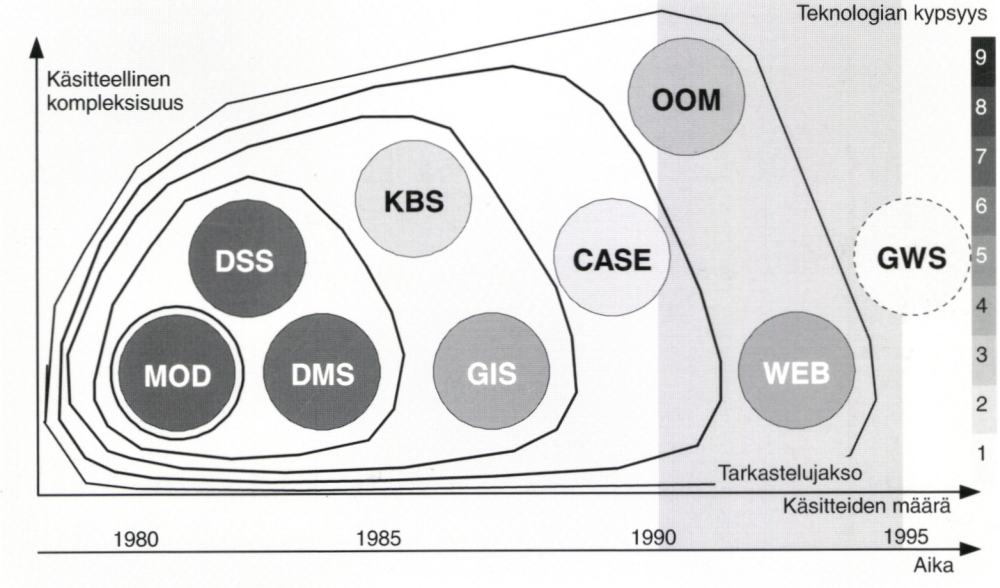
METSÄN TUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 698, 1998

# Tietojenkäsittelyn kehittämisen normatiiviset mallit metsäntutkimuksessa

## Tietojärjestelmätieteellinen toimintatutkimusanalyysi

Erkki Kaila




ROVANIEMEN TUTKIMUSASEMA

METLA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

08. 10. 98

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 698, 1998

# Tietojenkäsittelyn kehittämisen normatiiviset mallit metsäntutkimuksessa

## Tietojärjestelmätieteellinen toimintatutkimusanalyysi

Erkki Kaila

ROVANIEMEN TUTKIMUSASEMA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

**Kaila, E. 1998**. Tietojenkäsittelyn kehittämisen normatiiviset mallit metsäntutkimuksessa. Tietojärjestelmätieteellinen toimintatutkimus-analyysi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 698. 149 s.
ISBN 951-40-1639-4. ISSN 0358-4283.

**Asiasanat:** Tietojärjestelmien analyysi, ohjelmistosuunnittelu, tietoteknisten järjestelmien määrittely ja toteutus, organisaation muutos, Metsäntutkimuslaitos

**Kirjoittajan yhteystiedot:** Erkki Kaila, Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 Rovaniemi, puh. (016) 336 411, faksi (016) 336 4640.

**Julkaisija:** Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, tietohallintopalvelut-hanke. Hyväksynyt tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen.

**Tilaukset:** Metsäntutkimuslaitos, kirjasto/julkaisumyynti, PL 18, 01301 Vantaa, puh. (09) 8570 5580, faksi (09) 8570 5582, sähköposti kirjasto@metla.fi.

Gummerus Kirjapaino Oy
Saarijärvi 1998

# Sisällys


**1 Johdanto** ..... 5
1.1 Tutkimuksen viitekehys ..... 5
1.1.1 Systemoinnin metamallit ..... 5
1.1.2 Toimintatutkimus ..... 9
1.1.3 Metsäntutkimus ..... 9
1.2 Tutkimuksen tavoite ja rakenne ..... 12
**2 Aineisto ja menetelmät** ..... 14
2.1 Aineiston keruu ..... 14
2.2 Tapaustutkimukset ..... 16
2.2.1 KEKO, PIOCOn laatukriteerimallin soveltamiskoe ..... 17
2.2.2 TUTGIS, Luonnonvarojen hallinnan GIS-järjestelmän tietomallin muodostus IEF:n tuella ..... 18
2.2.3 METINFO, tietojärjestelmän viimeistely rakenteellisen analyysin tuella ..... 22
2.2.4 LIGNUM, objektimallintaminen metamallien tuella ..... 23
2.2.5 MESI, Metlan sähköisen informaatiojärjestelmän määrittely ja toteutus Spiraalimallin perusteella ..... 24
**3 Tutkimustulokset** ..... 27
3.1 Havaintojen käsittely ja aineiston muodostus metsäntutkimuksen tiedonhallinnan näkökulmasta ..... 29
3.2 Tietokoneavusteinen päätöksenteko metsätaloudessa ..... 32
3.3 Metsäntutkimuslaitoksen informaatiojärjestelmäarkkitehtuuri ja tietojärjestelmien kehittämisstrategia ..... 36
3.4 Metsätalouden tietojärjestelmät ja ohjelmistotuotannon objektisuuntautunut kehittämismalli ..... 40
3.5 Objektien tunnistaminen informaatiojärjestelmien analysoinnissa ja mallintamisessa ..... 43
3.6 Tapaustutkimusten yhteenveto ..... 46
**4 Tarkastelu** ..... 48
4.1 Yleiset päätelmät ..... 48
4.2 Valideetti ja reliabiliteetti ..... 52
4.2.1 Kattavuus ..... 52
4.2.2 Ajankohtaisuus ..... 52
4.2.3 Luotettavuus ..... 53
Kirjallisuus ..... 54
Liite A: Alkuperäiset artikkelit ..... 60
Liite B: METKA- ja METIK-projektin raportit ..... 145
Liite C: Metsäntutkimuslaitoksen tuotannossa olevat tietojärjestelmät 1996 ..... 148

# Alkusanat

Tutkimuksessa tarkastellaan käsitteellisellä tasolla niitä tekijöitä, jotka ovat vaikuttaneet Metsäntutkimuslaitoksen tietojärjestelmäosaamisen kehittymiseen 1980- ja 1990-luvun aikana. Raportti on laadittu lisensiaatintyöksi Oulun yliopiston tietojenkäsittelyopin laitoksen opinnäytteelle asettamien vaatimusten mukaisesti. Opinnäytteen tarkastajat ovat professori Juhani Iivari Oulun yliopiston tietojenkäsittelyopin laitokselta ja professori Matti Kärkkäinen Metsäntutkimuslaitoksesta. Työn ohjaajana on toiminut professori Pentti Kerola. Kerolan ja Kärkkäisen lisäksi käsikirjoitusta ovat kommentoineet MMT Lauri Valsta ja MMM Hannu Salminen. Raporttiin sisällytetyt tapauskohtaiset esimerkit on tuotettu FL Kari Lehdon, FL Jarmo Saarikon, MMM Eero Mikkolan, TT Risto Sieväsen ja Hannu Salmisen tuella. Opinnäytteen valmistuminen ei olisi ollut mahdollista ilman MMT Hannu Saarenmaan kanssa tehtyä pitkää ja inspiroivaa yhteistyötä. Kiitän kaikkia antoisasta yhteistyöstä.

Lisäksi kiitän Metsäntutkimuslaitosta, joka työnantajana on joustavasti ja monipuolisesti tukenut tutkimustani.

Rovaniemellä 2. huhtikuuta 1998 FM Erkki Kaila

# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen viitekehys

Tämän tutkimuksen kohteena ovat olleet tietotekniikan kehittämisilmiöt Metsäntutkimuslaitoksessa vuosina 1982–1995. Tutkimuksen tekotapaan on vaikuttanut kaksi erilaista tieteellistä paradigmaa. Tutkimus on *tietojärjestelmätieteen* mukainen, mutta kohteena ovat olleet *metsäntutkimuksen* ilmiöt. Niinmuodoin tutkimusraportti on voimakkaasti metsäntutkimuksen ammattitehtäviin orientoitunut. Raportissa kuvataan metsäntutkimuksen tietojenkäsittelytoiminnan merkittäviä muutoksia ja suuntautumisvaihtoehtoja tietojärjestelmätieteen käsittein. Tarkasteltavana ilmiönä on ollut normatiivisten systemointimallien soveltaminen ja vaikutus tietojärjestelmien kehittämiseen metsäntutkimuksessa.

Tarvittava empiirinen tieto on omaksuttu pitkäaikaisen *toimintatutkimuksena* toteutetun seurantatutkimuksen kautta. Teoreettisena lähtökohtana on ollut tietojärjestelmätieteen jatkokoulutusseminaari 1982, jossa toimintatutkimusmenetelmiin liittyvä käsitteistöä esiteltiin "action research" menetelmänä (Checkland 1981).

### 1.1.1 Systemoinnin metamallit

Tutkimuksen tarkastelujakson aikana tietojärjestelmäsovelluksiin tarjolla olevat teknisen tason ratkaisuvaihtoehdot ovat määrällisesti lisääntyneet ja laadullisesti kehittyneet tietokoneiden kapasiteetin kasvaessa. Metsäntutkimuslaitos on tietojärjestelmiä kehittävänä ja hyväksikäyttävänä organisaationa siirtynyt minitietokoneiden keskitetystä käytöstä henkilökohtaisten tietokoneiden ja tietoverkkoon hajautettujen työasemien käyttöön. Tietotekniikan sovellusten määrällinen kehitys on seurannut laitteistokehitystä. Samalla teoreettisten mallien tarve tietojärjestelmien kehittämisen periaatteiden määrittelijänä on lisääntynyt.

Tutkimuksen aikana tarkastelun kohteena ovat olleet *tietojärjestelmien suunnittelun ja rakentamisen eli systemoinnin normatiivisten metamallien kehittyminen*. Normatiivisilla malleilla tarkoitetaan ohjeellisia, systemointiprosessin läpivientiin ja tietojärjestelmätuotteen muotoon vaikuttavia määrityksiä, jotka kuvaavat sekä kehittämisprosessin että kehitettävän tuotteen tarkoitusta, sisältöä, rakennetta ja käyttäytymistä. Systemoinnin metamallit ovat kokonaisvaltaisia, käsitteellisiä ja teoreettisia toiminta- tai rakennemallia, joissa tietojärjestelmän kehittämishankkeen ja kehitettävän tietojärjestelmän itsensä komponentit on määritelty ja suhteutettu toisiinsa.

Metamalleista oletetaan, että niiden elinikä käsitteellisinä malleina on hyvin pitkä. Metamalleja ei ole tarkoitettu sellaisenaan sovellettavaksi tietojärjestelmien kehittämisprojekteissa, vaan niiden soveltaminen tapahtuu yleisemmällä tasolla. Ne edustavat apriorista, projektia ennakoivaa, tietämystä ja käsitteellistä välineistöä, jonka avulla systeemi-

suunnittelija voi synnyttää minkä tahansa projektin suunnitelman tietojärjestelmän kehittämiseksi. Metamallit eivät periaatteessa ota kantaa itse tietojärjestelmän toteuttamistapaan, vaan se tapahtuu malleista johdetun toteutusta ohjaavan metodologian avulla. Systemoinnin metamalleille on luonteenomaista usean eri tarkastelukulman huomioonottaminen toteutusmallien laadinnassa.

Tutkimuksen kannalta merkitsevimmät metamallit ovat olleet Oulun yliopiston tietojenkäsittelyopin laitoksella kehitetyt PSC- ja PIOCO-systemointimalli (Kerola ja Järvinen 1975, Iivari ja Koskela 1979, Iivari 1982, 1983, 1987, Iivari ja Koskela 1987), sekä Juhani Iivarin (1990a ja 1990b) Oulun yliopistossa kehittämä ja Jyväskylän yliopistossa viimeistelemä objektisuuntautuneen ohjelmistosuunnittelun Spiraalimalli ja sitä tukeva objektien tunnistamisen malli (Iivari 1991).

Teoreettiset metamallit saavat sovellustapaan sidottuja muotoja tietojärjestelmien rakentamismetodologioissa. Käytännöllisiä lähestymistapoja operatiivisten, tietokantaan perustuvien raportointijärjestelmien suunnitteluun ovat edustaneet varhainen ruotsalainen ISAC-systemointimenetelmä (Lundeberg ym. 1981), DeMarcon (1978) luoma rakenteellinen analyysi (SA), Mellorin ja Wardin (1986) kehittämä reaaliaikaisten systeemien käyttäytymisen kuvausmenetelmä, Yourdonin (1990) edellisistä yhteenvetona kehittämä rakenteellinen analyysi (SA) sekä James Martinin (1989a, 1989b, 1989c) liiketoiminnan analyysiin perustuva Information Engineering menetelmä (IE). Objektiohjelmoinnin tueksi kehitetyt systeemianalyysin ja suunnittelun menetelmät muodostavat yhdessä ns. objektilähestymistavan, jonka mukaisia suunnittelumetodologioita ovat esittäneet Booch (1991), Coad ja Yourdon (1990), Rumbaugh ym. (1991) ja Martin (1993).

PSC-, PIOCO- ja Hierarkkinen spiraalimalli kuuluvat samaan tieteelliseen traditioon, joka perustuu pohjoismaiseen, alkujaan ruotsalaiseen systemointiajatteluun (Langefors 1965, Bubenko ym. 1971, Sundgren 1981, Lundeberg ym. 1981). Systemointiprosessin kannalta kaikkiin kolmeen metamalliin liittyy rakenteellisesti samanlainen kolmen päävaiheen vaiheistus. Päävaiheiden sisällä tehtävät suunnittelu- ja testaustehtävät ovat myös sisällöllisesti samankaltaisia ja niiden järjestys on sama. Malleilla on myös selkeästi toisistaan eroavia ominaisuuksia.

### *PSC-systemointimalli*

Kerola ja Järvinen (1975) kehittivät PSC-systemointimallin (PSC-malli) 1970-luvun alkupuolella systemoinnin suomalaisen yliopisto-opetuksen teoreettiseksi perustaksi. Systemointimalli kehitettiin ensisijaisesti operationaalisten tietojärjestelmien rakentamiseen hieman ennen relaatiomalliin perustuvien tietokantojen mallintamisen aikaa. Siinä voidaan nähdä sekä semioottisten, systeemiteoreettisten että liikkeenjohdon toimintojen mallintamiseen liittyvien teorioiden vaikutus.

PSC-malli jakaa systemointiprosessin ja samalla kehitettävän tietojärjestelmän käsitteistön kolmeen kokonaisvaltaiseen tarkastelukulmaan,

jotka johdetaan semiotiikasta. Tarkastelukulmat ovat 1) pragmaattinen, 2) semanttinen ja 3) konstruktiivinen tarkastelukulma, joille kullekin on selvä vastine semiotiikan teoriassa (Niiniluoto 1992). Systemointimalli jaksottaa systemointiprosessiin liittyvät työtehtävät päävaiheisiin suunnittelu-, toteutus- ja testaustehtäviksi. PSC-mallin keskeinen idea on siirtää systemointiprosessin aikana tarkastelun painopistettä kontrolloidusti pragmaattisista, kehitettävää toimintoa tai muutettavaa organisaatiota koskevista kysymyksistä, semanttisiin, suunniteltavan tietojärjestelmän tietosisältöä, ja konstruktiivisiin rakennettavan tietojärjestelmän teknisiä komponentteja ja rakennetta koskeviin kysymyksiin.

PSC-malli esittelee iteraation käytön tietosysteemin suunnittelun tuloksen parantamiseksi, mutta jättää iteraation systemointiprosessin päävaiheiden väliseksi ilmiöksi. Päävaiheiden erottaminen toisistaan erityisten päätöstilanteiden avulla, muodostaa selkeän päätösdynamiikan, mikä toistuu kaikissa mainituissa systemointimalleissa (ks. Myös Leppänen ym. 1977).

***PIOCO-systemointimalli ja tietosysteemimallit***

PIOCO-systemointimalli (PIOCO-malli) on PSC-mallin korollaari. Juhani Iivari ja Erkki Koskela kehittivät mallia käsitteellisesti laajemmaksi ja syvensivät sen keskeisiä osia ennen kaikkea tietojärjestelmätuotteen, tietosysteemin mallintamisen ja arvioinnin osalta (Iivari ja Koskela 1979, Iivari 1983).

PIOCO-mallin päävaiheistus on sama kuin PSC:n. Päävaiheiden uudelleen nimeäminen luonnehtii tietojärjestelmätieteellisen käsitteistön vahvistamista. Semanttinen päävaihe korvautuu tietoteknisessä mielessä analyyttisemmällä I/O-päävaiheella (lue: input-output-päävaiheella), joka kuvaa selvemmin tietojärjestelmien käytännön mallintamistyön ongelmakenttää tietosisältöjen määrittämisen yhteydessä. Konstruktiivisen päävaiheen käsitteistö tarkentuu C/O-päävaiheella (lue: konstruktiivis-operatiivisella-päävaiheella), jossa rakenteellisten näkökohtien lisäksi tulevat toiminnalliset tekijät merkitseviksi tietosysteemin teknisen ratkaisun kuvaamisessa.

PIOCOssa on myös tietojärjestelmätuote saanut uuden tulkinnan. Sen lisäksi, että se on faktuaalisesti ja konkreettisesti todellisuuteen synnytetty tietojärjestelmä, jota organisaatio pääsee toiminnoissaan soveltamaan, siihen liittyy oleellisena osana myös systemointiprosessissa tuotettavat tietosysteemin mallit (Iivari 1983, Iivari ja Koskela 1987).

PIOCO-mallin mukaan systemointiprosessin P-, I/O ja C/O-päävaiheissa muodostetaan kutakin päävaihetta vastaava erillinen tietosysteemimalli. Yhdessä ne muodostavat tietosysteemin kokonaisvaltaisen kuvauksen käytettäväksi erilaisissa tietosysteemiä koskevissa päätöstilanteissa. PIOCO-malliin liittyvä tärkeä kontribuutio on yksityiskohtaisten laatukriteerien esittäminen eri malleille (Iivari ja Koskela 1987). Kun systemointiprosessin päävaiheiden päätökset tuotetun tietosysteemimallin hyväksymisestä tehdään, on kyettävä kuvaamaan ne kriteerit, mihin

päätös perustuu. P-päävaiheen osalta tietosysteemin mallintamisen tulee kohdistua niihin vaikutuksiin, joita tietosysteemin kehittämisellä uskotaan olevan sitä hyväksikäyttävään toimintoon. P-mallin tarkastelussa systeemiä kuvaavat laatukriteerit johdetaan vaikuttavuus/kustannussuhteen selvittämiseksi. I/O-mallin laatukriteerien tarkastelu kohdistuu kehitettävän järjestelmän palvelevuustekijöiden ja C/O-mallin sen tehokkuustekijöiden ja kustannusten suhteeseen.

***Ohjelmistotuotannon hierarkkinen spiraalimalli***

Iivarin (1990a, 1990b) 1980-luvun lopussa kehittämä ohjelmistotuotannon hierarkkinen spiraalimalli (Spiraalimalli) on nuorimpana mainituista metamalleista kehittynein. Se on käsitteellisesti kypsä ja soveltuu sekä tietojärjestelmien että niiden ohjelmistokomponenttien eksperimentaaliseen ja evolutionaariseen kehittämiseen (Iivari 1982). Keskeistä spiraalimallille on, että sen soveltamisen aihepiirin on ajateltu tarkentuvan organisatoristen tietosysteemiä koskevien järjestelmän osien rakentamisesta uudelleenkäytettävien ohjelmistokomponenttien kehittämiseen.

Spiraalimallissa tietojärjestelmien kehittämismotiiveihin liittyvä ajattelutapa on myös muuttunut. PSC:n ja PIOCO:n taustalla vaikuttaa organisaation tietojärjestelmästrategiaan perustuvat näkökohdat, kuten kokonaisvaltaiset tietosisältökuvaukset, joissa tietojärjestelmää kehitetään prosessin aikana määriteltäviä organisatorisia tarkoituksia varten ja tietojärjestelmällä odotetaan olevan edessään "tietty" elinkaari. Spiraalimallin yhteydessä kehittämisen pääpaino on siirtynyt jatkuvasti toimivien ja uudelleen käytettävien informaatio- ja tietojärjestelmän osien tukeen systeemievoluutiossa (Iivari 1982, 1990a). Mallin kehittäminen on saanut vaikutteita myös ohjelmistotuotannon uudistumisesta, kun objektilähestymistapaan liittyvä sovelluskehityskulttuuri on tullut lausekielillä tapahtuvan ohjelmointikulttuurin rinnalle.

Spiraalimalliin kuuluu edelleen rakenteellisesti samanlainen päävaihejaottelu, kuin sen edeltäjissäkin, mutta päävaiheet ovat käsitteellisesti uudistuneet: Ensimmäinen päävaihe edustaa nyt entistä selvemmin organisaatioon generoitavan muutoksen analyysiä ja suunnittelua. Siinä myös korostuu aiempaa selvemmin toiminnan suunnittelun ja tietosysteemikomponenttien vaihtoehtoisten ratkaisujen vertailu. Lisäksi Spiraalimalli tukee aiempaa voimakkaammin iteraatiota, joka nyt on määritelty tapahtuvaksi päävaiheiden sisällä. Spiraalimallin mukaan toteutetussa tietojärjestelmien suunnitteluprosessissa tuotetut tietojärjestelmämääritykset jakautuvat päävaiheiden mukaisesti 1) organisaation toimintaa kuvaaviin malleihin, 2) tietojärjestelmän käyttöä kuvaaviin käsitteellisiin (infologisiin) malleihin ja 3) teknistä toteutusta kuvaaviin (datalogisiin) malleihin.

Spiraalimalli, kuten edeltäjänsäkin, korostaa käsitteellisen työstämisen työvaiheiden edullisuutta tietojärjestelmän implementointiin verrattuna. Koska tietosysteemien rakentamisen ja ohjelmistotuotannon projektit ovat käytännössä aina kallista asiantuntijatyövoimaa sitovia, ovat niiden kustannukset poikkeuksetta kriittisen arvioinnin ja päätöksenteon

kohteena. Spiraalimalli kiinnittää huomiota siihen, että asiantuntemuksen panostaminen vaiheittain perusteelliseen suunnitteluun lopulta minimoi hankkeen kustannukset.

### 1.1.2 Toimintatutkimus

Sosioteknisen paradigman mukaan tietojärjestelmien tarkastelu irrallaan niiden kehittäjistä ja käyttäjistä muodostuvasta sosiaalisesta ympäristöstä on hyödytöntä (Nurminen 1986). Systemointitutkimuksessa käyttäytymistieteellinen näkökulma painottuu ja toimintatutkimuksen kaltaisia menetelmiä suositaan. Luonnontieteelliseen tutkimuskäytäntöön verrattuna toimintatutkimusmenetelmän ongelmana on, että tutkimuksen suorittajalla on kaksoisrooli sekä tutkittavan että kehittämisen kohteena olevan organisaation kannalta. Toisaalta hän osallistuu muutosagenttina organisaatioon generoitavan muutosprosessin läpivientiin ja toisaalta hänen tulee oman tutkimuksensa kannalta tehdä objektiivisia havaintoja kehittämisprosessiin liittyvistä muutoksista ja niiden vaikutuksista. Lähestymistavalle on ominaista myös se, että menetelmä sallii oppimisen aiheuttaman tutkivan subjektin muuttumisen prosessin aikana. Tutkijan kasvanut kompetenssi vaikuttaa prosessista tehtyyn tulkintaan.

Järvinen (Järvinen ja Järvinen 1996) toteaa menetelmäoppaassaan "Tutkimuksen tekeminen tietojenkäsittelyopissa", että: "Toimintatutkimus on tutkijan toimimista yhtäältä käytännön ongelman ratkaisemiseksi ja samalla toisaalta sellaisen tiedon hankkimiseksi, jolla on tieteellistä mielenkiintoa. Oleellista on, että tutkija toimii kiinteässä yhteistyössä niiden kanssa, joiden ongelmasta on kysymys". Lisäksi Järvinen viittaa Oquistin (1978) näkemykseen, jonka mukaan "toimintatutkimus eroaa kuvailevasta ja ennustavasta sekä "politiikka"-tutkimuksesta, ja että empirismin, loogisen positivismin ja strukturalismin kannattajat hylkäävät toimintatutkimuksen, mutta pragmatismin ja dialektisen materialismin kannattajat pitävät toimintatutkimusta parhaana strategiana tuottaa tieteellistä tietoa". Järvinen kirjaa myös Susmanin ja Everedin (1978) näkemyksen, jonka mukaisesti toimintatutkimus: a) on suuntautunut tulevaisuuteen, b) korostaa tutkijan ja tutkittavan yhteistyötä, c) vaikuttaa kohdesysteemin kehittämiseen, d) tuottaa teorioita, jotka perustuvat toimintaan, e) tutkimuksen tavoitteet, ongelma ja menetelmät kehitetään kyseiseen prosessiin perustuen ja f) on tilannekohtaista.

### 1.1.3 Metsäntutkimus

Metsäntutkimus muodostuu pääasiassa metsätieteiden, ekonomian, ekologian ja biologian alaan kuuluvasta tieteellisestä toiminnasta, joka tapahtuu metsätalouden, metsien suunnitelmallisen kasvatuksen ja käytön ilmiökentässä. Puuntuotannon, metsävarojen riittävyyden, metsien uudistamisen ja metsien tilan seurannan ohella tutkimuksen kohteena ovat myös esimerkiksi porotalous, metsän muiden tuotteiden talteenotto ja metsien käyttöön liittyvät taloudelliset ja ympäristöarvot.

Metsäntutkimus Suomessa on ensisijassa soveltavaa tutkimusta, jota tehdään pääasiassa kansallisiin tarpeisiin. Metsäntutkimustoiminta on työvoimavaltaista ja se kattaa kaikki tietotyön tunnusmerkit. Toimialaan kuuluvat ammatit ovat tyypillisiä tietotyöammatteja, joiden perustana on metsäalan teoreettinen tai käytännön tason koulutus.

Suomessa metsää tutkitaan usean tieteellisen organisaation toimesta, mutta tutkimustoiminnan yhteiskunnallinen päävastuu on Metsäntutkimuslaitoksella. Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen tutkimuslaitos, joka perustettiin vuonna 1917. Laitoksen tehtävänä on Suomen lain 653/76 1 §:n nojalla "suorittaa metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävää tutkimusta". Toteuttaakseen laissa säädetyt tehtävät, Metsäntutkimuslaitoksen tulee asetuksen mukaan:

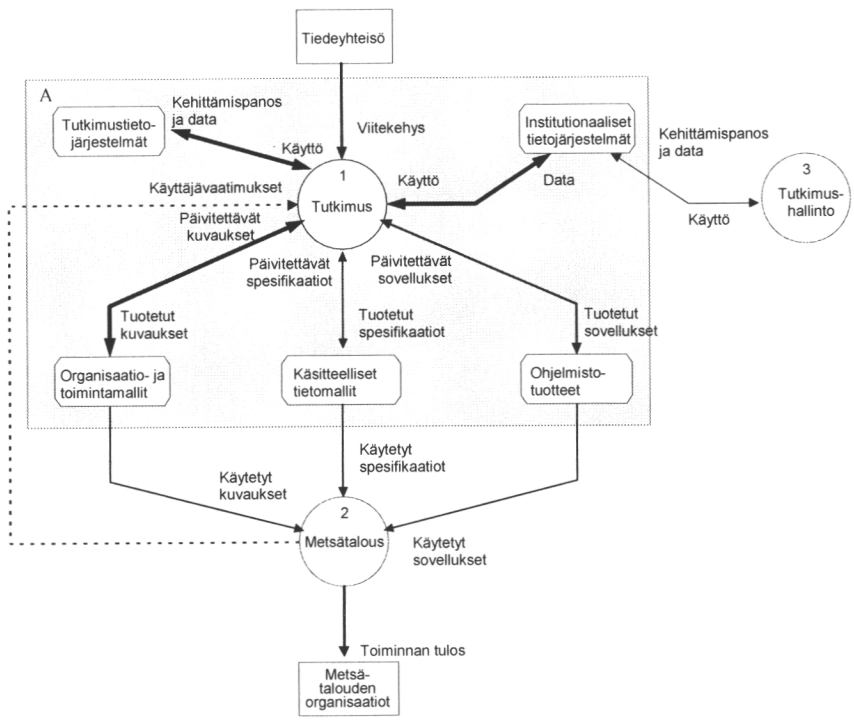
1) harjoittaa tieteellistä tutkimustoimintaa;
2) kehittää toimialansa kotimaista ja kansainvälistä yhteistoimintaa sekä edistää tutkimustulosten hyväksikäyttöä;
3) harjoittaa tutkimukseen liittyvää palvelutoimintaa ja tietotuotantoa;
4) hoitaa hallinnassaan olevia tutkimus- ja luonnonsuojelualueita sekä seurata metsävarojen ja metsien terveydentilan kehitystä; sekä
5) hoitaa ne tehtävät ja toimeksiannot, jotka maa- ja metsätalousministeriö sille erikseen määrää.

Metsäntutkimuslaitoksen toimintaan kuuluvat oleellisena osana valtakunnan metsävarojen riittävyyden ja käytön seuranta sekä metsien terveydentilan ja puukaupan seuranta. Euroopan yhteisön toiminnassa Metsäntutkimuslaitos on asetettu myös useiden metsien ja ympäristön seurantaan liittyvien viranomaistehtävien kansalliseksi vastuuorganisaatioksi. Metsäntutkimuslaitoksen tutkimustoiminnalle erityinen piirre on tutkimusmetsien käyttö eräänlaisena "luonnon laboratoriona", joissa erilaisia metsien käsittelytoimenpiteitä voidaan kokeilla intensiivisesti. Tutkimusmetsiin kuuluu myös osa kansallis- ja luonnon puistoista. Metsätaloudellinen toiminta tutkimusmetsissä tapahtuu tutkimuksen ehdoilla ja sen yhteydessä otetaan erityisalueiden vaatimukset erikseen huomioon. Tutkimustoiminnassa tehdyt investoinnit ovat olleet ensisijaisesti tutkimusasemaverkoston kehittämiseen sekä laboratorio- ja tietotekniikkaan liittyviä.

Tutkimuksen tarkastelujakson aikana 1982–1995 Metsäntutkimuslaitoksen toimintaa on uudelleenorganisoitu kahteen kertaan (Metsäntutkimuslaitoksen vuosikertomus 1992 ja 1995). Tutkimustoiminnan rakenne on muuttunut tieteenalakohtaisesta divisioonarakenteesta ongelmalähtöiseen ja projektiperusteiseen toimintamalliin. Laitoksen tärkeä voimavara on tutkimusasemaverkko, joka hajauttaa toiminnan kymmenelle paikkakunnalle Suomessa. Metsäntutkimuslaitos on panostanut toiminnassaan tietoteknologian eli tietokantojen, tietojärjestelmien ja tietoverkkojen kautta saatavien palvelujen kehittämiseen suhteellisen

varhaisessa vaiheessa (Häkkinen 1996). Laitoksella on sekä tutkimustoiminnan lähtökohdista määritelty tietojärjestelmästrategia että tietohallinnon evaluoinnin ja uudelleen organisoinnin jälkeen muodostettu toimenpidesuunnitelma, tietohallintostrategia. (Metsäntutkimuslaitoksen... 1994, Saarenmaa ym. 1990, Lehto ym. 1996). Laitos on myös sitoutunut kansallisen tietojärjestelmästrategian toteuttamiseen omalta osaltaan (Valtionvarainministeriö 1995, Lehto 1995).

Miten metsäntutkimus ja tietojärjestelmätieteellinen ajattelutapa kohtaavat? Periaatteessa asiaa voidaan ajatella yksinkertaisesti siten, että metsäntutkimuksessa sovelletaan tietojenkäsittelyn menetelmiä läpäisyperiaatteella eli menetelmät oletetaan annetuiksi teknisen tason ratkaisuiksi, jotka sovitetaan tutkimuksen käyttöön. Tämän tutkimuksen lähtökohta on kuitenkin toinen: tietojenkäsittelymenetelmien soveltaminen tutkimustoiminnassa on haluttu problematisoida metsätalouden tarpeiden ja metsäntutkimuksen menetelmien kehittämisen kautta (Kilkki 1988). Tarkastelu kohdistetaan metsäntutkimustoiminnan pysyviin ilmiöihin tasolla, jolla metsätalouden käytännöllä on oleellinen merkitys tutkimuksen ja kehittämistoiminnan tulosten hyväksikäyttäjänä. Tarkastelun viitekehys esitetään kuvassa 1 tietovirtakaaviona.




Kuva 1. Metsäntutkimuksen tietojärjestelmien ja ohjelmison kehittämistyön käsitteellinen viitekehys vuonna 1982 tietovirtakaviona.

Kuvassa 1 on esitetty tietovirtakaaviona (Yourdon 1990) tämän tutkimuksen kohteena olleen toiminnan koko ilmiökenttä. Vertailu kuvaan 8 osoittaa ne muutokset, jotka tarkastelujakson aikana on todettu tapahtuneeksi. Tarkastelu rajataan yleisellä tasolla metsäntutkimusta harjoittavan tiedeyhteisön ja metsätalouden toimintojen tuloksia tuottavien organisaatioiden väliseen tiedon ja teknologian vaihtoon. Metsäntutkimus on kuvattu prosessina (1), joka tuottaa metsätalouden (prosessi 2) käyttöön sen tarvitsemien tietojärjestelmien organisatorisia (organisaatio- ja toimintamallit), käsitteellis-infologisia (käsitteelliset tietomallit) ja datalogis-teknisiä määrityksiä (ohjelmistotuotteet). Tutkimuksen tietojärjestelmätuotantoon liittyvän teknologian siirron oletetaan tapahtuvan tietovirtojen mukaisesti. Paksut nuolet kuvaavat tuotannon pääasiallista suuntautumista.

Tietoteknologian käytäntöönsiirto tapahtuu epäsuorasti siten, että tutkimuksessa tuotettu osaaminen ja teknologiset innovaatiot tuotetaan ja raportoidaan pääosaltaan tieteellisessä tutkimustyössä omaksutuin keinoin esimerkiksi tutkimustoiminnan yhteydessä testattavaan muotoon. Tietovirtakaavion tietovarastosymbolit (pyöristetty suorakaide) kuvaavat tutkimustoiminnan tuottamia tietojärjestelmiä, tietojärjestelmäkomponentteja tai niitä koskevia malleja. Metsäntutkimuksen tietojärjestelmätuotanto vaikuttaa välillisesti metsätaloudessa tapahtuvaan toimintaan. Metsätalouden määrittelemät kehittämistavoitteet ja tietojärjestelmäkohtaiset käyttäjävaatimukset on kuvattu palautetietovirtana, jonka perusteella tutkimustoiminta tuottaa ja päivittää tietojärjestelmiä. Tutkimus hyödyntää oman toimintansa tuloksena kehittyvää menetelmä- ja tietokantaa (tutkimustietojärjestelmät) sekä tutkimushallinnon (prosessi 3) kanssa tuotettuja tietojärjestelmäpalveluja (institutionaaliset tietojärjestelmät).

## 1.2 Tutkimuksen tavoite ja rakenne

Tietojenkäsittelysovellusten kehittämisen käytännön tilanteissa joudutaan usein hyväksymään joukko annettuja soveltamisperiaatteita, joita pidetään sinällään parhaina ratkaisuna käsillä oleviin ongelmiin. Tätä perustellaan yleensä sillä, että ratkaisut perustuvat suorituskykyisimpään tarjolla olevaan teknologiaan. Inhimillisten organisaatioiden toiminnalle on kuitenkin tyypillistä epävarmuus uuden teknologian sopeuttamisessa tuotannolliseen toimintaan, mikä helposti vähentää tavoiteltua hyötyä ja lisää kustannuksia. Epävarmuuden pienentämiseksi on tietojärjestelmätutkimuksessa on kehitetty tietosysteemien rakentamisen yleisiä tavoiteja toimintamalleja. Näitä malleja nimitetään tässä yhteydessä normatiivisiksi malleiksi.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan suomalaisen metsäntutkimuksen ja erityisesti Metsäntutkimuslaitoksen tietojärjestelmien kehittämistä vuosina 1982–1995. Tarkoituksena on ollut tutkia kuinka tietojenkäsittelyn

alaan liittyvät kehittymistrendit ovat toteutuneet ja normatiivisten mallien soveltamista niiden yhteydessä. Vaikka tarkastelulla pyritäänkin kokonaiskattavuuteen, aihealueen laajuuden johdosta sen ulkopuolelle jää useita asiakokonaisuuksia, jotka sisällöllisesti liittyvät käsiteltävään aihepiiriin.

Tutkimusraportin rakenne on klassinen. Luvussa 2, aineisto ja menetelmät, tarkastellaan viittä erillistä tietojärjestelmien kehittämishanketta, joissa on sovellettu edellä kuvattuja lähestymistapoja. Tapauskohtaisissa esimerkeissä kuvataan lyhyesti kunkin hankkeen taustaa, tarkoitusta ja kehittämistavoitteita. Esimerkkihankkeen ohjauksen kannalta keskeiset seikat kuvataan yksilöimällä toteutusajankohta, kehitettävän tietojärjestelmän sidosryhmät sekä resurssien käytöstä vastannut ohjaus- ja projektiryhmä. Hankkeen toteutumista tarkastellaan luonnehtimalla lyhyesti projektin organisointia, teoreettisten ja käytännöllisten mallien soveltamista sekä vaiheistusta, tehtäväkokonaisuuksien toistoja ja tuloksia.

Tutkimustulokset on kirjattu viiden julkaistun artikkelin koosteeseen (liite A), jolle luvussa 3 esitetään trenditarkastelun sisältävä laaja abstrakti. Artikkeleissa keskeisenä teemana ilmenevän tietojärjestelmien normatiivisten kehittämismallien esitystapa vaihtelee esimerkinomaisesta kehitystrendien ja tietojärjestelmätyyppien esittelystä suoraan ohjeistamiseen. Tutkimuksen tarkasteluaikajänne jaksotetaan eriaikoina kirjoitettujen artikkelien mukaan viiteen osittain päällekkäiseen jaksoon (kuvat 3–7, tummennettu alue).

Kunkin artikkelin kannalta tarkastelun rakenne ja sisältö on seuraava:

- Premissit. Artikkelin kirjoittamisen lähtökohdat kuvataan lyhyesti. Ajankohtaan liittyneet yleiset tietoteknologiset kehitysilmiöt yksilöidään. Metsäntutkimustoiminnalle merkitykselliset tarjolla olleet tietotekniset mahdollisuudet ja tietoteknologian soveltamistapa kuvataan.
- Argumentit. Teksteissä esitetyt yleiset väittämät yksilöidään ja niiden sisältöä kuvataan tässä yhteydessä joltain osin tarkentaen. Keskeisellä sijalla ovat tietojenkäsittelyn soveltamiseen liittyvät teoreettiset mallit ja niitä koskevat soveltamisohjeet. Soveltamistapoja havainnollistetaan tapauskohtaisin esimerkein luvussa 2.
- Trendit. Tarkastelun loppuun liitetään metsäntutkimuksen tietojärjestelmiä ja niiden kehittämistä koskevan käsitteistön kehittymisen graafinen kuvaus. Käsitteistön kehitystä kuvataan "lustoittain" laajenevalla diagrammisarjalla (kuvat 2–7), joka kuvaa kehitysprosessin ja tietoteknologian soveltamiskulttuurin kypsymisen.

Luvun 3 lopussa esitetään yhteenveto empiiristä tarkastelua tukevista tapaustutkimuksista sekä synteesin normatiivisten mallien soveltamisesta. Raportti päättyy tarkasteluun, jossa esitetään tutkimustuloksista johdetut yleiset päätelmät ja arvioidaan tutkimuksen relevanttisuutta, ajankohtaisuutta ja käsittelytavan luotettavuutta.

# 2 Aineisto ja menetelmät

## 2.1 Aineiston keruu

Tutkimus on toimintatutkimuksen kautta empiirinen. Tutkimuksen aineiston muodostavat Metsäntutkimuslaitoksessa toiminnassa olevat tietojärjestelmät ja niiden rakentamishankkeissa syntyneet tietojärjestelmäkuvaukset (liitteet A ja B). Kehittämistyön tulokset on todettavissa kohdetietojärjestelmissä ja niitä koskevissa malleissa ja selvityksissä (liite C).

Pitkän aikajänteen kuluessa on tarkasteltu seuraavia metsäntutkimuksen ja metsätalouden tietojärjestelmien kehittämiseen liittyneitä ohjelmistojen ja tietojärjestelmien kehittämisen malleja:

- Systemoinnin metamallit: PSC, PIOCO ja Ohjelmistotuotannon spiraalimalli ja objektien tunnistamismalli (Kerola ja Järvinen 1975, Iivari 1983, Iivari ja Koskela 1987, Iivari 1990a, 1990b ja 1991).
- Tietosysteemien toteuttamistapaan sidotut tietojärjestelmien rakentamismetodologiat: Information Engineering (IE, James Martin 1989a), Structured Analysis (SA, DeMarco 1978, Yourdon 1990) ja Systeemien rakentamismenetelmä (SRM, Mikkonen ja Soini 1988), sekä objektimallintamiseen liittyvä Object Modelling Tool (OMT, Rumbaugh ym. 1991).
- Metsätalouden kokonaissysteemin sisältöä kuvaava metsäsektorin malli (Kilkki 1988) ja Metsäntutkimuslaitoksen tietojärjestelmästrategia (Saarenmaa ym. 1990).

Tutkimuksen kohteena on ollut tietojenkäsittelyn menetelmällisen kehittymisen ja tutkimustoiminnan organisatoristen muutosten prosessi, jota on dokumentoitu erilaisiin tieteellisiin tai tietojärjestelmien kehittämisen tarkoituksiin. Tarkastelun vaikeutena on ollut tutkittavan ilmiön moniulotteisuus ja monitasoisuus. Työn aikajänne on pitkä. Siitä johtuen monilla tietojärjestelmillä on ollut aikaa kehittyä jopa usean, toisiaan seuranneen kehittämisprojektin yhteydessä. Atk-teknologiaan perustuvat toiminnalliset käytännöt ovat lisääntyneet, mikä on johtanut tarkastelun käsitteiden määrän kasvuun ja monimutkaistumiseen. Toisaalta tarkastelun kohteena ovat olleet muutokset tietojenkäsittelyopin lisäksi toisen tieteenalan, metsätieteiden piirissä, mikä on aiheuttanut teoreettisen käsitteistön monikertaistumista.

Aineiston muodostamisen kannalta on ollut keskeistä, että 1980-luvulla ja 1990-luvun alkupuolella erityisesti metsätalouden suunnittelun tietojärjestelmien automatisointia pidettiin tärkeänä. METIK-hankkeessa (Liite B) metsäntutkimuksen ja metsätalouden tietojärjestelmäkehittäjät pyrkivät määrittelemään metsätalouden tietojärjestelmien kehittämisen normatiivisen ohjeiston, jonka odotettiin yhtenäistävän alalla tapahtuvaa menetelmäkehitystä. Hankkeen yhteydessä pidetty metsätalouden tietojärjestelmäseminaari onnistui kokoamaan metsäsektorin päätöksentekijät

tarkastelemaan ns. metsätalouden kokonaistietojärjestelmän toteuttamismahdollisuuksia (Kinnunen ja Nuutinen, 1988). Seminaaria varten Pekka Kilkin (1988) määrittelemällä Metsätalouden suunnittelun kokonaissysteemin kehittämistavoitteet kokoavalla mallilla on ollut selvä normatiivinen merkitys metsäntutkimuksen ja metsätalouden piirissä tapahtuvaan tietojärjestelmien kehittämistoimintaan ja kehitettyjen tietojärjestelmäratkaisujen sisältöön. Mallin mukaisesti: "Strategisen suunnittelun tarvitsemaan tietojärjestelmään kuuluvat valtakunnallisen päätöksenteon ja puunkäyttäjän näkökulmasta tiedot seuraavista osa-alueista:

1) Metsävarat
2) Puun tarjonta
3) Metsätyövoima ja -koneet
4) Kaukokuljetus
5) Jalostuslaitokset
6) Markkinat

Metsävaratietojen osalta Kilkki (1985 ja 1988) määrittelee satelliittikuviin perustuvan kaukokartoituksen käytön lupaavimmaksi menetelmäksi suomalaisten metsävarojen määrää ja käyttöä selvitettäessä. Valtakunnan metsien inventoinnin maastotietojen, pysyvien koealojen, tuella satelliittikuvien tuottamaa tietoa voidaan hyödyntää monipuolisesti. Näin kerättäviä yleisiä metsävaratietoja voidaan lisäksi luotettavasti alueellisesti tarkentaa laskennallisin menetelmin. Markku Siitosen (Siitonen 1985, Siitonen ym. 1996) kehittämä MELA-menetelmä soveltuu osa-alueille, joilta metsän käyttötiedot on tilastoitu. Erkki Tomppo (Kilkki ja Tomppo 1990) on jatkanut metsävarojen inventointiin liittyvää työtä kehittämällä ohjelmistotuotannon keinoin kaukokartoitukseen ja satelliittikuvatulkintaan perustuvia monilähdeinventoinnin menetelmiä (Tomppo 1991, 1995, Mäkisara ja Tomppo 1996).

Metsävaratietojen tuotannon lisäksi Kilkki (1988) kehottaa luomaan riittävän luotettavat ja tehokkaat mallit ja niitä vastaavat tietojärjestelmät koko puuraaka-aineen tuotannon ja käytön logistiikkaketjun tueksi. Kilkin mukaan metsäsektorin malli voidaan määritellä kokonaisuutena eikä sen tietotekniselle toteutukselle ole teknisiä esteitä. Toteuttamisen ongelmana on ollut tietolähteiden hajanaisuus ja useiden tiedon hyväksikäyttäjäorganisaatioiden ristiriitaiset pragmaattiset tarpeet ja rajoitukset. Lisäksi yhteiskunnan muutoksen seurauksena metsänomistajien käyttäytyminen puumarkkinoilla on yhä vaihtelevampaa. Inhimillinen tekijä on noussut tärkeäksi tekijäksi metsäsektorin mallintamisessa. Metsän käsittelyä koskevan ajattelutavan muutoksen seurauksena lineaariseen mallintamiseen (LP, linear programming) perustunut lähestymistapa on joutunut tieteellisen uudelleenarvioinnin kohteeksi (Seppälä ym. 1980, Kangas ym.1996a ja 1996b, Kangas ja Pukkala 1996).

Tietojärjestelmätutkimusten dokumentoinnissa on sovellettu kolmea päämuotoa, joiden valinta kuvaa osaltaan tutkittavan aihealueen dokumentointikäytännön kehittymistä metsäntutkimuksessa.

I. METKA- ja METIK-hankkeen raportit, 1983–1986 (Liite B)
II. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjat ja tekijän muu kirjallinen toiminta, 1983–1990
III. Resource Technology-konferenssisarjan esitelmät, 1990–1994

METKA-hanke suunniteltiin toteutettavaksi osana Pekka Kilkin Metsätietojärjestelmän kehittämishanketta, jonka tavoitteisiin kuului metsätalouden kokonaistietojärjestelmän toteuttaminen (Kilkki 1988). Hanke rahoitettiin MMM:n yhteistutkimusvaroin ja Suomen Akatemian tuella ja toteutettiin Metsäntutkimuslaitoksen ja Joensuun korkeakoulun metsätalouden laitoksen yhteistyönä 1.9.1983 alkaen. Metsäntutkimuslaitoksesta työhön osallistuivat metsänarvioinnin tutkimusosasto ja matemaattinen osasto. Työtä tehtiin Helsingissä, Joensuussa ja Rovaniemellä. Puolitoista vuotta hankkeen käynnistymisen jälkeen sen tavoitteita tarkistettiin ja työryhmää laajennettiin. Hanke nimettiin uudelleen METIK-hankkeeksi.

Hankkeen toimintaa seurattiin metsätalouden toimialan piirissä intensiivisesti. Hankkeen raportit, kaikkiaan 48 kappaletta (yksi alkuperäinen puuttuu), suunnattiin metsäalan tietojärjestelmien kehittämisen sidosryhmille. METKA- ja METIK-hankkeen raportit on arkistoitu Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimusasemalla. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjojen luonne on edellisiä yleisempi. Niiden lukijakunta löytyy pääasiassa tutkimusyhteisön ulkopuolelta, kuten metsäopetuksen piiristä. Resource Technology-konferenssit edustavat kansainvälistä foorumia, jolla poikkitieteellisten raporttien esittäminen on ollut mahdollista.

## 2.2 Tapaustutkimukset

Tietojärjestelmiä ja niiden kehittämishankkeitta kuvataan viidellä tapauskohtaisella esimerkillä toteutuneista hankkeista. Tarkasteltavana ovat: KEKO, TUTGIS, METINFO, MESI ja LIGNUM tietojärjestelmien kehittämishankkeet. Esimerkit ajoittuvat tutkimuksen loppupuolelle. Alkuvaiheiden projekteista ei ole runsaasta dokumentaatiosta huolimatta saatavilla vertailukelpoista informaatiota.

Esimerkeissä kuvataan lyhyesti kunkin hankkeen toteutumiseen liittyneet perusteet ja hallinnolliset järjestelyt. Hankkeen sisältöä tarkastellaan toteutustavan ja sovellettujen metamallien sekä toteutukseen suoraan vaikuttaneiden, sisällöllisesti tai rakenteellisesti samankaltaisten toimintojen muodostamien ns. eksplisiittisten mallien avulla. Hankkeen toteutumista arvioidaan kuvaamalla toiminnassa havaitut iteraatiot ja lopullinen tietojärjestelmätuote. Esimerkit on laadittu tiedot antaneen henkilön kirjallisen ja suullisen raportin perusteella. TUTGIS-esimerkin tiedot ovat peräisin hankkeen dokumenteista. Esimerkeissä viitataan vapaasti kappaleessa 1.1.1 kuvattuihin normatiivisiin malleihin.

### 2.2.1 KEKO, PIOCOn laatukriteerimallin soveltamiskoe

**Tarkoitus**. Metsäntutkimuslaitoksen kestokokeiden mittaustiedon kokoaminen tietokantaan, Tietokantasovelluksen kehittäminen palvelujen järjestämiseksi maastoaineistoja käyttäville tutkijoille.

**Hankkeen muoto**. Jo olemassaolevan tietojärjestelmän uudelleen määrittely ja kehittämishanke.

**Toteutusaika**. Tammikuu 1993 – joulukuu 1994.

**Sidosryhmät**. Metsäntutkimuslaitoksen tutkijat, tutkimusjohto ja maastotyöryhmät.

**Vastuut**. Resurssointi: tutkimusjohtaja Jari Parviainen ja Metsäntutkimuslaitoksen metsien kasvatuksen tutkimusosasto. Hankkeen käynnistys Risto Sievänen, Ohjausryhmä: Kaila, Lehto, Salminen, Isomäki, Sovelluskehitys: Ari Hyvärinen, Jouni Hyvärinen. Tuotanto: Hannu Salminen ja Jouni Hyvärinen,

**Toteutustapa**. Kehittämisprojektin toisen iteraation päävaiheiden tavoitteet asetettiin PIOCO-metamalliin perustuen. Laatukriteerit määriteltiin yksityiskohtaisesti. Tehtävienmäärittelyssä sovellettiin rakenteellisen analyysin aktiviteettien sisältökuvausta. Systeemikuvausten teossa päätettiin soveltaa rakenteellisen analyysin notaatiota siltä osin kuin se on tarkoituksenmukaista. Koska kysymyksessä oli olemassaolevan Ingres-tietokannan uudelleenorganisointi oli implementointitehtävien osuus merkittävän suuri. Sovelluskehitys tehtiin Ingresin 4GL:n, ABF:llä. Sovelluskehittäjä rekrytoitiin hankkeeseen P-päävaiheen suunnittelutehtävien jälkeen.

**Metamallien soveltaminen**. Hankkeen käynnistyessä tehtiin tietoinen valinta CASE-työvälineellä tuetun IEF:n ja käsitteellisesti vapaammin muotoiltavissa olevien menetelmien välillä. Asiassa päädyttiin soveltamaan rakenteellisen analyysin aktiviteettien tehtäväsisältöjä. Projektin konkreettiset tulostavoitteet määriteltiin rakenteellisen analyysin (Yourdon 1990) esitutkimus, analyysi, suunnittelu, toteutus ja tietokannan konvertointi aktiviteettien termein. Systeemin laatuvaatimukset määriteltiin tarkasti ja rekrytoidun toteuttajan edellytettiin hyväksyvän ne ennen hankkeeseen sitoutumista. Tietojärjestelmätuotteelle laadittiin myös formaali evaluointimalli. Mallin laadinta tapahtui tietojärjestelmän suunnittelu- ja testausprosesseista riippumatta tietojärjestelmien rakentamisen ja kohdeorganisaation asiantuntijoiden toimesta (Erkki Kaila ja Kari Lehto). Yksityiskohtaiset laatukriteerit määriteltiin hankkeen johtoryhmässä tapahtuvaa käyttöä varten. Projektin toteuttamisessa korostettiin tietojärjestelmän pragmaattisen ja input/output-mallin suunnittelun ja testauksen loppuunsaattamista ennen konstruktiivis/operatiivisen päävaiheen mukaisten tehtävien aloittamista. Perusteena oli sovelluksen kehittäjän siirtyminen toiselle paikkakunnalle. Loppuvaiheen suunnittelu- ja testaustehtävät tehtiin prototyyppiperusteisesti.

**Eksplisiittiset mallit**. Järjestelmä liittyy välillisesti Metsätalouden kokonaisjärjestelmään. Se tukee suoraan Metsäntutkimuslaitoksen tutkimustoimintaa, jolle oli laadittu tietojärjestelmästrategia. Hankkeen aiemmassa vaiheessa tuotettu Ingres-sovellus oli toimivilta osistaan käytössä vuodesta 1990 lähtien, joten kehittämistyön yhteydessä voitiin soveltaa toimivaa prototyyppiä.

Hankkeen tavoitteena oli kehittää järjestelmää siten, että sen tulosteet soveltuvat suoraan KPL-ohjelmistolla (Heinonen 1994) tapahtuvaan jatkokäsittelyyn. Niin muodoin järjestelmän rajapinta muihin järjestelmiin oli sekä loogisella että datateknologisella tasolla yksityiskohtaisesti määritelty.

**Iteraatiot**. Kysymyksessä oli KEKO-tietojärjestelmän kehittämisprojektin elinkaaren 2. kokonainen iteraatio, jolle jouduttiin lisäksi järjestämään suhteellisen pitkä jälkihoito. Projektin päättymisen jälkeen tietojärjestelmää jouduttiin parsimaan tuotantokäytön aikana. Ensimmäinen iteraatio oli voimakkaasti toteutuspainotteinen. Toinen organisoitiin siten, että systeemin tietomalleja rakennettiin määrätietoisesti ennen, kuin järjestelmän lisäominaisuuksia ryhdyttiin toteuttamaan.

**Projektin lopputulos**. Hankkeen tulostavoitteet saavutettiin määrällisesti, mutta laadullisesti tietojärjestelmään jäi puutteita, jotka jouduttiin poistamaan tuotantokäytön alkamisen jälkeen. PIOCOn laatukriteerimalli osoittautui soveltuvaksi tietojärjestelmän kehittämisen tulosten arviointiin projektityössä. Puutteista huolimatta tietojärjestelmä läpäisi johtoryhmän huolellisesti organisoidun arvioinnin, jossa arvioitiin järjestelmän vaikuttavuutta, palvelevuutta ja toiminnan tehokkuutta suhteessa järjestelmän kustannuksiin.

**Tietolähde.** Risto Sievänen 11.11.1996

### 2.2.2 TUTGIS, Luonnonvarojen hallinnan GIS-järjestelmän tietomallin muodostus IEF:n tuella

**Tausta**. Metsätalouden suunnitteluun liittyvä paikkatiedon hallinta on ollut aktiivisen menetelmäkehityksen kohteena sekä metsäntutkimuksen että metsätalouden käytännön organisaatioissa. Metsätalouden suunnittelujärjestelmä (Kilkki 1988) edellyttää tehokasta luonnonvaratiedon hallintaa. Sijainti liittyy kaikkeen luonnonvaratietoon. Luonnonvarojen, kuten metsät, käytön kannalta paikkaa kuvaavat muuttujat ovat merkityksellisiä toiminnan kustannuksia laskettaessa. Paikkatietojärjestelmät ovat välineellinen ratkaisu metsätalouden suunnittelun päätöstukijärjestelmien kehittämiseksi. Merkityksellisten sovellusten edellytyksenä on soveltuvien tietokanta- ja mallikantaratkaisujen olemassaolo.

Metsätalouden suunnittelua tukevan paikkatietojärjestelmän kehittämisessä Metsäntutkimuslaitoksessa on kehitetty soveltuvaa teknologiaa 1980-luvun alusta saakka. Laitoksen työsuunnitelmassa on vuosien varrella ollut lukuisia metsätalouden suunnittelun tukeen panostavia tietojärjestelmäkomponenttien kehittämishankkeita. Tietojärjestelmien kehittäminen on mainittu erityisenä painoalana laitoksen talous- ja toimintasuunnitelmassa vuodesta 1985 lähtien. Metsäntutkimuslaitoksen toiminnallisessa organisaatiossa ovat matemaattinen osasto, Rovaniemen tutkimusasema, metsien käytön osasto ja valtakunnan metsien inventointihanke, kukin erikseen, asettaneet luonnonvaratietojärjestelmän kehittämiselle tietojärjestelmien suunnitteluun ja toteuttamiseen liittyviä tavoitteita.

Paikkatieto- ja satelliittikuvien käsittelyn softwareratkaisujen kehittäminen ovat olleet usein metsätieteellisten organisaatioiden yhteistoiminnan aiheena. Toiminnan tavoitteita ja paikkatietojen käsittelyn perusteknologiaa on pyritty

systemaattisesti integroimaan METKA- ja METIK-hankkeissa, jotka muodostivat useiden tutkijoiden ja käytännön metsätalouden tietojärjestelmien kehittäjien yhteistoiminnan perustan 1980-luvulla. Metsäntutkimuslaitoksessa varsinainen paikkatietojärjestelmään perustuvan suunnittelusysteemin kehittämishanke on käynnistetty tietojärjestelmästrategian muodostamisen jälkeen vuonna 1991. Prosessi on edennyt diskreetisti, mutta johdonmukaisesti kolmanteen kehittämisprojektin koko elinkaaren iteroivaan vaiheeseen, jonka tuloksena syntyvän tietojärjestelmän odotetaan saatavan alkuperäisen pragmaattisen määrittelyn mukaiseen tuotantokuntoon heinäkuussa 1997. Kysymys on metsätalouden suunnittelun kannalta strategiselta merkitykseltään erittäin tärkeästä tietojärjestelmätyypistä, jonka toteutuksessa Metsäntutkimuslaitoksessa, on otettava useita tutkimukseen liittyviä kehittämistavoitteita huomioon.

**Tarkoitus.** Tutkimusmetsien tietojärjestelmän TUTGIS:ksen kehittämistavoitteet (Juvakka ym. 1994) ovat minimissään seuraavat. Järjestelmän tulee mahdollistaa:

- perusinventoinnin tietojentallennus ja ajantasallapito
- metsien inventoinnin peruslaskenta, joka tuottaa metsikkökuvioiden tietokantakuvaukset
- karttatiedontuoton automatisointi ja ajantasaistamisen
- luonnonvarojen käytön ja hoidon suunnittelun tuen
- operatiivisten suunnitelmien rekisteröinnin ja historiatiedon ylläpidon
- järjestelmään kootun tiedon monipuolisen havainnollistamisen

Suunnittelutietojärjestelmän kehittäminen metsäntutkimuksen tarpeisiin sisältää, jo sinällään kompleksisen, normatiivisen metsätalouden suunnittelun toimia monipuolisempia tavoitteita. Tieteelliseen käyttöön kerättävän tiedon on sovelluttava taloudellista suunnittelua kriittisempään, tieteellistä metodia tukevaan tietojenkäsittelyyn. Kehitettävän tietojärjestelmän käyttöaika tulee olemaan pitkä. Siksi toteutettavan tietojärjestelmämallin tulee olla riittävän yleinen, jotta se voidaan sopeuttaa datalogis-teknisellä tasolla tapahtuviin muutoksiin.

**Hankkeen muoto**. TUTGIS-hanke on osa asiantuntijaorganisaation strategisen tietojärjestelmän jatkuvaa kehittämistoimintaa. Tietojärjestelmään tehtävät investoinnit ovat metsätalouden suunnittelun näkökulmasta institutionaalisia. Järjestelmän kehittämiseen liittyvät tieteelliset tavoitteet toteutuvat vain Metsäntutkimuslaitoksen omana työnä.

**Toteutusaika**. 1991–1997.

**Sidosryhmät**. Tietojärjestelmätuotteen kannalta keskeiset sidosryhmät ovat Metsäntutkimuslaitoksen tutkijat ja tutkimusmetsien hoidosta ja metsätalouden suunnittelusta vastaavat asiantuntijat. Tutkimuslaitoksen lisäksi tietojärjestelmään liittyvät teknologiset ja sen kehittämisen metodologiset ratkaisut ovat metsätalouden käytännön organisaatioiden kannalta merkityksellisiä. Tietojärjestelmän kehittämishankkeen sidosryhmät on määritelty nimeämällä hankkeen tuloksesta vastaavien johto- ja projektiryhmien lisäksi operatiivinen seurantaryhmä, johon on kutsuttu järjestelmän käytön sovellusalan asiantuntijoita sekä tiedotusryhmä sovellusalan päätösvaltaa pitävistä organisaatioista.

**Vastuut**. Hanke raportoi Metsäntutkimuslaitoksen johdolle. Pitkäaikaisen prosessin vetäjä on vaihtunut kahdesti (Saramäki 1991–1992, Juvakka 1993–1996, Juvakka ja Penttilä 1995–1997). Kehittyvän päätöstukijärjestelmän erityispiirteitä tukevien osasysteemien osalta Metsäntutkimuslaitoksen työsuunnitelmassa on kokonaisuuteen omalla rajapinnallaan liittyviä erillisiä hankkeita, kuten GIS-MELA hanke. Hankkeen toiminta on myös maantieteellisesti hajautettu Metsäntutkimuslaitoksen organisaatiossa.

**Toteutustapa**. Hankkeen mittasuhteet keston ja resurssoinnin osalta ovat olleet poikkeuksellisen laajat. Sovellettavan teknologian monipuolisuus, valmiiden datateknisten ratkaisujen olemassaolo, hankkeen monivaiheisuus ja toteuttavan organisaation hajautus ovat johtaneet tavoitteisiin sopeutetun moniohjelmistolähestymistavan soveltamiseen systeemin rakentamisessa. Organisaation tasolla tehdyt datatekniset valinnat ovat perustelleet eräiden ohjelmistosidonnaisten työvälineiden käytön (Ingres, Arc/Info). Demonstroitavissa olevat tietojärjestelmäkomponentit ovat tarjonneet mahdollisuuden prototyyppilähestymistavan mukaiseen toiminnan ja tietojärjestelmätuotteen suunnitteluun. Uusilla sovelluskehitystyökaluilla tapahtuneen ohjelmistokehityksen osuus kehittämistyössä on ollut merkittävä.

Hanke on käynnistymisensä jälkeen (1991) uudelleenorganisoitu kahteen kertaan. 1993 päättyneiden teknisten kokeilujen jälkeen projektista tehtiin jatkokehittämissuunnitelma, jonka mukaan tietojärjestelmä tuli viimeistellä toteutuksen ja testauksen osalta. Vuoden 1994 lopussa, metsäntutkimuslaitoksen johdon aloitteesta, hankkeen resurssointia laajennettiin ja kehittämissuunnitelmaa tarkistettiin. Samassa yhteydessä hanke organisoitiin formaalisti tietojärjestelmän kehittämishakkeen mukaisesti. Jatkohankkeen tavoitteena oli tuotantokäytön aloittaminen vuoden 1996 loppuun mennessä, mutta hankkeen henkilöstössä tapahtuneet muutokset pakottivat jatkamaan tietojärjestelmän rakentamisen elinkaarta puolella vuodella. Yleisellä tasolla tapahtunut toiminnan tavoitteen asettaminen ja hankkeen resurssisuunnitelma dokumentoitiin Metsäntutkimuslaitoksen tutkimuksensuunnittelumenettelyä ja TUSKA-tietojärjestelmää käyttäen.

**Metamallien soveltaminen**. Kehitettävä tietojärjestelmä noudattaa pääasiallisten ominaisuuksiensa osalta metsätalouden kokonaistietojärjestelmämallia (Kilkki 1988). TUTGIS-tietojärjestelmän käyttötarkoitus on kuitenkin metsätaloudellista käyttöä laajempi. Sen tulee monipuolisesti tukea Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusmetsien hoidon ja tutkimustyön tarpeita. Järjestelmällä odotetaan olevan myös merkitystä luonnonvarojen hallinnan referenssijärjestelmänä. Siksi paikkatietoteknologian soveltamismahdollisuudet otetaan kriittisesti huomioon (Nalli ym. 1994).

Teoreettisilla systemointimalleilla on ollut merkitystä hankkeen ensimmäisessä ja viimeisessä iteraatiossa. TUTGIS-tietojärjestelmän toiminta- ja tietomalli on laadittu IE-metodologian ja IEF case-työvälineen tuella (Paananen ja Nuutinen 1993). Lähestymistavan merkitys korostuu järjestelmän perustana olevan, luonnonvaratietoja yleisesti kuvaavan LUOTI-tietomallin soveltuvuudessa metsätalouden ja metsäntutkimuksen käyttöön. Tietojärjestelmän toimintamalli perustuu osaltaan Paanasen määrittelemään yleiseen malliin, mutta siihen on tehty järjestelmän kehittämisen yhteydessä olennaisia organisaatiokohtaisia lisäyksiä. Data-teknisellä tasolla tietojärjestelmän ohjelmisto-

komponenttien kehittämistä ovat ohjanneet sovelluskehittimen, Ingresin 4GL:n ABF:n asettamat muotokriteerit.

Tietojärjestelmän rakentamisprojektin elinkaaren kolmannen iteraation alkaessa hankkeen määrittely tehtiin kaavamaisesti rakenteellisen analyysin aktiviteettien mukaisesti. Normatiivinen vaiheistus korvattiin tehtävienläheisellä vaiheistuksella, kun järjestelmän rakentamisen päävaiheet ja systemointitehtävät konkretisoitiin. Dokumentoinnin osalta resurssisuunnitteluun ja hankkeen reaaliaikaiseen seurantaan sovellettiin Timeline-ohjelmaa. Erikoisuutena on mainittava, että hankkeessa sovellettiin tulosjohtamisen välineenä tunnettua menetelmää, kun hankkeen tulostavoitteet haluttiin integroida toteuttavan organisaation toiminnan johtamisjärjestelmään.

Loppusuoritteena tuotettava tietojärjestelmä evaluoidaan tuotantoprosessista erillisesti. Suunnitelman mukaan tietojärjestelmää arvioidaan yleisten laatukriteerien perusteella laaditun testin avulla. Testin tekee hankkeen seurantaryhmä ja tehtävään kutsuttavat asiantuntijat.

**Eksplisiittiset mallit**. Järjestelmä sisältää Metsätalouden kokonaisjärjestelmän oleellisimpia osia. Sen toimintamalli on osaltaan yhtäläinen käytännön metsätalouden suunnittelun toteutustavan kanssa. Hankkeella on ollut useita edeltäjiä sekä metsäntutkimuksen että metsätalouden piirissä. Ohjelmistotekniikan edistymisellä on merkitystä. Loppusuoritteen teossa on otettu huomioon sovelluskehitykseen käytetyn teknologian versioituminen. Järjestelmän käyttäjärajapinta, ArcView-sovellus, on haluttu toteuttaa viimeisenä, jotta sen kehittyneimmät piirteet tulevat osaksi kehitettävää tietojärjestelmää.

**Iteraatiot**. TUTGIS-tietojärjestelmän kehittämisaktiviteetit muodostavat lineaarisesti etenevän perusrungon, johon liittyy rinnakkaisia ohjelmistojen kehittämishankkeita (esim. GIS-MELA). Tähänastinen elinkaari on jaettu kolmeen erilliseen projektiin, joissa tulostavoitteena on ollut tietojärjestelmän tuotantokäytön aloittaminen projektin päättyessä. Sulkeissa olevat luvut kuvaavat PIOCOn mukaisesti eri päävaiheiden ja toteutustehtävien suhteellista painottamista hankkeen iteraation aikana.

I 1991–1993, (P 40, I/O 20, C/O 30 B 10), pragmaattinen määrittely ja sovelluskehitysteknologian testaus ja yhteensovittaminen. Tietojärjestelmän konvertoitavien osien yksilöinti.

II 1994, (P 5, I/O 15, C/O 40 B 40), ensimmäinen jatkohanke. Kehittämistavoitteiden tarkistus ja järjestelmän data-teknisten perusosien kuntoon saattaminen. Tietojärjestelmän tietovarasto- ja transaktiotasolla tapahtuva konvertointi, tietokantasovelluksen viimeistely, suunnittelusysteemiä tukevan MELA-ohjelmiston integrointi kehitettävään järjestelmään (Nalli 1994). Valmiiden osien testaus todellisella aineistolla.

III 1994–1997, (P 10, I/O 20, C/O 20 B 50 T), laajennettu jatkohanke. Pragmaattisten, input/output- ja konstruktiivis/operatiivisten kehittämistavoitteiden tarkistaminen ja täydentäminen. Palveluiden uudelleen määrittely. Käyttäjärajapintaan liittyvä sovelluskehitys. Järjestelmän testaaminen tutkimusmetsissä tapahtuvan todellisen toiminnan yhteydessä. Tietojärjestelmän käytön ja ylläpidon hajautusmallin laadinta.

**Projektin lopputulos**. Kehittämisprojektin odotettiin päättyvän toukokuussa 1997. Oli kuitenkin ilmeistä, että operatiivisella ja teknisellä tasolla tulee ole-

maan paljon tietojärjestelmän komponenttien viimeistelyyn liittyviä tehtäviä, joista on huolehdittava tuotantokäytön alettua. Hankkeen aikana tietojärjestelmän yleinen merkitys on kasvanut, minkä perusteella on odotettavissa, että tietojärjestelmän kehittämistavoitteet määritellään ja mahdollinen jatkohanke resurssoidaan uudelleen. Huhtikuussa 1998 tietojärjestelmän viimeisten osien siirtäminen tuotantokäyttöön on edelleen meneillään.

**Tietolähde.** Erkki Kaila 25.10.1996

### 2.2.3 METINFO, tietojärjestelmän viimeistely rakenteellisen analyysin tuella

**Tarkoitus**. Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) metsätilastotoiminnan eri aineistojen kokoaminen yhteen tietokantaan sekä merkkipohjaisen on-line-palvelusovelluksen rakentaminen ulkopuolisten asiakkaiden käyttöön.

**Hankkeen muoto**. Pitkään kehitteilläolleen tietojärjestelmän viimeistely. Palvelujen osittainen uudelleen määrittely ja kehittämishanke.

**Toteutusaika**. Ensimmäinen vaihe muodostui kahdesta osasta: huhtikuu/1990–tammikuu/1991 sekä huhtikuu/1993–huhtikuu/1994. Toinen vaihe suunniteltiin kesällä 1994 ja toteutettiin projektina syyskuun puolivälistä vuoden loppuun 1994.

**Sidosryhmät**. Metsätilastoja käyttävät tahot Suomessa.

**Vastuut**. Resurssointi Tietohallintoyksikön hankkeena, jonka vetäjänä Kari Lehto. Tietosisällöllinen asiantuntemus tuli Metsien käytön tutkimusosaston metsätilastoryhmältä. Ensimmäisessä vaiheessa Lehto toimi käytännössä yksin tietokannan ja sovelluksen rakentajana. Kun hän siirtyi 15.5.1994 hoitamaan tietohallintopäällikön viransijaisuutta, kehitystyöhön palkattiin Janne Torkkel. Syyskuussa 1994 muodostettiin seurantaryhmä, johon kuuluivat tutkimusjohtaja Jukka Lassila ETLAsta, metsäekonomisti Pekka Kallio-Mannila MTK:sta sekä Metlasta palvelujohtaja Erkki Kaila, tietohallintopäällikkö Kari Lehto, vanhempi tutkija Martti Aarne, tutkijat Eero Mikkola ja Helena Herrala-Ylinen sekä suunnittelija Janne Torkkel.

**Toteutustapa**. Ensimmäisessä vaiheessa rakennettiin tietokanta ja palvelusovelluksen prototyyppi väljän hankemäärittelyn puitteissa. Toisessa vaiheessa organisoitiin hankkeen loppuunsaattaminen aikataulutetuksi projektiksi, jolle nimettiin seurantaryhmä. Toisen vaiheen projektille laadittiin tehtäväkohtainen aikataulu ja tarkistuspisteet. Projektin alussa määriteltiin ja kuvattiin silloinen järjestelmä ja sen yhteydet tiedontuottajiin. Hankkeen elinkaari analysoitiin ja halutut lopputuotteet määriteltiin tarkasti. Tietokantana käytettiin Ingres-ohjelmistoa ja sovellus rakennettiin Ingres/ABF-sovelluskehittimellä.

**Metamallien soveltaminen**. Tietojärjestelmästrategiassa METINFO-järjestelmä oli kuvattu IE-menetelmän ja CASE-työvälineen (IEF) avulla. Laadittu kohdemalli ei kuitenkaan ollut sellaisenaan järkevä ja tehokas käytännön toteutusta varten. Prototyyppivaiheessa jouduttiin tekemään kompromissi täydellisesti joustavan kohdemallin ja jähmeämmän taulukkomallin välillä. Hankkeen toisessa vaiheessa käytettiin rakenteellisen analyysin termejä, toimintoja

ja systeemin kuvaustapaa (esitutkimus, analyysi, suunnittelu, toteutus, testaus ja käyttöönotto), kun projektin vaiheita ja tulostavoitteita määriteltiin. Alustavasti suunniteltiin kriteeritestiä, johon järjestelmä olisi pitänyt alistaa, mutta käytännössä päädyttiin kaksivaiheiseen koekäyttövaiheeseen (beta-testaus): Sovellus annettiin ensin koekäyttöön joillekin metlalaisille. Kun heidän kommenttinsa ja korjausehdotuksensa oli otettu huomioon, otettiin koekäyttäjiksi muutamia ulkopuolisia organisaatioita.

**Eksplisiittiset mallit**. Metinfo-järjestelmä oli kuvattu Metlan tietojärjestelmästrategiassa. Sen tehtävänä oli koota sekalaisilla välineillä säilytetyt ja käsitellyt metsätilastot hallittavaksi ja käyttökelpoiseksi kokonaisuudeksi. Järjestelmällä pyrittiin avaamaan Metlasta palvelukanavia ulospäin ja hankkimaan maksavia asiakkaita.

**Iteraatiot**. Metsätilaston järjestelmät olivat 1980-luvun aikana rakentuneet suunnittelemattomasti erilaisten ohjelmistojen ja laitealustojen (mini/mikro) varaan. Kun DEC/Rdb-tietokanta hankittiin Metlaan vuonna 1985, toteutettiin pari merkittävää osaa tilastojärjestelmistä tämän avulla. Vuosikymmenen lopulla, kun Ingres-ohjelmisto oli hankittu, alettiin suunnitella uutta kokonaisjärjestelmää. Vuonna 1990 rakennettiin prototyyppi tietokannasta. Varsinainen kehitystyö alkoi vähitellen kevään 1993 kuluessa ja tiivistyi vuonna 1994.

**Projektin lopputulos**. Projektin aikataulu venyi pari viikkoa alkuperäisistä suunnitelmista. Tuote vastasi lähes kauttaaltaan oleellisia vaatimuksia, mutta viimeistelytöitä ja jälkihoitoa riitti laskettua pitemmäksi aikaa varsinaisen projektin päätyttyä. Seurantaryhmä ja asiakkaat olivat pääosin hyvin tyytyväisiä sovellukseen.

**Tietolähde.** Kari Lehto 4.12.1996

### 2.2.4 LIGNUM, objektimallintaminen metamallien tuella

**Tarkoitus**. Yksittäisen puun toiminnan ja rakenteen kuvaaminen ja simulointi fysiologisten prosessien ymmärtämiseksi.

**Hankkeen muoto**. Tieteellinen perustutkimusta tukeva ohjelmistotuotanto, joka organisoitiin tutkimushankkeen rakenteeseen.

**Toteutusaika**. 1993–1994.

**Sidosryhmät**. Tutkijat.

**Vastuut**. Hankkeen aloitteen tekivät Hannu Salminen ja Hannu Saarenmaa. Tieteellinen ja hallinnollinen vastuu siirtyi Risto Sieväselle pian hankkeen alkamisen jälkeen. Hanke raportoi erikseen Metsäntutkimuslaitokselle, Suomen Akatemialle ja Metsämiesten säätiölle. Ohjelmistosuunnittelu ja toteutus Jari Perttunen.

**Toteutustapa**. Spiraalimalli ja muita objektilähestymistapaan liittyviä yleisiä metodologioita tunnettiin. Hanke käynnistettiin rakenteellisen analyysiä mukaellen selkeästi analyysillä, jota seurasi suunnittelu ja ohjelmiston implementointi (Salminen 1994). Organisaation päävaiheen tehtävät suoritettiin nopeana, mutta kokonaisvaltaisena prosessina ennen hankkeeseen sitoutumista.

Systeemin sisältökuvaus laadittiin CASE-työkalun tuella. Työn loppuun saattaminen tapahtui sovelluskehitysvälinein.

**Metamallien soveltaminen**. Yleisen systeemiteorian mukainen mallintamistraditio tunnettiin, mutta hankkeessa haluttiin käyttää CASE-työvälineellä tuettua objektimallintamismetodologiaa. Valinta kohdistui OMT-menetelmään (Rumbaugh ym. 1991), joka tuki jo kokeilussa ollutta CASE-työkalua, OMToolia. Menetelmä otettiin hankkeen käyttöön vaikka epäiltiin sen soveltuvuutta hankkeen tarkoitukseen. Systeemin sisältökuvaus laadittiin CASE-työkalun tuella. Kuvausta tarkennettiin objektien määrittelemiseksi systeemin käyttäytymismallin muodostamiseksi. Kuvauksia käytettiin intensiivisesti tutkijoiden välisessä keskustelussa teorian kuvaamiseksi. Systeemin luonne, käytettävissä oleva ohjelmisto sovelluksen kehittämiseksi ja asiantuntijan työskentelytapa perustelivat prototyyppilähestymistavan ja C++ -sovelluskehitystyökalujen valinnan systeemin toteuttamiseksi. Toteutusta ja malleja verrattiin iteratiivisesti hankkeen edetessä.

**Eksplisiittiset mallit**. Puun fysiologiset mallit tunnettiin yleisesti (Nikimaa 1993).

**Iteraatiot**. Prototyypin avulla tuotettua informaatiota käytettiin systeemikuvausten tarkentamiseksi. Iteraation avulla mallia parannettiin. Perusajatuksena oli saada tietojärjestelmien objektit mahdollisimman hyvin luonnollisia vastaaviksi. Iteraation avulla tuettiin tieteellistä tiedon muodostusta.

**Projektin lopputulos**. Hanke saavutti tavoitteensa tieteellisten julkaisujen muodossa (Perttunen ym. 1996a). Lisäksi tuotettu ohjelmisto on edelleen uudelleen käytettävissä. 1996 on perustettu uusi 3 vuotinen tutkimushanke, joka jatkaa Lingnum-ohjelmiston kehittämistä. Objektien lisäämisen lisäksi jatkohankkeen tavoitteena on kehittää alkuperäisen mallin käyttäytymistä visualisoinnin ja moniprosessoinnin avulla.

**Tietolähde.** Hannu Salminen 1.11.1996

### 2.2.5 MESI, Metlan sähköisen informaatiojärjestelmän määrittely ja toteutus Spiraalimallin perusteella

**Tarkoitus.** Metlan uuden tietoliikenneverkon hyödyntäminen tiedon jakamisessa ja tiedon hankinnassa. Uusien sidosryhmien tuominen tietoliikenneverkon palvelujen käyttäjäksi. Tiedotuksen tehostaminen sähköisiä tietojärjestelmiä käyttämällä jakamalla Metlaa koskevia julkisia tietoja ja asiakirjoja sekä tutkimuksessa tuotettua tietoa. Kansainvälisten tietokantojen saaminen suoraan tutkijoiden käytettäväksi. Laitoksen sisäisessä tiedotuksessa kulujen säästäminen esimerkiksi laitoksen sisäisen liikenteen posti- ja telefax-kuluissa. Henkilöstöhallinnon perusasiakirjojen tallettaminen sähköiseksi tietokannaksi (esim. "Tervetuloa taloon" -tiedot).

**Hankkeen muoto** Hankkeelle perustettiin projektiryhmä sekä sille ohjausryhmä, jossa oli edustettuna laitoksen johto sekä valittujen case-yksiköiden edustajat. Lisäksi nimettiin informaatioryhmä, jolle tiedotettiin projektin

edistymisestä. Hankkeelle asetettiin tiukka 5 kk:n aikaraja, jolloin sovelluksen piti olla käytössä.

**Toteutusaika**. Tammi–toukokuu 1994.

**Sidosryhmät.** Projektin lähimmät sidosryhmät olivat Metlan johto, Tiedotusyksikkö sekä Metsien käytön tutkimusosasto. Muita olivat Metlan henkilöstö sekä asiakkaat ja yhteistyökumppanit, joilla on joko suora yhteys Internet-tietoverkkoon tai modeemi ja tietoliikenneohjelma. IUFRO ja sen XX maailmankongressi 1995.

**Vastuut.** Projektiorganisaatio muodostettiin ja resurssoitiin Tietohallintoyksikköön, jossa sen vetäjänä toimi tietohallintopäällikkö Erkki Kaila. Projektisihteerinä toimi erikoissuunnittelija Jarmo Saarikko ja kolmantena projektiryhmän jäsenenä suunnittelija Seppo Kiiliäinen. Rahoitus saatiin sekä Metlasta että työministeriöstä.

**Toteutustapa.** Projektille laadittiin tehtäväkohtainen aikataulu gantt-kaaviolla sekä valittiin kolme tarkistuspistettä. Projektin alussa rajattiin tietosisällön tuottaminen vain Metlan ulkoiseen tiedotusmateriaaliin, määriteltiin valittujen kohdeyksiköiden tietotarpeet sekä otettiin käyttöön informaatiokantaohjelma. Lähdeaineistoina käytettiin osastojen viestintäsuunnitelmia sekä erilaisia Metlaa käsitteleviä kurssitöitä. Projektin aikana informaatiokantaan tallennettiin ja siirrettiin sekä kohderyhmiin liittyviä että yleistä Metlaan liittyviä tiedostoja. Ulkoiseen tiedonhakuun liittyen informaatiokantaan lisättiin linkkejä Metlan ulkopuolisiin tietolähteisiin. Projektin aikana valmistauduttiin myös seuraavan sukupolven tietojärjestelmiin siirtymiseen (WWW, ryhmätyöohjelmistot).

Projektin suunnittelu käynnistyi syyskuun puolivälissä ja projekti käynnistyi 25.10.1993. Ohjausryhmällä oli kokous helmikuussa, jossa tehtiin tietosisältöpäätös. sekä projektin päätöskokous huhtikuussa 1994. Projektin dokumentit tallennettiin siinä luotuun järjestelmään.

**Metamallien soveltaminen.** Projektin vaiheistus ja tehtävien määrittely tehtiin Spiraalimallin perusteella. Informaatiojärjestelmän kehittämishankkeen tavoitteet asetettiin päävaiheiden mukaisesti. Hankkeen tehtävät yksilöitiin ja sijoitettiin ohjausaikajänteen mukaisesti järjestykseen. Hankkeen käynnistyttyä informaatiojärjestelmän kehittämisaktiviteetit painottuivat organisaation ja datalogis-teknisen tason tehtävien osalta. Ohjelmistoteknisten elementtien voimakas kehittyminen hankkeen aikana synnytti datalogis-teknisen tason tehtävien iterointitarvetta.

**Eksplisiittiset mallit.** Informaatiojärjestelmäksi valittiin Helsingin yliopistossa käytössä ollut ja hyväksi todettu Minnesotan yliopistossa kehitetty gopher-ohjelma ja siihen liittyvä Helsingin yliopistossa kehitetty (awk-kielinen) päivitysohjelmisto. Tarkoitus oli kehittää hajautettu päivitysjärjestelmä, jossa tiedon tuottajat itse päivittävät tiedot suoraan informaatiojärjestelmään sähköpostin avulla.

Metlaan oli luotu jo aikaisemmin News-järjestelmään keskustelu- ja tiedotusryhmiä eri tarpeisiin. Ryhmiä oli yli 30. Projektissa tutkittiin muiden organisaatioiden ratkaisuja: (tietosisältö ja ohjelmistot) VTT, VYH, MTTK, MMM tietopalvelukeskus, Helsingin yliopisto. Luodun informaatiojärjestelmän tietorakenne ei noudattanut mitään tunnettua luokittelujärjestelmää, vaan se luotiin

tehtyjen haastattelujen mukaan tarpeelliseksi katsotuista luokista sekä valmiiksi tarjolla olevien dokumenttityyppien mukaan samaan tapaan kuin uutisryhmätkin olivat syntyneet. Järjestelmä avattiin käyttäjille jo varhaisessa vaiheessa projektin kuluessa, jolloin saatua palautetta voitiin käyttää hyväksi sitä edelleen kehitettäessä. Ryhmittelyä muutettiin saadun käyttäjäpalautteen mukaan. Erityistä koekäyttäjäryhmää ei nimetty, mutta joitakin aktiivisia käyttäjiä haastateltiin useasti. Järjestelmää varten ei pyritty tuottamaan omaa tietoa, vaan siihen käytettiin jo muissa medioissa tai paperilla julkaistua valmista aineistoa.

Projektisuunnittelun ja projektiorganisaation malli saatiin kirjasta: Projektinohjaus (Stenlund 1986). Projektisuunnitelman laadinnassa käytettiin TimeLine-ohjelmaa (henkilöresurssien käyttö, aikataulu, tarkistuspisteet, ganttkaavio). Dokumentointi tehtiin itse järjestelmään.

**Iteraatiot.** Hanke toteutettiin suoraviivaisesti ilman iteraatioita, mutta käyttöönoton jälkeen alkanut web-palveluiden jatkuva kehittäminen on vaikuttanut useaan otteeseen MESIn sisältöön ja esitystapaan. Projektiryhmän loi tietorakenteen uuteen informaatiojärjestelmään sekä tallensi tietoja news-järjestelmästä sekä muualta saatuja tiedostoja. Samanaikaisesti koulutettiin tiedontuottajia päivittämään omia tietojaan. Seuraavissa vaiheissa yksiköt tallentavat aineistonsa itse. Lopuksi siirrytään kehittyneempään ohjelmistoon, mikä vaatii uuden koulutuskierroksen. Tarvittavat ohjelmistot asennettiin verkkoon kaikkien saataville.

**Projektin lopputulos.** Mesi-järjestelmä saatiin rakenteen ja sisällön osalta laitosta palvelevaan kuntoon pari viikkoa myöhässä. Järjestelmä tuki Metlan integroitua viestintää ja lisäsi tietoverkossa tarjolla olevien välineiden kattavuutta. Mesi sai kansainvälistä huomiota. Tietohallinnon evaluoinnin yhteydessä todettiin, että Mesillä on strateginen merkitys Metlan toiminnalle. Mesin avulla on mahdollista saavuttaa säästöjä ensisijaisesti tiedon hankintaan ja välitykseen liittyvien työmäärien vähentymisen kautta.

Projektin päätöskokous suositteli Metlan johdolle järjestelmän kehittämistä edelleen aktiivisesti ja sen ottamista käyttöön ensisijaisesti Metlan hallinnossa ja asiakasrahoitteisessa toiminnassa sekä tutkimuksen tiedonhankinnassa. Esitettiin ratkaisu ylläpidon järjestämiseksi: puolipäiväinen ylläpitäjä sekä päätoimittaja tiedotuksessa.

Tietosisällön osalta järjestelmää ei saatu niin valmiiksi kuin oli suunniteltu, koska tiedon tuottajien mukaan saaminen sekä tiedon tallentaminen uudessa muodossa tätä mediaa varten (esim. Word-tiedosto myös tekstitiedostoksi) oli hitaampaa kuin arvioitiin. Toisaalta tällainen järjestelmä on yleensä dynaaminen, jolloin sitä päivitetään jatkuvasti eikä se näin ollen ole koskaan 'valmis'.

Projektin tuloksen arviointia ei myöskään tehty minkään mallin mukaan. Laatukriteerit piti määritellä projektille sekä informaatiojärjestelmälle, mutta ne jäivät kokonaan tekemättä. Hankeen loppuraportti esitettiin Saarikon kurssityössä (Saarikko 1994). Hankkeen aikana tapahtunut teknologinen edistyminen oli niin voimakasta, että ilmeisestä onnistumisesta huolimatta kehittämisprojektin uusimistarve todettiin heti hankkeen päättyessä.

**Tietolähde.** Jarmo Saarikko 17.12.1996

# 3 Tutkimustulokset

Metsäntutkimuslaitoksessa tapahtuneen tietojärjestelmien kehittämisen trenditarkastelussa erotetaan viisi erillistä vaihetta, joita kutakin luonnehtii uusien tietoteknologioiden soveltamiskokeilut. Tarkastelu rajataan teknologioihin, joilla on oletettu olevan pysyvä merkitys Metsäntutkimustoiminnalle. Kunkin kokeilun on oletettu omana aikanaan johtavan pysyvään käytäntöön teknologiatyypin soveltamisessa. Sovelletut tietoteknologiatyypit ovat aikajärjestyksessä seuraavat:

1) Mallintamista tukevat proseduraaliset ohjelmointimenetelmät
2) Johdon informaatiojärjestelmät ja päätöstukijärjestelmät
3) Tietokantajärjestelmät
4) Tekoäly ja tietämyskannat
5) Paikkatietojärjestelmät
6) Tietokoneella tuettu tietojärjestelmäsuunnittelu
7) Objektimallintaminen ja objektiohjelmointimenetelmät
8) Hypertekstisovellukset tietoverkossa
9) Ryhmätyöohjelmistot

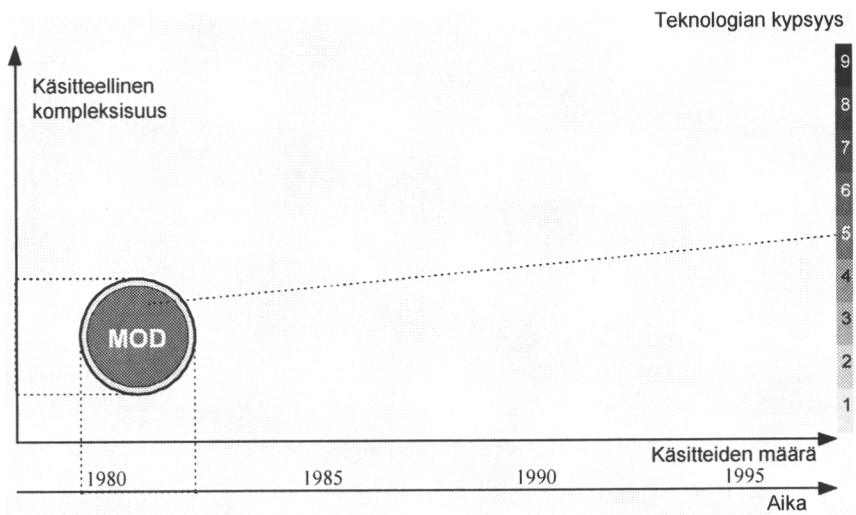
Tietojärjestelmäkäsitteistön kehittymisen tarkastelu aikasarjana antaa mahdollisuuden arvioida eri tietoteknologioiden soveltuvuutta ja vaikuttavuutta käyttöympäristössään. Aktiivisen kehittämisen aikaansaamaa muutosta kuvataan käsitteistön kypsymisenä.

Kypsyysaste eri aikoina esitetään arviona, joka kuvaa eri tietoteknologioiden suhteellista merkitystä tutkimukselle ja metsäntutkimuslaitoksen sitoutumista niiden käyttöön. Kuvissa 2–7 esitetyissä diagrammeissa kypsyysastetta kuvataan kutakin teknologiaa vastaavan symbolin harmaan sävyn tummuusasteella. Sävyt jakautuvat järjestysasteikolla 10 % luokkiin ja niiden tulkinta on seuraava:

- Luokissa 1 ja 2 sovellettava teknologia on nuorta. Sitä esitellään tiedeyhteisölle ja sen soveltuvuutta kokeillaan 1–4 tutkimushankkeessa.
- Luokissa 3 ja 4 teknologian on todettu olevan tutkimusmetodin kannalta merkitsevän. Sen soveltamiseen on sitouduttu ja siihen perustuen ryhdytään rakentamaan pitkäaikaiseen käyttöön tarkoitettuja tietojärjestelmä- tai ohjelmistosovelluksia. Teknologiaa sovelletaan viidessä tai useammassa hankkeessa.
- Luokka 5 on kypsyysvertailun mediaani. Siinä teknologia on vakiinnuttanut asemansa ja sitä sovelletaan rutiininomaisesti lukuisissa hankkeissa. Teknologian käyttöönotto ei enää edellytä soveltuvuuteen liittyvää testaamista.
- Luokissa 6 ja 7 teknologiaan perustuen rakennetaan institutionaalisia tieto- ja informaatiojärjestelmiä. Kehittyneillä ohjelmistotuotteilla on strateginen merkitys soveltavalle organisaatiolle.

- Luokissa 8 ja 9 teknologia määritellään osaksi soveltavan toiminnon tuotannollista (logistista) funktiota. Siitä luopuminen ei ole mahdollista ilman organisatoristen muutosten läpikäyntiä.

Sarjan ensimmäisessä kuvassa (kuva 2) kuvataan suhteellisen kypsyysluokituksen lähtökohta ja samalla määritellään kehityksen kuvaustapa. Vuonna 1982 metsäntutkimuksen tietojenkäsittelyn kehittämisen keskeisin sisältö, käsitteistön ydin, muodostui yleisen systeemiteoreettisen mallintamisen ja biometristen menetelmien soveltamisen terminologiasta. Metsätieteellistä ajattelua hallitsi pyrkimys soveltaa tilastomatematiikan ja simuloinnin menetelmiä metsätalouden ja ekologiseen metsään liittyvien ilmiöiden mallintamiseen (MOD, *modelling*). Vuosikymmenen vaihteessa tehdyt investoinnit tietotekniikkaan loivat ensi kertaa tekniset valmiudet tutkimusta palvelevien stand-alone-tietojärjestelmien kehittämiselle. Toteutuskielenä käytetystä FORTRANista, joka oli yleisesti ymmärretty tieteelliseen tietojenkäsittelyyn kuuluvaksi perusohjelmointikieleksi, tuli myös metsäntutkijoiden henkilökohtaisesti hallitsema työkalu. Tietojärjestelmäteoreettisen käsitteistön kehittyminen lähti mallintamiseen ja proseduraaliseen ohjelmointiin liittyvästä terminologiasta, joka oli jo vakiinnuttanut asemansa metsäntutkimuksessa. Diagrammissa sille on annettu keskimääräistä luokkaa 5 vastaava kypsyysaste, joka kuvaa vallitsevaa vakiintunutta tilannetta.




Kuva 2. Metsäntutkimuksen tietojärjestelmäteoreettinen käsitteistö tarkastelujakson alussa, vuonna 1982.

## 3.1 Havaintojen käsittely ja aineiston muodostus metsäntutkimuksen tiedonhallinnan näkökulmasta

Ensimmäinen artikkeli sijoittuu ajankohtaan, jolloin tietokantoihin liittyvä teoria oli vielä kehittymässä. Teknisesti tietokannat perustuivat hierarkkisten ja verkkoperusteisten tiedonhallintajärjestelmien varaan. Ohjelmistot olivat laitesidonnaisia. Niiden kehittäminen oli ensisijaisesti suurten tietokonevalmistajien ja järjestelmätuottajien asia, kuten IBM, Honeywell, Digital tai Sperry Univac. Sovelluskehitysvälineiden kehittämisessä oli jo tuolloin tehty merkittävä läpimurto relaatiomalliin perustuvan ohjelmistotekniikan osalta (Codd 1970, Codd ja Dean 1971, Martin 1977, Sundgren 1981, Date 1985). Uusi tietojen mallintamisen tapa ja sitä tukeva software-sukupolvi tuli vähitellen korvaamaan jo pitkälle kehittyneet hierarkkiset ja verkkorakenteiset mallit tietokantojen rakentamisessa ja sovelluskehityksessä. Relaatiotaulujen avulla kuvattavien tietokantojen edut olivat ilmeiset.

Informaatiojärjestelmien teorian perusta muodostettiin 1960-luvulla (Langefors 1965). Sen pohjalta Pohjoismaissa kehitettiin infologiseen systemoinnin-käsitteeseen liittyviä teoreettisia malleja informaatio- ja tietojärjestelmien rakentamiseksi (Kerola ja Järvinen 1975, Lundberg ym. 1981, Sundgren 1981). Myös ensimmäiset preliminäärit ohjelmistot tietokoneiden avulla tapahtuvasta systeemisuunnittelusta esiteltiin (ISDOS-projekti).

1980-luvun taite merkitsi Metsäntutkimuslaitoksen tietojenkäsittelyteknologian kehityksessä käännettä kasvuun ja samalla luotiin organisatorinen perusta tietoteknologian hajauttamispolitiikalle laitoksessa, vaikka tietojenkäsittelyn käytäntö noudattikin aluksi keskustietokoneympäristöissä (main frame) omaksuttua toimintatapaa.

Kokeellisesti tuotettujen ja luonnosta mitattujen aineistojen matemaattisella ja tilastotieteellisellä käsittelyllä oli keskeinen merkitys metsätieteellisessä tietojenkäsittelyssä. Tiedonkeruuta systematisoitiin ja tutkimustiedon käsittelyyn kehitettiin yleiskäyttöisiä sovelluksia, kuten koealojen peruslaskentaan tuotettu KPL-ohjelmisto (Heinonen 1984, 1994). Tietokonetta käyttiin pääasiassa mitattujen tutkimusaineistojen taulukointiin. Tietojenkäsittelijältä odotettiin vahvaa ohjelmiston kehittäjän otetta, kehitettyjen mallien soveltamisen edellytys on lausekielisten ohjelmien (VAX/VMS Fortran, Fortran 77) kehittäminen ja kohdealueen ongelmia ymmärtävä käyttö.

Teorianmuodostuksen kannalta numeeriset menetelmät, operaatioanalyysi ja simulointi olivat tutkimustulosten tuottamisen tärkeimpiä menetelmiä 1980-luvun puoliväliin saakka (Kilkki 1985, Siitonen ym. 1996). Biometrisista menetelmistä sovellettiin yleisesti regressioanalyysiä ja erilaiset kvantitatiivisia kuvaustapoja aineistojen tulkinnassa (Häkkinen 1996). Mallit esitettiin pääasiassa matemaattisen notaation keinoin, jolloin ohjelmakehitys ei sinällään ollut välttämätöntä. Ohjel-

moidun ratkaisun kehittäminen mallin pohjalta antoi kuitenkin varmuutta mallien soveltamiseen. Ajalle tyypillistä oli, että tilastotieteen ja matemaattisten aineiden opiskelijat, mukaan lukien tietojenkäsittelyoppi, saivat tutkimusta avustaviin tehtäviin liittyviä töitä metsäntutkimuksen parissa.

Havaittiin että, metsäntutkimuksessa suoritettavissa kenttäkokeissa noudatettava tapa, jolla tietoja kerätään ja järjestellään tietokoneella tapahtuvaa laskentaa varten, oli luotettavuutensa kannalta epäsuhdassa tietojen tieteellisen jatkokäsittelyn tarkoituksen ja tavan kanssa. Tiedonhallinta edusti uutta rakenteellis-toiminnallista ratkaisua empiiristen tutkimusaineistojen käsittelemiseksi tieteellisen laskennan ohessa. Metsäntutkimuslaitoksessa ryhdyttiin soveltamaan käsilläolevaa teknologiaa tietokantojen organisoimiseksi ja rakentamiseksi (Kaila 1985).

Metsäntutkimuslaitoksen ja Joensuun yliopiston (silloisen korkeakoulun) metsätieteellisen tiedekunnan yhteisessä METKA-hankkeessa kehitettiin indianalaisen Purdue yliopiston mallin mukaan oma tiedonhallintajärjestelmä (Haseman ja Whinston 1977), joka tuki hierarkkisia tietokantoja (Kaila ja Taipale 1984). Hankkeessa sovellettiin laajasti infologisen systemoinnin menetelmiä, erityisesti PSC- ja PIOCO-mallia (Kerola ja Järvinen 1975, Iivari ja Koskela 1979, Iivari 1982, Iivari 1983). Metsien inventoinnin kasvukoealojen perustamisen yhteydessä datan käsittelyn perusta määriteltiin tietokantateknologiaan perustuvaksi. Systeemin kuvaukset tehtiin ISAC-menetelmällä (Lundberg ym. 1981). Tavoitteena oli parantaa empiirisen data-tiedon käsittelyn kehittämisellä tutkimusprosessia, jossa oli todettu selkeitä kehittämistarpeita tietojen hallintaan liittyvissä asioissa. Hanke vaikutti myös muiden Metsäntutkimuslaitoksen tietojärjestelmien kehittämiseen. Laitoksen ns. kestokokeiden tuottaman datan hallitsemiseksi käynnistettiin SUKEMA-hanke, joka tuotti myöhemmin KEKO-hankkeessa (ks. kappale 2.2.1) edelleen kehitetyn tietokantasovelluksen.

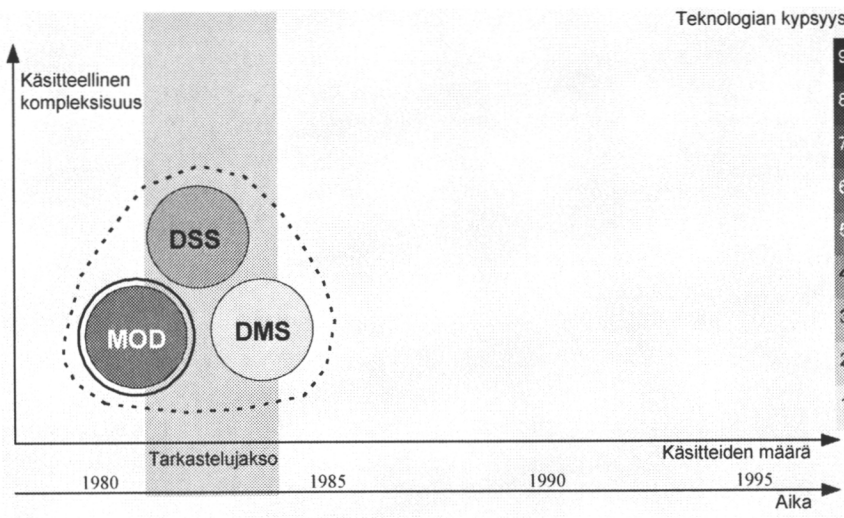
"Havaintojen käsittely ja aineiston muodostus metsäntutkimuksen tiedonhallinnan näkökulmasta"-artikkeli tuotettiin METKA-hankkeen yhteydessä, toukokuussa 1984 pidettyyn "Metsikön suunnittelu, mittaus ja laskenta-päivään" liittyneeksi esitelmäksi, joka julkaistiin Suomen metsätieteellisen seuran Silva Fennica sarjassa (Kaila 1985). Siinä keskitytään esittelemään Metsäntutkimuslaitoksessa tehtävää työtä ja esitetään joitakin arvioita tietojärjestelmien kehittämisen teoriaan liittyvien näkökohtien merkityksestä ja vaikutuksesta metsäntutkimukselle.

Lyhyessä tekstissä argumentoidaan varovasti tiedonhallinnan menetelmän soveltamisen puolesta seuraavasti:

1. Tutkimusprosessiin liittyy erityinen tiedonhallinnan vaihe. Tiedon säilyttäminen ja prosessointi ovat kaksi luonteeltaan toisistaan poikkeavaa tietojenkäsittelytapahtumaa ja siksi syytä pitää selvästi erillään toisistaan.

2. Tietokannan soveltaminen helpottaa aineiston muodostamista suureksi kasvaneesta tietomassasta ja tietokanta dokumentoi tutkimusaineiston pitkäaikaista käyttöä varten. Tekniset reunaehdot huomioiden tilastollisen käsittelyn kannalta on edullista, jos havaintoaineistosta vain tarpeellinen osa on kulloinkin käytettävissä.
3. Tietokannan käyttö edistää standardointia ja yhtenäistää tutkimuksen käsitteistöä. Tutkimustyön ohjelmistosidonnaisuus häviää tietokantojen soveltamisen myötä.
4. Tietokannan muodostamisessa on kolme erillistä vaihetta: 1) suunnittelu ja kuvaaminen, 2) tietokannan rakentaminen tietokoneelle sekä 3) tietokannan lataaminen.
5. Metsäntutkimuslaitoksen toiminnassa metsien inventointi, koetoiminta ja tilaustutkimustoiminta muodostavat kolme pragmatiikaltaan erillistä aluetta, joille tietokantapalvelujen kehittäminen on perusteltua.

1980-luvun alkupuoliskolla metsätalouden suunnittelun tietojärjestelmien rakenne ymmärrettiin päätöksenteon tukijärjestelmien (DSS, *decision support systems*) mukaiseksi (kuva 3). Tietokantojen toteutustekniikan omaksuminen tutkimustoiminnassa tapahtui myöhemmin, kun tietokantaan perustuvien operatiivisten raportointijärjestelmien (DMS, *data management systems*) kehittäminen alkoi. Aktiivisesta tiedonhallintateknologian kehittämispyrkimyksistä huolimatta tietokantateknologiaan sitouduttiin todella vasta METINFO hankkeen käynnistymisen jälkeen (ks. kappale 2.2.3). Viiveestä johtuen osa metsätieteellisen tietojenkäsittelyn avaintuotteista kehitettiin ilman sitoutumista tietokantaan.




Kuva 3. Metsäntutkimuksen tietojärjestelmäteoreettinen käsitteistö vuonna 1984.

## 3.2 Tietokoneavusteinen päätöksenteko metsätaloudessa

1980-luvun lopulla tietokoneiden käyttö hajautui laitetasolla. Henkilökohtaiset työasemat ja tietoverkot yleistyivät laitteiden hinnan laskiessa ja suorituskyvyn kasvaessa. Tutkimushankkeissa tapahtuva sovelluskehitys lisääntyi. Metsätalouden suunnittelun kokonaissysteemi formuloitiin tietojenkäsittelyn kehittämistoimintaa ohjaavaksi normiksi (Kilkki 1988).

PIOCO-malli täydentyi tässä esitettyyn muotoonsa (Iivari 1983). Sen määrittelemät systemointimalli, tietosysteemimallit sekä tietosysteemien valinta- ja laatukriteerimallit täsmensivät tietojärjestelmien kehittämisen käsitteistöä. Mallien sovellettavuus systemoinnin käytännön tehtäviin parani verrattuna teoreettisempaan PSC-malliin (Kerola ja Järvinen 1975). PIOCO:oon liittyvät tietosysteemien kehittämisen eksperimentaaliset ja evolutionaariset piirteet määrittelivät aiempaa pitkäkestoisemman tietosysteemien kehittämisen aikajänteen.

Tekoälytutkimuksen määrä kasvoi nopeasti ja se suuntautui erityisesti tietojärjestelmätutkimuksen tuloksia soveltavalle alueelle. Tekoälyyn liittyvät lähestymistavat tekivät mahdolliseksi kuvata ns. ei-rakenteellisia ongelmia tietokoneella käsiteltävään muotoon. Niiden oletettiin tukevan suoraan metsäntutkimuksessa sovellettavien tieteellisten menetelmien käyttöä. Asiantuntijajärjestelmät koettiin ratkaisuksi tutkimuksessa tuotetun tietoteknologian siirron käytännön ongelmiin.

Avoimet laite- ja ohjelmistoarkkitehtuurit yleistyivät ja sen seurauksena tehokkaiden graafisten työasemien määrä tutkijoiden käytössä kasvoi. Myös erityistä tekoälyn kehittämiseen liittyvää teknologiaa hankittiin tutkimusryhmien käyttöön (Symbolics, KEE, ProKappa). Tekoälykokeilut vaikuttivat myöhemmin LIGNUM-hankkeen toteutuksessa sovellettuihin työtapoihin (ks. kappale 2.2.4). Paikkatietojärjestelmien ja spatiaalisen analyysin ohjelmistojen (ArcInfo, Erdas) teknologinen kehittyminen nopeutui ja niihin perustuvien suunnittelusysteemien uskottiin merkitsevän strategista etua metsätaloudessa. Käyttöliittymät kehittyvät (SunOs, OpenWindows, Motif). Graafiseen käyttöliittymään ja helposti ymmärrettävään muotoon ohjelmoidun päätöksentekologiikan uskottiin alentavan tietojärjestelmien käyttöönottokynnystä ja helpottavan asiantuntijatehtäviin soveltuvan ohjelmiston kehittämistä myös metsäntutkimuksessa (Saarenmaa 1985).

Artikkelin "Tietokoneavusteinen päätöksenteko metsätaloudessa" (Kaila ja Saarenmaa 1990) kirjoittamisen pontimena oli tarve koota metsätietojärjestelmiin liittyvä käsitteistö ajanmukaiseksi oppikirjaksi ja metsätalouden käytännössä tapahtuvaa kehittämistä ohjaavaan muotoon. Toisaalta raportissa haluttiin koota METIK-hankkeen yhteydessä yksilöidyt lähestymistavat yhteen. Lähes 5 vuotta kestänyt metsätalouden ja metsäntutkimuksen tietojärjestelmiä yleisesti arvioinut ja kehittänyt METIK-hanke oli saatu päätökseen, mutta hankkeen yhteenveto, hankkeenaikaisesta runsaasta dokumentaatiosta huolimatta (Liite B), oli jäänyt varsin kevyehköksi.

Ajatus tietojärjestelmien kehittymisen tarkastelusta historiallisesta näkökulmasta perustui Coulsonin ym. (1989) vastaavanlaiseen katsaukseen. Coulson johti Texas A&M yliopiston metsäentomologian laitoksen tietojärjestelmälaboratoriota, joka oli erikoistunut metsätuhojen torjunnan asiantuntijajärjestelmien kehittämiseen. Coulsonin laboratorioon hankittu tietoteknologia oli ajanmukaista ja tuki tekoälyyn perustuvan sovelluskehityksen tarpeita. Sääntöpohjaisten kielten, asiantuntijajärjestelmäkehitinten ja tekoälyperusteisten menetelmien soveltamiseen tarkoitetut tietokoneet ja käyttöjärjestelmät muodostivat uuden, tutkimusyhteisöissä yleistyvän teknologiaperheen. Tietokannoista oltiin siirtymässä tietämyskantoihin. Tutkijoiden parissa jo laajalti omaksutun proseduraalisen ohjelmoinnin soveltamistavan rinnalle oli tulossa uudenlainen ajattelutapa. Sääntöpohjaisiin malleihin perustuvien tietojärjestelmien kehittäminen alkoi.

METIK-hankkeen aikana oli kehitelty ajatusta metsätalouden suunnittelutietojärjestelmän ja paikkatietojen hallinnan ohjelmiston yhdistämisestä erityisen "metsätietoasemaksi" kutsutun käyttöliittymän alle. Käsitteellisellä tasolla integroidun metsätalouden suunnittelun kokonaistietojärjestelmän elementtejä toteutettiin ohjelmistoteknisellä tasolla. Tietojärjestelmän komponenteille saatiin useita rakenteellisesti yhtäläisiä esimerkkejä valmiista järjestelmistä. Stonen ja Toman (1988) kehittämä yhdysvaltalaisen maatilan tuotannonsuunnittelun asiantuntijajärjestelmä COTFLEX edusti sopivaa pragmaattista mallia metsätalouden suunnittelujärjestelmän integroimiseksi. Kanadan kansallisessa metsäinstituutissa Petawawassa, Ontariossa kehitetty metsätalouden suunnittelun GIS-ohjelmisto (Baskerville ja Moore 1988) oli puolestaan tietosisällöllisesti soveltuva ohjelmistoratkaisu paikkatietojärjestelmän ohjelmistokomponenttien toteuttamiselle. Samassa tutkimuslaitoksessa Peter Kourtzin työryhmä kehitti Kanadan metsäpalojen torjuntaan tarkoitettua, tietämyskantaan perustuvaa päätöstukijärjestelmää, jonka kehittämisessä oli omaksuttu vaikutteita sekä operaatioanalyysin, tiedonkäsittelyn ja tekoälyn traditioista. Järjestelmä sovelsi uusinta tietämysteknologiaa tutkimustyöhön ennennäkemättömällä tavalla.

Kanadalaisten kehittämishankkeet ja 1990-luvun alussa tehdyt paikkatietojärjestelmien kehitysympäristöjen hankintapäätös käynnisti Metsätutkimuslaitoksen tutkimuskäyttöön tarkoitetun paikkatietojärjestelmän kehittämisprojektin TUTGIS-hankkeen (ks. kappale 2.2.2).

Suomalaisten metsätalouden suunnittelun tietojärjestelmien kehittäjien piirissä Kourtzin soveltama eksperimentaalinen tietojärjestelmien kehittämisen lähestymistapa tulkittiin normatiivisesti. Esimerkin mukaan edistyvä tietotekniikka tarjoaa jatkuvasti uusia ratkaisumahdollisuuksia periaatteessa muuttumattomien ongelmien ratkaisemiseksi. Standarditeknologioiden soveltaminen pidentää sovellusten käyttöikää. Uusien ratkaisumallien oletetaan johtavan vaikutuksiltaan parempaan tulokseen varsinaisessa toiminnan kehittämisessä.

Päätöstuki- ja asiantuntijajärjestelmäprototyypit toivat esiin kaksi merkityksellistä ongelmaluokkaa, jotka metsätietojärjestelmäprojekteissa olivat jääneet vähälle huomiolle. Todettiin, että 1) metsätalouden tietojärjestelmien kehittämiselle keskeisessä metsätalouden suunnittelussa on ei-rakenteellisten ongelmien joukko merkittävän suuri ja että tässä luokassa uudet sääntöpohjaiset ratkaisumallit kasvattavat ratkaistavissa olevien ongelmien joukkoa; 2) tutkimuksessa tuotettavan tieto- ja tietämysteknologian siirto metsätalouden käytäntöön edellyttää kokonaisvaltaista, organisaation tasolla tapahtuvaa mallintamista.

Molemmat ongelmat pyrittiin ratkaisemaan edellyttämällä metsätalouden suunnittelun tulevilta ammattilaisilta perusteellisempaa tietojärjestelmien käytön ja rakentamisen osaamista. Tavoite konkretisoitui ensimmäisenä Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan tutkintovaatimuksissa. Myöhemmin metsätalouden suunnittelun akateemisen koulutusohjelman vahvistaminen, johti myös pohdintaan uuden oppialan tarpeellisuudesta (Hannu Saarenmaan hanke-esitys Suomen Akatemian maatalous-metsätieteelliselle toimikunnalle 8.4.1993 "Luonnonvaratietojärjestelmien suunnittelu, rakentaminen ja koulutusohjelma" ja sitä koskevat asiantuntijalausunnot). Tietojärjestelmiin liittyvä koulutustoiminta lisääntyi. Metsäylioppilaiden suhteellinen määrä metsäntutkimuksen atk-tehtävissä kasvoi, kun menetelmä koulutuksen saaneita tutkijoita rekrytoitiin.

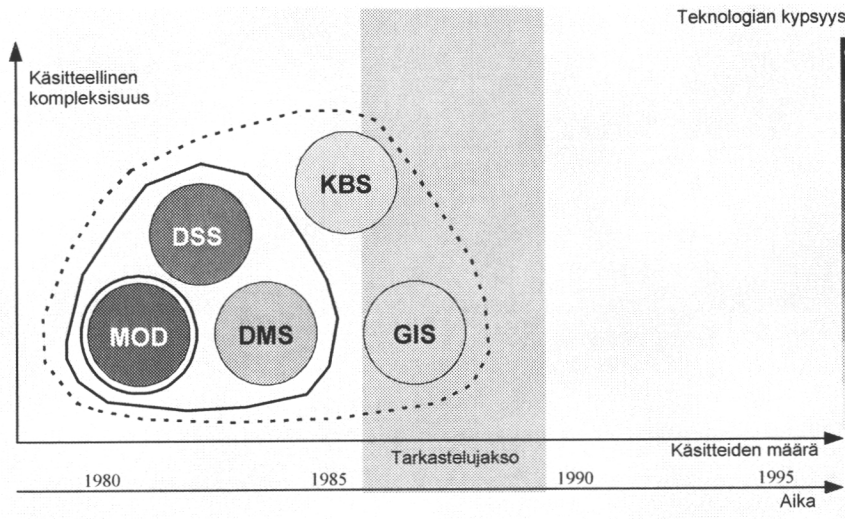
Havaitut ongelmat ja niiden ratkaisutapa sekä metsäalan ammattilaisten kouluttautumiseen liittyneet materiaalitarpeet loivat selvän sosiaalisen tilauksen julkaisun tuottamiselle. Artikkeli (Kaila ja Saarenmaa 1990) on analyyttinen ja siinä keskitytään tarkastelemaan metsätalouden organisaatioissa käytettävää tietojärjestelmätuotetta. Analyysissä havainnollistetaan erilaisten tietojärjestelmätyyppien ilmenemistä ja otetaan normatiivisesti kantaa niiden yleiseen sisältöön. Tietojärjestelmien kehittämisnormin esittäminen tapahtuu epäsuorasti. Artikkelin tarkastelussa metsätalouden tietojärjestelmien kehittämisen systeemiympäristö hahmotetaan kokonaisuudessaan. Samassa yhteydessä kuitenkin todetaan, että ideaalinen kokonaisjärjestelmä voidaan toteuttaa vain erilaisten järjestelmätyyppien hybridinä. Tekstissä argumentoidaan seuraavasti:

1. Tietojenkäsittelyssä tietokoneavusteisen päätöksenteon tietojärjestelmätyypit ovat kehittyneet kolmen toisistaan erottuvan tradition kautta joko tiedonkäsittelyn (data processing), operaatioanalyysin (operation analysis) tai tekoälyn (artificial intelligence, AI) periaatteiden mukaisesti.
2. Tietokoneavusteinen päätöksenteko on kehittyessään läpäissyt neljä kompleksisuustasoa, jotka ovat: 1) tietojenkäsittelyn, 2) informaationkäsittelyn, 3) tietämyksenkäsittelyn ja 4) päätöksenteon tasot.
3. Tiedonkäsittelyyn perustuvissa tietojärjestelmissä on havaittavissa tietojärjestelmäevoluutio, jota luonnehtii ohjelmistotasojen

vaiheittainen kerrostuminen yhä kompleksisemmaksi ohjelmistoympäristöksi.

4. Tietojärjestelmät voidaan jakaa toteutustapansa perusteella kuuteen tietojärjestelmätyyppiin: tiedoston hallintajärjestelmiin (FMS), tiedonhallintajärjestelmiin (DBMS), johdon informaatiojärjestelmiin (MIS), päätöksenteon tukijärjestelmiin (DSS), asiantuntijajärjestelmiin (EXS) ja tietämyskantoihin perustuviin järjestelmiin (KBS).
5. Metsätalouden tietojärjestelmien kehittämisessä on ei-rakenteellisten ongelmien joukko huomattavan suuri. Sovellettujen tietojärjestelmien kehittämisperiaatteiden mahdollisuuksien rajat ovat nähtävissä. Metsäntutkimuksen tietojärjestelmiin liittyvässä menetelmäkehityksessä tarvitaan enemmän strategisen tason ajattelua.
6. Metsätalouden suunnittelua palveleva metsätietoasema on yleisesti määriteltävissä ja toteutettavissa hajautettuna tietoarkkitehtuurina.
7. Metsätalouden tietojärjestelmiin liittyvät pragmaattiset kysymykset ovat kehittyneet siten, että uusi oppiala "metsätalouden tietojärjestelmät" on tarpeen.
8. Asiantuntijajärjestelmät ovat kommunikoinnin väline. Metsätaloudessa kommunikoinnin osapuolet ovat tietojärjestelmiä kehittävät sovellusala-asiantuntijat ja tietämysinsinöörit sekä metsätalouden päätöksentekijät kaikilla organisaation tasoilla.
9. Metsäntutkimuksessa tehdään itseisarvoista tietojärjestelmien kehittämistyötä (MELA).

1980-luvun puolivälin jälkeen tietojenkäsittelyn kehittäjien huomio kohdistui tutkimuksen sisältöön ja toimintaan liittyviin tietojenkäsittelymenetelmiin (kuva 4). Tekoälyyn ja tietämyskantoihin (KBS, *knowledge*




Kuva 4. Metsäntutkimuksen tietojärjestelmäteoreettisen käsitteistö 1980-luvun loppupuolella.

*base systems*) sekä kaukokartoitukseen ja paikkatietojärjestelmiin (GIS, *geographic information systems*) liittyvä käsitteistö tuli mukaan metsäntutkimuksen tietojärjestelmäkeskusteluun. Käsitys päätöksenteon tukijärjestelmien merkityksestä metsäntutkimuksessa vakiintui. Tiedonhallintajärjestelmiin tehdyt investoinnit lisäsivät tietokantojen rakentamista, mutta tietokantateknologiaan sitoutuminen tapahtui edelleen hitaasti.

## 3.3 Metsäntutkimuslaitoksen informaatiojärjestelmäarkkitehtuuri ja tietojärjestelmien kehittämisstrategia

Keskisuuren ja pienen yritystoiminnan atk-sovellusten lisääntyessä 1980-luvun loppupuolella tietokantaa soveltavat operatiiviset raportointijärjestelmät yleistyivät. Institutionaalisten hallinnon ja kaupan informaatiojärjestelmien tukeminen automatisoiduin tietojärjestelmäratkaisuin läpäisi myös suomalaisen yhteiskunnan. Tietokantoihin perustuvien palveluiden tuotannon rationalisointitarpeet kasvoivat. Palvelu- ja hallinto-organisaatioissa ymmärrettiin tietojärjestelmätutkimuksen teko ja tietojärjestelmästrategian laadinta välttämättömäksi toimintojen kehittämisen menetelmäksi (Nurminen 1986). Tietojärjestelmätutkimukseen liittyvästä konsultaatiosta tuli kysytty palvelu. Yleisiä syitä kysynnän lisääntymiselle ovat:

1. Käsiteltävän tiedon määrän kasvu. Kasvavien tietovolyymien hallinta edellytti institutionaalisten systeemien rationalisointia atk:n tuella.
2. Toimintojen samanaikaistamisen tarve. Organisaatioiden sidosryhmilleen tarjoamien palvelujen synkronointi edellytti informaatiosysteemien automatisoidun tuen kehittämistä.
3. Johtamisjärjestelmien kehittämisen tarve. Automatisoidun tuotannon seurantasysteemien tuottaman informaation analyyttisen käsittelyn oletettiin tukevan johdon päätöksentekoa strategisen, taktisen ja operatiivisen ohjauksen tasoilla.

Liikkeenjohdon kiinnostuminen automaattisella tietojenkäsittelyllä saavutettavista eduista kasvoi yleisesti. Samalla tietojärjestelmätieteessä tuotetut teoreettiset systeemien kehittämismallit kaupallistuivat ja konkretisoituvat tietojärjestelmien analyysiä, suunnittelua ja implementointia suoraan ohjaaviksi toteutusmalleiksi. Mallit kehitettiin vastaaman yritysten sovelluskehityskapasiteetin käyttötapaa. Neljännen sukupolven ohjelmointikieliin liittyvät sovelluskehittimet ja markkinoille tulevat CASE-työvälineet tukivat uudella tavalla tietokantaperusteisten operatiivisten raportointijärjestelmien suunnittelua ja sovelluskehitystä. Tietotekniikkainvestoinnit kasvoivat. CASE-työvälineiden tuottajien välinen kilpailu avautuvista markkinoista kasvoi. IE- ja SA-metodologioiden soveltaminen ohjelmallisesti tuetun systeemi- ja ohjelmistosuunnittelun menetelmänä yleistyi.

Metsäntutkimuslaitoksen informaatiojärjestelmäarkkitehtuuria ja tietojärjestelmien kehittämisstrategiaa kuvaavan artikkelin "The New Information System Architechtures and Strategies of the Finnish Forest Research Institute" (Saarenmaa ym. 1991) kirjoittamisen lähtökohtana oli Metsäntutkimuslaitoksen tietojärjestelmästrategian määrittelyprojekti. Tietojärjestelmätutkimus toteutettiin laitoksen organisaatiouudistuksen osana vuodenvaihteessa 1989–1990.

Tietojärjestelmästrategian laatimisen yhteydessä Metsäntutkimuslaitoksessa sovellettiin ensimmäistä kertaa normatiivista lähestymistapaa tietojärjestelmien määrittelyyn koko laitosyhtymän tasolla. Sovellettavaksi menetelmäksi valittiin systeemien rakentamismenetelmä SRM, jota oli täydennetty James Martinin IE-metodologian systeeminkuvausmenetelmillä. Metsäntutkimuslaitoksen sitoutumisella SRM:ään ja IE:hen perusteltiin suhteellisen kalliin CASE-työvälineen (IEF) hankinta. IEF:n käytön odotettiin tukevan suunnittelun lisäksi tietojärjestelmästrategian päivittämistä ja jatkokäyttöä (Mikkonen ja Soini 1988, Martin 1989a).

Tietojärjestelmätutkimuksen tulos: "Metsäntutkimuslaitoksen tietojärjestelmästrategia" julkaistiin laitoksen Tiedonantoja-sarjassa. Kokonaisvaltaisen tietojärjestelmäsuunnitelman ja strategiavaihtoehtojen lisäksi mietinnössä kuvattiin tietojärjestelmätutkimuksen yleisiä tavoitteita ja strategian tuottamisessa sovellettua menetelmää (Saarenmaa ym. 1990). Erityisesti tietojärjestelmätuotteen kuvaaminen oli yksityiskohtaisempaa aiempaan verrattuna. Käsitteistön analyyttinen esittäminen johti myös metsätalouden suunnittelun kokonaisjärjestelmän (Kilkki 1988) perusteellisempaan tarkasteluun. Sen pohjalta johdetun toimintastrategian mukaan Metsäntutkimuslaitoksen tulisi organisoida tutkimustoiminnan tietopalvelut laitoksen tuottaman luonnonvarainformaation perustalle. Palvelujen tuottamistavan tuli olla analoginen metsätilastollisen tietopalvelun kanssa, joka todettiin palveluiltaan riittävän kehittyneeksi tietoverkon kautta tapahtuvan asiakasyhteyksien luomiseksi. Toiminnan kustannukset arvioitiin katettavan osin palvelujen saajien suoralla rahoituksella. Strategiaprojekti aloitti toimintojen kehittämisprosessin, joka johti Metsäntutkimuslaitoksen tietohallinnon uudelleen organisointiin. Prosessi kesti kaikkiaan 5 vuotta.

Tietojärjestelmästrategia tuotettiin vain Metsäntutkimuslaitosta varten, mutta strategia ja sen tuottamistapa herättivät kiinnostusta myös muissa hallinnonalan organisaatioissa. Hanke sai seuraajia: Maa- ja metsätalousministeriö teki oman tietojärjestelmätutkimuksensa pian Metsäntutkimuslaitoksen jälkeen. Metsähallitus ja Metsäkeskus Tapio päivittävät omat kehittämissuunnitelmansa erityisesti paikkatietojen kehittämisnäkökohdat huomioonottaviksi. Strategiaan perustuen tehtiin myös hallinnonalan organisaatioita yhdistävää kehittämistyötä TUTGIS-hankkeessa (ks. kappale 2.2.2).

Artikkelin argumentit ovat:

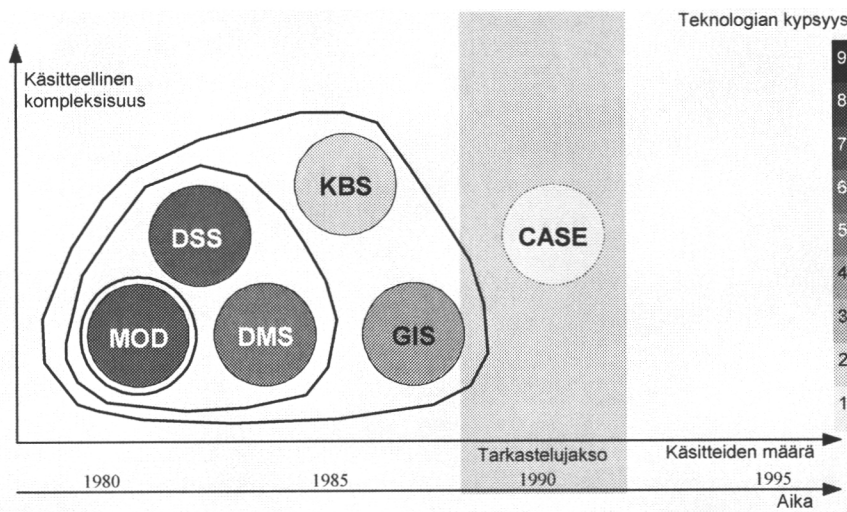
1. Tutkimusyksiköissä, toisin kuin liiketoimintaorganisaatioissa, ei olla toistaiseksi ymmärretty informaatiosysteemien integroinnista koituvia etuja laajamittaisesti. Tieteellisessä työssä tietokoneella on käyttöarvoa ensisijaisesti soveltuvana työkaluna. Informaatiojärjestelmät voidaan kuitenkin nähdä monitieteisten ja toiminnallisesti ositettujen tutkimusorganisaatioiden integroinnin välineenä ja siten niiden voidaan odottaa edistävän laaja-alaisten hankkeiden tutkimustulosten ja synteesien tuottamista.
2. Metsäntutkimuslaitoksen kaltaisessa, alueellisesti hajautetussa tutkimusorganisaatiossa toimintaa voidaan hajauttaa tietojärjestelmien tiedonhallinnan osalta. Agrekoidun informaation tuottaminen tutkimustoiminnan sidosryhmille on kuitenkin mielekästä keskittää. Hajautettujen tietojärjestelmien ja keskitetyn informaatiojärjestelmän muodostama malli toteutuu käytännössä organisaation toiminnan tasolla.
3. Metsäntutkimuslaitos voi tehostaa toimintaansa ja parantaa palvelujensa laatua informaatiojärjestelmien kehittämisellä seuraavissa osa-alueissa:
   - luonnonvaratietojen tuotannon, markkinoinnin ja jakelun tehostamisella
   - paikkatietojärjestelmiin pohjautuvalla ympäristömuutosten analyysillä
   - metsätilastollisen tietopalvelun tarjoamisella tietoverkon yli suoraan asiakkaille
   - tietojärjestelmien kehittämiseen liittyvän osaamisen välittämisellä sovellusalueen päätöksentekijöille
   - koetoimintaan liittyvän tietämyksen integroinnilla tietokantoihin ja tieteellisiin analyyseihin
   - tutkimusmetsien suunnittelusysteemin kehittämisellä
   - projektien suunnittelun, hallinnan ja tuloksellisuuden seurannan tietojärjestelmiä kehittämällä

   Useimmat esitetyistä kategorioista edellyttävät metsäntutkimuksen sidosryhmien osallistumista kehittämistyöhön.
4. Information Engineering metodologia soveltuu tutkimusorganisaation tietojärjestelmätutkimuksen välineeksi. Tutkimuksen toimintojen jako strategisiin, taktisiin ja operatiivisiin aktiviteetteihin voidaan toteuttaa tarkoitukseen soveltuvalla tavalla. Tieteelliseen toimintaan liittyvä kohdemalli voidaan määritellä tietojärjestelmätutkimuksen kannalta tarkoituksenmukaisesti.
5. Tutkimuslaitoksen tietojärjestelmien kehittämisessä systemointiprosessin organisaation tason analyysin pääsuorite on tietojärjestelmästrategia, joka määrittelee organisaation toiminnan tavoitteista lähtien tietojärjestelmiin perustuvien palvelujen kehittämisen päälinjat seuraavaa 5–10 vuoden kehittämisjaksoa varten. Keskitetyllä tietojärjestelmien kehittämisellä ei kuitenkaan voida saavuttaa tie-

teellisen työn kannalta toimivaa ratkaisua. Metsäntutkimuksen tietojärjestelmien kokonaisuuden kehittämisessä tulee hyödyntää erillisissä projekteissa vaikuttavia motiiveja. Projekteissa tapahtuvaa työtä on ohjattava sekä organisaation yhteisten tavoitteiden että hankkeen resurssien puolesta oikein.

6. Metsäntutkimuslaitoksen informaatiojärjestelmien kehittämisen strategiset vaihtoehdot ovat: 1) tutkijan työasemastrategia, 2) tutkimushallinnon strategia sekä 3) luonnonvarojen tietopankkistrategia. Strategiat eroavat toisistaan paitsi sisällöllisen laajuutensa, myös vuotuisten ylläpitoon ja kehittämiseen liittyvien kustannusten osalta. Tietojärjestelmätutkimuksen pohjalta työryhmä suosittaa viimeksimainittua vaihtoehtoa.
7. Tietojärjestelmästrategian ylläpito on mahdollista CASE-työvälineen avulla, mutta se edellyttää huolellista työtehtävien määrittelyä. Tietokannankehittäjien ja organisaation tietokannan ylläpitäjän (DBA:n) henkilökohtainen sitoutuminen työvälineen käyttäjäksi on välttämätöntä.
8. Tietojärjestelmätutkimuksen perusteella Metsäntutkimuslaitoksen toiminnassa voidaan yksilöidä 34 strategista tietojärjestelmää, joiden kehitysaste ja kehittämisen organisatorinen painoarvo vaihtelevat.

Paikkatietoteknologian kehittymisen myötä luonnonvara- ja ympäristötutkijoiden mielenkiinto kokonaisvaltaisten tietojärjestelmien suunnitelmalliseen kehittämiseen lisääntyi 1980-loppupuolella. Vuosikymmenen taitteessa tietokoneavusteisen systeemi- ja ohjelmistosuunnittelun (CASE, *computer aided systems engineering*) odotettiin tukevan korporatiivisten ja strategisten tietojärjestelmien kehittämistä Metsäntutkimuslaitoksessa ja laajemminkin metsäsektorilla (kuva 5). Menetelmien eri-




Kuva 5. CASE-teknologiaa sovelletaan metsäntutkimuslaitoksessa vuosina 1989–1992.

tyisasiantuntemuksen tarve kasvoi samalla, kun sovellusten määrä jäi aiempaa vähäisemmäksi. CASE-työkaluja tukevien tietosysteemien suunnittelun menetelmien todettiin soveltuvan tieteellisen työn analysointiin ja mallittamiseen. Metsäntutkimuslaitoksessa sovellettiin SRM-metodologiaa tietojärjestelmästrategian määrittämiseksi. SRM:n käyttöä toteutuneessa projektissa ja sen soveltuvuutta julkishallinnon tutkimustoiminnan tietojärjestelmien kehittämistyöhön arvioitiin tarkemmin Lehdon ja Saarenmaan artikkelissa (1990).

Metsäntutkimuslaitoksessa on kokeiltu useiden CASE-työvälineiden (IEF, PROSA, OMTool, OMW) soveltuvuutta tutkimushankkeiden ohjelmistokehittämistyölle. CASE-työvälineiden käyttö on mahdollistanut tietojärjestelmien suunnittelun graafiseen käyttöliittymään perustuvan havainnollistamisen, mutta systeemejä ei ole hyödynnetty ohjelmistokoodin tuottamiseen. Myös vahva kytkentä tietojärjestelmätuotteen ja CASE-välineellä synnytetyn mallin väliltä on jäänyt puuttumaan. CASE-työvälineiden positiivinen vaikutus on tullut ensisijaisesti sitä kautta, että niiden soveltaminen on edellyttänyt työvälinettä tukevan systemointimetodologian omaksumista kehittämistyössä. Metodologia on sinällään ohjannut tietojärjestelmän tai ohjelmiston kehittämistyötä. Kehitettävän tietojärjestelmätuotteen määrittely, systemointiprosessin vaiheistaminen ja projektin resurssien allokointi ovat saaneet formaalin muodon.

## 3.4 Metsätalouden tietojärjestelmät ja ohjelmistotuotannon objektisuuntautunut kehittämismalli

Objektilähestymistavan soveltaminen yleistyi 1990-luvun taitteessa (Monarchi ja Puhr 1992). Ohjelmistotuotannon välineet kehittyivät uudeksi sukupolveksi, jolla oli aiemmat ohjelmistotuotannon käytännöt mullistava merkitys. Uusi ohjelmointikäytäntö yleistyi, kun standardoituihin lausekieliin laaditut objektilaajennukset vakiintuivat. Työasemaympäristöissä neljännen sukupolven kielet ja sovelluskehittimet saivat rinnalleen ja osin korvautuivat objektilähestymistapaa tukevilla tietojärjestelmien kehittämistyökaluilla (LIGNUM-hanke, ks. kappale 2.2.4).

Tietosysteemien analyysi- ja suunnitteluperiaatteiden täsmentäminen ja uudelleen määrittely tuli ajankohtaiseksi. Metsäntutkimuksen tietämysteknologian kehittämisprojekteissa ei sovellettu mitään erityistä metodologiaa, vaan tietosysteemejä kehitettiin datateknisten mahdollisuuksien kokeilun pohjalta tapahtuvan prototyyppiperusteisen kehittämisen kautta. Aiemmin yksinomaan tietokantaperusteista lähestymistapaa tukevien tietosysteemien suunnitteluperiaatteita arvioitiin uudelleen ja niiden selitysvoimaa pyrittiin lisäämään objektisysteemien käyttäytymistä kuvaavien mallinen kehittämisellä. Metodologioiden kehittäminen ymmärrettiin vahvasti tietokoneavusteiseen systeemisuunnitteluun ja ohjelmointiin liit-

tyväksi (Coad ja Yourdon 1990, Booch 1991, Rumbaugh ym. 1991). Systemointiprosessin tieteellinen tarkastelu nousi nyt uudelleen systemointitutkimuksen aiheeksi.

Metsäntutkimuksessa objektilähestymistapa tuki erityisesti mallintamista ja malleihin perustuvien tietojärjestelmien kehittämistä. Objektilähestymistavan odotettiin ratkaisevan myös tekoälyn menetelmien soveltamisessa todettuja ohjelmistotuotteiden jakelun ongelmia. Koska tekoälyn sovelluskehitystyö perustui pääasiassa erityisten asiantuntijajärjestelmäkehitinten (*expert system shell*) käyttöön, menetelmät eivät yleistyneet tutkimusyhteisön sisällä tapahtuvaa kokeilua laajempaan käyttöön. Tekoälykielet, kuten LISP ja Prolog, eivät selitysvoimastaan huolimatta saavuttaneet metsäntutkimuksessa aiemmin omaksuttujen lausekielten kaltaista suosiota. Asiantuntijajärjestelmien siirto metsätalouden käytäntöön, missä uudesta teknologiasta ei ollut kokemusta, koettiin myös ongelmalliseksi.

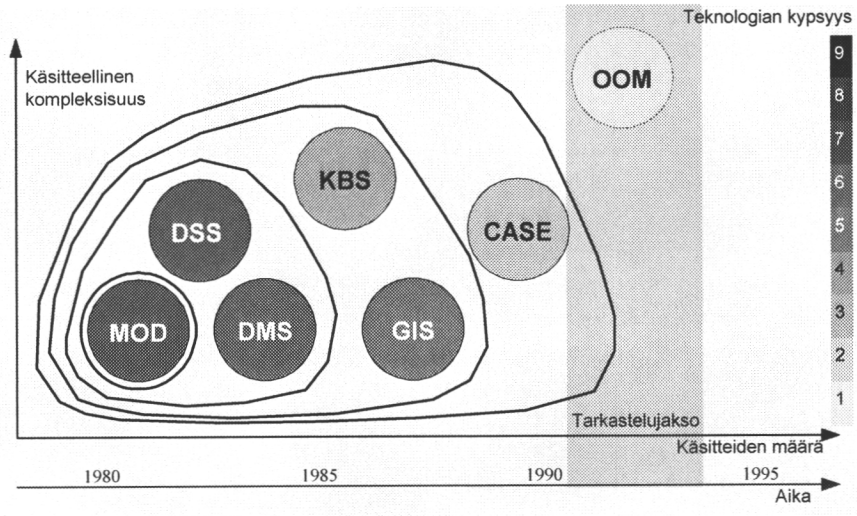
Artikkelin "Information Systems Development in Forestry: A Model for Applied Software Development" (Kaila ja Marshall 1994) käsikirjoitus syntyi jo syksyllä 1990. Kirjoittamisen lähtökohta on Larry Marshallin kanssa käytävät keskustelut Kanadan kansallisessa metsäinstituutissa Petawawassa. Keskustelut käsittelevät hyönteistuhojen torjunnan asiantuntijajärjestelmän kehittämishankkeen tuotannollisia ja organisatorisia ongelmia. Ongelmien yleinen ratkaisumalli hahmottui, kun Communications of the ACM:n 1990 syyskuun numerossa julkaistiin objektimallintamista koskeva kooste "Surveying Current Research in Object Oriented Design" (Wirfs-Brock ja Johnson 1990). Koosteessa tarkasteltiin useita objektilähestymistapaan liittyviä systemointiprosessin teoreettisia malleja (Boehm 1988, Henderson-Sellers ja Edwards 1990, McGregor ja Korson 1990). Organisatoristen kysymysten osalta mallit osoittautuvat kuitenkin riittämättömiksi. Ongelman ratkaisutapa määriteltiin tietojärjestelmien kehittämisen ja ohjelmistotuotannon hierarkkisen spiraalimallin perusteella (Iivari 1990a, 1990b). Tarkastelussa todettiin spiraalimallin sopivuus erityisesti metsätieteellisessä työssä tapahtuvan objektisuuntautuneen systeemianalyysin, systeemisuunnittelun ja tietojärjestelmätoteutuksen viitekehikoksi.

Artikkelissa esitellään aiemmasta poiketen tietojärjestelmien suunnittelun ja rakentamisen metamallien käsitteistöä sellaisena, kuin se esitetään systemointiteorian tutkimuksessa. Tekstissä argumentoidaan seuraavasti:

1. Tieteellisessä työssä tapahtuva ohjelmistotuotanto kohdistuu: 1) tutkimuksen työvälinetuotantoon, 2) tutkimusyhteisön sisäiseen käyttöön tarkoitettujen informaatiosysteemien ja sovellusohjelmistojen tuotantoon ja 3) metsätalouden sovellettavaksi tarkoitettujen informaatiosysteemien ja sovellusohjelmistojen tuotantoon. Eri kohdealueilla sovelletaan erilaista tietojärjestelmäkäsitteistöä.

2. Informaatiojärjestelmien analyysissä ja suunnittelussa tietojärjestelmien datatekninen toteuttamistapa ratkaisee, minkälaista metodologiaa käsitteellis-infologisessa analyysissä ja ohjelmistosuunnittelussa voidaan soveltaa (prosessiorientoituneelle ja objektiorientoituneelle lähestymistavalle on olemassa omat metodologiansa). Ratkaisutavan valinnalla tulee olla vain marginaalinen vaikutus ongelmanratkaisun organisatorisella tasolla.
3. Suomalaisen metsätalouden organisaatioissa käytetään ja kehitetään tietojenkäsittelyn kehittämis- ja tuotantovälineitä organisaatioiden omiin ekonomisiin tarkoitusperiin perustuen. Metsäntutkimuksen ja metsätalouden käytännön yhteinen informaatiojärjestelmäkulttuuri ei ole kehittynyt riittävästi tietojärjestelmätuotteiden siirron edellytysten osalta.
4. Metsäntutkimuksen ja metsätalouden käytännön tietojenkäsittelyn tekninen kehitysaste on huomattavan edistynyt verrattuna niiden organisatorisiin valmiuksiin teknologian siirron mahdollistamiseksi. Teoriassa suoraan tutkimuksesta käytäntöön tapahtuva tietojärjestelmä- ja ohjelmistokomponenttien tuotanto on mahdollista, mutta todellisuudessa metsäntutkimuksen tuottamien tietojärjestelmäkomponenttien osuus käytännön sovelluksissa on vähäistä.
5. Hierarkkisen spiraalimallin käsittein tarkasteltuna useimmat metsäntutkimuksen ja metsätalouden tietojärjestelmien kehittämisprojektit painottuvat datalogis/tekniselle tasolle. Tietojärjestelmätuotteiden teknologista siirtoa hankaloittavia tekijöitä voidaan vähentää organisatoristen systeemimallien tuottamisen avulla.
6. Hierarkkinen spiraalimalli tarjoaa soveltuvan lähtökohdan metsäntutkimuksen tieto- ja objektimallintamiseen perustuvien tietojärjestelmien suunnittelulle.
7. Organisaation-tason päävaiheen tärkeys korostuu erityisesti silloin, kun tietojärjestelmätuotteita suunnitellaan organisaatioiden väliseen yhteistoimintaan ja kun ohjelmistotuotteen tekijät tulevat eri organisaatioista. Organisaatioiden väliset erot saattavat estää hankkeelle välttämättömän tietämyksen integroinnin, yhtenäisen tulkinnan ja siirron.
8. Tietojenkäsittelyteknologian edistyminen luo (jatkuvasti) uusia mahdollisuuksia tutkimustulosten esillepanoon. Hierarkkisen spiraalimallin kolmea abstraktiotasoa voidaan soveltaa yhtenäisen ja pysyvän metsäkäsitteistön kokoamisessa tietojärjestelmätuotannon tueksi.

1990-luvun alussa metsäntutkimuksessa seurattiin tietojenkäsittelyn menetelmien kehittymistä intensiivisesti. Objektimallintamista (OOM, *object oriented modelling*) sovellettiin tekoälyperusteisten tietojärjestelmien suunnittelussa (kuva 6). Objektiorientoituneet ohjelmistotuotannon




Kuva 6. Metsäntutkimuksen tietojärjestelmäteoreettinen käsitteistö vuonna 1993.

menetelmiä otettiin käyttöön ja niillä jatkettiin tietämyskantojen kehittämisenä aloitettua työtä (Martin 1993). Tietokantaperusteista lähestymistapaa tukevien CASE-työvälineiden todettiin soveltuvan huonosti objektimallinnuksen välineiksi, mikä johti uusien ohjelmistosuunnittelun välineiden hankintaan ja kokeiluun.

Paikkatiedon käsittelyn ja kaukokartoituksen ohjelmistot vakiintuivat tutkimuksen perustyökaluiksi erityisesti metsäinventoinnin menetelmien kehittyessä. Metsäntutkimuslaitoksessa GIS-teknologiaan sitoutumista lisäsi myös metsäntutkimuksen paikkatietojärjestelmää rakentavan TUTGIS-projektin käynnistyminen (ks. kappale 2.2.2).

## 3.5 Objektien tunnistaminen informaatiojärjestelmien analysoinnissa ja mallintamisessa

Objektiohjelmoinnin yleistyttyä, objektisuuntautunutta analyysiä ja suunnittelua tukevat CASE-työvälineet tulivat markkinoille. Systeemin kuvausjärjestelmien painopiste siirtyi rakenteiden kuvaamisesta takaisin systeemien käyttäytymisen ja toiminnan kuvaamiseen (Monarchi ja Puhr 1992). Laskentavoiman kasvu tietokoneteknisellä tasolla jatkui. Voimakkaan kehityksen myötä rinnakkaisprosessointiin kehitetyn tietoteknologian hinta laski. Massiivisesti rinnakkaisen (*massively parallell*) tietokoneen tukea mallintamisessa ja visualisoinnissa alettiin pitää tärkeänä luonnonvarojen seurannan ja käytön tutkimuksessa.

Kehityksen myötä Saarenmaan (Kaila ja Saarenmaa 1990) esittämä metsätalouden päätöstukijärjestelmien kehittämisajatus: "Voidaan kuvitella, objektiorientoitunut metsätietokanta, jossa kasvumallit on talletettu

puita kuvaavaan dataan" kypsyi toteuttamisasteelle. Ilmiöiden simulointiin ja visualisointiin liittyvät menetelmät loivat uudenlaisen tavan tieteellisen tiedon esittämiselle. Käsitteellisen mallintamisen merkitys kasvaa kun virtuaaliseen todellisuuteen perustuvia sovelluksia ryhdytään kokeilemaan. Erityisesti fysiologisten ja fysikaalisten luonnonilmiöiden sekä logististen prosessien tutkimuksen uskotaan hyötyvän ao. menetelmien kokeilusta.

Metsäntutkimuslaitoksessa tehtiin 1992 selvitystyö massiivista rinnakkaisprosessointia tukevan tietokoneen hankkimiseksi. Laitoksen tietojenkäsittelykulttuuri osoittautui kuitenkin rinnakkaisprosessoinnin edellyttämän ohjelmointikäytännön osalta kehittymättömäksi. Selvitystyön edetessä ilmeni, että Metsäntutkimuslaitoksessa tehtävän sovelluskehitystyön valmiudet eivät vielä riitä uuden teknologian tarjoamien mahdollisuuksien hyödyntämiseen. Laitoksessa tuotetulla ohjelmistolla suoritetut testit osoittivat skalaariteknologiaan perustuvan laskennan toteutusvaihtoehdot rinnakkaisprosessointia tehokkaammaksi. Lisäksi laitoksen organisatoriset valmiudet soveltuvan ohjelmakoodin tuottamiseksi ja uuden teknologiatyypin vastaanottamiseksi osoittautuivat riittämättömiksi.

Asiakas- ja palvelintietokonearkkitehtuurien perustalle rakennettavien tietojärjestelmien rakentamisperiaatteet ja toteuttamismahdollisuudet edistyivät nopeasti. Internet ja erityisesti Gopher ja World Wide Web mahdollistivat keskitetyn tietopalvelujen jakelun suurille käyttäjäryhmille. Palvelujen kysyntä internet- ja organisaatioiden sisäisellä intranet-tasolla kasvoi erittäin nopeasti. Tietojärjestelmien kehittäjien huomio kohdistuu uudelleen tuottavien työtehtävien suoraan tukemiseen. Client-server tietokoneympäristön palveluiden ja ryhmätyöohjelmistojen kehittyminen synnytti uuden sovelluskehitysalustan, jonka soveltamisessa organisatoriset näkökohdat merkitsivät aiempaa enemmän.

Internet oli aluksi erityisesti tutkimusorganisaatioita kiinnostava informaation välityskanava ja informaatiojärjestelmien toteutusväline. Trendistä tuli myös Metsäntutkimuslaitoksen tietojärjestelmien kehittämisen painoala. Laitos ryhtyi Gopherin ja WWW:n kautta tarjoamaan palveluja, joilla pyrittiin kansainvälisesti huomattuun tasoon (MESI-hanke, ks. kappale 2.2.5). Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetty tekoälyperusteinen metsätuhojen tunnistamisjärjestelmä Sirex avattiin internetin kautta yleiseen käyttöön (Väkevä 1995, Perttunen ym. 1996b) ja IUFRO XX maailmankongressin informaatiojärjestelmä toteutettiin myös WWW:n avulla. Laitos ryhtyi ylläpitämään tietoverkossa olevaa metsäalan virtuaalikirjastoa. Laitoksen operatiivista johtamista tukeva tutkimuksen suunnittelujärjestelmästä (Pöntinen 1992) kehitettiin WWW-versio WebTUSKA, joka avattiin käyttäjille ensimmäisenä client-server-perusteisena intranet-sovelluksena.

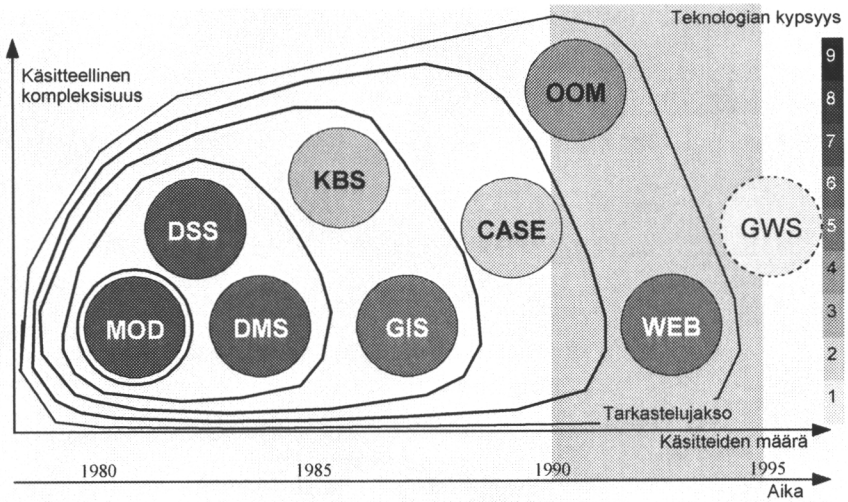
Tarkastelun viimeinen artikkeli ajoittuu ajankohtaan, ennen kuin hypermedia ja kansainvälinen tietoverkko alkavat hallita yleistä keskustelua. Se jatkaa metatasolla esitettävien objektilähestymistapaa kuvaavien mallintamismenetelmien esittelyä ja on sisällöltään aiemmin kirjoitettua

tarkastelua (Kaila ja Marshall 1995) täydentävä. Sen kirjoittamisen tarkoitus oli jatkaa spiraalimallin (Iivari 1990a, 1990b) soveltamiseen liittynyttä pohdintaa ja sovittaa mallin pohjalta kehitetty objektien tunnistamisen viitekehikko (Iivari 1991) metsäntutkimuksen ongelmakenttään. Artikkelissa todetaan seuraavaa:

1. Mallintaminen yhdistettynä kaukokartoitukseen ja paikkatietojärjestelmiin on strategisesti merkittävä tietojärjestelmien kehittämisen lähestymistapa suomalaiselle metsäntutkimukselle.
2. Systeemin määrittely tietokantaperiaatteella, johtaa tarpeettomaan dualismiin: staattinen tietokanta tarvitsee toimiakseen hyväksikäyttävän järjestelmän osana aina erikseen rakennettavan sovellusohjelman. Objektilähestymistapaan perustuva mallintaminen voi ratkaista dualismin ongelman.
3. Objektisuuntautuneen tietojärjestelmän rakentamismetodologiat eivät toistaiseksi ole kuvanneet sitä, kuinka tietojärjestelmän kehittämishanke tulisi organisoida.
4. Objektimallintamisen organisaation tason analyysia on vahvistettava. Objektisuuntautuneen tietojärjestelmän rakentamismetodologiat keskittyvät kuvaamaan tietosysteemin sisällön ja käyttäytymisen piirteitä. Tunnettujen analyysimenetelmien perusteella mallintaminen tukee analyyttisesti ohjelmistokomponenttien tuottamista, mutta mallinnettavan toiminnan kuvaamiseen kokonaisuuden tasolla ei ole kehitetty tietokantalähestymistapaa vastaavia menetelmiä.
5. Objektien tunnistamisen integroitu viitekehikko soveltuu metsätietoaseman organisaation tason kuvauksen laadintaan, kun kehittämiskriteerinä pidetään objektisuuntautunutta lähestymistapaa ja kehittämisen hypoteesina on virtuaalinen metsä.

1990-luvun puoliväliin tultaessa (kuva 7) tietojärjestelmien suunnitteluun liittyvää käsitteistöä hallitsi internet-palveluiden ja intranet-sovellusten kehittämistarpeisiin liittyvät kysymykset (WEB, *world wide web*). WEB-teknologia vakiinnutti asemansa metsäntutkimuksen tietojärjestelmävälineistössä nopeammin, kuin mikään aiemmista tietoteknologioista. Työryhmäohjelmistojen tarve tunnistettiin (GWS, *groupware systems*) ja tietojenkäsittelyn kehittämispolitiikka sidottiin löyhästi palvelujen integrointia korostaviin tavoitteisiin (Lehto ym. 1996).

Rinnakkaisprosessointiin perustuvan ohjelmistokehityksen mahdollisuudet mallintamisen tukena arvioitiin ja siihen perustuvan teknologian odotettiin vahvistavan objektimallintamisen käyttöä tutkimusmenetelmänä. Objektimallintamisen asema vahvistui, mutta samoja ongelmatyyppejä käsitelleen tietämyskantateknologian merkityksen kasvu pysähtyi. Tietosysteemien suunnittelussa sovellettiin formaaleja suunnittelumenetelmiä, mutta CASE-työvälineiden tukea tarvittiin harvoin.




Kuva 7. Metsäntutkimuksen tietojärjestelmäteoreettinen käsitteistö tutkimuksen lopussa, vuonna 1995.

Tässä yhteydessä kuvatun tarkastelujakson päättyessä tietoteknologian kehittämisen yleinen merkitys Suomessa nousi huippuunsa. Tietoteknologian kehityksen kärkipaikan saavuttaminen ja säilyttäminen nähtiin virallisesti yhteiskunnan tärkeäksi menestystekijäksi. Tavoitteet kirjattiin kansalliseksi tietojärjestelmästrategiaksi (Valtionvarainministeriö 1995). Metsäntutkimuslaitos määritteli myös oman roolinsa strategian toteuttamisprosessissa (Lehto 1995) ja tarkisti tietojärjestelmästrategiansa (Saarenmaa ym. 1990) tietohallintostrategiaksi (Lehto ym. 1996).

## 3.6 Tapaustutkimusten yhteenveto

Tapaustutkimusten tarkastelu synteesinä tuo esiin seuraavat seikat:

Taulukossa 1 kuvataan edellä esitettyjen tapaustutkimusten (kappaleet 2.2.1–2.2.5) tuloksena kehittämishankkeiden tietosisältöä sovellettujen normatiivisten mallien, käytettyjen työvälineiden ja kehitettyjen tietojärjestelmien tyyppien vertailemiseksi.

Vertailu osoittaa, että tarkastelujakson lopussa Metsäntutkimuslaitoksen tietojärjestelmien kehittämistyössä ei ole omaksuttu vakiintuneita menetelmällisiä käytäntöjä. Vaikka luvussa 2 esiteltyjen tapaustutkimusten kohdeprojektit on valittu tarkasteluun niiden edustavuutensa vuoksi, ei niiden perusteella voida osoittaa tietojärjestelmien kehittämisessä mitään toimintatapoja yhtenäistävää käytäntöä. Sen sijaan tarkastelu tuo korostetusti esiin sen, että kehittämishankkeissa on kokeiltu erilaisia teknologioita ja niiden yhdistelyä.

Taulukko 1. Systemointimallien soveltamisen käsitteistö esimerkkihankkeissa

| Kehittämishanke | Kehittämisprosessin mallintamisen menetelmät | Tietojärjestelmätuotteen mallit | CASE-kokeilut | Iteraatiot | Työvälineet | Tietotekniologiatyypit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| KEKO | PIOCO, Rakenteellinen analyysi (SA) | Metsätalouden kokonaistietojärjestelmä, Koealojen peruslaskenta (KPL) | IEF | Tietojärjestelmän kehittämishankkeen koko elinkaaren 2. toisto | Ingres, ABF | DMS DSS |
| TUTGIS | Prototyyppilähestymistapa, Systeemien rakentamismenetelmä (SRM, IE), projektitoiminnan mallit, tulosjohtamisen menetelmät | Metsätalouden kokonaistietojärjestelmä, Luonnonvaratietojärjestelmän tietomalli (LUOTI) | IEF | Tietojärjestelmän kehittämishankkeen koko elinkaaren 3 toisiaan seuraavaa toistoa | Ingres, ABF, ArcInfo, ArcView | DMS DSS GIS |
| METINFO | Prototyyppilähestymistapa, Rakenteellinen analyysi (SA) | Metsäklusterin informaatiopalvelu, Metlan tietojärjestelmästrategia | IEF | Tietojärjestelmän kehittämishankkeen elinkaaren osittainen toisto | Ingres, ABF, | MOD DMS DSS |
| LIGNUM | Spiraalimalli, Objektien mallintamistekniikka (OMT) prototyyppilähestymistapa | Puun fysiologiset mallit | OMTool | Ohjelmiston analyysi, määrittely ja toteutus | C++ | MOD OOM |
| MESI | Spiraalimalli, projektitoiminnan mallit, prototyyppilähestymistapa | HELI | – | Informaatiojärjestelmän analyysi, määrittely ja toteutus | Gopher | WEB |

Erityisesti kehittämisprosessin mallintamisen menetelmiä (toinen sarake) tarkasteltaessa voidaan havaita, että hankkeiden läpivienti on tapahtunut kombinoimalla normatiivisten mallien ominaisuuksia tarkoitukseen soveltuvalla tavalla. Esimerkiksi KEKO-hankkeessa metamallien, kuten PIOCO ja Spiraalimalli, käsitteellistä sisältöä on käytetty viitekehikkona kehittämisprosessin ja tietojärjestelmätuotteen sisältöä kuvattaessa. Tietojenkäsittelyn käytännönläheisempiä metodologioita, kuten SA ja IE, on sovellettu systeemin toiminnan ja tietojärjestelmän tietosisällön kuvaukseen. Projektinohjaus on toteutettu tapauskohtaisesti soveltuvilla menetelmillä. LIGNUM- ja MESI-hankkeissa on kehittämistyötä ohjattu intensiivisessä vaiheessa Spiraalimallilla, mutta järjestelmän

saavutettua riittävän valmiusasteen työtä on jatkettu löyhästi ohjaten prototyyppilähestymistapaan perustuvalla menetelmällä.

On myös ilmeistä, että esimerkkihankkeissa KEKO, TUTGIS ja METINFO, joissa kohdesysteemi on jo aiemmin toteutettu, systemoinnin metamallien ja tietojärjestelmien kehittämismetodologioiden soveltamisen motiivit ovat liittyneet olemassaolevien tietojärjestelmien ominaisuuksien kuvaamiseen. Kokonaan uutena hankkeena käynnistettävissä projekteissa LIGNUM ja MESI menetelmien soveltaminen apriorisen tietojärjestelmän mallintamiseen on ollut normatiivisessa mielessä merkityksellisempää.

Taulukon 1 tarkastelu tuo esiin kehittämismallien soveltamiseen liittyviä ajallisia näkökohtia. Sekä kehittämisprojektin että kehitettävän tietosysteemin mallintamiseen on sovellettu kulloinkin tarjolla olleita menetelmiä. Esimerkiksi PIOCOn valmistuminen ja case-välinein tuettujen menetelmien saatavilletulo on huomioitu järjestelmien kehittämistyössä. Uusia kehittämismalleja on pyritty kokeilemaan heti. Sovellettujen menetelmien, tietoteknologiatyyppien ja kehittämisympäristöjen vertailussa voidaan huomata samanaikaisuudesta johtuvaa riippuvuutta. PIOCOn, IE:n ja SA:n voidaan päätellä soveltuvan paremmin tietokantaperusteisten ja päätöstukitietojärjestelmien mallintamiseen, kun taas kehittyneemmät Spiraalimalli ja OMT soveltuvat mallintamiseen ja objektilähestymistapaan perustuvan ohjelmistotuotannon ja informaatiojärjestelmien kehittämiseen. Spiraalimallin osalta aiemmin tekstissä (luku 3.4) on esitetty olettamus sen soveltuvuudesta myös traditionaaliseen mallintamiseen.

# 4 Tarkastelu

## 4.1 Yleiset päätelmät

Tämän tutkimuksen perusteella on empiirisesti todettu, että olettamus systemoinnin metamallien soveltuvuudesta, kattavuudesta ja pitkäkestoisesta selitysvoimasta pitävät paikkansa metsäntutkimuksessa. Metamallien käyttökelpoisuus metsäntutkimuksen tietojärjestelmien rakentamistyön ohjaamisessa on säilynyt riippumatta soveltavan organisaation, tietoteknologian, datan esitystavan ja systeemien soveltamistarpeiden merkittävistä muutoksista.

Tutkimus on tuottanut tietoa tietojärjestelmien suunnittelun normatiivisten mallien soveltamistavoista ja käytettävyydestä metsäntutkimuksessa. Metsäntutkimuslaitoksessa tutkimustoiminnan ja hallinnon tietojärjestelmäkulttuuri on todettu riittävän kehittyneeksi mallien avulla ohjattavien kehittämisprojektien toteuttamiseen. Vaikka systemoinnin teoreettiset metamallit soveltuvat tieteellisen työn yhteydessä tapahtuvaan tietojärjestelmien kehittämistyöhön hyvin, niin sisällöllisesti yksityiskohtaisemmat ja systeemikomponenttien rakentamista suoraan ohjaa-

vat mallit ovat teoreettisia metamalleja soveltuvampia esimerkiksi metsätalouden käyttöön tarkoitettujen tietojärjestelmien kehittämisessä. Teoreettisten systemointimallien korkea abstraktiotaso ja niiden käsitteellinen laajuus tekevät mallien omaksumisen liian vaikeaksi. Kun mallin käyttötarve ymmärretään usein kertakäyttöiseksi, niin tarkoitukseen soveltuvia yksinkertaistettuja menetelmiä suositaan. Näyttää siis siltä, että jos mallien abstraktiotaso on tapauskohtaisesti tarkoitukseen sopiva, niitä myös sovelletaan halukkaasti.

On osoitettu, että tutkimuslaitoksen toimintaa voidaan tukea normatiivisten mallien tuella tuotetun tietojärjestelmien kehittämisstrategian avulla. Metsäntutkimuslaitoksessa tietojärjestelmästrategian (Saarenmaa ym. 1990) määrittelytyö toteutettiin tietojärjestelmätutkimuksena normatiivisen rakentamismetodologian mukaisesti. Organisaatiouudistuksen yhteydessä tehtiin tutkimuslaitoksen tietohallinnon evaluointi (Metsäntutkimuksen tietohallinnon evaluointi 1994). Jatkokehittäminen ohjeistettiin uudella tietohallintostrategialla (Lehto ym. 1996). Prosessin perusteella on todettu, että institutionaaliseen tai muutoin yleiseen käyttöön tuotettujen tietojärjestelmien osalta tarvitaan tutkimusorganisaation sisäisiä kehittämismalleja. Tutkimusorganisaation mallintaminen liiketoiminnallisten organisaatioiden tapaan on siis mahdollista. Tutkimustoiminnan tueksi voidaan määritellä tieteellisen työn päämääristä johdettu tietojärjestelmästrategia. Strategian tuottamisessa CASE-työvälineellä voi olla ratkaiseva merkitys. Tietojärjestelmien suuren määrän perusteella normatiivisten kehittämismallien systemaattisesta soveltamisesta olisi taloudellista hyötyä.

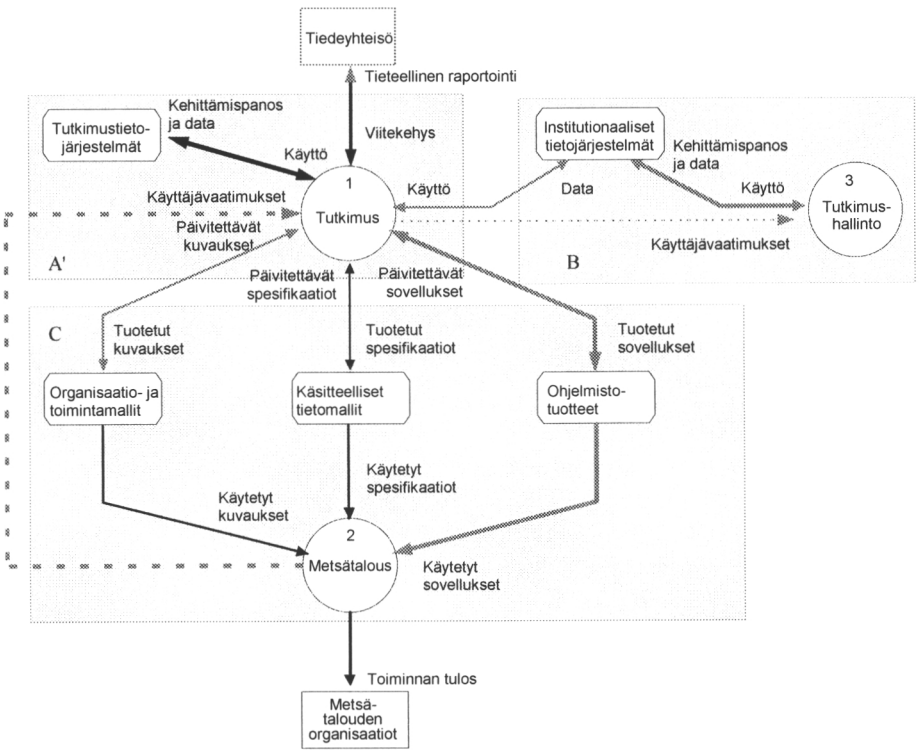
On myös todettu, että toiminnan tavoitteen kuvaava tietojärjestelmästrategia, ei yksin riitä ohjaamaan kehittämistätyötä, vaan sitä on tuettava toimenpidesuunnitelmalla. Metsäntutkimuslaitoksen tietohallintostrategia (Lehto ym. 1996) sisältää metsäntutkimuslaitoksen pitkäntähtäyksen organisatoriset toimintatavoitteet sekä kokoavan katsauksen tietojärjestelmien kehittämisen tilaan. Tietohallintostrategian perusteella voidaan todeta, että laitos ei ole voinut toteuttaa sitoutumistaan "luonnonvarojen tietojärjestelmän kehittämisstrategiaan", niin kuin tietojärjestelmästrategiaa laatineen hankkeen työryhmä suositti (Saarenmaa ym. 1990). Myös oletus siitä, että CASE-työvälineen soveltaminen olisi johtanut laitosyhtymän tietojärjestelmien keskitettyyn ylläpitoon ja kehittämiseen ei toteudu.

Tutkimuksen yhteydessä havaittuja toimintaympäristön muutoksia voidaan havainnollistaa piirtämällä kuvasta 1 uusi versio, joka kuvaa viitekehikossa tapahtuneet muutokset.

Strategioilla ohjatun kehityksen myötä tietojärjestelmien soveltamisen määrä on kasvanut. Kun aiemmin tietojärjestelmien kehittäminen oli ensisijaisesti tutkimustoiminnan menetelmällistä tukemista, niin Metsäntutkimuslaitoksen uudelleen organisoinnin ja valtion hallinnon tietojenkäsittelyn kehittämisen seurauksena tietojärjestelmiä on ryhdytty tuottamaan myös tutkimushallinnon tarpeisiin ja tutkimuslaitoksen asiakas-

palvelun tueksi. Normatiivisten mallien soveltaminen poikkeaa mahdollisuuksien ja sisällön osalta riippuen siitä, millä kohdealueella malleja ajatellaan käytettäväksi (kuva 8).

Vuonna 1982 tutkimustoiminta nähtiin yhtenäisenä sovellusalueena (kuva 1, alue A), johon kuuluu sekä aineistojen käsittelyn tietojärjestelmien ja menetelmällisten ohjelmistotuotteiden kehittäminen että tutkimushallinnon tietojenkäsittelyn tuki. 1995 tutkimustoiminnan sisällä tietojärjestelmien kehittäminen on jakautunut kahtia tieteellisten aineistojen käsittelyn tietojärjestelmien ja tutkimusmenetelmällisten ohjelmistotuotteiden tuotannon (kuva 8, alue A') sekä hallinnon soveltamien institutionaalisten tietojärjestelmien tuotannon (B) osa-alueisiin. Tutkimuksen tuloksia hyödyntävä metsätalouden käytäntö toteuttaa omaa tietojenkäsittelypolitiikkaansa ja asettaa tutkimustoiminnalle selkeitä tavoitteita ja rajoituksia tietojärjestelmäkomponenttien tuottamiseksi. Tietojärjestelmäteknologian siirto valmiiden ohjelmistotuotteiden muodossa tutkimuksesta käytäntöön (C) on vahvistunut. Se edellyttää organisaatioiden toimintojen synkronointia, vastaanottavan osapuolen osallistumista ja




Kuva 8. Metsäntutkimuksen tietojärjestelmien ja ohjelmison kehittämistyön käsitteellinen viitekehys vuonna 1995 tietovirtakaviona. Verrattaessa kuvaan 1 kehittämistyön sisältömuutokset on kuvattu harmaina tietovirtoina. Painoalamuutokset ilmaistaan tietovirtaa kuvaavan viivan vahvuuden muutoksella.

tapauskohtaisia yhteistoimintasopimuksia, mikä lisää metsätalouden ohjausvaikutusta tutkimuksessa. Kun metsätalouden käytäntö tuottaa itse tietojärjestelmien kehittämisen organisaatio- ja toimintamallit sekä sovellusalansa käsitteelliset tietomallit, niin tutkimustoiminnassa aiemmin ylläpidetty ajatus tutkimuksen tuottamasta metsätalouden kokonaistietojärjestelmästä on hylättävä. Tutkimuksesta metsätalouteen vietävien tietojärjestelmätuotteiden tulee olla suoraan hyödynnettäviä ja käsitteistöltään käytännönläheisiä, muutoin niillä ei ole vaikutusta.

Metsäntutkimuksen ja metsätalouden yhteistoiminta on vuoteen 1992 saakka kustannettu pääsääntöisesti valtion budjetista. Tutkimustoimintaa on rahoitettu tieteellisen rahoitusjärjestelmän kautta. Elinkeinoelämän kanssa tehdyt sopimukset ovat olleet poikkeuksia. Maksuperustelain voimaantultua Metsäntutkimuslaitos on uudelleenorganisoinut toimintaansa sille annetun maksuperusteohjeen mukaisesti, mikä määrittelee tietokoneohjelmat, tutkimuksessa käytettävät aineistot ja niihin perustuvat palvelut maksullisiksi suoritteiksi, joista laitoksen tulee periä valtiolle aiheutuneet kustannukset kattava maksu. Lakiuudistus on muuttanut tutkimuksen ja sen tuloksia soveltavan käytännön vuorovaikutusta liiketaloudellisten periaatteiden mukaiseksi. Sen seurauksena tutkimustoiminnan tietojärjestelmätuotannon ja siihen liittyvän asiakaspalvelun on perustuttava asiakaskohtaisiin sopimuksiin. Kehityslinja vahvistuu, kun elinkeinoelämän vaikutusmahdollisuuksia tutkimus- ja kehittämishankkeissa lisätään.

Tieteellisessä tutkimustyössä tutkimuksen tarvitsemien tietojärjestelmien tuotanto jatkuu. Metsäntutkimuksessa on kokeiltu erilaisia menetelmiä normatiivisten mallien soveltamisen edistämiseksi. On omaksuttu yleinen, tieteelliseen julkaisutoimintaan sovitettu toimintatapa ohjelmistotuotannon ja tietosysteemien rakentamisen menetelmällisten suositusten esittämiseksi. Suositukset on muotoiltu tutkimustyön yhteydessä saatujen kokemusten perusteella ja raportoitu tieteellisissä julkaisusarjoissa (esim. Power ja Saarenmaa 1995). Julkaisuja on käytetty hyväksi metsätalouden tietojärjestelmäkoulutuksessa.

Normatiivisista malleista käyty keskustelu on vaikuttanut siihen, että useissa tutkimushankkeissa on ymmärretty lähestymistavan edut tietosysteemien ja sovellusohjelmiston rakentamisessa. Näytöt onnistuneista projekteista ovat johtaneet tietojärjestelmien (esim. KEKO ja METINFO) normatiivisilla malleilla kontrolloituun uudelleen määrittelyyn ja kehittämiseen. Metsäntutkimuslaitoksen tietohallintostrategiaan (Lehto ym. 1996) liittyvästä tietojärjestelmäluettelosta, jota tässä yhteydessä on täydennetty ja modifioitu (liite C), voidaan osoittaa 21 tietojärjestelmää, joiden kehittämisessä on sovellettu normatiivisesti jotain formaalia lähestymistapaa ohjelmiston tai tietojärjestelmän tarkoituksen, sisällön tai teknisen ratkaisun kuvaamiseksi ennen tietojärjestelmän tai sen toimintaa parantavien osien implementointia.

## 4.2 Valideetti ja reliabiliteetti

### 4.2.1 Kattavuus

Tutkimuksessa kuvataan kattavasti Metsäntutkimuslaitoksen tietojärjestelmien kehittämiseen liittyviä ilmiöitä vuosien 1982 ja 1995 välillä. Tarkasteltavan aiheen kannalta tutkimus on yleinen ja kattaa sekä tutkimustoiminnan, tutkimushallinnon että tutkimuksen tuloksia hyödyntävän metsätalouden käytännön näkökulman aiheeseen. Kun Metsäntutkimuslaitoksen merkitys metsäalan tutkimus- ja kehittämistoiminnan keskeisenä organisaationa Suomessa huomioidaan, saavat monet esitetyistä periaatteista yleistä merkitystä metsäntutkimuksen ja metsätalouden alalla. Metsätalouden suunnittelun ja metsäeläintieteen (entomologian) aiheisiin liittyvä tietojärjestelmien kehittäminen painottuu muuta metsäntutkimustoimintaa enemmän.

Normatiivisten kehittämismallien osalta tutkimuksessa on esitetty kaikki menetelmät, joita Metsäntutkimuslaitoksessa on sovellettu. Tietojärjestelmien kehitystrendien tarkastelussa on otettu huomioon kaikki yksilöitävissä olevat tietoteknologiatyypit, joihin Metsäntutkimuslaitos on tehnyt investointeja. Tutkimuksen aineisto kattaa kaikki laitoksessa tarkastelun aikana käytössä ja kehitteillä olleet yleiskäyttöiset tietojärjestelmät.

Tutkimus on kohdistunut tietojärjestelmien kehittämisen organisatorisiin soveltamisperiaatteisiin ja tarkastelun kohteena ovat olleet systemoinnin käsitteelliset metamallit, jotka korostavat tietojärjestelmien rakentamisen yleisiä normeja. Normatiivisten mallien soveltamistapojen kuvaus on tehty esimerkein, joissa annetut tapauskohtaiset tietojärjestelmien kehittämishankkeet kuvataan yksityiskohdissaan. Tutkimuksessa myös yksilöidään tarkastelun aikana tuotantokäytössä olleet tietojärjestelmät (liite C).

### 4.2.2 Ajankohtaisuus

Tutkimus on ajallisesti kattava. Pitkän tarkastelujakson aikana metsäntutkimus on muuttunut sekä sisältönsä että suoritustapansa osalta. Tietotekniikka on muuttanut merkittävällä tavalla tiedonkeruun, aineistonkäsittelyn ja raportoinnin käytäntöjä. Tiedonkeruussa tietokoneet ovat tulleet tukemaan mittaustoimintaa. Mittaus- ja koetoiminnan tuottamien numeeristen aineistojen käsittelyssä tietotekniikka on lisännyt käytettävissä olevia menetelmiä. Tietotekniikasta itsestään on tullut tutkimustulosten esittämisen muoto ja väline. Tietotekniikan sovittaminen jatkuvasti muuttuviin tutkimustoiminnan tarpeisiin on tehnyt siitä menetelmällisen kehittämisen kohteen, jonka resurssitarpeet otetaan tutkimuksen suunnittelussa erikseen huomioon. Tieteellisen työn raportoinnissa tietotekniset mahdollisuudet on otettu käyttöön sitä mukaa, kun teknologia on edistynyt.

Tietojärjestelmien normatiivisten rakentamismallien kehittämisen ja soveltamisen ajankohtaisuutta arvioitaessa on kiinnitettävä huomiota siihen aikaan, jolloin tutkimuksen tuloksina esitetyt artikkelit on kirjoitettu. Seurantatutkimuksen perusteella on todettu, että tieteelle ominaiseen tapaan metsäntutkimus etenee usein alueille, joilla tietojärjestelmiä on kehitettävä kaikista edistyneimpien teknologioiden tuella. Metsäntutkimuslaitoksessa on reagoitu yleensä nopeasti tietojenkäsittelyn menetelmien kehittymissä tapahtuneisiin muutoksiin. Sovellusalakohtaisia normatiivisia malleja vastaavien systeemien rakentamiseksi ei aina ole käytettävissä. Tällöin taustastrategioiden ja systemoinnin metamallien käyttöarvo korostuu.

Toisaalta tietotekniikan soveltamisessa teknologisista muutoksista riippumattomien toiminnan kehittämismallien tarve kasvaa jatkuvasti. Tarkastelunjakson aikana tietojärjestelmien mahdolliset sovellusalat ja tietotekniset mahdollisuudet ovat jatkuvasti lisääntyneet. Käytössä olleet tietojärjestelmät ovat kasvaneet. Yksittäisistä tietojärjestelmistä on tullut käsitteistöltään ja palveluiltaan laajempia. Tietojärjestelmien integrointi on tullut mahdolliseksi. Useimmat tietojärjestelmät ovat myös osoittautuneet pitkäikäisiksi. Toisin sanoen niiden tarjoamien palvelujen kysyntä on pysynyt vakaana tai kasvanut siten, että tietojärjestelmien siirtäminen uusittuun teknologiaympäristöön on ollut perusteltua laitteistouudistusten yhteydessä.

### 4.2.3 Luotettavuus

Tutkimus on toteutettu toimintatutkimuksena. Aineisto on muodostunut siten, että kehittämishankkeisiin osallistuneiden henkilöiden tieto toiminnan sisällöstä ja muutoksesta on kirjattu hankkeiden toteutuksen ja tuloksena syntyneiden tietojärjestelmien käytön aikana. Tutkimusta varten ei ole kerätty systemaattista aineistoa, jota voitaisiin analysoida esimerkiksi tilastotieteellisin välinein. Koska täsmällisten mittaukseen perustuvien menetelmien soveltaminen on toteuttamistavan johdosta ollut mahdotonta, aineisto on muodostettu kokonaisuutta kuvaavista asiantuntijanäkemyksistä ja tapauskohtaisista esimerkeistä. Puutteista huolimatta aineiston luotettavuutta voidaan pitää hyvänä, koska sisältöön liittyvät asiat on kirjattu suoraan tietojärjestelmien kehittämisen yhteydessä laadittuihin dokumentteihin ja asiantuntijanäkemykset ovat useiden kehittämistoimintaan osallistuneiden asiantuntijoiden hyväksymiä. Raportin kirjoittamisen aikaan useimmat kehitetyistä tietojärjestelmistä on edelleen toiminnassa. Niin muodoin raporttiin kuvatut seikat voidaan jälkikäteen todeta olemassaoleviksi ja tutkimustuloksina esitettyjä argumentteja voidaan arvioida uudelleen.

On selvää, että toteutuneessa muodossaan tutkimusta ei voi toistaa. Aiheen käsittelyn luotettavuutta ja yksityiskohtaisuutta olisi voinut merkittävästi parantaa lisäämällä tiedonkeruuseen ja dokumentoidun aineiston käsittelyyn systemaattisia osia. Koska tietojärjestelmien kehit-

tämisen metamalleissa on määritelty jokaista kehittämishanketta tai kehitettävää tietojärjestelmää koskevat yleiset periaatteet, niin systemaattisesti seurattavien ilmiöiden määrittely aiheen tutkimiseksi olisi ollut selvästi mahdollista. Tarkastelun kohteena olleet lukuisat tietojärjestelmien kehittämishankkeet olisivat tarjonneet myös objektiivisen aineiston ennakkoon määriteltyjen ilmiöiden toistuvaan tarkasteluun.

## Kirjallisuus


Baskerville, G. & Moore, T. 1988. Forest Information Systems that Really Work. Forestry Chronicle 64: 136–140.

Boehm, B.W. 1988. A Spiral Model of Software Development and Enhancement. Computer, May 1988: 61–72.

Booch, G. 1991. Object oriented design with applications. The Benjamin/Cummings Publishing Company. 580 s.

Bubenko, J., Langefors, B. & Solvberg, A. (toim.). 1971. Computer-aided information systems analysis and design. The first Scandinavian workshop. Aarhus, Denmark, on April 14–16, 1971.

Checkland, P. 1981, Systems thinking, systems practice. J. Wiley, Chichester, New York. 330 s.

Coad, P. & Yourdon, E. 1990. Object Oriented Analysis. Yourdon Press, Prentice Hall. 233 s.

Codd, E.F. 1970. A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. Comm. of the ACM 13(11): 377–387.

— & Dean A.L. (toim.). 1971. Proceedings of 1971 ACM-SIGFIDET Workshop on Data Description, Access and Control, San Diego, California, November 11–12, 1971. ACM, New York.

Coulson, R.N., 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.

Date, C.J. 1985. An introduction to database systems. Addison-Wesley systems programming series. Addison-Wesley Pub. Co., Reading.

DeMarco, T. 1978. Structured Analysis and Systems Specification. Yourdon Press Computing Books, Prentice Hall, Engelwood Cliffs.

Haseman, W.D. & Whinston, A.B. 1977. Introduction to Data Mangement. Richard D. Irwin Inc., Irwin Series in Information and Decision Sciences, Homewood, III. 423 s.

Heinonen, J. 1984. Koepuiden otanta ja koepuutietojen yleistäminen. KPL, koealojen peruslaskentaohjelmisto. Moniste.

— 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. Käyttöohje. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504. 80 s.

Henderson-Sellers, B. & Edwards, J.M. 1990. The Object Oriented Systems Life Cycle. Comm. of the ACM 33: 142–159.

Häkkinen, R. 1996. Metlan tilastollisen tietojenkäsittelyn historia (s. 3–10), BMDP (s. 11–12), LogXact (s. 21), Resampling Stats (s. 31), SOLO/NCSS (s. 37), SPA (s. 38–39), StatXact (s. 47–48). Julkaisussa: Hyvönen, J. & Häkkinen, R. (toim.). Metlan tilastomatemaattiset ohjelmistot. Monistesarja 14.0. Metsäntutkimuslaitos, tietohallintopalvelut.

Iivari, J. 1982. Taxonomy of the Experimental and Evolutionary Approaches to Systemeering. Julkaisussa: Hawgood, J. (toim.). Evolutionary information systems. North-Holland, Amsterdam.

— 1983. Contributions to the Theoretical Foundations of Systemeering Research and the PIOCO model. Acta Universitatis Ouluensis A 150.

— 1987. A Methodology for IS Development as an organizational Change: the IFIP case. Julkaisussa: Järvinen, P. (toim.). The Report of the 10th IRIS Seminar, Part 1., Acta Universitatis Tamperensis, University of Tampere.

— 1990a. Hierarchical Spiral Model For Information System and Software Development. Part 1. Theoretical background. Information and Software Technology 32: 386–399.

— 1990b. Hierarchical Spiral Model For Information System and Software Development. Part 2. Design process. Information and Software Technology 32: 450–458.

— 1991. Object-oriented information systems analysis: A framework for object identification. IEEE Trans. s. 205–218.

— & Koskela, E. 1979. Choice and Quality Criteria for Data System Selection. Julkaisussa: Samet, P.A. (toim.). Proceedings of EuroIFIP 79, European Conference on Applied Information Technology, North-Holland, Amsterdam, 1979.

— & Koskela, E. 1987. The PIOCO model for IS design. MIS Quarterly 11: 3.

Juvakka, M., Nalli, A., Nuutinen, T. & Nykänen, J. 1994. Tutkimusmetsien tietojärjestelmä TUTGIS, tilannekatsaus vuoden 1994 lopussa. Moniste. Metsäntutkimuslaitos. 14 s.

Järvinen, P. & Järvinen, A. 1996. Tutkimustyön metodeista. Opinpaja, Tampere.

Kaila, E. 1985. Havaintojen käsittely ja aineiston muodostus metsäntutkimuksen tiedonhallinnan näkökulmasta. Silva Fennica 19(1): 61–65.

— 1992. Information systems analysis and modelling: The problem of object identification. Julkaisussa: Salminen, H. & Katermaa, T. (toim.). Simulation of Forest Development. Presentations from a symposium held in Saariselkä, Finland, October 12–14, 1991. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 407: 66–74.

— & Marshall, L. 1995. Information Systems Development in Forestry: A Model for Applied Software Development. Julkaisussa: Power, J.M., Strome, M. & Daniel, T.C. (toim.). Decision Support – 2001. Volume 1. Proceedings of the Combined events of the 17th Annual Geographic Information Seminar and the Resource Technology '94 Symposium. Toronto, September 12–16, 1994. Resource Technology Institute. s. 60–73.

— & Saarenmaa, H. 1990. Tietokoneavusteinen päätöksenteko metsätaloudessa. Folia Forestalia 757. 34 s.
— & Taipale, M. 1984. TUTKA-tiedonhallintaohjelmisto: Tietokannan muodostus ja käyttö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 157. 130 s.
Kangas, J., Loikkanen, T., Pukkala, T. & Pykäläinen, J. 1996a. A participatory approach to tactical forest planning. Acta Forestalia Fennica 251. 24 s.
— , Pukkala, T. & Pykäläinen, J. 1996b. Vuorovaikutteinen heuristinen optimointi yksityismetsien suunnittelussa. Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja 3: 231–244.
— & Pukkala, T. 1996. Operationalization of biological diversity as a decision objective in tactical forest planning. Canadian Journal of Forest Research 26: 103–111.
Kerola, P. & Järvinen, P. 1975. Systemointi II. Oy Gaudeamus Ab, Helsinki.
Kinnunen, H. & Nuutinen, T. 1988. Metsätalouden tietojärjestelmät seminaari Rovaniemellä 18.–19.11.1987. Silva Carelica 10.
Kilkki, P. 1985. Timber management planning. Silva Carelica 5. 160 s.
— 1988. Kokonaissuunnittelujärjestelmän toteuttaminen. Esitelmä Metsätalouden tietojärjestelmät seminaarissa Rovaniemellä 18.–19.11.1987. Silva Carelica 10.
— & Tomppo, E. 1990. Valtakunnan metsien inventointi uudistuu. Metsä ja Puu 6: 12–13.
Langefors, B. 1965. Theoretical Analysis of Information Systems. Studentlitteratur, Lund.
Lehto, K. 1995. Metla ja tietoyhteiskunnan kehittäminen. Kirje 17.2.1995, TES 37 9/32/95. Vastaanottaja: MMM, Hallinto-osasto, Tietohallintoyksikkö. Viite: VNK 72/47/95, MMM Dnro 560/23/95. Toimenpiteet suomalaisen tietoyhteiskunnan kehittämiseksi.
— & Saarenmaa, H. 1990. SRM-tietojärjestelmätutkimus julkishallinnon tutkimuslaitoksessa. Tietojenkäsittelytiede, numero 1, maaliskuu 1990. Tietojenkäsittelytieteen Seura ry:n julkaisu.
— , Saarenmaa, H., Salminen, H., Kurttio, O., Pöntinen, J., Leppänen, P. & Nykänen, J. 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tietohallintostrategia 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 600. 35 s.
Leppänen, M., Järvinen, P. & Kerola, P. 1977. Tietojärjestelmien hyväksikäytön näkökulma. Tietojenkäsittelyliitto ry:n julkaisu 37.
Lundeberg, M., Goldkuhl, G. & Nilsson, A. 1981. Information Systems Development: A Systematic Approach. Prentice-Hall, Inc., Engelwood Cliffs.
Martin, J. 1977. Computer data-base organization. Prentice Hall, Engelwood Cliffs.
— 1989a. Information Engineering, Book I, Introduction. Prentice Hall, Engelwood Cliffs.
— 1989b. Information Engineering, Book II, Planning and Analysis. Prentice Hall, Engelwood Cliffs.
— 1989c. Information Engineering, Book III, Design and Construction. Prentice Hall, Engelwood Cliffs.

— 1993. Principles of Object-Oriented Analysis and Design, P T R. Prentice Hall, Engelwood Cliffs.
McGregor, J.D. & Korson, T. 1990. Understanding Object-Oriented: A Unifying Paradigm. Comm. of the ACM 33: 140–160.
Mellor, S.J. & Ward, P.T. 1986. Structured Development for Real-time Systems. Vol. 3: Implementation modelling techniques. Yourdon Press.
Metsäntutkimuslaitoksen tietohallinnon evaluointi. 1994. Moniste. VTKK Konsultointi. 20 s.
Metsäntutkimuslaitoksen vuosikertomus 1991. 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedotus, Helsinki.
Metsäntutkimuslaitoksen vuosikertomus 1994. 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedotus, Helsinki.
Mikkonen, M. & Soini, T. 1988. Yrityksen tietosuunnittelu. Weilin+Göös, Espoo. 344 s.
Monarchi, D.E. & Puhr, G.I. 1992. A research Typology for Object Oriented Analysis and Design. Communications of the ACM 35(9): 35–47.
Mäkisara, K. & Tomppo, E. 1996. Airborne Imaging Spectrometry in National Forest Inventory. Julkaisussa: Stein, T.E. (toim.). IGARSS'96 – 1996 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Remote Sensing for a Sustainable Future. Vol. II. Piscataway, N.J. s. 1010–1013.
Nalli, A. 1994. TUTGIS-Kuviotiedon hallinta. Versio 1.10. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, metsänkasvatuksen tutkimusosasto. 56 s. + liitteet.
— , Nuutinen, T. & Päivinen, R. 1994. Paikkasidonnaiset rajoitteet metsäsuunnittelussa. Julkaisussa: Niemeläinen, P., Kangas, J. & Päivinen, R. (toim.). Integroidun metsäsuunnittelun menetelmiä ja välineitä. Integroidun metsällisen päätöksenteon tukijärjestelmä (IMPJ)-yhteistutkimushankkeen loppuseminaari 2.2.1994. Joensuu. Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan tiedonantoja 16: 34–53.
Niiniluoto, I. 1992. Informaatio, tieto ja yhteiskunta: Filosofinen käsiteanalyysi. Valtion kehittämiskeskus, Valtion painatuskeskus.
Nikinmaa, E. 1993. Analysis of the growth of scots pine; Matching structure with function. Seloste: Analyysi männyn kasvusta; rakenteen sopeutumista aineenvaihduntaan. Acta Forestalia Fennica 235. 68 s.
Nurminen, I.M. 1986. Kolme näkökulmaa tietotekniikkaan. WSOY.
Oquist P. 1978. The epistemology of action research. Acta Sociologica 21: 143–163.
Paananen, R. & Nuutinen, T. 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusmetsien tiedonhallinnan ja suunnittelun kehittäminen. Julkaisussa: Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. (toim.). Paikkatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 8–20.
Perttunen, J., Sievänen, R., Nikinmaa, E., Salminen, H., Saarenmaa, H. & Väkevä, J. 1996a. LIGNUM: A tree model based on simple structural units. Annals of Botany 77: 87–98.
— , Väkevä, J. & Saarenmaa, H. 1996b. Sirex: Diagnosing forest damage through the World Wide Web. Julkaisussa: Alander, J., Honkela, T. &

Jakobson, M. (toim.). STeP '96 – Geenit, Verkot ja Symbolit. STeP '96 – Genes, Nets and Symbols. s. 122–132.

Power, J.M. & Saarenmaa, H. 1995. Object-oriented modelling and GIS integration in a decision support system for the management of eastern hemlock looper in Newfoundland. Computers and Electronics in Agriculture 12: 1–18.

Pöntinen, J. 1992. Tutkimussuunnittelun ja -seurannan tietojärjestelmä. Julkaisussa: METLAn ATK-päivät 6.–7.10.1992. Moniste. Metsäntutkimuslaitos. s. 1.

Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F. & Lorensen, W. 1991. Object-Oriented Modeling and Design. Prentice Hall, Engelwood Cliffs.

Saarenmaa, H. 1985. Asiantuntijajärjestelmät – erikoistietoisuus käytännön ulottuville? Julkaisussa: Saastamoinen, O. & Poikajärvi, H. (toim.). Tietojärjestelmien kehittäminen metsäalalla. Ajankohtaista tutkimuksesta. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1985. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 196: 60–66.

— , Kaila, E., Lehto, K., Piippo, H., Salminen, H. & Pöntinen, J. 1991. The new information system architectures and strategies of the Finnish Forest Research Institute. Julkaisussa: Buhyoff, G. (toim.). Resource Technology 90. Proceedings of the Second International Symposium On Advanced Technology in Natural Resource Management. Washington, D.C., November 12–15, 1990. Resource Technology Institute. s. 569–578.

— , Lehto, K., Kaila, E., Salminen, H. & Pöntinen, J. (toim.). 1990. Metsäntutkimuslaitoksen tietojärjestelmästrategia. Työryhmän mietintö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 350.

Saarikko, J. 1994. Hajautetun tiedon hallinta organisaatioiden välisessä viestinnässä. Julkaisussa: Härö, M., Lundin, K. & Saarikko, J. (toim.). Hajautetun tiedon hallinta. Teknillinen korkeakoulu, Koulutuskeskus Dipoli. 26. tietopalvelun ja tietoresurssien hallinnan koulutus 1993–1994. Erikoistyö. INFO 6: 37–54.

Salminen, H. 1994. Lignum. Oliopohjainen puun kasvusimulaattori. Tietokoneohjelma. Metsäntutkimuslaitos.

Seppälä, H., Kuuluvainen, J. & Seppälä, R. 1980. Suomen metsäsektori tienhaarassa. Tutkimus Suomen metsäsektorin kehityksestä ja tulevaisuuden vaihtoehdoista. Abstract: The Finnish forest sector at a cross road. Folia Forestalia 434. 122 s.

Siitonen, M. 1985. Metsälaskelma. Esitelmä. "Maa- ja Metsätalouden yhteissuunnittelu", 12.11.1985 Espoo. 12 s.

— , Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä J., Kilpeläinen, H, Salminen, O. & Teuri, M. 1996. MELA Handbook. 1996 edition. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 622.

Stenlund, H. 1986. Projektinohjaus. Ammattikasvatushallitus, Valtion painatuskeskus. 181 s.

Stone, N.D. & Toman, T.W. 1988. COTFLEX: An integrated expert and database system for decsion support in Texas cotton production. AAAI Work-

shop on Integration of expert systems techniques with conventional programming in agriculture. San Antonio, Texas, August 10–12, 1988. 7 s.
Sundgren, B. 1981. Tietokannat ja tietomallit. Rastor, Student Litteratur.
Susman G.I. & Evered, R.D. 1978. An assessment of the scientific merits of action research. Administrative Science Quarterly 23: 582–603.
Tomppo, E. 1991. Satellite image-based National Forest Inventory of Finland. Julkaisussa: ISPRS. Proceedings of the Symposium on Global and Environmental Monitoring. Techniques and Impacts. September 17–21, 1990, Victoria, British Columbia, Canada. Commission VII, Interpretation of Photographic and Remote Sensing Data. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 28(7–1): 419–424.
— 1995. Multi-source National Forest Inventory of Finland. Julkaisussa: Kennedy, P.J., Päivinen, R. & Roihuvuo, L. (toim.). International Workshop Designing a System of Nomenclature for European Forest Mapping, European Forest Institute, Joensuu, Finland, 13th–15th June 1994. Proceedings. European Commission, Report EUR 16113 EN. s. 193–196.
Valtionvarainministeriö. 1995. Suomi tietoyhteiskunnaksi – kansalliset linjaukset. Oy Edita Ab:n painama julkaisu ja WWW-sivut (http://www.edita.fi/tuotteet/strategia/sta_sis.html).
Väkevä, J. 1995. Sirex -metsätuho-opas (Ver. 2.0). Metsäntutkimuslaitos.
Wirfs-Brock, R.J. & Johnson R.E. 1990. Surviveying Current Research in Object Oriented Design, Communications of the ACM 33(9): 104–124.
Yourdon, E. 1990. Modern Structured Analysis. Yourdon Press, Prentice Hall.

## Liite A: Alkuperäiset artikkelit

I Kaila, E. 1985. Havaintojen käsittely ja aineiston muodostus metsäntutkimuksen tiedonhallinnan näkökulmasta. Silva Fennica 19(1): 61–65.

II Kaila, E. & Saarenmaa, H. 1990. Tietokoneavusteinen päätöksenteko metsätaloudessa. Folia Forestalia 757. 34 s.

III Saarenmaa, H., Kaila, E., Lehto, K., Piippo, H., Salminen, H. & Pöntinen, J. 1991. The new information system architectures and strategies of the Finnish Forest Research Institute. Julkaisussa: Buhyoff, G. (toim.). Resource Technology 90. Proceedings of the Second International Symposium On Advanced Technology in Natural Resource Management. Washington, D.C., November 12–15, 1990. Resource Technology Institute. s. 569–578.

IV Kaila, E. 1992. Information systems analysis and modelling: The problem of object identification. Julkaisussa: Salminen, H. & Katermaa, T. (toim.). Simulation of Forest Development. Presentations from a symposium held in Saariselkä, Finland, October 12–14, 1991. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 407: 66–74.

V Kaila, E. & Marshall, L. 1995. Information Systems Development in Forestry: A Model for Applied Software Development. Julkaisussa: Power, J.M., Strome, M. & Daniel, T.C. (toim.). Decision Support – 2001. Volume 1. Proceedings of the Combined events of the 17th Annual Geographic Information Seminar and the Resource Technology '94 Symposium. Toronto, September 12–16, 1994. Resource Technology Institute. s. 60–73.

# I

*SILVA FENNICA 1985, vol. 19 n:o 1: 61–65*

# HAVAINTOJEN KÄSITTELY JA AINEISTON MUODOSTUS METSÄNTUTKIMUKSEN TIEDONHALLINNAN NÄKÖKULMASTA

ERKKI KAILA

*Summary*

*OBSERVATION MANIPULATION AND DATA MATRIX DERIVATION FROM THE VIEWPOINT OF DATA MANAGEMENT*

Saapunut toimitukselle 19. 11. 1984

Artikkelissa tarkastellaan tiedonhallinnan ja tietokantojen muodostuksen merkitystä luonnontieteellisessä tutkimuksessa. Tutkimusprosessista osoitetaan vaihe, joka nimetään tiedonhallinnaksi ja joka kattaa tutkimuksessa suoritettavat toimenpiteet havaintojen merkitsemisestä havaintomatriisin esittämiseen.

Sen jälkeen esitellään tietokantoihin liittyvää käsitteistöä, erityisesti tietokannan rakentamista ja käyttöä. Tietokannan muodostamiselle esitetään kaksi perussyytä.

Artikkelin toisessa osassa tarkastellaan TUTKA-ohjelmistoa tutkimuksen tiedonhallinan apuvälineenä. Huomiota kiinnitetään viiteen rakentamiskriteeriin, joita on noudatettu ohjelmiston kehittämisen yhteydessä. Sen jälkeen syvennytään TUTKA-ohjelmistolla tapahtuvaan tietokannan muodostukseen ja käyttöön. Tietokannan muodostamisessa erotetaan kolme eri vaihetta: tietokannan suunnittelu ja kuvaaminen, tietokannan rakentaminen tietokoneelle ja tietokannan lataaminen.

Lopuksi esitetään joitakin näkökohtia metsäntutkimuksen tiedonhallintaan. Metsäntutkimuslaitoksen tutkimustoiminnasta erotetaan kolme päälinjaa: inventointitutkimus, koetoiminta ja tilaustutkimustoiminta, joiden tiedonhallinnan muodot ovat toisistaan poikkeavat.

## JOHDANTO

Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimusasemalla tehdään tietokantojen soveltuvuutta metsäntutkimuksen ja metsätalouden käyttöön selvittävää tutkimustyötä. Sen yhteydessä on kehitetty erityisesti luonnontieteelliseen tutkimustoimintaan sopiva tietokannan hallintaohjelmisto TUTKA (Kaila & Taipale 1984). Tässä esityksessä tarkastellaan TUTKAn suunnitteluperiaatteita ja käyttöä. Tarkastelu rajataan *tutkimusprosessin tiedonhallinnaksi* nimetyn osavaiheen ilmiökenttään.

# TIEDONHALLINNAN MERKITYS TUTKIMUKSESSA

## Tiedonhallinta

Tutkimuksen tiedonhallinnalla tarkoitetaan tässä tapahtumasarjaa, joka alkaa tieteellisten havaintojen merkitsemisestä, jatkuu havaintokokonaisuuksien käsittelytoimina ja päättyy tiettyä analyysitoimintoa varten muodostetun havaintomatriisin esittämiseen.

Havaintojen merkitseminen voi tapahtua esim. tarkoitusta varten laaditulle lomakkeelle mittaajan toimesta tai automaattisella mittalaitteella, joka tulostaa antureista tulevat signaalit joko piirturille tai tietokoneelle tulkittavaan muotoon magneettiselle muistilaitteelle. Havaintokokonaisuuksien käsittelyssä havainnot talletetaan tarkoituksenmukaisessa muodossa myöhempää käyttöä varten.

Havaintokokonaisuus voidaan siirtää, muotoilla uudelleen tai tarvittaessa tuhota. Käsittelyn jälkeen kokonaisuudesta voidaan poimia tietyin ehdoin rajattuja osia ja syöttää ne esimerkiksi laskentaohjelmiin.

Tiedonhallintaan liittyvät perustoiminnot ovat yksinkertaisia ja sellaisina ohjelmoitavia. Kaikissa tietokonejärjestelmissä on oma ohjelmistonsa, jolla nämä toiminnot voidaan hoitaa. Suppeitten, esimerkiksi yhtä koetta palvelevien aineistojen osalta nämä välineet ovat täysin riittävät.

## Tietokanta

Laajat, useita erilaisia havaintotyyppejä käsittelevät näytteenotto- tai koejärjestelyt saattavat tarvita tiedonhallintaan kehittyneempää välinettä, tietokannan hallintajärjestelmää. Tietokannan hallintajärjestelmällä voidaan muodostaa eri havaintotyyppejä vastaavista tiedostoista integroitu kokonaisuus, tietokanta. Järjestelmä kokoaa havainnot haluttuun loogiseen järjestykseen, jota se sitten ylläpitää. Tietokantaa muodostettaessa liitetään siihen kuuluviin tiedostoihin kuvaus, jossa määritellään tiedostoista muodostuva rakenne sekä tiedostojen tietosisältö. Kuvausta nimitetään tietokannan kaavioksi. Kaavio sisältää tietokannan elementtejä koskevan nimistön. Siten se muodostaa tutkimusaineiston ylläpidettävän dokumentin. Muutokset tietokannassa edellyttävät muutosta kaaviossa, joten dokumentti on aina ajan tasalla.

Tietokantaperiaatteen omaksuminen tutkimuksen tiedonhallinnassa vaikuttaa tutkimusprosessin kaikkiin vaiheisiin. Tietokannan suunnittelu ja osa sen toteuttamista sisältyy tutkimuksen suunnitteluun. Tietokannan kaavion muodostaminen ja sitä koskevan selvityksen laatiminen merkitsevät samalla tutkimuksen tietopohjan kokoamista. Huolellisesti muodostettu tietokanta auttaa näkemään tutkimukseen liittyvän ilmiökentän kokonaisuutena. Eheä tietokanta takaa tehtyjen havaintojen käyttökelpoisuuden tutkimukseen liittyvissä päätöksentekotilanteissa. Tutkittavaan ilmiökenttään kuuluvat havainnot pysyvät koossa ja niiden yksikäsitteisyys säilyy.

## Tietokannan rakentaminen ja käsittely

Tietokannan rakentaminen muodostaa erillisen, yhtäjaksoisen vaiheen tutkimusprosessissa. Vaihe edellyttää automaattiseen tietojenkäsittelyyn ja erityisesti tietokannan rakentamiseen liittyvää osaamista. Yhteen tutkimushankkeeseen liittyvän tietokannan rakentaminen vaatii osaavalta henkilöltä keskimäärin yhden työkuukauden työpanoksen.

Tietokannan käsittely edellyttää myös sovellutukseen liittyvää ohjelmointityötä sekä tietokannan käsittelyohjelmiston tuntemista. Lisäksi kehittyneitä talletusrakenteita käyttävät ohjelmat kuluttavat tietokoneresursseja, keskusyksikköaikaa ja levytilaa huomattavasti enemmän kuin tavanomaiset, peräkkäistiedostojen käsittelyyn rakennetut ohjelmat.

Tietokannan muodostamiseen ja käyttöön liittyy siis kustannuksia. Vaikka periaatteessa kaikista tutkimusaineistoista voidaan muodostaa tietokanta, siihen ei yksinkertaisissa tapauksissa kannata ryhtyä. Tietokannan muodostamiselle on olemassa kaksi selvää perussyytä: käyttäjä haluaa 1) *helpottaa aineiston muodostamista suureksi kasvaneesta tietomassasta ja* 2) *dokumentoida suuren aineiston pitkäaikaista käyttöä varten.* Molemmissa tapauksissa oletetaan, että aineistoa halutaan käyttää useaan, mahdollisesti muuttuvaan tarkoitukseen.

# TUTKA-OHJELMISTO, TUTKIMUKSEN TIEDONHALLINNAN APUVÄLINE

## TUTKAn rakentamiskriteerit

TUTKA on erityisesti edellä esitettyjä näkökohtia huomioon ottava tietokannan hallintaohjelmisto. Sen suunnittelu aloitettiin INKA-koealoja koskevan tietojenkäsittelyn kehittämisen yhteydessä. Myöhemmin yhtä tarkoitusta varten kokoonpannun ohjelmiston suunnitteluperiaatteet yleistettiin muut tutkimushankkeet kattaviksi. Samassa yhteydessä luotiin perusteet ajattelutavalle, jota tässä yhteydessä on nimitetty tutkimuksen tiedonhallinnaksi.

TUTKAn suunnittelussa on kiinnitetty huomiota seuraaviin tutkimustoiminnan kannalta tärkeisiin näkökohtiin:

1) Tietokannan tieto- ja tiedostorakenteet on sovitettu mahdollisimman hyvin tutkimuksen tietojenkäsittelyn nykykäytäntöön.
2) Tietokannan pääsisältö muodostuu numeerisista havaintovektoreista. Havaintovektoreita kuvaava käsitteistö sekä tietokantaa koskeva rakenteellinen tieto voidaan esittää selväkielisesti merkkitietona.
3) Tietokantaan kohdistettavan kyselyn tarkoituksena on eristää tietokannan tietosisällöstä havaintomatriiseja tutkimuksessa suoritettavia jatkotoimenpiteitä varten.
4) Tietokannan käyttäjä hyötyy mahdollisten standardien käytöstä. Järjestelmä tukee esimerkiksi luokituksissa käytettävien tulkintojen standardointia ja kirjastointia.
5) Ohjelmisto ei aseta ehtoja tutkimuksen suorittamistavalle havaintojen merkitsemistä edeltävien ja havaintomatriisin muodostamista edeltävien ja havaintomatriisin muodostamista seuraavien toimenpiteiden osalta.

TUTKAN ensimmäinen versio on käyttökelpoisessa, ei kuitenkaan lopullisessa muodossa. Ohjelmiston osat ovat TUTKA UTILITY (apuohjelmisto) sekä TUTKA DML (datan käsittelyyn tarkoitettu aliohjelmakirjasto). Ohjelmiston rakentamista seuranneet tutkijat ovat esittäneet runsaasti hyviä tietokannan tietosisältöön ja ohjelmiston toimintaan kohdistuvia ehdotuksia, joista vasta osa on ehditty toteuttaa. Ensimmäinen versio täydentyy ainakin tietokannan datatiedostojen editointi- ja pakkausohjelmilla. Lisäksi olemassa olevia havaintomatriisin käsittely- ja tulostusohjelmia tullaan integroimaan TUTKAn apuohjelmistoon.

## Tietokannan muodostaminen ja käyttö TUTKAlla

TUTKAlla tapahtuva tietokannan käsittely voidaan jakaa kahteen erilliseen kokonaisuuteen: tietokannan muodostaminen ja tietokannan käyttö. Tietokannan muodostaminen on kolmivaiheinen prosessi, jonka osat ovat 1) tietokannan suunnittelu ja kuvaaminen, 2) tietokannan rakentaminen teitokoneelle ja 3) tietokannan lataaminen. Tutkimusaineistosta muodostettu tietokanta on yleensä suhteellisen suppea ja käsitteistöltään rajattu, joten erillistä ns. tiedon hoitajan roolia ei tarvita. Tietokannan muodostaminen ja käyttö on ajateltu tapahtuviksi pääasiassa hyödyn saajan itsensä eli aineistoista vastaavan tutkijan toimesta. Molemmat toiminnot edellyttävät tietokannan tietosisällön hyvää tuntemista.

Tietokannan muodostamisen ensimmäinen vaihe, tietokannan suunnittelu ja kuvaus, edellyttää tutkittavan ilmiökentän analysointia. Aluksi tutkittava kokonaisuus pyritään osittamaan hierarkkisiksi, mutta erillisiksi tutmuskohteiksi. Kohteet ja niiden väliset suhteet määräävät tietokannan rakenteen. Seuravaksi jokainen kohde (objekti) kuvataan joukolla muuttujia (attribuutteja). Muuttujat ovat joko mittalukuja tai luokiteltavia suureita. Mittaluvun tulkitsemiseksi riittää mittayksikön ilmoittaminen, mutta luokiteltavan muuttujan osalta täytyy luokkatunnuksia vastaavan luokituksen (ns. termiluettelon) olla käytettävissä. TUTKAlla toteutettavan tietokannan suunnitteluun on laadittu kolme lomaketta, joiden käyttö yksinkertaistaa tietokannan suunnittelua ja kaavion laadintaa.

Toisessa vaiheessa lomakkeille laaditusta kuvauksesta muodostetaan tietokannan fyysinen kaavio. Käytännössä se tapahtuu ajamal-

la kyselyohjelma, joka kyselee käyttäjältä lomakkeille kerätyt tiedot. Ohjelma synnyttää kaikki tietokannan käsittelyssä tarvittavat tiedostot datatiedostoja lukuunottamatta. Osaa tiedostoista voi tarkistaa ja korjata kaavion ylläpito-ohjelmilla. Jos luokiteltavien muuttujien luokituksia on valmiiksi käytettävissä, ne voidaan sisällyttää tässä vaiheessa tietokannan kaavioon pelkällä tiedostoviittauksella. Menettely on käytännöllinen useissa tutkimushankkeissa esiintyvien muuttujien (metsätyyppi, veroluokka jne.) yhteydessä ja johtaa ajatukseen standardoinnista. Tärkeimmät luokitukset ja niiden yleisesti hyväksytyt tulkinnat olisi koottava johonkin yhteiseen hakemistoon yleistä käyttöä varten.

Kolmannessa vaiheessa edellytetään ohjelmointitaitoa. TUTKAn apuohjelmisto ei sisällä yleistä tietokannan muodostusrutiinia. Tietokanta täytyy ladata datan käsittelyyn tarkoitetuista DML-aliohjelmista kootulla luonti- tai päivitysohjelmalla. Jos tietokannan tietosisällöksi tarkoitettu data on valmiiksi tarkistettu ja järjestetty, luontiohjelma on varsin helppo muodostaa. Jokanen TUTKA-tietokanta edellyttää omaa tukiohjelmistoa, jolla tietokantaa voidaan päivittää ja jolla kyetään myös lukemaan tietokannan tietosisältöä. Luontiohjelma luo perustan tälle ohjelmistolle.

Tutkimusaineistoja sisältävän tietokannan käytön päätarkoitus on poimia tietokantaan talletettua tietoa ja muodostaa siitä havaintomatriisi. TUTKAn DAP-ohjelma (Data Access Program) mahdollistaa tutkimusaineiston tämänkaltaisen valinnan käytettävissä olevasta tietomassasta. DAP kysyy käyttäjältä joukon ehtoja, joilla halutaan rajata tietokannan tietosisältöä, sekä joukon muuttujia, jotka halutaan poimia tulostustiedostoon. Ohjelma käy läpi tietokannan tietosisältöä ja poimii ehdot täyttävät tietueet tulostustiedostoon. Tulostustiedoston lisäksi käyttäjä saa tiedoston kuvauksen automaattisesti. Havaintomatriisin poiminta tietokannasta erilliseksi tiedostoksi on perusteltua kahdesta syystä: 1) tiedon säilyttäminen ja prosessointi ovat kaksi luonteeltaan toisistaan poikkeavaa tietojenkäsittelytapahtumaa ja siksi syytä pitää selvästi erillään toisistaan, 2) tilastollisen käsittelyn kannalta on edullista, jos koko havaintoaineistosta vain tarpeellinen osa on käsillä. DAPilla voidaan tehdä myös kyselyjä, joiden tarkoituksena on antaa palautetietoa tietokannan tietosisällöstä. Tässä suhteessa ohjelma on kuitenkin turhan hidas. Tietokantakohtaiset palveluohjelmat on syytä laatia DML-ohjelmia käyttäen.

## KEHITTÄMISNÄKÖKOHTIA METSÄNTUTKIMUKSEN TIEDONHALLINTAAN

### Päälinjat

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimustoiminnasta voidan erottaa ainakin kolme päälinjaa, joihin liittyvät tiedonhallinnan muodot ovat hieman toisistaan poikkeavat. Päälinjat ovat 1) inventointitutkimus, 2) koetoiminta ja 3) tilaustutkimustoiminta.

Päälinjojen lisäksi on olemassa suuri joukko erilaisia tiedonhallintatarpeita, jotka liittyvät tutkimustyön hallinnollisiin yksityiskohtiin.

Nyt esitelty tietokannan hallintaohjelmisto tukee parhaiten kahta ensinmainittua päälinjaa. TUTKAn käyttöperiaatteet sopivat hyvin jäsentyneeseen tapahtumakokonaisuuteen, jollaiseksi metsäntutkimuksen prosessi yleensä muodostuu sisä- ja ulkotyökauden vaihdellessa.

Mittavissa inventoinneissa kerätään runsasti sellaista tietoa, jota useat käyttäjäryhmät voisivat ja haluaisivat hyödyntää. Hyödyntämisen esteenä ovat usein olleet suurten tietomäärien säilytys-, dokumentointi- ja käyttöönotto-ongelmat. TUTKAn rakentaminen on ratkaisu osaan näistä ongelmista. Suurimpien aineistojen kannalta TUTKA merkitsee kuitenkin vasta periaatteellista ratkaisua. Käytössä olevan ohjelmiston sekä tiedon talletusvälineistön täytyy vielä kehittyä nykyisestä, jotta esimerkiksi valtakunnan metsien inventoinnin kokoluokkaa olevat aineistot voidaan konstruoida reaaliajassa käsiteltäväksi tietokannaksi.

Koejärjestelyjen osalta tiedonhallinnan ogelma liittyy pikemminkin datan laadullisiin

ominaisuuksiin kuin teidon määrään. Yleiskäyttöisten muuttujien arvojen standardoinnin merkitys korostuu, kun ajatellaan kokeen sisäisten mittaustapahtumien välistä integrointia. Joidenkin subjektiiviseen päätöksentekoon perustuvien luokitusten käyttö sattaa muuttuvissa olosuhteissa olla epävarmaa. Joissakin tapauksissa myös kokeiden välisen muuttujien valinnan tulisi tukeutua jo olemassaolevaan sopimukseen (esimerkiksi samoissa olosuhteissa suoritettavat erilliset kokeet). Ns. vanhojen aineistojen käsittelyn yhteydessä standardien käyttö parantaa usessa tapauksessa aineiston luotettavuutta. Muuttujia koskevat tulkinnat on tehtävä joiltakin osin uudelleen. Standardin valinta tässä tilanteessa saattaa merkitä hienoista virhetulkintaa, mutta vain samassa määrin kuin minkä tahansa muun tulkinnan yhteydessä. Standardi kuitenkin lisää tulkinnan invarianssia jatkossa. TUTKAlla toteutettavaan tietokantajärjestelmään voidaan luoda tukijärjestelmä, jolla standardointia edistetään.

Tietokantojen muodostaminen tai tietokantajärjestelmän ylläpito voi hyvin perustein muodostua erääksi Metsäntutkimuslaitoksen ulospäin suunnatun palvelufunktion muodoksi. Metsätilaston ylläpito ja eräät tilaustutkimuksen piiriin liittyvät hankkeet synnyttävät jo nyt paineita online -periaatteella käytettävissä olevien tietokantojen rakentamiseksi. Toisaalta tulevaisuudessa mm. kirjallisuushaut tullaan kohdistamaan käyttäjän päätteeltä maailmalla kehittyviin tietopankkeihin ja saatu palaute, kirjallisuusviitteet, tullaan tallettamaan omaan tietokantaan. Kommunikointi saattaa muodostua jopa tietokantojen väliseksi. Nämä käyttömuodot kuuluvat TUTKAn sovellusalueen ulkopuolelle ja vaativat TUTKAa monipuolisempaa tietokannan hallintajärjestelmää. Tässä yhteydessä voidaan kuitenkin todeta, että tietokantojen käyttö eri muodoissaan tulee nopeasti lisääntymään ja samalla lisäämään erilaisia mahdollisuuksia tutkimustyön suoritustavoissa. Samalla tutkimuskäytäntö muuttuu.

### Varoituksen sana

Metsätieteellinen tutkimus on luonteeltan aineistokeskeistä. Piirre on vaikeasti vältettävissä, jos kokeet kestävät vuosikymmeniä. Siihen liittyy omat vaaransa. Teorian ja hypoteesien muodostusta ei saa perustaa aineistoihin. Hyvään tutkimustapaan kuuluu, että tieteelliset havainnot tehdään yksiselitteisten hypoteesien rajaamina. Tässä esitetty tiedonhallinta-ajattelu sisältää teorian aineistojen käsittelystä, mikä ohjaa tutkimusta ja auttaa teoriaperusteisen otteen säilyttämisessä.

## VIITE

Kaila, E. & Taipale, M. 1984. TUTKA-tiedonhallinta-ohjelmisto. Tietokannan muodostus ja käyttö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 157. 113 s.

## SUMMARY

*OBSERVATION MANIPULATION AND DATA MATRIX DERIVATION FROM THE VIEWPOINT OF DATA MANAGEMENT*

Data management is ponted out as a phase of research process. It covers research activities from observation recording to data matrix derivation. Some concepts of logical and physical database implementation are introduced.

The TUTKA – software system is introduced and observed as an instrument of research data management. Attention is paid to TUTKA's five design criteria. Database implementation and usage with TUTKA are observed precisely. Three different phases of implementing a data base are specified.

Finally, some aspects to the data management of forest research are presented.

# II

FOLIA FORESTALIA 757

Metsäntutkimuslaitos, Institutum Forestale Fenniae, Helsinki 1990

Erkki Kaila & Hannu Saarenmaa

# TIETOKONEAVUSTEINEN PÄÄTÖKSENTEKO METSÄTALOUDESSA

## 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 systeemisuunnittelu 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

Kaila, E. & Saarenmaa, H. 1990. Tietokoneavusteinen päätöksenteko metsätaloudessa. Summary: Computer-aided decision making in forestry. Folia Forestalia 757. 34 p.

Julkaisu on katsaus tietokoneiden hyväksikäytön kehitykseen metsätaloudessa ja esittää synteesinä 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 synteesin 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 tietoja 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 yhteistyökumppaniemme 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 päätöksenteko-ongelmien 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™ 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*

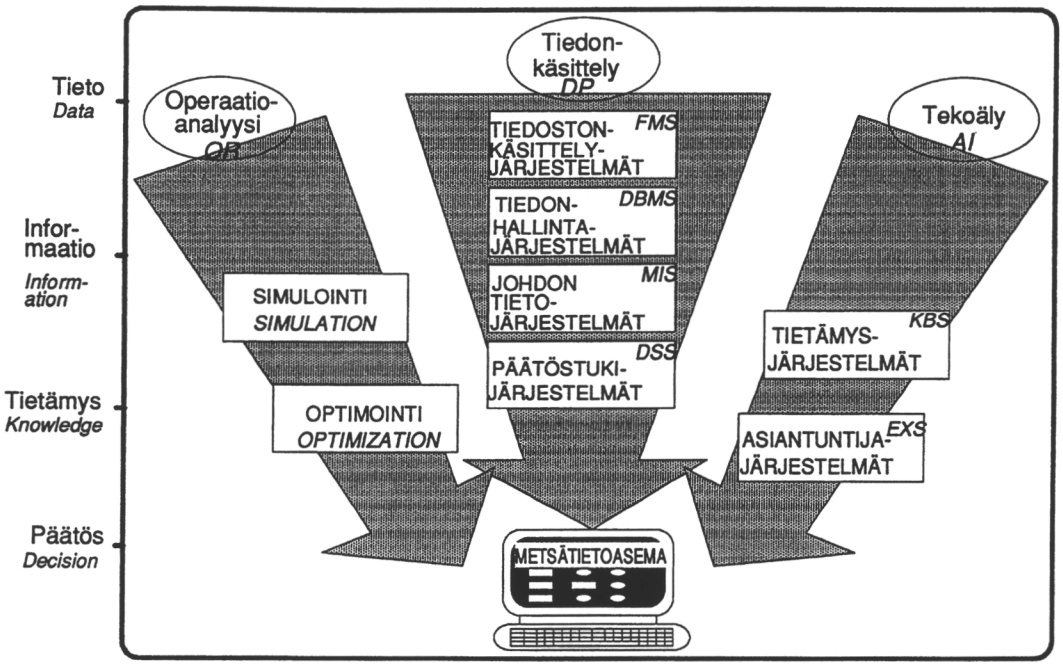
# 1. Johdanto

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 tietokoneen avulla 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 sovellutuksia 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 suhde tietokoneavusteisen ongelmanratkaisun ja päätöksenteon kehittymiseen on kuvassa 1. Kuhunkin lähestymistapaan liittyvät omat järjestelmätyyppinsä. 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.

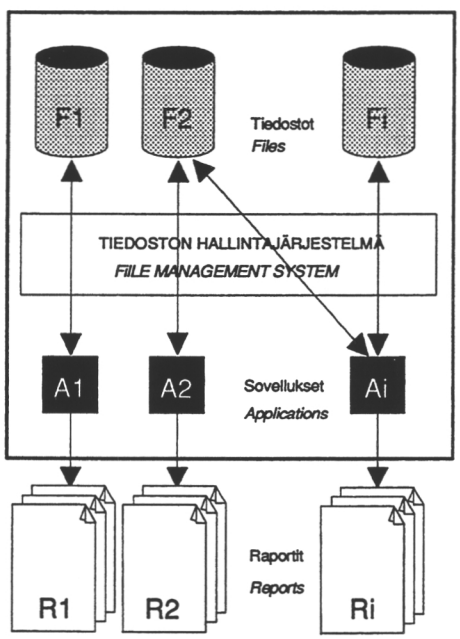
## 2. Tiedonkäsittelyn järjestelmätyypit

### 21. 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.

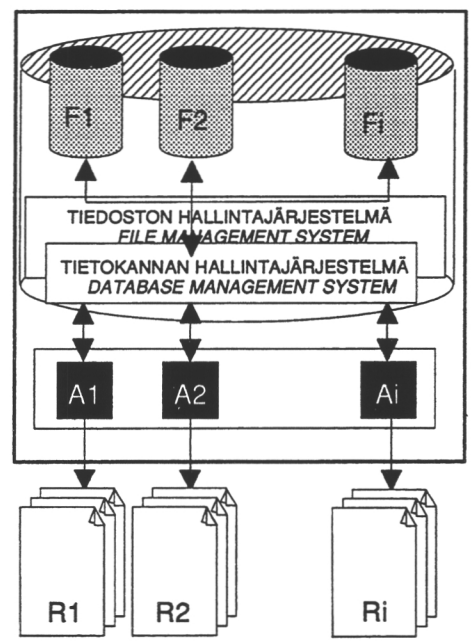
Esimerkiksi metsätalouden suunnittelijalla voi olla käytössään kartanselityskirjasta muodostettu tiedosto. Siinä jokainen tietue on koottu yksilöitävää metsikkökuviota kuvaavista tunnuksista. Tietueiden jono muodostaa tiettyä metsäaluetta kuvaavan tiedoston. Tiedoston hallinta koskee tämän tyyppisen 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 käyttäjäliitäntä. Esimerkki FMS-sovelluksesta on APL:llä toteutettu metsähallituksen MEKI taimikontarkastusohjelmisto (MEKI... 1986).

FMS muodostuu siis useista erillisistä tiedos-




Kuva 2. Tiedostonkäsittelyjärjestelmä (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 tiedostokokonaisuudesta, jonka sisältö ja keskenäiset suhteet on määritelty.

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

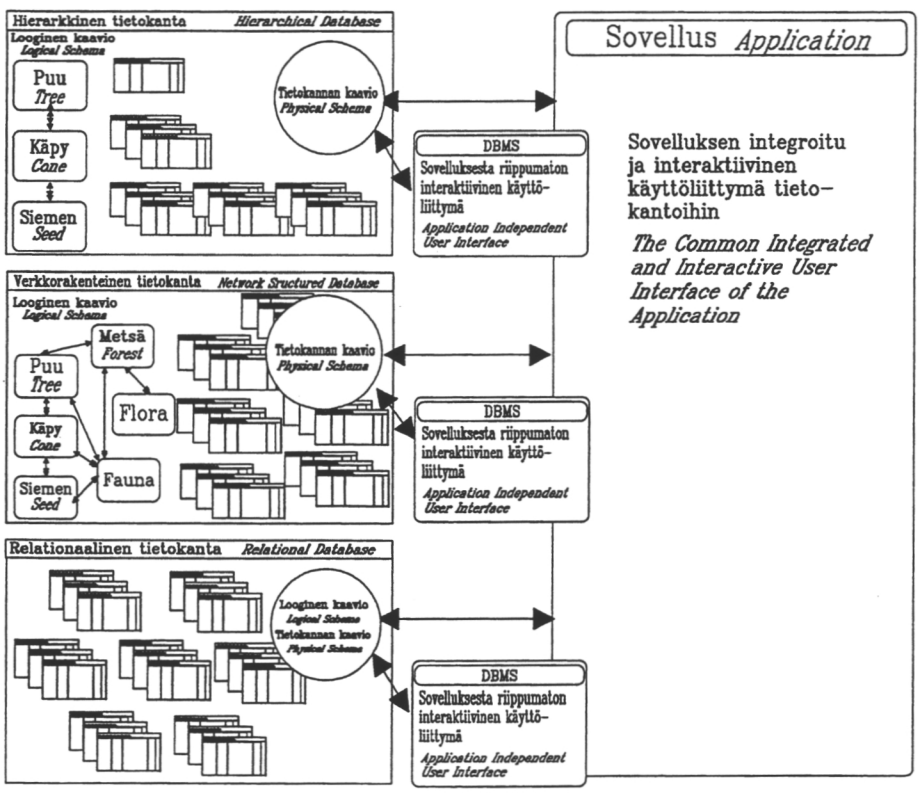
toista ja sovellusohjelmista. Tyypillisesti tiedostot on muodostettu tiettyä erityistarkoitusta varten ja ovat kaikki hieman erilaisia. Esimerkiksi metsikkökuvioihin liittyvät kasvuennusteet ja muut laskentaa varten tehdyt välitulosteet ovat erillisissä tiedostoissa. Myös tutkijan tyypillinen työskentely päätteen 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 **kaavio**ssa. Kaavioon on talletettu myös kuvaukset tietokannan sisällöstä, esim. kenttien leveyksistä, muuttujien tyypeistä, tulkinnoista ja sallituista arvoista. Tiedon lisäys-, muutos- ja saantirutiinit saavat kaaviosta tarvisemansa tiedot. Kaavioon on talletettu myös lajitteluavaimet, joiden avulla tiedon käsittelyä tehostetaan joko indeksein tai fyysisellä lajittelulla. Ilman kuvattavissa olevaa kattavaa kaaviota ei voida puhua tietokannasta sanan tietojenkäsittelyopillisessa 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 käyttäviä 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 uusimpana 4) objektiorientoitunut 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.

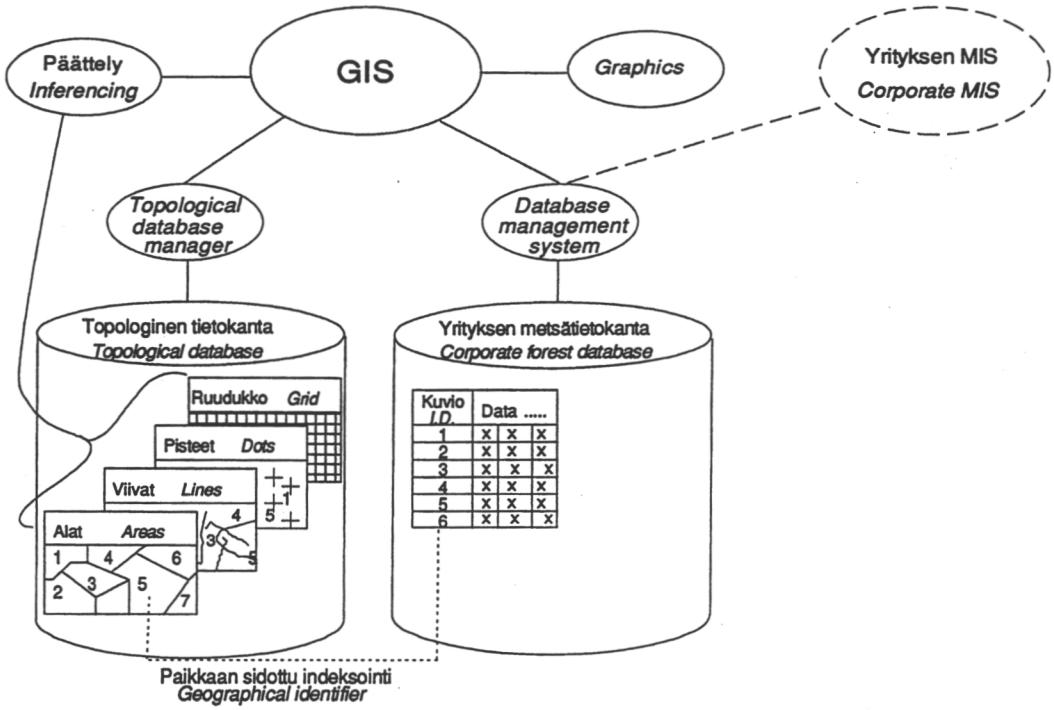
**Relaatiotietokannat** koostuvat taulukoista, joissa ei ole fyysisiä linkkirakenteita toisiin tiedostoihin. Tiedostojen väliset relaatiot muodostetaan yhteisten kenttien avulla vapaasti ja tarvittaessa ajon aikana. Näin voidaan myös muodostaa näkymiä (*view*) eli loogisia tietokantoja, joita ei fyysisesti 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.

**Objektiorientoituneet** tietokannat ja **hypertekstі** 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 tietokantatyyppien tarjoaman rakenteen, myös toiminnallisen luonteen. Voidaan esim. kuvitella objektiorientoitunut metsätietokanta, jossa kasvumallit on talletettu puita kuvaavaan dataan, mikä ilmeisesti yksinkertaistaisi monia metsätaloudellisia sovellusohjelmia. Uusimmat tiedonhallintajärjestelmäversiot käyttävät tavanomaisten hakurutiinien lisäksi myös päättelymekanismeja.

Jatkossa tietokanta ymmärretätään 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 ennekaikkea malli 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).*

tuntijajärjestelmien 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.

Hjerppe (1983) ja Williams (1984) ovat luetelleet 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 hyvyyttä 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 miellettävä 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:llä 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 puuhuoltoa tukevia **sovelluksia** (*applications*). Niiden tietokannat muodostetaan suoraan nykyiseen metsätalouden suunnittelussa noudatettuun tiedonkeruukäytäntöön soveltuviksi. Muita sovellusnäkökohtia on toistaiseksi otettu vain rajoitetusti huomioon. Tietokannoista on olemassa vain erityissovelluksia tukevat versiot, jotka on kirjoitettu tavanomaisilla lausekielillä. Tietosisällölliset määritykset ovat kuitenkin tehty yleispäteviksi.

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 jakeluvalmiit 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 sovelluskehitinten hankinnan jälkeen on tullut huomionarvoiseksi vaihtoehdoksi.

Toisaalta vaikka KASU ja HANKE sovellukset ovat erilaiset, niiden perustana olevista tietokannoista on määriteltävissä runsaasti rakenneyhtäläisiä yksityiskohtia. Hagström ja Kaila (1988) ovat tarkastelleet käsittelysuunnitelmatietokantojen mälläyhdenmukaisia piirteitä ja esittäneet sen perusteella yleisen SCODB-tietokannan rakenteen, jonka perustalle molemmat sovellukset voidaan periaatteessa rakentaa. Jos KUTI ja TASO ovat samalla tavalla homomorfisia, niin teoriassa koko metsätalouden suunnittelun tietojärjestelmän sovellukset voidaan kirjoittaa yhteen tietokantatyyppiin 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 erillista tulkintaa, joista toinen kuvaa laaja-alaisesti koko informaatiotoimintoa ja sen kehittämistä ja toinen suppeammin johdon tietojärjestelmiä, joiden taustalla usein ovat ope-

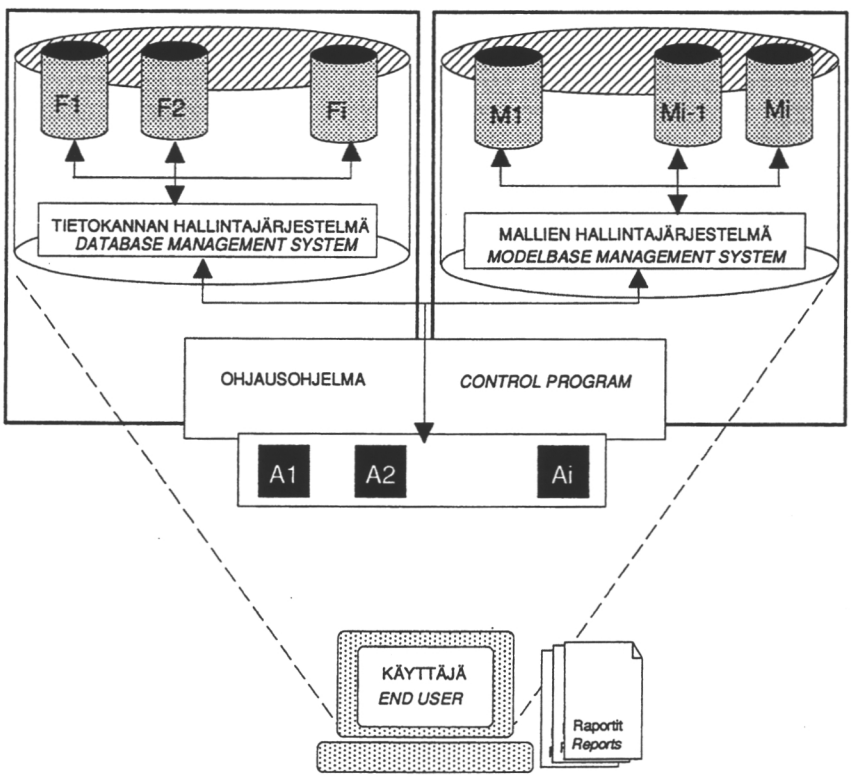
raatiotutkimuksen menetelmät.

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 keskusjohtoisista raskaista järjestelmistä yhä enemmän joustavan hajautetun 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. Byrokratiasta ollaan siirtymässä *adhokratiaan* (Sveiby ja Risling 1987).

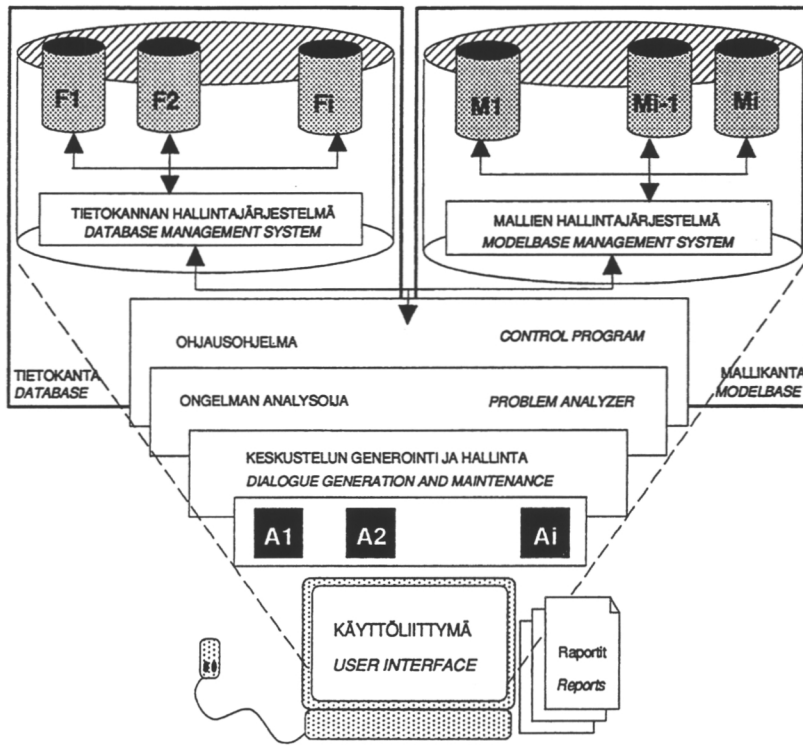
### *231. MIS:n rakenne*

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). Tämäntyyppinen 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 (Puumarkkinoi- den... 1988). Nykyisellään PUUMA-järjestelmä tuottaa vuosittain noin sata puumarkkina- ja metsätilastotiedotetta, 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 tulkitsee MIS:n raportteja. Vastaava on Metsätehon laskentajärjestelmä metsänviljelyn menetelmien vertailuun (Hämäläinen ym. 1985), joka on rakennettu oikeaoppisesti tiedonhallintajärjestelmän varaan. Saarenmaan (1984) tutkimustyön tukemiseksi kehittämä 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 TASOssa ja MELAssa, joilla voidaan tehdä metsätaloussuunnitelmia koko maan tai metsätilan puitteissa (Kilkki 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 keskusteleva 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. Määritelmän mukaan muissa järjestelmissä informaation käsittelytapahtuma 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 määriteltyjä. 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 ratkaisutyypin määrittely etukäteen on mahdotonta. Ongelmat ovat siis ei-rakenteellisia. Sen tähden on oleellista, että järjestelmää ylläpidetään mahdollisimman mukautumiskykyisenä yksilöllisten käyttäjätarpeiden tyydyttämiseksi.

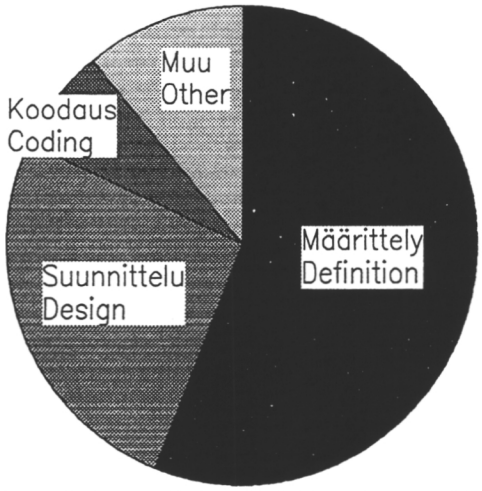
DSS:n välitön tavoite on kehittää FMS:ään, DBMS:ään ja MIS:iin sisältyvää käsitteistöä ja laajentaa näiden lähestymistapojen hyödynnettävyyttä. Tämä tapahtuu vapauttamalla käyttäjä järjestelmän määräämistä rakenteista ja siten antamalla käyttäjälle mahdollisuus luoda ennennäkemättömiä ongelmanratkaisun 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 raportteja ja ilmoituksia. On tärkeää huomata, että DSS ei tee päätöksiä vaan sen sijaan mieluummin toimittaa päätöksentekijälle määritellyn 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. Systeemityön 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 System*iin (SPBDSS) (Turnbow ym. 1983, Coulson ym. 1985, Saunders ym. 1985), joka on tiettävästi ensimmäinen metsätaloudellinen DSS. Järjestelmän avulla voidaan käyttää runsaasti tutkimus- ja kehittämisohjelmien tuottamaa malleja teknistä datatietoa koskien *Dendroctonus frontalis* -kaarnakuoriaista. Järjestelmä on toteutettu FORTRAN-kielellä *main-frame*-tietokoneessa, ja se on suunniteltu metsänhoidon ja metsätuholaisten hallinnan asiantuntijoitten 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 käyttäjäliitynnällä, 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 yhdistelmistä.

## 25. Tietokoneavusteinen systeemisuunnittelu ja sovelluskehittimet

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

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

CASE-välineistä keskeisimpiä ovat tietohakemistot ja sovelluskehittimet. Sovelluskehittimen käyttö mahdollistaa projektiorganisaatioiden pienentämisen tietojärjestelmien kehittämishankkeissa sekä mittavien järjestelmien rakentamisen aiempaa vähäisemmillä 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. muutamalla 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 kuluu 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 käyttökelpoinen 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 määrityskieli,
- hajautetun prosessoinnin tuki,
- mikro-pääkone-liittymä,
- erillinen versio prototyyppien tuottoon,
- erillinen versio mikroille.

## 3. Tekoälyn järjestelmätyypit

### 31. Tekoäly

Tekoäly (*artificial intelligence*, AI) on John McCarthyn 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). Tekoälyn 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).

Tekoälyn periaatteiden nykyaikaiset tietokonesovellutukset alkoivat ohjelmointikielen kehittämisellä, joka oli tarkoitettu mallintamaan yksinkertaisia inhimillisen ongelmaratkaisukyvyn 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 (*LISt Processing*), joka julkistettiin 1957. LISP-kieli sovitettiin symboli- ja prosessointiteknologian ja tekoälyn tutkimukseen ja kehittämiseen. LISP on suunniteltu mielivaltaisten objektien ja niiden välisten suhteiden kuvaamiseen ja prosessointiin. Asiantuntijajärjestelmissä symbolilistojen prosessointi approksimoi inhimillisen assosiatiivisen muistin prosesseja. LISP on sen tähden työkalu, jota voidaan käyttää erilaisten inhimillisten kognitiivisten osa-alueiden tutkimiseen ja simulointiin. LISP on eniten symbolisissa laskennassa ja tekoälyssä 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).

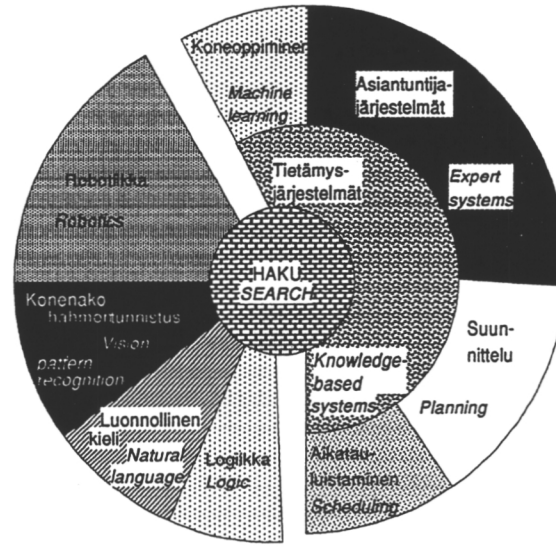
Tekoälyn kehittämisen seuraava vaihe on kes-

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 laitetoimittajilta (Symbolics 1980, Lenat 1983, Waldrop 1984, Schank ja Hunter 1984). Symbolilaskennan nopeus tavallisessa tietokoneessa on alhainen; ongelma on samantapainen kuin liukulukulaskennassa ilman tarvittaavaa prosessoria. Sen lisäksi vaaditaan dynaamista muistinhallintaa, mikä ilman prosessorin tätä tukevia erityispiirteitä muodostuu raskaaksi. 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).



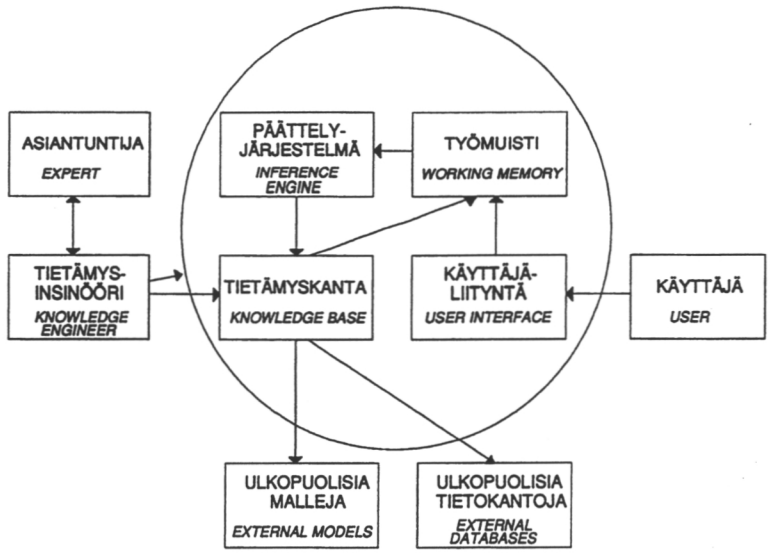

Kuva 9. Kaikki tekoälyn osa-alueet pohjautuvat älykkääseen hakuun. Viipaleen leveys kuvastaa alan suhteellista merkitystä tämänhetkisessä tutkimuksessa.

*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 $S_1,...,S_p$, siten että jokainen symboli $S_i$ on joko aksioma tai on johdettavissa jostakin alijoukosta $S_1,...,S_{p-1}$ jonkin säännön perusteella. Asiantuntijajärjestelmä yrittää "laskea" tai käydä läpi symbolijonojen muodostaman jonon esittäen ongelmanratkaisun vaihe vaiheelta. Tämä jono muodostaa ratkaisun todis-




Kuva 10. Asiantuntijajärjestelmän rakenne. Keskeinen toiminta on päättelyjärjestelmän, tietämyskannan ja työmuistin välinen mallinsovitussykli.

*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) tietämyskanta (*knowledge base*), 3) päättelyjärjestelmä (*inference engine*) ja 4) työmuisti (*working memory*). Joissakin tapauksissa järjestelmä voi myös sisältää alirutiineja, jotka hoitavat liittymät muihin järjestelmiin. Käyttäjäliityntä voidaan toteuttaa graafisesti. Se muodostaa välineen, jolla käyttäjä voi tehdä kyselyjä ja toimittaa tietoja järjestelmälle ja jonka avulla järjetelmä 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) 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).*

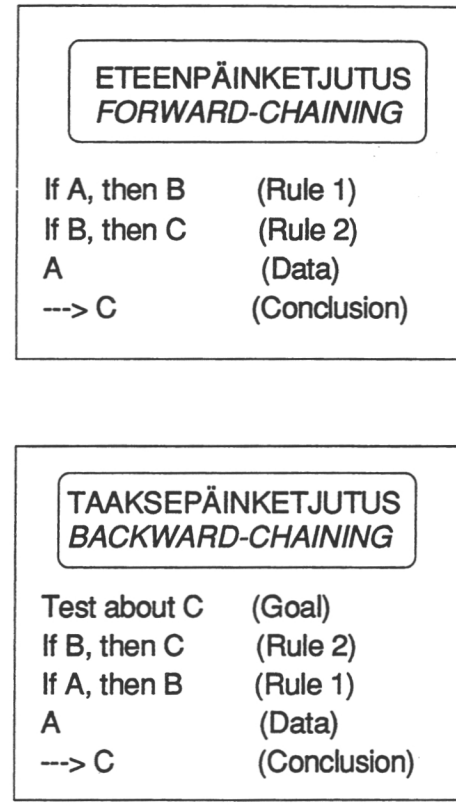
Asiantuntijajärjestelmän tärkeimmät komponentit ovat tietämyskanta ja päättelyjärjestelmä. **Tietämyskanta** on tietämyksen kuvauskielellä toteutettu aihepiirin elementtien ja niiden välisten suhteiden määritelmien verkko, joka sisältää faktoja, yleistyksiä, asiantuntijanäkemyksiä ja sääntöjä (*rules,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

Tietämyskannan kirjoittaminen alkaa käsiteanalyysillä, 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 **kehykset** (*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*eihin.

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 in 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).




Kuva 12. Etenevä ja peräätyvä 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 LISPin keskeinen sija tekoälyssä: LISPissä 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 asiantuntijajärjestelmän ulkopuolella, käytetään järjestelmän tarvitseman informaation hankkimiseksi siltä osin kuin käyttäjä ei voi toimittaa sitä suoraan. Asiantuntijajärjestelmä 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 asiantuntijajärjestelmät saavuttavat toimintatason, joka on verrattavissa inhimillisen asiantuntijan toimintaan määritellyllä ongelma-alueella. Formalisoitu tietämyskanta ja siihen liittyvät asiantuntijajärjestelmän kontrollimekanismit edustavat itse asiassa kyseisen ongelma-alueen praktikkojen asiantuntemusta ja ko. alan tietämyksen mallia (Feigenbaum 1977). Kirjojen tapaan asiantuntijajärjestelmät tarjoavat mahdollisuuden välittää tietoja ja taitoja muutamilta monille. Myös asiantuntijajärjestelmien käytön tarkoitus on ainoastaan konsultoida erilaisten ongelmien ratkaisussa eikä korvata inhimillistä päätöksentekoa (Bonczek ym. 1981, Hayes-Roth 1984). Asiantuntijajärjestelmät ovat ennen muuta **kommunikoinnin väline.**

Suhteessa tavanomaisiin lähestymistapoihin asiantuntijajärjestelmien 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 näkemyksistä.

Toiseksi, asiantuntijajärjestelmän 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 asiantuntijajärjestelmän ylläpitoa ja päivittämistä. Tietämyskanta on usein modulaarinen, jolloin sen muuttaminen on helppoa.

Neljänneksi, asiantuntijajärjestelmä sisältää tietorakenteet, joita tarvitaan epätarkan ja epätäydellisen informaation käsittelemiseksi. Tällä tarkoitetaan luotettavuusarvojen (*certainty factors*) yhdistämistä syötteisiin ja johtopäätöksiin. Tavanomaisissa järjestelmissä epätäydellistä informaatiota käsitellään oletusarvoilla. Oletusta korostettaessa seuraamuksiin ei kuitenkaan kiinnitetä huomiota. Esimerkiksi asiantuntijajärjestelmissä 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 asiantuntijajärjestelmissä periytyy lääketieteellisestä diagnostiikasta ja todisteteoriasta (*theory of evidence*) (Buchanan ja Shortliffe, 1984). Myös sumeaa logiikkaa asiantuntijajärjestelmissä tutkitaan (Negoita 1985).

Viides Hayes-Rothin luettelema etu on se, että asiantuntijajärjestelmä 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 tietyyn vastaukseen. Edistyneeltä järjestelmältä voi kysyä myös, **miksi ei** joku asia ole mahdollinen.

Ja viimein kuudenneksi, asiantuntijajärjestelmän 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-

sissa 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 reaalimailman kompleksissa 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 Engelmore 1979). Nykyään ne ovat laajentuneet lähes kaikille inhimilliisen 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 VIDEOTEXilla toimiva kasvitautien diagnoosiin pystyvä asiantuntijajärjestelmä toiminnassa (Pogson ja Brown 1986). Texasissa ja Missisippissa kehitetään FLEX (*Farm Level Expert System*) järjestelmiä koko maatilan 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 asiantuntijajärjestelmäkehittimiä (*shells*), jotka on suunniteltu käytettäviksi 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 riippuvuussuhteet 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 konsultoivien 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 mallipohjaisen päättelyyn. Tämän käsitteen laajennuksia ovat **kansalaisen tietoasema** ja ns. ***knowledge navigator*** (Sculley ja Byrne 1988). Kaikki nämä lähestymistavat vaativat tietojärjestelmältä 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 lähetys objekteilta toisille.

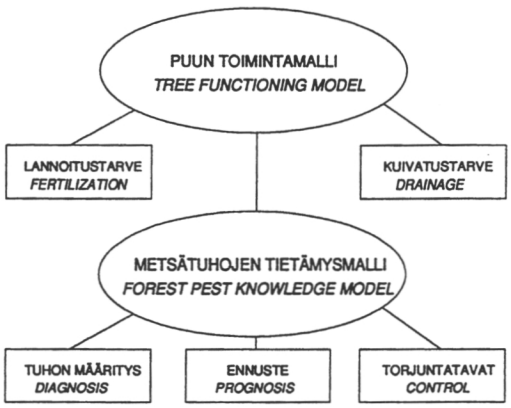
Objektit ovat hyvin läheisiä kehyksille, joita käytetään sääntöpohjaissa järjestelmissä sääntöjen ryhmittelyyn (esim. Aikins 1981). OOP:n objektia voidaan verrata lipastoon, jossa on laatikoita. Laatikot ovat attribuutteja (*slots*), jotka voivat sisätää mitä tahansa, esim. perinteistä dataa, viittauksia toisiin objekteihin, ohjelmakoodia, kuvia tai sääntöjä (Cox 1984). Objektit on kytketty toisiinsa yleensä puumaisen hierarkkisen 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 ylemmät tasot edustavat alempien tasojen potentiaalia. Alaluokkiin rinnasteisia ovat varsinaiset objektit luokkien instansseina. OOP:n avulla saadaan käyttöön keskeiset välineet mallintamiselle: **luokka-alaluokka**relaatio, **luokan instanssi**relaatio 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 *semaforeillla* sekä keskittää ns. *blackboard*in 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 sääntökannan 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 mainenance 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). Vikadiagnoosiin tähtäävän päättelyn tapaan voidaan tehdä myös suunnittelua ja mallin toiminnan optimointia. Näihin käytetään ei-monotonista päättelyä ja tietämystekniikan välineiden tukemaa ns. *multiple-world* mekanismia, jolla tutkitaan niitä vaihtoehtoja, joita mallin toiminnan muuttamiselle on olemassa (Model-based... 1986, Nardi ja Simons 1986).

Teollisuuden piirissä syntyneellä objektiorientoituneella 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 teoriat puun resistenssistä ja stressifysiologiasta, vaikka tietämyksemme luonnonprosesseista ei saavuta sitä astetta kuin esim. voimalaitoksen toiminnan mallittamisessa 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 mukaanotettavien tekijöiden joukko lisääntyy ja detaljeista joudutaan tinkimään. Jos oliopohjainen malli puutasolla on väistämättä prosessimalli, metsikkötason objekteihin sopinevat paremmin stokastiset prosessit. Tälläisen 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 tietämyksenkäsittelyn tarjoamia mahdollisuuksia metsätalouden päätöksentekon tukemisessa. Perinteisesti **operaatiotutkimus** (*operations research*, OR) on kuitenkin ollut keskeisin lähestymistapa päätöksentekoon tarvittavien tietojen käsittelyssä. Emme kuitenkaan tässä katsuksessa 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 Hillerin 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 tietämyksenkäsittelyn 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. duaaliratkaisun, 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 herkkyysanalyysia (*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 hakuavaruus 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. Verkkoanalyyttinen malli kootaan 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 optimointialgoritmi. MELA ei tee varsinaista herkkyysanalyysiä, mutta sen duaaliratkaisu ja varjohinnat 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 optimoimisesta 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 laskentaproseduurien 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

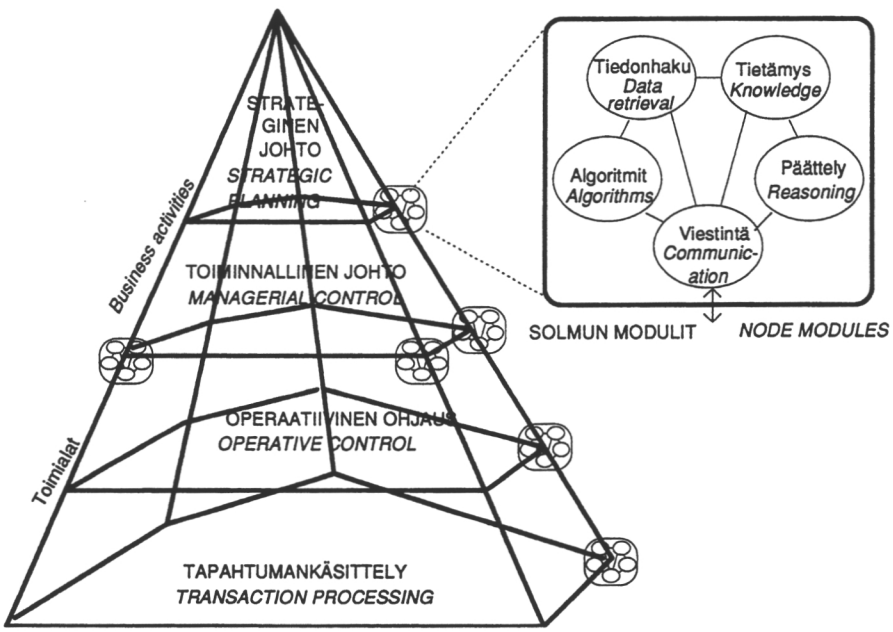
Tietoteknikan kehitys on ollut niin nopeaa, että voi sanoa vallankumouksen tapahtuneen siinä tavassa, jolla käsittelemme tietoa. Kehitys osoittaa vain kiihtymisen merkkejä. Metsätalouden kannalta muutos on vastaava kuin siirtyminen lihasvoimasta konevoimaan -- tällä kertaa vain savotan "terävässä päässä". 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 luonteessa 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 organisaatiorakenteita.

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).

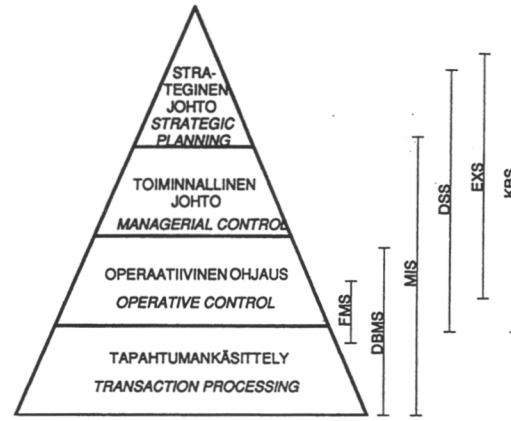
## 52. Tietokoneiden rooli metsätalouden päätöksenteossa

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 kokonaisohjauksella. Tämä on edellyttänyt uudenlaista johtamisjärjestelmää. Päätöksenteko ja ongelmanratkaisu on hajautettu paikalliseksi koko organisaatioon (kuva 14). Toimiakseen se edellyttää tehokasta viestintää. Metsätalouden vastaavia järjestelmiä kehitettäessä esimerkkiä voidaan ottaa teollisuuden hierarkkisista hajautetuista toiminnan ohjausjärjestelmistä (esim. Hynynen 1988, Hynynen ja Lassila 1988). Yksityismetsätaloudessa järjestelmä ei kuitenkaan ole hierarkkinen vaan paremminkin 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 varmalla pohjalla silloin, kun

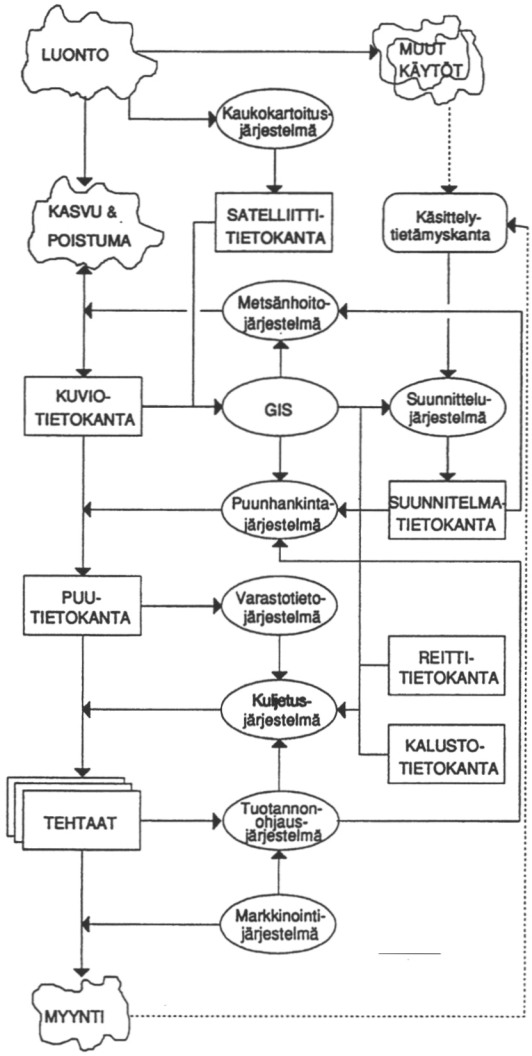



Kuva 15. Eri järjestelmätyyppejä käytetään erilaisen toiminnan tukemiseen.
*Figure 15. The different types of information systems are necessary for different tasks.*

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 ristiriitainen tehtävä, mutta olettamalla kehitys lineaariseksi 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 systeemisimulointimalleja, 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 rakennetun 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 suositukset 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 päättelylle on algoritmisiin menetelmiin liittyvän epävarmuuden tulkinta (esim. Negoita 1985, Graham ja Jones 1988).

## 53. Käsiteanalyysin ja loogisen standardin merkitys

Käsiteanalyysi 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 toimintoa ja organisaatiota. Tietojärjestelmässä on oltava vastineet kaikille tärkeille tosimaailman objekteille ja prosesseille, jotta se voisi mukautua uusiin tarpeisiin ja kehitykseen ilman suuria muutoksia.

Järjestelmän looginen kuvaus eli käsitemalli on käsiteanalyysin tulos. Se määrittelee esim. laatikkoleikkinä, 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 tietovirrat 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 pohjalle 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 vakioluonteisiin päätöksentekotilanteisiin, kuten esim. tietyn taimimäärän tilaaminen, riittää vakiomuotoinen raportti uudistusaloista. Toisaalta taas esim. metsätieverkon sommitteluongelmaan tarvitaan piirroksia lukuisista vaihtoehdoista. Metsätuhon diagnoosiin ja torjuntapäätökseen tarvitaan hyvän selityskyvyn omaavaa päättelyä.

Tässä julkaisussa esiintuodut järjestelmät muodostavat kehityskaaren, joka alkaa yksinkertaisista tiedostonkäsittelyrutiineista ja päätyy tietämyksen käsittelyyn (kuva 1). Kuten luonnon

evoluutiossa, 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 välivaiheita ja sitä ohjaavat erilaiset järjestelmät. Tietojärjestelmällä pyritään simuloimaan ja pitämään kirjaa tämän puuvirran eri vaiheista. Tietojärjestelmien näkökulmasta puuvirran eri vaiheet (ahtaasti ymmärrettynä 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.

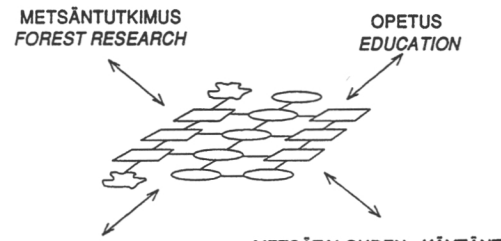
Puuvirta saa alkunsa kasvusta ja osaksi palautuu alkulähteeseensä luonnonpoistumana. Metsätaloudessa kumuloitunutta kasvua voidaan kuvata kuviotietokannalla. Kuviotietokantaa ja satelliittitietokantaa hallitaan GIS-järjestelmällä.

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

Suunnitelmatietokantaa 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.

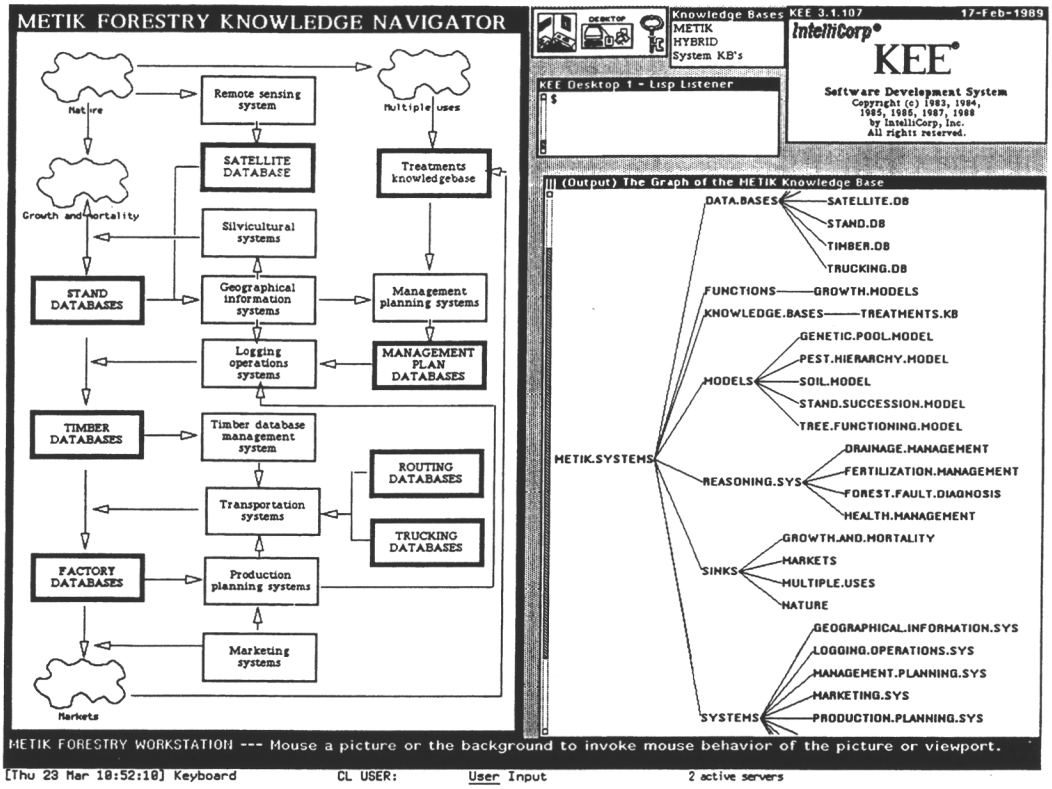
Metsänhoitojärjestelmä saa perusparannusohjeita suunnitelmatietokannasta, mutta se myös monitoroi kuviotietokantaa hankintajärjestelmän aiheuttamien muutosten vuoksi. Metsänhoitojärjestelmässä on komponentteina asiantuntijajärjestelmiä, mm. käsittelyohjeistoja sekä malleja metsän toiminnasta ja metsätuhoista.

Puutietokanta on puutietojärjestelmän hallitsema puupankki, josta tehtaiden tarpeet tyydyttää kuljetusjärjestelmä. Kuljetusten suunnittelu ja aikatauluistaminen johtaa vaihtoehtojen yhdistelystä johtuvaan kombinatoriseen räjähdykseen. 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.

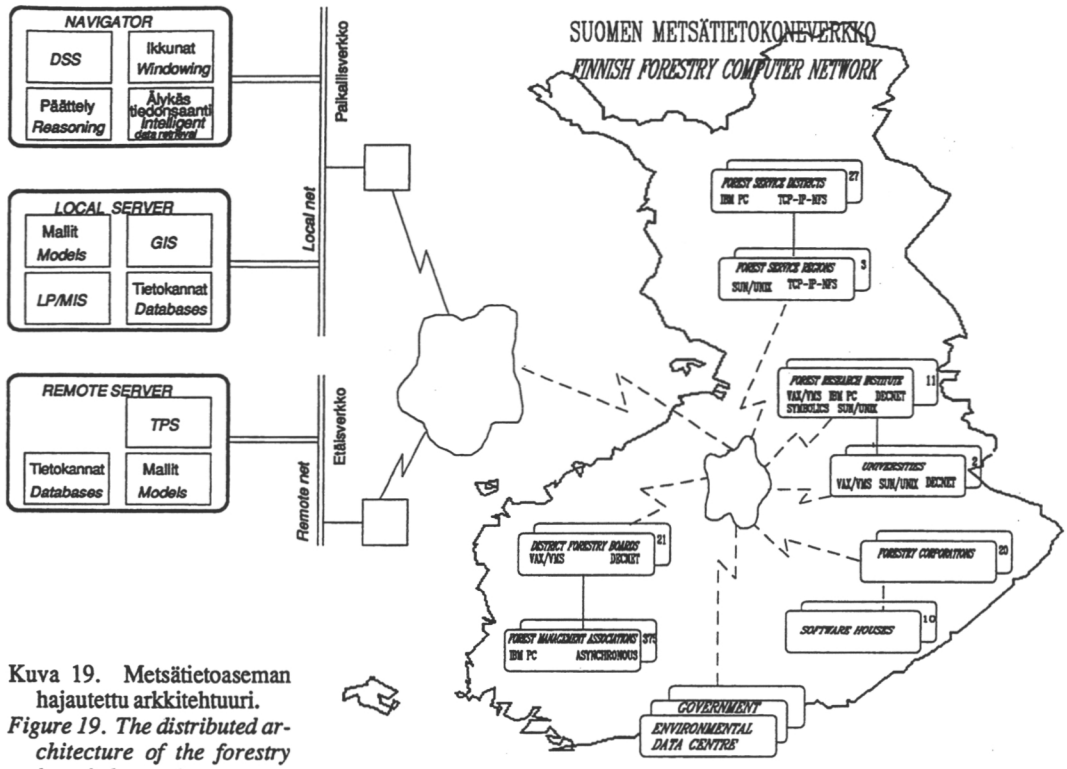
Kuljetusjärjestelmä saa tavoitteensa tehtaita ohjaavilta tuotannonohjausjärjestelmiltä, jotka puolestaan toteuttavat myyntiä säätelevän markkinointijärjestelmän vaatimuksia.

Perushuomio edellä esitetystä on, että kaksi järjestelmää ei koskaan kommunikoi muutoin kuin tietokannan välityksellä. Jos tästä luovutaan, suunnittelun aikajänteitä ei kyetä erottamaan. Esimerkki suunnittelun eri vaiheiden kytkemisestä 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 kokonaissunnittelujärjestelmästä 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 suunnittelujärjestelmä 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 suunnittelua, taimistohoitoa, 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 edelleenkehittely vaatii toistuvaa aivoriihityöskentelyä, 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 tietoasema (Kaila 1988, Saarenmaa 1989), käyttöliittymä hajautettavaan järjestelmään (kuva 18). Käyttöliittymä on ikkunoitu ja graafinen. Ohjelmia ei tule kerätä yhteen tietoasemaan, 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 tosiasiassa 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 tietoasema-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. & Engelmore, 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.

Clocksin, 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'Ambrosio, 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.

Dykstra, 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.

Hjerppe, 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 managament. 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. Laskentasysteemi metsänviljelyn menetelmien vertailuun. Metsätehon 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 käsitemalli. 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 suunnittelun 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.

Naegele, 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. Metsän uudistamisen vaihtoehtoja vertaileva laskentaohjelma VILJO. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 179. 93 s. Joensuun tutkimusasema.

Piatetsky-Shapiro, G. & Wrawley, W. (toim.) 1989. Knowledge 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 seurantatoimikunnan raportti. Työryhmämuistio MMM: 1988: 33. 15 s., liitt.

Pyykkönen, J. 1988. Metsäteollisuusyrityksen tietojärjestelmien kehitys. Metsätalouden tietojärjestelmäkehitystyön 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 applications 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 Management 1(1): 47-57.

Rykiel, E.J., Saunders, M.C., Wagner, T.L., Loh, D.K., Turnbow, R.H. & Coulson, R.N. 1984. Computer-aided decision making and information accessing in pest management 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. Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, METKA-projektin tiedonantoja 15. 7 s., liitt.

- 1987a. Metsätalouden tietojärjestelmien laitos Helsingin Yliopistoon. Metsänhoitaja 37(2): 26-29.
- 1987b. Tietokone asiantuntijana. Tekoäly avuksi metsätalouden 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 Resource Management. Fort Collins, Colorado, June 20-23, 1988. s. 141-157.
- 1988b. Tekoälyn mahdollisuudet metsätalouden suunnittelussa. Julkaisussa: Kinnunen, H. & Nuutinen, T. (toim.) Metsätalouden tietojärjestelmät. Silva Carelica 10. s. 39-48.
- 1989. Tavoitteena metsätietoasema. 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 programming. 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 interactions. Ecological Modelling 44: 125-141.

Saarenmaa, L. 1989a. Extracting forest regeneration knowledge out of the corporate database into a silvicultural expert support system. 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. 251-259.

- 1989b. Metsänviljely päätöksenteko-ongelmana Lapissa. Helsingin Yliopiston Metsänhoitotieteen laitos, lisensiaattitutkielma, 37 s., liitt.

Saunders, M.C., Loh, D.K., Coulson, R.N., Rykiel, E.J. & Payne, T.L. et al. 1985. Development and implementation 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. Weilin+Göös, Espoo. 280 s.

- & Hunter, L. 1985. The quest to understand thinking. Byte 10: 143-155.

Scheduling. A technical brief. 1987. Carnegie Group, Pittsburgh, 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 consultations: MYCIN. American Elsevier, New York.

Siitonen, M. 1985. Metsälaskelma. Esitelmä "Maa- ja metsätalouden 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 systems modeling. American Society of Agricultural Engineers 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.) Proceedings of International Conference on Computers in Agricultural Extension Programs. Lake Buena Vista, Florida, February 5-6, 1986. Florida Cooperative Extension 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.

Systeemisuunnittelun 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., Rockwille, 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 prototyppi. 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) operatios 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.

# III

# THE NEW INFORMATION SYSTEM ARCHITECTURES AND STRATEGIES OF THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

**Hannu Saarenmaa, Erkki Kaila, Kari Lehto, Heli Piippo*, Hannu Salminen and Jukka Pöntinen**
**Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40A, 00170 Helsinki, Finland, in%"saarenmaa@csc.fi"**
***Tapani Soini Ltd. Rantaraitti 5C11, 02230 Espoo, Finland.**

## ABSTRACT

It has become a matter of survival in the business world to integrate the information systems (IS) with the strategy of the firm. In natural resources research, IS have always played a crucial role. The policies of the research institutions, however, have not explicitly reflected this state of affairs. Computers have been used merely as tools for researchers.

While undergoing a major reorganization, the Finnish Forest Research Institute formulated a new policy which links IS with the institutes strategic goals. Starting from the business idea of producing data, information, and knowledge services to support decision making in the forestry sector, IS are seen as the means for integrating the different research approaches and departments of the institute so that more comprehensive research results and syntheses can be produced.

The new strategy was formulated by studying the existing IS and future needs using James Martin's information engineering methodology. An IS architecture was created that defines a series of multi-departmental databases for research planning, experiment management, field measurements, laboratory functions, forest statistics, among others. In a decentralized organization, operational data are distributed to the site where the transactions take place, whereas information bases are maintained at the IS center.

Towards these goals, FFRI has adopted standard tools for statistics and modeling, databases, expert systems, CASE, GIS, and satellite image analysis. To implement the policy and simultaneously to boost a scientist's creativity and productivity, scientist's workstation with a selection of these standard tools and databases will be made available. The building of the IS and adoption of the strategy will take place through the 1990's.

## INTRODUCTION

Computers have been used in Finland by business and forestry organizations during the past fifteen years. The first generation of information systems of the 1970's and 1980's only automated manual tasks producing a moderate payoff. A higher payoff can be achieved by transforming the business activities to take advantage of the IS (Fig 1). Integration of IS with business strategy is one of the key challenges for all organizations today. These developments in the business world have applications to research organizations that have data, information and knowledge as their end products.

The Finnish Forest Research Institute (FFRI) is the central agency for forest research in Finland. Its budget for 1991 is about $50 million, and it employs 800 people. Besides performing research on forests and forestry, FFRI provides services on the official forest sector such as the national forest survey, forest health monitoring, and forest statistics. The Helsinki headquarters of the institute uses about half of the resources, the other resources are spread among eight fully equipped forest research stations. FFRI is

responsible for 130 000 hectares of experimental forests and nature conservation areas over which tens of thousands of experiments have spread during this century.

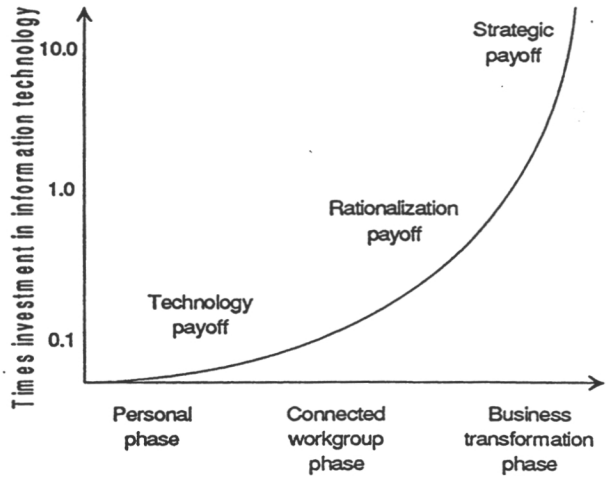



Fig 1. Three phases of end-user computing and their respective payoffs. Modified from Evans (1989).

Improved productivity and services are two clearly stated goals that have been set for all government agencies in Finland in the past few years. With its 13 departments similar to those of academies, FFRI has been strongly oriented towards traditional forest research. However, society's increased concern for the environment have put considerable pressure for the FFRI to change. Concerns about air pollution and climate change together with increased global competition in forest products and increasing demands on multiple use of forests, have focused the FFRI on providing better forest information. It was deemed necessary to radically reorganize the hierarchal institute so that it could respond better to such challenges in providing better information.

Information systems are particularly important to the FFRI when it responds to these changes. The issues that can be addressed with better IS are:

- effective production, marketing, and distribution of data on natural resources
- analysis of environmental change with GIS
- on-line statistical information in the forestry sector
- transfer of expertise to the decision makers in the field
- integration of experiment metadata to databases and statistical analyses
- planning for the use of the research forests
- project planning, management, and productivity records.

Most of these tasks include several parties within or outside FFRI.

In the fall of 1989, FFRI initiated a cooperative project to develop a strategic plan that would reach the goals described above. The task included creating an IS architecture that forms a foundation for implementing the systems for the above goals. It took four months to develop the plan using the available methodology for strategic planning of IS. The project results have been reported by Saarenmaa et al. (1990) and are summarized here.

## INFORMATION ENGINEERING

The methodology that was used in the project is called SRM (Mikkonen and Soini 1988), which is closely related to information engineering. Information engineering is a branch within IS science that uses IS to support the strategic goals of an organization. Information engineering methodology (IEM) is a pragmatic, business-oriented methodology that considers the entire enterprise with all its facets (Martin 1989, 1990). To make such a broad view possible, development work is highly stratified (Fig 2).

In the information strategy planning (ISP) phase, a comprehensive architecture of all the IS of an organization is created. This is achieved by modeling the enterprise through its activities and data that are produced and 'consumed'. Critical success factors are identified and used to prioritize projects and information flows. The second phase, business area analysis (BAA), considers a single business area and its supporting IS. The diagrams that have been developed in the ISP phase are the starting point for determining the applications and their logical construction order. In the business systems design (BSD)

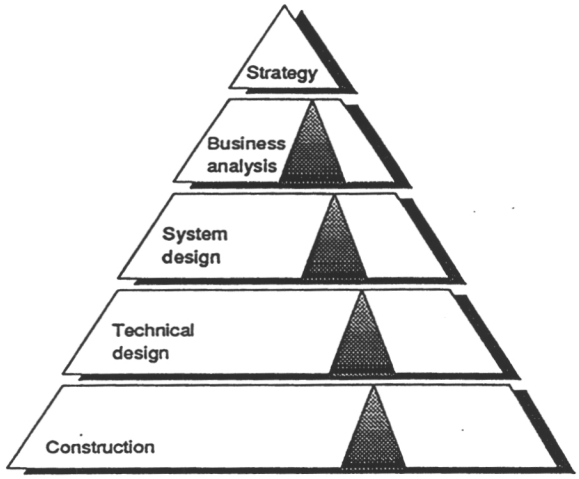



Fig 2. The principle of information engineering is to derive a comprehensive architecture for information systems from the strategy of the organization, and look at the whole picture during development. Yet implementation is done in small projects.

phase, the application, its databases, interfaces and distribution are designed. Technical design (TD) and construction are the final integrated phases where fourth generation languages, code generators and end user tools are used to develop the application. Rapid prototyping is used extensively.

Two conceptual models, diagrams that are first produced in the ISP phase and updated in the later phases, are essential to IEM. These are the *activity model* and the *data model*. Other models such as organizational model, data flow diagram, etc., can also be used. The activity model describes the basic functions and work processes of the organization and can be arranged as a hierarchy (Fig 3).

Another diagram contains an entity-relationship model of the data objects that are used by the activities. It is built on the relational database representation, and organized to the third normal form. The data model is crucial to ensure that there is no unwanted redundancy of data and in determining what applications own what data. Data modeling means modeling the business, it is not just technical design (see Mallach 1990). A sound data model is important because it is the point from which all the systems are derived. The data model is more important than the activity model, but without an activity model, a trustworthy data model is difficult to obtain.

In order to determine the information flows and map out the individual IS (called business areas in IEM) and their applications, a matrix that lists privileges to create, read, updata and delete data for all activities is created. If there is a single graph that captures the IS architecture, it is this matrix (Fig 4). Other matrices, especially one of data responsibilities vs. organization are also produced. The IS architecture produced with IEM is composed of small parts that enables realistic small steps in construction, nevertheless all being part of a master plan.

The diagrams and matrices are used as a common language between computer technicians and business professionals. Another important observation is that the IS architecture of an organization is derived analyti-

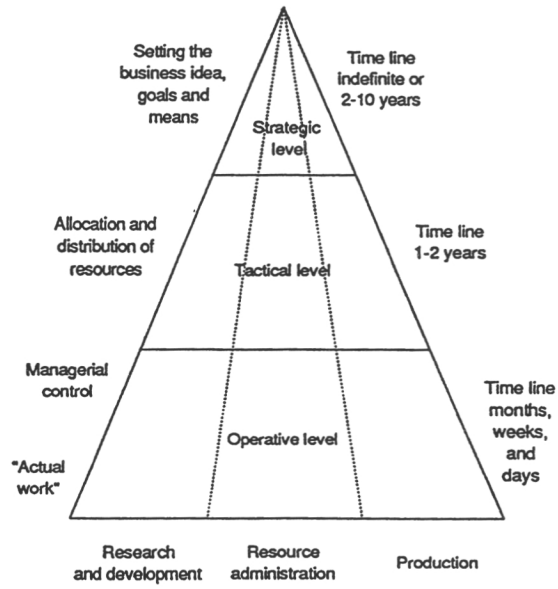



Fig 3. Anthony's (1965) pyramid describes the activities of an organization as levels for strategic, tactical and operational planning and sectors for administrative resource management, production, and r&d.

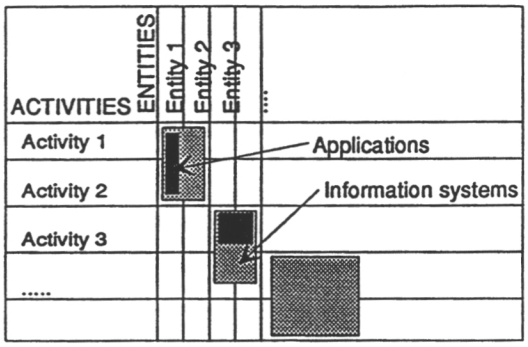



Fig 4. Information systems are determined from a clustered matrix of activities vs. data.

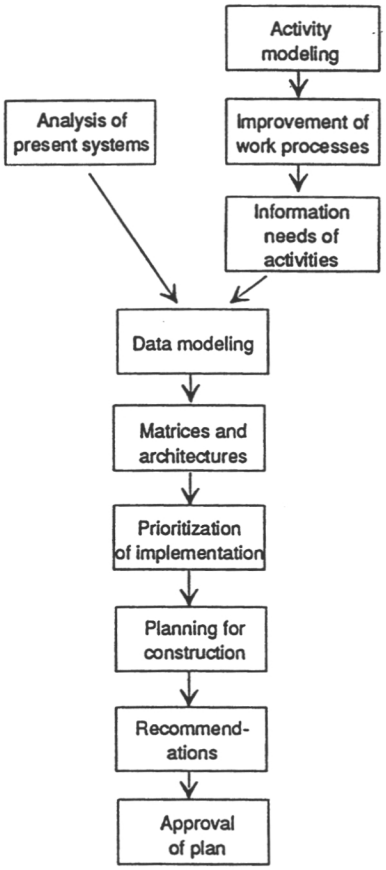



Fig 5 (right). Phases of the project were modified from the SRM and IE methods for the FFRI.

cally, but the different IS projects can be prioritized according to business needs. A change in a business function reflects itself automatically to the IS, provided that the process has been automated with CASE tools.

We used an integrated CASE tool, IEF (Information Engineering Facility by Texas Instruments) during the project. IEF spans the whole cycle of IEM, but we used only the ISP and BAA components.

## MODELS DESCRIBING FOREST RESEARCH

The phases of the project are described in Fig 5. We started with two approaches. The first approach scrutinized the existing information systems and data bases and their coverage. A total of 19 data bases were in operation and documented at FFRI at the time of the project. The other approach ment creating a set of models that describe forest research.

### ACTIVITY MODEL

A model describing all the activities at the FFRI was created in several brainstorming sessions of the project group. It was then further developed in small groups. The activity model passed through three major revisions during the work.

The final activity model, outlined according to Anthony's pyramid (Fig 3), has four sections and four levels (Fig 6). There are 13 main activities with 64 supplementary activities (examples presented by Kaila et al. 1990) and 300 subactivities below the supplementary activities.

Although the project group used earlier work done at the administrative office of the FFRI as well as the activity model of the Finnish Forest Service, the final model remained inconclusive. A research organization is so creative and multifaceted that new activities are always emerging, and hence the activity model changes constantly. On the other hand, the task is *not* a hopeless one; the procedures for scientific work, experimental design, and field data collection have standardized over decades.

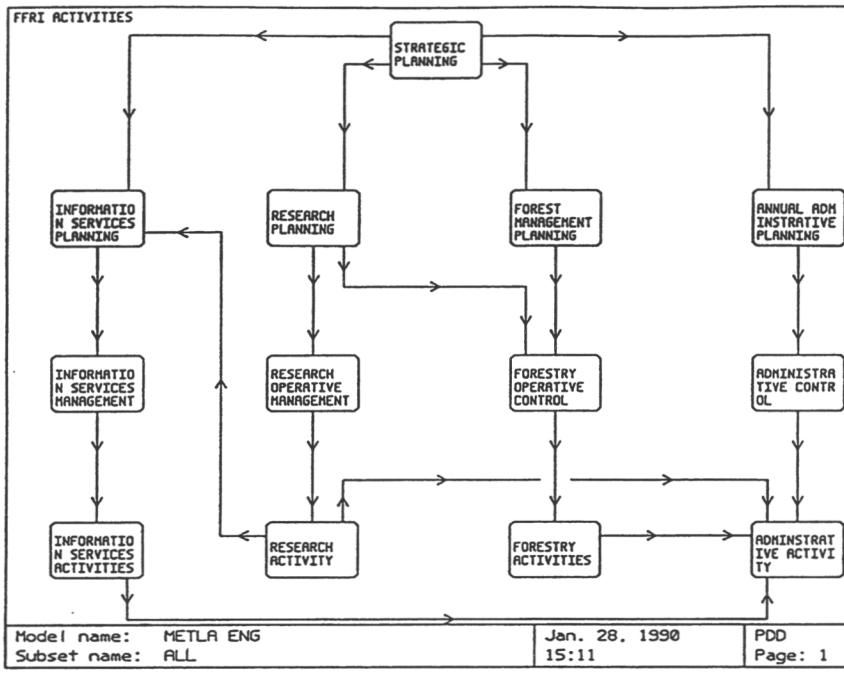



Fig 6. Main activities of the FFRI and their functional dependencies. This is the top level of the activity model.

## MODELS DESCRIBING ORGANIZATION AND INFORMATION NEEDS

Organizations come and go, but their activities remain. At this writing, FFRI is undergoing its first and only major reorganization in its 70 years of existence. The plans had not been finalized by the end of the feasibility study. Only the necessary parts of the work was done to create the models of organization and determine the matrices of activities vs. organization or data responsibility vs. organization.

Information needs for the different activities were found by scrutinizing each of the three hundred subactivities separately and then putting them in the data model. However, this procedure reveals the operational data entities only. Recent studies show (Ingres Corp., unpubl.), that 85 percent of the data are captured at the operative level. The remaining 15 percent that are created during decision making at tactical and strategic levels, (or needs that arise from irregular activities and satisfied with processing of operational data for some purpose other than the original activity that uses the data) were not studied. Finding the information needs is especially a problem with agencies external to the FFRI.

## DATA MODEL

The data model contains 330 entities that are represented as relational tables that refer to each other through named and defined relationships. The entities are arranged into 82 subject areas that represent individual databases. Fig 7 is an overview of the data model.

The data model has two centers: personnel and geographic information. Other major subject area groups deal with field measurements, handling of samples in laboratories, forest statistics, management of experimental forests, tree breeding, research administration, cash flow, and document handling. It is impossible to describe all of the subject groups in a few pages. Instead, we consider one subject area group, field measurements, in detail as an example (Fig 8).

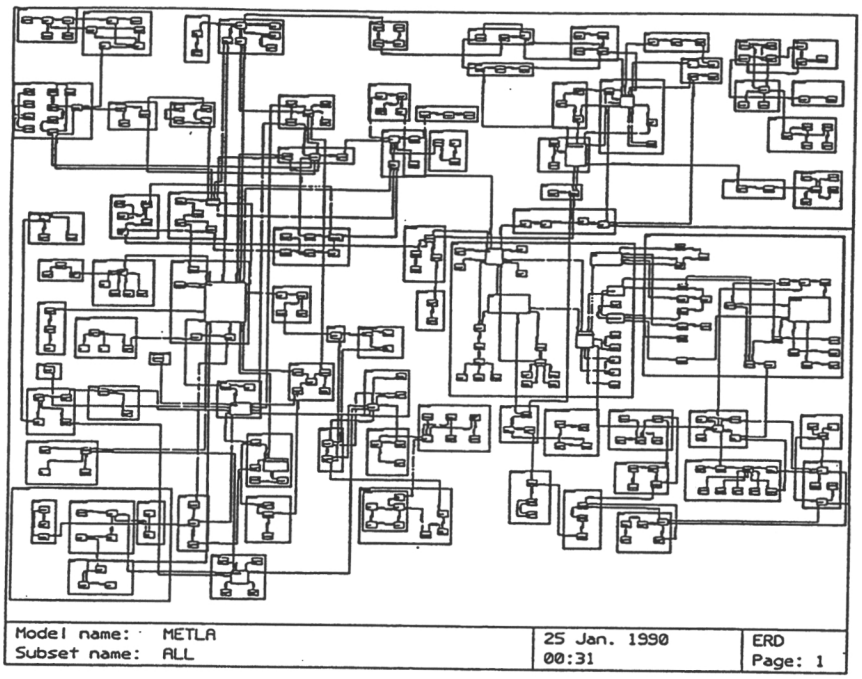



Fig 7. Overview of the entire data model of the FFRI.

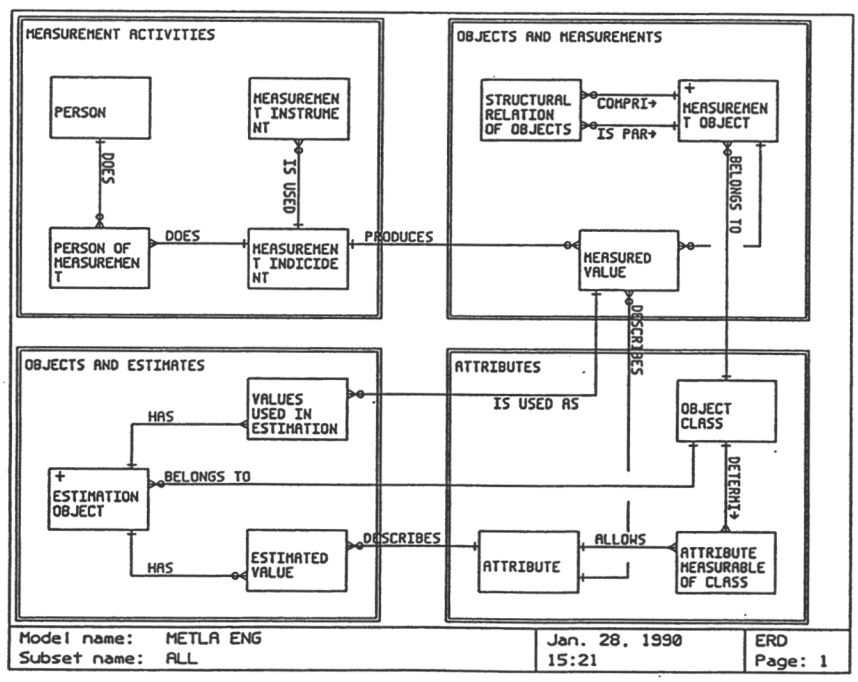



Fig 8. Subject groups from the data model that describe field measurements. Instead of having a specialized flat file for each type of data, the data are stacked on three related tables: objects, attributes, and their associated values. Other tables support the structure.

The most important observation from the structure in Fig 8 is that it captures the multitude of measurement data (even cumulative repeated measurements) in a single representation. The prerequisite of this is that data be normalized to third normal form and even beyond. It follows that a data dictionary becomes obligatory. It must hold not only the description of the present model, its tables and their attributes, but also some of the contents of the databases. I.e., we must create a base of metadata. This metadata is essential in some other ways too: with its support, a GIS-based system that holds the experiment of the FFRI becomes intelligent and knows some of the purposes of the experimental design. Furthermore, the experimental design GIS can provide metadata for statistical analyses and guide scientific work. The project designing experiment GIS is being revised to incorporate this metadata.

The darker side of this radically normalized data model is its inefficiency. For practical purposes the data model must be denormalized to some degree just to achieve a tolerable response on the computer. For instance, a representation of statistical information at the FFRI that had five entities in the original model, had to be denormalized to contain nine entities just to make it operational during implementation. This did not compromise the model design, though.

## INFORMATION SYSTEM ARCHITECTURE

The IS architecture was derived by forming a matrix of the 64 supplementary activities from the activity model and 82 subject areas from the data model. The matrix (Fig 4) was arranged by logical dependencies; privileges other than read-only were clustered on the diagonal. From the diagonal, 34 information systems, each with 1-6 applications were defined. Table 1 lists the information systems which can be classified into operative administrative systems, operative geographically referenced systems, information processing systems, and knowledge processing systems.

The division of systems is done horizontally so that there are databases for measurements, laboratory, etc. which are common to all departments and research stations. These general databases are then vertically partitioned according to organizational units. In this way, a common architecture is maintained throughout the whole FFRI, but no centralized databases are enforced. Geographic information has the key role in linking the databases and the organization together (see Rhind and Green 1988, Dangermond 1989).

# INFORMATION SYSTEM STRATEGY OF THE FFRI

## ALTERNATIVE STRATEGIES

The above information system architecture represents an ideal state as perceived by the project group. It will evolve during implementation, and of course, some of the systems may never be built. The building of the systems,which will continue through the 1990's, can be done in many ways. Prioritization and impact on organization will be affected by strategic decisions of the role of IS at FFRI. The project group find three possible strategies for the IS of the FFRI:

The scientist's workstation strategy emphasizes supporting scientific data processing, and de-emphasizes the administrative and service-oriented functions. It is not concerned with creating shared databases. This is the present strategy that costs $2 million annually for hardware, software, communications, and maintenance.

The management-oriented strategy accelerates development of systems for project management, research planning and control, and electronic communication. It also includes support for scientific computing, but does not support outside services based on IS. Cost: $3 million per year.

The natural resources databank strategy, in addition to the previous alternatives, emphasizes the creation of a series of geographically referenced databases. These support research, but special emphasis is put on building up services and marketing of the data

Table 1. Information systems that the FFRI would have in the ideal case as determined by the project group. The table shows the number of man-years required for implementation, estimated size of databases at the end of the 1990's and a suggested priority. Notations: ****=high priority.... *=low priority, o=already in operation.

| SYSTEM DESCRIPTION | ABBREVIATION | PRIORITY | WORK man-years | SIZE Mbytes |
|---|---|---|---|---|
| **Database systems for research management:** | | | | |
| IS for programs and budget planning | TOTTI | ** | 2 | 10 |
| IS for research planning and management | MESTI | **** | 3 | 100 |
| IS for scientific records and productivity | TSEKA | *** | 1 | 100 |
| IS for project management | PAKTI | * | 2 | 10 |
| State IS for monetary control | VALMA | o | 1 | 50 |
| State IS for personnel | HELMI | o | 1 | 20 |
| IS for training | KOSTI | * | 1 | 10 |
| IS for documents and archives | ARKKI | *** | 2 | 50 |
| IS for equipment | KATTI | *** | 1 | 10 |
| IS for information and international affairs | TIKKA | * | 1 | 10 |
| IS for library | KIRTI | ** | 2 | 50 |
| Data dictionary and object library | METKA | *** | 3 | 100 |
| **Systems for land information:** | | | | |
| GIS kernel | PATI | **** | 3 | 100 |
| General remote sensing imagery | MYKKA | ** | 1 | 20000 |
| GIS for experiment management | KOTKA | *** | 1 | 100 |
| IS for measurements | MITKA | **** | 2 | 1000 |
| IS for laboratory and samples | LABTI | *** | 2 | 100 |
| GIS for biological records | METBIO | *** | 2 | 300 |
| IS for forest products | PUUMA | *o | 1 | 1000 |
| GIS for parcels and lands | KIHTI | ** | 1 | 10 |
| GIS for natural resources management | LUOTI | **** | 12 | 200 |
| IS for tree breeding | JALTA | **o | 2 | 10 |
| IS for nurseries | | * | 2 | 10 |
| **Systems for information services:** | | | | |
| Sample plot calculation system | KPL | o | 1 | 50 |
| GIS for national forest survey | VALMETTI | *** | 5 | 200 |
| IS for forest statistics | METINFO | ** | 5 | 200 |
| IS for documents and research results | DORIS | * | 3 | 200 |
| FFRI MIS | METJOHTI * | 1 | 10 | |
| **Model bases and knowledge systems:** | | | | |
| Forest management planning | MELA | o | | 10 |
| Forest regeneration DSS | VILJO | **o | 2 | 10 |
| Generic forest simulator and libraries | | o | 5 | 10 |
| Knowledge system for forest health | | **** | 10 | 100 |
| DSS/GIS for forest amelioration | | ** | 4 | 20 |
| **Total** | **34** | | **100** | **30 000** |

from the FFRI. As a part of this strategy, FFRI would participate in a network of national databanks on the environment at a cost of $5 million per year.

The project group recommended the last alternative because it is in the best agreement with the business idea of the whole FFRI and the trends in the society. At this writing, refining of the strategy is under work. Involving all of the organization for a strategy, even a partial one for IS, does not happen overnight.

## ORGANIZATION, POLICIES AND IMPLEMENTATION

Organizational issues. A board for information management was established at the FFRI in 1990 to carry out further refinement of the strategy and to guide the execution of the plan. The most important task of the board is prioritization of the projects.

To date, there has not been a separate IS department at the FFRI, but one will be created in the re-organization of 1991. This GIS/MIS unit will be in charge of the implementation of the strategy, on-line databases, and support other groups working with IS.

Centralized construction of the systems does not solve all the problems. However, there are two alternative methods of implementation. First, projects can be initiated from the bottom-up through individual scientists. Secondly, projects can be initated from the top-down from the IS board. The second alternative is used, for example, if the GIS/MIS unit does not have the resources to implement a system in the required time. A grant for the work is then announced and research groups can make bids to carry out the work. There an added mechanism to motivate the groups to do IS work. The selected research group is allowed to keep the resources for their own work after each project is completed. Challenging and rewarding, this new system is supposed to bring extra boost for IS implementation.

Distribution. "Distribute the data where they are needed." This principle will be applied for the original data on research forests and experiments. Data collection on products trade statistics has already been decentralized. Data collection of the national forest survey is still handled from headquarters, but this is being re-considered. This means that databases will be decentralized to the regional GIS centers at research stations. However, an overall view of all the distributed data must be possible.

Standards and technical support. For hardware, FFRI is bound with the standards of the Finnish government that presumes open systems, i.e., DOS, UNIX, POSIX and TCP/IP...OSI. As an open research community, FFRI does not enforce the use of any hardware or software for its scientists. However, the ones that are supported include only one system per category. The supported ones are SAS for statistical modeling, INGRES for data management, DISIMP for image processing, and KEE/KAPPA for expert systems. Tools for GIS, document management, and CASE are being evaluated. We look forward to have all these tools readily available via every scientist's workstation.

The role of CASE tools is particularly interesting in a situation where people at different parts of a decentralized organization ought to be working in synergy. The use of a single data model can be supported with a centrally managed repository of concepts and objects (Kaila et al. 1990).

## CONCLUSIONS

The purpose of the IS is to support all the activities of an organization. For an organization that has information as its end product, IS are particularly important. They are a value *per se* that remains even in an (imaginary) situation in which the organization would cease to exist. The practical benefits from IS are easy to demonstrate. As planned here, they strengthen the management of FFRI to such a degree that it will affect organizational culture.

The impacts of heavy investment in IS on productivity are complicated. There is evidence that despite of wide spread use of computers, the productivity of an average office worker has actually decreased during the 1980's (Evans 1989, etc.). For scientific work, productivity gains obviously have occurred, although we are aware of plagues such as individuals spending excessive time in wrestling with memory limitations of microcomputers, or being carried away from scientific problems by business programs. If a scientific organization invests heavily on building shared databases according to a master plan, we are bound to run into organizational problems. Among these are education, IS people vs. professionalism, data ownership, monetary charges on data, liability for errors in data,

evaluation of scientific productivity based on other impacts than publications, freedom of creative work vs. disciplined programming as a part of a scheduled project, etc.

These issues may be more properly handled in an organization which separates scientific discovery from database services. I.e., an organization has to be multi-dimensional with diversified goals and business ideas. Indeed, networked separate data centers are mushrooming in many FFRI-related organizations in Finland.

Investment in IS competes with investments in "real" research. However, if useful new services are produced, it will increase overall spending in natural resources research, and in this way, help adding to the resources of research.

There also is a nobler way IS support scientific work. Especially GIS do form a platform for more comprehensive studies. Many of the most serious challenges of the forestry sector, especially estimation and prediction of the impacts of environmental change, can be solved only if information from diverse fields can be synthesized. There is no other way to integrate the information than by using GIS.

GIS form a basis for more intelligent systems (Saarenmaa 1990). Up until now, starting a project that studies the effects of agents in a complex forest environment (e.g. Cohen et al. 1989, Saarenmaa and Nikula 1989) have been almost impossible to perform because the initial effort to build up the representation for the environment has been too costly and complicated. Should large databases be available, we would possibly see a breakthrough in intelligent planning and monitoring systems research.

Scientific basis for information systems in natural resource management must be created too. A common information basis for the forest research and practical forestry organizations has to be defined. In the Finnish forestry community, we already have had cooperation in comparing and evaluating the respective models of the FFRI and the practical forestry organizations. It is our understanding that these models form the cornerstone of the applied science of forestry information systems, which is being defined now.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Mikko Tervo, Kari Mikkola, Jorma Salo, Yrjö Sevola and Olavi Kurttio of very productive co-operation during the IS strategy project of the FFRI, and Janice Edwards for reading and commenting this paper. The article is dedicated to the work and memory of Pekka Kilkki, a leader in science and a member of our project group.

## REFERENCES

Anthony, R.N. 1965. Planning and control systems: framework for analysis. Divisional Research, Graduate School of Business Administration, Harvard University, Boston.

Cohen, P.R., Greenberg, M.L., Hart, D.M. & Howe, A.E. 1989. Trial by fire: understanding the design requirements for agents in complex environments. AI Magazine 10(3): 34-48.

Dangermond, J. 1989. The organizational impacts of GIS technology. ARC News, 2/1989, 25-26.

Evans, R. 1989. Reaping the benefits of end-user computing. Computerworld, August 21, pp. 67-71.

Mallach, E. 1990. Without a data model, everything falls down. Computerworld, August 20, p. 25.

Mikkonen, M. & Soini, T. 1988. Yrityksen tietosuunnittelu. 344 ss., liitt. Weilin+Göös, Espoo.

Kaila, E., Saarenmaa, H., Lehto, K., Salminen, H. & Pöntinen, J. 1990. Conceptual models behind the information systems architecture of the Finnish Forest Research Institute. Poster abstract, 1 p., Resource Technology 90.

Martin, J. 1989, 1990. Information engineering. I. Introduction. II. Planning and analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Rhind, D.W. & Green, P.A. 1988. Design of a geographical information system for a heterogeneous scientific community. International Journal for Geographic Information Systems 2(2), 171-189.

Saarenmaa, H. 1990. Artificial intelligence, decision support, and information system strategies in forestry. Proceedings of the IUFRO XIX World Congress, Montreal, Quebec, August 5-11, 1990. 12 pp., in print.

- , Lehto, K., Kaila, E., Salminen, H. & Pöntinen, J. (eds.) 1990. Metsäntutkimuslaitoksen tietojärjestelmästrategia. Työryhmän mietintö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 350, 82 pp.
- & Nikula, A. 1989. Managing moose damage in forest plantations: a deep model of animal behavior on a geographic information system platform. pp. 825-831. Conference Proceedings. 9th International Workshop on Expert Systems and Their Applications, Avignon, France, May 29 - June 2, 1989.

# IV

# Information system analysis and modelling: The problem of object identification

**Erkki Kaila**
**The Finnish Forest Research Institute**
**Rovaniemi Research Station[1]**
**P.O.Box 16, SF-96301 Rovaniemi, Finland**
**Erkki.Kaila@metla.fi**

## Computerized modelling in forest research

The paper is targeted at that the part of the forestry community which is specialized and advanced in information systems and software applications development. The problem of object identification has been studied as an essential part of object-oriented system analysis (OOA); specific object-oriented programming questions are principally omitted. The three addressed aspects are: information systems analysis and design, software systems definition, and modelling.

Information systems and software applications development in the Finnish forest research have evolved through several distinguishable stages during the past three decades (Kaila & Saarenmaa 1990). Modelling and computing have been recognized as being a logically connected methodological pair since the early 1970's, when linear programming, dynamic modelling and systems theory were introduced to the community. Modelling was emphasized also when the artificial intelligence (AI) methodologies and expert systems development were subjects of closer look in the mid 1980's. Also, the utilization of the object-oriented methods supports modelling. The latest stage in the development process is the emergence of GIS (Geographical Information System) applications. At present, modelling, in association with remote sensing and GIS, is considered as "the future backbone" of the Finnish forest research information systems development policy.

## Modelling with objects

The concept of modelling reality as sets of objects has theoretically evolved from studies of entity-relationship type (ER) (Codd 1970, Date 1986, Sundgren 1981) and artificial intelligence (AI) (Feigenbaum 1977). The first

[1] The study forms a part of the author's licenciate thesis for the Department of Information Processing Science of University of Oulu

is fundamental in the theory of database design and analysis. In 1981, Sundgren proposed the concept of object-system, which consisted of four basic components: objects, attributes, object relations and time. The components were defined as follows:

- Object: An object is some physical or abstract substance that has some importance to a stake holder or a stake holder group. Persons, companies, cars, traffic accidents and trade transactions are examples of objects.

- Attribute: An attribute is a thing that at a certain moment of time characterizes a single object or a group of objects that share the characteristic feature at the moment; e.g. "to be a person", "to be 25 years old", "to be called Nils", "to be a Finnish company".

- Object relation: An object relation is a thing that characterizes the relationship between two or more objects. For example: "a person is the father of a person", "a person is employed by a company", "a company produces a product", " a country exports some goods to an other country", "a country joins economical community".

- Time: Time is expressed as moments or intervals of time.

The concepts of object types and object instances were also present in these early definitions. According to Sundgren (1981), when a system is specified using the above framework, it is reasonable to use (general) object classes instead of individual objects. In this sense, the presented object-system model formalizes the conceptual analysis and resembles the normalized form of database design. An important contribution of the presented model was that, above the data model level, everything can be described utilizing only one systems element; i.e. object. In comparison to ER-model (Codd 1970, Date 1986), which is used for the normalized representations of static data contents of information system, the time component allows the design of dynamic system components.

Subsequently, this conceptual basis has been a subject of substantial evolution. The true origin of object-oriented thinking, that we practice today, is in the development of object languages and exercises with object-oriented applications. These were first discussed in association with the SIMULA language, and further developed within numerous software development environments (Smalltalk, C++, Ada, Actor, KEE and ProKappa). Object languages define objects with dynamic component and behaviour that creates entirely different conceptual setting for systems development. Relation-based data modelling (ER model) always needs separate application program, which leads to unwanted dualism preventing system modelling as one whole. The principles of encapsulation of methods and data structures into functional and separately controlled units (objects), inher-

itance of attributes and associations in the object class hierarchy, and message passing based communication between the object instances, allows the design of software application systems capable of reproducing the functions of the real world as they occur.

**Information system design**

The traditional information system design process is based on the ER type, and follows a few basic thinking patterns, which apply to the object-oriented approach as well (Shlaer & Mellor 1988, 1989). A common way to organize information systems development concepts is to make a distinction between the activities and the goals of IS analysis and design. The definitions of the IS environment, boundaries, main components, policies, functions, and products are outcomes of a definite analysis phase. IS analysis includes feasibility evaluation of the future system and planning of the needed development project. The resulting information system abstraction must focus and conduct the work in the following design activities.

Many theoretical approaches to OOA use the Structured Analysis methodology (DeMarco 1978, Korson & McGregor 1990, Yourdon 1990) as an important rudiment. In this methodology, the Information Systems and application Software (IS/SW) design is done using a specific set of formal tools that include data flow diagrams, data dictionary, process specifications, entity-relationship diagrams, state-transition diagrams, and resource allocation and scheduling charts for project management. The analysis proceeds by producing a series of systems models (abstractions) including an environmental model, a behavioural model and an user implementation model.

In Yourdon's (1990) terminology, the essential model contains the complete description of what the future system should do to satisfy the user. It consists of two major components; an environmental model and a behavioural model. The environmental model defines the boundary between the system and the rest of the world. The model gives to a systems analyst a way to figure out what kind of changes are needed to get a functional organization to work better, and what is the form of the ideal system. The environmental model includes a statement of the purpose of the system, context diagram and event list.

A behavioural model describes the required behaviour of the system, necessary for successful interaction with the system environment. Yourdon (1990) suggests dividing the behavioural model building into two phases; firstly, the building of a preliminary model, and then completing it. This division can be seen as an implementation of a determined iteration within the design process. The behavioural model is technically a first-draft data-flow diagram which is produced from the event list produced during the previous design phase.

Once the analysis phase is completed, the work continues into the phase

of application implementation. In Yourdon's (1990) terminology, this is the phase of design which will produce a systems-implementation model and a program-implementation model. Questions referring to this level are beyond the scope of this paper and the reader is encouraged to pursue the original references (Yourdon, 1990, Yourdon & Constantine 1989, Page-Jones 1988, Ullman 1988, Mellor & Ward 1986, Orr 1977, Jackson 1975).

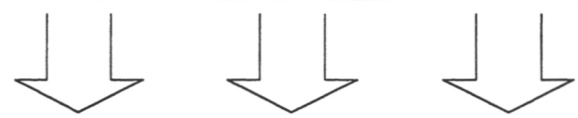
**Object identification**

Functional decomposition (top down) and linear progression assumed in the traditional information analysis are too simplistic patterns for complex object-systems definition (Henderson-Sellers & Edwards 1990, Iivari 1991). An object-system model should rather be seen as a result of conceptual analysis, which is concluded in an iterative way (Iivari 1991, Kaila & Marshall 1992). In a formal form, this abstraction collects the system's Universe of Discourse (UoD) (ISO-report 1982) of the application problem and lets the designer to use the object collection as a set of building blocks for any kind of application software development.

Even though we have the basic elements of the object model well defined, and even though modelling with objects seems to give us an easy and powerful tool for formalizing reality in the way that leads to reasonable software application specifications, there are some blind areas at the information systems development level. To date, there is no theoretically sound set of norms to control how the object-oriented analysis should be performed. In addition, it is still obscure how object-oriented programming project should be managed. Several competing methodologies are currently on the market (Coad & Yourdon 1990, Booch 1991). Especially CASE-technologies (Computer Assisted Systems Engineering) have produced multiform products that support either general or standardized application generation rules, or serve as build-in innovations in association with some particular application generation environments. Both approaches have their pros and cons; judgment is left to the reader.

With regard to object-oriented approaches, Iivari (1991) makes a distinction between the following three activity classes: information systems development, application software development, and development of reusable software components. In every case the concept of object identification is an essential part of the object-system definition process. Object identification means the definition process where the characteristics i.e. attributes, associations, methods and behaviour of an object class are defined. Iivari also suggests five useful general object types. All objects can be identified either as user, entity, event, information or interface objects. For technical support to object identification process, Iivari has organized the following conceptual framework (Fig. 1).

| | | 1 Structure abstraction | 2 Function abstraction | 3 Behavior abstraction |
|---|---|---|---|---|
| I Organizational level | Ia Designed context | Organizational actors and positions Organizational channels | Organizational functions Input and output flows State/stores | Events Triggering conditions |
| | Ib Application concept | Users | IS services | IS use acts |
| II Conceptual/ Infological level | IIa Universe of Discourse | Object types, entity/event types Association types Attributes | Action/Operation types | Events Triggering conditions |
| | IIb IS applications | Information types | IS functions | Events Triggering conditions |
| | IIc User interface | Interface object types - application dependent and generic | Interface operation types - application dependent and generic | Interface acts |
| III Datalogical/ Technical level | | Abstract machines and data Communication links - device dependent | DB/files, SW/program components, I/O data types and algorithms - device dependent | Events, control states, control rules, control state transitions and data processes |



OBJECTS METHODS MESSAGES

Figure 1. Modification of the integrative framework for object identification (Iivari 1991).

**Exercise: Objects of a Virtual Forest**

In this last section of the text, we shall conduct a mental exercise to test Iivari's (1991) framework of object identification (Fig. 1). We shall to give some general level definitions to an imaginary, but familiar, concept denoted here by the term "Virtual Forest" (VF). (It should be pointed out that the author's intention is not to give an exhaustive declaration of the conceptual volume and content of VF). VF is a connotation of the concept of virtual reality (VR) (Huhtamo 1991).

In essence, VF is a set of super classes for a collection of reusable software components. It may serve the forest research community as an implementation of model repository, and it defines the general interface standards for model production.

At first, the proposed framework suggests to us to abstract the target system's structure on the organizational level. In this respect, we make the following definitions of candidate user objects:

- VF is a commonly known and shared platform for model implementations.

- It is actively developed and maintained by the knowledge engineers of a forest research unit.

- Direct users of the associated system are model developers and application programmers.

- Application users may have indirect access to VF.

The functionality of VF allows users to add models into the object-system. Application development based on object libraries must be directly supported.

- Information retrieval, controlled object extraction, and object deletions by authorized users are allowed.

VF forms a new logical resource for knowledge work. It serves as a forest and landscape simulator, cultivated electronic communication channel or software library. It has multiple interfaces for application integration and networks.

After the definition of organizational use acts (omitted here), we have specified the top level features of the demanded object-system. Thus, we have figured out the user object candidates, and defined the appropriate methods and messages in general.

Object identification on the conceptual/infological level produces definitions for the information contents of the object-system (UoD). Because VF is an application environment for different kinds of models, and many of the

models represent some specific methods of particular object types, the object selection of VF has to be flexible and include the following objects of entity and event types.

- The meta-abstraction of model produces a principal object into the system.

- The elementary object types of VF will be formed from sets of typical forest entities including trees, vegetation, growth sites, topology, etc.

- The set of basic events may include patterns for planning, growth, silvicultural treatments, harvesting, raw material transportation, land use etc.

The list of acceptable entities and events is unlimited because any change in aspect may produce an extra set of features.

One important feature of VF is its dynamic development or evolution. The system will grow and encounter changes in the course of time. Every included model is alterable and insertions of new models may cause changes in the overall behaviour of the object-system.

- The concept of time is characteristic for VF. The object type may have many different scale-dependent implementation forms.

Because we have assumed that VF will be rather a collection of reusable software components than a defined information system, the IS specifications will be very application dependent. We define the following general information object classes.

- I/O transactions, generic documents and queries may also have more general research related features.

- The implemented system may produce aggregated information through integrated statistical software, business graphics or image processing. For these purposes, certain data matrix object types may be useful.

The interface object types and associated function types are also application dependent and generic by default.

- VF should include a general pattern for graphical representation of forest information. Ability for 2, 3, and 4 dimensional projections is required.

- A general test bench for model fine-tuning, model browser and model dictionary of information contents should be added to the template of optional system services.

The object identification on the conceptual/infological level is completed by concluding the behavioural features of the object-system. Many of VF models are triggered by time, but it is only one aspect of object-systems behaviour. Mostly the objects are triggered by messages caused by events in other system components.

The last phase in our "first iteration of conceptual analysis" produces the datalogical/technical level abstractions of VF. The object-systems technical requirements will be defined, as objects of abstract machines, data base files and software components, considering the above organizational and logical boundaries.

- VF will be implemented in a host computer.

- The model developers and application programs will work at workstations. Graphical user interface and animation options are required.

- The user, or any other source of queries, may approach VF through a computer network. The LAN and WAN services offered may differ from each other.

VF's object repository and applications will be implemented in a specific message passing environment, indicating the need for an object-oriented application development shell. Modelling work may also be augmented by use of advanced hardware/software techniques; e.g. massively parallel computing, hypertext or multimedia. These options denote different abstraction for hardware/software structure. The functional as well as the associative behavioural features are highly dependent of the device platform.

## Conclusion

Modelling has a close relationship with the object-oriented systems development. Object-oriented IS/SW development differs from traditional ER based information system approach. Also, the development of information systems, application software, or reusable software components differ from each other. Identification of candidate object types is essential in the object-oriented analysis. All objects can be identified either as an user, entity, event, information or interface object. Iivari's (1991) framework for object identification, rationalizes and supports analysis process of this class.

## Literature

Booch, G. 1991. Object oriented design with applications. The Benjamin/Cummings Publishing Company. 580 p.

Codd, E. F. 1970. A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. Communications of the ACM. 13(6):377-387

Date, C.J. 1986. An Introduction to Data Base Systems. Vol 1 & 2. Addison-Wessley. Reading Mass.

DeMarco, T. 1978. Structured Analysis and Systems Specification. Englewood Cliffs. N.J. Prentice-Hall. 352 p.

Feigenbaum, E.A. 1977. The art of artificial intelligence: Themes and case studies of knowledge engineering. Proceedings of the 5th IJCAI: 1014-1029.

Henderson-Sellers, B. & Edwards, J. M. 1990. The Object Oriented Systems Life Cycle. Communications of the ACM. 33(9):142-159

Huhtamo, E. 1991. Ohjeita virtuaalimatkalle lähtijöille. In: Huhtamo, E. (ed.). Virtuaalimatkailijan käsikirja. Lähikuva 2-3, 1991. p. 3-11.

Iivari, J. 1991. Object-Oriented Design Of Information Systems: The design process. In: Van Assche. Moulinm Rolland (Ed.). Object Oriented Approach in Information Systems. Proceedings of the IFIP TC8/WG8.1 Working Conference on the Object Oriented Approach in Information Systems. Quebec City. Canada. 28-31 October 1991. p. 61-87.

ISO-report, 1982. Concepts and Terminology for the Conceptual Schema and the Information Base.

Jackson, M. 1983. Systems Development. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. New Jersey.

Kaila, E. & Marshall, L. 1992. Information Systems Development in Forestry: A Model For Applied Software Development. Manuscript submitted to Scandinavian Journal of Forest Research. 33 p.

— & Saarenmaa, H. 1990. Tietokoneavusteinen päätöksenteko metsätaloudessa. Computer-aided decision making in forestry. Folia Forestalia 757. 34 p.

Korson, T & McGregor, J.D. 1990. Understanding Object-oriented: A unifying Paradigm. Communications of the ACM. 33(9):40-60.

Mellor, S. J., & Ward, P. T. 1986. Structured Development for Real-time Systems, Vol. 3: Implementation modelling techniques, Yourdon Press, 1985.

Orr, K. 1977. Structured Systems Development. New York, Yourdon Press.

Page-Jones, M. 1988. The Practical Guide to Structured Systems Design. Englewood Cliffs. Prentice-Hall. N.J.

Shlaer, S. & Mellor, S.J. 1988. Object-Oriented Systems Analysis: Modelling the World in Data, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 144 p.

— & Mellor, S.J. 1989. An object-oriented approach to domain analysis. ACM Sigsoft Software Engineering Notes. 14(5):66-77.

Sundgren, B. 1981. Databaser och Datamodeller. Studentlitteratur. Lund. 118 p.

Ullman, J.D. 1988. Principles of database and knowledge-base systems. Vol. 1. Computer Science Press. Inc.. Rockwille. Maryland. 631 p.

Yourdon, E. 1990. Modern Structured Analysis. Yourdon Press. Prentice Hall. 672 p.

— & Constantine, L. 1989. Structured Design: Fundamentals and Applications in Software Engineering. Englewood Cliffs. N.J.: Yourdon Press.

# V

# INFORMATION SYSTEMS DEVELOPMENT IN FORESTRY: A MODEL FOR APPLIED SOFTWARE DEVELOPMENT

Erkki Kaila
The Finnish Forest Research Institute
Rovaniemi Research Station, Etelaranta 55, 96300 Rovaniemi, Finland.
(Erkki.Kaila@metla.fi).

AND

Larry Marshall
Canadian Forest Service, Petawawa National Forestry Institute
P.O.Box 2000, Chalk River, Ontario, Canada. (LMarshall@pnfi.forestry.ca).

## ABSTRACT

The paper introduces an information system (IS) and application software development methodology, capable of supporting scientific research-related IS analysis that is flexible enough to be used in both process-oriented, and object-oriented modelling approaches. Two case examples are presented to facilitate the discussion of associated problems. The conclusion suggests that the addressed application environments should adopt the presented methodology and emphasize the organizational perspective of information systems analysis.

## Introduction

Designing information systems (IS) is complex and resource consuming even if the application domain is well known. When an application environment includes parts of different domain areas (see Fig. 1), or if the domain concepts are not fully known, chances are that efforts to establish an information system will end up with an ineffective or inefficient solution. In this

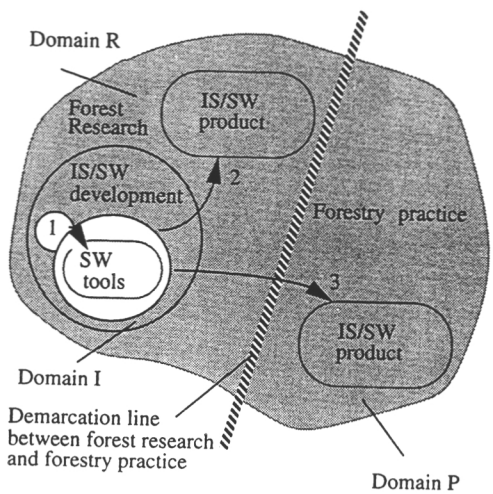



Figure 1. Three information system and application software development categories for research.

context we will study the coexistence and dialogue of forest research and forestry practice as a difficult but possible environment for IS development and technological transfer. The purpose of this paper is to introduce the forestry community to an information system and application software development methodology capable of supporting research related IS analysis.

Analysis and design methodologies, and the supporting general theory, provide the structure for an efficient design and implementation process for integrated systems. These methodologies help to avoid the pitfalls of design projects by requiring that designers, researchers, and users provide adequate information on the scale, coverage and environment of the future IS. It is especially important that questions about the organizational change surrounding the development, usage and maintenance of the IS are answered before beginning implementation of any substantial system.

For forest researchers, advanced computing technologies have become very appealing. In addition to the increased numerical power for modeling, the new technology has made it possible to implement operational data bases from the vast amount of data collected during the time that organized environmental research has existed. Software applications can also access and manipulate aerial photographs or remote sensing images and the spatial nature of these data lead directly to geographical IS applications. Artificial intelligence concepts and object-oriented development of software applications fit very well into a forest research environment.

New technologies invite forest researchers to consider software applications as the principal product of their research efforts. We fully support this way of thinking providing there is a clear comprehension of the differences between the three categories of application software production in scientific research. The categories are (Fig. 1) 1) Application software developed as research tools (eg - statistical analysis tools), 2) IS and application software developed for use within the research community (eg - ecological simulation), 3) IS and application software developed to provide solutions to applied forestry problems (eg - decision support system).

Constraints and organizational needs associated with the third category are more extensive than with the first two categories. Previous attempts at the production of applied forestry IS have illustrated a growing need to understand how design and implementation of IS components and their integration into products should be accomplished (Baskerville & Moore 1988, Coulson et al 1989, Saarenmaa & al, 1990, 1991, Kaila et al. 1990, ).

To cover the concepts associated with problems of IS and application software development, i.e. analysis, design and implementation, we must broaden our scope from the level of single application generation to the level of integrated IS development or software production. The relationship between IS design methodologies and associated concepts presented in this paper is illustrated in figure 2. Further, to facilitate our discussion of development methodologies and how they can serve as a solution to many problems associated with software products being produced for transfer to users, we will present two examples. The first is a description of an actual forest technology working environment. The second is a more specific example of a decision support system in the beginning stages of development. It will be used to relate IS methodologies to the specifics of such a project.

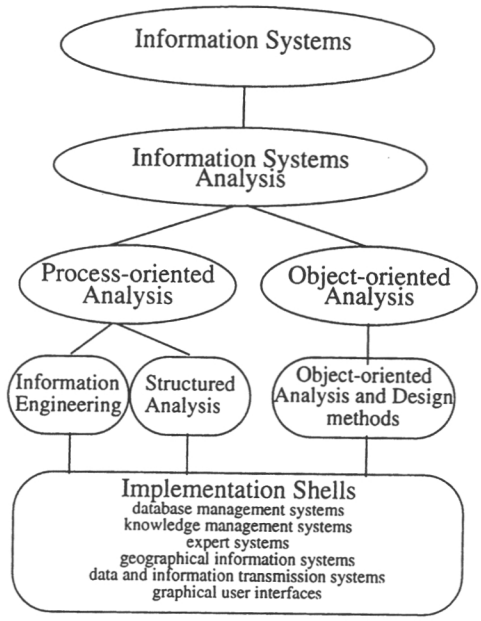



Figure 2. The relationships between design approaches

**Problems of software technology transfer between different information systems cultures in Finnish forestry community**

Relatively few forest research IS implementations in Finland have been successfully delivered to forestry practitioners even though computing facilities have reached about the same technical level in forestry organizations, as in scientific research organizations. There are several organizational reasons for the delay. When we study the course of IS development in both sectors, we see that the form of computer utilization is different.

Partly the differences support the producer-consumer relationship between research and forestry organizations but it also forms a "cultural conflict" that prevents direct connections at the IS organizational level. Forestry organizations, public and private, are using and developing computing facilities for their economical purposes. The development efforts are seen as major investments to support the business. Integrated systems are implemented to support strategic and tactical (long term) planning, and operational planning in forest management. Simulation systems and smaller stand-alone applications are utilized separately to support decision making within the planning system (Siitonen 1985, Parviainen et al. 1985). Databases may be well defined, but the technical implementations vary greatly. These organizations have exhaustive IS development plans for technical levels, and support the decentralized division of work within each organization.

In contrast, the Finnish research sector has seen computing as a mere methodological option. Forest research, which takes place mainly in the Finnish Forest Research Institute (FFRI) and universities, has been heavily biased towards modeling. While several stand-alone management IS and decision support systems have been developed separately, very few serious IS oriented projects have been or are currently promoted within the FFRI.

Both sectors set the development of a computerized forestry planning system as a high priority development goal (Kilkki 1985, Hagström & Kaila 1988) and emphasize the importance of applying GIS technologies as the solution to the implementation of general interfaces to forestry software. In the scientific research community, the concept of a national inventory system, including the utilization of remote sensing and continuous inventory data, is seen as a base system for other planning systems within national forestry (Pöntinen & Saarenmaa 1990). The degree of centralization of IS development is higher in the forestry organizations than in the research units, though usage and maintenance of these systems is highly decentralized.

Technical standards in both the forest research and forestry practice are already quite high. In theory they can transfer software products from research units to forestry companies and other users but in practice this has not taken place. There are two reasons: 1) In spite of the up to date technology, the IS culture is not mature enough on either side to meet requirements for transfer of IS products, 2) There is no "common language", capable of covering the concepts of three different domains of forest research, forestry practice, and software development (R, P and I in fig. 1). Such a language is needed to achieve an understanding of the problems of common interest and their solutions.

## The case of the Jack Pine Budworm Decision Support System Project

The Jack Pine Budworm Decision Support System (JPBWDSS) project is an international project in the early stages of development. The project goal is to develop a decision support system that will allow pest managers to better predict when and where budworm infestations may occur, how severe they will be, and what management options will meet the user's objectives. This project is a classic example of our category 3 type of DSS project (Fig. 1). A product is to be developed within the research community for use in applied forestry.

The personnel associated with the project are quite diverse and geographically spread over North America. The research/systems groups are comprised of people at Forestry Canada's Petawawa National Forestry Institute and the U.S.D.A's forestry service FPM-MAG lab in Fort Collins.

Users and research scientists associated with the project include federal, state, and provincial entomologists, foresters, silviculturists, and economists. Actual product users are represented by individuals from several levels of forest management hierarchies within Canada and the United States.

For such a project to succeed fundamental problems should be addressed and solved. Obviously the group must develop a system framework to accommodate models, databases, and "expert opinion". In a recent paper, Coulson, et. al. (1989) suggested that the principal reason for failure of such projects to provide products to end users is that "methods did not exist for efficient integration, interpretation, and delivery of the different forms of knowledge representation (such as simulation models and evaluation functions, technical information, databases, and expert opinion) and because multiple levels of users in an administrative hierarchy were not considered". The authors proposed what they refer to as a "knowledge system environment" (KSE) to address this problem.

But other problems exist which must be addressed by the JPBWDSS organizers. Because there are two systems development groups, tight communication links and working methodologies must be established. Research scientists and end users are spread throughout North America and thus communication between them and the systems development groups will also require efficient communication as well as structure to the form and sequence of

information transfer. Coulson, et. al. (1989) eluded to these problems when they said "We have indicated the concept of technology transfer is imbedded in principles associated with management science, cognitive psychology, and perhaps other academic disciplines. Pertinent concepts can be incorporated into the KSE methodology". The IS development methodologies we discuss here are designed to address these problems.

## Information systems development approach

Scientific work is unique by its nature and very difficult to fit into any pre-formatted form. Many of the IS development models were established for the implementation of business applications, so the conceptual background differs from that of science. This does not mean that the methodologies are not profitable for the scientific community, but, that they emphasize a set of constraints and premises which may not affect directly the functions and outcomes of research. Such methodologies can be used as a "decision support system" in the control of application software development and they normally serve the communicational needs between the project development group and the steering committee (Iivari 1990a).

By one definition, formal IS design methodologies are called "socio-cybernetic" because of their ability to support analysis and design of control in social systems (Iivari 1983). Iivari (1990a, 1990b) has recently presented a short but comprehensive treatise on the general theory of IS and software design. His Hierarchical Spiral Model for Information System and Software Development is a combination of, and contribution, to two former models. They are Iivari's (1983) and Iivari and Koskela's (1987) PIOCO model for IS development and Boehm's (1988, 1986) Spiral Model for Software Development and Enhancement on the software engineering level. Iivari suggested "an integrative framework which is able to incorporate a considerable number of more detailed IS/SW development approaches and support a flexible, situation-dependent application of the approaches".

## Information System and Application Software Concepts

When compared to computer science, the discipline of IS science is conceptually larger, and includes the former as a nested sub-structure. To facilitate our discussion of IS concepts we provide a few definitions:

*Organizational function* - An organizational function is any defined set of functions, carried on by a person or group within an organization. An organizational function may change its environment and its function patterns and thus may retain its active status over a long time span. An organizational function can be characterized by its purpose, products, process and actors (Kerola & Järvinen 1975).

*Actor* - An actor is any single person, or group of persons, involved in the functions and the products of an organizational function.

*Information system* - An information system is a set of implemented functions and actors which serve one or several organizational functions by producing information needed in decision-making or as the final product of the organizational function. An information system can be characterized by it's purposes, processes, inputs, outputs and state information, and the producers and consumers (human roles) of the information carried within it.

Commonly the differences between the two basic concepts, information and data, are left without any concern. Both are usually regarded as references to extensions of human knowledge and often the words are used as synonyms. Here, however, we emphasize the usage

of information in decision making and the technical nature of data and assume that a piece of data is carrying information when it can be used as a premise for a decision.

There are normally several different actor groups who care about the information products and functions of the system. A couple examples of these relationships are:

Example 1: The Department of Forest Economics in the FFRI has implemented a bibliographical database application for internal usage. For this system there are the following actor groups: 1) researchers, 2) librarian, 3) technical staff members, 4) administration department of the institute and 5) visitors of the department. The development process of this system implementation type falls to the second category in our software product classification (Fig. 1).

Example 2: In our JPBWDSS example we have the following actor groups: 1) research scientists, 2) project organizers 3) forest managers, and 4) government administrators. It may be valuable to reiterate here that the first two groups of actors will be present in all 3 categories of development. But the direct involvement of forest managers and governmental administrators and their interest in use of the final product, places this DSS project within our third category of projects (Fig. 1).

In IS design, target systems are seen as software products that form a complex web of interacting entities serving defined organizational functions (Iivari 1990a). Reduction of complexity is needed to facilitate analysis and manipulate actions of the system. The conceptual framework of the model divides the target system into three different levels of abstraction: the organizational level (O-level), the conceptual/infological level (C/I-level), and the datalogical/technical level (D/T-level).

On the organizational level "the structure of the organizational context of an IS/SW product is described in terms of the host organization, i.e. organizational actors, organizational positions, their authority relationships, and organizational channels mediating the material and the information resources needed by organizational functions" (Iivari 1990a).

On the conceptual/infological level Iivari (Iivari & Koskela 1987, Iivari, 1990a) uses the concept "Universe of Discourse" to cover the system's logical information structures and information contents and is used to describe the entities, their associations and attributes. The IS functions are defined in terms of inputs, outputs and state information types, and the user interface is described.

The datalogical/technical level of abstraction attempts to describe the target system's architectural and physical attributes. These structural plans consist of abstractions on existing and potential computers and data communication links in the system and the functional components like application generation shells, data bases and computer programs are defined so that they can be identified independently. The next section illustrates how these abstraction levels can be used to reduce complexity in IS analysis and design.

## Information systems design concepts

Before the mid 70's, IS were assumed to have a characteristic dynamic life span (Kerola & Järvinen 1975). The duration covered the phases of development, usage and maintenance, and running down of the system. This last phase is the period when the system is still operational, but had decreasing value for the actors of the system. IS development processes were divided into sub-phases using several organizational schemes. The IS design approach based on this

model divided IS development into sub-phases of design, implementation and improvement during the maintenance period (Fig. 3).

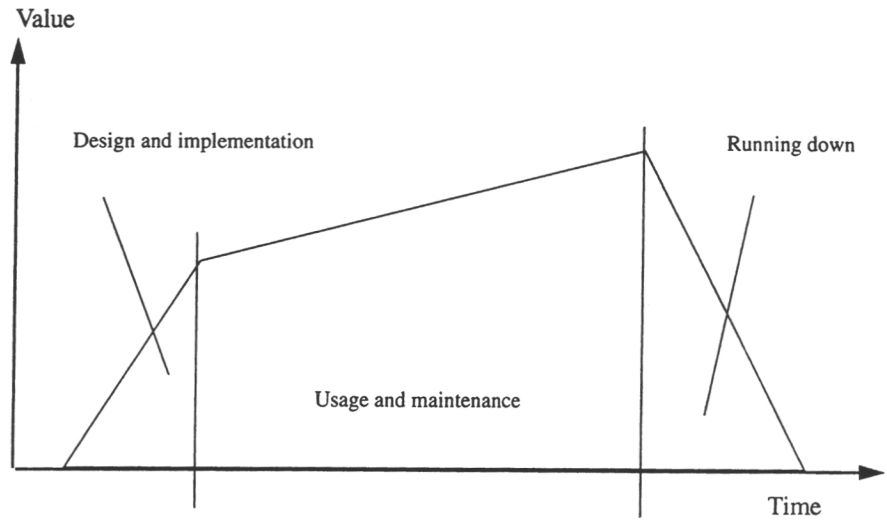



Figure 3: Information systems life span

The Y-axis denotes the relative value of the information system to the actors of it. The traditional software life cycle has been generalized (i.e. Kerola 1975) with analyzing, design, and building activities arranged in a linear process. However, a life span based model is too simplified to describe actual development dynamics. Modern design models are based on the assumption of perpetual systems which evolve over the time (Fig. 4) (Iivari & Koskela 1987, Boehm 1988, Henderson-Sellers & Edwards 1990, Iivari 1990a).

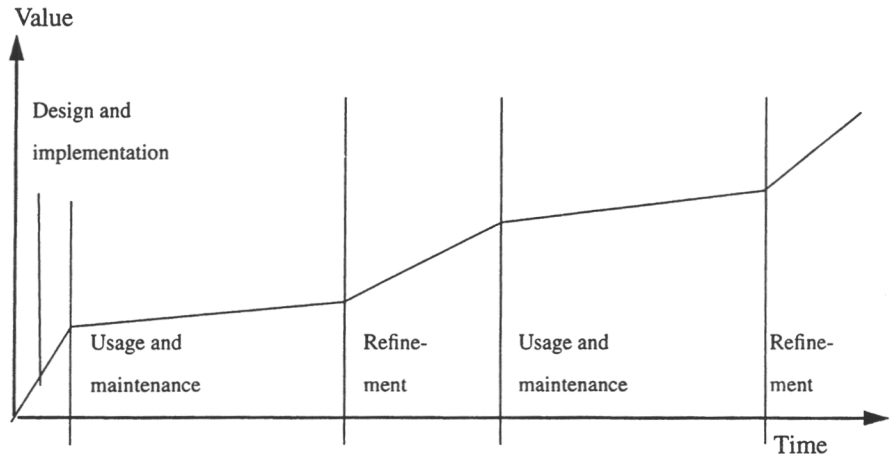



Figure 4: Information systems evolution

Two decades of research on software design methodologies have produced many different models for IS analysis and design such as JSD (Jackson 1975), SART (Ward & Mellor 1985a & 1985b, Mellor & Ward 1986), ISAC (Lundeberg, Goldkuhl & Nilsson 1981), and PIOCO (Iivari 1983, Iivari & Koskela 1987). We believe that only the two spiral models, Boehm's (1988) Spiral Model of Software Development and Enhancement and the Hierarchical Spiral Model for IS/SW Development (Iivari 1990b) maintain the generality vital for scientific use, and include the required flexibility for both process-oriented and object-oriented approaches.

In Iivari's (1990b) model for IS development, the organizational, conceptual/infological, and datalogical/technical meta-models are used as the basic structure for the development process. For any IS methodology to be effective there must be a foundation for all activities. Evolution dynamics forms that foundation for software product development by providing the iterative feedback mechanism required. The framework for all project activities, and their control (the identification of when steering committee decisions will be made), is the main phase dynamics which identifies three main phases for the IS/SW design process. As discussed, these are: 1) the organizational (O main phase), 2) the conceptual/infological (C/I main phase), and 3) the datalogical/technical design phases (D/T main phase) and that these occur in this order (Iivari 1990b).

Because of the iterative nature of the spiral hierarchical model, each cycle builds upon the knowledge obtained from the preceding activities. Thus, an important part of the methodology is learning dynamics which results from the execution of planned or unplanned iterations in the design process. Prototyping, regarded as a design and implementation approach, includes much of the learning activities. It also implies, as Iivari says (1990b), "that the main phases do not have a linear structure but intertwine within IS design at different levels of modeling".

The spiral structure in Iivari's (1990b) model organizes the main phases into a layered structure directed "downward" from the organizational planning, through the conceptual/infological and datalogical/technical planning, to the level of implementation. All levels, excluding implementation level, submit possible iterations of planning, diagnosis and design acts associated with the current level and levels below. Prototyping is utilized on every level for modeling and systems component production. Verification and validation of the emerging model is done on each level by referring to the set of choice and quality criteria (see Iivari & Koskela 1987). This is done from the viewpoint of both the software product and the IS process.

The main phases and the control dynamics of the IS development process are illustrated in the figure 5. Each spiral starts from the center. We have modified Iivari's (1990b) model by extending the spiral to the implementation main phase, and extending prototyping acts to include space freed by O and C/I design acts on C/I and D/T main phase. The purpose of these changes will be discussed shortly in the Object-oriented Analysis and Design section.

The importance of the O phase to projects such as the Jack Pine Budworm Decision support system cannot be overemphasized. In spite of this most design methodologies address the C/I and D/T phases but little or no emphasis is placed upon O phase activities. KSE (Coulson et al. 1989), for instance, attempts to organize the actual conversion of gathered information into a DSS product. But for projects crossing the research & forestry community boundaries (category 3) such as the JPBWDSS, KSE is inadequate because it is during the O phase that the desired product is defined, hopefully by the forestry community, and a common basis for discussion between forest practitioners and systems designers is established.

As an international project the JPBWDSS must develop a product compatible with two major management hierarchies and philosophies (USDA & Forestry Canada) and several smaller

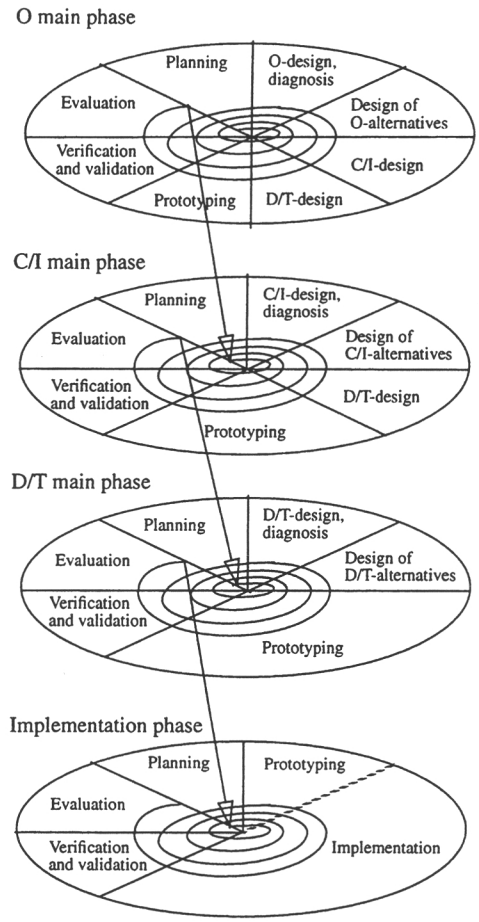



Figure 5: A modification of the hierarchical spiral model (Iivari 1990b).

management hierarchies and philosophies (state and provincial agencies). Without careful analysis of how the product will serve the needs of each agency, how operation and maintenance costs will be distributed, and who within the organization will ultimately be responsible for use of the product and its information, it is unlikely that any product will fit the needs of all parties. It is during the O phase that an overall cost/benefit analysis of the project is done. As the O main phase iterations take place, a set of product evaluation criteria evolve based on the product's actual use and in terms familiar to all steering committee members regardless of which domain they represent.

It should be noted that the number of iterations during any phase is determined by the steering committee. For example, if the JPBWDSS project had been preceeded by a series of DSS projects between the US and Canadian forest services (assuming these projects had followed the spiral methodology), detailed information would already exist on the nature and demands of the organizations. Only the detailed integration of new aspects associated with the JPBWDSS

itself would need to be handled and thus only one or two iterations would be necessary during this phase.

An IS approach such as the spiral model discussed here is not applied directly. Rather, they serve to provide structure to methodologies that provide the actual tools for analysis and design. These methodologies can be divided into process-oriented and object-oriented methodologies.

### Process-oriented Analysis and Design

Process-oriented analysis and design methods have been developed from the "waterfall software development life cycle". This design model orders analysis, design, coding, testing and integration phases linearly. Improvements have been made by adding evolution and iterative features to the processes (Boehm 1988) but the basic linearity remains a major part of the model.

Many methodologies successfully support the process-oriented approach. The differences between these methodologies are based on their emphasis on the O aspects. Most methodologies emphasize the target technology from the C/I and D/T point of view. Very few of them are based on a clear distinction of the importance of O aspects (Iivari 1987, Iivari 1990a).

### Object-oriented Analysis and Design

Recent discussions on object-oriented analysis and design point to the impotency of traditional analysis methodologies to describe the design goals and activities of an object-oriented approach (Yourdon 1990, Coad & Yourdon 1990, McGregor & Korson 1990, Booch 1991). New methodologies like the spiral models and fountain methodology have been proposed (Boehm 1988, Iivari 1990b, Henderson-Sellers & Edwards 1990).

Object-oriented analysis and design requires a more iterative approach than does the process-oriented approach. Most of the known analysis methodologies provide some front end support to OOA, but altered requirements on the C/I and D/T design and implementation levels make many of their features insufficient.

Object-oriented programming itself is often regarded by developers as a powerful vehicle in analysis of natural phenomena and social or technical processes because it involves modeling of the actual objects of a complex system. The behavior of each object type and the cooperation of multiple object instances in a system, are easy to implement with modern development tools. Thus the analysis and design of software is heavily guided by the needs of object-oriented programming (Booch 1991). In addition, an object-oriented approach provides interim prototypes that can be evaluated during the development process.

These strong prototyping capabilities of object-oriented programming, and the formal phases of prototyping in the spiral models, can be combined to provide a strong basis for the development of demonstrations using the evolving target system's prototype. This should provide the steering committee with a clear formulation of the project status and thus serve as a strong mechanism for evaluation and decision-making.

The great flexibility in analysis and planning required in the object-oriented approach is provided by the possibility of iteration of main and sub phases in Iivari's (1990b) spiral model. The cycling frequency can be increased when tighter control by the steering committee is desirable.

## Conclusions

In our introduction of the jack pine budworm project we identified several problems associated with the production of a decision support system that would ultimately be delivered by the research community to the forest management community. These problems were that development of such systems require management methodologies that provide both a mechanism and language to facilitate ongoing communication between systems analysts, developers, programmers and the research scientists, silviculturists, forest managers, and administrators associated within such a project. These methodologies must also provide a steering committee with an effective means of managing the project.

We feel the methodologies presented here serve that purpose. By addressing user requirements, early in the analysis process and continuously throughout the development process, the method builds a basis for evaluation and a basis for communication that all participants can comprehend. The cyclic nature of the method permits incremental assessment of the project by the steering committee, using standard risk management methodologies. Within the framework presented here, both process-oriented and especially object-oriented design/implementation methodologies can be accommodated.

Considering the two introduced problems within the Finnish forestry community, the immaturity of the IS development culture and the need for the definition of a common language. We suggest the following: the inter-domain communication between the community members should embody a common conceptual approach to the IS paradigm. This should include the hierarchical spiral model for IS development and domain specialized terminology on object-oriented technology.

The problems of the two case examples presented in this paper are quite different. However, similar IS methodologies can be used to solve both sets of problems. The required investments for the utilization of the proposed methodologies will be significant but reasonable compared to the improved value of the infrastructure and the target IS.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank Dave Brand, Mike Clarkson, Steve D'Eon, Peter Kourtz, Tom Moore, Carey Lockwood and Janice Edwards. Discussions with these people were valuable in formulating the ideas presented here.

Discussions with Hannu Saarenmaa, Hannu Salminen, Ari Nikula and others at Rovaniemi Research Station and elsewhere in the Finnish Forest Research Institute and former METIK-working group have provided much of the foundation for our work.

The authors also owe much to Juhani Iivari and Pentti Kerola at the Institute of Information Systems Science at University of Oulu and to Pertti Järvinen at the University of Tampere.

Stanley Keymer and Carolyn Pensom were very helpful during the literature survey.

## REFERENCES

Baskerville, G. & Moore, T. 1988. Forest Information Systems that Really Work. Forestry Chronicle. **64**: 136-140.

Boehm, B., W. 1988. A Spiral Model of Software Development and Enhancement. Computer. **May 1988:** 61-72.

Booch, G. 1991. Object oriented design with applications. The Benjamin/Cummings Publishing Company, 580 pp.

Coad, P. & Yourdon, E. 1990. Object Oriented Analysis. Yourdon Press, Prentice Hall, 233 pp.

Coulson, R.N., 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.

Hagström, J. & Kaila, E. 1988. Metsien kasittely-suunnitelman tietokannan yleismalli - SCODB, Summary: A SQL Prototype for Silvi Cultural Operations Data Base Application, The Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Research Station, METIK-project 29. 41 pp.

Henderson-Sellers, B. & Edwards, J. M. 1990. The Object Oriented Systems Life Cycle. Comm. of the ACM. **33**: .142-159.

Iivari, J. 1983. Contributions to the Theoretical Foundations of Systemeering Research and the PIOCO model. Acta Universitatis Ouluensis, Series A., No. 150, Oulu.

Iivari, J. 1987. A Methodology for IS Development as an organizational Change: the IFIP case. In Järvinen, P. (editor), The Report of the 10th IRIS Seminar, Part 1., Acta Universitatis Tamperensis, University of Tampere

Iivari, J. 1990a. Hierarchical Spiral Model For Information System and Software Development. Part 1.: theoretical background. Information and Software Technology. **32**: 386-399.

Iivari, J. 1990b. Hierarchical Spiral Model For Information System and Software Development. Part 2.: design process. Information and Software Technology. **32**: 450-458.

Iivari, J. and Koskela, E. 1987. The PIOCO model for IS design. MIS Quarterly. **11**:3.

Jackson, M. 1975. Principles of Program Design. Academic Press, New York.

Kaila, E., Saarenmaa, H., Lehto, K., Salminen, H. & Pöntinen, J. 1990. Conceptual models behind the information systems architecture of the Finnish Forest Research Institute. Poster paper p. 797. In: Buhyoff, G. (editor) Resource Technology 88. Proceedings of the Second International Symposium On Advanced Technology in Natural Resource Management. Washington, D.C., November 12-15, 1990.

Kerola, P. 1975. On Hierarchical Information and Data Systems in Data Systems Life Cycle, in Lundeberg, M. & Bubenko, J. Jr. (editors): Systemeering 75, Studentlitteratur, Lund. 323 p.

Kerola, P. & Järvinen, P. 1975. Systemointi II., Oy Gaudeamus Ab, Helsinki, Finland.

Kilkki, P. 1985. Timber management planning., Silva Carelica 5. 160 p.

Lundeberg, M., Goldkuhl, G. & Nilsson, A. 1981. Information Systems Development: A Systematic Approach., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

McGregor, J.D., & T. Korson 1990. Understanding Object-Oriented: A Unifying Paradigm. Comm. of the ACM., **33**: 40-60.

Mellor, S. J., & Ward, P. T. 1986. Structured Development for Real-time Systems, Vol. 3: Implementation modelling techniques., Yourdon Press, 1986.

Parviainen, J., Sokkanen, S. & Ruotsalainen, M. 1985. Metsän uudistamisen vaihtoehtoja vertaileva laskentaohjelma VILJO. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. 179. 93 p. Joensuu. Research Station

Pöntinen, J. & Saarenmaa, H. 1990. Tietohallinnon kehittämissuunnitelma, Sum mary: Information management development plan, The Finnish Forest Research Institute, memorandum. 3 p.

Saarenmaa, H. & Nikula, A. 1989. Managing Moose Damage in Forestry Plantations: A Deep Model of Animal Behavior on a Geographic Information System Platform, Conference Proceedings of the 9th Workshop on Expert Systems and Their Applications. pgs. 825-831.

Saarenmaa, H., Lehto, K., Kaila, E., Salminen, H. & Pöntinen, J. (editors), 1990. Metsäntutkimus-laitoksen tietojarjestelmastrategia, Tyoryhman mietinto, Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja., 350, Metsäntutkimuslaitos.

Saarenmaa, H. 1991. Artificial Intelligence, Decision Support, and Information Systems Strategies in Forestry. IUFRO XIX World Congress., Montreal, Canada, August 5-11, 1990. Congress Reports, Volume B, 379-390.

Saarenmaa, H., Kaila, E., Lehto, K., Piippo, H., Salminen, H. & Pvntinen, J. 1991. The new information system architectures and strategies of the Finnish Forest Research Institute. In: Buhyoff, G. (editor) Resource Technology 90. Proceedings of the Second International Symposium On Advanced Technology in Natural Resource Management. Washington, D.C., November 12-15, 1990, 569-578.

Siitonen, M. 1985. Metsälaskelma. "Maa- ja Metsätalouden yhteissunnittelu", Seminar presentation., 12.11.1985 Espoo. 12 p.

Ward, P. T. & Mellor, S. J. 1985a. Structured Development for Real-time Systems, Vol. 1: Introduction & tools. Yourdon Press, 1985.

Ward, P. T. & Mellor, S. J. 1985b. Structured Development for Real-time Systems, Vol. 2: Essential Modelling. Yourdon Press, 1985.

Yourdon, E. 1990. Auld Lang Syne. BYTE. October 1990, pp. 257-264.

Figure 1: Three information system and application software development categories for research

Figure 2: The relationships between design approaches

Figure 3: Information systems life span

Figure 4: Information systems evolution

Figure 5: A modification of the hierarchical spiral model (Iivari 1990b)

## Liite B: METKA- ja METIK-projektin raportit

METKA-projektin raportit

1 Kaila, E., Taipale, M. & Kinnunen, H. 27.10.1983. METKA-TIETOKANTAJÄRJESTELMÄ JA SEN RAKENTAMINEN.

2 Taipale, M. & Pukkala, T. 02.01.1984. TILAKANTA KUVIOITTAISEN ARVIOINNIN TIETOKANTA.

3 Kinnunen, H. 30.12.1983. JULKAISUJA LUONNONVAROJEN TIEDONHALLINNAN KEHITTÄMISESTÄ.

4 Kaila, E. 30.01.1984. TUTKA-TIEDONHALLINTAOHJELMISTO. TIETOKANNAN MUODOSTUS JA KÄYTTÖ.

5 Taipale, M. & Kaila, E. 20.03.1984. TUTKA-TIEDONHALLINTAOHJELMISTO. TIETOKANNAN KÄYTÖN JA YLLÄPIDON APUOHJELMAT.

6 Kaila, E. & Taipale, M. 30.01.1984. TUTKA-TIEDONHALLINTAOHJELMISTO. DML-OHJELMAT, KÄYTTÄJÄN KÄSIKIRJA.

7 Kaila, E. & Puoskari, J. 27.02.1984. METSÄNHOITOTUTKIMUKSEN KOETOIMINNAN TIETOKANTA: TIETORAKENTEEN JA -SISÄLLÖN YLEISKUVAUS.

8 Saarenmaa, H., Kaila, E., & Kyrki J. 17.05.1984. AUTOMAATTISEN TIETOJENKÄSITTELYN MAHDOLLISUUDET ENTOMOLOGISTEN HAVAINTOTIETOJEN HALLINNASSA. Esitelmä Suomen Perhostutkijain Seura, Helsinki, 11.04.1984.

9 Kaila, E. & Taipale, M. 05.09.1984. TUTKA-TIEDONHALLINTAOHJELMISTO. TIETOKANNAN MUODOSTUS JA KÄYTTÖ.

10 Kaila, E. 04.05.1984. HAVAINTOJEN KÄSITTELY JA AINEISTON MUODOSTUS. TIEDONHALLINNAN NÄKÖKULMA. Esitelmä Metsikön suunnittelu-, mittaus- ja laskentapäivät Viikki, 14.–15.05.1984.

11 Taipale, M. & Kaila, E. 20.08.1984. TUTKA-TIEDONHALLINTAOHJELMISTO. RAKENTAJAN KÄSIKIRJA I. Ohjelmiston yleiskuvaus, installointiohje sekä tietokannan yleisrakenne.

12 Posio, A., Taipale, M. & Kaila, E. 20.08.1984, TUTKA-TIEDONHALLINTA-OHJELMISTO. RAKENTAJAN KÄSIKIRJA II. UTILITY-ohjelmisto.

13 Posio, A., Taipale, M. & Kaila, E. 20.08.1984. TUTKA-TIEDONHALLINTA-OHJELMISTO. RAKENTAJAN KÄSIKIRJA III. DML-ohjelmat.

14 Kaila, E. 3.12.1984. METKA-METSÄSEKTORIN TIETOJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU- JA RAKENTAMISHANKKEEN ESITUTKIMUS.

15 (Puuttuu.)

16 Kaila, E., Kinnunen, H. & Timonen, T. 22.02.1985. BIB-VIITETIETOKANTA-OHJELMISTO. VERSIO 1/3. Tietokannan muodostus ja käyttö.

17 Kaila, E. 19.02.1985. ATK METSÄTIEDON HALLINNASSA. Esitelmä Rovaniemen ja Kolarin tutkimuspäivillä 19.02.1985.

## METIK-projektin raportit

1 Taipale, M. 27.6.1985. KIVA-PROJEKTI JA KIVALO-KUVIOTIETO-JÄRJESTELMÄ.

2 Kaila, E., Kinnunen, H. & Timonen, T. 28.2.1985. BIB-VIITETIETOKANTA-OHJELMISTO. TIETOKANNAN MUODOSTUS JA KÄYTTÖ.

3 Taipale, M. 3.10.1985. 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON VERY LARGE DATA BASES, STOCKHOLM 1985. KATSAUS AIHEPIIRIIN.

4 Kinnunen, H. 31.10.1985. KUVIOTIEDOT.

5 Pekkonen, T. & Taipale, M. 9.12.1985. KUVIOON LIITTYVIEN KARTTA- JA TUNNUSTIETOJEN YHTEISKÄYTTÖ NALLE- JA TUTKA-OHJELMISTOILLA.

6 Taipale, M. & Finell, S. 10.12.1985. TUTKA 2.0 KÄYTTÖOHJE.

7 Kinnunen, H. 30.12.1985. BIB-KÄYTTÖOHJEEN PÄIVITYS.

8 Kinnunen, H. 1.9.1986. BIB-KÄYTTÖOHJEEN PÄIVITYS. VERSIO 2.1.

9 Nuutinen, T. 8.12.1986. PAIKKASIDONNAISEN TIEDON HALLINTA-JÄRJESTELMÄ.

10 Pekkonen, T. 12.12.1986. SATELLIITTIKUVIEN JA KARTTAJÄRJESTELMÄN INTEGROINTI. ESITELMÄ "KAUKOKARTOITUKSEN NYKYTILA JA TULEVAISUUS" -SEMINAARISSA HYYTIÄLÄSSÄ 11-12.12.1986.

11 Virtanen, E. 15.1.1987. BIB-VIITETIETOKANTAOHJELMISTO. VERSIO 2.1. KÄYTTÖOHJE.

12 Kinnunen, H. 16.1.1987. METLAN SARJAT VIITETIETOKANTANA.

13 Auvinen, P. 19.1.1987. NALLE-KARTTAOHJELMISTON (VERSIO 4.2) KÄYTTÖ TUTKIMUSALUETOIMISTOSSA.

14 Lepola, A. 23.1.1987. METSÄKARTTAOHJELMISTON KEHITTÄMINEN. VÄLIRAPORTTI.

15 Kaila, E. & Saarenmaa, H. 26.1.1987. TIETOKONEAVUSTEINEN PÄÄTÖKSENTEKO METSÄTALOUDESSA.

16 Siitonen, M. 27.1.1987. YLEINEN METSÄTIETOJÄRJESTELMÄ JA VALTAKUNNAN METSIEN 9. INVENTOINTI. ALUSTAVIA MUISTIINPANOJA KESKUSTELUN POHJAKSI.

17 Mäkeläinen, J. 30.1.1987. NALLE-OHJELMISTOSTANDARDI.

18 Mäkeläinen, J. 30.1.1987. NALLE. VERSIO 4.2. UUDET OMINAISUUDET.

19 Taipale, M. 31.1.1987. RELAATIOPOHJAINEN VIITETIEDONHALLINTA-JÄRJESTELMÄ METLAN TUTKIMUSTOIMINNAN TIETOPALVELUN KEHITTÄMISEKSI.

20 Timonen, M. 2.11.1987. M-GRAFIIKKAOHJELMAT. VERSIO 1.

21 Timonen, M. & Kaila, E. 9.6.1987. METIK-HANKKEEN MIKRO-OHJELMISTOT. VERSIO 1.

22 Saarenmaa, H. 16.9.1987. ROVANIEMEN ASIANTUNTIJAJÄRJESTELMÄ-KURSSIN 21–24.4.1987 HARJOITUSTYÖT.

23 Karpio, P. 6.1.1988. TAUNO-TAULUKKOTIETOKANTASYSTEEMI.

24 Karpio, P. 6.1.1988. TUTKIMUSALUETOIMISTON SUUNNITTELU-JÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN.

25 Mäkeläinen, J., Timonen, M. & Kinnunen, H. 20.1.1988. OHJELMIEN ULKOASU- JA KOMMENTOINTISUOSITUS.

26 Kotimäki, T. & Paananen, R. 25.1.1988. METSÄTALOUDEN TIETOJÄRJESTELMÄT-SEMINAARIN RYHMÄTYÖPALAUTE.

27 Karpio, P. 23.3.1988. TAUNO-TAULUKKOTIETOKANTA KUVIOTIEDON HALLINNASSA.

28 Kinnunen, H. 25.4.1988. MIKRO-BIB KÄYTTÖOHJE.

29 Koivunen, J. 6.6.1988. TAUNO-TAULUKKOTIETOKANTAOHJELMISTON YLEISKUVAUS JA LIITÄNTÄ MELA- JA NALLE-SYSTEEMIIN.

30 Hagström, J. & Kaila, E. 12.9.1988. METSIEN KÄSITTELYSUUNNITELMAN TIETOKANNAN YLEISMALLI - SCODB.

31 Mäkeläinen, J., Nuutinen, T. & Siitonen, M. 26.10.1988. OPINTOMATKA YHDYSVALTOIHIN JA KANADAAN 10.–24-06.1988.

32 Palviainen, P. 21.12.1988. BIB-VIITETIETOKANTAOHJELMISTO – VERSION 3.0 KÄYTTÖ.

# Liite C: Metsäntutkimuslaitoksen tuotannossa olevat tietojärjestelmät 1996

| Nimi | Kuvaus | Normatiivisia metodeja sovellettu | Tyyppi | Toteutusvälineet |
|---|---|---|---|---|
| **HeVi** | Henkilöstöhallinnon perussovellus (nimikirjat, työsopimukset, ...) | ON | DMS | Ingres |
| **TUSKA** | Tutkimuksen suunnittelu- ja seurantajärjestelmä (hankkeiden suunnitelmat ja resurssit) | ON | DMS, GWS, WEB | Ingres, Uniface, Excel, WWW |
| **PSP yhtenäinen** | Maksuliikenne- ja kirjanpitojärjestelmä | ON | DMS | PSP:n keskuskoneen eräajot |
| **HEPLA** | Palkanlaskenta | ON | DMS | VTKK:n keskuskoneen eräajot |
| **Kalustorekisteri** | Käyttöomaisuustietojen ylläpito | ON | DMS | Access |
| **Osoiterekisteri** | Yhtenäinen asiakas- ja kontaktirekisteri | EI | DMS | Ingres/ABF |
| **MESI** | Metlan julkinen verkkopalvelu | ON | WEB | Gopher, WWW |
| **METINFO** | Suorakäyttöinen metsätilastotietojärjestelmä (puukauppa, hakkuut, puunkäyttö, ...) | ON | MOD, DMS, DSS | Ingres/ABF |
| **Metsätilastojärjestelmät** | Erilaiset metsätilastotietojärjestelmät (paitsi Metinfo): vuosikirja, tilastotiedotteet, raakapuumarkkinoiden seurantajärjestelmä | ON | MOD, DMS | VAX/VMS RMS, VAX/VMS Rdb, Excel, Paradox |
| **Koerekisteri** | Metsikkökokeiden rekisteri (kokeiden hallintotiedot, koemetsiköiden ominaisuudet sijainti, mittaukset, toimenpiteet) | ON | DMS | Ingres/ABF |
| **VMI** | Valtakunnan metsien inventointi (puuston määrä ja jakautuminen puulajeittain ja puutavaralajeittain, metsien terveydentila, metsiköiden kehitysvaihtoehdot) | EI | MOD, DSS | VAX/VMS RMS, OSF1, FORTRAN, DISIMP-raakarasterikuvat |
| **VMI:n kasvillisuustietokannat** | 3. ja 8. VMI:n kasvilajien runsausarviot ja puustotiedot (linjat, koeruudut, pysyvät koealat) | EI | DMS, GIS | Paradox |
| **KEKO** | Kestokokeiden mittausaineistojen hallinta (KPL-lomakkeet) | ON | DMS, DSS | Ingres/ABF |
| **INKADB** | Kivennäismaiden pysyvien kasvukoealojen tiedonhallinta | ON | DMS, DSS | Ingres/ABF |
| **SINKA** | Turvemaiden pysyvien kasvukoealojen tiedonhallinta | ON | DMS, DSS | Ingres/ABF |
| **Metsägeneettinen rekisteri** | Metsänjalostuksen hallinnolliset, ominaisuus- ja osin toimenpidetiedot (kantapuut, siemenkeräysmetsät, geenireservimetsät, sie menviljelykset, koeviljelykset) | EI | DMS | FORTRAN |
| **Metsänjalostuksen tietokanta** | Metsänjalostuksen tietoaineistojen uusi yhtenäistietokanta | EI | MOD, DMS | Paradox |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Metsien terveydentilan tutkimusohjelman tietokannat ja aineistot** | Metsien elinvoimaisuus, kasvillisuus, karike, maaperä, saasteet | EI | MOD, DMS | PC-tietokantoja (dbf), PC- ja VAX/VMS-peräkkäistiedostot |
| **MUHSUOREK** | Muhoksen suokoetietokanta (sijainti-, perustamis- ja omistustiedot sekä mittaukset ja käsittelyt) | EI | DMS | Ingres/ABF |
| **RAVINNEREK** | Turveanalyysitulosten tietokanta (sijainti-, puusto-, lannoitus-, ojitus- ja analyysitiedot) | EI | MOD, DMS | Ingres/ABF |
| **Metsäninventointi ja tulosteet** | Pohjois-Suomen VMI-7-inventointiaineistojen hallinta ja käsittely sekä tulosteiden tuottaminen | EI | MOD | FORTRAN |
| **Säätilojen paikkatietojärjestelmä** | Kuukausittaiset keskilämpötilat, lämpösummat ja sademäärät paikkaan sidottuna | EI | MOD, GIS | Arc/Info |
| **P-S VMI 7** | Pohjois-Suomen VMI7-mittaustietojen hallinta paikkatietona | EI | MOD, GIS | Arc/Info |
| **Pallas-Ounastunturin paikkatietojärjestelmä** | Kasvillisuuskartoitus (kasvillisuustyyppi, puustotiedot, kuluminen, jäkälät, marjat), reitit, kämpät | ON | DMS, GIS | Ingres, Arc/Info |
| **MELA, GIS-Mela** | Metsäsuunnittelun järjestelmät | ON | MOD, DSS, GIS | FORTRAN, Arc/Info, Ingres |
| **TUTGIS** | Tutkimusmetsien luonnonvaratietojen hallinta sekä hoito- ja käyttösuunnittelu. | ON | DMS, DSS, GIS | Ingres/ABF, Arc/Info, C |
| **Kämppien kävijätilastointi** | Kämppien käytön seuranta | EI | DMS | Access |
| **Porolaidun-inventointi** | Porolaidunten inventointiaineistojen hallinta ja käsittely | EI | MOD, DSS | FORTRAN |
| **LANTA** | Lannoitus- ja kasvinsuojelutietojen ylläpito ja tarkkailu SU:n taimitarhalla | EI | MOD, DMS | Excel 5.0/VBA |
| **SIEREK** | Siemenrekisterin ylläpito SU:lla | EI | MOD, DMS | Excel 4.0 |
| **Tiedon Puu** | Metsätuhojen tunnistamiseen tehty oliopohjainen multimedia-asiantuntijajärjestelmä | ON | OOM | Kappa /Unix |
| **Sirex, Tuhomies** | Metsätuhojen tunnistamiseen tehty sääntöpohjainen asiantuntijajärjestelmä | ON | KBS, OOM, WEB | Personal Consultant /MS-DOS |
| **Metsätuhorekisteri** | Yksityismetsien metsäsuunnittelun metsätuhoinventoinnit TASO-tietokannasta | ON | MOD, DSS | TASO --> Arc/Info, Ingres |
| **Lignum** | Puun rakenteen ja toiminnan modulaarinen oliopohjainen simulointimalli | ON | MOD, OOM | C++ /Unix |
| **Taxon-Object** | Taksonomisen biodiversiteetin informaatiokanta Internetissa. | EI | OOM, WEB | Objectivity/DB, C++, WWW |
| **Kirjaston tietokannat** | Kirjallisuusviitteet sekä tiivistelmät, muut tiedonhakujärjestelmät | ON | DMS | BIB, Papyrus |
| **Primaari** | Primaariaineistojen hallintasovellus | ON | DMS | Access |

ISBN 951-40-1639-4
ISSN 0358-4283