

Teoreetikosta insinööritieteiden harjoittajaksi

-mitä systeemiteoria on opettanut minulle

Professori emeritus Arne Halme

Aarnen vaellus

- 1943 Syntyi Helsingissä
- 1950-62 kansakoulu ja oppikoulu
- 1962 TKK sähkö/heikkovirtatekniikka
- 1966 diplomi-insinööri
- 1967 assistentti TKK
- 1969 tekniikan lisensiaatti
- 1970 akatemian nuorempi tutkija
- 1972 tekniikan tohtori
- 1972 säätötekniikan apulaisprofessori TTK
- 1977 säätö- ja systeemitekniikan professori OY
- 1986 automaatiotekniikan professori TKK
- 2008 akatemian älykkäiden koneiden huippututkimusyksikön johtaja
- 2011 emeritus professori Aalto yliopisto

Mitä ovat insinööritieteet?

- Tieteessä puhutaan paljon *perustutkimuksesta* ja *soveltavasta tutkimuksesta* yleiskäsitteinä ja riidellään niiden olemassaolon oikeutuksesta
- Lähemmin tarkasteltuna nämä käsitteet ovat täysin onttoja ja niitä on vaikea edes määritellä yleisellä tasolla
- Parempi lähtökohta on jaottelu aluksi *analyyttisiin* ja *synteettisiin* tieteisiin niiden perusluonteen eli tutkimuskysymysten motivoinnin mukaisesti.

Analyyttiset tieteet

- Luonnontieteet, suuri osa lääke-, yhteiskunta-, talous- ja humanistisia tieteitä.
- Tavoitteena on täydentää tunnettua maailmankuvaa tai selittää olevaista aiempaa paremmin. Tavoitteen motiivina on ihmislajin uteliaisuus ja tiedon jano ("utelias-apina").
- Esimerkiksi:
 - Selvyyden saaminen kysymykseen minkälainen oli dinosaurusten seksielämä ja kuinka ne parittelivat on hyvin perusteltu tutkimusaihe luonnontieteelliselle tutkimukselle (Scientific America, March 2013)
 - Kuinka galakseissa mahdollisesti olevat mustat aukot syntyvät ja käyttäytyvät on keskeisiä kysymyksiä nykyisessä tähtitieteessä.

Synteettiset tieteet

- Insinööritieteet (tekniset tieteet), kliininen lääketiede, osa yhteiskunta- ja taloustieteitä,...
- Tavoitteena on luoda uutta maailmaa, teknologioita, tuotteita, infrastruktuureita tai tuotantoprosesseja, parantaa ihmisten sairauksia tai kehittää heille uusia apuneuvoja, ohjata yhteiskunnallista ja taloudellista kehitystä,...
- Myös matematiikka voidaan luonteensa vuoksi lukea synteettisiin tieteisiin, koska siinä luodaan uusia rakenteita eikä se sinänsä selitä olevaista.
- Tavoitteen motiivina on ihmislajin konkreettiset tarpeet säilyä ja kehittyä yhä kyvykkäämmäksi ”teknologia-apinaksi”.

Esimerkiksi:

- Miten kehittää uusi laite, joka tuottaa sähköä kemiallisesti sidotusta energiasta ilman pyöriviä koneita?
- Kuinka rakennetaan ihmismäisesti käyttäytyvä robotti palvelutehtäviin, jotka eivät enää kelpaa ihmisille?

Miten käsitteitä pitäisi käyttää?

- Perus- ja soveltava tutkimus ovat mielekkäitä käsitteitä ainoastaan kun ne ensin liitetään po. tieteenalaan, jonka analyyttinen tai synteettinen luonne ensin tunnustetaan.
- Voidaan puhua esimerkiksi luonnontieteiden perus- ja soveltavasta tutkimuksesta
 - esim. fysiikassa kvanttifysiikan tutkimus on perustutkimusta, mutta materiaalitutkimus on paljolti soveltavaa tutkimusta
- Samoin voidaan puhua insinööritieteiden perus- ja soveltavasta tutkimuksesta
 - esim. bioteknologiassa tuottavan mikrobin ominaisuuksien karakterisointi on perustutkimusta, mutta sen geneettinen modifiointi tuotantotarkoitukseen soveltavaa tutkimusta.

Mikä on käsitteiden ero?

- Raja on häilyvä, mutta ehkä seuraava erottelu voidaan tehdä:
Kullakin tieteenalalla, kun ensin ollaan hyväksytty sen kuuluminen analyyttiseen tai synteettiseen perusjoukkoon
 - perustutkimusta on tutkimus, jossa kehitetään menetelmiä tai kerätään perustietoa pääkysymyksen ratkaisua varten. Pääkysymys tunnistetaan, mutta sen ratkaisua ei välttämättä vielä haeta.
 - soveltavaa tutkimusta on tutkimus, jossa päähuomio on pääkysymyksen ratkaisussa. Alan perustutkimuksen tietoja käytetään hyväksi.
- Voiko luonnontieteilijäksi itsensä tunnistava perhostutkija tehdä kumpaakin tutkimusta?
Kyllä voi. Kun hän tutkii perhosten lajiominaisuuksia hän tekee perustutkimusta. Jos hän selvittää esimerkiksi ilmastomuutoksen vaikutuksia jo hyvin tunnetun perhoslajin esiintymiseen, kyseessä on alan soveltava tutkimus.

Vääriä mielikuvia insinööritieteistä

Tieteistä keskusteltaessa insinööritieteet ovat usein lapsipuolen asemassa, koska ne ovat verraten nuoria ja niistä on vallalla paljon vääriä mielikuvia, esimerkiksi:

- Insinööritieteet ovat luonnontieteiden ja matematiikan soveltamista ja tässä mielessä soveltavaa tutkimusta
- Insinööritieteissä ei voi tehdä perustutkimusta
- Insinööritieteissä keksinnöllisyys ja innovaatiot ovat lähtökohtia
- Insinööritieteet eivät ole oikeita tieteenaloja, koska eivät julkaise Naturessa tai Sciencessä.

Perustutkimus insinööritieteissä

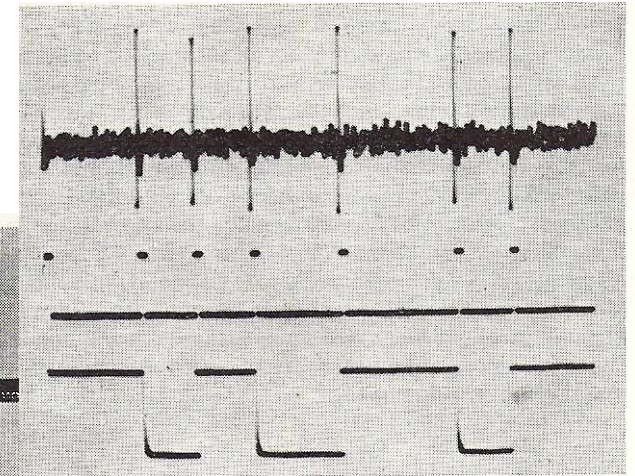
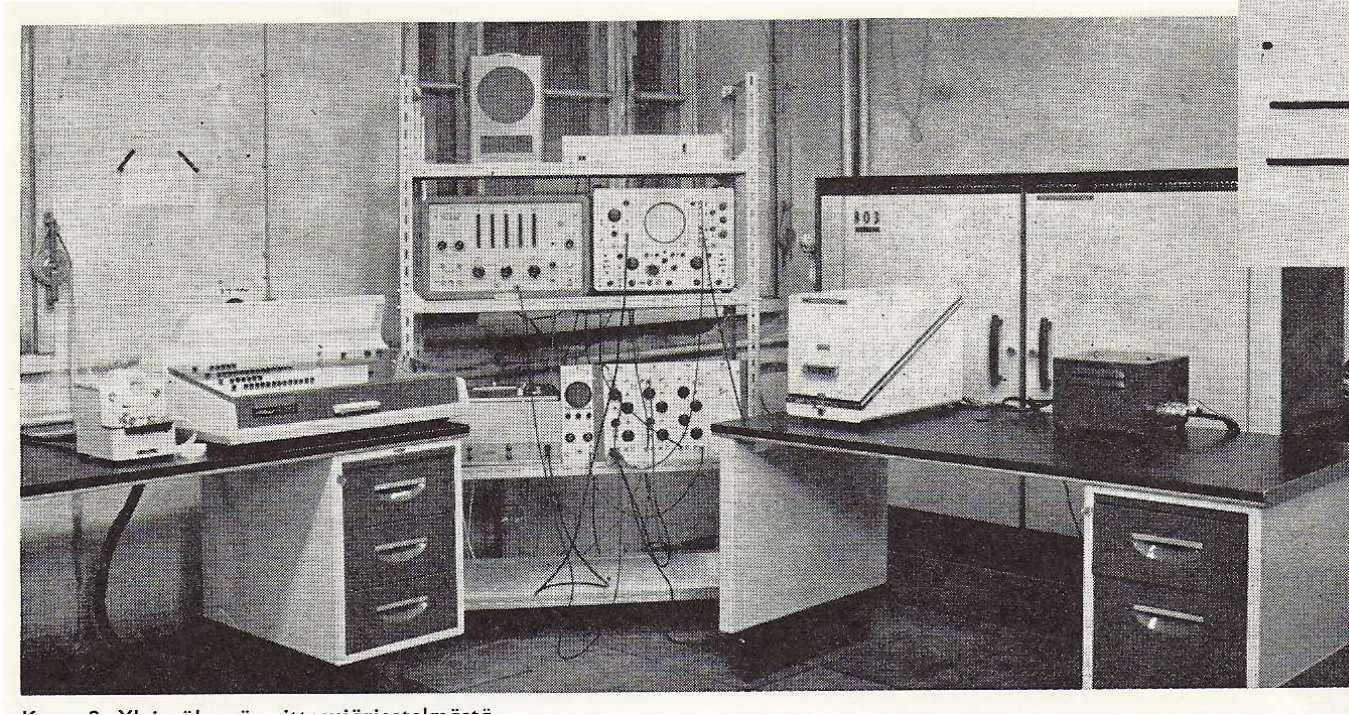
- Insinööritieteissä perustutkimuksella ei tarkoiteta luonnontieteitä tai matematiikkaa, vaan sellaista alan tutkimusta, joka luo perustaa edetä kohti synteettistä päämäärää eli sovellusta
 - tuotteissa
 - suunnittelumenetelmissä tai
 - tuotantoprosesseissa.
- *Systemiteoria* on insinööritieteissä perustutkimusta

Oma kehitykseni ja
systemiteorian merkitys siinä

Teoreettinen kausi

- Diplomityö professori Hans Blombergin säätötekniikan sittemmin systeemiteorian laboratoriossa TKK:ssa -66.
- Assistenttina ja Akatemian nuorempana tutkijana tutkimusryhmässä, joka teki uraa uurtavaa työtä usealla systeemiteorian osa-alueella.
- Itseäni kiinnosti epälineaaristen dynaamisten järjestelmien teoria.
- Vaikutteet väitöskirjaan tulivat Norbert Wienerin -50 luvulla MIT:ssä käynnistämästä tutkimusryhmästä, joka tutki lineaarisen teorian laajennusta Volterran funktionaalien avulla.
- Suurin vaikuttaja oli kuitenkin valtava kiinnostus matematiikkaan

Toimivien tietokoneiden aikakausi alkoi samoihin aikoihin opintojeni kanssa



16. O. Mäkelä, "Tietokoneiden aikakausi alkoi samoihin aikoihin opintojeni kanssa"

Ensimmäinen julkaisu -67

WEDNESDAY, AUGUST 16, AFTERNOON

HALL E

SESSION 25 METHODS IN NEUROPHYSIOLOGY

25-2 Use of an Ordinary General Purpose Computer for Neuronal Impulse Interval Measurement

J. Hyvärinen
Institute of Physiology
University of Helsinki
Helsinki, Finland

A. J. Halme
Automatic Control Laboratory
Institute of Technology
Helsinki, Finland

The statistical analysis of series of neuronal events requires presentation of the data in digital form for computations. The present paper describes an automatic method for the digital measurement of impulse intervals by means of an ordinary general purpose computer.



Fig. 1. Block diagram of the measurement system.

The block diagram in Fig. 1 illustrates the measurement problem. The impulses were recorded in a magnetic tape recorder (signal source); the digital register can be paper tape. The analog-to-digital converter measures the impulse intervals in digital form. In a neuronal impulse sequence, the speed of information transmission exceeds the capacity of a paper tape perforator (transmission channel); direct transmission is thus impossible. The speed of the tape recorder can be slowed down (1), although this results in a great increase in the time needed for measurement. Another alternative is the use of a high-speed digital memory as a "buffer" to balance the capacity differences in the measuring and transmission channels.

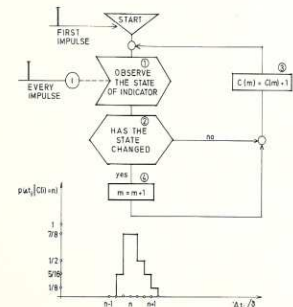


Fig. 2. Construction of the measurement program and the corresponding probability density function characterizing measurement accuracy. Quantizing time (δ) is 2.16 μ s.

A measuring channel (analog-to-digital converter), digital memory and transmission channel is obtainable in an ordinary, general purpose computer by the following means. In a digital computer, the time needed for executing a certain instruction is constant. This property can be employed to measure the time interval between two events recognized by the computer. To bring this about, the signal source is connected to the computer so that each impulse causes a logically recognizable event, e.g. a change in a bistable indicator. The transmission channel is acquired by making use of standard peripheral equipment.

The system described above was put into practice with an Elliott 803 A computer. The output of the tape recorder was fed through a pulse shaper into a bistable multivibrator. The driving board of the computer contains a binary number generator. The control switch of the sign bit of this number generator was replaced by the multivibrator. Thus the sign of the word contained in the number generator was changed by every impulse. A program as described in Fig. 2 was then constructed. The execution time for every block in this program was 720 μ s in this computer, resulting in a quantizing time of 2.16 μ s. Fig. 3 illustrates the measurement apparatus in operation. The method is inexpensive and rapid.



Fig. 3. Measurement apparatus in operation.

From the lower left are seen the computer driving board, tape recorder, pulse shaper, perforator, counter, monitoring oscilloscope and audiomonitor.

1. GLASER, E.N. (1962) IRE Trans. on Bio-Medical Electronics, BME-9, 190-194.

This work has been supported by Suomen Kulttuurirahasto (Finnish Cultural Foundation).

Väitöskirja -72

Ma 24

UDC 62-50:517.948.33:517.43

ACTA POLYTECHNICA SCANDINAVICA

MATHEMATICS AND COMPUTING MACHINERY SERIES No. 24

Polynomial operators for nonlinear systems analysis

AARNE HALME

Helsinki University of Technology, Otaniemi, Finland

HELSINKI 1972

29

The proof of Lemma 2 can be found with little modifications in [26, p. 100] in the case where $k = 2$. The extension to the general case is obvious and the proof is therefore omitted here.

Theorem 1 (local inverse theorem). Let U and V be normed spaces and either of them moreover a Banach space. Let $P \in \mathcal{P}(U, V)$ be a polynomial operator with component representation $P = \sum_{k \in \mathbb{N}} H_k$ and with $\deg P \geq 2$. Suppose that

- 1) there exists a bounded inverse $H_1^{-1} \in \mathcal{B}\mathcal{H}_1(V, U)$,
- 2) $P - H_1 \in \mathcal{B}\mathcal{P}(U, V)$.

Then

- a) the domain of the inverse $(P|S(q))^{-1}$, which exists according to Lemma 1, contains an open sphere $S(r) \subset V$ where

$$r = \frac{1}{|H_1^{-1}|} \left(q - \sum_{k \in \mathbb{N} - \{1\}} |H_k| q^k \right) = q \sum_{k \in \mathbb{N} - \{1\}} (k-1) |H_k| q^{k-1}, \quad (2)$$

(q defined by Equation (1)). The restriction $(P|S(q))^{-1}|S(r)$ is a continuous analytic operator, whose homogeneous components $G_1 \in \mathcal{B}\mathcal{H}_1(V, U)$, $G_2 \in \mathcal{B}\mathcal{H}_2(V, U)$, ... are defined by

$$\begin{aligned} G_1 &= H_1^{-1}, \\ G_k &= -H_1^{-1} \circ \left(\sum_{j \in \min\{k, n\} - \{1\}} \sum_{\substack{i_1, \dots, i_j \in \mathbb{N} \\ i_1 + \dots + i_j = k}} p_j(H_j) \circ (G_{i_1}, \dots, G_{i_j}) \right) \end{aligned} \quad (3)$$

when $k \in \mathbb{N} - \{1\}$,

- b) the series $\sum_{k \in \mathbb{N}} G_k|S(\bar{r})$ has the following properties:

- b1) It converges uniformly and normally.¹⁾
- b2) For every $a \in [0, r]$ we have

$$\left\| \sum_{k \in \mathbb{N}} G_k(x) \right\| \leq c_1(a) \leq q$$

for each $x \in \bar{S}(a)$, where $c_1(a)$ is equal to the smaller nonnegative root of equation

$$\alpha = |H_1^{-1}| a + |H_1^{-1}| \sum_{k \in \mathbb{N} - \{1\}} |H_k| \alpha^k. \quad (4)$$

Proof (see also [23]). Suppose in the following that V is a Banach space. The case where U is a Banach space can be proved with little modification and is passed over here

¹⁾ The term 'normally' means that series $\sum_{k \in \mathbb{N}} \sup_{x \in \bar{S}(\bar{r})} \|G_k(x)\|$ converges (see [26, p. 128]).

Väitöskirjassa kehitettyä teoriaa sovelsin vaihtelevalla merestyksellä...

- Epälineeeristen säätöalgoritmien kehitykseen
- Uudentyyppisen ratkaisun hakemiseen ns. laajennettuun Kalman-suodatinongelmaan.

Samalla kuitenkin suhtautumiseni käytännön insinööriongelmiin alkoi muuttua...

- Teoria on hyvä työkalu, mutta työkalu täytyy valita ongelman mukaan eikä päinvastoin!



Teorian merkitys

Systemi- ja säätöteoria antaa vahvan matemaattisen taustan ymmärtää dynaamista maailmaa ja sen ilmiöiden ohjausta.

Se ei kuitenkaan pysty korvaamaan insinööri-järkeilyä, jonka perusteella ymmärretään teknisten järjestelmien toiminnallisuus.

Toiminnallisuuden ymmärtäminen on avain synteettiseen ajatteluun, joka on puolestaan avain insinööritieteisiin.

Synteettisen ajattelutavan merkitys

Biologiset prosessit suuntasivat oman ajatteluni käytännön maailmaan

1960-luvun lopulla ja -70-luvun alussa tietoisuus vesistöjen tilan huonontumisesta alkoi herätä ja jätevesien biologista puhdistusta kehitettiin voimakkaasti. Tämän myötä myös puhdistusprosessien automaatio ja ohjaus alkoi kiinnostaa.

Pekilo-prosessi

1970-luvun puolessa välissä energiakriisin jälkeen mikrobiologinen proteinin tuotanto oli suuren kiinnostuksen kohteena ympäri maailmaa.

Tähän boomiin Suomessa kehitettiin Pekilo-prosessi, joka automatisoitiin tietokone-ohjauksella.

Tampellan rakentama Pekilo-prosessi Jämsänkoskella



Avaimet Pekilo-prosessin käyttäytymisen ymmärtämiseen

mixing assumption is a good first approximation and has turned out to be sufficient for most considerations. This assumption can be made independently of the mixing system. The mass balance equations of the basic model are

$$\text{Biomass} \quad \dot{X} = (\mu(S, \bar{C}) - \lambda_d)X - DX \quad (1)$$

$$\text{Substrate} \quad \dot{S} = D(S_0 - S) - \frac{1}{Y_{X/S}} \mu(S, \bar{C})X \quad (2)$$

Nutrients (P, K)

$$\dot{C}_N = D(C_{ND} - C_N) - \frac{1}{Y_{X/N}} \mu(S, \bar{C})X \quad (3)$$

$$\text{Dissolved} \quad \dot{C} = K_L a (C^* - C) - DC - \rho O_2 CON \quad (4)$$

$$\text{Oxygen} \quad \mu(S, \bar{C}) = \beta \frac{S}{K_S + S} \frac{\bar{C}}{C + K_C} \quad (5)$$

$$\bar{C} = \frac{K(1+X/K_S)^{-1} C^* + C}{K(1+X/K_S)^{-1} + 1} \quad (6)$$

$$\rho = \frac{E}{K(1+X/K_S)^{-1} + 1} \quad (7)$$

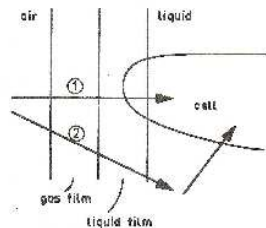


Fig. 3. Oxygen transfer mechanism. In the Pekilo-process, 1 indicates the direct transfer path and 2 the path via the liquid.

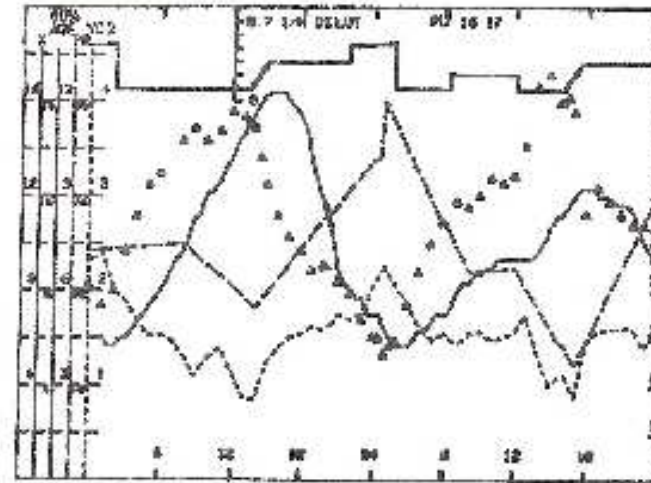


Fig. 8. An example of pretreated data. Following variables are shown: measured biomass concentration (X), protein (PR), oxygen yield (Y_{O2}), mycellum mean age (80% AGE) and dilution rate (D).

Pekilo-prosessi herätti aikanaan mailmanlaajuista kiinnostusta

- Se oli teknologiaharppaus, jota ei oltu aikaisemmin tehty tehdasmittakaavassa
- Tutkimusryhmämme pääsi ratkomaan muutamia keskeisiä kysymyksiä sen ohjaamisessa ja rakentamaan yhden mailman ensimmäisiä tietokonejärjestelmiä tällaisille prosesseille.
- Projektin aloittamispäätös lienee ollut vahinko, koska ei voitu ymmärtää kuinka vaikea sen toteuttaminen oli. Sisulla se saatiin loppuun – vastaava “strategia” lienee monen muunkin suomalaisen kehityshankkeen takana.
- Vaikka prosessista ei tullut kaupallista menestystä, niin siihen kehitetty tietokoneohjaus jäi elämään ja löysi markkinoita.

Prosessiautomaation murros

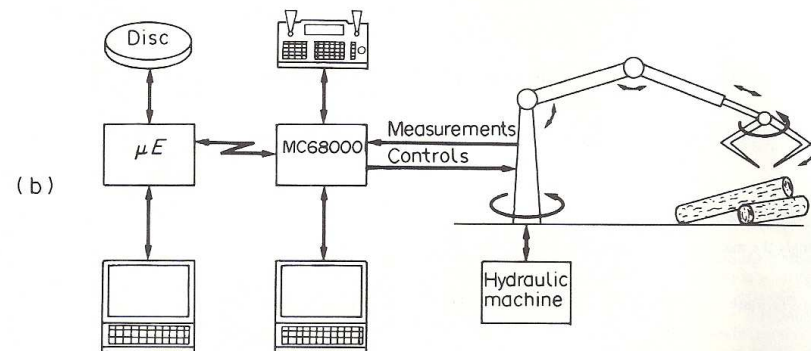
- Ouluun siirryttyäni tutkimus suuntautui yhä enemmän ongelmalähtöisen sovelletun insinööritieteen suuntaan, keskittyen aluksi prosessiautomaatioon.
- Prosessiautomaatiossa tapahtui 1970-80 lukujen vaihteessa merkittävä murros kun siirryttiin hyvin nopeassa aikataulussa täysin digitaalisiin automaatiojärjestelmiin.
- Tutkimusryhmämme osallistui Valmet Oy:n Damatic (Classic) järjestelmän kehitystyöhön, joka oli aikansa mittavimpia IT-hankkeita Suomessa.

Kappaletavarateollisuuden automaatio uudistuu

- Yksi suuria haasteita 1980-luvulla oli kappaletavarateollisuuden – lähinnä konepajojen – tuotantojärjestelmien – automaation uudistaminen.
- Siirtyminen solutyypisiin tuotantojärjestelmiin ja JOT-tuotantofilosofiaan tapahtui Suomessa hieman jälkijättöisesti, mutta lopulta varsin onnistuneesti.
- Onnistumista tuki hienosti vastaperustetun TEKES:n yksi ensimmäisistä teknologiaohjelmista (kappaletavara-automaatio 1985-88), jonka vastaavana johtajana toimin.

Koneiden automaatio

- Kiinnostukseni konetekniikkaan ja koneiden automaatioon – robotiikkaan - heräsi mainitun TEKES:n teknologiahankkeen myötä.
- OY:n laboratoriossani käynnistettiin vuorovaikutteisen robotiikan tutkimushankkeiden sarja, joka jatkui vielä takaisin TKK:hon siirryttyäni.
- Tutkimus oli silloin etuajassa ja soti robottien käytön yleistä filosofiaa vastaan – nykyään se on yksi tutkituimpia aiheita robotiikassa.

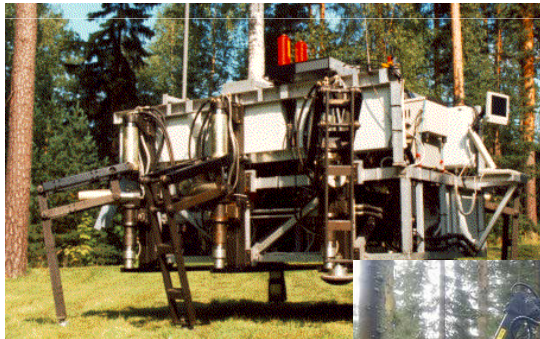


Automaatio tuotteissa

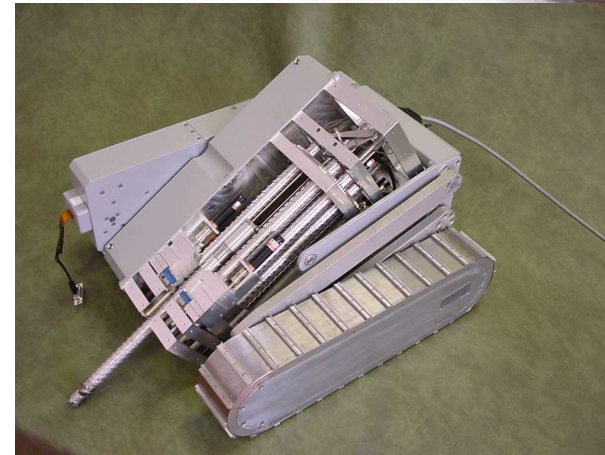
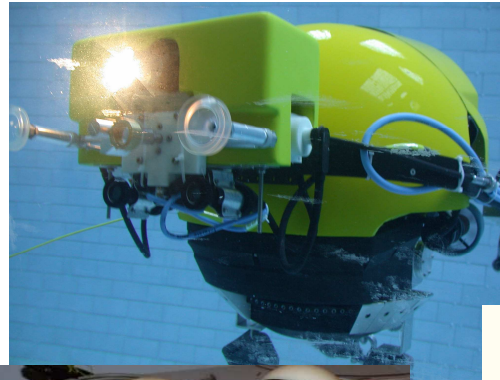
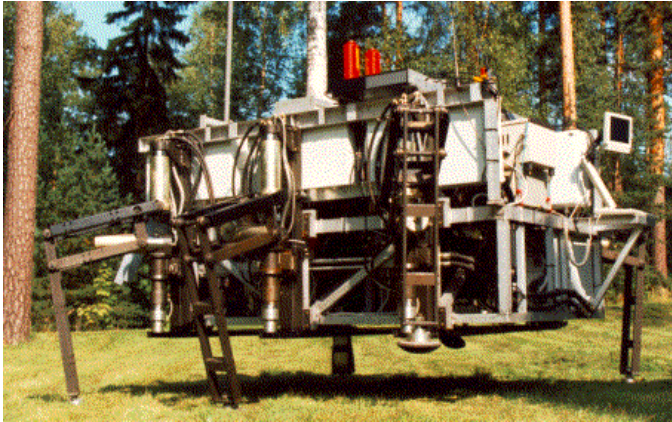
- 1980-luvun puolen välin jälkeen kiinnostus lisäarvon tuomiseen koneenrakennuksen tuotteisiin automaation keinoin kasvoi voimakkaasti.
- Liikkuvat työkoneet olivat se osa-alue, johon kiinnostus Suomessa luontevasti kohdistui vahvan yrityssektorin myötä.
- Tampere oli ja on tämän alan kehto Suomessa, joten yhteistyö siihen suuntaan jälleen vahvistui.

Kaksi avainhanketta

- EU:n ESPRIT II ohjelman PANORAMA-hanke
- autonominen liikkuminen 1989-1994
- Kävelevä metsäharvesteri 1988-1993



Tutkimus jatkui erilaisten robottien parissa



Älykkäiden koneiden huippuyksikkö

- 2006 muidostimme yhdessä prof. Matti Vileniuksen TTY:ssä olevan IHA-laitoksen kanssa GIM (Generic Intelligent Machines) tutkimusryhmän, joka sai Suomen Akatemian huippututkimusyksikön statuksen 2008-13.
- Yksikkö tutkii ja kehittää seuraavan sukupolven älykkäiden liikkuvien työkoneiden ja robottien teknologiaa pyrkien kansainväliselle huipulle ja samalla tukemaan kansallista alan teollisuutta.



Onko alkuaikojen innostus systeemiteoriaan pysynyt mukana?

- Systeemiteoria on edelleen merkittävässä roolissa tutkimuksessa ja opetuksessa, mutta ei samalla tavalla kuin uran alkuaikoina.
- Insinööritieteen harjoittajana näen nyt siihen kuuluvan synteettisen eli uutta tekniikkaa luovan tavoitteen tärkeimpänä motiivinani.
- Aiemmin kunnolla opiskeltu matemaattinen teoria antaa siihen hyvän selkänojan.



Lopuksi huolestuneita ajatuksia tekniikan
tutkimuksen ja opetuksen nykytilasta

Aalto-yliopisto

- Aalto-yliopisto on TKK:n manttelin perijä – niin sanotaan
- Monessa suhteessa sen tavoitteet ja arvot ovat kuitenkin toiset kuin TKK:n
- Siinä missä TKK korosti korkeatasoista insinöörikoulutusta ja yhteistyötä kotimaisten yritysten kanssa Aalto korostaa kansainvälistymistä ja kansainvälisen perustutkimustiedon tuottamista.
- Käytännössä tämä merkitsee yhteistyön kaventumista yrityselämän kanssa ja insinööritieteiden painottumista pelkkään kansainvälisen tason perustutkimukseen.
- On aika herätä, jos Teknillinen korkeakoulun rooli yhteiskunnassa halutaan säilyttää!

Yliopistojen hallinnointi

Yliopistouudistuksen myötä olemme jälleen siirtymässä kokeilemaan uusia tapoja hallinnoida yliopistoja ja arvioida tutkimusta, koulutusta ja niiden merkitystä yhteiskunnallemme. Tavoitteena on (kuinkas muuten) pääsy maailman parhaiden yliopistojen joukkoon (maailman pienimmillä budjeteilla).

Aalto-yliopistossa on omaksuttu amerikkalainen hallintorakenne jota on terästetty Nokialaisella henkilöstöhallinnolla.

Tämä merkitsee jatkuvia YT-neuvotteluita ja tutkimusryhmien asettamista tenure-track "slotien" sanelemiin standardimuotteihin.

TUHOISAA!

Uudet mittarit

Mittaamisesta erilaisilla indekseillä on tullut tapa, jolla pyritään objektiivisesti erottamaan hyvä ja tärkeä tutkimus ja sitä tekevät henkilöt vähemmän hyvistä ja vähemmän tärkeästä tutkimuksesta.

Aalto-yliopistossa päivän sana on h-indeksi. Professoriksi ei voida nimittää, jos $h < 8$.

Jos olet Suomen kansalainen, tilanne on myös hyvin vaikea, koska henkilökunnan 30% tavoitteellinen ulkomaalaiskiintiö ei tästä parane.

Sinänsä hyvä, mutta löytyykö insinööritieteille sellaiset mittarit, jotka ottavat huomioon sen kokonaisuuden, joka muodostuu välttämättömästä elävästä vuorovaikutuksesta teollisuuden ja elinkeinoelämän kanssa?

Tämä on yksi vanhan kotimme uuden
olomuodon kohtalon kysymyksiä seuraavan
kymmenen vuoden aikana.

Kiitos!