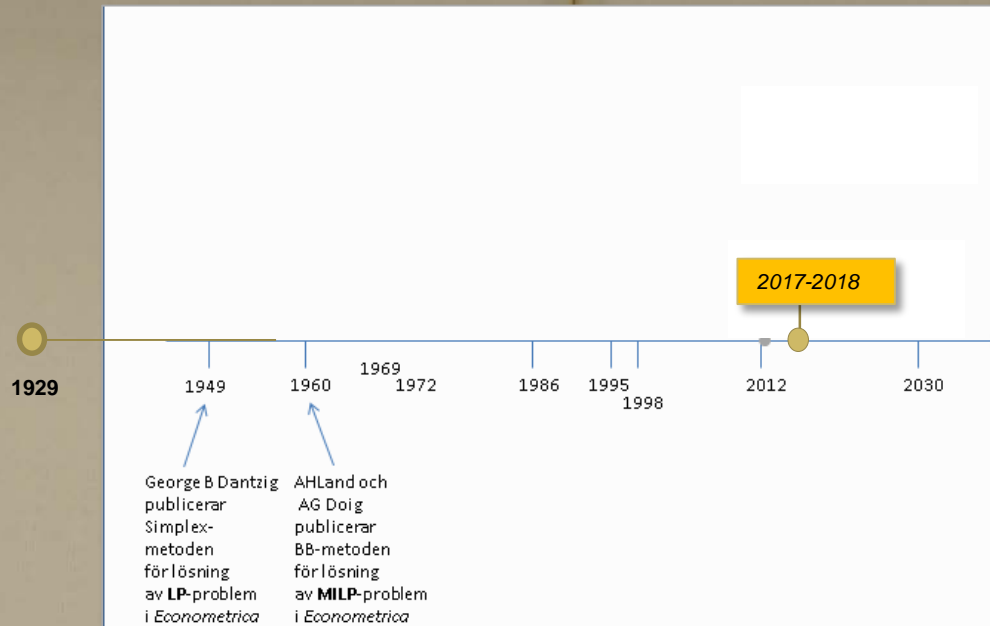
ENIAC (Electronic Number Integrator and Computer)  
University of Pennsylvania (1943-1946)  
Ca. 1000 x snabbare än en elektromekanisk maskin



George B Dantzig  
publicerar  
Simplex-  
metoden  
för lösning  
av LP-problem  
i *Econometrica*

När har man börjat kunna lösa MINLP problem?

Några milstolpar

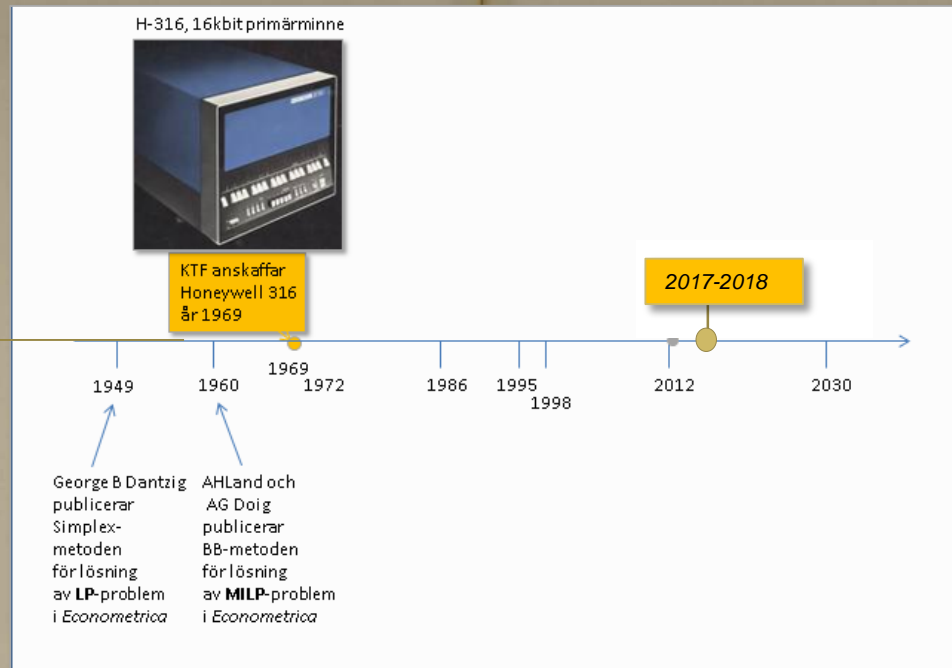




När har man börjat kunna lösa MINLP problem?

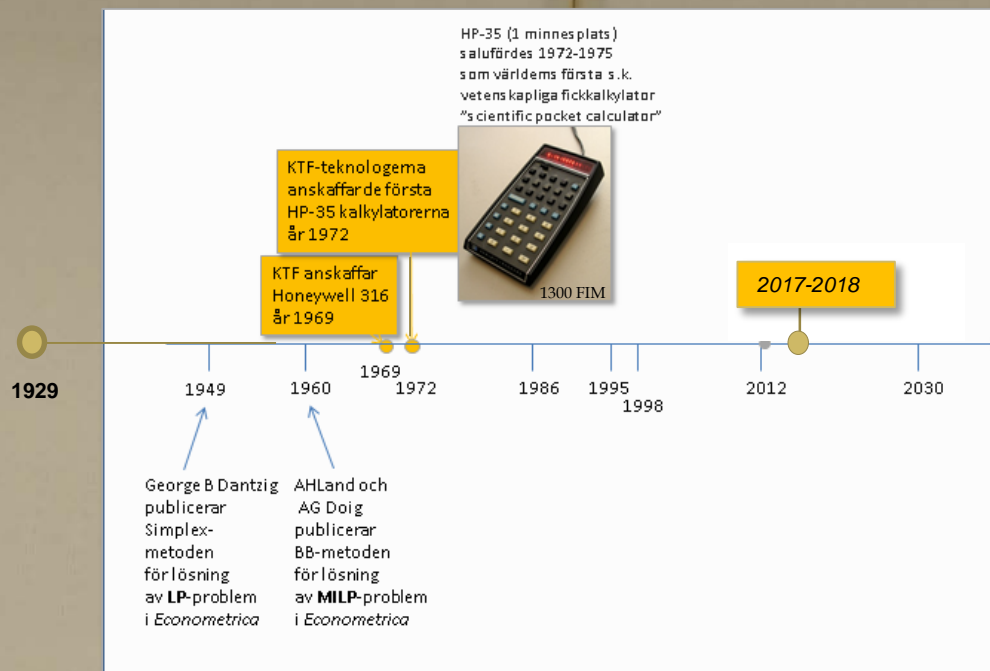
Några milstolpar

(Typiskt för en Laptop år 2017: 16GB RAM & 64-bit operativsystem)



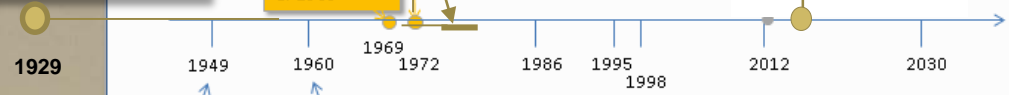
När har man börjat kunna lösa MINLP problem?

Några milstolpar





## Några milstolpar



KTF-teknologerna  
anskaffar de första  
HP-35 kalkylatorerna  
år 1972

KTF anskaffar  
Honeywell 316  
år 1969

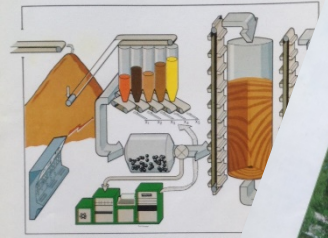
George B Dantzig  
publicerar  
Simplex-  
metoden  
för lösning  
av LP-problem  
i *Econometrica*

AHLand och  
AG Doig  
publicerar  
BB-metoden  
för lösning  
av MILP-problem  
i *Econometrica*



**MEALMIX-THE LOW-COST PROCESS**

MEALMIX is a totally new raw meal process... It includes all equipment from the efficient roller to the final of raw meal... MEALMIX is developed for controlling raw meal... MEALMIX is developed by cement people for cement people.



The figure shows the MEALMIX block of the Portland manufacturing process, where the raw material flow is by the "Circuit" on-line analyzer.

**MEALMIX ON-LINE CONTROL FOR HIGHEST QUALITY**

At all the production stages... MEALMIX brings you many advantages... High accuracy in the control of the chemical composition of the raw meal... Easy sample handling and simple analyzing... Low investment costs... Low consumption of electrical power and equipment... Little maintenance needed... Easy training of employees... Small air volume to collect.

**MEALMIX BRINGS YOU MANY ADVANTAGES**

- High accuracy in the control of the chemical composition of the raw meal.
- Easy sample handling and simple analyzing.
- Low investment costs.
- Low consumption of electrical power and equipment.
- Little maintenance needed.
- Easy training of employees.
- Small air volume to collect.

**A NEW METHOD IN RAW MEAL PREPARATION FOR THE CEMENT INDUSTRY**  
partek



**WIDE EXPERIENCE**

Partek has been in the market already 10 years... It has a wide experience in the field of raw meal preparation... The MEALMIX is the only one in the market which can handle the raw meal in a continuous way.



KTF-teknologerna anskaffar de första HP-35 kalkylatorerna år 1972

KTF anskaffar Honeywell 316 år 1969

2017-2018

George B Dantzig publicerar Simplex-metoden för lösning av LP-problem i *Econometrica*

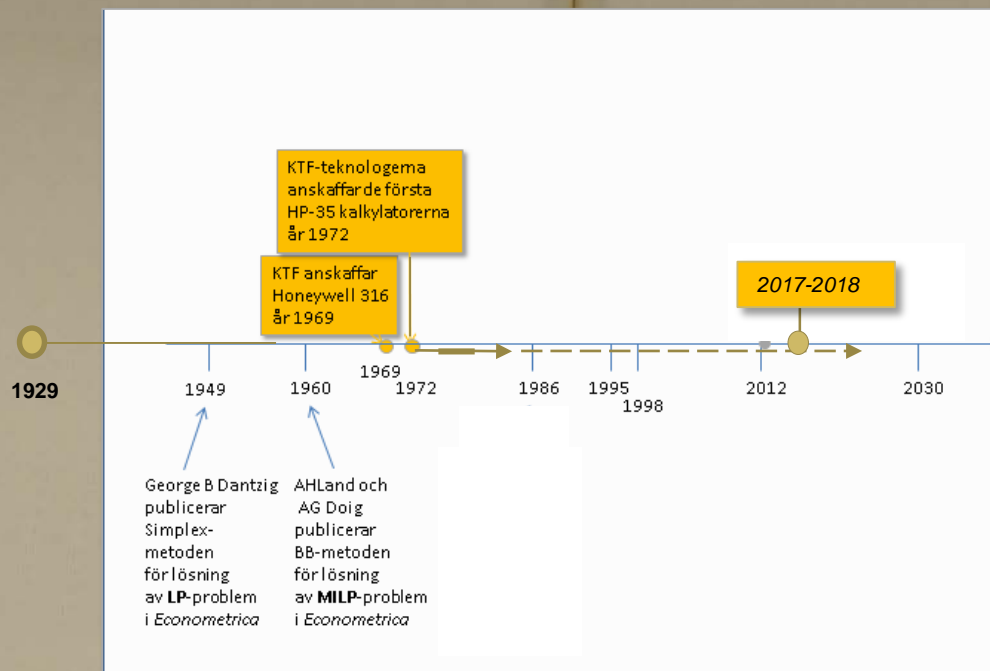
AHland och AG Doig publicerar BB-metoden för lösning av MILP-problem i *Econometrica*

**Några milstolpar**



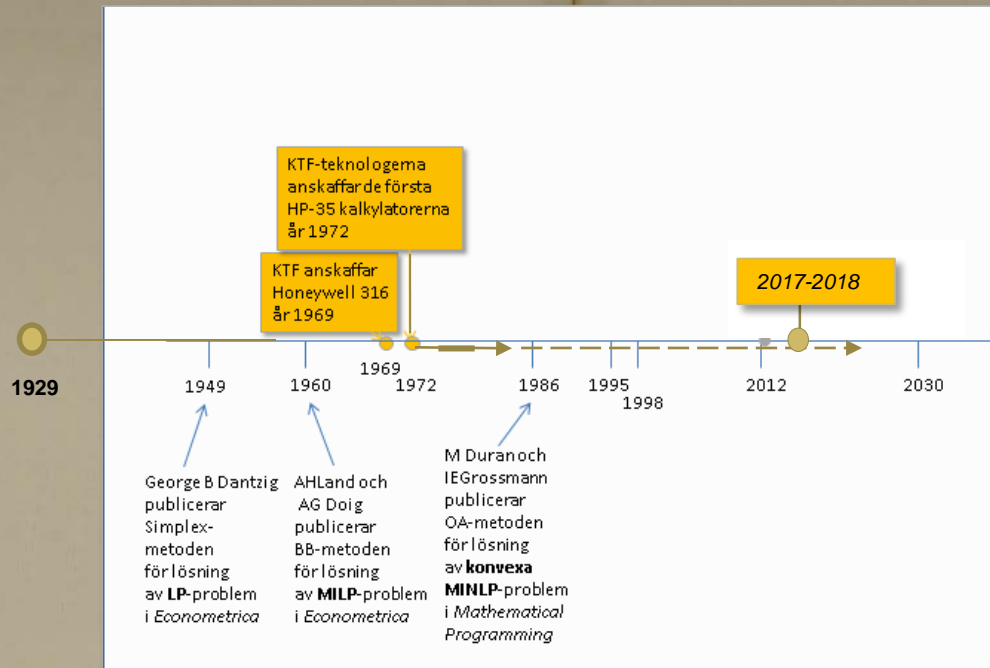
När har man börjat kunna  
lösa MINLP problem?

Några milstolpar

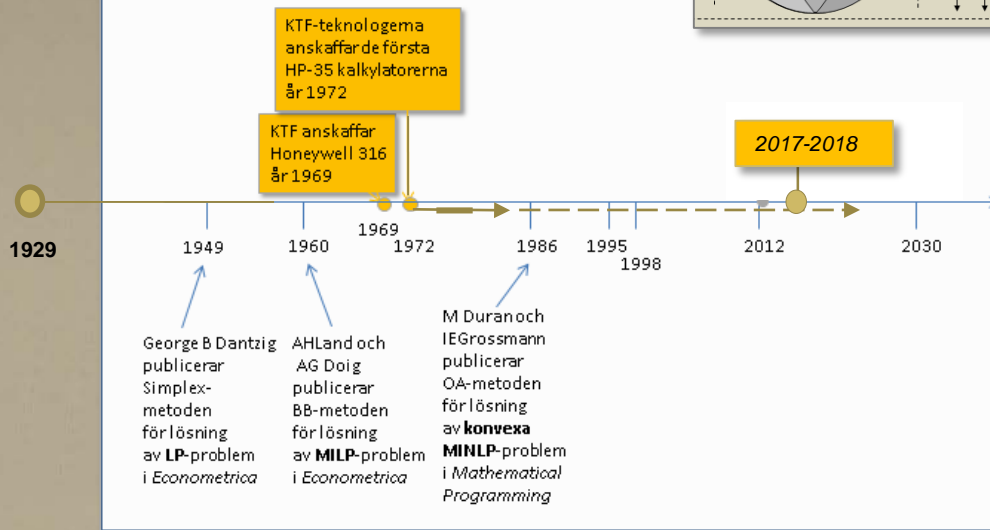
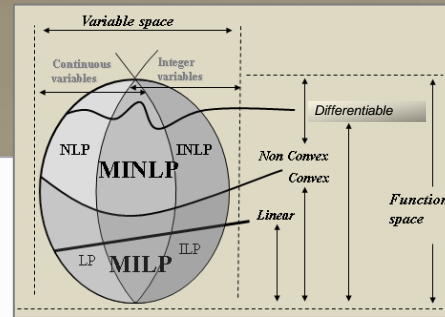


När har man börjat kunna lösa MINLP problem?

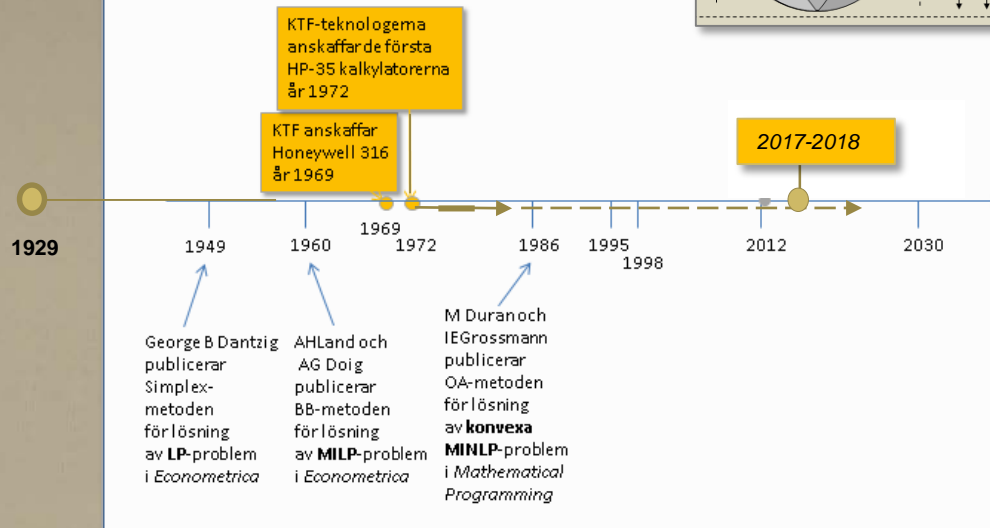
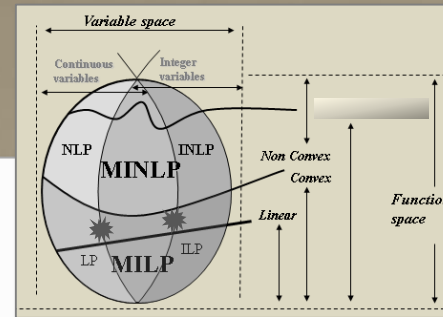
Några milstolpar



# När har man börjat kunna lösa MINLP problem?



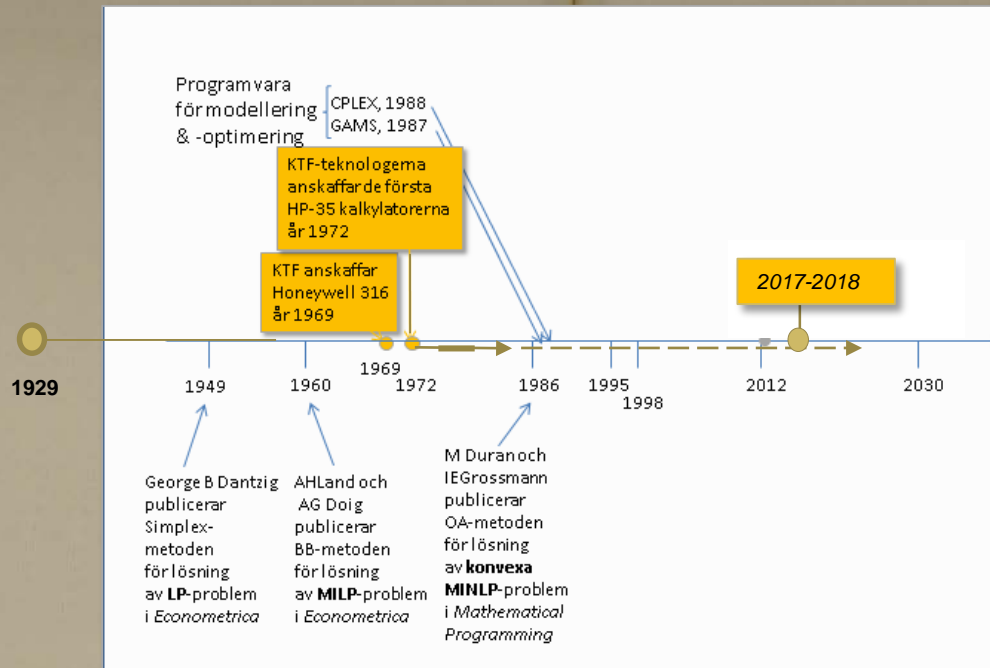
# När har man börjat kunna lösa MINLP problem?





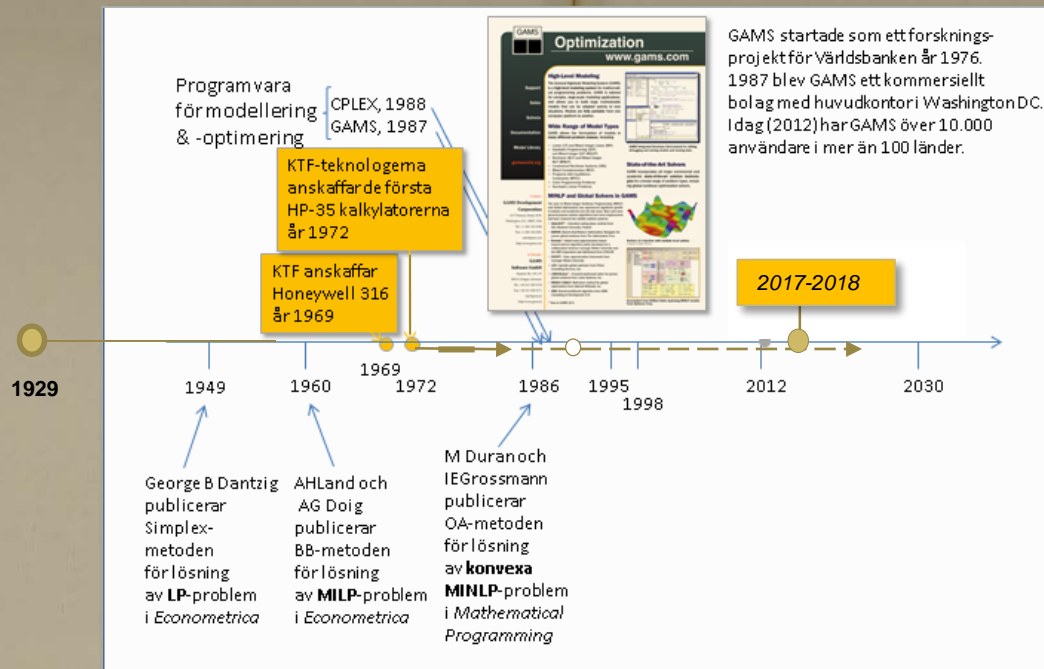
När har man börjat kunna lösa MINLP problem?

Några milstolpar



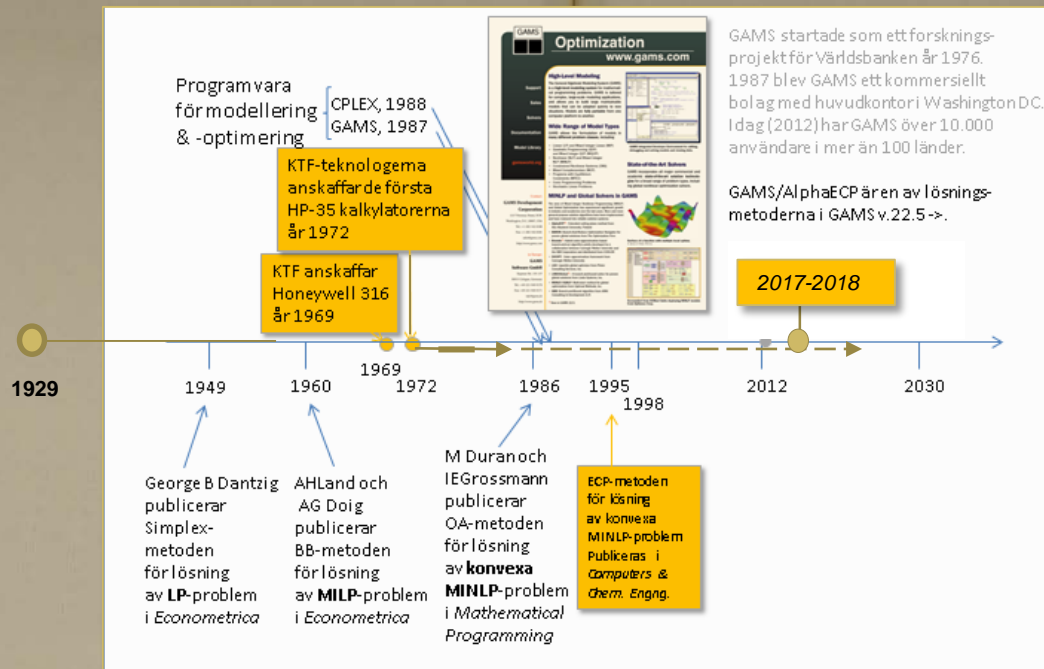
När har man börjat kunna lösa MINLP problem?

Några milstolpar

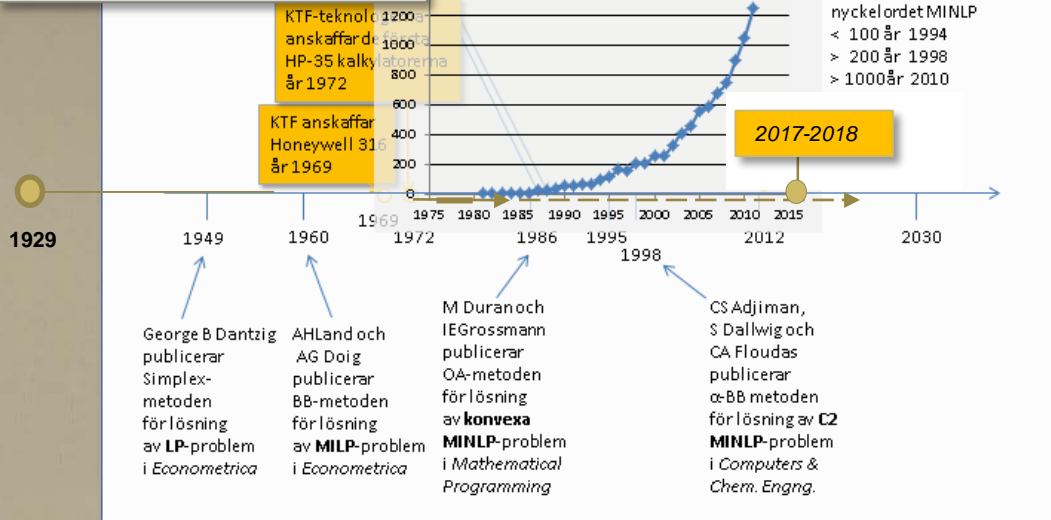
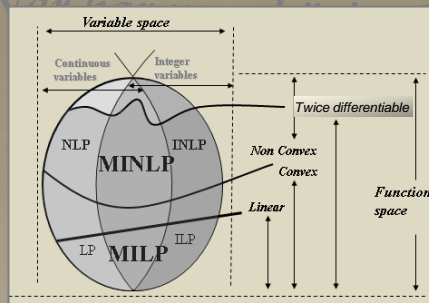


När har man börjat kunna lösa MINLP problem?

Några milstolpar



# Några milstolpar



1929

George B Dantzig publicerar Simplex-metoden för lösning av LP-problem i *Econometrica*

AHLand och AG Doig publicerar BB-metoden för lösning av MILP-problem i *Econometrica*

M Duran och IEGrossmann publicerar OA-metoden för lösning av **konvexa** MINLP-problem i *Mathematical Programming*

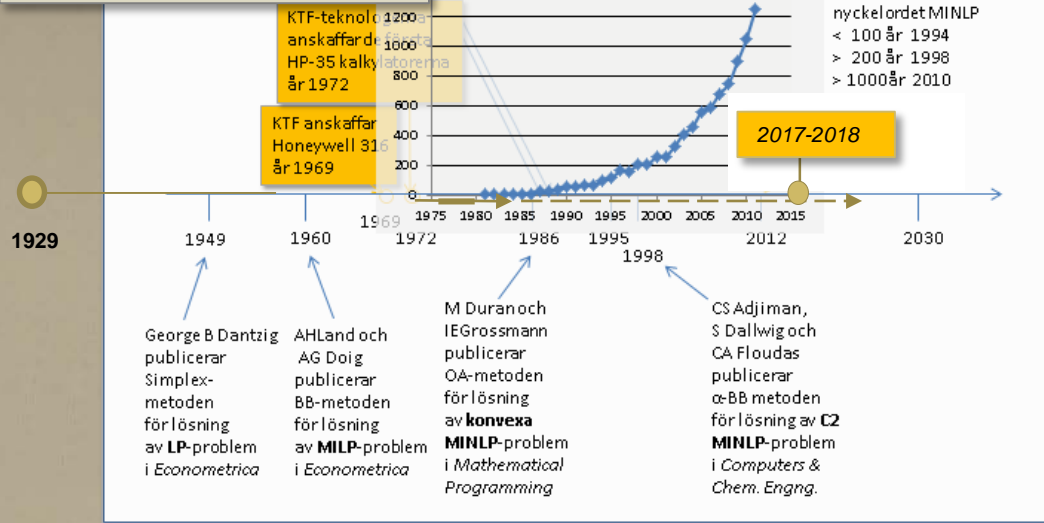
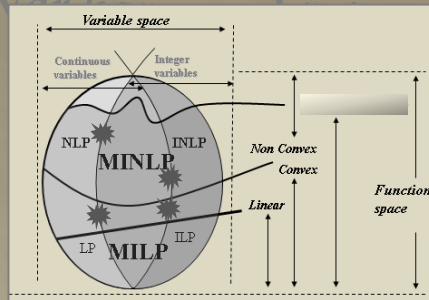
CS Adjiman, S Dallwig och CA Floudas publicerar  $\alpha$ -BB metoden för lösning av **C2** MINLP-problem i *Computers & Chem. Engng.*

KTF-teknologi anskaffar HP-35 kalkylatorerna år 1972

KTF anskaffar Honeywell 316 år 1969



# Några milstolpar

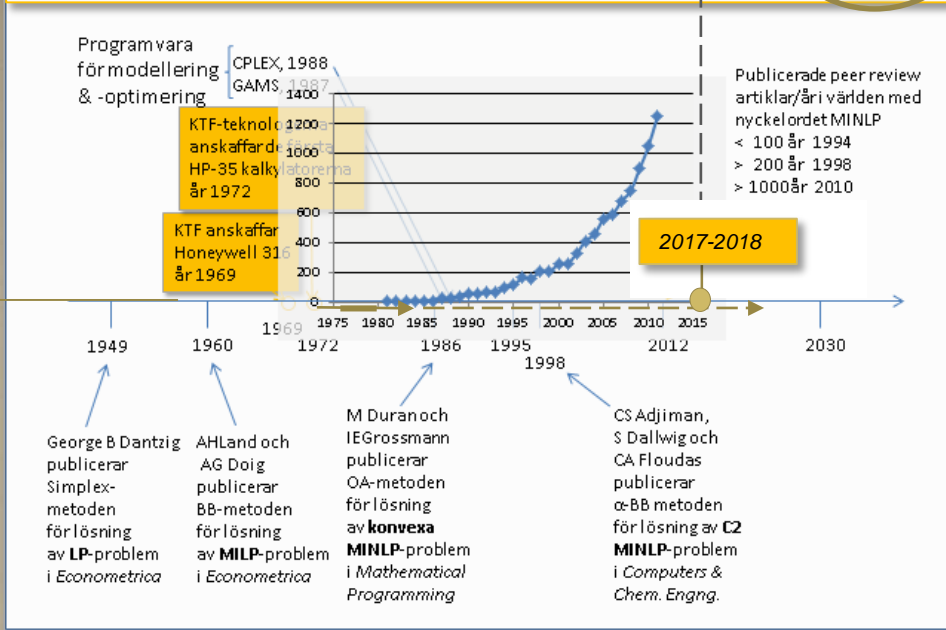


När har man börjat kunna lösa

Några milstolpar

LP	<100	<500	5.000	100.000	>10.000.000	Problemstorlek ? antal variabler (och uttryck)
MILP		<50	<500	<10.000	>1.000.000	
Cvx-MINLP			<50	<500	>1.000	
C2-MINLP				<50	<100	
	1949	1960	1986	1998	2012	

1929



George B Dantzig publicerar Simplex-metoden för lösning av LP-problem i *Econometrica*

AHLand och AG Doig publicerar BB-metoden för lösning av MILP-problem i *Econometrica*

M Duranoch IEGrossmann publicerar OA-metoden för lösning av **konvexa** MINLP-problem i *Mathematical Programming*

CS Adjiman, S Dallwig och CA Floudas publicerar  $\alpha$ -BB metoden för lösning av **C2** MINLP-problem i *Computers & Chem. Engng.*

När har man börjat kunna

Några milstolnar

Harzing's Publish or Perish 6.19.6109.6557

File Edit Query Tools Help

My queries: Saved queries, Trash

Query	Source	Papers	Cites	Cites/year	h	g	hi,norm	hi,annual	*Count
✓ MINLP OR "Mixed integer nonlin...	Google Schol...	888	16918	345.27	60	116	38	0.78	4

Google Scholar query

Authors:

Publication/Journal:

All of the words:

Any of the words:

None of the words:

The phrase:

Years: 0 - 2017

ISSN:

Title words only

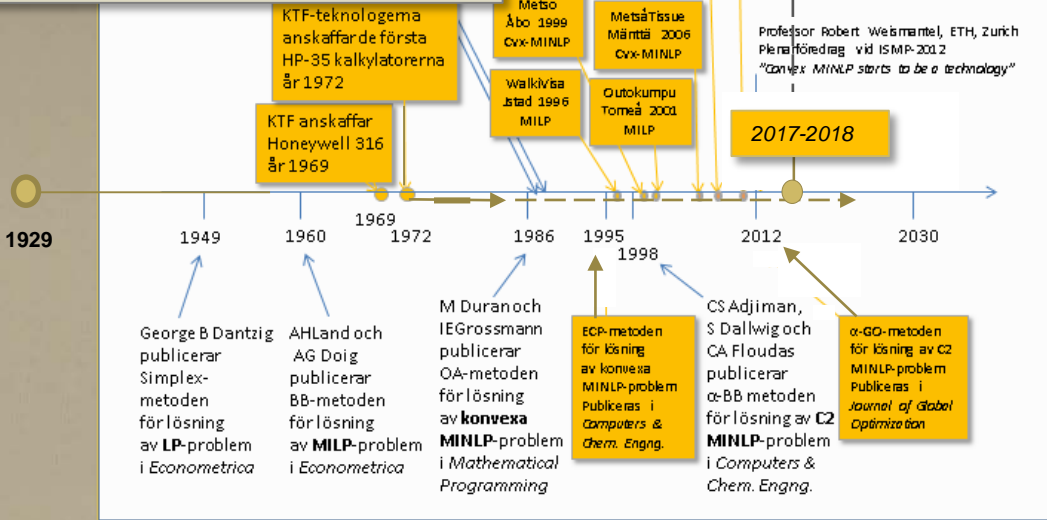
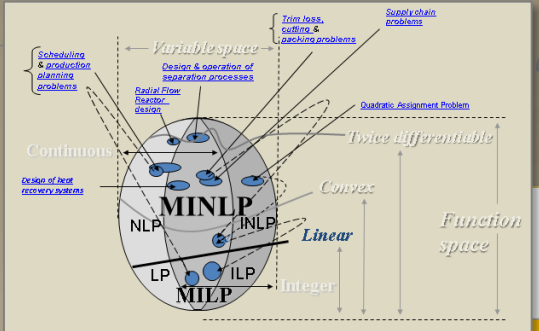
Lookup, Clear All, Revert, Copy, New

Metrics	Help	Cites	Per year	Rank	Authors	Title	Year	Publication
Publication years:	1958-2017	✓ h 1295	41.77*	7	MA Duran, IE Gross...	An outer-approximation algorithm ...	1986	Mathematical progr
Citation years:	49 (1968-2017)	✓ h 694	25.70*	1	J Viswanathan, IE Gr...	A combined penalty function and o...	1990	Computers & Chem
Papers:	888	✓ h 632	70.22*	19	P Bonami, LT Biegler...	An algorithmic framework for conv...	2008	Discrete ...
Citations:	16918	✓ h 569	24.74*	23	R Fletcher, S Leyffer	Solving mixed integer nonlinear pr...	1994	Mathematical progr
Cites/year:	345.27	✓ h 546	42.00*	21	M Tawarmalani, NV ...	Global optimization of mixed-inte...	2004	Mathematical progr
Cites/paper:	19.05	✓ h 408	51.00*	4	P Belotti, J Lee, L Li...	Branching and bounds tightening...	2009	Optimization Methc
Cites/author:	7349.70	✓ h 393	15.72*	3	I Quesada, IE Gross...	An LP/NLP based branch and boun...	1992	Computers & chem
Papers/author:	443.49	✓ h 362	16.45*	2	T Westerlund, F Pett...	An extended cutting plane method...	1995	Computers & Chem
Authors/paper:	2.54	✓ h 259	11.26*	34	B Borchers, JE Mitch...	An improved branch and bound al...	1994	Computers & Oper
h-index:	60	✓ h 252	12.00*	8	M Türkay, IE Gross...	Logic-based MINLP algorithms for ...	1996	Computers & Chem
g-index:	116	✓ h 248	8.86	9	CA Floudas, A Agga...	Global optimum search for noncon...	1989	Computers & Chem
hi,norm:	38	✓ h 234	10.17*	6	AR Ciric, D Gu	Synthesis of nonequilibrium reactiv...	1994	AIChE Journal
hi,annual:	0.78							
*Count:	42							

Results

(4454; år 2017)

# Några milstolpar tillämpningar



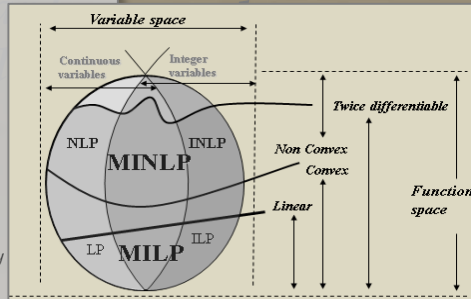


**Artiklar i de vetenskapliga tidskrifterna:**

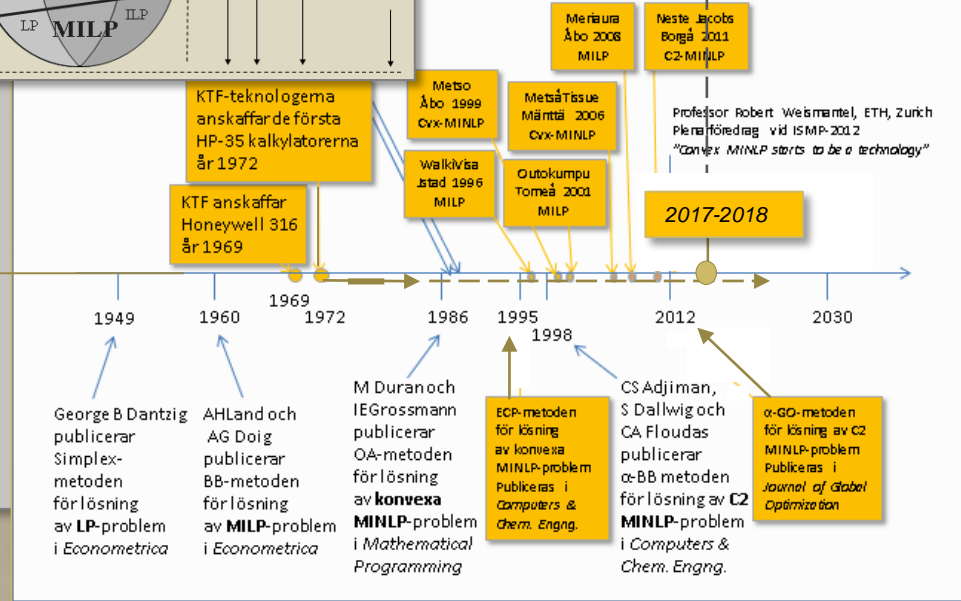
AICHe Journal  
 Applied Energy  
 Applied Numerical Mathematics  
 Chemical Engineering and Processing  
 Chemical Engineering Research and Design  
 Chemical Engineering Science  
 Chemometrics & Intelligent Laboratory Systems  
 Computational Optimization and Applications  
 Computers and Chemical Engineering  
 Computers and Operations Research  
 Discrete Optimization  
 Energy  
 Environmental Progress and Sustainable Energy  
 European Journal of Operational Research  
 IEEE Transaction on Automatic Control  
 Industrial and Engineering Chemistry Research  
 International Journal of Production Economics  
 Journal of Chemical Technology and Biotechnology  
 Journal of Global Optimization  
 Journal of Mathematical Chemistry  
 Journal of Non-Crystalline Solids  
 Journal of Optimization Theory and Applications  
 Minerals Engineering  
 Optimization  
 Optimization Methods and Software

**Bokkapitel i:**

1929  
 Algorithmic advances and applications, Springer  
 Volumes in Mathematics and its Applications, IMA  
 Control and Dynamics Systems, Academic Press  
 Encyclopedia of Optimization, Springer  
 Mixed-Integer Nonlinear Optimization, Springer  
 Global Optimization-Theory to Implementations, Wiley  
 Supply-Chain Optimization, Springer



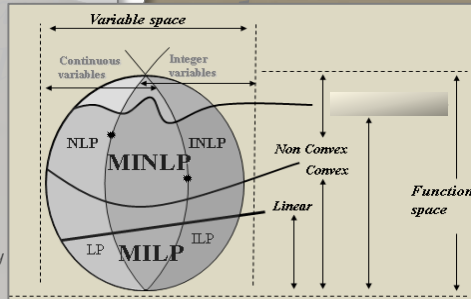
# Några milstolpar metoder



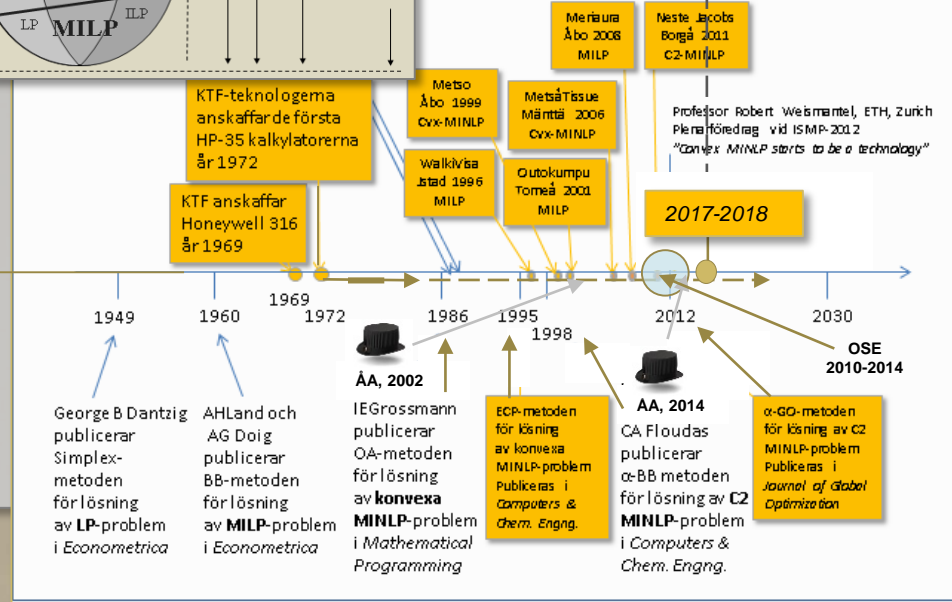
Enkelt exempel

**Artiklar i de vetenskapliga tidskrifterna:**

- AICHe Journal
  - Applied Energy
  - Applied Numerical Mathematics
  - Chemical Engineering and Processing
  - Chemical Engineering Research and Design
  - Chemical Engineering Science
  - Chemometrics & Intelligent Laboratory Systems
  - Computational Optimization and Applications
  - Computers and Chemical Engineering
  - Computers and Operations Research
  - Discrete Optimization
  - Energy
  - Environmental Progress and Sustainable Energy
  - European Journal of Operational Research
  - IEEE Transaction on Automatic Control
  - Industrial and Engineering Chemistry Research
  - International Journal of Production Economics
  - Journal of Chemical Technology and Biotechnology
  - Journal of Global Optimization
  - Journal of Mathematical Chemistry
  - Journal of Non-Crystalline Solids
  - Journal of Optimization Theory and Applications
  - Minerals Engineering
  - Optimization
  - Optimization Methods and Software
- Bokkapitel i:**
- 1929 Algorithmic advances and applications, Springer
  - Volumes in Mathematics and its Applications, IMA
  - Control and Dynamics Systems, Academic Press
  - Encyclopedia of Optimization, Springer
  - Mixed-Integer Nonlinear Optimization, Springer
  - Global Optimization-Theory to Implementations, Wiley
  - Supply-Chain Optimization, Springer



# Några milstolpar metoder

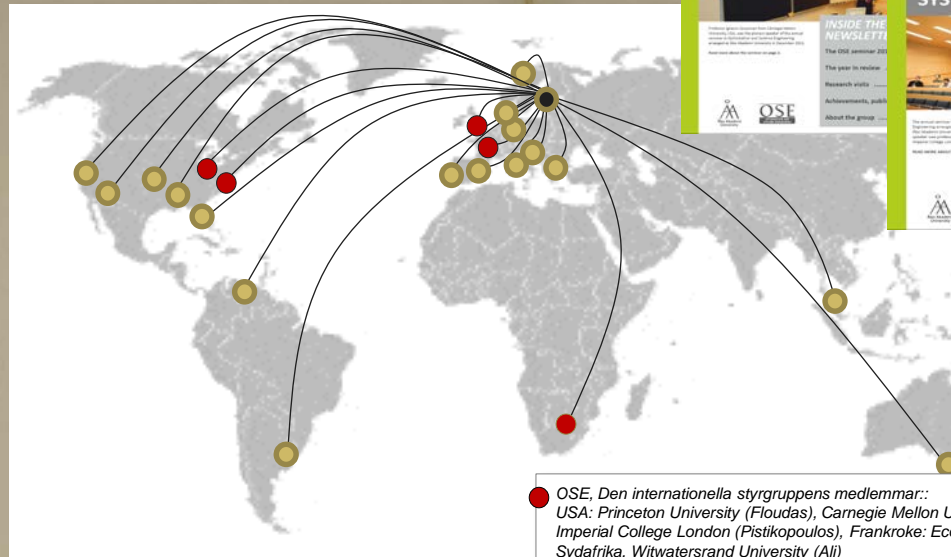


(4454; år 2017)

Enkelt exempel

Några länkar i det internationella samarbetet

## Spetsforskningsenheten OSE 2010-2014





# NÅGRA TILLÄMPNINGAR



*som gäller:*

- \* PROCESSPLANERING
- \* PRODUKTIONSPLANERING
- \* LOGISTIK
- \* LEVERANSKEDJOR





**HRS**  
 Ett verktyg för  
 planering och optimering  
 värmeåtervinningsystem  
 Jarmo Söderman  
 Kaj-Mikael Björk  
 Nina Nordenswan  
 Metso (Valmet), 1999

**Optimisation Tool for VALMET Paper Machine Heat Recovery Systems v.2.0**

valmet  
 A member of Metso Corporation

**Solution Viewer**  
 Start Solution Viewer  
 Load

**ECP-Generator**  
 Creating Ecp-File from Current Settings  
 Create

**Model**

**Cost Functions**  
 Linear  
 SW Linear  
 Standard Nonlinear  
 Advanced Nonlinear

**Periods**  
 Single Period  
 Multi Period

**Bound**  
 Lower bound  
 Upper bound  
 Total bound

**Temperature Discretisation**  
 Number of Heat Intervals: 75  
 Type of Discretisation: Auto in Temp, Manual

**Lay-Out Costs**  
 Use Duct Costs

**External Heat Sources and Cold Utility for Composite Curve ONLY!**

Add External Heat     Add External Cold Utility

Q / kW    Temp / C    Q / kW    Temp / C

UL: 5093    120    EC1: 16296    5

UM: 0    0    EC2: 0    5

UG: 0    0    EC3: 0    0

Add Solution Data To Comp. Curve

**Period 1**    **HEAT ENERGY TABLE in kW**    Update HET and Comp Curve

Temp	100	90	80	70	66	62	58	54	50	46	42	38	34	30	20
H1d	0	0	382	153	153	135									
H1c						202	2126	1717	1400	1151	952	792	663	1244	939
H2d	0	0	382	153	153	135									
H2c						202	2126	1717	1400	1151	952	792	663	1244	939
H3d	0	0	359	144	144	144	52								
H3c							1049	1400	1151	952	792	663	1244	939	
Sum	0	0	1123	450	450	978	4396	4534	4200	3453	2856	2376	1989	9732	2517
C1	356	712	712	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	0
C2	0	0	0	0	0	0	293	1172	1172	1172	1172	1172	1172	2930	1465
C3	0	0	0	0	0	0	1210	4492	0	0	0	0	0	0	0
Sum	356	712	712	285	285	285	1789	5949	1457	1457	1457	1457	1457	2330	1465

**COMPOSITE CURVE**

Per. 1  
 Per. 2  
 Per. 3  
 Per. 4

**Area in m2**

Exit

HRS-problemfile

**HRS**  
Ett verktyg för  
planering och optimering av  
värmeåtervinningssystem.

Jarmo Söderman  
Kaj-Mikael Björk  
Nina Nordenswan

Metso (Valmet), 1999

The screenshot displays the HRS software interface. The main window shows the problem definition and the solution results. The problem is titled "Heat Recovery System" and is a nonlinear, hybrid, quasi-convex problem with 1 step. The objective is to minimize Z, which is a sum of various cost terms. The solution values are displayed in a table, showing the optimal values for each variable. The objective value is 383.7462843. The iterations table shows 6 Master iterations, 11 Optimal MILPs, and a total of 12 iterations. The Z-min value is 383.746289104033, the max g(1) value is -6.25889936962E-08, and the max Alpha value is 256.

**α-ECP**

Start new problem    Continue    Stop

ECP-file = alpha.ecp    Lp-file = alpha.lp

Minimize Z

- + 0.00548\* p1\_UL
- + 0.00438\* p1\_UL
- + 0.00548\* p1\_UG
- + 0.00000\* p1\_R1
- + 0.00000\* p1\_R2
- + 0.00000\* p1\_R3
- + 0.02740\* p2\_UL
- + 0.02192\* p2\_UL
- + 0.02740\* p2\_UG
- + 0.00000\* p2\_R1
- + 0.00000\* p2\_R2
- + 0.00000\* p2\_R3
- + 0.04932\* p3\_UL
- + 0.03945\* p3\_UL
- + 0.04932\* p3\_UL
- + 0.00000\* p3\_UL
- + 0.00000\* p3\_UL
- + 0.00000\* p3\_UL
- + 0.01781\* p3\_UL
- + 0.01425\* p3\_UL
- + 0.01781\* p3\_UL
- + 0.00000\* p3\_UL
- + 0.00000\* p3\_UL
- + 0.00000\* p3\_UL
- + 2.000\* y1

**Solution values**

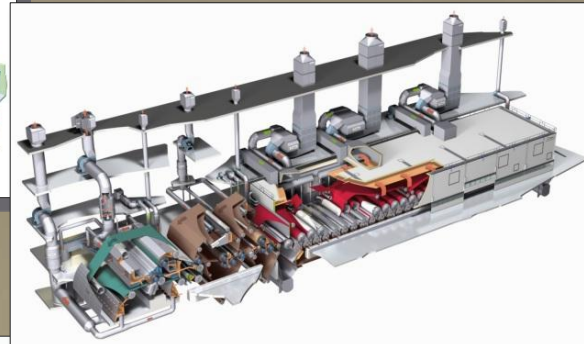
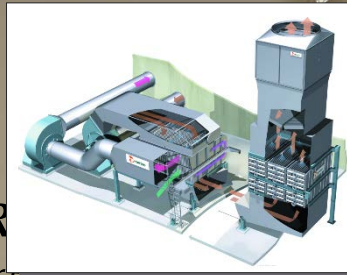
Variable	Value
Z	383.7462843
p1_UL	5093.2461594496
p1_R1	4591.13715594496
p1_R2	8798.379
p1_R3	2748.232
p2_UL	2714.45002669182
p2_R1	4763.78328076726
p2_R2	8798.379
p2_R3	3035.71756592456
p3_UL	2487.6534046525
p3_R1	5289.54898214789
p3_R2	10849.115
p3_R3	3628.0345024574
p4_UL	2499.94078737973
p4_R1	5815.6878227026
p4_R2	11989.527
p4_R3	4268.9638510947
y1_1	1
y1_2	1
y2_3	1
y3_2	1
A1_1_s1	5173.671688959162
A1_2_s1	1186.77491031702
A3_3_s1	1778.73228632

Iterations

Master	Optimal MILPs	Total
6	11	12

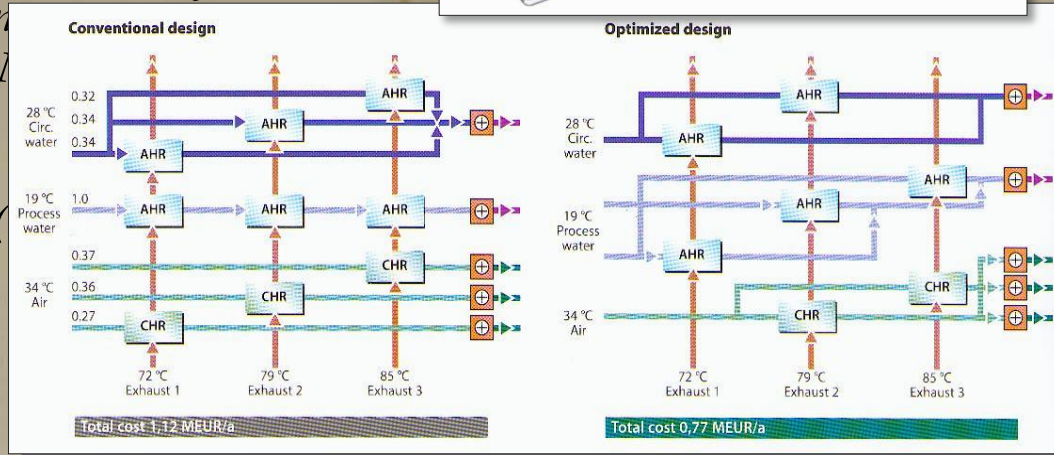
Z-min: 383.746289104033  
max g(1): -6.25889936962E-08  
max Alpha: 256

Print    Save As...    OK    Stop



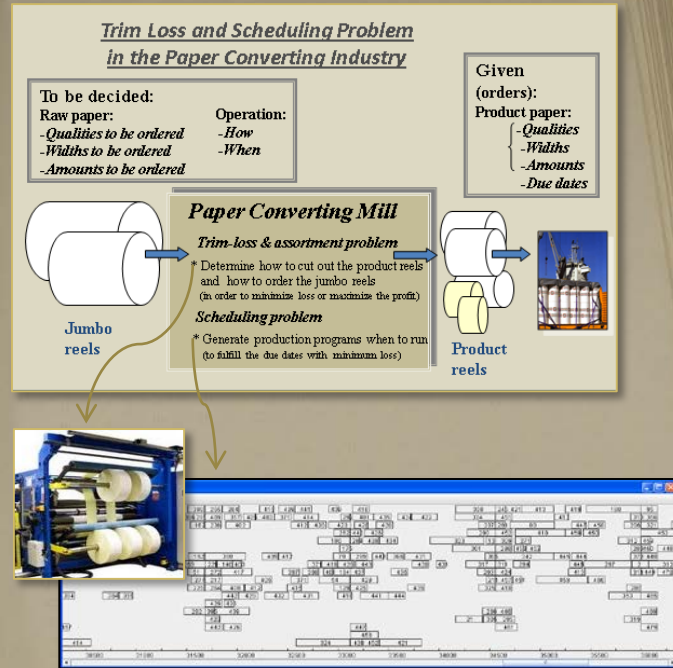
**HR**  
 Ett verktyg för  
 planering och optimering av  
 värmeåtervinningssystem.

Jarmo  
 Kaj-  
 Nina  
 Metso (





**WISATRIM**  
 Ett produktionsplaneringsverktyg  
 för pappersförädlingsfabriker.  
 Walki Wisa 1996-1998  
 Johnny Isaksson  
 Iiro Harjunkoski  
 Ray Pörn  
 Per Jernström  
 I industriellt bruk vid  
 Walki Wisa, Jakobstad sedan 1998  
 Walki Wisa, Valkeakoski sedan 2006





*I industriell  
Walki Wise, Jakob  
Walki Wise, Valkea*

UPM  
Walki Wise  
Fibersaan

# WISATRIM

MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING  
by Johnny Lindsson  
Tapio Westerlund

**TRIM**

WIDTHSETTINGS		
Maxwidth	3530	mm
Width 2		

OPTIMIZATIONSETTINGS		
Opt. level	7	
Max over prod.	1	%
Min under prod	-1	%
<input type="checkbox"/> 2 widths <input type="checkbox"/> No knifechange check <input type="checkbox"/> Flex width <input type="checkbox"/> Accept small reels		

ORDER TRIMMED				
Width	Reels	Trimmed	kq	diff
800	90	93	44976	
900	96	96	53972	
1200	87	89	65216	
1300	90	90	73087	
1350	86	87	72525	

OPTIMIZATION RESULT	
COSTS	
Product cost	1251660
Productioncost	213942
Formchanges	3000
Overproduction costs	152
Trimwaste costs	2415
Edgewaste costs	9687
Result	1026660

PPRODUCTION	
Production time	54.82
Knifechange time	0.83
Formats	2
Ordered quantity	309784
Trimmed quantity	315115
Difference	1.69%

TRIMRESULT					
Set	TRIMSET				
179780	72361	100.1	3500	33	800 * 1 1350 * 2
75010	29328	99.3	3400	14	800 * 2 900 * 2
58553	22894	99.0	3400	11	800 * 1 1300 * 2
376673	147279	101.0	3400	68	900 * 1 1200 * 1 1300 * 1
112268	43251	99.2	3350	21	800 * 1 1200 * 1 1350 * 1

TRIM I   TRIM II   integer   PRINT   RETURN

Lotus ScreenCam

Pause Rev FF Exit Vol

*Trim-problemfile*

**MISPT**  
Ett operativt och strategiskt  
verktyg för avsvärtningslinjernas  
process- och produktionsplanering  
vid Tissue-papperproduktion.

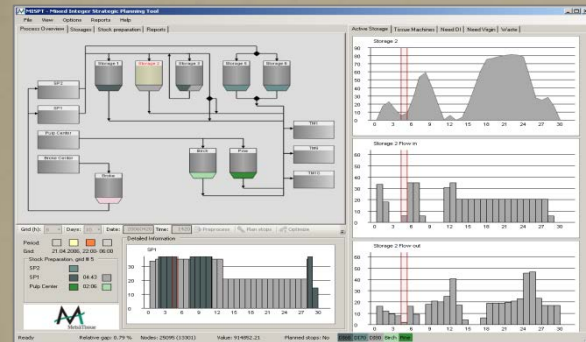
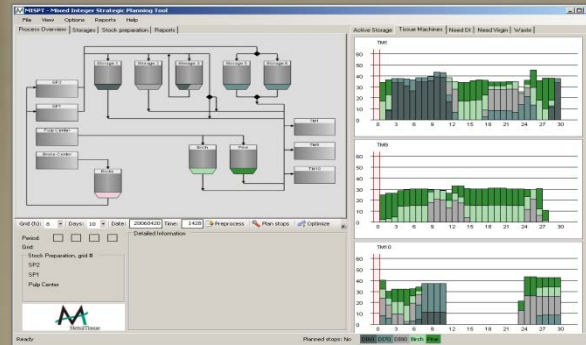
Metsä Tissue, Mänttä 2005-2006

Mattias Häggblom

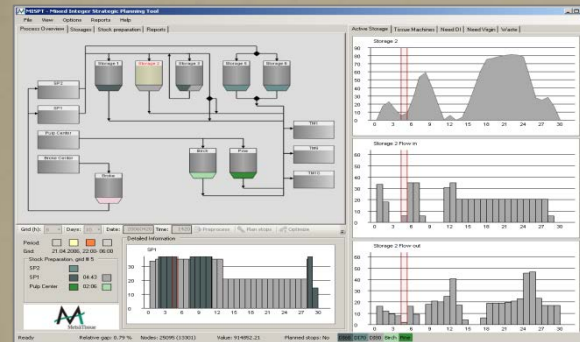
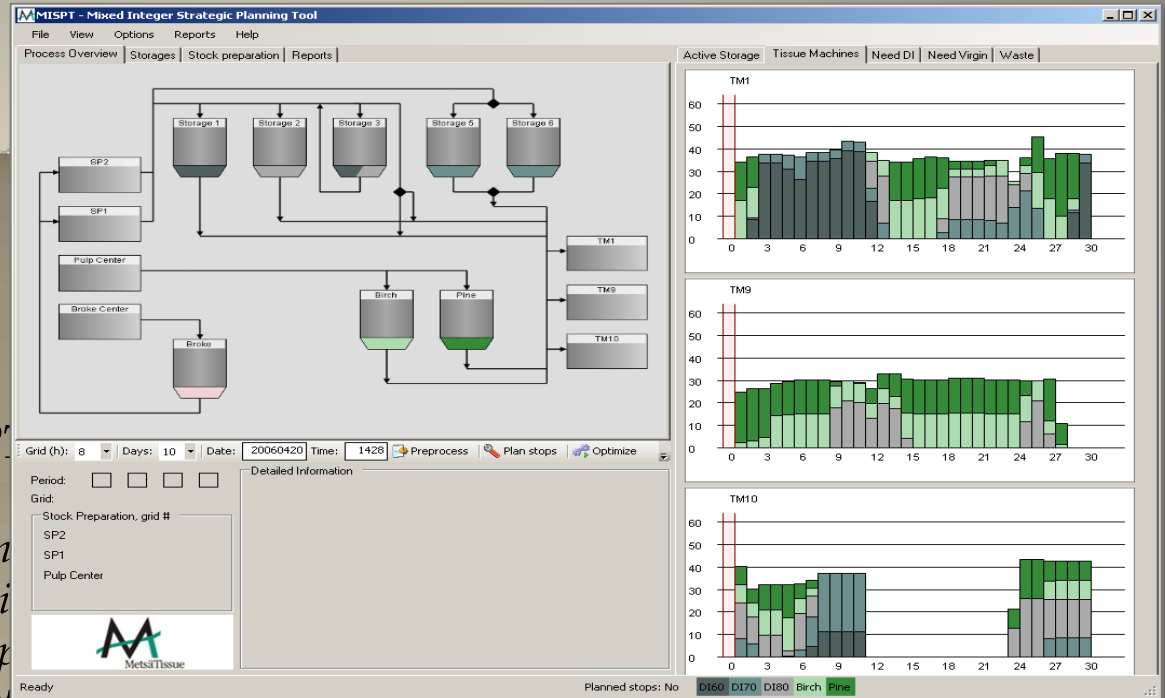
Joakim Westerlund

Jarkko Kaplin

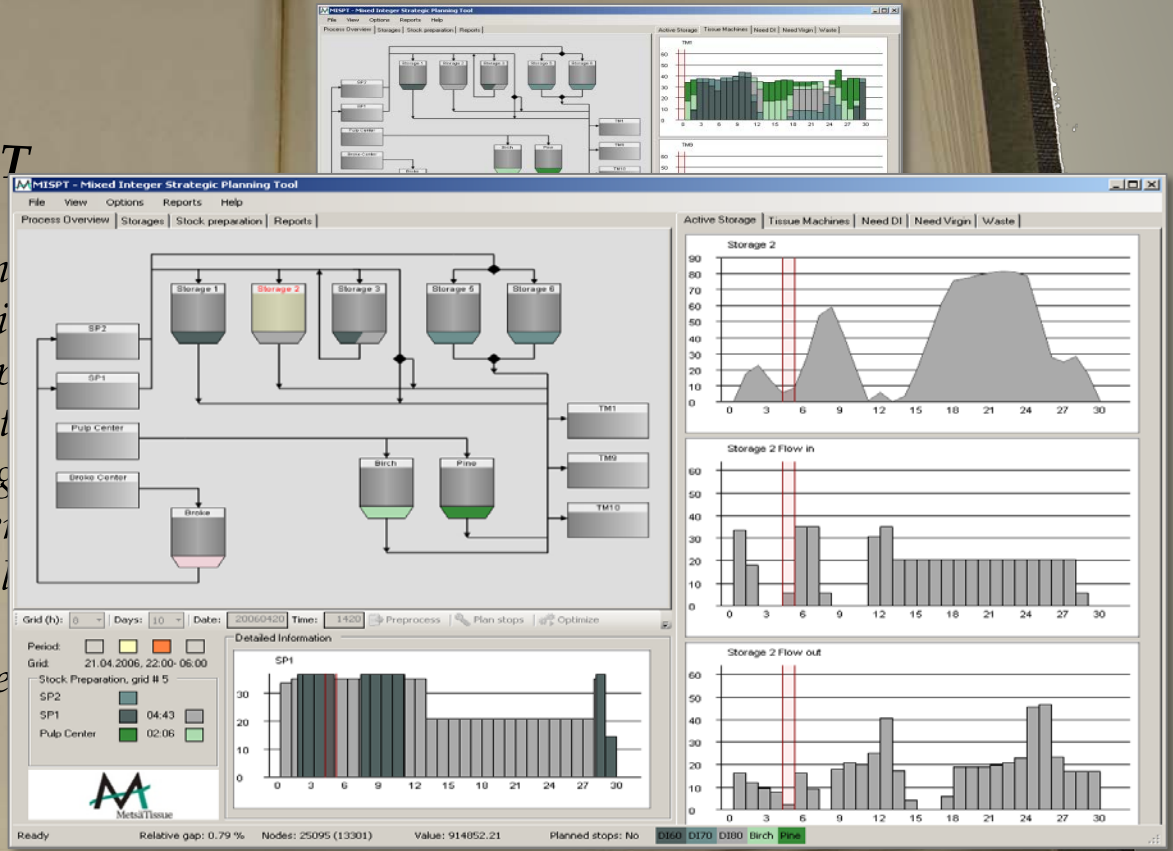
I industriell bruk sedan 2006.



**MISPT**  
 Ett operativt och  
 verktyg för avsvärtn  
 process- och produkti  
 vid Tissue-papper  
 Metsä Tissue, Mänttä 2005-2006  
 Mattias Häggblom  
 Joakim Westerlund  
 Jarkko Kaplin  
 I industriell bruk sedan 2006.



**MISPT**  
 Ett operativt och  
 verktyg för avsvärtn  
 process- och produkti  
 vid Tissue-papperp  
 Metsä Tissue, Mäntt  
 Mattias Hägg  
 Joakim Wester  
 Jarkko Kap  
 I industriell bruk se





**MISPT**  
 Ett operativt och strategiskt  
 verktyg för avsvärtningslinjernas  
 process- och produktionsplanering  
 vid Tissue-papperfabrik  
 Metsä Tissue, Mänttä  
 Mattias Hägg  
 Joakim Wester  
 Jarkko Kaprio

I industriell bruk se



*Optimering av packning och  
transport av sandwichelement.  
Partek Paroc Panel Systems, 1998  
Fredrik Bergström*



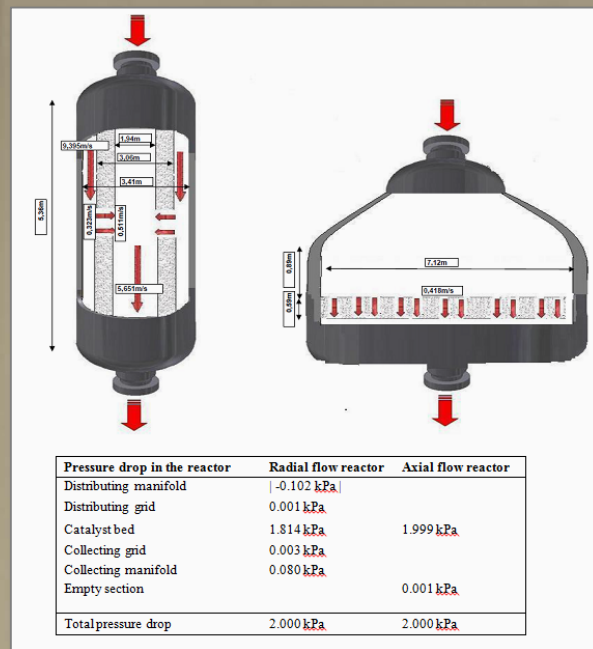
*Dimensionering av radial  
och axialreaktorer.  
Neste Jacobs, 2012  
Noora Rosama*

*I arbetet undersöktes bl.a. radialreaktorers  
användbarhet och lönsamhet i en syntesgas-  
reningsprocess.*

*Heterogen kemisk reaktion äger rum mellan  
fluidfasen och katalysatorpartiklarna*

*Klassisk NLP-modell med krångliga uttryck  
där: - reaktionskinetik*

- diffusionsmotstånd*
- transportegenskaper &*
- tryckfall över katalysatorbädden*
- etc. beaktas*





*Dimensionering av radial  
och axialreaktorer.  
Neste Jacobs, 2012  
Noora Rosama*

*I arbetet undersöktes bl.a. radialreaktorers  
användbarhet och lönsamhet i en syntesgas-  
reningsprocess.*

*Heterogen kemisk reaktion äger rum mellan  
fluidfasen och katalysatorpartiklarna*

*Klassisk NLP-modell med krångliga uttryck  
där: - reaktionskinetik*

- diffusionsmotstånd*
- transportegenskaper &*
- tryckfall över katalysatorbädden*
- etc. beaktas*

$$-3847.79 \frac{1}{x_4} \ln\left(\frac{x_3}{x_2}\right) + 77764 \frac{1}{x_4^2} \left(\frac{1}{x_3} - \frac{1}{x_2}\right) + 0.029 \frac{x_4}{x_1 - x_2} \left(\frac{1}{x_1^2 - x_2^2}\right)^2 + 11.724 \left(\frac{1}{x_1^2 - x_2^2}\right)^2 + 0.021 \frac{x_4}{x_3^5} + 23.449 \frac{1}{x_3^4} - 2000 \leq 0$$

$$\min_{x_1, x_2, x_3, x_4} f(x) = 3.14x_1^2 x_4 + 0.85x_1^3$$

Subject to

$$375.16 \frac{1}{x_4} \ln\left(\frac{x_3}{x_2}\right) - 7852 \frac{1}{x_4^2} \left(\frac{1}{x_3} - \frac{1}{x_2}\right) + 0.021 \frac{x_4}{x_1 - x_2} \left(\frac{1}{x_1^2 - x_2^2}\right)^2 + 11.724 \left(\frac{1}{x_1^2 - x_2^2}\right)^2 \leq 0$$

$$769.558 \frac{1}{x_4} \ln\left(\frac{x_3}{x_2}\right) - 15552.8 \frac{1}{x_4^2} \left(\frac{1}{x_3} - \frac{1}{x_2}\right) + \left| 0.029 \frac{x_4}{x_1 - x_2} \left(\frac{1}{x_1^2 - x_2^2}\right)^2 + 11.724 \left(\frac{1}{x_1^2 - x_2^2}\right)^2 \right| + \left| 0.021 \frac{x_4}{x_3^5} + 23.449 \frac{1}{x_3^4} \right| \leq 0$$

$$375.16 \frac{1}{x_4} \ln\left(\frac{x_3}{x_2}\right) - 7852 \frac{1}{x_4^2} \left(\frac{1}{x_3} - \frac{1}{x_2}\right) + 0.021 \frac{x_4}{x_3^5} + 23.449 \frac{1}{x_3^4} \leq 0$$

$$3.14x_2^2 x_4 - 3.14x_3^2 x_4 - 37.1 \geq 0$$

[Animation](#)



*Process- och produktionsplanering.  
Optimering av en kromatografisk  
separationsprocess.*

*Bl.a. separation av betain ur melass.*

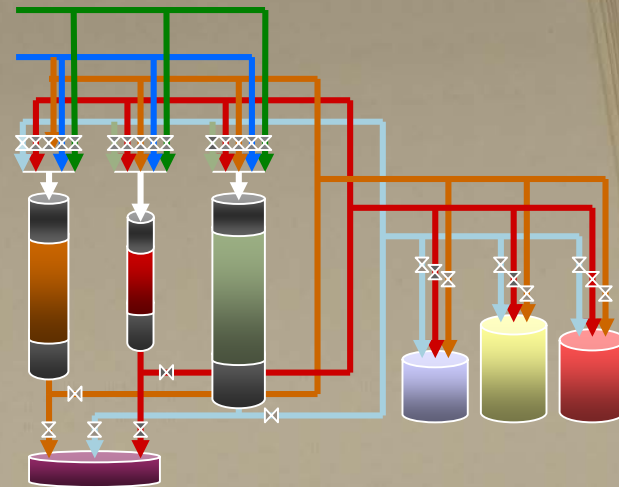
*Dupont (fr.o.m. 2011)*

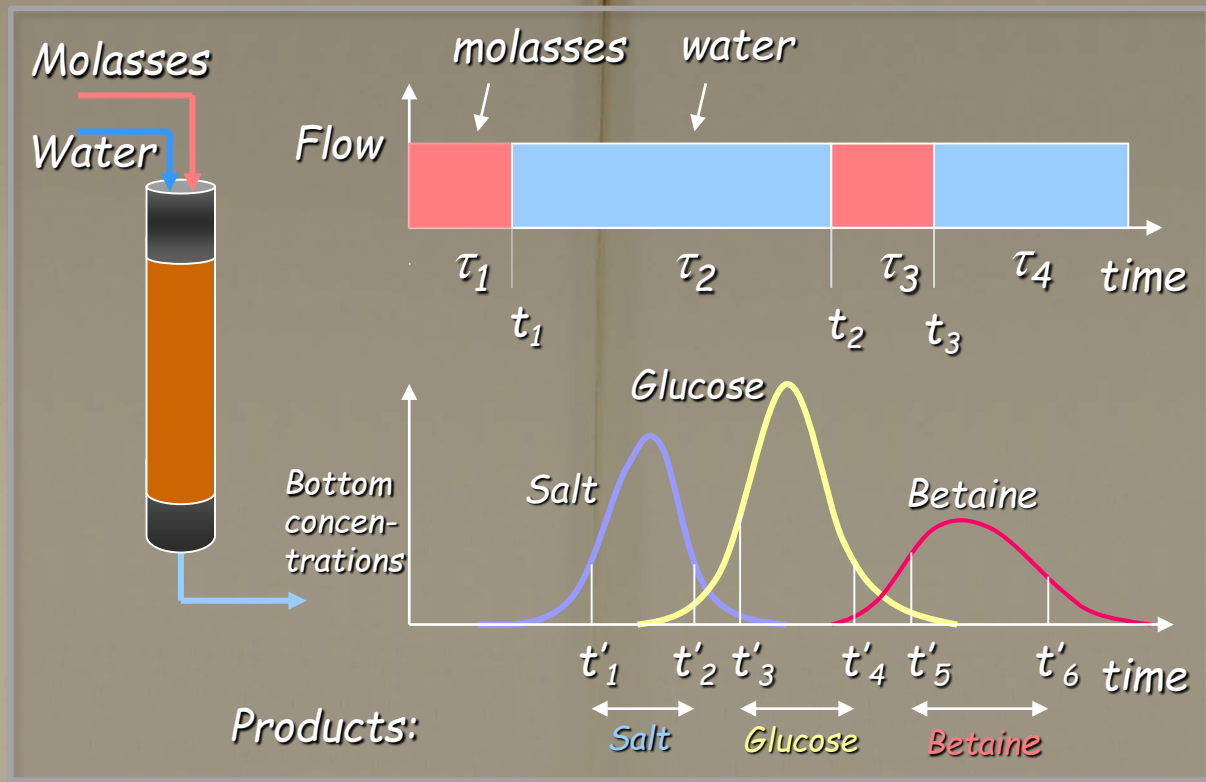
*Danisco, 1998-2004*

*Frank Pettersson*

*Stefan Karlsson*

*Stefan Emet*





Optimering av en kromatografisk  
 separationsprocess.  
 Danisco, 1998-2004  
 Frank Pettersson  
 Stefan Karlsson  
 Stefan Emet

**Problem type:**

- Pseudoconvex objective function
- Linear constraints
- Integral inequality constraints
- Partial differential equation constraints
- Boundary value constraints
- Logical function constraints
- Integer and continues variables

$$\max \left\{ \frac{1}{\tau} \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^T \left( \sum_{j=1}^C p_j \cdot s_{kij} - w \cdot d_{ki} \right) \right\}$$

Subject to:

$$t_{i-1} - t_i \leq 0$$

$$\sum_{j=1}^C y_{kij} - \sum_{l=1}^K x_{kil} \leq 1$$

$$y_{ki}^{in} + \sum_{l=1}^K x_{lik} \leq 1$$

$$s_{kij} - m_{kij} \leq 0$$

$$s_{kij} - M \cdot y_{kij} \leq 0$$

$$(t_i - t_{i-1}) - M \cdot (1 - y_{ki}^{in}) - d_{ki} \leq 0$$

$$\sum_{j=1}^C m_{kij} - M \cdot (1 - y_{kij}) - q_{kij} \leq 0$$

$$R_j \cdot \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^T q_{kij} - \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^T s_{kij} \leq 0$$

$$m_{kij} - \int_{t_{i-1}}^{t_i} c_{kj}(t, z_H) dt - M \cdot (1 - y_{kij}) \leq 0$$

$$\int_{t_{i-1}}^{t_i} c_{kj}(t, z_H) dt - m_{kij} - M \cdot \left( 1 - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^C y_{kil} \right) \leq 0$$

Optimering av en kromatografisk  
 separationsprocess.  
 Danisco, 1998-2004  
 Frank Pettersson  
 Stefan Karlsson  
 Stefan Emet

System of PDEs  
 describing the  
 concentration profiles

$$\left(1 + F\beta_j + F \sum_{l=1}^C \beta_{jl} c_{kl}\right) \frac{\partial c_{kj}}{\partial t} + F c_{kj} \sum_{l=1}^C \beta_{jl} \frac{\partial c_{kl}}{\partial t} + u \frac{\partial c_{kj}}{\partial z} = D_j \frac{\partial^2 c_{kj}}{\partial z^2}$$

Initial and boundary  
 values for the PDEs

$$\begin{cases} c_{kj}(t, 0) = y_k^{in}(t) \cdot c_j^{in} + \sum_{l=1}^K x_{lk}(t) \cdot c_{lj}(t, z_H) \\ c_{1j}(0, 0) = c_j^{in} \\ c_{kj}(0, z) = c_{kj}(\tau, z) \end{cases}$$

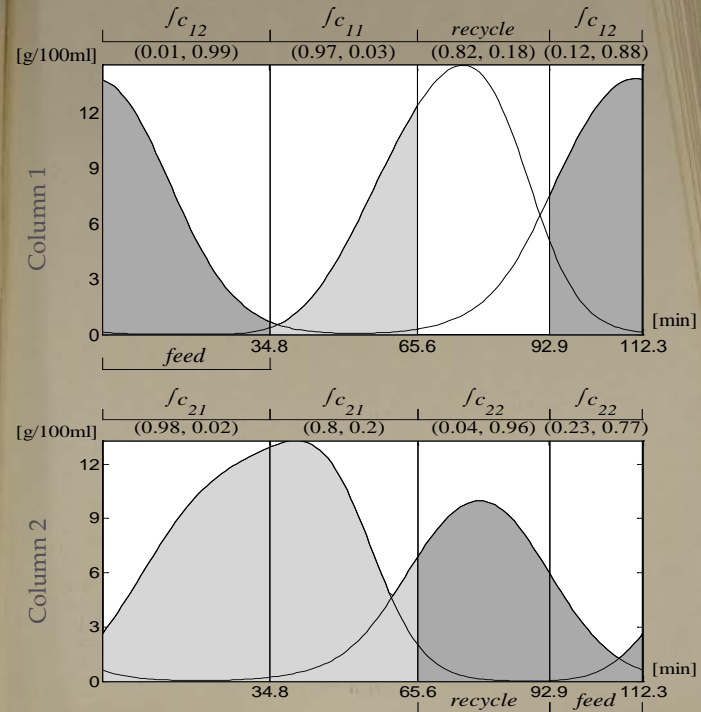
Logical functions

$$\begin{cases} y_k^{in}(t) = \sum_{i=1}^T y_{ki}^{in} \cdot \delta_i(t) \\ x_{lk}(t) = \sum_{i=1}^T x_{lik} \cdot \delta_i(t) \\ \delta_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{if } t \in [t_{i-1}, t_i] \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad i = 1, \dots, T \end{cases}$$



Optimering av en kromatografisk  
 separationsprocess.  
 Danisco, 1998-2004  
 Frank Pettersson  
 Stefan Karlsson  
 Stefan Emet

A two column-two component separation sequence



*Optimering av en kromatografisk  
separationsprocess.  
Danisco, 1998-2004  
Frank Pettersson  
Stefan Karlsson  
Stefan Emet*

### Some solution results

Function evaluations and CPU-times for the  
different solvers on problem 4  
Purity demand 90% and 95%

	GAMS/DICOPT	AlphaECP
Profit	12.01	12.04
Purity	(91.0, 95.0)	(91.0, 95.0)
Subprob.	15 NLP, 15 MILP	105MILP
f-eval.	14 622	105
g-eval.	466 923	3 360
$\nabla f$ -eval.	1 647	7
$\nabla g$ -eval.	53 099	96
H-eval.	-	-
PDE solvings	5 038 350	2 296
Tot CPUs	14 757	192

No feasible solutions were obtained with MINLP-BB and GAMS/SBB

*Optimering av bibränslets  
transportkedja i Östersjöregionen  
Land- och sjötransport  
Meriaura, Ab 2008  
Pävi Holmi*

*Minimering av transportkedjans totala kostnader*

*Lagringskostnader*

*Kostnader för landtransport*

*inkluderande lastningskostnader*

*Kostnader för sjötransport*

*inkluderande lastningskostnader*

*Förluster som uppstår under kedjan*

*Total transportmängd 808.000 ton/år*

*3,3 miljoner kilometer landtransport*

*39.000 lastbilstransporter*

*430 miljoner tonsjömil*

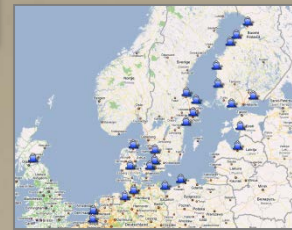
*200 fartygstransporter*



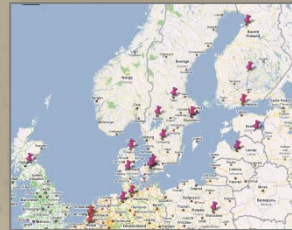
*Från  
fabriker och  
fabrikslager*



*Via  
hamnar och  
mellanlager*



*Till och  
via hamnar*



*Till kunder*

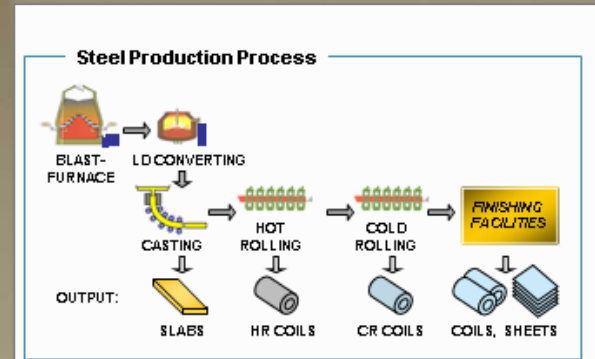


## MTS-2000

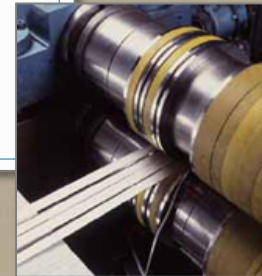
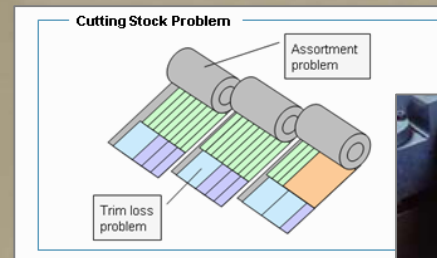
Ett produktionsplaneringssystem  
för Outokumpu Stainless, Torneå  
Accenture (Vainiomäki)  
Åbo Akademi (Westerlund)  
I industriellt on-line bruk sedan 2001

Outokumpu Stainless Oy, Torneå är  
en av världens största producenter av  
rostfritt stål. Produktionskapaciteten är  
cirka 2 miljoner ton rostfritt stål/år.  
Fabriksområdet är över 600 hektar  
varav över 30 hektar är under tak.  
Fabrikens elförbrukning motsvarar  
ca. 4% av Finlands elförbrukning.

Produktionsplaneringen är mycket  
omfattande. Mellan 1000 och 4000  
kundbeställningar kommer in per dygn.



Ämnen





## MTS-2000

Ett produktionsplaneringssystem  
för Outokumpu Stainless, Torneå

Accenture (Vainiomäki)

Åbo Akademi (Westerlund)

I industriellt on-line bruk sedan 2001

Outokumpu Stainless Oy, Torneå är  
en av världens största producenter av  
rostfritt stål. Produktionskapaciteten är  
cirka 2 miljoner ton rostfritt stål/år.  
Fabriksområdet är över 600 hektar  
varav över 30 hektar är under tak.  
Fabrikens elförbrukning motsvarar  
ca. 4% av Finlands elförbrukning.

Produktionsplaneringen är mycket  
omfattande. Mellan 1000 och 4000  
kundbeställningar kommer in per dygn.

## Den största tillämpningen



**H**ela produktionen optimeras med våra modeller  
och metoder. Ungefär 150 miljoner variabler  
optimeras årligen i den här massiva tillämpning  
där cirka 150.000 optimeringsproblem automatiskt  
bildas och löses per år.

**B**etydande ekonomisk nytta fås genom minimering  
av skärförlusterna.

(4% skärförlust motsvarar ca. 60.000 ton/år)



INDUSTRIES

PRODUCTS

SURCHARGES

#CHOOSESTAINLESS



Investors » Outokumpu as an investment

## Why to invest in Outokumpu?

Outokumpu is a global leader in stainless steel with production capacity of 3.3 million tonnes. We create advanced materials that are efficient, long-lasting and recyclable – helping to build a world that lasts forever. We are executing a large-scale transformation in our operations to return to the sustainable profitability. We have consolidated our production capacity in Europe, established strong foothold in the Americas, and implemented decisively cost-efficiency measures and savings to lower the overall cost level of the company to become the best value creator in stainless steel.

## Why to invest in Outokumpu?

### Operational efficiency

Outokumpu makes the most of its assets and leverages its strengths to differentiate from competitors. We drive operational improvements to unleash further potential from our assets.

### Best value creator in stainless steel

We target to become the best value creator in stainless steel through customer orientation and efficiency, and to deliver EBIT of 500 million by 2020.

### Sustainable operations

Our own chrome mine located in Kemi, Finland, and integrated ferrochrome operations in Tornio, Finland give Outokumpu a unique competitive advantage. We target to increase further the utilization of recycled material, already the highest on the market, not only because of our vast sustainability agenda but because it lowers our raw material costs.

### Operational efficiency

Outokumpu strategy focuses on areas, where the company aims to further increase its operational efficiency to make the most of the Group's assets and leverage its strengths to differentiate from competitors. In order to leverage its strong presence in the most attractive key markets, Outokumpu builds on its strong legacy in quality, innovation and technical expertise, and systematically improves delivery performance and customer relationships in order to provide the best customer experience in the industry.

Operational efficiency measures will drive further improvements in production and resource utilization, for example through minimizing yield losses. Outokumpu has efficient, well-invested production plants/facilities located right at the heart of the most important stainless markets. Outokumpu will now systematically drive operational improvements to unleash the potential of these assets.

### Sustainable operations

The procurement of raw material used in production of stainless steel, such as ferrochrome, chromium, nickel and molybdenum, remain as a key focus area: raw materials represent almost 60% of the total costs, and are therefore a significant area for efficiency improvements. Outokumpu has its own chrome mine located in Kemi, Finland, and integrated ferrochrome and stainless steel operations in Tornio, Finland, which give Outokumpu a unique competitive advantage. Outokumpu also further increases the utilization of recycled material: Outokumpu's recycled material use of 87% is already higher than the industry average of 60%. The Group targets to increase the levels further not just because of its vast sustainability agenda, but because of the clear impact on lowering raw material costs.

ipningen



as med våra modeller  
miljoner variabler  
massiva tillämpning  
ingsproblem automatiskt

u fås genom minimering

ca. 60.000 ton/år)

I) ca. 3.000 EUR/ton.

# Kort sammanfattning

Problemtyper	Bivillkor	Objektfunktion	# heltalsvariabler	# flyttalsvariabler	CPU-tid
<u>Värmeåtervinning</u> Valmet/Metso	100-500 linjära	Summa av konkava termer (transformation till konvex form)	100 - 200	100-500	10 s
<u>Wisa-trimproblem</u> Walki/J:stad Walki/Valkeakoski	100-500 linjära 50-100 bilinjära (linjär omformning)	Linjär	100-200	100-400 (x ca 30/dygn)	2 s
Packning Paroc Panel Systems	100-200 linjära 50-100 bilinjära (konvex omformning)	Linjär	100-200	100-300	30-60 s
Produktionsplanering Metsä Tissue	15 000- 20 000 Linjära	Linjär	1 500 - 2 000	10 000-15 000	30-300 s
Reaktorplanering Neste Jacobs	5-10 ickelinjära (transformation till konvex form)	icke-linjär (signomial funktioner)	-	5-20	1-5 s
Kromatografisk separation Danisco/ Du Pont	10-500 linjära 20-250 icke linjära 5-15 partiella differentialekvationer	pseudokonvex integralfunktioner	10-150	50-300	1 - 30 min
Logistikproblem Meriaura	300 000- 750 000 <u>linjära</u>	Linjär	1 000-5 000	300 000 - 800 0000	2 dygn (< 5 %)
Produktionsplanering Outokumpu Stainless	100 - 500 linjära 50 - 400 bilinjära (linjär omformning)	Linjär	50-200	500 - 1 000	5 - 60 s (* ca. 400/dygn)
*Ca. 400 sådana problem bildas och löses automatiskt / dygn Extra exempel: <u>Monique</u> Spielberg Univ. of Pennsylvania		Bilinjär	525		



Med 525 binära variabler

$$b_i = \{0,1\} \quad i=1,\dots,525$$

blir antalet kombinationer

$$2^{525} \approx 10^{158} \approx 10^{79} \cdot 10^{79}$$

Jämförelse?



Med 525 binära variabler

$$b_i = \{0,1\} \quad i=1, \dots, 525$$

blir antalet kombinationer

$$2^{525} \approx 10^{158} \approx 10^{79} \cdot 10^{79}$$

Jämförelse?

Det synliga universums massa  
uppskattas vara  $\approx 10^{53}$  kg

## Med 525 binära variabler

$$b_i = \{0,1\} \quad i=1, \dots, 525$$

blir antalet kombinationer  
 $2^{525} \approx 10^{158} \approx 10^{79} \cdot 10^{79}$

## Jämförelse?

Det synliga universums massa  
uppskattas vara  $\approx 10^{53}$  kg

och består i huvudsak av väteatomer

Vätets molära massa är  $\approx 1$  g/mol  
1 mol  $\approx 6,022 \cdot 10^{23}$  atomer

1 kg väte  $\approx 6,022 \cdot 10^{26}$  H-atomer

$10^{53}$  kg väte motsvarar

$\approx 6 \cdot 10^{79}$  väteatomer

## Med 525 binära variabler

$$b_i = \{0,1\} \quad i=1, \dots, 525$$

blir antalet kombinationer  
 $2^{525} \approx 10^{158} \approx 10^{79} \cdot 10^{79}$

Antalet kombinationer är så stort  
att det är svårt att begripa.  
Men som jämförelse motsvarar det  
alltså antalet atomer i ett  
gigantiskt superuniversum  
bestående av lika många deluniversa  
som det finns atomer i vårt nu kända  
synliga universum!

## Jämförelse?

Det synliga universums massa  
uppskattas vara  $\approx 10^{53} \text{ kg}$

och består i huvudsak av väteatomer

Vätets molära massa är  $\approx 1 \text{ g/mol}$   
 $1 \text{ mol} \approx 6,022 \cdot 10^{23} \text{ atomer}$

$1 \text{ kg väte} \approx 6,022 \cdot 10^{26} \text{ H-atomer}$

$10^{53} \text{ kg väte}$  motsvarar

$\approx 6 \cdot 10^{79} \text{ väteatomer}$

Den öppna stjärnhopen Westerlund 1 i (galaxen) vintergatan. Den finns på ca 15 000 ljusårs avstånd från jorden.

I W-1 finns bl.a. Wd 1-26, en röd supergigant. En av de största stjärnor som observerats.

Volymen av Wd1-26 uppskattas vara ca 3-4 miljarder gånger solens.

W1 upptäcktes 1961, av astronomen Bengt Westerlund från Uppsala. (1 år efter Land & Doig publicerade artikeln om MILP!)

## Med 525 binära variabler

$$b_i = \{0,1\} \quad i=1,..,525$$

blir antalet kombinationer

$$2^{525} \approx 10^{158} \approx 10^{79} \cdot 10^{79}$$

Antalet kombinationer är så stort att det är svårt att begripa. Men som jämförelse motsvarar det alltså antalet enskilda atomer i ett gigantiskt superuniversum bestående av lika många deluniversa som det finns atomer i vårt nu kända synliga universum!

## Jämförelse?

Det synliga universums massa uppskattas vara  $\approx 10^{53}$  kg

och består i huvudsak av väteatomer

Vätets molära massa är  $\approx 1$  g/mol  
1 mol  $\approx 6,022 \cdot 10^{23}$  atomer

1-kg väte  $\approx 6,022 \cdot 10^{26}$  H-atomer

$10^{53}$  kg väte motsvarar  
 $\approx 6 \cdot 10^{79}$  väteatomer

1       $\sim 10^{28}$        $\sim 10^{50}$        $\sim 10^{56}$        $\sim 10^{61}$        $\sim 10^{68}$        $\sim 10^{79}$

Atom -> Människa -> Planet -> Solsystem -> Stjärnhop -> Galax -> Universum

Fortsätt: förminska universum till en atom -> gå sedan vidare som ovan -> ... -> Unioersum \* Universum





Tyvärr rymdes bara några få tillämpningar med i den här presentationen men många andra exempel finns dokumenterade i examensarbeten, och publikationer i ASTs bibliotek.

Rapporten: ["PUBLIKATIONER OCH AVHANDLINGAR FRÅN LABORATORIET FÖR ANLÄGGNINGS- OCH SYSTEMTEKNIK VID ÅBO AKADEMI ÅREN 1929-2014."](#), inneåller uppgifter om examensarbeten och publikationer åren 1919-2014. År 2019 fyller ämnet 90 år.

## *Donationsprofessuren, ämnet och framtiden ?*

*Professurens i anläggningsteknik (maskinbyggnad till 1981) tillkomst möjliggjordes av en anonym donation som för ändamålet kommit Svenska Tekniska Vetenskapsakademien i Finland till del. Det visade sig senare vara Bergsrådet Johan Theodor Lindroos som var donatorn. I december 1927 hade han donerat 1,25 Miljoner dåtida mk för detta ändamål. År 1936 gjorde Theodor Lindroos ytterligare en betydande namngiven donation, "för att säkerställa den professur i maskinbyggnad vid Åbo Akademi för vilken jag tidigare anvisat medel". Donationen år 1927 hade löpt med 8% ränta och det belopp som den 31 december 1928 stod till förfogande för professurens inrättande var 1,35 Miljoner dåtida mark.*

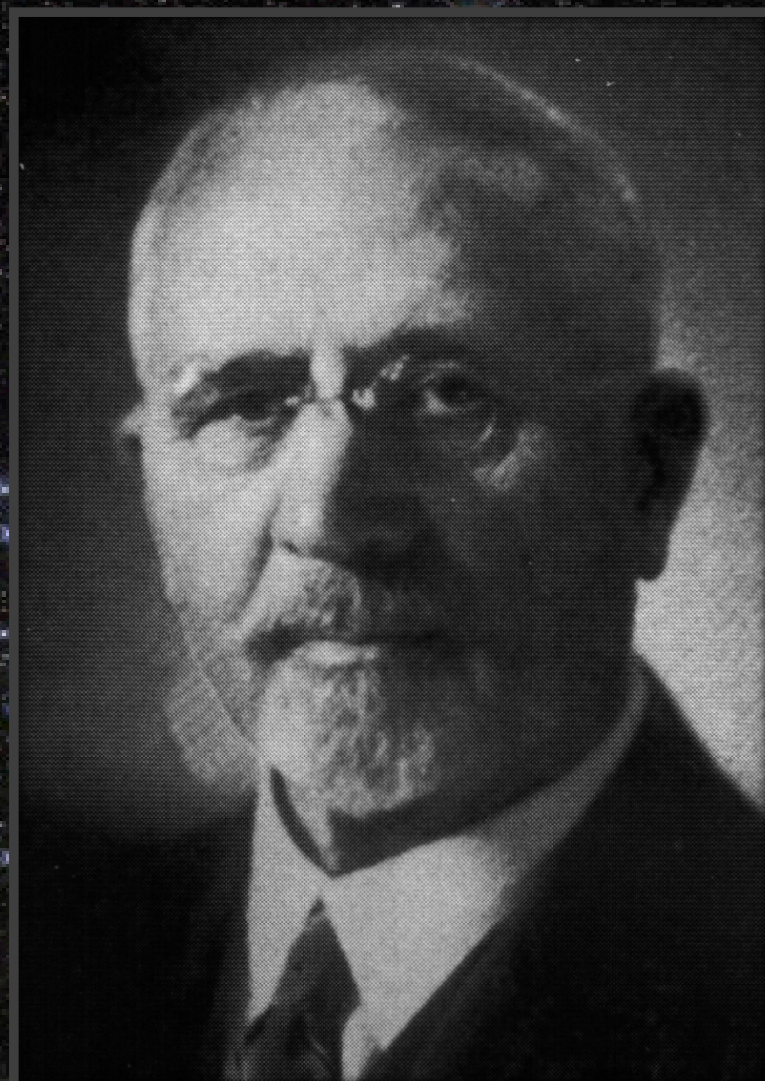
*Stiftelsen för Åbo Akademi inledde sin verksamhet år 1917 med ett grundkapital på ca 7,5 Miljoner dåtida mark. Stiftelseurkunden hade undertecknats av 35 personer och medlen donerats för grundandet av en svensk högskola i Åbo. Åbo Akademi grundades 1918 med sex professurer i tre fakulteter.*

*Professuren i maskinbyggnad inrättades 1.9.1929 som den tredje professuren vid KTF, som därefter fick permanent status. 89 år senare är professuren i anläggningsteknik vakant och fakulteten har utnämnt en universitetslärare för att tillfälligt sköta uppgifterna. Donators vilja att säkerställa professuren bör uppfyllas och ämnet har mer än väl fyllt i Åbo Akademis strategier & verksamhetsplaner ställda mål. Professuren torde därför snarast återbesättas.*





*Vy från Vårdberget cirka 1920  
Åbo Akademis bildsamlingar*



*Johan Theodor Lindroos*  
*Ing., tekn.dr.h.c. bergsråd*  
*(1867-1952)*

*Foto: Enbom, Sten (2001), STV 80år.*



# *Professuren i maskinbyggnad vid Åbo Akademi 1929-* *(anläggningsteknik fr.o.m. 1981)*



*Harald Kyrklund  
(1881-1965)  
Förordnad att  
bestrida  
professuren i  
maskinbyggnad  
1929-1933*



*Jarl Salin (Kuusinen)  
(1898-1974)  
Innehavare av  
professuren i  
maskinbyggnad  
1937-1966  
Förordnad  
1933-1937*



*Bertel Myrén  
(1933-)  
Innehavare av  
professuren i  
maskinbyggnad  
1968-1981  
(anläggningsteknik 1981)  
Förordnad  
1966-1968*



*Mauri Soininen  
(1922-1997)  
Innehavare av  
professuren i  
anläggningsteknik  
1984-1985  
Förordnad  
1981-1985*



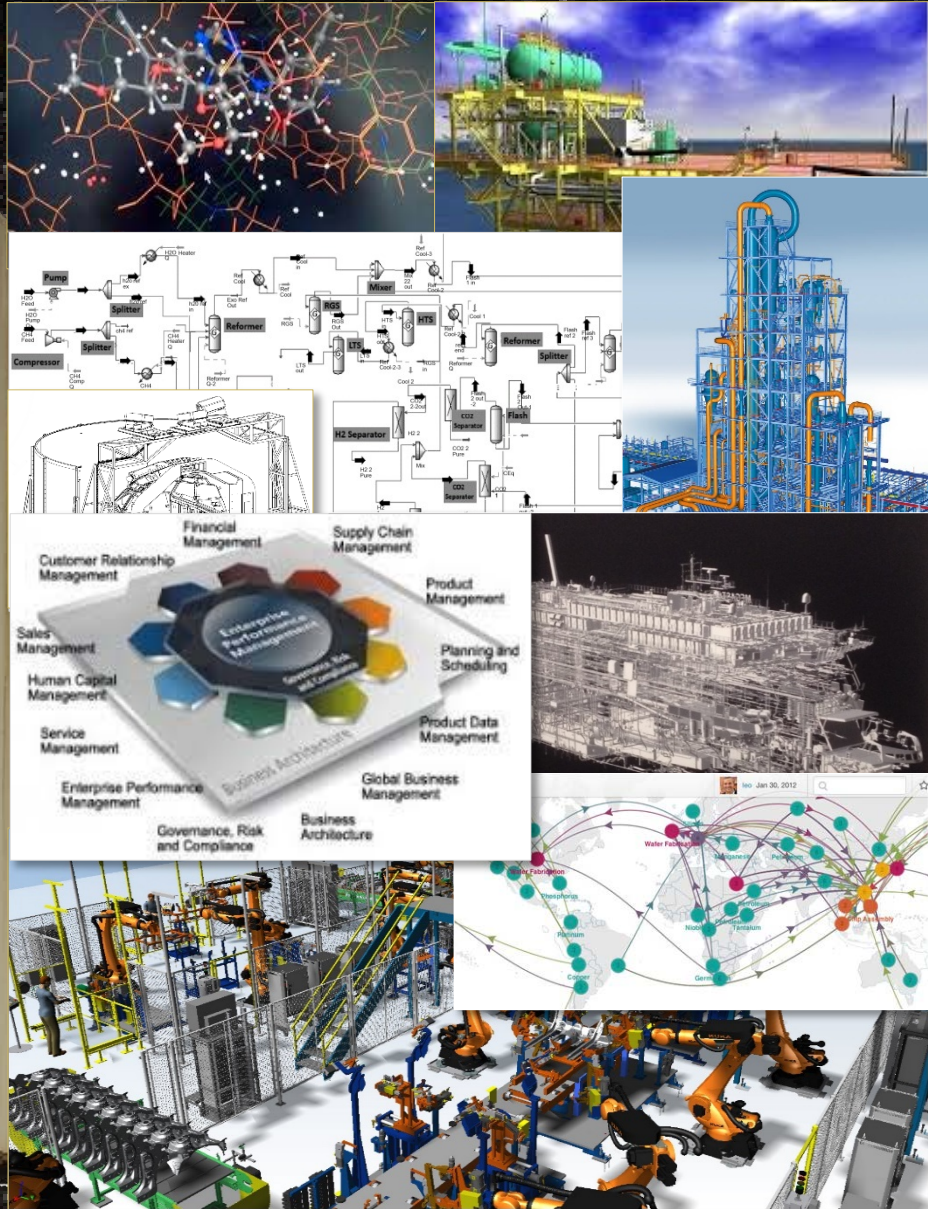
*Tapio Westerlund  
(1949-)  
Innehavare av  
professuren i  
anläggningsteknik  
1986-2017  
Förordnad  
1985-1986*

Några avslutande ord !

Problemställningar som man för några decennier sen bara kunde drömma om att lösa, kan idag lösas med en "knapptryckning" ....

...och potentialen för att kunna lösa ofantligt mycket mer avancerade problemställningar är enorm !

Jag hoppas därför att ämnet ges tillräckliga resurser för att också i framtiden framgångsrikt kunna vara med som en länk i den här fantastiska utvecklingen !





*Slutord från TWs installationsföreläsning 1987-01-23*

*"Ledstjärnan i all tillämpad forskning  
borde vara att söka efter de fundamentala  
aspekterna och i all fundamental forskning  
söka efter tillämpningarna."*

**Tack för  
uppmärksamheten !**

*...och stort tack även till alla  
examensarbetare och kolleger som  
deltagit i den här resan under åren...*



*Kapudden (Cape Point)  
November 2016*

[Some details](#)