
Raimo Sariola

**Sellonsoiton motoriikkaan
liittyvien kognitiivisten prosessien
mallintamisesta**

Sibelius-Akatemian jatkotutkintojen taiteellisella linjalla
suoritettavaan musiikin tohtorin tutkintoon liittyvä tutkielma

1990

Raimo Sariola

Sellonsoiton motoriiikkaan liittyvien kognitiivisten prosessien mallintamisesta

Sibelius-Akatemian jatkotutkintojen taiteellisella linjalla suoritettavaan musiikin tohtorin tutkintoon liittyvä tutkielma, 1990, 90 sivua

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää mahdollisuuksia sellonsoiton motoriiikkaan liittyvien kognitiivisten prosessien mallintamiseen. Tähän pyritään yhtäältä etsimällä ilmiölle vaihtoehtoisia paradigmoja motorisista teorioista, skeema- ja produktiteorioista, tekoälyohjelmilla toteutetuista tietokonesimulaatioista sekä toisaalta kehittämällä hypoteettinen sellonsoiton kognitiota kuvaava malli.

Tutkimuksen kohteena olevilla kognitiivisilla toiminnoilla tarkoitetaan ihmisen tiedollisia prosesseja, jotka liittyvät mm. havaitsemiseen, oppimiseen, muistamiseen, ajattelemiseen, ongelmanratkaisuun ja päätöksentekoon (Nummenmaa et. al. 1982: 13). Mallintamisella puolestaan pyritään reduktion kautta kuvaamaan näiden prosessien toiminnallisia ja rakenteellisia аспекteja. Kognitiotieteissä ilmiön mallinnukset, tietokoneanalogiaan perustuvat simulaatiot kognitiivisista toiminnoista ajatellaan tietostatuksetta vain summittaisesti, approksimatiivisesti tai hypoteettisesti tosiksi. (Hautamäki 1988: 12.)

Tutkimuksen lähtökohdaksi on soittamisen toimintakokonaisuudesta rajattu fyysistä suoritusta *edeltävä* vaihe — vaihe, jossa soittajalla on jo mielikuva ääni-intentiosta, mutta hän ei ole vielä päättänyt, miten hän sen toteuttaa soittimellaan. Kyse on toimintastrategian laatimiseen liittyvistä kognitiivisista prosesseista, joiden päämääränä on valita kulloinkin yksi toteutusvaihtoehto mahdollisten toteutusvaihtoehtojen joukosta.

Kiinnostukseni aiheeseen heräsi, kun aloin pohtia suhdetta, joka vallitsee ääni-intention teoreettisten ja yleisesti käytössä olevien, käyttökelpoisten toteutusvaihtoehtojen välillä. Havaitsin, että kullakin ääni-intentiolla on aina *rajallinen* lukumäärä mahdollisia teoreettisia toteutusvaihtoehtoja ja että niiden määrään näytti vaikuttavan mm. soittimen rakenne, soittotavat sekä soittajan fyysiset mitat. Ääni-intentioiden ja teoreettisten toteutusvaihtoehtojen välistä suhdetta kuvaamaan määrittelin yksinkertaisen implikaation: JOS ääni-intentio on *x*, NIIN toteutus on *y*. Seuraavaksi määrittelin kriteerit, jotka ohjaavat *y*:n valintaa. Tuloksena syntyi nelitasoinen hierarkkinen järjestelmä, jossa on kaiken kaikkiaan viisikymmentäkaksi luokkaa.

Hypoteettisen mallin merkitys on ollut tutkimuksen teon aikana lähinnä katalyyttinen, siten että se on antanut kimmokkeen etsiä ilmiölle kirjallisuudesta erilaisia mahdollisia teoreettisia paradigmoja. Tutkimuksen päämäärä onkin lähinnä luoda taustaa tulevalle jousisoitinten soiton kognitiivisten toimintojen tutkimukselle pikemminkin kuin esittää lopullisia arvioita kehittämäni systematiikan totuudellisuudesta.

S I S Ä L L Y S

1. TAUSTA	1
1.1 Tavoitteena sellonsoiton kognition hypoteettinen malli	1
1.2 Soittamisen kognition mallintamisen ongelmista	2
1.3 "Sellisti, soita <i>a!</i> "	3
2. MOTORISET TEORIAT	6
2.1 Motoristen teorioiden käsitteistä	6
2.2 Motoriset teoriat koulukunnittain	10
2.2.1 Motorisen oppimisen ja suorituksen yleiskuvaukset	12
2.2.1.1 Franklin Henryn muisti - rumputeoria	12
2.2.1.2 Crattyn kolmitasoteoria	13
2.2.1.3 Fitts-Posnerin malli	14
2.2.1.4 Gentilen malli	15
2.2.2 Assosiatiiviset teoriat — esimerkkinä Gagnén motorisen ketjutuksen hypoteesi	16
2.2.3 Tietojenkäsittelyteoreettiset mallit	18
2.2.3.1 Wellfordin malli	19
2.2.3.2 Whitingin malli	23
2.2.3.3 Corbinin malli	25
2.2.4. Kyberneetiikka	26
2.2.4.1 Adamin suljetun silmukan teoria	27
2.2.5 Adaptiiviset (hierarkkisen kontrollin) mallit	28
2.2.5.1 Toimintasuunnitelmat	31
2.2.5.2 Keelen motorisen ohjelman malli	32
2.2.6 Avoimen - ja suljetun mallin paremmuudesta	35
2.2.7 Skeemateoriat	36

3. DEKLARATIIVISESTA JA PROSEDURAALISESTA TIEDON PROSESSOINNISTA	40
3.1 Tiedon prosessoinnista tekoälytutkimuksessa	40
3.1.1 Keinoäly soittamista simuloimassa	41
3.2 Fysiologisia todisteita deklaratiiivisesta ja proseduraalisesta tiedon prosessoinnista	46
3.3 Produktioteoria	48
3.3.1 Tiedon representaatio produktio-teoriassa	50
3.3.2 ACT*-teorian oppimiskäsitys	51
4. IDEASTA TOTEUTUKSEEN	53
4.1 Kurkelan toimintateoreettinen malli	53
4.2 Jousisoittajien käsityksiä	56
4.2.1 Gerhard Mantel	56
4.2.2 Otto Szende	58
4.3 Shafferin käsityksiä intention toteutuksesta	60
5. KOHTI SELLONSOITON KOGNITION MALLIA	62
5.1 Ääni-intention toteutusvaihtoehtojen systematiikka	62
5.2 Systematiikan kriteerit	64
5.3 Sellonsoitto produktioina	75
5.3.1 Nuottimerkkiä vastaavan äänita-pahtuman tuottaminen produktioina	75
5.3.2 <i>a</i> -sävelen toteutusvaihtoehtojen luokittelu	76
5.2.3 Motoristen ohjelmien suunnittelu produktioina	79
6. YHTEENVETO	82
KIRJALLISUUTTA	84

1. TAUSTA

1.1 Tavoitteena sellonsoiton kognition hypoteettinen malli

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää mahdollisuuksia sellonsoiton kognitiivisten toimintojen mallintamiseen. Tähän pyritään yhtäältä etsimällä ilmiölle vaihtoehtoisia paradigmoja motorisista teorioista, skeema- ja produktiteorioista, tekoälyohjelmilla toteutetuista tietokonesimulaatioista sekä toisaalta kehittämällä hypoteettinen sellonsoiton kognitiota kuvaava malli.

Tutkimuksen kohteena olevilla kognitiivisilla toiminnoilla tarkoitetaan ihmisen tiedollisia prosesseja, jotka liittyvät mm. havaitsemiseen, oppimiseen, muistamiseen, ajattelemiseen, ongelmanratkaisuun ja päätöksentekoon (Nummenmaa et. al. 1982: 13). Mallintamisella puolestaan pyritään reduktion kautta kuvaamaan näiden prosessien toiminnallisia ja rakenteellisia аспекteja. Kognitiotieteissä ilmiön mallinnukset, tietokoneanalogiaan perustuvat simulaatiot kognitiivisista toiminnoista ajatellaan tietostatukseltaan vain summittaisesti, approksimatiivisesti tai hypoteettisesti tosiksi. (Hautamäki 1988: 12.)

Tutkimuksen lähtökohdaksi on soittamisen toimintakokonaisuudesta rajattu fyysistä suoritusta *edeltävä* vaihe — vaihe, jossa soittajalla on jo mielikuva ääni-intentiosta, mutta hän ei ole vielä päättänyt, miten hän sen toteuttaa soittimellaan. Kyse on siis toimintastrategian laatimiseen liittyvistä kognitiivisista prosesseista, joiden päämääränä on valita kulloinkin yksi toteutusvaihtoehto mahdollisten toteutusvaihtoehtojen joukosta.

Kiinnostukseni aiheeseen heräsi, kun aloin pohtia suhdetta, joka vallitsee ääni-intention teoreettisten ja yleisesti käytössä olevien, käyttökelpoisten toteutusvaihtoehtojen välillä. Havaitsin, että kullakin ääni-intentiolla on aina *rajallinen* lukumäärä mahdollisia teoreettisia toteutusvaihtoehtoja ja että niiden määrään näytti vaikuttavan mm. soittimen rakenne, soittotavat sekä soittajan fyysiset mitat.

Ääni-intentioiden ja teoreettisten toteutusvaihtoehtojen välistä suhdetta kuvaamaan määrittelin yksinkertaisen implikaation: JOS ääni-intentio on x , NIIN toteutus on y . Seuraavaksi määrittelin kriteerit, jotka ohjaavat y :n valintaa. Tuloksena syntyi nelitasoinen hierarkkinen järjestelmä, jossa on kaiken kaikkiaan viisikymmentäkaksi luokkaa. Systematiikka esitellään viidennessä luvussa.

Kehittämäni toteutusvaihtoehtojen systematiikka on *eräs* hypoteettinen sellonsoiton kognitiivisten toimintojen malli ja se on syntynyt intuitiivisesti oivalluksen kautta omakoh-
taisen, pitkäaikaisen sellistin kokemuksen perusteella. Näin ollen se kertoo yhden henkilön subjektiivisen käsityksen tutkittavan ilmiön tietyistä ominaisuuksista. Mallin merkitys on ollut tutkimuksen teon aikana lähinnä katalyyttinen, siten että se on antanut kimmokkeen etsiä ilmiölle kirjallisuudesta erilaisia mahdollisia teoreettisia paradigmoja. Tutkimuksen päämäärä onkin lähinnä luoda taustaa tulevalle jousisoitinten soiton kognitiivisten toimintojen tutkimukselle pikemminkin kuin esittää lopullisia arvioita kehittämäni systematiikan totuudellisuudesta.

1.2 Soittamisen kognition mallintamisen ongelmista

Soittamisen kognition mallintamisessa törmätään monita-
hoiseen ongelmakenttään. Ensinnäkin, soittamisen luon-
teeseen kuuluu keskeisesti se, että motorinen suoritus halli-
taan (tai ainakin pyritään hallitsemaan) niin automaatti-
sesti, ettei se vaadi tietoista ohjausta ja valvontaa. 'Yliopitun'
taidon ansiosta huomiokyky voidaan suunnata soittamisen
ilmaisullisiin aspekteihin. (esim. Nummenmaa et al. 1982:
154—155.) Tästä seuraa tutkimustulosten saamisen
kannalta ongelmallinen tilanne, jossa soittotapahtuman
tiedostamattomien kognitiivisten piirteiden retro-
spektiivinen sanallinen kuvaus on vaikeaa, ellei mahdoton-
ta. Toiseksi, mallintamisen tekee vaikeaksi soittamisen eri
toimintamekanismien funktion arvioiminen kokonaisuus-
den kannalta. Jos soittamista tarkastellaan yleisen motori-

sen toimintamallin näkökulmasta (esim. Welford 1968), joka sisältää kolme päämekanismia (havaintomekanismit, tulkintamekanismit ja vaikuttajamekanismit), niin kunkin osamekanismin voidaan ajatella ilmentävän erilaista taitoa ja tuottavan siten erilaisia tuotoksia. Erityisen ongelmallista on tällöin eksplikoida kognitiivisten prosessien keskusta, tulkintamekanismia, sillä se on täysin riippuvainen tiedon prosessoinnin alku- ja loppumekanismien toiminnan laadusta (ks. esim. Welford 1968: 12—13 sekä McAdams 1987).

Kolmas ongelma on tutkimuksellisten esikuvien puute. Tähän asti soittamisen kognitiivisia prosesseja on tarkasteltu lähinnä yleisellä tasolla (Kurkela 1988a ja 1988b nuottikuvan ymmärtämisen kannalta; Sloboda 1982 ja 1985: luvut 3 ja 6 esittämisen kannalta) sekä sivuttu muutamissa pianonsoittoa käsittelevissä tutkimuksissa (Shaffer 1976 ja 1981). Jousisoitinten soittamisen tutkimus on pääosin painottunut soittamisen fysiologisiin (esim. Szende - Nemessuri 1971, Mantel 1972, Rolland 1974 ja Yampolsky 1967) tai pedagogisiin (Galamian 1964, Flesch 1966) puoliin. Lähimmin tutkimusnäkökulmaa sivuaa Sayeghin (Sayegh 1989) kehittämä jousisoitinten sormitusten asiantuntijajärjestelmä, nimeltään Optimizeitin paradigma (Optimum Path Paradigm), jossa PROLOG-ohjelman avulla simuloidaan kitaran sormitusten laatimista. Havainnollistan ongelmanasettelua aluksi yksinkertaisen sellonsoittoa kuvaavan esimerkin avulla.

1.3 "Sellisti, soita α "

Sellistille annetaan tehtäväksi soittaa α -sävel (220Hz). Oletetaan, että hän on edistynyt taidoiltaan niin pitkälle, että tuntee kaikki soittotekniset mahdollisuudet, joilla sellosta voi saada tuon sävelen yhdellä kielellä. Aluksi sellisti joutuu valinnan eteen, koska ainoastaan yksi vaihtoehto kerrallaan voidaan toteuttaa. Tässä tapauksessa hänellä on kuusitoista vaihtoehtoa. Kukin niistä voidaan ajatella

ohjeeksi, tietoyksiköksi, joka kertoo, miten sävel *a* soitetaan sellolla. Ohjeisto voisi tällöin olla esimerkiksi seuraavanlainen¹:

- D1 *a* soitetaan sellolla vapaalla A-kielellä.
- D2 *a* soitetaan sellolla D-kielellä neljännestä asemasta peukalolla.
- D3 *a* soitetaan sellolla D-kielellä neljännestä asemasta etusormella.
- D4 *a* soitetaan sellolla D-kielellä kolmannesta asemasta keskisormella avatussa otteessa.
- D5 *a* soitetaan sellolla D-kielellä kolmannesta asemasta nimettömällä sormella suljetussa otteessa.
- D6 *a* soitetaan sellolla D-kielellä toisesta asemasta pikkusormella.
- D7 *a* soitetaan sellolla G-kielellä kahdeksannesta asemasta peukalolla.
- D8 *a* soitetaan sellolla G-kielellä kahdeksannesta asemasta etusormella.
- D9 *a* soitetaan sellolla G-kielellä seitsemännestä asemasta keskisormella.
- D10 *a* soitetaan sellolla G-kielellä kuudennesta asemasta nimettömällä sormella.
- D11 *a* soitetaan sellolla G-kielellä viidennestä asemasta pikkusormella.
- D12 *a* soitetaan sellolla C-kielellä kahdennestatoista asemasta peukalolla.
- D13 *a* soitetaan sellolla C-kielellä kahdennestatoista asemasta etusormella.
- D14 *a* soitetaan sellolla C-kielellä yhdennestatoista asemasta keskisormella.
- D15 *a* soitetaan sellolla C-kielellä kymmenennestä asemasta nimettömällä sormella.
- D16 *a* soitetaan sellolla C-kielellä yhdeksännestä asemasta pikkusormella.

Ohjeistoa voidaan kutsua *a*-sävelen soittamisen tietopankiksi. Tämän tietopankin sisältämä tieto eri toteutusvaihtoehtoista on luonteeltaan *deklaratiivista*, kuvailevaa. Sellistin

¹Soittamisen deklaratiivisten tietoyksiköitten merkintätapa (Dn...n) perustuu Slobodan ehdotukseen (Sloboda 1987: 216).

tieto siitä, mitä olisi toteutettava, ei välttämättä kuitenkaan edellytä, että hänellä olisi myös *taito* toteuttaa kaikki kuusi-toista vaihtoehtoa. Siksi on todennäköistä, että hän aikaisempiin kokemuksiin perustuen poimii ensin ne vaihtoehdot, jotka hän tietää osaavansa soittaa, ja tekee sitten lopullisen valinnan niiden välillä. Valinnan kriteerinä olevaa taidollista tietoa kutsutaan *proseduraaliseksi* tiedoksi. Tässä tapauksessa proseduraalisia tietoyksiköitä voivat olla esimerkiksi vaihtoehdot D1, D3 ja D10, koska ne ovat harjoittelun kautta muuttuneet osaksi sellistin taitotietoutta.

Sellistimme ei halua tällä kertaa riskeerata ja kokeilla uusia, outoja vaihtoehtoja. Niinpä hän valitsee vaihtoehdon D3, laittaa vasemman käden etusormen otelaudalle neljänteen asemaan D-kielelle ja soittaa äänen jousella. Sellistillä on siis teoreettinen *tieto* toteuttaa *a*-sävel kuudellatoista tavalla, mutta käytännöllinen *taito* toteuttaa se kolmella tavalla.

2. MOTORISET TEORIAT

Motoriset oppimis- ja suoritusteorialat pyrkivät parantamaan motorisen käyttäytymisen ymmärtämistä. Niiden nimissä vaihtelevat termit teoria, malli ja systeemi. Teorialat ovat laaja-alaisia päin vastoin kuin mallit ja systeemit, jotka viittaavat käyttäytymisen spesifeihin ominaisuuksiin. Käytettiin niistä sitten mitä nimityksiä tahansa, niillä kaikilla on Singerin mukaan ainakin seuraavat neljä ominaisuutta (Singer 1982: 21—22):

1. Ne ovat tuloksia asiatiedoista, havaintojen analyysistä ja niiden synteisistä.
2. Ne useimmiten perustuvat niukkuuden periaatteelle (law of parsimony), eli ne pyrkivät selittämään monia faktoja tai havaintoja mahdollisimman tiiviissä muodossa.
3. Ne tarjoavat selityksiä ja kuvauksia, joiden tulisi johtaa kiinnostuksen kohteena olevan ilmiön parempaan ymmärtämiseen.
4. Ne johtavat käyttäytymisen ja testattavien hypoteesien tulosten ennustamiseen.

Esittelen aluksi yleisimpiä motorisissa teorioissa ja malleissa esiintyviä käsitteitä ja sen jälkeen ryhmittäin luokiteltuna tärkeimmät motoriset teorialat, mallit ja systeemit.

2.1 Motoristen teorioiden käsitteistä

Motorisissa teorioissa käytetyt termit saavat merkityksiä riippuen siitä, mihin tarkoitukseen teoria on kehitetty, mihin tutkimusperinteeseen se pohjautuu tai mikä on sen spesifi toimintaympäristö. Monet termit eivät merkitykseltään juurikaan eroa toisistaan. Esittelen seuraavaksi valikoiden määritelmiä, joita motoristen teorioiden ja mallien termeille on annettu.

Motorinen viittaa lihasten liikkeeseen, jotakuinkin refleksinomaiseen suoritukseen, jolla on vähän tai ei mitään tekemistä kognitiivisen- ja havaintotoiminnan kanssa. (Singer 1980:

12.) Se on liikettä koskeva, liikkeelle paneva, liikettä ylläpitävä, lihasten hahmottamista ja liikeimpulsseja ylläpitävä. (Lahdensuo 1989: 10.)

Motoriseen käyttäytymiseen kuuluvat Hirsjärven mukaan erilaiset kehon liikkeet, jotka voidaan luokitella liikumis-, liikunta-, käsittely- ja ilmaisuliikkeisiin. Kahdesta edellisestä käytetään nimitystä *kokonaismotoriikka* ja jälkimmäisistä vastaavasti *hienomotoriikka*. (Lahdensuo 1989: 10; ks. myös Singer 1980: 13.)

Motorisen oppimisen tutkimus tarkastelee oppimisen tai suorituksen parantamiseen liittyviä olosuhteita. (Singer 1980: 12)

Motorisen kontrollin tutkimusten kohteena ovat käyttäytymisen taustaprosessit, jotka pysyvät muuttumattomina suorituksesta toiseen. Tutkimukset tarkastelevat liikkeen kontrollin neurologisia, psykologisia ja biomekaanisia tekijöitä. (Singer 1980: 12—13.)

Motorinen -termin etuliitteitä 'senso', 'psyko' ja 'havainto' eri tutkimussuuntia edustavat tutkijat ovat käyttäneet pyrkiessään tarkentamaan käyttäytymisen luonnetta. Periaatteessa niillä tarkoitetaan samaa asiaa: motorista käyttäytymistä erotuksena kognitiivisesta ja affektiivisesta käyttäytymisestä. (Singer 1980: 12 ja 22.)

Sensomotorinen korostaa liikkeen sensorista kontrollia ja -palautetta. (esim. Nummenmaa et al. 1982: 153—154.)

Psykomotorisella tarkoitettiin 1950-luvulla sielullisen toiminnan vaikutuksia motorisiin toimintoihin. (Lahdensuo 1989: 11.) Uudempaa käsitystä edustaa Singer, jonka mukaan se viittaa käyttäytymiseen, joka liittyy primääristi liikkeeseen ja korostaa ulkoista fyysistä reaktiota. (Singer 1980: 22.)

Havaintomotorinen taito viittaa toimintoihin, jotka sisältyvät kehon tai kehon osien liikuttamiseen määritellyn tehtävän suorittamiseksi. Tästä tiedon prosessointia korostavasta

näkökulmasta tarkasteltuna liike nähdään vain monimutkaisten tiedonprosessointitoimintojen lopputuloksena. Keskeinen tutkimuskohde on liikettä edeltävä tiedon prosessointi. Havaintomotorinen taito ajatellaan kognitiiviseksi taidoksi, jossa liike pohjautuu keskushermostojärjestelmän operaatioille. (Marteniuk 1976: 12—13.)

Palaute (feedback) viittaa yleisellä tasolla tietoon, joka saadaan taidon suorituksesta joko sen aikana tai sen jälkeen. Palautetta voi saada yhden tai useamman aistijärjestelmän välityksellä. (Marteniuk 1976: 13.)

Proprioseptinen palaute on liike- ja asentotietoa, joka voi olla peräisin kosketuksen-, venyttämisen-, paineen, sisäkorvan- (tasapainoistin), jänteiden tai lihassäikeiden reseptoreista. (Marteniuk 1976: 13.)

Kinesteettinen palaute on merkitykseltään proprioseptistä palautetta suppeampi. Se käsittää ainastaan liiketiedon, joka on peräisin jänne- ja lihasreseptoreista. (Marteniuk 1976: 14.)

Tieto suorituksesta (Knowledge of Performance, KP) on palautetietoa, jota yksilö saa varsinaisesta liikkeen suorituksesta tai toteutuksesta. KP perustuu suorituksen aikana saatuun palautteeseen ja auttaa liikkeen oikean suorituksen saavuttamisessa. (Marteniuk 1976: 14.)

Tieto tuloksesta (Knowledge of Result, KR) on palautetietoa, jonka avulla yksilö selvittää, onko liikkeen tavoite saavutettu. (Marteniuk 1976: 14.) Tällaista tietoa on esimerkiksi jousisoittajan saama visuaalinen tai proprioseptinen palaute jousen paikasta kielellä tai auditiivinen palaute soitettun äänen akustisesta vaikutuksesta.

Toimintasuunnitelma on analoginen käsite liikkeen idean tai mielikuvan kanssa. Ennenkuin liike voidaan suorittaa täytyy laatia toimintasuunnitelma, joka määrittelee liikkeen eri parametrit. Tämä suunnitelma ei ole ainoastaan tarpeen liikkeen suorituksessa vaan sitä käytetään kriteerinä, johon varsi-

naista liikesuoritusta verrataan. Päättöksentekomekanismit vastaavat sellaisen toimintasuunnitelman valinnasta, joka parhaiten vastaa suorittajan tarpeita suhteessa ympäristön asettamiin vaatimuksiin. (Marteniuk 1976: 14—15; toimintasuunnitelmista ks. lähemmin tämän tutkielman luku 2.2.5.1.)

Motorinen skeema määrittelee liikkeen yleiset piirteet. Skeemojen täytyy olla organisoituneita kohtaamaan spesifejä ympäristön sekä suorittajan tavoitteen asettamia vaatimuksia. Pew uskoo, että skeema edustaa liikeryhmien ominaisuuksia (esimerkiksi tilaulottuvuutta), jotka on tiettyyn tavoitteeseen nähden koodattu ja jotka ovat sovellettavissa suhteellisen laajaan liikkeitten joukkoon. (Marteniuk 1976: 158; ks. myös Singer 1980: 123—124)

Motoriset komennot ovat joukko hermoimpulsseja, jotka vaikuttajamekanismit¹ organisoi toimintasuunnitelman valinnan jälkeen ja lähettää lihaksiin toteuttamaan aiottua liikettä. (Marteniuk 1976: 15.) Motorinen komento määrittelee pikemminkin liikkeen päämäärän kuin lihastoimintojen yksityiskohdat. (Shaffer 1981: 331.)

Avoimet ja suljetut taidot. Poulton (1957) luokitteli havaintomotoriset taidot kahteen ryhmään suoritussympäristön perusteella. Suljettuihin taitoihin kuuluvat taidot, joiden suorittamiseen vaikuttavat ympäristöstä tulevat avainärsykkeet ovat staattisia tai yhteen paikkaan sidottuja (esim. keilailu ja golf). Avoimet taidot puolestaan ovat riippuvaisia jatkuvasti ympäristössä tapahtuvista muutoksista (esim. koripallo, tennis ja jalkapallo). (Marteniuk 1976: 15—16.)

Motoriset ohjelmat ovat yliopittuja² toimintasuunnitelmia, jotka on tallennettu aivoihin ja jotka kyetään 'ajamaan' automaattisesti sen jälkeen kun niiden suorituskäsky on annettu. Tämän seurauksena vapautuu huomattavasti tiedon prosessoinnin kapasiteettia. (Marteniuk 1976: 26; ks. myös

¹Welfordin malliin sisältyvästä vaikuttajamekanismista (effectors) ks. lähemmin Welford 1968: 3 sekä tämän tutkielman luku 2.2.3.1.

²Ylioppimisesta ks. esim. Nummenmaa et al. 1982: 154—155.

mts. 142-143 ja 148-149, Singer 1980: 118—119 sekä Shaffer 1981: 326—332)

2.2 Motoriset teorialat koulukunnittain

Motoristen teorioiden varhaisvaiheissa on havaittavissa jakautuminen kahteen tutkimushaaraan: behavioristisiin *assosiaatioteorioihin* ja hahmopsykologisiin *gestalt -teorioihin*. Behavioristit olivat pääsasiassa kiinnostuneita ympäristön antamien ärsykkeiden (stimulus) vaikutuksesta käyttäytymiseen (response). Gestaltistit puolestaan korostivat yksilön tulkintaa ympäristöstä ja tutkivat ongelman ratkaisua, havaintoa ja muita prosesseja, joita ihmiset käyttävät kehittääkseen sopivia käyttäytymismuotoja eri tilanteisiin. Behavioristisen suunnan vaikutukset uudempaan motorisen oppimisen ja/tai käyttäytymisen tutkimukseen on ollut vähäinen. Ainoa merkittävämpi nykyaikainen sovellus siitä on Gagnén (1970) motorisen ketjutuksen hypoteesi. (Singer 1982: 23—25 ja Singer 1980: 81—94.)

Robert Singer on luokitellut uudemmat (1960-luvun alun jälkeen syntyneet) motoriset teorialat neljään ryhmään. Yhteisenä nimittäjänä niillä on, että ne kaikki tavalla tai toisella ottavat kantaa tiedon prosessointiin:

1. *Yleiskuvaukset*. Painopiste on taitosuoritusten yleisissä piirteissä, yleensä käytännön kannalta.
2. *Tietoa prosessoivat*. Keskittyvät havaintoon, päätöksentekoon, tiedon käsittelykapasiteettiin ja kykyyn palauttaa tietoa muistista.
3. *Kyberneettiset*. Korostavat itsesäätelävien mekanismien avulla tapahtuvaa kontrollia.
4. *Adaptiiviset*. Painottavat tiedon organisoinnissa ja käyttäytymisen kontrollissa analogioita ihmisen ja tietokoneen välillä. (Singer 1980: 97.)

Luokitus on lähinnä viitteellinen, sillä todellisuudessa monet teorioista voisivat kuulua useampaan kuin yhteen ryhmään. Vastakkaisen näkemyksen näille kaikille tarjoaa behavioristiseen tutkimusperinteeseen nojaava assosiaatioteoria,

Gagnén (1970) motorisen ketjutuksen hypoteesi, jonka esittelen yleiskuvausten jälkeen. Ennenkuin tarkastelemme lähemmin kutakin ryhmää, esittelen taulukossa 1 tiedon prosessoinnin, kyberneettisten ja adaptiivisten teorioiden avainkäsitteet suhteessa käyttäytymisen säätelyyn.

Taulukko 1: *Tiedon prosessoinnin, kyberneettisten ja adaptiivisten teorioiden käyttämät avainkäsitteet käyttäytymisen kontrollin kannalta (Singer 1980: 98).*

Muuttuja	Tietoa prosessoivat	Kyberneettinen	Adaptiivinen
Kontrollij�rjestelm�t	Aistien rekisteri, havaintomekanismit, lyhytaikainen muistivarasto (rajoitettu kapasiteetti), pitkäkestoisen muistivarasto (rajaton kapasiteetti), tiedon muuntaminen, arviointi, tallennus, käyttö	Reaktion tuottama palaute, suorituksen aikainen säätely, muuntelu ja sopeutuminen, suljettu silmukka (perifeerinen kontrolli)	Ohjelmat, suunnitelmat, skeemat, ylj� alataso rutiinit, (käyttäytymisen hierarkkinen säätely), tietoinen ja tiedostamaton käyttäytyminen, avoin silmukka (keskuskontrolli)

2.2.1 Motorisen oppimisen ja suorituksen yleiskuvaukset

Joittenkin motorista oppimista ja/tai suoritusta kuvaavien mallien luokittelu yhteen ainoaan kategoriaan on vaikeaa, sillä ne kuvaavat toimintaprosesseja ilman erityisiä kyberneettisiä, tiedon prosessointi- tai adaptiivisia аспекteja. Ne ovat kuitenkin merkittäviä, koska monilla on ollut laaja tutkimuksen suuntaa ohjaava vaikutus.

Franklin Henryn (1960) muistirumputeoria kuvaa koehenkilöiden yleistä kykyä selviytyä koetehtävistä verrattuna yksittäisen tehtävän suoritustulokseen. Henryn teoria on ollut pohjana useille erityisesti suorituksen reaktioajan ja liikkeen keston välistä suhdetta eritteleville laboratoriotutkimuksille. *Bryant Crattyn* (1966) kolmitasoinen malli kuvaa eri organisaatiokategorioihin kuuluvien muuttujien vaikutusta oppimiseen ja suoritukseen. Sen mukaan suoritustaso riippuu yhtä lailla yleisistä kyvyistä ja ominaisuuksista kuin tehtäväspesifeistä tekijöistä. *Fitts—Posnerin* (1967) kuuluisa teoria oppimisen etenemisestä komivaiheisesti kuvaa oppijan kehittymistä vasta-alkajalle tyypillisestä avuttomuudesta ja moniin erityyppisiin tietolähteisiin tukeutumisesta itsenäistymiseen ja itsesäädelyihin operaatioihin. *Ann Gentilen* (1972) malli eksplikoi mekanismeja oppimisen varhaisvaiheissa ja sen tavoitteena on antaa opettajalle didaktisia ohjeita. (Singer 1980: 97.)

2.2.1.1 Franklin Henryn muistirumputeoria

Franklin Henryn (1960) muistirumputeoria kuvaa motorista suoritusta *tietokoneanalogian* avulla. Sen lähtökohtana on ajatus, että tietokoneeseen on varastoitu ohjelmia, jotka ovat valmiita toimimaan toivotulla tavalla sopivan signaalin ilmaantuessa, ja että myös ihmiset varastoivat spesifisiä hyvinopittuja motorisia toimintoja korkeampien hermo-keskusten hermosoluihin. Tämä *tiedostamaton motorinen muisti* koostuu ohjelmoiduista liikkeistä, *muistirummusta*. Tietyt ärsykkeet aiheuttavat neuromotorisen keskuksen aktivoitumisen, minkä seurauksena toiminta suoritetaan. (Singer 1980: 100.)

Hyvin koordinoitu taito suoritetaan tehokkaasti, koska se on taltioituna muistirumpuun. Suoritus voidaan aloittaa vaivattomasti juuri tietoisuuden kynnyksen yläpuolella. Vastaavasti huonosti osattu tai kokonaan opettelematon tehtävä suoritetaan jatkuvasti tietoisella tasolla ja koordinoimattomasti. Tämä johtuu varastoidun, organisoidun informaation puutteesta. Teorian keskeinen väittämä on, että *vain spesifisiä toimintoja varastoidaan, jopa niin että yleisluonteeltaan samanlaiset liikesarjat eivät vastaa samaa ohjelmaa*. Singerin mukaan Henry teki tutkimustensa perusteella mm. seuraavaan johtopäätöksen: "Käden liikenopeuden yksilölliset erot ovat hallitsevan spesifisiä tehtyyn liiketyyppiin nähden; on olemassa vain suhteellisen vähän yleistä kyvykkyyttä liikuttaa kättä nopeasti". (Mp.)

Henry ei löytänyt tutkimuksissaan yleistä nopeuskykyä. Johtopäätöksensä hän ajatteli eri urheilulajeissa tarvittavien suorituskykyjen olevan itsenäisiä. Yleinen kyvykkyys ei riitä selitykseksi onnistuttaessa useammassa kuin yhdessä taidossa. Mahdollisina selityksinä voivat olla hyvin motivoituneen henkilön tehokas paneutuminen toimintaan ja/tai henkilön aiemmat kokemukset motorisen tehtävän suorittamisesta. (Mp.)

Henryn mallilla voisi kuvata esimerkiksi *transfer*-vaikutusta motoristen taitojen oppimisessa. Eräs sovellus voisi tällöin olla esimerkiksi tietyn soittimen soittotaidon vaikutuksen tutkiminen jonkun toisen, soittajalle uuden soittimen oppimiseen (viulusta siirtyminen alttoviuluun, kontrabassosta selloon, oboesta klarinettiin jne. tai keskenään erilaisempien soittimien, kuten esimerkiksi pianon ja jousisoitinten välillä).

2.2.1.2 Crattyn kolmitasoteoria

B. J. Cratty (1966) on eritellyt kolmeen tasoon jakaantuvassa teoriassaan tekijöitä, jotka todennäköisesti vaikuttavat oppimiseen ja suoritukseen. Ensimmäiseen tasoon kuuluvat yleiset suoritusta tukevat tekijät: vireystaso, päättäväisyys tehdä tehtävä loppuun ja kyky analysoida tehtävän suoritus-

tapa. Nämä tekijät viittaavat laajaan motoristen suoritusten joukkoon. Toinen taso puolestaan koostuu spesifisesti tietyn suorituksen onnistumiseen vaikuttavista havaintomotorisista tekijöistä, joita voivat olla kehon osien voima-, nopeus-, koordinaatio- ja notkeusominaisuudet. Kolmannella, korkeimmalla tasolla ovat tehtäväspesifit tekijät: harjoitteluolosuhteet, aiemmat kokemukset, spatiaaliset mitat, voimavaatimukset, visuaalisen havainnoinnin määrä ja sosiaaliset olosuhteet. Erikoista Crattyn kategorioinnissa on se, että toinen taso sisältää ainoastaan fyysisiin suorituskvaliteetteihin liittyviä tekijöitä. Singer toteaaakin, että mm. Fleishman (1967) on eritellyt Crattya monipuolisemmin psykomotorisia tekijöitä. Fleishmanin mukaan niitä on yksitoista: manuaalinen kätevyys, kontrollin tarkkuus, monilihaksinen koordinaatio, reaktioaika, käsivarren ja käden vakavuus, ranteen ja sormen nopeus, tähtääminen, käden liikenopeus, reaktion valinta, sorminäppäryys ja kontrollin aste. (Singer 1980: 101—102.)

2.2.1.3 Fitts-Posnerin malli

Paul Fitts ja Michael Posner (1967) ovat kuvanneet motorisen taidon oppimisen tapahtuvan kolmessa vaiheessa, jotka ovat seuraavat:

- 1) varhaisvaihe, (*kognitiivinen*)
- 2) välivaihe (*assosiatiivinen*)
- 3) loppuvaihe (*autonominen*).

Taidon opettelun alkuvaiheissa oppijaa kuormittaa ohjeiden ymmärtäminen, pyrkimys antaa liikkeille verbaalinen määrittely. Ajattelutoiminnot ovat erittäin aktiivisia. Oppija pyrkii rajaamaan tilanteessa tarjolla olevista avainärsykkeistä ne, joista on suorituksen kannalta hyötyä. Oppijalle voi olla tarjolla kirjoitettuja ohjeita, sanallisia neuvoja ja/tai elävä liikemalli, joiden antama tieto hänen on käännettävä hänelle itselleen sopiviksi tehokkaiksi liikkeiksi. (Singer 1980: 102—103; ks. myös Singer 1982: 86—90 sekä Marteniuk 1976: 203—211.)

Assosiatiiivisessa vaiheessa oppija ymmärtää, mitä hänen olisi tehtävä ja pyrkii valitsemaan harjoitustavat, joilla hän tehokkaimmin saavuttaa korkean taidollisen tason. Viimeinen vaihe on autonominen, jossa taito on edistynyt pisimmälle. Sille on ominaista suorituksissa tarvittavan tietoisuuden ohjauksen vähäisyys ja matala häirintä- ja stressialttius. Monissa urheilusuorituksissa tällainen taidon hallinta on suorituksen varsinaisen tavoitteen saavuttamisen kannalta välttämätöntä. (Singer 1980: 102—103.)

Soittotaidon kehittämisessä on nähtävissä pitkälti Fitts-Posnerin mallin mukaisia piirteitä. Yleisesti voidaan todeta, että soittamisen oppimishistoria etenee tietoista ohjausta vaativien osataitojen harjoittelusta kohti taitotasoa, jolla automaattisesti hallittujen rutiinien avulla voidaan keskittyä musiikin ilmaisullisiin ja affektiivisiin aspekteihin.

2.2.1.4 Gentilen malli

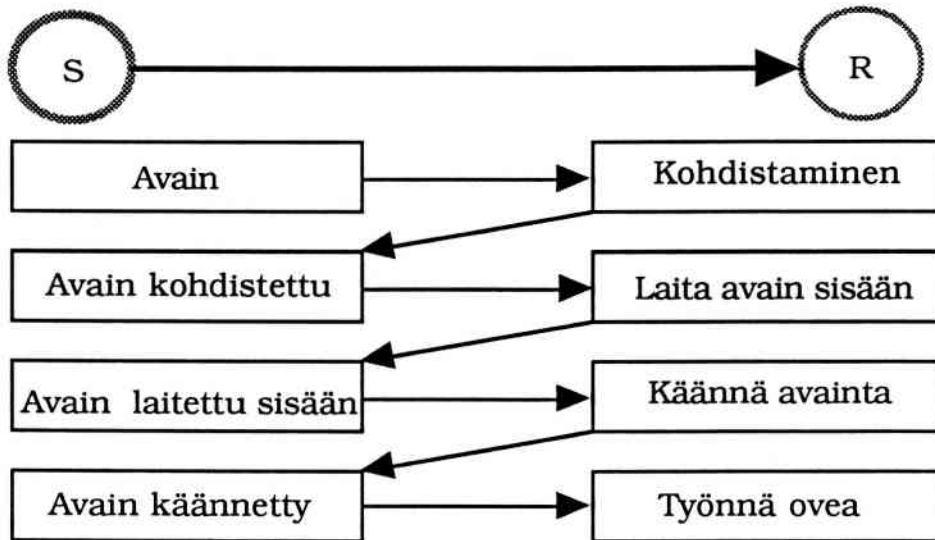
Ann M. Gentilen (1972) mallin tavoitteena on tarjota didaktista apua avoimien ja suljettujen taitojen opetukseen. Gentilen mukaan taito kehittyy kahdessa vaiheessa: ensin muodostetaan yleinen mielikuva liikesuorituksesta, tavoite ja yleiset liikemallit sen saavuttamiseksi, toisessa vaiheessa liikkeet vakiinnutetaan ja eriytetään. Taidon opettelu ensimmäisessä vaiheessa toiminta etenee seuraavasti. Toiminnan tavoite määritellään. Siitä aiheutuu ärsykeitä, joista valikoivan havaitsemisen jälkeen muodostetaan motorinen suunnitelma. Sitä vastaava liike suoritetaan, mistä saatu palaute vaikuttaa päätösprosesseihin seuraavaa liikesuoritusta suunniteltaessa. Erityisesti suljettujen taitojen opettelussa on Gentilen mukaan tärkeitä vakiinnuttaa liikesuoritukset, jolloin liikkeet tulevat hienostuneiksi ja stabiileiksi. (Singer 1980: 103—104.)

2.2.2 Assososiatiiviset teorialat — esimerkkinä Gagnén motorisen ketjutuksen hypoteesi

Robert Gagnén motorisen ketjutuksen hypoteesi (1970) edustaa uutta sovellusta William Jamesin jo vuonna 1890 esittämistä ideoista. Se edustaa behavioristista, S—R -ajattelua (stimulus—response) ja käyttää lähestymistapana avoimen silmukan kontrollia (vastakohtanaan mm. Adamin edustama suljetun silmukan malli). Keskeisenä ajatuksena siinä on ärsykkeenä toimivan proprioseptisen tiedon (reaktioperusteisen palautteen) vaikutus jatkokäyttäytymiseen vaikuttaviin ärsykeisiin. (Singer 1980: 87.)

Ketjutuksella tarkoitetaan yksittäisten S—R -parien jaksottamista. Ketjutyyppejä taitoja ovat esimerkiksi pallon heittäminen ja kiinniottaminen, saksilla leikkaaminen, jousen kuljettaminen viulun kielellä, pianon koskettimen painaminen jne. Jotta toiminta voitaisiin suorittaa onnistuneesti loppuun saakka, yksittäiset ketjun lenkit (S—R -parit) täytyy hallita. Sen jälkeen kun lenkki (S—R -pari) on loppuun suoritettu, se toimii seuraavan lenkin avainärsykkeinä, kunnes koko toiminta on viety päätökseen. (Mp.)

Esimerkkinä ketjuhypoteesista Singer esittää tapauksen, jossa avataan ovi avaimella.



Kuva 1: Oven avaaminen avaimella Gagnén motorisella hypoteesilla kuvattuna. (Singer 1980: 87.)

Singer luettelee linkityksen onnistumiseksi seuraavat Gagnén määrittelemät ehdot:

1. Kukin linkki täytyy olla hyvin opittu. Koska jokainen linkki on suhteessa edeltävään linkkiin, millainen katkos hyvänsä aiheuttaa koko toiminna estymisen.
2. Kukin linkki tulisi tehdä oikeassa järjestyksessä.
3. Yksittäinen linkki tulisi tehdä oikea-aikaisesti
4. Suorituksen harjoitustapojen tulee perustua toistoon.
5. Toiminnan onnistuneesta loppusaattamisesta saatu oppimisen vahvistaminen tai tyydytyksen tunne toiminnan lopussa ovat käyttäytymisen jatkuvuuden kannalta välttämättömiä. (Singer 1980: 87.)

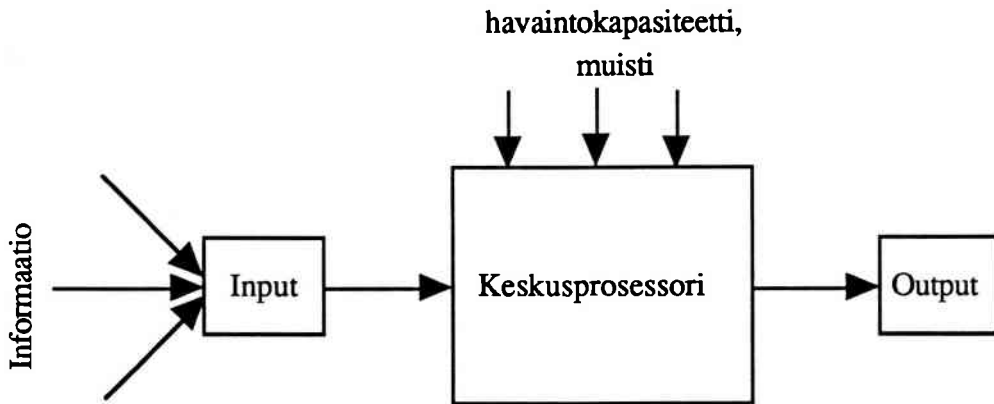
Soittamisen näkökulmasta tarkasteluna Gagnén malli vaikuttaa monessa suhteessa luontevalta, voidaanhan soitto-suoritus helposti purkaa S—R-linkkien seuraannoiksi. Samoin soittamiseen pätevät Gagnén määrittelemät sujuvan suorituksen ehdot.

Mallin puutteena on (kuten assosiaatioteorioissa yleensä) kuitenkin se, että toiminta kuvautuu siinä (päinvastoin kuin suljetun silmukan teoriassa) lineaarisesti ilman perifeeristä palautetta. Seurauksena on, että mallin pohjalta voi tehdä johtopäätöksiä ainoastaan ärsykkeen ja reaktion välisistä yhteyksistä ja kuvata vain fiksoituneita reaktioita ja tapojen muotoutumista, jotka ovat seurausta toistosta. Sillä on vaikea selittää sopeutumista ja uusia tai muutuneita reaktioita (Lahdensuo 1989: 20—21.)

2.2.3 Tietojenkäsittelyteoreettiset mallit

Tietojenkäsittelyteoreettiset mallit, informaatio- eli kommunikaatioteorialat, selittävät panos — tuotos -suhdetta ihmisen havaintotoiminnoissa. Ne pyrkivät tarjoamaan viitekehyksen tarkkaavaisuuden, havaintojen, muistin ja päätöksenteon kapasiteetin rajoitusten tukimukselle motorisessa suorituksessa.³ Kuvassa 2 esitetään tietojenkäsittelyteoreettisen mallin yksinkertainen muoto. Siinä tieto ensin syötetään aistimiin. Sitten sitä prosessoidaan ja lopuksi se käännetään lihasliikkeiksi. Koska mikään mekanismi, kone tai ihminen, ei ole täydellinen, missä hyvänsä kohtaa systeemin prosesseissa voi esiintyä hälyä (tietty määrä epävakaisuutta tai häiriötä). Tietojenkäsittelyteoreettiset mallit olettavat, että jokaisella ihmisellä on maksimaalinen kanavakapasiteetti, jota enempää tietoa ei voi kerrallaan siirtää (esimerkiksi Wellfordin yksikanavahypoteesi 1968). Kapasiteettia voidaan tutkia lisäämällä tai vähentämällä syötetiedon määrää ja mittaamalla sen vaikutus tuotokseen. (Singer 1980: 104—106.)

³Ihmisestä tietojenkäsittelyjärjestelmänä ks. esimerkiksi Miettinen 1984: luku 10; musiikin hahmottamisesta informaatioteorian näkökulmasta ks. esim. Karma 1986: 29—39.



Kuva 2: Tiedon prosessoinnin yksinkertaistettu malli

Tietojenkäsittelyteorioiden perusoletuksia on, että ärsyksen vastaanottohetkestä motorisen tuotoksen esiintymiseen on joukko prosessointitasoja. Tiedonprosessoinnin vaiheet ja tasot ovat saaneet eri malleissa erilaisia manifestatioita. Esittelen seuraavaksi niistä tunnetuimmat.

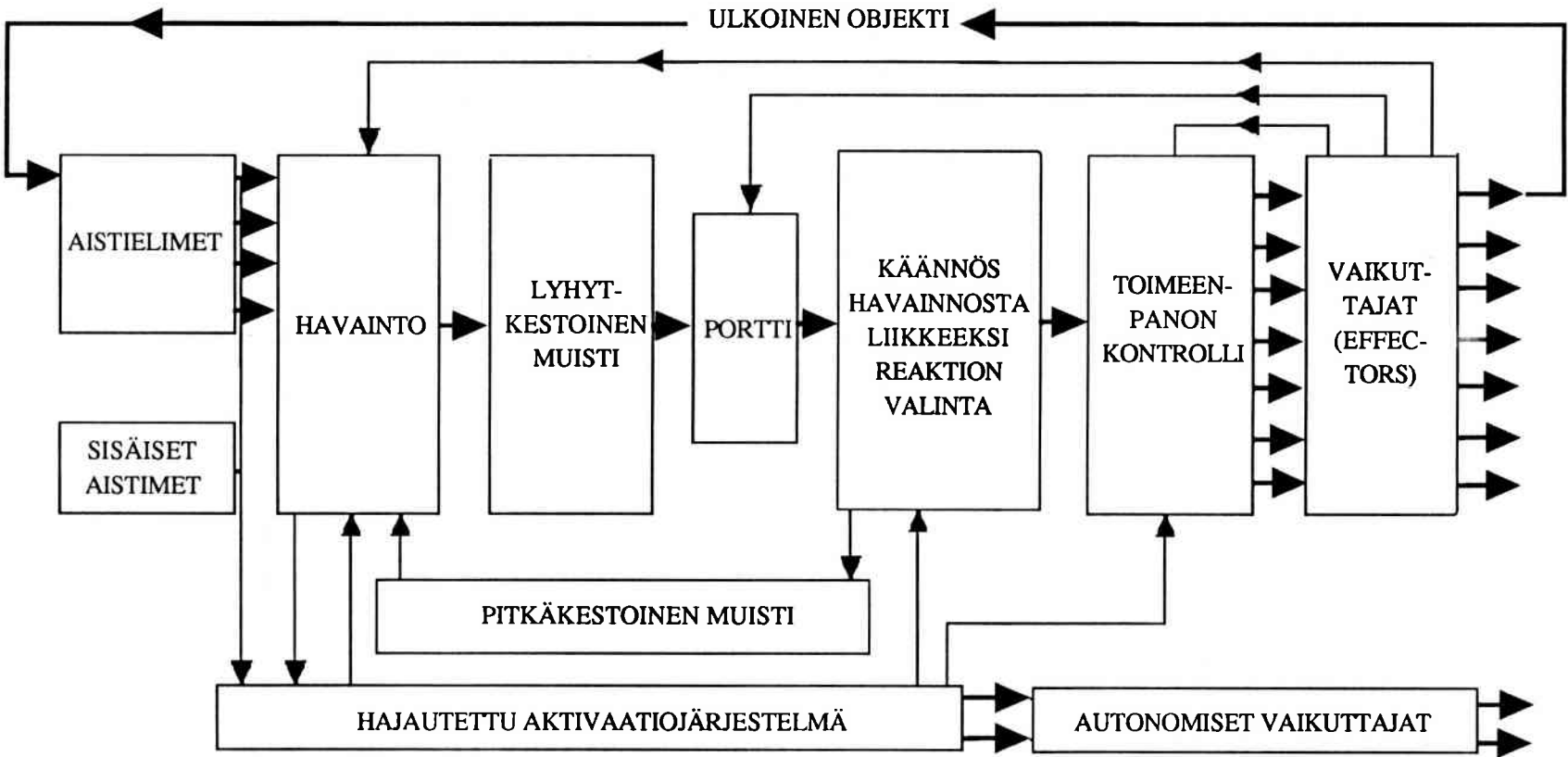
2.2.3.1 Wellfordin malli

A. T. Wellford on motorisen taidon tutkimuksen arvostuimpia auktoriteetteja. Hän on tutkinut operaatioita syötetiedon ja motorisen tuotoksen välisissä mekanismeissa. Perusajatuksena Wellfordilla on, että nämä mekanismit muodostavat kommunikaatiokanavan, jolla on rajallinen kapasiteetti. Tutkimuksissaan hän on pyrkinyt määrittelemään mitkä, miten ja millä rajoituksilla mekanismit vaikuttavat tiedon prosessointiin liikesuorituksessa. (Wellford 1968: 1—2.)

Tekijä on Wellfordin (1968) *sensomotorisessa mallissa* (ks. kuva 3) eräänlainen viestitusjärjestelmä, joka vastaanottaa tietoa ulkomaailmasta (syötetieto, input) ja muokkaa sitä siten, että tuloksena on viesti (vastetieto, output), joka lähetetään lihaksiin liikesuoritusta varten. Tehokkaasti

toimivan kanavan tai keskushermostojärjestelmän toiminnan tuloksena tulisi olla liike, joka on koordinoitu ulkomaailman vaatimuksia vastaavaksi. (Marteniuk: 1976: 3—5.)

Mallissa on kolme keskusmekanismia: havainto-, tulkinta- ja vaikuttajamekanismi. Niiden toiminta liittyy havaintoon, havainnon kääntämiseen toiminnaksi ja toiminnan kontrolliin. Tiedon kulku systeemissä alkaa, kun *havaintomekanismi* (*havainto* kuvassa 3) vastaanottaa eri aisteista (*aistielimet, sisäiset aistimet*) tulevaa ympäristöä koskevaa tietoa. Havaintomekanismin tarkoitus on tarjota tulkintamekanismille kuvaus ympäristöstä indentifioimalla ja luokittelemalla syötetietoa. *Tulkintamekanismi* päättää toimintasuunnitelmasta suhteessa sen hetkisiin vaatimuksiin (*käännös havainnosta liikkeeksi*). Sitten kun toimintasuunnitelma on valittu, jono komentoja lähetetään *vaikuttajamekanismeihin* (*effectors*), jotka sitten organisoivat liikevasteen ja lähettävät sopivat motoriset käskyt lihasjärjestelmään. (Wellford 1968: 3—4.)



Kuva 3: Wellfordin sensomotorinen malli (Wellford 1968: 3)

Mikään näistä mallin vaiheista ei toimi yksinkertaisen S—R-ajatuksen (ärsyke-reaktio) mukaan, vaan niihin liittyy enemmän tai vähemmän monimutkaisia toimintoja, jotka perustuvat syötetietoon ja organismin aiempaan tilaan. (Wellford 1968: 3—4; ks. myös Marteniuk 1976: 3—5.)

Erityispiirteenä Wellfordin mallissa on, että ennen tulkintamekanismeihin saapumista koodi menee lyhytkestoiseen puskurimuistiin, *porttiin (gate)*, joka estää tulkintavaihetta häiriintymästä uudesta syötetiedosta siihen asti, kunnes prosessointi on loppuun suoritettu ja siihen perustuva liikevaste on alkanut. Portin toimintaan liittyy *yksikanavahypoteesi*, jonka mukaan keskusmekanismit voivat käsitellä vain yhtä signaalia tai signaaliryhmää kerrallaan. Jos uusi signaali tulee heti ensimmäisen jälkeen, sen reaktio kestää kauemmin, koska sen pitää odottaa kunnes keskusmekanismi on vapaa (Wellford 1968: 6; Singer 1980: 108.)

Palautesilmukat organismin sisällä ja ulkoiseen kohteeseen suuntautuneen toiminnan vaikutusten tarkkailu tekevät järjestelmästä itsesäätelevän servomekanismin (Wellford 1968: 15). Näin ollen Wellfordin mallia voi pitää niin tietojenkäsittely- kuin kyberneettisiin teorioihin kuuluvana.

Kukin edellä esitetyistä toimintamekanismeista voi ilmentää taitoa. *Havaintotaito* koostuu valtavan, aistien välityksellä tulevan sensorisen tietomäärän koodauksesta ja sen koherenttiuden määrittelystä sekä tämän tiedon yhdistämisestä muistiin varastoituun materiaaliin. Toimintaketjun loppupäässä ovat *motoriset taidot*, kuten esimerkiksi pyörällä ajo, golfin pelaaminen, soittimen soittaminen jne. Kaikissa näissä taidoissa tietyt hyvin harjoitellut koordinaatiot kehittyvät ilmeisen automaattisiksi. Näin ollen olisi houkuttelevaa olettaa, että motoriset taidot sijoittuvat ainoastaan vaikuttajamekanismeihin. Kuitenkin lähes kaikki motoriset taidot ovat riippuvaisia sensorisen syötteen ja liikevasteen läheisestä vuorovaikutuksesta. Monet tärkeimmistä taidoista ovat käytännön elämässä riippuvaisia tulkintamekanismista eli kyvystä päättää mitä tulisi tehdä tietyissä olosuhteissa.

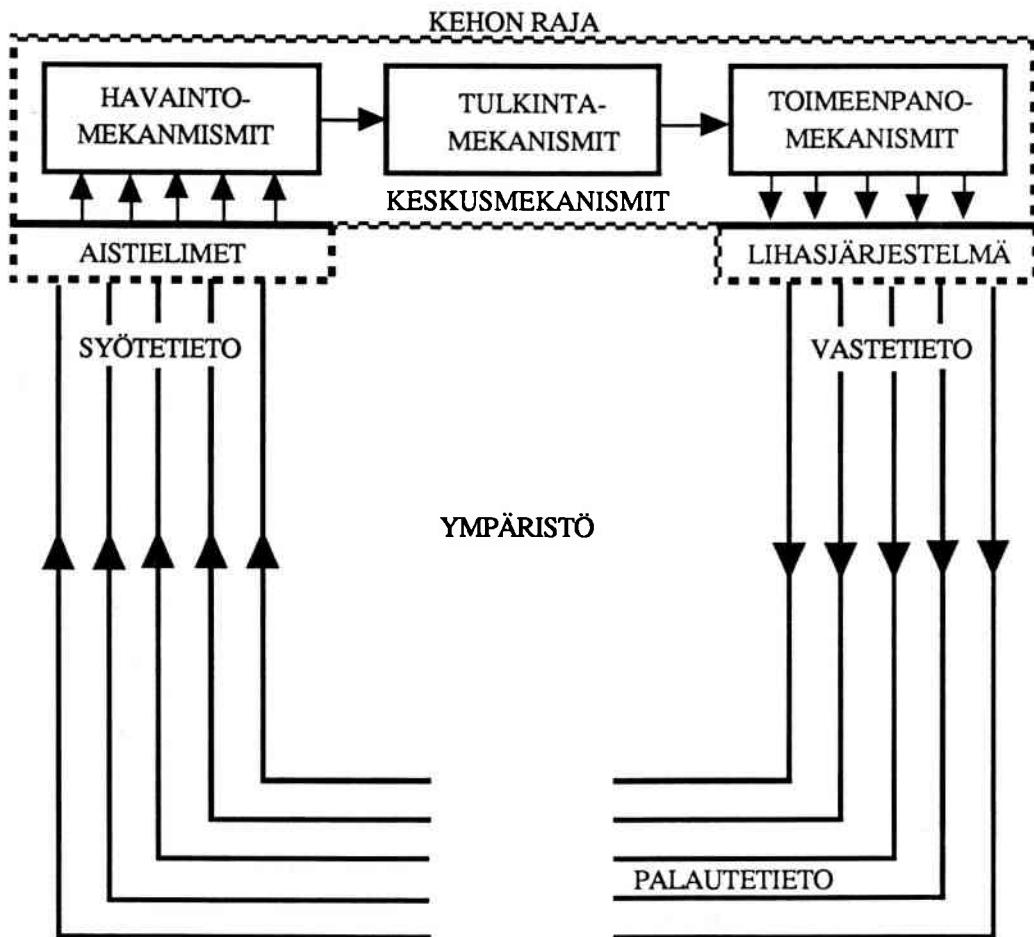
Korkeatasoiset taidot eivät perustu niinkään manuaalisille operaatioille kuin toiminnan tavoitteen määrittelylle. Huippu-urheilijan taito pohjautuu pelin strategian hallintaan pikemminkin kuin yksittäisten liikesuoritusten huolelliseen tekemiseen. Taitavan soittajan taito on pikemminkin musiikin tulkinnassa kuin soittimen käsittelyssä. Näitä taitoja Wellford kutsuu *älyllisiksi taidoiksi* ja ne viittaavat hänen mukaansa ajatukseen ja toiminnan periaatteisiin. (Mts. 12—13.)

Esimerkkinä sensomotorisen mallin käytännön sovelluksesta on Lahdensuon esittelemä Ungererin (1973) sensomotorinen analyysi. Siinä liiketehtävän oleelliset kehonosien liikkeet on analysoitu kinematograafisesti. Liike on jaettu pie-nimpiin erotettavissa oleviin osiin, jotka ovat erikseen opittavissa. Näitä osia nimitetään *sensomotorisiksi jaksoiksi*, joista rakennetaan sarja kohti kokonaisliikettä. Jaksoihin liitetään *avainsanat* ja näin syntyy sanalliseen tietoon ja sitä vastaaviin liikkeisiin perustuva sensomotorinen oppimisprosessi. Siinä aistijärjestelmän vastaanottama tieto siirtyy keskushermoston kautta lihaksistoon toteutettavaksi. Toteutetusta liikesuorituksesta saatu mielikuva palaa takaisin keskushermostoon käsiteltäväksi. (Lahdensuo 1989: 32.)

2.2.3.2 Whitingin malli

Singer pitää tietojenkäsittelymalleihin kuuluvaa H. T. A. Whitingin (1969 ja 1972) mallia erinomaisena esimerkkinä siitä, kuinka suhteellisen yksinkertainen systemaattinen malli johtaa havainnollisuuteen motorisen suorituksen alisysteemien suhteitten kuvaamisessa. Whitingin mallin ilmaisuvoima perustuu siihen, että se yhdistää fyysiset osatekijät, toiminnalliset komponentit ja keskusmekanismit yhtenäismalliksi (ks. kuva 4). Fyysisiin komponentteihin kuuluvat aistielimet, keskusmekanismit (havainto-, tulkinta- ja vaikuttajamekanismit) ja lihasjärjestelmä, Funktionaalisella tasolla ne huolehtivat tiedon syöttämisestä systeemiin, päätöksenteosta ja vastetiedon tulostamisesta. Keskusmekani-

nismit hoitavat samoja tehtäviä kuin edellä esitetyssä Wellfordin mallissa: havaintomekanismit havaintoa, tulkintamekanismit tulkintaa ja päätöksentekoa sekä vaikuttajamekanismit kontrolloivat motoristen komentojen vaikutusta lihasjärjestelmässä. (Singer 1980: 108—110.)



Kuva 4: Havaintomotorisen suorituksen systeemianalyysi Whitingin mukaan. (Singer 1980: 109.)

Whitingin malli ei heijasta pelkästään ihmisen yleisiä motorisen toiminnan prosesseja, vaan myös yksilöllisten kehon toimintakapasiteetin erojen ja ympäristön vaikutusta suoritukseen. Painopiste Whitingin töissä on ollut keskusmekanismien neurofysiologisten ja psykologisten piirteitten tutkimuksessa. Tutkimuskohteina ovat tällöin olleet esimerkiksi valikoiva tarkkaavaisuus, vireystila ja päätöksenteko. (Singer 1980:110.)

2.2.3.3 Corbinin malli

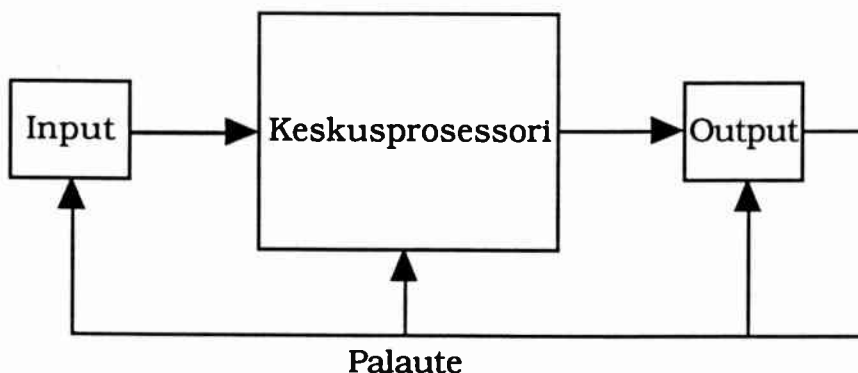
Wellfordin mallin perinteelle rakentuva C. A. Corbinin (1980) malli jakaa Lahdensuon mukaan tiedon prosessoinnin tapahtuvaksi viidessä vaiheessa (Lahdensuo 1989: 30—31):

1. Sensorisen järjestelmän avulla vastaanotetaan tietoa ympäristöstä ja tuotetaan siitä tarkka kuvaus seuraavalle tasolle. Piirteidentunnistusvaiheen aikana fyysiset signaalit muutetaan neurologiseksi koodiksi, joka säilyy havaintovarastossa hyvin lyhyen ajan.
2. Tieto lähetetään järjestelmän pääanalyysiyksikköön jatkokäsittelyä ja tarkastelua varten. Lyhykestoisella muistilla on tässä tärkeä osuus tehtäessä edellistä vaihetta tarkempaa analysointia.
3. Kolmannessa vaiheessa tehdään toimintasuunnitelma. Ensin analysoidaan havainnot, vertaillaan niitä ja tehdään synteesi aiemmasta ja nykyisestä havaintotiedosta. Pitkäkestoinen muistivarasto tekee eräänlaisen viitekehyksen, jonka suhteen uusi tieto järjestellään ja luokitellaan. Vertailija (*comparator*) pitää järjestelmän ajan tasalla suhteessa kaikkiin sisäisessä ja ulkoisessa tilanteessa tapahtuviin muutoksiin. Valinnat ja vaihtoehtoiset suunnitelmat voidaan nyt tehdä.
4. Ärsyketilanteesta tehdään lopullinen kopio pysyvään muistivarastoon, josta se voidaan ottaa käyttöön uuden vastaavan tilanteen sattuessa.

5. Edellisten vaiheiden seurauksena syntyy havaittavissa oleva käyttäytyminen. Useimmat tuotokset sisältävät jonkin tyyppistä motorista toimintaa, oli sitten kyse juoksemisesta, kirjoittamisesta, soittamisesta, puhumisesta tms.

2.2.4 Kyberneetiikka

Kybernetiikka tarkoittaa oman käyttäytymisen itseohjausta ja kontrollia ja sen keskeisiä käsitteitä ovat palaute, itsesäätely ja itsetarkkailu. Kyberneetisen lähestymistavan mukaan motorinen oppiminen määräytyy liikkeen sensorisen vaikutuksen tai reaktiota seuraavan stimulaation perusteella. Kyberneettinen malli (ks. kuva 5) heijastaa servomekanismin tai suljettuun silmukkaan perustuvaa käsitystä käyttäytymisestä. Suljetussa järjestelmässä liikevasteen toteutumisen jälkeen sisäinen palaute lähtee niin reseptoreihin kuin vaikuttajiinkin (efektorieihin). Siinä ihminen on ikäänkuin itsekontrolloitu yksikkö, joka ei tarvitse ulkoisia kontrollikeinoja. Kyberneettinen malli korostaa toiminnan aikaisen, jatkuvan palautteen osuutta toiminnan säätelyssä. Jos toiminta on päättynyt, tieto voidaan tallentaa muistiin tulevaa käyttöä varten. (Singer 1982: 28; ks. myös Singer 1980: 110—111)



Kuva 5 : Kyberneettinen malli

Kerr (1982) vertaa Lahdensuon mukaan tällaista servo-mekanismimallia koneeseen, jolloin sillä voi olla kahdenlainen tehtävä: se voi toimia *säätelijänä*, jolloin päämääränä on suhteuttaa tuotokset aina valmiiseen fiksoituneeseen tavoitteeseen tai systeemi on *adaptiivinen*, jolloin sillä ei ole tarkkaa tavoitetta, vaan toiminnot ovat paitsi joustavia niin myös sovellettavissa olevia (Lahdensuo 1989: 22). Tunnetuimmat motorisen toiminnan kyberneettisen mallin luojaat ovat K. U. Smith ja Jack Adam, joista viimeksimainitun, paljon huomioita saaneen suljetun silmukan teorian esittelen seuraavassa.

2.2.4.1 Adamin suljetun silmukan teoria

Adamin suljetun silmukan teorian vuodelta 1968 on merkittävä, koska se on ensimmäinen motorisen oppimisen malli, joka pohjautuu suoralle, motorisesta oppimisesta kerätylle kokeelliselle aineistolle. Aiemmat oppimisteorialat pohjautuivat pääasiassa sanallisista taidoista hankitulle tiedolle. (Lahdensuo 1989: 22.)

Singer mainitsee, että perusero suljetun silmukan ja avoimen silmukan teorioilla on Adamin mukaan se, että "suljetun silmukan mallissa *proprioseptio* voi toimia oppimisen kohteena olevien motoristen reaktioiden avainärsykkeinä suhteellisen pitkälle. Proprioseptiset ärsykkeet voivat ohjata opittuja liikevasteita, koska kulloisiakin proprioseptisia ärsykeitä verrataan niiden aiempaan oppimiseen perustuvaan referenssitason ja siten tunnistetaan oikeiksi (Singer 1980: 113—114)". Avoimen silmukan teorioista tämän tyyppisen palautteen hyödyntäminen puuttuu (vrt. esimerkiksi Gagnén motorisen ketjutuksen hypoteesi 1970).

Referenssimekanismia Adam kutsuu liikkeen *havaintojäljeksi*. Tietoa tuloksesta (knowledge of result, KR) verrataan havaintojälkeen. KR:n ja samalla myös liikkeen havaintojäljen tärkein tuottaja on proprioseptio. Liikkeen *muistijälki* toimii liikkeen valitsijana ja aloittajana, se ei kontrolloi pitkää liik-

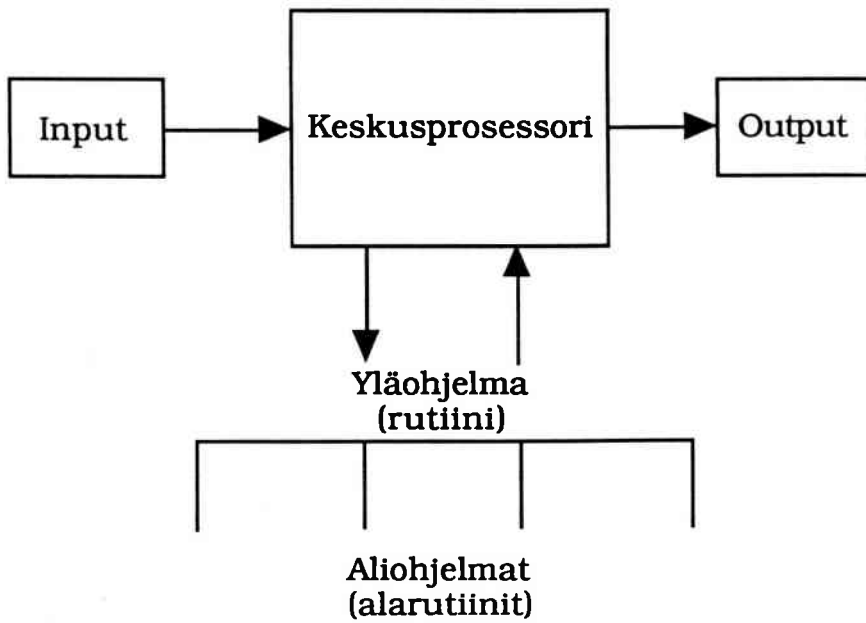
keiden sarjaa. Sen tehtävä on hyvin lyhytaikainen, mutta välttämätön, sillä havaintojälki tarvitsee aina käynnistykseen palautteen, eikä näin ollen pysty syntymään itsestään. (Singer 1980: 114.)

Adamin suljetun silmukan teorian tärkeimmät piirteet ovat:

1. Motorisessa oppimisessa syntyy *muistijälkiä* ja *havaintojälkiä*.
2. *Perifeeristä palautta* korostetaan. Virheiden löytämiseksi verrataan suorituksen tuotosta referenssimalliin.
3. Virheen korjaamisen yhteydessä muistiin piirtyy *uusi muistijälki*, joka sopii yhteen havaintojäljen kanssa. (Mp.)

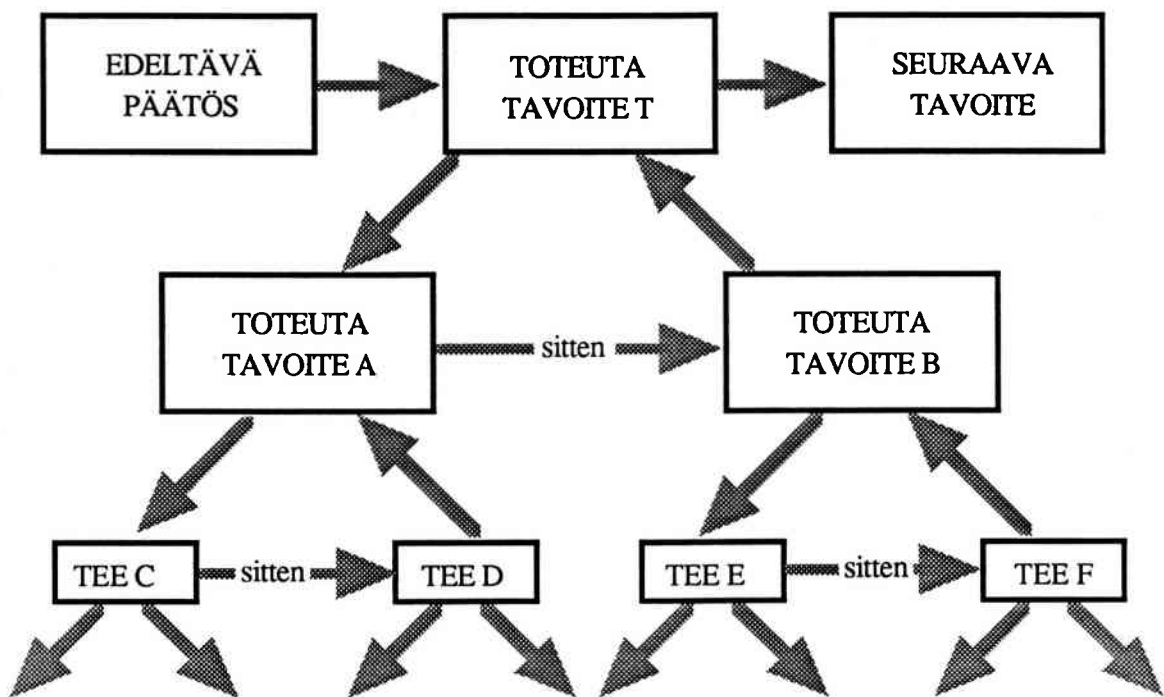
2.2.5 Adaptiiviset (hierarkkisen kontrollin) mallit

Kuten tiedonkäsittely ja kybernetiikan teoriat myös adaptiiviset mallit perustuvat ihminen—tietokone -analogiaan. Adaptiiviset eli hierarkkisen kontrollin mallit (ks. kuva 6) korostavat keskusprosessien osuutta liikkeen kontrollissa. Näissä malleissa ajatellaan *ohjelmien* suorittavan perus- tai rutiinitoiminnot niin ihmisissä kuin tietokoneessakin. Tällaisia ohjelmia kutsutaan *alatasen ohjelmiksi*. Niitä voidaan yhdistellä monimutkaisemmiksi *ylätason ohjelmiksi*. Ylätason ohjelmat voivat muokata alatasen ohjelmia varastoidun tiedon ja aikaisempien kokemusten pohjalta. (Singer 1982: 29.) *Yläohjelma* (rutiini) voidaan ajatella suunnitelmaksi, ideaksi tai tavoitteeksi; aliohjelmat (alarutiinit) ovat prosesseja (liikkeitä tai liikesarjoja), jotka mahdollistavat suunnitelman toteuttamisen. Oppijan kannalta katsottuna edistymisen myötä suorituksen kontrolli siirtyy alemmilta tasoilta ylemmäksi, jolloin huomiokykyä vapautuu ja tarkkaavaisuus voidaan suunnata uusiin kohteisiin. Tämä selittää muun muassa kävelyn ja taidokkaan soittosuorituksen automaattista luonnetta. (Singer 1980: 115.)



Kuva 6: Hierarkkisen kontrollin malli, jossa kuvataan keskusmekanismien prosessit sekä ylä- ja alarutiinit (Singer 1982: 30.)

Toiminnan hierarkkisuus ilmenee myös siten, että jokainen laajempi tavoite edellyttää toteutuakseen tiettyjen (usein vaihtoehtoisten) alitavoitteiden saavuttamista (ks. kuva 7) ja jokainen alitavoite puolestaan sarjan vielä suppeampia toimintayksikköjä kunnes tullaan lihasliikkeiden tasolle ja psykologinen toiminnan kuvaus korvautuu fysiologisella. (Nummenmaa et al. 1982: 15—17.)

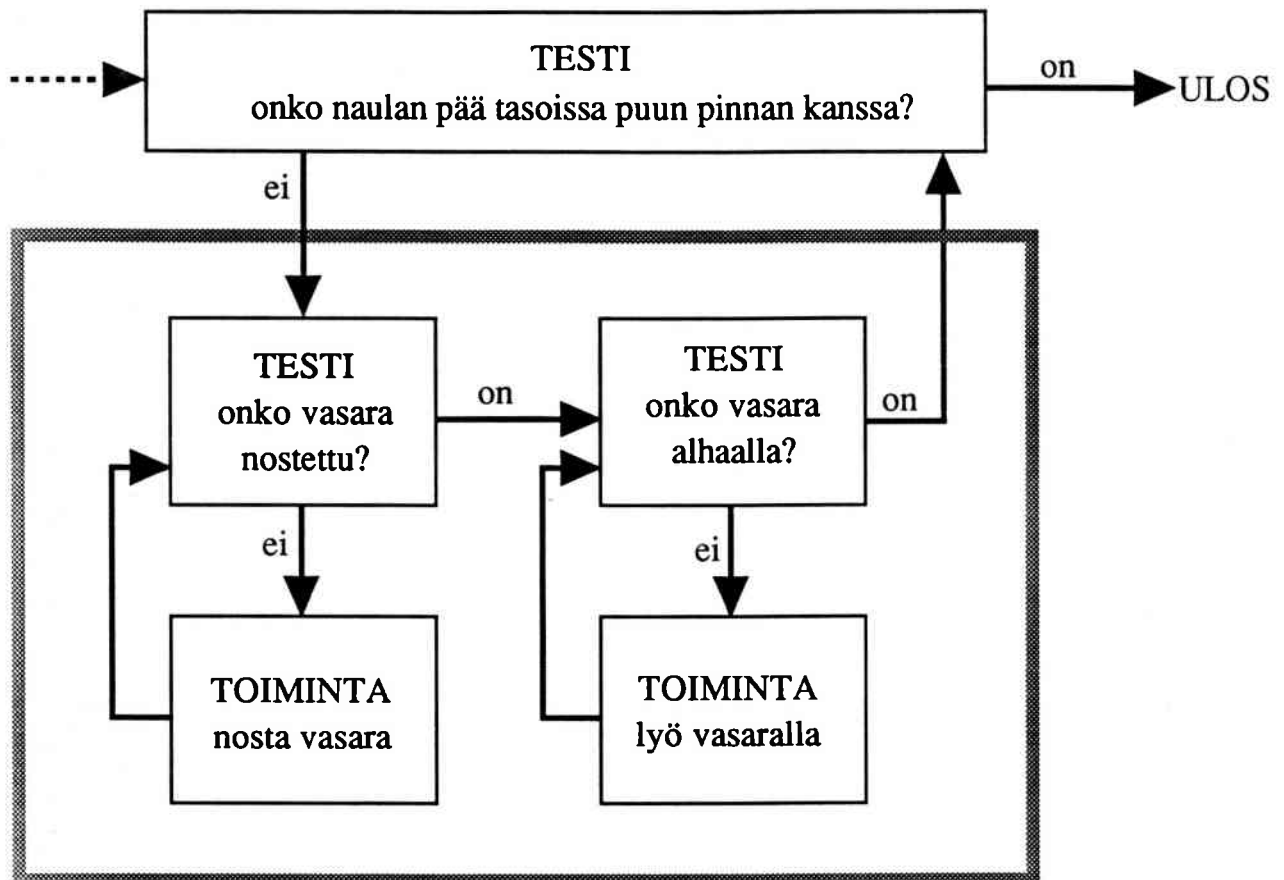


Kuva 7: Toiminnan hierarkkisen rakenteen malli Bowerin 1975 mukaan (Nummenmaa et al. 1982: 17)

2.2.5.1 Toimintasuunnitelmat

George Millerin, Eugene Galanterin ja Karl Pribramin mallin (1960) keskeinen käsite on *toimintasuunnitelma*. Singer toteaa Miller et al.:n määritelleen toimintasuunnitelman "organismissa tapahtuvaksi hierarkkiseksi prosessiksi, joka kontrolloi järjestystä, jossa operaatioiden seuraanto on suoritettava" (Singer 1980: 117). Suunnitelman toiminta perustuu palautepiiriin. Tällaisessa piirissä on 1) määrätty tavoitetilä, 2) havaintoelin, joka antaa tietoa nykytilasta ja 3) vertailuelin, joka vertaa nykytilaa tavoitetilään. Kun nämä tilat poikkeavat toisistaan, aktivoituu poikkeaman vähentämiseen tähtäävä toiminta. Toiminta lakkaa kun vertailuelin toteaa, että nykytilä on tavoitetilä. Tällaista piiriä Miller et al. kutsuvat nimellä TOTE (Test-Operate-Test-Exit). Sen lähtökohtana on tavoitteen sisäinen representaatio, "kuva" toiminnan tavoitteesta. TOTE-yksiköt voivat organisoitua myös hierarkkisesti. (Nummenmaa et al. 1982: 151—153.)

Esimerkkeinä toimintasuunnitelmista esitetään usein kolme tapausta. 1) Sähkölämmittimen termostaatti kytkee sähkön päälle, kun lämpötilä alittaa tavoitetason ja sähkön pois, kun lämpö on noussut tavoitetasoon. 2) Tietokonohjelman DO-silmukka toistaa sarjan laskutoimituksia, kunnes asetetut tavoite-ehdot on täytetty, jolloin laskutoimitusten kontrolli siirtyy toiseen osaan ohjelmaa. 3) Naulan vasaroinnissa (ks. kuva 8) tavoitetilana on, että naulan pää on tasoissa puun pinnan kanssa, jolloin testinä on naulan pään ja puun pinnan vertailu. Jos ne ovat tasoissa ei toimintaa tarvita; elleivät ole, niin vasarointi aktivoituu ja jatkuu kunnes tavoite on saavutettu. (Nummenmaa et al. 1982: 151—153; ks. myös Singer 1980: 117—118.)



Kuva 8: Naulan vasaroimisen TOTE-yksikköiden hierakkia. (Nummenmaa et al. 1982:153.)

2.2.5.2 Keelen motorisen ohjelman malli

Motorisen ohjelman malli kehittyi vastareaktiona suljetun silmukan mallille (esim. Adam 1960). Motorisen ohjelman mallissa oletetaan, että motorinen ohjelma valvoo liikkeiden sarjan suoritusta ilman, että tarvittaisiin perifeeristä palautetta. Suljetun silmukan teorioissahan oletetaan, että

muistijälki on keskeinen kontrollimekanismi. Seurauksena on, että sen avulla on luontevaa kuvata hitaita liikesuorituksia, joissa on riittävästi aikaa tiedon prosessointiin suorituksen aikana. Tämä ajatus herätti kysymyksen, miten sitten selitettäisiin taidokkalle liikesuoritukselle ominaiset sekunnin murto-osan kestävät nopeat virheettömästi suoritettut liikkeiden seuraannot (esimerkiksi konekirjoituksessa tai pianonsoitossa). Tällaisten suoritusten kuvaamiseen kehitettiin *motorisen ohjelman* käsite. *Steven Keelen* (1968) mukaan ennustettavissa oleviin ja hyvinopittuihin liikesuorituksiin liittyy motorisia ohjelmia, jotka kontrolloivat liikkeen suuntaa, toiminnan laajuutta ja nopeutta. Keele on osoittanut, että liikkeitä voidaan ohjelmoida etukäteen siten, että tietyt lihassäikeet aktivoidaan ja niiden ärsytysajankohta määritellään ennen varsinaisen liikkeen aloittamista. Liikkeitä voidaan kontrolloida käyttämällä visuaalista ja/tai kinesteettistä palautetta. Palautteen näkökulmasta katsottuna motorinen ohjelma valvoo suoritusta, kunnes tietty aika on kulunut, jolloin perifeerinen palaute voi vaikuttaa liikkeen muutoksiin. Vakiintuneissa ja ennustettavissa liikkeissä suorituksen valvonta siirtyy mallin oletuksen mukaan visuaalisen ja kinesteettisen palautteen varasta *esiohjelmoitujen* toimintaehtojen varaan. Esiohjelmointi viittaa seuraaviin ominaisuuksiin:

1. vähentynyt tarve turvautua avainärsykykseen.
2. lisääntynyt taito ennakoida tulevia ärsyke-seuraantoja.
3. nopeammat liikkeet.

Keele on koetulostensa perusteella sitä mieltä, että liikkeen valvonta voi sisäistyä ja vapautua visuaalisen palauteen vaikutuksesta lyhyiksi ajoiksi. Keele on vastustanut suljetun silmukan mallia (Adam) ja S—R -ketjutusmallia (Gagné) toden, että taitava esittäjä laatii ennustettavia ja nopeasti suoritettuja liikesarjoja sisältävää toimintaa varten motorisen ohjelman. Palautteen avulla ei tällöin voi tarkkailla, valvoa tai säädellä liikkeitä. Palautetta käytetään siinä vaiheessa, kun oppija opettelee muodostamaan motorisia ohjelmia.

Palaute voi myös käynnistää motorisen ohjelman ja auttaa tarkentamaan liikkeitä kunnes ne on opittu tarpeeksi hyvin. (Singer 1980: 118—119.)

Marteniuk esittelee *Pewin* (1966) käsityksen motoristen ohjelmien oppimisesta. *Pewin* mielestä suorittava motorinen ohjelma organisoi eri operaatiot, jotka ovat tarpeen haluttujen liikkeiden suorittamiseksi. Organisaation alimmalla tasolla nämä operaatiot koostuvat aiemmin opetelluista yliopituista alirutiineista. Nämä alirutiinit ovat motorisia käskyjä, jotka selkäyttimeen peilautuvin refleksisilmukoin valvovat hyvin yksinkertaisia liikkeitä (lihassäikeitä ja lihaksia). Oppijan aiemmasta oppimishistoriasta riippuu, miten nämä yksinkertaiset alirutiinit voivat yhdistyä korkempitasoisten alirutiinien alaisuuteen. Oppimisen kautta puolestaan nämä alirutiinit muuttuvat yliopituiksi, automaattisiksi, ja ne kyetään liittämään laajemman ohjelman alaisuuteen. Oppiminen jatkuu, kunnes ohjelma tai toimintasuunnitelma kykenee kontrolloimaan koko toiminnan hierarkkista ja jaksottaista rakennetta. Tämä laaja prosessi on *Pewin* mukaan *motorinen ohjelma*, joka on luonteeltaan yliopittu toimintasuunnitelma. Joka kerta, kun *tulkintamekanismi* on valinnut tämän toimintasuunnitelman, siihen sisältyvät monenlaiset operaatiot käynnistyvät automaattisesti ja hyvin vähällä tarkkaavaisuuden tarpeella. (Marteniuk 1976: 149—150; ks. myös Nummenmaa et al. 1982: 154—155.)

Soittamisen yhteydessä motorisen ohjelman käsitettä on käyttänyt *Shaffer* (*Shaffer* 1981; ks. myös *Sloboda* 1985: 88). Hän määrittelee motorisen ohjelman mekanismiksi, joka mahdollistaa liikesarjan koordinoinnin ja sisältää aiotun toiminnan kuvauksen sekä toiminnot, jotka kääntävät sen liikesarjaksi. (*Shaffer* 1981: 326—327.) Motorinen ohjelma toimii soittamisen yhteydessä *Shafferin* mukaan seuraavasti. Prosessointi tapahtuu kahdessa ajallisesti päällekkäisessä vaiheessa. Ensimmäinen vaihe lukee nuotit ja kääntää ne nuottijonoksi, toinen vaihe laatii nuottikoodien määrittämät motoriset komennot, muodostaa niistä jonon

puskurimuistiin ja kääntää ne yksi kerrallaan soittoliikkeiksi. (Mts. 328.)

Shafferin määritelmä saa tukea erityisesti sellaisista soittamisen käytännön tilanteista, joissa suoritus sisältää runsaasti nopeatoistoisia liikkeitä (esimerkiksi nopeatempoiset asteikot tai murtosoinnut jne.). Pitempikestoisissa liikesuorituksissa sen sijaan on aikaa auditiivisen ja visuaalisen palautteen hyödyntämiseen liikkeen kontrollissa. Tämä viittaisi silloin siirtymiseen suljetun silmukan näkemyksen mukaiseen valvontajärjestelmään. Seuraavaksi referoin lyhyesti avoimen ja suljetun silmukan liikekontrollista käytyä keskustelua.

2.2.6 Avoimen - ja suljetun mallin paremmuudesta

Singer esittelee vilkasta tieteellistä keskustelua, jota on käyty Keelen motorisen ohjelman ja Adamin muisti- ja havaintojäljen paremmuudesta liikkeen kontrollin kuvaajana. Neill (1977) on sitä mieltä, että *liikeohjelmat* voidaan suorittaa joko ilman palautetta tai palautteella. Stuart Klapp (1975) on puolestaan sitä mieltä, että näkemysero on riippuvainen valitusta analyysitasosta. Hänen mukaansa pitkäkestoiset liikkeet ovat palautekontrollin alaisia sitä vastoin kuin lyhytkestoisemmat ovat luonteeltaan ensisijaisesti ohjelmoituja ja ballistisia. Dennis Glengross (1977) päätyy omien tutkimustensa perusteella ehdottamaan integroitua mallia, johon sisältyy molemmat liikekontrollimuodot. Hän uskoo, että taidon oppimisen alkuvaiheissa, suorittaja on riippuvainen saamastaan palautteesta (suljetun silmukan malli). Taidon kehittyessä suorittaja käyttää motorisia ohjelmia (avoimen silmukan malli), jotka hän voi käynnistää ilman sensorisia tai keskusmekanismista peräisin olavia ärsykeitä. Kehittymisessä on nähtävissä myös kontrollin siirtyminen alemmalta tasolta vähitellen ylätasolle. (Singer 1980: 119—123; Ks. myös Marteniuk 1976: 142—144.)

Seuraavaksi esittelen Keelen ja Gagnén ohella merkittävimmän suljetun silmukan lähestymistavan vaihtoehdon, motorisen skeemateorian.

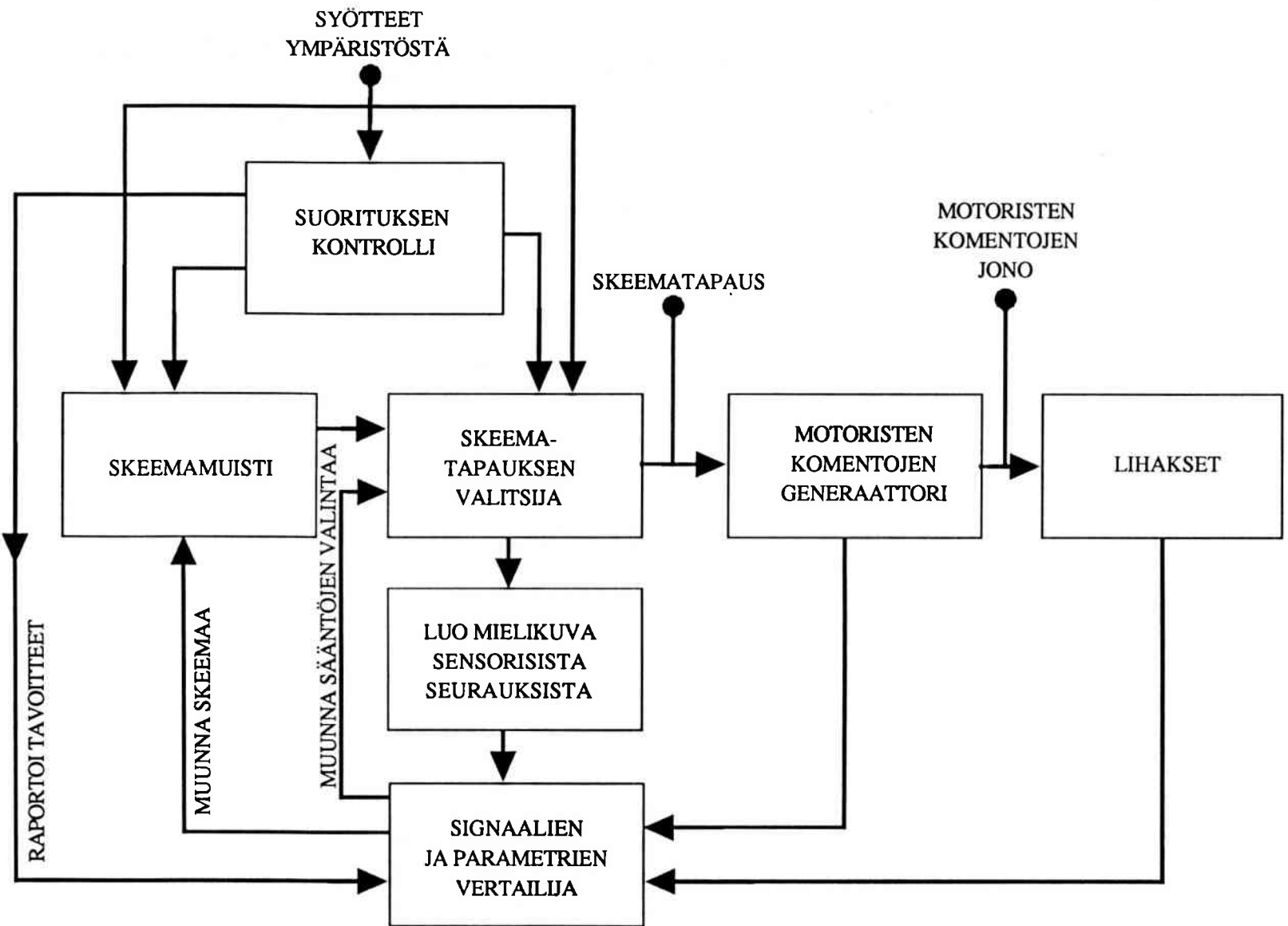
2.2.7 Skeemateorialat

Skeemateoria pyrkii, kuten edellä esitetyt motorisen ohjelman ja assosiaatioteorialat, omalta osaltaan ratkaisemaan niin avoimen kuin suljetunkin silmukan mallin sisältämät rajoitukset liikekontrollin kuvaajana (Singer 1980: 123). Tunnettu motoristen skeemojen tutkija *Richard Schmidt* (1977) koki ongelmalliseksi kysymyksen, miksi ihmiset voivat tuottaa liikkeitä, joita eivät ole aiemmin tehneet. Aikaisemmat tarjolla olevat näkemykset kuvasivat lyhyempiä tai pitempiä ohjelmia, joiden mukaan liikkeet tehtiin. Kullakin liikkeellä oli niissä viitesuorituksensa (*reference of correctness*), johon vertaamalla suoritusta saattoi korjata. Motorisen skeemateorian reaktio tähän kysymykseen oli se, että liikkeitä ohjaavat myös ohjelmat, mutta ne määritellään aiemmista poiketen yleistyneiksi ja niitä voidaan muunnella miten paljon tahansa. Schmidtin (1977) mukaan muistiin varastoituvat motoriset ohjelmat eivät ole vain jonkun tietyn liikkeen koodaamista, vaan pikemminkin kokoelma erilaisia sääntöjä tai skeemoja, jotka ohjaavat suoritusta. Tätä liikeelementtien varastoa ja sen sisältämien liikkeiden osien suhdetta toisiinsa kutsutaan *liikeskeemaksi*. Se on hermojärjestelmän biofysiologisten rakenteiden ja toimintojen kokonaisuus, joka on jatkuvasti altis kehitysmuutoksille. (Lahdensuo 1989: 25—26.)

Singer esittelee Schmidtin käsityksen skeeman kehittymisen edellytyksistä. Skeeman kehittymisen pohjana on, että liikesuorituksesta kertyy tietoa neljästä eri lähteestä: 1) *lähtötilanteen olosuhteista* (organismin tilasta ja ympäristöstä), jotka vaikuttavat toimintaan valmistatukseen; 2) *liikereaktion määrittelystä* (liikkeen vaatimuksista) ennen suoritusta; 3) *sensorisista seurauksista* (reaktion tuottamasta palautetiedosta ilman sen arvon arviointia); 4) *liiketuo- toksesta* (intention suhteesta toetuneeseen suoritukseen), joka perustuu sisäiseen tai ulkoiseen palautetietoon. Schmidt määrittelee kaksi eri skeematapausta, *muistiskeeman* ja *tunnistusskeeman*, jotka molemmat ovat riippuvaisia varsi-

naisesta liikesuorituksen tuloksesta ja vallitsevista alkuolosuhteista. Motorinen muistiskeema muodostuu aikaisempien lähtötilanteiden ja liikereaktion määrittelyn välisestä suhteesta. Se auttaa määrittelemään, miten tehtävästä suoriutuisi mahdollisimman onnistuneesti. Tunnistusskeema puolestaan kuvaa aktuaalisen suoritustuloksen ja sen aiheuttamien sensoristen seurausten suhdetta. Harjoittelun määrä ja muuntelevuus vaikuttaa vahvistavasti molempiin skeemamuotoihin. (Singer 1980: 123—124.)

Pewin (1974) kehittämä motorisen skeemamuistin mallin (ks. kuva 9) mukaan *motorinen skeema* määrittelee liikkeen yleiset piirteet. Niiden täytyy olla organisoituneita kohtamaan spesifejä ympäristön sekä suorittajan tavoitteen asettamia vaatimuksia. Pew uskoo, että skeema edustaa liiker ryhmien ominaisuuksia (esimerkiksi tilaulottuvuutta), jotka on tiettyyn tavoitteeseen nähden koodattu ja jotka ovat sovellettavissa suhteellisen laajaan erityisten liikkeitten joukkoon. Esimerkkinä tästä hän mainitsee nimen kirjoittamisen kynällä ensin paperille ja sen jälkeen liidulla liitutaululle. Kirjoittajalle ominainen liikemalli säilyy samana, vaikka liikkeen dimensiot kasvavat. Tämän Pew sanoo soti van sitä käsitystä vastaan, että liikkeiden karakterististen ominaisuuksien varasto koostuisi joukosta suhteellisen muuttumattomia motorisia komentoja. Pikemminkin hän uskoo skeeman edustavan liikejonojen ominaisuuksia (kuten esimerkiksi spatiaalisia malleja), jotka on koodattu ja joita voidaan soveltaa laajaan joukkoon spesifejä liikkeitä suhteessa tiettyyn päämäärään. (Marteniuk 1976: 158.)



Kuva 9: Pewin motorisen oppimisen ja kontrollin malli, johon sisältyy skeeman käsite. (Marteniuk 1976: 159.)

Skeemamallin mukaan liikkeen luonteen määrää skeematapauksen valitsija (schema instance selector). Se valitsee tietyn liikkeen suhteessa ympäristön asettamiin vaatimuksiin ja tavoitteeseen, joka suorittajalla on mielessä. Skeematapauksen tai sitä vastaavan liikkeen pituus riippuu siitä, miten pitkälle eteenpäin ympäristön antamat vihjeet ovat ennakoitavissa. Lopuksi motoristen komentojen generaattori kääntää skeematapauksen temporaaliseksi motoristen komentojen jonoksi. Generaattori määrittelee mallin mukaan liikesuorituksen ajallisen jäsennyksen ja voi joko hidastaa tai nopeuttaa komentojonoa. Tämä komentojono aktivoi sopivat lihakset ja liike toteutuu. (Marteniuk 1976: 158—159; ks. myös saman teoksen luku "Skeema motorisena muistina".)

Skeemateoria selittää kaksi inhimillisen käyttäytymisen peruspiirrettä. Ensinnäkin sen, miksi suoritus vain harvoin pystytään toistamaan täysin samanlaisena. Jos kaikki yksittäiset liikkeet täytyisi säilöä muistiin, sen kapasiteetti ei riittäisi. Toiseksi, yksilö pystyy tuottamaan liikkeitä, jotka soveltuvat uusiin tilanteisiin ja vaatimuksiin. Taitava soittaja pystyy helposti valitsemaan ohjelman ja tuotostavan hyvin tarkasti etukäteen ja hän voi luottaa liikkeen ~~on~~ onnistumiseen. Tämän ansiosta hänen ei tarvitse keskittyä palautetietoon, vaan hän voi suunnata huomionsa korkeamman tasoiseen päätöksen tekoon, tässä tapauksessa esim. musiikin ilmaisullisiin aspekteihin. (Lahdensuo 1989: 26; ks. myös Singer 1980: 123.)

Skeema, joka käsitteenä on peräisin Immanuel Kantin (1781) filosofisesta teoksesta "Puhtaan järjen kritiikki", on ollut laaja-alaisen ja intensiivisen tutkimuksen kohteena kognitiivisen psykologian piirissä. Tässä yhteydessä viitataan esimerkinomaisesti ainoastaan muutamiin kirjallisiin lähteisiin (Saariluoma 1988: 71—92; Lindsey-Norman: 1977; Norman 1984: 119—130; Neisser 1976).

3. DEKLARATIIVISESTA JA PROSEDURAALISESTA TIEDON PROSESSOINNISTA

Tiedon prosessoinnissa on oleellista se, mikä on tiedon *representaatio*. Toiminnallista ja tiedollista tietoa on siksi mallinnettava eri tavoin. Tiedon representaatioita on pyritty kuvaamaan erilaisten esityksformalismien avulla. Tärkeimpiä niistä ovat mm. semanttiset verkot ja produktioteoria, kehykset ja skriptit (Hautamäki: 1988: 162).

Esittelen seuraavaksi keinoälytutkimuksen käsityksiä eri tietomuodoista, fysiologisia todisteita niiden olemassaolosta ja lopuksi yksityiskohtaisemmin niiden erityyppiseen tiedon prosessointiin liittyviä аспектеja produktioteoriassa.

3.1 Tiedon prosessoinnista tekoälytutkimuksessa

Tekoälytutkimuksen piirissä on tapana määritellä proseduraalinen ja deklaratiivinen tieto seuraavasti. *Proseduraalinen tieto* on yleensä tietokoneohjelmassa oleva toimintaohjeiden sarja tietyn asian suorittamiseksi. Näin ollen esimerkiksi FORTRAN -ohjelmat sisältävät runsaasti proseduraalista tietoa. Proseduraalinen tieto on taitotietoa, joka on "upotettu" ohjelmaan. *Deklaratiivinen tieto* on puolestaan "deklaraatiota" maailmasta eli se on *propositionaalista* tietoa. Tietomuotojen erottelun ytimenä on idea siitä, että deklaratiivinen tieto on olemassa tietokoneen muistissa symbolisessa ja eksplisiittisessä muodossa. Näin on asian laita esimerkiksi tietojärjestelmissä, joissa tietämys muodostaa oman tietokantansa erotuksena päättelykoneesta, joka puolestaan "lukee" tietämyskantaa ja päättelee siitä uusia asioita ja toimintaohjeita. Deklaratiivinen tieto on siis eksplisiittistä tietämystä vastakohtana proseduraalisen tietämyksen implisiittisyydelle. (Hautamäki 1988: 160.)

Hautamäki tuo esille tietomuotojen erotteluun sisältyvät ongelmat silloin, kun sitä aiotaan soveltaa elävien olentojen älykkään käyttäytymisen selittämiseen seuraavasti:

Onko esimerkiksi muurahaisten kollektiivinen käyttäytyminen älykästä ja onko järkevää sanoa sen perustuvan proseduraaliseen tietoon ympäristöstä. Selkeämmältä tuntuu puhua proseduraalisen tiedon sijaan taidosta. Suuri osa eläinten käyttäytymisestä perustuu periytyvään tai opituun taitoon selviytyä tilanteista. Jos tätä taitoa pidetään proseduraalisena tietona, niin missä se on "koodattuna", geeneissäkö, ja missä muodossa se on koodattuna? Olettamalla eläinten käyttäytyminen taitopohjaiseksi se voidaan yksinkertaisemmin selittää ja välttää monilta hankalilta käsitteellisiltä ongelmilta. (Hautamäki 1988: 160.)

Taidon tai osaamisen Hautamäki määrittelee tietoa lähellä oleviksi asioiksi:

Joskus osaaminen perustuu tietoon (taitotietoon), mutta usein taito on syntynyt kokemuksesta, yrityksen ja erehdyksen kautta, kuten kielen puhuminen, polkupuörällä ajaminen, suunnistaminen tai piirtäminen. Taitotieto eli know-how on tietoa, jonka perusteella jotakin pystyy tekemään tai opetteleman tekemään. Taitotietoa tarjoavat erilaiset käsi- ja oppikirjat. (Hautamäki 1988: 160.)

Myöhemmässä yhteydessä Hautamäki tähdentää, että kaikki tekoälyteoriat, jotka olettavat aivotason ja tajunnan tason välille jonkun itsestään selvän vastaavuuden tai kuvauksen tai palauttavat (redusoivat) psykologian fyysisiin tieteisiin ovat erittäin kyseenalaisia. Asiaa ei ratkaista olettamalla aivot tietokoneeksi ja representaatiot ohjelmiksi ja dataksi sekä aivotoiminnot laskennallisiksi prosesseiksi tai komputaatioiksi, kuten esim. Fodor (1980) tekee. (Mts. 176)

3.1.1 Keinoäly soittamista simuloimassa

Samir I. Sayegh (1989) soveltaa PROLOG-ohjelmaa jousisoitinten sormitusten tutkimiseen. Tutkimuksen lähtökohtana on ongelma, joka syntyy siitä, että jousisoittimella kukin nuottimerkki voidaan soittaa

monista eri paikoista monilla eri sormituksilla. Peräkkäisisten nuottimerkkijonojen kohdalla tilanne on luonnollisesti vielä monimuotoisempi.

SELLO					KITARA					
IV	III	II	I		VI	V	IV	III	II	I
00	07	14	21		00	05	10	15	19	24
01	08	15	22		01	06	11	16	20	25
02	09	16	23		02	07	12	17	21	26
03	10	17	24		03	08	13	18	22	27
04	11	18	25		04	09	14	19	23	28
05	12	19	26		05	10	15	20	24	29
06	13	20	27		06	11	16	21	25	30
07	14	21	28		07	12	17	22	26	31
08	15	22	29		08	13	18	23	27	32
09	16	23	30		09	14	19	24	28	33
10	17	24	31		10	15	20	25	29	34
11	18	25	32		11	16	21	26	30	35
12	19	26	33		12	17	22	27	31	36
13	20	27	34							
14	21	28	35							
15	22	29	36							
16	23	30	37							
17	24	31	38							
18	25	32	39							
19	26	33	40							
20	27	34	41							
21	28	35	42							
22	29	36	43							
23	30	37	44							

Kuva 10: Numeraaliset vastineet sävelkorkeuksille 1) kitaran ja 2) sellon otelaudalla on merkitty siten, että numero 0 vastaa kitaran matalinta sävelkorkeutta E ja sellon sävelkorkeutta C.

Jos oletetaan, että nuotit, joilla on sama äänenkorkeus, voitaisiin soittaa eri kieliltä täsmälleen samanlaisina myös sointiväritään, ongelmana olisi vain löytää fyysisesti mahdollisimman 'mukava' sormitus. Koska näin ei kuitenkaan ole asian laita, onhan kullakin kielellä oma musiikilliseen ilmaisuun vaikuttava ominaissointinsa, hyvän sormituksen tulee täyttää paitsi fyysiset myös musiikilliset ehdot. Näiden ehtojen täyttymistä ohjailevien sääntöjen järjestelmän muodostuminen ja käyttäminen on jousisoitinsormitusten ongelman ydin. (Sayegh 1989: 76.)

Sayegh'in PROLOG-ohjelmalla toteutetussa jousisoitin-sormitusten asiantuntijajärjestelmässä, joka on nimeltään Optimireitin paradigma (Optium Path Paradigm), muodostetaan joukko sääntöjä, jotka määrittelevät, mikä tuottaa hyvän sormituksen.¹ Sääntöjen määrittely voi perustua erilaisiin periaatteisiin. Tässä tutkimuksessa säännöt kerättiin lukuisia ammattikitaristeja haastatteleamalla. Säännöt jakaantuvat kahteen laajaan luokkaan. Ensimmäisen luokan säännöt ovat suhteessa toteutuksen helppouteen ja toisen luokan säännöt äänelliseen homogeenisuuteen. Tyypillinen esimerkki ensimmäisen luokan säännöstä on pysyminen samassa asemassa. Sen mukaan pysytään samassa asemassa niin kauan, kuin ei ole muita sääntöjä määräämässä muulla tavoin ja niin kauan kuin äänet on soitettavissa samasta asemasta. Tätä sääntöä voidaan täsmentää esimerkiksi siten, että se rajoittaa etsintäavaruutta seuraavasti: jos nuottimerkki voidaan soittaa tietyistä asemasta, niin sitä seuraavan äänen alustava etsintä rajoitetaan ääniin, jotka voidaan soittaa samasta asemasta. (Sayegh 1989: 76—77.)

Optimoinnin lähestymistavassa käytetään mallia, jossa kukin sormituksen siirto arvotetaan perustuen sen vaikeuteen ja yhtenäisyyteen. Optimireitti on reitti, joka minimoi tai maksimoi arvot, joita niitä vastaavat yhteydet sormitusten välillä voivat saada. Tulos riippuu siitä, onko

¹Toinen kiinnostava Prologilla tehty sovellus on N. Amaton ja C. Tangin kehittämä pianonsoiton asteikkojen interaktiivinen opetusohjelma (Amato - Tang 1988).

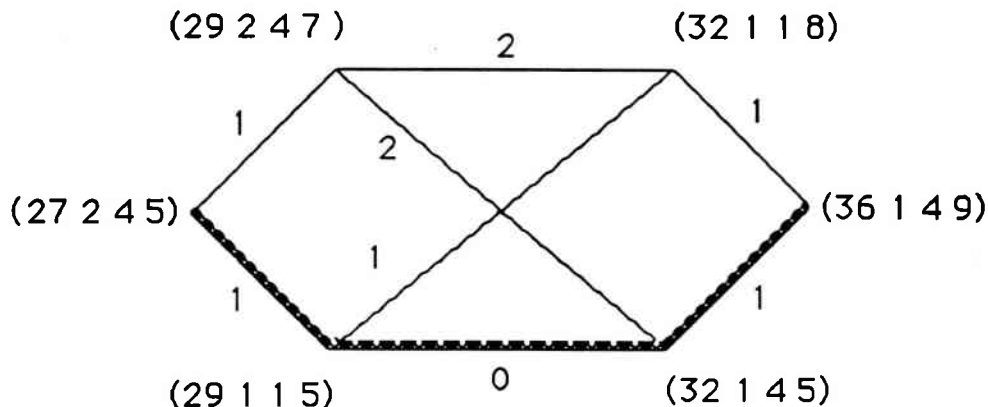
hyvä siirtyminen sormituksesta toiseen määritelty saamaan korkea tai matala arvo. Käytännössä voisi olla helpompi ajatella reittiä maksimireittinä, jossa siirrot kieleltä tai asemasta toiseen määritellään rangaistaviksi. Tällöin säännön rikkomuksesta voisi saada esimerkiksi yhden sakkopisteen. (Mp.)

Sayegh'in käyttämä malli perustuu Viterbin (1967) versioon Dijkstran (1959) algoritmista, jota on käytetty mm. puheen ja kuvien tunnistuksen sovellutuksissa. Sen perusajatuksena on, että jos verkon välitasolla sijaitseva solmu on osa yleistä minimireittiä, niin osareitti enimmäisestä tasosta siihen solmuun on itsessään minimireitti. Eteneminen tasolta toiselle voi tapahtua taso kerrallaan siten, että lasketaan edullisimmat reitit yhtä aikaa, jolloin kaikki kyseisen tason solmut päivittyvät samanaikaisesti. (Mts. 77—78)

Viterbin algoritmin käytöstä kitaran sormitusten etsimisessä Sayegh esittää seuraavia huomioita. Hänen mukaansa on pitkäli mahdollista löytää hyvän sormituksen olemus määrittelemällä asemasta toiseen siirtymisen arvo ja etsiä sille sitten yleinen minimireitti. Siirron saama yksilöllinen arvo riippuu kahdesta huomion kohteen olevasta sormituksesta, eikä siihen suoraan vaikuta niitä seuraavat sormitukset. Toinen havainto oli, että siirron arvoja ei tarvitse välttämättä määritellä yksittäin kullekin mahdolliselle sormitusparille. Arvofunktio voidaan määritellä analyyttisesti yleisten kriteerien perusteella. Esimerkkinä tästä on edellä esitetty tilanne, jossa siirrot kieleltä toiselle ja asemasta toiseen määritellään rangaistaviksi yhden pisteen arvonnäyksellä. (Mp.)

Seuraavassa yksinkertaisessa esimerkissä on käytetty kahta edellämainittua kriteeriä arvofunktion määrittelyyn. Kitaristi saa siinä tehtäväkseen soittaa nuottimerkit g₂, a₂, h₂ ja c₃. Muuttujina ovat (N S F P), jotka viittaavat nuottiin, kieleen, sormeen ja asemaan. Soitettavat nuotit muodostavat numerosarjan 27, 29, 32, ja 36 (ks. kuva 10). Sayegh on yksinkertaistanut tilannetta siten, että nuoteille 27 ja 36 on valmiiksi valittu sormitus ja siten että jäljelle jääneille

kahdelle nuotille voidaan sormitus valita kahdesta vaihtoehdosta. Kuvasta 11 näkyy arvofunktion tuottama verkko, johon on merkitty sormitussiirtojen saamat arvot. Siinä on havaittavissa neljä erilaista mahdollista reittiä, jotka yhdistävät enimmäisen tason viimeiseen. Viterbin algorimillä tulkittuna minimiarvon (2) saa sormitus ((27 2 4 5)(29 1 1 5))(32 1 4 5)(36 1 4 9)).



Nuotit (g2 a2 c3 e3) = (27 29 32 36)

Kuva 11: Kitaran sormitusten saamat arvot Viterbin algoritmilla tulkittuna Optimireitin paradigma-mallissa. (Sayegh 1989: 78.)

Sayeghin sovelluksen informaatiota koskevana rajoituksena on, että ohjelmaan syötettävän nuottisatsin pitää olla yksiaänistä. Seuraavaksi tavoitteekseen Sayegh onkin asettanut tiedon syöttämisen yleisen tehostamisen ja moniäänisen satsin sisäänsyötön mahdollistamisen.

Sellon sormitusten laadinnan kannalta ongelmallista Sayeghin sinänsä lupaavassa tekoälysovelluksessa on se, miten oikean käden suorituksen vaikutus voitaisiin huomioida. Jousikäden toiminnan suunnittelu on kiinteässä yhteydessä sormitusten laadintaan. Näin ollen ohjelman pitäisi kyetä simuloimaan myös sormituksen vaikutusta oikean käden toimintaan.

3.2 Fysiologisia todisteita deklaratiiivisesta ja proseduraalisesta tiedon prosessoinnista

Tutkittaessa potilaita, joilla on amnesian (muistamattomuuden) aiheuttanut kudосvamma aivoissa, on todettu, että potilaat eivät pysty muistamaan maailmasta tosiasioita, mutta kykenevät kyllä oppimaan ja muistamaan kuinka asioita tehdään. Esimerkiksi potilasryhmälle opetettiin peilistä lukemista. He oppivat tämän taidon kolmessa päivässä, samassa ajassa kuin se kestää normaaleiltakin ihmisiltä ja he säilyttivät taitonsa korkeatasoisena sen kolmen kuukauden ajan, jolloin testejä tehtiin. Kuitenkin testausten aikana moni potilaista ei muistanut koskaan tehneensä kyseistä tehtävää aiemmin, eikä kukaan muistanut jäkeenpäin sanaakaan lukemastaan. (Bloom & Lazerson 1988: 257.)

Vastaavan tyyppinen amnesiatapaus oli epilepsiapotilas *H.M.* Hän oppi ratkaisemaan palapelin ja kykeni toistamaan oikean ratkaisun, vaikkei hän tehtävää aloittaessaan pystyt muistamaan tehneensä sitä aikaisemmin. (Mp.)

Tämän suuntaiset tulokset viittaavat siihen, että aivot prosessoivat kahdenlaista tietoa eri tavoin ja että nämä tiedon lajit tallennetaan toisistaan poikkeavilla tavoilla. *Proseduraalinen* tietämys on tietoa siitä, *miten* jotakin tehdään. *Deklaratiivinen* tieto tarjoaa Squiren sanoin "eksplisiittisen, tarjolla olevan tallenteen yksilön aiemmista kokemuksista, tuttuuden tunteen näistä kokemuksista." Deklaratiivinen tieto vaatii prosessointia temporaalisella alueella ja sitävastoin proseduraalinen ilmeisesti ei. (Bloom & Lazerson 1988: 257.)

Proseduraalinen oppiminen kehittyi evoluution aikana todennäköisesti deklaratiiivista aikaisemmin. Sopeutuminen (habituaatio) ja klassinen ehdollistaminen, jotka tapahtuvat ilman tietoista oppimista, ovat esimerkkejä proseduraalisesta oppimisesta. Kahden oppimistavan ero selittää myös sitä, miksi aikuiset ovat lähes täysin kykenemättömiä muistamaan ihmisiä ja tapahtumia varhaislapsuudesta. Erottelu auttaa ymmärtämään myös,

miksi mnemoniset yksiköt — skeemat, jotka auttavat muistiin painamista ja muistista palauttamista — toimivat niin hyvin. Tunnetuimpia näistä on kreikkalaisilta kaunopuhujilta peräisin oleva paikkametodi (method of loci). Siinä visualisoidaan tuttu ympäristö ja asetetaan muistettavat asiat paikalleen. Kun on tarve palauttaa mieliin asiat, käydään mentaalisesti paikalla ja poimitaan tallennetut asiat matkan varrelta. Tässä metodissa on käytetty proseduraalista kontekstia deklaratiiivisen tiedon organisoimiseen. (Bloom & Lazerson 1988: 260; ks. myös Lindsey—Norman 1977.)

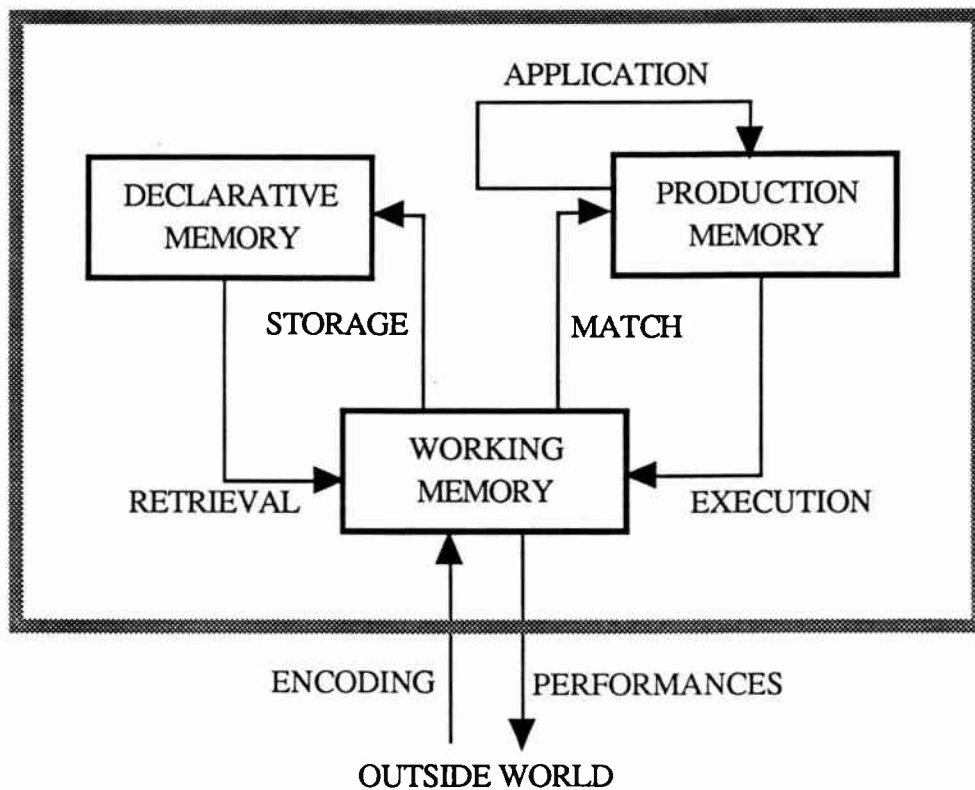
Aivoissa tapahtuvan informaation prosessoinnin arkkitehtuuria on kuvattu neuropsykologiassa kahdella tavalla, modulaarisuudella ja hajautetulla esittyneisyydellä. *Modulaarisuusarkkitehtuurissa* on kolme toimintayksiköä. Ensimmäisen, subkortikaalisen yksikön tehtävänä on pitää yllä vireystilaa. Toisen, lähinnä projektioalueiden, tehtävänä on vastata informaation vastaanottamisesta ja analyysistä. Kolmas toimintayksikkö suorittaa suunnittelun, toiminnan ohjelmoinnin ja toteuttamisen. Toimintayksiköt ovat varsin globaaleja. Niiden alla toimii joukko suhteellisen itsenäisiä moduuleja, jotka vastaavat niille tyypillisistä toiminnoista. Alajärjestelmät voivat olla itsenäisyydestään huolimatta tarpeen tullen vuorovaikutussuhteessa toistensa kanssa. (Saariluoma 1988: 33—34.)

Hajautetun esittyneisyyden arkkitehtuurissa kukin moduli ajatellaan hajautetuksi systeemiksi (Anderson ja Hinton 1981, Kohonen 1977, McClland, Rumelhardt ja Hinton 1986). Hajautetut systeemit ovat toimintatavaltaan pitemmälle analogisia ihmisen hermoston kanssa modulaarisiin, lokaalisiin verrattuna. Tämä mahdollistaa ongelmien pohtimisen kvasineuraalisella tasolla ja helpottaa huomattavasti simulointimallien ja hermoverkkojen välisten yhteyksien rakentamista. (Kohonen 1988: 100—120.)

3.3 Produktioteoria

J. R. Andersonin produktioteorian, ACT*-teorian mukaan yhteys deklaratiiivisen tiedon ja käyttäytymisen välillä syntyy *produktioiden* avulla (Anderson 1983: 215). Produktiot koostuvat *ehto-osasta* ja *toimintaosasta*. Toimintaosa ilmaisee, mitä tehdään kun ehto-osa toteutuu. Produktiot ovat *proseduraalista* tietoa — tietoa siitä, *kuinka* asiat tehdään. Proseduraalinen oppiminen eroaa deklaratiiivisen tiedon oppimisesta siinä, että se edellyttää aina soveltavaa suorittamista. Ihminen oppii tekemällä, soittamaan opitaan vain soittamalla. Tästä johtuu muun muassa, että toiminnallinen oppiminen on deklaratiiiviseen oppimiseen verrattuna asteettaisempaa. (Mp.)

ACT*-teorian perusoletuksia on, että korkean asteen kognitiivisten toimintojen ytimenä on kontrollisysteemi, joka ratkaisee ajattelun suuntautumisen ja kontrolloi siirtymistä ajatuksesta toiseen. Tätä kontrollia voidaan kuvata ns. *produktiosysteemeissä* (mts. ix). ACT*-mallin mukainen kognitiivinen produktiosysteemi koostuu kolmesta muistista: *työmuistista*, *deklaratiiivimuistista* ja *produktiomuistista*. Työmuisti vastaa perinteistä lyhytkestoista muistia. Deklaratiivi- ja produktiumuisti ovat pitkäkestoisen muistin osia. Produktiosysteemi rakentuu toimintasyklin varaan siten, että koodausprosesseissa tallennetaan tietoa ulkomaailmasta ja deklaratiiivimuistista työmuistiin. Koodattua tietoa verrataan sitten kaikkien produktiomuistissa olevien produktioiden ehto-osiin. Kaikki produktiot, joiden ehto-osa vastaa jotakin työmuistissa olevaa symbolirakennetta, aktivoidaan ja niistä muodostuu ns. konfliktijoukko. Syklin toisessa vaiheessa konfliktijoukosta valitaan produktio tai produktiot, joiden määrittelemä toiminta toteutetaan. Toteutettavien produktioiden valintaa voidaan kutsua konfliktin resoluutioiksi. (Anderson 1983: 17—20, 47—48, 132—156; Saariluoma 1988: 31.)



Kuva 12: Andersonin ACT*-teoriaan sisältyvät tärkeimmät rakenteelliset komponentit ja niiden väliset prosessit. (Anderson 1983: 19.)

Anderson toteaa ^{Helin}eron proseduraalliseen ja deklarativiseen tietoon tuovan kaksi merkittävää etua konfliktin resoluutiossa. Ensinnäkin, tiedon mieliin palauttaminen deklarativisesta muistista ei haittaa tehtävää suorittavien produktioiden toimintaa. Toiseksi, mieliin painamisessa on tiedon lajien väillä merkittäviä eroja. Deklaratiivinen tieto voidaan omaksua muistiin muutamassa sekunnissa, sitä vastoin kuin uudet toiminnot ovat opittavissa vasta pitkällisen harjoittelun jälkeen.

Tärkeänä osatekijänä produktioiden valinnassa ovat *tavoitteet*, jotka toimivat jatkuvan ja korkean aktivaation lähteinä. Jos produktio määrittelee tavoitteen ja työmuistissa on tilannetietoa, joka sopii produktion ehtosaan, toimintaosan määrittelemä toiminta toteutetaan. Toiminnan toteutumisen jälkeen systeemi siirtää huomion seuraavaan tavoitehierarkkian kohteeseen. (Anderson 1983: 33.)

Andersonin muistimalli rakentuu semanttisille verkoille. Se on niin ollen luonteeltaan assosiatiivinen ja luokitellaan lokaalisiin muistimalleihin. Semanttisten verkkojen teorian vaikutus näkyy mm. aktivaation leviämisen tutkimuksessa. Tällä tarkoitetaan sitä, että yksittäinen ärsyke saattaa vaikuttaa toisten sitä seuraavien ärsykkeiden prosessointiin ihmisen tietämättä ja tahdosta riippumatta koska esitetty ärsyke aktivoi sen kanssa semanttisesti tai muuten assosiatiivisessa suhteessa olevan informaation ihmisen muistissa. (Saariluoma 1988: 28–29, ks. myös Anderson 1983: 86–125) Muita vastaavia lokaalisten esitysmuotojen tyyppejä ovat skeemat, kehykset, ja skriptit, joiden perusajatuksena on vaihtelevien olioiden sijoittaminen vakioisiin suhteisiin toistensa kanssa. (Saariluoma 1988: 28–29.)

3.3.1 Tiedon representaatio produktiteoriassa

Deklaratiivinen tieto tulee systeemiin kognitiivisina yksiköinä (cognitive units, chunks). Kognitiiviset yksiköt voivat olla *propositioita* (esimerkiksi Niilo inhoaa hernekeittoa), *jonoja* (esimerkiksi yksi, kaksi, kolme tai a,b,a,c...), *spatiaalisia kuvia* (kolmio neliön yläpuolella). Kussakin tapauksessa joukko elementtejä koodataan kognitiivinen yksiköksi, jossa osatekijät ovat tiettyissä suhteissa toistensa kanssa. Kognitiiviset yksiköt eivät voi sisältää yli viittä elementtiä. Monimutkaisempia rakenteita voi kehittyä luomalla hierarkkisia rakenteita. Sellaisessa tilanteessa kognitiivinen yksikkö on osana toista. (Anderson 1983: 23)

Suhteet rakenteen ja elementtien välillä voivat synnyttää yhteisille elementeille pohjautuvien kognitiivisten yksiköitten verkkorakenteen. Anderson kutsuu tätä nimellä kytketty hierarkkia (tangled hierachy). Tällainen verkkorakenne voi olla hyvinkin monimutkainen, koska kognitiiviset yksiköt voivat olla toistensa kanssa niin monimuotoisesti yhdistyneinä. (Mts. 25)

Edellä kuvattu tietorakenne voi ajatella verkoksi, jossa kaikki elementit ja yksiköt ovat solmuja (nodes) ja niiden väliset yhteydet yhdyssiteitä, linkkejä (links). (Mp.)

3.3.2 ACT*-teorian oppimiskäsitys

ACT*-teoriaan sisältyvän proseduraalisen oppimisteoriaansa pohjana Anderson käyttää Fittsin mallia (Mts. 216—217). Andersonin mukaan taidon hankinta etenee deklaratiivisen tiedon tulkitsemisesta tiedon toiminnallistamiseen, proseduralisointiin. Fittsin kognitiivista vaihetta vastaa kuvaileva, *deklaratiivinen* vaihe, jossa taidon hankinta aloitetaan *asiatiedon tulkitsemisellä*. Tulkitsevat produktiot vaativat työmuistilta huomattavasti kapasiteettia ja tekevät toiminnot hitaiksi ja vaivalloisiksi. Tämän vuoksi on tarpeen *yhdistellä* opittuja produktioita. Produktioiden yhdistelyssä käytetään Andersonin mukaan kahta tapaa: *kompositiota* ja *proseduralisointia*. Komposition avulla toisiaan seuraavat produktiot sulautetaan yhdeksi uudeksi produktioksi. Andersonin mukaan määräävänä tekijänä kompositiolle ei ole niinkään produktioiden välinen ajallinen peräkkäisyys, vaan niiden keskinäinen looginen yhteys suhteessa tavoiterakenteeseen. Komposition kautta syntyneet uudet produktiot voivat toimia joustavammin eri tilanteissa, koska niiden ehto-osan lauseet voivat saada vaihtelevia arvoja. Proseduralisointi toimii periaatteessa samalla tavalla kuin kompositio, mutta sen kestopuoleen liittyvät ehto-osan lauseet ovat sitoutuneet tiettyihin, muuttumattomiin deklaratiivisen tiedon rakenteisiin. (Mts. 231, 238—239.)

Produktioiden yhdistelyn kautta syntyneet uudet produktiot eivät korvaa vanhoja produktioita. Pikemminkin ne laajentavat olemassaolevaa produktiojoukkoa. Anderson perustelee tätä sillä, että vanhoja produktioita tarvitaan edelleen selvittämään tilanteet, joihin uudet eivät pysty. Uudet produktiot saattavat osoittautua huonosti toimiviksi, jolloin vanhoja produktioita tarvitaan ottamaan jälleen vastuu käyttäytymisen valvonnasta. (Mts. 237.)

Oppiminen tapahtuu paljolti tulkitsevan vaiheen ja produktioita yhdistelevän vaiheen välisenä edestakaisena siirymisenä, kunnes tiettyyn toimintaan erikoistuneet produktiot ovat riittävästi vahvistuneet. Tällöin päästään Fittsin autonomista vaihetta vastaavaan tilanteeseen, jossa taito hallitaan automaattisesti. Anderson ei kuitenkaan katso oppimisen päättyvän tälle tasolle, vaan taito kehittyy edelleen produktioita virittämällä (tunig). Produktioiden virittäminen tapahtuu kolmella tavalla: 1. *yleistämisen* kautta produktiot tulevat sovellettavuudeltaan laajemmiksi, 2. *diskriminaatio* supistaa produktioiden toiminta-alaa ja 3. *vahvistaminen* lisää hyvien ja heikentää huonojen produktioiden vahvuutta. Vahvistaminen toimii siten yleistämisen ja diskriminaation tulosten arvioijana. (Mts. 241.)

4. IDEASTA TOTEUTUKSEEN

Kognitiivisen psykologian käyttämiä tutkimusasetelmia ja metodeja on sovellettu musiikillisen kognition tutkimukseen vasta vähän aikaa. Ensimmäinen kokonaan tämän aiheen käsittelyyn keskittyvä kirja julkaistiin vuonna 1985 (Sloboda, *Musical Cognition*, 1985). Artikkeleita aiheesta on julkaistu 1970-luvulla, jolloin musiikkipsykologian piirissä virisi kiinnostus musiikillisen ajattelun eri aspektien tutkimiseen. Enimmäkseen tutkimusaiheet ovat toistaiseksi painottuneet kuulluun ymmärtämiseen eli siihen miten ymmärrämme kuulemaamme. (Ks. esimerkiksi McAdams 1987 ja 1989a.)

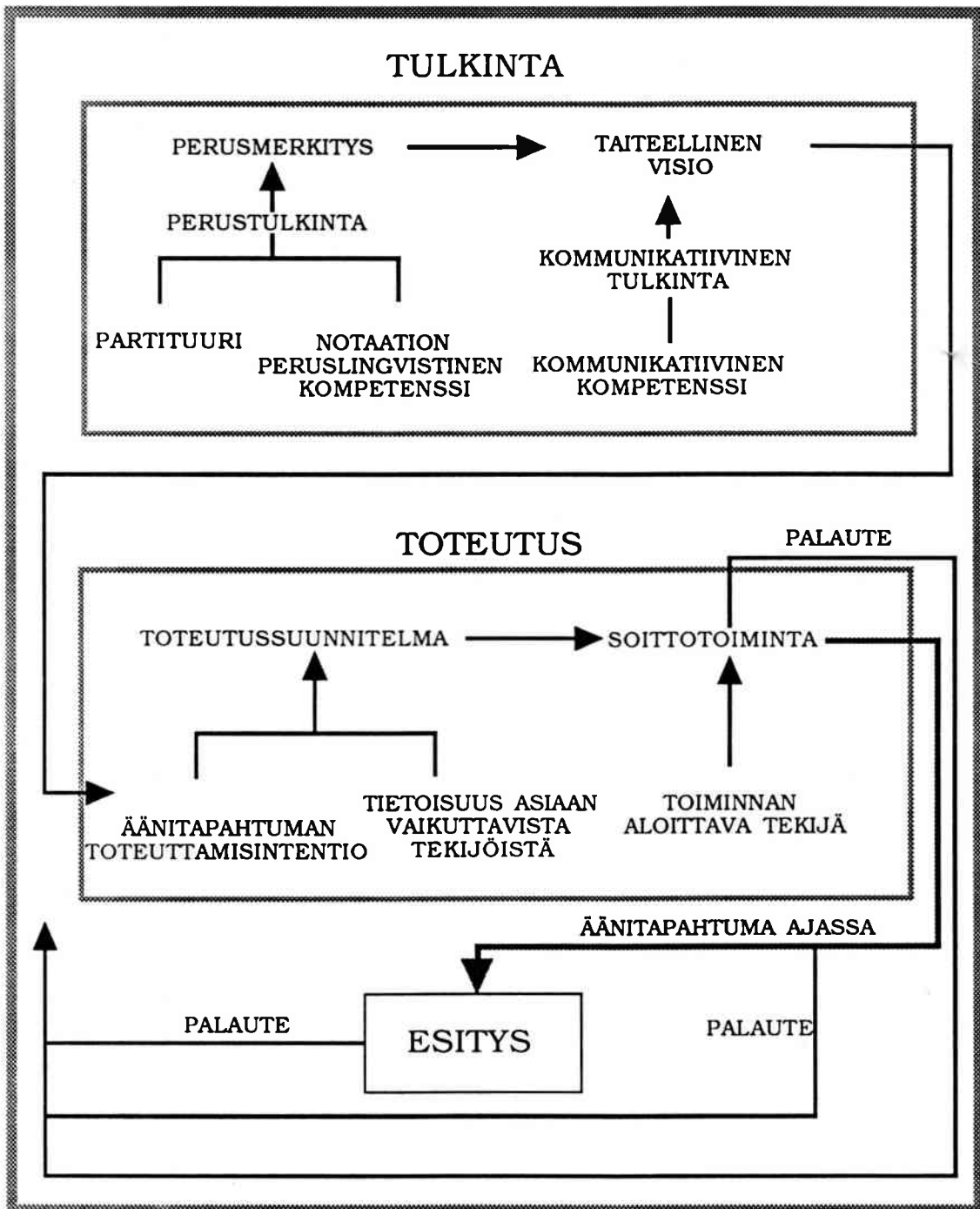
Musiikillisen idean ja sen toteuttamisen välisen suhteen eksplikoimiseksi esittelen aluksi Kurkelan kehittämän (Kurkela 1988a) soittamisen yleisen toimintateoreettisen viitekehyksen, sitten jousisoitinten fysiologisissa ja pedagogisissa kirjoituksissa esiintyviä käsityksiä musiikillisen ajatuksen toteuttamisesta sekä lopuksi referoin Shafferin (1976 ja 1981) pianonsoittoa käsitteleviä tutkimuksia.

4.1 Kurkelan toimintateoreettinen malli

Ennenkuin sellistimme voi tuottaa tiettyä nuottimerkkiä vastaavan äänitapahtuman (esimerkkitapauksessamme *a*-sävelen, ks. s. 3—5), hänen täytyy ymmärtää vastaavan nuottimerkin merkitys. Hän tarvitsee siis tiedon siitä, mikä on nuottisymbolin ja 220 hertzin korkeudalla soivan äänen välinen suhde. Tätä nuottikuvan ja ääniavaruuden välistä loogista yhteyttä kutsutaan Kurkelan kehittämän soittamisen yleisen toimintateoreettisen viitekehyksen mukaan *semanttiseksi* suhteeksi eli perusmerkitykseksi. (Kurkela 1986; ks. kuva 13) Nuottimerkin perusmerkityksen ymmärtäminen ei sellaisenaan vielä riitä soittamisen lähtökohdaksi, vaan tarvitaan taiteellinen visio. Pystyäkseen tuottamaan nuottimerkkiä vastaavan äänitapahtuman taiteellisesti 'hyväksyttävästi' sellistin pitää ymmärtää nuottikuvan *kommunikatiivinen* eli taiteellinen merkitys. Tämä edellyttää muun muassa esityserinteen tuntemista ja mahdollisesti luovuuttakin. Nuottimerkin

semanttisen ja kommunikatiivisen merkityksen ymmärtämisen tuloksena sellistille syntyy käsitys siitä, millainen äänitapahtuma hänen pitäisi tuottaa. Tämän mielikuvan, ääni-intention, hän asettaa toimintansa tavoitteeksi. (Ks. lähemmin Kurkela 1988a ja 1988b.)

ESITYSTAPAHTUMA



Kuva 13: Soittotapahtuma Kurkelan mukaan (Kurkela 1988a: 3)

Ääni-intention toteutus etenee kahdessa vaiheessa: ensin suunnitellaan *esitysstrategia*, joka sitten *toteutetaan* joko mentaalisesti tai soittimella.¹ Esitysstrategian suunnittelu pohjautuu ääni-intention sekä sisäisiin ja ulkoisiin tekijöihin.² Sisäisiä tekijöitä voivat olla esimerkiksi soittajan aiemmat kokemukset tilanteesta (onnistumiset ja epäonnistumiset), taitotaso suhteessa tehtävän vaatimustasoon, kognitiivinen tyyli (henkilökohtainen tapa ratkaista ongelmia) sekä suhtautuminen tilanteeseen (psykofyysinen vireytila). Ulkoisia tekijöitä voivat olla muun muassa soittajan fyysiset mitat, soittimen rakenne ja akustinen ympäristö. (Kurkela 1988a ja 1988b, Singer 1982: 190.)

¹Kurkelan soittotapahtumaa kuvaava malli pohjautuu Ellis & Youngin esittämälle modulaarisuushypoteesille (Ellis & Young 1988: 14).

²Esitysstrategian suunnittelu ei ole monissa tapauksissa niinkään käsitteellinen prosessi, vaan se on pikemminkin toiminnallistettua tai automatisoitua hankittujen taitojen soveltamista kulloiseenkin tilanteeseen. (Kurkela 1988a ja 1988b)

4.2 Jousisoittajien käsityksiä intention toteutuksesta

4.2.1 Gerhard Mantel

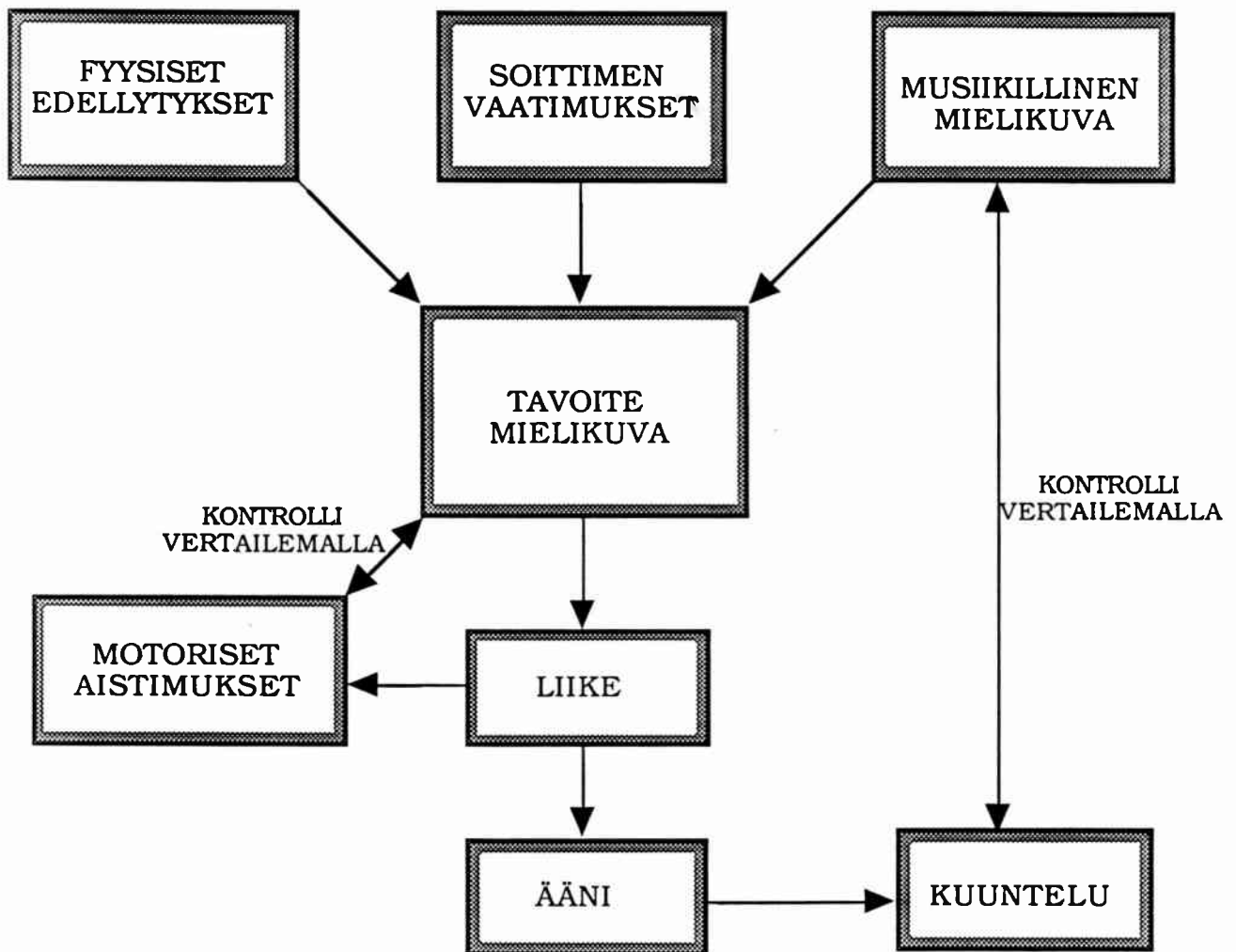
Saksalainen sellisti *Gerhard Mantel* (1975) jakaa soittotapahtuman osiin seuraavasti (Mantel 1975: xvi—xvii; ks. kuva 15):

- 1) Soittaja kaikella mielikuvituksellaan, energiallaan, tunteellaan ja tiedoillaan asettaa lähtökohdat toiminnalleen.
- 2) Soittaja luo *musiikillisen mielikuvan* toivottujen tulosten perusteella.
- 3) Tämän mielikuvan toteuttamiseksi soittaja tarvitsee yksityiskohtaista tietoa *soittimen asettamista vaatimuksista* ja näkemystä (ehkä intuitiivista) siitä mikä on äänen ja sen fyysisen toteutuksen välinen suhde.
- 4) Keholla täytyy olla *fyysinen kyky* muuntaa nämä vaatimukset liikkeiksi. Soitinta täytyy käsitellä tarpeellisella voimalla ja joustavuudella.
- 5) Musiikillinen mielikuva, soittimen vaatimukset ja fyysiset edellytykset synnyttävät *tavoitemielikuvan*. Siihen sisältyy sormen asema otelaudalla ja ennakoitu äänen korkeus ja muistikuva aikaisemmin tehdystä liikkeestä vastaavassa tilanteessa. Vasemman käden toiminnoissa tavoitemielikuva ennakoi liikkeen päättymishetken. Oikean käden toiminnoissa se kontrolloi liikkeen suntaa.
- 6) Tavoitemielikuva aloittaa liikkeen. Tavoite on saavutettavissa usealla tavalla.
- 7) Kuhunkin liikkeeseen liittyy tiettyjä motorisia aistimuksia, jotka voivat olla enemmän tai vähemmän selkeitä.
- 8) Nämä aistimukset kontrolloivat liikettä. Ne vertaavat sitä jatkuvasti (alitajuisesti) tavoitemielikuvaan ja korjaavat sitä mikäli aiheutta ilmenee.

9) Tavoitemielikuva, liike ja aistimukset muodostavat toisiinsa suhteessa olevan kontrollijärjestelmän. Liikettä kontrolloiviin jatkuvasti korjaaviin impulsseihin vaikuttavat myös pienet psyykkiset jännitteet. Ne ovat sisäinen vastine sille, mitä tapahtuu ulkoisesti. Ne heijastavat toivomisen ja pettymisen vaikutuksia.

10) Liike lopuksi toteuttaa äänen.

11) Toinen kontrollijärjestelmä, kuuleminen, vertaa äänitulosta musiikilliseen mielikuvaan, mikä vaikuttaa puolestaan tavoitemielikuvan muokkautumiseen.



Kuva 14: Mantelin käsitys soittamisen prosesseista (Mantel 1975: xvii)

4.2.2 Otto Szende

Unkarilainen viulunsoiton fysiologian tukija *Otto Szende* kuvailee viulunsoiton opiskelua sensomotorisena prosessina seuraavasti (Szende 1971: 170—171; ks. kuva 15):

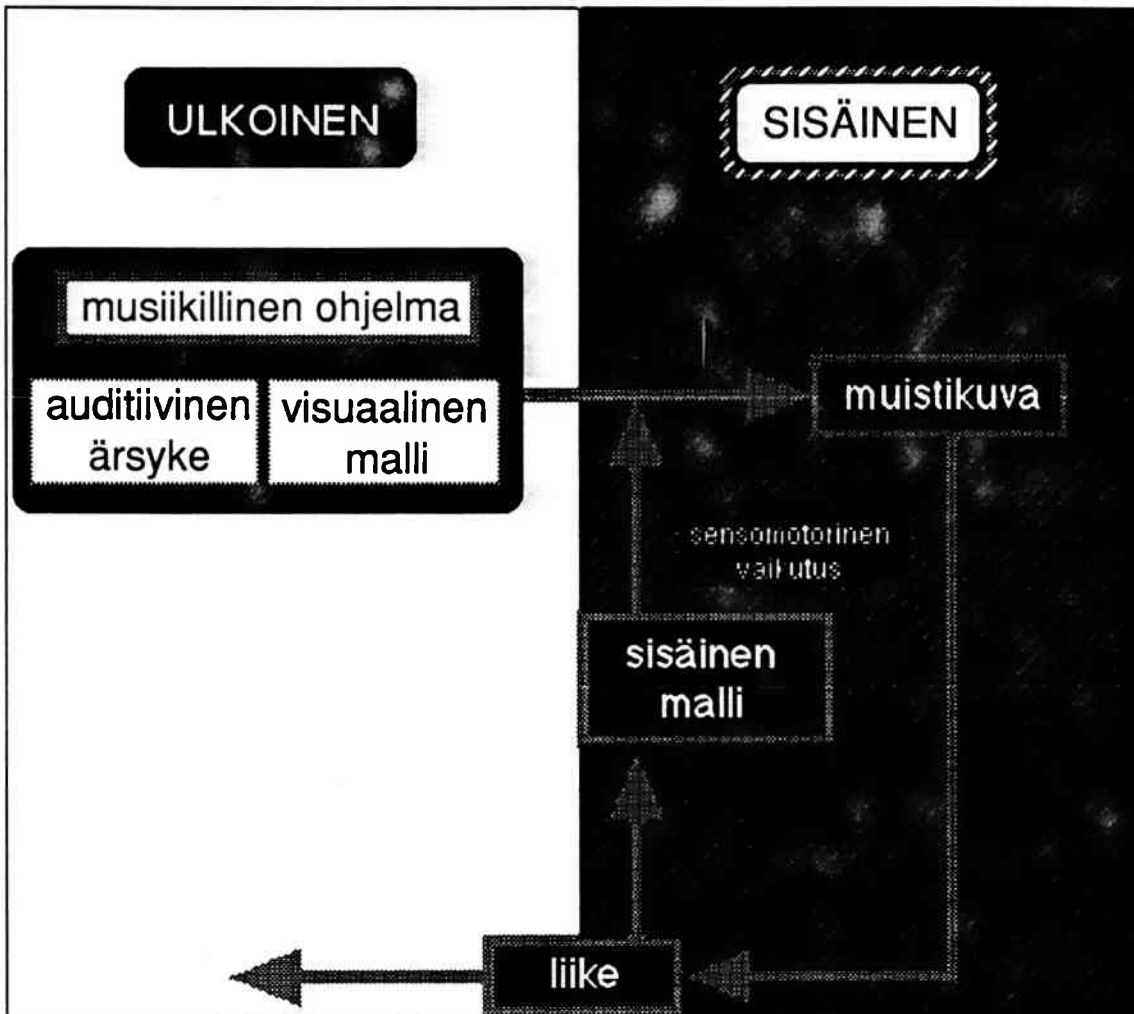
1) Viulisti keskittyy nuottikuvaan. Siitä saatu visuaalinen tieto sisältää aivokuoren kautta välittyvän tiedon motorisesta koneistosta. Sisäinen kuuleminen on synkroonissa visuaalisen kuvan kanssa (Teplov 1947). Sisäinen kuuleminen liittyy siten osaltaan motoriseen liikemielikuvaan.

2) Harjoittelu vaikuttaa esittämisessä tarvittavien motoristen mielikuvien jaksottaiseen organisoitumiseen motoriseksi skeemaksi. Sormien ja muun motorisen liikeorganin toiminta on vielä epätäydellistä, keskittyminen painottuu motoriseen suoritukseen. Kuunteleminen auttaa kontrolloinnissa. Aluksi kuuntelemisella on vähäisempi osuus, mutta taidon edistyessä se aktivoituu yhä enemmän.

3) Huolellinen liikkeiden kertaaminen auttaa painamaan onnistuneet liikkeet muistiin. Visuaalinen kontrolli muuttuu vähitellen tarpeettomaksi niin nuottikuvan kuin fyysisten liikkeiden suhteen. Motorisesta järjestelmästä tulevat palautesignaalit ottavat vähitellen vastuun motoristen kuvien kontrolloinnista. Ensimmäisestä liikkeestä saatu palaute aloittaa seuraavan jne. Kuuntelemisesta tulee täydentävänä osatekijänä hallitseva kontrollointimuoto. Tulkinnan tekniikka muotoutuu.

4) Edelläkuvatut toiminnot vaikuttavat suuresti viulistin psyykeen. Kun fyysinen liikesuoritus kehittyy, vanhoja muistikuvia palautuu mieleen ja uusia, erilaisia syntyy. Vähitellen toiminnalle vakiintuu tunnetausta. Vähittäin tapahtuva motorisen suorituksen automatisoituminen sallii huomioon kiintymisen aiempien tunnekokemusten vertaamiseen. Soittaja kykenee kytkemään soitettavana olevaan teokseen elämänsä aikana kertyneitä kokemuksia. Musiikin herättämät tunteet ja intentio näiden tunteiden ilmaisemiseksi muodostavat uuden huomion kohteen. Samalla ne muodostavat myös lopullisen toiminnan

kontrollin ja sen tavoitteen: vilulun soitto muuttuu musiikiksi.



Kuva 15: Soiton oppimisen sensomotorinen prosessi Szenden mukaan (Szende 1971: 170)

4.3 Shafferin käsityksiä intention toteutuksesta

Ajatus intentiosta ja toteutuksesta on lähtökohtana Shafferin (1976) artikkelissa "Intention and Performance", jossa pianonsoitto rinnastetaan taitona konekirjoitus- ja puhetaitoon. Shaffer perustelee taitojen rinnastusta sillä, että niissä kaikissa tuotetaan suoritustuloksia jatkuvana jonoa, määrätyssä järjestyksessä ja usein nopeassa tempossa. (Mts. 375.) Hänen hypoteesinsa on, että suoritustuloksen intentio käännetään kahdessa toisiaan seuraavassa vaiheessa. Ensimmäinen representaatio kontrolloi ajoitusta ja ilmaisullisia аспекteja ja toinen representaatio on komentojen jono, joka valvoo suoritustuloksen toteutumista. Intention käsite viittaa Shafferin mukaan "ainoastaan niihin [mentaalisiin] ohjelmiin, jotka ovat tarpeeksi spesifisiä käännettäviksi suoraan suoritustuloksiksi". (Mts. 376.) Soittamisesta hän toteaa, että siinä intention kääntäminen suoritustulokseksi on automaattista sääntöjen ja toimintojen soveltamista.

Myöhemmässä artikkelissaan Shaffer (1981) esittelee pianonsoittoa koskevien kokeiden tulokset, jotka perustuvat vuoden 1976 artikkelin hypoteeseihin. Erityisesti hän on kiinnostunut motorisen itsenäisyyden luonteesta ja liikkeen ajoituksen ongelmista. Hän käyttää uutena lähestymistapana motorisen ohjelmoinnin teoreettista viitekehystä ja määrittelee tutkimuksensa tavoitteeksi motorisen ohjelmoinnin mekanismien selvittämisen. Suurin muutos Shafferin aiemmin käyttämässä terminologiassa on se, että hän korvaa termin suoritustulos (output response) termillä motorinen ohjelma (motor program). Motorisen ohjelman Shaffer määrittelee mekanismiksi, joka mahdollistaa liikesarjan koordinoinnin. Se sisältää aiotun toiminnan representaatiot ja prosessit, jotka kääntävät ne liikesarjaksi. (Mts. 326—327.) Motorinen komento puolestaan määrittelee pikemminkin liikkeen päämäärän kuin lihastoimintojen yksityiskohdat. Liikkeen päämäärä voi määritellä ehdot liikkeen päättymiselle siten, että liike loppuu silloin kun ehdot täyttyvät. (Mts. 331.) Koetilanteessa konserttitason

pianistit soittivat flyygeliä, jonka koskettimistoon oli anturein kytketty tietokoneeseen. Tulokset antavat aiheen olettaa, että liikerepresentaatio koodataan kahteen komentojonoon, yksi kummallekin kädelle. (Mts. 355.)

Yhteenvetona totean, että Kurkelan, Szenden, Mantelin ja Shafferin edelläesitetyistä näkemyksistä etenkin Kurkelan ja Shafferin tutkimukset antavat hyvän lähtökohdan soittamisen mallintamisen käsitteenmäärittelylle. Kurkelan erittelemät tulkinnan ja toteutuksen suhteet täydennettynä Shafferin määrittelemällä motorisen ohjelman käsitteellä olen valinnut kehittämäni sellonsoiton ääni-intentioidenn toteutusvaihtoehtojen systematiikan toimintateoreettiseksi viitekehykseksi.

Seuraavaksi esittelen systematiikan sekä sovellan produktioteoriaa sellonsoiton kognitiivisten toimintojen kuvaamiseen.

5. KOHTI SELLONSOITON KOGNTION MALLIA

5.1 Ääni-intention toteutusvaihtoehtojen systematiikka

Ääni-intention ja toteutuksen välistä suhdetta kuvaamaan olen kehittänyt luokitusjärjestelmän. Sen taustalla on soittajan kokemukseen perustuva intuitiivinen tieto siitä, miten sellon rakenne (lähinnä nelikielisyys, tallan kaarevuus ja jousen rakenne) ja soittotavat rajaavat ääni-intention toteuttamista. Luokituksen periaate on yksinkertainen:

JOS ääni-intentio on p ,
NIIN motorinen ohjelma on q .

Ääni-intention ajatellaan koodatuksi paitsi tieto nuottimerkin perusmerkityksestä myös siihen liittyvä taiteellinen idea. Siten ääni-intention voidaan ajatella sisältävän ilmaisullisen suunnitelman, joka sisältää ääni-tapahtuman strukturointiin liittyvät asiat: fraseerauksen, agogiikan, dynamiikan, intensiteetin jne.

Motorisen ohjelman käsitteen olen valinnut kuvaamaan toteutusvaihtoehtojen liikesuoritusta. Motorisella ohjelmalla tarkoitetaan mekanismia, joka mahdollistaa liikesarjan koordinoinnin, ja sisältää aiotun toiminnan kuvauksen ja toiminnot, jotka kääntävät sen liikesarjaksi. (Shaffer 1981: 326—327.) Motorinen ohjelma toimii soittamisen yhteydessä Shafferin mukaan seuraavasti. Prosessointi tapahtuu kahdessa ajallisesti päällekkäisessä vaiheessa. Ensimmäinen vaihe lukee nuotit ja kääntää ne nuottijonoksi, toinen vaihe laatii nuottikoodien määrittämät motoriset komennot, muodostaa niistä jonon puskurimuistiin ja kääntää ne yksi kerrallaan soittoliikkeiksi. (Mts. 328.)

Motoristen ohjelmien suunnittelu sellonsoitossa pohjautuu tapaan hahmottaa käsien roolijako. Alan kirjallisuudessa vallitsee yhtenäinen käsitys siitä, että vasemman käden

toiminta ajoittuu ennen oikeaa kättä.¹ Selvimmin tämä tulee ilmi kaksoisäänten ja sointujen soitossa: vasemman käden sormet pidetään paikallaan riippumatta siitä, soitetaanko jousikädellä (tai näppäilemällä) äänet yhtäaikaisesti vai perättäisesti. Motorisen ohjelman käsite sopii erityisen hyvin vasemman käden toiminnan kuvaajaksi, edellyttäähän vasemman käden sormien osumatarkkuus otelaudalla aina säveltasojen huolellista ennakkointia² Etenkin lyhytkestoisen suorituksen aikana ei liikkeiden korjaamiseen ole aikaa. Pitempien äänten soitossa taas säveltason korjaaminen kuuluu häiritsevänä. Jousikädellä puolestaan on äänen toteuttajan rooli. Rytmisen rakenteen toteuttajana se toimii "reaaliajassa". Ennakkointia esiintyy tosin myös jousikäden toiminnassa (esim. nopeatoistossissa, ballistisissa jousituksissa ja valmistautumisessa yksittäisen äänen aloitukseen).

Motorisen ohjelman käsite, jota käyttävät mm. Pew, Keele ja Shaffer (ks. Shaffer 1976 ja 1981), olisi mahdollista korvata muilla motorisissa teorioissa käytetyillä termeillä kuten motorinen toimintasuunnitelma (Miller et al.), liikkeiden motorinen rakenne (Bernstein), liikkeen muistijälki (Adams) tai skeema ja skeematapaus (Schmidt). (Ks. Singer 1981: 110—127.) Lähimmäksi motorisen ohjelman käsitettä tulee merkitykseltään Schmidtin käyttämä skeematapaus. Hänen mukaansa skeema valvoo skeematapausten koordinaatiota. Shafferin pianonsoiton alueella tekemät tutkimukset (1976 ja 1981) puolustavat kuitenkin motorisen ohjelman käsitteen käyttämistä soittamisen yhteydessä.

¹Ks. esim. Mantel (1972); Szende (1977); Szende - Nemessuri (1971); pedagogisia teoksia esim. Rolland (1974); Yampolsky (1967); Flesch (1966); Galamian (1964). Tällä ei tarkoiteta sitä, etteikö jousitusten suunnittelu saataisi vaikuttaa sormitusten valintaan.

²Ennakoinnilla tarkoitetaan kykyä valmistautua tulevien ärsykkeiden varalta ja siten mukauttaa suoritus vaihtelevien olosuhteiden vaatimalla tavalla (Nummenmaa et al. 1966: 359).

5.2 Systematiikan kriteerit

Ääni-intention ja toteutuksen välistä suhdetta kuvaava luokitus voidaan ajatella sellaisen kognitiivisen toiminnan kuvaukseksi, jossa haetaan vastausta kysymykseen: JOS ääni-intentio on *p*, NIIN mikä on mahdollinen motorinen ohjelma? Ongelmanratkaisu etenee asettamalla osaongelmia ja ratkaisemalla ne.³ Olen määritellyt neljä osaongelmaa, joista kunkin ratkaisu vastaa samalla yhden luokitustason määrittelyä. Luokitus muodostaa siten *nelitasoisen hierarkkisen järjestelmän*, jossa ylemmällä tasolla tehdyt päätökset ohjaavat siirtymistä alemmille tasoille. Osaongelmat ovat seuraavat:

1. kuinka monella kielellä ääni-intentioon sisältyvät säveltasot soitetaan?
2. montako kieltä soitetaan painettuina?
3. mikä on vapaitten ja painettujen kielten keskinäinen suhde?
4. millä kielillä valitut säveltasot soitetaan?

Osaongelman 1 ratkaiseminen edellyttää tietoa siitä, mitkä rajat soitin asettaa ääni-intention sisältämien säveltasojen toteuttamiselle. Erilaisia mahdollisia tilanteita olen pyrkinyt havainnollistamaan kuvissa 16—19. Avoimet ympyrät (kokonuotit) kuvaavat vapaan kielen säveltasoja ja mustat (neljäsosanuotit) painettuja säveltasoja kolmen oktaavin alueella vapaan kielen säveltasosta ylöspäin. Merkintätapa jättää tarkoituksellisesti avoimeksi rytmisen hahmon ja luonnollisesti myös ääni-intention kommunikatiiviset ominaisuudet. Kuvissa 20—22 on puolestaan esitettyinä kunkin luokan hierarkkinen rakenne.

³Ongelmanratkaisusta kognition ongelmana ks. esimerkiksi Hautamäki 1988.

Kuvat 16 ja 17

1. Luokka: yksi kieli

1.0.0.1	1.0.0.2	1.0.0.3	1.0.0.4
---------	---------	---------	---------

1.1.0.1	1.1.0.2	1.1.0.3	1.1.0.4
---------	---------	---------	---------

2. Luokka: kaksi kieltä

2.0.0.1	2.0.0.2	2.0.0.3
---------	---------	---------

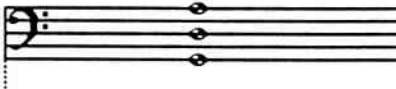
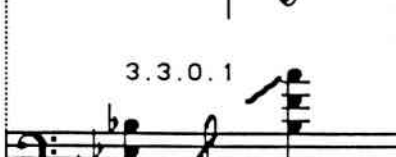
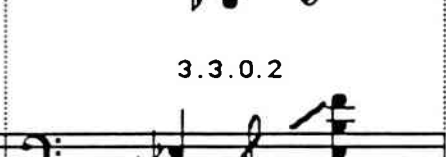
2.1.1.1	2.1.1.2	2.1.1.3
---------	---------	---------

2.1.2.1	2.1.2.2	2.1.2.3
---------	---------	---------

2.2.0.1	2.2.0.2	2.2.0.3
---------	---------	---------

Kuva 18

3. Luokka: kolme kieltä

3.0.0.1 	3.0.0.2 
3.1.1.1 	3.1.1.2 
3.1.2.1 	3.1.2.2 
3.1.3.1 	3.1.3.2 
3.2.1.1 	3.2.1.2 
3.2.2.1 	3.2.2.2 
3.2.3.1 	3.2.3.2 
3.3.0.1 	3.3.0.2 

Kuva 19

4. Luokka: neljä kieltä

4.0.0.0

4.1.1.0 4.1.2.0 4.1.3.0 4.1.4.0

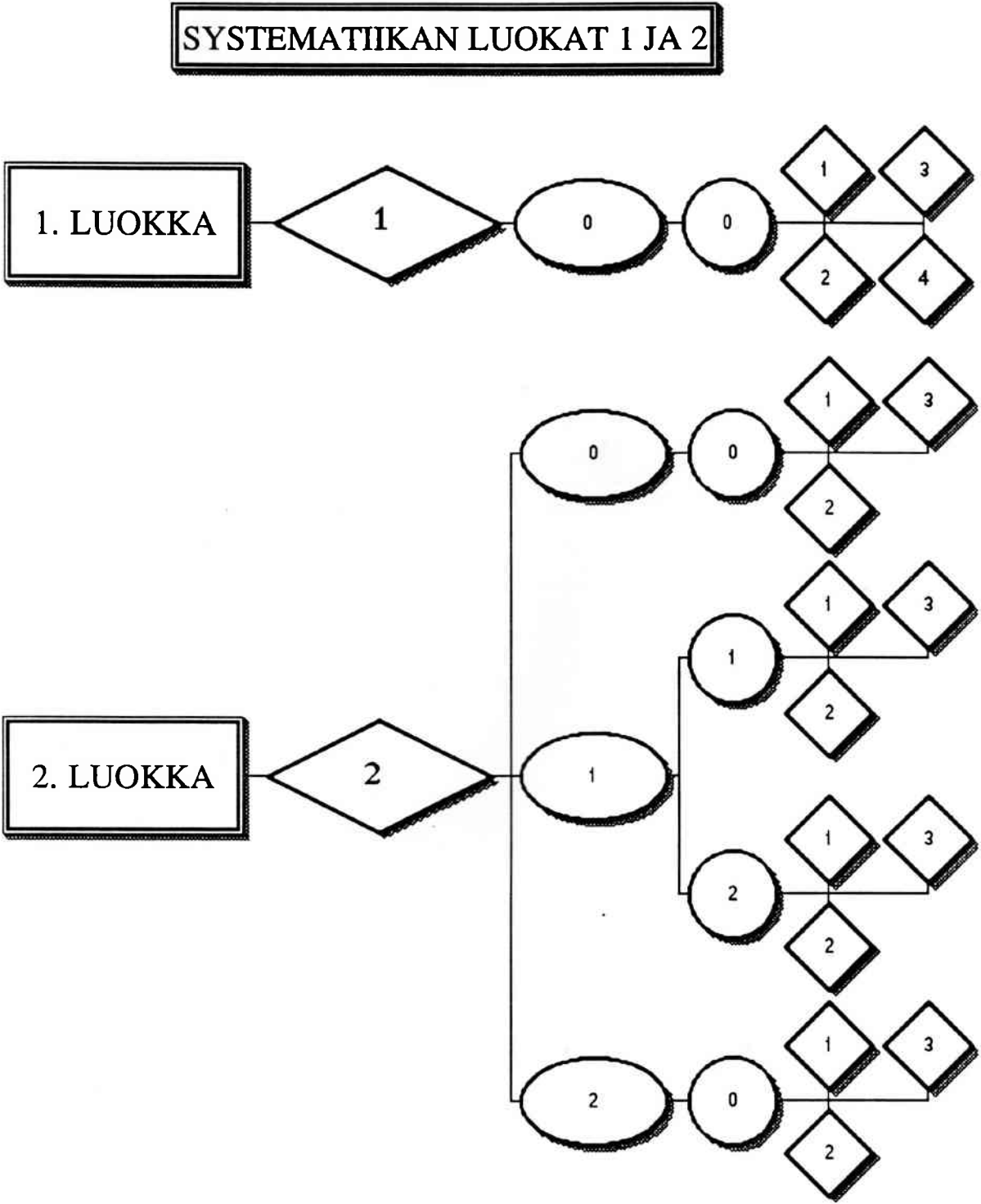
4.2.1.0 4.2.2.0 4.2.3.0

4.2.4.0 4.2.5.0 4.2.6.0

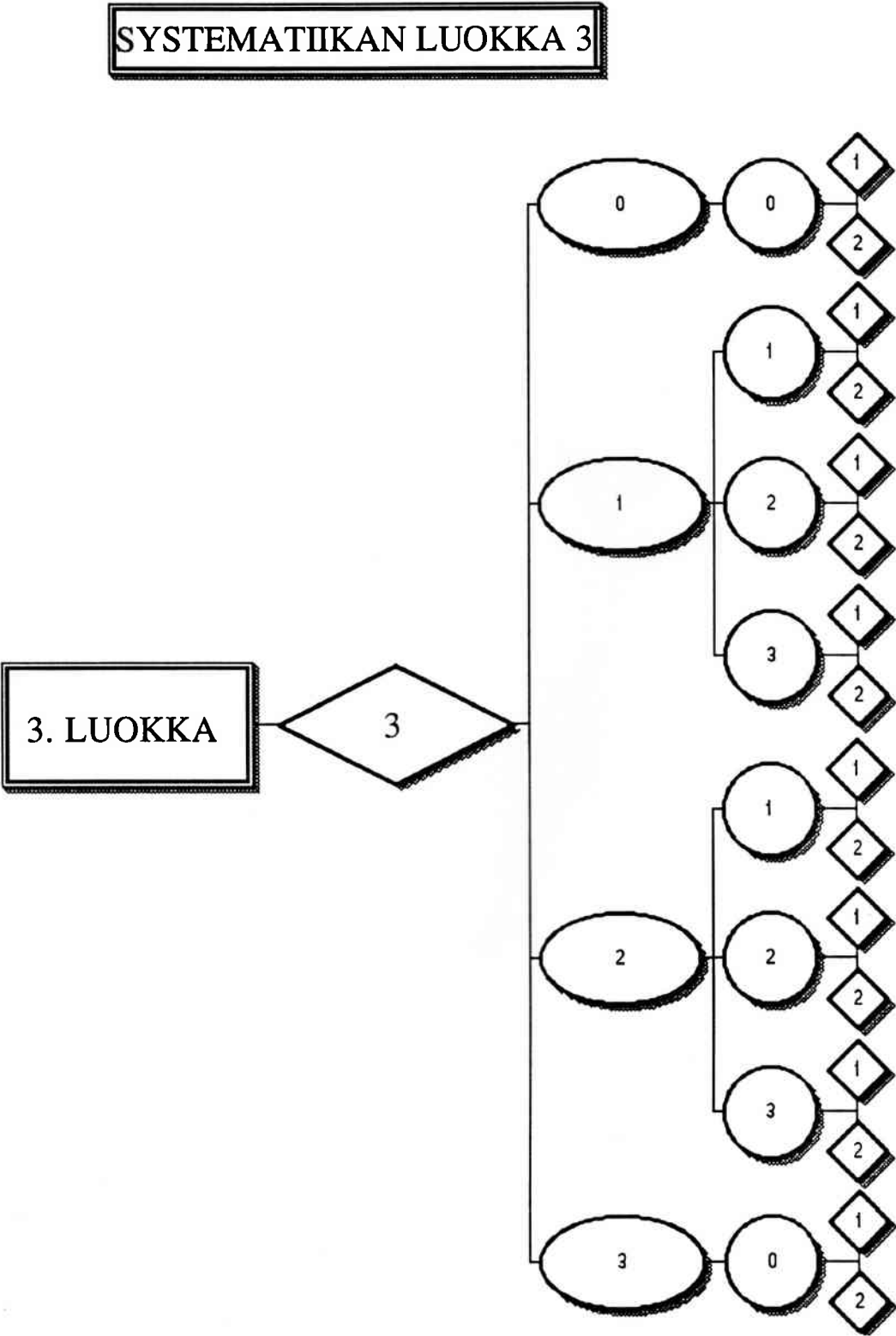
4.3.1.0 4.3.2.0 4.3.3.0 4.3.4.0

4.4.0.0

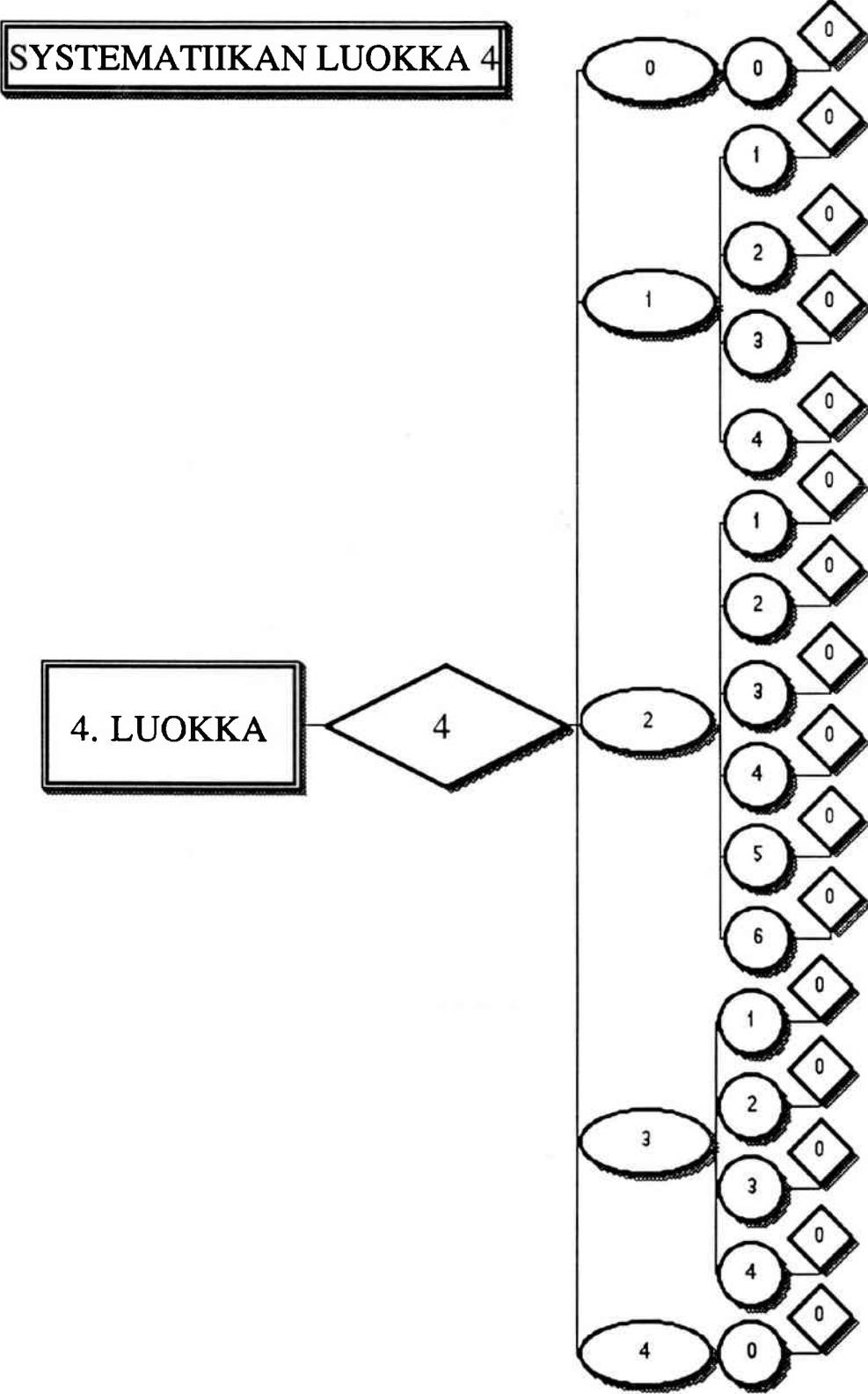
Kuva 20



Kuva 21



Kuva 22



Päätös siitä, mikä neljästä mahdollisesta ensimmäisen tason luokasta valitaan, on monen sisäisen ja ulkoisen tekijän yhteisvaikutuksen tulos. Tässä yhteydessä sivuutetaan valintojen motiivien pohtiminen ja tarkastellaan vain, mitkä ovat päätöksen seuraukset luokituksen kannalta. Jos valinta on ensimmäinen luokka (luokka 1 eli ääni-intentio *p* toteutetaan yhdellä kielellä), niin *osaongelma 2* on valita, soitetaanko kieli painettuna vai vapaana. Jos valinta on kaksi kieltä (luokka 2), niin vaihtoehtoja on kolme: molemmat kielet vapaita, yhtä kieltä tai molempia painetaan. Jos valinta on kolme kieltä (luokka 3), niin vaihtoehdot lisääntyvät neljään riippuen siitä, montako kolmesta mahdollisesta kielestä painetaan. Neljäs luokka jakautuu viiteen alaluokkaan saman periaatteen mukaan.⁴

Kolmas luokituksen vaihe (*osaongelma 3*) on päättää, mikä on vapaitten ja painettujen kielten keskinäinen suhde. Ensimmäisen pääluokan kohdalla kysymys on tarpeeton, koska toteutus tapahtuu vain yhdellä kielellä. Tulosta voidaan merkitä nollalla). Toisen pääluokan tapaus, jossa yksi kieli on painettuna (2.2) edellyttää päätöstä siitä, painetaanko ylempi vai alempi kieli. Muissa tilanteissa siirrytään suoraan neljänteen vaiheeseen. Kolmannen pääluokan tapaukset, joissa painetaan kahta ja kolmea kieltä (3.2 ja 3.3) sisältävät molemmat kolme alaluokkaa. Neljännen pääluokan kohdalla vastaus kolmannen vaiheen kysymykseen on samalla lopullinen luokitus, sillä painettujen kielten keskinäinen suhde kertoo samalla millä kielillä säveltasot soitetaan. Neljännessä pääluokassa yhden painetun kielen luokka (4.1) jakaantuu neljään, kahden painetun kielen luokka (4.2) kuuteen ja kolmen painetun kielen luokka neljään alaluokkaan. Ensimmäisellä (4.0) ja viimeisellä (4.4) luokalla ei ole alaluokkia (puuttumista merkitään nollilla).

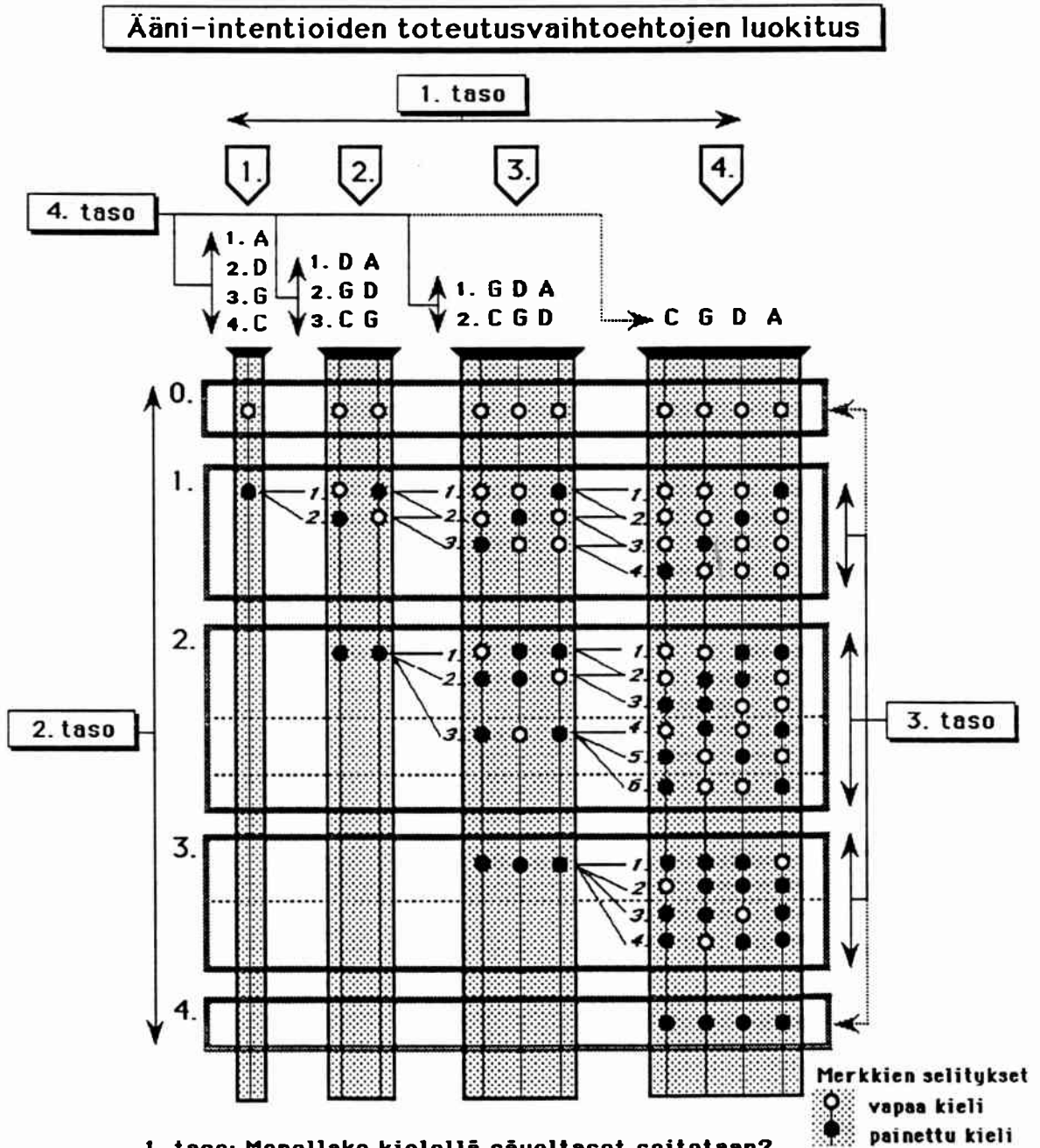
⁴Toisen tason numeraaliseksi merkintätavaksi olen valinnut 0—4, koska se kuvaa havainnollisemmin kuin 1—5 painettujen kielten lukumäärää.

Viimeisessä vaiheessa (*osaongelma 4*) päätetään, millä kielillä edeltävissä kolmessa vaiheessa valitut säveltasot toteutetaan. Ensimmäisessä pääluokassa vaihtoehtoja on neljä, toisessa kolme, kolmannessa kaksi ja kuten edellä todettiin neljännessä ei yhtään (ks. kuva 23).

Seuraava eli viides mahdollinen luokitustaso olisi vasemman käden otteen muoto. Luonnos viidennestä tasosta on esitetty kuvassa 24, jossa on taulukoitu suppean, normaalin ja laajan otteen ja käänteisotteiden sekä niitä vastaavien intervallien esiintyminen ensimmäisessä, neljännessä ja kahdeksannessa asemassa.⁵ Kuudes luokitustaso olisi otteen tarkka paikka otelaudalla eli sormitus perinteisessä merkityksessään. Tämä lisäisi tapausten määrän kymmeniin tuhansiin, jolloin tapausten luokittelu edellyttäisi tietokoneavusteista laskentaa.

⁵Esikuvana olen käyttänyt Stillerin huomattavasti yksinkertaisempi taulukko sellon otteiden ja intervallien suhteista (Stiller 1985: 358).

Kuva 23



1. taso: Monellako kielellä säveltasot soitetaan?
2. taso: Montako kieltä soitetaan painettuna?
3. taso: Mikä on vapaitten ja painettujen kielten suhde?
4. taso: Millä kielillä valitut säveltasot soitetaan?

Kuva 24

Vasemman käden otteet ja niitä vastaavat intervallit vierekkäisillä kielillä

		♀	1	2	3	4
		I IV VIII	I IV VIII	I IV VIII	I IV VIII	I IV VIII
4	norm.	1 1 1 p9 s9 s9	s3 s3 s2 p7 p7 8	4 4 s3 s6 s6 p7	y4 y4 4 p6 p6 s6	5 5 5 5 5 5
	min.	p2 p2 p2 s7 s7 s7	s3 s3 s3 p7 p7 p7	4 4 4 s6 s6 s6	y4 y4 y4 p6 p6 p6	5 5 5 5 5 5
	max.	s2 p3 s3 s9 p10 s10	s2 s2 p2 8 8 p9	s3 s3 p3 p7 p7 s7	4 4 s3 s6 s6 p7	5 5 5 5 5 5
3	norm.	s2 s2 s2 8 8 8	4 4 s3 s6 s6 p7	y4 y4 4 p6 p6 s6	5 5 5 5 5 5	
	min.	s3 s3 s3 p7 p7 p7	4 4 4 s6 s6 s6	y4 y4 y4 p6 p6 p6	5 5 5 5 5 5	
	max.	s2 s2 p2 s9 s10 11	s3 s3 s2 p7 p7 8	4 4 s3 s6 s6 p7	5 5 5 5 5 5	
2	norm.	s3 s3 s3 p7 p7 p7	y4 y4 4 p6 p6 p6	5 5 5 5 5 5		
	min.	4 4 4 s6 s6 s6	y4 y4 y4 p6 p6 p6	5 5 5 5 5 5		
	max.	s3 s3 p3 8 s9 9	4 4 s3 s6 s6 p7	5 5 5 5 5 5		
1	norm.	4 4 4 s6 s6 s6	5 5 5 5 5 5			
	min.	y4 y4 y4 p6 p6 p6	5 5 5 5 5 5			
	max.	4 4 s3 s7 8 p9	5 5 5 5 5 5			
♀	norm.	5 5 5 5 5 5				
	min.	5 5 5 5 5 5				
	max.	5 5 5 5 5 5				

Merkkien selitykset:

♀	Peukalo		Vasemmallä oleva sormi alakielellä, ylhäällä oleva sormi yläkielellä
1	Etusormi		
2	Keskisormi		
3	Nimetön		Ylhäällä oleva sormi yläkielellä, vasemmallä oleva sormi alakielellä
4	Pikkusormi		
norm.	Otetyyppi		
min.			
max.			
I, IV, VIII	Asema	p6, y4	Intervalli

5.3 Sellonsoitto produktioina

Pyrin seuraavaksi soveltamaan produktioteoriaa sellonsoiton kognitiivisten toimintojen kuvaamiseen. Aluksi havainnollistan produktioiden toimintaa tilanteessa, jossa sellistillä on tehtävänäään soittaa α -sävel (220 Hz). Sen jälkeen pyrin esittämään ääni-intention toteutus-systematiikan produktioina ja lopuksi hahmottelen mahdollisia produktioita esitysstrategian suunnitteluun.

Korostan, että produktiot ovat hypoteettisia ja perustuvat introspektiiviseen tietoon sellonsoitosta. Näin ollen ne lähinnä eksplikoivat tutkijan subjektiivista kokemusta.

5.3.1 Nuottimerkkiä vastaavan äänitapahtuman tuottaminen produktioina

Sellistimme, kuten alussa (luvussa 1.3) todettiin, tietää kuusitoista α -sävelen toteutusvaihtoehtoa ja osaa soittaa niistä kolme. Soittotilanteessa sellisti toimii produktiosysteemin avulla kuvattuna seuraavasti. Koodaus-prosessissa hän tallentaa tavoitteensa, α -sävelen soittamisen, työmuistiinsa. Koodattua tietoa hän vertaa sitten kaikkien produktiomuistissa olevien produktioiden ehto-osiin. Oletetaan, että deklarativisiin tietoyksiköihin D1, D3 ja D10 (ks. listaa s. 4) liittyvien produktioiden P1, P2 ja P3 ehto-osat vastaavat työmuistissa olevaa tietoa. Kyseiset produktiot voisivat olla esimerkiksi seuraavanlaisia:

- | | |
|-------|---|
| P1JOS | tavoitteena on soittaa α -sävel sellolla
ja α -sävel voidaan soittaa sellon vapaalla A-kielellä (D1) |
| NIIN | laita jousi A-kielelle
ja vedä jousella
ja tavoite on saavutettu |
| P2JOS | tavoitteena on soittaa α -sävel sellolla
ja α -sävel voidaan soittaa sellon D-kielellä neljänneestä
asemasta etusormella (D3) |
| NIIN | laita vasemman käden etusormi neljänteen asemaan
otelaudalle, jousi D-kielelle
ja vedä jousella
ja tavoite on saavutettu |
| P3JOS | tavoitteena on soittaa α -sävel sellolla |

ja α -sävel voidaan soittaa sellon G-kielellä kuudennesta asemasta nimettömällä sormella (D10)
NIIN laita vasemman käden nimetön sormi kuudenteen asemaan otelaudalle, jousi G-kielelle
ja vedä jousella
ja tavoite on saavutettu

Sellisti muodostaa produktioista P1—P3 konfliktijoukon. Toimintasyklin toisessa vaiheessa tästä joukosta aktivoituu produktio, jonka määrittelemän toiminnan hän toteuttaa. Konfliktin resoluutio on tarpeeton mikäli tavoitteen tieto liittyy vain yhteen tietorakenteen tietoyksikköön, eli soittaja osaa vain yhden toteutusvaihtoehdon. Tällaisessa tilanteessa aktivoituu suoraan toiminnan toteuttava produktio. (Anderson 1983: 17—20, 47—48, 132—156; Saariluoma 1988: 31.)

Oletetaan, että tällä kertaa aktivoituu produktio P2 ja sellisti toteuttaa sen määrittelemän toiminnan. Valitun produktion toimivuudesta saamansa palautteen hän arvioi ja tallettaa produktiomuistiin. Saadut kokemukset produktioiden toimivuudesta vaikuttavat hänen ratkaisuihinsa tulevissa valintatilanteissa.

Sellisti tarvitsee kuitenkin edelläkuvattua täsmällisempää, rajatumpaa tietoa ääni-intention ja toteutuksen välisistä suhteista. Seuraavassa luvussa pyrin valaisemaan näitä suhteita kehittämäni systematiikan avulla.

5.3.2 α -sävelen toteutusvaihtoehtojen luokittelu

Palataksemme esimerkkitapaukseen voimme nyt luokitella α -sävelen soittamiseen liittyvän tietopankin kuusitoista toteutusvaihtoehtoa. Oletamme, että sellisti päättää toteuttaa ääni-intention yhdellä kielellä ja valitsee siten ensimmäisen pääluokan. Tämä tuntuu tässä yhteydessä sikäli tarpeettomalta päätökseltä, että α -sävelen soittamisen tietopankkiin (ks. sivu 4) ei ole sisällytetty mahdollisia monikielisiä toteutusvaihtoehtoja. Koska on kuitenkin mahdollista soittaa α -sävel useammalla kielellä soittamalla jousella yhtäaikaaisesti kahta vierekkäistä kieltä tai sopivasti peräkkäin ajoittamalla useampia,

tarkastelemme myöhemmin tilannetta, jossa kaikki teoreettiset mahdollisuudet ovat mukana.

Seuraavaksi sellistimme valitsee, soittaako hän *a*-sävelen vapaalla kielellä vai painettuna. Hän päätyy jälkimmäiseen vaihtoehtoon ja valitsee näin ollen luokan 1.1 (yksi kieli painettuna). Jäljelle jää kolme vaihtoehtoa, jotka vastaavat tietopankin tietoyksiköitä D2—D6, D7—D11 ja D12—D16. D-kielen tietoyksiköt kuuluvat luokkaan 1.1.0.2, G-kielen luokkaan 1.1.0.3 ja C-kielen luokkaan 1.1.0.4. Sellisti päätyy luokkaan 1.1.0.2 ja valitsee siis lopullisen toteutusvaihtoehdon tietoyksiöistä D2—D6. Kuten edellä todettiin, ensimmäisen pääluokan valinnoissa riittää kolmen tason läpikäyminen, sillä painettujen ja vapaitten kielten keskinäinen suhde (3. luokituksen taso) määritellään vain muissa kolmessa pääluokassa.

Produktioina voisi edelläkuvattu luokitteluprosessi olla esimerkiksi seuraavanlainen:

- P4JOS tavoitteena on luokitella ääni-intention *p* toteutusvaihtoehdot
- NIIN aseta välitavoitteiksi määritellä
1. monellako kielellä motorinen ohjelma voidaan toteuttaa
 2. mitkä sellon vapaita kieliä vastaavat säveltasot toteutetaan sormitettuina ja mitkä vapaina
 3. mikä on painettujen ja vapaitten kielten keskinäinen suhde
 4. millä kielillä sormitetut säveltasot sijaitsevat.
- P5JOS tavoitteena on määritellä, monellako kielellä motorinen ohjelma voidaan toteuttaa
- ja sellon kielet vastaavat säveltasoja *C*, *G*, *d* ja *a* ja *dis/es*-säveltasosta *a*-säveltasoon on kolme otelautavastinetta
- NIIN *a*-sävelellä on yksi vapaa kieli -vastine ja kolme otelautavastinetta, jolloin ensimmäisen tason luokka on
1. (*p* voidaan toteuttaa yhdellä kielellä)
- ja pidä tavoitetta saavutettuna
- ja vaihda tavoitetta.
- P6JOS tavoitteena on määritellä, mitkä sellon vapaita kieliä vastaavat säveltasot toteutetaan sormitettuina, mitkä vapaina (taso 2: luokat 0-4)
- ja on valittu ensimmäisen tason luokka 1., jolloin *a*-sävelellä on yksi vapaa kieli -vastine ja kolme otelautavastinetta
- NIIN valitse sormitettuna toteutettava vaihtoehto, jolloin tason 2. luokka on 1.1

ja **pidä** tavoitetta saavutettuna
ja **vaihda** tavoitetta.

P7JOS tavoitteena on määritellä painettujen ja vapaitten kielten
keskinäinen suhde
ja on valittu ensimmäisen tason luokka 1. ja toisen tason
luokka 1.

NIIN ja valinnan vaihtoehtoja ei ole
kolmannen tason luokka on 1.1.0
ja **pidä** tavoitetta saavutettuna
ja **vaihda** tavoitetta.

P8JOS tavoitteena on määritellä, millä kielellä/kielillä
sormitetut säveltasot toteutetaan
ja on valittu luokka 1.1.0

NIIN ja neljännellä tasolla alaluokat ovat 1.1.0.1-4
valitse neljännen tason luokka 2., jolloin lopullinen
luokitus on 1.1.0.2
ja **pidä** tavoitetta saavutettuna
ja **vaihda** tavoitetta.

Seuraavaksi produktiosysteemi aktivoi produktion P2 ja sellisti soittaa α -sävelen D-kielellä etusormella neljänneestä asemasta. Vaikka produktio P2 on tässä numeraalisesti edellä luokituksen produktioita, on sen asema hierarkiassa kaksi tasoa alempana produktiota P8 (välitaso olisi otteen määrittely).

Käytännössä taito soittaa α -sävel kolmella tavalla (produktiot P1—P3) ei luonnollisesti riitä. Sellistin on vähitellen harjoittelun kautta lisättävä taitoihinsa muut käyttökelpoiset toteutusvaihtoehdot deklaratiiivisesta tietopankista. Sen lisäksi sellisti tarvitsee niin tiedollista kuin taidollista tietoa α -sävelen kahden ja kolmen kielen toteutusvaihtoehdoista. Voimmekin laajentaa nyt toteutusvaihtoehtojen tietopankin koskemaan kahden ja kolmen α -sävelen yhtäaikaista soittoa seuraavasti:

D17	= D1+D2
D18	= D1+D3
D19	= D1+D4
D20	= D1+D5
D21	= D1+D6
D22	= D2+D10
D23	= D2+D11
D24	= D1+D2+D10
D25	= D1+D2+D11

Tietopankin lopullinen luokitus on tällöin seuraavanlainen:

D1	= 1.0.0.1
D2—D6	= 1.1.0.2
D7—D11	= 1.1.0.3
D12—D16	= 1.1.0.4
D17—D21	= 2.1.2.1
D22—D23	= 2.2.0.2
D24—D25	= 3.2.2.1

5.3.3 Motoristen ohjelmien suunnittelu produktioina

Lopuksi tarkastelemme, miten produktiosysteemin avulla on mahdollista kuvata molempien käsien motoristen ohjelmien suunnittelua (ks. kuva 25). Produktiona ilmaistuna näyttäisi käsien roolijako suunnittelussa seuraavalta:

- P9JOS tavoitteena on suunnitella ääni-intention toteuttamiseen liittyvät motoriset ohjelmat
ja ääni-intentio on suunnittelematon
NIIN aseta välitavoitteiksi
1. suunnitella vasemman käden motoriset ohjelmat
2. suunnitella oikean käden motoriset ohjelmat

Vasemman käden liikesuorituksen suunnittelu liittyy lähinnä sormitusten laatimisen ongelmiin. Koska edellä esitetyt produktiot P4—P8 kuvaavat jo varsin kattavasti suunnittelun etenemistä vasemman käden kannalta, siirrymme suoraan jousikäden osuuteen.

Oikean käden motoristen ohjelmien suunnittelun pohjana on ääni-intentio ja vasemman käden valmiiksi suunniteltu motorinen ohjelma. Ensimmäinen tavoite on valita, toteutetaanko ääni-intentio jousella vai näppäilemällä. Päätös tästä perustuu useimmiten nuottikuvaan merkittyihin esitysohjeisiin.

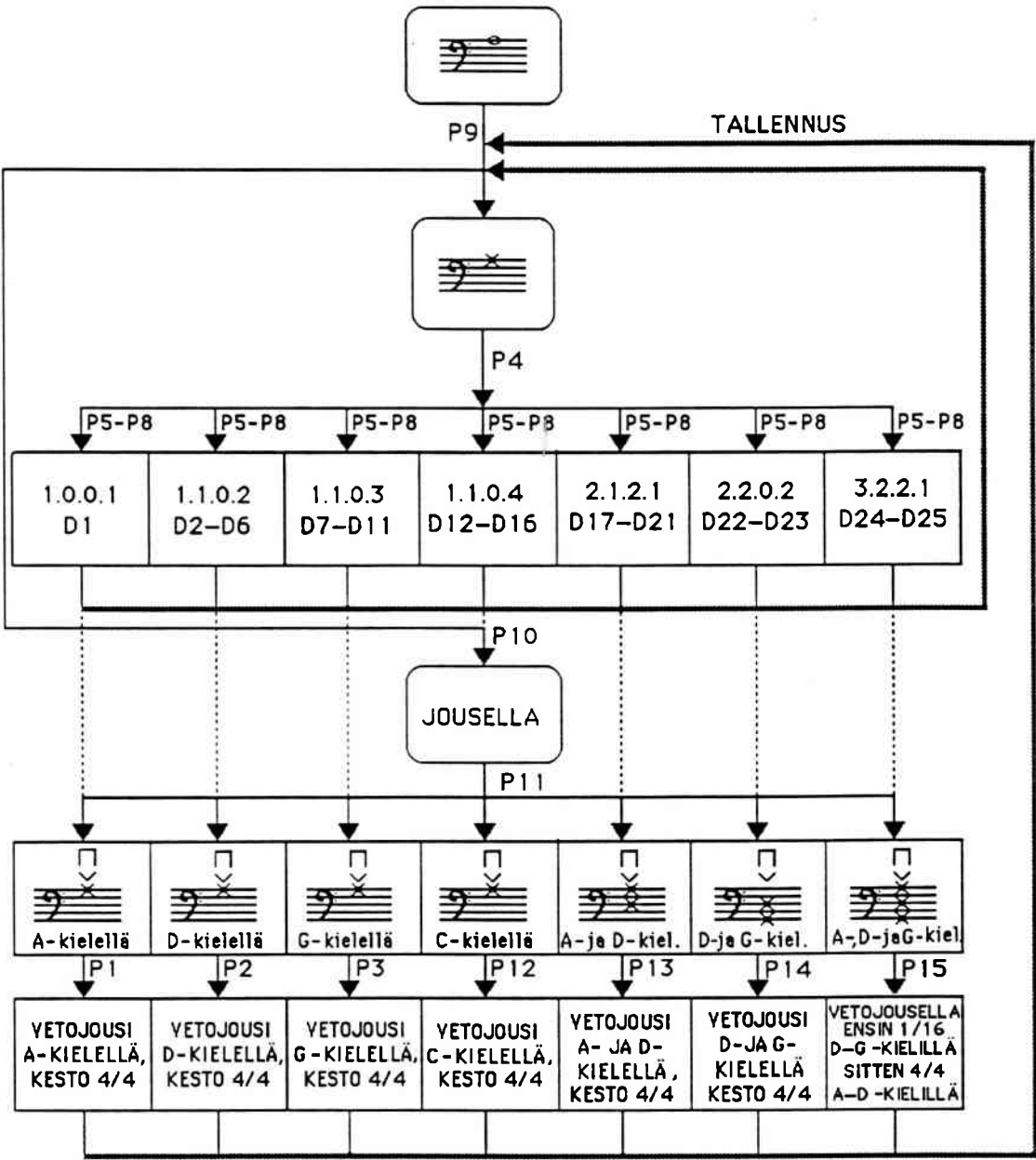
- P10JOS tavoitteena on suunnitella ääni-intention *p* toteutuksen oikean käden motoriset ohjelmat
ja vasemman käden motorinen ohjelma on P2
NIIN aseta välitavoitteiksi määritellä, soitetaanko kieliä jousella vai näppäilemällä
ja jos päätös on jousi, aseta tavoitteeksi suunnitella jousen käytön motoriset ohjelmat
ja jos päätös on näppäily, aseta tavoitteeksi suunnitella näppäilyn motoriset ohjelmat.

Produktio P10 tekee valinnan ja ohjaa toiminnan jousitusten tai näppäilyn suunnitteluun. Jousenkäytön motoriset ohjelmat suunnitellaan kahdessa vaiheessa (P11): ensin valitaan jousituslaji ja sitten määritellään sen toteuttavat motoriset ohjelmat (jousen suunta, nopeus ja kontaktipiste).

P11JOS tavoiteena on suunnitella jousen käytön motoriset ohjelmat
ja vasemman käden motorinen ohjelma on P3
NIIN aseta välitavoitteiksi
1. määritellä jousituslaji
2. suunnitella valittua jousituslajia vastaavat motoriset ohjelmat.

Kuvasta 27 voimme nähdä, mikä vaikutus eri pääluokkien valinnalla on esimerkkitapauksessa käsien toiminnan suunnitteluun. α -sävel on mahdollista toteuttaa kolmessa eri pääluokassa. Yhden kielen toteutusvaihtoehdot kuuluvat alaluokkiin 1.0.0.1, 1.1.0.2, 1.1.0.3 ja 1.1.0.4. Kussakin tapauksessa vasemman käden toiminnan kannalta on huomion arvoista kaikkien kolmen tason välittämä tieto. Oikean käden toiminnan kannalta on keskeistä ainoastaan ensimmäinen ja viimeinen luokka (millä ja monellako kielellä). Kahdella kielellä soittaessa (luokat 2.1.2.1 ja 2.2.0.2) on vasemman käden kannalta samantekevää, soitetaanko kieliä yhtäaikaisesti vai peräkkäin. Myös kolmannen pääluokan tapauksessa (luokka 3.2.2.1) tilanne on vasemman käden kannalta samanlainen. Jousen käytön kannalta ajoituksen vaihtoehtoja on monia. Ääripisteinä ovat kunkin äänen soittaminen peräkkäin tai kaikkien äänten mahdollisimman yhtäaikainen toteutus. Tällä kertaa suunnittelun tulos voisi olla esimerkiksi se, että *legato*-jousituksella soitetaan 1/16-nuotin mittainen kohotahti kahdella keskimmaisella kielellä, minkä jälkeen kahta ylintä kieltä soitetaan kokonuotin ajan (ks. kuva 25).

Kuva 25



6. YHTEENVETO

Sellonsoittoon liittyvän deklarativisen ja proseduraalisen tiedon välistä suhdetta kognitiivisissa prosesseissa tarkasteltiin yhtäältä motoristen teorioiden, produktioteorian ja keinoälysimulaation taustaa vasten sekä toisaalta ääni-intention toteutusvaihtoehtojen luokitusjärjestelmän avulla. Toteutusvaihtoehdot voidaan ajatella soittamisen ohjeistoksi, tietopankiksi. Sovellettaessa luokitusjärjestelmään produktioteoriaa opittujen toteutusvaihtoehtojen ajatellaan muodostavan proseduraalisen tietorakenteen, johon sisältyvät produktiot muodostavat hierarkkisen, soittamista ohjaavan produktiosysteemin. Tämä motivoi edelläkuvatun soittamiseen liittyvän deklarativisen tiedon luokituksen, koska sen avulla on löydettävissä rajat ääni-intentioiden toteutusvaihtoehdoille — määrittelee hän luokitus samalla suunnan, johon oppiminen voi edetä. Luokitusjärjestelmän etuna on myös sen tarjoama mahdollisuus soittosuorituksen koodamiseen tietokoneeseen. Tämä avaa uusia näkökulmia tietokoneavusteiselle esittävän säveltaiteen tutkimukselle.

Soittamisen mallintamisessa produktioteoriaa on toistaiseksi käytetty vähän, joten on ennen aikaista tehdä kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä produktioteorian toimivuudesta.¹ Produktioteorian ongelma soittamisen kuvaajana on, ettei se pyrikkään mallintamaan motorisia suorituksia, vaan "se keskittyy korkean tason kognitioon, siihen mikä antaa ajatukselle suunnan ja kontrolloi siirtymistä ajatuksesta toiseen" (Anderson 1983: ix). Tämä heijastuu mm. siinä, ettei tiedon kuvaustavoissa ole mukana motorisessa suorituksessa keskeistä kinesteettistä koodaustapaa.²

¹Ainoa tämän suuntainen yritys tähän asti on Slobodan teoksessa (1987: 215—228). Kurkela (1988a) on soveltanut teoriaa nuottikuvan ymmärtämiseen.

²Anderson (1983: 46) mainitsee muiksi mahdollisiksi koodaustavoiksi Posnerin (1967, 1973) esittämän motorisen ja/tai kinesteettisen koodin. Ks. myös Kurkela (1988a) sekä muusikon koodaustavoista erityisesti *The New Grove Dictionary of Music..*

Kiinnostavia jatkotutkimuksen aiheita voisivat olisivat olla esimerkiksi systematiikan empiirinen testaaminen sekä esim. PROLOG-sovelluksen kehittäminen Sayegh'in esikuvan mukaisesti. Myös systeemin herättämät pedagogiset ajatukset saattaisivat olla tutkimisen arvoisia.

KIRJALLISUUTTA

- Amato, Nola H. - Tsang C. P. (1988) *Computers in Music Education: An Application to Keyboard Instruction*. A paper presented at the XVII ISME Conference, Canberra, in August 1988.
- Anderson, R. John (1983) *The Architecture of Cognition*. Cambridge and London.
- Bloom, Floid E. - Lazerson, Arlyne (1988) *Brain, Mind and Behavior*. Second edition. New York.
- Ellis, A. W. & Young, A. W. (1988) *Human Cognitive Neuropsychology*. Lawrence Erlbaum Associates. Howe, London and Hilsdale.
- Flesch, Carl (1960) *Alta Scuola di Diteggiatura Violinistica*, Milan. — Engl. (1966) *The Violin Fingering*. London.
- Forsyth, Cecil (1948) *The Orchestration*. Second edition. London.
- Galamian, Ivan (1964) *Principles of Violin Playing and Teaching*. London.
- Galamian, Ivan - Neuman, Frederick (1963) *Contemporary Violin Technique. Volume Two: Double and multiple stops in Scale and Arpeggio Exercises*. New York.
- Hautamäki A. (1988) *Tekoäly, logiikka ja tiedon esittäminen*. — *Kognitiotiede*. A. Hautamäki (toim.). Helsinki, 157—178.
- Hautamäki A. (toim.) (1988) *Kognitiotiede*. Helsinki.
- Karma, Kai (1986) *Musiikkipsykologian perusteet.. Musiikkitieteellinen seura*. Helsinki.
- Kohonen, Teuvo (1988) *Keinotekoisen ja luonnollisen ajattelun eroista*. — *Kognitiotiede*. A. Hautamäki (toim.). Helsinki, 100—120.

Kurkela, Kari (1986) *Note and Tone. A semantic analysis of conventional music notation*. Acta Musicologica Fennica 15. Helsinki.

- (1988a) *Score, Vision, Action. Modeling the understanding of note expressions*. Paper held at the Symposium on *Music and the Cognitive Sciences* in Paris (IRCAM), in Mars 1988. Forthcoming: *Contemporary Music Review, Music and Cognitive Sciences*, Stephen MacAdams and Irene Deliege (eds.). London and New York. 1989.
- (1988b) *System, mind and brain in the understanding and performing of a note text*. A paper held at *Nordisk Musikforskar Kongress* (the Congress on Musicology in Scandinavia) in Turku, Finland, August 1988. Forthcoming.

Kurkela, K. - Grund, C. (1987) *Notation and its interpretation: Some Music Theoretical Concepts, Especially for Studies in the performance of Music*. — *The Semiotic Web '86. An International Yearbook*. T. A. Sebeok and J. Umiker Sebeok (eds.). Mouton de Gruyter. Berlin, 484—490.

Lahdensuo, Anne (1989) *Opettamisen CMS-stratgian kokeileminen ala-asteen liikunnanopetuksessa*. Kasvatustieteen syventävien opintojen opinnäytetyö. Helsingin yliopisto, Opettajankoulutuslaitos.

Lee, S.-H. (1988) *Pianists' biomechanics and dynamic and temporal control*. A paper presented at the XVII ISME Conference, Canberra, in August 1988.

Lindsay, Peter H. - Norman A. Donald (1977) *Human Information Processing. — An Introduction to Psychology*. Second Edition. New York, San Francisco, London.

- Mantel, Gerhardt (1972) *Cellotechnik. Bewegungsprinzipien und Bewegungsformen*. Musikverlage Hans Gerig, Köln. — Engl. *Cello technique*. Transl. by Barbara Hamberger Thiem. Indiana 1975.
- McAdams, Stephen (1987) Music: Science of the Mind? — S. McAdams (ed.), "Music and Psychology: A Mutual Regard", *Contemporary Music Review*. Vol. 2. Part 1. Harwood Academic Press, London.
- (1989) The many faces of human cognition in musical research and practice. — S. McAdams and I. Deliège (eds.), Music and Cognitive Sciences", *Contemporary Music Review*. Vol. 4. Harwood Academic Press, London.
- Marteniuk, R. G. (1976) *Information Processing in Motor Skills*. New York.
- Miettinen Reijo (1984) *Kognitiivisen oppimisnäkömyksen tausta*. Julkaisusarja B, Valtion koulutuskeskus, n:o 24, Valtion painatuskeskus, Helsinki.
- Neisser, 1980) *Cognition and Reality. Principles and Implications of Cognitive Psychology*. W. H. Freeman and Company. San Francisco and London. — Kognitio ja todellisuus. Suom. Helena Jahnukainen. Weilin Göös. Espoo 1982.
- Norman, Donald A. (1984) Theories and Models in Cognitive Physiology. — *Cognitive Psychophysiology: Event-Related Potentials and the Study of Cognition*, The Carmel Conferences, Vol I. ed. Donchin Emanuel. London,
- Nummenmaa T. - Takala M. - von Wright J. M. (1966) *Kokeellinen psykologia*. Toinen painos. Helsinki.
- (1982) *Yleinen psykologia kokeellisesta näkökulmasta*. Keuruu.

- Rolland, Paul (with Mutschler, Marla) (1974) *The Teaching of Action in String Playing, Development & Remedial Techniques, Violin and Viola*, Urbana, Illinois.
- Saariluoma, Pertti (1988) Historiallinen johdatus kognitiotieteeseen. — *Kognitiotiede*. A. Hautamäki (toim.). Helsinki, 1—42.
- Sariola, Raimo (1990) Sellonsoiton kognitiivisten prosessien mallintamisesta. — *Näkökulmia musiikkiin*. K. Kurkela (toim.), SIC 3, Sibelius-Akatemian vuosikirja 1990. 105—126.
- Sayegh, Samir I. (1989) Fingering for String Instruments with the Optimum Path Paradigm — *Computer Music Journal*, Vol 13, No. 3. Fall 1989. Massachusetts Institute of Technology.
- Shaffer, L. Henry (1976) Intention and Performance — *Psychological Review* 83, 375—376.
- (1981) Performance of Chopin, Bach and Bartok: Studies in motor programming. — *Cognitive Psychology* 13, 326—376
- Singer, R. N. (1980) *Motor learnign and human performance*. 3rd ed. New York.
- (1982) *The learning of motor skills*. New York and London.
- Sloboda, John A. (1977) Phrase units as determinants of visual processing in music reading. — *British Journal of Psychology* 68, 117—124
- (1982) Music Performance. — *The Psychology of Music*, D. Deutsch (ed.). New York-London, 479—496.
- (1985) *The Musical Mind. The cognitive psychology of music*. Oxford.

- Spender Natasha (1980), sv. Psychology of Music (Chapters I-III). — *The New Grove Dictionary of Music*. Vol. 10. Sixth edition, Ed. by Sadie, Stanley. Macmillan Publishers Limited. London.
- Stiller, Andrew (1985) *Handbook of Instrumentation*. University of California Press. Berkeley, Los Angeles, London.
- Stowell, Robin (1985) *Violin technique and performance practice in the late eighteenth and early nineteenth centuries*. Cambridge.
- Sundberg, Johan (1988) Computer synthesis of music performance. — *Generative Processes in Music. The Psychology of Performance, Improvisation, and Composition*. J. A. Sloboda (ed.), Oxford.
- Sundin, Nils-Göran (1984) *Introduktion till musikalisk interpretation och interpretationsforskning*, Stockholm.
- Szende, Otto (1977) *Handbuch des Geigenunterrichts*. Düsseldorf
- Szende, O. - Nemessuri, M. (1971) *The Physiology of Violin Playing*. London and Wellingborough.
- Wellford, A. T. (1976) *Skilled performance: Perceptual and Motor skills*. Schott, Foresman. Glenview, Illinois.
- Yampolsky, I. M. (1967) *The Principles of Violin Fingering*. London.