

Hannu Salakari
Tampereen yliopisto
Ammattikasvatuksen tutkimus- ja koulutuskeskus

Käytännön taitoja virtuaalisesti – simulaattoriopetuksen pedagogisen mallin kehittäminen

Lisensiaatintutkimus kasvatustieteen
lisensiaatin tutkintoa varten
Kesä 2004

TIIVISTELMÄ

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää millaisella pedagogisella mallilla voidaan edistää taitojen oppimista ja oppimisen transferia opetuksessa, jossa käytetään simulaattoria. Tutkimuksessa selvitettiin, mitkä ovat simulaattorin avulla oppimisen ja simulaattoriopetuksen keskeiset käsitteet, sekä millä tavalla tulisi järjestää opetus, jossa käytetään simulaattoria, jotta oppiminen olisi tehokasta. Työn tuloksena syntyi simulaattoriopetuksen pedagoginen malli, jolla tässä työssä kuvataan sitä millä tavoin simulaattorilla opitaan ja opetetaan. Tutkimus toteutettiin kvalitatiivisena käsitteellis-teoreettisena tutkimuksena, jossa johdettiin uutta mallia yleistämällä aikaisemmista empiirisistä tutkimuksista. Tutkimusmenetelmänä käytettiin käsiteanalyysia. Tutkimukseen koottiin kokemuksia simulointiin perustuvien ympäristöjen käytöstä eri aloilta ja analysoitiin käsitteitä, jotka liittyvät oppimiseen ja opettamiseen simulointiin perustuvissa ympäristöissä.

Simulaattorilla ja muissa simulointiin perustuvissa ympäristöissä, kuten virtuaaliympäristöissä voidaan oppia turvallisesti ja pienemmillä kustannuksilla kuin aidossa toimintaympäristössä. Oppiminen on tekemällä oppimista, ja se tapahtuu interaktiivisesti järjestelmän kanssa. Opetus, jossa käytetään simulaattoria tulee järjestää siten, että oppijalle syntyvä mentaalinen malli on realistinen ja oppimisen transfer on mahdollisimman suurta. Jos simulaattorilla ei voida oppia kaikkia tarvittavia taitoja, oppimistilanteisiin tulee ottaa aidon ympäristön piirteitä siten, että oppijan mentaalista mallista tulee sellainen, että oppija suoriutuu opittua aidossa toimintaympäristössä soveltaessaan mahdollisimman hyvin.

Opetus tulee järjestää siten, että oppimistehtävät ovat motivoivia ja niiden vaikeusaste on sopiva oppijan tasoon nähden. Oppimistilanteen jälkeinen oppijan ja opettajan välinen palautekeskustelu on tärkeä oppimisen kannalta.

16.8.2004

1 JOHDANTO	8
1.1 Tutkimustehtävän kuvaus	11
1.2. Tutkimuksen metodologia	12
1.2.1 Metodologian määrittelyä.....	12
1.2.2 Tutkimusstrategia ja menetelmävalinnat	13
1.2.3 Tutkimuksen filosofiset taustaoletukset	14
1.2.4 Käsiteanalyysin kuvaus	16
1.3 Tutkimuksen kokonaisuus, sen rakenne ja aineiston hankinta.....	17
2 SIMULAATTORIOPETUKSEN PEDAGOGINEN MALLI.....	19
2.1 Opetus simulaattorin avulla.....	22
2.2 Oppiminen simulaattorin avulla ja aidossa kontekstissa	25
2.2.1 Oppiminen simulaattorin avulla	25
2.2.2 Oppiminen aidossa kontekstissa.....	27
2.2.3 Mentaalinen malli.....	29
2.2.4 Oppimisen transfer	30
3 KOKEMUKSIA SIMULOINTIIN PERUSTUVIEN YMPÄRISTÖJEN KÄYTÖSTÄ ERI ALOJEN KOULUTUKSESSA.....	32
3.1 Syitä simulaattoreiden käyttöön taitojen opetuksessa.....	32
3.2 Simulaattorikoulutus ilmailualalla.....	34
3.2.1 Lentäjien koulutuksen kehittämistarpeita.....	40
3.2.2 Lentosimulaattorikoulutuksen yhteenvetoa.....	41
3.3 Simuloinnin käyttö sotilaskoulutuksessa	42
3.4 Simulaation käyttöön perustuva opetus lääketieteen alan koulutuksessa	47
3.4.1 Virtuaalitodellisuuden käyttö lääketieteen eri alueilla	48
3.4.2 Yhteenveto simulaation käytöstä lääketieteen alan koulutuksessa.....	49
3.5 Simulaattoreiden käyttö metsäkoneenkuljettajien koulutuksessa	50
3.6 Autosimulaattoreiden käyttö.....	55
3.7 Simulaation ja simulaattoreiden käyttö muilla aloilla	57

3.8 Yhteenveto simulointiin perustuvien ympäristöjen käytön kokemuksista eri alojen koulutuksessa	57
4 SIMULAATTORI OPPIMISEN JA OPETUKSEN APUVÄLINEENÄ: KÄSITETEOREETTINEN TARKASTELU	59
4.1 Simulaatiot, simulaattorit ja virtuaalitodellisuus	61
4.1.1 Simulaatiot ja simulaattorit.....	61
4.1.2 Virtuaalitodellisuus.....	63
4.2 Oppiminen simulointiin perustuvissa ympäristöissä	67
4.2.1 Oppimisen luonnehdintaa	68
4.2.2 Oppiminen aiemmista kokemuksista.....	72
4.2.3 Mentaaliset mallit oppimisessa	75
4.2.4 Oppimisen transfer	80
4.2.5 Simulaattorin tarkkuus ja oppiminen	86
4.2.6 Simulaattorilla opittavien taitojen luokittelu.....	91
4.2.7 Tehokas oppiminen ja sen edistäminen.....	94
4.2.8 Yhteenvetoa oppimisesta simulointiin perustuvissa ympäristöissä	96
4.3 Opetus simulointiin perustuvissa ympäristöissä	98
4.3.1 Interaktiiviseen tietokonesimulaatioon perustuvan opetuksen osatekijöiden käsitteellinen viitekehys.....	99
4.3.2 Simulaattoriopetuksen suunnittelu, toteutus ja arviointi	101
4.3.3 Simulaattoriopetuksen menetelmä Event-Based Approach to Training (EBAT)	105
4.3.4 Kognitiivisen koulutustekniikan muistilista.....	108
4.3.5 Pedagoginen malli	110
4.3.6 Opetus simulointiin perustuvissa ympäristöissä: yhteenvetoa	111
5 TULOSTEN TARKASTELU	113
5.1 Työn luotettavuuden tarkastelua.....	113
5.2 Simulaattoriopetuksen realistisuus.....	115
5.3 Taloudelliset reunaehdot ja koulutuksen vaihtoehtoiset toteutustavat.....	116
5.4 Kokonaisvaltainen opetuksen lähestymistapa.....	117
5.5 Työn arviointia.....	119
5.6 Jatkotutkimustarpeita	119

Lähdeluettelo:121

Kuvat:

- Kuva 1.** *Kuvaus tutkimuksen rakenteesta*
- Kuva 2.** *Simulaattoriopetuksen pedagogisen mallin rakenne*
- Kuva 3.** *Airbus 320 –lentokonesimulaattorin ohjaamo(ylempi kuva) sekä MD-80 –simulaattori ulkoapäin*
- Kuva 4.** *Maavoimien simuloinnin käyttöön perustuva opetus Peltoniemen (2000) mukaan*
- Kuva 5.** *Timberjack-hakkuukonesimulaattori*
- Kuva 6.** *Tampere Virtual Reality Centerin CAVE-ympäristö*
- Kuva 7.** *Työskentelyä säätelee simulaattorilla oppimisen seurauksena muodostunut mentaalinen malli*
- Kuva 8.** *Kuva lentäjien lennosta muodostamasta representaatiosta, ”mental moviesta” eli ”mentaalisesta elokuvasta”*
- Kuva 9.** *Miten opittu siirtyy osaamiseksi käytännön tilanteessa riippuu oppimisen transferista eli siirtovaikutuksesta.*
- Kuva 10.** *Simulaattorikoulutuksen optimialue eli ”honey region” Roscoen (1980, 195-197) kuvaamana*
- Kuva 11.** *Roscoe, Jensen ja Gavron (1980, 175) jakavat simulaattoriopetuksen tavoitteena olevat taidot havaintomotorisiin taitoihin, menetelmätaitoihin sekä päätöksentekotaitoihin*
- Kuva 12.** *Koulutusjärjestelmän kehittäminen ja arvionti Roscoen, Jensenin ja Gavronin (1980, 178) mukaan, Goldsteinia (1974) mukaillen*

Taulukot:

- Taulukko 1.** *Positivistisen ja fenomenologisen paradigman postulaatteja Kaikkosen (1999, 430) mukaan*
- Taulukko 2.** *Simulaattoriopetuksen pedagogisen mallin sisältö*
- Taulukko 3.** *Taitojen luokittelu Gagnén, Briggsin ja Wagerin (1992), Hackerin (1982) sekä Roscoen, Jensenin ja Gavronin (1980) mukaan.*
- Taulukko 4.** *Interaktiiviseen tietokonesimulaatioon perustuvan opetuksen osatekijöiden käsitteellinen viitekehys Gatton (1993) kuvaamana, de Jongia (1991) mukaillen*
- Taulukko 5.** *Esimerkki EBAT-menetelmän oppimistavoitteista (Fowlkes, Dwyer, Oser&Salas 1998)*
- Taulukko 6.** *Esimerkki EBAT-menetelmän arvioinnista ja palautteesta. (Fowlkes, Dwyer, Oser&Salas 1998.)*
- Taulukko 7.** *Eri alojen simulaattorikoulutuksen tarkastelu ulottuvuudella ”mahdollisuus toteuttaa koulutusta aidoissa olosuhteissa” ja ”hintaa”*

1 Johdanto

Tietotekniikan kehittyminen ja sen laaja käyttöönotto on muuttanut työn tekemistä nopeasti kahden viime vuosikymmenen aikana. Samalla kun lähes kaikki tekniset järjestelmät perustuvat tietotekniikan käyttöön, tietokoneiden tehokkuuden lisääntyminen ja grafiikan kehittyminen on tehnyt mahdolliseksi myös reaali maailman ilmiöiden jäljittelemisen eri tavalla kuin aiemmin. Tietokoneiden käyttöön perustuvan simuloinnin kehittyminen on tehnyt mahdolliseksi oppimisen uudella tavalla.

Vartiainen, Teikarin ja Pulkkinen (1989, 119) määritelmän mukaan simulaatiolla tarkoitetaan todellisen kohteen ja sen kanssa tehtävän työn jäljittelyä ja jäljittelyn käyttöä opetuksessa. Simulaatio on jäljitelmä jostakin järjestelmästä. Simulointi puolestaan on jäljitelmän käyttöä. Kun on kyse laitteesta tai tietystä järjestelmästä, jota käytetään tietyn tavoitteen saavuttamiseksi on kyse simulaattorista.

Tietokoneiden käyttöön perustuvien simulaatioiden avulla oppiminen eroaa perinteisestä tavasta oppia. Aiemmin opittiin teoriaa tai käytäntöä työpaikoilla tai koulutuksen yhteydessä järjestetyissä laboraatioissa tekemällä työtä, harjoittelemalla sitä. Simuloinnissa jäljitellään aitoa toimintaympäristöä, jolloin oppiminen perustuu tekemiseen, mutta oppiminen tapahtuu fyysisesti erillään aidosta toimintaympäristöstä. Koska simulaatioiden avulla oppiminen on varsin uusi asia, myös oppimisen ohjaaminen on uutta. Tämän työn mielenkiinto kohdistuu simulaattoriopetuksen pedagogisen mallin selvittämiseen, eli siihen, millä tavoin simulaattoreilla opitaan ja millä tavoin niillä tulisi opettaa.

Simulaattoreita on käytetty perinteisesti aloilla, joilla koulutus aidossa ympäristössä on joko huomattavan kallista tai vaarallista. Ilmailualalla on lentokonesimulaattoreita käytetty lentäjien koulutuksessa pisimpään, jo lähes sata vuotta. Simulaation, simulaattoreiden tai simulaatioon perustuvien oppimisympäristöjen, kuten virtuaalisten oppimisympäristöjen käyttö opetuksessa muillakin aloilla on jatkuvasti laajentunut. Simulaatioilla voidaan harjoitella käytännön työssä eteen tulevia tilanteita olosuhteissa, jotka muistuttavat aitoja. Simulaatiolla opitaan asioiden tekemistä, laitteen tai järjestelmän käyttöä tai erilaisten vaaratilanteiden hallintaa käytännössä itse tekemällä vuorovaikutuksessa järjestelmän kanssa. (Flexman&Stark 1987; Flight Simulation 1997; Stark 1999).

Myös ammatillisessa koulutuksessa ja ammattikorkeakouluissa käytetään aiempaa enemmän simulaattoreita tai simulaatioon perustuvia oppimisympäristöjä. Laitteet tai järjestelmät joiden käyttöön koulutetaan tulevat yhä kalliimmiksi, jolloin simulaattorikoulutuksella voidaan laskea koulutuksen kustannuksia. Simulaattoreiden käyttöä voitaisiin kuitenkin nykyisestä lisätä ammatillisessa koulutuksessa (Vertanen 2002).

Simulaation avulla oppiminen perustuu varsin pitkälle tekemiseen, käytännön toimintaan. Venkula (1993, 61-80) tarkastelee toiminnan yhteyttä tiedonmuodostukseen. Hänen mukaansa toiminnalla, sillä, että ihminen itse tekee ja on mukana konkreettisesti mukana tapahtumissa, on merkittävä osuus tiedon muodostuksessa.

Toiminnalla on Venkulan mukaan seuraavia аспекteja: Toiminta paljastaa tiedon tarpeen ja haastaa tiedon hankintaan. Toiminta edistää myös innovatiivisuutta. Kun ihminen tekee jotakin käytännössä, hän kehittää ja käyttää mentaalista kapasiteettiaan kokonaisvaltaisesti muutenkin kuin vain muistetun tiedon osalta. Hän käyttää rationaalisen kapasiteettinsa hallintaan myös irrationaalista aluettaan tavalla, jota ei tunneta. Näin hän myös luo uusia toimintatapoja. Toiminnan kautta opitaan tuntemaan ilmiöiden sellaisia puolia, joita ei sanallisesti voida ilmaista ainakaan aluksi. Toiminta vaatii koko persoonallisen järjestelmän käyttöä, ei vain esimerkiksi rationaalisen järjestelmän käyttöä.

Käyttämämme teknologia vaikuttaa oppimiseen. Tapa, jolla opimme muuttuu oppimisympäristön muuttumisen myötä. Säljön (2003, 103) mukaan oppiminen on sidoksissa teknologiaan. Esineet kuten paperi, kynä, kirjat, taskulaskimet, kartat, tietokoneet ja erilaiset instrumentit ovat muuttaneet sitä tapaa millä käsittelemme ja varastoimme tietoa, suoritamme laskelmia tai mallinamme tapahtumia. Informaatioteknologia muuttaa huomattavasti sitä tapaa, jolla opimme ja käytämme älyllistä kapasiteettiamme. Tämän seurauksena oppimisen ekologia muuttuu.

Säljö perustaa näkemyksensä sosiokulttuuriseen ja sosiohistorialliseen koulukunnan näkemyksiin, muun muassa Wertschiin ja Vygotskyn. Säljön näkemyksen mukaan ihmiset kommunikoivat, ajattelevat ja toimivat erilaisten välineiden avulla. Näiden välineiden alkuperä on sosiaalinen. Ne ovat ihmisen toiminnan tulosta. Erilaiset välineet laajentavat käsityskykyämme.

Teoreettisena lähtökohtana Säljö käyttää Wertschin ja Vygotskyn sosiokulttuurisia ja sosiohistoriallisia teorioita. Ihmisten käyttämät työvälineet ovat sosiaalista alkuperää. Ne esiintyvät ensin kulttuurissa ja kollektiivisissa toiminnoissa ja vasta myöhemmin yksilöt ottavat ne käyttöön käyttääkseen niitä arkipäivän toimintoihin. Tämän esineiden (artefaktien) sosiogeneettisen periaatteen mukaisesti, olivat ne sitten älyllisiä tai fyysisiä, esineet eivät tule

olemattomasta eivätkä ne muutu sattumanvaraisesti. Ne ovat ihmisen toiminnan tulosta. Säljön mukaan ei ole helppoa kuitenkaan tehdä eroa fyysisten tai älyllisten työkalujen välillä, eikä se ole edes välttämätöntä. Säljö käyttää vertausta kartasta. Se on fyysinen esine, mutta mikä kyseisessä esineessä on mielenkiintoista on se millä tavalla se kuvaa ympäröivää maailmaa hyvin tehokkaasti.

Esimerkiksi nykyajan lapset osaavat käyttää karttapalloa ja hahmottaa maailmaa sen avulla tavalla joka satoja vuosia sitten ei ollut mahdollista edes sen ajan tiedemiehille. Tällä tavoin nykyajan lapset kirjaimellisesti voivat hypätä satoja vuosia eteenpäin ihmisen älyllisen kamppailun tiellä. Lapsilla ei ole aavistustakaan siitä miten pitkä ja vaikea prosessi karttojen tekeminen ja kehittäminen vuosisatojen kuluessa on ollut. Säljö kuvaa sitä millä tavoin fyysiset esineet muuttavat ihmisen oppimista ja ymmärtämistä, tai miten esineet ja ihmismieli vaikuttavat toisiinsa eri tilanteissa. Erilaiset esineet muuttavat oppimistamme ja ymmärtämistämme, tai oikeammin mieleemme ja erilaiset esineet ovat vuorovaikutuksessa keskenään. Tapa millä opimme muuttuu kun välineet muuttuvat. (Säljö 2003, 104-105).

Erilaisissa työtehtävissä toimitaan nykyisin erilaisten teknisten laitteiden tai järjestelmien kanssa, joiden ohjaaminen perustuu tietokoneisiin. Ihminen-kone järjestelmien (human-machine systems) toiminta perustuu siihen, että konetta tai järjestelmää ohjaava käyttäjä toimii yhteistyössä sitä ohjaavan tietojärjestelmän kanssa. Koneen tai järjestelmän käyttäjärajapinnan kognitiivisen rakenteen tulisi vastata käyttäjän kognitiivisia rakenteita, hänen mentaalisia mallejaan, jotta käyttäjä ja järjestelmä voivat toimia yhteistyössä. (Fuchs-Frohnhofen et al. 1996). Simulaattoreita voidaan käyttää hyväksi paitsi näiden järjestelmien kehittämisessä, myös käyttäjien koulutuksessa.

Amalberti ja Deblon (1992, 639-645) tarkastelevat ihmisen ja koneen (tai automaatiojärjestelmän) välisen interaktion luonnetta. Olennaista on se, että ihmisen ja koneen yhteistoiminta sujuu. Tärkeää on, että käyttäjä ainakin tiettyyn rajaan asti ymmärtää järjestelmän toimintaa. Järjestelmä voi olla luonteeltaan joko neuvoa-antava (vaihtoehto 1), jolloin järjestelmä toimii käyttäjän päätöksentekoa tukevana. Vaihtoehdossa 2 sekä järjestelmä että käyttäjä ovat eksperttejä ja muodostavat yhden kognitiivisen kokonaisuuden. Vaihtoehto 3 on se, että järjestelmä toimii käyttäjän kriitikkona tarjoten käyttäjälle erilaisen näkökulman asiasta, mikä kirjoittajien mukaan on lupaavin kolmesta vaihtoehdosta. Viime kädessä ihmisen ja koneen välisten järjestelmien toimivuuden, ihmisen ja koneen interaktion onnistumisen ratkaisee se millä tavoin yhteistoiminta käytännössä sujuu. Vaikeutena on se, että vaikka järjestelmät saataisiin toimimaan tietyllä tavalla, eri ihmisten tavat toimia ja reagoida järjestelmien kanssa poikkeavat toisistaan jolloin lopputulos vaihtelee.

Edellä kuvatun kaltaisia toimintaa ohjaavia automaatiojärjestelmiä käytetään lentokoneissa, mutta myös esimerkiksi hakkuukoneissa eli harvestereissa. Järjestelmän käyttäjä voi monessa tapauksessa valita kuinka pitkälle automaattista toiminnan ohjausta hän käyttää. Kuvatun kaltaisten järjestelmien käytön oppiminen vaatii harjoittelua ja soveltuu erinomaisesti simulaattorin avulla opittavaksi. Simulaattoreissa voidaan käyttää samoja tietokoneita ja ohjelmia kuin aidoissa laitteissa.

Simulaattoriopetuksessa on viime aikoina alettu korostaa pedagogisen näkökulman merkitystä aiempaa voimakkaammin. Vaikka ilmailualalla on pisin kokemus simulaattoreiden käytöstä opetuksessa, niiden kehitystyö ja käyttö on ollut varsin tekniikkaorientoitunutta. Salas, Bowers ja Rhodenizer (1998, 197-208) toteavat, että vaikka lentäjien koulutuksessa on pitkät perinteet simulaattoreiden käytöstä koulutuksessa, oppimisen ja opettamisen tutkimisen sijaan on keskitytty simulaattoreiden tekniseen kehittämiseen. Teknisen kehittämisen sijaan tulisi kiinnittää aikaisempaa huomattavasti enemmän huomiota oppimisen ja opetuksen tutkimukseen ja kehittämiseen.

Tämä työ tähtää juuri simulaattoriopetuksen kehittämiseen. Työ aineistona käytetään kirjallisuutta ja aikaisempia tutkimuksia, joiden tuloksiin perustuen muodostetaan simulaattoriopetuksen pedagoginen malli.

1.1 Tutkimustehtävän kuvaus

Tietokonesimulaatioiden käytöllä oppimisen apuna tavoitellaan sitä, että oppimisen tavoitteena olevat asiat osataan entistä paremmin myös käytännön työssä. Simulaattoreilla opitaan erilaisia käytännön taitoja.

Tietokonesimulaatioiden käyttö opetuksessa tarjoaa uudenlaisia mahdollisuuksia oppia käytännön työssä tarvittavia taitoja virtuaalisesti. Samalla se muuttaa tapaa jolla opimme, mutta myös tapaa, jolla oppimista ohjataan. Kun opetusta simulaattoreilla suunnitellaan on tunnettava simulaattoriympäristön erot ja yhtäläisyydet aitoon toimintaympäristöön verrattuna, jotta opetusjärjestelyt voidaan tehdä sen mukaisesti. Oppimisen ohjaajan on lisäksi tunnettava simulaattoriopetuksen erityispiirteet, jotta simulaattoria voidaan hyödyntää täysimääräisesti ja samalla taata tehokas oppiminen.

Tutkimuksen tarkoituksena on laatia simulaattoriopetuksen pedagoginen malli taitojen opetukseen. Tutkimuksella haetaan vastausta seuraaviin kysymyksiin:

Millaisella pedagogisella mallilla voidaan edistää taitojen oppimista ja oppimisen transferia opetuksessa, jossa käytetään simulaattoria?

-Mitkä ovat simulaattorin avulla oppimisen ja simulaattoripetoksen keskeiset käsitteet?

-Millä tavalla tulisi järjestää opetus, jossa käytetään simulaattoria, jotta oppiminen olisi tehokasta?

1.2. Tutkimuksen metodologia

1.2.1 Metodologian määrittelyä

Tässä luvussa määritellään se mistä lähtökohdista, millä tavoin ja millä menetelmällä tutkimus on toteutettu. Mallin, metodologian ja metodin käsitteet määritellään Silvermaniin (2000) perustuen, mallin käsitettä kuvataan myös Puolimatkan (2003) määritelmän pohjalta. Tutkimuksen metodologisia ratkaisuja tarkastellaan Silvermanin (2000) määrittelemistä lähtökohdista.

Puolimatka (2003, 4) määrittelee mallin olevan kuvitelman tai abstraktion todellisuudesta. Sen tarkoituksena on yksinkertaistaa näkemystämme kokonaisuudesta tuomalla esiin sen olennaisia piirteitä. Malli on tietynlainen rakennekokonaisuus, josta käyvät ilmi osien suhteet toisiinsa. Mallin avulla voidaan päästä 1) kokonaisuuksien hahmottamiseen, 2) osien keskinäisten suhteiden määrittämiseen sekä 3) päätelmiin niistä kokonaisuuden rakenneosista, joita ei vielä ole empiirisesti tavoitettu.

Silvermanin (2000, 77-78) mukaan mallit muodostavat kehyksen sille, miten näemme todellisuuden. Ne kertovat meille millainen todellisuus on ja mitä elementtejä se sisältää (ontologia) sekä millainen on sen käsitys tiedosta (epistemologia). Käsitteet ovat mallista lähteviä, selkeästi määriteltyjä ajatuksia. Ne tarjoavat näkökulmia katsoa maailmaa ja niitä tarvitaan tutkimusongelmaa määritettäessä.

Metodologia määrittää sen miten jonkin ilmiön tutkiminen aloitetaan. Metodologiat eivät ole oikeita tai vääriä, vaan vain enemmän tai vähemmän hyödyllisiä tavoitteiden kannalta. Metodit puolestaan ovat tutkimustekniikoita. Nekiin eivät ole joko oikeita tai vääriä, vaan enemmän tai vähemmän hyödyllisiä suhteessa tavoitteisiin. (Silverman 2000, 79).

Silvermanin (2000, 234) mukaan seuraavat seikat ovat tärkeitä kvalitatiivisen tutkimuksen metodologiaa tarkasteltaessa:

1) Kun kvalitatiivista tutkimusta tehdään, tulee tunnistaa metodologioiden keskeiset oletukset. Tutkijan tulee tarkastella omia teoreettisia oletuksiaan. Näitä tarkastellaan luvuissa 1.2.2 ja 1.2.3

2) Myös valitun datan keskinäinen riippuvuus on tunnistettava. Henkilökohtainen kiinnostus, saavutettavuus tai ajallinen tai paikallinen sattuma määrittävät usein tutkimuskohteen. Tutkijan tulee arvioida niitä kontingenteja tekijöitä, jotka vaikuttivat tutkimuskohteen valintaan. Tutkimuskohteen valintaan tässä tapauksessa vaikuttivat tutkijan työtausta ja simulaattoriopetuksen käytännön kehittämistarpeet, joista tarkemmin luvussa 1.3.

3) Tutkittavien tapausten ei-satunnainen luonne tulee myös voida tunnistaa. Kvalitatiivisen tutkimuksen tekijät työskentelevät usein pienen, ei-satunnaisesti valitun datan parissa. Tutkijan tulee kuvata millä tavoin tutkimuksen tulokset ovat yleistettävissä. Tätä arvioidaan luvussa 5.5.

1.2.2 Tutkimusstrategia ja menetelmävalinnat

Kannisto (1986, 174-175) toteaa, että hermeneuttisten tieteiden tehtävä ei ole vain tuottaa ja kerätä uusia tulkintoja, vaan pyrkimys on myös sovelluskelpoisten totuuksien löytämiseen. Lause sopii mainiosti tämän fenomenologis-hermeneuttisen tutkimuksen lähtökohtiin ja tavoitteisiin.

Tutkimuksen aineistona on käytetty kirjallisuutta ja aikaisempia tutkimuksia. Kyseessä on kvalitatiivinen käsitteellis-teoreettinen tutkimus, jossa johdetaan uutta mallia induktiivisesti, yleistämällä aikaisemmista empiirisistä tutkimuksista (Järvinen&Järvinen 2000, 15-35). Käsitteellis-teoreettisissa tutkimuksissa pääpaino on käsitteissä ja teorioissa. Analyttisessä vaiheessa kysytään ”millä käsitteillä ja teorioilla muut tutkijat ovat tätä asiaa tai ilmiötä jäsentäneet”. Jos tutkimukseen kuuluu synteesivaihe, kysymys on ”miten voisinkin konstruoida uuden käsitteen mallin tai teorian, joka entistä paremmin tavoittaisi kyseessä olevasta asiasta tai ilmiöstä olennaisen” (Järvinen&Järvinen 2000, 10).

Analyysia suoritetaan luvussa 4 simulaattori oppimisen ja opetuksen apuvälineenä: käsitteellisen tarkastelu. Uutta mallia puolestaan

konstruoidaan luvussa 2 simulaattoriopetuksen pedagoginen malli. Käytettävä tutkimusmenetelmä on käsiteanalyysi. Tässä tutkimuksessa luotua teoriakehystä on tarkoitus käyttää myöhemmin väitöskirjatyön teoreettisena viitekehysenä.

1.2.3 Tutkimuksen filosofiset taustaoletukset

Tutkimusote on fenomenologis-hermeneuttinen. Tutkijan tavoitteena on ollut luoda kirjallisuudesta ja tutkimuksista omaksumansa perusteella ymmärrystä simulaatioon perustuvan oppimisen ja opetuksen keskeisistä käsitteistä sekä siitä, millä tavoin simulaation avulla opitaan ja millä tavoin opetus tulisi järjestää. Puolimatkan (2003) mukaan fenomenologis-hermeneuttiseen lähestymistapaan kuuluu antipositivistinen tietoteoria, jonka mukaan tiedonhankkijan subjektiivisuus ja kulttuurinen tausta vaikuttavat siihen, mitä hän havaitsee ja miten hän ymmärtää. Kannisto (1986, 174-175) toteaa, että objektiivinen oikeinyymmärtäminen ei ole mahdollista, vaan aktualisoimme aina vain joitakin tutkittavan kohteen vaikutuspotentialista. Tutkijan aiempi työkokemus osittain simulaattorin käyttöön perustuvan metsäkoneopetuksen johtamisesta ja suunnittelusta on ollut työssä avuksi. Ymmärrystä on osaltaan ollut luomassa myös tutkijan vuonna tekemä 2002 selvitys harvesterisimulaattorin käytöstä maamme metsäkoneoppilaitoksissa.

Fenomenologis-hermeneuttisen tutkimuksen epistemologinen perusta on relativistinen: ei ole yhtä oikeaa tietoa vaan tieto on suhteellista. Tutkija näkee asiat omasta subjektiivisesta näkökulmastaan. Tässä tutkimuksessa epistemologinen perusta ei kuitenkaan ole puhtaasti antipositivistinen, vaan siinä on vahvoja positivistia piirteitä: tutkimuksessa etsitään säännönmukaisuuksia tutkittavasta ilmiöstä, simulaattorin käytöstä opetuksessa. Tynjälän (1991, 388) mukaan eri totuusteoriat eivät välttämättä ole toisensa poissulkevia. Kaikkosen (1999, 430) mukaan fenomenologisen paradigman epistemologista perustaa kuvaa ajatus, että tutkija ja tutkittava ilmiö ovat keskinäisessä vuorovaikutus- tai riippuvuussuhteessa eikä todellinen objektiivisuus ole mahdollista.

Ontologisesti tutkimus nojaa pääasiassa subjektivistiseen, nominalistiseen lähestymistapaan (vrt. Järvinen&Järvinen 2000, 203-204), jonka mukaan maailma on subjektiivinen, ihmisten toimintojen seurauksena olemassa oleva. Kuitenkin tutkimuksen taustaoletukset eivät ole puhtaasti nominalistisia, vaan siinä on realistisia piirteitä. Esimerkiksi opetusvälineet, simulaattorit ovat konkreettisia esineitä, joilla on niiden teknisistä ja muista ominaisuuksista johtuen ominaisuuksia, jotka asettavat reunaehdoja oppimiselle ja opetukselle. Kaikkonen (1999, 430) näkee fenomenologisen paradigman ontologisen perustan siten, että todellisuuksia on monta ja ne ovat luonteeltaan sosiopsykologisia

muodostaen toisistaan riippuvaisen kokonaisuuden. Todellisuuden voi ymmärtää vain kukin itse. Fenomenologisen tutkimusotteen vastakohtaan, positivistiseen lähestymisotteeseen kuuluu puolestaan ajatus, että on olemassa yksi todellisuus. Kun se jaetaan osiin kokonaisuutta voi ymmärtää.

Kysymyksiä	Positivistinen lähestymisote	Fenomenologinen lähestymisote
Millainen maailma on? (=ontologinen kysymys)	On olemassa yksi todellisuus. Jakamalla se huolellisesti osiin ja tulkitsemalla sitä kokonaisuuden voi ymmärtää.	Todellisuuksia on monta. Ne ovat luonteeltaan sosiopsykologisia muodostaen toisistaan riippuvaisen kokonaisuuden. Todellisuuden voi ymmärtää vain kukin itse.
Mikä on tutkijan ja tutkittavan ilmiön suhde? (=epistemologinen kysymys)	Tutkija voi asettua tutkittavan ilmiön ulkopuolelle. Todellinen objektiivisuus on mahdollista.	Tutkija ja tutkittava ilmiö ovat keskinäisessä vuorovaikutussuhteessa/riippuvuudessa.

Taulukko 1. *Positivistisen ja fenomenologisen paradigman postulaatteja Kaikkosen (1999, 430) mukaan.*

Hermeneuttisen kehän perusajatus on luoda ymmärrystä merkitysten avulla. Tekstin tulkinta on prosessi, joka lähtee liikkeelle esiyymmärryksestä, jonka valossa tekstiä luetaan. Tulkinta korjautuu tekstin yksityiskohtien kautta, mikä johtaa uuteen esiyymmärrykseen., jonka avulla tekstiä luetaan uudestaan ja muokataan uuteen esiyymmärrykseen pohjautuen. Ymmärrys liikkuu

kokonaisuuksista osiin ja osista takaisin kokonaisuuksiin. Oikean tulkinnan kriteerinä on se, että yksityiskohdat ovat sopusoinnussa kokonaisuuden kanssa (Puolimatka 2003).

Tutkimusten alapidonnaisuuteen liittyvät piirteet, muun muassa alakohtaiset käsitteet ja terminologia sekä niiden ymmärtäminen on vaatinut hermeneuttisen kehän ajatuksen mukaisen lähestymistavan hyödyntämistä. Tutkijan oma kokemus simulaattorien käytöstä metsäkonealalta on tehnyt mahdolliseksi usein abstraktien käsitteiden yhdistämisen omaan kokemusmaailmaan.

1.2.4 Käsiteanalyysin kuvaus

Tutkimuksessa käytetään soveltaen Walkerin ja Avantin (1988, 35-47) kuvaamaa käsiteanalyysia (concept analysis). Käsiteanalyysiä käytetään edellä mainittujen mukaan silloin kun aletaan valmistella tutkimusta tai muodostaa teoriaa. Käsiteanalyysin avulla tutkijan on mahdollista selvittää käsitteen sisältö ja ominaisuudet. Käsiteanalyysissä erotellaan käsitettä määrittävät ominaisuudet vähemmän tärkeistä ominaisuuksista.

Walker ja Avant (1988, 37-47) kuvaavat käsiteanalyysin vaiheet seuraavasti:

- 1) käsitteen valinta
- 2) analyysin tavoitteen määrittely
- 3) käsitteen käyttötarkoitusten määrittely
- 4) ominaispiirteiden tunnistaminen kirjallisuudesta
- 5) mallitapauksen muodostaminen
- 6) erilaisten käsitteeseen liittyvien tapausten kuten rajatapausten, käsitteeseen liittyvien tapausten, vastakkaisten tapausten sekä väärää käyttöä kuvaavien tapausten muodostaminen
- 7) ennakkoehtojen ja seurausten muodostaminen
- 8) empiiriset kyselyt

Tässä tutkimuksessa käytetään yllä olevaa menetelmää pääpiirtein soveltaen (kohdat 1-4 ja 6). Menetelmästä valittiin ne osat, jotka tutkija katsoi mahdolliseksi ja tarpeelliseksi toteuttaa.

Koska tämän tutkimuksen tavoitteena on luoda simulaattoriopetuksen pedagoginen malli, käsiteanalyysi valittiin menetelmäksi, koska sitä käyttäen voidaan selvittää se, mitä pedagogiseen malliin liittyvillä keskeisillä käsitteillä ymmärretään (kohta 3 edellä). Simulaattoriopetuksen keskeisten käsitteiden määrittely on tärkeää, koska niihin perustuu pedagogisen mallin hahmottelu

(kohta 2 edellä). Tutkimuksen kannalta keskeiset käsitteet on kuvattu luvun 3 alussa.

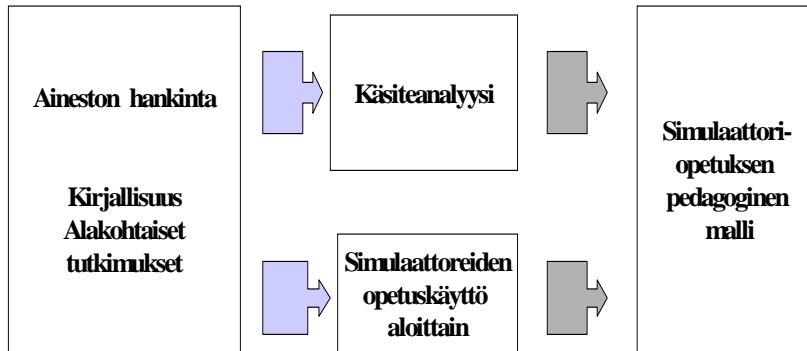
1.3 Tutkimuksen kokonaisuus, sen rakenne ja aineiston hankinta

Tutkija on muodostanut kuvaa simulaation käyttöön perustuvasta oppimisesta ja opettamisesta ja niihin liittyvistä käsitteistä perustuen jo olemassa olevaan tietoon. Aineistona on käytetty enimmäkseen simuloinnin avulla oppimista ja opettamista käsittelevää kirjallisuutta ja tutkimuksia, mutta myös muuta soveltuvaa kirjallisuutta ja tutkimuksia. Alakohtaisesti on käytetty eniten ilmailualan aineistoa, koska ilmailualalla on pisin kokemus simulaattoreiden käytöstä opetuksessa. Muiden muassa myös sotilaskoulutuksen ja lääketieteen alan tutkimukset ovat aineistossa varsin lukuisasti edustettuina.

Tutkimus koostuu käsiteanalyysistä sekä kuvauksesta ja analyysistä simulaattoreiden käytöstä eri aloilla (kuvio 1). Tutkimuksen tuloksena muodostetaan simulaattoriopetuksen pedagoginen malli, jossa hahmotellaan kuvaa siitä millä tavoin simulaattorilla opitaan ja millä tavoin opetus tulisi järjestää.

Tämä lisensiaatintutkimus on osa väitöskirjatutkimuksen kokonaisuutta. Työ, jossa tutkitaan simulaattoriopetusta lähti liikkeelle tutkijan mielenkiinnosta simulaattoriopetuksen aihepiiriin tutkijan työskennellessä aiemmin metsäoppilaitoksella, jossa käytettiin opetussimulaattoria.

Keväällä 2002 tutkija suoritti esitutkimuksena selvityksen metsäoppilaitosten simulaattoriopetuksesta (Salakari 2002). Tässä lisensiaatintutkimuksessa puolestaan selvitetään simulaattoriopetuksen yleistä pedagogista mallia pohjautuen aikaisempiin tutkimuksiin ja kirjallisuuteen. Lisensiaatintutkimusta hyödynnetään myöhemmin laadittavan väitöskirjan teoriaosana. Väitöskirjatutkimuksen tavoitteena on laatia metsäkonesimulaattoriopetuksen pedagoginen malli.



Kuva 1. Kuvaus tutkimuksen rakenteesta..

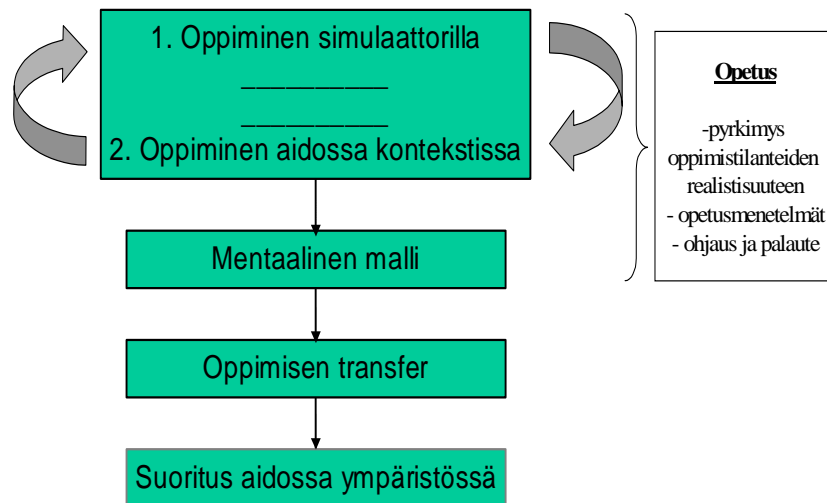
2 Simulaattoriopetuksen pedagoginen malli

Simulaattoriopetuksen pedagogisella mallilla tarkoitetaan tässä työssä yleisesti sitä tapaa, millä tavoin simulaattorilla opetetaan ja millä tavoin sillä opitaan. Opetus nähdään oppimisen ohjaamisena.

Tähän lukuun on tiivistetty lukujen 3 ja 4 keskeisin sisältö siltä osin kun se koskee simulaattorin avulla oppimista ja opettamista, simulaattoriopetuksen pedagogista mallia. Simulaattorin käyttöön perustuvan opetuksen menestyksekkäs toteuttaminen riippuu useasta asiasta. Simulaattoreita käytetään monilla eri aloilla ja siksi myös tapa jolla opitaan vaihtelee aloittain. On tunnettava se millä tavoin kyseessä olevalla alalla opitaan, jotta se voidaan ottaa huomioon kun oppimisolosuhteita suunnitellaan. On tunnettava työn osaamisvaatimukset ja oppimistavoitteet, jotta opetus voidaan järjestää parhaiten oppimista edistävällä tavalla. Kun simulaattorin käyttämistä opetuksessa suunnitellaan tulee tuntee simulaattorin ominaisuudet oppimisen kannalta, mutta myös simulaattorin käyttöön perustuvan opetuksen erityispiirteet. Simulaattoriopetuksen pedagogiset mallit tulee rakentaa alakohtaisesti lähtien oppimistavoitteista ja ottaen huomioon kunkin alan oppimisen ja oppimisen ohjaamisen erityispiirteet ja tarpeet.

Oppimisen tuloksena oppijalle syntyy mentaalinen malli opitusta. Kun opittua sovelletaan aidossa ympäristössä, se tehdään aiemmin muodostuneeseen mentaaliseen malliin perustuen. Oppimisen siirtovaikutus eli transfer kuvaa sitä miten aiemmin opittu siirtyy osaamiseksi aidoissa olosuhteissa. Oppimisvaiheessa olosuhteet tulee järjestää niin, että oppimisen transfer on mahdollisimman suurta. Jos simulaattorilla ei voida oppia kaikkia tarvittavia taitoja, oppimistilanteisiin tulee ottaa aidon ympäristön piirteitä siten, että oppijan mentaaliseen mallista tulee sellainen, että oppija suoriutuu opittua aidossa toimintaympäristössä soveltaessaan mahdollisimman hyvin. On pyrittävä simulaattoriopetuksen realistisuuteen.

Simulaattoriopetuksen pedagogisen mallin rakenne esitetään kuvassa 2 ja mallin sisältö taulukossa 2.



Kuva 2. Simulaattoriopetuksen pedagogisen mallin rakenne. Rakenne on muodostettu lukujen 3 ja 4 lähteisiin perustuen.

TEEMAT	OPPIMINEN JA OPETUS	
	OPPIMINEN	OPETUS
OPPIMISEN ORIENTAATIO	Kokemusperäinen Konstruktivistinen	Tekemällä oppiminen Ongelmanratkaisu
MALLIT	Mentaalisten mallien realistisuus	Simulaation lisäksi aidon kontekstin piirteiden tuominen opetukseen EBAT
OPPIMIS-TAVOITTEET	Automatisoituminen Metakognitiiviset taidot Erityyppisen transferin edistäminen Osaaminen aidossa ympäristössä	Skenaariot Opetuksen realistisuus Motivoivat tehtävät Tehtävien sopiva vaikeusaste
OPITTAVAT TAIDOT	Motoriset taidot Menetelmä- tai havainnollis-käsitteelliset taidot Intellektuaaliset tai päätöksentekotaidot	Riittävä harjoituksen määrä simulaattorilla ja aidossa ympäristössä Harjoittelu simulaattorilla Aidot skenaariot ja aidot/aidonkaltaiset ongelmatilanteet
OPPIMIS-PROSESSIT	Multimodaliteetti Ongelmanratkaisu Oppiminen esimerkkien avulla	Aitojen tai aidonkaltaisten kokemusten saaminen Ohjauksen merkitys
OPPIJAN TOIMINTA	Interaktiivisuus Itse tekeminen Konstruktiiivisuus	Simulaattorin antama palaute Opettajan palaute

Taulukko 2. Simulaattoriopetuksen pedagogisen mallin sisältö. Sisältö on koottu lukujen 3 ja 4 lähteistä.

2.1 Opetus simulaattorin avulla

Simulaattorin käyttöön perustuvan koulutuksen suunnittelu lähtee liikkeelle koulutustarpeiden analysoinnista. Monessa tapauksessa, esimerkiksi ammatillisen koulutuksen ollessa kyseessä, koulutustarpeet on analysoitu jo aiemmin. Kun koulutustarpeet on analysoitu, laaditaan oppimistavoitteet. Suunniteltaessa ja toteutettaessa opetusta tulee lähteä opetuksen tavoitteista: Millä tavoin oppimistavoitteet voidaan parhaiten saavuttaa? Kun on kyse opetuksesta, jossa käytetään simulaattoria kysymys on myös siitä miten saada simulaattorin käyttö opetuksessa palvelemaan oppimistavoitteita optimaalisesti. Millä tavalla opetus tulee järjestää riippuu kyseisen alan työtehtävien luonteesta.

Opetuksessa tulee pyrkiä oppimistilanteiden realistisuuteen. Tämä voi tapahtua sekä 1) lisäämällä simulaattoriopetuksen realistisuutta että 2) järjestämällä muulla tavoin se osa opetuksesta, jota simulaattorilla ei voida aidosti toteuttaa. Jotta tähän päästäisiin tulee tuntea simulaattorin ominaisuudet oppimisen kannalta eli se, mitä sen avulla voidaan oppia ja mitä ei. Oppimistilanteiden realistisuudella voidaan edistää realistisen mentaalisen mallin muodostumista oppijalle.

Kun koulutusta suunnitellaan tulee ottaa huomioon se millä tavalla simulaattorin käyttö koulutukseen sijoittuu:

- a) missä oppimistehtävissä simulaattoria käytetään,
- b) kuinka paljon sitä käytetään ja
- c) miten simulaattorin käyttö ajallisesti sijoittuu koulutusohjelman eri osiin.

Jos simulaattorin osuutta koulutuksen toteutuksessa halutaan lisätä, se voidaan tehdä esimerkiksi järjestämällä oppimistilanteet toiminnallisesti ja sosiaalisesti saman kaltaisiksi kuin aidoissa tilanteissa.

Event-Based Approach to Training eli EBAT-opetusmenetelmää (luku 4.3.3) on käytetty simulaattoriopetuksessa useilla aloilla. Sen periaatteiden pohjalta on mahdollista suunnitella eri aloille soveltuvia toteutuksia. Menetelmän periaatteisiin kuuluu, että laaditaan mahdollisimman paljon aitoja tilanteita muistuttavia tapahtumien kulkua kuvaavia skenaarioita eli käsikirjoituksia. Todellisia tapahtumia jäljittelevät skenaariot lisäävät opetuksen realistisuutta, parantavat oppimistuloksia ja oppimisen transferia. Skenaarioita käytettäessä lähdetään liikkeelle tyypillisistä tilanteista, joissa opitaan perustaidot. Taitojen karttuessa voidaan ottaa käyttöön esimerkiksi erikoistilanteita kuvaavia skenaarioita.

Opittavien työtehtävien luonne ja oppijoiden aikaisempi osaaminen määrittävät varsin pitkälle sen millä tavoin opetus tulisi järjestää. Osa oppimistavoitteista on sellaisia, jotka tulevat ulkoa esimerkiksi asiakkaan vaatimusten seurauksena. Kyseessä voi olla esimerkiksi koneen tai laitteen mittaustarkkuuteen tai tuotteen laatuun liittyvä ominaisuus. Kun on kyse tarkkaan määrätystä tavoitteesta tai tuotteen ominaisuudesta, konstruktivistinen ajattelu soveltuu huonosti oppimisen ohjaamisen taustafilosofiaksi, kun jokin asia on tehtävä tarkalleen siten kun asiakas sen vaatii. Koulutuksen alkuvaiheessa behavioristinen lähestymistapa tietyissä asioissa voi olla välttämätön opittaessa työn vaatimuksia tai työhön liittyviä periaatteita. Tällaisessa tilanteessa opettajan rooli korostuu ohjeita annettaessa ja toisaalta palautetta annettaessa. Ohjeistuksen on oltava yksiselitteinen ja selkeä. Opettaja voi myös esimerkiksi demonstroida suorituksen, jolloin oppijalle syntyy suorituksesta oikeanlainen mentaalinen malli. Konstruktivistinen lähestymistapa soveltuu kuvatussa kaltaisissa työtehtävissä sitten kun oppija on oppinut työhön liittyvät vaatimukset ja periaatteet. Sen jälkeen hän voi soveltaa opittua.

Taitojen opetukseen oppimisen alkuvaiheessa soveltuu viiden askelen työnopastusmenetelmä (Vartiainen, Teikari&Pulkkis 1989, 91-102). Siinä käydään läpi taidon opettamisen vaiheet varsin opettajajohtoisesti. Työn kriittisiin kohtiin ja oppijan mentaalisen mallin oikeellisuuteen kiinnitetään erityistä huomiota. Menetelmää voi soveltaa erilaisten taitojen opetuksessa myös simulaattorilla. Jos sitä käytetään simulaattorilla, arviointikeskustelussa tulee ottaa mukaan keskustelu simulaattoriympäristön ja aidon ympäristön eroista.

Menetelmän kuvaus:

1. Ensimmäisen askeleen, valmistautumisen aikana oppijan mieleen tulisi kehittyä alustava sisäinen malli tavoitteesta ja sen saavuttamisen keinoista, taitavasta työsuorituksesta. Opastajan toimesta tapahtuva tavoitteen esittely on keskeistä.
2. Toisen askeleen eli opetuksen kannalta keskeistä on kokonaiskuvan syntyminen tehtävästä ja sen kriittisiä kohtia koskevien sääntöjen löytäminen ja välittäminen.
3. Kolmas askel on mentaalinen harjoittelu, jossa tavoitteena on tehtävää ja sen suorittamisen ehtoja koskevien sisäisten mallien viimeistely ennen tekemällä harjoittelua.
4. Neljännessä vaiheessa, taidon kokeiluvaiheessa, opastettava suorittaa tehtävän käytännössä. Askeleen aikana selviää, missä määrin kolmen edellisen askeleen aikana on onnistuttu kehittämään tehtävää koskeva tietoperusta. Tärkeää on myös opastajan antama palaute.
5. Viidennessä vaiheessa kontrolloidaan, onko tiedoista muodostunut taito, mahdollisesti automaattinen valmius. Myönteinen, rohkaiseva palaute oppijalle on tärkeää.

Viiden askeleen menetelmä soveltuu erityisesti taitojen oppimisen ensimmäiseen vaiheeseen, Fittsin (1965/1990, 284-287) kuvaamaan taitojen oppimisen kognitiiviseen vaiheeseen, jossa opitaan työn tai taidon periaatteet.

Koska simulaattoriharjoitus tapahtuu erillään kontekstista, jossa opittuja taitoja sovelletaan, kouluttajan rooli oppimisen ohjaajana korostuu. Vaikka simulaattori on interaktiivinen oppimisympäristö, joka antaa palautetta oppijalle, se ei anna palautetta läheskään kaikesta opittaviin taitoihin liittyvästä, esimerkiksi työskentelyn periaatteista tai tärkeysjärjestyksestä. Gatto (1993) jakaa oppimistavoitteet operationaalisiin ja käsitteellisiin. Operationaaliset tavoitteet ovat useimmiten tiedostettuja, ne ovat käytännön tavoitteita, jotka on selkeästi kirjattu koulutuksen tavoitteisiin. Sen sijaan käsitteelliset tavoitteet ovat usein hiljaista tietoa. Ne sisältävät toimintamalleja tai periaatteita, joiden avulla päästään operationaalisiin tavoitteisiin. Osa näistä periaatteista voi olla tietoa, jota kouluttajakaan ei osaa sanallisesti ilmaista. Ilman kouluttajaa oppijan näiden periaatteiden oppiminen on kuitenkin mahdotonta. Tyypillinen oppijan kysymys tällaisessa tilanteessa: ”Miksi asia on tuolla tavalla tai miksi asia on tehtävä noin”? Tähän kouluttaja ja oppija voivat hakea vastausta yhdessä.

Simulaatiomallit myös usein yksinkertaistavat asioita, jolloin oppija saattaa saada virheellisen vaikutelman taidon täydellisestä hallitsemisesta. Harjoitusta seuraava kouluttajan ja oppijan välinen palautekeskustelu on tärkeää myös siksi. Siinä käydään läpi harjoituksen kulkua ja arvioidaan onnistumista. Kouluttajan rooli on merkittävä kytkettäessä simulaattorilla opittua aitoon ympäristöön kun esimerkiksi

- 1) analysoidaan eroja ja yhtäläisyyksiä simulaattorin ja aitojen olosuhteiden välillä,
- 2) analysoidaan tapahtumien sääntöjä, syitä ja seurauksia tai
- 3) eroteltaessa olennaisia asioita vähemmän olennaisista tai pääteltäessä asioiden tärkeysjärjestyttä.

Kun taito on opittu osittain tai kokonaan simulaattorin käyttöön perustuen on tärkeää, että sitä harjoitellaan riittävästi, jotta se muodostuu automaattiseksi. Harjoittelussa voidaan aidon toimintaympäristön lisäksi käyttää apuna simulaattoria. Simulaattoreita voidaan käyttää myös taitoja ylläpitävässä opetuksessa sekä koneiden tai laitteiden uusien ominaisuuksien koulutuksessa, kuten esimerkiksi ilmailualalla tehdään.

Oppijan motivaation ylläpitäminen on haaste simulaattorikoulutuksessa. Motivaation säilymiseen simulaatioon perustuvassa opetuksessa ja peleissä ovat kiinnittäneet huomiota Jacobs ja Dempsey (1993). Heidän mukaansa oppimistehtävät vaikuttavat merkittävästi motivaatioon. Niiden tulee olla mielekkäitä ja sopivan haastavia. Ruohotien (1998, 46-47) mukaan suoritus paranee motivaation lisääntyessä. Sisäisillä palkkioilla oletetaan olevan

läheisempi yhteys suoritukseen ja tyytyväisyyteen kuin ulkoisilla palkkioilla. Työt ja tehtävät tulisi voida muotoilla haasteellisiksi niin, että niiden suorittaminen voisi johtaa sisäisiin palkkioihin, esimerkiksi onnistumisen, edistymisen ja vastuun kokemuksiin. (Ruohotie 1998, 46).

2.2 Oppiminen simulaattorin avulla ja aidossa kontekstissa

Simulaattorin käyttöön perustuvan opetuksen tavoitteena on se, että tehtävät osataan aidossa toimintaympäristössä. Oppimista simulaattorilla voidaan saada aitoa muistuttavaksi, mutta ei kaikilta osin. Siksi osa opetuksesta on järjestettävä siten, että oppija oppii myös ne asiat, joita ei simulaattorin avulla voida oppia.

2.2.1 *Oppiminen simulaattorin avulla*

Kun simulaattorin käyttöön perustuvaa opetusta suunnitellaan, on tärkeää ymmärtää se, millä tavoin kyseessä olevalla koulutusosalalla opitaan. Esimerkiksi ajoneuvoilla ja ajoneuvosimulaattoreilla opitaan suurelta osin motorisia taitoja. Oppimisessa on behavioristisia piirteitä: jos tehdään ajovirhe, esimerkiksi vääränlainen ohjausliike, simulaattori rankaisee esimerkiksi ajolinjalta harhautumisena, josta seuraa epämiellyttävä kokemus kun auto suistuu tieltä. Oppiminen tapahtuu ”kantapään kautta”. Kokemusperäiseen oppimiseen olennaisesti kuuluvan reflektoinnin (Kolb 1984) osuus tällaisessa oppimisessa ei ole suuri. Toisen luontoista oppimista kuvaa Gaba (1991) anestesiologian alalla: oppimisessa korostettiin erityisesti metakognitiivisten taitojen kehittymistä dynaamisissa päätöksentekotilanteissa.

Oppiminen simulaattorilla on kokemusperäistä tekemällä oppimista. Kouluttaja ei välttämättä ole koko ajan paikalla, vaan oppija oppii suuren osan aikaa itsenäisesti. Oppijan taito hallita omaa oppimistaan korostuu kun opettaja on fasilitaattorin roolissa. Oppijoiden kyky hallita omaa oppimistaan, heidän metakognitiivisten taitojensa kehittäminen on yksi koulutuksen tavoitteista myös simulaattorin käyttöön perustuvassa koulutuksessa. Metakognitiiviset taidot edistävät oppimisen adaptiivista transferia (Ivancic&Hesketh 2000), jolloin oppija voi paremmin soveltaa simulaattorilla opittuja taitoja ja periaatteita aidossa olosuhteissa, jotka poikkeavat olosuhteista simulaattorilla. Myös Ruohotie ja Honka (2003, 74-77) Ruohotiehen (2002a ja 2002b) perustuen korostavat itsesäätelyvalmiuksien kehittämisen merkitystä yleensä ammatillisessa koulutuksessa. Oppimaan oppiminen on keskeinen taito nopeasti

muuttuvassa työelämässä. Opettajan tehtävänä on kontekstualisoida oppimisstrategiat siten, että oppijat ymmärtävät mitkä strategiat kulloinkin ovat mahdollisia, miten niitä tulisi soveltaa erilaisissa tilanteissa ja milloin ja miksi niistä on apua. Näitä voidaan käyttää myös kun vertaillaan simulaattoria ja aitoa ympäristöä.

Motorisia taitoja opittaessa vain riittävä harjoituksen määrä takaa oppimisen. Realistisella, tarkalla simulaattorilla voidaan oppia tehokkaasti myös motorisia taitoja, mutta osa näistä on opittavissa vain aidossa ympäristössä. Menetelmätaitoja tai havainnollis-käsitteellisiä taitoja voidaan oppia myös yksinkertaisemmilla, alemman tarkkuustason simulaattoreilla. Intellektuaalisten tai päätöksentekotaitojen oppimista edistävät aidonkaltaiset ongelmatilanteet, joita voidaan luoda skenaarioilla.

Oppiminen esimerkkien avulla aiemmista kokemuksista on kuvaa oppimista simulaattorilla suhteessa aitoihin olosuhteisiin. Oppija joutuu soveltamaan simulaattorilla oppimaansa, muistamaan aiemmin koettuja vastaavan kaltaisia tilanteita, hakemaan analogioita ja yleistyksiä sekä rekonstruoimaan. Reimannin ja Bellerin (1993) Rossiin (1989) ja Mostowiin (1989) perustuen kuvaama oppiminen esimerkkien avulla edellyttää erilaisen transferin toteutumista, analogisen ja adaptiivisen, vertikaalisen ja lateraalisen. EBAT-menetelmässä pyritään jäljittelemällä aitoja olosuhteita mahdollisimman tarkasti tavoitteeseen, jossa erityisesti analoginen ja lateraalinen transfer aitoihin olosuhteisiin olisi mahdollista.

Multimodaliteetti, mahdollisuus oppia siten, että oppija on kokonaisvaltaisesti tilanteessa käyttäen kaikkia aistejaan sekä motorisia, havainnollis-käsitteellisiä sekä intellektuaalisia taitojaan työtehtävässä tai ongelmanratkaisutilanteessa on yksi simulaattoriopetuksen eduista. Kun oppija on kokonaisvaltaisesti tilanteessa, oppimista tapahtuu kaikilla tasoilla.

Pyritäänkö mahdollisimman suureen realismiin on keskeinen kysymys kun simulaattoriopetusta suunnitellaan. Se vaikuttaa perustavanlaatuisesti siihen miten simulaattoriopetus järjestetään. Kuinka suuri osa opetuksesta voidaan hoitaa simulaattorilla riippuu simulaattorin realismista. Esimerkiksi kehittyneillä, realistisilla lentokonesimulaattoreilla voidaan kouluttaa monipuolisemmin ja hoitaa suurempi osuus oppimistavoitteiden saavuttamisesta kuin vähemmän todellisuutta jäljittelevillä metsäkonesimulaattoreilla. Jos simulaattorin osuus opetuksen kokonaisuudessa on pieni ja simulaattorilla opitaan vain osatehtäviä, simulaattorin realismilla ei ole suurta merkitystä. Jos taas simulaattorin osuutta opetuksesta halutaan kasvattaa tulee pyrkiä simulaattoriopetuksen suurempaan realismiin.

Yksi simulaattoriopetuksen eduista on se, että tehtävien vaikeusastetta voidaan säädellä oppijan osaamistason mukaan. Kun opetusta suunnitellaan tulee

ottaa huomioon työmuistin kapasiteetti, neljä yksikköä tai muutamia enemmän. Harjoitusten suunnittelussa tulee lähteä liikkeelle yksinkertaisista perusharjoituksista ja vasta myöhemmin osan toiminnoista automatisoiduttua harjoittelun seurauksena lisätä harjoitusten vaikeusastetta. Näin voidaan välttää kognitiivinen ylikuorma ja tehostaa oppimista.

2.2.2 Oppiminen aidossa kontekstissa

Aidon kontekstin merkitys simulaattoriopetuksen pedagogisessa mallissa on tuoda opetukseen niitä tekijöitä, joita simulaattori ei jäljittele ja jotka on siksi opittava muulla tavoin. Tämä on mahdollista järjestää vasta silloin kun tunnetaan simulaattoriympäristön vahvuuksien lisäksi myös sen rajoitteet oppimisen apuvälineenä. Aidolla kontekstilla tarkoitetaan tässä sitä kontekstia, jossa käytännön työtä tehdään. Simulaattoriympäristö poikkeaa aina aidosta ympäristöstä siitakin huolimatta, että skenaarioiden avulla oppimistilanteista luodaan mahdollisimman paljon aitoa muistuttavia. Tämän lisäksi simulaattoreiden realismi vaihtelee suuresti. Koska simulaattorilla ei kyetä jäljittelemään aitoa ympäristöä täydellisesti, on tärkeää, että koulutus suunnitellaan sillä tavoin, että ne oppimisen kannalta keskeiset asiat, joita ei voida simulaattorin avulla oppia tuodaan mukaan koulutukseen. Osan koulutuksesta tulee tapahtua aidossa kontekstissa tai muulla tavoin siten, että oppimistavoitteet saavutetaan.

Järvisen, Koiviston ja Poikelan (2000, 67) mukaan oppimisen kontekstuaalisuudella tarkoitetaan oppijan omaa toimintaa ja kokemusta, ja toisaalta kokemusta muokkaavaa toimintaympäristöä, tilanteita ja taustoja. Konteksti sisältää toiminta tilanteessa vaikuttavat tekijät, ympäristön antamat merkitykset ja ajalliset ulottuvuudet, jotka luovat taustaa ja ennakoivat tulevaa. Kokemus on pikemminkin teorian ja käytännön yhteensovittamisen tulosta kuin vain käytännöllistä tekemistä ja päättelyä.

Oppimisen kontekstuaalisuuden merkitystä painottavat Ruohotie ja Honka (2003, 74-77) Ruohotiehen (2002a ja 2002b) perustuen: Taitojen kehittämisen tulee olla sidoksissa työkontekstiin. Monia taitoja ei voida opettaa vaan ne kehittyvät toimintaympäristön luomien mahdollisuuksien myötä. Oppimisympäristöjen tulee muistuttaa aitoa toimintaympäristöä.

Oppimisen tilannesidonnaisuutta on korostettu 1990-luvulta lähtien. Tilannesidonnaisuuden teoria korostaa sitä, että oppiminen on sidottu siihen aikaan, paikkaan ja tilanteeseen, jossa se tapahtuu. Oppiminen nähdään

sosiaalisena ja kulttuurisena ilmiönä (Tynjälä 1999, 128). Myös hiljaisen tiedon omaksuminen simulaattoriympäristössä saattaa poiketa siitä miten se omaksutaan aidossa ympäristössä.

Wengerin (1999) mukaan oppiminen tapahtuu toimintayhteisöissä. Sosiaalinen kanssakäyminen on se perusprosessi, minkä yhteydessä oppiminen tapahtuu. Perusyksikkö ei ole niinkään yksilö tai eivätkä sosiaaliset instituutiot vaan pikemminkin ne epämuodolliset käytännön yhteisöt, joita ihmiset muodostavat päivittäisiä askareitaan tehdessään. Wenger näkee oppimisen sosiaalisen osallistumisen prosessina. Oppimisen osatekijöitä ovat yhteisöllisyys, sosiaaliset käytännöt sekä yhteisten merkitysten ja identiteetin muodostuminen. Oppimisen kannalta merkittävää on molemminpuolinen vuorovaikutus (mutual engagement), yhteinen tavoitteellisuus (joint enterprise) sekä yhteiset toimintatavat tai toimintakulttuuri (shared repertoire).

Simulaattorilla opittaessa Wengerin mainitsemat, oppimisen kannalta tärkeät tekijät poikkeavat aidosta olosuhteista. Eroja voi olla kolmessa suhteessa: 1) Molemminpuolinen vuorovaikutus saattaa poiketa aidosta tilanteesta kun on kyse koulutuksesta samoin kuin 2) yhteinen tavoitteellisuus – on kyse harjoituksesta, eikä mukana myöskään ole välttämättä kaikkia samoja toimijoita kuin aidossa tilanteessa, ja 3) yhteiset toimintatavat tai toimintakulttuuri – koulutusorganisaation toimintakulttuuri saattaa olla erilainen kuin aidon ympäristön.

Hiljainen tieto on sellaista osaamista, josta sen haltija ei välttämättä ole tietoinen tai ei osaa ilmaista sitä. Hiljaista tietoa ja sen näkyväksi tekemistä ovat tutkineet Nonaka ja Takeuchi (1995). Kokemusten vaihto tuo ulkoiseksi hiljaista tietoa. Hiljaisen tiedon näkyväksi tekeminen tarkoittaa tunteidemme, havaintojemme, mentaalisten malliemme, uskomustemme ja kokemustemme muuntamista kommunikoitavaan muotoon ja sen jälkeen ilmaisemista.

Nonaka ja Takeuchi valottavat hiljaisen ja näkyvän tiedon dikotomiaa (s. 237-238) seuraavasti: Japanilaisen näkemyksen mukaan hiljainen tieto on näkyvää tietoa tärkeämpää, kun taas kirjoittajien mukaan lännessä asia nähdään päinvastoin. Japanilaisen käsityksen mukaan inhimillistä tietoa luodaan ja laajennetaan sosiaalisen interaktion avulla, joka tapahtuu hiljaisen ja näkyvän tiedon välillä.

Tiedon muuntaminen tapahtuu neljän prosessin kautta, nimittäin sosialisointi, ulkoistamisen, sisäistämisen ja yhdistämisen. Ulkoistaminen on näistä tärkein, koska sen avulla hiljainen tieto saadaan näkyväksi: persoonallinen, kontekstispesifi tieto, joka on sen vuoksi vaikea muotoilla ja kommunikoida muutetaan muotoon, jossa se on muille välitettävissä, esimerkiksi sanoiksi tai numeroiksi. Tässä voidaan käyttää esimerkiksi metaforioita tai analogioita. (emt. 238).

Sosialisaatiossa hiljainen tieto muunnetaan hiljaiseksi tiedoksi yksilöiden välillä yhteisten kokemusten kautta, sisäistämässä käsitteellinen tieto muutetaan ulkoiseksi tiedoksi, yhdistämisellä tarkoitetaan käsitteellisen tiedon muuttamista uudenlaiseksi käsitteelliseksi tiedoksi. (emt. 1995, 60-72).

Millainen ympäristö simulaattori on sosiaalisesti verrattuna aitoon ympäristöön? Sekä Wenger että Nonaka ja Takeuchi korostavat sosiaalisen ympäristön merkitystä oppimisessa. Simulaattoriopetuksen fyysinen ja sosiaalinen ympäristö poikkeavat aidosta. Työn tekeminen aidossa olosuhteissa sekä siihen liittyvä sosiaalinen interaktio, hiljaisen tiedon ulkoistamisen prosessi sekä sosialisaatioprosessi toimivat eri tavoin simulaattorilla ja aidossa ympäristössä. Simulaattoreiden realistisuudella ja mahdollisimman hyvin aitoja tilanteita jäljittelevillä skenaarioilla voidaan lähestyä aidon ympäristön tilanteita.

Koska simulaattoriympäristö poikkeaa aina aidosta kontekstista on tärkeää yhdistää simulaattoriopetukseen niitä aidon kontekstin piirteitä, joita simulaattori ei kykene jäljittelemään. Simulaattoria ja aitoa ympäristöä voidaan yhdistellä esimerkiksi siten, että simulaattorilla opitaan perustaitoja, joita sitten harjoitellaan aidossa ympäristössä. Tämän jälkeen voidaan palata simulaattorille oppimaan uutta asiaa. Lentokonesimulaattorilla voidaan oppia asioita, joita ei riskitekijöiden vuoksi voida oppia lentokoneessa. Toisaalta on olemassa taitoja, joita ei esimerkiksi metsäkonesimulaattorilla voida oppia, vaan ne on opittava harvesterilla maastossa. Tällainen on esimerkiksi suuren puun kaataminen, johon liittyviä voimia simulaattori ei aidosti jäljittele. Simulaattorilla harjoittelu ja harjoittelu aidossa ympäristössä voivat vuorotella, jotta oppijalle syntyy realistinen kuva siitä miten simulaattorilla opittu toimii aidossa olosuhteissa. Sosiaalinen oppimisympäristö on jäljiteltävissä vain tiettyyn rajaan asti.

2.2.3 Mentaalinen malli

Työn tekemistä säätelevät mielessämme työstä olevat kuvat eli mentaalinen malli. Johnson-Lairdin (1989) kuvaamat eksperttien mentaaliset mallit ovat kvantitatiivisia: ne vaativat tietoa todennäköisyyksistä ja jakaumista. Kehittyneen mentaalisen mallin muodostuminen vaatii paljon harjoitusta, myös erilaisia tapauksia. Oppija oppii perustuen niihin aiemmin kokemaansa, niihin käytännön tilanteisiin, joita hän on aiemmin kokenut. Niistä opittua oppija soveltaa uusissa tilanteissa. Siksi kattavan mentaalisen mallin kehittyminen vaatii paljon harjoitusta erilaisissa tilanteissa ja olosuhteissa. Paljon kokemusta

ja erilaisia tapauksia vaatii myös eksperteille ominaisen kyvyn kehittyminen ennakoita tulevia tilanteita. Tällaisesta esimerkkinä on Starkin (1999) kuvaama kokoneiden lentäjien kyky ”olla edellä lentokonetta”, ennakoita lentokoneen käyttäytymistä ilmassa.

Solodilovan, Linternin ja Johnstonin (2003) kuvailema ”mentaalinen elokuva” kuvaa dynaamisena, ajankulun ja vaihtoehtoiset asiointitilat, tapahtumien riippuvuuden toisistaan sekä toimintavaihtoehdot huomioonottavana mallina paremmin työhön liittyvää todellisuutta kuin näkemys mentaalista mallista staattisena mallina. Tällainen malli on hyödyksi tilanteissa, joissa joudutaan jatkuvasti punnitsemaan eri vaihtoehtoja ja tekemään nopeasti päätöksiä tilanteissa, joissa on käsiteltävä paljon informaatiota lyhyessä ajassa. Mentaalinen harjoittelu ennen suoritusta käymällä läpi tapahtumien tuleva kulku vaihe vaiheelta eri vaihtoehtoinen ja riskitekijöineen auttaa parantamaan suoritusta.

Toimintojen perusteellinen oppiminen tapahtuu vain riittävän harjoittelun seurauksena. On tärkeää, että oppimisen tuloksena muodostuva mentaalinen malli on realistinen. Jos jokin taito on opittu väärin simulaattorilla opittaessa esimerkiksi sen vuoksi, että simulaattori kuvaa tilanteen helpompana kuin se on todellisuudessa, väärin opittua toimintamallia on vaikeaa muuttaa. Erityistä huomiota tuleekin kiinnittää oppijoiden mentaalisen mallin realismiin. Mentaalisen mallin realismia kouluttaja voi arvioida opetuksen aikana. Viiden askelen työnopastusmenetelmässä opastaja arvioi oppijan mentaalista mallia useassa vaiheessa. Viimeistään mentaalisen mallin realismi on todettavissa kun opittua sovelletaan aidoissa olosuhteissa.

2.2.4 Oppimisen transfer

Vasta suoritus aidossa ympäristössä osoittaa oppimisen siirtovaikutuksen eli transferin onnistumisen. Transferin onnistumiselle voidaan aktiivisesti luoda edellytyksiä simulaattorilla opittaessa esimerkiksi etsimällä selityksiä ja perusteluja sille miten toimitaan ja kytkeillä opittua tietoisesti vastaavaan aidossa olosuhteissa. Toteuttamalla monenlaisia tehtäviä erilaisilla simulaatioilla voidaan lisätä ärsykevariaatiota, mikä lisää transferin laaja-alaisuutta. Mielekkäiden oppimistehtävien ja kouluttajan rooli transferin edistäjänä voi olla merkittävä.

Aiemmin opitun soveltaminen samankaltaisissa tilanteissa (analoginen transfer) tai erilaisissa tilanteissa (adaptiivinen transfer) sekä alemman tasoisen osaamisen hyödyntäminen uusissa olosuhteissa (vertikaalinen transfer) tai opitun

hyödyntäminen toisessa tilanteessa (lateraalinen transfer) takaavat omalta osaltaan tehokkaan oppimisen. Metakognitiiviset taidot edistävät transferia. Oppimisolosuhteita järjestettäessä tulee pyrkiä tietoisesti erilaisen transferin edistämiseen.

Jos halutaan arvioida simulaattorikoulutuksen tehokkuutta tai kustannustehokkuutta, apuna voidaan käyttää Roscoen ja Willigesin (1980) esittämiä laskentamalleja (luku 3.2.4.). Simulaattorikoulutuksessa on löydettävissä optimialue, jossa transfer on suurimmillaan suhteessa kustannuksiin. Luotettavien tulosten saaminen vaatii suuria otoksia tai riittävän monia toistoja koeryhmän ja kontrolliryhmän välillä.

Simulaattorilla opitun transferia voidaan mitata myös toisella simulaattorilla, jolloin on kyse kvasitransferista. Tällöin on kuitenkin arvioitava se millä tavoin saatu tulos korreloi aidossa ympäristössä tapahtuvan suorituksen kanssa. Kvasitransferin etuna on se, että sen mittaaminen on helpompaa kuin aidon transferin.

Kun mitataan transferia simulaattorilla harjoittelun eri vaiheissa voidaan selvittää simulaattoriharjoittelun optimimäärä. Kun harjoittelua jatketaan riittävän kauan, harjoittelusta saatava suhteellinen hyöty pienenee. Vähentyminen ei välttämättä kuitenkaan tapahdu tasaisesti, koska monet muut seikat vaikuttavat oppimiseen ja transferiin. Muun muassa oppijan motivaation vaihtelu joko lisää tai vähentää oppimista ja sen transferia. Jos simulaattori on realistinen, tarkkaan todellisia olosuhteita jäljittelevä, sillä voidaan jatkaa koulutusta pidempään myös sen vuoksi, että oppijan motivaatio säilyy pidempään.

3 Kokemuksia simulointiin perustuvien ympäristöjen käytöstä eri alojen koulutuksessa

Tämän luvun tarkoituksena on luoda katsaus siihen, millä tavoin simulaattoreita tai tietokonesimulaatioon perustuvia järjestelmiä käytetään eri alojen koulutuksessa. Tavoitteena on luoda kokonaiskuva simulaattoreiden ja simulaatioon perustuvien järjestelmien käytön kokemuksista muutamilta aloilta, joiden koulutuksessa niiden käytöllä on tavanomaista suurempi merkitys.

Ilmailualalla, merenkulkualalla ja sotilaskoulutuksessa simulaattoreita tai tietokonesimulaatioiden käyttöön perustuvia järjestelmiä käytetään laajasti, mutta niiden käyttö on laajentunut tai laajentumassa myös monille muille aloille. Erityisesti lääketieteen alalla simulaattoreiden ja virtuaaliympäristöjen käyttö on laajenemassa.

Seuraavassa esitellään kokemuksia simulaattori- ja muusta simulaatioiden käyttöön perustuvasta koulutuksesta eri aloilta, ilmailualan ja sotilaskoulutuksen lisäksi autonkuljettajien koulutuksesta, metsäkoneenkuljettajien koulutuksesta sekä muutamilta muilta aloilta.

3.1 Syitä simulaattoreiden käyttöön taitojen opetuksessa

Simulaattoreita taitojen opetuksessa käytetään useasta syystä. Syyt liittyvät kustannuksiin, turvallisuuteen ja helpompiin tai tehokkaampiin opetusjärjestelyihin. Joissakin tapauksissa koulutusta varten ei voi lainkaan järjestää aidoissa olosuhteissa, vaan simulointi on ainoa mahdollisuus. (esimerkiksi Flexman ja Stark, 1987, 1015-1028; Flight Simulation, 1997, 234-236; Towne, 1995, 1-2).

Simulaattorikoulutuksen alemmat kustannukset johtuvat monesta syystä: 1) Simulaattorin hinta on yleensä alempi kuin laitteen tai järjestelmän, jota sillä jäljitellään. 2) Käytön kustannukset ovat myös alemmat, kun esimerkiksi

polttoainetta tai muuta materiaalia säästyy. 3) Simulaattorin huolto ja ylläpito on yleensä halvempaa kuin laitteen tai järjestelmän, jonka toimintaa sillä jäljitellään. Simulaattorikoulutuksen ja muulla tavoin toteutettavan koulutuksen kustannusten vertailu on yksi lähtökohta kun simulaattorikoulutusta suunnitellaan. Lentäjäkoulutuksessa simulaattorikoulutuksen kustannukset ovat tyypillisesti noin 10 % lentokoneella toteutettavaan koulutukseen verrattuna (Flight Simulation, 1997, 247).

Ympäristösyöt puoltavat simulaattorin käyttöä. Polttoainetta säästyy ja myös esimerkiksi meluhaitat vähenevät. Myös simuloitavan laitteen tai järjestelmän kuluminen vähenee kun käytetään simulaattoria oikean laitteen tai järjestelmän asemesta, mikä osaltaan laskee kustannuksia. Myös laitteen käyttöikä saattaa pidentyä ainakin jos käyttöikä tulee täyteen käyttötuntien perusteella.

Kun laitetta tai järjestelmää käytetään koulutukseen, se on koulutuksen ajan poissa tuotantokäytöstä. Kun koulutus tapahtuu simulaattorilla, oikeaa laitetta tai järjestelmää voidaan käyttää tuotannossa samanaikaisesti. Tämän seikan merkitys korostuu kun on kyse kalliista laitteesta tai järjestelmästä.

Turvallisuustekijät ovat usein syynä simulaattorin käyttöön. On turvallista harjoitella tiettyjä toimenpiteitä simulaattoriympäristössä, jossa vaaraa ei aiheudu mahdollisista käyttövirheistä tai puutteellisesta osaamisesta. Tyypillisesti tällainen tilanne on silloin kun lentäjäopiskelija harjoittelee esimerkiksi lentokoneella laskeutumista. Harjoittelu aidoissa olosuhteissa voidaan aloittaa vasta kun tietty ammattitaidon taso on saavutettu. Simulaattorilla voidaan harjoitella myös vaaratilanteita, joita ei uskalleta, tai joita ei lainkaan voida oppia aidoissa olosuhteissa. Esimerkki vaaratilanteesta, jota ei uskalleta harjoitella aidoissa olosuhteissa on esimerkiksi uhkaava risteysonnettomuus autonajosimulaattorilla. Vaaratilannetta voidaan turvallisesti harjoitella simulaattorilla, jolloin voidaan oppia välttämään vaaratilanteita, toimimaan oikealla tavalla vaaran uhatessa tai noudattamaan varovaisempaa ajotapaa (Ivancic&Hesketh, 2000).

Opetusjärjestelyt simulaattorilla ovat usein yksinkertaisempia kuin aidoissa olosuhteissa. Aidon laitteen tai järjestelmän käyttö vaatii usein mittavia ennakkojärjestelyjä. Esimerkiksi metsäkonekoulutuksessa on hankittava ensin harjoitusleimikko ja sovittava muun muassa hakatun puutavaran kuljetuksesta eteenpäin. Nämä järjestelyvaiheet voidaan simulaattorikoulutuksessa välttää.

Simulaattorin käytöllä voidaan lisätä opetuksen tehokkuutta. Simulaattorin käyttö voidaan aikatauluttaa siten, että se on käytössä lähes koko ajan. Lentäjien koulutuksessa esimerkiksi huono sää tai ruuhkat saattavat aiheuttaa sen, että lentokoneella ei voida harjoitella. (Flight Simulation 1997). Metsäkoneenkuljettajien koulutus hakkuukoneella vaatii paitsi harjoitusleimikon olemassaolon niin myös kulkemisen leimikolle, jolloin tarvitaan auton lisäksi

myös ylimääräistä aikaa kulkemiseen. Kelirikkoaikana kun tiestön kantavuus heikkenee hakkuita on vähennettävä, eikä koneen käytön koulutusta voida tehokkaasti järjestää. Simulaattorilla näitä aikatauluista ja ulkoisista olosuhteista johtuvia ongelmia ei ole, vaan koulutusaika voidaan käyttää tehokkaammin.

Oppimisen ohjaaminen simulaattoriopetuksessa on useassa tapauksessa helpompaa kuin aidoissa olosuhteissa. Simulaattorilla voidaan keskittyä tiettyihin asioihin ja sulkea esimerkiksi pois sellaisia rutiiniluonteisia tehtäviä, jotka opiskelija jo osaa. Opettaja voi keskittyä opiskelijan ohjaamiseen kun joitakin aidoissa olosuhteissa kohdattavia elementtejä voidaan sulkea pois. (Flexman ja Stark, 1987, 1022). Esimerkiksi metsäkonekoulutuksessa koneen hydraulijärjestelmää pitää lämmittää talvella ennen työskentelyyn ryhtymistä, mikä vaatii aikaa. Simulaattorilla sen sijaan voidaan ryhtyä harjoittelemaan ilman viivytystä.

Simulaattorilla voidaan harjoitella myös esimerkiksi vianetsintää aiheuttamalla esimerkiksi vika, jonka opiskelijan pitää löytää ja korjata. Oikealla metsäkoneella vian tahallinen aiheuttaminen koulutustilannetta varten on vaikeampaa, koska vikojen ja ongelmatilanteiden luominen aiheuttaa paitsi kohonneita kustannuksia, mutta myös muita riskejä.

Oppimistilanteiden standardointi simulaatio-olosuhteissa on helpompaa kuin aidoissa olosuhteissa, joissa esimerkiksi ympäristön vaihtelua ei voida sulkea pois. Opiskelijoiden osaaminen arviointi helpottuu. Simulaattori antaa myös palautetta opiskelijoille rekisteröimällä esimerkiksi työskentelyn nopeuden tai aiheutetut virheet, esimerkiksi metsäkoneen nosturin kosketukset metsään jäävien puiden runkoihin. Simulaattorikoulutuksessa tehtävien vaikeustaso voidaan säätää opiskelijoiden osaamistason mukaan. Kun opiskelijat kehittyvät, vaikeustaso voidaan nostaa. järjestää aidoissa olosuhteissa, vaan simulointi on ainoa mahdollisuus. (Flexman ja Stark, 1987, 1015-1028; Flight Simulation, 1997, 234-236).

3.2 Simulaattorikoulutus ilmailualalla

Ilmailualan koulutuksessa, erityisesti lentäjien koulutuksessa simulaatioita on käytetty jo lähes sata vuotta (Flight Simulation 1997; 14-35, Moore 2000). Jo 1920-luvulla simulaattoreita käytettiin instrumenttilentokoulutuksessa, jossa harjoiteltiin lentokoneen ohjaamista niitä tilanteita varten, joissa näkyvyys lentokoneen ohjaamosta oli olematon, esimerkiksi yöllä (Moore 2000).

Simulaattorit ovat kiinteä osa koulutusta ilmailualalla. Simulaattoreita käytetään 1) uuden henkilöstön peruskoulutuksessa, 2) henkilöstön taitoja

ylläpitävässä koulutuksessa sekä myös 3) taitoja määritettäessä. Huomattava osa muutoin ilmassa tapahtuvasta koulutuksesta voidaan korvata simulaattorikoulutuksella. (Flight Simulation 1997; Stark 1999). Ilmailualan simulaattorikoulutus voidaan jakaa siviili- ja sotilasilmailun koulutukseen. Simulaattorien käyttö on integroitu lentäjien koulutukseen monella tavalla, joten tässä jaksossa luodaan kuvaa lentäjien koulutuksesta laajemmin.



Kuva 3. Airbus 320 –lentokonesimulaattorin ohjaamo(ylempi kuva) sekä MD-80 –simulaattori ulkoapäin (kuvat: Finnair OYJ).

Simulaattoreita käytetään lentäjien koulutuksessa muun muassa seuraavista syistä: Simulaattorikoulutuksen kustannukset ovat alemmat kuin koulutuksen lentokoneella toteutettuna. Esimerkiksi erilaisten vaaratilanteiden harjoittelu oikealla koneella aiheuttaa usein kohonneita varaosakustannuksia. Sotilasilmailussa asejärjestelmillä harjoittelu kuten ohjusten ampuminen oikealla koneella on kallista. Toiseksi, simulaattorilla voidaan harjoitella vaaratilanteita ilman, että ihmisille tai kalustolle aiheutuu vahinkoa. Kolmanneksi, harjoittelu lentokoneella vaatii sen, että ilmatilan on oltava vapaa ja säätilan harjoitteluun sopiva. Simulaattorilla voidaan harjoitella milloin tahansa, myös huonolla säällä ja silloin kun ilmatilassa on ruuhkaa. Neljänneksi, harjoittelu simulaattorilla on ympäristöystävällistä. Harjoittelu lentokoneella aiheuttaa sekä saaste- että meluhaittoja. Edellä mainittujen lisäksi lentokonesimulaattoria voidaan käyttää myös täydennyskoulutukseen ja lentäjien osaamisen arviointiin. (Flight Simulation 1997, 248-249).

Flight Simulationin (1997, 236) mukaan lentokonesimulaattorin käyttö on perusteltua kun

- (1) opittava asia vaatii merkittävästi lentokoneen tai sen toimintajärjestelmien käyttämistä
- (2) kun opittavat asiat muistuttavat tilanteita, joita kohdataan lentokonetta käytettäessä
- (3) kun tilanne sisältää lentokoneen käyttämisen osaamisen arviointia tai käyttämisen kehittämistä.

Lentäjien koulutus jaetaan peruskoulutusvaiheeseen (ab initio tai initial training) ja jatkokoulutusvaiheeseen (airline training phase tai advanced training) (Flight Simulation 1997; Rigner ja Dekker 2000) . Jatkokoulutukseen kuuluu peruskoulutus (initial training), täydennyskoulutus (recurrent training) sekä lentokoneen tyyppikoulutus (type tai transition training).

Stark (1999, 140-146) kuvailee ilmailualan simulaattorikoulutuksen toteutusta seuraavasti:

1) Aluksi on määritettävä tehtäväkuvaukset, tehtävät ja taidot, jotka lentohenkilöstön tulee hallita. Lisäksi määritellään mitä tulee osata, paljonko harjoittelua tarvitaan ja millaisia opetusjärjestelyjä tämä vaatii. Osa opetuksesta voidaan toteuttaa simulaattorilla.

2) Kun tehtäväkuvaukset on määritetty, tämän jälkeen määriteltävät oppimistavoitteet kertovat mitä lentäjän tulee osata. Niissä määritellään myös hyväksyttävän suorituksen kriteerit.

3) Opetuksen analyysissä opetusalan asiantuntijat määrittävät ja analysoivat millä tavoin opetus tulisi toteuttaa, jotta tehokas oppiminen olisi mahdollista. Kouluttaja voi arvioida oppijan suoritusta tarkkailemalla hänen suoritustaan oppimistilanteessa, mutta tämän lisäksi simulaattori rekisteröi numeerista dataa oppijan suorituksesta, mikä on myös kouluttajan käytössä hänen arvioidessaan oppijan suoritusta.

4) Ennen simulaattoriharjoitusta kouluttaja ja oppija käyvät läpi keskeisiä harjoitukseen liittyviä asioita. Kouluttaja tarvittaessa myös demonstroi tehtävän oppijalle.

5) Simulaattoriharjoituksen aikana, suorituksen tarkkailu- ja arviointivaiheessa diagnosoidaan oppijan suoritusta tavoitetasoon. Kouluttaja tarvittaessa opastaa mikäli virheitä ilmenee. Oppimisen arviointiin perustuen oppijalle annetaan vaativimpia tehtäviä sen mukaan kun hänen taitonsa karttavat.

6) Valmentaminen ja opastus. Oppiminen on mahdollista myös yrityksen ja erehdyksen kautta. Oppimisprosessi kuitenkin nopeutuu jos kouluttaja koulutuksen aikana opastaa ja valmentaa oppijaa antaen vihjeitä ja tehden ehdotuksia.

Opetusmenetelmänä lentosimulaattorikoulutuksessa käytetään muun muassa menetelmää Event-Based Approach to Training (EBAT), joka on kuvattu luvussa 4.3.3.

Simulaattorilla voidaan kouluttaa suuria kokonaisuuksia tai osatehtäviä. Siviili-ilmailun koulutuksessa käytetään muiden muassa menetelmää, jossa simuloidaan koko lento yksittäisten tehtävien asemesta, esimerkiksi tietty reittilento alusta loppuun, jolloin lentäjät ja muu lentohenkilöstö joutuvat harjoittelemaan monia lentoon kuuluvia asioita, esimerkiksi erilaisia ongelmatilanteita joita lentohenkilöstö joutuu ratkaisemaan simuloidun lennon aikana (line-oriented flight training eli LOFT). Toiminta lentokoneen ohjaamossa vaatii myös monenlaisia teknisiä ja arviointitaitoja varsinaisten lentämistaitojen lisäksi. (Stark 1999, 115-116).

Siviili-ilmailun koulutuksessa simulaattoreita käytetään nykyisin paitsi lentäjien koulutukseen niin myös muun lentohenkilöstön koulutukseen, jolloin koulutetaan muuta lentokoneen henkilöstöä lentäjien kanssa. Tätä kutsutaan nimellä cockpit tai crew resource management (CRM). Tavoitteena on parantaa koko lentohenkilöstön yhteistoimintaa. (Stark 1999, 112). Lentokonehenkilöstön yhteistyön onnistuminen monessa tapauksessa on ratkaisevaa myös lentoturvallisuuden näkökulmasta. Useassa tapauksessa lentokonehenkilöstön yhteistyön puutteet ovat aiheuttaneet onnettomuuksia. CRM-koulutuksen aihealueita ovat päätöksenteko, kommunikointi, johtaminen, tiimityö ja

stressinhallinta. Myös CRM-koulutus voi tapahtua osittain simulaattoreiden avulla (Jensen&Biegalski 1999, 176-209).

Simulaattorikoulutuksen jälkeinen palautekeskustelu on merkittävä osa koulutusta. Dismukes, McDonnell ja Dobe (2000) selvittivät palautekeskustelun laatua LOFT-lentokonesimulaattorikoulutuksen jälkeen. Tulosten mukaan

- oppijoiden itsearviointi on tärkeää kouluttajan arvioinnin lisäksi
- kouluttajan roolin tulisi olla palautekeskustelun aikana lähinnä fasilitaattori, jolloin oppijat ottavat aktiivisemmän roolin palautekeskustelussa
- kouluttajat tarvitsevat lisäkoulutusta muun muassa palautekeskustelujen vetämiseen
- koulutusta palautekeskustelun toteuttamista varten tarvitsevat myös oppijat
- on tarvetta palautekeskustelukäytännön laadunarviointiin sekä standardointiin eri lentoyhtiöiden välillä

Lentäjien koulutuksessa on perinteisesti käytetty suuria, hyvin paljon oikeata lentokonetta muistuttavia liikkuva-alustaisia simulaattoreita. Lentäjäkoulutukseen hyväksytyjen simulaattoreiden laatuvaatimuksia ja teknisiä ominaisuuksia on esimerkiksi USA:ssa säädelty varsin yksityiskohtaisesti lainsäädännön avulla. (Burki-Cohen, Soja&Longridge 1998, 293-317). Näiden lisäksi käyttöön on otettu kustannuksiltaan halvempia simulaattoreita, joita voidaan käyttää yksinkertaisempien oppimistehtävien oppimisen apuna.

Pöytätietokoneita käytetään lentäjien peruskoulutuksessa. Syynä on simulaattoreiden alhainen hinta ja siitä johtuva koulutuksen kustannustehokkuus. Oppimistulokset lentäjien peruskoulutuksessa rajatuissa oppimistehtävissä pöytätietokoneita käytettäessä ovat olleet varsin hyviä (Jentsch&Bowers 1998, 243-260). Jopa hyvin yksinkertainen, näppäimistöllä ja hiirellä varustettu pöytätietokonesimulaattori paransi oppimistuloksia lentäjien koulutuksen alkuvaiheissa. (Dennis&Harris 1998, 261-276).

Koonen ja Bramblen (1998, 277-292) mukaan pöytätietokoneita voidaan lentäjien alkeiskoulutuksen lisäksi käyttää myös kokeneiden lentäjien instrumenttikoulutuksessa. Heidän mukaansa lisää tutkimusta kaivataan siitä miten oppimisen transfer toteutuu erilaisissa oppimistehtävissä käytettäessä pöytätietokonetta. Myös muiden lähteiden mukaan instrumenttikoulutusta on mahdollista toteuttaa pöytätietokonesimulaattoreilla menestyksellisesti. Lentäjäopiskelijat oppivat helikopterin ohjaamon instrumenttien käyttöä pöytätietokonesimulaattorilla hyvin (Stewart et al. 2001). Toisessa tutkimuksessa sekä kokeneet helikopterilentäjät että lentäjäopiskelijat oppivat hyvin pöytätietokonesimulaattorilla helikopterin ohjaamon instrumenttien käyttöä. Erityisen hyvin opittiin radionavigointia. (Johnson&Stewart 2002).

3.2.1 Lentäjien koulutuksen kehittämistarpeita

Salasin, Bowersin ja Rhodenizerin (1998, 197-208) mukaan lentosimulaattorikoulutuksessa on kiinnitetty liian vähän huomiota yksilön ja tiimien koulutukseen ja kognitioon. Koulutusta ja oppimista koskevan tutkimuksen tulokset eivät ole vaikuttaneet simulaattorikoulutuksen käytäntöihin. Kehittämistyön painopistettä tulisikin heidän mukaansa siirtää simuloinnin realistisuuden kehittämisestä oppijakeskeisen, monimutkaisten taitojen hankkimista tukevan opetuksen suunnitteluun. Edellä mainittujen mukaan opetusjärjestelyt vaikuttavat enemmän opetuksen onnistumiseen kuin itse simulointi.

Edellä mainitut päätyvät edelliseen pohjautuen seuraaviin johtopäätöksiin:

- 1) Simulaattoreiden kehittäjien tulisi siirtää pääpaino teknisestä kehittämisestä oppimisen edistämiseen, esimerkiksi siihen miten ottaa huomioon tehokkaan oppimisen vaatimukset simulaattoriopetuksessa.
- 2) Simulaatioon perustuvia opetusmenetelmiä ja koulutuksen tehokkuuden mittareita tulisi kehittää niin, että myös laitteiden kehittäjät kiinnittäisivät enemmän huomioita oppimisen näkökulmaan.
- 3) Suorituksen arviointi, tehtäväanalyysi, skenaarioiden luominen, palaute ja ohjaus ovat välttämättömiä, jotta oppimista tapahtuu simulaattorikoulutuksessa.
- 4) Simulaattorin realismi ei välttämättä takaa hyviä oppimistuloksia, opetuksellisten tekijöiden merkitys oppimisessa on suurempi kuin simulaation sinänsä.
- 5) Yhteistyötä käyttäytymistieteilijöiden, insinöörien ja systeemisuunnittelijoiden välillä tulee lisätä.
- 6) On luotava mekanismeja, joilla oppimiseen, oppimisen ohjaamiseen ja ihmisen käyttäytymiseen liittyvien tutkimusten tuloksista koottaisiin tietoa niille, jotka kehittävät simulaatioon perustuvia koulutusjärjestelmiä,
- 7) Opetuksessa tulee siirtyä opiskelijakeskeisempään lähestymistapaan.

Rigner ja Dekker (2000) peräävät kokonaisvaltaista lähestymistapaa lentäjien koulutukseen sen sijaan, että opetussuunnitelma koostuu oppiaineista. Lentokoneiden toiminta perustuu nykyisin automaatiojärjestelmiin. Automaatiokoulutus samoin kuin CRM-koulutus tulisi integroida koulutukseen sen sijaan että ne ovat usein erillisiä oppijaksoja.

Lentokone, samoin kuin simulaattori, on ihminen-kone järjestelmä (human-machine system). Tavoitteena on, että ihminen ja kone toimisivat yhteistyössä mahdollisimman saumattomasti. Lentokoneiden automaatiojärjestelmät on luotu

helpottamaan päätöksentekoa, mutta toimintojen automatisoituminen on puolestaan tuonut mukanaan uusia haasteita koulutukselle. Kun automaatio lisääntyy, lentäjien voi olla vaikeaa ymmärtää miten automaatioon perustuvista järjestelmistä koostuva lentokone toimii. Tämä voi johtaa vääriin päätöksiin ja vaaratilanteisiin. (Olson&Sarter 2000). Koulutuksen lisäksi simulaattoreilla voidaan tutkia ja kehittää automaatiojärjestelmiä ja niiden toimivuutta luomalla skenaarioita ja testaamalla näitä simulaattorin avulla. (Bove&Andersen 2002).

Hyvin usein lento-onnettomuuksien syynä on inhimillinen virhe. Lentäjien kykyä pysyä eteen tulevissa tilanteissa ajan tasalla ja kykyä tehdä nopeasti oikeita päätöksiä kutsutaan nimellä situation awareness (SA). (Endsley 2000; Endsley&Garland 2000). Endsleyn (2000) mukaan lentäjien peruskoulutus keskittyy liaksi vain peruslentotaitojen oppimiseen. Koulutusta kehittämällä voidaan parantaa lentoturvallisuutta. SA:han liittyvien korkeamman tasoisten kognitiivisten taitojen kehittäminen sisältää muun muassa metataitojen kehittämistä, tiedon hakemista ja valikointia, huomion jakamista eri asioille ja tehtävähallintaa. Lennon etukäteen tapahtuva suunnittelu, muun muassa riskitekijöiden huomioonottaminen, strukturoitu koulutustilanteen jälkeinen palaute sekä SA-taitojen arvioinnin kehittäminen ovat tekijöitä, joilla voidaan kehittää SA-taitoja.

Tulevaisuudessa kalliita lentokonesimulaattoreita pyritään korvaamaan immersiiivisillä virtuaaliympäristöillä. Dörr, Schiefele ja Kubbat (2000) ovat selvittäneet immersiiivisten virtuaaliympäristöjen käyttöä lentäjien koulutuksessa. Ympäristöä voidaan käyttää lentämisen koulutuksessa, mutta myös lentokoneen rakennetta opittaessa. Virtuaaliympäristöjen tekninen kehittymättömyys, muun muassa viiveet ja näkökentän kapeus HMD-kypärää käytettäessä ovat ongelmana.

Kuijper (1997) tutki sotilaslennonjohtajien koulutusta HMD-virtuaaliympäristössä. Tulosten mukaan koulutuksen tehokkuus ja joustavuus lisääntyi verrattuna aiemmin käytettyyn menetelmään, joka perustui osittain simuloinnin käyttöön. Sekä kouluttajat ja oppijat pitivät lisäksi HMD-virtuaaliympäristöstä oppimisympäristönä.

3.2.2 Lentosimulaattorikoulutuksen yhteenvetoa

Ilmailualan koulutuksessa lähdetään liikkeelle kokonaisuudesta ja koulutus toteutetaan sen mukaan mikä on järkevää ja mahdollista. Lähestymistapa on systemaattinen. Simulaattorit on integroitu ilmailualan koulutukseen siten, että niitä käytetään tarkoituksenmukaisella tavalla. Simulaattorikoulutuksella korvataan koulutusaikaa lentokoneella sikäli kun se on mahdollista ja

taloudellisesti järkevää. Taloudellisuus ja turvallisuus ovat pääsyynä simulaattoreiden käyttöön. Lentokoneen käyttökustannukset ovat korkeat ja toisaalta turvallisuusriskit ovat suuret jos lentäjä toimii virheellisesti.

Viime aikoina on koulutuksen pedagogiikkaan alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota teknisen lähestymistavan sijaan. Poikkitieteellistä yhteistyötä pidetään yhtenä simulaattorikoulutuksen menestyksen avaimista. Simulaattorikoulutuksen kehitystyössä on mukana entistä enemmän myös käyttäytymistieteilijöitä.

Pedagoginen lähestymistapa on kokemuksellinen. Konstruktivismiin piirteitä ei juuri ole havaittavissa mikä saattaa johtua siitä, että lentokoneen ohjaaminen on varsin tarkkaan ennalta määrättyjen menettelyiden sävyttämää, jolloin lentäjä ei voi toimia kovin itseohjautuvasti, vaan tekniikan vaatimukset rajoittavat toimintavaihtoehtoja.

Kalliita simulaattoreita on alettu korvata toisaalta pöytätietokonesimulaattoreilla, toisaalta immersiiivisillä virtuaaliympäristöillä. Pöytätietokonesimulaattoreiden ongelmana on niiden yksinkertaisuus, jolloin tehtävät, joita niillä voidaan oppia ovat rajattuja. Immersiivisten virtuaaliympäristöjen ongelmana on toistaiseksi ollut tekniikan kehittymättömyys.

Lentosimulaattorikoulutuksessa käytetty menetelmä EBAT on käytössä myös muilla aloilla. Se muistuttaa Suomen näyttöjärjestelmää ja se lienee sovellettavissa ammatilliseen koulutukseen myös muilla aloilla. Koska ilmailualalla on pisin simulaattoreiden käyttökokemus, muilla aloilla voitaisiin hyödyntää ilmailualan simulaattorikoulutuksesta kertyneitä kokemuksia.

3.3 Simuloinnin käyttö sotilaskoulutuksessa

Sotilaiden koulutuksessa simulointiin perustuva koulutus on ainoa mahdollisuus toteuttaa laajamittaista, todenmukaista koulutusta rauhan aikana. Sotilaskoulutuksessa käytetään eritasoisia simulaattoreita ja simulointijärjestelmiä yhdessä ja erikseen. Tarvetta simulaattoreiden käyttöön lisää myös sodankäynnin teknistyminen.

Simulaatioon perustuvaa koulutusta voidaan järjestää eri tavoin. Harjoitukset voivat perustua pelkästään simulaatioille. Tämän lisäksi erilaisia simulaatioita ja simulaattoreita voidaan myös kytkeä eri tavoin järjestettyihin koulutustapahtumiin siten, että osa harjoituksesta toteutetaan simulaatioilla tai simulaattoreilla, jolloin simulaation merkitys oppimisprosessissa on keskeinen.

Simulaattoreita voidaan käyttää korvaamaan aitoja koneita tai laitteita silloin kun turvallisuustekijät estävät aitojen koneiden tai laitteiden käytön tai kun niiden käyttö ei muista syistä ole järkevää. (Throne&Burnside 2003).

Tietokoneita, simulaattoreita ja simulaatiojärjestelmiä voidaan kytkeä yhteen, jolloin voidaan simuloida sodankäynnin tiettyjä osia tai kokonaisuutta. Tällainen järjestelmä on esimerkiksi simulator networking-järjestelmä eli SIMNET (Alluisi 1991), sen seuraaja Distributed Interactive Simulation (DIS) ja tämän jälkeen kehitetty High Level Architecture (HLA). Viimemainittua kehitettäessä on kiinnitetty huomioita järjestelmän joustavuuteen. Siihen muun muassa voidaan kytkeä erityyppisiä ja -tasoisia simulointijärjestelmiä. Se myös sisältää erilaisia analysointi- ja oppimisen tukijärjestelmiä. (Page&Smith 1998).

Kun simulointijärjestelmissä on useita toimijoita ja osapuolia, tapahtumien kulku on luonteeltaan monimutkaista, dynaamista eikä ennakoitavissa olevaa. Fowlkesin, Dwyerin, Oserin ja Salasin (1998, 215-217) mukaan taisteluiden kulun ennustaminen ja tarkkojen skenaarioiden ja koulutustehtävien laatiminen on vaikeaa, koska eri toimijat muuttavat jatkuvasti olosuhteita ennakoimattomalla tavalla. Tällöin voidaan auttaa tulosten analysoimista, arviointia ja palautteen antamista esimerkiksi listaamalla tyypillisiä tapahtumakulkuja ja niihin liittyviä mahdollisia virhesuorituksia.

Kun kaupalliset pöytä tietokoneeseen asennettavat simulaatiosotapelit jatkuvasti kehittyvät, myös niiden koulutuskäyttöä rajatuissa tehtävissä tulisi tutkia. Osasta kaupallisia pelejä voidaan myös tehdä omia modifikaatioita. Osa pöytä tietokonepeleistä voidaan verkottaa, jolloin pelissä voi olla mukana useita toimijoita. (Äyräväinen 2000).

Simulaatiokoulutuksella voidaan madaltaa teoreettispainotteisen koulutuksen ja käytännön taistelutoiminnassa tarvittavan osaamisen välillä olevaa kynnystä. Etelämäen (1999) mukaan simulaation käytöllä voitiin parantaa upseerioppilaiden panssarintorjuntajoukkueen taistelun johtamista ohjaavia sisäisiä malleja. Mäkelän (1999) mukaan oppimisen kannalta kaksipuolisen taisteluharjoituksen toteuttamisessa on olennaista palautteen merkityksen ymmärtäminen. Peltoniemen (1999) mukaan kaksipuolinen simulaattoritaisteluharjoitus paransi erityisesti osanottajien taistelujen kuluista saamaa kokonaiskuvaa, millä on merkitystä joukkojen toimintakyvyn ja taistelukyvyn muodostumisessa.

Sotilaslentäjien koulutuksessa oppimisen psykologiaan tukeutuva simulaattorikoulutuksen lähestymistapa on ollut vallalla jo pitkään. Sinivuo (1982) tekemässä kirjallisuustutkimuksessa selvitettiin simulaattorien hyötyä ja käyttömahdollisuuksia lentäjien koulutuksessa ja valinnoissa painottuen erityisesti siirtovaikutustutkimukseen. Sinivuo korostaa erityisesti

siirtovaikutuksen edistämisen merkitystä sotilaslentäjien simulaattorikoulutuksen toteutuksessa.

Suomen maavoimien sotilaskoulutuksen simulaation koulutuskäytön strategia on kokonaisvaltainen. Yksittäiset simulaattorit voidaan liittää osaksi laajempia simulointijärjestelmiä. Yksittäistä laitetta jäljittelevien simulaattoreiden kuten esimerkiksi panssarivaunusimulaattoreiden lisäksi käytetään kokonaisia asejärjestelmiä ja johtamisjärjestelmiä jäljitteleviä simulointijärjestelmiä. Pyritään simuloimaan yksittäisten laitteiden lisäksi taistelun tai koko sodan kokonaisuutta, mukaan lukien johtamistoiminta. (Peltoniemi 2000).

Suomen maavoimien simulointistrategiassa vuodelta 2000 (Peltoniemi 2000, tiivistelmä), todetaan seuraavaa koskien syitä maavoimien simulaattoriopetuksen käyttöön: Simulaatioiden tavoitteena on, että niiden avulla kyetään luomaan sodan ja taistelukentän tai kriisialueen oloja vastaava oppimisympäristö ja kohteet. Tavoitteena on lisäksi simulointiavusteisen integroidun johtamis- ja taisteluharjoituksen kehittäminen, jolloin simulointijärjestelmät liitetään koko puolustusjärjestelmän osaksi. Kokonaistavoitteena on yhteisen synteettisen ympäristön luominen, jossa operatiiviset järjestelmät ja koulutusjärjestelmä integroituvat yhdeksi kokonaisuudeksi.

Peltoniemi (2000, 64-65) jakaa eri tasoilla käytettävän simulaattoriteknologian kolmeen (A-C) kategoriaan:

- A) Yksittäisen ase- ja toimenpiteen simulointiin tarkoitetut järjestelmät (ase- ja toimenpidesimulaattorit)
- B) kaksipuolisen simulaattoritaisteluharjoituksen simulointijärjestelmät sekä
- C) eri tasoisten analysointi-, suunnittelu- ja johtamisprosessien simulointijärjestelmät (komentaja- ja esikuntasimulaattorit)

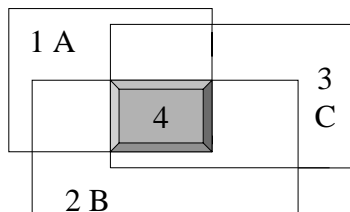
Maavoimien simulointiavusteisen opetuksen Peltoniemi (2000) jakaa neljään tasoon seuraavasti:

1. Simulointiavusteisessa väline- ja toimenpidekoulutuksessa käytetään oppimisen apuvälineinä ase- ja toimenpidesimulaattoreita.
2. Kaksipuolisessa simulaattoritaisteluharjoituksessa luodaan mahdollisimman todennäköinen taistelukentän kaltainen oppimisympäristö, jossa kaksi osapuolta taistelee keskenään. Osapuolilla on käytössään ase- ja toimenpidesimulaattoreita kaksipuolisen simulaattoriharjoituksen simulointijärjestelmän lisäksi. Palautetta osanottajat saavat kolmessa vaiheessa, ensin simulaatiojärjestelmän antamana välittömänä palautteena, myöhemmin kenttäpalaute, jossa analysoidaan tuloksia sekä lopuksi kaikille osanottajille yhteinen loppupalaute.

3. Simulointiavusteisessa komentaja- ja esikuntakoulutuksessa koulutetaan komentajia ja esikuntia joukkojen johtamiseen. Käytössä on komentaja- ja esikuntasimulaattoreita.

4. Simulointiavusteisessa integroidussa johtamis- ja taisteluharjoituksessa käytetään oppimisen apuna kaikkien kategorioiden simulaattoreita. Tavoitteena on liittää eri tasojen koulutus yhdeksi kokonaisuudeksi.

1. Simulointiavusteinen väline- ja toimenpidekoulutus
 2. Kaksipuolinen simulaattoritaisteluharjoitus
 3. Simulointiavusteinen komentaja- ja esikuntakoulutus, ja
 4. Simulointiavusteinen integroitu johtamis- ja taisteluharjoitus
- A. Ase- ja toimenpidesimulaattorit
- B. Kaksipuolisen simulaattoritaisteluharjoituksen simulointijärjestelmät ja
- C. Komentaja- ja esikuntasimulaattorit



Kuva 4. Maavoimien simuloinnin käyttöön perustuva opetus Peltoniemen (2000) mukaan.

Maavoimien simulointistrategiassa todetaan simulointiin perustuvan koulutuksen tavoitteeksi oppimisprosessin kokonaisuuden tukeminen. Kokonaisuuksien hallintaa sekä taitoa soveltaa opittua korostetaan koulutuksen tavoitteina. Palautteella nähdään olevan tärkeä merkitys. (Peltoniemi 2000).

Teknistyvän sodankäynnin oppiminen asettaa yhä suurempia haasteita oppimiselle, jolloin monitieteellisen lähestymistavan merkitys korostuu paitsi koulutuksessa niin myös tuotekehityksessä. Yhdysvaltain armeijan kehitystyössä korostetaan monitieteellisen lähestymistavan merkitystä. Mukana on sotilaiden ja teknisten asiantuntijoiden lisäksi myös käyttäytymistieteilijöitä. (Evans 2003). Virtuaalitodellisuuden sovellutuksilta odotetaan paljon sotilaskoulutuksessa. Muun muassa Yhdysvaltain merivoimilla on ollut meneillään laajoja tutkimuksia koskien virtuaalitodellisuuden käyttömahdollisuuksia sotilaiden koulutuksessa (Navair Training Systems Division 2004).

Immersiivisten virtuaaliympäristöjen odotetaan korvaavan tulevaisuudessa kallista simulaattoritekniikkaa koulutuksessa. Allardin (1997) mukaan perinteisten pitkälle kehitettyjen, suuren tarkkuustason simulaattoreiden ongelmana on niiden kalleus, ohjelmistojen ja laitteistojen muunneltavuuden puute sekä suuri koko. Immersiiviset virtuaaliympäristöt ovat halvempia, muunneltavampia ja mahtuvat pienempään tilaan. Allard näkee sovellusmahdollisuuksia merenkulun koulutuksessa, kaupunkisodankäynnin koulutuksessa sekä kauko-ohjattavien ilmassa tai vedessä liikkuvien laitteiden käytön koulutuksessa. Kuijperin (1997) raportoimassa tutkimuksessa HMD-

virtuaaliympäristöä testattiin Stinger-ilmatorjuntaohjuksen käyttökoulutuksessa rohkaisevin tuloksin. Jonkin verran ongelmia aiheuttivat kuitenkin virtuaaliympäristön tekniset puutteet, muun muassa aikaviiveet. Knerr&Lampton et al. (2002) raportoivat varsin hyvistä tuloksista virtuaaliympäristön käytöstä kaupunkisodankäynnin koulutuksessa laitteiston teknisistä kehittämistarpeista huolimatta.

Yhteenveto. Simulointia käytetään sotilaskoulutuksessa laajasti ja eri tasoilla. Kaksipuolisissa simulaattoriharjoituksissa opitaan käytännön päätöksentekoa erilaisissa tilanteissa. Organisaation eri tasot toimivat yhteen integroiduissa johtamis- ja taisteluharjoituksissa. Erilaisia simulaatioita, simulaattoreita ja muita koulutusvälineitä käytetään monipuolisesti oppimisen apuna, erilaisiin koulutustapahtumiin kytkettynä. Sotilaskoulutuksen kokonaisvaltaista lähestymistapaa voisi soveltaa myös muussa koulutuksessa, jolloin esimerkiksi simuloitaisiin tietyn alan yrityksen koko toimintaa yhteisessä harjoituksessa. Tällöin tavoitteena voisi olla paitsi oppiminen niin myös yrityksen toiminnan kehittäminen. Sotilaskoulutuksen simuloinnin käytön kehityssuuntana on tällä hetkellä immersivien virtuaaliympäristöjen käytön kehittäminen.

3.4 Simulaation käyttöön perustuva opetus lääketieteen alan koulutuksessa

Läketieteen alan koulutuksessa käytetään simulaattoreita ja virtuaaliodellisuutta. Simulaatioon perustuvat oppimisympäristöt tarjoavat verrattoman mahdollisuuden harjoitella siten, että potilaalle ei aiheudu vaaraa.

Smith (2000, 633) luonnehtii simulaatioon perustuvaa opetusta kirurgien koulutuksessa siten, että se tekee mahdolliseksi oppijan aktiivisen osallistumisen ja sekä antaa mahdollisuuden käyttää skenaarioita, jotka ovat sovitettavissa oppijan osaamistasoon. Suoritusta voidaan mitata ja palaute voidaan antaa välittömästi. Tendickin et al. (2000) mukaan kirurgien kouluttamisessa virtuaaliympäristössä on monia etuja. Se on interaktiivista, kouluttajan läsnäolo ei ole välttämätöntä, koulutustilanteet voidaan järjestää uudelleen, ja laitteisto rekisteröi suorituksen arviointia varten sekä oppijat voivat harjoitella erilaisia tekniikoita, joiden kokeilu potilailla ei ole mahdollista.

Gaban (2000) mukaan simulaation tutkimus- ja opetuskäytön etuja ovat muun muassa mahdollisuus monien simuloitujen oppimistilanteiden luomiseen, esimerkiksi harvoin toistuvien, kriittisten tilanteiden, joissa tarvitaan nopeaa

reagointia. Osanottajat voivat nähdä toimenpiteidensä seuraukset ja myös virheitä voidaan sallia. Tilanteet voidaan esittää muille. Simulaatioissa tilanteen taustalla olevat tekijät ovat tiedossa, jolloin tunnetaan syyt ja seuraukset. Myös henkilöstön yhteistoimintaa voidaan tutkia ja kehittää simulaatioiden avulla.

Riva (2003, 159-160) luonnehtii virtuaaliympäristöjä lääketieteellisessä koulutuksessa seuraavasti: Virtuaaliympäristöt ovat joustavia ja ohjelmoitavissa, ne tekevät mahdolliseksi erilaisten kontrolloitujen oppimistilanteiden luomisen ja käyttäjän vasteiden mittaamisen. Tämä tekee mahdolliseksi tehokkaan transferin ja opitun yleistämisen reaali maailmaan.

3.4.1 Virtuaalitodellisuuden käyttö lääketieteen eri alueilla

Rivan (2003, 159-169) virtuaalitodellisuuden käyttö lääketieteellisessä koulutuksessa alkoi 1990-luvun alkupuolella kirurgien koulutuksesta. Myöhemmin tämä laajeni muun muassa neurokirurgian alalle.

Anatomian opetus. Virtuaalitodellisuus soveltuu hyvin anatomian opetukseen. Kolmiulotteisuuden vuoksi voidaan oppia muun muassa tarkastelemalla elimiä eri puolilta tai menemällä elinten sisään. Tulevaisuudessa erilaisilla dynaamisilla malleilla voidaan kuvata eri elinten ja järjestelmien toimintaa erilaisissa tilanteissa.

Kirurginen simulaatio ja suunnittelu. Virtuaalitodellisuudessa on mahdollista harjoitella kirurgian käytännön taitoja turvallisesti. Muun muassa laparoskopian alueella virtuaalitodellisuuden simulaatio on todettu tehokkaaksi kun noviiseille opetetaan perustaitoja. (Riva 2003, 159-169).

Haluck et al. (2001) toteavat, ettei virtuaalisia ympäristöjä kirurgian opetuksessa ei vielä laajalti käytetä, vaikka niiden käyttö olisikin hyödyllistä. Edellä mainittujen mukaan virtuaaliympäristöjen kehittäjien tulisi panostaa enemmän potentiaalisten käyttäjien koulutukseen.

Kommers (2003a) kuvailee kirurgiopiskelijoiden opetusjärjestelyjä virtuaaliympäristössä seuraavasti: Aluksi on opettajan johdatus aiheeseen tai työhön. Tämän jälkeen seuraa opettajan demonstraatio ja sen jälkeen oppijan kokeilu. Kirurgiopiskelija voi opiskella ympäristössä itsenäisesti esimerkiksi leikkaustoimenpiteitä. Tämän jälkeen seuraa palautekeskustelu kouluttajan ja koulutettavan välillä, minkä jälkeen koulutettava voi valvotuissa olosuhteissa harjoitella oikean potilaan leikkaamista. Edellä kuvatun opetuksen etuna on muun muassa se, että sitä on mahdollista käyttää myös matkan päästä: kouluttaja

voi arvioida koulutettavan osaamisen tason verkon kautta tietokoneelta ennen aitoon leikkaustilanteeseen menoa.

Virtuaalinen endoskopia on uusi menetelmä, jossa on mahdollista yhdistää tietokonetomografia teknologiaan, joka tuottaa kolmiulotteisia kuvia ikään kuin aidossa endoskopiassa. Sitä käyttäen voidaan endoskooppisia toimenpiteitä harjoitella turvallisesti ja alemmilla kustannuksilla.

Neuropsykologinen arviointi ja kuntoutus. Virtuaalitodellisuuden perustuvia ympäristöjä voidaan käyttää kliinisessä psykologiassa potilaiden tilan arviointiin, mutta myös psykiatriseen kuntoutukseen. (Riva 2003, 159-169).

Diagnostiikka ja manuaaliset toimenpidetaidot. Medical readiness trainer team (2000) kuvailee virtuaalista oppimisympäristöä, jossa kehittyneen simulaatioteknologian ja lääketieteellisten tietokantojen avulla voidaan oppija perehdyttää monenlaisiin, monimutkaisiin lääketieteellisiin tilanteisiin. Virtuaaliympäristö tekee mahdolliseksi luoda tilanteita, joissa toteutuvat lääketieteellisesti sopiva konteksti, tilannerealismi ja psykologiset stressitekijät. Tässä ympäristössä voidaan hankkia sekä diagnostisia että manuaalisia toimenpidetaitoja.

Anestesiologia. Potilassimulaattoreiden käyttö anestesiologian opetuksessa on yleistä (Gaba 2000). Esimerkkinä anestesiologian alan simulaatiokoulutuksen rakenteesta Gaba (1991) esittää anestesian alan kriisinhallintakurssin opetusjärjestelyt: Aiheeseen johdatuksen jälkeen on luento. Opetusvideon katsomisen jälkeen seuraa keskustelu kriisinhallinnasta. Tämän jälkeen seuraa kriisinhallinnan simulaatiokoulutus, joka pohjautuu skenaarioiden käyttöön. Simulaatiokoulutuksen jälkeen käydään arviointi- ja palautekeskustelu, ja viimeisenä tulee kurssin arviointi.

3.4.2 Yhteenveto simulaation käytöstä lääketieteen alan koulutuksessa

Simulaatioon perustuvien ympäristöjen käyttö on lisääntymässä lääketieteen alalla, eritoten virtuaalitodellisuuden käyttö. Simuloimalla ihmisen kehoa ja sen toimintoja voidaan lääketieteellistä tietoa ja siihen liittyvää käytännön osaamista, esimerkiksi kirurgisia operaatioita oppia ilman aidon potilaan läsnäoloa tavalla, joka aiemmin ei ollut mahdollista.

Oppimista kuvataan konstruktivistiseksi ja kokemusperäiseksi (Kommers 2003a, 2003b), tai kokemusperäiseksi (Cleave-Hogg&Morgan 2002). Mahdollisuutta harjoitella käytännössä sellaista, mikä oli aiemmin mahdollista vain potilailla korostetaan. Tendick et al. (2000) mainitsee mahdollisuuden oppia havaintomotorisia taitoja, spatiaalisia taitoja ja toimenpiteiden kriittisiä vaiheita käytännössä. Myös etäopetuksen käyttö on mahdollista (Kommers 2003a). Oppijoiden näkemykset oppimisesta simulaation avulla ovat olleet myönteisiä: oppijat voivat tehdä itse ja soveltaa hankkimiansa perustaitoja jopa monipuolisemmin kuin aidossa ympäristössä (Cleave-Hogg&Morgan 2002).

Virtuaalisia ympäristöjä lääketieteen alan opetustarkoituksiin on kehitetty voimakkaasti 2000-luvulla, mutta opetuskäytössä niitä ei vielä kovin laajalti ole ehkä anesthesiologiaa lukuun ottamatta. Potentiaalisten käyttäjien koulutuksella voi olla merkittävä rooli koulutuskäytön lisäämisessä.

3.5 Simulaattoreiden käyttö metsäkoneenkuljettajien koulutuksessa

Maamme metsäoppilaitoksissa hakkuukoneen- eli harvesterinkuljettajakoulutuksessa käytetään yleisesti simulaattoreita korvaamaan osa aiemmin metsässä tapahtuneesta opetuksesta. Metsäkoneopetuksen apuvälineenä simulaattoreita käytetään yleisesti myös Pohjois-Amerikassa (Freedman 1998). Simulaattoreilla toivotaan voitavan tehostaa opetusta ja laskea sen kustannuksia.

Harvesterinkuljettajan työssä vaaditaan korkeata tuottavuutta, ja samaan aikaan työn laadulle asetetaan suuret vaatimukset. Koneetta on käsiteltävä niin, että turhia konerikkoja ei satu. (Salakari&Heimonen 1998). Metsäkoneenkuljettajan valtakunnallisessa opetussuunnitelmassa (Opetushallitus 2002) esitetään metsäkoneenkuljettajan koulutusammatin osaamistavoitteet, joiden perusteella maamme metsäoppilaitosten hakkuukoneenkuljettajien koulutus suunnitellaan. Oppimistavoitteet ovat monipuoliset ja asettavat tehokkaan työskentelyn, työn laatuvaatimusten ja koneiden kunnossa pitämisen lisäksi vaatimuksia tietotekniikan ja ympäristöhoidon osaamiselle. Simulaattorin käytön roolia ei metsäkoneenkuljettajan valtakunnallisessa opetussuunnitelmassa ole määritelty, mutta kaikissa maamme metsäkoneenkuljettajakoulutusta antavissa oppilaitoksissa käytetään simulaattoreita koulutuksen apuvälineinä.

Juola (2001) on selvittänyt simulaattorien käytön mahdollisuuksia tehostaa metsäkoneenkuljettajien koulutusta maassamme. Hän arvioi, että koulutuksen tehokkuuden lisäys saattaisi olla noin 20%. Simulaattoreilla voidaan toteuttaa varsin suuri osa opetussuunnitelman tavoitteista. Simulaattoreiden käyttö tarjoaa mahdollisuudet monipuolistaa opetusta, käyttää uudenlaisia opetusmenetelmiä ja omaksua uusien käsitysten mukainen lähestymistapa opetukseen. Simulaattoreiden käyttö asettaa uudenlaisia vaatimuksia opettajien pedagogisille valmiuksille, koska niiden käyttö muuttaa opetusmenetelmiä.

Juolan (2001, 88) mukaan koulutuksen alkuvaiheessa simulaattorin tarkkuudelle (vastaavuudelle) ei tule asettaa suuria tavoitteita, mutta myöhemmässä vaiheessa motoristen taitojen oppiminen vaatii sen, että simulaattorin vasteet oppijan toimenpiteisiin ovat aidon kaltaiset, jotta opittavat mentaaliset mallit kehittyvät oikeanlaisiksi. Juolan mukaan on varottava, että tarkkuustasoltaan alhaisten simulaattoreiden käyttö ei tuota vääriä mentaalisia malleja, koska tämä aiheuttaa negatiivista transferia. Kokeneiden kuljettajien mallien muodostumisen kannalta ei enää vaadita kovin suurta tarkkuutta täydennyskoulutuksessa, koska mentaaliset mallit ovat jo aiemmin muodostuneet oikeanlaisiksi.

Freedmanin (1998) mukaan 25 tunnin harvesterisimulaattoriharjoittelun jälkeen tuottavuus metsäolosuhteissa nousi 10-15% ja koneiden kunnossapidon kustannukset laskivat noin 30 % tutkimuksessa, joka tehtiin Kanadassa. Voitiin osoittaa myös yhteys simulaattorilla osaamisen ja metsässä harvesterilla osaamisen välillä.

Yates (2000) raportoi niin ikään Kanadassa tehdystä tutkimuksesta, jossa selvitettiin opiskelijoiden 30 tunnin harvesterisimulaattorin ja 30 tunnin telalustaisen kaivinkoneen ajon yhdistelmäkoulutuksen vaikutuksia hakkuutyön tuottavuuteen harvesterilla metsäolosuhteissa. Kun oletus oli, että simulaattori- ja kaivinkonekoulutuksen jälkeen tuottavuus olisi 20 puuta tunnissa, opiskelijat saavuttivat 40 puun tuotoksen. Myös konerikkojen osuus väheni verrattuna aiempiin kokemuksiin. Syynä kaivinkoneen käyttöön koulutuksessa on se, että sillä saatiin harjoitusta maastossa ajamiseen ja toisaalta puomin käyttöön. Kaivinkoneen puomin hallintalaitteet olivat samankaltaiset kuin harvesterissa.



Kuva 5. *Timberjack-hakkuukonesimulaattori (kuva Plustech OYJ).*

Vuonna 2002 tehtiin tutkimus, jona tavoitteena oli selvittää maamme metsäkoneenkuljettajaopiskelijoilta sekä metsäkonesimulaattoriopettajilta, miten hyvin harvesterisimulaattorilla opittu on hyödynnettävissä metsässä harvesterilla. Tavoitteena oli myös selvittää, kuinka paljon simulaattori opiskelijoiden ja opettajien näkemysten mukaan oppimisympäristönä muistuttaa aitoja työskentelyolosuhteita eli harvesteria metsässä. (Salakari 2002).

Vastaajien näkemykset simulaattoriopetuksen hyödynnettävyydestä opetussuunnitelman osa-alueittain olivat suuret:

Hyvin tai erinomaisesti simulaattorilla opittuna ovat vastaajien mukaan hyödynnettävissä mittalaitteen opetukseen liittyvät asiat kuten puutavaran mittojen ohjelmointi harvesterin tietokoneelle tai tiedonsiirto sähköisesti koneen tietokoneelta.

Varsin hyvin hyödynnettävissä on myös hakkuutekniikan periaatteet simulaattorilla opittuna.

Kohtalaisesti simulaattorilla opittuna oli hyödynnettävissä puun kaatotekniikka. Avoimissa kysymyksissä kuitenkin mainittiin usein, että puun kaatoa ei voi hyvin oppia simulaattorilla, koska se on oikealla koneella selvästi vaikeampaa. Vastauksista avoimiin kysymyksiin on pääteltävissä, että simulaattori ei riittävästi jäljittele kaatoon liittyviä vaikeustekijöitä.

Koneella ajamista ei myöskään voi juuri oppia simulaattorilla, varsinkaan vaikeassa maastossa ajoa. Pienten korjausten ja päivittäisten huoltojen oppiminen simulaattorilla ei myöskään onnistu, mikä on odotusten mukainen tulos. Kohtalaisesti tai huonosti simulaattorilla opittuna metsässä harvesterilla ovat hyödynnettävissä harvennushakkuu, puunkorjuun suunnittelu, tukkirungon katkonnan oppiminen, jäävän puuston korjuuvaurioiden välttäminen, laadukas työ yleensä, työn vastuullisuuden opetus sekä vianetsintä.

Avoimiin kysymyksiin vastattiin seuraavasti:

Mitkä ovat sellaisia harvesterin oppimisen osa-alueita, jotka simulaattorilla opittuna ovat hyvin hyödynnettävissä kun siirrytään oikealle koneelle metsään?

-näppäimet (hallintalaitteet), mittalaite, nosturin liikkeet, työtekniikka, tukkirungon katkontaohjelma, mittalaitteen kalibrointi

Mitkä ovat sellaisia harvesterin oppimisen osa-alueita, jotka simulaattorilla opittuna ovat huonosti hyödynnettävissä kun siirrytään oikealle koneelle metsään?

-puun kaataminen, ajaminen koneella, puutavaran laatu, harvennushakkuu, huollot, pimeätyöskentely

Mitkä ovat sellaisia harvesterin oppimisen osa-alueita, jotka simulaattorilla opittuna haittaavat oppimista oikealla koneella?

-väärä kaatotekniikka, simulaattorin vaurioitumattomuus/koneen vaurioituminen, voimat nosturia käytettäessä, puutavaran laatu, koneella ajaminen

Yleisimpänä simulaattorilla oppimisen etuna mainittiin näppäinten ja hallintalaitteiden oppiminen. Väärän turvallisuuden tunteen oppiminen ja simulaattorin vaurioitumattomuus puolestaan olivat yleisimmin mainittuja simulaattorioppimisen haittoja.

Sekä opiskelijoilta että opettajilta kysyttiin, miten paljon simulaattori 1) teknisenä, 2) fyysisenä, 3) sosiaalisena ja 4) didaktisena oppimisympäristönä muistuttaa harvesteria metsäolosuhteissa. Tulosten mukaan harvesteri

oppimisympäristönä muistuttaa harvesteria metsäolosuhteissa varsin vähän. Suurin ero simulaattorin ja harvesterin välillä on sosiaalisena oppimisympäristönä. Sekä opiskelijoiden että opettajien vastaus oli tässä suhteessa hyvin saman suuntainen. Perusteluna tälle oli mainittu usein se, että simulaattorin ympärillä on yleensä muita henkilöitä, mutta metsässä ollaan yksin.

Mahdollisuudet oppia harvesterin käyttöä simulaattorilla vaihtelevat huomattavasti opetussuunnitelman osa-alueittain. Simulaattorit soveltuvat hyvin perustyöskentelytekniikan, erityisesti näppäinten käytön opiskeluun, ja erittäin hyvin mittalaitteen opiskeluun. Koneella ajaminen maastossa ei sovellu hyvin simulaattorilla opiskeltavaksi, ei myöskään suurten puiden kaato. Harventaminen, puun katkonta, puutavaran laatu ja laadukas työ yleensä sekä korjuun suunnittelu ovat puolestaan alueita, joita voi simulaattorilla opiskella, mutta joiden oppiminen vaatii työskentelyä maastossa.

Vastauksissa avoimiin kysymyksiin sekä opiskelijat että opettajat pitivät harvesterisimulaattorin ongelmana sitä, että simulaattoriympäristö luo liiallisen turvallisuuden tunteen kun virheistä ei tule seuraamuksia kuten aidossa ympäristössä. Virheille altistaminen simulaattorilla siten, että siitä tulee seuraamuksia saattaisi olla yksi tapa parantaa oppimistuloksia ja oppimisen transferia.

Simulaattorilla opitun transferin harvesterin käytön osaamiseksi vastaajat arvioivat olevan varsin hyvän joillakin oppimisen osa-alueilla, erityisesti niissä asioissa, joissa simulaattori eniten muistuttaa harvesteria. Simulaattorin ja harvesterin hallintalaitteet ovat samanlaiset kuin harvesterin, ja muun muassa nosturin liikkeet tapahtuvat hyvin samankaltaisesti, vaikka nosturin liikkeisiin liittyvät voimat ovatkin erilaiset. Sen sijaan transferin arvioitiin olevan heikon niissä osa-alueissa, joita simulaattori ei aidosti jäljittele. Tuloksista on pääteltävissä, että osa oppimistavoitteista voidaan toteuttaa simulaattorilla, mutta ne osa-alueet, joita simulaattori ei kykene aidosti jäljittelemään on opittava metsässä harvesterilla. (Salakari 2002).

Yhteenveto. Yhteenvetona aiemmista tutkimuksista voidaan todeta, että simulaattorien käytöllä koulutuksessa voidaan tehostaa opetusta, lisätä tuottavuutta sekä vähentää hakkuukoneen vaurioitumisen riskiä. Simulaattorilla voidaan korvata osa aiemmin metsäolosuhteissa harvesterilla opitusta. Simulaattoreiden vahvuuksien lisäksi on kuitenkin tiedostettava niiden rajoitteet eli simulaattorityöskentelyn helppous verrattuna harvesteriin metsässä joillakin opittavilla osa-alueilla. Väärien mentaalisten mallien muodostuminen on estettävissä toteuttamalla osa opetuksesta aidossa olosuhteissa. Simulaattoreiden käyttö tekee mahdolliseksi entistä oppijakeskeisempien lähestymistapojen soveltamisen opetuksessa. Opettajien täydennyskoulutukseen simulaattoreita käytettäessä on kiinnitettävä huomiota, kun oppimisen ohjaaminen muuttuu

aiemmasta. Tulevaisuudessa yksittäisen metsäkoneen lisäksi voitaisiin simuloida laajempaa kokonaisuutta. Taivalkosken metsäoppilaitoksella on meneillään hanke, jossa simuloidaan puunhankintaketjun kokonaisuutta, puutavaran hakkuun lisäksi myös puun kuljetusta. (Taivalkosken metsäoppilaitos 2004). Merkittävä osa puunhankintayrityksen toiminnasta on simulaation piirissä.

3.6 Autosimulaattoreiden käyttö

Autonajosimulaattoreita on kehitetty tutkimus- ja koulutustarkoituksiin. Monet autonajosimulaattoritutkimukset vertailevat autolla ja simulaattorilla ajamista tai käsittelevät eri tekijöiden vaikutusta autosimulaattorilla ajamiseen. Autonajosimulaattoreiden etuna on muun muassa se, että niillä voidaan harjoitella erilaisia vaaratilanteita riskittömästi, esimerkiksi ajovirheistä johtuvia tai kohtaamisonnettomuustilanteita.

Autonajosimulaattoreita voidaan käyttää peruskoulutukseen ennen autolla ajoa. Simulaattorilla voidaan oppia motorisia perustaitoja kuten autolla ajamista. Autosimulaattoreissa simuloidaan myös muita virtuaalisia toimijoita. Tämän lisäksi liikenne simuloidaan siten, että oppija on osa liikennettä (Leitao, Coelho&Nunes Ferreira 1997).

Ivancic ja Hesketh (2000) tutkivat virheiden vaikutusta oppimiseen autonajosimulaattorilla. Tulosten mukaan virheiden tekemiselle altistetut oppijat, jotka simulaattorikoulutuksen aikana tekivät virheitä, muun muassa joutuivat onnettomuuksiin, oppivat paremmin kuin ne, joille virheet oli kuvattu esimerkkeinä tai ne, joiden koulutukseen ei virheitä sisällytetty lainkaan. Virheiden tekeminen vähensi myös oppijoiden itseluottamusta verrattuna niihin oppijoihin, jotka eivät olleet tehneet virheitä, jolloin varovaisuus lisääntyi.

Ajosimulaattorit ovat käyttökelpoisia myös sellaisten tilanteiden hallinnan oppimiseen, joita ei voida harjoitella autolla. Näitä ovat esimerkiksi potentiaaliset vaaratilanteet risteyksissä, ohitustilanteet tai luistotilanteet. Jos tilanteita on harjoiteltu etukäteen simulaattorilla, aidossa tilanteessa osataan todennäköisemmin toimia oikealla tavalla. Kun tilanteita simuloidaan, on otettava huomioon se, miten hyvin simulaattori jäljittelee todellista ajotilannetta. Harmsin (1996) mukaan autosimulaattori ei jäljitellyt vastaantulevaa liikennettä todellisuutta vastaavasti jolloin simulaattorilla ajaminen suoraan onnistui paremmin kuin autolla ajaminen tiellä, jossa vastaantuleva liikenne aiheutti enemmän poikkeamia ajolinjalta.

Ajosimulaattoreita voidaan käyttää koulutuksessa tilanteita varten, joissa kuljettajan huomio suuntautuu useisiin tehtäviin. Nilsson (1993) tutki potentiaalisten häiriötekijöiden vaikutusta autolla ajamiseen, esimerkiksi matkapuhelimella puhumisen. Puhuminen hidasti kuljettajan reagointia tilanteissa, joissa olisi tarvittu nopeaa reagointia, esimerkiksi jarrutustilanteissa. Nilsson, Falkmer ja Samuelsson (2000, 83-91) tutkivat sitä miten kuljettaja suoriutuu tilanteissa, joissa kuljettaja joutuu suuntaamaan huomiotaan muualle kuin näkymään autosta ulos. Tulokset osoittivat, että kuljettajat voivat tarkkailla autosimulaattoriin asennettua ylimääräistä näyttöä menettämättä tarkkaavaisuuttaan näkymään auton tuulilasin näkymästä. Ylimääräinen näyttö autossa, jossa esitettiin informaatiota ei haitannut kuljettajan huomion suuntaamista ajotilanteeseen. Tämä kuitenkin riippui näytössä esitetyn informaation laadusta sekä kuljettajan kognitiivisesta kuormasta.

Euroopan Unionin rahoittamassa laajassa projektissa (European Commission 2001) selvitettiin ajosimulaattoreiden käyttömahdollisuuksia. Tutkimukseen kuului muun muassa osa, jossa käytiin läpi 250 aikaisempaa tutkimusta. Tulosten mukaan simulaattoreita voitaisiin käyttää ajotaitojen oppimisen lisäksi erityisesti ympäristön ja ympäröivän liikenteen tarkkailun sekä vaaratilanteiden tarkkailun ja arvioinnin oppimisessa sekä oppijoiden itsearvioinnin kehittämisessä. Tutkimuksen mukaan on myös havaittu, että kuljettajilla, joilla on hyvät ajotaidot saattaa silti olla suuri onnettomuusriski. Ajotapa on suurelta osin asennekysymys. Oppimistehtävissä tulisi huomioida motivaation ja päätöksenteon oppimisen vaatimukset. Simulaattorilla ei myöskään pitäisi harjoitella liian pitkään niin että taidot kehittyvät automaattisiksi keinotekoisessa ympäristössä, vaan ennen sitä tulisi aloittaa harjoittelu autolla liikenteessä.

Yhteenveto. Virheiden tekeminen edisti oppimista ja vähensi oppijoiden itseluottamusta. Virheitä tekemällä oppijat hankkivat osaamista kokeilemalla ja yrityksen ja erehdyksen kautta. Haittana on se, että virheiden kautta oppiminen ei välttämättä ole systemaattista. Eri oppijat altistuvat virheille eri tavoin. (Ivancic ja Hesketh 2000). Simulaattori on turvallinen ympäristö, jossa todellisuutta mallinnettaessa on tehty yksinkertaistuksia verrattuna aitoon ympäristöön, jolloin tehtävistä suoriutuminen on usein helpompaa kuin aidossa ympäristössä. Tämä voi johtaa liialliseen osaamisen ja turvallisuuden tunteeseen. Simulaattoriopetuksen skenaarioissa voidaan luoda erilaisia virheille altistavia tilanteita, jolloin voidaan oppimisen edistämisen lisäksi vähentää simulaattoriopetuksen luomaa liiallista osaamisen ja turvallisuuden tunnetta. Vaaratilanteiden hallinnan ja liikenteen tarkkailun oppiminen ovat alueita, joissa autosimulaattoria voidaan erityisesti käyttää. Ajamisen muuttumista automaattiseksi tulee kuitenkin harjoitella autolla simulaattorin sijaan.

3.7 Simulaation ja simulaattoreiden käyttö muilla aloilla

Simulaattoreita käytetään muun muassa merenkulkualan koulutuksessa, teollisuuden prosessinohjauksen koulutuksessa sekä avaruusalan koulutuksessa. Avaruusalalla simulointi korvaa käytännön harjoittelun kun erillisiä harjoituslentoja ei voida toteuttaa.

Teollisuuden prosessinohjauksessa käytetään simulaattoreita. Voimalaitoskoulutuksessa simulaattoreita käytetään esimerkiksi sähkövoimaloiden henkilöstön osaamisen luokitteluun, testaamiseen ja lisensointiin. Simulaattorilla harjoitteluun kuuluu myös erilaisia toimenpiteitä, jotka muuten vaatisivat voimalan alasajoa, tai tilanteiden harjoitteluun, jotka vaativat korkeatasoista osaamista. Myös kemian- tai öljyalan teollisuudessa käytetään simulaattoreita paitsi koulutukseen niin myös prosessien kehittämiseen simuloinnin avulla. (Flexman ja Stark, 1987, 1028). Ydinvoimaloiden käyttöhenkilöstön koulutuksessa simulaattoreita käytetään esimerkiksi erilaisten vaaratilanteiden hallinnan oppimiseksi. (Takano, Sasou ja Yoshimura 1997).

Merenkulun koulutuksessa käytetään monenlaisia simulaattoreita. Näitä ovat laivan ohjaamisen koulutus, voimalaitoskoulutus, taktinen- ja asejärjestelmäkoulutus sekä laivan koneenkäytön koulutus. (Flexman ja Stark 1987, 1025; Gonzales Vega 2002).

Avaruusalan koulutuksessa simulaattorit ovat ainoa keino harjoitella vaadittavia taitoja ennen lentoa. Varsinaisia koulutuslentoja ei ole vaan astronautit oppivat vaaditut taidot simulaattorilla. Lennolla henkilöstön tehtävänä on valvoa laitteistojen toimintaa ja puuttua asioihin erilaisten ongelmatilanteiden sattuessa. Lentojen aikana ei juuri ole enää mahdollisuutta kouluttautumiseen, eikä myöskään juuri sijaa virhesuorituksille. (Flexman ja Stark 1987, 1023).

3.8 Yhteenveto simulointiin perustuvien ympäristöjen käytön kokemuksista eri alojen koulutuksessa

Eri aloilla on selviä eroja siinä millä tavoin tietokonesimulointia opetuksessa hyödynnetään. Pisimmällä ollaan sotilaskoulutuksessa, jossa erilaisia simulaattoreita, simulaation käyttöön perustuvia järjestelmiä ja aitoja laitteita ja järjestelmiä voidaan verkottaa ja luoda näin laajamittaisia simulointiin perustuvia

koulutustilanteita. Ilmailualan simulaattorit puolestaan ovat teknisesti kehittyneimpiä.

Tietokonesimulointiin perustuva opetus on nopeasti kehittymässä. Tämän tekee mahdolliseksi laitteistojen nopea kehitys. Kalliista, korkean tarkkuustason simulaattoreista ollaan osittain luopumassa ja korvaamassa niitä pöytätietokonesimulaattoreilla ja toisaalta immersiiivisillä virtuaaliympäristöillä. Simulointiin perustuvassa opetuksessa kiinnitetään entistä enemmän huomiota pedagogiikkaan. On olemassa kaikki edellytykset sille, että simuloinnin käyttö taitojen opetuksessa tulisi yleistymään. Kehityssuuntana näyttäisi olevan lääketieteellisen ja sotilaskoulutuksen aloilla immersiiivisten virtuaaliympäristöjen käytön lisääminen. Kun teknisiä ongelmia saadaan ratkaistua, immersiiivisten virtuaaliympäristöjen käyttö voi laajeta huomattavasti myös esimerkiksi ammatilliseen koulutukseen.

4 Simulaattori oppimisen ja opetuksen apuvälineenä: Käsiteteoreettinen tarkastelu

Tässä luvussa analysoidaan simulaattorien avulla oppimiseen ja opettamiseen liittyviä keskeisiä käsitteitä. Menetelmänä käytetään Walkerin ja Avantin (1988, 35-47) kuvaamaa käsiteanalyysia (luku 1.2.2). Käsiteanalyysilla voidaan tutkia käsitteen piirteitä ja ominaisuuksia. Käsitteet ovat ajatusrakennelmia, joilla kuvataan ympäristöä. Analyysin avulla käsitteestä saadaan täsmällinen määritelmä. Tärkeää on laaja lähteisiin perustuva lukeneisuus aiheesta ja muistiinpanojen tekeminen siitä miten käsitettä käytetään kirjallisuudessa.

Ensimmäisen vaiheen, käsitteiden valinnan jälkeen määritellään analyysin tavoitteet. Tässä tutkimuksessa tavoitteena on simulaattoriopetuksen keskeisten käsitteiden määrittely. Kolmas vaihe on käyttötarkoituksen määrittely. Käsitteitä tarvitaan simulaattoriopetuksen pedagogista mallia kehitettäessä. Malli rakentuu alempana tässä kappaleessa mainituista keskeisistä käsitteistä. Käsitteiden käyttötarkoituksen määrittelyn jälkeen seuraa käsitteiden ominaispiirteiden tunnistaminen kirjallisuudesta ja aiemmista tutkimuksista. Tässä työssä käsitteiden ominaispiirteitä on määritelty aiempien, oppimista ja opettamista simulaatioon perustuvissa ympäristöissä selvittäneisiin tutkimuksiin perustuen, mutta myös muuhun kasvatustieteen alan ja psykologian kirjallisuuteen perustuen.

Käsiteanalyysiin kuuluu myös erilaisten käsitteeseen liittyvien tapausten kuvaaminen, esimerkiksi rajatapausten, käsitteeseen liittyvien tapausten, vastakkaisten tapausten sekä väärää käyttöä kuvaavien tapausten muodostaminen. Näitä on kuvattu kunkin käsitteen kohdalla soveltaen riippuen siitä miten merkittävä käsite on kyseessä. Merkittävimpien käsitteiden kohdalla määrittely on tehty yksityiskohtaisemmin.

Ennakkoehtojen ja seurausten muodostaminen kuuluu myös käsiteanalyysiin. Ennakkoehtoja ja seurauksia käsitellään osan käsitteistä kohdalla, seurauksia myös osittain lukujen lopussa olevissa analyysi- tai yhteenvetokappaleissa.

Simulaattorien avulla oppiminen ja opettaminen perustuu teknologian käyttöön, mikä värittää myös käsitemaailmaa. Lisäksi tyypillinen piirre on se,

että oppiminen tapahtuu simulaatioon perustuvassa ympäristössä eikä siinä ympäristössä, jossa opittuja taitoja myöhemmin käytetään. Simulaattorien avulla oppiminen perustuu tekemällä oppimiseen.

Keskeisiä käsitteitä ovat:

Simulaatio

Simulaattori

Virtuaalitodellisuus

Oppiminen simulaatioon perustuvissa ympäristöissä

- Mentaalinen malli
- Oppimisen transfer eli siirtovaikutus
- Simulaattorin tarkkuus
- Tehokas oppiminen ja sen edistäminen

Opetus simulaatioon perustuvissa ympäristöissä

- Simulaattoriopetuksen menetelmä Event-Based Approach to Training (EBAT)
- Opetuksen pedagoginen malli

Pääpaino tässä työssä on oppimiseen liittyvien käsitteiden kuvaamisessa, koska oppiminen nähdään ydinprosessina ja opettaminen oppimisen ohjaamisena. Oppimisen ja opettamisen kokonaisuudesta muodostuu simulaattoriopetuksen pedagoginen malli.

Aluksi määritellään simulaation, simulaattorin ja virtuaalitodellisuuden käsitteet. Jaksossa oppiminen simulaatioon perustuvissa ympäristöissä tarkastellaan sitä millä tavoin simulaattorin avulla ja virtuaalitodellisuudessa opitaan. Muita oppimiseen liittyviä käsitteitä ovat oppimisen tuloksena oppijalle syntyvä mentaalinen malli, joka myöhemmin ohjaa toimintaa aidossa ympäristössä, sekä oppimisen siirtovaikutus eli transfer, joka kuvaa sitä miten opittu osataan kun siirrytään eri olosuhteisiin, joissa asia opittiin. Transfer on simulaattorin avulla opittaessa keskeinen käsite, koska oppiminen tapahtuu eri ympäristössä kuin missä opittua myöhemmin sovelletaan. Lisäksi tarkastellaan simulaattorin ominaisuuksien, sen tarkkuuden merkitystä oppimisen ja opetuksen kannalta. Simulaattorin ominaisuudet määrittelevät varsin pitkälle sitä mitä ja millä tavoin sillä opitaan ja opetetaan. Lopuksi tarkastellaan tehokasta oppimista ja sitä miten sitä voidaan edistää.

Jaksossa opetus simulaatioon perustuvissa ympäristöissä luonnehditaan opetusta, sen suunnittelua, toteutusta ja arviointia. Lisäksi esitellään simulaattoriopetuksessa käytetty, oppimistapahtumiin perustuva opetusmenetelmä EBAT sekä määritellään käsite pedagoginen malli.

Tässä työssä näkökulma on erilaisten käytännön taitojen oppimisessa ja opettamisessa. Siksi simulaatioiden käyttö esimerkiksi johtamisen tai liiketalouden alueilla rajautuu tämän työn ulkopuolelle.

4.1 Simulaatiot, simulaattorit ja virtuaalitodellisuus

Niin simulaattorilla kuin virtuaalitodellisuudessakin opitaan tietokonesimulointiin perustuvissa ympäristöissä. Toisaalta suurin osa nykyisistä simulaattoreista on virtuaaliympäristöjä laajasti käsitettynä (ks. luku 4.1.2). Simulaattorin ja virtuaalitodellisuuden (tai virtuaaliympäristön) käsitteet nivoutuvat näin yhteen. Toisaalta osa simulaattoriopetuksesta on korvautumassa opetuksella virtuaaliympäristöissä. Siksi tässä tutkimuksessa käsitellään myös oppimista immersiiivisissä virtuaaliympäristöissä. Edellä mainituista syistä tässä luvussa määritellään myös virtuaalitodellisuuden käsite.

4.1.1 Simulaatiot ja simulaattorit

Kun joudutaan ensimmäistä kertaa käytännön tilanteeseen, jossa on päätettävä nopeasti miten toimia, oikeanlaisen toimintatavan valinta on usein vaikeaa. Ensimmäisellä kerralla toimitaan usein virheellisesti. Sen sijaan jos tilannetta on harjoiteltu esimerkiksi simuloimalla tilanne ja harjoittelemalla toimintaa etukäteen, mahdollisuus siihen, että aidossa tilanteessa toimitaan oikein kasvaa. Tämä on simulaatioon perustuvan opetuksen perusidea.

Simulaatio eroaa perinteisestä koulutuksesta siten, että simulaation pääsisältö on konkreettista tapahtumista ja toimintaa eivätkä käsitteet tai teoreettinen aines ole ensisijaisia. Tietyn prosessin tai tapahtumaketjun simulointi tähtää jäljitellyssä tilanteessa aitojen ja todellisten kokemusten tuottamiseen, jotka analysoituna ja jäsennehtynä tuottavat myös koodattua tietoa. Simulaation perusidea on, että oppija omaa tietopohjaansa uudelleen rakentaessaan on mahdollisimman kokonaisvaltaisesti ja todenmukaisesti kosketuksessa siihen todellisuuteen, jota hän pyrkii opiskelemaan ja ymmärtämään. (Jalava, 2001, 7, 10).

Vartiainen, Teikari ja Pulkkis (1989, 119) määrittelevät simulaation olevan todellisen kohteen ja sen kanssa tehtävän työn jäljittelyä ja tämän jäljitelmän käyttöä opetuksessa. Sisäisen mallin synnyttäminen käyttäjässä on simulaation tavoitteena. Simulaatio on jäljitelmä jostakin järjestelmästä, esimerkiksi teknisestä tai biologisesta, tai järjestelmän osasta, yhdistelmästä tai

vuorovaikutuksesta. Simulointi on jäljitelmän käyttöä. Simulaattorin Vartiainen, Teikari ja Pulkkis (1989, 119) määrittelevät seuraavasti: Kun jäljittelyn kohteena on laite tai tekninen järjestelmä, jota yksi tai useampi ihminen käyttää tietyn tavoitteen saavuttamiseksi, puhutaan simulaattorista.

Flight Simulationin (1997, 2-4) mukaan simulaatioilla pyritään luomaan toimivaa jäljitelmää todellisista tapahtumista. Teoksen mukaan simulaatio on yhdistelmä luonnontiedettä, teknologiaa ja ihmistieteitä, jolla luodaan keinotodellisuutta tutkimuksen, koulutuksen ja mielihyvän tuottamisen tarpeisiin. Lentämisen simuloinnin tarkoituksena on luoda dynaaminen, lentokoneen toimintaa kuvaava malli, joka tekee mahdolliseksi käyttäjän toimia interaktiivisesti simuloinnin kanssa osana simulointia. Simulaatio koostuu kolmesta osasta: 1) simuloitavan järjestelmän malli, 2) laite, jolla malli toteutetaan sekä 3) sovellusten yhdistelmä, jolla kaksi ensimmäistä yhdistetään käyttötekniikaksi, jolla saavutetaan tietty tavoite.

Towne (1995) määrittelee simulaattorin tietokoneen ja ohjelmiston yhdistelmäksi, joka edustaa osaa aidon järjestelmän toiminnasta. Simulaattoreiden tarkoituksena on useimmiten opettaa käyttämään monimutkaisia järjestelmiä. Tyypillisesti simulaattori on aidon käyttöjärjestelmän muunneltu versio ilman järjestelmän joitakin osia.

Starkin (1999, 109) mukaan simulaattori on todellisen järjestelmän jäljitelmä. Se edustaa järjestelmän niitä osia, jotka kiinteimmin liittyvät suoritettaviin tai harjoiteltaviin tehtäviin. Simulaattorin keskeisin tehtävä on varastoida, prosessoida ja näyttää informaatiota aidosta järjestelmästä ja siitä toimintaympäristöstä, johon simulaation käyttäjä joutuu toimiessaan tai harjoitellessaan aidossa ympäristössä.

Simulaattorissa on aina hallintalaitteet, joilla käyttäjä saa aikaan muutoksia järjestelmän toiminnassa. Kaikille simulaattoreille yhteistä on interaktiivisuus siten, että käyttäjä toimenpiteillään saa aikaan muutoksia järjestelmän toiminnassa, jolloin käyttäjä reagoi edelleen näihin muutoksiin. Järjestelmään kuuluu myös näyttö tai kojetaulu mittareineen, joista käyttäjä saa tietoa siitä, miten järjestelmä reagoi käyttäjän toimenpiteisiin. Järjestelmä voi reagoida myös muulla tavoin, esimerkiksi äänillä tai liikkuva-alustaisten simulaattoreiden tapauksessa alustan liikkeillä. Suuressa osassa simulaattoreita keskeinen on simulaattorin näyttö, josta käyttäjä näkee toimenpiteidensä vaikutuksen simulaattorin toimintaan. Pöytä tietokonesimulaattoreissa on tavanomainen tietokoneen näyttö. Hieman kehittyneemmissä simulaattoreissa, esimerkiksi metsäkonesimulaattorissa näyttönä toimii valkokankaalle projektorilla heijastettu kuva, joka jäljittelee näkymää metsäkoneen ikkunasta. Kehittyneemmissä lentokonesimulaattoreissa maisema heijastetaan simulaattorihuoneen seinille siten, että se kattaa koko lentokoneen ikkunasta näkyvän näkökentän. Maiseman liikkeessä tunnelma on hyvin todenmukainen.

Simulaattoreita on monenlaisia, ja myös simulaattoreiden todellisuutta jäljittelevät ominaisuudet vaihtelevat suuresti. Yksinkertaiset simulaattorit ovat usein pöytätietokoneeseen perustuvia, joita yksinkertaisimmillaan käytetään tietokoneen vakionäppäimistöllä ja hiirellä. Tästä hieman kehittyneempi simulaattorityyppi on pöytätietokone, jossa on ainakin osa oikean jäljiteltävän laitteen tai järjestelmän hallintalaitteista, esimerkiksi metsäkonesimulaattorin tapauksessa kaksi kahvaa, ns. minivipua, joilla ohjataan metsäkoneen nosturia. Kehittyneimmät lentokonesimulaattorit ovat lentokoneen ohjaamon kopioita ja maksavat kymmeniä miljoonia euroja. Näiden simulaattoreiden realismi on huippuluokkaa. Simulaattorin vasteet käyttäjän toimenpiteisiin tässä tapauksessa ovat hyvin samankaltaisia kuin lentokoneessa, ja simulaattorin käyttäjä tuntee ikään kuin hän olisi lentämässä oikealla lentokoneella, kun aidon ohjaamoympäristön lisäksi maisema näkyy simulaattorin ikkunoista tai se heijastetaan simulaattorihuoneen seinille.

Synteesi ja analyysi. Tämän työn tarkastelukohteena ovat erilaiset simulaattorit, joilla opitaan käytännön taitoja. Simulaattori on yleisnimi, jolla tarkoitetaan hyvin erilaisia opetus- tai muussa käytössä olevia laitteita, joilla jäljitellään todellisuutta, esimerkiksi jonkin laitteen tai järjestelmän toimintaa. Tyypillinen piirre simuloinnin käyttöön perustuvassa oppimisessä on, että oppiminen perustuu oppijoiden toimintaan simuloitavassa laitteessa tai järjestelmässä. Oppimisessä korostuu toiminta, itse tekeminen.

Simulaattorit ovat kehittyneet voimakkaasti viime aikoina johtuen tietokoneiden suorituskyvyn paranemisesta ja toisaalta näyttöjen kehittymisestä. Tämä on johtanut siihen, että niiden käyttömahdollisuudet opetuksen apuvälineinä ovat laajentuneet. Erilaiset ja eritasoiset simulaattorit soveltuvat moniin erilaisiin käyttötarkoituksiin opetuksessa. Kun myös opetusta järjestettäessä on jatkuvasti otettava huomioon kustannustehokkuus, myös yksinkertaisilla, hinnaltaan edullisilla simulaattoreilla on paikkansa koulutuksessa.

4.1.2 Virtuaalitodellisuus

Perinteisesti simulaattorit olivat yksinkertaisimmillaan mekaanisia laitteita, joilla oli joitakin aidon ympäristön ominaisuuksia. Simulaattorien hallintalaitteet saattoivat muistuttaa aitoa ympäristöä, mutta ei juuri muu. Tietotekniikka ja kehittynyt grafiikka ovat luoneet uudenlaisia mahdollisuuksia kokea keinotekoisesti luotu ympäristö todenmukaisena. Virtuaalitodellisuuden (virtual reality, VR) sovellukset tarjoavat uudenlaisia mahdollisuuksia oppimiseen. Niitä käytetään muun muassa ajoneuvokoulutuksessa, lääketieteen alan koulutuksessa sekä sotilaskoulutuksessa. Lääketieteen alan koulutuksessa virtuaalitodellisuuden

luomia mahdollisuuksia on luonnehdittu vallankumouksellisiksi (Riva 2003, 159). Youngblutin (1997) mukaan virtuaalitodellisuus voi edistää oppimista kahdella tapaa: sen avulla 1) voidaan visualisoida abstrakteja käsitteitä tai tarkkailla ympäristön ilmiöitä tavalla, joka muuten ei olisi mahdollista, esimerkiksi ilmiöitä atomien tai planeettojen tasolla ja toisaalta 2) olla tekemisissä sellaisten ympäristöjen tai tapahtumien kanssa, jotka etäisyyden, ajan tai turvallisuustekijöiden vuoksi muuten olisivat saavuttamattomissa.

Virtuaalitodellisuuden käsitettä käytetään Townen (1995, 12-13) mukaan monella tavalla. Hän määrittelee sen olevan maailman, joka vastaa oppijan toimintaan realistisella tavalla. Laajemmassa merkityksessä virtuaalitodellisuus sisältää erilaisia tekniikoita, joilla simuloidaan todellisia tai kuviteltuja ympäristöjä, jotka osanottajat voivat tunkea tai joihin he voivat vaikuttaa. Käsite sisältää erilaisia ympäristöjä, joiden realistisuuden taso vaihtelee suuresti. Virtuaalitodellisuuden sovelluksilla pyritään saamaan aikaan realistinen representaatio jostakin todellisesta tai kuvitteellisesta osasta maailmaa käyttäjän liikkeessä ja toimiessa siellä. Yleensä kun puhutaan virtuaalitodellisuudesta viitataan sovelluksiin, joissa 1) mikromaailman representaatiot vastaavat kehon sijaintiin (kävely), kehon asentoihin, pään asentoihin sekä käden asentoihin, 2) käyttäjä voi nähdä ja tunkea mikromaailman esineet ja vaikuttaa niihin, sekä 3) käyttäjä voi nähdä jonkin representaation itsestään mikromaailmassa, tyypillisesti kätensä. Perusajatus on se, että toimija on pikemminkin osa mikromaailmaa kuin että hän pelkää toimisi siellä. Termiä virtuaalitodellisuus käytetään Townen mukaan yleisesti ottaen kuitenkin varsin erilaisissa merkityksissä eri yhteyksissä. Termillä virtuaaliympäristö (virtual environment, VE) tarkoitetaan suurin piirtein samaa kuin virtuaalitodellisuuden käsitteellä.

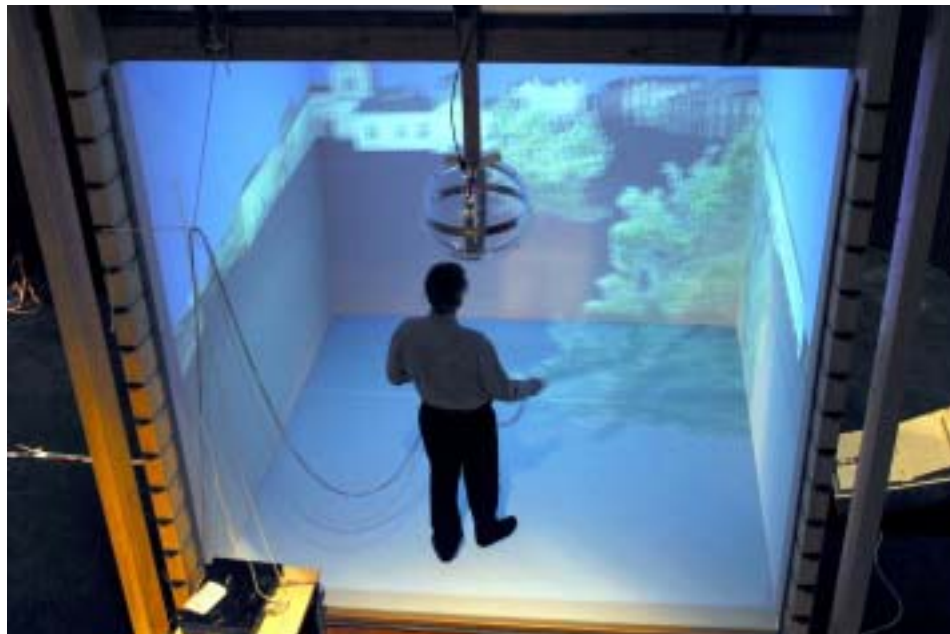
Englannin kielen sana immersion merkitsee upotusta, uppoamista tai uppoutumista johonkin. Virtuaalitodellisuutta kuvaavana termillä immersiiivisyys tarkoitetaan sitä miten hyvin käyttäjä voi kuvitella olevansa läsnä tietokoneen luomassa ympäristössä järjestelmässä ollessaan (Cronin 1997). Kommers (2003b) luokittelee virtuaaliset oppimisympäristöt immersiiivisiin ja ei-immersiivisiin ympäristöihin. Tyypillisesti ei-immersiivinen ympäristö on pöytätietokoneessa toimiva ohjelma. Immersiivinen oppimisympäristö sisältää Kommersin mukaan seuraavat neljä ominaisuutta:

- 1) koko näkökentän kattava näyttö
- 2) järjestelmän kyky tunnistaa käyttäjän kehon asento
- 3) järjestelmän kyky tunnistaa käyttäjän liikkeet ja toiminta
- 4) vain vähäinen viive näytöllä käyttäjän liikkeiden ja toimenpiteiden seurauksena.

Cronin (1997) jakaa virtuaalitodellisuuden kolmeen ryhmään mukaan miten immersiiivisistä ympäristöistä on kyse, 1) ei-immersiivisiin, 2) semi-immersiivisiin ja 3) immersiiivisiin ympäristöihin:

Tyypillinen ei-immersiivinen ympäristö on pöytätietokone. Se on eniten käytetty ja sen etuna on halpa hinta. Heikko puoli on immersiiivisyyden puuttuminen. Semi-immersiivinen ympäristö on tyypillisesti projektorin avulla näytölle heijastettu kuva, joka kattaa vähintään 60 astetta näkökentästä. Jos kuva täyttää näkökentästä 130 astetta, osallistuja voi tuntea lievän immersiiivisyyden tunteen. Hän tunnistaa myös muut paikallaolijat, ja osanottajan ja ympäristön välinen interaktiivisuus on korkeintaan heikkoa.

Täysimmersiiivisessä ympäristössä olija tuntee olevansa ulkoisen fyysisen ympäristön ulkopuolella. Osanottajan liikuessa virtuaalinen ympäristö reagoi käyttäjän liikkeisiin ja käyttäjä kokee olevansa toisessa maailmassa. Täysimmersiiivisen ympäristön laitteistot ovat kahdenlaisia: 1) päähän asetettava virtuaalikipärä (head mounted display eli HMD), jossa näyttö on kypärän sisässä sekä 2) CAVE (Cave Automatic Virtual Environment), tila, jossa stereokuva heijastetaan seinille ja lattiaan. Tilassa olijat käyttävät stereolaseja. Datahansikkaiden avulla voidaan käsitellä virtuaalisia esineitä. (Beier 2003).



Kuva 6. Tampere Virtual Reality Centerin CAVE-ympäristö (kuva Tampere Virtual Reality Center).

Virtuaalitodellisuuden etuina oppimisympäristönä Cronin (1997) mainitsee seuraavia asioita: Virtuaaliympäristöissä oppiminen vähentää oppijoiden käsitteellistä kuormaa kun oppiminen on tapahtuu aitoa muistuttavassa tilanteessa. Virtuaalitodellisuus tekee mahdolliseksi ihmisen ja tietokoneen välisen interaktion, mutta myös oppijoiden välisen interaktion. Virtuaalitodellisuus ympäristönä on myös muokattavissa oppijoiden osaamisen tason tai tarpeiden mukaan.

Dede et al. (1997, 10) mainitsevat virtuaalitodellisuuden puutteina muun muassa sen, että virtuaalitodellisuuteen perustuvia järjestelmiä käytettäessä laitteistoon kuuluva varustus, muun muassa virtuaalikypärä saattavat aiheuttaa häiriötä ja motivaation vähenemistä. Myös laitteiston tekniset puutteet tai tekniikan kehittymättömyys yleensä, viiveet näytöllä sekä näytön epätarkkuus saattavat olla ongelmana. Myös tuntoaistin puuttuminen, muun muassa vastuksen puute käsiteltäessä aidon esineen sijasta ilmaa ovat heikkous. Medical readiness training teamin (2000) mukaan juuri vastavoimien puute virtuaalitodellisuudessa työskenneltäessä on sen suurin heikkous lääketieteen alan koulutuksessa. Kirjoittajien mukaan tämä on nimenomaan lääketieteen alan ongelma, ei niinkään esimerkiksi lentokonesimulaattoreiden. Cronin (1997) mainitsee pöytätielokoneen käyttöön perustuvien virtuaalitodellisuusympäristöjen heikkoutena sen, että immersiiivisyys puuttuu täysin.

Virtuaaliympäristöjen kehittäminen vaatii poikkitieteellistä yhteistyötä, insinöörien, ohjelmoijien sekä kyseessä olevan alan osaajien yhteistyötä. (Kommers 2003a, Riva 2003, 167). Immersiiviset ympäristöt ovat kehittymässä nykyisestä, ja niiden merkitys koulutuksessa tulee kasvamaan. Sotilaskoulutuksessa ja lentäjien koulutuksessa virtuaalitodellisuuden odotetaan tekniikan kehittyessä osittain korvaavan simulaattoreiden käyttöä.

Synteesi ja analyysi. Virtuaaliympäristöt ja varsinaiset simulaattorit nähdään tässä työssä osana samaa kokonaisuutta: ne ovat kumpikin simuloinnin käyttöön perustuvia ympäristöjä. Pedagogisessa mielessä ne ovat hyvin samankaltaisia.

Simulaattorit ja virtuaalitodellisuuden käsitteet ovat osittain päällekkäisiä. Simulaattoreita, joissa syntyy osittainen immersion tunne kutsutaan usein virtuaalisimulaattoreiksi, jolloin ne ovat semi-immersiivisiä virtuaaliympäristöjä. Kuitenkaan CAVE- tai HMD-virtuaalitodellisuuteen perustuvia täysimmersiivisiä ympäristöjä ei lueta simulaattoreihin.

Virtuaaliympäristöjen kehittäminen vaatii poikkitieteellistä yhteistyötä, insinöörien, ohjelmoijien sekä kyseessä olevan alan osaajien yhteistyötä. (Kommers 2003a, Riva 2003, 167). Tekniikan kehittyessä immersiiiviset virtuaaliympäristöt ovat valtaamassa ja osittain vallanneet alaa simulaattoreilta.

Immersiiviset ympäristöt ovat kehittymässä nykyisestä, ja niiden merkitys koulutuksessa tulee kasvamaan. Sotilaskoulutuksessa ja lentäjien koulutuksessa virtuaalitodellisuuden odotetaan tekniikan kehittyessä osittain korvaavan simulaattoreiden käyttöä.

Immersiivinen virtuaalitodellisuus tulee korvaamaan erityisesti kalleimpia simulaattoreita. Virtuaalitodellisuuden vahvuutena on sen joustavuus: sama fyysinen ympäristö soveltuu eri alojen koulutukseen, vain tietokoneohjelmat ovat alakohtaisia. Kuitenkaan esimerkiksi immersiiiviset CAVE-ympäristöt eivät voi korvata täysin simulaattoreita, joissa on aidot hallintalaitteet.

4.2 Oppiminen simulointiin perustuvissa ympäristöissä

Simulointiin perustuvalla oppimisella tarkoitetaan tässä työssä oppimista, joka tapahtuu simulaatioympäristössä, joko simulaattorilla tai muussa simulointiin perustuvassa ympäristössä, esimerkiksi virtuaalitodellisuudessa.

Säljö (2003, 103-116) toteaa, että oppiminen tapahtuu paljolti teknologian ehdoilla. Digitaalitekniikka on monimutkaista mutta käyttäjäystävällistä. Oppija voi yrittää uudelleen jos aluksi ei onnistu. Informaatiotekniikkaa käytettäessä opitaan analyysin sijaan yrityksen ja erehdyksen kautta. Informaatiotekniikan avulla oppimisessa on jotakin sellaista mikä on vastoin usein koulussa käytettyä analyttistä lähestymistapaa vastaan.

Eri tutkijat kuvaavat oppimista simulaattoreilla eri tavoin riippuen 1) tutkijan edustamasta alasta ja 2) simulaattorin realismista. Esimerkiksi lentokonealan simulaattorioppimisen tutkijoiden raporteista välittyy erilainen kuva oppimisesta kuin lääketieteen alan simulaatiokoulutuksen tutkijoiden välittämä kuva on. Tämä on luonnollista koska simulaatioilla jäljitellään aitoja oppimistilanteita ja oppiminen on erilaista aloittain. Yhtenäistä simulaattorioppimisen lähestymistapaa ei ole vaikka monia yhteisiä piirteitä löytyykin.

Simulaattorilla oppimista luonnehditaan yleisimmin kokemukseräiseksi oppimiseksi, usein myös tekemällä oppimiseksi. Uudempaa, 2000-luvun simulaatiokoulutuksen oppimisen orientaatiota on kuvattu myös konstruktivistiseksi lääketieteen alalla ja sotilaskoulutuksessa. Townen (1995, 111-112) mukaan kehitys simulaatioon perustuvassa opetuksessa on yleisesti ottaen kulkenut kohti vähemmän strukturoitua, oppijakeskeisempää lähestymistapaa.

Simulaattorilla opitaan taitoja, joita voidaan luokitella eri tavoin. Oppimisen tuloksena oppijalle syntyy mentaalinen malli opittavista asioista. Simulaattorilla opittua sovelletaan myöhemmin aidossa ympäristössä: oppiminen perustuu

aiemmin koettuihin esimerkkitalanteisiin. Oppimisen transfer eli siirtovaikutus voidaan todeta vasta sitten kun opittua sovelletaan aidossa ympäristössä.

Siihen mitä simulaattorilla voidaan oppia vaikuttaa muun muassa simulaattorin tarkkuus. Kehittyneemmissä simulaattoriympäristöissä opitaan eri tavalla kuin yksinkertaisissa, vähän todellisuutta jäljittelevissä ympäristöissä. Kun kyseessä on realistinen, pitkälle todellisuutta jäljittelevä simulaattori, myös oppimistehtävät voivat olla laajoja, monia päätöksentekotilanteita sisältäviä ja itseohjautuvuutta vaativia. Pöytäietokonesimulaattorilla sen sijaan oppimistehtävät ovat usein yksinkertaisia osatehtäviä, jolloin opetus on pitkälle strukturoitua ja oppiminen on vähemmän itseohjautuvaa. (Dennis&Harris 1998).

4.2.1 Oppimisen luonnehdintaa

Simulointiin perustuvissa ympäristöissä oppiminen on interaktiivista ja tekemällä oppimista (Dede et al. 1997; Gatto 1993; Kommers 2003b; Spector, Christensen, Sioutine&McCormack 2001; Tendick et al. 2000; Youngblut 1997). Oppija toimii interaktiivisesti käyttämänsä järjestelmän kanssa: järjestelmä reagoi oppijan toimenpiteisiin tietyillä vasteilla, joihin oppija reagoi edelleen. Tekeminen ja oppiminen käyvät käsi kädessä: oppijat oppivat sitä mitä he tekevät. Harjoittelemalla toimintoja oppijat oppivat toiminnan periaatteita, toimintamenetelmiä tai korkeamman tason taitoja. Aktiivinen toiminta edistää tiedon rakentamista oppijan kognitiivisiin rakenteisiin.

Simulointiin perustuvaa oppimista kuvataan yleisimmin kokemuseräiseksi (Fowlkes, Dwyer, Oser&Salas 1998; Kommers 2003b; Jonassen, Hernandez-Serrano&Choi 2000; Tosey 2002; Towne 1995; Youngblut 1997). Spector, Christensen, Sioutine ja McCormack (2001) toteavat, että oppijoiden mahdollisuus aktiiviseen osallistumiseen edistää oppimista. Myös reflektoinnin sekä informatiivisen ulkoisen palautteen merkitys on suuri. Kuitenkin edistyneet oppijat saattavat kehittää oman palautteensa perustuen metakognitiivisiin taitoihinsa.

Jonassen, Hernandez-Serrano&Choi (2000, 103-127) kuvailevat oppimista opetusteknologiaan perustuvissa ympäristöissä konstruktiviseksi. Konstruktivinen oppiminen on intentionaalista, aktiivista ja reflektiivistä. Oppimista ohjaa intentio ratkaista ristiriitoja, vastata kysymykseen, tyydyttää uteliaisuus tai hahmottaa järjestelmä. Intention ilmaiseminen on tietoinen prosessi. Se vaatii oppijaa refleктоimaan mitä hän jo tietää ja mitä hänen tulee tietää. Toiminnat ovat keskeinen oppimisen mekanismi. Toiminta voi olla fyysistä, mentaalista tai sosiaalista ja se tyypillisesti muodostuu havainto-

toiminta –prosesseista. Oppija ei voi toimia ajattelematta eikä ajatella toimimatta.

Konstruktivistisesta, oppijakeskeisestä näkökulmasta oppimisteknologia on työkalu välittää oppimista. Erilaisia oppimisteknologioita pitäisi arvioida tehokkuus-hyöty riippuvuuden perusteella. Konstruktivismi paradigmana muuttaa teknologian roolia oppimisen tukijana. Konstruktivistisesta, oppijakeskeisestä näkökulmasta oppimisteknologia on tapa välittää oppimista. Se on väline, joka edustaa, reflektoi ja konstruoi oppijan ymmärrystä ja rakentaa merkityksiä. (Jonassen, Hernandez-Serrano&Choi 2000, 103-127).

Kommers (2003a, 127-128) vertaa perinteistä taitojen opettamista ja siihen kuuluvaa palautetta kuvaavaa englannin kielen termiä ”instruction” ja uutta, oppijan aktiiviseen toimintaan perustuvaa kokemusperäistä oppimista sanalla ”construction”. Kun koulutettavalla on takanaan laajempi kokemus ja taidot, kuten Kommersin esittämässä kontekstissa kirurgiopiskelijoilla, kyberneettinen lähestymistapa ei riittävästi stimuloi opiskelijan metakognitioita ja oppimaan oppimista. Täydentävä ja tietyssä määrin vaihtoehtoinen menetelmä opetukselle (instruction) on oppiminen konstruktion avulla. Konstruktionismi on Kommersin mukaan tietoisuutta siitä että opiskelijat käyvät läpi henkilökohtaisen prosessin perustuen kunkin omaan kognitiiviseen tyyliin, erilaiseen tapaan kuvitella asioita ja luonnollisesti myös kunkin erilaisiin tiedollisiin lähtökohtiin. Kommersin mukaan tietokoneella tapahtuvan virtuaaliopiskelun tulisi tapahtua tavalla joka vastaa oppijan oppimiskäsitystä ja taitoja. Kommers käyttää termiä learning by design.

Kommersin (2003a) mukaan sensomotorinen taso on tärkeä osa oppimisen kokonaisuutta virtuaaliympäristöissä. Sensomotorista oppimista edistää oppijan toimiminen järjestelmän kanssa vuorovaikutuksessa kokonaisvaltaisesti eri aistien kautta, sekä näköaistin, kuuloaistin että tuntoaistin. Oppija saa hyvin kokonaisvaltaisen kokemuksen kun hän voi tuoda reaali maailman ilmiöitä aistiensa ja toimenpiteidensä ulottuville virtuaali maailmassa.

Townen (1995, 199) mukaan mallinnukseen perustuvien simulaatiolähestymistapojen vahvuus on siinä, että ne tekevät mahdolliseksi oppimisen hankkimalla uutta tietoa tai osaamista siten, että sitä voidaan samalla soveltaa relevanttien tehtävien suorittamisessa. Samaa kokeilemiseen perustuvaa oppimista voidaan soveltaa myös silloin kun opiskelijat ovat noviiseja. Tehtävien suorittaminen vie silloin kuitenkin enemmän aikaa. Oppiessaan kokeilemalla oppija konstruoi tietoa kun hän hakee ja soveltaa sitä toimintaympäristössään.

Sotilaskoulutuksen virtuaaliympäristöissä oppimista luonnehditaan konstruktiiiviseksi. Avoimien oppimistehtävien merkitystä korostetaan, tehtävien, joissa tavoitteita ei ole tarkkaan määritelty. Oppimisen sosiaalisuuden merkitystä

korostetaan. Sosiaalinen interaktiivisuus, neuvottelutaito, yhteistyö, yhdessä suunnittelu ja päätöksentekotehtävät ovat koulutuksen sisältöinä. Myös mallioppimista voidaan soveltaa, jolloin oppija oppii kouluttajan demonstroiman mallisuorituksen perusteella. Joissakin harjoituksissa voidaan käyttää myös osittain behavioristista lähestymistapaa. (Sanders 2002). Campbellin et al. (2003) mukaan behavioristinen lähestymistapa on käyttökelpoinen sotilaiden perustaitoja opittaessa, mutta myöhemmin opittuja taitoja sovellettaessa konstruktivistinen lähestymistapa soveltuu paremmin.

Simulaatioon perustuvissa ympäristöissä harjoitellaan päätöksentekoa, jotta voitaisiin toimia oikein reaali maailman nopeita päätöksiä vaativissa tilanteissa. Anestesia lääkäriopiskelijoiden simulaattorikoulutuksen tarpeen luo anestesian dynaaminen, arvaamaton, monimutkainen, riskialtis ja nopeita päätöksiä vaativa luonne. Jos tilanteita ei ole käytännössä harjoiteltu etukäteen esimerkiksi simulaattoriympäristössä, tilanteiden hallinta aidossa olosuhteissa saattaa olla vaikeaa. Anestesiologien työn oppimisessa tärkeää on dynaaminen päätöksenteko, joka edellyttää metakognitiivisia taitoja, tässä tapauksessa valvontaa, huomiokyvyn allokoimista sekä resurssien käytön hallintaa. (Gaba 1991). Simulointiin perustuvan oppimisen merkitystä metakognitiivisten taitojen kehittäjänä korostavat myös Jacobs ja Dempsey (1993).

Päätöksentekotilanteisiin ja niiden simulointiin perustuvaa oppimista lentokonesimulaattorilla kuvaavat Dennis ja Harris (1998, 263). Lentäminen lentokoneella on monimutkaista ja rasittaa työmuistia. Se vaatii huomion jakamista usealle asialle ja vaatii monista lähteistä tulevan tiedon sekä eri toimintojen hallitsemista samanaikaisesti. Jos tehtävän vaikeus ylittää työmuistin kapasiteetin, suoritus heikkenee. Simulaattorilla voidaan harjoitella näitä tilanteita, jolloin suoritukset automatisoituvat.

Automatisoitumisen avulla voidaan välttää työmuistin vähäisestä kapasiteetista aiheutuvat ongelmat. Työmuistin rajoitteena on sen rajallinen kapasiteetti, vain neljä hahmotusyksikköä tai korkeintaan joitakin enemmän. Hahmotusyksiköt ovat irrallisia asioita tai asiantiloja. Työmuistin kapasiteetin rajallisuudesta johtuen useampien hahmotusyksiköiden yhtäaikainen mielessä pitäminen tai käsittely johtaa tiedonkäsittelyn ylikuormitukseen, jolloin suoritus häiriintyy. (Hakkarainen, Lonka ja Lipponen, 1999, 24-25; Saariluoma 1992, 120-128).

Monissa tilanteissa on käsiteltävä useampaa kuin noin neljää asiaa kerrallaan. Pitkäkestoiseen muistiin varastoituneen tiedon, valmiiden toimintaohjelmien hyödyntäminen tulee tärkeäksi. Valmiit toimintaohjelmat tekevät mahdolliseksi toimintojen automatisoitumisen. Työtoiminnan automatisoitumisen seurauksia kuvaa Hacker (1982, 312-320) seuraavasti: Oppimisprosessin tuloksena tapahtuu psyykkistä automatisoitumista, jolloin työtoiminnan suunnittelussa tallennetun toimintaohjelman viriäminen korvaa

suunnitteluprosessit. Valinta yksinkertaistuu samalla. Päätöksentekotilanteeseen sovitetaan valmis toimintaohjelma (Saariluoman 1992 mukaan ratkaisumalli) jolloin päätöksenteko ja toiminta nopeutuu ja yksinkertaistuu. Suoritusvaiheen kontrolliprosessit yksinkertaistuvat ja stereotypisoituvat samalla kun suorituskin yksinkertaistuu. Automatisoitumisen seurauksena aiheutuu erilaisia edullisia piirteitä valmiuksiin, muun muassa suorituksen nopeus lisääntyy. Jos valmiudet ovat muodostuneet, voidaan samaan aikaan suorittaa useita toteutusprosesseja samanaikaisesti. Suoritukseen kulloisellakin kerralla kuluvan ajan muutokset vähenevät ja työturvallisuus lisääntyy joissakin työtehtävissä. Päätöksenteon automatisoitumiseen liittyy myös se, että ennakoinnin mahdollisuudet kasvavat. Kun informaatiota kerätään ennakoivasti voidaan mahdollisiin ongelmatilanteisiin varautua ennakolta.

Simulaattoriopetuksesta on monia etuja: käytännön toiminnan kautta muun muassa paljastuu tiedon tarve, asiat, joita ei osata, mutta jotka tulisi osata. Anestesia- ja lääkeopiskelijoiden kokemukseräistä oppimista simulaattorin avulla tutkineet Cleave-Hogg ja Morgan (2002) kuvaavat tutkimuksensa tuloksia seuraavalla tavalla perustuen opiskelijoilta kerättyihin kokemuksiin:

- 1) Opiskelijat oppivat ymmärtämään mitä tulisi osata: He huomasivat simulaattorilla oppiessaan kuinka vähän he käytännössä osaavat ja missä kohtaa aukot osaamisessa ovat.
- 2) He myös oppivat soveltamaan teoriaa käytäntöön sekä
- 3) oppivat refleктоimaan oppimaansa.
- 4) Vertaillessaan harjoittelua aidossa tilanteessa leikkaushuoneessa simulaattorilla oppimiseen oppijat totesivat, että simulaattorilla he joutuivat suorittamaan monipuolisemmin eri tehtäviä kuin leikkaushuoneessa, jossa heidän roolinsa oli passiivisempi. Simulaattorilla oppiessaan opiskelijat saattoivat vapaasti harjoitella taitojaan pelkäämättä potilaan vahingoittamista.

Motivaation merkitys on suuri simulaattoriopetuksessa kun oppija on erillään maailmasta, joissa oppimisen tavoitteena olevia taitoja tarvitaan. Oppimisen tehokkuuden kannalta on tärkeää, että motivaatio pysyy riittävän korkeana. Teoksessa Flight Simulation 1997 (249) korostetaan oppijan motivaation merkitystä oppimisen kannalta simulaattorikoulutuksessa. Jacobs&Dempsey (1993) korostavat oppimistehtävien merkitystä motivaation ylläpitäjinä. Liika harjoittelu simulaattorilla voi myös johtaa motivaation vähenemiseen (Shute, Regian & Gawlick-Grendell 1993, 143-144). Jentsch&Bowers (1998) toteavat, että simulaattorin alhainen realismi saattaa vähentää motivaatiota erityisesti jos simulaattoria käytetään paljon.

Synteesi ja analyysi. Simulointiin perustuvissa ympäristöissä oppiminen on tekemällä oppimista. Sitä on luonnehdittu useimmiten kokemukseräiseksi oppimiseksi, mutta usein myös konstruktivistiseksi oppimiseksi. Viime kädessä oppimisen orientaatio simulaatioon perustuvissa ympäristöissä on kuitenkin alakohtainen. Simulointia käytettäessä jäljitellään aidon ympäristön piirteitä. Jos aidossa ympäristössä oppiminen nähdään olevan pääasiassa esimerkiksi

sosiokulttuurista oppimista toiminnan yhteisöissä (esimerkiksi Wenger 1999), samaan tulee pyrkiä myös simulointia käytettäessä.

Simulointiin perustuvissa ympäristöissä oppiminen on myös kokonaisvaltaista: oppija on tekemisissä virtuaalimaailman kanssa kaikkien aistiensa kautta. Simulointiin perustuvissa ympäristöissä toteutuu useassa tapauksessa itsenäisen päätöksenteon harjoittelu. Metakognitiivisten taitojen oppiminen on tärkeää. Koska oppiminen on tekemällä oppimista, opitaan myös soveltamaan opittua. Lisäksi hän havaitaan se, mitä ei vielä osata. Motivaation merkitystä oppimisessa korostetaan myös.

Työmuistin rajallisesta kapasiteetista johtuen suoritusten automatisoituminen on oppimisen kannalta tärkeää, jotta päätöksenteon ja työsuorituksen nopeus ja virheettömyys voivat kasvaa. Automatisoitumisen seurauksena voidaan suorittaa samanaikaisesti useita tehtäviä, esimerkiksi valmistella seuraavaa työvaihetta edellisen vielä jatkuessa.

Simulointiin perustuvissa ympäristöissä oppimisen ydin on se, että voidaan oppia mahdollisimman paljon samalla tavalla ja samoja asioita kuin aidossa ympäristössä. Tilanteita voidaan toistaa tarpeen mukaan. Oppiminen on turvallista ja kustannukset ovat alemmat kuin aidossa ympäristössä.

4.2.2 Oppiminen aiemmista kokemuksista

Simulaattorilla harjoitellaan esimerkkitalanteita, joista opittua on tarkoitus voida hyödyntää käytännön tilanteissa myöhemmin. Kun simulaattorilla opitaan, olennaista on se, miten opittu siirtyy osaamiseksi aidossa olosuhteissa. Simulaattorilla harjoitellaan toimintoja, jotka ovat jäljitelmää aidosta olosuhteista. Jäljitellyt tilanteet muistuttavat aitoja vaihtelevasti. Olennaista kuitenkin on oppia simulaattorin avulla ne opittavan asian keskeiset piirteet, jotka ovat olennaisia käytännön tilanteiden hallinnassa. Esimerkiksi harvesterinkuljettajan työ koostuu perättäisistä ongelmanratkaisutilanteista, joiden ratkaisemisen onnistuminen ja nopeus perustuu suurelta osin aiemmin koettuihin vastaavanlaisiin, mutta hieman erilaisiin tilanteisiin.

Reimannin ja Bellerin (1993, 91-92) mukaan esimerkkitalanteista oppimista voidaan tehostaa ja transferia tehostaa jos oppijoita tuetaan tiedon käsittelyssä silloin kun se on peräisin aiemmin koetuista esimerkki- ja ongelmanratkaisutilanteista. He kuvaavat transferin ”kapeuden” ongelmaa: oppijat selviävät ongelmanratkaisu-tehtävistä hyvin simulaatio-oppimisympäristössä opetustilanteessa, mutta osoittavat vain vähän osaamista yksin toimiessaan uusien ongelmien parissa. Reimannin ja Bellerin mukaan

esimerkkitalanteista voidaan oppia ja erityisesti transferia tehostaa jos oppijoita tuetaan aiemmin koettujen esimerkkitalanteiden ja heidän kokemiensa ongelmanratkaisutilanteiden hyödyntämisessä. Reimann ja Beller viittaavat Rossin (1989) malliin, joka selittää sitä tapaa millä noviisit voivat täydentää epätäydellisiä skeemojaan eksperttien täydellisempien skeemojen suuntaan.

Rossin (1989, 438-440) mukaan oppiessamme uusia asioita pyrimme usein käyttämään hyväksemme aiempia tapauksia tai ongelmia ja sitä millä tavoin ne on ratkaistu. Aiempien tapauksien muistelu on hyödyllistä ongelmanratkaisutilanteissa, koska sillä tavoin voidaan hakea muistista samankaltaisiin piirteisiin perustuvaa relevanttia tietoa, rekonstruoida sitä, hakea analogioita sekä yleistyksiä. Erityisesti tällä on merkitystä noviisien oppimisessa.

Ongelmanratkaisutilanteessa haemme muistista ratkaisemisen kannalta relevanttia informaatiota. Aiemman tapauksen muistaminen ei välttämättä ole riittävää, vaan tapausta täytyy myös käyttää. Ross (1989, 441) jakaa prosessin seuraaviin vaiheisiin:

- 1) aiemman ongelman tai esimerkin muistaminen
- 2) esimerkin tai ongelman rekonstruointi ja ratkaisu
- 3) nykyisen ongelman ratkaisemisen ja aiemmin koetun ongelman ja sen ratkaisemisen analogian tutkiminen
- 4) analogisten prosessien yleistäminen

Analogisten prosessien yleistämisessä on kyse muustakin kuin pelkästään ratkaisun yleisperiaatteista. Kyseessä voi olla myös esimerkiksi jonkin dekontekstualisoidun osatapahtuman analogia.

Noviisien oppimisen ongelmana on usein se, että he eivät erota tapausten pinnallisia piirteitä yleisperiaatteista, mikä voi johtaa siihen, että he oppivat vääriä tai tarpeettomia asioita. He tekevät yleistyksiä ongelman piirteistä, jotka eivät ole ongelmanratkaisun kannalta olennaisia. Sen sijaan heitä tulisi ohjata löytämään ja muistamaan ne keskeiset piirteet, jotka ovat olennaisia ongelman ratkaisussa kun asia kohdataan uudessa tilanteessa hieman erilaisena. (Ross 1989, 441-444).

Mostowin mukaan ongelmanratkaisu muovaamalla aiempaa ratkaisua on vanha, mutta toimiva menetelmä. Seuraavat asiat ovat olennaisia suunnittelu- tai ongelmanratkaisuprosessissa, jossa tukeudutaan aiemmin koettuun ongelmaan (Mostow 1989, 127-134):

- a) Suunnitelmien representaatio eli tietoesitys: mitä tietoa aiemmin koetusta ongelmanratkaisusta tarvitaan ja millä tavalla tieto tulisi ilmaista? Tätä voidaan luonnehtia paitsi tietosisällöllä niin myös sillä millä tavoin tieto

- on ilmaistu. Mitä abstraktimmalla tai yleisemmällä tasolla suunnitelma tai sen osa on esitetty, sitä erilaisemmissa tilanteissa sitä voidaan käyttää.
- b) Suunnitelmien hankkiminen: millä tavoin tämä tieto voidaan hankkia? Uudelleen toteutettava suunnitelma tulee ensin muodostaa. Millä tavoin se on muodostettu vaikuttaa sen uudelleentoteuttamisen helppouteen. Mitä enemmän ongelmanratkaisuosaa siitä muodostettaessa käytettiin, sen helpompi sitä on käyttää uudestaan.
 - c) Suunnitelmien hakeminen: millä tavoin relevantit, tallennetut suunnitelmat löydetään, jotta niitä voidaan hyödyntää uudestaan? Miten löytää helposti juuri sellainen suunnitelma, joka sopii uuteen tilanteeseen?
 - d) Vastaavuus: mitkä uuden ongelman tavoitteet, päämäärät ja rajoitteet vastaavat aiemmin koetun ongelman vastaavia?
 - e) Sopivuus: milloin tietty aiemmin opittu suunnitelma tai suunnitelman askel pitäisi suorittaa uudessa tilanteessa? Mitkä alkuperäisen suunnitelman osat ovat sellaisia, joita voidaan soveltaa myös uudessa tilanteessa?
 - f) Miten aiempi suunnitelma voidaan muuttaa uuteen ongelmanratkaisutilanteeseen sopivaksi?

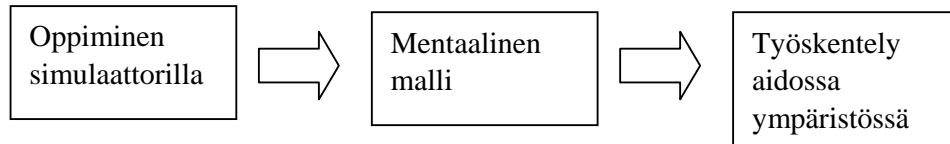
Representaation onnistumisen kannalta olennaista on jakaa tapaukset osiin ja osa osalta tallentaa osat muistiin yleistettyjen käsitteiden ympärille. Käsitteet sisältävät osille ominaisia yleispiirteitä. Uusien osien olemassa olevaan käsittehierarkiaan integrointi sisältää kaksi vaihetta: Ensimmäin haetaan käsitteet, joihin kyseessä olevan tapauksen osat parhaiten sopivat. Sen jälkeen uusi osa integroidaan olemassa olevaan käsittehierarkiaan. (Reimann ja Beller 1993, 97-98).

Edellä mainittujen mukaan hakemisessa vaikeutena oppijan kannalta on se, että opiskelijan käsitykset niistä ongelman piirteistä, jotka ovat ongelman kuvaamisen kannalta tärkeitä vaihtelevat kerta kerralta. Oppija voi ongelmaa ratkaistessaan huomata, että ominaisuus jota hän ei ole ottanut toistaiseksi huomioon onkin tärkeä ja se tulisi ottaa huomioon kaikissa tilanteissa. Tätä he kutsuvat epämonotonisuuskysymykseksi: erityisesti noviisin oppimiselle tällainen tilanne on tyyppillinen. (Reimann ja Beller 1993, 100).

Yhteenveto. Edellä kuvattu oppimisen malli kuvaa sitä millä tavoin simuloinnin käyttöön perustuva oppiminen tapahtuu. Malli on käyttökelpoinen kun simulaattorin avulla oppimista analysoidaan ja suunnitellaan. Simuloinnissa jäljitellään aitoa ympäristöä. Oppimisen transferia edistää, jos oppijoita tuetaan aiemmin koettujen esimerkkitalanteiden hyödyntämisessä.

4.2.3 Mentaaliset mallit oppimisessa

Simulaattorilla opittuja taitoja käytetään myöhemmin aidossa tilanteessa. Simulaattorilla oppimisen tuloksena oppijalle syntyy mentaalinen malli, joka myöhemmin säätelee työsuoritusta aidossa ympäristössä. Miten käytännön työ hallitaan riippuu pitkälti siitä, miten oikeanlainen työtä ohjaava mentaalinen malli oppijalle simulaattorilla oppimisen seurauksena muodostuu. Kehittyneen mentaalisen mallin, opitun transferin ja taitavan suorituksen välillä on osoitettu olevan yhteyttä (Day&Gettman 2001).



Kuva 7. Työskentelyä säätelee simulaattorilla oppimisen seurauksena muodostunut mentaalinen malli..

Lehtisen ja Kuusisen (2001, 100-101) mukaan representaation käsitteellä viitataan siihen, miten ulkoista ympäristöä koskeva kokemus on edustettuna mielessä. Skeemoiksi kutsutaan ihmisen mielessä olevia yleistyneitä tiedollisia rakenteita, ajattelumalleja tai sääntöjä, mielen sisäisiä elementtejä, jotka viittaavat johonkin yksittäistä mielikuvaa yleisempään.

Mentaalisilla malleilla kuvataan skeemoja suurempia mielen rakenteita. Mentaaliselle mallille ei ole mitään yhtenäistä määritelmää, vaan se on yleisnimitys representaatioille, jotka viittaavat laajempiin skeemojen tai uskomusten kokonaisuuteen. Tällaiset mallit ovat välttämättömiä kun kuvataan monimutkaisten tilanteiden tai ilmiöiden ymmärtämistä. (emt., 107).

Eri tutkijoiden mielen rakenteille, käsityksille tai mielikuville antama merkitys, nimi ja kuvaus poikkeavat toisistaan jonkin verran. Nimityksiä ovat operatiivinen kuvajärjestelmä eli sisäinen malli (Hacker 1982) tai mentaalinen malli (Johnson-Laird 1989).

Hacker (1982, 75-79) määrittelee sisäisen mallin väljästi kuvaksi tai kuviksi, jotka säätelevät työtä. Nämä säätelevät kuvat, operatiivinen kuvajärjestelmä tai sisäinen malli, ovat työtoiminnan psyykkisessä säätelyssä ratkaisevan tärkeitä. Harjaantuneille työtoiminnoille on ominaista ennakoiva toimintatapa objektiivisten mahdollisuuksien luomissa rajoissa. Tämä on mahdollista siten,

että työntekijä luo mielessään operatiivisten kuvien perusteella toimintaa vaativien tapahtumien ajankohdat ja laadun. Operatiiviset kuvat tai sisäiset mallit ovat suhteellisen pysyviä toimintaa sääteleviä muistiaineksia. (emt. 1982, 75). Niiden suhteellinen pysyvyys on tekijä, joka erottaa ne psyykkisen säätelyn lyhytkestoisista tapahtumista, jotka tuottavat operatiiviset kuvat, muuntavat niitä ja suorittavat niiden varassa vertailutapahtumia. (Hacker 1982, 79).

Johnson-Laird (1989, 470) kuvaa mentaalisia malleja seuraavasti: aistien kautta informaatiosta muodostuu sisäinen representaatio, jota sitten käytetään toiminnan kontrolliprosesseihin. Malleissamme yhdistyy kaikkien aistiemme ja yleisen tietämyksemme informaatio. Staggersin ja Norcion (1993), mukaan mentaaliset mallit ovat tietyn tiedon alueen järjestelmien sisäisiä representaatioita. Nämä sisäiset representaatiot muodostetaan tiedon (opetuksen) tai kokemuksen kautta, tai kummankin yhdistelmänä. Heidän mukaansa ei tiedetä miten mentaaliset mallit muodostuvat, mutta heidän näkemyksensä on, että ne muodostuvat aiemmin sattuneiden, sekä konkreettisten että abstraktien tapahtumien tai interaktion seurauksena relationaalisessa rakenteessa, joka jäljittelee todellista tilannetta. Ihmisillä on kyky prosessoida malleja päässään testaten sekä kuvailevia että kausaalisia malleja. Tällä tavoin malleja muutetaan ja rakennetaan.

Anderson (1990, 140-141) kuvaa erästä skeematyyppiä, tapahtumaskeemaa eli käsikirjoitusta (event schema, script). Tapahtumaskeemoissa kiteytyy tiettyihin tapahtumiin liittyvä tieto. Tällainen on esimerkiksi elokuvateatterissa käynti, joka edelleen jakautuu osatapahtumiin matkustamisesta ja lipun ostosta alkaen. Skeemoihin liittyy myös hierarkkisuus, esimerkiksi lipun osto jakautuu edelleen osatapahtumiin. Tapahtumaskeemoihin liittyy myös vaihtoehtoja, esimerkiksi mennäänkö elokuviin bussilla vai henkilöautolla.

Johnson-Laird (1989, 486) kuvaa noviisien ja eksperttien mentaalisten mallien eroja. Noviisien mallit ovat epätäydellisiä ja epätarkkoja verrattuna eksperttien malleihin. Noviisien mallit ovat myös kvalitatiivisia, koska eksperttien kvantitatiiviset mallit vaativat tietoa todennäköisyyksistä ja jakaumien variansseista.

Amalberti ja Deblon (1992, 648-649) tutkivat kokemattomien ja kokeneiden rynnäkkökoneiden lentäjien mentaalisten mallien eroja. Kokeneet lentäjät kykenevät rajoittamaan lentoon liittyvät osatapahtumat minimiin. He kykenevät jättämään ei-merkitykselliset yksityiskohdat huomiotta, jolloin aikaa jää enemmän olennaiseen. He myös kategorisoivat eri osatapahtumia ja osaavat ennakoida tilanteita. Korkein kategoria koostuu tapahtumista, jotka vaativat nopeaa reagointia. Näitä ovat esimerkiksi lentoturvallisuuteen liittyvät tapahtumat. Vähemmän merkitykselliset tapahtumat saavat vähemmän huomiota osakseen. Tällä tavoin kokeneet lentäjät kykenevät pienentämään käsiteltävien tapahtumien määrää ja näkevät asiat laajemmissa kokonaisuuksissa.

Laajemmissa kokonaisuuksissa ongelmanratkaisu helpottuu, aikaa säästyy ja diagnosoiti yksinkertaistuu.

Amalberti ja Deblon (1992, 655-656) kuvailevat rynnäkkökoneen lentäjien työtä lennon aikana esimerkkinä työstä, jossa on tehtävä nopeasti päätöksiä lyhyessä ajassa. Kun päätöksiä tehdään, ei ole aikaa pohtia perusteellisesti eri vaihtoehtoja ja niiden seurauksia, vaan päätöksenteon tulee olla mahdollisimman pitkälle automaattista. Lentäjillä on olemassa erilaisia tilanteita varten valmiita ratkaisumalleja, jotka tarvittaessa otetaan käyttöön. Lentäjät välttävät tilanteita, joihin heillä ei ole valmista ratkaisua tai ratkaisua, jota lentäjä voisi soveltaa tilanteessa, jossa vaaditaan nopeaa päätöstä. He pelkäävät enemmän sitä, että sopivaa valmista mallia ei löydy kuin ongelmatilanteen analyysia. Amalbertin ja Deblonin mukaan nopeita päätöksiä vaativissa ongelmanratkaisutilanteissa ei ole aikaa syy-seurausanalyysiin, vaan on oltava riittävästi valmiita ratkaisumalleja, joista valita tilanteeseen sopivin. Tämä on nopeita päätöksiä vaativan prosessinhallinnan ongelmanratkaisun ydin.

Lehtinen ja Palonen (1999) käsittelevät lintubongarien muistamista, sitä millä tavoin kokeneet lintubongarit kykenevät tunnistamaan jonkin linnun hyvin vähän informaation perusteella, ehkä varsin kaukaakin. Toiminta perustuu havaitsemiseen, mieleen painamiseen ja mielestä palauttamiseen sekä laajaan tietovarastoon. Miten suuri tietomäärä organisoituu pitkäkestoiseen muistiin ja miten se on sieltä palauttavissa? Edellä mainitut toteavat, että kognitiivisen tutkimustradition pohjalta tiedetään, että hyvin organisoitunut ja merkityksellinen tieto säilyy pitkäkestoisessa muistissa paremmin kuin irrallinen tieto.

Lehtisen ja Palosen mukaan Boshuizen et al. (1995) käyttävät nimitystä script eli käsikirjoitus (vrt. Anderson 1990, script, käsikirjoitus, toimintaskaema), siitä millaisiin tietorakenteisiin perustuen kokeneet lääkärit tekevät diagnooseja. Heillä on olemassa ”käsikirjoituksia” prototyypipotilaista. Nämä sisältävät informaatiota potilaista (esimerkiksi ikä, sukupuoli, elämäntavat), oireiden erilaisista yhdistelmistä, tautien tyypillisestä etenemisestä jne. Nämä tekevät mahdolliseksi sen, että suuri tieto- ja kokemusmäärä pysyy mielessä. Osa tästä tiedosta on hiljaista tietoa. Kokeneella lintubongarilla näyttää olevan samankaltaisia käsikirjoituksia, jotka ovat muodostuneet aiemman kokemuksen perusteella. Tämä tieto muodostuu vuodenaajoista, maastoista, äänistä, liikkeistä sekä linnun ulkonäköön liittyvistä kriittisistä ominaisuuksista. Tunnistamisen kannalta on olennaista, että runsas ja paljon yksityiskohtia sisältävä tietomäärä on jäsennettävissä merkityksellisiksi kokonaisuuksiksi, jotka liittyvät tiettyihin tilanteisiin. Muuten asioita ei voitaisi palauttaa mieleen tunnistamisen kannalta riittävän nopeasti. Asiantuntija seuloa mielessään olevaa tietopaljoutta tekemällä valintoja jo alusta alkaen. Hän tiputtaa mielestään pois valtaosan vaihtoehdoista ja etsii tiettyjä eroja jäljellejäävien joukosta. Hän käyttää ensin samanlaisuuksia (”lintu on kahlaaja”) ja myöhemmin erottelevia strategioita (tietty lajille

ominaiset tunnistuspisteet). Havainnoitsija osaa käyttää hyväkseen myös sitä tietoa, mikä on saatavilla. Hän kiinnittää huomiota sekä ympäristöön että lintujen tiettyihin tunnistuspisteisiin. Lehtisen ja Palosen mukaan käsikirjoituksen käsite perustuu olennaisena tekijänä juuri nopeaan ja strategiseen havaintotiedon valikointiin.

Simulaattorikoulutuksen merkityksen kehittyneiden mentaalisten mallien muodostamisessa mainitsevat Fowlkes, Dwyer, Oser, R. ja Salas (1998) lentäjien koulutuksessa, Rothermel, Breker ja Verwey (2002) autosimulaattorikoulutuksessa sekä Takano, Sasou ja Yoshimura (1997) ydinvoimaloiden käyttöhenkilöstön koulutuksessa.

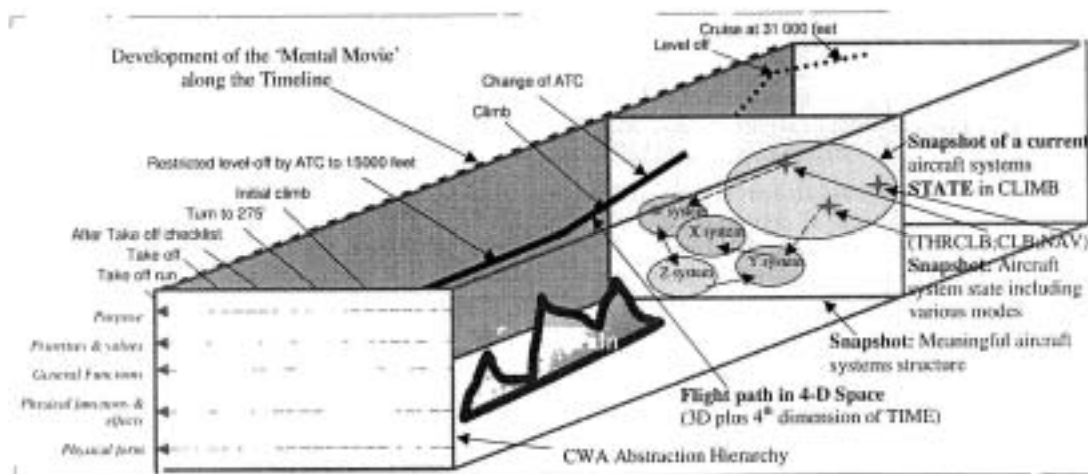
Fowlkes, Dwyer, Oser, R. ja Salas (1998, 218) kuvaavat lentäjien skeemoja: eksperteillä on paljon erilaisia tilanteita kuvaavia skeemoja, joiden avulla he voivat luokitella monenlaisia asiantiloja. Simulaattorikoulutuksen skenaariot auttavat lentäjiä kehittämään heidän eri tilanteissa tarvitsemiaan skeemoja.

Ydinvoimaloiden käyttöhenkilöstön mentaalisia malleja tutkineet Takano, Sasou ja Yoshimura (1997) toteavat, että simulaattoriharjoittelun tuloksena käyttöhenkilöstön kehittyneet mentaaliset mallit tekevät mahdolliseksi hallita monenlaisia ongelmatilanteita jos niitä syntyy aidossa ympäristössä. Simulaattorikoulutuksella voidaan luoda kehittyneitä mentaalisia malleja erilaisia ongelmatilanteita varten.

Autonajosimulaattorikoulutuksen tuloksena oppijalle muodostuvaa mentaalista mallia ovat tutkineet Rothermel, Breker ja Verwey (2002). Heidän mukaansa tulisi kyetä tunnistamaan ne opittavien asioiden piirteet, jotka ovat olennaisia, jotta simulaattorilla opitusta mahdollisimman suuri osa olisi käyttökelpoista aidossa ympäristössä. Jotta tähän päästäisiin, tulisi kyetä ymmärtämään millä tavoin kuljettajan aitoa liikenneympäristöä kuvaava mentaalinen malli muodostuu. Simulaatiokoulutuksessa tulisi pyrkiä simulaation psykologiseen realismiin.

Informaatioylikuorma on nykyisten monimutkaisten lentokoneiden lentäjien ongelmana. Kyse on usein siitä, että kaikista tarvittavista asioista ei lentäjillä ole riittävästi tietoa ja tieto on huonosti organisoitunutta. (Solodilova, Lintern&Johnston 2003). Lentäjien lennosta muodostamasta representaatiosta edellä mainitut käyttävät termiä *mental movie* mentaalisen mallin sijaan. ”Mentaalinen elokuva” kuvaa kirjoittajien mielestä paremmin lentäjien lennosta eri vaiheineen muodostamaa kuvaa, joka ohjaa heidän päätöksentekoaan (kuva 8). ”Mentaalinen elokuva” on ajassa etenevä dynaaminen malli, jossa tapahtumat seuraavat toisiaan ja ovat riippuvaisia aiemmista tapahtumista. Se kuvaa lentäjien odotusten ja toimintojen aikariippuvuutta ja se muodostetaan jo lentoa suunniteltaessa. Kun lentäjät ottavat jo etukäteen huomioon mahdolliset

ongelmatilanteet, he osaavat toimia oikein vaikeissa, nopeita päätöksiä vaativissa tilanteissa.



Kuva 8. Kuva lentäjien lennosta muodostamasta representaatiosta, ”mental moviesta” eli ”mentaalisestä elokuvasta” (Kuva Solodilova, Lintern&Johnston 2003).

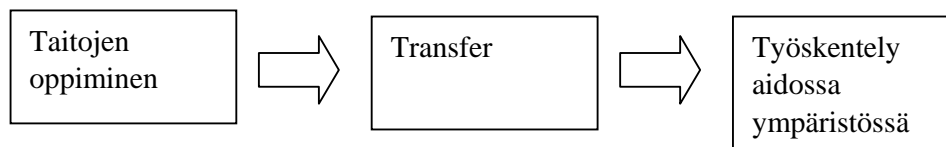
Hakkuukoneen eli harvesterin hallintalaitteissa on kymmeniä erilaisia näppäimiä, joilla kuljettaja ohjaa koneen toimintoja. Jotta kuljettaja voi käyttää konetta, hänen on muistettava näiden toiminnot ja osattava käyttää toimintoja koordinoitusti. Toimintojen muistamisen lisäksi kuljettajan on pelkästään perustyötekniikka hallitakseen muistettava lisäksi kymmeniä työskentelyn periaatteita, jotta työsuoritus onnistuu. Muistettavien asioiden määrä nousee yhteensä jopa lähelle sataa. Ihmisen työmuistin kapasiteetti on kuitenkin alle kymmenen yksikköä (Anderson 1990), joten ilman harjoittelua työ ei onnistu, koska mielessä samanaikaisesti pidettäviä asioita on kerrallaan liian monta. Harjoituksen seurauksena osa toiminnoista automatisoituu (Hacker 1982), jolloin työmuistin rasitus pienenee ja työn joutuisuus kasvaa. Eri työvaiheita voidaan suorittaa samanaikaisesti, esimerkiksi suorituksen jatkuessa suunnitella jo seuraavaa vaihetta. Harvesterinkuljettajan koneella työskentelyä ohjaava mentaalinen malli sisältää monia peräkkäisiä ja myös vaihtoehtoisia ratkaisumalleja, joista parhaiten soveltuvat otetaan käyttöön tilanteen mukaan. Tässä suhteessa työ muistuttaa varsin paljon Amalbertin ja Deblonin (1992) kuvaamaa rynnäkkökoneen lentäjän työtä.

Synteesi ja analyysi. Mentaaliset mallit eli sisäiset mallit ovat pysyviä muistiaineiksia, jotka säätelevät toimintaa. Noviisien ja eksperttien mentaaliset mallit poikkeavat toisistaan huomattavasti. Eksperttien mentaaliset mallit ovat rakenteeltaan kehittyneempiä ja kvantitatiivisia noviisien kvalitatiivisten mallien sijaan. Ekspertit osaavat kategorisoida ja ennakoida noviiseja paremmin ja he kykenevät noviiseja nopeampaan ja tehokkaampaan tiedonkäsittelyyn ja päätöksentekoon, jossa he osaavat huomioida myös tapahtumien todennäköisyyksiä. Kehittynyt mentaalinen malli vaatii muodostuakseen paljon kokemusta tai harjoittelua. Kehittyneen, realistisen mentaalisen mallin muodostuminen on tärkeää, jotta oppimisen tavoitteena olevat taidot osataan myös aidossa ympäristössä, ei vain simulaattorilla.

Simulaattorin avulla oppimisen kannalta mentaalisen mallin käsite on tärkeä, koska simulaattori ympäristönä poikkeaa aidosta ympäristöstä ja sitä kautta mentaalinen malli simulaattorilla opittaessa muodostuu erilaiseksi. Jotta koulutuksen lopputuloksena syntyvä oppijan mentaalinen malli olisi oikeanlainen oppimisen tavoitteisiin nähden, mentaalisen mallin muodostuminen ja siihen vaikuttavat tekijät tulee ottaa huomioon opetusta suunniteltaessa ja toteutettaessa.

4.2.4 Oppimisen transfer

Ei riitä, että simulaattorilla opitaan jokin taito hyvin vaan opittua taitoa tulee voida soveltaa sitten kun sitä tarvitaan käytännön työtehtävässä. Opitun transferin eli siirtovaikutuksen merkitys korostuu kun oppiminen tapahtuu simulaatioympäristössä irrallaan aidosta olosuhteista. Simulaattoreiden keskeisin tehtävä on tuottaa mahdollisimman suuri siirtovaikutus niitä reaalimaailman tilanteita varten, joissa opittua joudutaan soveltamaan (Baudhuin 1987, 217).



Kuva 9. *Miten opittu siirtyy osaamiseksi käytännön tilanteessa riippuu oppimisen transferista eli siirtovaikutuksesta.*

Opitun transfer eli siirtovaikutus voidaan todeta silloin kun oppija toimii toivotulla tavalla tilanteessa, joka poikkeaa tilanteesta, jossa toiminta on opittu. Transferia tapahtuu kun oppija soveltaa aiemmin oppimaansa uudessa tilanteessa. (Jacobs&Dempsey 1993, 212).

Thorndiken yhteisten elementtien teorian mukaan (Rauste-von Wright&von Wright 1994, 46) transferia kahden tehtävän A ja B välillä esiintyy vain, jos näillä on yhteisiä elementtejä. Edellä kuvatun teorian perusteella kaksi käytännön ohjetta: a) tietoja ja taitoja on tehokkainta harjoitella oloissa, joissa niitä myöhemmin käytetään, ja b) transferin laaja-alaisuutta voidaan lisätä ns. ärsykevariaation periaatteen pohjalta: mitä vaihtelevammassa oloissa opittua harjoitellaan, ja mitä useampia erilaisia sovelluksia opittavana olevasta säännöstä kokeillaan, sitä laajemmalle ulottuu opitun transfer. Transferia esiintyy varsinkin silloin, kun uusi tilanne sisältää samanlaisia toimintavirikkeitä eli ympäristön tarjoamia yllätyksiä kuin aiempi oppimistilanne (Rauste-von Wright&von Wright 1994, 47).

Aktiivinen transfer (Rauste-von Wright&von Wright 1994, 47-48) perustuu oppijan pyrkimykseen toisaalta luoda edellytyksiä transferille jo oppimisvaiheessa, toisaalta käyttää hyväkseen aiemmin opittua uudellisissa tilanteissa, esimerkiksi yrittämällä löytää tietorakenteiden välisiä yhteyksiä tai etsimällä selityksiä ja perusteluja, jolloin aktiivinen transfer nivoutuu ajatteluprosesseihin.

Edellä kuvatulla on seuraavanlaisia seurauksia: oppimisvaiheessa (A) on olennaista se, missä yhteydessä ja mitä tarkoitusta varten tietoa konstruoidaan. Tietoa tulisi pyrkiä organisoimaan sen tulevaa käyttöä silmällä pitäen ja toimintavirikkeiden pitäisi olla samantyyppisiä, joita odotetaan esiintyvän transfer-tilanteissa. Oppijan omia yrityksiä löytää sääntöjä ja periaatteita opittavasta aineksesta tulisi myös tukea. Mitä rikkaampaan tietoverkostoon uusi tieto kytketään oppimisvaiheessa, sitä useampia muistista haun reittejä sille samalla luodaan. (Rauste-von Wright&von Wright 1994, 48)

Uusissa tilanteissa (B), joissa pyritään hyödyntämään muussa kontekstissa aiemmin opittua opitun transferiin vaikuttaa A- ja B-toimintojen ja tilanteiden ja niiden sisältämien toimintavirikkeiden samankaltaisuuden lisäksi myös muut tekijät. Tähän vaikuttaa yksilön aktiivisuus, motivoituneisuus ja uskallus kokeilla oppimaansa, toisaalta ympäristön antama tuki ja kokeilemiselle myönteinen ilmapiiri. (Rauste-von Wright&von Wright 1994, 48)

Transfer voi olla joko positiivista, negatiivista tai neutraalia (Boldovici 1987, 239):

Positiivista transfer on kun tehtävän A tekeminen parantaa tehtävän B oppimista tai suoritusta.

Negatiivista transfer on silloin kun tehtävän A tekeminen haittaa tehtävän B oppimista tai suoritusta.

Neutraalia transfer on silloin kun tehtävän A tekemisellä ei ole vaikutusta tehtävän B oppimiseen tai suoritukseen.

Negatiivista transferia ilmenee esimerkiksi silloin kun jokin asia on opittu väärin niin että se haittaa jonkin tehtävän suoritusta.

Kvasitransfer on kyseessä silloin kun simulaattorilla opittua mitataan toisella simulaattorilla, ei aidoissa olosuhteissa. Kvasitransferia on käytetty transfertutkimuksessa koska kvasi-transferin koejärjestely on helpompi järjestää kuin transferin koejärjestely aidoissa olosuhteissa (Taylor&Lintern, 1993). Edellämainittujen tekemässä, lentäjien koulutusta koskeneessa tutkimuksessa kvasitransfer korreloi jossakin määrin transferin kanssa.

Analoginen transfer tarkoittaa tilannetta, jossa aiemmin koettua ongelmaa voidaan käyttää apuna uudessa tilanteessa, jossa ratkaistaan samantyyppistä ongelmaa. Adaptiivista transfer on puolestaan silloin kun olemassa olevaa osaamista käytetään opitun menetelmän muuttamiseen tai kokonaan uuden ongelman ratkaisuun. Jotta adaptiivinen transfer onnistuu, oppijalla on oltava metakognitiivista osaamista. (Ivancic&Hesketh 2000).

Vertikaalista transfer on silloin kun alemman tasoiset taidot edistävät korkeamman tasoisten taitojen oppimista. Lateraalista transferia puolestaan tapahtuu kun tietyssä tilanteessa opittua voidaan hyödyntää toisessa tilanteessa. (Shute, Regian&Gawlett-Grendell, 1993, 134).

Aidossa ympäristössä sovelletaan eri tavoin niitä taitoja, joita on opittu simulaattorilla. Aidon ympäristön tilanteet muistuttavat simulaattorilla opittua, mutta poikkeavat simulaattorin oppimistilanteista vaihtelevasti. Simulaattorilla opitun tuoma hyöty on suurimmillaan silloin kun sillä opittu palvelee sekä analogista että adaptiivista, mutta myös vertikaalista ja lateraalista transferia. Oppijan metakognitiivisten taitojen kehittyminen on tärkeää jotta muuttuvissa tilanteissa osataan soveltaa opittua.

Bell ja Waag (1998, 223-242) käsittelevät lentosodankäynnin simulaattorikoulutuksen tehokkuuden arviointia. Simulaattorikoulutuksen arviointiin he ehdottavat viittä eri tasoa, joista osa perustuu opitun transferiin. Tasot etenevät arvioinnin kannalta helpoimmasta vaativampaan:

- 1) käyttökelpoisuuden evaluointi, jossa tutkitaan simulaattoriympäristön tarkkuutta ja realistisuutta sekä sitä, miten hyvin simulaattorikoulutus vastaa niitä tavoitteita, joita sille on asetettu,

- 2) suoritustason parantaminen, jolloin mitataan jollakin tavoin sitä, miten hyvin simulaattorilla opittu on parantanut suorituksen osaamista simulaattoriolosuhteissa ja
- 3) opitun transferin mittaaminen, jolloin simulaattorilla opittua mitataan eri simulaattorilla.
- 4) opitun transferin mittaaminen lentokoneessa. Tässäkään tapauksessa ei voida mitata kaikkien opittujen asioiden transferia, koska taistelulentäjien taidot voidaan todeta vasta aidoissa taisteluolosuhteissa.
- 5) opitun ekstrapolointi taistelutilanteeseen arvioimalla. Ongelma mitattaessa transferia aidoissa olosuhteissa on mm. se, että kaikkea simulaattorilla opittua ei voi kokeilla käytännössä, esimerkiksi kaikkia vaaratilanteita.

Ylläoleva luettelo kuvaa hyvin sitä problematiikkaa, joka simulaattorioppimisen arviointiin liittyy. Simulaattorilla oppimista voidaan arvioida monella tasolla. Ensimmäinen taso kuvaa yleisluontoista arviointia. Toisella ja kolmannella tasolla simulaattorilla opittua mitataan simulaattorilla, jolloin toimitaan tilanteessa joka poikkeaa aidosta. Myöskään neljännellä eikä viidennellä tasolla ei voida mitata välttämättä kaikkea osaamista aidossa tilanteessa. Onko opittu ne taidot, joita varten koulutetaan voidaan lopullisesti todeta vasta käytännön työssä aidossa ympäristössä.

Simulaattorikoulutuksessa olennaista on se, miten paljon simulaattorilla oppiminen säästää aikaa saman asian oppimiseksi aidoissa olosuhteissa. Transferia mitataan yleisimmin vertaamalla koeryhmän suoritusta kontrolliryhmän vastaavaan. (Boldovici, 1987, 239-241, Roscoe&Williges 1980, 182) Transferprosentilla kuvataan transferin tehokkuutta. Roscoe ja Williges (1980, 183-187) määrittelevät termin transferin tehokkuusfunktio seuraavasti:

$$\text{Transferin tehokkuusfunktio (TER)} = \frac{Y_0 - Y_x}{X} * 100$$

Y_0 = kontrolliryhmän vaadittavaan tasoon pääsemiseksi tarvittava lentokoulutusaika

Y_x = koeryhmän vaadittavaan tasoon pääsemiseksi tarvittava lentokoulutusaika, kun se on saanut X yksikköä simulaattorikoulutusta

X =koeryhmän simulaattorikoulutusaika

Transferin differentiaalinen tehokkuusfunktio (Incremental Transfer Effectiveness Function, ITEF, Roscoe&Williges, 1980, 187-188) kuvaa sitä miten paljon simulaattorilla harjoiteltu lisätunti vähentää lentokoneella harjoittelun tarvetta.

$$\text{ITEF} = \frac{Y_{x - \Delta x} - Y_x}{\Delta X}$$

$Y_{x - \Delta x}$ = Lentokoulutusaika, jotka vaaditaan jotta $X - \Delta X$ yksikköä simulaattorikoulutusta saanut koeryhmä saavuttaisi vaaditun tason

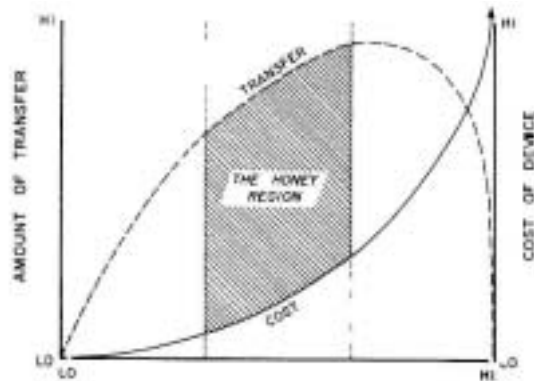
Y_x = Vastaavan koeryhmän vaadittavaan tasoon pääsemiseksi tarvittava lentokoulutusaika, kun se on saanut X yksikköä simulaattorikoulutusta

ΔX = koeryhmän käyttämä simulaattorilisäkoulutusaika vaadittuun tasoon pääsemiseksi

Simulaattorikoulutuksen ja muulla tavoin toteutettavan koulutuksen kustannusten vertailu on yksi lähtökohta kun simulaattorikoulutusta suunnitellaan. Lentäjäkoulutuksessa simulaattorikoulutuksen kustannukset ovat tyypillisesti noin 10 % lentokoneella toteutettavaan koulutukseen verrattuna (Flight Simulation, 1997, 247).

Jos tunnetaan simulaattorikoulutuksen transferin tehokkuussuhde (Roscoe ja Williges, 1980, 183-187), joka kuvaa sitä montako tuntia yksi simulaattorilla opiskeltu tunti lyhentää aidolla laitteella opiskeluaikaa, voidaan arvioida se, miten kauan simulaattorilla opiskelu on järkevää. Jos tämä suhde on yksi, tunti koulutussimulaattorilla lyhentää aidolla laitteella opiskeluaikaa yhdellä tunnilla. Mikäli esimerkiksi simulaattorikoulutus maksaa 10 % koulutuksesta aidossa olosuhteissa, simulaattoria, jonka transferin tehokkuussuhde on yli 0,1 kannattaa käyttää koulutuksessa.

Jos koulutuksen määrää tai simulaattorin tarkkuutta lisätään, oppimisen transfer lisääntyy. Kuitenkin koulutuksen määrää tai simulaattorin tarkkuutta ei voi rajattomasti lisätä koska kustannukset nousevat ja näistä saatava suhteellinen hyöty pienenee. On olemassa optimalue, mihin asti joko koulutuksen määrää tai simulaattorin tarkkuutta kannattaa lisätä. Optimaluetta Roscoe (1980, 195-197) kutsuu nimellä simulaattoriopetuksen "honey region". Transferin tehokkuus on parhaimmillaan silloin kun transfer on suurimmillaan suhteessa kustannuksiin tai simulaattorin realistisuuteen.



Kuva 10. Simulaattorikoulutuksen optimalie eli "honey region" Roscoen (1980, 195-197) kuvaamana (Kuva Roscoe 1980).

Synteesi ja analyysi. Ei riitä se, että simulaattorilla opittu taito osataan hyvin kun sitä arvioidaan simulaattorilla, vaan taito on osattava myös aidossa toimintaympäristössä. Simulaattorilla opitun transfer ei ole itsestään selvyys: monesti simulaattorilla opittu hallitaan erinomaisesti kun sitä mitataan simulaattoriolosuhteissa, mutta kuitenkin ei aina aidossa olosuhteissa. Oppimisen transfer voidaan todeta vasta aidossa olosuhteissa.

Oppimisen transferia edistää se, että opittavia taitoja 1) harjoitellaan oloissa, joissa niitä käytetään myöhemmin, ja myös se, että niitä 2) harjoitellaan vaihtelevissa oloissa. Eri 3) tehtävien ja olosuhteiden välisten yhteyksien ja selitysten etsiminen edistää myös transferia, kuten myös 4) sääntöjen ja periaatteiden hakeminen opittavien taitojen välillä. Erityisesti 5) metakognitiivisten taitojen oppiminen edistää transferia.

Simulaattorien käytöllä tavoitellaan ajansäästöä verrattuna saman taidon oppimiseksi aidossa toimintaympäristössä. Transferin tehokkuutta voidaan mitata koejärjestelyin. Kun tiedetään transferin tehokkuus ja koulutuksen kustannukset, voidaan tehdä myös kustannusvertailuja. On olemassa optimalie, mihin asti simulaattorikoulutuksen määrää kannattaa lisätä.

Oppimisen transferia on tutkittu paljon simulaattoritutkimuksissa. Syynä lienee se, että transfer on nähty yhdeksi keskeisimmistä simulaattoriopetuksen ongelmista. Varsinkin aiemmin nähtiin transferin olevan suorassa suhteessa

simulaattorin tarkkuuteen, kun taas nykyisin transferin nähdään olevan riippuvainen monesta tekijästä, esimerkiksi oppimistilanteen kokonaisuudesta.

4.2.5 Simulaattorin tarkkuus ja oppiminen

Simulaattorin tarkkuuden (fidelity) suhdetta oppimistuloksiin ja transferiin on pohdittu paljon simulaattoritutkimuksissa. Oppimisen ja opetuksen kannalta on ratkaisevaa se millaiset simulaattorin ominaisuudet ovat. Yksinkertaisimmillaan simulaattori voi olla pöytätietokone, johon hankitaan 50 euron arvoinen lentosimulaattoriohjelma. Toisaalta kalleimmat lentokonesimulaattorit maksavat jopa kymmeniä miljoonia euroja.

Simulaattoreita, jotka jäljittelevät fyysisesti ja teknisesti mahdollisimman tarkkaan aitoa laitetta tai järjestelmää kutsutaan englannin kielessä nimellä ”high fidelity simulator”. Näitä käytetään yleisesti ilmailualan koulutuksessa. Yksinkertaisia simulaattoreita, esimerkiksi pöytätietokonesimulaattoreita kutsutaan nimellä ”low fidelity simulator”. (Flexman&Stark 1987). Teikari ja Vartiainen (1985) jakavat simulaattorin tarkkuuden fyysiseen ja psykologiseen tarkkuuteen, jolloin he käyttävät termiä fyysinen ja psykologinen vastaavuus. Viimemainitulla tarkoitetaan sitä miten paljon tilanteet simulaattorilla vastaavat psykologisesti aitoja tilanteita. Kun puhutaan simulaattorin tarkkuudesta, usein sillä käsitetään vain sitä miten paljon simulaattori muistuttaa fyysisesti ja teknisesti aitoa laitetta. Lane ja Alluisi (1992) määrittelevät simulaation tarkkuuden kuvaavan sitä, miten hyvin simuloitu tilanne vastaa referenssitilannetta eli tilannetta, jota simulaatiolla jäljitellään. Lanen ja Alluisin määritelmä on kattava, koska se ottaa huomioon laitteen lisäksi myös muut tilanteeseen liittyvät tekijät. Simulaattorin ominaisuudet, tarkkuus tai realismi vaikuttavat siihen mitä taitoja sillä voidaan opettaa ja millä tavoin opetuksen kokonaisuus tulee suunnitella ja toteuttaa.

Burki-Cohen, Soja ja Longridge (1998) jakavat simulaattorin realismisuuden kahteen, objektiiviseen ja havainnolliseen (objective fidelity ja perceptual fidelity). Objektiivinen tarkoittaa simulaattorin fyysistä samankaltaisuutta, havainnollinen on laajempi käsite sisältäen lentäjän käyttäytymisen ja kontrollistrategian samankaltaisuuden. Eroja voi kuvata esimerkiksi, että vaikka simulaattori olisi aivan oikean koneen kaltainen, lentäjän suhtautuminen olisi erilainen jos siksi, että hän tietää kyseessä olevan simulaattorin, kun tilanne ei ole aito. Tämä vaikuttaa lentäjän toimintaan.

Erityisesti ilmailualalla on käytössä hyvin pitkälle todellisuutta jäljitteleviä lentokonesimulaattoreita, jotka ovat teknisesti korkeatasoisia ja kalliita. On uskottu, että mitä tarkemmin simulaattori jäljittelee oikeata laitetta, esimerkiksi lentokonetta, sen parempia ovat oppimistulokset. Thorndiken yhteisten

elementtien teoriaan pohjautuen on ajateltu, että mitä enemmän simulaattori muistuttaa aitoa ympäristöä sen paremmat edellytykset on olemassa oppimisen siirtovaikutukselle. Jacobsin ja Dempseyn (1993, 212-214) mukaan tämä ajatus voidaan kyseenalaistaa sekä käsitteellisin, teoreettisin sekä empiirisin perustein. Käsitteellisesti perustelu on tautologinen: aina voidaan vedota siihen, että heikko siirtovaikutus perustui siihen, että simulaattori ei muistuttanut riittävästi aitoa ympäristöä. Teoreettisesti simulaattorin mahdollisimman suuren tarkkuuden merkitys opitun siirtovaikutuksen kannalta voidaan kyseenalaistaa muun muassa sillä perusteella, että myös ymmärtäminen on välttämätön edellytys opitun transferille. Empiirisesti voidaan useiden tutkimusten perusteella kyseenalaistaa mahdollisimman suuren tarkkuuden vaatimus. Baudhuinin (1987, 218) mukaan pikemminkin toiminnallinen yhdenmukaisuus fyysisen yhdenmukaisuuden sijaan vaikuttaa opitun transferiin.

On todettu, että oppimisen kannalta ei ole välttämätöntä pyrkiä oikean laitteen jäljittelemiseen mahdollisimman täydellisesti, vaan yksinkertaisemmilla, alemman tarkkuustason simulaattoreilla, esimerkiksi pöytätietokonesimulaattoreilla on mahdollista myös saavuttaa hyviä tuloksia erityisesti osatehtävien oppimisessa. (Dennis ja Harris, 1998; Flexman ja Stark, 1987, 1031; Gonzalez Vega 2002; Jentsch ja Bowers, 1998; Koonce ja Bramble, 1998, Salas; Bowers ja Rhodenizer, 1998; Stark 1999, 128).

Mitä ovat oppimisen kannalta tärkeät simulaattorin ominaisuudet? Koonce ja Bramble (1998) toteavat, että ei tarkkaan tiedetä, mistä johtuu, että jotkin tekijät tai simulaattorin ominaisuudet vaikuttavat enemmän transferiin kuin toiset tietyissä kompleksisissa kognitiivisissa havaintomotorisissa tehtävissä. Kirjoittajat arvelevat Linterniin (1991) perustuen, että tietyt kognitiiviset periaatteet ovat tärkeitä, ei niinkään se, että simulaattori fyysisesti muistuttaa paljon lentokonetta. Linternin mukaan tietyt havaintoihin liittyvät samankaltaisuudet simulaattorin ja lentokoneen välillä ovat ratkaisevia transferissa. Baudhuinin (1987, 218) mukaan pikemminkin toiminnallinen yhdenmukaisuus fyysisen yhdenmukaisuuden sijaan vaikuttaa opitun transferiin.

Vihjeet (englanniksi cue) ovat niitä simulaattorin piirteitä, näytön ominaisuuksia tai erilaisia ääniä, joihin perustuen käyttäjä tekee päätöksiä. Näitä ovat esimerkiksi kiitoradan keskiviiva joka auttaa laskeuduttaessa, tai moottorin ääni, josta voi päätellä erilaisia asioita. Simulaattorin avulla opittaessa näiden merkitys on keskeinen: kuljettajan päätökset perustuvat suurelta osin niihin. Monissa simulaattoreissa on näitä keskeisiä informaatioarvoja sisältäviä ominaisuuksia vahvennettu, mikä tekee käyttäjälle helpommaksi havainnoida keskeisiä asioita. Tällöin puhutaan vahvistetusta vihjeistyksestä, englanniksi augmented cueing (Gonzalez Vega 2002; Roscoe 1980; Taylor&Lintern 1993).

Simulaattorin näytön yksityiskohtaisuuden lisääminen ei välttämättä paranna oppimistuloksia. (Baudhuin 1987, 235; Taylor&Lintern 1993). Näytön

päätöksenteon kannalta keskeisten piirteiden vahvistaminen, vahvistettu vihjeistys, sen sijaan paransi oppimistuloksia. (Gonzales Vega 2002, 44-48; Taylor&Lintern 1993). Tärkeätä on niiden näytön elementtien samankaltaisuus, jotka ovat ratkaisevia päätösten pohjana olevan informaation kannalta (Stark, 1999, 119-120 ja 128). Lintern et al. (1987) havaitsivat, että vahvistettu vihjeistys paransi pommikoneen lentäjien oppimistuloksia. Myös maiseman yksityiskohtien lisääminen paransi oppimistuloksia vähemmän kokeneilla lentäjillä verrattuna tilanteeseen, jossa maisemassa ei ollut maamerkkejä lainkaan. Kokeneilla lentäjillä eroa ei havaittu.

Erilaiset oppimistavoitteet vaativat eritasoista simulaattorin realistisuutta. Simulaattorin tulee olla tarkoitusta varten optimaalisen realistinen (optimal fidelity). (Jacobs&Dempsey 1993, 210-211). Jos simulaattorin realistisuutta halutaan lisätä, oppimistulokset eivät välttämättä parane, mutta kustannukset nousevat. Lanen ja Alluisin (1992) mukaan simulaattorin liiallinen realistisuus ja yksityiskohtien määrä opintojen alkuvaiheessa perustaitoja ja menetelmiä opittaessa voi jopa heikentää oppimistuloksia tapauksessa, jossa aloittelija joutuu tekemisiin monimutkaisen järjestelmän kanssa. Oppimistulokset ovat parempia, jos todellisuutta yksinkertaistetaan. Dennis ja Harris (1998, 263) toteavat, että simulaattorin realistisuus ei ole tärkeää kun opetetaan menetelmätaitoja. Menetelmätaidot kehittyvät parhaiten yksinkertaisella pöytä tietokonesimulaattorilla. Toisaalta yksinkertaisilla, vähän todellista tilannetta muistuttavilla simulaattoreilla ei voida oppia vaativia motorisia taitoja.

Burki-Cohen, Soja ja Longridge (1998), tarkastelivat suurta määrää lentokonesimulaattoritutkimuksia, joissa on selvitetty simulaattorin liikkeen merkitystä muun muassa oppimiseen simulaattorilla ja opitun transferiin (vastakohtana kiinteäalustaiset simulaattorit, joissa opiskelija pysyy paikallaan kuten kaikissa metsäkonesimulaattoreissa). Monissa tutkimuksissa on edellä mainittujen mukaan voitu havaita, että simulaattorin liike parantaa oppimistuloksia simulaattorilla. Edelleen, koulutettavien lentäjien näkemyksen liikkuva-alustainen simulaattori on parempi koulutusväline. Yllättävää oli kuitenkin se, että vaikka liikkuva-alustaisissa simulaattoreissa oppii paremmin, kun opittua mitataan simulaattorissa, tämä parempi osaaminen ei kuitenkaan näy enää lentokoneessa. Transferia aidoissa olosuhteissa, lentokoneessa mitattaessa liikkuva-alustaiset simulaattorit eivät useimpien tutkimusten mukaan ole parempia. (Burki-Cohen, Soja ja Longridge (1998).

Mittarit tai tietokonenäytön sisältämän informaation yksityiskohtaisuus liittyvät simuloinnin tarkkuuteen. Simulaattoriin liitetyistä mittareista oppija voi tarkkailla simuloitavan laitteen tai järjestelmän tilaa ja tehdä päätöksiä näiden perusteella. Esimerkiksi lentäjän on tehtävä päätöksiä perustuen mittarilukemiin tai esimerkiksi tietyn mittarinlukeman muutoksen nopeuteen. (Stark, 1999, 135). Harvesterisimulaattorin tietokoneen näytön merkitys on keskeinen puutavaran valmistuksessa. Näytön lukemien perusteella kuljettaja tekee päätöksiä

esimerkiksi rungon katkonnasta. Jotta katkontaa voidaan oppia, näytön tulee sisältää sama informaatio kuin harvesterin näytön, tai vähintään päätöksenteon kannalta keskeiset seikat.

Simulaattorien käytön rajoitteita. Simulaattorilla ei kannata opiskella asioita, joita sillä opitaan huonosti tai väärin. On esimerkiksi vaaratilanteita, joista suoriutuminen simulaattoriolosuhteissa on helppoa, mutta käytännön tilanteessa huomattavasti vaikeampaa, mikä voi johtua esimerkiksi siitä, että simulaattorin toiminnan pohjana olevassa mallissa ei ole otettu huomioon kaikkia aidossa tilanteessa olevia tekijöitä tai simulaattori on teknisesti sellainen, että se ei jäljittele todellisia olosuhteita. Flight Simulationin (1997, 6-8) mukaan simulaation toteutuksessa voi olla kolmenlaisia rajoitteita, jotka pitää ottaa huomioon koulutuksessa. Rajoitteet toteutuvat, kun simulointi tai simulaattori poikkeaa jossakin suhteessa todellisista olosuhteista. Näitä ovat 1) epätäydellisestä mallista johtuvat rajoitteet, 2) epätäydellisistä ominaisuuksista johtuvat rajoitteet sekä 3) simuloinnin tai simulaattorin soveltumattomuus.

Edellä mainitut kuvaavat mallista johtuvia rajoitteita (1) esimerkillä, jossa Concorde-reittikoneen yhteen moottoriin tuli vika Euroopasta Pohjois-Amerikkaan suuntautuneella simulaattorilennolla, kun kone oli saavuttanut normaalin lentokorkeuden Atlantin yllä Irlannin länsipuolella. Koneen kapteeni päätti vähentää lentonopeutta ja lentokorkeutta. Sen sijaan, että olisi jatkanut lentoa Atlantin yli alennetulla lentokorkeudella ja alennetulla nopeudella kuten olisi pitänyt, hän päätti kääntyä takaisin palatakseen lähtökentälle Lontooseen. Käsikirjoituksesta poikkeavaan päätökseen oli syynä se, että kapteeni tiesi, että Pohjois-Amerikassa ei ollut varamoottoria koneeseen, vaan sellainen löytyi Lontoosta. Tätä ei ollut otettu huomioon simulaatiomallissa. (Flight Simulation 1997, 6-7).

Esimerkkinä ominaisuuksista johtuvista rajoitteista (2) on yläilmakehän turbulenssitilanne, joka johti aidossa lentotilanteessa lentokoneen kapteenin virheelliseen korjausliikkeeseen. Lentokoneen lentokorkeus alkoi pudota, jolloin kapteeni teki korjausliikkeitä nostaakseen lentokorkeutta. Korjausliikkeet olivat vääränlaisia, liikkeet loivat tunteen, että lentokone oli nousussa, vaikka lentokoneen lentokorkeus putosi vielä entisestään. Kun lento simuloitiin kiinteäalustaisella simulaattorilla, lentäjät toimivat juuri oikealla tavalla, ja vähenevää lentokorkeutta korjattiin ylöspäin. Sen sijaan kun tilanne simuloitiin liikkuva-alustaisella simulaattorilla, joka kallistui ja liikkui oikean lentokoneen tavoin, lentäjät toimivat samalla tavalla virheellisesti kuin kapteeni aidossa lentotilanteessa oli toiminut, mikä johti lentokoneen lentokorkeuden laskuun edelleen. Kiinteäalustainen simulaattori ei siis kyennyt jäljittelemään aitoja olosuhteita, jolloin päätöksenteko oli helpompaa kuin todellisissa olosuhteissa. Valmentaminen kiinteäalustaisella simulaattorilla ei siis johtanut toivottuun oppimiseen, vaan todettiin, että kyseisenkaltaisen ongelmatilanteen hallinnan koulutukseen tarvitaan liikkuva-alustaista simulaattoria. (Flight Simulation 1997, 7-8).

Esimerkkinä simuloinnin tai simulaattorin soveltumattomuudesta (3) on laivasimulaattori, joka oli mittakaavaltaan 1/25 osa todellisesta. Oletettiin, että tässä tilanteessa piti olla 1/5 eli pienoismallin piti esimerkiksi kääntyä 5 kertaa nopeammin kuin oikean laivan. Kun tutkittiin mitä oli opittu, oletettu aikasuhte 1/5 ei pitänytkaan paikkaansa kun tutkittiin miten opittu toimi aidossa 1/1 mittakaavassa. Malli ei toiminut toivotulla tavalla, ja koulutuksessa siirryttiin takaisin 1/1 mittakaavaan. (Flight Simulation 1997, 8).

Kouluttajat haluavat usein mahdollisimman tarkkoja simulaattoreita. (Salas, Bowers&Rhodenizer 1998, 203-204). Jentsch ja Bowers (1998, 248) toteavat, että simulaattorin vähäinen tarkkuus saattaa vähentää oppijoiden motivaatiota. Tämä on merkittävä havainto, sillä motivaatio on merkittävä oppimiseen vaikuttava tekijä. Havainnot ovat ristiriitaisia: sekä kouluttajat että oppijat haluavat realistisia simulaattoreita, vaikka realismi ei usein paranna oppimistuloksia. Kuitenkin realistisia simulaattoreita käytetään mieluummin kuin vähemmän realistisia. Simulaattoriopetusta suunniteltaessa tärkeää on myös tuntee simulaattorin rajoitteet oppimisen kannalta, jotta tiedetään mitä simulaattorilla voidaan opettaa ja mitä ei voida.

Yhteenvetoa. Simulaattorin tarkkuus, se miten hyvin simulaattori jäljittelee aitoa konetta tai laitetta vaikuttaa siihen mitä taitoja simulaattorilla voidaan oppia. Yleisesti ottaen simulaattori yksinkertaistaa asioita, koska simulointimallit eivät jäljittele eivätkä simulaattorit teknisenä ympäristönä jäljittele kaikkia aidon laitteen tai ympäristön piirteitä. Oppimisen kannalta olennaisinta on simulaattorin ja aidon ympäristön keskeisten kognitiivisten tai havaintoihin liittyvien periaatteiden samankaltaisuus, ei välttämättä fyysinen tai tekninen yhdenmukaisuus. Erityisesti opetuksen alkuvaiheessa simulaattorilla voidaan oppia jopa paremmin kuin aidossa ympäristössä, koska simulaattorilla voidaan yksinkertaistaa tilannetta aitoon tilanteeseen verrattuna ja estää näin kognitiivisen ylikuorman muodostuminen.

Simulaattorin tulee olla optimaalisen tarkka, tarpeeksi tarkka niiden taitojen oppimista varten, joita sillä tavoitellaan. Menetelmätaitoja (ks. taitojen luokittelu, luku 4.2.6.) opittaessa voidaan yksinkertaisemmilla simulaattoreilla, esimerkiksi pöytätietokonesimulaattoreilla saavuttaa hyviä oppimistuloksia. Sen sijaan opittaessa monimutkaisia motorisia taitoja kuten koneen tai laitteen ohjaamista, esimerkiksi lentokoneen ohjaamista, tarvitaan tarkemmin todellisuutta jäljittelevää simulaattoria, joka jäljittelee aitoja olosuhteita aidommin.

4.2.6 Simulaattorilla opittavien taitojen luokittelu

Oppimisen tavoitteena ovat erityyppiset taidot. Simulaattorin avulla voidaan oppia osa työtehtävissä tarvittavista taidoista. Mitä taitoja simulaattorilla voidaan oppia riippuu paljon myös simulaattorin ominaisuuksista, erityisesti sen tarkkuudesta eli siitä miten hyvin simulaattori jäljittelee reaali maailman olosuhteita.

Seuraavassa on kuvattu kolme erilaista tapaa jakaa taidot:

Gagné, Briggs ja Wager (1992)	Hacker (1982)	Roscoe, Jensen ja Gavron (1980)
Motoriset taidot (l. havaintomotoriset tai psykomotoriset)	Sensomotoriset taidot	Havaintomotoriset taidot
	Havainnollis- käsitteelliset taidot	Menetelmätaidot
Intellektuaaliset taidot	Intellektuaaliset taidot	Päätöksentekotaidot

Taulukko 3. *Taitojen luokittelu Gagnén, Briggsin ja Wagerin (1992), Hackerin (1982) sekä Roscoen, Jensenin ja Gavronin (1980) mukaan.*

Motoriset taidot ovat opittuja ominaisuuksia, jotka perustuvat suorituksiin, jotka ilmaisevat liikkeidemme nopeutta, tarkkuutta, voimaa tai sujuvuutta. Motorisiin taitoihin kuuluu esimerkiksi ajoneuvolla ajo. Motoristen taitojen sujuvuus ja nopeus paranevat toistuvan harjoituksen myötä. Motoristen taitojen oppimiseen vaikuttaa sekä sisäinen että ulkoinen palaute, josta sisäisen palautteen merkitys lisääntyy kun oppiminen etenee. (Gagné, Briggs ja Wager 1992, 92-93).

Motoriset taidot jakautuvat osataitoihin. Esimerkiksi uiminen on taito, joka vaatii paitsi osataitojen kuten käsien ja jalkojen liikkeiden osaamista niin myös

osataitojen yhdistämistä oikealla tavalla ja oikeassa järjestyksessä. Motorisiin taitoihin kuuluu taustalla intellektuaalinen osa (mentaalin malli), joka säätelee suoritusta. Autolla esimerkiksi on tietyissä tilanteissa voitava peruuttaa, jolloin on tunnettava ne periaatteet, joiden mukaan auto voidaan kääntää. Kun taitoja opitaan, ei ole selvää se onko oppimisen kannalta parempi vaihtoehto oppia ensin osataitoja vai taidon kokonaisuutta. (Gagné, Briggs ja Wager 1992, 93-94).

Intellektuaaliset taidot puolestaan ovat taitoja, jotka tekevät mahdolliseksi olla vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa perustuen symboleihin ja käsitteisiin. Intellektuaalisia taitoja ovat esimerkiksi kielitaito tai kehittyneet tekniset taidot (emt., 43). Menetelmätaidot ovat edellä mainittujen mukaan tallennettuja intellektuaalisten taitojen asetelmia. (emt., 101).

Hacker (1982, 103-104) jakaa taidot kolmeen tasoon, jotka ovat alimmasta ylimpään sensomotorinen, havainnollis-käsitteellinen ja intellektuaalinen taso. Sensomotorisen toiminnan säätely ei aina ole välttämättä tiedostuvaa. Havainnollis-käsitteellisen toiminnan säätely puolestaan on aina tiedostettavissa olevaa, vaikka ei aina tiedostuvaa. Ylimmän eli intellektuaalisen tason toiminnan säätely on aina tiedostuvaa.

Roscoe, Jensen ja Gavron (1980, 175) jakavat simulaattoriopetuksen tavoitteena olevat taidot havaintomotorisiin taitoihin, menetelmätaitoihin sekä päätöksentekotaitoihin. Seuraavassa oleva esimerkki on sotilasilmailun alalta.



Kuva 11. Roscoe, Jensen ja Gavron (1980, 175) jakavat simulaattoriopetuksen tavoitteena olevat taidot havaintomotorisiin taitoihin, menetelmätaitoihin sekä päätöksentekotaitoihin.

Roscoen, Jensenin ja Gavronin (1980, 181) mukaan (havainto)motoristen taitojen oppiminen kestää kauemmin, mutta kun ne kerran on opittu, ne toisaalta unohtuvat hitaammin kuin menetelmätaidot. Flight Simulationin (1997, 248) mukaan menetelmätaidot ovat opittavissa simulaattorilla varsin hyvin. Sen sijaan monimutkaisten käsittelytaitojen oppiminen vaatii enemmän simulaatiota.

Myös päätöksentekotaitoja voidaan oppia simulaattorin avulla. Connolly, Lester ja Blackwell (1989) havaitsivat tutkimuksessaan, että oikeanlaisella koulutuksella voidaan kehittää oppijoiden arvostelukykyä riskienhallinta- ja

päätöksentekotilanteissa. Hyviä tuloksia saavutetaan yhdistettäessä arvostelukykyä kehittävää koulutusmateriaalia simulaattorikoulutukseen.

Simulaattorikoulutuksen yksi peruskysymyksistä on kysymys oppimistehtävien järjestämisestä: onko oppimisen kannalta parempi opettaa suuria kokonaisuuksia kerralla (kokotaitojen opetus) vai jaotellako oppimistehtäviä pieniin osakokonaisuuksiin (osataitojen opetus). Stark, (1999, 126) näkee osatehtäväkoulutuksen olevan kokotehtäväkoulutusta parempi lähestymistapa erityisesti siksi, että se on kustannustehokkaampi: osatehtäviä voidaan oppia myös yksinkertaisilla simulaattoreilla. Gonzalez Vegan (2002) mukaan osataitoja opittiin laivadieselsimulaattorilla tehokkaammin kuin kokotaitoja. Yksiselitteisesti osataitojen oppiminen ei kuitenkaan ole menettelytapana parempi kuin kokotaitojen oppiminen, vaan vaihtoehtojen paremmuus riippuu tilanteesta ja opittavasta asiasta.

Synteesi ja analyysi. Taitojen luokittelun merkitys simulaattorin avulla oppimisessa on siinä, että sen avulla voidaan paremmin analysoida oppimista. Erityyppisiä taitoja (motorisia taitoja, menetelmätaitoja tai päätöksentekotaitoja) voidaan oppia eri tavoin eri simulaattoreilla: yksinkertaisilla simulaattoreilla ei opita esimerkiksi vaativia motorisia taitoja, sen sijaan menetelmätaitoja voidaan oppia myös yksinkertaisilla simulaattoreilla.

Jako osataitoihin ja kokotaitoihin auttaa myös jäsentämään oppimistavoitteita ja niiden saavuttamista. On hallittava osataidot, jotta hallittaisiin kokonaisuus, mutta osataitojen hallinta yksinään ei takaa sitä, että osattaisiin kokonaisuus, koska kokonaisuuden hallinta vaatii koordinaatiota ja monien osataitojen samanaikaista suorittamista.

Kun simulaattoreilla tavoitellaan erilaisten taitojen oppimista, opittavat taidot voidaan luokitella esimerkiksi yllä mainitun kolmijaon mukaan, jolloin voidaan paremmin tarkastella sitä mitkä taidot ovat opittaessa simulaattorilla ja mitkä muulla tavoin.

4.2.7 Tehokas oppiminen ja sen edistäminen

Seuraavassa esitettävät Ruohotien ja Hongan näkemykset koskevat kaikkea taitojen oppimista. Miten erilaisia taitoja tehokkaimmin opitaan riippuu kuitenkin paljolti siitä millaisista taidoista on kyse. Esimerkiksi motoristen taitojen oppimisessa olennaista on palautteen lisäksi riittävä toistojen määrä. Motorisia taitoja opitaan vain harjoittelemalla riittävästi.

Oppimiseen vaikuttavat monet muutkin asiat kuin tietämismme tai kykymme hankkia ja jäsentää tietoa. Oppimiseen vaikuttaa tiedonkäsittelykykymme, mutta myös tunnereaktiomme ja tahtomme oppia. Oppimistilanteita järjestettäessä on tärkeää ottaa huomioon nämä kolme aluetta.

Oppimisprosessit voidaan jakaa kognitiivisiin, affektiivisiin ja konatiivisiin prosesseihin. (Ruohotie 2000, 75-76). Oppija tiedostaa, jäsentää ja saa tietoa jostakin kohteesta kognitiivisten prosessien avulla. Kognitiivisia rakenteita luonnehtivat mm. havaitseminen, tunnistaminen, ymmärtäminen ja ajattelu. Kognitiivisten tekijöiden lisäksi myös tunnereaktiot ja mieltymykset vaikuttavat oppimiseen. Affekti tarkoittaa tiettyyn objektiin tai ideaan kohdistuvia tunnereaktioita. Affektiivisia rakenteita luonnehtivat käsitteet tunne, emootio, mieliala ja temperamentti. Myös se, miten ja mitä halutaan oppia vaikuttaa keskeisesti oppimiseen. Konatiivisia rakenteita luonnehtivat käsitteet motivaatio, halu, tahto ja määrätietoinen pyrkimys.

Ruohotien (2000, 79) mukaan uteliaisuutta, mielikuvitusta, haasteellisia tehtäviä ja muita motivointikeinoja on alettu käyttää opetuksessa kun affektiivisen, konatiivisen ja kognitiivisen alueen yhteyksiä on alettu ymmärtää. Mielekkäät, motivoivat oppimistehtävät, jotka eivät ole liian helppoja eivätkä liian vaikeita tehostavat oppimista.

Ruohotie ja Honka (2003, 74-77) kuvaavat Ruohotiehen (2002a ja 2002b) perustuen sitä mitä periaatteita tulisi ottaa huomioon ammattitaitoa kehitettäessä:

1. Taitojen kehittämisen tulee olla sidoksissa työkontekstiin. Monia taitoja ei voida opettaa vaan ne kehittyvät toimintaympäristön luomien mahdollisuuksien myötä.
2. Oppimisympäristöjen tulee muistuttaa aitoa toimintaympäristöä. Ammatillisia taitoja opitaan parhaiten työntekoon innostavassa ympäristössä.
3. Henkilöstön kehittämisessä tulee hyödyntää autenttisia oppimisympäristöjä ja edistää niiden kehittämistä.
4. Koulutuksen ja työelämän välille tule luoda kiinteä yhteistyö.
5. Taidon määrittämisen tulee olla sosiaalisesti situoitu. Taitoja ja taitovaatimuksia tulisi tarkastella sosiaalis-kulttuurisesta perspektiivistä, esimerkiksi kuinka ihmiset tosiasiaassa työskentelevät ja kuinka työyhteisö muokkaa työtehtäviä ja oppimista.
6. Taitojen siirtyminen (transfer) toisiin konteksteihin ei ole spontaania.
7. Reflektio siitä mitä on opittu ja mitä tulevaisuudessa pitää oppia voi rakentaa siltoja työn ja oppimisen välille ja tukea oppimista työskentelyn aikana.
8. Keskeisenä tavoitteena tulee olla oppijoiden itsesäätelyvalmiuksien kehittäminen. Oppimaan oppiminen on keskeinen taito nopeasti

muuttuvassa työelämässä. opettajan tehtävänä on kontekstualisoida oppimisstrategiat siten, että oppijat ymmärtävät mitkä strategiat kulloinkin ovat mahdollisia, miten niitä tulisi soveltaa erilaisissa tilanteissa ja milloin ja miksi niistä on apua.

Ruohotie ja Honka ovat koonneet edellä mainittuun listaan olennaisimpia taitojen oppimista edistäviä periaatteita. Jos oppimistilanteita järjestettäessä noudatetaan yllä mainittuja periaatteita, oppiminen on tehokkaampaa. Miten näitä periaatteita sovelletaan opetukseen, jossa käytetään simulaattoria sivutaan monessa kohdin tässä työssä, erityisesti jaksoissa 4.2., 4.3., 2.1. ja 2.2.

4.2.8 Yhteenvetoa oppimisesta simulointiin perustuvissa ympäristöissä

Simulaattorilla oppiminen on tekemällä oppimista. Se on kokemuseräistä oppimista. Opiskelija kokeilee millaisia vasteita hänen tekemänsä toimenpiteet simulaattorissa aiheuttavat. Simulaattori antaa palautetta tuottamallaan vasteilla, joiden perusteella opiskelija voi päätellä kuinka hyvin hänen toimenpiteensä tuottavat toivottua tulosta. Jos hän tekee virheen, seuraavalla yrittämällä hän todennäköisesti toimii hieman eri tavalla, jolloin oikeanlaiset liikkeet ja työtavat vähitellen löytyvät. Schönin (1988, 26-28) mukaan yllätyksellä tai odottamattomalla tapahtumalla, sillä, että jokin ei mennytkään suunnitelman mukaan on suuri merkitys taitojen oppimisessa. Odottamaton tapahtuma saa huomiomme ja voi johtaa toiminnanaikaiseen reflektointiin (reflection-in-action) ja oppimiseen.

Hakkuukone- eli harvesterisimulaattorilla oppiessaan opiskelija joutuu toistamaan jatkuvasti samoja työvaiheita, jolloin vaiheet vähitellen automatisoituvat ja virheiden määrä vähenee. Oppiminen on helpompaa, jos opiskelijalla on ennen simulaattorityöskentelyn aloittamista käsitys oikeasta työtekniikasta, tavoitteista ja reunaehdoista, eli toisin sanoen opiskelijalla on olemassa mentaalinen malli, sisäinen malli työstä jota hän tekee. (Hacker 1982).

Simulaattorin käyttäminen oppimisen apuvälineenä perustuu esimerkkitalanteisiin, jolloin aiemmin opittua sovelletaan uusissa, jonkin verran erilaisissa tilanteissa aidossa ympäristössä. Oppijan tulee osata soveltaa oppimaansa. Simulaattorilla opitun transferia voidaan tehostaa, jos oppijoita tuetaan aiemmin koettujen tilanteiden hyödyntämisessä (Reimann&Beller 1993). Rossin (1989) kuvaama aiemmin koetun muistaminen, analogioiden ja yleistysten hakeminen sekä rekonstruointi ovat mekanismeja, joilla simulaattorilla opittua voidaan soveltaa uusiin tilanteisiin aidossa olosuhteissa.

Simulaattorilla oppimisen perimmäisenä tavoitteena on, että opittuja taitoja kyetään soveltamaan aidoissa olosuhteissa. Onko opittu taitoja, joita oli määrä oppia voidaan todeta vasta kun siirrytään todellisiin olosuhteisiin. Kysymys on siitä, a) mitä simulaattorilla on opittu, ja siitä b) millä tavoin simulaattorilla opittua voidaan soveltaa käytännön tilanteissa, mikä on opitun transfer (Bell&Waag 1998).

Kun suunnitellaan oppimisen edistämistä simulaattorin avulla, tulee ottaa huomioon simulaattorin ominaisuudet oppimisympäristönä, sen mahdollisuudet ja rajoitteet. Simulaattori muistuttaa monessa suhteessa aitoa ympäristöä, mutta myös poikkeaa siitä. On todennäköistä, että asioita, joita simulaattori jäljittelee paremmin voidaan oppia simulaattorilla tehokkaammin kuin sellaisia, jotka toimivat aidossa ympäristössä eri tavoin kuin simulaattorilla. (Rauste-von Wright&von Wright 1994, 46-48, opitun transferiin vaikuttavat tekijät). Simulaattoriympäristössä oppiminen poikkeaa selvästi aidoista olosuhteista ainakin yhdessä suhteessa: opiskelija tietää, että on kyse simuloidusta tilanteesta, eikä myöskään vaaraa aiheudu. Orientoituminen on erilaista kuin aidossa ympäristössä.

Schön (1988, 23-25) kutsuu moniin taitoihin liittyvää osaamista toimintaosaamiseksi (knowing-in-action). Taidoille on usein tyypillistä se, että on usein kyse osaamisesta, jota taitajat eivät osaa kuvailla sanallisesti, vaan opittu taito ilmenee ainoastaan toiminnassa. Jos osaamista pyydetään kuvailemaan sanallisesti, kuvaus on usein virheellinen. Kyse on taitoihin liittyvästä hiljaisesta tiedosta. Tunnusomaista on myös, että usein on helpompi kuvata poikkeamat normista kuin normi itse. Ajoneuvosimulaattoreilla on yhteisiä piirteitä. Harvesterin ajamisessa on paljon yhteistä esimerkiksi autolla ajon kanssa: huomattava osa siitä tapahtuu automaattisesti ilman, että tekijä tiedostaa sitä tai osaa sanallisesti kuvata kaiken.

Simulaattorilla voidaan oppia monentasoisia kognitiivisia taitoja. Harvesterin ollessa kyseessä perustaitoja ovat koneen käsittelytaidot, ajaminen sekä nosturin ja harvesteriosan käyttö. Nämä ovat taitoja, jotka vaativat motorista osaamista. Kokonaisuudessaan koneella työskentely kuitenkin vaatii eritasoisten kognitiivisten taitojen käyttämistä. Hakkuukoneella työskentelylle ominainen piirre on myös se, että kuljettaja joutuu tekemään paljon päätöksiä lyhyessä ajassa. Yhden puun käsittely vaatii toistakymmentä päätöstä. Kun harvennusleimikossa yhden puun käsittelyaika on noin minuutti, päätöksiä on tehtävä toistakymmentä yhden minuutin aikana. Harjoittelulla ja harjoittelun tuloksena syntyvällä päätöksenteon osittaisella automatisoitumisella on suuri merkitys työskentelyn nopeuden kasvattamisessa. (vrt. Amalberti&Deblon 1992; Hacker 1982).

4.3 Opetus simulointiin perustuvissa ympäristöissä

Millä tavoin opetus tulee järjestää, jotta oppiminen on tehokasta on keskeinen kysymys kaikessa koulutuksessa. Opetussuunnitelma kokonaisuudessaan, opetusjärjestelyt ja oppijasta johtuvat tekijät hyvin pitkälle määrittävät sen miten hyvin opitaan. Simulaattorikoulutuksessa oppimisen tehokkuuteen vaikuttavat edellä mainittujen lisäksi simulaattorin ominaisuudet, sen vahvuudet ja heikkoudet, mutta ennen kaikkea se, miten sitä käytetään.

Realistisuus, kontrollin mahdollisuus, oppimistehtävien standardointi, oppimistehtävien skenaarioiden toistettavuus sekä tehokkuus ovat simulaation käyttöön perustuvan koulutuksen vahvuuksia. Jos kyse on tehtävistä, joissa on tärkeää nähdä toiminnan lopputulos, simulaatioista on hyötyä. Jos sen sijaan on kyse ainoastaan päätöksenteon harjoittelusta, simulaatioita ei välttämättä tarvita. Realistista simulaatiota kannattaa käyttää vain silloin kun se on koulutustavoitteiden kannalta tärkeää. (Campbell et al 2003).

Tosey (2002, 113-114) määrittelee simulaatioon perustuvan opetuksen kokemusperäiseen oppimiseen perustuvaksi menetelmäksi, joka asettaa osanottajat tiettyihin rooleihin simuloitavassa toiminnassa, jolloin he voivat kokea ”oikean” tilanteen dynamiikan opetustilanteessa. Simulaatiot voivat vaihdella yksilösuorituksista täysimittaiseen organisaatioiden tai yhteisöjen tapahtumien simulointiin.

Taitin (1994, 111-113) mukaan simulaatioon perustuvassa opetuksessa on useita sisäkkäisiä tasoja:

- 1) Malli
- 2) Simuloinnin taso
- 3) Oppijan taso
- 4) Oppimisen tuki

Sisin taso malli on simulaation ydin, esimerkiksi matemaattiset yhtälöt, johon perustuen jotakin tapahtumaa simuloidaan. Seuraavan tason, simuloinnin parametrien, alkuehtojen määrittämisen ja käytön simuloinnin aikana tulee kuvata sitä menetelmää tai periaatetta, jota simulaatiolla pyritään jäljittelemään. Myös hallintalaitteiden ja lähtökohtatietojen tulee vastata alkuperäisiä, esimerkiksi voimalaitossimulaattorin käyttöpaneelin ja lähtökohtatietojen tulee vastata voimalaitoksen vastaavia. (emt.).

Oppimisen ohjaajan, opettajan tai kouluttajan rooli korostuu simulaatioon perustuvassa oppimisessä. Simulaatioista oppiminen ei aina ole helppoa ilman

ulkopuolista tukea: oppimisen tuki on tärkeää. Tukena voi olla kouluttaja tai tuutori, joka osallistuu oppimistapahtumaan suunnitteluvaiheessa tai arviointivaiheessa. Tuki on tärkeää erityisesti arviointivaiheessa, jolloin oppija saa palautetta tehtävästä. (emt.).

Kognitiivista oppipoikamallia on sovellettu sotilaskoulutuksen virtuaaliympäristöissä. Kouluttaja tukee aluksi oppijaa merkittävästi, mutta oppimisen edetessä tuki asteittain vähenee. (Sanders 2002).

Seuraavassa hahmotellaan sitä millä tavoin simulaattoriopetuksen kokonaisuus muodostuu perustuen Gatton (1993) de Jongilta (1991) omaksumaan viitekehukseen. Roscoeen, Jensenin ja Gawroniin (1980) sekä Flexmaniin ja Starkiin (1980) perustuen kuvataan sitä millä tavoin opetuksen kokonaisuus muodostuu silloin kun opetus perustuu osittain simulaattorin käyttöön. Lisäksi esitellään simulaattoriopetuksen menetelmä EBAT, konstruktivistinen virtuaaliympäristöissä tapahtuvan opetuksen malli sekä avataan pedagogisen mallin käsitettä.

4.3.1 Interaktiiviseen tietokonesimulaatioon perustuvan opetuksen osatekijöiden käsitteellinen viitekehys

Gatton (1993) de Jongiin (1991) perustuen esittämä, interaktiiviseen tietokonesimulaatioon perustuvan opetuksen osatekijöiden käsitteellinen viitekehys on kuvattu seuraavassa. Opetus on ryhmitelty perustuen teemoihin ja suunnittelun osa-alueisiin. Malli kuvaa tietokonesimulaatioon perustuvan oppimisen ja opetuksen peruskäsitteitä.

TEEMAT	SUUNNITTELUN OSA-ALUEET		
	AIHEALUE	OPPIJAN OMINAISUUDET	OPETUS- STRATEGIA
MALLIT	Aihealueen/ simulaation mallit	Mentaaliset mallit Väärät olettamukset	Progressiivinen toimeenpano
OPPIMIS- TAVOITTEET	Skenaariot Kokeellinen viitekehys	Aiempi tieto Taitotasot	Välitön palaute taitojen oppimisessa
OPPIMIS- PROSESSIT	Aihealueen monimutkaisuus	Tieteelliset taidot Itsesäätely Itseluottamus	Vihjeet Ehdotukset Selitykset
OPPIJAN TOIMINTA	Käsittelee mallia	Tutkivan oppimisen tuntemus	Alkutilanteen rajoitusten asettaminen

Taulukko 4. *Interaktiiviseen tietokonesimulaatioon perustuvan opetuksen osatekijöiden käsitteellinen viitekehys Gatto (1993) kuvaamana, de Jongia (1991) mukailleen.*

Gatto (1993) luonnehtii interaktiiviseen tietokonesimulaatioon perustuvan opetuksen oppimistavoitteita ja –prosesseja seuraavasti: Kokonaisuus ilmenee erilaisina malleina. Simulaation tasolla malli ilmenee tietokoneohjelmana. Oppijan tasolla mallit ovat mentaalisia malleja, jotka syntyvät reaali maailmaa virtuaalisessa ympäristössä kuvaavien kokemuksien kautta.

Oppimistavoitteet ovat joko käsitteellistä tietoa tai operationaalista tietoa. Käsitteellinen tieto on periaatteita, käsitteitä tai simuloitavaan järjestelmään liittyviä tosiasioita. Operationaalinen tieto liittyy simuloitavan järjestelmän käyttöön tai menetelmiin, esimerkiksi lentämään oppimiseen. Oppiminen tapahtuu toiminnan kautta: Saavuttaakseen tavoitteet oppija toimii, manipuloi simulaatiojärjestelmää, jolloin oppimisprosessit käynnistyvät. Toimittuaan oppija kokee toiminnan seuraukset.

Simulaatioon perustuvan oppimisen prosesseja Gatto (1993) kuvaa tavoitehakuiseksi ongelmanratkaisuprosessiksi. Jotta oppija pääsisi alkutilasta toivottuun lopputulokseen, hänen tulee saavuttaa useita oppimistavoitteita suorittamalla peräkkäisiä toimenpiteitä. Ongelmanratkaisu, etsimällä oppiminen ja oppiminen induktiivisesti muodostavat kehyksen oppimisprosesseille.

Etsimällä oppiminen tekee mahdolliseksi ja rohkaisee aktiiviseen tutkimiseen ja kokeiluun. Oppija löytää tärkeitä käsitteitä ja periaatteita, löytää ratkaisuja ongelmiin ja myös järjestää uudelleen tietoa joka hänellä jo on. Simulaatioon perustuvissa ympäristöissä oppijat eivät pitkästy koska käytännön toiminta on mielenkiintoisempaa kuin puhtaasti teoreettinen opiskelu. Oppijat oppivat käsitteitä visualisoinnin kautta helpommin kuin kielen kautta. Visuaaliset representaatiot ovat tuttuja useimmille oppijoille. Induktiivisessa oppimisessa oppija muodostaa sääntöjä perustuen hypoteesien muodostamiseen ja arviointiin.

Gatton (1993) mukaan oppijat käyttävät simulaatioita muun muassa ongelmien ratkaisuun. Prosessien aikana oppijat tekemällä oppien rakentavat aktiivisesti tietoperustaansa. Oppijoilla on valta, he voivat kokeilla ja ilmaista omia ajatuksiaan siitä millä tavoin asiat toimivat. Parhaiten simulaatioon perustuva opetus soveltuu oppijoille, jotka jo tuntevat peruskäsitteet. He voivat soveltaa aiemmin oppimaansa. Jotta simulaatioiden avulla oppiminen olisi tehokasta, ohjaajan toiminta on välttämätöntä. Erityisesti heikoimmat oppijat tarvitsevat ohjausta, koska ilman ohjausta erityisesti heidän oppimistuloksensa voivat jäädä heikoiksi.

Gatto on de Jongiin perustuen kuvannut viitekehyksessä simulaatioon perustuvan opetuksen keskeisiä käsitteitä. Viitekehystä hyödynnetään tässä työssä myöhemmin simulaattoriopetuksen pedagogista mallia muodostettaessa.

Yhteenveto. Gatto on de Jongiin perustuen kuvannut viitekehyksessä simulaatioon perustuvan opetuksen keskeisiä käsitteitä. Viitekehystä hyödynnetään tässä työssä myöhemmin simulaattoriopetuksen pedagogista mallia muodostettaessa. Viitekehysten merkitys opetusta toteutettaessa ja tutkittaessa on siinä, että sen avulla voidaan luokitella ja analysoida niitä käsitteitä, joista oppiminen ja opetus muodostuu.

4.3.2 Simulaattoriopetuksen suunnittelu, toteutus ja arviointi

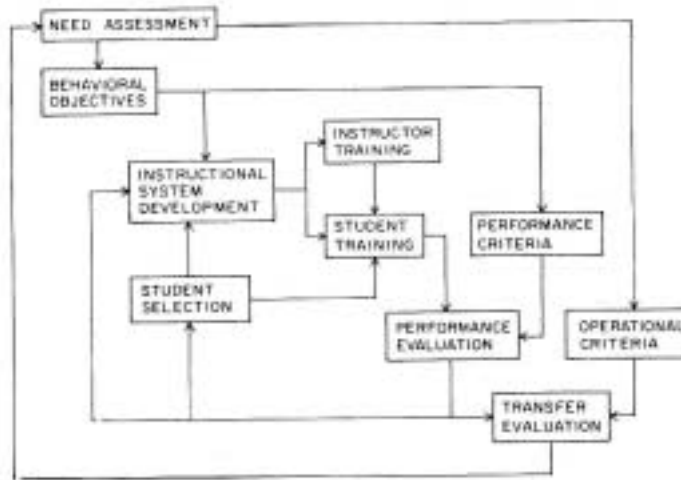
Kun suunnitellaan simulaattorin hankkimista tai sen käyttämistä koulutustarkoituksiin, on Flexmanin ja Starkin (1987, 1028-1029) mukaan tehtävä ensin perusteellinen analyysi niistä asioista, jotka simulaattorin avulla halutaan ratkaista. Tärkeää on se, että analyysin tekijät tuntevat työn ja siihen liittyvät tekijät, kuten henkilöstöön liittyvät tekijät, työkuorman, tiedon prosessointiin ja päätöksentekoon liittyvät kysymykset. On tunnettava myös kognitiiviset, motivationaaliset ja emotionaaliset tekijät sekä fyysiset vaatimukset. On tehtävä koulutustarveanalyysi sekä analyysi koskien opetuksen

toteuttamista. Koulutustarveanalyysissä määritetään se, mitä työssä on osattava, ja millä tavoin opittavat taidot ovat opittavissa. Opetuksen toteuttamisanalyysissä on määritettävä simulaattorilta vaadittavat ominaisuudet, jotta koulutuksesta saadaan mahdollisimman tehokasta.

Roscoen, Jensenin&Gawronin (1980, 177-181) mukaan lentäjien koulutusjärjestelmää suunniteltaessa tulee ottaa huomioon osaamisvaatimukset ja koulutustarpeet aidossa olosuhteissa, opetussuunnitelma ja opetusjärjestelyt, kouluttajien riittävä osaaminen, opiskelijavalinta ja koulutuksen tehokkuus (kuva 12). Flight Simulationin (1997, 248-249) mukaan simulaattoreiden tehokas hyödyntäminen vaatii yksityiskohtaista oppimistehtävän analyysia sekä yhteistyötä asiakkaan, valmistajan, lainsäätäjän, ja kouluttajan välillä. Lisäksi on arvioitava oppimistulokset ja kustannustehokkuus.

Tarpeiden määrittäminen tulee tehdä siltä pohjalta, että oppijoita koulutetaan siten, että he koulutuksen jälkeen osaavat toiminnan myös aidossa ympäristössä, ei vain simulaattorilla. Oppimistavoitteiden tarkka määrittäminen vaatii pohjakseen vaadittavien taitojen tarkan määrittämisen. Opetusjärjestelyt ja opetussuunnitelma ovat ratkaisevan tärkeitä koulutuksen onnistumisen kannalta. Kalliit opetusvälineet eivät takaa koulutuksen laatua, vaan se miten niitä koulutuksessa käytetään. (Roscoe, Jensen&Gawron, 177-179).

Kouluttajien osaamisvaatimuksista huolehtiminen on myös tärkeää koulutuksen onnistumisen kannalta. (Roscoe, Jensen&Gawron 1980, 178-179). Flight Simulationin (1997, 248-249) mukaan kouluttajien asenteen simulaattoriopetusta kohtaan tulee olla positiivinen ja se tulee välittää myös opiskelijoille.



Kuva 12. Koulutusjärjestelmän kehittäminen ja arviointi Roscoen, Jensenin ja Gawronin (1980, 178) mukaan, Goldsteinin (1974) mukailleen.

Oppijan suorituksen mittaamisella simulaattorikoulutuksessa on Flexmanin ja Starkin (1987, 1018-1019) mukaan kolmenlaisia tavoitteita: 1) Mitata mikä on oppijan osaamistaso verrattuna niiden tehtävien vaatimuksiin, joihin häntä koulutetaan, 2) suorituksen mittaamisella saadaan selville milloin koulutettava voi siirtyä oppimistehtävästä seuraavaan ja 3) suorituksen mittaamisella saadaan selville tavoitetason alittavan suorituksen syy. Suorituksen simulaattorilla on vastattava tehtävän vaatimuksia. Kuitenkaan kaikkia tekijöitä ei voida simuloida, esimerkiksi aidon tilanteen stressitekijöitä tai riskejä. Toinen ongelma on saada simulaattorilla suoritettujen tehtävien mittaamisesta saatu tulos vastaamaan arviointia aidossa tilanteessa. Kolmas ongelma on saada mitattu suoritus korreloimaan sen kanssa mitä todella on opittu. On tärkeää, että suorituksen, oppimisen ja opitun transferin väliset yhteydet otetaan huomioon kun oppimista mittaavaa arviointia kehitetään.

Jos mitataan vain yksittäisen tehtävän oppimista voidaan saada väärä kuva opiskelijan osaamisesta: hän saattaa hallita tehtävän aitoa ympäristöä huomattavasti yksinkertaisemmassa testitilanteessa, mutta aidossa ympäristössä, jossa huomiota on suunnattava samanaikaisesti useisiin asioihin tehtävän suorittaminen ei onnistu. (Dennis ja Harris 1998, 263).

Shuten, Regianin ja Gawlick-Grendellin (1993, 143-144) mukaan oppijoiden osataitojen analyysi tulisi tehdä ennen kuin oppimistehtäviä suunnitellaan sen sijaan, että vain lisätään harjoituksen määrää. Tulisi suunnitella harjoituksia, jotka kehittävät oppijoiden kriittisiä osataitoja.

Ollakseen tehokkaita oppimistehtävien tulee olla sellaisia, että tehtävistä aiheutuva oppijan kognitiivinen kuorma on oikealla tasolla. Simulaatioympäristöt yleensä ovat yksinkertaisempia kuin aidot ympäristöt minkä vuoksi oppijan kognitiivinen kuorma pienenee. (Jonassen, Hernandez-Serrano&Choi, 2000, 103-127; Shute, Regian & Gawlick-Grendell 1993, 143-144).

Townen (1993, 149-150) mukaan simulaatioympäristöissä oppimisessa tehtävien vaikeusaste voidaan sovittaa oppijoiden osaamistasoon: Noviiseille sopivat kriittisten osataitojen ja perustaitojen harjoittelu, keskitason osajille heidän tarvitsemiensa osataitojen harjoittelu sekä edistyneille oppijoille tavallisten ja epätavallisten tilanteiden sekä vikatilanteiden hallinnan opiskelu.

Esimerkkinä tehtävien vaikeusasteen merkityksestä ovat kokemukset autonajosimulaattorin käytöstä. Noviisit eivät aluksi voi kiinnittää huomiota ajon turvallisuustekijöihin kun koko heidän tiedonprosessointikapasiteettinsa menee ajoneuvon hallintaan ja muun liikenteen tarkkailuun. Vaativampia tehtäviä voidaan harjoitella vasta sitten kun perustaidot on opittu. (European Commission 2001).

Simulaatioympäristö voi ohjata oppimista esimerkiksi varoittamalla oppijaa virheistä, ohjaamalla oppijaa seuraavaan vaiheeseen, antaa palautetta onnistumisesta, painottaa mielenkiintoisia tapahtumia kun niitä sattuu tai mitata ja rekisteröidä oppijan edistymistä. Osa edellä mainituista voidaan välittää suoraan oppijalle. (Towne, 1995, 140).

Jacobs ja Dempsey (1993, 218-220) pohtivat motivaation ylläpitämistä simulaatioon perustuvassa opetuksessa sekä peleissä. Se millä tavalla tehtävät on laadittu vaikuttaa merkittävästi motivaatioon. Perustuen Maloneen (1981) he toteavat, että tehtävien tulee olla sopivan haastavia, mielikuvituksellisia sekä uteliaisuutta herättäviä. Tavoitteiden tulee olla selkeitä ja oppijalle henkilökohtaisesti merkityksellisiä. Lopputulos ei saa olla oppijan ennalta arvattavissa vaan sen tulee olla epävarma.

Palautteen on oltava sekä yllätyksellistä että rakentavaa. Opettajan palaute ei saisi tulla simulaattoriharjoituksen aikana vaan vasta sen jälkeen. (Jacobs& Dempsey 1993, 218-220). Palautteen merkitys simulaatioon perustuvassa koulutuksessa on kahtalainen: sekä auttaa parantamaan oppijan suoritusta simulaation aikana sekä edistää opittujen taitojen transferia aitoon toimintaympäristöön.

Gonzalez Vega (2002, 140) havaitsi, että oppijat eivät aina ymmärtäneet laivadieselsimulaattorin antamaa palautetta, erityisesti opetuksen alussa. Palautteen tulisikin olla sellaisessa muodossa, joka varmistaa viestien perille menon. Regianin ja Shuten (1993, 121-129) mukaan simulaatioympäristössä

hyvin suunniteltu automaattinen oppimisen ohjaamisjärjestelmä voi olla tehokas oppimisen kannalta. Ratapihan ohjaamista opittaessa dynaamisella simulointimallilla opiskelu edisti oppimista.

Koulutus, jossa käytetään simulaattoria on nähtävä kokonaisuutena, jossa noudatetaan koulutussuunnittelun, toteutuksen ja arvioinnin yleisiä periaatteita lähtien opetussuunnitelman laatimisesta ja päätyen koulutusjärjestelmän arviointiin. Simulaattorin käyttö on integroitava oppimiseen tavalla, joka takaa tehokkaan oppimisen.

Yhteenveto. Koulutus, jossa käytetään simulaattoria on nähtävä kokonaisuutena, jossa noudatetaan koulutussuunnittelun, toteutuksen ja arvioinnin yleisiä periaatteita lähtien opetussuunnitelman laatimisesta ja päätyen koulutusjärjestelmän arviointiin. Simulaattorin käyttö on integroitava oppimiseen tavalla, joka takaa tehokkaan oppimisen.

Simulaattorin käyttöön perustuvassa opetuksessa on erityispiirteitä, jotka tulee ottaa huomioon opetusta suunniteltaessa. Esimerkiksi motivaation tai tehtävien vaikeusasteen merkitys taikka opettajan rooli poikkeavat tavanomaisista oppimistilanteista. Automaattisen oppimisen ohjausjärjestelmän antama palaute ja opettajan antama palaute ja näiden keskinäinen suhde on määriteltävä myös.

4.3.3 Simulaattoriopetuksen menetelmä Event-Based Approach to Training (EBAT)

Simulaattoriopetuksessa käytetty opetusmenetelmä Event-Based Approach to Training (EBAT) tarkoittaa tapahtumaperustaista lähestymistapaa opetuksessa. Menetelmässä oppimistapahtuma simuloidaan ennalta luodun skenaarion eli käsikirjoituksen mukaan. Menetelmän ovat kuvanneet muun muassa Fowlkes, Dwyer, Oser ja Salas (1998).

Edellä mainitut toteavat, että on olemassa vähän sellaisia yleisiä toimintamalleja tai menetelmiä, joita voitaisiin käyttää simulaatioon perustuvassa, kokemusperäiseen oppimiseen perustuvassa opetuksessa. EBAT-menetelmä perustuu harjoituksiin liittyviin oppimistapahtumiin, joita arvioidaan. Menetelmässä on kiinteä yhteys koulutuksen tavoitteiden, harjoitusten toteutuksen ja oppijan suoritusten arvioinnin välillä. Kirjoittajat toteavat, että menetelmä tuottaa erittäin kontekstisidonnaista oppimista.

Menetelmä lähtee siitä, että kaikkien kolmen osa-alueen tulee olla kiinteästi yhteydessä toisiinsa. Näitä ovat

- 1) koulutuksen vaatimukset (muun muassa tavoiteltavat kompetenssit, koulutuksen tavoitteet),
- 2) koulutukseen kuuluvat harjoitukset (jotka toteutetaan sillä tavoin, että koulutettavat voivat osoittaa hallitsevansa tavoitteet) ja
- 3) arviointi ja palaute, joiden tulee olla kiinteästi yhteydessä toisiinsa.

Edellä kuvattu ajattelu muistuttaa varsin paljon suomalaista ammattitutkintojärjestelmää, jossa tavoitteet on ilmaistu opetussuunnitelmissa ja ne mitataan ja arvioidaan näyttöjen avulla.

Fowlkes, Dwyer, Oser&Salas (1998) kuvaavat menetelmää seuraavasti: Tapahtumaperustainen menetelmä ei ole riippuvainen oppijan ja oppimistapahtuman välisistä suhteista, vaan se osoittaa toimintavaatimukset. ”Kriittiset” tapahtumat (trigger events) voidaan määritellä esimerkiksi seuraavasti: ne ovat sellaisia tapahtumia, niiden ominaisuuksia tai piirteitä, jotka ovat tyypillisiä taitavaa suoritusta vaativille tilanteille. Huomiota on kiinnitetty myös piirteisiin, jotka erottavat tehokkaan suorituksen tehottomasta.

Tavoitteena oleva osaaminen:

<i>Kommunikointi</i>	<i>Tapahtuma</i>	<i>Oppijan vasteet</i>
<i>Anna tarvittavat tiedot</i>	<i>Suunnistaminen</i>	<i>Lentoperämies osoittaa suunnan ja etäisyyden seuraavaan suunnistuspisteeseen</i>
<i>Käytä alan terminologiaa</i>	<i>Esimies (jota kouluttaja esittää) käskee vaihtamaan lentueen johtokonetta</i>	<i>Johtokonetta vaihdettaessa käytetään alan terminologiaa</i>

Taulukko 5. *Esimerkki EBAT-menetelmän oppimistavoitteista (Fowlkes, Dwyer, Oser&Salas 1998).*

Skenaariot. Simulaatiotapahtumat ilmenevät oppijalle skenaariossa eli käsikirjoituksessa, joka ilmaisee tapahtumien kulun, juonen. Sen tulee tarjota oppijalle riittävästi tietoa toiminnan perustaksi. Oppijalla tulisi olla käsitys siitä, miten hänen tekemänsä toimenpiteet vaikuttavat järjestelmässä. Skenaarioiden luominen tapahtuu siten, että luodaan simuloituja tilanteita, oppimisharjoituksia, joissa etukäteen laaditaan käsikirjoitus tapahtumien kulusta. Tapahtumien kulku saattaa koostua useasta oppimistapahtumasta. Skenaarioissa luodaan toiminnan osaamisvaatimukset

Erillisten tapahtumien riippumattomuus muista tapahtumista on tavoitteena. Pyritään luomaan asetelmia, jossa koulutettavien käyttäytyminen ei määräydy sen mukaan miten hän toimi edellisessä tilanteessa.

Skenaarion tarkastuksessa (scenario control) tarkastetaan se, että kaikki halutut tapahtumat sisältyvät käsikirjoitukseen ja tapahtuvat ovat yhtenevät eri tiimejä koulutettaessa. Käsikirjoitukset auttavat myös arvioitsijoita arviointityössään.

Arvioinnissa ja palautteen annossa periaatteena on se, että ennen tapahtumaa kouluttajalla on lista hyväksyttävistä vasteista, esimerkiksi alla kuvatulla tavalla.

<i>Lennon osa</i>	<i>Tapahtuma</i>	<i>Tavoite (käyttäytyminen)</i>
<i>Ennen lento- lähtöä</i>	<i>Lähtöselvityksen aikana lennonjohto tiedottaa säätilan</i>	<i>Lentäjät pyytävät säätilainformaatiota</i>

Taulukko 6. *Esimerkki EBAT-menetelmän arvioinnista ja palautteesta. (Fowlkes, Dwyer, Oser&Salas 1998.)*

EBAT:in mittaamisesta kirjoittajat toteavat, että menetelmä tarjoaa mahdollisuuden tehdä yksityiskohtaisia havaintoja, jotka soveltuvat erinomaisesti oppimisen arviointiin, mutta myös tutkimustarkoituksiin.

Menetelmää on sovellettu ilmailualan lisäksi esimerkiksi taistelukoulutuksessa, jossa tehtävät, taktiikka, ja osa-alueet koordinoidaan tai integroidaan sotatapahtuman kokonaisuuteen. Koska simulaatiossa on useita osanottajia, simuloitua tapahtumia ovat myös ennalta määräämättömiä, mikä on haaste myös koulutuksen toteuttajille. Lääketieteellisessä koulutuksessa EBAT:ista on saatu mm. anestesiologian ja kliinisen lääketieteen alueilla lupaavia tuloksia.

Analyysi. EBAT:in merkitys tässä työssä on esitellä yleisesti käytössä oleva simulaattoriopetuksen menetelmä. EBAT on lähtöisin lentäjien koulutuksesta, joskin sitä käytetään myös muilla aloilla. Menetelmälle on tyypillistä asioiden eteneminen ennalta määrätyn käsikirjoituksen mukaan. Tällaisen menettelyn soveltuvuudessa on todennäköisesti alakohtaisesti suuria eroja. Koulutuksen toteuttajien tehtävä on viime kädessä päättää miten menetelmä soveltuu aloittain. Menetelmän periaatteet ovat huomattavan erilaiset verrattuna seuraavassa

luvussa (luku 4.3.4) esiteltävä opetusjärjestelyjen periaatteita kuvaava kognitiivisen koulutustekniikan muistilista.

4.3.4 Kognitiivisen koulutustekniikan muistilista

Sanders (2002) on koonnut yhdeksänkohtaisen muistilistan Yhdysvaltain armeijan virtuaaliympäristöissä tapahtuvan koulutuksen toteuttamisen ohjenuoraksi. Lista perustuu konstruktivistisen oppimiskäsityksen periaatteiden soveltamiseen. Koulutuksen kognitiivisten periaatteiden tulee olla seuraavan kaltaiset:

1. Tulee käyttää kontekstisidonnaista koulutusta situationaalisen kognition toteutumisen turvaamiseksi. Opittava asia tulee esittää realistisessa yhteydessä. Koulutusongelma tulee esittää määrittelemättä tarkkaa tavoitetta tai rakennetta. Tällä voidaan stimuloida oppijan ajattelua.
2. Opetuksessa tulee korostaa oppijan omaa kontrollia ja valtaa käsitellä tehtävään liittyvää tietoa. Oppijalla tulee olla mahdollisuus hankkia tietoa monin eri tavoin. Oppijan tulee voida käsitellä monella tavalla esitettyä tietoa (teksti, ääni, grafiikka).
3. Multimodaliteetin (eri tavoin eri aistien kautta tulevien ärsykkeiden) mahdollisuudet tulee turvata. Oppijan tulee voida oppia käyttäen monipuolisesti eri aisteja. Hänen tulee voida käyttää eri tapoja ja medioita tietoa tai osaamista hankkiessaan. Tiimikoulutuksessa tulee voida vaihtaa rooleja.
4. Tapauskohtaista asioiden ymmärtämistä tulee korostaa. Tulee tarjota tapauskohtaisia esimerkkejä joilla voidaan edistää tapauskohtaista ymmärtämistä ja kognitiivista joustavuutta. Kouluttajan tulee esitellä lyhyitä case-tutkimuksia ja esimerkkejä henkilöstöprosesseista ja erilaisista tapauksista.
5. On arvioitava sitä, miten oppimisen transfer toteutuu opituista tehtävistä muihin, samankaltaisiin tehtäviin. On arvioitava esimerkkitehtävien avulla miten oppimisen transfer siirtyy samankaltaisiin, mutta ei identtisiin tilanteisiin. Suorituksen arvioinnin tulee perustua kykyyn yhdistellä tietoa ja taitoja, ei yksityiskohtien muistamiseen.
6. Valmentaminen kehittää oppijaa arvioimaan suoritusta, arviointia, palautetta ja tavoitteita. Valmentaminen edellyttää oppijan taitojen arvioimista. Jos useita valmentajia käytetään, arviointi ja suoritusvaatimukset on dokumentoitava, jolla taataan yhtenäinen koulutus.

7. Tulee käyttää erilaisia näkökulmia ja kognitiivisia ristiriitoja, jotta oppijat joutuvat arvioimaan käsityksiään uudelleen. Oppijalle tulee antaa ongelmanratkaisutehtävä heti koulutuksen aluksi. Oppimisympäristön tulee edistää omien käsitysten puntarointia ja päätöksenteon perustana olevan tiedon uudelleenjärjestelyä.
8. Oppiminen edellyttää sosiaalista interaktiota ja yhteistyötä oppijoiden kesken, jolloin oppijat voivat verrata omia käsityksiään muiden oppijoiden käsityksiin. Sosiaalisen interaktion toteutuminen eri tavoin tulee turvata. Kollaboratiiviset tehtävät takaavat oppijoiden jaetun oppimisen.
9. Oppijoiden tulee voida mallintaa taitoja kouluttajan tai valmentajan demonstroinnin perusteella (kognitiivinen oppipoikakoulutus). Kouluttajan tehtävänä on auttaa oppijoita mallien muodostamisessa.

Edellä kuvattujen koulutuksen periaatteiden toteuttamisella voidaan taata tehokkaan oppimisen periaatteiden toteutuminen konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen perustuen. Malli korostaa oppijoiden mahdollisuutta käyttää heidän omia ongelmanratkaisun ja oppimisen strategioitaan. Kouluttajan rooli on alussa aktiivinen, mutta oppimisen edetessä vähenevä.

Analyysi. Edellä kuvattujen koulutuksen periaatteiden toteuttamisella voidaan taata tehokkaan oppimisen periaatteiden toteutuminen konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen perustuen. Oletuksena on, että oppijoiden on itse määriteltävä ongelma ja haettava siihen ratkaisu. Malli korostaa oppijoiden mahdollisuutta käyttää heidän omia ongelmanratkaisun ja oppimisen strategioitaan. Kouluttajan rooli on alussa aktiivinen, mutta oppimisen edetessä vähenevä. Malli perustuu konstruktivistisen oppimiskäsityksen periaatteiden soveltamiseen ja se poikkeaa paljon EBAT-menetelmästä.

Millä periaatteilla oppimistilanteet tulee järjestää vaihtelee alakohtaisesti. Kognitiivisen koulutustekniikan muistilista ja ja EBAT ovat esimerkkejä siitä, että opetus simuloinnin käyttöön perustuvissa ympäristöissä voidaan järjestää monella tavoin perustuen erilaisiin näkemyksiin siitä, millä tavoin oppijat oppivat tehokkaimmin.

4.3.5 *Pedagoginen malli*

Simulaattoriopetuksen pedagogisella mallilla tarkoitetaan tässä työssä sitä, millä tavoin simulaattorilla opitaan ja miten simulaattorin käyttöön perustuva opetus järjestetään. Pedagogisen mallin (pedagogical model) käsitettä ovat aiemmin käyttäneet Peters (1999) sekä Kort ja Reilly (2002) kuvaamaan oppimista ja opettamista.

Kort ja Reilly (2002) ovat käyttäneet pedagogisen mallin käsitettä kuvaamaan luonnontieteellisen opetuksen mallia. Pedagogisella mallilla he kuvaavat sitä miten opimme ja miten näkemyksemme ja yksilöllinen ja kulttuurinen arvojärjestelmämme vaikuttavat tarinoiden kautta oppimiseemme. Perinteisen, sääntöihin perustuvan oppimisen mallin, datasta informaatioksi ja sitten tiedoksi, sijaan he ovat muodostaneet oppimista kuvaavan mallin, joka kuvaa oppimista kirjoittajien mukaan paremmin kuin perinteinen malli.

Uudessa mallissa on datan, informaation ja tiedon lisäksi kaksi uutta komponenttia, nimittäin viisaus sekä tarinat tai anekdootit. Kun tieto yhdistyy henkilökohtaisiin tai kulttuurisiin arvojärjestelmiin syntyy viisaus. Tarinat tai anekdootit ovat keskeisiä oppimisessa, koska ne muokkaavat kuvaamme maailmasta. Malli on varsin yleisluontoinen ja kuvaa oppimisen keskeisimmät komponentit.

Peters (1999) kuvaa virtuaaliopetuksen pedagogista mallia kuvailemaan virtuaaliympäristössä oppimisen ja opettamisen eroja verrattuna perinteiseen opetukseen. Virtuaaliympäristöissä oppiminen on etsimällä ja tutkimalla oppimista, kommunikoimalla oppimista, kollaboratiivista oppimista, tiedon käsittelyyn ja varastointiin perustuvaa oppimista tai simulointiin perustuvaa oppimista. Koska oppiminen muuttuu, myös opettamisen on muututtava. Ei ole yhteistä oppimisen tilaa, aikaa ja paikkaa kuten aiemmin, kuten ei myöskään opiskelijatovereita tai opettajaa fyysisesti samanaikaisesti paikalla. Sosiaalinen vuorovaikutus on edellä mainituista syistä erilaista, eikä oppimistilanteiden alkuperäisyyttä ja autenttisuutta ilmene samalla tavoin kuin aiemmin. Opettajan rooli muuttuu kohti tuutorin roolia. Myös arviointi muuttuu perinteisestä.

Simulaattoriopetuksen pedagogisella mallilla pyritään tässä työssä kuvaamaan sitä millä tavalla simulaattorin avulla opitaan ja opetetaan. Tarkoitus on kuvata sitä mitkä ovat keskeisimmät simulaattorin avulla oppimiseen vaikuttavat tekijät ja millä tavoin simulaattoriopetus muodostuu.

4.3.6 Opetus simulointiin perustuvissa ympäristöissä: yhteenvetoa

Simulaatioon perustuvissa ympäristöissä tapahtuvaa opetusta leimaa se, että oppiminen on oppijan tekemiseen perustuvaa, kokemuksellista oppimista. Oppija löytää ratkaisuja ongelmiin ja oppii taitoja, käsitteitä ja periaatteita tekemisen kautta. (mm. Gatto 1993; Kommers 2003b). Oppiminen tapahtuu oppijakeskeisesti, oppija työskentelee enimmänsä aikaa itsenäisesti. Opettajan rooli on ohjaava, hän on tuutori tai fasilitaattori.

Oppiminen on ongelmanratkaisuprosessi, jossa oppija suorittaa peräkkäisiä toimenpiteitä saavuttaakseen tavoitteet. Tavoitteet ovat joko käsitteellistä tai operationaalista tietoa. Oppija oppii käsitteellisesti työskentelyn periaatteita ja operationaalisia käytännön taitoja. (Gatto 1993). Käytännön toiminnan kautta paljastuu myös tiedon tarve, se mitä ei vielä osata, mutta joka on osattava, jotta toiminta onnistuu. (Cleave-Hogg ja Morgan 2002). Oppijoiden varsin itsenäinen työskentely korostaa oppimistehtävien laadun ja mielekkyyden merkitystä. Oppimistehtävien tulee olla sellaisia, että niiden avulla opitaan se mikä on tavoitteena. Toisaalta korostuu myös motivaation merkitys. Tehtävien on oltava sellaisia, että oppijoiden motivaatio säilyy (Jacobs&Dempsey 1993). Simulaattorilla suoritettavien tehtävien mielekkyyttä lisää niiden kytkeminen aidoissa olosuhteissa tapahtuviin harjoituksiin tai työhön. Tehtävien vaikeustason tulee myös olla suhteessa oppijoiden osaamisen.

Koulutuksen suunnittelussa on lähdettävä liikkeelle niistä taidoista, joita työtehtävissä tarvitaan. On tehtävä koulutustarveanalyysi, jonka perusteella voidaan laatia toiminnan osaamisvaatimukset, ne taidot, joita tavoitellaan. (Flexman&Stark 1987). Simulaattorilla ei sen rajoitteista johtuen useinkaan voida oppia kaikkia opetus suunnitelman tavoitteena olevia taitoja. (Flight Simulation 1997, 6-8). On selvitettävä mitä voidaan opettaa simulaattorilla ja mitä muulla tavoin. Toisaalta on sellaisia oppimistehtäviä, joita ei voida esimerkiksi vaaratekijöiden vuoksi opettaa aidoissa olosuhteissa lainkaan vaan ainoastaan simulaattorilla. Simulaattori tulee kytkeä koulutuksen kokonaisuuteen tarkoituksenmukaisella tavalla niin, että siitä saatava hyöty maksimoituu.

Event-Based Approach to Training (Fowlkes, Dwyer, Oser ja Salas 1998) on menetelmä, jonka vahvuutena on se, että laadittuun skenaarioon eli käsikirjoitukseen perustuvat oppimistilanteet voidaan suunnitella mahdollisimman tarkkaan todellisuutta vastaaviksi. Kun koulutuksen tavoitteet, oppimistehtävät ja oppimisen arviointi kytketään kiinteästi toisiinsa, on mahdollista saavuttaa tavoitteiden mukainen lopputulos. EBAT-menetelmässä toimitaan tavoitteet ovat tarkkaan määritellyt. Sandersin (2002) esittämä konstruktivismiin periaatteisiin perustuva virtuaaliympäristöissä tapahtuvan koulutuksen malli antaa toisenlaisen kuvan siitä, millä tavoin virtuaaliympäristöjä tulee hyödyntää opetuksessa. Millä tavoin tulee oppia

riippuu luonnollisesti myös siitä mitkä ovat oppimisen tavoitteet ja millaisiin työtehtäviin opitaan.

Simulaattorilla koulutettaessa ja oppimista arvioitaessa kohdataan transferin mittaamisen ongelma: kuinka hyvin simulaattorilla opittu vastaa käytännön työssä eteen tulevia vaatimuksia. Jos simulaattorilla suoritettua tehtävää arvioidaan on arvioitava kuinka simulaattorilla saatu tulos vastaa suoritusta aidossa tilanteessa. (Flexman&Stark 1987; Bell ja Waag 1998). Tarvittaessa simulaattorilla opittua tulee voida mitata myös aidoissa olosuhteissa. Osa oppimisen tavoitteena olevista taidoista on sellaisia, joita ei voida mitata simulaattorilla.

Opetus simulaattorilla muuttaa opettajan roolia verrattuna aikaan ennen simulaattorin käyttöä. Kun simulaattoreita käytetään on selvitettävä opettajien mahdolliset koulutustarpeet. Opettajien lisäkoulutuksesta on huolehdittava tarvittaessa (Roscoe, Jensen&Gawron 1980).

Simulaattoriopetustuokion jälkeisen palautekeskustelun merkitys korostuu simulaattorin avulla opittaessa osin siksi, että siinä työskennellään itsenäisesti ilman ohjaajan jatkuvaa paikallaoloa ja ohjausta. Oppimistehtävien analyysi ja palaute on tehtävä jälkeinpäin, mieluummin varsin pian suorituksen jälkeen. Palautekeskustelu on merkittävä myös koska on kyse harjoituksesta, jossa kaikki aidon ympäristön ominaisuudet eivät toteudu. Palautekeskustelussa voidaan myös analysoida simulaattorin ja aidon ympäristön eroja ja yhtäläisyyksiä ja kytkä simulaattorilla opittua aidoissa olosuhteissa tapahtuvaan työhön.

5 Tulosten tarkastelu

5.1 Työn luotettavuuden tarkastelua

Simulaattoriopetuksen pedagogista mallia laaditaan tässä tutkimuksessa perustuen kirjallisuuteen ja aikaisempiin tutkimuksiin. Simulointiin perustuvissa ympäristöissä tapahtuvaa oppimista ja opettamista kuvaava kirjallisuus ja tutkimukset ovat enimmäkseen alakohtaisia. Näistä tutkija on pyrkinyt löytämään niitä keskeisiä piirteitä, jotka kuvaavat simulaattorilla oppimista ja opettamista, simulaattoriopetuksen pedagogista mallia. Eri alojen simulointiin perustuvan oppimisen ja opetuksen lähestymistavat poikkeavat toisistaan varsin paljon. Kunkin alan simulaattoriopetuksen pedagogiikka heijastaa kyseisen alan pedagogiikkaa. Tutkija on pyrkinyt löytämään piirteitä, jotka ovat yhteisiä alasta riippumatta.

Tutkimuksen rakenne koostuu eri alojen simulaattorikoulutuksen kokemuksia koostavasta osasta sekä käsiteteoreettisesta tarkastelusta, jossa tarkastellaan oppimista ja opettamista simulointiin perustuvissa ympäristöissä koskevia keskeisimpiä käsitteitä. Lopuksi hahmotellaan simulaattoriopetuksen pedagogista mallia.

Tutkimuksen validiteetilla kuvataan sitä tutkitaanko sitä mitä on tarkoitus tutkia ja reliabiliteetilla mittarin luotettavuutta ja tutkimuksen toistettavuutta. Validiteetin ja reliabiliteetin käsitteet ovat lähtöisin kvantitatiivisen tutkimuksen piiristä. Niiden käyttökelpoisuutta kvalitatiivisen tutkimuksen luotettavuuden arvioinnissa on kuvannut Tynjälä (1991, 387-398), joka toteaa, että koska kvalitatiivisen tutkimuksen epistemologiset perusteet ovat erilaiset kuin kvantitatiivisen, kvalitatiivista tutkimusta voidaan tarkastella myös muulla tavoin, esimerkiksi sen omista lähtökohdista lähtien. Kysymys on objektivistisen (on mahdollista saada objektiivista tietoa) ja relativistisen (ei ole yhtä ainoaa totuutta, vaan totuus riippuu muun muassa tarkastelijan perspektiivistä) tietoteorian suhteista. Fenomenologisessa ja hermeneuttisessa filosofiassa vallalla on relativistinen tietoteoria, jolloin validiteetin ja reliabiliteetin käsitteet eivät välttämättä aina kuvaa kattavasti kvalitatiivisen tutkimuksen luotettavuutta, vaan luotettavuutta voidaan tarkastella muilla kriteereillä.

Lincoln ja Guba (1985, 300), ks. myös Tynjälä (1991, 390-392) kuvaavat kvalitatiivisen tutkimuksen luotettavuutta termeillä 1) vastaavuus, 2) siirrettävyys, 3) tutkimustilanteen arviointi ja 4) vahvistettavuus.

Lincoln ja Guba (s. 295-296) esittävät sisäisen validiteetin tilalle termiä 1) vastaavuus (credibility). Mielen tai tutkimuksen todellisuus koostuu mentaalisista konstruktioista. Vastaavuudella he tarkoittavat sitä miten tutkimuksen konstruktioit vastaavat alkuperäistä todellisuutta. Vastaavuus kuvaa tulosten totuusarvoa. Käsillä olevassa tutkimuksessa pyrittiin löytämään simulaattoriopetuksen pedagogiikan malli käymällä läpi aikaisempia tutkimuksia ja kirjallisuutta. Työtä voi kuvata palapelin kokoamiseksi, jossa osasten sovittaminen oikeille paikoilleen vei aikaa. Tutkijan käsityksen mukaan luodut rekonstruktioit kuvaavat simulaattoriopetuksen alkuperäisiä konstruktioita.

Kvantitatiivisen tutkimuksen yleistettävyyttä kvalitatiivisessa tutkimuksessa vastaa termi 2) siirrettävyys (transferability). Siirrettävyys kuvaa sitä millä tavoin tutkimuksen tulokset ovat siirrettävissä toiseen kontekstiin. Tämä riippuu viime kädessä siitä miten paljon konteksti, johon tuloksia aiotaan siirtää muistuttaa alkuperäistä kontekstia. Tässä tutkimuksessa koottiin simulaattoriopetuksen yleistä mallia, joka kuvaa opetuksen yleisiä piirteitä. Kuitenkin eri alojen simulaattoriopetuksen lähestymistavat poikkeavat huomattavasti toisistaan, mikä tulee ottaa tulosten siirrettävyyttä arvioitaessa huomioon tapauskohtaisesti. Lincoln ja Guba (1985, 297-298) toteavat, että tutkimuksen tulosten soveltajien on pääteltävä missä olosuhteissa tietyn tutkimuksen tuloksia voidaan soveltaa.

Lincoln ja Guba (1985, 299) esittävät reliabiliteetin tilalle käsitettä 3) tutkimustilanteen arviointi (dependability). Tällä he tarkoittavat sitä, että tutkijan on otettava huomioon kaikki ilmiöstä tai tutkimustilanteesta aiheutuvat, sisäiset ja ulkoiset vaihtelua aiheuttavat tekijät. Reliabiliteettia, tulosten toistettavuutta ei välttämättä voida tavoittaa, koska tutkimustilanteet vaihtelevat ja esimerkiksi haastateltavan vastaukset ja näkemykset voivat olla erilaisia eri kerroilla. Myös tutkijan persoonasta johtuva vaihtelu on otettava huomioon. Vaikka tässä tutkimuksessa haetaan pedagogista mallia opetukseen, jossa käytetään simulaattoria, tulee ottaa huomioon se, että eri alojen simulaattoriopetuksen pedagogiikan toteutukset poikkeavat toisistaan. Tämän tutkimuksen tuloksissa oppimisen kontekstuaalisuuden huomioon ottamista korostetaan enemmän kuin simulaattoritutkimuksissa yleensä siksi, että metsäkonekoulutuksen simulaattoritutkimuksissa kontekstuaalisuuden huomioon ottamisen vaatimus nousee esiin selkeästi. Kontekstuaalisuus opetuksessa, jossa käytetään simulaattoria tulee kuitenkin ottaa huomioon tapauskohtaisesti, koska eri alojen koulutuksessa simulaattoriympäristön ja aidon kontekstin erot poikkeavat huomattavasti toisistaan.

Vahvistettavuuden käsitteellä (confirmability) Lincoln ja Guba (s. 319-321) korvaavat objektiivisuuden käsitteen. Vahvistettavuuden takaamiseksi on tärkeää tutkimusmenettelyjen systemaattisuus, muun muassa tutkimuksen vaiheiden ja aineiston tarkka dokumentointi. Vahvistettavuus voidaan todentaa vahvistettavuuden auditoinnilla, mikä edellyttää tarkkaa dokumentointia. Tässä tutkimuksessa käytetty aineisto on kirjallisuutta ja tutkimuksia, jotka ovat dokumentoituna, löydettävissä ja tarkastettavissa aivan eri tavoin kuin yleensä tutkimusaineistot. Lincolnin ja Guban mukaan myös tutkijan oman viitekehyksen kuvaaminen on tärkeää. Tutkijan oma tausta liittyy metsäkonesimulaattoriopetukseen, jolloin hän näkee asiat siitä kokemustaustasta lähtien. Vahvistettavuus kuvaa Lincolnin ja Guban mukaan aineiston neutraalisuutta. Tässä tutkimuksessa on koottu varsin suuri määrä aikaisempia tutkimuksia ja kirjallisuutta eri aloilta, jolloin aineiston voidaan katsoa olevan neutraalia.

5.2 Simulaattoriopetuksen realistisuus

Opetukseen, jossa käytetään simulaattoria voidaan tuoda realismia myös muilla tavoilla kuin simulaation realistisuudella. Oppimistilanteiden tekemisellä realistisiksi on tärkeää kokonaisuus, esimerkiksi opetusmenetelmät ja oppimistilanteen sosiaalinen ulottuvuus. Aitoja tilanteita jäljittelevien skenaarioiden lisäksi realismia voidaan tuoda opetukseen tarkkojen skenaarioiden laatimisen lisäksi esimerkiksi viemällä osia opetuksesta aitoon ympäristöön. Merkittävää oppimisen kannalta on

- a) miten simulaattoria käytetään opetuksessa
- b) miten aitoa ympäristöä voidaan käyttää opetuksessa
- c) miten muulla tavoin oppimista edistetään.

Pelkästään simulaation tarkkuuden sijaan tulee pyrkiä realistiisuuteen laajemmassa mielessä, simulaattoriopetuksen realistiisuuteen. Oppimisen apuvälineen, simulaattorin realistiisuus, sen fyysiset ja tekniset ominaisuudet suhteessa aitoon ympäristöön ovat vain yksi, tosin tärkeä tekijä, joka vaikuttaa siihen miten opitaan.

Uudella käsitteellä simulaattoriopetuksen realistiisuus tarkoitetaan tässä sitä miten paljon oppimistilanteet simulaattoriopetuksessa muistuttavat

oppimistilanteita aidoissa olosuhteissa: miten realistinen on oppimisen teknisen ja fyysisen ympäristön lisäksi sen sosiaalinen ulottuvuus tai didaktinen ulottuvuus. Oppimistilanteet simulaattorilla parhaimmillaan ovat aidon ympäristön kaltaisia.

5.3 Taloudelliset reunaehdot ja koulutuksen vaihtoehtoiset toteutustavat

Simulaattoreita on eniten käytetty aloilla, joilla a) suuri osa opetuksesta on sellaista, joita ei vaarallisuuden tai muiden tekijöiden vuoksi voi antaa aidossa ympäristössä tai b) aloilla, joilla aidot opetusvälineet ovat kalliita. Seuraavassa kuviossa tarkastellaan eri alojen simulaattorikoulutusta ulottuvuudella a) mahdollisuus toteuttaa koulutusta aidoissa olosuhteissa ja b) hinta. Se voidaan koulutusta toteuttaa vain simulaattorilla ja toisaalta kustannustekijät määrittävät osaltaan sitä roolia, mikä simulaattorin käytöllä kullakin alalla on.

Koulutus ei mahdollista aidoissa olosuhteissa	Auto (osittain)	Ei tietoa hinnasta: Ydinvoimala Sotilaskoulutus Kirurgia Anestesia	Sota ja sodanjohto Avaruusala Sotilasilmailu (osittain) Ilmailu (osittain)
Koulutus mahdollista aidoissa olosuhteissa	Auto (osittain) Harvesteri	Ei tietoa hinnasta: Ydinvoimala Sotilaskoulutus Kirurgia Anestesia	Sotilasilmailu (osittain) Ilmailu (osittain)

Alhainen hinta

Korkea hinta

=aidon laitteen hinta

=simulaattorin hinta

=simulaattorin realismisuus

Taulukko 7. Eri alojen simulaattorikoulutuksen tarkastelu ulottuvuudella "mahdollisuus toteuttaa koulutusta aidoissa olosuhteissa" ja "hinta".

Osa simulaattoreilla annettavasta koulutuksesta on sellaista, jota ei voida lainkaan toteuttaa aidossa ympäristössä vaarallisuudesta tai muista tekijöistä johtuen. Tällainen on esimerkiksi sota tai sodanjohto. Suuri osa simulaattorilla annettavasta opetuksesta puolestaan on sellaista, jota voidaan toteuttaa myös aidossa olosuhteissa, mutta esimerkiksi vaaratilanteiden harjoittelua vain simulaattorilla. Poikkeuksena tästä harvesterisimulaattori: samat asiat kuin simulaattorilla voidaan opiskella myös harvesterilla metsäolosuhteissa.

Kun simulaattorin realismi kasvaa, myös sen käyttömahdollisuudet laajenevat: mitä enemmän simulaattori muistuttaa aitoa ympäristöä, sitä enemmän sillä voidaan korvata opetusta aidossa ympäristössä. Yksinkertaisilla pöytätietokonesimulaattoreilla voidaan opettaa osatehtäviä koska niillä ei kyetä jäljittelemään aitoja laitteita todenmukaisesti.

Aloilla, jossa koulutus on erittäin kallista tai koulutusta ei voida muuten toteuttaa kannattaa investoida simulaattoreihin ja simulaattorikoulutukseen voimakkaammin. Tietotekniikan kehittyminen ja mahdollisuus rakentaa halpoja simulaattoreita on kuitenkin laajentamassa simulaattoreiden käyttömahdollisuuksia eri aloille. Osa koulutuksesta voidaan korvata simulaattoriopetuksella, jolloin voidaan saavuttaa parempia oppimistuloksia alemmilla kustannuksilla. Esimerkiksi metsäkonealalla ei kuitenkaan ole tarpeen siirtää suurinta osaa koulutuksesta pelkästään simulaattoreihin perustuvaksi, koska samat asiat voidaan oppia aidossa ympäristössä eikä laitteiden ja koulutuksen hinta ole samaa luokkaa kuin esimerkiksi ilmailualalla.

5.4 Kokonaisvaltainen opetuksen lähestymistapa

Millä tavoin opetuksen kokonaisuus on rakennettu vaikuttaa oppimistuloksiin. Oppimisen kokonaisvaltaisuuden tiedostava lähestymistapa oppimisolosuhteita järjestettäessä auttaa saavuttamaan hyviä oppimistuloksia. Tehokasta oppimista ja sen edistämistä on kuvattu jaksossa 3.2.7.

Simulaattori on oppimisympäristö, jossa oppija voi toteuttaa omia oppimistavoitteitaan. Oppiminen simulaattorilla pitäisi järjestää siten, että oppimisympäristöajattelun perusajatukset toteutuvat, eli muun muassa opiskelijälähtöiset, tutkivat opetusmenetelmät toteutuvat, oppimisen yhteistoiminnallisuus toteutuu ja tehtävät ovat avoimia soveltavia tehtäviä, jotka liittyvät reaalityöskentelyyn tai autenttisiin tilanteisiin. Opettajan rooli muuttuu lähemmäksi tutorin roolia. (Kauppi 1993, 94-95; Manninen 2000, 30). Kuitenkin erityisesti opintojen alkuvaiheessa tarvitaan vahvaa opettajan roolia kun määritellään tehtävän tavoitteita, asioiden tärkeysjärjestystä tai ehdottomia

vaatimuksia, esimerkiksi tuotosten mittatarkkuutta tai työturvallisuutta. Opettaja voi vetäytyä enemmän taustalle sitten kun perusteet on opittu.

Martin (1996, 149-150) opettajien opettamista koskevat merkitysrakenteet eli skeemastot määrittelevät sen millä tavoin opettaja toteuttaa opetuksen. Kokeneilla ja tehokkailla opettajilla on kehittyneemmät merkitysrakenteet kuin aloittelevilla ja tehottomilla opettajilla. Tällä on puolestaan yhteys opetuksen laatuun ja sitä kautta oppimiseen.

Opettajan orientaatio opettamiseen määrittää sitä millä tavoin opetus järjestetään. Myös simulaattoriopetukseen liittyvät läheisesti opettajien käsitykset siitä, miten oppimista tapahtuu ja miten oppimistilanteet tulisi järjestää. Kanadalaiset opetussuunnitelmien tutkijat John Miller ja Wayne Seller ovat luoneet mallin, joka perustuu olettamukseen, että opettajien orientaatiot rakentuvat yleensä useammista toisiinsa liittyvistä orientaatioista. Orientaatiot on heidän mallissaan jäsennetty kolmen metaorientaation jatkumoksi. Näitä kutsutaan transmissioksi, transaktioksi ja transformaatioksi (Sahlberg 1997, 149-155).

Näistä kehittynein, transformaatio-metaorientaatio korostaa sosiaalista kasvua ja persoonallisuuden kehitystä opetuksen ja kasvatuksen päämäärinä. Oppiminen tähtää kokonaisvaltaiseen fyysisten, kognitiivisten, affektiivisten ja henkisten osa-alueiden yhdistämiseen, jolloin myös tietäminen on moniulotteista ja tilannesidonnaista. Oppimisen lähtökohdaksi on oppijan sisäinen motivaatio. Tätä metaorientaatiota kuvaa lisäksi muun muassa se, että tieto on luonteeltaan prosessimaista, opettaja on yksi oppija muiden joukossa sekä oppilas on vastuussa omasta oppimisestaan ja päämäärien asettamisesta. (Sahlberg, 1997, 147-149). Opettajan kokonaisvaltainen orientaatio opettamiseen on omiaan edistämään simulaattoriopetuksen järjestämistä onnistuneeksi kokonaisuudeksi.

Onnistuneen simulaattorin käyttöön perustuvan opetuksen toteuttamiseen pätevät samat lainalaisuudet kuin muunkin opetuksen menestykselliseen toteuttamiseen. Kuitenkin simulaattorin erityispiirteet oppimisympäristönä asettavat erilaisia haasteita opetusta suunnitteleville ja toteuttaville. Simulaattori on useimmiten erillään käytännön toimintaympäristöstä. Kuitenkin sen käytöllä oppimisen apuvälineenä tavoitellaan käytännön toimintaympäristössä tarvittavien konkreettisten taitojen oppimista. Kun simulaattorin erityispiirteet ja sen oppimisprosessille ja oppimisen ohjaukselle asettamat vaatimukset tunnetaan on mahdollista luoda opetuksesta entistä laadukkaampaa, jonka tuloksena oppijat hallitsevat käytännön taidot paremmin kuin aiemmin.

5.5 Työn arviointia

Tietokonesimulointiin perustuvan opetuksen, sekä simulaattoriopetuksen että immerssiivisiin virtuaaliympäristöihin perustuvan opetuksen merkitys koulutuksessa tulee lisääntymään tulevaisuudessa. Tämän työn tuloksia voidaan hyödyntää opetuksen suunnittelussa. Työn tuloksena syntynyt simulaattoriopetuksen pedagogisen mallin hahmotelma auttaa analysoimaan ja kehittämään opetusta, jossa käytetään simulaattoria tai immerssiivisiä virtuaaliympäristöjä. Koska pedagogiset mallit ovat alakohtaisia, mallien kehittäminen vaatii alan tuntemusta. Mallin laatijan orientaatio oppimiseen vaikuttaa siihen, millainen mallista muodostuu.

Tietokonesimuloinnin pedagogiikkaa on tutkittu ilmeisen vähän aiemmin. Siksi aineistoa tähän tutkimukseen oli varsin vaikea löytää. Tutkimusraportit eivät useinkaan käsitelleet pedagogisia ratkaisuja, vaan oppimiseen ja opetukseen liittyviä, esimerkiksi teknisiä yksityiskohtia. Simulaattorin tarkkuuden merkitystä sen sijaan oli aiemmin tutkittu paljon, samoin oppimisen transferin problematiikkaa.

Tässä työssä korostetaan toisaalta simulaattorin avulla oppimisen kontekstuaalisuutta ja toisaalta mentaalisen mallin merkitystä oppimisessa. Edellä mainitut liittyvät yhteen sillä tavoin, että kontekstuaalisuuden huomioonottaminen takaa osaltaan oikeanlaisen mentaalisen mallin muodostumisen.

Tutkija olisi toivonut pääsevänsä syvemmälle tässä työssä sekä oppimisen että opettamisen määrittelyssä, toisaalta siinä miten simulaattorilla opetetaan, millä tavoin opettajan tulisi toimia, ja toisaalta millä tavoin simulaattorilla opitaan. Koska simulaattoriopetuksen pedagogisen mallin määrittely vaati laajan kokonaiskuvan muodostamista, näissä keskeisissä asioissa tutkija ei päässyt niin syvälle kuin olisi halunnut.

5.6 Jatkotutkimustarpeita

Simulaattoreita käytetään vielä varsin vähän taitojen opetuksessa ammatillisessa koulutuksessa maassamme. Jatkotutkimusten aiheena voisivat olla simulaattorikoulutuksen mahdollisuudet ammatillisessa koulutuksessa maassamme. Tutkimuksessa voitaisiin selvittää millä koulutusaloilla simulaattoreita voitaisiin käyttää, millaisia simulaattoreita on tarjolla ja millä tavoin koulutus simulaattoria apuna käyttäen voitaisiin kullakin alalla järjestää.

Immersiivisten virtuaaliympäristöjen mahdollisuuksia oppimisen apuvälineenä tutkitaan sotilaskoulutuksessa. Virtuaalitodellisuuden käyttömahdollisuuksia ammatillisessa koulutuksessa tulisi myös selvittää. Etuna on se, että laitteisto ei ole alaan sidottu kuten simulaattorit, vaan samassa ympäristössä voidaan antaa eri alojen koulutusta. Sekä virtuaalikyppäran (HMD) perustuvat ympäristöt että CAVE-ympäristöt kehittyessään voivat tulevaisuudessa mullistaa myös ammatillista koulutusta.

Jatkotutkimuksen aihe on myös harvesterisimulaattoriopetuksen pedagogisen mallin laatiminen. Simulaattoreita käytetään yleisesti metsäkoneopetuksessa ja kokemuksia niiden käytöstä metsäkoneenkuljettajien opetuksessa on jo usean vuoden ajalta. Oppilaitoksilla on tietoa ja kokemusta siitä, millä tavoin opetus tulee järjestää, jotta oppiminen olisi tehokasta. Tätä kokemusta voidaan käyttää pedagogisen mallin laadinnassa.

Lähdeluettelo:

- Advanced models of cognition for Medical Training and Practice. 1991. Evans, D.L.&Patel, V.L. (Eds.). New York: Springer-Verlag.
- Aikuiskoulutus verkossa. 2000. Matikainen, J. & Manninen, J. (Eds.). Tampere: Tammer-Paino.
- Aikuisten oppimisen uudet muodot. 1993. Jyväskylä: Gummerus.
- Allard, T. 1997. US Navy and Marine Corps Requirements and Challenges: Virtual Environment and Component Technologies. Paper presented at the RTO HFM Workshop on 'The Capability of Virtual Reality to Meet Military Requirements'. Orlando, USA, 5-9 December 1997. RTO MP-54. <ftp://ftp.rta.nato.int/pubfulltext/rto/mp/rto-mp-054/mp-054-02.pdf>. 7.1. 2004.
- Alluisi, E. 1991. The Development of Technology for Collective Training: SIMNET, a Case History. *Human Factors* (1991) 33(3), 343-362
- Anderson, J. R. 1990. *Cognitive Psychology and Its Implications*. Third Edition. New York: W.H. Freeman and Company.
- Amalberti, R.&Deblon, F. 1992. Cognitive modelling of fighter aircraft process control: a step towards an intelligent on-board assistance system. *Int. J. Man-Machine Studies* (1992) 36, 639-671.
- Aviation Psychology*. 1980. Roscoe, S.N. (Ed.). Iowa: Iowa State University Press.
- Aviation Psychology*. 1999. Jensen, R. S. (Ed.). Hants: Ashgate Publishing Company.
- Baudhuin, S. 1987. The Design of Industrial and Flight Simulators. In: . Cormier, Stephen M.,&Hagman, Joseph D. (Eds). 1987. *Transfer of Learning*, pp. 217-237 Alexandria, Virginia: Academic Press.
- Bell, H. & Waag, W. 1998. Evaluating the Effectiveness of Flight simulators for Training Combat Skills. A Review. *The International Journal of Aviation Psychology*. (1998) 8(3), 223-242.
- Beier, K.-P. 2003. *Virtual Reality: A Short Introduction*. University of Michigan, Virtual Reality Laboratory at the College of Engineering. <http://www-vrl.umich.edu/intro/>. 26.01.2004
- Boldovici, J. 1987. Measuring Transfer in Military Settings. In: Cormier, Stephen M.,&Hagman, Joseph D. (Eds). 1987. *Transfer of Learning*, pp. 239 – 260 Alexandria, Virginia: Academic Press.
- Boshuizen, H., Schmidt, G., Custers, E.. & van de Wiel, M. 1995. Knowledge development and restructuring in the domain of medicine: the role of theory and practice. *Learning and Instruction* (1995) 5(4), 269-284

- Bove, T.&Andersen, H. 2002. The effect of an advisory system on pilots' go/no-go decision during take-off. In: Reliability Engineering & System Safety, (2002) 75(2), 179-191
http://www.sciencedirect.com/science?_o...69&md5=8c64e1edac84c66ca8ffbcb98115602d. 21.01.2004
- Burki-Cohen, J., Soja, N.&Longridge, T. 1998. Simulator Platform Motion – the Need Revisited. The International Journal of Aviation Psychology. (1998) 8(3), 293-317.
- Campbell, C., Throne, M., Black, A.,&Lickteig W. 2003. Research Observations and Lessons Learned for the Future Combat Systems. U.S Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences
<http://www.ari.army.mil/research/> 15.1.2004
- Cleave-Hogg, D.&Morgan, P. 2002. Experiential learning in an anaesthesia simulation centre: analysis of students' comments. Medical Teacher (2002) 24(1).
- Connolly, J., Blackwell, B.,&Lester, L. 1989. Simulator-Based approach to training in aeronautical decision making. Aviation, Space, and Environmental Medicine (1989) 60 (1), 50-2
- Cronin, P. 1997. Report on the applications of virtual reality technology to education. HCRC, University of Edinburgh.
[wysiwyg://62/http://www.cogsci.ed.ac.uk/~paulus/Work/Vranded/vr.htm](http://www.cogsci.ed.ac.uk/~paulus/Work/Vranded/vr.htm). 6.11.2003
- Day, E.& Gettman, D. 2001. Knowledge Structures and the Acquisition of a Complex Skill. In: Journal of Applied Psychology (2001) 86(5), 1022-1033
- Dede, C, Salzman, M., Loftin, R. Bowen&Ash, K. 1997. Using Virtual Reality Technology to Convey Abstract Scientific Concepts. Final Draft. To be published in Learning the Sciences of the 21st Century: Research, Design, and Implementing Advanced Technology Learning Environments. Jacobson, M.& Kozma, R. (Eds.) Lawrence Erlbaum
- Dennis, K. &Harris, D. 1998. Computer-Based Simulation as an Adjunct to Ab Initio Flight Training. The International Journal of Aviation Psychology. (1998) 8(3), 261-276.
- Design and Production of Multimedia and Simulation-based Learning Material. 1994. De Jong, T.&Sarti, L. (Eds). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Dismukes, R., McDonnell, K. &Jobe, K. 2000. Facilitating LOFT Debriefings: Instructor Techniques and Crew Participation. International Journal of Aviation Psychology (2000) 10 (1).
<http://web4.epnet.com/citation.asp?tb=1...CBYA00080236+sm+KS+ss+SO+3E2E&fn=1&rn=3.>, 25.10.2002
- Dörr, K., Schiefele, J., &Kubbat, W. 2000. Virtual Cockpit Simulation for Pilot Training. Paper presented at the RTO HFM Workshop on 'What is essential for virtual reality systems to meet military human performance goals?'. The Hague, The Netherlands, 13-15 April 2000. RTO MP-058.
<ftp://ftp.rta.nato.int/pubfulltext/rto/mp/rto-mp-058mp-058-11.pdf>. 25.11.2003

- Endsley, R.&Robertson, M. 2000. Training for Situation Awareness. In: Endsley, M.R.&Garland, D.J. (Eds.) (2000) Situation Awareness Analysis and Measurement. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Endsley, R.&Garland, J. 2000. Pilot Situation Awareness Training in General Aviation. In: Proceedings of the 14th Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society – 2000
- Etelämäki 1999. Taistelun johtamisen kouluttaminen simulaattorilla. In: Etelämäki, M., Mäkelä, H.&Peltoniemi, R. 1999. Oppiminen, simulointi ja koulutus. Maanpuolustuskorkeakoulu, Koulutustaidon laitos. Julkaisusarja 3, Tutkimuslustoista, No 2
- Etelämäki, M., Mäkelä, H.&Peltoniemi, R. 1999. Oppiminen, simulointi ja koulutus. Maanpuolustuskorkeakoulu, Koulutustaidon laitos. Julkaisusarja 3, Tutkimuslustoista, No 2
- European Commission 2001. TRAINER: System for Driver Training and Assessment using Interactive Evaluation tools and Reliable methodologies: GRD1-1999-10024. Hoeschen, A.&Bekiaris, E. (Eds.) Commission of the European Communities – Competitive And Sustainable Growth (GROWTH) Programme.
- Evans, L. 2003. PROJECT train mod: modernizing soldier training through research. U.S Army Institute: ARI Special Report 57. <http://www.ari.army.mil/research/> 12.1.2004
- Fitts, P. 1990. Factors in complex skill training. In Venturino, M. (Ed.): Selected readings in human factors (pp. 275-295). Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- Flexman, R.&Stark, E. 1987. Training simulators. In: Salvendy, G. (Ed.) Handbook of Human Factors (pp. 1012-1038). New York: John Wiley & Sons.
- Flight simulation. 1997. Rolfe, J.&Staples, K. (Eds.) Cambridge Aerospace Series. Cambridge: Cambridge University Press.
- Foundations of Cognitive Science. Posner, M. I. (Ed.). Cambridge: The MIT Press.
- Fowlkes, J., Dwyer, D., Oser, R.&Salas, E. 1998. Event-Based Approach to Training (EBAT). The International Journal of Aviation Psychology. (1998) 8(3), 209-221.
- Freedman, P. 1998. Forestry Machine Simulators: looking for added value in training. Canadian Woodlands Forum, Annual Meeting 1998. Quebec, Canada, March 23-25
- Fuchs-Frohnhofer, P., Hartmann, E., Brandt, D.&Weydandt, D. 1996. Designing Human-Machine Interfaces to Match the User's Mental Models. Control Eng. Practice (1996) 4(1), pp. 13-18
- Gaba, D. 1991. Dynamic decision making in anaesthesiology: cognitive models and training approaches. In: Evans, D.L.&Patel, V.L. (Eds.) Advanced models of cognition for Medical Training and Practice, pp. 123-147. New York: Springer-Verlag.

- Gaba, D. 2000. Anaesthesiology as a model for patient safety in health care. *BMJ* (2000) 320, 785-788.
- Gagné, R., Briggs, L.&Wager, W. 1992. *Principles of Instructional Design*. (4th ed.). Orlando, Florida: Harcourt Brace.
- Gatto, D. 1993. The Use of interactive computer simulations in training. *Australian Journal of Educational Technology*, 1993, 9(2), 144-156
<http://www.ascilite.org.au/ajet9/gatto.html> , 31.10.2003
- Goldstein, I. 1974. *Training: Program development and evaluation*. Monterey, California: Brooks/Cole
- Gonzalez Vega, N. 2002. *Factors Affecting Simulator-training Effectiveness*. Jyväskylä studies in education, psychology and social research 207. University of Jyväskylä.
- Hacker, W. 1982. *Yleinen työpsykologia*. Espoo: Weilin+Göös.
- Hakkarainen, K., Lonka, K.& Lipponen, L. 1999. *Tutkiva oppiminen. Älykkään toiminnan rajat ja niiden ylittäminen*. Porvoo: WSOY.
- Haluck, R., Marshall, R., Krummel, T.&Melkonian, M. 2001. Are Surgery Training Programs Ready for Virtual Reality? A Survey of Program Directors in General Surgery. *American College of Surgeons. Virtual Reality in Surgery Training Programs / Education/* (2001) 6(193), 660-665
- Handbook of Human Factors*. 1987. Salvendy, G. (Ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Harms, L. 1996. *Driving Performance on a Real Road and in a Driving Simulator: Results of a Validation Study*. Reprint from proceedings of *Vision in Vehicles-V*, Glasgow, U.K., September 9-11, 1993, pp 19-26
- Integrated and holistic perspectives on learning, instruction and technology*. 2000. Spector, J.&Anderson, T.(Eds.). Dordrecht: Kluwer.
- Ivancic, K. & Hesketh, B. 2000. Learning from errors in driving simulation: Effects on driving skill and self-confidence. *Ergonomics* (2000)43.
- Jacobs, J.&Dempsey, J. 1993. *Simulation and Gaming: Fidelity, Feedback, and Motivation*. In: *Interactive instruction and feedback*. Dempsey, J.&Sales, E. (Eds.) Pp. 197-227. New Jersey: Englewood Cliffs.
- Jalava, U. 2001. *Oppimisympäristönä simulaatio*. In: *Simulaatio-oppiminen henkilöstön kehittämisen välineenä*. Jalava, U., Keskinen, E., Keskinen, S. &Tiuraniemi, J. (Eds.). Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskus.
- Jensen, R.&Biegalski, C. 1999. *Cockpit Resource Management*. In *Aviation Psychology*. 1999. Hants: Ashgate Publishing Company.
- Jentsch, F. &Bowers, C. 1998. Evidence for the Validity of PC-Based Simulations in Studying Aircrew Coordination. *The International Journal of Aviation Psychology*. (1998) 8(3), 243-260.
- Johnson, D.&Stewart, J. 2002. *Utility of a Personal Computer Aviation Training Device for Flight Training*. Research Report 1787. US Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
<http://www.ari.army.mil/research/> 10.1. 2004.
- Johnson-Laird, P. 1989. *Mental models*. In: *Foundations of Cognitive Science*. Posner, M. I. (Ed.) pp. 469-493. Cambridge: The MIT Press.

- Jonassen, D., Hernandez-Serrano, J. & Choi, I. 2000. Integrating constructivism and learning technologies. In: Integrated and holistic perspectives on learning, instruction and technology, pp. 103-128. Dordrecht: Kluwer.
- Jong, T. 1991. Learning and instruction with computer simulations. *Education and Computing*, 6.
- Juola, V. 2001. 3D-Simulaattorit ja virtuaalidellisuus metsäkoneenkuljettajien koulutuksessa. University of Joensuu, Faculty of Forestry.
- Järvinen, P. & Järvinen, A. 2000. Tutkimustyön metodeista. Tampere: Opinpajan Kirja.
- Järvinen, A., Koivisto, T. & Poikela, E.. 2000. Oppiminen työssä ja työyhteisössä. Porvoo: WSOY.
- Kaikkonen, P. 1999. Laadullinen tutkimus kasvatus- ja opetustyössä. *Kasvatus* (1999) 30(5) 427-435.
- Kannisto, H. 1986. Ymmärtäminen, kritiikki ja hermeneutiikka. In: Vuosisatamme filosofia. Niiniluoto I. & Saarinen E. (Eds.). pp 145 – 243. Juva: WSOY.
- Kauppi, A. 1993. Mistä nousee oppimisen mieli? – kontekstuaalisen oppimiskäsityksen perusteita. Teoksessa: Aikuisten oppimisen uudet muodot. 1993. Jyväskylä: Gummerus.
- Knerr, B., Lampton, D., Crowell, H., Thomas, M., Comer, B., Grosse, J., Centric, J., Garfield, K., Martin, G. & Washburn, D. 2002. Virtual Environments for Dismounted Soldier Simulation, Training, and Mission Rehearsal: Results of the FY 2001 Culminating Event. Technical Report 1129. US Army Research Institute for the Behavioral Sciences and Social Sciences. <http://www.ari.army.mil/research/> 10.1. 2004
- Kolb, D. 1984. *Experiential Learning. Experience as The Source of Learning and Development.* Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Kommers, P. 2003a. In-depth experiences in a virtual training environment: the nature and culture of learning. In: Tietotyö ja ammattitaito. Knowledge work and occupational competence. Kirjonen, J. (Ed.). pp 117-132. Proceedings of Northern Light Congress in Jyväskylä 29.-31.1. 2003. Jyväskylän yliopisto ja Jyväskylän koulutuskuntayhtymä.
- Kommers, P. 2003b. Experiential learning through constructivist learning tools. *International Journal of Computers and Applications*. 2003 (25)1.
- Koonce, J. & Bramble, W. 1998. Personal Computer-Based Flight Training Devices. *The International Journal of Aviation Psychology*. (1998) 8(3), 277-292.
- Kort, B. & Reilly, R. 2002. A Pedagogical Model for Teaching Scientific Domain Knowledge. 32nd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Session T3A-13, November 6-9, 2002, Boston, MA
- Kuijper, F. 1997. HMD Based Virtual Environments for Military Training – Two Cases. Paper presented at the RTO HFM Workshop on 'The Capability of Virtual Reality to Meet Military Requirements', Orlando, USA, 5-9 December 1997. RTO MP-54. <ftp://ftp.rta.nato.int/pubfulltext/rto/mp/rto-mp-054/mp-054-25.pdf>. 25.11.2003

- Lane, E.&Alluisi, E. 1992. Fidelity and Validity in Distributed Interactive Simulation: Questions and Answers. Document D-1066, IDA Alexandria, Virginia, USA
- Lehtinen, E.&Palonen, T. Kognitio, käytäntö ja kulttuuri – lintubongarin pidempi oppimäärä. In: Oppiminen ja asiantuntijuus, 1999. Eteläpelto, A.&Tynjälä, P. (Eds.). Juva: WSOY.
- Lehtinen, E.&Kuusinen, J. 2001. Kasvatuspsykologia. Helsinki: WSOY.
- Leitao, M., Coelho, A.&Ferreira, N. 1997. DriS – A Virtual Driving Simulator. Proceedings of the Second International Seminar on Human Factors in Road Traffic. ISBN 972-8098-25-1. Braga, Portugal.
- Lincoln, Y.&Guba, E. 1985. Naturalistic Inquiry. Newbury Park, CA: Sage Publications.
- Lintern, G. 1991. An informational perspective on skill transfer in human-machine systems. Human Factors (1991)33, 251-266
- Lintern, G., Thomley-Yates, K., Nelson, B.&Roscoe, S. 1987. Content, Variety, and Augmentation of Simulated Visual Scenes for Teaching Air-to-Ground Attack. Human Factors (1987) 29(1), 45-59
- Malone, T. 1981. What makes a computer games fun? Byte (1981)6, 258-277
- Manninen, J. 2000. Kurssikoulutuksesta oppimisympäristöihin. Aikuiskoulutuskäytäntöjen kehityslinjoja. In: Aikuiskoulutus verkossa. 2000. Matikainen, J. &Manninen, J. (Eds.). Tampere: Tammer-Paino.
- Martti, M. 1996. Teknillisten oppilaitosten opettajankoulutuksessa olevien opettajien pedagogiset merkitysrakenteet ja niiden kehittyminen. Tampere: Tampereen Yliopisto.
- Medical Readiness Training Team. 2000. An Immersive Virtual Reality Platform for Medical Education: Introduction to the Medical Readiness Trainer. Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2000.
- Moore, A. 2003. Brief History of Aircraft Flight Simulation. <http://www.bleep.demon.co.uk/SimHist1.htm>. 26.01.2004
- Mostow, J. 1989. Design by derivational analogy: Issues in the automated replay of design plans. Artificial Intelligence (1989) 40, 119-184.
- Mäkelä 1999. Kaksipuolinen simulaattoriharjoitus panssarijoukoissa. In: Etelämäki, M., Mäkelä, H.&Peltoniemi, R. 1999. Oppiminen, simulointi ja koulutus. Maanpuolustuskorkeakoulu, Koulutustaidon laitos. Julkaisusarja 3, Tutkimuslustoista, No 2
- NAVAIR Training Systems Division. 2004. VETT – Training Effectiveness Research. <http://www.ntsc.navy.mil/Programs/Tech/Virtual/VETT/Trainingframe.cfm> 20.11. 2003
- Nilsson, L., Falkmer, T.&Samuelsson, S. 2000. Drivers' Ability to Acquire In-Car Information Presented in the Peripheral Field of View without Fixating – A Simulator Study. Reprint from Proceedings of Vision in Vehicles – VII, 2000, Marseilles, France, September 1997, pp. 83-91.

- Nilsson, L. 1993. Behavioural Research in an Advanced Driving Simulator – Experiences of the VTI System. Reprint from Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 37th Annual Meeting October 11-15, 1993 Seattle, Washington, USA, pp 612-616
- Nonaka, I. & Takeuchi, H. 1995. The Knowledge-Creating Company. How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. New York: Oxford University Press.
- Olson, W.&Sarter, N. 2000. Automation Management Strategies: Pilot Preferences and Operational Experiences. The International Journal of Aviation Psychology, (2000) 10(4), 327-341. <http://zerlina.catchword.com/vl=1030409...atchword/erlbaum/10508414/v10n4/s2/p327>. 31.10.2002
- Opetushallitus 2002. Metsäalan perustutkinnon opetussuunnitelma. <http://www.edu.fi/julkaisut/maaraykset/ops/metsa.pdf>. 15.6. 2002.
- Oppiminen ja asiantuntijuus, 1999 (Eds. Eteläpelto, A.&Tynjälä, P.) Juva: WSOY.
- Page, E.&Smith, R. 1998. Introduction to military training simulation: A guide for discrete event simulations. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference.
- Peltoniemi, R. 2000. Maavoimien simulaattoriavusteisen koulutuksen optimointi – Maavoimien simulointistrategia. Maanpuolustuskorkeakoulu, Koulutustaidon laitos. Julkaisusarja 2, No 9.
- Peltoniemi, R. 1999. Kaksipuolisen taisteluharjoituksen simulointi. In: Etelämäki, M., Mäkelä, H.&Peltoniemi, R. 1999. Oppiminen, simulointi ja koulutus. Maanpuolustuskorkeakoulu, Koulutustaidon laitos. Julkaisusarja 3, Tutkimuslauseita, No 2
- Peters, O. 1999. A Pedagogical Model for Virtual Learning Space <http://www.uni-oldenburg.de/zef/cde/found/peters99.htm> 30.10.2003
- Puolimatka, T. 2003. Tieteenfilosofian luennot. Syksy 2003. Tampereen yliopisto, Ammattikasvatuksen tutkimus- ja koulutuskeskus.
- Rauste-von Wright, M. & von Wright, J. 1994. Oppiminen ja koulutus. Juva: WSOY.
- Regian, J.&Shute, W. 1993. Basic Research on the Pedagogy of Automated instruction. In: Simulation-Based Experiential Learning. Towne, D.M., Jong, T.&Spada, H. (Eds.). Pp. 121-132. Berlin: Springer Verlag.
- Reimann, P.&Beller, S. 1993. Computer-based support for analogical problem solving and learning. In: Simulation-Based Experiential Learning. Pp. 91-104. Berlin: Springer Verlag.
- Rigner, J.&Dekker, S. 2000. Sharing the Burden of Flight Deck Automation Training. The International Journal of Aviation Psychology, 10(4), 317-326, <http://masetto.catchword.com/vl=9450785...atchword/erlbaum/10508414/v10n4/s1/p317> 31.10.2002
- Riva, G. 2003. Review Paper: Medical Applications of Virtual Environments. Yearbook of Medical Informatics 2003, pp 159-169. Heidelberg, Germany. www.med.uni-heidelberg.de/mi/yearbook/2003/Riva.pdf 25.11.2003

- Roscoe, S., Jensen, N.&Gavron, V. 1980. Introduction to training systems. In: Roscoe, S. (Ed.). Aviation Psychology. Iowa: Iowa State University Press, Pp. 173-181
- Roscoe, S.&Williges, B. 1980. Measurement of transfer of training. In: Roscoe, S. (Ed.). Aviation Psychology. Iowa: Iowa State University Press.
- Roscoe, S. 1980. Transfer and cost effectiveness of ground-based flight trainers. In: Roscoe, S. (Ed.). Aviation Psychology. Iowa: Iowa State University Press.
- Ross, B. 1989. Reminders in learning and instruction. In: Vosniadou, S. ja Ortony, A. (Eds.). Similarity and analogical reasoning, Pp. 438-469. Cambridge, M.A: Cambridge University Press.
- Rothermel, S., Breker, S., & Verwey, W. 2002. Improving advanced driver training methodologies: the importance of the driver's mental model. Paper presented at the Nordic Ergonomics Society Annual Conference 2002
http://www.ifado.de/movement/Literatur/dez2002-Html/rotherm02_02.htm
30.10.2003
- Ruohotie, P. 1998. Motivaatio, tahto ja oppiminen. Helsinki: Edita.
- Ruohotie, P. 2000. Oppiminen ja ammatillinen kasvu. Juva: WS Bookwell OY.
- Ruohotie, P. 2002a. Motivation and self-regulation in learning. In: Niemi, H. & Ruohotie, P. (Eds.): Theoretical Understandings for Learning in the Virtual University. Research Centre for Vocational Education: University of Tampere.
- Ruohotie, P. 2002b. Kvalifikaatioiden ja kompetenssien kehittäminen koulutuksen tavoitteena. In: Nieminen, J. (Ed.): Verkottuminen virtuaalistuminen ammatillisen aikuiskoulutuksen tukena. Hämeen ammattikorkeakoulu.
- Ruohotie, P.&Honka, J. 2003. Ammatillinen huippuosaaminen. Kompetenssitutkimusten avaama näkökulma huippuosaamiseen, sen kehittämiseen ja johtamiseen. Skills-julkaisu 2/2003. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu.
- Saariluoma, P. 1992. Taitavan ajattelun psykologia. Helsinki: Otava.
- Sahlberg, P. 1997. Opettajana koulun muutoksessa. Juva: WSOY.
- Salakari, H. 2002. Harvesterisimulaattorin käyttökelpoisuus metsäkoneenkuljettajien opetussuunnitelman eri osa-alueiden opetuksessa maamme metsäkoneoppilaitoksissa. Kasvatustieteen proseminaari, Tampereen yliopisto.
- Salakari, H. & Heimonen, R. 1998. Koneellinen puunkorjuu. Helsinki: Metsälehti Kustannus.
- Salas, E., Bowers, C.&Rhodenizer, L. 1998. It is not how much you have but how you use it: toward a rational use of simulation to support aviation training. The International Journal of Aviation Psychology. (1998) 8(3), 197-208.
- Sanders, W. 2002. Collective Staff Training in a Virtual Learning Environment. US Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences. Research Report 1788. <http://www.ari.army.mil/research/> 10.1. 2004.
- Schön, D. 1988. Educating the Reflective Practitioner. San Fransisco, CA: Josey-Bass Publishers.

- Selected readings in human factors. 1990. Venturino, M. (Ed.): Santa Monica, CA. Human Factors Society. Pittsburgh, PA: Robert Glaser.
- Shute, V., Regian, W.&Gawlick-Grendell, L. 1993. Modeling Practice, Performance and Learning. In: Simulation-Based Experiential Learning. Towne, D.M., Jong, T.&Spada, H. (Eds.). Pp. 133-148. Berlin: Springer Verlag.
- Silverman, D. 2000. Doing Qualitative Research. A Practical Handbook. London: Sage Publications.
- Similarity and analogical reasoning. 1989. Vosniadou, S. ja Ortony, A. (Eds.). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Simulaatio-oppiminen henkilöstön kehittämisen välineenä. 2001. Jalava, U., Keskinen, E., Keskinen, S.&Tiuraniemi, J. (Eds.). Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskus.
- Simulation-Based Experiential Learning. 1993. Towne, D.M., Jong, T.&Spada, H. (Eds.). Berlin: Springer Verlag.
- Sinivuo, J. 1982. Lentotrainerien ja –simulaattorien sekä automaattisten opetuslaitteiden hyöty ja käyttömahdollisuudet lentäjien koulutuksessa ja valinnoissa. Siirtovaikutustutkimuksen yleiset lähestymistavat, menetelmät ja metodologiset ongelmat. Sotilaspsykologian tutkimusseloste. Pääesikunta.
- Smith, D. 2000. Simulation Technology: A Strategy for Implementation in Surgical Education and Certification. MIT Press. Presence: Teleoperators & Virtual Environments, (2000) 9(6) 632-637.
- Solodilova, I., Lintern, G.&Johnston, N. 2003. The modern commercial cockpit as a multi-dimensional, information-action workspace. In Proceedings of the 12th International Symposium on Aviation Psychology, April 14-17, 2003, Dayton, Ohio, USA
- Spector, M., Christensen, D., Sioutine, A.&McCormack, D. 2001. Models and simulations for learning in complex domains: using casual loop diagrams for assessment and evaluation. Computers in Human Behavior (2001) 17 (5-6), 517-545.
- Staggers, N.&Norcio, A. 1993. Mental models: concepts for human-computer interaction research. Int. J. Man-Machine Studies (1993) 38, 587-605.
- Stark, E. 1999. Simulation. In: Aviation Psychology. Jensen, R. S. (Ed.). Hants: Ashgate Publishing Company.
- Stewart, J., Barker, W., Weiler, D., Bonham, J.&Johnson D. 2001. Assessing the effectiveness of a low-cost simulator for instrument training for the TH-67 Helicopter. US Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences. Research Report 1780. <http://www.ari.army.mil/research/> 7.1. 2004
- Säljö, R. 2003. Technologies, knowing and the transformation of work practices: What do we need to learn? In: Tietotyö ja ammattitaito. Knowledge work and occupational competence. Kirjonen, J. (Ed.). pp 117-132. Proceedings of Northern Light Congress in Jyväskylä 29.-31.1. 2003. Jyväskylän yliopisto ja Jyväskylän koulutuskuntayhtymä.
- Tait, K. 1994. Discourse: The Design and Production of Simulation-based Learning Environments. In: Design and Production of Multimedia and

- Simulation-based Learning Material. De Jong, T. Ja Sarti, L. (Eds.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Taivalkosken metsäoppilaitos.
<http://www.taimetsoi.fi/logistiikka/logistiikkakoulutus.htm>. 3.3. 2004.
- Takano, K., Sasou, K.&Yoshimura, S. 1997. Structure of operators' mental models in coping with anomalies occurring in nuclear power plants. *Int. J. Human-Computer Studies* (1997) 47, 767-789.
- Taylor, H.& Lintern, G. 1993. Quasi-transfer as a predictor of quasi-transfer from simulator to airplane. *Journal of General Psychology*, Jul93, Vol. 120.
- Teikari, V.&Vartiainen, M. 1985. Simulaatio työtaidon kehittäjänä. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.
- Tendick, F., Downes, M., Goktekin, T., Cavusoglu, M., Feygin, D., Wu, X., Hegarty, M.& Way, L. 2000. A Virtual Environment Testbed for Training Laparoscopic Surgical Skills. Massachusetts Institute of Technology. Presence: (2000) 9(3) 236-255.
- The theory& practice of teaching. 2002. Jarvis, P. (ed.). London: Kogan Page Ltd.
- Throne, H.&Burnside, L. 2003. Integrated Training and Performance Support for the Objective Force. U.S Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences. Research Report 1801. <http://www.ari.army.mil/research/> 10.1. 2004
- Tietotyö ja ammattitaito. Knowledge work and occupational competence. 2003. Kirjonen, J. (Ed.). pp 117-132. Proceedings of Northern Light Congress in Jyväskylä 29.-31.1. 2003. Jyväskylän yliopisto ja Jyväskylän koulutuskuntayhtymä.
- Tosey, P. 2002. Experiential methods of teaching and learning. Pp. 108-122. In: . Jarvis, P. (ed.). 2002. The theory& practice of teaching. London: Kogan Page Ltd.
- Towne, D. 1993. Teaching and Learning Diagnostic Skills in a Simulation Environment. In: *Simulation-Based Experiential Learning*. Towne, D.M., Jong, T.&Spada, H. (Eds.). Pp. 149-164. Berlin: Springer Verlag.
- Towne, D. 1995. Learning and Instruction in Simulation Environments. Educational Technology Publications. New Jersey: Englewood Cliffs.
- Transfer of Learning. 1987. Cormier, S., and Hagman, J. (Eds). The Educational Technology Series, Harold F. O'Neil, Jr. (Ed). Army Research Institute Alexandria, Virginia.: Academic Press
- Tynjälä, P.1991. Kvalitatiivisten tutkimusmenetelmien luotettavuudesta. Suomen kasvatustieteellinen aikakauskirja. *Kasvatus* (1991) 22(5-6) 387-398
- Tynjälä, P. 1999. Oppiminen tiedon rakentamisena. Konstruktivistisen oppimiskäsityksen perusteita. Tampere: Tammer-paino OY.
- Vartiainen, M., Teikari, V.&Pulkkis, A. 1989. Psykologinen työnopetus. Hämeenlinna: Karisto OY.
- Venkula, J. 1993. Tiedon suhde toimintaan. Tieteellisen toiminnan ulottuvuuksia I. Helsinki: Yliopistopaino.

- Vertanen, I. 2002. Ammatillinen opettajuus vuonna 2010. Toisen asteen ammatillisen koulutuksen opettajan työn muutokset vuoteen 2010 mennessä. Tampereen yliopisto, Ammattikasvatuksen tutkimus- ja koulutuskeskus. Hämeen ammattikorkeakoulu.
- Vuosisatamme filosofia. 1986. Niiniluoto I. & Saarinen, E. (Eds.) pp 145 – 243). Juva: WSOY.
- Walker O. & Avant, K. 1988. Strategies for Theory Construction in Nursing. Second Edition. San Mateo, CA: Appleton & Lange.
- Wenger, E. 1999. Communities of practice. Learning, meaning, and identity. Cambridge: Cambridge University Press.
- Yates, B. 2000. High Tech Training of a High Tech Workforce in the Forest Industry. Article prepared for the presentation made at the Canadian Woodlands Forum 81st Annual Meeting 'Technologies for New Millennium Forestry', Session 3B 'Workforce Development and Issues', September 13, 2000, Kelowna, B.C., Canada <http://www.simlog.com/pdf/BY-DEMO2000.pdf>
30.10.2003
- Youngblut, C. 1997. Educational Uses of Virtual Reality Technology. Executive Summary. In: VR in the Schools, vol. 3(1), 1997. Greenville, North Carolina USA. <http://www.coe.edu/vr/vrits/3-1young.htm> 18.10.2003
- Äyräväinen, S. 2000. Keinotodellisuuden soveltamismahdollisuudet sotilaskoulutuksessa. Diplomityö. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.