

# TEKOÄLYN ÄLYKÄS KÄYTTÖ

*Kari T. Eloranta*

## 1. ÄLYKKÄIDEN KÄYTTÖJEN LÖYTÄMINEN UUSILLE TIETOKONE- KYVYILLE

Viime kesänä tuli kuluneeksi tasan 30 vuotta siitä, kun joukko älyllisten toimintojen mekanisointavuudesta kiinnostuneita amerikkalaisia tutkijoita kokoontui Dartmouth Collegeen New Hampshiressa pohtimaan tämän tutkimusalueen kehittämistä. Mukana olivat myös Herbert A. Simon ja hänen pitkäaikainen työtoverinsa Allen Newell. Tuota kesäseminaaria pidetään tekoälyn tutkimuksen varsinaisena lähtölaukauksena.

Tekoälyllä oli jo ennen Dartmouth Collegin seminaaria sekä arvostettuja puolestapuhujia että epäillijöitä. Tietojenkäsittelyn teoreetikoista Alan Turing uskoi älyn mekanisointavuuteen, kun taas John von Neumann oli asian suhteen pessimistinen. Monet tälläkin alueella käydyistä kiistoista ovat johtuneet osittain siitä, että eri henkilöt tarkoittavat samoilla sanoilla kovin erilaisia asioita. Osasyinä ovat myös olleet (a) aihepiirin herättämä emotionaalisuus, (b) joidenkin henkilöiden pyrkimys hypätä tieteellisestä kurinalaisuudesta asioiden mystifioimiseen ja (c) puolestapuhujien alkuvuosina esittämät ylioptimistiset odotukset älyn mekanisoinnin kehityksen nopeudesta.

Jotta vältettäisiin tarpeettomat kiistelyt älyn luonteesta ja sen mekanisointavuudesta, seuraavassa tarkastellaan tekoälyä sekä tieteenä että teknologiana painottamalla sen tuotoksia uusina ajattelun ja tietojenkäsittelyn välineinä. Aikaa ja palstatilaa ei haluta haaskata sen pohtimiseen, mikä on koneälyn käsitteen oikea merkitys ja ovatko tekoälyn tutkijat pystyneet tuottamaan juuri sellaista älyä. Sitäkään ei arvioida, kuinka pitkälti tekoälyn piirissä kehitetyt järjestelmät jäljittelevät ihmisen älykäästä toimintaa, eikä esitetä ennusteita siitä, milloin tekoälyohjelmat ohittavat ihmisasiantuntijoiden älyllisen suoritustason milläkin älyllisen toiminnan alueella. Unohdettakoon koko termi 'tekoäly' ja korvattakoon se esimerkiksi termillä 'uudet ajattelua koske-

van ajattelun välineet', kun tarkastellaan tekoälyn tarjoamia käsitteellisiä välineitä, ja termillä 'uudet konekyvyt' (new machine capabilities), kun tarkastellaan tekoälyn nimissä kehitettyä tietojenkäsittelyn teknologiaa. Näin menettelemällä välttytään monilta tekoälyn tutkimuksen piirissä käytettyyn terminologiaan liittyviltä turhilta väärinkäsityksiltä ja harhaluuloilta.

Tämän artikkelin kirjoittaja on omaksunut Terry Winogradilta näkemyksen, että tekoälystä puhuttaessa on syytä painottaa sen piirissä tuotettujen uusien konekykyjen älykkäitä käyttötapoja ja niiden etsintää. Keväällä 1985 julkaistiin aikakauslehdessä 'Artificial Intelligence' sen 15-vuotisen ilmestymisen ja 25. volyymin julkaisemisen kunniaksi suoritettun haastattelun tulokset artikkelina »Artificial Intelligence – Where Are We?» (Bobrow & Hayes 1985). Tekoälyn huipputason asiantuntijoilta tiedusteltiin monien muiden kysymysten ohessa sitä, missä he odottivat alalla tapahtuvan eniten edistymistä seuraavan vuosikymmenen aikana. Winograd vastasi tähän kysymykseen seuraavasti:

»Progress in the next decade will come in discovering those domains in which the assumptions and techniques of AI are appropriate. Much work on expert systems has this flavor – the secret of success isn't in building the right program, but in finding the right domain. We will also begin to find better ways to integrate the kind of deduction done by AI systems with the reasoning done by people within a background of experience. The result may not be 'intelligent machines', but *intelligent uses of machine capabilities*.» (Bobrow & Hayes 1985, 395; kurs. lisätty)

Tärkeää ei ole se, osuuko ennustus oikeaan vai ei, vaan se, että Winograd siirtää huomionne 'älykkäistä koneista' konekykyjen älykkääseen käyttöön. – Mainittakoon, että Winograd toimii Stanfordin yliopistossa ja osallistui muun muassa ohjelmatoimikunnan jäsenenä joulukuussa 1986 Austinissa, Teksasissa pidetyn konferenssin »Computer-Supported Cooperative Work» organisointiin. Hänellä on haastattelussa esittämänsä kannanoton pohjana huipputason asiantuntemus sekä tekoälystä sinänsä että sen järkevästä käytöstä.

Tekoälyn piirissä tuotettujen uusien välineiden (so. ajatteluvälineiden ja konekykyjen) älykkäiden käyttöjen löytäminen on varmasti monitieteinen tehtävä, johon tekoälyn ja yleensä tietojenkäsittelyn tutkijoiden lisäksi tarvitaan sovellusalojen edustajia. Ilman jälkimmäisten aktiivista, ennakkoluulotonta ja asiantuntevaa panosta ei uusien välineiden järkävä käyttöönotto näytä onnistuvan. Esimerkiksi toimistoautomaation puolelta löytyä näyttöä siitä, miten toimistotyön luonteen puutteellinen ymmärtäminen on johtanut virheratkaisuihin teknologian kehittämisessä ja käyttöönotossa.

Tekoölyn tuotteiden tuominen hallintoon tulee edellyttämään hallinnon kehittäjiltä sekä itse hallinnon että uuden teknologian mahdollisuuksien ja rajoitusten hyvää tuntemusta. Vaikka merkittävimmät keksinnöt tehdään Suomen rajojen ulkopuolella, joudutaan täälläkin pohtimaan tekoölyn älykäs-  
tä käyttöä viimeistään silloin, kun harkitaan ulkomailta tarjottujen välineiden hankkimisen järvevyyttä, järkevää ajankohtaa sekä sopivia sovellusalueita ja käyttötapoja. Tästä syystä on paikallaan, että 'Hallinnon Tutkimus' -aikakauskirjan tietoyhteiskuntaa koskevassa teemanumerossa esitellään tekoölyä ja sen käyttömahdollisuuksia, herätteeksi ja virikkeeksi.

## 2. TEKÖÄLY TIETEENÄ JA TEKNOLOGIANA

Oppiaineena tekoöly on tietojenkäsittelyopin yksi osa-alue. Sitä voidaan pitää sekä tieteenä että teknologiana. Edellä viitatussa Bobrowin ja Hayesin tekemässä haastattelussa ilmeni selvästi, miten asiantuntijoiden mielipiteet hajautuivat sen suhteen, onko tekoöly lainkaan oma tieteenalansa (discipline), onko se useiden alojen yhdistelmä vai onko se pelkästään joukko tietojenkäsittelyn menetelmiä.

### 2.1. *Tekoöly tieteenä*

Tekoölyä tieteenä korostavat henkilöt puhuvat usein synonyymisesti tekoölystä ja kognitiivisesta tieteestä (cognitive science). Tällöin perustehtäväksi katsotaan sekä todellisten että mahdollisten älykkäiden järjestelmien järjestelmällinen tutkiminen; etsitään yleisiä periaatteita eikä pelkästään tehtävien suorituksessa onnistuvia järjestelmäratkaisuja. Edellä viitatussa haastattelussa englantilainen professori Aaron Sloman kuului tämän näkemyksen esittäjiin ja totesi, että hyvin harvat henkilöt työskentelevät tämän päämäärän ohjaamina, koska se on tekoölyn vaikein ja ainakin lyhyellä tähtäyksellä vähiten tuottavin osa-alue. Jotkut puhuvat tekoölystä järjen (mind) tutkimisena, älyn tieteenä, informaation tieteenä tai tietämyksen (knowledge) tieteenä.

Tässä ei lähdetä esittelemään niitä ideoita ja periaatteita, joita on esitetty älyllisten toimintojen tieteellisen tutkimuksen alueella (ks. esim. Newell & Simon 1976). Tyydytään vain toteamaan muutama keskeinen yleinen seikka. Voitaneen epäröimättä sanoa, että tekoöly on alusta alkaen vaikuttanut voimakkaasti niin yksilöiden kuin yhteisöjen kognitiivisen toiminnan tutkimukseen. Sen piirissä syntyneet käsitteelliset välineet ovat tarjonneet ajattelun eri muotojen tarkasteluun uusia 'ajattelua koskevan ajattelun välineitä', jotka

ovat olleet tehokkaampia kuin esimerkiksi psykologiassa ennen 1950-luvun puoliväliä käytetyt käsitteelliset välineet. Samoin monimutkaisten yhteisöjen toiminnan tarkasteluun on otettu käyttöön perinteisten kvantitatiivisten välineiden tilalle tekoälyn piirissä syntyneitä käsitelmalleja ja simulointivälineitä.

Tässä yhteydessä voidaan toistamiseen viitata Herbert A. Simoniin. Hänen teoksensa 'Administrative Behavior' katsotaan osaltaan luoneen henkistä pohjaa tekoälyn tutkimuksen synnylle Yhdysvalloissa (ks. Harmon & King 1985, teoksen Kuvio 1.1). Simon on ollut tekoälyn uranuurtaja ja käyttänyt sen käsitteellisiä ja teknisiä välineitä sekä ihmisen kognitiivisen käyttäytymisen että organisaatioiden käyttäytymisen tutkimuksissaan. Monet psykologit, organisaatiotutkijat ja päätöksenteon tutkijat ovat seuranneet hänen esimerkkiään ja pyrkineet hyödyntämään tekoälyä, käyttämällä pikemminkin sen käsitteellisiä välineitä ja malleja kuin konekykyä.

Sekä tekoälyn tutkimuksen tuottamien tietojenkäsittelyn tekniikoiden tarkoituksenmukainen käyttö että sen käsitteellisten välineiden hedelmällinen siirtäminen jollekin toiselle tieteenalalle vaatii vankkaa tietopohjaa ja huolellista harkintaa. Oikea käyttö voi johtaa merkittäviin läpimurtoihin, mutta pinnallisena termien lainaamisena ilmenevä flirttailu ei johda mihinkään – tai huonoimmassa tapauksessa se johtaa pelkkiin harhapolkuihin ja hedelmättömiin mutta aikaa vieviin debatteihin. Henkilökohtaisesta kokemuksesta artikkelin kirjoittaja voi sanoa, että tekoälyn tuottamien ajatteluvälineiden käyttöönotto esimerkiksi organisaatioiden ja työryhmien tutkimuksen avuksi on vaivalloista ja riskialtista puuhaa.

## 2.2. *Tekoäly teknologiana*

Tietojenkäsittely oli ensimmäisten tietokoneiden kehittämisen aikoihin elektronista numeroiden käsittelyä. Tietokone oli sähköinen laskukone, joka oli monin verroin nopeampi kuin mekaaniset laskukoneet. Nykyaikaiset tietokoneet eivät kuitenkaan rajoitu numeroiden käsittelyyn, vaan ne kykenevät suorittamaan hyvin monenlaisia symbolien käsittelyn tehtäviä, tietysti koneen ja ohjelmien mukaan. Esimerkiksi tekstinkäsittely on selvästi muuta kuin aritmeettista laskentaa.

Tekoälyn tutkimus on ollut yksi merkittävä voima ei-numeerisen tietojenkäsittelyn kehittämisen alalla. Sen piirissä käsitellyt ongelmat ovat vaatineet numeroiden ja niiden esitystapojen lisäksi monia muita tietotyyppisiä ja tietorakenteita. Esimeriksi Simon ja Newell joutuivat tekoälyn varhaisvuosina luomaan IPL-kielen (IPL = Information Processing Language), jotta he kyke-

nivät kehittämään ensimmäiset ihmisen ongelmanratkaisua simuloivat ohjelmansa LT:n (Logic Theorist) ja GPS:n (General Problem Solver). Symbolien käsittelyyn kehitettyjen ohjelmointikielten alueella tapahtui todellinen läpimurto 1950- ja 1960-lukujen vaihteessa, kun Dartmouth Collegessa pidetyn kesäseminaarin päähahmo John McCarthy loi listojen käsittelyyn perustuvan LISP-kielen (LISP = LISt Processing).

Tekoälyn piirissä on kehitetty ohjelmointikieliä siksi, että monimutkaisten tietojenkäsittelyongelmien tarkasteluun ja käsittelyyn on haluttu saada tehokkaat välineet. Muilla tietojenkäsittelyn alueilla kehitetyt ohjelmointikieliet eivät ole riittäneet. Kuluneen kolmen vuosikymmenen aikana lukuisat tekoälyn ohjelmointikieliet ovat syntyneet ja jääneet pois käytöstä, mutta koko ajan on ollut tiivistä vuorovaikutusta kielten kehittämisen ja niiden järkevän käytön välillä. On tarvittu lukemattomia epäonnistuneitakin kokeiluja, ennen kuin on päästy tekoälyn ohjelmointitekniikan nykyiselle tasolle.

Vaikka tekoälyn tutkimus alkoi jo 1950-luvulla, vasta tällä vuosikymmenellä sen soveltamisessa on päästy kaupalliselle tasolle. Aikaisemmin se oli yliopistoihin ja tutkimuskeskuksiin rajoittunutta akateemista tutkimustoimintaa, jonka tuloksilla ei ollut merkittäviä käytännöllisiä saatikka kaupallisia sovelluksia. Tähän on ollut useitakin eri syitä, joista mainittakoon muutamia.

Ensinnäkin »tyhjästä on paha nyhjästä». Tarvittiin pitkä perustutkimuksen kausi, ennen kuin löydettiin sovelluksien kannalta hedelmälliset käsitteet ja välineet. Tekoälyn tutkimusta ohjanneissa älyn paradigmoissa (so. käsityksissä siitä, mitä älykäs suoritus edellyttää) on tapahtunut kuluneiden vuosikymmenien aikana merkittäviä muutoksia. Nykyisten sovelluksien kannalta merkittävien paradigmatvaihdos oli siirtyminen alkuvuosia hallinneesta tehokkaan yleisen ongelmanratkaisumenetelmän paradigmatista (so. käsityksestä, että olisi mahdollista löytää tehokkaita ja yleispäteviä ajattelun menetelmiä ja siirtää ne tietokoneelle, jolloin koneesta tulee älykäs) tietämyksen voiman paradigmaan (so. käsitykseen, että monimutkaisilla tietämyksen alueilla älykäs toiminta vaatii tuon alueen läpikotaista tuntemusta mutta ei välttämättä monimutkaisia ajattelumenetelmiä, eli ajatukseen, että »tietämys on voimaa»).

Toinen tähän yhteyteen liittyvä seikka on ollut tietämyksen esittämisen välineiden ja järjestelmärakenteiden alueella tapahtunut nopea kehitys. Ennen kuin voitiin siirtyä ongelmiin, joiden käsittely vaati monenlaisen tietämyksen ja suurten tietämyskantojen tehokasta esittämistä ja käsittelykykyä, tarvittiin niin kutsuttujen hahmo-ohjattujen päättelyjärjestelmien teknologian kehittymistä riittävän pitkälle. Sen kehitykseen on osaltaan vaikuttanut myös tietokonealaitteistojen kehitys.

Tänä päivänä tekoälyn teknologia on saavuttanut kehitystason, joka tarjoaa uusia välineitä ja sovellusmahdollisuuksia – lähivuosina todennäköisesti

yhä kiihtyvässä määrin. Luvussa 7 esitellään joitakin kehitykseen vaikuttavia voimia. Seuraavissa luvuissa esitellään tekoälyä sen tuottaman uuden tietojenkäsittelyn teknologian osalta keskittymällä niin kutsuttuihin tietämysjärjestelmiin ja niiden kehittämiseen. Näin tehdään siksi, että juuri tietämysjärjestelmillä näyttäisi olevan ainakin lähiaikoina merkittävimmät käyttömahdollisuudet hallinnon kehittämisen piirissä.

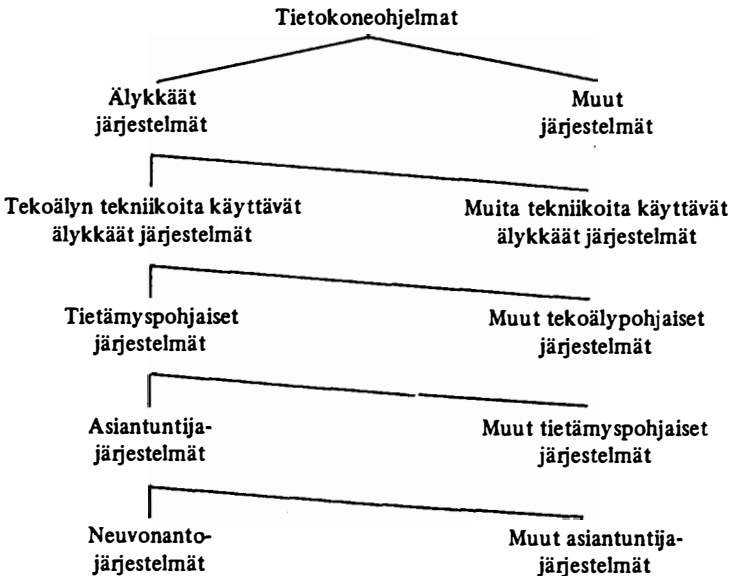
### 3. TIETÄMYSJÄRJESTELMÄT JA TIETÄMYSTEKNIikka

Siirtyminen yleisten ongelmanratkaisumenetelmien paradigmatietämyksen voiman paradigmaan johti tekoälypohjaisiin järjestelmiin, joita on kutsuttu älykkäiksi järjestelmiksi, tietämysjärjestelmiksi ja asiantuntijajärjestelmiksi.

Termien 'älykäs järjestelmä' ja 'asiantuntijajärjestelmä' holtiton käyttö toistensa synonyymeina voi johtaa tarpeettomiin semanttisiin sekaannuksiin. Vaikka synonyymistä käyttöä esiintyykin, näitä termejä tulisi käyttää eriytemmin Kuviossa 1 esitetyn hierarkian mukaisesti.

Hierarkiassa esiintyvillä termeillä viitattuja käsitteitä voidaan luonnehtia seuraavasti. *Tietokoneohjelma* viittaa mihin tahansa tietokoneohjelmaan;

Kuvio 1. Järjestelmätyyppien hierarkia.



myös tekoälyn piirissä kehitetyt ohjelmat ovat tietokoneohjelmia. Tässä yhteydessä voidaan puhua synonyymisesti ohjelmista ja järjestelmistä. *Älykäs järjestelmä* on tietokoneohjelma, joka suoriutuu tehtävästä, jonka suorittamisen katsotaan edellyttävän ihmiseltä älykkyyttä. Osa tällaisista ohjelmista voidaan kehittää käyttämällä tekoälyn piirissä kehitettyjä tekniikoita, mutta on olemassa suuri joukko muita älykkäitä ohjelmia, jotka on tuotettu muiden kuin tekoälytekniikoiden avulla. Näin ollen on syytä joissakin yhteyksissä puhua julkilausutusti *tekoälyn tekniikoita käyttävistä järjestelmistä*. Joskus näkee englanninkielisessä kirjallisuudessa meneteltävän näin. *Tietämysjärjestelmän* synonyyminä käytetään termejä tietämuspohjaiset järjestelmät, tietämysrikkaat järjestelmät ja tietämysintensiiviset järjestelmät. Määre 'tietämys' korostaa, että järjestelmän suorituskyky perustuu alakohtaisen tietämyksen tuntemiseen ja tehokkaaseen käyttöön pätevyysalueensa piiriin kuuluvien ongelmien ratkaisussa. Puhuminen tietämysrikkaista ja tietämysintensiivisistä järjestelmistä korostaa, että järjestelmä pitää yllä laajaa tietämuskantaa. Kaikki tekoälyn tekniikoilla kehitetyt älykkäät ohjelmat eivät ole kuitenkaan olleet tietämysjärjestelmiä tässä merkityksessä. Kaikki tietämysjärjestelmät eivät ole *asiantuntijajärjestelmiä*, mikäli jälkimmäiset ymmärretään ohjelmiksi, jotka suoriutuvat jollakin kapealla asiantuntemuksen alueella ihmisasiantuntijan suoritusta vastaavalla tavalla. Aivan samoin kuin ketä tahansa henkilöä, joka tietää paljon eri asioista, ei kutsuta välttämättä asiantuntijaksi, ei ole syytä pitää mitä tahansa tietämysjärjestelmää asiantuntijajärjestelmänä. (Joskus on puhuttu erikseen asiantuntijajärjestelmistä ja teknikkojärjestelmistä. Tällöin edellisten on katsottu suoriutuvan tehtävistä, joita ainoastaan hyvin harvat huipputason asiantuntijat pystyvät tekemään.) Lisäksi on syytä varoittaa puhumasta synonyymisesti teknikko- ja asiantuntijajärjestelmistä (tai yleensä tietämysjärjestelmistä) ja *neuvonanto- eli konsultointijärjestelmistä*. Vaikka useat tunnetut teknikko- ja asiantuntijajärjestelmät ovat olleet neuvonantojärjestelmiä, eivät suinkaan kaikki tällaiset järjestelmät anna neuvoja.

Termi 'tietämysjärjestelmä' on valittu tämän luvun otsikkoon siksi, että luvussa halutaan esitellä tekoälyn tarjoaman teknologian hyödyntämisen mahdollisuuksia melko laaja-alaisesti. Tällöin sen piiriin voidaan lukea myös sellaiset sovellukset, joissa tekoälyn tekniikoita on yhdistetty korkean teknologian muihin tuotteisiin. Lisäksi tuntuu tyyllillisesti sopivalta puhua tietoyhteiskuntaa käsittelevän teemanumeron yhteydessä tietämysjärjestelmistä, kun halutaan korostaa näkemystä, että tietoyhteiskunta merkitsee nimenomaan tietämysyhteiskuntaa (knowledge society) ja että tietotekniikka tietämystekniikkana pyrkii edistämään tietämyksen käyttöä ja jakelua inhimillisen (ja valitettavasti myös epäinhimillisen) toiminnan eri alueilla.

*Tietämystekniikka* (knowledge engineering) on tietämysjärjestelmien kehittämisen tietotaitoa. *Tietämysinsinööri* on henkilö, joka käyttää tällaista tietotaitoa tietämysjärjestelmien kehittämiseen. Hän on tietämystekniikan asiantuntija. Tässä ei lähdetä taitamaan peistä sen suhteen, kuuluuko tietämysinsinöörin titteli yksinomaan niille, jotka toimivat päätoimisesti tietämysjärjestelmien kehittäjinä, vai voiko sitä kantaa kuka tahansa henkilö, joka on perehtynyt käyttämään jotakin tietämystekniikan osa-aluetta johon sovellukseen. Tuon tittelin käytöstä ei ole ainakaan vielä kansainvälisiä eikä kansallisia normeja. Kuitenkin kaikkialla maailmassa näyttää olevan huutava pula tietämystekniikan ammattilaisista ja heidän pätevistä koulutuksestaan.

#### 4. TIETÄMYSJÄRJESTELMIEN OMINAISPIIRTEITÄ

Vaikka jo nyt on hyvin monenlaisia tietämysjärjestelmiä ja tulevaisuudessa vieläkin useampaa lajia, silti voidaan yleisesti tarkastella tällaisten järjestelmien eräitä ominaispiirteitä. Seuraavassa esiteltävät ominaisuudet ovat tietämysjärjestelmille luonteellomaisia, mutta niiden kaikkien ei tarvitse välttämättä esiintyä samassa järjestelmässä, jotta sitä voitaisiin kutsua tietämysjärjestelmäksi.

##### (a) *Tekoälypohjaisuus*

Jo edellä sanotun jälkeen on selvää, että tietämysjärjestelmät tässä artikkelissa tarkoitettussa merkityksessä käyttävät hyväksi jotakin tekoälyn piirissä kehitettyä tietojenkäsittelyn tekniikkaa. Huippuvarovainen kielenkäyttäjä puhuisi 'tekoälyn tekniikoita käyttävistä tietämysjärjestelmistä'.

##### (b) *Symbolien käsittely ja symbolipäätely*

Edellä todettiin myös, että tekoälyn yhteydessä tietojenkäsittelyn painopiste on numeroiden käsittelyn sijasta ei-numeerisessa symbolien käsittelyssä. Mikä on näiden kahden tietojenkäsittelyn tyypin välinen ero? Otetaan sitä havainnollistava esimerkki koulumaailmasta matematiikan tunnilta. Harjoiteltaessa algebrallisten lausekkeiden sieventämistä (esim. sievennettäessä lauseke  $(a^2 - b^2)/(a - b)$ ), ei koko aikana suoriteta numeroiden käsittelyä vaan yksinomaan symbolien käsittelyä. Tämä taitaakin olla yksi syy siihen, miksi jotkut koululaiset hämmästyvät, kun laskuopin tunnilla numeroiden tilalle otetaan



kirjaimet ja lasketaan niillä. – Yksi tunnetuista tietämysjärjestelmistä on MACSYMA. Se on tietyllä matemaattisen ongelmanratkaisun alueella todellinen huippuasiantuntija, jonka apuun matematiikan ammattilaisetkin mielellään turvautuvat. Sekin tekee ensisijaisesti symbolien käsittelyä eikä numeerista laskentaa.

### (c) *Alakohtaisen tietämyksen tärkeys*

Tietämysjärjestelmä ylläpitää ja käyttää tehokkaasti tietämyskantaan, joka sisältää järjestelmän pätevyysalueelle kuuluvien tehtävien suorittamisen edellyttämän tietämyksen. Tietämysjärjestelmät tarvitsevat tietämyskantansa lisäksi myös päättelymenetelmiä, joiden avulla ne käyttävät tietämystään. Kokemus on kuitenkin osoittanut, että jo suhteellisen yksinkertaisilla ja melko yleiskäyttöisillä päättelymenetelmillä päästään hyviin ratkaisuihin, mikäli tietämys on hyvää. Toisaalta lienee selvää, että mikään monimutkainen päättelymenetelmä ei voi korvata alakohtaisen tietämyksen puutetta. »Knowledge is power.»

### (d) *Tietämyksen heuristinen luonne*

Tietämysjärjestelmän tietämyskanta sisältää sekä tosiot (so. faktat) että heuristiikat järjestelmän pätevyysalueelta. Tosiot saadaan käsikirjoista ja muista dokumentoiduista lähteistä, mutta kenestäkään ei tule todellista asiantuntijaa (ammattilaista) pelkästään siten, että hän omaksuu kaikki tunnetut tosiot. Asiantuntijaksi tullaan omaksumalla pitkäaikaisen kokemuksen kautta erilaisia nyrkkisääntöjä ja ratkaisutapoja, joita ei ole dokumentoitu alan viralliseen »tietämysvarastoon». Monien menettelytapojen hallinta omaksumaan pitkäaikaisen käytännön kokemuksen kautta.

Tietämysjärjestelmien kehittämisen vaikeimpana osana pidetään tietämyksen hankkimista (knowledge acquisition). Tämä voi merkitä ihmisasiantuntijoiden tietämyksen, erityisesti heuristiikkojen, siirtämistä tavalla tai toisella tietämysjärjestelmään, tai se voi merkitä kokonaan uuden tietämyksen tuottamista induktiivisen päättelyn (koneoppimisen) avulla. Yhtenä tekoälyn perustutkimuksen haasteena onkin, miten uusien heuristiikkojen tuottaminen tietämysjärjestelmän tietämyskantaan voitaisiin mekanisoida.

### (e) *Tietämyksen esittäminen sääntöinä*

Tietämysjärjestelmien yksi tärkeä alatyyppejä koostuu sääntöpohjaisista järjestelmistä. Niiden nimikkoideana on tietämyskannassa olevan tietämyksen

(erityisesti heuristiikkojen) esittäminen JOS-SILLOIN -muotoisina sääntöinä. Esimerkiksi tällaisesta säännöstä voidaan esittää kuvitellun äänestyskäyttämisen asiantuntijajärjestelmän sääntö:

### SÄÄNTÖ 267

JOS:	henkilö X pitää puoluejohtaja Matti Möttösestä	SILLOIN:	
JA	henkilö X kannattaa tuulienergian hyödyntämistä	henkilö X äänestää Takaisin luontoon -puoluetta	

Tässä esimerkissäännössä ei pidä keskittyä sen sisältöön vaan muotoon. Tällaiset säännöt voivat olla TILANNE-TOIMENPIDE -sääntöjä, EDELLYTYKSET-SEURAUKSET -tyyppisiä päättelysääntöjä tai mitä tahansa vastavia relaatioita. Sääntöpohjaiset järjestelmät voivat erota toisistaan paljon muun muassa sen suhteen, kuinka monimutkaisia tietorakenteita voidaan käyttää tällaisten sääntöjen kummassakin osassa (esim. voidaanko osaehtojen yhdistelyssä käyttää sekä konjunkttiivista (JA-) että disjunkttiivista (TAI-) rakennetta; tai voidaanko sääntöihin liittää lisätietoja niiden pätevyystasosta, salakuopista, järkevistä käyttötilanteista, jne).

#### (f) *Kapea, hyvin määritelty ja tarkkaan rajattu pätevyysalue*

Ainakin nykyiset tietämysjärjestelmät ovat yleensä spesialisteja, jotka suoriutuvat jollekin hyvin määritellylle ja tarkoin rajatulle erikoisalueelle kuuluvista tehtävistä. Jo suhteellisen kapeilla asiantuntemuksen alueilla tarvittavan tietämyksen määrä voi kohota niin suureksi, ettei sitä kyetä tallentamaan tai käyttämään nykyisillä tietokoneilla. Tyypillisten nykyisten sääntöpohjaisten tietämysjärjestelmien tietämyskannat vaihtelevat 50–3000 säännön välillä. Tällä sääntömäärällä ei voi luoda »yleisasiantuntijoita».

Järjestelmien suorittamien tehtävien tulee olla hyvin määriteltyjä. Esimerkiksi diagnostisoinnin yhteydessä on oltava selvillä kaikista mahdollisista johtopäätösvaihtoehdoista, relevanteista oireista ja oire-vika -riippuvuussuhteista.

Nykyiset järjestelmät ovat yleensä hyvin hauraita siinä mielessä, että menettäessä niiden pätevyysalueen rajojen ulkopuolelle ne toimivat joko täysin

idioottimaisesti tai mykistyvät kokonaan. Tässä suhteessa ne ovat vielä hyvin typeriä verrattuna ihmisasiantuntijoihin, jotka yleensä osaavat käännyttää neuvoa kysyvän jonkun toisen asiantuntijan luo tai jotka osaavat ainakin kertoa, ettei ongelma kuulu heidän pätevyysalueelleen.

Tietämysjärjestelmien kapea-alaisuuteen liittyy viehkeä paradoksi: asiantuntijan suorituksen mekanisoiminen voi olla paljon helpompaa kuin yleisjärjen (common sense) mekanisointi. Tämä johtuu siitä, että asiantuntijan suoritus voidaan usein saada aikaan suhteellisen yksinkertaisilla päättelymenetelmillä ja suhteellisen pienellä sääntömäärällä, kunhan nuo säännöt ovat hyviä, kun taas yleisjärki edellyttää suuria määriä jokapäiväisessä käytössä olevaa yleistietämystä (background knowledge, common knowledge). Nykyinen tekoälytekniikka ei vielä riitä yleisjärjen asettamien vaatimuksien tyydyttämiseen.

### (g) *Kyky epätarkkaan järkeilyyn*

Sekä kulloinkin käsiteltävään ongelmaan liittyvät spesifit tiedot että järjestelmän omaama alakohtainen tietämys voivat olla epätarkkoja. On helppoa kuvitella tilanne, jossa edellä esitettyyn esimerkkisääntöön liittyvien edellytyksien (henkilö X pitää puoluejohtaja Matti Möttösestä, ja henkilö X kannattaa tuulienergian hyödyntämistä) paikkansapitävyyttä ei tunneta täydellisellä varmuudella, mutta ne tiedetään kuitenkin melko varmasti. Tällöin näihin tietoihin voidaan liittää uskomisen varmuutta ilmentävät tunnusluvut. Samoin itse sääntöön voidaan liittää sen pätevyyttä ilmentävä tunnusluku.

Monet tietämysjärjestelmät pystyvät suorittamaan sumeaan logiikkaan tai bayesilaiseen päättelyyn perustuvaa harkintaa, jossa otetaan huomioon sekä tietoihin että sääntöihin liittyvät epävarmuudet. Tietämystekniikan piirissä ei kuitenkaan vallitse täyttä yksimielisyyttä siitä, kuinka tarpeellisia ja hyödyllisiä tällaiset epävarmuuksien käsittelyn tekniikat ovat eri sovelluksissa ja mitkä tekniikat ovat riittävän luotettavia.

Lisäksi on kaksi epätarkkaan päättelyyn liittyvää tilannetta, joita nykyisin kaupallisessa käytössä oleva teknologia ei kykene hallitsemaan mutta joiden käsittelyn kehitykseltä odotetaan paljon: (a) kyky käsitellä puutteellisia tietoja ja tietämystä ja (b) kyky käsitellä ristiriitaisia tietoja ja tietämystä. Esimerkiksi tuomari joutuu tekemisiin tällaisten epätarkan päättelyn tilanteiden kanssa.

### (h) *Kyky selittää päättelynsä*

Konventionaalisille tietokonepohjaisille diagnostisointiohjelmeille on ollut

ominaista, että ne ovat tuottaneet tietyn johtopäätöksen käyttämällä esimerkiksi jotakin tilastomatemaattista tekniikkaa, mutta ne eivät ole kyenneet selittämään päättelyjensä kulkuja käyttäjilleen heidän ymmärtämässä muodossa. Sen sijaan useimmat tietämyspohjaiset neuvonantojärjestelmät kykenevät selittämään käyttäjilleen, millä tavoin ne ovat päätyneet annetuista tapaustiedoista tietämuskannassaan olevaa tietämystä käyttäen tiettyyn johtopäätökseen. Ne pitävät esimerkiksi kirjaa päättelyketjun muodostaneista säännöistä ja esittävät nämä käyttäjien nähtäviksi, jos he haluavat selitykset annetuille johtopäätöksille.

Tämä ominaisuus on tärkeä sekä tietämysjärjestelmien loppukäyttäjien että kehittäjien kannalta. Loppukäyttäjille se tarjoaa mahdollisuuden tarkistaa, voiko hän hyväksyä järjestelmän antamien neuvojen perustana olleen päättelyn. Ohjelma tukee käyttäjänsä, eikä käyttäjän tarvitse luottaa sokeasti saamiinsa neuvoihin. Järjestelmien kehittäjille selityskyky tarjoaa hyvät välineet tarkistaa, toimiiko järjestelmä päättelynsä aikana kulloinkin tarkoitetulla tavalla ja jos se ei toimi, niin missä kohdassa ja miksi päättely on mennyt pieleen.

#### (i) *Luonnollinen käyttäjäliityntä*

Vaikka monet tutkimustarkoituksiin kehitetyt tietämysjärjestelmät ovat olleet ihminen-tietokone -vuorovaikutuksen kannalta surkeita, on varsinaiseen hyötykäyttöön kehitetyissä järjestelmissä kiinnitetty huomiota käyttäjäliityntään luonnollisuuteen. Tämä tarkoittaa sitä, että käyttäjä voi keskustella ohjelman kanssa kielellä, joka on hänelle luonteva, tuttu ja tehokas.

Tietämystekniikan piirissä tehdään nykyisin paljon työtä käyttäjäliityntään kehittämiseksi. Vaikka luonnollisen kielen ymmärtämisen ja puhutun puheen ymmärtämisen alueilla onkin tehty tutkimus- ja kehitystyötä, paljon vielä on tehtävä, jotta päästäisiin jokapäiväisten sovelluksien yhteydessä tällaisiin liityntöihin. Molemmat näistä kyvyistä edellyttävät hyvin suuria tietämuskantoja ja hyvin suurta tietojenkäsittelytehoa, mikäli halutaan päästä todella mittavalle suoritusasteelle. Käyttäjäliityntää on kuitenkin jo nyt voitu parantaa kirjallisessa vuorovaikutuksessa ottamalla tietämysjärjestelmienkin yhteydessä käyttöön ikkuna- ja valikkotekniikkaa ja kehittyneitä kyselykieliä.

Tietämysjärjestelmien käyttäjäliityntään kehittäminen nykyiselle tasolle on vaatinut huomattavan osuuden näiden järjestelmien kehittämisen kokonaispanoksesta. Erään empiirisen katselmuksen mukaan tyypillisen asiantuntijajärjestelmän ohjelmakoodista 44 % liittyy käyttäjäliityntään, 8 % päättelykoneeseen ja 22 % tietämuskantaan (Goodal 1985, 112). Älkäämme siis odot-

tako kohtuuttomia liittynältä, jotta jäisi voimavaroja varsinaisen älykkään toiminnan kannalta tärkeille muille peruskomponenteille – tietämyskannalle ja päättelykoneelle.

### (j) *Modulaarinen rakenne*

Tietämysjärjestelmät käyttävät usein modulaarista rakennetta. Tämä tarkoittaa sitä, että ne koostuvat komponenteista, joita voidaan muuttaa tarvitsematta tehdä muutoksia muihin komponentteihin.

Useissa tietämysjärjestelmissä tietämuskanta ja siinä olevaa tietämystä käyttävä päättelymekanismi ('päättelykone') ovat rakenteellisesti selvästi erillään. Tästä on yhtenä tärkeänä seurauksena, että samaa järjestelmärunkoa voidaan käyttää useiden eri järjestelmien kehittämiseen muuttamalla pelkästään tietämuskannan sisältöjä. Monet nykyiset kaupalliset tietämysjärjestelmien kehittäjät perustuvat juuri tähän ominaisuuteen. Ne ovat kehikkojärjestelmiä (expert system shells, skeleton systems), joista tietämuskantojen määrittelyn kautta voidaan luoda yksittäisiä järjestelmiä.

Modulaarisuuden toisena ilmenemismuotona voidaan pitää tietämuskannassa olevien tietämyspalasten suhteellista riippumattomuutta toisistaan. Esimerkiksi säännöt voidaan tulkita ohjelmamoduuleiksi. Kun konventionaalisissa tietokoneohjelmissa ohjelman moduulit kutsuvat toisiaan suoraan esimerkiksi nimellä, nämä viittaukset tulee päivittää tehtäessä ohjelman muutoksia. Taas tietämysjärjestelmissä moduulit eivät viittaa tällä tavoin toisiinsa, vaan niiden keskinäinen vuorovaikutus tapahtuu muulla tavoin. Tämä tietämuskantojen modulaarisuus yksinkertaistaa tietämuskantojen rakentamista ja ylläpitoa. Se on erittäin tärkeä ominaisuus luotaessa kokonaan uusia järjestelmiä yrityksen ja erehdyksen menetelmällä, mikä on luonteenomaista tietämysjärjestelmien kehittämiselle. Samoin tämä ominaisuus on tärkeää valmiiksi kehitetyissä järjestelmissä sellaisilla sovellusaloilla, joilla tietämys lisääntyy ja muuttuu nopeasti.

## 5. NYKYISEN TIETÄMYSTEKNIIKAN RAJOITUKSIA

Jo edellisessä luvussa tuli esille joitakin nykyisen tietämystekniikan rajoituksista. On kuitenkin aiheellista käydä niitä läpi erikseen. Seuraavat rajoitukset on poimittu Watermanin (1986) teoksen luvusta 16 ja Hayes-Rothin (1985) artikkelista. Aloitettakoon Watermanin esittämistä nykyisten asiantuntijajärjestelmien luonteenomaisista rajoituksista:

(a) *Aikaa ja tilaa koskevan tietämyksen esittämisen vaikeudet*

Monien ongelmien yhteydessä olisi hyvin tärkeää kyetä esittämään joidenkin tapahtumien ja prosessien kulku tiukasti aikaan kytkettyinä. Nykyinen tekoälyteknologia tarjoaa kuitenkin hyvin alkeelliset välineet aikaan sidotun tiedon tehokkaaseen esittämiseen. Tästä syystä tietämystekniikan käyttö on ollut toistaiseksi hyvin rajoitettua esimerkiksi prosessinohjauksen piirissä.

Myös erilaisten objektien keskinäisten sijaintien eli spatiaalisten suhteiden esittäminen on ollut vaikeaa. Tämäkin on rajoittanut tietämystekniikan käyttöä sellaisten tehtävien yhteydessä, joiden käsittelyyn kaivataan kipeästi tietokonetukea.

(b) *Yleisjärjen käytön vaikeudet*

Edellä jo todettiin, että yleisjärki vaatii suuria määriä yleistietämystä. Nämä tietämysmäärät ovat niin suuria, että yleisjärkeen perustuvia tietämysjärjestelmiä ei ole kyetty toteuttamaan ideatasoa ja tutkimuskäyttöön kehitettyjä vaatimattomia prototyyppisiä pitemmälle. Kirjoittajan käsityksen mukaan tämä rajoitus tulee olemaan yksi merkittävimmistä syistä, miksi tietämystekniikkaa ei voida hyödyntää kovin pian laaja-alaisesti esimerkiksi oikeus- ja sosiaalitoimen piirissä. Ainakin näillä aloilla on syytä tiedostaa tosiasia, että jos niiden sovellusohjelmissa edellytetään vähänkään merkittävämmän yleisjärkeä, sen tulee ainakin toistaiseksi löytyä noiden ohjelmien käyttäjiltä itseltään.

(c) *Omien kykyjensä rajojen tunnistamisen vaikeudet*

Vaikka teoriassa näyttäisi olevan mahdollista kehittää tietämysjärjestelmiä, jotka tiedostaisivat omat pätevyysrajansa ja osaisivat varoittaa käyttäjiään, milloin on menty näiden rajojen ulkopuolelle, ei nykyisin käytössä olevilla järjestelmillä ole tällaisia kykyjä muussa kuin hyvin triviaalissa mielessä. Esimerkiksi ne eivät päästä käyttäjiään kysymään mistään sellaisesta asiasta, josta ne eivät ole perillä.

(d) *Ristiriitaisen tietämyksen käsittelyn vaikeudet*

Monilla käytännön elämän aloilla tietämyksen älykäs käyttö edellyttää

keskeisenä osanaan kykyä käsitellä tietämykseen liittyviä ristiriitaisuuksia. Samoin suuria tietämuskantoja omaavien tietämysjärjestelmien yhteydessä tulee keskeiseksi ongelmaksi, millä tavoin tietämuskantaa muutettaessa voidaan joko varmistaa tietämuskannassa olevan tietämyksen sisäinen ristiriidattomuus tai pitää yksittäisten ongelmien käsittelyssä huolta siitä, että nämä mahdolliset ristiriitaisuudet eivät johda kohtalokkaisiin virheisiin.

Myös Hayes-Roth lukee aikaa ja tilaa koskevan tietämyksen esittämisen vaikeuden nykyisen tietämysteknologian useimmin kohdattuihin esteisiin. Lisäksi hän korostaa kolmea muuta vaikeutta:

- joustavan ja yleispätevän luonnollisen kielen ymmärtämisen tarve, joka voi syntyä siitä, että käyttäjien tarvitsisi ottaa aloite tietämysjärjestelmän toiminnan suuntaamisessa;
- tarve koota ja yhdistää monien asiantuntijoiden tietämys, kun etukäteen ei ole tehty mitään standardointia;
- tarve käyttää nopeasti laajoja tietämysjoukkoja, kuten voi esiintyä tosi-aikaisten komento-ongelmien (command-and-control problems) yhteydessä.

Luonnollisesti nämä rajoitukset pienenevät koko ajan tekoälyn tutkimuksen edistyessä.

## 6. MIHIN TIETÄMYSTEKNIKKAA VOIDAAN KÄYTTÄÄ

Onko tänä päivänä vielä mielekästä puhua tietämystekniikan käyttötavoista, jos oikeiden, älykkäiden käyttötapojen löytäminen on seuraavan vuosikymmenen keskeinen edistysaskel tekoälyn alalla? Keskustelu on mahdollista rajoittumalla niiden yleisten käyttötapojen esittelemiseen, jotka ovat jo nyt käytössä tai ennakoitavissa. Nykyiset käytöt muodostavat konkreettisen perustan älykkäiden käyttöjen etsinnälle, mutta pidettäköön mielessä, etteivät seuraavassa esiteltävät vaihtoehdot kata välttämättä kaikkia tulevaisuudessa mahdollisia käyttötapoja.

Tietämystekniikan käyttömahdollisuuksia tarkastellaan kahtena alalukuna. Aluksi esitellään melko yleisesti, minkälaisen tehtävyyppien ja toimintojen hoitamiseen tietämysjärjestelmiä on kehitetty ja kehitetään. Sitten tarkastellaan muutamaa esimerkkiä, miten tietämystekniikka on ajateltu käytettävän oikeustoimen piirissä. Samassa yhteydessä esitellään pari mahdollisuutta käyttää tietämystekniikkaa hallinnon tutkimuksen apuna.

### 6.1. Yleiskatsaus tietämystekniikan käyttötapoihin

Tietämysjärjestelmiä on rakennettu hyvin monenlaisten ongelmien ratkaisemiseen. Taulukosta 1 nähdään keskeisimmät tehtäväluokat, joihin nuo ongelmat voidaan ryhmitellä. Palstatilan rajoituksen vuoksi näitä luokkia ei esitellä tarkemmin. Sen sijaan korostetaan kahta seikkaa. Ensiksikin, vaikka näihin kaikkiin tehtäväluokkiin löytyy jo nyt esimerkkijärjestelmiä, tämä ei suinkaan merkitse, että tehtäväluokkien kaikkiin tärkeisiin tehtäviin olisi jo olemassa tai tietämystekniikan nykyisellä tietotaidolla olisi kehitettävissä tietämysjärjestelmiä. Itse asiassa useimpiin ellei peräti kaikkiin tehtäväluokkiin on olemassa toistaiseksi ainoastaan suhteellisen vaatimattomia osatehtäviä hallitsevia järjestelmiä. Tämän tosiasian pitäisi olla selvää Luvussa 4 esiteltyjen nykyisen tietämystekniikan rajoitusten perusteella. Toiseksi, kun puhutaan olemassa olevista tietämysjärjestelmistä, on muistettava, että useimmat niistä ovat pikemminkin demonstraatio-, tutkimus- tai kenttätestauksen vaiheessa olevia prototyyppisiä kuin tuotantovaiheessa tai peräti kaupallisessa käytössä olevia järjestelmiä.

Tietämystekniikan käyttömahdollisuuksia voidaan tarkastella myös luettelamalla niiden tarjoamia palvelutoimintoja. Taulukkoon 2 on koottu keskeisimpiä toimintoja, joita alan kirjallisuudessa ja opetusohjelmissa on esitelty hoidettavaksi tietämystekniikan avulla. Luettelo ei ole millään muotoa tyhjentävä, vaan se esitetään heuristiseksi apuvälineeksi, jolla huomio voidaan kohdistaa eri suuntiin arvioitaessa tietämystekniikan mahdollisia käyttötapoja.

#### (a) *Monimutkaisen työn automaattinen suoritus*

Monilla aloilla tarvitaan kipeästi älykkäitä tietokoneohjelmia, jotka pystyvät hoitamaan tietyt tehtävät tehokkaasti ja luotettavasti ilman mitään vuorovaikutusta ihmisen kanssa. Tällöin ei vaadita luonnollista käyttäjäliityntää eikä päättelyn selityskykyä, kunhan tehtävä tulee hyvin tehdyksi. Näitä ohjelmia voitaneen kutsua 'itsenäisesti toimiviksi tietämysjärjestelmiksi'.

#### (b) *Neuvonanto*

Todella huippuasiantuntijoista ja kokeneista ammattilaisista on useilla aloilla huutava puute, jolloin heiltä on vaikeaa saada tarvittavia neuvoja. Ei ole mielekasta käyttää tällaisten ihmisten aikaa sellaiseen neuvontaan, joka voidaan yhtä hyvin hoitaa älykkään tietokoneohjelman avulla.



*Taulukko 1. Tietämystekniikan sovelluksien yleiset luokat (Hayes-Roth ja muut 1983, Taulukko 1.1).*

---

Tulkinta	Päätellään sensorien (so. aistinten) antamista tiedoista tilannekuvauksia.
Ennustaminen	Päätellään annettujen tilanteiden todennäköisiä seurauksia.
Diagnostisointi	Päätellään järjestelmän toimintahäiriöitä havaittavissa olevien seikkojen pohjalta.
Muotoilu	Konfiguroidaan asetetut rajoitteet täyttäviä rakenteita.
Suunnittelu	Muotoillaan toimenpiteitä.
Tarkkailu	Vertaillaan havaittuja tuloksia odotettuihin tuloksiin.
Testaus	Esitetään korjaustoimenpiteitä toimintahäiriöiden poistamista varten.
Korjaus	Pannaan toimeen suunnitelmia, joilla esitetyt korjaustoimenpiteet toteutetaan.
Opetus	Diagnostisoidaan ja korjallaan oppilaan käyttäytymistä.
Ohjaus (säätö)	Ohjataan järjestelmän kokonaiskäyttäytymistä.

---

*Taulukko 2. Tietämysjärjestelmän hoitamia toimintoja.*

---

Monimutkaisen työn automaattinen suoritus	Jokin vaativa tehtävä suoritetaan ilman mitään vuorovaikutusta ihmisen kanssa.
Neuvonanto	Annetaan ihmisasiantuntijan tavoin neuvoja.
Avustaminen ja vahvistaminen	Avustetaan ihmistä jonkin vaativan tehtävän suorittamisessa hoitamalla joitakin erityistoimintoja.
Tietämyksen louhinta ja jalostaminen	Eksplikoidaan ja tarkistetaan eri asiantuntijoiden käyttämää tietämystä ja ajattelutapoja.
Tietämyksen dokumentointi	Tallennetaan tietämystä sen tulevaa käyttöä varten.
Tietämyksen jakelu (viestintä)	Välitetään tietämystä tehokkaasti sitä tarvitseville.
Valmennus	Tarjotaan asiantuntijan tietämystä vähemmän pätevien henkilöiden harjaannuttamiseksi.
Toimiminen monimutkaisten järjestelmien komponentteina	Tietämysjärjestelmiä käytetään komponenttijärjestelminä kuten edusta-, tulostus- ja HELP-järjestelminä ja älykkäinä liityntöinä.
Tietämystekniikan demonstrointi	Esitellään tietämystekniikan luonnetta ja käyttömahdollisuuksia.

---

(c) *Avustaminen ja vahvistaminen*

Vaikka ihminen osaisikin suorittaa kaikki työssään tarvittavat toiminnot, ei aina ole järkevää uhrata hänen aikaansa kaikkien toimintojen hoitamiseen. Älykäs ohjelma voi hoitaa ne hänen puolestaan. Samoin se voi tarjota ihmiselle tukipalveluita, jotka auttavat hänen hoitamiensa toimintojen tehokasta suorittamista. Tietokoneavustusta käytetään jo nyt useilla aloilla ja useissa eri muodoissa. Tietämysjärjestelmät tarjoavat uusia mahdollisuuksia tällä käyttöalueella.

(d) *Tietämyksen louhinta ja jalostaminen*

Tietämyksen jalostaminen, dokumentointi ja jakelu muodostavat yhdessä hyvin mielenkiintoisen ja merkittävän tietämystekniikan sovellusalueen. Jo 1970-luvulla eräät asiantuntijat korostivat mahdollisuutta, että tietämysjärjestelmien käytöllä »tietämyksen louhinnan ja jalostuksen» (knowledge mining & refinement) ympäristöinä voi olla pitkällä tähtäyksellä vieläkin merkittävämpi vaikutus tietoyhteiskunnassa kuin kehitettyjen tietämysjärjestelmien varsinaisella käytöllä (esim. Michie 1978). Periaatteessa kysymys on yksinkertaisesti siitä, että rakennettaessa tietämysjärjestelmien tietämyskantoja ja päättelykoneita joudutaan eksplikoimaan ja yhdistelemään asiantuntijoiden päässä olevaa asiantuntemusta ja ajattelutapoja, jolloin ne saadaan yleiseen käyttöön ja jolloin niitä voidaan arvioida kriittisesti.

Stanfordin yliopiston tutkijoiden näkemys tekoälyn tutkimuksen pitkän tähtäyksen päämäärästä (Lenat 1976) tukee osaltaan tätä tekoälyn käyttöä. Ensinnäkin tekoäly saattaa johtaa tieteen tieteeseen (science of science) eli tieteelliseen ymmärrykseen tieteellisen työn olemuksesta. Tässä hengessä Stanfordin yliopiston heuristisen ohjelmoinnin projektissa on jo 1960-luvun puolivälistä lähtien tutkittu sitä, mitä teorianmuodostus oikeastaan on tietämyksen käsittelyn toimintana. Tarkoituksena on tälläkin elämän alueella tuoda ymmärrys mysteerin tilalle. Toisena päämääränä on ihmisen henkisen voiman lisääminen. Tietämyksen jalostaminen liittyy näihin molempiin päämääriin.

Painotettakoon tässä yhteydessä sitä, että tällaisen toiminnan ei tarvitse rajoittaa huippuasiantuntijoiden tietämyksen ja ajattelutapojen tutkimiseen, vaan se voi olla järkevää millä tahansa tietämystyön alueella ja tasolla.

(e) *Tietämyksen dokumentointi*

Tietämystekniikkaa voidaan käyttää tietämyksen dokumentointiin monissa eri muodoissa. Monet ovat puhuneet sen käytöstä organisaatio- eli instituutiomuistien ylläpitämisessä. Organisaation kulloinkin voimassa olevat toimintapolitiikat ja menettelytavat voidaan tallentaa organisaation kaikkien jäsenien saataville ja nopeasti tarkistettaviksi. Johtajat voivat käyttää tietämystekniikkaa henkilökohtaisten tietokoneiden yhteydessä omien toimintaperiaatteidensa ja -tapojensa tallentamiseen seuraajiensa käyttöä varten, kun he siirtyvät eläkkeelle tai toisiin tehtäviin. Ja mikä olisikaan kirjastojen käyttäjille mieluisempaa kuin päästä 'aktiiviseen kirjastoon', joka hakisi kulloistenkin tietotarpeiden kannalta relevantit tiedot tai edes niitä sisältävät dokumentit. Tällaisten odotetaan tulevan jo 1990-luvulla, mutta on syytä varoittaa odottamasta kohtuuttomia.

(f) *Tietämyksen jakelu (viestintä)*

Tietämyksen jakelua pidetään tietämystekniikan yhtenä keskeisenä käyttönä. Jopa niin keskeisenä, että vuoden 1986 alusta alkaen ilmestynyttä aikakauslehteä 'IEEE Expert: Intelligent Systems and their Applications' on markkinoitu esitteellä, johon on otettu motoksi seuraava teksti:

. . . where artificial intelligence meets the real world.

As technology progresses and economies advance, knowledge transfer becomes a bottleneck in cultural development. In highly advanced fields, such as medicine and electronics, knowledge creation outpaces knowledge dissemination and use. In information-processing fields, such as military intelligence and earth resources, data is acquired faster than it can be analyzed and interpreted. In highly capitalized fields, such as automotive and electronics manufacturing, global competition based on price and quality makes the integration and coordination of knowledge within the corporation critical to its survival. In all these areas, the same point is evident: the computer has created both the need and the opportunity to enhance knowledge distribution.

Expert Systems address that need.

— F. Hayes-Roth

Kirjoittaja Frederick Hayes-Roth toimii johtavana tutkijana Teknowledge Inc. -nimisessä tietämystekniikkaan erikoistuneessa yrityksessä, joka pitää tietämyksen jakelua yhtenä keskeisenä sovellusalueenaan.

Tietämyksen viestinnän yhteyteen voidaan lukea myös sellaiset laitteistot ja ohjelmistot, joiden avulla pyritään lisäämään tietämystyön tehokkuutta ja tulokellisuutta esimerkiksi monimutkaisia ongelmia käsittelevien projektiryhmien kokouksien yhteydessä. Esimerkiksi Rank Xeroxin Palo Alton tutkimuskeskuksessa on kehitetty kokeilukäyttöön Colab-järjestelmä. Sitä on luonnehdittu tiimitietokoneeksi, joka tukee ideoiden laatimista ja organisoinnista ongelmia ratkovissa työryhmissä (Stefik 1986). Stefik puhuu 'uudesta tietämyksen mediasta' (new knowledge medium). Hänen artikkelinsa tiivistelmässä todetaan:

The most widely understood goal of artificial intelligence is to understand and build autonomous, intelligent, thinking machines. A perhaps larger opportunity and complementary goal is to understand and build an interactive knowledge medium.

Tietokonevälitteisen viestinnän ja tietokonevahvistettujen kokouksien alueella kuten yleisemminkin toimistoautomaation alueella tietämystekniikalle näyttää löytyvän hyvinkin monenlaisia käyttötapoja tietämyksen viestinnän mielessä – puhumattakaan muista käyttömahdollisuuksista.

Jotta tulevaisuudessa tietämyksen jalostus, dokumentointi, jakelu ja käyttö voitaisiin hoitaa järkevästi tietämystyöläisten päivittäisessä työssä, tarvitaan hyvin toisiinsa integroituja laitteistoja ja ohjelmistoja. Nykyisissä tietämysjärjestelmissä on tässä suhteessa paljon toivomisen varaa, mutta jo lähitulevaisuudessa on odotettavissa varmasti huomattavaa parannusta, sillä integrointivaatimus on koko tietojenkäsittelyn alalla ajankohtainen asia. Mielenkiinnolla voidaan odottaa myös sitä, mitä erilaisia synergioita seuraavien vuosikymmenien tietämystyötä tukevat järjestelmät tuovat tietämystyötä tekeville hallintotyön ammattilaisille – olivatpa he virkamiehiä tai tutkijoita.

#### (g) *Toimiminen monimutkaisten järjestelmien komponentteina*

Tietämystekniikan yksi merkittävä käyttö on älykkäiden komponenttien tuottaminen monimutkaisiin järjestelmiin. Esimerkkinä voidaan mainita SACON-järjestelmä, joka toimii hyvin monimutkaisen insinöörien käyttöön kehitetyn tietokoneohjelmistoon ja sen käyttäjien välisenä edustajaohjelmistona eli »fronttina». Sen sijaan että käyttäjän tarvitsisi tutustua ohjelmiston mammuttimaiseen käsikirjakokoelmaan, edustaohjelma auttaa häntä valitsemaan kulloisenkin tehtävän suorittamiseen tarvittavat ohjelmat ja käyttämään niitä. Vastaavasti tietämystekniikan avulla voidaan luoda kehittyneitä

tulostusohjelmia, käyttäjävälisiä liityntöjä (esim. luonnollista kieltä ymmärtäviä liityntöjä) ja käyttäjän kulloisenkin valmiustason tuntevia HELP-järjestelmiä.

#### (h) *Valmennus*

Jo nyt tietämysjärjestelmiä on käytetty menestyksellisesti valmennuksen apuvälineinä. MYCIN-järjestelmää, joka on yksi ensimmäisistä ja tunnetuimmista asiantuntijajärjestelmistä, käytetään Stanfordin yliopistossa lähinnä lääketieteen opiskelijoiden koulutuksessa eikä suinkaan lääkäreiden päivittäisen hoitotyön avustajina. Monilla aloilla tehokas valmennus on hyvin tärkeä asia, jota voidaan sekä tehostaa että tehdä se taloudellisemmaksi ja helpommin saatavilla olevaksi nimenomaan tietämystekniikan avulla.

#### (i) *Tietämystekniikan demonstrointi*

Taulukon 2 viimeisenä kohtana on tietämystekniikan demonstrointi. Monet nykyiset tietämysjärjestelmät ja etenkin järjestelmäkehittimet on suunniteltu varta vasten tietämystekniikan koulutuksen ja käyttömahdollisuuksien demonstroinnin välineiksi.

### 6.2. *Käyttöjä hallintotoiminnassa ja hallinnon tutkimuksessa*

#### *Hallintotyö*

Tietämysjärjestelmien edellä esiteltyjen tehtäväluokkien ja palvelutoimintojen perusteella voidaan helposti tunnistaa lukuisia potentiaalisia käyttömahdollisuuksia hallintotyön piiristä. Kokonaan eri asia on, onko nykyinen tietämystekniikka niiden toteuttamisen kannalta riittävää, onko tarjolla riittäviä henkisiä ja taloudellisia voimavaroja tai onko kehittäminen hyöty/kustannusmielessä järkevää, erityisesti lähdetessä tarkastelemaan kehittämishankkeita vaihtoehtokustannusten pohjalta. Tietämysjärjestelmien kehittämistä ja käyttöä ei tule pitää itseisarvona.

Rajoituttakoon tarkastelemaan Donald Watermanin (1986, 224–226) oikeustoimen alueelle esittämiä asiantuntijajärjestelmien käyttöjä. Oikeustointa on pidetty yhtenä tietämystekniikan keskeisenä käyttöalueena julkisella sektorilla. Waterman toimii Rand Corporationin tutkijana ja kehittää tämän

sovellusalueen tietämysjärjestelmiä.

Oikeustoimeen liittyvien kirjallisten dokumenttien laatiminen voi olla hyvin työlästä. Moni tuomari ja asianajaja olisi varmaan tyytyväinen, jos hänellä olisi apunaan tietokoneohjelma, joka valikoisi ja kokoaisi yhteen sopivat tekstipalaset laki- ja asetusteksteistä ja jäsentäisi tämän aineiston dokumentin muotoon. Eräät kehittyneet lääketieteen asiantuntijajärjestelmät pystyvät tuottamaan erinomaisiksi arvioituja potilasraportteja. Miksi samaa ei voitaisi tehdä myös oikeustoimen alueella?

Sekä lain käyttäjien että kehittäjien kannalta olisi myös tervetullutta, jos kyettäisiin kehittämään tietokoneohjelmia, jotka tulkitsevat lakeja, asetuksia ja muita säädöksiä tietyn ongelman tai kysymyksen kannalta, jotka ennakoivat ehdotettujen toimenpiteiden oikeudelliset seuraamukset, ja jotka ennustavat lakeihin tehtävien muutoksien vaikutukset. Tietämystekniikka on viemässä meidät ainakin muutaman askeleen lähemmäksi tällaisia järjestelmiä. Eri asia on, kuinka pitkälle tällaisen järjestelmän kehittämistyössä päästään mihinkin mennessä ja missäkin maassa.

Asianajajat olisivat varmasti ihastuneita, jos he saisivat tuekseen ohjelmistoja, jotka auttavat heitä ajankäytön suunnittelussa ja jotka tarkistavat säännöllisin väliajoin, onko oikeustoimen tieto- ja tietämyskannoissa tapahtunut heidän asiakkaidensa ja kulloinkin käsiteltävänä olevien tapauksien kannalta oleellisia muutoksia. Myös tällaisten ohjelmistojen kehittämistyötä on jo tehty ainakin perustutkimuksessa.

Ei ole mahdotonta, että jo seuraavan vuosikymmenen kuluessa kehitetään asiantuntijajärjestelmiä, jotka kykenevät avustamaan asianajajaa hänen ajettavaan olevaa tapausta koskevan informaation organisoimisessa, arvioimaan esimerkiksi vahingonkorvaustapauksissa korvausvaatimuksien järkeviä tasoja ja jopa ehdottamaan strategioita ja taktiikoita tapauksen käsittelyyn.

Waterman on itse keskittynyt vahingonkorvauksiin, jotka liittyvät esimerkiksi asbestin käyttöön rakennusmateriaalina. Mitä monimutkaisemmista oikeustapauksista on kysymys, sitä suurempi voi tietämysjärjestelmien tarjoaman tuen merkitys olla.

### *Hallintotieteellinen tutkimus*

Tietämysjärjestelmät voivat tarjota hallinnollisen tietämystyön (suunnittelun, päätöksenteon, organisoinnin, jne.) mikroteoreettisen luonteen tutkijoille sekä käsitteellisiä ja teknisiä välineitä että kokeiluympäristön. Jos halutaan hyödyntää tehokkaasti ja tuloksellisesti tietojenkäsittelyn uusia tekniikoita, tulee niiden avulla vahvistettava tietämystyö hallita siihen tarvittavan tietä-

myksen ja sen käsittelyn tasolla. Niin kuin Stanfordin yliopiston tutkijat yrittävät paljastaa Nobel-palkinnon saaneiden kemistien ja molekyyli-genetiikan tutkijoiden teorianmuodostusta, voidaan hallintotieteiden alueella yrittää porautua entistä syvemmälle esimerkiksi tuomarien argumentointiprosesseihin.

Organisaatiosuunnittelusta ja toimien analyysistä kiinnostuneita tutkijoita ja hallinnon kehittäjiä saattaa erityisesti ilahduttaa Harmonin ja Kingen (1985, Kuvio 1.1) näkemys siitä, että asiantuntijajärjestelmien kehitys tulee ilmene-mään 1980-luvun loppupuoliskolla muun muassa näiden alojen uusina käsit-teinä.

Tämän kirjoittaja kiinnostui tekoälystä jo 1960-luvun alkupuolella, koska näki siitä löytyvän aikaisemmin tarjolla olleita ajatteluvälineitä paremmat työkalut ongelmanratkaisun ja päätöksenteon ymmärtämiseen. Kuitenkin vasta 1970-luvun puolivälissä hän lähti järjestelmällisemmin etsimään tekoälyn piiristä välineitä, joiden avulla voidaan ymmärtää ja ainakin ajattelun tasolla hallita organisaatioita ja työryhmiä. Tämän etsinnän yhtenä tuloksena on Tampereen yliopiston hallintotieteiden laitoksella äskettäin käynnistynyt »Yhteistyön mallitus» -projekti, jonka päätavoitteena on kehittää yhteistyöhön liittyvien organisointi- ja ohjausongelmien ratkaisemiseen tarvittavan kompetenssin malleja ja testata niitä niin kutsutun tietämuspohjaisen simu-loinnin tekniikoilla. Projektissa tarkastellaan organisointia ja ohjausta tietä-myksen käsittelyn viitekehyyksessä, ja hanke voidaan nähdä yritykseksi hyödyntää hajautetun tekoälyn tutkimuksen piirissä käytettyjä käsitteitä ja koetekniikoita yhteistyön perustutkimuksessa. Lähivuodet näyttävät, onko tähän tutkimusotteeseen sitoutuminen kaiken vaivansa arvoinen. Tällainen tutkimus ei ole helppoa ja riskitöntä; toisin sanoen, ei ole suinkaan selvää, että tällainen tekoälyn hyväksikäyttö olisi varmasti älykästä artikkelin pää-otsikon tarkoittamassa merkityksessä.

## 7. MUUTAMIA HUOMIOITA TIETÄMYSJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMIS-TYÖSTÄ

Asiantuntijajärjestelmien kehittämisen katsotaan tavallisesti tapahtuvan tietä-mystekniikan osaavan tietämysinsinöörin ja sovellusalan asiantuntijan yhteis-työnä. Koska »tietämys on voimaa», riippuu kehittämisprojektin onnistumi-nen suuresti tietämysinsinöörin ammattipätevyyden lisäksi myös sovellus-alueen asiantuntijan yhteistyökyvystä ja halusta osallistua hankkeeseen. Usein tietämysjärjestelmän kehittäminen on pikemminkin useiden vuosien kuin muutaman kuukauden asia eikä sitä voida hoitaa satunnaisten tapaamisten pohjalta. On syytä kehoittaa jokaista, joka on vakavissaan harkitsemassa tietä-

mysjärjestelmän kehittämistä, tutustumaan Watermanin (1986) teoksen lukuihin 16–19, joissa esitetään asiantuntijajärjestelmien kehittämiseen liittyviä vaikeuksia ja salakuoppia.

Mikäli tietämystekniikkaa halutaan käyttää älykkäästi, ei ole syytä olettaa varmaksi, että tietämysisinsinöörillä ja sovellusalueen asiantuntijalla olisi kahdestaan riittävä asiantuntemus, kun asiaa tarkastellaan tulokseksi saatavan tietämysisjärjestelmän lopullisen käytön kannalta. Esimerkkeinä voidaan tarkastella neuvonantojärjestelmiä. Vaikka sovellusalan asiantuntijalla olisikin syvälinen tietämysis neuvonnan kohteena olevasta alasta, hän ei ole välttämättä neuvontatehtävän asiantuntija. Tietämysisinsinöörillä ei ole välttämättä kumpaakaan näistä asiantuntemuksen alueista, vaan ainoastaan tietämystekniikan tuntemus. Tällöin on tarjolla ilmeinen vaara, että heidän kahdestaan kehittämänsä neuvonantojärjestelmä tuottaa oikeita vastauksia väärin kysymyksiin. 'Expert Systems User' -lehden toukokuun numerosta 1986 löytyy kahden sivun artikkeli otsikolla »All the answers – to the wrong questions». Artikkelin mottona on ajatus, että loppukäyttäjät tarvitsevat vastauksia sellaisiin kysymyksiin, jotka järjestelmän kehittäjät ovat saattaneet jättää huomioimatta, ja että tämän takia järjestelmien kehittäjien tulisi jo ennen kehittämishankkeen aloittamista ottaa selville, mitä loppukäyttäjät todella haluavat. Samassa artikkelissa esitetään näyttöjä siitä, että monet nykyiset järjestelmät on todella kehitetty ymmärtämättä, mitä loppukäyttäjät todella tarvitsevat ja haluavat. Tämän virheen ovat tehneet monien muidenkin järjestelmien kehittäjät, mutta on syytä painottaa, ettei tietämystekniikkaan suojaa tältä virheeltä. Jotta tietämysisjärjestelmä olisi lopullisen käyttötarkoituksensa kannalta järkevä eli edustaisi tekoälyn älykästä käyttöä, sen tulisi hoitaa alkuperäinen palvelutehtävänsä. Liaksi teknisesti suuntautuneet tietämysisinsinöörit ja sovellusasiantuntijat saattavat unohtaa tämän – tai heillä on väärä kuva siitä, mikä tuo palvelutehtävä on oikein jäsennettyä ja miten se voitaisiin hoitaa parhaiten.

Selityksien antamisen kykyä on pidetty tietämysisjärjestelmien yhtenä ominaispiirteenä. Järjestelmä kykenee perustelemaan käyttäjälle kysymyksensä, jos käyttäjä kirjoittaa kysymyksen esittämisen yhteydessä MIKSI. Samoin järjestelmä kykenee kertomaan esimerkiksi sen, millä tavoin se on saanut selville jonkin asian tai millä tavoin on päädytty esitettyyn johtopäätökseen, jos käyttäjä kysyy MITEN. Useat mikrotietokoneillakin toimivat tietämysisjärjestelmät pystyvät jossakin mielessä antamaan tällaisia selityksiä. On kuitenkin syytä korostaa, että ei ole suinkaan itsestään selvää, minkälaiset loppukäyttäjille tarjotut selitykset ovat millekin käyttäjäryhmälle missäkin yhteydessä riittäviä tai todella ihanteellisia. Nykyiset asiantuntijajärjestelmien kehittäjät tarjoavat hyvin rajoitetut, kiinteät välineet selityksien antamiseen –



eivätkä ne ole välttämättä riittäviä.

Voisivatko loppukäyttäjät sitten itse kehittää omia sovelluksiaan varten tietämysjärjestelmiä? Tähän kysymykseen vastaamiseksi on syytä esitellä lyhyesti tietämystekniikassa käytettyjä ohjelmoinnin työkaluja. Konventionaalisilla ohjelmointikielillä, kuten PASCAL, FORTRAN, C-kieli ja jopa BASIC, voidaan kehittää tietämysjärjestelmiä ja jossakin määrin myös niiden kehitysvälineitä. Samoin tähän tarkoitukseen voidaan käyttää yleiskäyttöisiä tekoälykieliä, kuten LISP ja PROLOG (PROLOG = PROgramming in LOGic). Varta vasten asiantuntijajärjestelmien rakentamiseen on kehitetty melko yleiskäyttöisiä kieliä, kuten OPS5, ROSIE ja RLL, ja näitä paljon kehittyneempiä hybridijärjestelmiä, kuten LOOPS, KEE ja ART, joissa on yhdistetty tekoälyohjelmoinnin useita eri paradigmoja. Kaikki edellä viitatuut työkalut edellyttävät ohjelmoinnin ammattilaisen valmiuksia.

Edellä mainittujen työkalujen lisäksi on tarjolla suuri joukko kehikkojärjestelmiä, kuten Xi, ESP Advisor, EMYCIN ja SAVOIR. Niissä on valmiina tietyn tyyppisten ongelmien käsittelyyn tarvittavat päättelytekniikat (so. päättelykone), selitysmekanismit ja tietämyskannan rakentamisen välineet. Niiden avulla spesifinen tietämysjärjestelmä voidaan luoda rakentamalla puuttuva alakohtainen tietämyskanta. Tällaisia kehikkoja on tarjolla runsaasti sekä mikrotietokoneisiin että suurempiin tietokoneisiin. Nimenomaan pienten tietämysjärjestelmien kehittämiseen – ja erityisesti tietämystekniikkaan tutustumiseen – nämä työkalut ovat loppukäyttäjien kannalta kiistattomasti parhaat. Näin on erityisesti silloin, kun halutaan etsiä tekoälyn älykkäitä käyttötapoja omin rajoitetuin voimavaroin. Mutta on pidettävä mielessä, että kukin kehikko asettaa hyvin tiukat olettamukset sille soveltuviin ongelmien luonteen suhteen.

Tietämysjärjestelmät ja tietämystekniikka kuuluvat tällä hetkellä muodissa oleviin tietojenkäsittelyn alueisiin. Muodissa oleminen ei sinänsä ole hyvä eikä huono asia. Se on hyvä asia, jos se johtaaärkevään tutkimus- ja kehitystyöhön ja jos se ei samalla johda muiden vähintään yhtä tärkeiden tutkimus- ja kehittämiskohteiden laiminlyömiseen. Hallintotyön alueella on kuitenkin monia muita tietojenkäsittelyyn liittyviä ja liittymättömiä vaihtoehtoisia kehittämiskohteita, jotka kilpailevat oikeutetusti niukoista henkisistä ja aineellisista voimavaroista. Jos muoti syrjäyttää sokeasti nuo muut kohteet, silloin ollaan pahasti harhateillä. Samoin on huono asia, jos tekoälyyn kohdistetaan kätteettomia odotuksia, joita ei kuitenkaan kyetä täyttämään ja joiden takia koetaan turhautumisia. Pahimpana vaarana on tällöin se, että pettymysten jälkeen tullaan myöhemmin vastustamaan tunneperäisesti koko tekoälyä. Tietämysjärjestelmien kehittäminen on hyvin vaativaa ja paljon aikaa vievää työtä, ja alan tietotaidon hankkiminen on erittäin vaivalloista. Tämän vuoksi

pelkät ihastumiset ja pinnalliset kokeilut eivät vie alan järkevää hyväksikäyttöä eteenpäin.

Kirjoittajan henkilökohtainen käsitys siitä, missä määrin suomalaisten hallintotyön kehittäjien tulisi panostaa tälle alueelle, on suositus edetä »pää kylmänä» ja tietoisina sekä mahdollisuuksista että riskeistä. Tietämystekniikan ja tietämysjärjestelmien kehityksen seuraamista ja arvioimista ei ole syytä jättää 1990-luvulle, mutta mihinkään laaja-alaiseen tietämystekniikan hallinnollisten sovelluksien tutkimus- ja kehitystoimintaan Suomessa ei yksinkertaisesti ole riittäviä voimavaroja. Jos sopivia projekteja löytyy, niitä tuettakoon; mutta »muutoin jäädään junasta» -henkiseen paniikkiin ei ole ainkaan vielä toistaiseksi syytä. Päähuolena olkoon sen varmistaminen, että tarvittaessa pystytään omaksumaan tietämystekniikan alalla nopeasti kehittyvää tietotaitoa ja arvioimaan sen järkeviä käyttömahdollisuuksia.

## 8. TIETÄMYSTEKNIIKAN KEHITYKSEEN VAIKUTTAVIA VOIMIA

Vaikka tekoäly tieteessä on jo »miehen iässä», sen varsinainen soveltaminen on vasta »vaippa-asteella». Viimeisen viiden vuoden aikana tapahtunut voimakas kaupallistuminen johtaa varmasti monien uusien ideoiden ja välineiden syntymiseen. Esiteltäköön muutamia niistä voimista, jotka näyttävät vaikuttavan alan lähivuosien kehitykseen.

Japanilaisten viidennen sukupolven tietokonejärjestelmien projekti on ollut yksi merkittävä tekijä, joka on saanut amerikkalaiset ja eurooppalaiset tutkijat, teollisuusmiehet ja poliitikot liikkeelle. Tuossa projektissa pyritään kehittämään 1990-luvun alkuun mennessä tietokonejärjestelmä, joka on kehitetty laitetason ratkaisujen tasolta lähtien älykkään tietämyksen käsitteilyn suuritehoiseksi välineeksi. Japanilaiset katsovat asiantuntijajärjestelmät sen keskeiseksi sovellusalueeksi. Onnistuvatpa he kaikkien tavoitteidensa saavuttamisessa tai eivät, projektin julkistamisella on ollut hyvin merkittävä vaikutus muiden maiden ponnistuksiin tietämystekniikan alalla. Amerikkalainen ja eurooppalainen hitech-teollisuus ei halua antaa japanilaiselle teollisuudelle yliotetta tietämysjärjestelmien perustana olevan teknologian kehittäjinä ja tuottajina.

Tietämystekniikan ja tietämysjärjestelmien nykyistä painoarvoa sotilassovelluksissa heijastaa hyvin syksyllä 1983 Yhdysvalloissa käynnistynyt Strategic Computing -tutkimusohjelma (Stefik 1985). Rahoittajana toimii DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency), jonka takaa löytyy Yhdysvaltojen puolustusministeriö (DoD). Ohjelma koostuu kolmesta suuresta projektista, joiden kaikkien ytimenä on asiantuntijajärjestelmän käsite.

Maavoimille kehitetään itsenäisesti liikkuvia tankkeja, jotka kykenevät dynaamisesti suorittamaan muun muassa maisema-analyyseja edessään olevasta maastosta ja suunnittelemaan etenemisreitinsä tuon analyysin tuloksien pohjalta. Ilmavoimille kehitetään lentäjän älykästä apulaista, ja laivastolle kehitetään lentotukialusten taistelunjohtojärjestelmää, joka kykenee tilanne-analyysien lisäksi synnyttämään ja arvioimaan sekä vihollisen että omien joukkojen vaihtoehtoisia toimintasuunnitelmia. Jälkimmäisessä projektissa on vuoden 1992 tavoitteeksi asetettu useiden tällaisten järjestelmien muodostama verkko. Ohjelma maksaa vuosittain 100 miljoonaa dollaria ja sen on määrä kestää kymmenen vuotta. — Tällaisten mittavien ohjelmien yhteydessä tietämystekniikan alalla tehtävät keksinnöt saavat varmasti myös siviilisovelluksia.

On tunnettu tosiasia, että Yhdysvalloissa tekoälyn perustutkimuksen tärkein rahoittaja on ollut puolustusministeriö. Tämä rahoitus tuskin loppuu, vaan pikemminkin kasvaa entisestään — haluamme sitä tai emme.

Tietämystekniikan hallinnollisten sovelluksien kannalta on merkittävää, että maailmalla tehdään mittavaa tutkimus- ja kehitystyötä tietämystekniikan alalla sekä yksityisellä että julkisella sektorilla. Monet suuryritykset ovat ottaneet tietämystekniikkaa omaan sisäiseen käyttöönsä kilpailuasemansa ja tehokkuutensa varmistamiseksi. Näistä tietämystekniikasta ei yleensä paljon puhuta ulkopuolisille. Esimerkiksi Digital Equipment Corporation on kehittänyt organisaatioprosessien simulointiin tarkoitetun XPRESS-järjestelmän, josta näyttää toistaiseksi olevan mahdollonta saada yksityiskohtaisempaa tietoa. Toimistoautomaation alueella tietämystekniikalta odotetaan paljon, ja tämän tietojenkäsittelyn alueen kehityksellä tulee olemaan suuri merkitys tietämystekniikan tulevaan käyttöön julkisen hallinnon piirissä. Lokakuussa 1986 pidettiin jo toinen konferenssi aiheesta »Expert Systems in Government». Pienimuotoista kokeilutoimintaa löytyy täältä Suomestakin (ks. esim. Hannus 1986).

## 9. PARI KIRJALLISUUSVINKKIÄ

Tekoälyä ja tietämystekniikkaa käsittelevä kirjallisuus on lisääntynyt viime vuosina nopeasti. Tällä hetkellä tarjolla olevista teoksista voidaan johdatuksiksi suositella kolmea teosta. Harmonin ja Kingin (1985) teos 'Expert Systems: Artificial Intelligence in Business' on hyvä ensimmäinen porras lähdeettä tutustumaan tietämystekniikkaan nimenomaan loppukäyttäjänä eikä tulevana tietämystekniikan alana. Myös Goodallin (1985) teos 'The Guide to Expert Systems' sopii samaan tarkoitukseen. Mikäli lukijan kiinnostus alaa kohtaan säilyy näiden lukemisen jälkeen, hänen kannattaa hankkia Watermanin (1986)

teos 'A Guide to Expert Systems'. Se on todella hyvä opas jokaiselle, joka haluaa saada paitsi yleiskuvan tietämystekniikasta myös yksityiskohtaisempaa tietoa tarjolla olevista tietämysjärjestelmistä ja työkaluista. Siitä löytyvät myös edellä mainitut selonteot asiantuntijajärjestelmien kehittämiseen liittyvistä vaikeuksista ja salakuopista.

Monia muitakin hyviä kirjoja löytyy. Kuitenkin edellä mainittujen teoksien huolellinen lukeminen antaa tiedollisen perustan, jota ilman on kyseenalaista edetä erityiskysymyksiin. Vasta niiden sulattelun jälkeen kannattaa siirtyä tietämystekniikan yksityiskohtiin esimerkiksi Hayes-Rothin, Watermanin ja Lenatin (1983) toimittaman teoksen 'Building Expert Systems' tuella. Nimenomaan tekoälyn älykkään käytön kannalta on tärkeää, että tutustutaan kunnolla metsään ennen puita ja neulasia.

## LÄIHEET

- Anonymous: All the Answers – to the Wrong Questions. *Expert Systems User* 2(1986): 1, s. 16–17.
- Bobrow, Daniel G. & Hayes, Patrick J.: Artificial intelligence – Where Are We? *Artificial Intelligence* 25 (1985):3, s. 375–415.
- Goodall, Alex: *The Guide To Expert Systems, Learned Information*, Oxford 1985.
- Hannus, Seppo: Tekoäly päätöksentekijän työkaluksi? STeP-86, Suomen Tekoälytutkimuksen Päivät, Symposium Papers: Applications, s. 144–147, Otaniemi 1986.
- Harmon, Paul & King, David: *Expert Systems: Artificial Intelligence in Business*, John Wiley & Sons, New York 1985.
- Hayes-Roth, Frederick, Waterman, Donald A. & Lenat, Douglas B. (toim.): *Building Expert Systems*, Addison-Wesley, Reading, MA 1983.
- Hayes-Roth, Frederick: Knowledge-Based Expert Systems – The State of the Art in the US. *The Knowledge Engineering Review* 1 (1985): 2, s. 18–27.
- Lenat, Douglas B.: The Ubiquity of Discovery. *Artificial Intelligence* 9 (1977): 3, s. 257–285.
- Michie, Donald: New Use for a Special Kind of System. *Computer Weekly*, s. 6, April 13, 1978.
- Newell, Allen & Simon, Herbert A.: Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search. *Communications of the ACM* 19 (1976): 3, s. 113–126.
- Stefik, Mark: Strategic Computing at DARPA: Overview and Assessment. *Communications of the ACM* 28 (1985): 7, s. 690–704.
- Stefik, Mark: The Next Knowledge Medium. *The AI Magazine* 7 (1986): 1, s. 34–46.
- Waterman, Donald A.: *A Guide to Expert Systems*, Addison-Wesley, Reading, MA 1986.