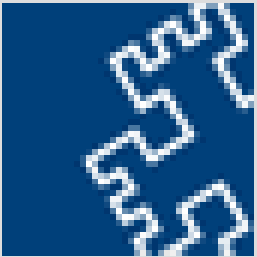


# Voimalaitosten kehittyneet säädöt ja prosessien energiatehokkuus



**Enso Ikonen**

**Systemitekniiikan laboratorio**

<http://cc.oulu.fi/~posyswww>, [cc.oulu.fi/~iko](http://cc.oulu.fi/~iko)

Automaatio energiatekniikassa

- 1. Tekoälyn sovelluksia  
voimalaitosautomaatiossa**
  2. NOCOBI-hanke
  3. Keiton energiatehokkuus
- Yhteenveto

# Systemitekniiikan laboratorio

PYOSYS

Oulun yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto:

Kemiallisen prosessitekniikan laboratorio

Lämpö- ja diffuusiotekniiikan laboratorio

Kuitu- ja partikkelitekniikan laboratorio

## Systemitekniiikan laboratorio

- säätöteorian & prosessiautomaation tutkimus ja opetus

Säätötekniikan laboratorio

Prosessimetallurgian laboratorio

Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio

Teollisuuden ympäristötekniikka

Bioprosessitekniikan laboratorio

# Automaatio energiatekniikassa

- Voimalaitosautomaation haasteita
    - Tarkkuus ja ketteruus
      - alas/ylösajot
      - käytöt vajaateholla
    - Optimaalisuus ajotavoissa
      - laitoksen ajotavat
      - laitosten roolit / polttoaineet
    - Operoinnista ja kunnossapidosta käynnissäpitoon
      - säädön indeksit vs. prosessi- ja kunnonvalvonnan diagnostiikka
  - Prosessien energiatehokkuuden haasteita
    - Laatusäätö
      - monitorointi
      - säätö häiriön alkulähteillä
    - Negawatit
      - energian (lämmön) talteenotto
- Fysikaalisten mallien hyödyntäminen
  - Suurten informaatiomäärien työstö

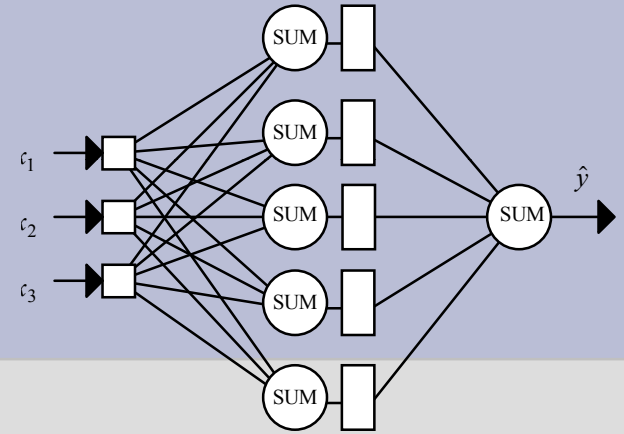
# Automaatio ja tekoäly

E. Ikonen et al.: *Artificial intelligence-based modeling and control of fluidized bed combustion*

- Automaation haasteita
  - epälineaarisuudet
  - oppivat systeemit
  - suuret datamäärät
  - laajojen systeemien optimointi
  - epävarmuuksien käsittely
  - dynaamiset systeemit
- Tekoälyn menetelmiä
  - Sulautuneet..**
    - Neuro-sumeat tekniikat, geneettiset algoritmit, ...
    - Monimallitekniikat
    - Tilassa/ajassa paikalliset mallit, *just-in-time*
  - Tulossa?**
    - Populaatioperustaiset ja/tai satunnaistekniikat
    - Markovin ketjut, ADP, RL, reinforcement-oppiminen
    - K—L divergenssi, Gaussin Prosessit, Bayesilainen päättely

# Tekoälytekniikoiden sovelluksia 1/3

## Neuro-sumeat tekniikat



### ANFIS

Takagi-Sugeno fuzzy  
sigmoid neural networks

Kohonen SOM

RBF, CMAC

Keskeisiä piirteitä:

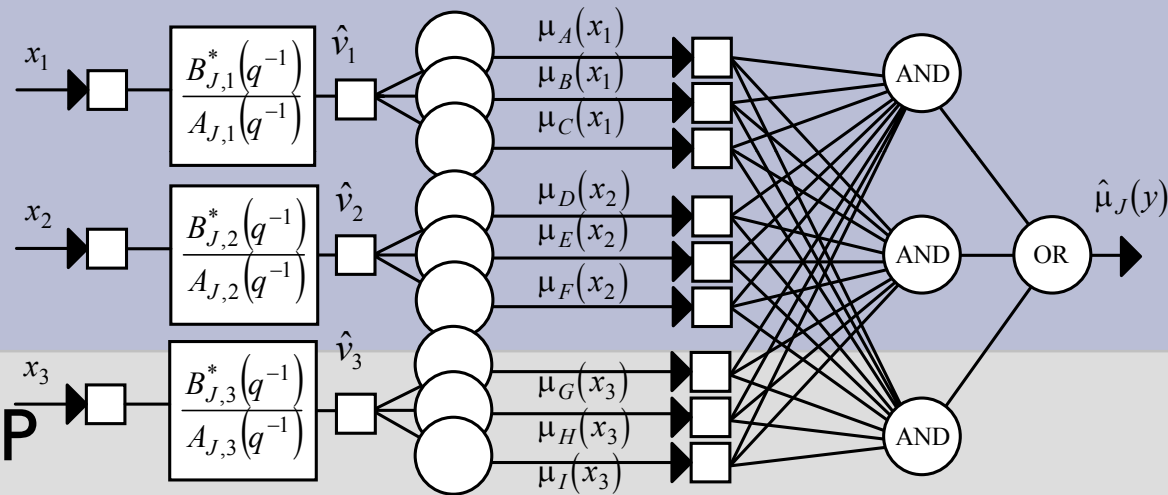
- kantafunktioverkko-rakenne
- esimerkeistä oppiminen
  - kytkennät / itseorganisoituminen
  - suurten datamäärien käsittely

- **Mitä haetaan**
  - oppiminen datasta
  - epälineaarisuus
  - läpinäkyvyys
- **Mihin sovelletaan**
  - mallinnus, identifiointi
  - monitorointi
  - asiantuntijajärjestelmät
- **Ongelmia**
  - analyysi, säätö
  - bias-varianssi dilemma
  - epävarmuuksien käsittely

# Tekoälytekniikoiden.. 1/3

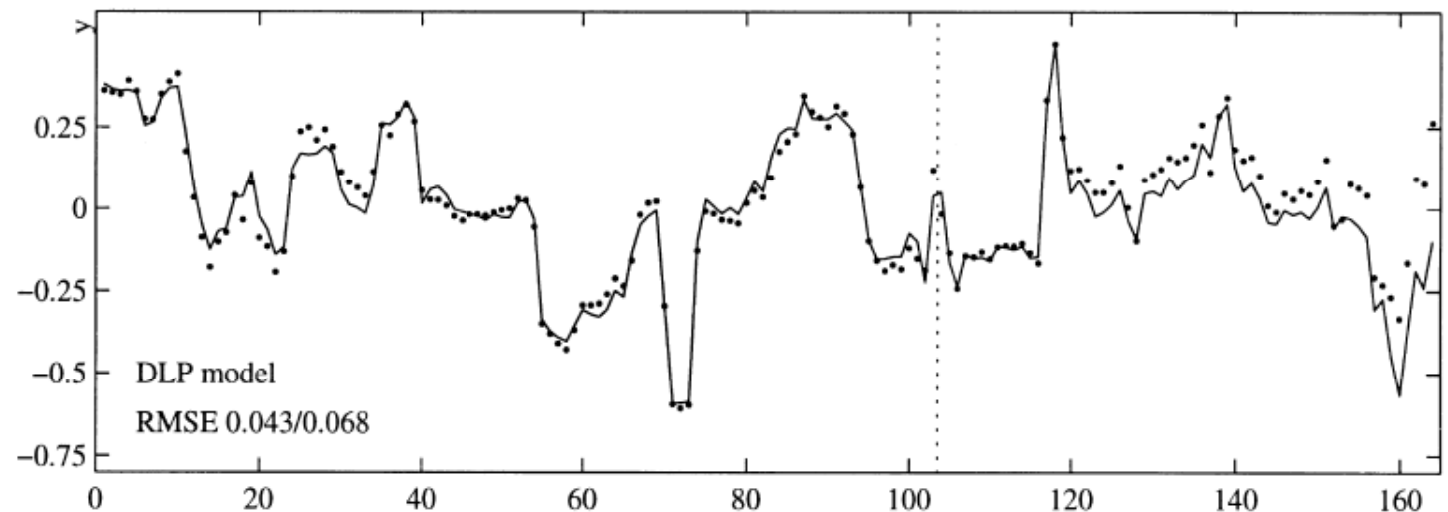
## Neuro-sumeat

- sumea relaatiomalli DLP
- oppiminen datasta vs. tulkinta sääntöinä



- FBC NOx mallinnus

IF		$c_{O_2}$ IS HIGH
	AND	$t_r$ IS NOT LONG
OR		$c_{O_2}$ IS NOT LOW
	AND	$c_{O_2}$ IS MED
	AND	$t_r$ IS NOT LONG
THEN		$c_{NO_x}$ IS HIGH

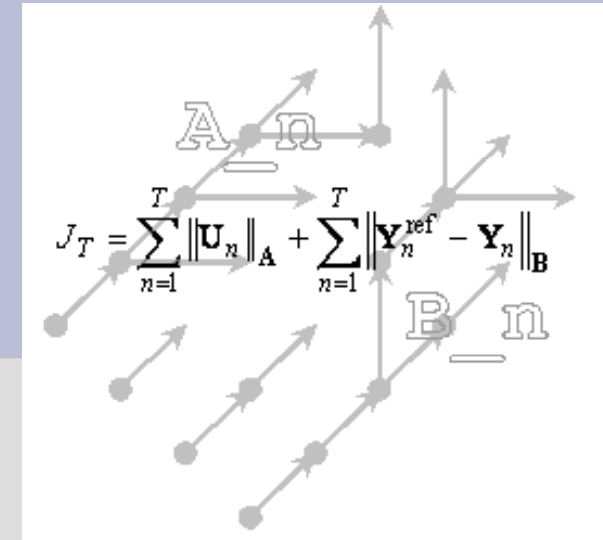


# Tekoälytekniikoiden sovelluksia 2/3

## Populaatiooperustainen satunnaishaku

partikkelifiltterit  
geneettiset algoritmit  
AA, GDT

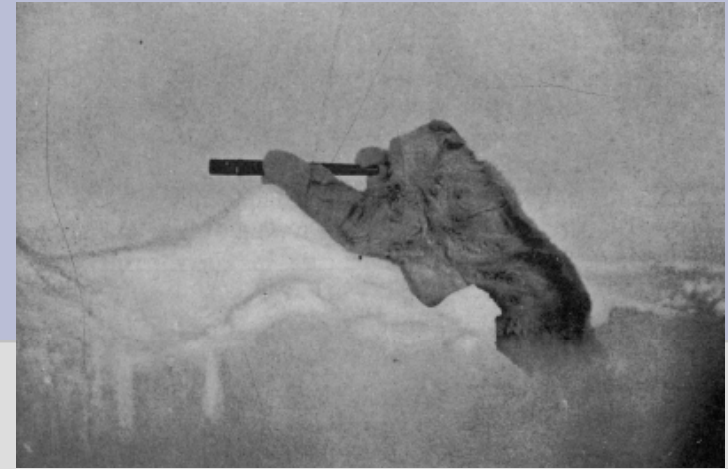
- Tyypillisiä piirteitä
  - satunnaisuus hakuavaruudessa
  - jakauman esittäminen partikkelipilvenä/parvena
  - populaatiooperustainen optimointi
    - evoluutio: parhaat selviytyvät jatkoon



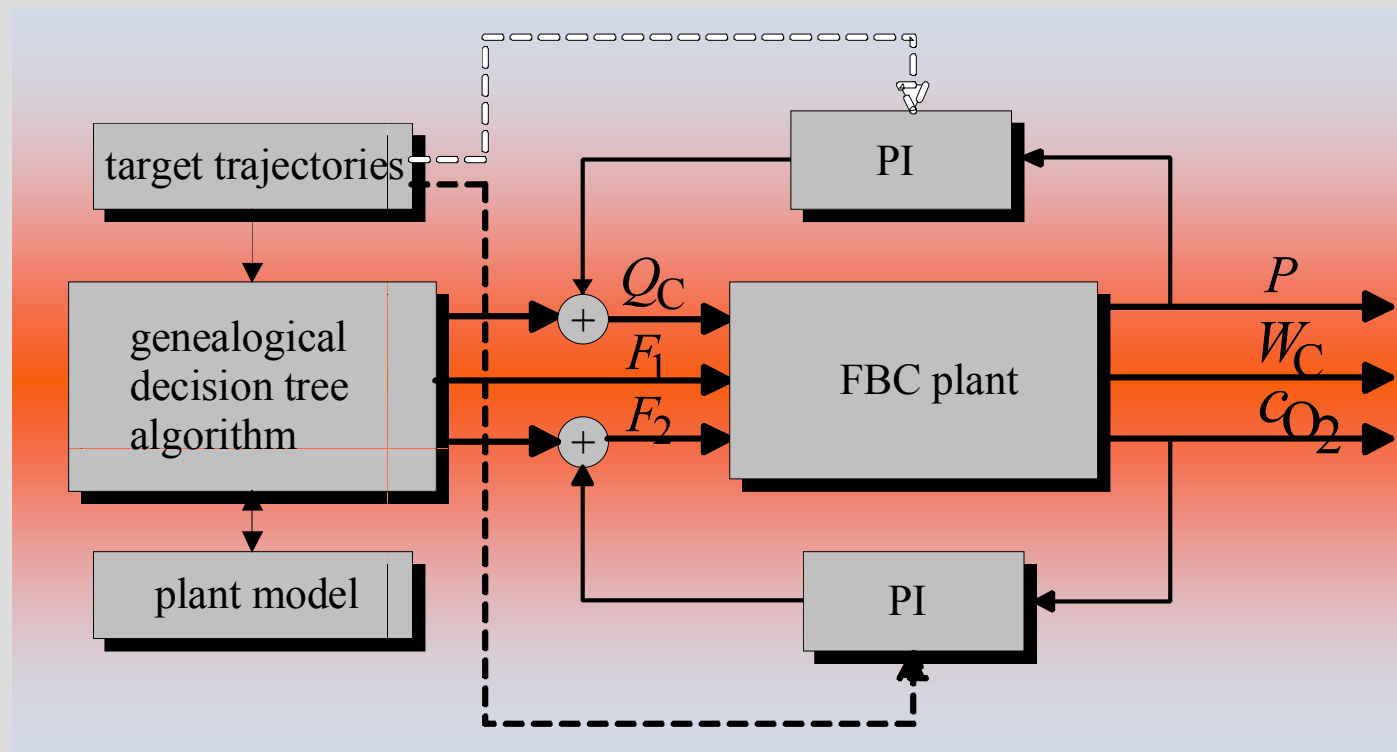
- Mitä haetaan
  - optimaalisuus,
  - epälineaarisuus
  - laajat systeemit
- Mihin sovelletaan
  - laajat optimointitehtävät
  - tilaestimointi, monitorointi
  - tuotannon ohjaus
- Ongelmia
  - raskas laskenta
  - mallipohjaisuus
  - epävarmuuksien käsittely

# Tekoälytekniikoiden sovelluksia 2/3

## Populaatiooperustainen satunnaishaku



- Genealogiset päätöksentekopuut
- Partikkelifiltertien sovellus duaaliongelman => optimisäätö
- FBC tulipesän MIMO-säätö
- trajektorin optimointi
- ei-mitattavan suureen säätö (petivarasto)
- perinteinen regulointi (PID)





# Tekoälytekniikoiden sovelluksia 3/3

## Ohjatut äärelliset Markovin ketjut

$$P_X^{a(k+1)} = P_X^{a(k)} P_X^{a(k)}$$
$$Q_s^a(i) = r_s^a + \gamma \sum_{s' \in S} P_{s',s}^a J_s^*(i)$$

- Keskeisiä piirteitä
  - diskretointi
  - tn. tilasiirtymät
  - Bellmannin optimaalisuusperiaate

MDP  
Q-learning  
RL, ADP

- Mitä haetaan
  - optimaalisuus
  - epävarmuudet
  - epälineaarisuus
  - dynaamiset systeemit
  - oppiminen datasta
- Mihin sovelletaan
  - mallinnus / ennustus
  - säätö, optimointi
- Ongelmat
  - diskretointi
  - raskas laskenta
  - dimension ja mallinnuksen kirous

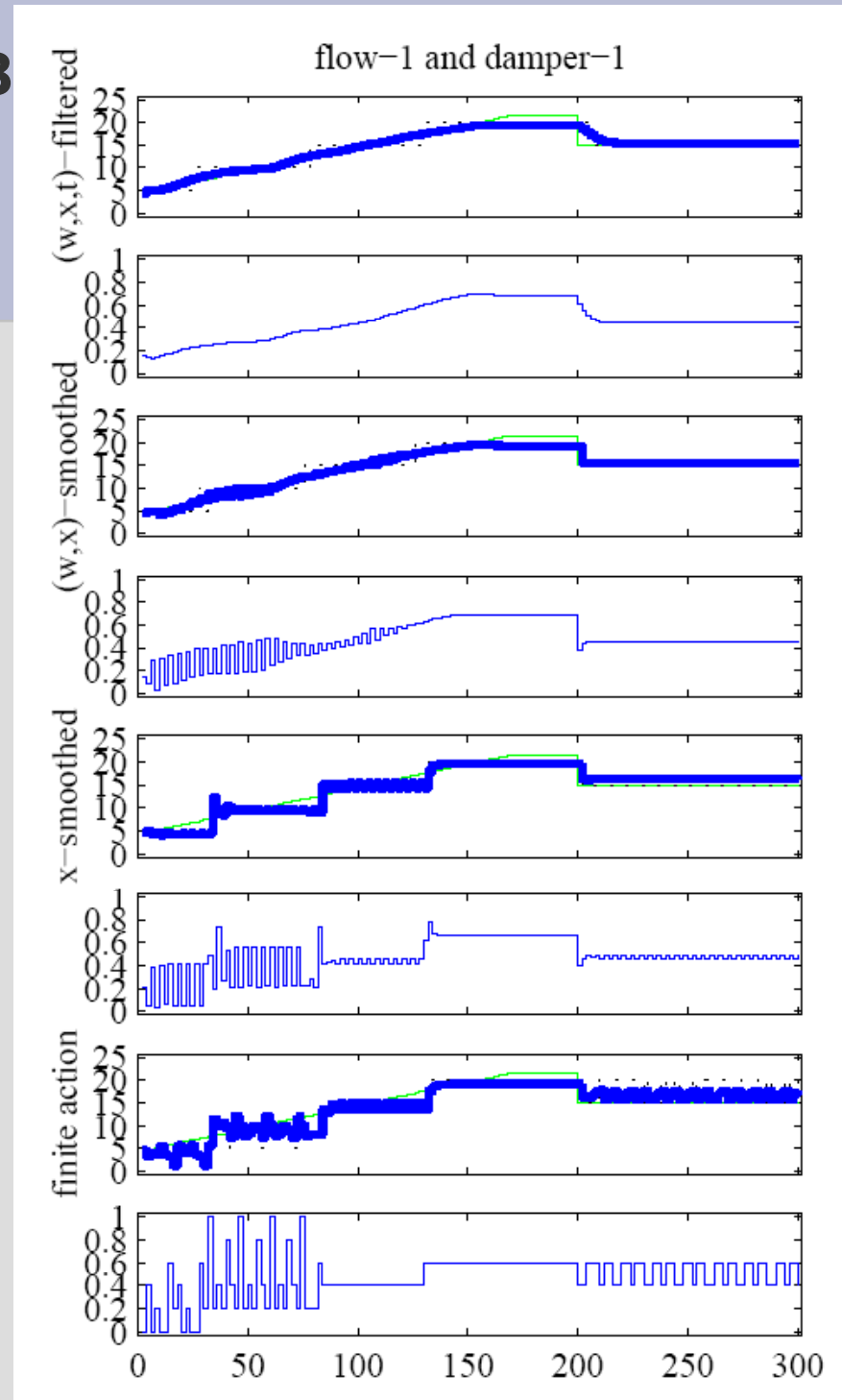


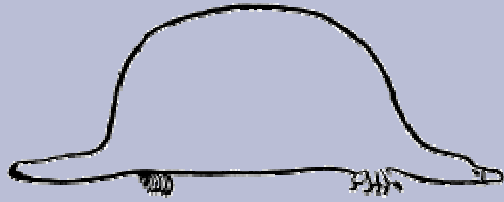
Esher (1998). Frog

# Tekoälytekniikoiden sovelluksia 3/3

## Ohjatut äärelliset Markovin ketjut

- CFMC / MDP
- FBC sekundaari-ilmojen optimisäätö
- 4x4 monimuuttujasäätö
  - puhallin + 3xpeltili
  - paine + 3xvirtaus
- mallintamisen kirous
  - todennäköisyssiirtymän matriisit identifoidusta mallista
- dimension kirous
  - tila & aika -suodatus



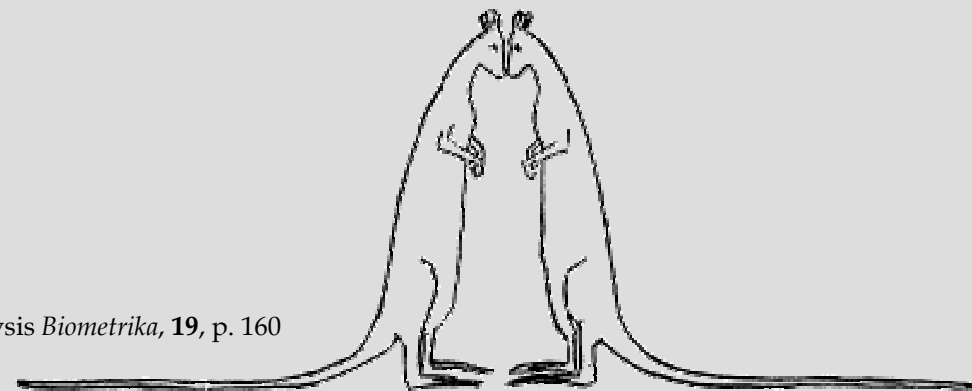
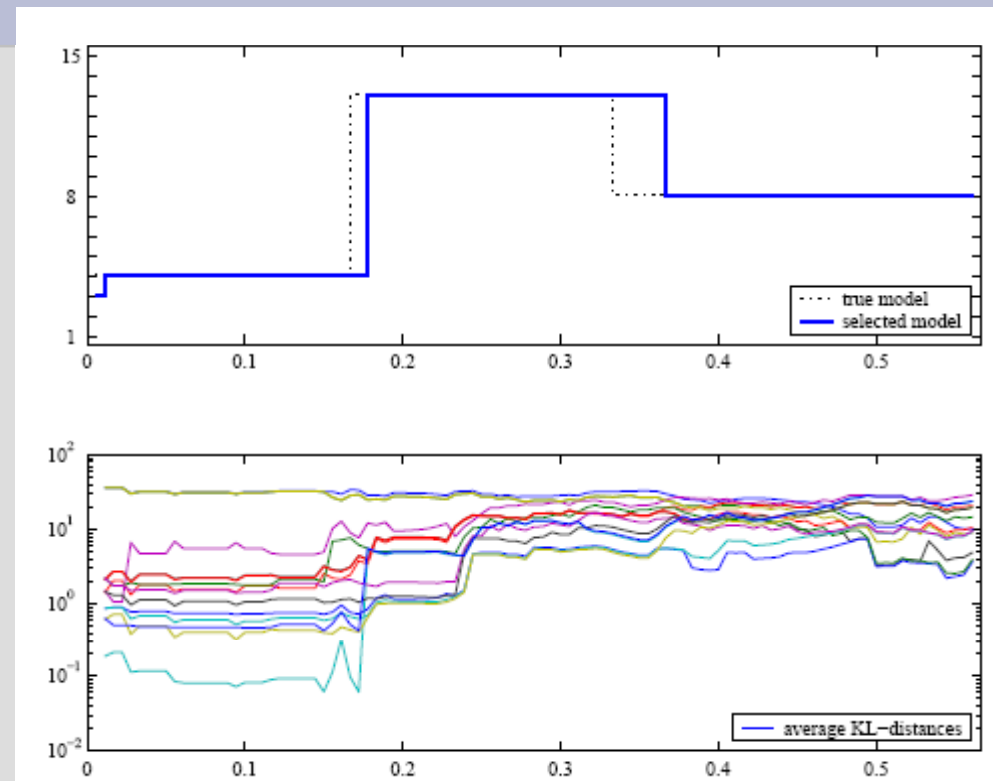


# Tekoälytekniikoiden sovelluksia 3/3

## Kullback—Leibler divergenssi

K—L, tv, GP

- jakaumien vertailu
- monimallitekniikat
  - havaitun käyttäytymisen vertailu mallipankkiin
    - mallit poikkeavat epävarmuuksiensa suhteen
  - adaptiivinen säätö
- Sovelluksia (?)
  - polttoainesyötön / palamisen hallinta
  - kunnossapito



# Tekoälyn sovellukset tulevaisuuden energiantuotannossa

- Voimalaitosautomaatio
  - monipolttoainejärjestelmien säätö ja optimointi
    - polttoainemixin ja palamisen monitorointi ja säätö
  - päästöjen mallinnus ja optimointi
    - savukaasujen mittaus ja monitorointi
  - ketteryys ja tarkkuus
  - *plant wide control*
- Energiantuotannon uudet prosessit
  - monitorointi
  - tilaestimointi
  - säätö
  - ohjaus
  - optimointi
  - kunnossapito
- Energian tuotannon ja jakelun optimointi
  - tuotantostrategiat
  - verkon ylläpito

# NOCOBI – tavoitteet

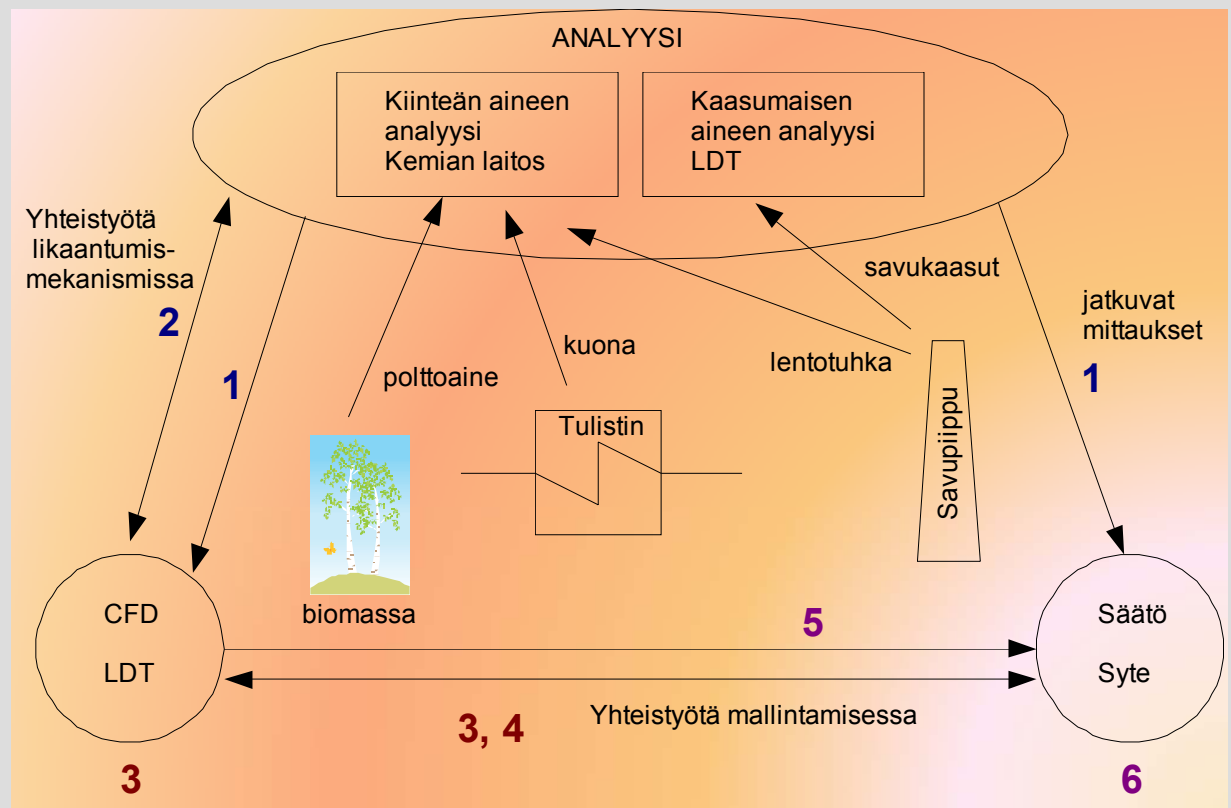
K. Leppäkoski et al.: *An interdisciplinary approach for improving power plant control*

- Suomen Akatemian hanke: ”*Novel ways to control the combustion of various biomasses*”
- 2009 – 2012 (1M€)
- Yhteisprojekti
  - Systeemitekniikka (PYO)
  - Lämpö- ja diffuusiotekniikka (PYO)
  - Kemian laitos
- Kattilan likaantumisen ja kuonaantumisen monitorointi
  - kattilan käytettävyyden parantaminen erilaisilla biomassamixeillä
  - uudet mittaukset
  - mallinnus
  - kehittyneet säädöt

# NOCOBI

## Kattilan likaantumisen ja kuonaantumisen monitorointi

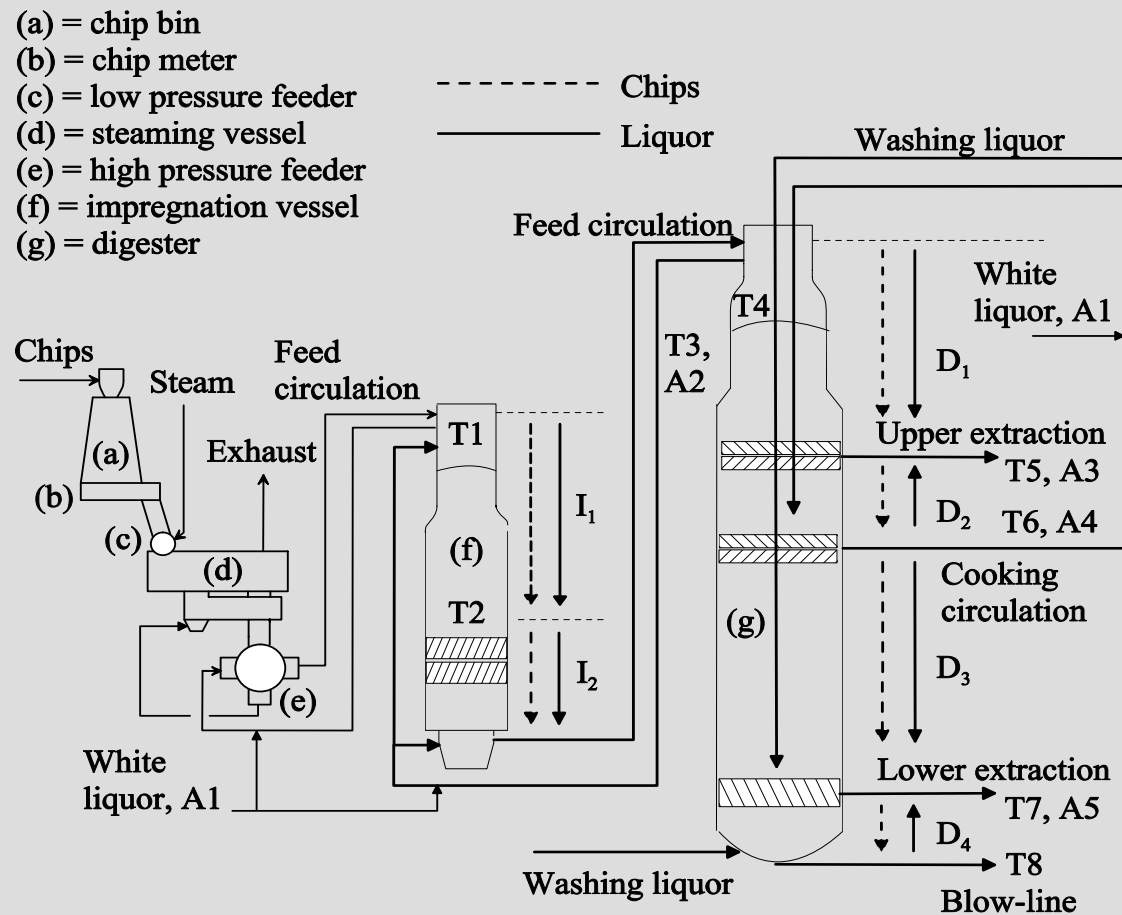
- 1-2 mitatut ja analysoidut polttoaineiden ominaisuudet vs. likaantuminen
  - p.a., tuhka, kuona, savukaasut
- 3-4 ilmiöt tulistimilla ja niiden mallinnus
  - virtausmallinnus (CFD)
  - viritys (GA)
- 5-6 monitorointi ja ohjaus
  - ilmat, lämmöt, p.a., p.a. mix
  - sovellus biomassan polttoon



# Energiatehokkaan keiton säädöt

T. Ahvenlampi et al.: *Improved control of the cooking process reduces energy consumption in Kraft pulping*

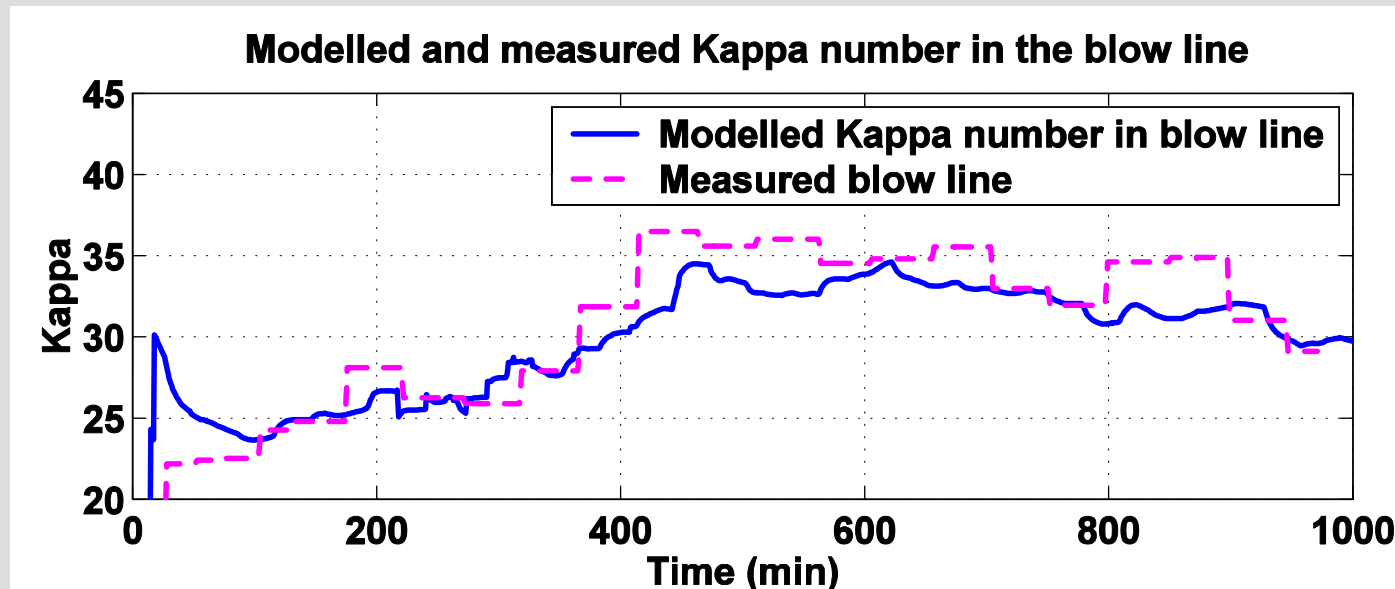
- Keiton säätö
  - alkali, lämpötilat
  - hidas prosessi, viiveet
- Massan parempi saanto & varianssin pienentäminen vaikuttaa jatkoprosesseihin
  - pesun ja valkaisu kemikaalien määrä
  - mustalipeän polton energiatase
- Kappa-luvun mallinnus
  - prosessiviiveen poisto ennustamalla



# Energiatehokkaan keiton säädöt

## Kappaluvun mallinnus

- Imeytyksen ja keiton mallinnus kappaluvun ennustamiseksi
  - viive 2-5 h
- Metsä-Botnia, Kemi





# Yhteenveto ja tulevia haasteita

- Automaation haasteita
  - epävarmuuksien käsittely
  - dynaamiikka
    - laajat oppivat epälineaariset epävarmat systeemit
    - analyysi, optimointi
  - fysikaalinen tietämys mukaan automaatioon
- Prosessien ohjauksen haasteita (energiantuotanto ja -tehokkuus)
  - tarkkuus ja ketteruus
  - *plant wide control*
  - käynnissäpito

Energiatekniikan väitöksiä POSYS-laboratoriosta:

- Selek (2009) TkT, Acta C (tulossa)
- Tervaskanto (2007) TkL, POSYS C3 I
- Benyo (2006) TkT, Acta C236
- Leppäkoski (2006) TkT, Acta C257
- Rantanen (2006) TkT, Acta C25 I
- Kovacs (1998) TkT, Acta C1 I2
- Ikonen (1997) TkT, Acta C95

Katsaus:

- Ikonen & Kovacs (2007) In Kalogirou (Ed) *Artificial Intelligence in Energy and Renewable Energy Systems*, Nova, New York
- <http://cc.oulu.fi/~iko>

Uutta:

- Ahvenlampi, Tervaskanto. *Papermaking research symposium*, 1-4.6.2009, Kuopio.
- Ikonen et al (2009) *IFAC Power Plant & Power Systems Control*, 6-9.7.2009, Tampere.

# Yhteenveto ja tulevia haasteita

- Automaation haasteita
  - epävarmuuksien käsittely
  - operaatioilma
  - laajasti oppimiseen perustuvat epävarmat systeemit
    - analyysi, optimointi
  - fysikaalinen tietämys mukaan automaatioon
- Prosessien ohjauksen haasteita (energiantuotanto ja -tehokkuus)
  - tarkkuus ja ketteruus
  - *plant wide control*
  - käynnissäpito

Energiatekniikan väitöksiä POSYS-laboratoriosta:

- Sele (2009) TkT, Acta C (tulossa)
- Tervaskanto (2007) TkT, POSYS C11
- Lempinen (2006) TkT, Acta C256
- Leppakoski (2006) TkT, Acta C257
- Rantanen (2006) TkT, Acta C251
- Kovacs (1998) TkT, Acta C112
- Ikonen (1997) TkT, Acta C95

Katsaus:

- Ikonen & Kovacs (2007) In Kalogirou (Ed) *Artificial Intelligence in Energy and Renewable Energy Systems*, Nova, New York
- <http://cc oulu.fi/~iko>

Uutta:

- Ahvenlampi, Tervaskanto. *Papermaking research symposium*, 1-4.6.2009, Kuopio.
- Ikonen et al (2009) *IFAC Power Plant & Power Systems Control*, 6-9.7.2009, Tampere.