



# FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE  
HELSINKI 1990

757

Erkki Kaila & Hannu Saarenmaa

TIETOKONEAVUSTEINEN PÄÄTÖKSENTEKO  
METSÄTALOUDESSA

Computer-aided decision making in forestry

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
*THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*

Osoite: Unioninkatu 40 A  
*Address:* SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 857 051  
*Phone:*

Telex: 121286 metla sf  
Telefax: (90) 625 308

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Eljas Pohtila
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtionmetsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

*The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and ten research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.*

Erkki Kaila & Hannu Saarenmaa

TIETOKONEAVUSTEINEN PÄÄTÖKSENTEKO  
METSÄTALOUEDESSA

Computer-aided decision making in forestry

Approved on 26.10.1990

SISÄLLYS

ALKUSANAT .....	3
1. JOHDANTO .....	3
2. TIEDONKÄSITTELYN JÄRJESTELMÄTYYPIT .....	5
21. Tiedostonhallintajärjestelmät .....	5
22. Tietokantajärjestelmät .....	6
221. Tietokantojen tekniikka .....	6
222. Älykkäät tietokannat ja käyttöliittymät .....	7
223. Paikkatietojärjestelmät .....	8
224. Metsätietokantoja .....	9
23. Johdon tietojärjestelmät .....	9
231. MIS:n rakenne .....	10
232. MIS:n sovelluksia .....	11
24. Päätöstukijärjestelmät .....	12
241. Päätöstukijärjestelmien käsitteitä .....	12
242. DSS:n rakenne .....	12
243. DSS:n sovelluksia .....	13
25. Tietokoneavusteinen systeemisunnittelu ja sovelluskehittimet .....	13
251. Neljännen sukupolven kielet .....	13
252. Sovelluskehittimen osat .....	14
3. TEKOÄLYN TIETOJÄRJESTELMÄTYYPIT .....	14
31. Tekoäly .....	14
32. Asiantuntijajärjestelmät .....	15
321. Asiantuntijajärjestelmän rakenne ja toiminta .....	15
322. Sääntöpohjaisen tietämyksen esittämisen edut ja haitat .....	18
323. Metsätalouden asiantuntijajärjestelmiä .....	19
33. Mallipohjaiset tietämysjärjestelmät .....	19
331. Asiantuntijan tukijärjestelmät .....	19
332. Oliopohjainen ohjelmointi .....	20
333. Mallipohjainen päättely .....	20
4. OPERAATIOTUTKIMUS .....	22
41. Operaatiotutkimuksen tausta .....	22
42. Operaatiotutkimuksen keskeiset osa-alueet .....	22
43. Operaatiotutkimuksen metsällisistä sovelluksista .....	23
44. Operaatiotutkimukseen kohdistettu kritiikki .....	23
5. TARKASTELU .....	24
51. Tietotekniikan kehitys metsätaloudessa .....	24
52. Tietokoneiden rooli metsätalouden päätöksenteossa .....	25
53. Käsiteanalyysin ja loogisen standardin merkitys .....	26
54. Tietojärjestelmämalli metsätaloudesta .....	27
55. Tavoitteena metsätietoasema .....	28
KIRJALLISUUS - REFERENCES .....	30
SUMMARY .....	33

Julkaisu on katsaus tietokoneiden hyväksikäytön kehitykseen metsätaloudessa ja esittää synteisinä tekijöiden näkemyksen siitä, millainen on tulevaisuuden tietojärjestelmä metsätaloudessa. Julkaisu on tarkoitettu myös oppimateriaaliksi metsätalouden tietojärjestelmien opetuksessa, ja tätä tarkoitusta varten siinä käydään läpi erilaisten järjestelmätyyppien ominaisuuksia ja sovellusalueita. Tietokoneiden roolia päätöksenteon tukemisessa ja organisaatioiden kehityksessä tarkastellaan.

Tietotekniikan hyväksikäyttö jaetaan kolmeen pääkehityslinjaan, jotka ovat tietojenkäsittely, tekoäly ja operaatiotutkimus. Tietojenkäsittelyn piiristä tarkastellaan tiedostonhallintajärjestelmiä, tiedonhallintajärjestelmiä, paikkatietojärjestelmiä, johdon tietojärjestelmiä sekä päätöstukijärjestelmiä. Tekoälyn kehitykseen luodaan katsaus painottaen asiantuntijajärjestelmiä ja mallipohjaisia tietämysjärjestelmiä. Operaatiotutkimusta, josta on olemassa runsaasti muutakin kirjallisuutta, tarkastellaan vain lyhyesti siltä osin kuin se liittyy muihin järjestelmiin.

Tarkastelussa esitetyn synteisin ensimmäinen vaihe on käsiteanalyysi metsätalouden toiminnasta ja lopputuloksena karkea kohdemalli koko metsätaloudesta. Käsiteanalyysin ja kohdemallin tulisi olla lähtökohtana konkreettiselle tietojärjestelmäkehitystyölle, koska niiden avulla voidaan jäsentää suurien ja monimutkaisten metsätalouden järjestelmien rakenne ja toiminta.

The paper presents an overview on the development of computer-assisted decision making in forestry followed by a synthesis that outlines the architecture of a future forestry information system. Also intended as a textbook in forestry information systems, the paper includes descriptions of the features and application areas of different types of information systems. The role of computers in decision making and development of organizations is discussed.

Data processing, artificial intelligence and operations research are the three main approaches in the development of computer-assisted decision making. Data processing includes several steps of complexity which are file management systems, data base management systems, geographic information systems, management information systems, and decision support systems. The development of artificial intelligence is scrutinized with an emphasis on expert systems and model-based knowledge systems. Due to the large amount of texts available on the use of operations research in forestry, it is only briefly reviewed here.

The synthesis begins with a conceptual analysis of structure and functioning of forestry and produces a coarse-grained object model. A conceptual object model should be the basis of further information systems development because only it allows taking control over the complexity inherent to forestry information systems.

Keywords: forestry, natural resource management, information systems, artificial intelligence, databases, conceptual modeling, computers, decision making.  
ODC 946.3+945.14+61

Authors' addresses: *Erkki Kaila*, Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Research Station, PL 16, SF-96301 Rovaniemi, Finland, in% "MATEKA%METROI@ROUTER.FUNET.FI"; *Hannu Saarenmaa*, Finnish Forest Research Institute, Department of Mathematics, Unioninkatu 40A, SF-00170 Helsinki, Finland, in% "SAARENMAA@FINFUN.BITNET".

ISBN 951-40-1120-1  
ISSN 0015-5543

Helsinki 1990. Valtion painatuskeskus

## Alkusanat

Yhteiskuntamme elää murrosaikaa, jolloin tietotekniikkaa sovelletaan aiemmin vain inhimillisen päättelyn ulottuvilla olleilla alueilla. Jo nyt on kokemusta siitä, kuinka tutkimuksen lopputuotteeksi tulee toiminnallinen tietokoneohjelma painetun julkaisun rinnalle. Metsätaloudenkin tietotarjontaa ollaan siirtämässä tietokoneille.

Tilanne on metsäammattikunnalle ja useimmille metsäntutkijoille uusi. Strategista, päätöksentekoon vaikuttavaa tietoa ei enää hallita täysin, vaan kehittämistyössä ja päätöksenteossa tarvitaan tietoa normaalin koulutuksen ulkopuolelta tietojenkäsittelyopista ja tietotekniikasta. Nyt käsillä oleva tutkimus pyrkii osaltaan paikkaamaan tätä koulutuksellista aukkoa esittämällä katsauksen tietokoneavusteiseen päätöksentekoon ja käytettävissä oleviin järjestelmätyyppeihin. Toivomme, että käsitteistöä selventämällä se vankentaa metsätalouden tietojärjestelmien nykyistä rakentamisperustaa.

Tämä tutkimus perustuu suurelta osin kokemukseen, jonka tekijät ovat keränneet opintomatkoillaan Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Kirjoitustyö alkoi jo vuonna 1986, mutta alan nopean kehittymisen vuoksi tekstiä on jouduttu päivittämään jatkuvasti. Erityisesti tarkasteluosa on jouduttu kirjoittamaan useampaan kertaan. Artikkelin esimerkkinä on käytetty yhteistyökumppanimme Coulsonin ja Saundersin (1986) erinomaista katsausartikkelia *Computer-assisted decision making as applied in entomology*. Olemme em. artikkelin sisältöön verrattuna vähentäneet viittauksia entomologiaan ja maatalouteen, lisänneet viimeisten kolmen vuoden aikana tulleita uusia viitteitä ja järjestelmätyyppejä sekä rakentaneet tarkastelun metsätalouden päätöksentekoongelmien ratkaisemiseksi.

Kyseessä on siis sekä kirjallisuuskatsaus että synteesi. Tekemämme johtopäätös on, että metsätieteisiin on syntymässä on uusi oppiala, nimeltään metsätalouden tietojärjestelmät. Tämän tieteenalan perustaa ollaan parhaillaan luomassa ja lähivuodet tulevat muuttamaan metsätieteiden perinteistä jakoa ja kattavuutta.

Tekijät ovat tuottaneet tämän julkaisun kokeilumielessä kokonaan mikrotietokoneen julkaisujärjestelmällä, mikä on nopeuttanut painatusprosessia (mutta aiheuttanut kyllä runsaasti muita ongelmia). Päivitysongelman vuoksi aineistoa pyritään jatkossa kehittämään pääosin elektronisessa muodossa. Se on saatavissa tekijöiltä Windows GUIDE<sup>TM</sup> hypertekstinä samoin kuin monet muut alaa sivuavat raportit.

Olemme kiitollisia Pentti Kerolalle, Lauri Valstalle ja edesmenneelle Pekka Kilkille, jotka ovat lukeneet tekstimme ja kommentoineet sitä. Kiitämme myös ystäviämme METIK-projektissa hedelmällisistä keskusteluista sekä kaikkia tämän julkaisun syntyyn vaikuttaneita henkilöitä.

Rovaniemellä 20.10.1990

Erkki Kaila

Hannu Saarenmaa

## 1. Johdanto

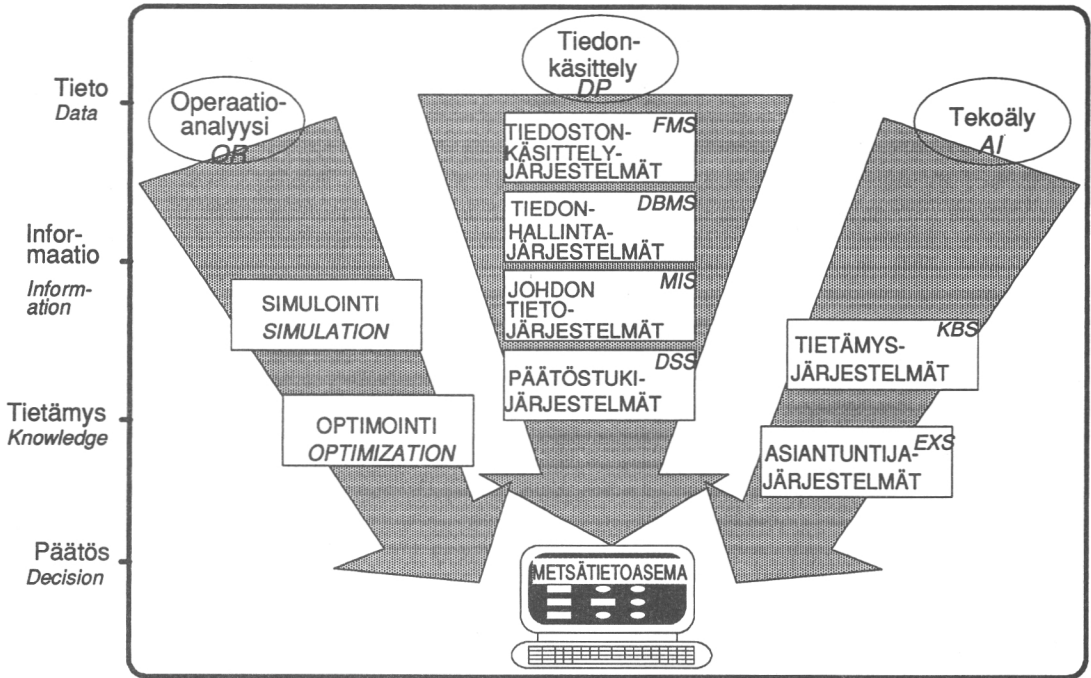
Metsäammattilaiset tekevät päivittäin suunnitelmia ja päätöksiä metsässä suoritettavista toimenpiteistä. Samanaikaisesti on otettava huomioon tietoa, joka liittyy metsien biologiaan, tilaan ja kehitykseen, taloudellisiin, teknisiin ja oikeudellisiin reunaehtoihin, metsien eri käyttömuotoihin sekä maanomistajan ja yhteiskunnan tarpeisiin.

Tällaisessa kompleksisessa päätöksentekotilanteessa täytyy olla käytettävissä jonkinlainen päätöksentekoa tukeva järjestelmä, mikä nykyisin rakentuu keskusvirastojen ohjekirjeistä. Niissä ei aina ole mahdollista ottaa huomioon kaikkia asiaan vaikuttavia tekijöitä, ja usein toimenpiteitä joudutaankin toteuttamaan "sormituntumalla".

Päätöksentekoa ei edes välttämättä helpota se, että päätöksentekijä on perillä kaikesta oleellisesta tiedosta. Päätöksenteko on suurelta osin riippuvainen siitä, miten tietoa käsitellään.

Inhimillisessä ajattelussa päättelyketjun vaikeutena on, että samanaikaisesti huomioon otettavissa olevien tekijöiden määrä jää niukaksi ja painottuu subjektiivisesti. Erittäin korostunutta päätöksenteon vaikeus on aloilla, jotka vaativat erikoisalan asiantuntemusta. Esimerkkinä tästä on metsätuhojen torjunnan erikoisasiantuntemus, mitä käytännön metsätalouden harjoittajilla vain harvoin on.

Tietokoneiden tultua metsätalouden harjoitta-



Kuva 1. Tietokoneavusteisen päätöksenteon lähestymistavat ja järjestelmätyyppien kehitys.  
 Figure 1. The approaches and information systems of computer-assisted decision-making in forestry.

jien ulottuville päätöksenteon tukeminen tietokoneavulla on tullut mahdolliseksi. Ne tarjoavat useita inhimillistä päätöksentekijää täydentäviä etuja: tietoa voidaan lisätä määrättömästi, suurista tietomääristä voidaan tuottaa keskeiset päätöksentekoon vaikuttavat asiat esille, ja parhaassa tapauksessa alan tietämyksen mallina olevalla ohjelmalla voi olla itsenäistä ongelmanratkaisukykyä. Tässä artikkelissa tarkastelemme tietokoneavusteisen päätöksenteon kehitystä, sen eri asteita sekä nykyisiä ja mahdollisia sovelutuksia metsätaloudessa.

Tietokoneavusteinen päätöksenteko on kehittyessään läpäissyt neljä kompleksisuustasoa, jotka ovat 1) tietojenkäsittely, 2) informaation käsittely, 3) tietämyksen käsittely sekä 4) päätöksenteko (kuva 1). Lisäksi sen voidaan katsoa tapahtuneen kolmen eri lähestymistavan mukaisesti, jotka ovat tiedonkäsittely, tekoäly sekä operaatioanalyysi.

Keskitymme kahteen ensiksi mainittuun lähestymistapaan. Yleisesityksen suurin tarve kohdistuu myös niihin. Sen sijaan operaatioanalyysiin pohjaavista menetelmistä metsätaloudessa on kirjoitettu paljon ja käsittelemme sitä vain siltä osin, kuin se liittyy tekoälyyn.

Eri järjestelmätyyppien väliset suhteet ja suh-

de tietokoneavusteisen ongelmanratkaisun ja päätöksenteon kehittymiseen on kuvassa 1. Kunkin lähestymistapaan liittyvät omat järjestelmätyypinsä. Tiedonkäsittelyn (data processing) piiristä tarkastelemme kehityslinjaa:

- tiedostojenkäsittelyjärjestelmät,
- tiedonhallintajärjestelmät,
- johdon tietojärjestelmät ja
- päätöstukijärjestelmät.

Tekoälyn (artificial intelligence) piiristä tarkastelemme:

- asiantuntijajärjestelmiä sekä
- tietämysjärjestelmiä.

Järjestelmätyyppien tehtävien, rakenteen, toiminnan ja asianmukaisen käyttötarkoituksen välillä on perustavaa laatua olevia eroavaisuuksia. Seuraavassa tarkastelussa pääpaino on asetettu päätöstukijärjestelmille ja asiantuntijajärjestelmille. Ne edustavat aivan ilmeisesti uutta ja nopeasti yleistyvää menetelmäluokkaa metsätalouden ja -luonnon tutkimuksessa sekä tutkimustulosten esittämisessä. Tämä oletus perustuu päätöstukijärjestelmien ja asiantuntijajärjestelmien käyttökelpoisuuteen erityisesti metsätalouteen ja luonnonvaroihin liittyvän tietämyksen hallinnassa.

Kaikki po. järjestelmätyypit on alunperin kehitetty suurille keskustietokoneille. Kuitenkin

useimmissa tapauksissa niitä voidaan nykyään kehittää ja implementoida erinomaisesti mikro-

ja minitietokoneille sekä erityistehtäviin tarkoitetuille työasemille.

## 2. Tiedonkäsittelyn järjestelmät

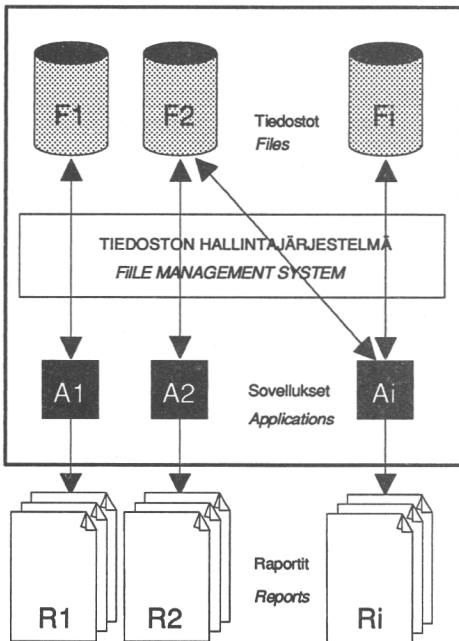
### 2.1. Tiedostonhallintajärjestelmät

Tiedostonhallintajärjestelmät (*file management systems, FMS*) ovat kompleksisempien tiedonhallintajärjestelmien ja johdon tietojärjestelmien edelläkävijöitä. FMS:ssä tieto on järjestetty tiedostoihin, jotka voidaan nähdä samanlaisten tai keskenään suhteessa olevien tietueiden muodostamina jonoina.

Esimerkiksi metsätalouden suunnittelijalla voi olla käytössään kartanselityskirjasta muodostettu tiedosto. Siinä jokainen tietue on koottu yksilöitävää metsikkökuviota kuvaavista tunnuksista. Tietueiden jono muodostaa tiettyä met-

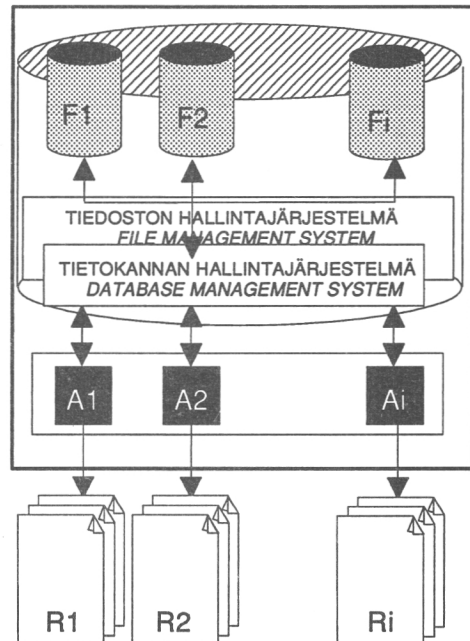
säaluetta kuvaavan tiedoston. Tiedoston hallinta koskee tämän tyyppisen tiedoston järjestelyä ja käsittelyä. Kysymys on siitä, kuinka tiedosto lajitellaan, kuinka tietty tietue voidaan erottaa tiedostosta raportin tekemiseksi tai uuden tiedoston muodostamiseksi, kuinka yhden tiedoston tiedot voidaan yhdistää toiseen, kuinka tiedostoa voidaan päivittää jne. Nämä tehtävät hoidetaan erityisillä sovellusohjelmilla (kuva 2), joihin käyttäjällä on asianmukainen käyttäjäliitännä. Esimerkki FMS-sovelluksesta on APL:llä toteutettu metsähallituksen MEKI taimikontarkastusohjelmisto (MEKI... 1986).

FMS muodostuu siis useista erillisistä tiedos-



Kuva 2. Tiedonkäsittelyjärjestelmä (FMS) koostuu erillisistä tiedostoista ja niitä käyttävistä ohjelmista. Kehitystyön aikana kummistakin syntyy useita versioita.

Figure 2. A file management system (FMS) consists of separate files and application programs. During the program development several versions of each are created.



Kuva 3. Tietokanta koostuu yhdellä tiedonhallintaohjelmistolla (DBMS) käsiteltävästä tiedostokoko- naisuudesta, jonka sisältö ja keskenaiset suhteet on määritelty.

Figure 3. A data base is a internally and externally defined group of files which is controlled and accessed through a data base management system (DBMS).

toista ja sovellusohjelmista. Tyypillisesti tiedostot on muodostettu tiettyä erityistarkoitusta varten ja ovat kaikki hieman erilaisia. Esimerkiksi metsikkökuvioihin liittyvät kasvuennusteet ja muut laskentaa varten tehdyt välitulosteet ovat erillisissä tiedostoissa. Myös tutkijan tyypillinen työskentely pääteen tai mikrotietokoneen ääressä nojaa FMS-lähestymistapaan. FMS:n yhteydessä tulee datan **sirpaloitumisesta** ongelma, mikä johtuu erillisten tiedostojen runsaudesta (Bonczek ym. 1981). Samalla tiedon **monistumisesta** tulee haitta jopa siinä määrin, että lukuisille FMS:ää tukeville apuohjelmille on olemassa laajat kaupalliset markkinat.

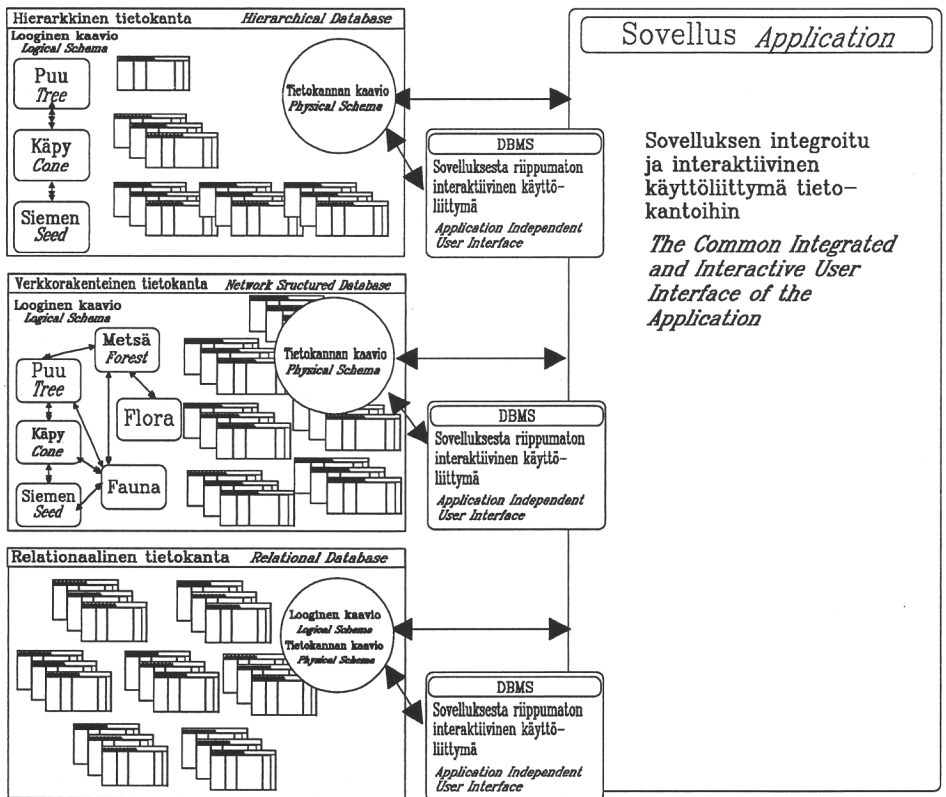
## 22. Tietokantajärjestelmät

Tietokannat (*data bases*) kehittyivät datan käsittelyn integroinnin tarpeesta. Niiden yhteydessä painotetaan datan tallettamista yhteen yleiseen tietokantaan aina kun se on mahdollista. Martinin (1977) mukaan "tietokanta voidaan määritellä

joukoksi keskinäisessä riippuvuussuhteessa olevaa dataa, joka on talletettu yhdessä ilman haitallista tai tarpeetonta toistoa; tietokanta palvelee useita sovelluksia; data on talletettu siten, että se on riippumaton sitä käyttävistä ohjelmista; yhteistä ja kontrolloitua menetelmää käytetään tiedon lisäämiseen, saantiin ja päivitykseen. Data on rakenteistettu siten, että se tarjoaa perustan myös tulevaisuuden sovelluksille". Daten (1981) määritelmä tietokannalle on yleisempi ja huomattavasti käyttäjäorientoituneempi: "Tietokanta on joukko talletettua operationaalista dataa, jota yrityksen sovellukset käyttävät". Kaila ja Taipale (1984) kuvaavat tietokantojen rakentamisen keskeiset metodit sovellettuna metsäntutkimukseen.

### 221. Tietokantojen tekniikka

Fyysisesti tietokanta muodostuu aina useista tiedostoista. Hierarkkisten ja verkkorakenteisten tietokantojen yhteydessä tiedostojen väliset riip-



Kuva 4. Tärkeimmät tietokantojen rakennetyypit ja suhde käyttöliittymiin.

Figure 4. The most important structures of data bases and their relation to user interfaces.



puvuudet on määritelty tietokannan kaaviossa. Kaavioon on talletettu myös kuvaukset tietokannan sisällöstä, esim. kenttien leveyksistä, muuttujien tyypeistä, tulkinnoista ja sallituista arvoista. Tiedon lisäys-, muutos- ja saantirutiinit saavat kaaviosta tarvitsemansa tiedot. Kaavioon on talletettu myös lajitteluavaimet, joiden avulla tiedon käsittelyä tehostetaan joko indekseihin tai fyysisellä lajittelulla. Ilman kuvattavissa olevaa kattavaa kaaviota ei voida puhua tietokannasta sanan tietojenkäsittelyopin mielessä.

Tietokannan ja erityisten sovellusohjelmien välinen liitäntä on muodostettu hallintaohjelmalla, jota nimitetään tiedonhallintajärjestelmäksi (*data base management system, DBMS*) (kuva 3). Tästä johtuen DBMS lisää yhden ohjelmistotason sovellusohjelman ja tiedostojärjestelmän väliin (Kaila ja Taipale 1984, Date 1986). Kuitenkin vain sen avulla tietokannan monet tiedostot ja sovellusohjelmat voidaan nähdä eheänä kokonaisuutena. DBMS:n käyttö mahdollistaa tiedostoihin kootun informaation talletuksen, korjailun ja poiston sekä saannin ja yhdistelyn täydellisen kontrolloinnin.

DBMS:ää käytetään kyselykielen avulla. Tällä alalla on nopeasti muodostumassa standardiksi alunperin IBM:n kehittämä SQL (*Structured Query Language*). DBMS:ään liittyy myös usein sovelluskehitin, korkean tason ohjelmointikieli, jolla tietokantaa käytäviä ohjelmia voidaan laatia helposti (ks. luku 25).

Tietokannan tiedostot voivat liittyä toisiinsa usealla eri tavalla (kuva 4). Tavallisimmat tyypit ovat 1) hierarkkinen tietokanta, 2) verkkorakenteinen tietokanta, 3) relaatiotietokanta, sekä yksinkertaisena 4) objektorientoitunut tietokanta.

**Hierarkkisessa tietokannassa** yhdellä korkeamman tason ns. isäntätietueella voi olla fyysisesti toisessa tiedostossa useita siihen linkitettyjä alemman tason jäsentietueita. Esim. yhteen metsälötietueeseen linkitetään kaikki sen kuviotietueet. TUTKA tiedonhallintajärjestelmä (Kaila ja Taipale 1984) on esimerkki hierarkkisesta tiedon organisoinnista.

**Verkkorakenteinen tietokanta** mahdollistaa useiden isäntätietueiden olemassaolon. Sekä hierarkkisessa että verkkotietokannassa linkit tiedostojen ja tietueiden välillä on toteutettu käyttäjälle näkymättömillä avainkentillä. Nämä tietokantatyypit mahdollistavat erittäin suurten tietomäärien tehokkaan hallinnan, mutta voivat olla myös monimutkaisia ja joustamattomia käyttää.

**Relaatiotietokannat** koostuvat taulukoista, joissa ei ole fyysisiä linkkirakenteita toisiin

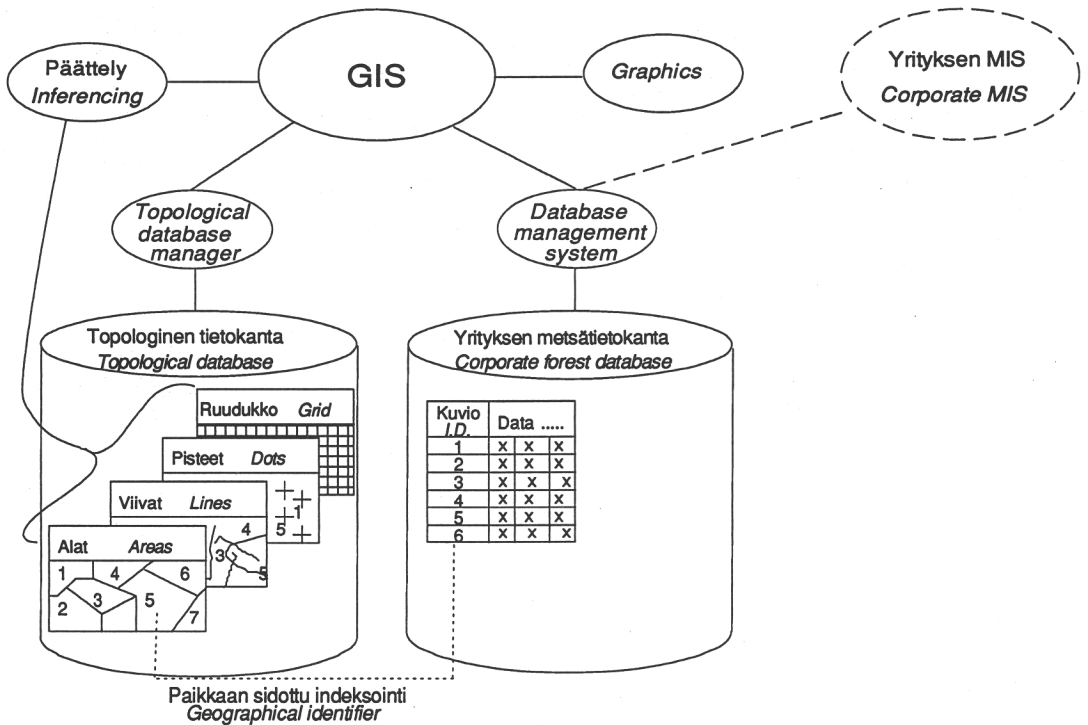
tiedostoihin. Tiedostojen väliset relaatiot muodostetaan yhteisten kenttien avulla vapaasti ja tarvittaessa ajon aikana. Näin voidaan myös muodostaa näkymiä (*view*) eli loogisia tietokantoja, joita ei fyysisesti välttämättä ole olemassa (esim. Date 1987). Relaatiotietokannat ovat joustavia ja yksinkertaisia, mutta eivät vielä yhtä tehokkaita suurten tietomäärien hallinnassa, kuin em. verkkorakenteiset järjestelmät ovat. Viimeaikainen kehitys on kuitenkin osoittanut, että yhä useampia ja suurempia relaatiotietokantoja muodostetaan muiden tyyppien suosion kustannuksella.

**Objektorientoituneet tietokannat ja hypertexti** ovat uusimmat tulokkaat tietokantojen maailmaan. Nämä kombinoivat relaatiotietokannan ja verkkorakenteisen tietokannan ominaisuuksia, mutta niille on tyypillistä, että datan lisäksi voidaan tallettaa myös ohjelmia, kuvia, ääntä, ym. Nämä piirteet antavat datalle paitsi muiden tietokantatyypin tarjoaman rakenteen, myös toiminnallisen luonteen. Voidaan esim. kuvitella objektorientoitunut metsätietokanta, jossa kasvumallit on talletettu puita kuvaavaan dataan, mikä ilmeisesti yksinkertaistaisi monia metsätaloudellisia sovellusohjelmia. Uusimmat tiedonhallintajärjestelmäversiot käyttävät tavanomaisten hakurutiinien lisäksi myös päättelymekanismeja.

Jatkossa tietokanta ymmärretään kaikkien järjestelmätyyppien ulottuvilla olevaksi peruselementiksi. Tiedon saanti päätöstukijärjestelmien tai asiantuntijajärjestelmien tarpeisiin voi tapahtua riittävän tehokkaasti ja luotettavasti ainostaan järkevästi järjestetystä tietokannasta. Tietokannan rakenteen muodostamiseen liittyy keskeisesti **käsitteellinen mallintaminen** (esim. Brodie ym. 1986, Kangassalo 1986). Tiedostorakenne ei ole ainoastaan tekninen ratkaisu, vaan ennakointia mallin alan toiminnasta ja rakenteista. Tämä lähestymistapa yksinkertaistaa tiedonkäsittelyä ja mahdollistaa tilannekohtaiset ja ennakoimattomat kehityslinjat.

## 222. Älykkäät tietokannat ja käyttöliittymät

Kuhasen (1985) tekemän selvityksen mukaan asiantuntijajärjestelmien kehittämisessä päämääränä ovat aktiiviset tietojärjestelmät, joissa tietohaulla on keskeinen merkitys. Voidaan ennakoida, että tiedon saanti tullaan kaikissa tulevissa tiedonhallintajärjestelmissä perustamaan ainakin osaltaan tekoälyyn. Tietohaun ensisijaiseksi välineeksi käyttäjille sekä asian-



Kuva 5. Paikkatietojärjestelmän (GIS) rakenne.  
Figure 5. Structure of a geographic information system (GIS).

tuntijjärjestelmien ja tietokantojen rajapinnaksi tulevat muodostumaan **älykkäät käyttöliittymät** eli ns. *intelligent-front-end*-järjestelmät. Ne toimivat erillään tietokantajärjestelmistä ja yleensä käyttäjän tai asiantuntijajärjestelmän päässä tietokoneverkkoa. Hakulogiikkaan kuuluvat automaattiset yhteydenotot käyttäjän ja tietokannan isäntäkoneen välillä, mikä merkitsee sitä, että tietohaku jää asiantuntijajärjestelmää käyttävälle henkilölle usein näkymättömäksi tapahtumaksi.

Hjerpe (1983) ja Williams (1984) ovat lue-  
telleet älykkäältä hakujärjestelmältä vaadittavia ominaisuuksia seuraavasti:

- 1) Käyttäjä voi halutessaan esittää tiedontarpeensa luonnollisella kielellä. Tavoitteena on, että käyttäjä voi tiedontarpeen sijasta kuvailla ongelman, jonka ratkaisemiseen hän tarvitsee tietoa.
- 2) Järjestelmä valitsee sopivat hakusanat ja muodostaa hakustrategian käyttäjän kanssa käymänsä keskustelun perusteella.
- 3) Järjestelmä valitsee sopivat tietokannat hakua varten.
- 4) Järjestelmä muuttaa hakustrategian kunkin tietokantajärjestelmän vaatimaan muotoon.
- 5) Järjestelmä pystyy iteratiivisesti parantamaan hakustrategiaa keskustelemalla käyttäjän kanssa.

6) Järjestelmä muistaa käyttäjän aikaisemmat kyselyt, ts. muodostaa kuvan käyttäjän tiedontarpeista.

7) Järjestelmä pystyy arvioimaan haun tuloksen hyvyttä pyytämällä käyttäjältä palautetta ja oppia tehokkaammaksi.

8) Järjestelmä yhdistelee useammista tietolähteistä hankkimaansa tietoa, mukaan lukien käyttäjän omat tiedot.

Tavoiteluettelo on liioitellun optimistinen, mutta kuvaa hyvin niitä päämääriä, joita tietojärjestelmien kehittämisellä jo nykyisin tavoitellaan. Tämän kaltaisten mahdollisuuksien toteutumisen edellytys metsätaloudessa on yhtenäisen tietokone- ja tietokantaverkon rakentaminen sekä tekoälyyn perustuvien menetelmien käyttöönotto tietojenkäsittelyssä.

### 223. Paikkatietojärjestelmät

Erityinen tietokantatyyppi, joka on hyvin keskeinen metsätaloudelle on GIS-järjestelmiin (*GIS, geographic information system*) liittyvä maantieteellinen **paikkatietokanta**. GIS-järjestelmät käsitetään usein virheellisesti karttajärjestelmiksi. Kartta oli ennen ainoa mahdollinen metsäda-

tan tiedonhallintatapa, joka pohjautui visuaaliseen esitykseen ja "ihmispohjaiseen tiedonhallintaan". Nykyään kartta on kuitenkin mielletävä pelkäksi tulosteeksi, ikkunaksi paikkatietokantaan. Kartanpiirustusjärjestelmä on tietokannan päälle rakennettu sovellusohjelma.

GIS:n rakenne on kuvassa 5. Tavallisen tietokannan lisäksi siinä on topologinen tietokanta ja graafinen käyttöliittymä (Nuutinen 1986). Topologinen tietokanta sisältää maantieteellisen datan tyypilliset primitiivit: pisteet, viivat, ja alueet, jotka on indeksoitu tehokkaasti fyysisiä maantieteellisiä suureita käyttäen, yleensä verkkotietokannan muotoon. Topologiseen tietokantaan talletetaan metsikkökuvioiden fysiografia sekä myös maaston muodot (Rhind ja Mounsey 1989).

Topologisen tiedon lisäksi useimmat GIS:t kykenevät käsittelemään myös hilan muodossa talletettuja tietoja, joita ovat varsinkin kaukokartoitustiedot, sekä yhdistelemään näitä muihin GIS:illä hallittuihin tietoihin (kuva 5). Tähän yhdistelyyn käytetään yhä enenevässä määrin sääntöpohjaisia asiantuntijajärjestelmiä, jolloin puhutaan älykkäästä GIS:stä (Coulson ym. 1987, Robinson ym. 1987).

GIS:n yhteydessä tavanomaiset metsikkökuviotiedot voidaan tallettaa kartanselityskirjan muodossa esim. relaatiotietokantaan, jota hallitaan ao. tiedonhallintajärjestelmällä. Topologisen ja kartanselitystiedoston välillä on luonnollisesti oltava yhteys. Koska kartanselitystiedot ovat dataa, jota tarvitaan metsätalousyrityksen lähes kaikissa sovelluksissa, sen on syytä olla talletettuna yrityksen standarditiedonhallintajärjestelmällä, jotta sen saanti esim. yrityksen MIS-järjestelmään on helppoa (ks. luku 23).

## 224. Metsätietokantoja

Edellä esitettyjen määritelmien mukaisia metsätietokantoja ei julkisella sektorilla Suomessa vielä ole olemassa. Tietokantojen kehittämistarve on kuitenkin tiedostettu ja useissa metsäalan organisaatioissa ja tutkimushankkeissa on aloitettu keskeisten tietokantojen suunnittelu- ja rakentamistyö.

Suurimmat työn alla olevat järjestelmät ovat ensisijaisesti metsätalouden suunnittelua ja puuhoitoa tukevia sovelluksia (*applications*). Niiden tietokannat muodostetaan suoraan nykyiseen metsätalouden suunnittelussa noudatettuun tiedonkeruukäytäntöön soveltaviksi. Muita sovelsuskäyttökohtia on toistaiseksi otettu vain rajoite-

tusti huomioon. Tietokannoista on olemassa vain erityissovelluksia tukevat versiot, jotka on kirjoitettu tavanomaisilla lausekielillä. Tietosisällölliset määritykset ovat kuitenkin tehty yleispuheiksi.

Sekä metsähallituksessa että yksityismetsätaloudessa on tietokantojen rakentamistyö aloitettu metsätalouskarttojen ja ns. kartanselityskirjan tuotantoon tarvittavien kuviotietojen järjestelyllä. Tietokannat sisältyvät ensinmainitun osalta KUTI-kuviotietojärjestelmään (Paikkatietojärjestelmien... 1989) ja jälkimmäisen osalta TASO-järjestelmään. Metsien käsittelytoimenpiteet eivät sisälly kumpaankaan järjestelmään vaan niitä varten on kehitetty omat sovelluksensa: KASU metsähallituksen ja HANKE yksityismetsätalouden tarpeisiin.

Kaikista järjestelmistä on jo olemassa jakeluvälmiit versiot, mutta kehittämistarpeita on vielä runsaasti. Järjestelmäparien (KUTI - KASU, TASO - HANKE) jäsenten erillisen kehittämisen seurauksena ne eivät perustu yhteiseen tietokantaan, vaan sovellusten integrointi täytyy hoitaa kolmannella erillisrutiinilla. Ongelma voidaan ratkaista myös uudelleenohjelmoinnilla, mikä sovelluskehittimen hankinnan jälkeen on tullut huomionarvoiseksi vaihtoehdoksi.

Toisaalta vaikka KASU ja HANKE sovellukset ovat erilaiset, niiden perustana olevista tietokannoista on määriteltävissä runsaasti rakennettavia yhteisiä yksiyksikohtia. Hagström ja Kaila (1988) ovat tarkastelleet käsittelysuunnitelmatietokantojen malliyhteyden mukaisia piirteitä ja esittäneet sen perusteella yleisen SCODB-tietokannan rakenteen, jonka perustalle molemmat sovellukset voidaan periaatteessa rakentaa. Jos KUTI ja TASO ovat samalla tavalla homomorffisia, niin teoriassa koko metsätalouden suunnittelun tietojärjestelmän sovellukset voidaan kirjoittaa yhteen tietokantatyyppeihin perustuen.

## 23. Johdon tietojärjestelmät

Johdon tietojärjestelmät (*management information systems, MIS*) edustavat seuraavaa loogista edistysaskelta tiedonhallintajärjestelmistä (vrt. kuva 1). MIS:n suomenkielinen nimi on osittain vanhentunut, koska nykyään MIS:ssä ei ole kysymys vain yritysjohdon palvelemisesta, vaan koko yrityksen tietopalvelusta. Lyhentellä MIS on olemassa kaksi erillistä tulkintaa, joista toinen kuvaa laaja-alaisesti koko informaatiotoimintaa ja sen kehittämistä ja toinen suppeammin johdon tietojärjestelmiä, joiden taustalla usein ovat ope-

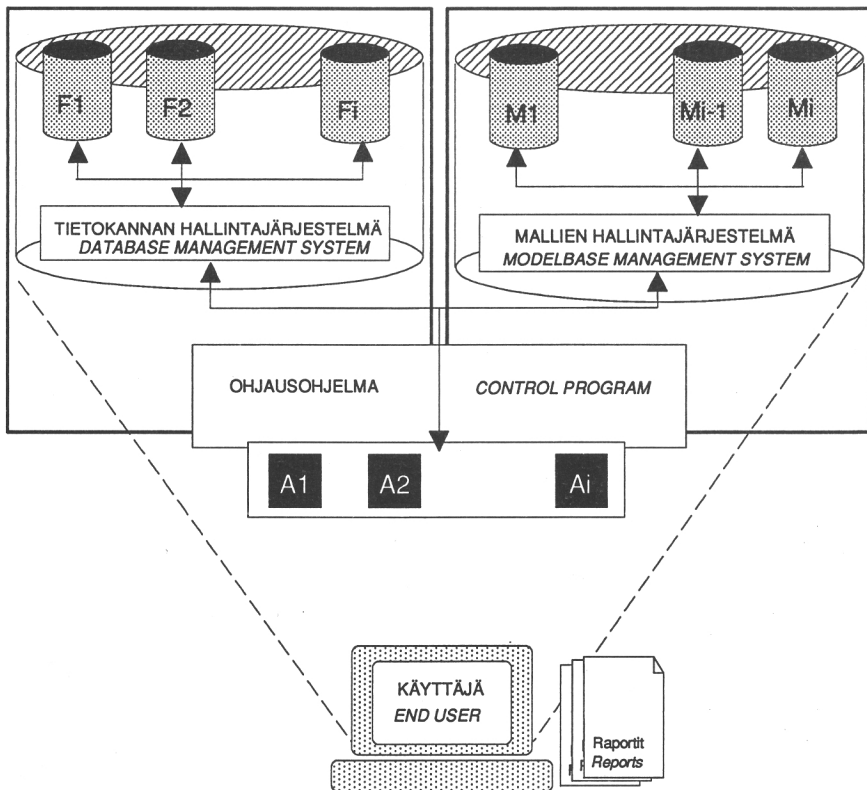
raatiotutkimuksen menetelmät.

MIS:n tarkoituksena on mahdollistaa paitsi tietokantojen datan saanti, myös mallien hyväksikäyttö, raportointi ja yrityksen viestintä. MIS:n asema organisaatiossa on kehittynyt 1960-70-lukujen integroidusta keskusjohtoista raskaista järjestelmistä yhä enemmän joustavan hajaautetun tietojärjestelmän suuntaan (Katraala 1987). Kun ennen kaikki yritysjohdon päätöksentekoa tukeva laskenta tehtiin yrityksen MIS-osastolla, nykyään tämä tehtävä on moderneissa yrityksissä hajautettu koko organisaatioon. MIS-osaston tehtäväksi on tullut yhteisten keskeisten tietokantojen ylläpito ja tietoverkon kehittäminen. Erittäin tärkeä osa modernia MIS-järjestelmää on elektroninen viestintä. Tämä korostuu tietoyrityksissä, jotka yhä harvemmin ovat hierarkkisesti organisoituja. Byrokraatiasta ollaan siirtymässä *adhokratiiaan* (Sveiby ja Risling 1987).

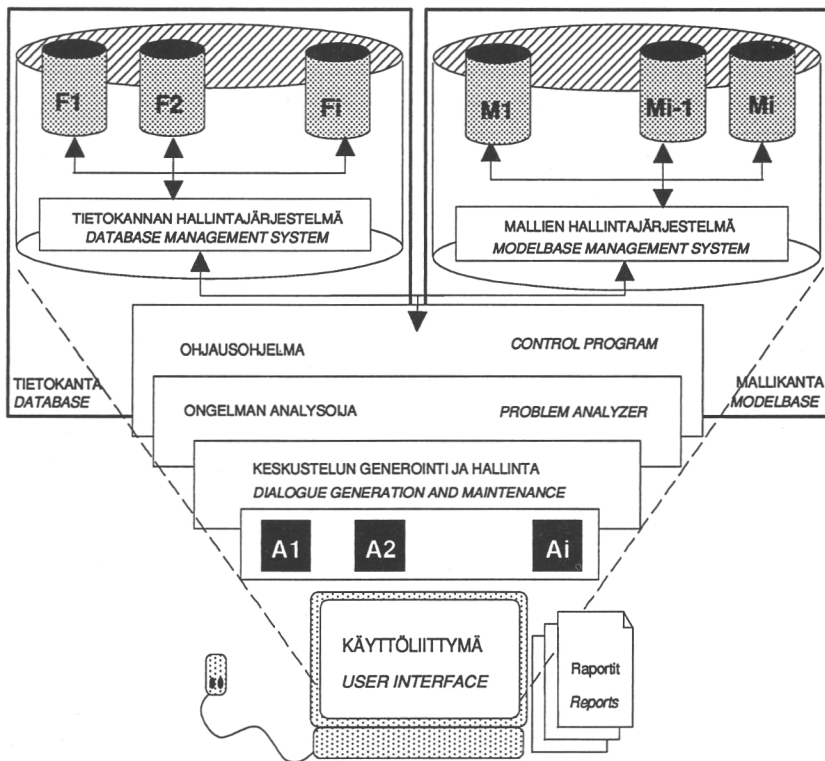
### 231. MIS:n rakenne

MIS:n osat ovat ohjausohjelma (*control program*), tietokanta, tiedonhallintajärjestelmä, **mallikanta** (*model base*) sekä **mallikannan hallintajärjestelmä** (*model base management system, MBMS*) (kuva 6). Tieto ja sovellusohjelmistokannat ovat yhtenäisiä ja rakenteellisia. Osajärjestelmien käyttö on mahdollista DBMS:n ja MBMS:n kautta. MIS:n toimintaa ohjaa pääohjelma, joka luo käyttäjälle yhteyden tieto- ja mallikantoihin.

MIS suunnitellaan **rakenteellisten** ongelmien ratkaisijaksi, mikä merkitsee sitä, että kunkin ongelman ratkaisu täytyy määritellä etukäteen. MIS:ssä tehtävän suoritus on ennalta määritelty ja syöttö- sekä tulostusproseduurit ovat myös ennalta formatoituja. MIS-sovelluksissa on usein hyödynnetty operaatioanalyysin menetelmiä (ks. luku 4). Tämänäyttöinen järjestelmä on usein raportointiorientoitunut siinä mielessä, että järjestelmän tietoa poimitaan ja summataan ennalta määritellyssä muodossa, tavallisesti ajallisen toistuvuuden (*periodic*) perusteella. Tulosteet



Kuva 6. Johdon tietojärjestelmän (MIS) rakenne.  
Figure 6. Structure of a management information system (MIS).



Kuva 7. Päätöstukijärjestelmän (DSS) rakenne.  
 Figure 7. Structure of a decision support system (DSS).

voidaan esittää selväkielisessä, numeerisessa ja graafisessa muodossa.

MIS:lle keskeisiä ovat siis **valmiit raportit**. Nämä ovat hyödyllisiä rutiiniluonteisessa operatiivisessa ohjauksessa, mutta eivät sopeudu muutostilanteiden hallintaan.

### 232. MIS:n sovelluksia

Esimerkki metsätaloudellisesta MIS:stä on Metsäntutkimuslaitoksen puumarkkinoiden seurantajärjestelmä PUUMA (Puumarkkinoiden... 1988). Nykyisellään PUUMA-järjestelmä tuottaa vuosittain noin sata puumarkkina- ja metsätalostatiedotetta, jotka leviävät laajaan käyttöön Suomen metsäsektorilla.

MIS:n piirteitä on myös VILJOssa, jonka avulla metsäammattilaiset voivat tehdä vertailuja metsänviljelyketjujen edullisuudesta (Parviainen ym. 1985). Käyttäjät ovat oppineet soveltamaan VILJOn laskelmia omiin tilanteisiinsa juuri samoin kuin yritysjohto tutkitsee MIS:n raportteja. Vastaava on Metsätehon laskentajärjestel-

mä metsänviljelyn menetelmien vertailuun (Hämäläinen ym. 1985), joka on rakennettu oikeaoppisesti tiedonhallintajärjestelmän varaan. Saarenmaan (1984) tutkimustyön tukemiseksi kehitetty BBDB-järjestelmä (*Bark Beetle Data Base*) on myös puhdas MIS-järjestelmä, joka kehittyi vähitellen tietokantajärjestelmästä malleja, sovelluksia ja raportointimahdollisuuksia lisäämällä. Metsälautakuntien käytössä oleva RIEKKO-järjestelmä (Kaila ja L.Saarenmaa 1989) on koulutushenkilöstön suunnittelua ja kirjanpitoa tukeva MIS-järjestelmä, joka perustuu malliin metsäorganisaation koulutusprosessista.

Jossakin määrin MIS-luonnetta on myös TA-Sossa ja MELAssa, joilla voidaan tehdä metsätaloussuunnitelmia koko maan tai metsätilan puitteissa (Kilki ym. 1984, Siitonen 1985). On kuitenkin huomattava, että tietojenkäsittelyllisestä MIS-luonteestaan huolimatta nämä järjestelmät ovat toteutukseltaan tyypillisiä operaatioanalyysiin perustuvia simuloinnin ja optimoinnin yhdistelmiä.

## 24. Päätöstukijärjestelmät

### 241. Päätöstukijärjestelmien käsitteitä

Päätöstukijärjestelmät (*decision support system, DSS*) edustavat seuraavaa loogista edistysaskelta MIS:n jälkeen. DSS:ään liittyvä käsitteistö on kehittynyt nopeasti viime vuosien aikana, kun on alettu kiinnittää huomiota aiemmin päätöksenteon prosesseihin yhteensopimattomaan informaatioon (Keen ja Morton 1978, Vazsonyi 1978, Fick ja Sprague 1980, Bonczek ym. 1981, Bennett 1983, Turban 1988).

DSS on keskustelevala tietokoneperusteinen järjestelmä, joka on suunniteltu auttamaan päätöksentekijää datan, selväkielisen informaation ja **ei-rakenteellisten** ongelmien mallienkäytössä. Se, mikä erottaa DSS:n muista tähän asti kuvatuista järjestelmistä, on käyttäjän kannalta informaation käsittelyprosessin ennalta tarvittavan määrittelyn aste. Järjestelmiin on sisäänrakennettu suuri mukautumiskyky datan käyttöön ja valintaan, mallien järjestelyyn ja suorittamiseen ennalta arvaamattomien ratkaisumenetelmien kehittämiseksi. Määrittelyn mukaan muissa järjestelmissä informaation käsittelytapautuma voidaan ja täytyy kuvata etukäteen, kun taas DSS:ssä ei. Niinpä DSS on ennen muuta ammattilaisen ja johtajan lähipiirin työkalu.

DSS sisältää osia muista järjestelmistä, erityisesti datan summaamisen ja käsittelyn rutiinit. DSS:n proseduurit ovat kuitenkin vapaammin määriteltäviä. Siksi ne mahdollistavat sen, että käyttäjä voi valita raporttien tuottotiheyden ja sisällön tarvittaessa *ad hoc*-periaatteella. DSS-lähestymistavan yleisyyden syy on se, että ongelmat syntyvät usein ennalta arvaamatta niin monimuotoisina, että sopivan ratkaisutyyppin määrittely etukäteen on mahdotonta. Ongelmat ovat siis ei-rakenteellisia. Sen tähden on oleellista, että järjestelmää ylläpidetään mahdollisimman mukautumiskykyisenä yksilöllisten käyttäjätarpeiden tyydyttämiseksi.

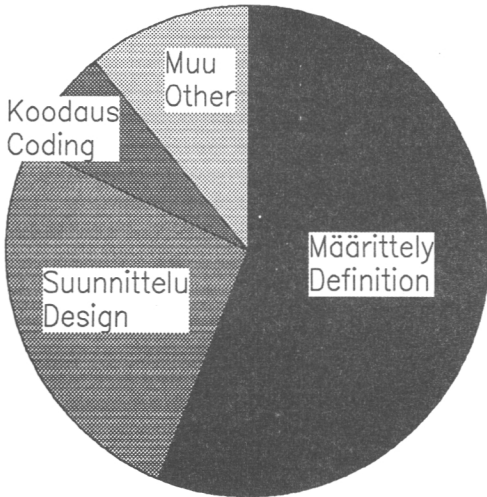
DSS:n välitön tavoite on kehittää FMS:ään, DBMS:ään ja MIS:iin sisältyvää käsitteistöä ja laajentaa näiden lähestymistapojen hyödynnettävyyttä. Tämä tapahtuu vapauttamalla käyttäjä järjestelmän määrittämistä rakenteista ja siten antamalla käyttäjälle mahdollisuus luoda ennennäkemättömiä ongelmanratkaisun rakenteita. Yhteenvetona voidaan todeta, että DSS on suunniteltu käyttäjän erityisongelmien kannalta tarkoituksenmukaisen informaation määrittelyä, hakua, prosessointia ja järjestelyä varten (Rykiel ym. 1984).

### 242. DSS:n rakenne

Päätöstukijärjestelmän yleisrakenne on kuvassa 7. Järjestelmään liittyy seitsemän peruskomponenttia: 1) mallikanta, 2) tietokanta, 3) mallikannan hallintajärjestelmä, 4) tiedonhallintajärjestelmä, 5) ohjausohjelma. Uusia MIS:stä puuttuvia osia ovat 6) **keskustelun generointi- ja hallintajärjestelmä** (*dialogue generation and maintenance system, DGMS*), sekä 7) **ongelman analysointiohjelma** (*problem analyzer*).

Mallikanta voi muodostua erityyppisistä simulointimalleista tai sovellusohjelmista eli evaluointifunktioista. Tietokanta voi muodostua numeerisesta datasta, teknisestä informaatiosta ja selväkielisestä informaatiosta eli raporteista tai asiantuntijanäkemyksistä. MBMS ja DBMS kontrolloivat mallikannan ja tietokannan käyttöä. Ongelman analysointirutiini on tärkeä edistysaskel aiemmin kuvatuista järjestelmistä. Se palvelee ongelman täsmällisen luonteen määrittämistä järjestelmille. Käyttämällä kyselysarjoja ja valikkoja se auttaa käyttäjää rajaamaan kysymyksiään (Turnbow ym. 1983). Ongelman määrittely mahdollistaa sen, että systeemiohjelman ohjausohjelma tunnistaa malli- ja tietokannan oleellisia elementtejä. Koska DSS:n painopiste on ongelmanratkaisussa, on ongelman analysointiohjelma äärimmäisen tärkeä sekä käsitteellinen että toiminnallinen komponentti. Käyttäjä kommunikoi järjestelmän kanssa keskustelun generointi- ja hallintajärjestelmään DGMS:n kautta.

DSS:n alijärjestelmien toimintoa ohjataan ohjausohjelmalla. Kaikki alisysteemit on suunniteltu käyttäjän kannalta näkymättömiksi. Käyttäjän tarvitsee ainoastaan vastata järjestelmän kysymyksiin ja arvioida järjestelmän generoimia raporteja ja ilmoituksia. On tärkeää huomata, että DSS ei tee päätöksiä vaan sen sijaan mieluummin toimittaa päätöksentekijälle määrittelyyn ongelman kannalta oleellista informaatiota. Päätöksentekijä tulkitsee informaation ja tekee itse päätöksen. DSS-lähestymistapa perustuu oletukseen siitä, että päätöksentekijä on pätevä alallaan ja kykenevä päätöksentekoon. Oikeat päätökset ovat osaltaan seurausta siitä, kuinka hyvin informoitu päätöksentekijä on. Sen tähden eräs DSS:n näkyvimmistä tarkoituksista on toimittaa päätöksentekijälle merkityksellistä informaatiota tehokkaasti.



Kuva 8. Systeemyön virheistä suurin osa sattuu määrittelyvaiheessa.

Figure 8. Most errors occur in the definition phase of systems engineering.

#### 243. DSS:n sovelluksia

Tutkimustiedon käytäntöön siirtämisen ongelma on kärjistynyt viime vuosina, kun tutkimus on tuottanut yhä lukuisampia malleja, jotka ovat kuitenkin jääneet käytännön ulottumattomiin. Tällaisten tutkimusmallien paketoiminen DSS:ksi on ilmeinen ratkaisu näihin ongelmiin.

Tästä lähestymistavasta esimerkkinä voidaan mainita entomologinen ongelmakenttä, joka sisältyy *Southern Pine Beetle Decision Support Systemiin* (SPBDSS) (Turnbow ym. 1983, Coulson ym. 1985, Saunders ym. 1985), joka on tietävästi ensimmäinen metsätaloudellinen DSS. Järjestelmän avulla voidaan käyttää runsaasti tutkimus- ja kehittämisohjelmien tuottamaa malli- ja teknistä datatietoa koskien *Dendroctonus frontalis* -kaarnakuoriaista. Järjestelmä on toteutettu FORTRAN-kielillä *main-frame*-tietokoneessa, ja se on suunniteltu metsänhoidon ja metsätuholaisten hallinnan asiantuntijoiden päätöksenteon apuvälineeksi integroidun metsätuhojen hallinnan yhteydessä. Se sisältää noin 30 mallia, ilmastotietokannan ja satoja sivuja kirjallista informaatiota. SPBDSS:n vastaanotto käytännössä on kuitenkin ollut ristiriitaista. Tähän lienee syynä se, että järjestelmän käyttäjien asiantuntemus ei useinkaan riitä johtopäätösten vetämiseen tutkimusmallien generoimasta runsaasta aineistosta, jolloin tiedon lisäämisellä on itse asiassa vaikeutettu päätöksentekoa. Osaksi ongelmaa voidaan lievittää ergonomisella ja älykkäällä käyttöjäljitynnällä, mutta varsinainen

johtopäätös SPBDSS:stä saaduista kokemuksista on, että tutkimusmallien asemesta käytännössä tarvitaan järjestelmiä, jotka sisältävät itsenäistä ongelmanratkaisukykyä, perustelevat johtopäätökset ja esittävät asioiden riippuvuussuhteet. Nämä piirteet löytyvät tekoälyn piiristä, asiantuntijajärjestelmistä, ja niiden ja DSS:n yhdistelystä.

#### 25. Tietokoneavusteinen systeemis suunnittelu ja sovelluskehittimet

Edellä kuvattu järjestelmien monimutkaistuminen on johtanut luonnollisesti myös ongelmiin, joita on pyritty ratkomaan tietokoneavusteisen systeemis suunnittelun (*computer-aided systems engineering, CASE*) avulla. CASE pitää sisällään kokonaisen metodologian, jolla yrityksen toiminta- ja tietomalleista johdetaan sen tietojärjestelmät (esim. Kangassalo 1986, Systeemis suunnittelun... 1988, Oracle... 1989).

Systeemyön tukemisella CASE-välinein jo strategian ja arkkitehtuurien määrittelyvaiheesta alkaen arvioidaan saatavan erittäin suuria hyötyjä. Tutkimusten mukaan (ks. Systeemis suunnittelun... 1988) pahimmat systeemyön virheet tapahtuvat nimenomaan määrittelyvaiheessa (kuva 8).

CASE-välineistä keskeisimpiä ovat tietohakemistot ja sovelluskehittimet. Sovelluskehittimen käyttö mahdollistaa projektiorganisaatioiden pienentämisen tietojärjestelmien kehittämissankkeissa sekä mittavien järjestelmien rakentamisen aiempaa vähäisemmällä resursseilla.

#### 251. Neljännen sukupolven kielet

Sovelluskehittimet (*application generator*) merkitsevät korkeatasoista, erityistarkoituksiin kehitettyä ja useimmiten ei-proseduraalista kieltä, mihin liittyy käyttäjäystävällinen käyttöliittymä. Käyttöliittymän ansiosta kehitettävien sovellusten abstraktiotaso on korkea, so. muuttamalla toimenpiteellä saadaan paljon aikaan. Käyttöliittymä myös vähentää muodostuvan lähdekielisen koodin määrää ja monimutkaisuutta. Sovelluskehittimet muodostavat uuden ohjelmistoryhmän, ja tässä yhteydessä myös järjestelmäluokan, jota kutsutaan neljännen sukupolven kieliksi (*4th generation language, 4GL*). Jotta tiettyä kieltä voitaisiin pitää neljännen sukupolven kielenä sen tulee täyttää seuraavat kolme ehtoa (Kuvaja 1988): 1) Peruskäyttäjän tulee

saada kehitettävästä järjestelmästä toimintansa kannalta merkityksellisiä tulosteita yhdessä kymmeneksessä siitä ajasta, mikä kuuluu vastaavaan järjestelmäkehitystyöhön perinteisillä lausekielillä (COBOL, FORTRAN, PASCAL). 2) Kielen on oltava helppokäyttöinen, se on helposti opittava ja helppo muistaa sekä käyttäjää puoleensa vetävä, sekä 3) kielen on oltava käyttökelvoinen sekä peruskäyttäjän että tietojenkäsittelyn ammattilaisen kannalta.

### 252. Sovelluskehittimen osat

Sovelluskehittimet ovat kehittyneet raportti- tai ohjelmageneraattoreiden laajennusten kautta.

Nykymuodossaan ne sisältävät seuraavat osat:

- tiedonhallintajärjestelmä,
- tietohakemisto (*data dictionary*),
- suojaus- ja varmistusjärjestelmä,
- kyselykieli,
- raporttigeneraattori,
- näyttö- ja lomakegeneraattori,
- grafiikkageneraattori,
- päätöksenteon tuki,
- useita käyttöliittymiä,
- korkeatasoinen proseduraalinen kieli,
- tiedon määrittyskieli,
- hajautetun prosessoinnin tuki,
- mikro-pääkone-liittymä,
- erillinen versio prototyypin tuottoon,
- erillinen versio mikroille.

## 3. Tekoölyn järjestelmätyypit

### 31. Tekoöly

Tekoöly (*artificial intelligence*, AI) on John McCarty'n 1950-luvulla esittämä käsite, joka liittyy inhimillistä älykkyyttä jäljittelevien koneiden suunnitteluun ja kehittämiseen. AI-tutkimus on kehittynyt kahteen suuntaan: 1) tutkimukseen siitä, kuinka koneet voidaan saada jäljittelemään inhimillistä käyttäytymistä tai käyttäytymään muuten älykkäästi, sekä 2) tutkimukseen siitä, kuinka koneiden avulla voidaan simuloida, mallintaa ja muodostaa sisältökuvauksia inhimillisen älykkyyden luonteesta (esim. Schank 1988).

Ensimmäinen tutkimussuunta edellyttää toisen piirissä saavutettujen tuloksien huomioonottoa. AI:llä on sekä teoreettisia että käytännöllisiä sovellusalueita. Nykyisin painotetaan tieteen, inhimillisten kykyjen kuten luonnollisen ja puhutun kielen prosessoinnin, visuaalisen hahmon tunnistuksen ja fyysisen näppäryyden (erityisesti robotiikassa) jäljittelyä sekä inhimillisen asiantuntemuksen automatisointia (Winston 1984). Tekoölyn piiriin (kuva 9) kuuluvat mm. päättelyn mallintaminen (*cognitive modeling*), robotiikka (*robotics*), konenäkö (*computer vision*), koneoppiminen (*machine learning*), luonnollisen kielen ymmärtäminen (*natural language*), logiikkaohjelmointi (*logic programming*) ja tietämystekniikka (*knowledge-based systems*, KBS). Tietämystekniikan osa-alue ovat asiantuntijajärjestelmät (*expert systems*, EXS).

Tekoölyn periaatteiden nykyaikaiset tietokonesovellutukset alkoivat ohjelmointikielen kehittämällä, joka oli tarkoitettu mallintamaan yksinkertaisia inhimillisen ongelmaratkaisuu-

kyvyn mahdollisuuksia. Tässä yhteydessä painotettiin numeroiden, merkkien ja merkkijonojen sijasta symbolien ja niiden välisten suhteiden käsittelyä. Ohjelman ja datan välillä ei saanut olla eroa. Alkuperäinen ohjelmointikieli, joka esiteltiin 1956, oli nimeltään IPL (*Information Processing Language*) ja se muodosti perustan LISP-ohjelmointikielelle (*LISr Processing*), joka julkistettiin 1957. LISP-kieli sovitettiin symboli- ja prosessointiteknologian ja tekoölyn tutkimukseen ja kehittämiseen. LISP on suunniteltu mielivaltaisten objektien ja niiden välisten suhteiden kuvaamiseen ja prosessointiin. Asiantuntijajärjestelmissä symbolilistojen prosessointi approksimoi inhimillisen assosiativisen muistin prosesseja. LISP on sen tähden työkalu, jota voidaan käyttää erilaisten inhimillisten kognitiivisten osa-alueiden tutkimiseen ja simulointiin. LISP on eniten symbolisissa laskennassa ja tekoölyssä käytetty systeemikieli, jolla on mahdollista tehdä täysin proseduraalistakin ohjelmointia. Hyviä yleisesityksiä kielestä ovat tehneet mm. Winston ja Horn (1984) sekä Hyvönen ja Seppänen (1986, 1987).

Vastaava korkeamman tason kieli on Prolog (*Programming in logic*), jossa ohjelma ja tietämys kuvataan ensimmäisen tason logiikalla. Prolog sisältää sisäänrakennetun taaksepäinketjuttavan päättelyjärjestelmän; sen kontrollirakenteissa ei ole mitään muista ohjelmointikielistä tuttua (esim. Clocksin ja Mellish 1984, Bratko 1986, Marcus 1986).

Tekoölyn kehittämisen seuraava vaihe on kes-

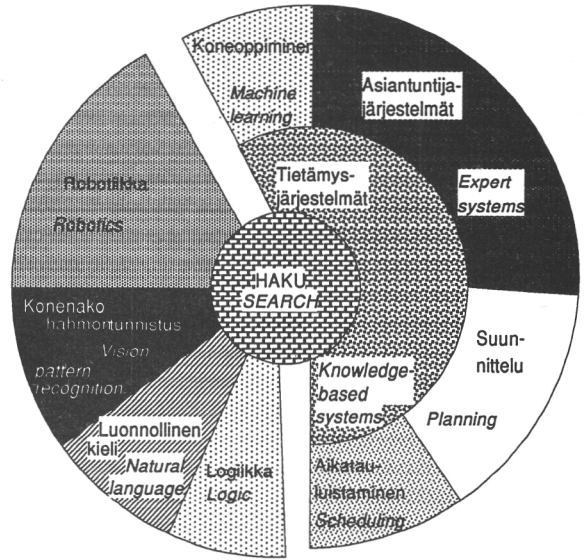


kittynyt symbolien optimaalisen käsittelyn mahdollistavien tietokoneiden suunnitteluun ja kehittämiseen. Symbolien käsittelyllä tarkoitetaan tieto-objektien, esim. listojen, vertailua, valintaa, lajittelua, samankaltaisuuden toteamista, loogisia joukko-operaatioita, ryhmittelyä, malliin perustuvaa tietohakua ja hahmontunnistusta (Wah ja Li 1986). Symbolien prosessoinnin perusvaatimuksiin kuuluu joustava muisti, joka mahdollistaa symbolien, niiden ominaisuuksien ja niiden välisten suhteiden talletuksen sekä läheisesti integroidun prosessoinnin, joka voi käsitellä näitä symboleja yhtä vaivattomasti kuin perinteinen tietokone käsittelee numeerisesti talletettua dataa. Ensimmäiset LISP-toteutukset olivat Digital Equipment Corporationin tietokoneilla PDP-6 ja PDP-20, ja ensimmäisen kaupallisen varsinaisen LISP-koneen esitteli Symbolics vuonna 1980.

Symbolien prosessointiin sopivia tietokoneita on saatavissa useilta laiteoimittajilta (Symbolics 1980, Lenat 1983, Waldrop 1984, Schank ja Hunter 1984). Symbolilaskennan nopeus tavallisessa tietokoneessa on alhainen; ongelma on samantapainen kuin liukulukulaskennassa ilman tarvittavaa prosessoria. Sen lisäksi vaaditaan dynaamista muistinhallintaa, mikä ilman prosessorin tätä tukevia erityispiirteitä muodostuu rasakaksi. Uudet nopeat 10-50 MIPSin RISC-prosessorit alkavat saavuttaa kuitenkin LISP-prosessorien tehoa.

### 32. Asiantuntijajärjestelmät

Asiantuntijajärjestelmä on tietokoneohjelma, joka on suunniteltu kapea-alaisen ongelmakentän asiantuntijan käyttäytymisen simulointiin ongelmanratkaisutilanteessa (Denning 1986, Waterman 1986). Nämä järjestelmät kykenevät tekemään johtopäätöksiä informaatiosta ja perustelemaan päättelyn tulokset. EXS:ien kehitystie eroaa FMS:ien, DBMS:ien, MIS:ien ja DSS:ien kehitystiestä. Käsitteistö liittyy tekoälyn aihepiiriin ja merkitsee siten radikaalia poikkeamaa tavanomaisesta tietokoneen käytöstä ja ohjelmointitekniikasta. Seuraavassa tarkastellaan asiantuntijajärjestelmien perusteita siltä osin, mitä on tarpeellista niiden toiminnan ymmärtämiseksi, rakenteen ja toiminnan tutkimiseksi ja olemassa olevien ja mahdollisten metsätaloudellisten sovellusten kuvaamiseksi (Duda ja Shortliffe 1983, Gevarter 1983, Hayes-Roth 1984, D'Ambrosio 1985, Michaelsen ym. 1985, Shannon ym. 1985).



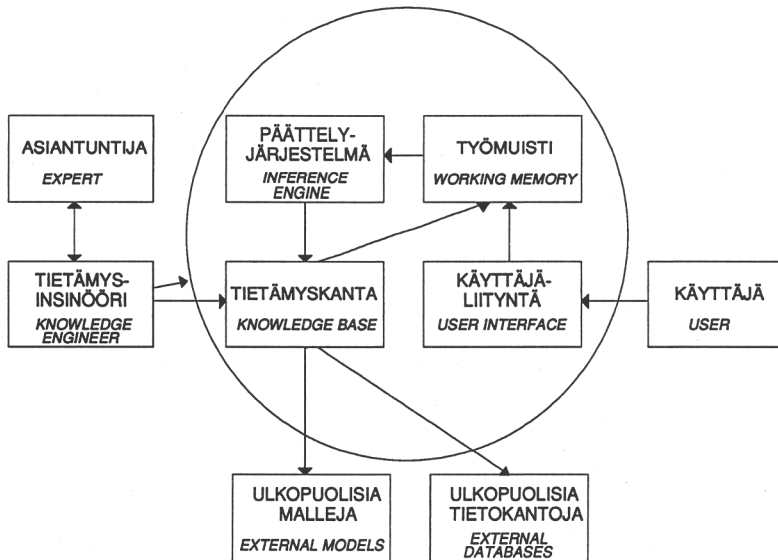
Kuva 9. Kaikki tekoälyn osa-alueet pohjautuvat älykkääseen hakuun. Viipaleen leveys kuvastaa alan suhteellista merkitystä tämänhetkisessä tutkimuksessa.

Figure 9. All the subfields of artificial intelligence are based on intelligent search methodology. The breadth of the slice represents the importance of the field in the present research.

### 321. Asiantuntijajärjestelmän rakenne ja toiminta

Asiantuntijajärjestelmä on ohjelma joka ratkaisee ongelmia tai saavuttaa tavoitteita käsittelemällä jostain asiantuntijalähteestä saatua tietoa sen sijaan, että se suorittaisi jonkun ennalta määritellyn algoritmin. Asiantuntijajärjestelmiä on olemassa useanlaisia. Seuraavassa painotetaan yksinkertaisia sääntöpohjaisia järjestelmiä (*rule-based expert systems*), koska ne tarjoavat sen perusteknologian, jota tarvitaan tietämyksen esittämiseen (*knowledge representation*), päättelyn (*reasoning*) automatisoimiseksi ja koneiden itsenäiseen ongelmanratkaisuun.

Denning (1986) kuvaa sääntöpohjaisen asiantuntijajärjestelmän rakenteen ja toiminnan analogialla logiikan järjestelmään. Matemaattisessa logiikassa systeemi muodostuu äärellisestä joukosta faktoja ja sääntöjä. Todistus on jono symbolijonoja, esimerkiksi  $S_1, \dots, S_p$ , siten että jokainen symboli  $S_i$  on joko aksioma tai on johdettavissa jostakin alijoukosta  $S_1, \dots, S_{p-1}$  jonkin sääntön perusteella. Asiantuntijajärjestelmä yrittää "laskea" tai käydä läpi symbolijonon muodostaman jonon esittäen ongelmanratkaisun vaihe vaiheelta. Tämä jono muodostaa ratkaisun todis-



Kuva 10. Asiantuntijajärjestelmän rakenne. Keskeinen toiminta on päättelyjärjestelmän, tietämuskannan ja työmuistin välinen mallinsovitusyksi.

Figure 10. Structure of an expert system. Action is generated through the match-and-execute cycle between the inference engine, knowledge base, and working memory.

tuksen. Säännöt ovat muodoltaan yksinkertaisia, ongelmanratkaisun yleisen mallin mukaisia: "jos ehto, niin seuraamus" (Buchanan ja Duda 1983, Denning 1986).

Asiantuntijajärjestelmän arkkitehtuurin voidaan katsoa muodostuvan seuraavista osista (kuva 10): 1) käyttäjäliityntä (*user interface*), 2) tietämuskanta (*knowledge base*), 3) päättelyjär-

jestelmä (*inference engine*) ja 4) työmuisti (*working memory*). Joissakin tapauksissa järjestelmä voi myös sisältää alirutiineja, jotka hoitavat liittymät muihin järjestelmiin. Käyttäjiliityntä voidaan toteuttaa graafisesti. Se muodostaa väli-neen, jolla käyttäjä voi tehdä kyselyjä ja toimittaa tietoja järjestelmälle ja jonka avulla järjestelmä kuvaa toimintaansa.

#### RULE082 [SIENI-RULES]

If 1) **Puulaji, jossa tuhoa esiintyy** is MÄNTY, and  
 2) **Tuhotapauksen karkea luokka** is LEHVÄSTÖ\_VÄRJÄYTYNYT, and  
 3) **Tuhon tuntomerkkejä puussa** is "raja terveen neulasen tyven ja sairaan kärjen välillä jyrkkä", and  
 4) 1) **Havaintokuukausi** is less than 7, and  
     2) **Neulasten väri** is PUNAINEN, or  
     2) 1) **Havaintokuukausi** is greater than or equal to 7, and  
     2) **Neulasten väri** is HARMAA,  
 Then it is definite (100%) that **Tuhonaiheuttaja** is HARMAAKARISTE.

Kuva 11. Esimerkki sääntöpohjaisesta tietämyksen esittämisestä TUHOMIES asiantuntijajärjestelmässä (Saarenmaa 1987b, Väkevä 1990).

Figure 11. An example of the rule-based knowledge representation in the expert system TUHOMIES (Saarenmaa 1987b, Väkevä 1990).

Asiantuntijajärjestelmän tärkeimmät komponentit ovat tietämyskanta ja päättelyjärjestelmä. **Tietämyskanta** on tietämyksen kuvauskielillä toteutettu aihepiirin elementtien ja niiden välisten suhteiden määritelmien verkko, joka sisältää faktoja, yleistyksiä, asiantuntijanäkemyksiä ja sääntöjä (*rules, heuristics*). Se sisältää kaiken järjestelmäkohtaisen, tehtävien kannalta yksilöidyn informaation.

Tietämyskannan kirjoittaminen alkaa käsitteanalyysillä, jonka aikana piirretään ongelmanratkaisuun vaikuttavista tekijöistä riippuvuusverkko (*dependency network*) (ks. esim. Saarenmaa 1990). Tavallisesti riippuvuusverkko kehitetään käymällä läpi haastatteluprosessi, jossa on mukana nk. **tietämysinsinööri** (*knowledge engineer*) ja **asiantuntijoita** (*experts*).

Tietämyskannan sisältö on yleensä muodostettu tuottamalla informaatiota erilaisista lähteistä kuten teknisistä raporteista, simulointikokeiluista ja asiantuntijalausunnoista. Tietämyskanta esitetään usein sääntömuodossa, jolloin siihen viitataan käsitteellä sääntökanta (*rule base*). Säännöt ovat edeltäjä-seuraamus -lauseita tai jos-niin -lauseita (kuva 11). Esimerkiksi jos on olemassa todisteet siitä, että a ja b ovat tosia, **niin** päättele, että on olemassa todisteet sille, että c on tosi. Säännön vasen puoli sisältää ehdolliset lauseet ja säännön oikea puoli sisältää lauseet, jotka voidaan päätellä (Duda ja Gaschnig 1981).

On olemassa myös muita tapoja tietämyskannan **tietämyksen kuvaamiseksi**, esimerkiksi objektikielissä käytetyt **kehukset** (*frames*) (Fikes ja Kehler 1985), **semanttiset verkot**, **predikaattikalkyyli** ja tavalliset proseduurit, mutta suosituin tekniikka on käyttää sääntöjä (Davis 1986). Suuret sääntökannat on usein organisoitu pienemmiksi osiksi sijoittamalla samaan aihepiiriin kuuluvia sääntöjä kehyksien elementteihin eli *slot*-ihin.

Tietämyksen hankinta muodostaa pullonkaulan asiantuntijajärjestelmien kehittämisessä (ns. *knowledge acquisition bottleneck*). Tätä voidaan kiertää **koneoppimisen** avulla. Nykyisin on jo kaupallisesti saatavissa ns. **induktiojärjestelmiä**, jotka generoivat päättelysäännöt suoraan datasta. Tunnetuin tällainen algoritmi on ID3 (Quinlan 1986). Uusimmat algoritmit, kuten IXL (IXL... 1989) kykenevät jo käsittelemään ristiriitaisuuksiakin sisältäviä aineistoja. Tietokantoihin kätkeytyneen tietämyksen löytäminen tekoälyn avulla on vilkkaan tutkimuksen kohteena (Piatetsky-Shapiro 1989, L.Saarenmaa 1989a) ja ensimmäiset kaupalliset tuotteet ovat markkinoilla (IXL... 1989).

### ETEENPÄINKETJUTUS FORWARD-CHAINING

If A, then B	(Rule 1)
If B, then C	(Rule 2)
A	(Data)
---> C	(Conclusion)

### TAAKSEPÄINKETJUTUS BACKWARD-CHAINING

Test about C	(Goal)
If B, then C	(Rule 2)
If A, then B	(Rule 1)
A	(Data)
---> C	(Conclusion)

Kuva 12. Etenevä ja perääntyvä päättely.

Figure 12. Forward chaining and backward chaining reasoning.

**Päättelyjärjestelmä** on järjestelmän päättelyprosessien ohjaaja. Toiminnallisesti se on ohjausohjelma, joka ajon aikana muovaa työmuistiin varsinaisen ongelman ratkaisevan ohjelman säännöistä ja käyttäjän antamista tiedoista. Nimenomaan tästä johtuu LISP:n keskeinen sija tekoälyssä: LISP:ssä data ja ohjelma ovat yhtä, joten ohjelma muovautuu ajon aikana datasta. Näin saavutetaan samanlainen joustava päättelypolku kuin se, mikä luonnehtii inhimillistä ongelmanratkaisua. Sitä vastoin perinteisillä ohjelmointikielillä koodattua ohjelmaa ei voi muuttaa ajon aikana.

Asiantuntijajärjestelmissä käytetään kahta periaatteeltaan erilaista ohjausstrategiaa sääntöjoukkojen kytkemiseksi toisiinsa ongelman ratkaisemiseksi: **eteenpäin ketjuttava** (*forward chaining, data driven*) eli etenevä päättely ja **taaksepäin ketjuttava** (*backward chaining, goal driven*) eli peräytyvä päättely. Etenevä päättely käyttää päättelysääntöjä lähtien havainnoista

ja päätyen johtopäätöksiin (kuva 12), kun taas peräytyvä päättely käyttää sääntöjä peräytyvästi lähtien hypoteesista tai tavoitteesta päätyen havaintoihin, jotka voivat antaa tukea hypoteesin vahvistamiseksi (Buchanan ja Shortliffe 1984). Molempia strategioita voidaan käyttää hyväksi asiantuntijärjestelmissä. Kuitenkaan päättelymenetelmä ei ole läheskään yhtä tärkeä kuin hyvä tietämyksen esittäminen.

**Työmuisti** sisältää kyseessä olevan ongelman kannalta spesifistä informaatiota. Siihen muodostuu järjestelmän ymmärtämä dynaaminen maailmankuva ja päättelyketju, joka ilmaisee kuinka käsillä oleva tila on muodostunut.

Joissakin tapauksissa työmuistin ulkopuolisia alirutiineja (simulointimallit, tietokantamanageri, kommunikointiohjelmat jne.), jotka sijaitsevat asiantuntijärjestelmän ulkopuolella, käytetään järjestelmän tarvitseman informaation hankkimiseksi siltä osin kuin käyttäjä ei voi toimittaa sitä suoraan. Asiantuntijärjestelmä kutsuu alirutiineita suorituksen aikana esimerkiksi seuraavan kaltaisella säännöllä: jos käyttäjä ei tiedä muuttujan X arvoa, niin suorita simulointimalli Y. Muuttujan arvo lasketaan alirutiinilla ja ongelman ratkaisu voi jatkua.

### 322. Sääntöpohjaisen tietämyksen esittämisen edut ja haitat

Voidaan olettaa, että asiantuntijärjestelmät saavuttavat toimintatason, joka on verrattavissa inhimillisen asiantuntijan toimintaan määritellyllä ongelma-alueella. Formalisoitu tietämyskanta ja siihen liittyvät asiantuntijärjestelmän kontrollimekanismit edustavat itse asiassa kyseisen ongelma-alueen praktikkojen asiantuntemusta ja ko. alan tietämyksen mallia (Feigenbaum 1977). Kirjojen tapaan asiantuntijärjestelmät tarjoavat mahdollisuuden välittää tietoja ja taitoja muutamilta monille. Myös asiantuntijärjestelmien käytön tarkoitus on ainoastaan konsultoida erilaisten ongelmien ratkaisussa eikä korvata inhimillistä päätöksentekoa (Bonczek ym. 1981, Hayes-Roth 1984). Asiantuntijärjestelmät ovat ennen muuta **kommunikoinnin väline**.

Suhteessa tavanomaisiin lähestymistapoihin asiantuntijärjestelmien käyttö tarjoaa joukon merkittäviä etuja (Hayes-Roth 1984). Ensiksi, tietämyskanta voi muodostua sekä dokumentoidusta, todennetusta ja objektiivisesta informaatiosta (so. simulointimallit ja tekninen informaatio) että asiantuntijan subjektiivisista näke-

myksistä.

Toiseksi, asiantuntijärjestelmän toimintaa ohjataan päättelyjärjestelmän avulla, joka hyödyntää järjestelmän ohjauksessa *pattern matching*-periaatetta. Se on ei-proseduraalinen ja joustava keskusteluväline vastakohtana tavanomaisissa systeemeissä käytetyille ennalta sidotuille haarautumismenetelmille.

Kolmanneksi, päättelyjärjestelmä ja tietämyskanta ovat erilliset, mikä suuresti yksinkertaistaa asiantuntijärjestelmän ylläpitoa ja päivittämistä. Tietämyskanta on usein modulaarinen, jolloin sen muuttaminen on helppoa.

Neljänneksi, asiantuntijärjestelmä sisältää tietorakenteet, joita tarvitaan epätarkan ja epätäydellisen informaation käsittelemiseksi. Tällä tarkoitetaan luotettavuusarvojen (*certainty factors*) yhdistämistä syötteisiin ja johtopäätöksiin. Tavanomaisissa järjestelmissä epätäydellistä informaatiota käsitellään oletusarvoilla. Olettamusta korostettaessa seuraamuksiin ei kuitenkaan kiinnitetä huomiota. Esimerkiksi asiantuntijärjestelmissä simulointimallin käytön tulos oletusarvoin voi saada sisäisen luotettavuusarvon, joka on alempi kuin tulos samasta mallin käytöstä, kun oletusarvon sijaan on käytetty havaintotietoa. Edelleen, mallin käytön perusteella annetut suositukset voidaan antaa tähän luotettavuusarvoon perustuen. Epävarmuuden käsittely asiantuntijärjestelmissä periytyy lääketieteellisestä diagnostiikasta ja todisteoriasta (*theory of evidence*) (Buchanan ja Shortliffe, 1984). Myös sumeaa logiikkaa asiantuntijärjestelmissä tutkitaan (Negoiita 1985).

Viides Hayes-Rothin luettelema etu on se, että asiantuntijärjestelmä pystyy antamaan vastauksen **miksi** -kysymykseen. Koska se muistaa käyttämänsä päättelyketjun, se voi sisällyttää antamansa ongelman ratkaisun selvityksen niistä askeleista, jotka se on päättelyssä tehnyt. Käyttäjä voi kysyä järjestelmältä, miksi se haluaa tiettyä informaatiota tai **kuinka** se päätyi juuri tiettyyn vastaukseen. Edistyneeltä järjestelmältä voi kysyä myös, **miksi ei** joku asia ole mahdollinen.

Ja viimein kuudenneksi, asiantuntijärjestelmän käyttö ei edellytä erityisasiantuntemusta. Kaikki informaation analysointi tehdään järjestelmässä, joten käyttäjälle jää ainoastaan joukko suositusvaihtoehtoja, jotka on järjestetty luotettavuusfaktoreiden mukaan. Tavanomaisten järjestelmien yhteydessä käyttäjän täytyy tulkita esitettyjen tulosten merkitys.

Tässä yhteydessä on painotettu tavanomaisten lähestymistapojen negatiivisia näkökohtia. Kuitenkin on tärkeää huomata, että monissa tapauk-

sisä nämä lähestymistavat tarjoavat arvokkaita työkaluja tietokoneavusteiselle päätöksenteolle, joka toisaalta taas on vasta ottamassa ensiaskeleitaan sovellusalueilla (Naegele ym. 1985).

Sääntöpohjaiseen tietämyksen esittämiseen liittyy kuitenkin koko joukko huonojakin puolia (ks. Hayes-Roth 1984). Sääntöpohjaisella asiantuntijajärjestelmällä ei ole tajua sääntökokonaisuuden kattavuudesta; se ei tiedä milloin liikutaan sen tietämyksen raja-alueilla. Kun sääntöjen määrä kasvaa yli sadan, alkaa olla todennäköistä, että niiden muuttamisella on haitallisia sivuvaikutuksia. Sääntöjen ilmaisuvoima on rajallinen kuvattaessa staattisia objekteja ja riippuvuuksia niiden välillä. Sääntöpohjaisiin järjestelmiin liittyy ns. **skaalausongelma**, joka syntyy kun pieni nopeasti kehitetty prototyyppijärjestelmä yritetään saada toimimaan reaali maailman kompleksisissa tilanteissa sääntöjen määrää kasvattamalla. Tämä johtuu siitä, että sääntöpohjaiselle järjestelmälle täytyy eksplisiittisesti kuvata kaikki mahdolliset tilanteet. Tällaisista ongelmista selviävät mallipohjaiset tietämysjärjestelmät.

### 323. Metsätalouden asiantuntijajärjestelmiä

Asiantuntijajärjestelmiä kehitettiin aluksi teollisuuden (McDermott 1981) ja lääketieteen käyttöön (Shortliffe 1976), geologiaan (Duda ym. 1979), kemiaan (Feigenbaum ym. 1971) ja insinööritieteisiin (Bennett ja Engelmöör 1979). Nykyään ne ovat laajentuneet lähes kaikille inhimilliseen toiminnan alueille ja niillä lasketaan saatavan strategisia hyötyjä (Feigenbaum ym. 1988).

Sovellutuksia maa- ja metsätalouteen kehitetään kiivaasti (Buchanan ja Duda 1983, Bobrow ja Hayes 1985, Holt 1985, McKinion ja Lemmon 1985, Naegele ym. 1985, Stone ym. 1986a, 1986b, Stone ja Toman 1988, Saarenmaa 1990. Rauscher ja Hacker (1989) luettelevat metsätaloudesta 74 asiantuntijajärjestelmäprojektia, joista 19 on tuottanut valmiin järjestelmän. Menestyksekkäimmän käytössä olevan järjestelmän on laatinut Kourzin (1987) työryhmä metsäpalojen sammutuksen suunnitteluun ja aikatauluistamiseen Kanadassa. Englannissa on jo VIDEO-TEXilla toimiva kasvitautien diagnoosiin pystyvä asiantuntijajärjestelmä toiminnassa (Pogson ja Brown 1986). Texasissa ja Missisippissa kehitetään FLEX (*Farm Level Expert System*) järjestelmiä koko maatalian päätöksentekoon sekä puuvillan että riisin viljelyssä (Naegele ym. 1985, Stone ym. 1986b). Edellämainittua SPBDSS:aa

ollaan parhaillaan muuttamassa asiantuntijajärjestelmäksi (Coulson ym. 1987). Mielenkiintoinen on myös automaattinen metsäteiden suunnittelujärjestelmä (Thieme ym. 1987). Suomessa on kehitteillä integroitu metsänsuojelun tietämysjärjestelmä, joka sisältää varsinaisen asiantuntijajärjestelmän metsätuho-ongelmien tunnistamiseen ja torjuntatoimien suosittamiseen, matemaattisia ja tekoälypohjaisia simulointimalleja ennustamiseen (Saarenmaa 1987b, Saarenmaa 1990, Väkevä 1990). Kärenlampi (1988) on tehnyt asiantuntijajärjestelmän puunhankinnan ohjaukseen ja L. Saarenmaa (1989a, 1989b) järjestelmän metsänuudistamisen päätöksenteon tueksi.

Asiantuntijajärjestelmäsovellusten nopean lisääntymisen mahdollisuus on suuri, sillä nykyään voidaan saada runsaasti asiantuntijajärjestelmäkehittämiä (*shells*), jotka on suunniteltu käytettäväksi tavanomaisilla tietokoneilla, erityisesti mikroilla. Tämä eliminoi symbolien prosessointiin tarkoitettujen tietokoneitten tarpeen asiantuntijajärjestelmien jakelussa ja osin jopa kehittämisessä. Edelleen symbolien prosessointiin tarkoitettujen tietokoneiden kustannusten odotetaan laskevan ja yhdelle piirille painettujen LISP-prosessoreiden kehittyvän. Uudet tehokkaat mikrot ja työasemat poistavat laiteongelmat lähivuosina kokonaan. Tärkeimmät vaatimukset todella tehokkaalle tietokoneavusteisen päätöksenteon työasemalle on riittävän suuri muisti ja graafinen kuvaruutu, jolla asioiden riippuvuus-suhteet voidaan esittää.

## 33. Mallipohjaiset tietämysjärjestelmät

### 331. Asiantuntijan tukijärjestelmät

Asiantuntijajärjestelmä- ja päätöstukijärjestelmäkäsitteiden integrointi on antanut aiheen käsitteelle **asiantuntijan tukijärjestelmä** (*expert support system*, EXSS). Joissakin tapauksissa päätöksentekoa voidaan lisätä hyödyntämällä asiantuntijajärjestelmiä DSS:n rakenteen sisällä (Vedder ja Nestman 1985, Turban 1988). Scott Morton (1985) ehdottaa, että asiantuntijan tukijärjestelmät ovat yhdistelmiä konsultoitavien asiantuntijajärjestelmien piirteistä ja traditionaalisista DSS:stä (kuva 1).

Tämän tyyppiseen järjestelmään viitataan myös puhuttaessa ns. "johtajan päätöksenteon systeemistä" (*executive decision support system*). Asiantuntijan tukijärjestelmään liittyvät ominaisuudet antavat mahdollisuuden tukea pää-

töksentekoa: 1) tarjoamalla useita vaihtoehtoja, 2) kyvyllä osoittaa useita, joskus vastakohtaisia kriteereitä tai tekijöitä, jotka vaikuttavat päätöksentekoon, 3) tuomalla mukaan päätöksentekoon sekä subjektiivisia että objektiivisia tekijöitä, 4) sisällyttämällä päätöksentekoon asiantuntijan näkemyksen näiden tekijöiden suhteellisesta merkityksestä, 5) tuomalla mukaan päätöksentekijän asiantuntemuksen mahdollistamalla näkemysten tai kannanottojen ilmauksen sekä 6) mahdollistamalla tehtävän päätöksen pääpiirteiden perusteella tehtyjen arvioiden yhdistelyn (Turban 1988).

Asiantuntijan tukijärjestelmä -käsitteeseen liittyy kuitenkin ristiriita sikäli, että asiantuntijajärjestelmät ovat nimenomaan tarkoitettuja tiedon siirtämiseen asiantuntijalta ei-asiantuntijalle. Asiantuntija ei tarvitse sellaista selityskykyä ja kapea-alaista ongelmanratkaisua, mikä asiantuntijajärjestelmiin liittyy. Sen sijaan hän tarvitsee joustavuutta erilaisten työkalujen ja mallien kombinoinnissa ja käytön sujuvuutta. Nämä piirteet on Faught (1986) määritellyt kuuluvaksi **asiantuntijan työasemaan** (*expert workstation*), joka pohjautuu oliopohjaiseen ohjelmointiin ja mallipohjaiseen päättelyyn. Tämän käsitteen laajennuksia ovat **kansalaisen tietoa-** **asema** ja ns. *knowledge navigator* (Sculley ja Byrne 1988). Kaikki nämä lähestymistavat vaativat tietojärjestelmästä vahvaa objektipohjaista systeemimallia ja "syvää" riippuvuussuhteet eksplisiittisesti esittävää tietämyksen esittämistä.

### 332. Oliopohjainen ohjelmointi

Syvätietämyksen luonnollinen esitystapa on **oliopohjainen ohjelmointi** (*object-oriented programming*, OOP). Oliopohjainen malli koostuu objekteista, joilla on ominaisuudet ja käytös. Kombinoimalla objekteja saadaan aikaan rakenteita. Oliopohjaisen ohjelmoinnin kulmakivet ovat objektien ominaisuuksien periytyminen, ohjelmointi erikoistumisen avulla sekä sanomien lähetykset objekteilta toisille.

Objektit ovat hyvin läheisiä kehyksille, joita käytetään sääntöpohjaisissa järjestelmissä sääntöjen ryhmittelyyn (esim. Aikins 1981). OOP:n objektia voidaan verrata lipastoon, jossa on laatikoita. Laatikot ovat attribuutteja (*slots*), jotka voivat sisältää mitä tahansa, esim. perinteistä dataa, viittauksia toisiin objekteihin, ohjelmakoodia, kuvia tai sääntöjä (Cox 1984). Objektit on kytketty toisiinsa yleensä puumaisen hierarkki-

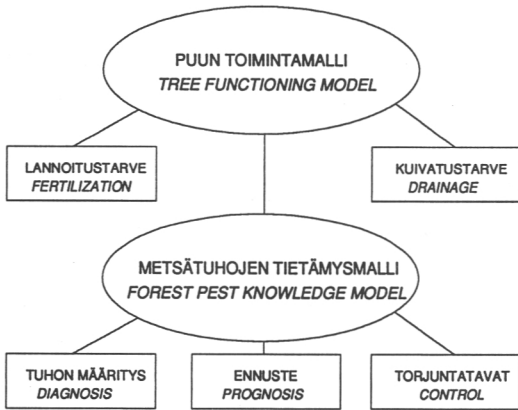
sen verkon avulla. Ylempien tasojen objektien attribuutit periytyvät alemmille tasoille, ellei niitä ole siellä erikseen määritelty (*inheritance* ja *programming by specialization*). Kyseessä on luokka-alaluokka-relaatio, jossa ylempät tasot edustavat alempien tasojen potentiaalia. Alaluokkiin rinnasteisia ovat varsinaiset objektit luokkien instansseina. OOP:n avulla saadaan käyttöön keskeiset välineet mallintamiselle: **luokka-alaluokkarelaatio**, **luokan instanssirelaatio** ja **ominaisuuksien hallinta** (*belongs-to*, *is-a* ja *has-a*-relaatiot). Kehittyneissä järjestelmissä on muitakin relaatioita.

Objektit saadaan toimimaan vaihtamalla sanomia (*message passing*). Objektin slotissa oleva ohjelma tai sääntö lähettää toiselle objektille sanoman, esim. pyytää sitä laskemaan jonkun attribuutin arvon. Reagoituaan sanomaan, objekti lähettää sanoman. Näin saadaan ohjelmassa aikaan mekanistinen hajautettu kontrolli, joka voidaan luonnollisesti ja tehokkaasti toteuttaa moniajona. Kontrollia voidaan tarvittaessa synkronoida *semaphoreilla* sekä keskittää ns. *blackboardin* avulla, joka toimii objektien yhteisenä kommunikaatiovälineenä.

### 333. Mallipohjainen päättely

**Mallipohjainen päättely** (*model-based reasoning*, MBR) perustuu **syvätietämykseen** (*deep knowledge*) sekä mallien monikäyttöisyyteen, joka saavutetaan oliopohjaisen ohjelmoinnin avulla. Nämä seikat tulevat mahdollisiksi, kun erotetaan kohteen malli ja siitä tehtävä päättely toisistaan (kuva 13).

Yksinkertaisessa sääntöpohjaisessa asiantuntijajärjestelmässä kohteen malli ja ongelmanratkaisuun tähtäävä päättely ovat sekoittuneet. Yleensä mallia ei ole edes eksplisiittisesti määritelty, vaan se on ikäänkuin luettavissa sääntökanan rivien välistä. Kotonin (1985) mukaan säännöt ovat "käännettyä" tietämystä (*compiled knowledge*). Tällöin joudutaan määrittelemään jokainen mahdollinen tilanne etukäteen ja sääntöjen määrä kasvaa suureksi. Kun säännöissä edetään suoraan havainnoista johtopäätöksiin menemättä asian perusmekanismeihin (*first principles*), "näin on jos siltä näyttää", puhutaan ns. **pintatietämyksestä** (*shallow* tai *surface knowledge*), joka on syvätietämyksen vastakohta (esim. Kinnucan 1984, Sticklen ja Chandrasekaran 1985, Klein ja Finin 1987). Sääntöpohjainen tietämyksen esitys ei sinänsä vaadi latteaa tietämyksen esittämistä, mutta johtaa helposti siihen,



Kuva 13. Mallipohjaisessa päättelyssä (MBR) oliopohjaiset mallit (soikiot) ja niitä koskeva päättely (suorakulmiot) on erotettu toisistaan.

Figure 13. In model-based reasoning (MBR) the object-oriented models (ellipses) and reasoning about them (rectangles) are separate from each other.

jos riippuvuusverkkoja ei piirretä ja perusteellista käsite- ja systeemianalyysia (ks. esim. Shaler ja Mellor 1988) ei tehdä.

Mallipohjaista päättelyä on sovellettu erityisesti vikadiagnostiikan aluella. Laitteesta, laitoksesta tai prosessista on tehty oliopohjainen simulointimalli, johon ei ole liitetty mitään sen käyttöön liittyvää tietämystä. Malli voidaan tyypillisesti esittää prosessikontrollipaneelina tietokoneen näyttöruudulla. Mahdolliset viat ilmenevät systemaattisesti: ts. vuotava putki kahden säiliön välillä aiheuttaa heijastuksia koko järjestelmässä. Malliin liittyvä ns. totuuden säilyttämisjärjestelmä (*truth maintenance system*, TMS) joka tarkkailee mallin sisäisiä ristiriitaisuuksia, havaitsee epänormaalin toiminnan ja käynnistää mallin ulkopuolella (vrt. kuva 13) olevan päättelyjärjestelmän, joka jäljittää vian (Herbert ja Williams 1987). Vikadiagnostiikan teoria on hyvin kehittynyt ja tällä tavoin voidaan tunnistaa monia samanaikaisia vikoja (DeKleer ja Williams 1987). Vikadiagnosiin tähtäävän päättelyn tapaan voidaan tehdä myös suunnittelua ja mallin toiminnan optimointia. Näihin käytetään ei-monotonista päättelyä ja tietämystekniikan välineiden tutkema ns. *multiple-world* mekanismia, jolla tutkitaan niitä vaihtoehtoja, joita mallin toiminnan muuttamiselle on olemassa (Model-based... 1986, Nardi ja Simons 1986).

Teollisuuden piirissä syntyneellä objek-

tiorientoituneella simuloinnilla ja vikadiagnostiikkateorialla on suora sovellusalue puun toiminnan mallintamisessa ja erilaisten tuhojen määrittämisessä (Saarenmaa 1988a). On ilmeisesti mahdollista pukea puun kasvua kuvaavia simulointimalleja (esim. Hari ym. 1982, Landsberg 1986) vaadittavaan oliopohjaiseen muotoon (Kolström 1988), sekä yhdistää näihin teorit puun resistenssistä ja stressifysiologiasta, vaikka tietämyksemme luonnonprosesseista ei saavuta sitä astetta kuin esim. voimalaitoksen toiminnan mallintamisessa on mahdollista (Stone 1987). Oliopohjaiset simulointimallit puutasolla ovat luonteeltaan prosessimalleja.

**Integroitu tuholaistorjunta** (*integrated pest management*, IPM), jonka tavoite on pitää tuholaiskannat vahingollisen rajan alapuolella on analoginen ydinvoimateollisuuden parissa syntyneen käsitteen turvallisuusjärjestelmä (*safety system*) kanssa. Älykäs turvallisuusjärjestelmä (*intelligent safety system*, ISS) yhdistää oliopohjaisen simuloinnin, totuudensäilyttämisjärjestelmän ja diagnostisen päättelyn (Klein ja Finin 1987). Stone ja Saarenmaa (1988) ovat kehittäneet IPM:n käsitteistöä ISS:nä. Ekologisen turvallisuusjärjestelmän kehittäminen tältä pohjalta metsän terveydentilan seuraamiseen ja siihen liittyvään päätöksentekoon tarjoaa lupaavia mahdollisuuksia.

Oliopohjaisella simuloinnilla ja ajonaikaisella päättelyllä on sovelluksia myös metsikkötasolla. Tällöin siirrytään organisaatiotasolta toiselle. Malleihin mukaan otettavien tekijöiden joukko lisääntyy ja detaljeista joudutaan tinkimään. Jos oliopohjainen malli puutasolla on väistämättä prosessimalli, metsikkötason objekteihin sopinevat paremmin stokastiset prosessit. Tällaisen mallihierarkian luominen on metsäntutkijoille mielenkiintoinen haaste. Ideaalinen malli on luonnon tarkka kuvaus. Se kattaa kaikki hierarkiatasot solusta biosfääriin ja voidaan **instantioida** käyttötarkoituksen mukaan samaan tapaan kuin kartta voidaan zoomata eri mittakaavoihin.

Luonnon luonnollinen kuvaus on oliopohjainen tietokanta (esim. Loehle 1987, Stone 1987). Koska oliot voivat sisältää datan lisäksi myös ohjelmia, sääntöjä, grafiikkaa, jne., niihin voidaan tallettaa myös esim. puiden kasvumalleja. Tällöin metsää kuvaava data tulee riippumattomaksi sitä käyttävistä ohjelmista.

Tällaista oliopohjaista tietokantaa voidaan käyttää metsikkötason simulointien pohjana. Hirvituhoja voidaan periaatteessa ennustaa simuloimalla hirven käyttäytymistä hirviobjekteihin talletettujen sääntöjen avulla oliopohjaisen

GIS-järjestelmän päällä (Saarenmaa ym. 1988, Saarenmaa ja Nikula 1989). Hynynen (1988) on kehittänyt oliopohjaisen hajautetun kappaletavaran tuotannon ohjauksen ja suunnittelun järjestelmän, joka voidaan suoraan rinnastaa esim.

puunhankintaketjun ohjausjärjestelmään.

Mallipohjainen päättely ja oliopohjainen tietämyksen esitys ovat avaintekijöitä myös tekoälypohjaisessa suunnittelussa ja aikatauluistamisessa (*planning and scheduling*).

## 4. Operaatiotutkimus

Kahdessa edellisessä luvussa on käsitelty tietojen- ja tietämyksenkäsitteilyn tarjoamia mahdollisuuksia metsätalouden päätöksentekon tukemisessa. Perinteisesti **operaatiotutkimus** (*operations research*, OR) on kuitenkin ollut keskeisin lähestymistapa päätöksentekoon tarvittavien tietojen käsittelyssä. Emme kuitenkaan tässä katsoksessa aio paneutua operaatiotutkimukseen pintaa syvemmälle. Tämä johtuu siitä, että aiheesta on kirjoitettu hyvin paljon muualla ja toisaalta emme tältä alalta omaa kaikkea tarpeellista kokemusta. Lukija, joka haluaa paneutua aiheeseen voi tutustua esim. Beerin (1974), Tahan (1982), Dykstran (1984), Kilkin (1985) tai Hilleirin ja Liebermanin (1986) oppikirjoihin. Keskeinen osa operaatiotutkimusta koskevaa yleissivistystä on myös siihen kohdistettu kritiikki (esim. Beer 1974, Ackoff 1979a, 1979b).

### 41. Operaatiotutkimuksen tausta

OR:n perusajatus on soveltaa **tieteellistä** lähestymistapaa yrityksen toimintojen ohjaamiseen. Sana "tieteellinen" on ymmärrettävä hyvin laajasti siten, että kehittämällä matemaattisia malleja toiminnan kuvaamiseen, toimintaa voidaan tutkia ja ohjata parhaalla mahdollisella tavalla. Keskeinen, mutta ei ainoa tavoite ekonometriassa ja OR:ssa on löytää optimaalisia tuloksia käytettävissä olevien rajallisten resurssien puitteissa. Investointipäätöksiä tehtäessä on aina vaihtoehtoja. Päätöksentekijä haluaa maksimoida investoinneista saatavan hyödyn.

Jotta vaihtoehtoja voitaisiin vertailla OR:n menetelmin, ne on kuvattava matemaattisina malleina. Tämä eroaa tietojenkäsittelyn ja tietämyksenkäsitteilyn lähestymistavoista, joissa maailma voidaan kuvata tarvittaessa vähemmän pelkistettynä tietorakenteina tai objekteina.

OR:n menetelmiä sovellettaessa on oleellista tarkastella yritystä kokonaisuutena. Esim. yrityksellä voi olla useita eri toimintoja, joiden tavoitteet voivat olla ristiriitaisia ahtaasti yrityksen

jonkun osaston sisältä katsottuna. OR:n menetelmien avulla yritysjohto voi hakea kokonaisoptimia. Tämän vuoksi OR:n menetelmien käyttö vaatii usein laajoja työryhmiä.

OR on läheisesti kytkeytynyt MIS-ajatteluun. Monet OR:n käyttämät laskentamenetelmät vaativat suurta laskentakapasiteettia ja keskustietokoneita.

Ahtaasti tulkiten OR:n menetelmillä tavoiteltava optimaalinen ratkaisu ja tietämystekniikan mahdollistama kelvollinen ratkaisu ovat ristiriidassa. Ero ei kuitenkaan ole suuri, sillä kelvollinen ratkaisu on usein lähes optimaalinen tilanteissa, joissa laskentakapasiteetin puute, puuttuva tieto, tai kvantitatiivisen matemaattisen kuvauksen soveltamattomuus ei mahdollista algoritmista ratkaisua.

### 42. Operaatiotutkimuksen keskeiset osa-alueet

Keskeinen osa operaatiotutkimusta ovat erilaiset optimointimenetelmät. Optimointimenetelmissä päätöksentekijän saaman hyödyn ilmaisee tavoitefunktio, jota maksimoidaan ja minimoidaan lausekkein ilmaistujen rajoitusten vallitessa. Tavoitefunktion ja rajoitteiden lineaarisuudesta tai epälineaarisuudesta riippuen puhutaan **lineaarisesta ohjelmoinnista** (*linear programming*, LP) tai epälineaarisesta ohjelmoinnista. LP tuottaa myös ns. dualiratkaisun, joka on ehdollinen tilanteessa, jossa jotain parametria muutetaan. LP:n tuottama optimaalinen ratkaisu ei juuri koskaan ole sellaisenaan riittävä päätöksentekijälle, vaan LP:n yhteydessä tulee aina pyrkiä käyttämään herkkyysoanalyysia (*sensitivity analysis*). Sen avulla tutkitaan optimin riippuvuutta mallin parametrien estimaattien vaihtelusta.

Monet ilmiöt vaativat **epälineaariseen ohjelmointiin** (*non-linear programming*, NLP) turvautumista. Päinvastoin kuin LP:ssä, NLP:n hakuvaruus on ääretön. Sen vuoksi mikään yksittäinen algoritmi ei voi ratkaista kaikkia epäline-



aarisia malleja, vaan ongelmat täytyy luokitella ennen ratkaisua (Hiller ja Lieberman 1986). Tietokoneiden ripeän kehittymisen vuoksi kuitenkin yhä suuremmat NLP-ongelmat ovat tehokkaasti ratkaistavissa.

**Verkkoanalyysi** (*network analysis*) on avain monien tilasta riippuvien ongelmien ratkaisuun OR:n keinoin. Verkkoanalyytin malli koostuu tiloista, jotka kytkeytyvät toisiinsa. Erilaisten operaattoreiden avulla siirrytään tilasta toiseen. Näin voidaan tutkia esim. kuljetus- ja aikatauluistamisongelmia.

**Dynaamista ohjelmointia** käytetään usein monivaiheisten päätösten tekoon. Tyypillisesti tällaisia ovat ajassa etenevät ilmiöt, joiden hakuavaruus on potentiaalisesti ääretön. Dynaamista ohjelmointia sovellettaessa joudutaan hakuavaruutta rajoittamaan, ja oletetaan, että paikallisia minimejä, maksimeja ja epäjatkuvuuskohtia ei esiinny.

**Peliteoria** tuottaa ratkaisumalleja tilanteissa, joissa on useita kilpailevia päätöksentekijöitä.

**Stokastisten prosessien teoria** on avain monien kompleksisten ilmiöiden matemaattiseen mallittamiseen. Tyypillisiä sovelluksia ovat jonoteoria, varastomallit ja ennusteet, jotka ovat myös OR:n piiriin kuuluvia sovellusalueita.

**Simulointia** ei voi laskea yksinomaan OR:n alaan kuuluvaksi, vaikka sillä on keskeinen sija kokeellisen toiminnan korvaamisessa. Simulointia tarvitaan kaikissa em. menetelmissä tiedon tuottamiseen. Simulointi on käytännössä aina tietokonepohjaista ja muodostaa sillan OR:n ja aikaisemmissa luvuissa esitettyjen järjestelmien välille. Coulson ja Saunders (1986) puhuvat tässä yhteydessä ns. *stand-alone* systeemeistä, mutta tämä koko OR:n paradigman sivuuttava näkökulma ei ole riittävä.

#### 43. Operaatiotutkimuksen metsällisistä sovelluksista

Operaatiotutkimusta on sovellettu metsäntutkimuksessa ja metsätaloudessa hyvin laajasti, varsinkin ekonomisissa tutkimuksissa. Sen tärkein rooli on kuitenkin ollut metsätalouden pitkän aikavälin suunnittelussa. MELA-malli (Kilkki 1985, Siitonen 1985) on keskeisin väline Suomessa. MELAn keskeiset osat ovat käsittelysäännöstö, metsikkösimulaattori ja optimoin-

tialgoritmi. MELA ei tee varsinaista herkkyyksianalyysiä, mutta sen duaaliratkaisu ja varjo hinnat tuottavat myös samaan tapaan käytettävissä olevaa tietoa.

Tapion TASO-järjestelmässä on hyödynnetty joitakin MELAn komponentteja, kuten simulointia ja kasvumalleja. Optimointia TASO ei tee vaan toimenpide-ehdotukset tehdään metsässä. TASO antaa päätöksentekijälle paljon vähemmän mahdollisuuksia vaikuttaa laskentatulosten muovautumisen kannalta keskeisiin parametreihin kuin MELA, mutta on laskennallisesti huomattavasti nopeampi.

Esimerkkejä metsikön hakkuuohjelman optimoisesta dynaamisen ohjelmoinnin avulla ovat Kilkin ja Väisäsen (1969) sekä Valstan (1986) tutkimukset. Koko metsäsektorin kattavia simulointimalleja (Seppälä ym. 1980) on käytetty metsäpolitiikan ohjausvälineinä.

#### 44. Operaatiotutkimukseen kohdistettu kritiikki

OR, vaikkakin on menestyksekkäästi ratkaissut merkittäviä ongelmia, ei ole vailla varjopuolia. Beer (1974) moittii OR:n tapaa pelkistää koko maailma matemaattisiksi yhtälöiksi. Päätöksentekijä on usein niin monimutkaisten laskenta-proseduurien armoilla, että hän ei kykene enää yhdistämään omaa intuitiotaan lähtötietoihin.

Ackoff (1979b) väittää, että OR on keskittyessään matemaattiseen mallitukseen unohtanut millaisia tosimaailman päätöksentekotilanteet ovat: ne ovat häiriöalttiita, vaikeasti kvantifioitavia ja täynnä poikkeuksia. Toisin sanoen, tosimaailmasta tehdään oletuksia, joiden validisuudesta riippuu koko optimaalinen tulos. Toisaalta oletukset yleensä tunnetaan ja niiden vaikutuksia voidaan testata.

Ongelman optimaalinen ratkaisu on optimaalinen tosimaailman kannalta vasta, kun malli on täydellinen kuvaus todellisesta, mikä ei koskaan voi täysin onnistua. Siksi keskeinen osa tuloksen arviointia on se, miten hyvin malli ja todellisuus vastaavat toisiaan. Ackoff (1979a) esittää ratkaisuksi ongelmanratkaisuun keskittyneen laskennan korvaamista sellaisilla todellisuutta läheisesti muistuttavilla systeemeillä, jotka sisältävät ratkaisuun tarvittavan suunnittelun elementit itsessään.

## 5. Tarkastelu

### 51. Tietotekniikan kehitys metsätaloudessa

Tietotekniikan kehitys on ollut niin nopeaa, että voi sanoa vallankumouksen tapahtuneen siinä tavassa, jolla käsittelemme tietoa. Kehitys osoittaa vain kiihtymisen merkkejä. Metsätalouden kannalta muutos on vastaava kuin siirtyminen lihasvoimasta konevoimaan -- tällä kertaa vain savotan "terävässä päässä". Toiminnan tarkoitus itsessään ei muutu, mutta tekniikan kehitys aiheuttaa siinä rakenteellisia muutoksia eikä kehittäminen ilman uuden tekniikan hyväksikäyttöä onnistu (Saarenmaa 1987a). Näitä tietotekniikan käyttöönoton sosiaalisia vaikutuksia metsätalouden neuvonnassa on tarkastellut Leskinen (1988).

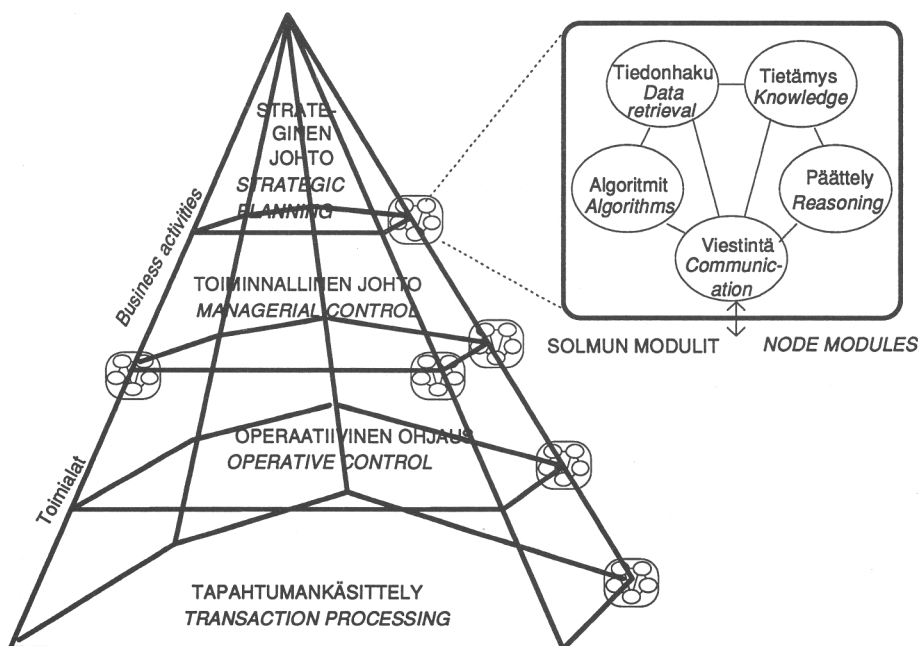
Kehittäminen on tuloksellisinta silloin, kuin uutta tekniikkaa voidaan soveltaa perustoimintoihin. Pankeissa kehitys on ollut voimallisinta; nykyaikaisen pankin voidaan sanoa jo olevan yhtä sen tieto- ja johtamisjärjestelmän kanssa. Metsässä ei tietenkään voida koskaan päästä yhtä pitkälle, koska metsään liittyy fyysisiä objekteja ja suoritteita.

Tähän asti tietojärjestelmien kehittäminen

metsätaloudessa on ollut lähinnä vanhojen rutiinitoimenpiteiden automatisointia. Muutokset itse toiminnan luonteesta ovat olleet vähäisiä. Ensimmäinen ohjelmistosukupolvi, joka nyt on käytössä on kuitenkin saanut kentän hyväksynnän puutteistaan huolimatta (Pyykkönen 1988, Valtanen 1988). Käyttäjien asenteet eivät enää estä tietotekniikan laajaa käyttöönottoa Suomen metsätalouden käytännössä. Päinvastoin, tähänastiset kokemukset ovat aiheuttaneet suuria odotuksia jatkolle. Varsinkin yksityismetsätaloudessa tehdyt kauaskantoiset ratkaisut laitteistojen kehittämisestä vaativat vastaavia vielä tärkeämpiä päätöksiä ohjelmistoista, erityisesti tietokantojen suhteen.

Seuraavalta ohjelmistosukupolvelta odotetaan, että se muuttaisi itse toimintoja pelkän rutiinien automatisoinnin sijaan. Järjestelmien kehittäjiltä vaaditaan, että heidän luomuksensa kehittävät itse toimintoa ja implisiittisesti seuraamuksiltaan jopa organisaatorakenteita.

Kehitystyön tekijöillä tulee olla läheinen kontakti organisaatioiden ylimpään johtoon ja johtoon tulee valita henkilöitä, joilla on näkemystä tietotekniikan vaikutuksista. Luotavat järjes-



Kuva 14. Hajautetun tieto- ja johtamisjärjestelmän malli, jossa ongelmanratkaisu tapahtuu paikallisesti, tason sisällä viestitään muutoksista ja tasojen välillä tehdään sitoumukset tehtävistä.

Figure 14. An example of a distributed information and management system. Problem solving occurs locally. Within organizational levels communication about changes dominates, whereas between levels bid/contract is prevailing.

telmät voivat nojautua vain käsitteellisiin malleihin ja tieteellisen lähestymistavan, tietoanalyysin, hyväksikäyttöön kehitystyössä (Soini 1985, Mikkonen ja Soini 1988).

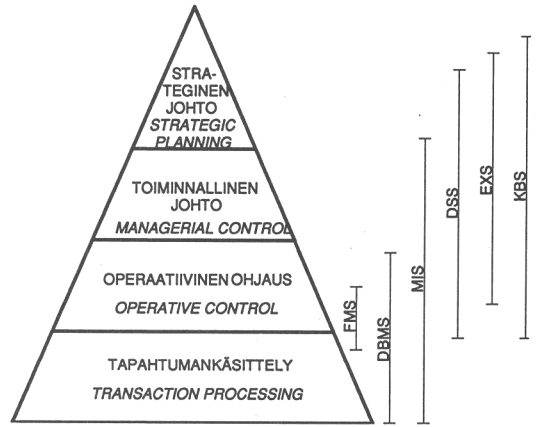
## 52. Tietokoneiden rooli metsätalouden päätöksenteossa

Metsätaloudessa on monenlaisia päättäjiä: yksityisiä metsänomistajia, valtion metsistä koko kansalle vastaavia metsäammattilaisia, yritysten tulosta ajattelevia firman miehiä, hallintovirkamiehiä ja uuden tiedon hankkimisesta vastaavia tutkijoita. Heidän tiedontarpeensa ovat erilaisia. Periaatteessa kuitenkin kysymys on samantapaisesta tuotannonohjauksesta kuin mitä tehtaissa harjoitetaan. Metsää voidaan ajatella koneistona, joka tuottaa "hyvin viritettynä" puuta ja muita hyödykkeitä käyttäjille ja ylläpitää myös luonnolliset piirteensä.

Tuotannonohjauksen teoria on viime vuosina kehittynyt voimakkaasti tietotekniikan vaikutuksesta. Tehtaissa on tuottavuutta voitu nostaa tarkemmalla kokonaisuohjauksella. Tämä on edellyttänyt uudenlaista johtamisjärjestelmää. Päätöksenteko ja ongelmanratkaisu on hajautettu paikalliseksi koko organisaatioon (kuva 14). Toimiakseen se edellyttää tehokasta viestintää. Metsätalouden vastaavia järjestelmiä kehitettäessä esimerkiksi voidaan ottaa teollisuuden hierarkkisista hajautetuista toiminnan ohjausjärjestelmistä (esim. Hynynen 1988, Hynynen ja Lassila 1988). Yksityismetsätaloudessa järjestelmä ei kuitenkaan ole hierarkkinen vaan paremmin verkkomainen. Metsätalousyrityksissä puolestaan tehtaiden parantunut tuotannonohjaus tulee lähivuosina epäilemättä vaatimaan sen ulottamista myös metsässä oleviin ketjun osiin.

Metsätalouden päätöksenteko on suunnittelua ja ongelmanratkaisua. Suunnittelu tarkoittaa toimenpideketjun luomista ennen toimintaa (ks. Cohen ja Feigenbaum 1982). Suunnittelu on pitkän tähtäimen toimintaa. Ongelmanratkaisulla on lyhyempi tähtäin: kun toimenpiteestä on tehty päätös, se toteutetaan. Näillä kahdella toimintatavalla voi olla sama tavoite, mutta päätöksenteon rakenteistamisessa niiden erojen ymmärtäminen on keskeistä.

Yleensä ongelmanratkaisulla pyritään löytämään jokin ratkaisu, joka täyttää annetut kriteerit. Riittävän hyvän ratkaisun ei tarvitse olla optimaalinen. Suunnittelussa kuitenkin pyritään yleensä löytämään optimaalinen ratkaisu. Optimoinnissa ollaan varmallalla pohjalla silloin, kun



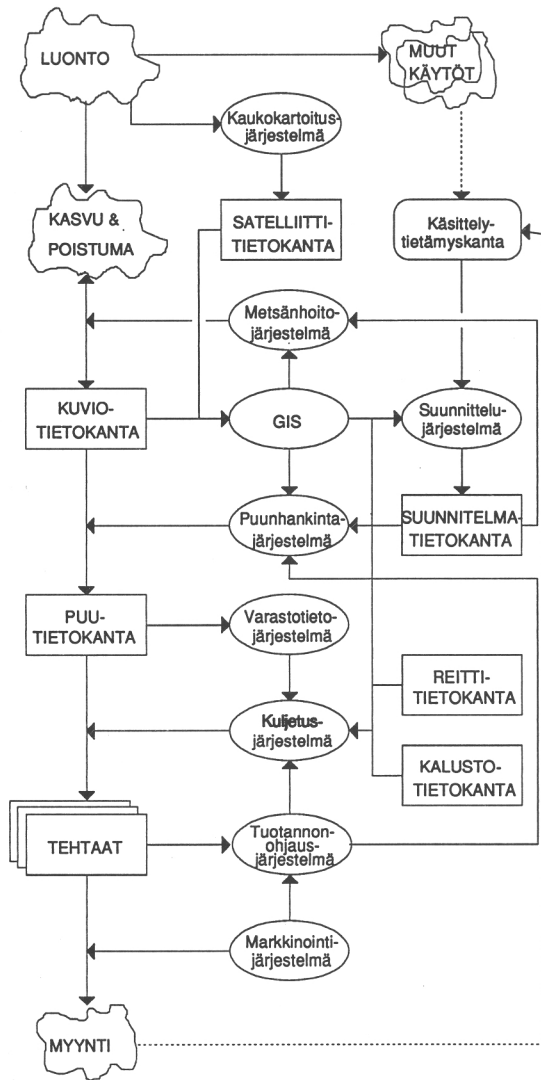
Kuva 15. Eri järjestelmätyyppejä käytetään erilaisen toiminnan tukemiseen.

*Figure 15. The different types of information systems are necessary for different tasks.*

haetaan selkeästi kvantifioitavissa olevin käsittein algoritmisesti ratkaisua suljetusta hakuavaruudesta. Tällöin voidaan käyttää perinteistä ohjelmointitekniikkaa. Jos taas toimitaan avoimessa hakuavaruudessa tai ratkaisun ei tarvitse olla optimaalinen, heuristista tekoälypohjaista tekniikkaa kannatta harkita. Optimaalisen ratkaisun löytyminen avoimesta hakuavaruudesta on ristiiriitainen tehtävä, mutta olettamalla kehitys lineaarisiksi käytettyjen askelten puitteissa sitä voidaan approksimoida esim. dynaamisella ohjelmoinnilla (ks. Kilkki ja Väisänen 1969, Winston 1984). Monet metsätalouden suunnittelujärjestelmät perustuvat lineaariseen optimointiin (Kilkki 1985). Täysin suljetussa hakuavaruudessa toimivista algoritmisista järjestelmistä ei ole kyse, sillä hakuavaruutta on etukäteen rajattu heuristisilla säännöillä ja aloitusparametreilla.

Kuten ekologiassa 1970-luvulla kukoistaneita systeemisiimulointimalleja, monia suunnittelujärjestelmiä voi kritisoida käytön mutkikkuudesta ja vaikeuksista ymmärtää järjestelmän toimintaa. Kun tällaisia ongelmia alkaa esiintyä, on syytä tarkastella, onko käytetty järjestelmätyyppi ja toteutus sopusoinnussa tavoitteiden kanssa.

Metsätalouden pitkä aikajänne aiheuttaa sen, että suunnittelun hakuavaruus on aina avoin. Pitkän tähtäimen suunnittelussa on oletettava vakioksi asioita, jotka muuttuvat ennalta arvaamattomalla tavalla tulevaisuudessa. Kun tällaisista lähtökohdista rakennetaan metsätaloussuunnitelman tietoja hyödynnetään päätöksenteossa, muuttuneeseen tilanteeseen voidaan reagoida



Kuva 16. Käsitteellinen karkea kohdemalli metsätalouden toiminnasta puuvirran näkökulmasta (Saarenmaa 1988a).

Figure 16. Conceptual model of forestry as timber flow (Saarenmaa 1988a). For translations, see the implementation in Fig 18.

kahdella tavalla: joko ajetaan optimointialgoritmi uudelleen, jolloin edetään jatkuvatoimiseen metsätaloussuunnitelmien tekoon, tai sitten otetaan metsätaloussuunnitelman suosituksot osajoukkona, josta valitaan jokin toimenpide välittömästi toteutettavaksi senhetkisten tarpeiden ja suhdanteiden valossa. Tämä on ongelmanratkaisua eikä enää suunnittelua. Suunnittelujärjestelmän on aina jätettävä omaa päätösvaltaa metsäammattilaiselle ohjeistojen puitteissa (ihminen tekee päätökset eikä kone). Sen vuoksi

heuristiselle ongelmanratkaisulle, joka tukee näitä päätöksiä, on tarvetta algoritmisten suunnittelujärjestelmien yhteydessä (Saarenmaa ym. 1989). Toinen sovellusalue heuristiselle päätelylle on algoritmisiin menetelmiin liittyvän epävarmuuden tulkinta (esim. Negoita 1985, Graham ja Jones 1988).

### 53. Käsitteanalyysin ja loogisen standardin merkitys

Käsitteanalyysi on alkupiste pitkälle tähtäävässä tietojärjestelmäkehitystyössä. Tällaista lähestymistapaa voisi kutsua käänteiseksi näyttöjen ja raporttien suunnittelusta lähtevälle menettelylle. Jotta tietojärjestelmä muodostuisi pitkäikäiseksi, siltä vaaditaan, että se läheisesti muistuttaa itse toimintaa ja organisaatiota. Tietojärjestelmässä on oltava vastineet kaikille tärkeille tosimaailman objekteille ja prosesseille, jotta se voisi muokautua uusiin tarpeisiin ja kehitykseen ilman suuria muutoksia.

Järjestelmän looginen kuvaus eli käsitteellinen on käsitteanalyysin tulos. Se määrittelee esim. laatikkoleikkienä, mitä kaikkea tietojärjestelmässä on ja kuinka asiat liittyvät toisiinsa.

Esitämme hypoteesin, että metsätaloudelle voidaan määritellä yksi yleinen looginen kuvaus, joka kuvaa kaikki alan toiminnot ja tietokohteet. Näistä johdetaan tietovirrät sekä erilaisia tietojärjestelmätyyppejä edustavat sovellukset. Yksikään yritys ei luultavasti käytännössä tarvitse kaikkia kuvauksen osia, ja voi kokonaisuuden kärsimättä käyttää vain sen osaa. Tästä hypoteesista johdettavan tutkimuksen pohjalta muodostuu metsätalouden tietojärjestelmätiede.

Tietokoneavusteinen päätöksenteko metsätaloudessa edellyttää monien erilaisten järjestelmätyyppien integrointia. Mikään yksi paradigma ei voi tarjota täyttä tukea kaikkien ongelmien ratkaisuun, koska erilaisia järjestelmiä tarvitaan erilaisten käyttäjien, päätösten ja toimenpiteiden tueksi. Moniin vakiooluonteisiin päätöksentekotilanteisiin, kuten esim. tietyn taimimäärän tilaaminen, riittää vakio muotoinen raportti uudistusalusta. Toisaalta taas esim. metsätieverkon sommitteluongelmaan tarvitaan piirroksia lukuisista vaihtoehdoista. Metsätuhoon diagnosoitiin ja torjuntapäätökseen tarvitaan hyvän selityskyvyn omaavaa päätelyä.

Tässä julkaisussa esiintuodut järjestelmät muodostavat kehityskaaren, joka alkaa yksinkertaisista tiedostonkäsitteilyrutiineista ja päättyy tietämyksen käsitteilyyn (kuva 1). Kuten luonnon

evoluutiassa, uudemmat konstruktiot eivät kuitenkaan suoraan tee vanhoja kelvottomaksi -- sen tekee vain sellainen ympäristö, jossa vanhentunut järjestelmä ei selviä siihen kohdistuvista odotuksista. Nykyisinkin tiedostonkäsittelyjärjestelmät (FMS) ovat tarpeellisia yksinkertaisiin kertakäyttösovellutuksiin. Järjestelmien kehittäjän on kyettävä strukturoimaan ajattelunsa alan kehityslinjojen puitteissa, jotta hän näkee, mikä on oikea järjestelmätyyppi kulloiseenkin ongelmaan. Väärän lähestymistavan valinta on tavallinen kohtalokas virhe tietojärjestelmien kehitystyössä (vrt. kuva 15).

#### 54. Tietojärjestelmämalli metsätaloudesta

Tietojärjestelmät johdetaan siis yrityksen toimintoja ja tietoja kuvaavista malleista. Tietojärjestelmiä voidaan myös sinänsä käyttää mallittamiseen. Seuraavassa esitämme karkean kuvauksen metsätaloudesta erilaisina tietojärjestelminä (vrt. Saarenmaa 1988a, 1988b). Tämä vastaa metsätalouden kokonaissuunnittelujärjestelmän toteutusta.

Metsätaloutta voidaan kuvata metsästä jalostukseen ulottuvana puuvirtana (kuva 16). Muitakin näkökulmia, kuten pääoma ja työsuoritteet, voidaan tosin luoda. Puuvirrassa on useita väivaiheita ja sitä ohjaavat erilaiset järjestelmät. Tietojärjestelmällä pyritään simuloimaan ja pitämään kirjaa tämän puuvirran eri vaiheista. Tietojärjestelmien näkökulmasta puuvirran eri vaiheet (ahtaasti ymmärrettyinä tilamuuttujat) ovat tietokantoja ja järjestelmät erilaisia ohjelmistokokonaisuuksia.

Puuvirta saa alkunsa luonnosta, jolla toki on muutakin käyttöä kuin metsätalous. Kaukokartoituksella saadaan monipuolista tietoa juuri luonnosta eikä se vielä ole suoraan ja yksinomaan metsätaloutta palvelevaa. Kaukokartoitusjärjestelmän läpi tuleva data tallentuu satelliitti- ja ilmakuvatietokantaan.

Puuvirta saa alkunsa kasvusta ja osaksi palautuu alkulähteeseensä luonnonpoistumana. Metsätaloudessa kumuloitunutta kasvua voidaan kuvata kuviotietokannalla. Kuviotietokantaa ja satelliittitietokantaa hallitaan GIS-järjestelmällä.

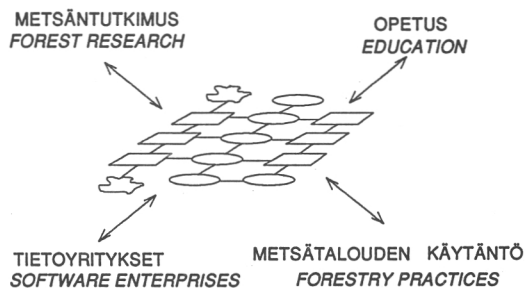
GIS:istä tulee tietoa monelle taholle. Tärkein on suunnittelujärjestelmä, joka normatiivisten sääntöjen ja algoritmisten optimointimenetelmien avulla tekee keskipitkän tähtäimen metsätaloussuunnitelmat ja tallentaa ne omaan suunnitelmätietokantaansa. Yleensä suunnittelujärjestelmä hakee annettujen käsittelytietämyskan-

nassa annettujen käsittelysääntöjen ja proseduurien avulla maksimaalisen hyödyn (Kilkki 1985), mutta monikäytön suunnittelua varten sitä tulee voida käyttää myös käänteisesti. Tällöin haetaan annetun minimihyötytavoitteen mukaisia vaihtoehtoisia menetelmiä. Tämä viittaa suoraan Prologin soveltamismahdollisuuksiin.

Suunnitelmätietokantaa selaa hankintajärjestelmä, joka sen sekä tehtaan tarpeiden mukaan operatiivisella tasolla säätelee puuvirran kulkua kuviotietokannasta ostettujen erien puutietokantaan (esim. Kärenlampi 1988, Imponen 1989). Se päivittää myös puutietokantaa ja kuviotietokantaa sitä mukaa, kun hakkuut etenevät. GIS-järjestelmää käytetään apuna hakkuiden kohdistamisessa ja rationalisoinnissa. Hankintajärjestelmä joutuu ratkomaan kombinatorisia eli vaihtoehtojen yhdistelyn ongelmia, joten sen tietämysjärjestelmäkomponentti on oleellinen.

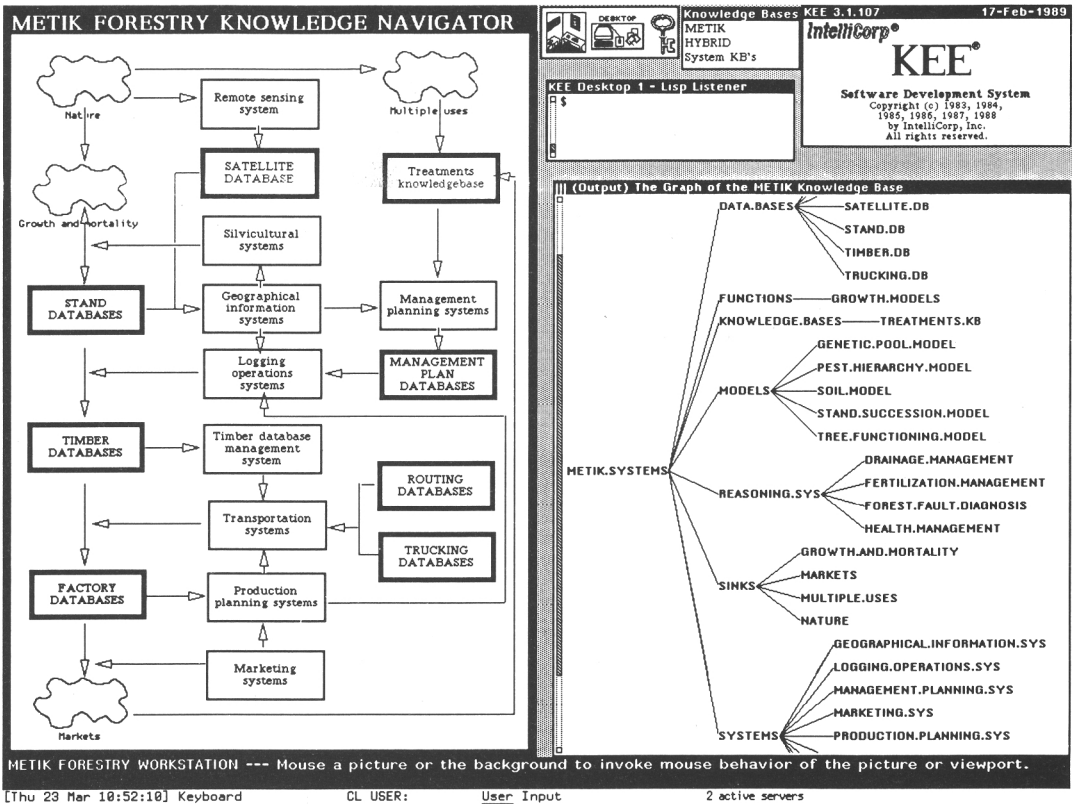
Metsänhoitajärjestelmä saa perusparannusohjeita suunnitelmätietokannasta, mutta se myös monitoroi kuviotietokantaa hankintajärjestelmän aiheuttamien muutosten vuoksi. Metsänhoitajärjestelmässä on komponentteina asiantuntijajärjestelmiä, mm. käsittelyohjeistoja sekä malleja metsän toiminnasta ja metsätuhoista.

Puutietokanta on puutietojärjestelmän hallitsema puupankki, josta tehtaiden tarpeet tyydyttää kuljetusjärjestelmä. Kuljetusten suunnittelu ja aikatauluistaminen johtaa vaihtoehtojen yhdistelystä johtuvaan kombinatoriseen räjähdysseen. Ongelman voi tehokkaasti ratkaista vain puhdas tietämyspohjainen järjestelmä (esim. Goldstein ja Roberts 1984, Expert... 1987, Scheduling... 1987). Pulkki (1984) kuvaa tällaisen



Kuva 17. Käsitteellinen malli on se looginen standardi, jolle kehitystyön kommunikaatio voidaan perustaa.

Figure 17. A conceptual model is the logical standard on which communication on development work is based.



Kuva 18. Metsätietoaseman prototyypin päänäyttö. Ikkuna metsänhoidollisiin systeemeihin avautuu hiirellä. Oikeassa reunassa näkyy järjestelmätyyppien käsittely objekteina.  
 Figure 18. The master display of the prototype of the forestry workstation. Silvicultural systems on the other window are accessed with mousing. The object-oriented implementation of the systems is apparent from window in the right lower corner.

sijaintitietokantaan ja heuristisiin ohjelmointimenetelmiin perustuvan järjestelmän. Lähtötietoina kuljetusjärjestelmä käyttää reittitietokantaa ja kalustotietokantaa.

Kuljetusjärjestelmä saa tavoitteensa tehtaita ohjaavilta tuotannonohjausjärjestelmiltä, jotka puolestaan toteuttavat myyntiä säätelevän markkinointijärjestelmän vaatimuksia.

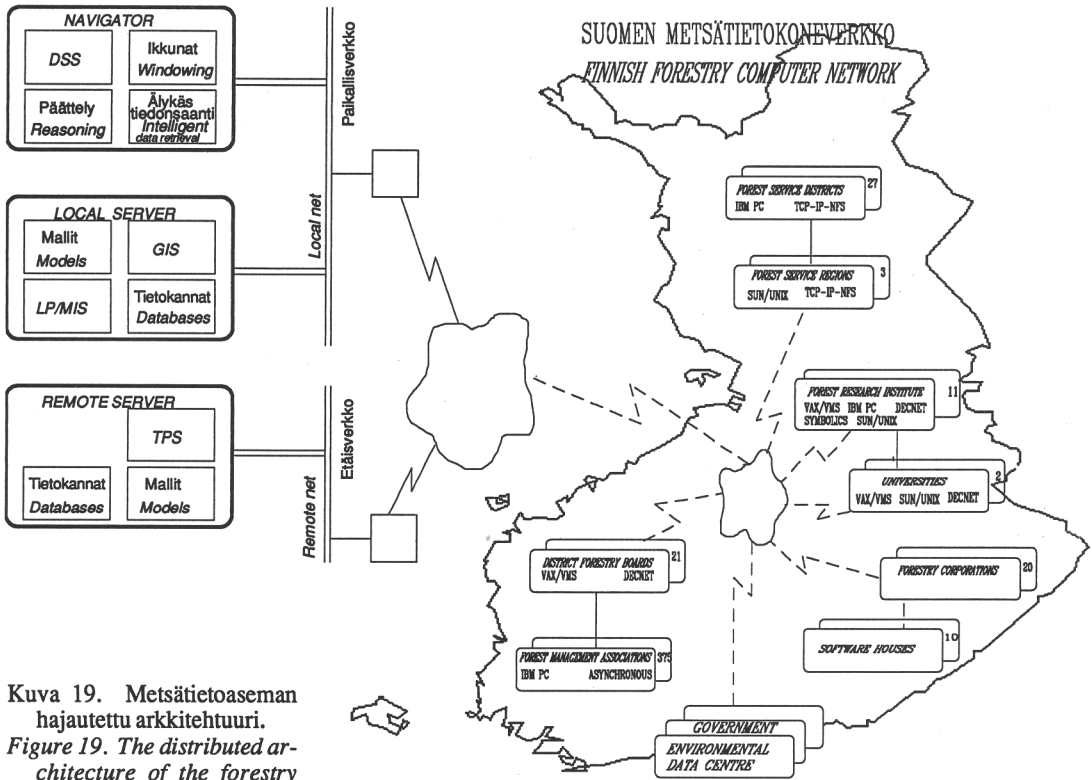
Perushuomio edellä esitetystä on, että kaksi järjestelmää ei koskaan kommunikoi muutoin kuin tietokannan välityksellä. Jos tästä luovutaan, suunnittelun aikajärjestyksiä ei kyetä erottamaan. Esimerkki suunnittelun eri vaiheiden kytkeemisestä tällä tavoin yhteen on Nokian Skaala-järjestelmä (Katajamäki 1987). Edelleen tietokantojen käyttäminen rajapintoina automaattisesti määrittelee järjestelmien rajat, mikä on ollut jatkuva ongelma; koko metsätalouden kattavien mammuttijärjestelmien aika on ohi. Kun rajapinnat saadaan määriteltyä, metsätalouden kokonaissuunnittelujärjestelmästä muodostuu modulaarinen: aina tulee olemaan kilpailevia ja eri

ympäristöihin tehtyjä järjestelmiä, joita kuitenkin voidaan kombinoida vapaasti.

Toinen perushuomio on se, että eri järjestelmissä on erilaisia lähestymistapoja. Siinä missä tietokannan hallintajärjestelmät ja suunnittelujärjestelmät ovat täysin tai suurimmaksi osaksi algoritmisia, kuljetus-, hankinta- ja metsänhoitojärjestelmät ovat parhaiten tai ainoastaan toteutettavissa tekoälypohjaisen tekniikan avulla. Eri järjestelmät sisältävät myös useita tasoja; ne eivät ole mustia laatikoita. Esim. metsänhoitosysteemin seuraavalta tasolta paljastuvat mm. metsänviljelyketjujen suunnittelu, taimistohoito, ojitusta, lannoitusta, metsätuhojen torjuntaa opastavat järjestelmät, ja puun ja metsikön toimintaa ja kehitystä simuloivat mallit.

## 55. Tavoitteena metsätietoasema

Edellä esitetty hahmotelma metsätalouden käsitteellisestä mallista erilaisina tietojärjestelminä



Kuva 19. Metsätietoaseman hajautettu arkkitehtuuri.  
 Figure 19. The distributed architecture of the forestry knowledge navigator.

vaatii luonnollisesti paljon tarkentamista. Objektien (laatikoiden) määrä todellisuudessa on kertaluokkaa suurempi ja jokainen sisältää kymmeniä erilaisia toimintoja ja objekteja. Tällaisia syvempiä kuvauksia on kehitetty viime aikoina (Paikkatietojärjestelmien... 1989, Kaila ym. 1990). Teorian ja mallin edelleenkehittäminen vaatii toistuvaa aivoriivityöskentelyä, jossa kaikki metsäalan organisaatiot ovat edustettuina. Laatikoiden aktuaalinen implementaatio voidaan tämän pohjalta suorittaa useammassakin eri organisaatiossa tarpeen mukaan päällekkäisenäkin pienten asiantuntijaryhmien toimesta (kuva 17). Tätä kehitystyötä voidaan tukea CASE-välinein, joilla kohdemallista johdetaan yhteinen tietohakemisto ja objektikanta.

Tietojärjestelmämallin implementaatio ei ole yksi mammuttimainen järjestelmä, vaan tietoa-asema (Kaila 1988, Saarenmaa 1989), käyttöliit-

tymä hajautettavaan järjestelmään (kuva 18). Käyttöliittymä on ikkunoitu ja graafinen. Ohjelmia ei tule kerätä yhteen tietoa-asemaan, vaan ne sijaitsevat erilaisissa tietokoneissa hajallaan organisaatiosta riippuen maanlaajuisessa tietoverkossa (kuva 19). Metsätietoaseman prototyypin päänäyttö voi olla sama kuin loogisen standardin kuva. Metsätietoaseman käyttäjä voi omasta työasemastaan käynnistää esimerkiksi hiirellä osoittamalla kulloinkin tarvitsemansa modulit riippumatta siitä, missä ne tosiasiaa sijaitsevat.

Tätä kirjoitettaessa yhden työasematietokoneen hinta vastaa käyttäjän noin 3-4 kk palkkakustannuksia. Ohjelmistokehitystyössä ollaan kuitenkin vielä vuosien urakan edessä ja sen kustannukset ovat suuremmat. Mitään teknisiä esteitä tietoa-asema-ajattelun voimakkaalle eteenpäin viemiselle ja käyttöön otolle ei enää ole. Tarvitaan vain näkemystä ja päätöksiä.

## Kirjallisuus - References

- Ackoff, R.L. 1979a. The future of operational research is past. *Journal of Operational Research Society* 30(2): 93-104.
- 1979b. Resurrecting the future of operational research. *Journal of Operational Research Society* 30(3): 189-199.
- Aikins, J.S. 1981. Prototypical knowledge for expert systems. *Artificial Intelligence* 20: 163-210.
- Beer, S. 1974. *Decision and control*. John Wiley and Sons. 744 s.
- Bennett, J.L. (toim.) 1983. *Building decision support systems*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
- Bennett, J.S. & Englemore, R.S. 1979. SACON: A knowledge-based consultant for structural analysis. *Julkaisussa: Proceedings of the 6th IJCAI*. 1: 47-49.
- Bobrow, D.G. & Hayes, P.J. (toim.) 1985. *Artificial intelligence - where are we?* *Artificial Intelligence* 25: 375-415.
- Bonczek, R.H., Holsapple, C.W. & Whinston, A.B. 1981. *Foundations of decision support systems*. Academic Press, New York.
- Bratko, I. 1986. *Prolog programming for artificial intelligence*. Addison-Wesley Publishing Company, Wokingham, England. 423 s.
- Brodie, M.L., Myloupoulos, J. & Schmidt, J.W. (toim.) 1986. *On conceptual modeling. Perspectives from artificial intelligence, databases, and programming languages*. Springer-Verlag, New York. 510 s.
- Buchanan, B.G. & Duda, R.O. 1983. *Principles of rule-based systems*. *Julkaisussa: Yovits, M. C. (toim.). Advances in Computers*. Academic Press, New York. 22. s. 163-216.
- & Shortliffe, E.H. (toim.) 1984. *Rule-based expert systems*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts. 748 s.
- Clocksink, W.F. & Mellish, C.S. 1984. *Programming in Prolog*. Second edition. Springer-Verlag, Berlin. 297 s.
- Cohen, P. R. & Feigenbaum, E.A. 1982. *The handbook of artificial intelligence*. Vol. 3. William Kaufmann Inc., Los Altos, California. 639 s.
- Coulson, R.N., Folse, L.J. & Loh, D.K. 1987. *Artificial intelligence and natural resource management*. *Science* 237: 262-267.
- , Saunders, M.C., Loh, D.K., Oliveria, F.L., Drummond, D., Barry, P.J. & Swain, K.M. 1989. *Knowledge system environment for integrated pest management in forest landscapes: the southern pine beetle*. *Bulletin of the Entomological Society of America*, Summer 1989: 26-32.
- , Saunders, M.C., Loh, D.K., Rykiel, E.J. & Payne, T.L. 1985. *A decision support system for the southern pine beetle*. *Julkaisussa: Goyer, R.A. & Jones, J.P. (toim.). Insects and diseases of southern forests. Proceedings of the 34th Annual Forestry Symposium*, Louisiana Agricultural Experimental Station, Baton Rouge, Louisiana. s. 35-46.
- & Saunders, M.C. 1986. *Computer-assisted decision making as applied to entomology*. *Annual Review of Entomology* 32: 415-437.
- Cox, B.J. 1986. *Object-oriented programming. An evolutionary approach*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts. 274 s.
- D'Amrosio, B. 1985. *Expert systems - myth or reality?* *Byte* 10: 275-282.
- Davis, R. 1986. *Knowledge-based systems*. *Science* 231: 957-963.
- Date, C.J. 1981. *An introduction to database systems*. Volumes I and II. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
- 1986. *Relational database: Selected writings*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
- 1987. *A guide to INGRES*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts. 385 s.
- De Kleer, J. & Williams, B.C. 1987. *Diagnosing multiple faults*. *Artificial Intelligence* 32: 97-130.
- Denning, P.J. 1986. *The science of computing: expert systems*. *American Scientist* 71: 18-20.
- Duda, R.O., Gaschnig, J.G. & Hart, P.E. 1979. *Model design in the PROSPECTOR consultant system for mineral exploration*. *Julkaisussa: Michie, D. (toim.). Expert systems in the micro-electronic age*. Edinburgh University Press, Edinburgh, Scotland. s. 153-167.
- & Gaschnig, J.G. 1981. *Knowledge-based expert systems come of age*. *Byte* 6: 238-278.
- & Shortliffe, E.H. 1983. *Expert systems research*. *Science* 220: 261-268.
- Dijkstra, D.P. 1984. *Mathematical programming for natural resource management*. McGraw-Hill, New York. 318 s.
- Expert system for forward-looking traffic management*. 1987. GSI-TECSI & French National Railways. Carnegie Group. 1 s.
- Faught, W.S. 1986. *Applications of AI in engineering*. *Computer* 19(7): 17-27.
- Feigenbaum, E.A. 1977. *The art of artificial intelligence: Themes and case studies of knowledge engineering*. *Proceedings of the 5th IJCAI*: 1014-1029.
- , Buchanan, B.G. & Lederberg, J. 1971. *On generality and problem solving: a case study using the DENDRAL program*. *Julkaisussa: Meltzer, B. & Michie, D. (toim.). Machine Intelligence* 6: 165-190.
- , McCorduck, P. & Nii, H.P. 1988. *The rise of the expert company*. Times Books, New York. 322 s.
- Fick, G. & Sprague, R.H. (toim.) 1980. *Decision support systems: issues and challenges*. Pergamon Press, Oxford, England.
- Fikes, R. & Kehler, T. 1985. *The role of frame-based representation in reasoning*. *Communications of the ACM* 28(9): 904-920.
- Gevarter, W.B. 1983. *Expert systems: limited but powerful*. *IEEE Spectrum* 20(8): 39-45.
- Goldstein, I.P. & Roberts, B. 1984. *Using frames in scheduling*. *Julkaisussa: Winston, P.H. & Brown, R.H. (toim.) Artificial Intelligence: A MIT perspective*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts. s. 255-286.
- Graham, I. & Jones, P.L. 1988. *Expert systems. Knowledge, uncertainty, and decision*. Chapman and Hall, New York. 363 s.
- Hagström, J. & Kaila, E. 1988. *Metsien käsittelysuunnitelman tietokannan yleismalli - SCODB*. *Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, METIK-hanke* 29. 41 s.
- Hari, P., Kellomäki, S., Mäkelä, A., Ilonen, P., Kanninen, M., Korpilahti, E. & Nygren, M. 1982. *Metsikön varhaiskehityksen dynamiikka*. *Acta Forestalia Fennica* 177. 42 s.
- Hayes-Roth, F. 1984. *Knowledge-based expert systems*. *Computer* 17: 263-273.
- Herbert, M.R. & Williams, G.H. 1987. *An initial evaluation of the detection and diagnosis of power plant faults using a deep knowledge representation of physical behaviour*. *Expert Systems* 4(2): 90-96.



- Hillier, F.S. & Lieberman, G.J. 1986. Introduction to operations research. Fourth Edition. Holden-Day, Inc., Oakland, California. 888 s.
- Hjerpe, R. 1983. What artificial intelligence can, could and can't do for libraries and information services. Seventh International Online Information Meeting Conference Proceedings. London, December 6-8, 1983. s. 7-25
- Holt, D.A. 1985. Computers in production agriculture. *Science* 228: 422-427.
- Hynynen, J. 1988. A framework for coordination in distributed production management. *Acta Polytechnica Scandinavica Ma* 52. 94 s.
- & Lassila, O. 1988. BOSS hajautetun tuotannonohjauksen tietämysjärjestelmä. Suomen Tekoälytutkimuksen Päivät, Helsinki, 15-18.8.1988. Vol. 1: 219-230.
- Hyvönen, E. & Seppänen, J. 1986, 1987. LISP-maailma. Vol. 1, 362 s. Vol. 2, 293 s. Kirjayhtymä, Helsinki.
- Hämäläinen, J., Kaila, S. & Keskinen, S. 1985. Laskentajärjestelmä metsänviljelyn menetelmien vertailuun. *Metsätieteiden Katsaus* 18/1985: 1-4.
- Imponen, V. 1989. Tietovaraston laatu ratkaisee puunhankinnan ohjattavuuden. *Metsä ja Puu* 3/89: 26-28.
- IXL, the machine learning system. The first step in intelligent databases. 1989. User's manual, IntelligenceWare, Los Angeles, California. 116 s.
- Kaila, E. 1988. Metsätietoasemat. Julkaisussa: Kinnunen, H. & Nuutinen, T. (toim.) *Metsätalouden tietojärjestelmät*. Silva Carelica 10. s. 71-77.
- , ym. 1990. Metsätalouden tietojärjestelmien käsitteellinen malli. Käsikirjoitus. 17 s.
- & Saarenmaa, L. 1989. RIEKKO metsäorganisaation koulutuksen tietokanta ja suunnittelujärjestelmä. Käyttäjän käsikirja, Ounastieto Oy, Rovaniemi. 15 s.
- & Taipale, M. 1984. TUTKA-tiedonhallintaohjelmisto. Tietokannan muodostus ja käyttö. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 157: 1-113, liitt.
- Kangassalo, H. 1986. COMIC-järjestelmä. Tietokannan suunnittelu ja käytön apuväline. Tampereen Yliopisto, Tietojenkäsittelyopin laitos. Esite 10 s.
- Katajamäki, M. 1987. Koko suunnittelu on Skaalassa. *Softari Nokian ohjelmistolehti* 3/87: 9-11.
- Katraala, 1987. Johdon tietojärjestelmä - onnistuuko? *Softari Nokian ohjelmistolehti* 4/87.
- Keen, P.G.W & Scott Morton, M.S. 1978. Decision support systems: an organizational perspective. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- Kilkki, P. 1985. Timber management planning. *Silva Carelica* 5. 160 s.
- , Ojansuu, R., Pukkala, T. & Siitonen, M. 1984. Tietokone avuksi uudistamiskohteen ja menetelmän valintaan. MELA simuloi metsän eri käsittelyvaihtoehtoja. *Metsä ja Puu* 9/84: 22-29.
- & Väisänen, U. 1969. Determination of the optimum cutting policy for the forest stand by means of dynamic programming. *Acta Forestalia Fennica* 102: 1-23.
- Kinnucan, P. 1984. Computers that think like experts. *High Technology* 1/84, 11 s.
- Klein, D. & Finin, T. 1987. What's in a deep model? *Proceedings of the 10th IJCAI* 1: 559-562.
- Kolström, T. 1989. Modelling early development of a planted pine stand as an application of object-oriented programming. Symposium on modeling of forest dynamics in Europe. Wageningen, the Netherlands, October 15-20, 1988. *Forest Ecology and Management* (in print).
- Koton, P.A. 1985. Empirical and model-based reasoning in expert systems. *Proceedings of the 9th IJCAI* 1: 297-299.
- Kourtz, P. 1987. Expert system dispatch of forest fire control resources. *AI Applications in Natural Resource Management* 1(1): 1-8.
- Kuhanen, T. 1985. Asiantuntijajärjestelmien käyttö tietopalvelussa. Erikoistyö 17. Informaatiopalvelun kurssi. Teknillinen korkeakoulu, Täydennyskoulutuskeskus. 45 s.
- Kuvaja, P. 1988. An experimental analysis of the selection and productivity of application generators for professional use. University of Oulu, Department of Information Processing Science, Research Papers SERIES A 10, August 1988.
- Kärenlampi, P. 1988. Asiantuntijajärjestelmä - sääntöpohjainen paperiteollisuuden simulointi puunhankinnan ohjauksen välineeksi. Helsingin Yliopisto, Puuteknologian lisensiaattitutkielma, 81 s.
- Landsberg, J.J. 1986. Physiological ecology of forest production. Academic Press Inc., London, England. 198 s.
- Lenat, D.B. 1983. Theory formation by heuristic search, the nature of heuristics. II. Background and examples. *Artificial Intelligence* 21: 31-59.
- Leskinen, J. 1988. Metsätalouden neuvonnan kehittäminen tietotekniikan avulla. Helsingin Yliopisto, Kansantaloudellisen metsäekonomian laitos, Pro-gradu tutkielma, 80 s., liitt.
- Loehle, C. 1987. Applying artificial intelligence techniques to ecological modeling. *Ecological Modelling* 38, 191-212.
- Marcus, C. 1986. Prolog programming. Applications for database systems, expert systems, and natural language systems. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts. 325 s.
- Martin, J. 1977. Computer data-base organization. Prentice-Hall Series in Automatic Computation. 711 s.
- McDermott, J. 1981. XSEL: A computer salesperson's assistant. *Julkaisussa: Hayes, J., Michie, D. & Pao, Y.H. (toim.) Machine Intelligence*. John Wiley and Sons, New York. s. 325-337.
- McKinion, J.M. & Lemmon, H.E. 1985. Expert systems for agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 1: 31-40.
- MEKI. Metsänhoitotöiden kirjanpito-ohjelmisto. Metsähallitus, Helsinki 1986. Moniste.
- Michaelsen, R.H., Michie, D. & Boulanger, A. 1985. The technology of expert systems. *Byte* 10: 303-307.
- Mikkonen, M. & Soini, T. 1988. Yrityksen tietosuunnittelu. *Weilin+Göös, Espoo*. 344 s., liitt.
- Model-based reasoning in the KEE and SimKit systems. 1986. *IntelliNews* 2(2): 1-11. IntelliCorp, Mountain View, California.
- Nardi, B.A. & Simons, R.K. 1986. Model-based reasoning and AI problem solving. Workshop on high level tools for knowledge-based systems. October 6-8, 1986, Columbus, Ohio. *IntelliCorp Technical Article*. 12 s.
- Naegle, J.A., Coulson, R.N., Stone, N.D. & Frisbie, R.E. 1985. The use of expert systems to integrate and deliver IPM technology. *Julkaisussa: Frisbie, R.E. & Adkisson, P.L. (toim.) Integrated pest management in major agricultural systems*. Texas Agricultural Experimental Station, College Station, Texas.
- Negoita, C.V. 1985. Expert systems and fuzzy systems. *The Benjamin / Cummings Publishing Company, Menlo Park, California*. 190 s.
- Nuutinen, T. 1986. Paikkasidonnaisen tiedon hallintajärjestelmä. *Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, METIK-hanke* 9. 34 s.
- Oracle CASE technology. Oracle Corporation, Belmont, California. 1989. 9 s.
- Paikkatietojärjestelmien kehittämisprojektin loppuraportti. *Metsähallitus, Helsinki*. 1989. 16 s., liitt.

- Parviainen, J., Sokkanen, S. & Ruotsalainen, M. 1985. Met-  
sän uudistamisen vaihtoehtoja vertaileva laskentaohjel-  
ma VILJO. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja  
179. 93 s. Joensuun tutkimuskeskus.
- Piatetsky-Shapiro, G. & Wrawley, W. (toim.) 1989. Know-  
ledge discovery in databases. 406 s. IJCAI-89  
Workshop Proceedings. Detroit, Michigan, August 20,  
1989.
- Pogson, J.B. & Brown, C.M. 1986. "SAVOIR" - Current  
practical applications of an expert system package.  
Moniste. ISI Limited, Redhill, Surrey. 18 s.
- Pulkki, R. 1984. A spatial database - heuristic programming  
system for aiding decision-making in long-distance  
transport of wood. Acta Forestalia Fennica 188. 89 s.
- Puumarkkinoiden seurantaohjelmien raportti. Työryhmä-  
muistio MMM: 1988: 33. 15 s., liitt.
- Pyykkönen, J. 1988. Metsäteollisuusyrityksen tietö-  
järjestelmien kehitys. Metsätalouden tietojärjestelmä-  
kehitystyön organisointi. Seminaari Sally Albatross  
29.9.1988. Moniste 4 s.
- Quinlan, J.R. 1986. Induction of decision trees. Machine  
Learning 1: 81-106.
- Rauscher, H.M. & Hacker, R. 1989. Overview of AI applica-  
tions in natural resource management. 21 s. Julkaisussa:  
Burkhart, H., Rauscher, H.M. & Johann, K. (toim.)  
Growth and Yield Models and Artificial Intelligence.  
Proceedings of IUFRO symposium, Vienna, Austria,  
September 18-22, 1989. s. 202-222.
- Rhind, D. & Mounsey, H. 1989. Understanding GIS. Taylor  
& Francis Publishing Company.
- Robinson, V.B., Frank, A.U., & Karimi, H.A. 1987. Expert  
systems for geographic information systems in resource  
management. AI Applications in Natural Resource Man-  
agement 1(1): 47-57.
- Rykiel, E.J., Saunders, M.C., Wagner, T.L., Loh, D.K., Turn-  
bow, R.H. & Coulson, R.N. 1984. Computer-aided  
decision making and information accessing in pest man-  
agement systems, with emphasis on the southern pine  
beetle (Coleoptera: Scolytidae). Journal of Economic  
Entomology 77: 1073-1082.
- Saarenmaa, H. 1984. Bark Beetle Data Base BBDB. Metsän-  
tutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimuskeskus, METKA-  
projektin tiedonantoja 15. 7 s., liitt.
- 1987a. Metsätalouden tietojärjestelmien laitos Helsin-  
gin Yliopistoon. Metsänhoitaja 37(2): 26-29.
- 1987b. Tietokone asiantuntijana. Tekoäly avuksi metsä-  
talouden päätöksentekoon. Metsä ja Puu 1/1987:  
8-11.
- 1988a. Model-based reasoning in ecology and natural  
resource management. Julkaisussa: Buhyoff, G. (toim.)  
Proceedings of Resource Technology 88. International  
Symposium on Advanced Technology in Natural Re-  
source Management. Fort Collins, Colorado, June 20-  
23, 1988. s. 141-157.
- 1988b. Tekoälyn mahdollisuudet metsätalouden suun-  
nittelussa. Julkaisussa: Kinnunen, H. & Nuutinen, T.  
(toim.) Metsätalouden tietojärjestelmät. Silva Carelica  
10. s. 39-48.
- 1989. Tavoitteena metsätietoa. Metsä ja Puu 3/89:  
21-23.
- 1990. Frame- and rule-based knowledge representation  
in an expert system for integrated management of bark  
beetles. Silva Fennica 24(2): 247-258.
- , Kaila, E., Nuutinen, T. & Kolström, T. 1989. Short-  
term forest management planning with logic program-  
ming. Käsikirjoitus 15 s. (submitted).
- & Nikula, A. 1989. Managing moose damage in forest  
plantations: a deep model of animal behavior on a  
geographic information system platform. Conference  
Proceedings. 9th International Workshop on Expert  
Systems and Their Applications, Avignon, France, May  
29 - June 2, 1989. s. 825-831.
- , Stone, N.D., Folse, L.J., Packard, J.M., Grant, W.E.,  
Makela, M.E. & Coulson, R.N. 1988. An artificial  
intelligence approach to simulating animal/habitat inter-  
actions. Ecological Modelling 44: 125-141.
- Saarenmaa, L. 1989a. Extracting forest regeneration know-  
ledge out of the corporate database into a silvicultural  
expert support system. Julkaisussa: Burkhart, H., Raus-  
cher, H.M. & Johann, K. (toim.) Growth and Yield  
Models and Artificial Intelligence. Proceedings of IUF-  
RO symposium, Vienna, Austria, September 18-22,  
1989. s. 251-259.
- 1989b. Metsänviljely päätöksenteko-ongelmana Lapis-  
sa. Helsingin Yliopiston Metsänhoitotieteen laitos, li-  
sensiaattitutkielma. 37 s., liitt.
- Saunders, M.C., Loh, D.K., Coulson, R.N., Rykiel, E.J. &  
Payne, T.L. et al. 1985. Development and implementa-  
tion of the southern pine beetle decision support system.  
Julkaisussa: Branham, S.J. & Thatcher, R.C. (toim.)  
Proceedings of Integrated Pest Management Research  
Symposium. USDA Forest Service., Southern Forest  
Experimental Station. New Orleans. SO-56: 335-363.
- Schank, R.C. 1987. Tekoälyn mahdollisuudet. 280 s. Wei-  
lin+Göös, Espoo. 280 s.
- & Hunter, L. 1985. The quest to understand thinking.  
Byte 10: 143-155.
- Scheduling. A technical brief. 1987. Carnegie Group, Pitts-  
burgh, Pennsylvania. 9 s.
- Scott Morton, M.S. 1985. Expert support systems. National  
Conference on Decision Support Systems, Washington,  
D.C. Moniste. 8 s.
- Sculley, J. & Byrne, 1988. Apple, elämäni haaste. WSOY,  
Porvoo. 501 s.
- Seppälä, H., Kuuluvainen, J. & Seppälä, R. 1980. Suomen  
metsäsektori tienhaarassa. Folia Forestalia 434. 123 s.
- Shannon, R.E., Mayer, R. & Adelsberger, H.H. 1985. Expert  
systems and simulation. Simulation 44: 275-284.
- Shlaer, S. & Mellor, S.J. 1988. Object-oriented systems  
analysis. Yourdon Press Computing Series, Englewood  
Cliffs, New Jersey. 144 s.
- Shortliffe, E.H. 1976. Computer-based medical consulta-  
tions: MYCIN. American Elsevier, New York.
- Siitonen, M. 1985. Metsälaskelma. Esitelmä "Maa- ja metsä-  
talouden yhteissunnittelu" -seminaarissa 12.11.1985  
Espoossa. 12 s.
- Soini, T. 1984. Tietoanalyysi. IBM & Weilin+Göös, Espoo.  
269 s.
- Sticklen, J. & Chandrasekaran, B. 1985. Use of deep level  
reasoning in medical diagnosis. Julkaisussa: Karna,  
K.N. Expert systems in government symposium. IEEE  
Publications. s. 469-479.
- Stone, N.D. 1987. Artificial intelligence approaches to sys-  
tems modeling. American Society of Agricultural En-  
gineers Meeting, Baltimore, Maryland, June 28 - July  
1, 1987. 21 s.
- , Coulson, R.N., Frisbie, R.E. & Loh, D.K. 1986a.  
Expert systems in entomology: three approaches to  
problem solving. Bulletin of the Entomological Society  
of America 32(3): 161-166.
- , Frisbie, R.E., Richardson, J.W. & Coulson, R.N. 1986b.  
Integrated expert system applications for agriculture.  
Julkaisussa: Bottcher, A.B. & Zazueta (toim.) Procee-  
dings of International Conference on Computers in  
Agricultural Extension Programs. Lake Buena Vista,  
Florida, February 5-6, 1986. Florida Cooperative Ex-  
tension Service, Institute of Food and Agricultural  
Sciences, University of Florida. s. 836-841.

- & Saarenmaa, H. 1988. Expert systems and IPM: an overview. Julkaisussa: Carvalloro, R. & DeLucchi, V. (toim.) Proceedings of the Parasitis '88 Congress. Barcelona, Spain. October 25-28, 1988. s. 71-87.
- & Toman, T.W. 1988. COTFLEX: An integrated expert and database system for decision support in Texas cotton production. AAAI Workshop on Integration of expert systems techniques with conventional programming in agriculture. San Antonio, Texas, August 10-12, 1988. 7 s.
- Sveiby, K.E. & Risling, A. 1987. Tietoyrityksen johtaminen - vuosisadan haaste? Weilin+Göös, Espoo. 251 s.
- Symbolics Inc. 1980. A short history of artificial intelligence. Cambridge, MA. 18 s.
- Systemisuunnittelun työasema. TAS-projektin väliraportti. 1988. Suomen Atk-kustannus Oy, Espoo. 173 s., liitt.
- Taha, H.A. 1982. Operations research: an introduction. McMillan Publishing Co., New York. 848 s.
- Thieme, R.H., Jones, D.D., Gibson, H.G., Fricker, J.D. & Reisinger, T.W. 1987. Knowledge-based forest road planning. AI Applications in Natural Resource Management 1(1): 25-33.
- Turban, E. 1988. Decision support and expert systems. Managerial perspectives. Macmillan Publishing Company, New York. 697 s.
- Turnbow, R.H., Hu, L.C., Rykiel, E.J., Coulson, R.N. & Loh, D. 1983. Procedural guide for FERRET, the question analysis routine of the decision support system for southern pine beetle management. Texas Agricultural Experimental Station MP, 21 s.
- Ullman, J.D. 1988. Principles of database and knowledge-base systems. Vol. 1. Computer Science Press, Inc., Rockville, Maryland. 631 s.
- Valsta, L. 1986. Mänty-rauduskoivusekametsikön hakkuuohjelman optimointi. Summary: Optimizing thinnings and rotation for mixed, even-aged pine-birch stands. Folia Forestalia 666. 23 s.
- Valtanen, E. 1988. Tutkimustyön näyteikkuna. Metsälehti 21/88: s. 5.
- Vazsonyi, A. 1978. Information systems in management science. Interfaces 9: 72-77.
- Vedder, R. & Nestman, C.H. 1985. Understanding expert systems: companion to DSS and MIS. Industrial Management 27: 1-8.
- Wah, B.W. & Li, G.-J. 1986. A survey on special purpose computer architectures for AI. SIGART Newsletter 96: 28-46.
- Waldrop, M.M. 1984. Artificial intelligence in parallel. Science 225: 608-610.
- Waterman, D.A. 1986. A guide to expert systems. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts. 419 s.
- Williams, P.W. 1984. A model for an expert system for automated information retrieval. Eight International Online Meeting Conference Proceedings. Learned Information, Oxford, 1984. s. 139-149.
- Winston, P.H. 1984. Artificial intelligence. Addison-Wesley, Reading, MA. 524 s.
- & Horn, B.K.P. 1984. LISP. Second edition. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts. 434 s.
- Väkevä, J. 1990. Tietokoneavusteinen metsätuhojen tunnistaminen. Asiantuntijajärjestelmän prototyyppi. Helsingin Yliopiston Maatalous- ja metsäeläintieteen laitos. Pro Gradu-työ. 82 s.

*A total of 150 references*

## Summary

### Computer-aided decision making in forestry

Our society is moving into the information age. The change touches all areas of human activity, and forestry is no exception. Indeed, huge amounts of data and complex and fuzzy decision making characterizes forestry activities. These have to do with the facts that many data items deal with nature which can be described only with an excessive abstraction and where the impacts of decisions span over decades.

Building forestry information systems is not easy, and the fact that foresters are often insufficiently educated in computing makes matters even worse. Yet, a rich variety of information systems and associated methodologies are available to be used as aids for decision making and other activities.

This paper presents an overview of the development of the tools of computer-aided decision making. The review article of Coulson and Saunders (1986) has been the example after which our text is outlined.

The three approaches that are covered here are 1) data processing, 2) artificial intelligence, and 3)

operatio research (Fig. 1). After reviewing these areas, we present a synthesis of the role of information systems in a forestry organization and form a conceptual model for a future forestry information architecture.

### Data processing

Systems for data processing began their development with simple file management systems (FMS, Fig. 2). Troubled by fragmentation and redundancy of files in more complex jobs, these were followed by data base management systems (DBMS, Fig. 3) that define the contents of files and relationships between them. The types of DBMS are shown in Fig. 4. DBMS are the basis for any long-lasting and corporate-wide information system. In forestry, their special form, geographic information systems (GIS, Fig. 5) have a wide application area.

Built on top of DBMS, management information systems (MIS, Fig. 6) are the basic decision making tools that provide corporate management with fixed-form reports on a regular basis of the central parameters that describe the business. Decision support systems (DSS, Fig. 7) resemble MIS, but possess more flexibility and facilitate *ad hoc* queries with natural language and interactive graphics. DSS also have built-in problem analysis modules that render them close to expert systems.

Because of the growing needs and increase of system size and complexity, the task of erecting an information system with old methods is becoming overwhelming (see Fig. 8). Once a panacea, 3th generation languages like FORTRAN and COBOL are no longer sufficient for large projects. 4th generation languages, application generators, and computer-aided systems engineering (CASE) tools that allow directly deriving code from organizational structures and tasks will become necessary in the near future.

## Artificial intelligence

An overview on the development and subfields of AI is presented (Fig. 9), and the structure and functioning of an expert system is described closely (Figs. 10, 11, and 12). The strong sides and limitations of rule-based knowledge presentation are augmented, and expert systems applications in natural resource management are reviewed.

Addressing the weaknesses of pure rule-based systems, we consider model-based second generation expert systems to offer most benefits for future systems. These systems are based on explicit concepts represented with object-oriented languages. They make the functional model of the world, such as forest and man's infrastructure, separate from the advisory, reasoning, planning and scheduling systems that are used to support decisions (Fig. 13). Object-oriented models of forest and forestry are necessary for further development in this area.

The technologies of expert systems and decision support systems are quickly merging, but the terminology has not been coined yet. Another important trend is the emphasis on database access in AI systems.

Relational databases can be easily mapped into object-oriented systems, which allows reasoning on large amounts of data.

## Operations research

The concepts, techniques, and application areas of operations research are presented only briefly because of the large number of textbooks available on this area even in forestry sciences. In forestry, the emphasis has been on simulation and optimization methods.

Although indispensable in problem solving, mathematical programming does not have the expressive power of the two approaches above in conceptual analysis and information systems engineering. Hence it is likely to find its place embedded in other systems instead of being delivered as stand alone modules.

## The synthesis

All the systems reviewed above have their typical application areas in a forestry organization (Figs. 14 and 15), and reversed, a model of an organization can be built using the crop of information systems. Building of a conceptual model of an organization is the first step in modern systems engineering. Figs. 16 and 18 present such a model of forestry from the standpoint of timber flow. When implemented, this model is then further split into actual information systems, databases and applications. Object-oriented programming and CASE tools facilitate the automation of this task in teamwork (Fig. 17).

A conceptual model also serves two other purposes which are forming the scientific basis of forestry information systems (Fig. 16) and providing also the user interface and views into a distributed information system (Figs. 18 and 19). The vision of a knowledge navigator, an intelligent workstation serving human decision maker with knowledge that it retrieves from a wide open information network is quickly becoming a reality.





# METSÄNTUTKIMUSLAITOS

## THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

### Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto  
*Department of Soil Science*

Suontutkimusosasto  
*Department of Peatland Forestry*

Metsänhoidon tutkimusosasto  
*Department of Silviculture*

Metsänjalostuksen tutkimusosasto  
*Department of Forest Genetics*

Metsänsuojelun tutkimusosasto  
*Department of Forest Protection*

Metsäteknologian tutkimusosasto  
*Department of Forest Technology*

Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
*Department of Forest Inventory and Yield*

Metsäekonomian tutkimusosasto  
*Department of Forest Economics*

Matemaattinen osasto  
*Department of Mathematics*

### Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema  
*Parkano Research Station*  
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland  
Puh. — *Phone:* (933) 82 912

Muhoksen tutkimusasema  
*Muhos Research Station*  
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland  
Puh. — *Phone:* (981) 533 1404

Suonenjoen tutkimusasema  
*Suonenjoki Research Station*  
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland  
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun tutkimusasema  
*Punkaharju Research Station*  
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland  
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema  
*Ojajoki Field Station*  
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland  
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema  
*Kolari Research Station*  
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland  
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema  
*Rovaniemi Research Station*  
Os. — *Address:* PL 16  
96301 Rovaniemi, Finland  
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema  
*Joensuu Research Station*  
Os. — *Address:* PL 68  
80101 Joensuu, Finland  
Puh. — *Phone:* (973) 1514 000

Kannuksen tutkimusasema  
*Kannus Research Station*  
Os. — *Address:* PL 44  
69101 Kannus, Finland  
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoasema  
*Ruotsinkylä Field Station*  
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland  
Puh. — *Phone:* (90) 824 420



- No 756 Isomäki, Antti & Niemistö, Pentti: Ajourien vaikutus puuston kasvuun Etelä-Suomen nuorissa kuusikoissa.  
Effect of strip roads on the growth and yield of young spruce stands in southern Finland.
- No 757 Kaila, Erkki & Saarenmaa, Hannu: Tietokoneavusteinen päätöksenteko metsätaloudessa.  
Computer-aided decision making in forestry.
- No 758 Ylitalo, Esa, Mäki-Simola, Elina & Turunen, Jukka: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1988.  
Removals and flows of commercial roundwood in Finland in 1988, by districts.
- No 759 Pätilä, Antti & Nieminen, Mika: Turpeen emäsraavinne- ja rikkittase karuilla ojitetuilla rämeillä laskeuma huomioon ottaen.  
Base cation nutrients and sulphur status of drained oligotrophic pine mires considering the atmospheric input.
- No 760 Aarne, Martti, Uusitalo, Matti & Herrala-Ylinen, Helena (toim.): Metsätalouden vuosikirja 1989.  
Yearbook of forest statistics, 1989.
- No 761 Poikolainen, Jarmo: Hailuodon jäkäläkankaiden taimikot ja niiden hirvituhot.  
Condition of sapling stands on the lichen heaths of Hailuoto and damage by moose.
- No 762 Saarenmaa, Liisa: Viljelyketjun valinta asiantuntijajärjestelmän avulla Lapissa.  
Choice of reforestation method based on an expert system in Finnish Lapland.
- No 763 Hotanen, Juha-Pekka & Nousiainen, Hannu: Metsä- ja suokasvillisuuden numeerisen ryhmittelyn ja kasvupaikkatyyppien rinnastettavuus.  
The parity between the numerical units and site types of forest and mire vegetation.
- No 764 Hirvelä, Hannu & Hynynen, Jari: Lannoituksen vaikutus männikön kasvuun, latvavaurioihin ja tuulituhoalttiuteen Lapissa.  
Effect of fertilization on the growth, top damage and susceptibility to windthrow of Scots pine stands in Lapland.
- No 765 Uotila, Esa & Peltola, Aarre: Hankinta- ja pystykaupan tulojen katelaskentamenetelmä.  
A method for calculating residual incomes from delivery and standing sales of timber.