

*LISÄLEHDET JUONTO-PROJEKTIIN:
FYSIIKAN OPETUKSEN TUTKIMUS JA
KONSTRUKTIVISMI MAATALOUS-METSÄ-
TIETEELLISEN TIEDEKUNNAN OPETUKSESSA*

Seppo Tenitz

2009

Helsingin yliopisto

MMTEK-Julkaisuja 29

ISBN 978-952-10-5847-9

ISSN 1455-4453

SISÄLLYS

1. Johdanto	3
2. Verkko-opetus	7
2.1. Verkko-opetuksen määrittely	7
2.2. Verkko-opetuksen didaktiikka	8
2.2.1. Oppimisteoriat	9
2.2.2. Oppimisenäkemykset	9
2.2.3. Pedagogiset mallit ja muuttujat	10
2.3. Fysiikan verkko-opetus	15
2.3.1. Fysiikan verkko-opetuksen perustelut	16
2.3.2. Fysiikan verkko-opetuksen toteuttamistavat	19
2.3.3. Esimerkkejä fysiikan verkko-opetuksesta aikuisopetuksessa	21
3. Konstruktivismiin perustuvat opetusmallit verkko-opetuksessa	23
3.1. Konstruktivistinen oppimisenäkemyks ja sen historia	24
3.2. Konstruktivismiin perustuva opetus	27
3.2.1. Opetuksen yleiset piirteet	27
3.2.2. Ongelmanratkaisuun perustuva opetus	31
3.3. Konstruktivismiin perustuva verkko-opetus ja verkko-oppimisympäristö	32
4. Konstruktivismiin perustuva opetus ja fysiikan oppiminen	37
4.1. Konstruktivismiin perustuvan opetuksen kritiikki	37
4.1.1. Konstruktivismiin filosofia ja fysiikan paradigmat	37
4.1.2. Konstruktivismiin perustuvan opetuksen kokeellinen tausta	39
4.1.3. Tavoitteiden asettelu konstruktivismiin perustuvassa opetuksessa	41
4.1.4. Konstruktivismiin perustuvan opetuksen tehokkuus	43
4.1.5. Sosiaalisen kontekstin korostus konstruktivismiin perustuvassa opetuksessa	46
4.2. PER ja konstruktivismiin perustuva opetus	51
5. Näkökohtia fysiikan verkko-opetuksen kehittämiseksi	54
6. Päätelmät	57
7. Kirjallisuusluettelo	62

1. JOHDANTO

Kasvatustieteen eli pedagogiikan lähtökohtina opetuksen tutkimisessa ovat oppija, oppimisyhteisö ja oppimisympäristö. Kasvatustiede painottaa tutkimuksessaan oppijan tiedon hankintaa ja tietorakenteita ja mm. sitä, miten niihin voidaan vaikuttaa. Fysiikan opetusta kehittävässä tutkimuksessa ovat mukana oppijan tiedon hankkimisen ja oppimisen ongelmien lisäksi myös fysiikan rakenteellisuudesta nousevat kysymykset (Kurki-Suonio ja Kurki-Suonio 1998). Fysiikan opetuksen tutkimuksella (physics education research, PER) tarkoitetaan fysiikan ymmärtämisen ja oppimisen ohjauksen kysymyksiin suuntautunutta fysiikan aluetta. Kyseinen käsite on erotettava fysiikan didaktiikasta, mikä on kasvatustiedettä sovellettuna fysiikan opetukseen. PERin tavoitteena on olemassa olevien opetusmenetelmien parantaminen ja uusien menetelmien kehittäminen kokeellista tietä fysiikan opetuksen käyttöön (van Aalst 2000).

Kasvatustieteellinen tutkimus ja didaktiikka perustuvat humanistis-yhteiskuntatieteelliseen tieteenperinteeseen, missä käsitys tiedosta on erilainen kuin luonnontieteen ja tekniikan tietokäsitys. Luonnontieteilijä tarkoittaa tiedolla faktojen verkostoa, missä tiedon lisääntyminen tapahtuu evidenssin eikä koskaan näkemysten muotoilemisen tai lähdekritiikin kautta. Luotettavasti havaittu ja raportoitu ilmiö on osa luonnontieteen rakenteita, eikä sen oikeellisuutta sen vuoksi ole tarpeellista epäillä. Luonnontieteilijä tai insinööri on siksi taipuvainen omaksumaan ja opettamaan tietoa muillekin ulkopuoliselta auktoriteetilta saatuna faktana. Tiedon kyseenalaistamiselle ja omien mielipiteiden muodostamiselle tiedosta on heidän opetuksessaan vähemmän tilaa kuin tiedon tulkintaan ja yhdistelyyn osaksi perustuvilla aloilla, kuten kasvatustieteessä.

Kasvatustieteessä tällä hetkellä vallitsevat oppimisenäkemykset painottavat oppijan omaa ymmärrystä ja tulkintoja tiedosta sekä oppimisen sosiaalisen ympäristön huomioon ottamista opetuksessa (Enkenberg 2000). Fysiikan opetukselle taas on leimallista implisiittinen tavoite tiedon omaksumisesta sellaisenaan, ja sen omakohtainen tulkitseminen noviisivaiheessa vain mahdollisimman vähäisessä määrin. Oppimisen ohjaajan episteeminen auktoriteetti on siksi oppijan ennakkotietojen ja -käsitusten huomioon ottamisen lisäksi keskeisessä asemassa fysiikan ja muunkin luonnontieteen opetuksessa. Tämä tekee fysiikan opetuksesta kasvatustieteen näkökulmasta katsoen vähemmän edistyksellistä kuin mitä opetus joissakin muissa oppiaineissa saattaa nykyisin olla. Omaksuttavan tiedon luonne saattaa myös vähentää kollaboratiivisuuden ja neuvotteluihin

perustuvan oppimisen käyttökelpoisuutta fysiikan opetuksessa, jos tilannetta verrataan tilanteeseen muissa oppiaineissa. Kollaboratiivisuudella eli yhteisöllisyydellä tarkoitetaan silloin työskentelytapaa, minkä tavoitteena on ilmiön selittäminen tai ongelman ratkaiseminen keskustelujen ja pohdinnan avulla ryhmässä. Fysiikassa ja muussa luonnontieteessä ulkoisen maailman antama fysikaalinen palaute toimii ongelmien ja kiistakysymysten ratkaisijana keskusteluissa saavutettavan konsensuksen sijasta.

Oppimisella tarkoitetaan luonnontieteessä sitä, että jokin ulkomaailman tapahtuma aktivoi yksilön aivoissa niitä hermosoluja, jotka ovat geenien ohjaamina kykeneviä tietynlaisen informaation vastaan ottamiseen. Oppimisessa näihin soluihin liittyvien geenien ilmentyminen ja solujen välisten synapsien toiminta muuttuu tuottaen aivoihin muistijäljen. Fysiikan opetuksessa mielekkäät menettelytavat saavat perustelunsa tästä mekanismista siten, että opetusikäntöjen on perustuttava ihmisen käyttäytymisen ja mielen toimintojen luonnontieteellisesti hyväksyttäviin selityksiin. Opetuksen tutkimuksen tärkeäksi lähtökohdaksi nousee sen ohessa ihmisen tapa oppia asioita yksilöiden välisessä vuorovaikutuksessa toisin kuin mitä useimpien muiden eläinten oppimisessa tapahtuu. Ihmisen kulttuurievoluutioon perustuvassa oppimistavassa ihmisyksilöt haluavat sekä tarkoituksellisesti opettaa jälkikasvulleen omaa osaamistaan että myös odottavat saavansa opetusta vanhemmilta lajikumppaneiltaan. Oppiminen opetuksesta tekee siinä mahdolliseksi sekä yksilöiden hankkiman tiedon yleistymisen ihmisyyhteisöjen sisällä että tiedon siirtymisen perinnetietona sukupolvien välillä. Tämä oppimistapa on selvästi tehokkaampi tapa hankkia tietoa kuin mitä yhteen yksilöön rajoittuvat toisten matkiminen tai yritykseen ja erehdykseen perustuva oppiminen ovat. Etenkin jälkimmäistä oppimistapaa on silti eri muodoissa tarjottu aika ajoin muiden opetuksesta oppimisen korvaajaksi usein huonolla menestyksellä (s. 45).

Instruktiivisen opetuksen arvo ihmisen kasautuvan kulttuurin perustassa on viime vuosina kyseenalaistettu erityisesti sosiaalipsykologian niin sanotun sosiaalisen konstruktivismin oppisuuntaan tukeutuvien tutkijoiden ja opettajien piirissä. Tätä lähestymistapaa luonnehtivat mm. ryhmäjäsenyyden ja sosiaalisen identiteetin ensiarvoisuuden korostus tiedon muodostuksessa sekä postmoderniin filosofiaan johtuvat valta- ja riippuvuussuhteista vapautumisen ja tiedon relativistisuuden korostus. Lähestymistavan väitetty paremmuus muihin lähestymistapoihin verrattuna opetuksessa on kuitenkin kiistanalainen, ja käsityksen sen tehokkuudestakin oppimisessa on arvioitu perustuvan lähinnä anekdotaaliseen näyttöön (s. 40). Moni opettajien kouluttajakin hyväk-

syy silti tällä hetkellä opetuksen tärkeimmäksi tavoitteeksi postmodernin näkemyksen oppijan kehittymisestä itsesäätelväksi, yhteistyökykyiseksi ja tietoa jatkuvasti uudelleen jäsentäväksi yksilöksi asiatietojen oppimisen sijasta (esim. Kuhn 2007).

Opetusta koskevan konsensusmallin mukaan korkean tason osaamiseen liittyvien taitojen oppiminen edellyttää kuitenkin vankkaa asiantiedollista pohjaa (National Research Council 2004, s. 30-31). Fysiikassa tällainen pohja on yleensä pyritty luomaan opettajajohtoisesti luennoinnin, harjoitustöiden ja laskuharjoitusten avulla instruktiivista opetustapaa käyttämällä. Fysiikan perinteisen opetustavan on toisaalta fysiikan opettajienkin keskuudessa jo kauan sanottu olevan alan oppimisen kannalta tehottoman ja usein toteutustavoiltaan vanhentuneen (Kurki-Suonio ja Kurki-Suonio 1994, s. 4-5; McDermott ja Redish 1999; McDermott 2001; Hake 2002; Gerace ja Beatty 2005). Tapaa kohtaan esitetty kritiikki löytää perustelunsa mm. Haken (1998) laajasta meta-analyysistä, mikä osoitti selkeän eron PERin kokeellisuusperusteisia opetusmenetelmiä myötäilevien mekaniikan kurssien ja vastaavien perinteisesti toteutettujen kurssien oppimistulosten välillä edellisten kurssien eduksi. Yli 6000 opiskelijaa eri tasoista Yhdysvaltain oppilaitoksista kattaneen analyysin perusteella perinteisen opetustavan vaikutus mekaniikan käsitteiden ymmärtämiseen oli lähes riippumaton opettajien koulutuksesta, innostuneisuudesta, opiskelijoista ja oppilaitoksesta. Tämä tutkimus on havahduttanut monet fysiikan opettajat huomaamaan, että laajakaan fysiikan tietämys yksin ei näytä tuottavan opetukseen lisäarvoa alan vakiintuneita opetusmenetelmiä käytettäessä. Oppimiseen sitouttaminen ja opetuksen vuorovaikutteisuuden lisääminen ovat vastaavien havaintojen perusteella ne tärkeimmät keinot, joilla fysiikan opetusta on pyritty PERin viitekehyksessä uudistamaan. Vuorovaikutteisuuden ja harkittuun oppimisympäristöön perustuva verkko-opiskelun voi sen pohjalta tarjota monille oppijoille vaihtoehdoisen keinon fysiikan opiskelemiseksi mielenkiintoa herättävällä tavalla. Tieto- ja viestintäteknikan kehittyneisyys tekee nykyisin mahdolliseksi vuorovaikutteisuuden toteutumisen opiskelussa muillakin tavoin kuin lähiopetuksessa, mihin tavanomainen opiskelu perustuu.

Toisin kuin usein esimerkiksi perinteisessä luento-opetuksessa, oppija on tietoverkossa tapahtuvassa verkko-opetuksessa aina aktiivinen toimija. Tietoverkon luonteesta johtuvan jatkuvan näytön vaatimuksen ja pääasiassa kirjallisen esitystavan vuoksi muu kuin osallistuva verkko-opiskelu ei liene käytännössä edes mahdollista. Tämä verkko-opiskelun piirre merkitsee jo itsessään muutosta oppijan passiiviseen rooliin perustuneeseen perinteiseen opetustapaan verrattuna. Tämä

muutos vaatii siksi opettajilta uudenlaista osaamista, paitsi verkko-opetuksen, myös sitä usein tukevan tavanomaisen lähiopetuksen toteuttajina. Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisessä tiedekunnassa toteutettu opetuksen kehittämishanke (Juonto) vuosina 1998-2002 avasi opettajakunnan silmiä katsomaan opetustaan uudella tavalla myös ihmistieteellisestä näkökulmasta katsoen. Hanke vaikutti tiedekunnassa voimakkaasti monien opettajien oppimista koskeviin käsityksiin, mutta se antoi opettajille puutteellisen kuvan niistä menetelmistä, joita tiedekunnan monien oppiaineiden opetuksessa voitaisiin käyttää. Lähtökohdiltaan sosiaaliseen konstruktivismiin suuntautuvana (Levander ja Repo-Kaarento 2002; Repo-Kaarento 2006, s. 22) ja niukan oppiainelähtöisyytensä vuoksi hankkeen tarjoama tieto opetusmenetelmistä oli vain osaksi käyttökelpoista luonnontieteellis pohjaisten oppiaineiden opetuksessa.

Konstruktivismiin perustuvien opetusmenetelmien soveltuvuutta luonnontieteen ja matematiikan opetukseen on viime vuosina kritisoitu paljon hyvin erilaisilla perusteilla (mm. Solomon 1994; Osborne 1996; Phillips 1995; Anderson ym. 2000; Jenkins 2000; Fox 2001; Keeves 2002; Matthews 2002; Terhart 2003; Mayer 2004; Kirschner ym. 2006; Sweller ym. 2007). Esitetty kritiikki liittyy opetuksen saralla laajempaan keskusteluun, minkä näkyvimpänä osana pidetään median julkisuuskynnyksenkin ylittänyttä Sokalin tapausta vuonna 1996. Fyysikko Alan Sokal paljasti silloin *Social Text* -aikakauslehdessä julkaistun artikkelinsa olleen luonnontieteen sosiokonstruktivistiseen käsittelyyn ja postmoderniin relativismiin kohdistuneen parodian. Tapauksesta kehkeytyi tieteiden sodaksi nimitetty kiista, minkä jälkimainingit vellovat eri aloilla yhäkin korkeina (Kupiainen 1997; Tammisalo 2002; Kirschner ym. 2006; Kuhn 2007). Postmodernin ajattelun ja luonnontieteen näyttöön perustuvan lähestymistavan välinen jännite on kritiikin pohjalta ollut tämänkin tutkimuksen tärkein virike. Tutkimuksen tavoitteena on ollut selvittää sosiaaliseen konstruktivismiin ja PERiin perustuvan opetuksen erot ja yhtäläisyydet ja se, missä määrin konstruktivistinen oppimisenäkemyks on otettava huomioon opetuksen kokeelliseen kehittämiseen perustuvassa fysiikan opetuksessa. Toinen tutkimuksen alkuun saattaja on ollut Opetushallituksen vuonna 2004 asettaman työryhmän laatima toisen asteen ja aikuiskoulutuksen virtuaaliopetuksen kehittämisen- ja vakiinnuttamissuunnitelma. Suunnitelman pääkohtina ovat näkemys siitä, että verkko-opetuksen kehittämisessä on kysymys ennen kaikkea verkkopedagogiikan kehittämisestä, ja se visio, että jokaisella tutkinto-opiskelijalla olisi mahdollisuus saada laadukasta verkko-opetusta osana opiskeluaan (Opetushallitus 2005). Tutkimuksen tavoitteena oli tälle visiolle yhdenmukaisen Helsingin yliopiston verkko-opetusstrategian pohjalta hankkia taustatietoa erityisesti maata-

lous-metsätieteellisen tiedekunnan fysiikka I- ja fysiikka II -kurssien toteuttamiseksi verkkokursseina. Tutkimuksesta laadittu tämä kirjallisuusselvitys on aiheensa laajan käsittelytavan kautta tarkoitettu palvelemaan tutkimusperusteisen opetuksen suunnittelua tiedekunnassa yleisesti.

2. VERKKO-OPETUS

2.1. Verkko-opetuksen määrittely

Verkko-opetuksella tarkoitetaan opetusta, mikä tapahtuu virtuaalisia oppimisympäristöjä hyväksi käyttäen. Virtuaalinen oppimisympäristö on Internet- tai intranetverkon (jatkossa mikroverkon), sivusto, mikä tarjoaa opettajille ja/tai oppijoille opiskelussa tarvittavan yhteisen työskentelytilan. Verkko-opetus voidaan toteuttaa joko lähiopetuksena, jolloin oppijat ja opettaja ovat samaan aikaan läsnä esim. ATK-luokassa, tai etäopetuksena, jolloin oppijat suorittavat tehtäviä omalta tietokoneeltaan käsin. Toteutuksina tulevat kysymykseen myös erilaiset sekä lähi- että etäopetusta sisältävät opetusmuodot, jolloin puhutaan monimuoto- tai verkkoavusteisesta opetuksesta.

Oppimisympäristöllä tarkoitetaan toimintaympäristöä, mikä tarjoaa kognitiivisia resursseja oppimisen tueksi. Kognitiiviset resurssit ovat apuvälineitä, joilla opiskelija mallintaa ympäristöönsä omaa ajatteluprosessiaan tukevalla tavalla. Yleisesti käytössä olevia virtuaalisia oppimisympäristöjä ovat esimerkiksi WebCT-, Moodle- ja Fle3-oppimisalustat. Muita oppimisympäristöjä ovat esimerkiksi luokkahuoneet, laboratoriot, kirjastot, luentosalit ja Internet. Oppimisympäristön muodostavat oppijat, opettaja(t) ja ympäristön fyysiset puitteet sekä käytettävissä oleva tieto ja menetelmät tiedon hankkimiseksi. Virtuaalinen oppimisympäristö voi muodostua esimerkiksi erilaisista hypertekstin ominaisuuksia hyödyntävistä aineistoista, hypermediasta ja eri- tai samanaikaisen vuorovaikutuksen mahdollistavista välineistä. (Lappi 2007)

Taulukossa 1 on luonnehdittu verkko-opetusta sen perusteella, kuinka suuri osa opetuksesta perustuu mikroverkon resurssien käyttöön. Varsinaisesta verkko-opetuksesta voidaan puhua taulukon tason 4 opetuksesta lähtien, mistä tasosta alkaen kurssia ei voida läpäistä ilman mikroverkon tapahtuvaa työskentelyä. Tässä tutkimuksessa verkko-opetuksella tarkoitetaan tasojen 4-6 mukaista opetusta.

Taulukko 1. Verkko-opetuksen jaottelu mikroverkon hyödyntämistason perusteella (Riski 2003)

	Verkko-opetuksen luonne	Kuvaus
0	Verkko-opetusta ei hyödynnetä lainkaan	Internetissä ei ole kurssista mitään informaatiota.
1	Informationaalinen	Kurssin perustiedot, kuten opettajien yhteystiedot sekä kurssirunko ovat saatavilla Internetissä. Informaatio on staattista ja hyvin helposti yllä pidettävää.
2	Täydentävä	Osa kurssin opetusmateriaalista, kuten luentokalvot tai opiskelijoiden esitelmät, ovat saatavilla Internetissä. Opiskelijat etsivät Internetistä kurssin läpäisemistä helpottavaa materiaalia sekä ohjatun opetuksen yhteydessä että sen ulkopuolella.
3	Edellyttävä	Kurssin läpäiseminen ilman säännöllistä Internetissä sijaitsevassa kurssijärjestelmässä käyntiä on hankalaa. Kaikki kirjallinen kurssimateriaali, tai ainakin suurin osa siitä, on saatavilla Internetissä.
4	Yhteisöllinen	Kurssilaiset tapaavat sekä fyysisesti että Internetin välityksellä. Internetin kautta kommunikointi on kurssin arvostettava osa.
5	Primaarinen	Kurssin opiskelijat voivat käyttää Internetiä primaarisena kurssille osallistumisen välineenä. Fyysisiä kurssitapaamisia on vain muutamia. Kurssin voi läpäistä kommunikoimalla pelkästään Internetin välityksellä.
6	Täydellinen	Kurssin opetus ja kommunikaatio tapahtuvat pelkästään Internetin välityksellä. Kurssin opiskelijat voivat olla fyysisesti missä tahansa. Kurssin opettajat ja ylläpitäjät ovat osa isoa virtuaaliopetusyhteisöä.

2.2. Verkko-opetuksen didaktiikka

Ainedidaktiikalla tarkoitetaan oppiaineen opetusoppia, eli tietoa siitä, millä keinoin ja mitä muotoja noudattaen oppiaineen sisältöä opetetaan. Didaktiikka yleisesti on tiede, mikä tutkii opetusta ja pyrkii löytämään opetuksen ja oppimisprosessin lainmukaisuudet ja rakentamaan niistä kokonaisvaltaisen opetuksen teorian (Nevgi ja Lindblom-Ylänne 2004a). Verkkodidaktiikka didaktiikan osana tutkii verkko-oppimisympäristössä toteutettua opetusta, opetusmenetelmiä ja opetussuunnitelmia, verkkokurssien rakenteita ja pedagogisia ratkaisuja (Nevgi ym. 2004). Verkko-oppimisprosessin kokonaisvaltaista teoriaa ei ole olemassa, ja asiaa on käsitelty kirjallisuudessa vain vähän (Nichols 2003).

2.2.1. *Oppimisteoriat*

Nevgi ja Linblom-Yläne (2004b) määrittelevät oppimisen teorian tieteelliseksi teoriaksi, millä selitetään oppimista, ja mikä perustuu tieteelliseen tutkimukseen. Määritelmän tarkastelussa on huomattava, että käsite teoria ei ole kasvatustieteessä ja kognitiotieteessä yhtä kattava kuin mitä se on aina fysiikassa. Fysiikassa teorialla tarkoitetaan jotakin asiaa koskevan tiedon hierarkian korkeinta tasoa, mikä rakentuu suppeahkojen asiaan liittyvien mallien pohjalle. Teoria, kuten atomiteoria, on fysiikassa aina selitysvoimainen ja laajaan kokeelliseen näyttöön perustuva. Kasvatustieteessä ja kognitiotieteessä teoria-käsite (usein ”viitekehys”) vastaa fysiikan malli-käsitettä, ja se kuvaa yleensä pienehköä joukkoa ilmiöitä, joiden tuottama kuva asiasta on epätäydellinen (Redish 2004). Käsitteiden toisistaan erottamista fysiikan kannalta haittaa se, että malli-käsitettä käytetään didaktiikassa vuorovaikutuksen malleista (so. oppimis- ja opetusmenetelmistä) puhuttaessa myös merkityksessä, mikä lähenee fysiikan malli-käsitettä.

Oppimisteoriat voidaan jakaa behavioristisiin, kehityksellisiin ja kognitiivisiin oppimisteorioihin sen näkökulman perusteella, miten ne pyrkivät ymmärtämään ja selittämään ihmisen oppimista ja tiedon hankintaa. Behaviorististen oppimisteorioiden katsotaan selittävän ihmisen käyttäytymistä sen perusteella, miten hän toimii, kehitysteorioiden painottavan tarkasteluissaan ihmisessä ajan kuluessa tapahtuvia muutoksia ja kognitiivisten teorioiden (ja kognitiotieteen) käsittelevän tietämiseen liittyviä kysymyksiä aivojen informaationkäsittelyn ja tiedon esittämistapojen pohjalta. Heller (1999) jakaa kokeelliseen näyttöön perustuvat oppimisteoriat tämän yleisjaon perusteella behavioristisiin ja kehityksellisiin oppimisteorioihin sekä kognitiivisten teorioiden sijasta kognitiiviseen mallioppimiseen (cognitive apprenticeship). Kognitiivisessa mallioppimisessa tarkastelunäkökulmana on asiantuntijan työskentelyn kognitiivinen mallintaminen opettajan ja oppijan välisessä vuorovaikutuksessa.

2.2.2. *Oppimisenäkemykset*

Oppimisen teoria on käsitteenä rajatumpi kuin sille läheinen käsite oppimisenäkemyks, mihin saattaa liittyä tieto-opillisia, maailmankatsomuksellisia tai ihmisen perusolemusta koskevia näkemyksiä (Nevgi ja Linblom-Yläne 2004b). Erilaiset oppimis- ja opetusmenetelmät liittyvät siksi yleensä oppimisenäkemyksien kautta hierarkkisesti ontologisiin ja epistemologisiin taustaoletuk-

siin. Oppimisenäkemyksiä on Nevgin ja Lindblom-Ylanteen mukaan valtava määrä, ja niistä tunnetuimpia ovat mm. behavioristinen, kognitivistinen ja konstruktivistinen oppimisenäkemys. Oppimisenäkemys on käsitteenä erotettava oppimiskäsityksistä, mitkä tarkoittavat toimijoiden henkilökohtaisia käsityksiä oppimisesta (Nevgi ja Lindblom-Ylänne 2004b). Oppimisympäristön ohella oppimiskäsitysten voidaan katsoa käytännössä ohjaavan oppimista ja opettamista sekä käytettävien opetusmenetelmien suunnittelua.

2.2.3. Pedagogiset mallit ja muuttujat

Andersonin (2004) mukaan oppimisen teorian on perustuttava pedagogisen mallin rakentamiselle, missä määritellään mm. oppimisprosessissa vaikuttavat muuttujat ja niiden väliset suhteet. Verkko-oppiminen ei itsessään ole mikään pedagoginen malli, kuten esimerkiksi kognitiivinen mallioppiminen jo itsessään on. Verkko-oppiminen voidaan sen sijaan määrittellä yleisesti informaatioteknologian soveltamiseksi olemassa olevien pedagogisten mallien ja oppimisen teorioiden yhteydessä. Niin ollen se on ensisijaisesti keino, minkä avulla pedagogiset mallit voidaan tuoda opetukseen ja opiskeluun mukaan (Silander 2003).

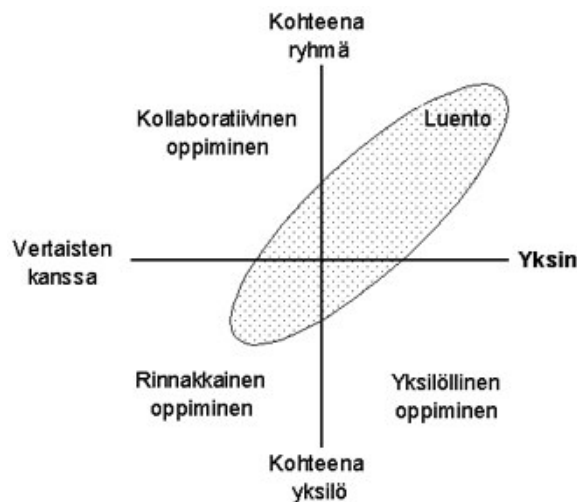
Ausubel (1978) on jaotellut oppimisen päätyypeihin käyttäen kahta ulottuvuutta, mitkä ovat vastaanottava oppiminen vs. keksivä oppiminen ja mielekäs oppiminen vs. merkityksetön oppiminen. Ulottuvuuksista ensimmäinen mittaa sitä, missä määrin opetuksessa opitaan valmiita tietoja, vai ratkaisevatko oppijat itsenäisesti oppisisältöön liittyviä ongelmia. Jälkimmäisessä ulottuvuudessa on kysymys siitä, onko opittava aines oppijalle tärkeää vai, toisessa ääripäässä, täysin yhdentekevää. Engeström (1981) määrittelee mielekkään oppimisen aktiiviseksi ja tietoiseksi toiminnaksi, minkä avulla ihminen pyrkii ratkaisemaan ongelmia ja saavuttamaan ympäristönsä ja tehtäviensä aikaisempaa korkeatasoisemman hallinnan. Mielekkäessä oppimisessa oppija, paitsi muistaa oppimansa, myös ymmärtää sen ja pystyy soveltamaan sitä uusissa tilanteissa opetustavasta riippumatta.

Taulukko 2. Merkityksellisen oppimisen kriteerit (Mannisenmäki 2000 lyhentäen)

Merkityksellisen oppimisen kriteeri	Kriteerin kuvaus
Aktiivisuus	Oppijat ovat sitoutuneet tietoisesti oppimisprosessiin, jossa tietoa käsitellään ja jonka tuloksista oppijat ovat itse vastuussa.
Konstruktivisuus	Oppijat mukauttavat uudet ideat aikaisempiin tietoihinsa rakentaakseen uutta tietoa.
Yhteisöllisyys	Oppijat työskentelevät oppimis- ja tiedonrakentamisyhteisössä käyttäen hyväkseen jokaisen tietoja ja taitoja rakentaakseen uutta tietämystä.
Intentionaalisuus	Oppijat yrittävät aktiivisesti ja innokkaasti saavuttaa kognitiivisia tavoitteita.
Vuorovaikutteisuus	Oppiminen on sosiaalinen ja dialoginen prosessi, jossa oppijat hyötyvät toistensa tiedoista ja laajentavat käsityksiään opittavasta asiasta yhdessä muiden kanssa.
Kontekstuaalisuus	Oppimistehtävät sijaitsevat mielekkäissä todellisen elämän tilanteissa tai ne on simuloitu esimerkiksi jonkin ongelmapohjaisen oppimisympäristön kautta.
Reflektiivisyys	Oppijoilla on valmiudet ymmärtää ja arvioida omaa oppimistaan ja oppimistuloksiaan sekä ohjata ja muuttaa omaa oppimistaan.
Siirrettävyys	Oppijat osaavat siirtää tietystä tilanteesta tai kontekstista oppimansa johonkin toiseen tilanteeseen tai kontekstiin. He osaavat myös käyttää näitä aiemmin oppimiaan asioita uusissa tilanteissa.

Jonassen (1995, 1999) on Ausubelin (1968) pohjalta määritellyt joukon mielekkään oppimisen kriteereitä, jotka ovat eräs vaihtoehto oppimisprosessissa vaikuttaviksi muuttujiksi. Jonassenin (1999) esittämät kriteerit mielekkäälle oppimiselle teknologiapohjaisissa ympäristöissä ovat aktiivisuus, konstruktivisuus, intentionaalisuus, yhteistoiminnallisuus (co-operationality), reflektiivisyys ja autenttisuus. Autenttisuudella Jonassen tarkoittaa oppimisen kontekstuaalisuutta ja siihen liittyvää opittavan sisällön monimutkaisuutta. Jonassenin kriteerit perustuvat situationaaliiseen oppimisenäkemykseen (Nevgi ym. 2004), minkä mukaan toiminnan ja oppimisen mahdollisuuksia ei voida kuvata erillään oppimistilanteesta ja -ympäristöstä. Mannisenmäki (2000) on käyttänyt mielekkään oppimisen kriteereistä nimitystä merkityksellisen oppimisen kriteerit, ja hän on lukenut niihin mukaan myös Ruokamon ja Pohjolaisen (1999) esittämän oppimisen siirto-vaikutuksen (taulukko 2).

Myös Chang ja Simpson (1997) ovat tarkastelleet oppimista nelikentässä, mikä heidän tapauksessaan määrittelee neljä oppimiskategoriaa (yksilöllinen oppiminen, luento, rinnakkainen oppiminen, kollaboratiivinen oppiminen) opetustapojen määrittelyn perustaksi (kuva 1). Rinnakkaisella oppimisella kirjoittajat tarkoittavat oppimistapoja, missä oppijat työskentelevät ryhmässä omien päämääriensä saavuttamiseksi ilman, että heillä on yhteisiä oppimistavoitteita ja -tuloksia. Erilaiset oppimis- ja opetusmenetelmät voidaan Changin ja Simpsonin nelikentässä kuvata oppimiskategorioita täsmentävien määreiden avulla, mitkä määreet ovat ihmisten välinen ulottuvuus, oppimisen ympäristö, hankittavan tiedon sisältö, teknologinen tuki ja sosiologiset ulottuvuudet (taulukko 3). Verkko-opetuksen eri toteutustavat voidaan puolestaan määritellä kentässä oppimiseen käytettävän teknologisen tuen toteutustapojen avulla, mitkä on jaottelussa erotettu muusta oppimisympäristöstä erilleen. Tämän nelikentän etuna esimerkiksi Jonassenin (1999) esittämiin oppimiskriteereihin verrattuna on lisämääreidenkin implisiittinen järjestysasteikollisuus omissa ulottuvuusakseleissaan sekä muuttujien konkreettisuus ja helpompi mitattavuus (taulukko 3). Tämä sallii oppimisympäristöjen määrittelemisen kvantitatiivisesti myös vuorovaikutteisina järjestelminä erilaisten aktiviteettien tai oppimiseen vaikuttavien tekijöiden suuruusarvioinnin sijasta. Fysiikassa tällainen, tiedon kvantifiointiin ja rakenteellistamiseen perustuva, lähestymistapa on luontevampi kuin Jonassenin ja Ausubelin edustama sanallisempi tiedon kuvaustapa.



Kuva 1. Vastaanottavaan oppimiseen perustuva luokkaopetus (Chang ja Simpson 1997).

Taulukko 3. Oppimista täsmentävät muuttujat Changin ja Simpsonin (1997) nelikentässä.

	Luento	Yksilöllinen oppiminen	Rinnakkainen oppiminen	Kollaboratiivinen oppiminen
Ihmisten välinen ulottuvuus	kuunteleva	omiin ajatuksiin kohdistuva	osallistuva	yhteistoiminnallinen
Oppimisen ympäristö	puhujan kognitiiviseen tempoon rajoittuva	itsesäädellyt sisäiset ja ulkoiset prosessit	avoin foorumi kilpaileville prioriteeteille ja arvoille	yhteisille tavoitteille perustuva konsensushakuisuus
Hankittavan tiedon sisältö	puhujan vastaanottajille ilmoittama tieto	aiheen reflektiivinen yhdentymisen tiedoksi	oman tiedon generointi muiden perspektiivissä	jaettuihin arvoihin perustuva ryhmän konsensus
Teknologinen tuki	simulcasting, nauhoitetut videot	vuorovaikutteinen multimedia	pääteneuvottelu	ryhmän päätöksentekoa tukevat järjestelmät
Sosiologiset ulottuvuudet	puhujan auktoriteetti, autokratia	itsekunnioitus, autonomia	keskinäinen kunnioitus, tasa-arvoisuus	jaetut arvot, yhteisöllisyys

Coomey ja Stevenson (2001) ovat käyttäneet hyvin samanlaista tapaa kuin Chang ja Simpson (1997) suoraan verkko-opetuksessa vaikuttavien tekijöiden tarkastelussa. Heidän tarkastelutapansa perustuu havaintoon, minkä mukaan useimmat verkkokurssit voidaan sijoittaa nelikenttään opettajajohtoinen vs. oppijakeskeinen ja avoin (open-ended) tai strateginen oppiminen vs. osoitetut oppimistoiminnot -akseleilla (taulukko 4). Verkko-opetusta voidaan heidän mukaansa luonnehtia kussakin nelikentän neljänneksessä viiden muuttujan avulla, jotka ovat keskustelu (K), osallistuminen (involvement, I), tuki (T), sääätely (S) ja opettajan rooli (O). Coomeyn ja Stevensonin tarkastelutapaan liittyvät edut Jonassenin (1999) määritelmiin verrattuna ovat samat kuin Changin ja Simpsonin nelikentässä, minkä muuttujat voitaisiin yhdistää Coomeyn ja Stevensonin käyttämiin muuttujiin niitä täydentämään.

Taulukko 4. Verkko-opetuksen nelikenttä Coomeyn ja Stevensonin (2001) mukaan. *Oikea yläneljännes*: opettaja osoittaa oppimistehtävät ja oppimisen päätavoitteet. Oppijat valitsevat itse työskentelytapansa. *Vasen yläneljännes*: opettaja määrittelee tarkoin toiminnan ja sen tulokset sekä verkkomateriaalin sisällön ja tehtävien aikataulun. Oppijan oma-aloitteisuus on mahdollista vain tarkoin valvotuissa tilanteissa. *Vasen alaneljännes*: opettaja määrittelee toiminnan pääsuuntaviivat, tulokset, toiminnan tarkoituksen, toiminta-alueen ja toiminnan tason, tai ne määräytyvät annetun tehtävän mukaisesti. Oppijat etsivät käsiinsä ja käyttävät hyödyksi mitä tahansa aineistoa, mikä soveltuu annettuun tehtävään. Tämän alkuvaiheen jälkeen oppijat jatkavat työskentelyään vähemmän kontrolloidusti. *Oikea alaneljännes*: oppija ohjaa itse oppimistaan ja päättää sen päämääristä ja tuotoksista.

Osoitetut oppimistoiminnat							
Opettajajohtoinen	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> K: Opettaja ohjaa keskustelua ja vuorovaikutusta I: Oppija vaikuttaa sisältöön harvoin T: Vain opettaja (sähköposti tai aikataulun mukaiset tapaamiset) S: Opettaja päättää materiaaleista ja aikarajoista O: Ohjaaja </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> K: Opettaja päättää yleisistä vastuista I: Tehtäväkohtaiset oppijakeskeiset ryhmät T: Tutor antaa tietoa tehtävien luonteesta S: Oppija johtaa tehtäviä (eri lähteitä) O: Valmentaja </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: middle; text-align: center;">Oppijakeskeinen</td> <td> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> K: Opettajan johtamia ja oppijakeskeisiä osia I: Useimmiten omia tehtäviä verkkomateriaaleista T: On-line tai satunnaisesti kasvokkain S: Opettaja kontrolloi määriteltyjä tavoitteita ja toimintoja O: Opas </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> K: Itsesäädelyä tai vertaisryhmäohjautunutta (monia vaihtoehtoja) I: Täydellinen osallistuminen oppimistoimintoihin T: Opettaja pysyttelee taustalla, palaute S: Opettaja määrittelee tavoitteet ja tuotokset O: Helpottaja </td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> K: Opettaja ohjaa keskustelua ja vuorovaikutusta I: Oppija vaikuttaa sisältöön harvoin T: Vain opettaja (sähköposti tai aikataulun mukaiset tapaamiset) S: Opettaja päättää materiaaleista ja aikarajoista O: Ohjaaja 	<ul style="list-style-type: none"> K: Opettaja päättää yleisistä vastuista I: Tehtäväkohtaiset oppijakeskeiset ryhmät T: Tutor antaa tietoa tehtävien luonteesta S: Oppija johtaa tehtäviä (eri lähteitä) O: Valmentaja 	Oppijakeskeinen	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> K: Opettajan johtamia ja oppijakeskeisiä osia I: Useimmiten omia tehtäviä verkkomateriaaleista T: On-line tai satunnaisesti kasvokkain S: Opettaja kontrolloi määriteltyjä tavoitteita ja toimintoja O: Opas </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> K: Itsesäädelyä tai vertaisryhmäohjautunutta (monia vaihtoehtoja) I: Täydellinen osallistuminen oppimistoimintoihin T: Opettaja pysyttelee taustalla, palaute S: Opettaja määrittelee tavoitteet ja tuotokset O: Helpottaja </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> K: Opettajan johtamia ja oppijakeskeisiä osia I: Useimmiten omia tehtäviä verkkomateriaaleista T: On-line tai satunnaisesti kasvokkain S: Opettaja kontrolloi määriteltyjä tavoitteita ja toimintoja O: Opas 	<ul style="list-style-type: none"> K: Itsesäädelyä tai vertaisryhmäohjautunutta (monia vaihtoehtoja) I: Täydellinen osallistuminen oppimistoimintoihin T: Opettaja pysyttelee taustalla, palaute S: Opettaja määrittelee tavoitteet ja tuotokset O: Helpottaja
<ul style="list-style-type: none"> K: Opettaja ohjaa keskustelua ja vuorovaikutusta I: Oppija vaikuttaa sisältöön harvoin T: Vain opettaja (sähköposti tai aikataulun mukaiset tapaamiset) S: Opettaja päättää materiaaleista ja aikarajoista O: Ohjaaja 	<ul style="list-style-type: none"> K: Opettaja päättää yleisistä vastuista I: Tehtäväkohtaiset oppijakeskeiset ryhmät T: Tutor antaa tietoa tehtävien luonteesta S: Oppija johtaa tehtäviä (eri lähteitä) O: Valmentaja 						
Oppijakeskeinen	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> K: Opettajan johtamia ja oppijakeskeisiä osia I: Useimmiten omia tehtäviä verkkomateriaaleista T: On-line tai satunnaisesti kasvokkain S: Opettaja kontrolloi määriteltyjä tavoitteita ja toimintoja O: Opas </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> K: Itsesäädelyä tai vertaisryhmäohjautunutta (monia vaihtoehtoja) I: Täydellinen osallistuminen oppimistoimintoihin T: Opettaja pysyttelee taustalla, palaute S: Opettaja määrittelee tavoitteet ja tuotokset O: Helpottaja </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> K: Opettajan johtamia ja oppijakeskeisiä osia I: Useimmiten omia tehtäviä verkkomateriaaleista T: On-line tai satunnaisesti kasvokkain S: Opettaja kontrolloi määriteltyjä tavoitteita ja toimintoja O: Opas 	<ul style="list-style-type: none"> K: Itsesäädelyä tai vertaisryhmäohjautunutta (monia vaihtoehtoja) I: Täydellinen osallistuminen oppimistoimintoihin T: Opettaja pysyttelee taustalla, palaute S: Opettaja määrittelee tavoitteet ja tuotokset O: Helpottaja 				
<ul style="list-style-type: none"> K: Opettajan johtamia ja oppijakeskeisiä osia I: Useimmiten omia tehtäviä verkkomateriaaleista T: On-line tai satunnaisesti kasvokkain S: Opettaja kontrolloi määriteltyjä tavoitteita ja toimintoja O: Opas 	<ul style="list-style-type: none"> K: Itsesäädelyä tai vertaisryhmäohjautunutta (monia vaihtoehtoja) I: Täydellinen osallistuminen oppimistoimintoihin T: Opettaja pysyttelee taustalla, palaute S: Opettaja määrittelee tavoitteet ja tuotokset O: Helpottaja 						
Avoin tai strateginen oppiminen							

Weller (2002, s. 64-78) nimeää kuusi pedagogista mallia, joita on käytetty muita enemmän verkko-opinon ja -opetuksen järjestämiseksi mielekkäällä tavalla. Nämä mallit ovat konstruktivismi, resurssiperustainen oppiminen, kollaboratiivinen oppiminen, ongelmaperusteinen oppiminen, narratiivinen oppiminen ja situationaalinen oppiminen. Kaikki nämä organisointimallit edustavat perinteisestä opettajajohtoisesta oppimisesta poikkeavaa lähestymistapaa, missä opettajalla on oppimisen helpottajan tai siihen verrattava rooli. Moderniin behaviorismiin perustuva opetusteknologinen opetusmalli on silti verkko-opetuksessakin yhä elinvoimainen yhtenä tietotekniikan

opetussovellusten pääsuuntauksista (Lehtiö 1998). Esimerkiksi Ihanainen ym. (2004, s. 69-79) ovat aikuiskoulutuksen henkilökohtaistamiseen tähtäävässä Opetushallituksen AiHe-projektissa tarkastelleet verkko-opetukseen nykyisin soveltuvia organisointimalleja, joista he käyttävät nimitystä verkko-opetuksen strategiat (taulukko 5). Näistä organisointimalleista ainakin tehtäväperusteista organisointimallia voidaan pitää vahvasti oppimisteknologiseen oppimisenäkemykseen pohjautuvana. Kaikissa näissä organisointimalleissa yhdistyvät opetuksen tekniset järjestelyt pedagogisiin näkemyksiin siitä, minkälaista tietoa oppijoiden halutaan opetuksen tuloksena omaksuvan.

Taulukko 5. Verkko-opetuksen strategiat ja ohjauksen painopisteet niissä (Rapo 2007)

Verkko-opetuksen strategia	Ohjauksen painopiste
Materiaalikeskeinen opetus	Materiaalien löytäminen ja käyttö. Tietopankkien ja tiedonhakutaitojen hyödyntäminen
Asiantuntijakeskeinen opetus	Persoonallisten asiantuntijoiden hyödyntäminen. Yleensä verkko-opetuksen ulkopuolinen henkilö, joka tekee ”intervention” oppimisympäristöön.
Tehtäväkeskeinen opetus	Perustuu oppimistehtävien työstämiseen suunnitellusti. Verkko-ohjaaja antaa palautetta ja ohjaa lisäaineistojen pariin.
Vuorovaikutuskeskeinen opetus	Osallistujien kokemusten ja näkemysten jakaminen. Toimitaan enemmän osallistujien kuin materiaalien kautta.
Vertaistyöskentelykeskeinen opetus	Asenteellinen ja toiminnallinen vertaisosallistuminen. Opettajan rooli häilytetään: ohjaaja mukana yhtenä kokijana ja tekijänä.
Ongelmakeskeinen opetus	Ongelmien hahmottaminen, työstäminen ja ratkaiseminen. Ongelma-aiheet kehitetään yhdessä oppijoiden kanssa.

2.3. Fysiikan verkko-opetus

Mikroverkko ja siinä käytettävät ohjelmat määrittelevät rajat ja ehdot verkko-oppijoiden vuorovaikutuksen muodoille ja ajasta ja paikasta vapautumiselle. Fysiikan opetuksen erityispiirteiden huomioon ottaminen puolestaan määrittelee rajat sille, miten verkkoympäristön piirteitä ja mahdollisia etuja voidaan hyödyntää fysiikan verkko-opetuksessa. Keskeiset kysymykset siinä ovat fysiikan verkko-opetuksen järkevyyden yleensä, itsenäisen, ohjatun ja ryhmätyöskentelyn suhde

opiskelussa ja se, onko verkko-opetuksella mahdollista saavuttaa etuja fysiikan lähiopetukseen verrattuna.

2.3.1. Fysiikan verkko-opetuksen perustelut

Perinteistä fysiikan yliopisto-opetusta luonnehtivat hyvin usein vastaanottava oppiminen, opettajaajohtoisuus ja oppijoiden ja opettajan välisen vuorovaikutuksen vähäisyys. Muita fysiikan yliopisto-opetukseen usein liittyviä piirteitä ovat mm. deduktiivisesta lähestymistavasta johtuva havainnollisuuden puute ja opettajan puutteelliset pedagogiset taidot. Engeström (1981) on kuvannut tällaiseen opetukseen liittyviä ongelmia tilanteessa, missä opettaja on päättellyt oppijoittensa oppimisongelmien olevan lopultakin heidän laiskuudestaan tai tyhmyydestään johtuvia. Tämän tilanearvionsa perusteella opettajalla on tarjolla lähinnä kolme keinoa opetuksensa tehostamiseksi tulevaisuudessa. Nämä keinot ovat

- vaatimustason alentaminen ja opetuksen ”helpottaminen” karsimalla opetuksesta teoreettisia ideoita ja keskittymällä havainnollisiin esimerkkeihin ja luetteloihin
- erilaisten palkitsemis- ja painostamiskeinojen käyttöön otto oppijoiden ”laiskuuden” vähentämiseksi sekä
- oman esiintymis- ja puhetaidon parantaminen esimerkiksi huumorin ja viimeisteltyjen opetusmateriaalien käytön avulla, jotta opetuksen sanoma olisi selvä.

Engeströmin (1981) mukaan näiden keinojen käyttäminen kuitenkin vain heikentää opetuksen tuloksia, koska opettaja totuttaa niillä oppijoita suhtautumaan opetukseensa kuin viideohjelmaan sen passiivisina vastaanottajina. Oppijat eivät silloin joudu uhraamaan omia henkisiä voimavarojaan opiskeluun, vaan he voivat poimia opetuksesta valmiita tärppejä tai knoppeja kurssista selviytyäkseen. Tämä tilanne lienee monelle fysiikan perusopetusta antavalle yliopiston opettajalle hyvinkin tavallinen ja tuttu. Verkko-opetus voi jo tietoverkon ominaisuutensa vuoksi tuoda tähän tilanteeseen osittaista helpotusta.

Tabakovin (2005) mukaan verkko-opetuksen kehittämiseksi on pääasiassa kolme syytä, mitkä ovat pedagoginen tehokkuus, taloudellinen tehokkuus (useampia oppijoita / opettaja) ja oppimisen tehokas hallinnointi. Näistä kaksi jälkimmäistä syytä ovat läheisesti liitoksissa toisiinsa, ja ne ovat useimmiten perimmäiset syyt verkko-opetukseen siirtymisessä. Pedagogisen tehokkuuden, mikä tarkoittaa opetuksen ja oppimisen sisällön toivottua parantumista, Tabakov katsoo ilmene-

vän eri asteisena eri aloilla. Oman alansa, eli lääketieteellisen tekniikan ja fysiikan, hän katsoo hyötyvän erityisen paljon verkko-opetuksesta siinä helposti toteutettavan runsaan kuvamateriaalin käytön ja erilaisten simulaatioiden käytön kautta. Tämä näkemys voitaneen yleistää koskemaan fysiikan opiskelua laajemminkin. Mm. lukiofysiikassa, missä kokeellinen työskentely on Suomessa usein keskitetty omiksi erikoiskursseikseen, animaatioihin tai simulaatioihin perustuvan havainnollistamisen voidaan arvioida helpottavan huomattavastikin opittavan sisällön ymmärtämistä. Liikkuvan kuvan voidaan katsoa oppimisen tehokkuutta ajatellen olevan muutenkin oppijoille nykyisin luontevamman tiedon välitystavan kuin mitä opettajan sanallinen ilmaisu usein on. Erityisesti tietokoneiden ja muun kodin tekniikan käyttöön totuneilla nuorilla oppijoilla tällainen lähestymistapa opetukseen saa tukea arkielämän käytännöistä.

Nykykäsityksen mukainen laadukas oppiminen perustuu oppijan omaan mentaaliseen aktiivisuuteen oppimis- ja opetusprosessissa (Lindblom-Ylänne ja Nevgi 2004). Verkko-oppimisympäristönkin pitäisi siksi ohjata oppijaa esittämään kysymyksiä, löytämään ongelmia ja ajattelemaan itsenäisesti. Smith ja Taylor (1995) esittivät yhteenvetona 13 havaintoa opiskelijoille ja opettajille suunnatusta suhteellisuusteorian high school- ja college-tasoisesta verkko-opetuksesta yhdeksän vuoden ajalta. Ajanjaksona, mitä julkaisu koskee, verkko-opetuksen tekniset mahdollisuudet olivat huomattavasti vähäisemmät kuin nykyisin. Kirjoittajien tekemien havaintojen fysiikan verkko-opetuksen yleisistä piirteistä voidaan silti niiden yleisyyden asteen perusteella katsoa olevan nykyisinkin alan verkko-opetuksessa pätevien. Nämä havainnot ovat pääosin fysiikan verkko-opetusta puoltavia, ja ne ovat seuraavat:

1. Oppijoiden osallistuminen verkossa tapahtuviin keskusteluihin on vilkkaampaa kuin kasvokkain tapahtuvassa opiskelussa. Oppijoiden ulkonäköön, ihon väriin, ikään tai muihin henkilökohtaisiin ominaisuuksiin liittyvät, opiskelua mahdollisesti häiritsevät tekijät rajoittuvat oppijoiden sukupuolen tunnistamiseen. Positiivisten tunteiden ilmaiseminen on helpompaa verkossa kuin henkilökohtaisessa vuorovaikutuksessa.
2. Opiskelu verkossa ei ole aikaan eikä paikkaan sidottua. Verkko-opiskelu voi koota kurssia varten riittävästi aiheesta kiinnostuneita oppijoita, jotta kurssin järjestäminen olisi mahdollista.
3. Verkkotyöskentely on monille oppijoille tie tietokoneen käytön ja sähköisen viestinnän opetteluun.
4. Verkko-opiskelu edellyttää monilta oppijoilta suurempaa riippumattomuutta ja vastuun kantamista kuin useimmat opettajajohtoiseen opetukseen ja/tai luennointiin perustuvat kurssit. Jotkut oppijat vapautuvat näyttöruudun ääressä suorittamaan tehtäviä, joita he muuten pyrkisivät välttämään.

5. Keskusteleminen ja kysymyksiin vastaaminen kirjallisessa muodossa voi olla monelle tärkeä osa oppimista. Kirjalliseen esittämistapaan liittyvä tarve esittää asiat viimeistellyssä muodossa lisää oppimisen tehokkuutta.
6. Tietokoneella tapahtuva mallintaminen ja simulointiohjelmien käyttö ovat luonnollisia ja tehokkaita oppimistapoja verkkoympäristössä. Tietokone tarjoaa mahdollisuuden myös kurssien hallintaan ja harjoitustehtävien jakamiseen ja käsittelyyn tehokkaalla tavalla.
7. Verkko-oppimisen ohjaajalta vaaditaan opetettavan aiheen hallinnan lisäksi vakaata kohteliaisuutta, kiinnostuneisuutta ja optimismia sekä kykyä rohkaista keskustelua verkossa heti "oikeita" vastauksia tarjoamatta.
8. Verkko-oppimisessa oppijoilla itsellään on tärkeä osa käsitteiden selittämisessä toisille oppijoille.
9. Verkko-opiskelun haittapuolia ovat ymmärtämistä helpottavien visuaalisten vihjeiden puuttuminen verkkokeskustelusta ja vastauksen viipyminen verkossa esitettyyn kysymykseen. Oppijat, jotka jäävät kursilla jälkeen muista oppijoista, ovat verkko-opetuksessa useammin "menetettyjä tapauksia" kuin tavanomaisessa luokassa tapahtuvassa opetuksessa.
10. Maksimi opiskelijamäärä, mille yksi ohjaaja voi tarjota asianmukaista ohjausta, on verkkokurssissa 25-30. Tämä rajoittaa kurssin opiskelijamäärän pienemmäksi kuin mitä se esim. tavanomaisessa luentokurssissa saattaa olla.
11. Verkkoympäristö tarjoaa mahdollisuuden kurssin kaiken julkisen ja yksityisen tiedonvaihdon tallentamiseen tiedostoiksi. Tämä antaa mahdollisuuden kurssilla käydyin tietojenvaihdon tutkimiseen jälkepäin ja kurssin kehittämiseen sen perusteella.
12. Verkkokurssin sisältöä ja aikataulua voidaan muuttaa nopeasti ja helposti tilanteen niin vaatiessa. Kurssimateriaalia voidaan korjata, päivittää ja täydentää, ja sen vaikeiksi osoittautuvista osista voidaan keskustella verkossa.
13. Verkkokurssin rakenne on ratkaisevan tärkeä opetuksen onnistumiselle. Oppijat tarvitsevat verkko-opinnoissa menestyäkseen lähes jokapäiväisiä välitavoitteita, joiden saavuttamista kurssin ohjaaja valvoo.

Osa esitetyistä havainnoista on kurssin tekniseen toteutukseen tai yleisesti tietokoneen opetus-
käyttöön liittyviä havaintoja. Selvästi oppimisen tehokkuuteen liittyviä havaintoja ovat havainnot
kohdissa 1-2, 4-6, 8-9 ja 13. Näistä vain viimeisin havainto sekä havainto mallituksen ja simu-
loinnin luontevuudesta ja hyödyllisyydestä verkko-opiskelussa (kohta 6) liittyvät suoraan fysiik-
kaan. Muilta osin fysiikan verkko-opiskelun voidaan päätellä olevan hyvin samanlaista kuin
muidenkin oppiaineiden opiskelun verkossa. Perustelut fysiikan verkkokurssien rakentamiselle
ovat siten pääosin samat kuin ne ovat muidenkin oppiaineiden kohdalla.

2.3.2. *Fysiikan verkko-opetuksen toteuttamistavat*

Fysiikan opetuksen tutkimusta on tarkasteltu useissa PERiä koskevissa kokooma-artikkeleissa, joissa tarkastelun aikajänne ulottuu 1970-luvulta nykyaikaan (McDermott ja Redish 1999; Bernhard 2000; Hake 2002, 2007a; Heron ja Meltzer 2005). PER on tuottanut useita opetusmenetelmiä fysiikan luokkaopetukseen ja harjoitustöiden tekoon sekä mm. käytännöllisiä ohjeita opetuksen tueksi (Redish 1997; McDermott 2001; Hake 2002, 2007c). Kokeelliseen tutkimukseen perustuva tietous fysiikan verkko-opetuksesta ja sen erilaisten toteutusten tehokkuudesta on sen sijaan niukkaa ja hajanaista. Erilaisia yleisluonteisia kuvauksia fysiikan verkko-opetuskokeiluista tai -käytännöistä on sen sijaan olemassa lukuisia.

Etäopetukseen ja perinteiseen lähiopetukseen perustuvien kurssien välillä ei useiden laajojen meta-analyysien perusteella ole keskimäärin havaittavissa merkittävää eroa oppimistuloksissa (Johnson 2007). Etäopetus on kuitenkin Sitzmannin ym. (2006) suorittaman meta-analyysin mukaan selvästi perinteistä luokkaopetusta tehokkaampaa, kun on kysymys deklarattiivisen tiedon (faktatiedon) opettamisesta oppijoiden työskentelyä kontrolloiden tai kun kurssi on pitkäkestoinen tai kun sen aikana tehdään harjoitustehtäviä, joista saadaan välittömästi palautetta. Etäopetus tukisi tämän perusteella sekä deklarattiivisen tiedon että proseduraalisen tiedon (taidollisen tiedon) oppimista perinteistä luokkaopetusta paremmin. Gustafsson (2002) on fysiikkaa koskien ilmoittanut FCI-osaamistestiin perustuvan $\langle g \rangle$ -tunnusluvun (Hake 1998) olleen laskutavasta riippuen neljän vuoden jaksolla välillä 0,32-0,69 muille kuin fysiikan pääaineopiskelijoille soveltuvalla mekaniikan ja lämpöopin verkkokurssilla. Nämä Haken (1998) jaottelun mukaisesti perinteiseksi luokiteltavalle verkkokurssille lasketut $\langle g \rangle$ -arvot ovat keskimäärin korkeampia kuin perinteisessä fysiikan lähiopetuksessa saatavat $\langle g \rangle$ -arvot ($< 0,3$). Kurssin läpäisseiden oppijoiden osuus osallistuneiden määrästä oli kuitenkin vain 41 %, minkä tuloksen Gustafsson katsoo olleen yleisen verkkokurssille ominaisen suuntauksen mukaisen. Kyseinen tutkimus näyttäisi olevan ainoa verkkokurssia kokonaisuutena koskeva, ennen/jälkeen-vertailuun perustuva, tutkimus fysiikan oppimisen tehokkuudesta. Fysiikan oppimiseen verkossa mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä on tutkittu muuten erikseen.

Greene (2001) havaitsi fysiikan käsitteitä koskevan tiedon esittämisen suppeina tietoisuina tehostavan fysiikan oppimista ja suositteli kyseistä lähestymistapaa oppijoiden yksilölliseen opis-

keluun perustuvana fysiikan verkko-opetuksen osaksi. Bonham ym. (2001) havaitsivat myös tietokoneella tehtävistä fysiikan harjoitustehtävistä saatavan hyödyn riippuvan tehtävien pedagogisesta toteutuksesta, ja esimerkiksi tavanomaisia numeerisia ratkaisuja tuottavien kurssikirjatehtävien olevan oppimisen kannalta rinnastettavissa kirjallisten harjoitustehtävien tekemiseen. Sähköisesti tai kirjallisesti tehtävien ja palautettavien harjoitustehtävien vaikutuksissa college-tasoisien fysiikan kurssin läpäisemiseen ei heidän tutkimuksissaan ollut havaittavissa merkitsevää eroa (Bonham ym. 2003). Tietokoneen avulla tehtävät mittaukset, kerätyn datan laskennalliset ja videoanalyysit, multimediaohjelmat, verkkoon rakennetut mikromaailmat ja simulaatiot, erilaiset mallintamistyökalut ja Internet-työkalut, kuten sähköposti, IRC ja videoneuvottelut, ovat muita mahdollisia verkko-oppimisympäristön piirteitä, joiden hyödyntämistavat vaikuttanevat fysiikan oppimiseen (Esquembre 2002; Sassi 2005; Kirstein ja Nordmeier 2007).

Tietokoneen käyttö opetuksessa tekee mahdolliseksi henkilöiden välisen vuorovaikutuksen korvaamisen kokonaan tai osittain tietokoneen ja oppijan välisellä vuorovaikutuksella. Oppijan ja tietokoneen väliseen sokraattiseen vuoropuheluun perustuvan opasohjelman käytön fysiikan harjoitustehtävien teossa on sen pohjalta havaittu vaikuttavan huomattavasti kirjallisia kotitehtäviä enemmän sekä kurssin loppukokeen arvosanaa että fysiikan käsitteiden ymmärtämistä parantavasti (Ogilvie 2000; Morote ja Pritchard 2002). Warnakulasooriya ja Pritchard (2005) ja Warnakulasooriya ym. (2005) ovat tutkineet myös opitun siirtovaikutusta sokraattiseen menetelmään perustuvassa etäopetuksessa ja havainneet fysiikan ongelmanratkaisussa tarvittavan ajan, opasohjelmalta tarvittavien vihjeiden määrän ja väärin vastausten määrän vähentyvän, jos oppijat ovat ratkaisseet aiheeseen liittyviä tehtäviä jo aikaisemmin. Tulostensa perusteella he suosittelivat, että oppimista ja opitun siirtovaikutusta verkossa helpotetaan liittämällä verkkoympäristöön aiheen koko käsittelyn ajan ratkaistavia, oppijan taitoja kehittäviä ja häntä opastavia tehtäviä. Tällaiset tehtävät ovat heidän mielestään myös pedagogisesti ylivoimaisia teorian käsittelyn jälkeen ratkaistaviin tehtäviin verrattuna.

Riittävän syvällinen ja merkityksellinen oppimisen taso voidaan Andersonin (2003) mukaan saavuttaa verkko-opetuksessa niin kauan kuin yksikin oppija-opettaja-, oppija-oppija- tai oppija-sisältö-vuorovaikutuksista on korkeatasoisesti toteutettu. Muut vuorovaikutuksen muodot voivat silloin ilmentyä opiskelussa joko vain vähäisessä määrin tai ne voidaan jättää kokonaan poiskin huonontamatta kasvatuksellisen kokemuksen laatua. Pelkästään yksilölliseen opiskeluun perustu-

vasta fysiikan kurssien verkko-opiskelusta ei kuitenkaan näyttäisi olevan julkaistuja kokemuksia tai tutkimustietoa olemassa. Monimuoto-opetus fysiikan verkko-opetuksessa näyttäisi sen sijaan olevan kirjallisuuden perusteella varsin yleistä ja suositeltua (Yrjänäinen 1998; Rinne 2000; Barojas ja Sierra 2002; Gustafsson 2002; Persin 2002; Tabakov 2005). Myös pelkkään verkko-opiskeluun perustuvasta työskentelystä on saatu hyviä kokemuksia sekä lukio- (Smith ja Taylor 1995) että yliopistotasoisessa (Smith ja Taylor 1995; Suson ym. 1999; Jauhiainen ym. 2002; Koponen ym. 2002) opetuksessa.

Konstruktivistiseen oppimisenäkemykseen pohjautuva opiskelu käsitekarttojen (Novak 1990; Novak ja Gowin 1995) avulla on viime vuosina saavuttanut suosiota erityisesti fysiikan perusopetuksessa ja opettajien koulutuksessa. Käsitekarttojen avulla katsotaan voitavan kehittää mielekkään oppimisen perustana olevia metakognitiivisia taitoja ja mm. auttaa oppijoita tunnistamaan ilmiöiden tulkitsemiseksi tarvittavia käsitteitä ja suhteita (Aksela 2000). Käsitekarttoja voidaan esimerkiksi laatia luennoista tai kirjallisista aineistoista, tai valmiit käsitekartat voivat toimia ennakkojäsentäjinä tai erillisinä tiedonlähteinä opiskelussa (Nesbit ja Adesope 2006). Käsitekarttojen on esitetty olevan erityisen tehokkaita oppimisen apuvälineitä vuorovaikutteisissa tietokoneympäristöissä (Cañas ym. 2003; Novak 2002), mutta menetelmän toimivaksi saattamisen verkkokäytössä on arvioitu vaativan vielä lisätutkimuksia (Gao ym. 2007). Fysiikan verkko-oppimisesta käsitekarttojen avulla näyttäisi lisäksi olevan olemassa vain yksi kollaboratiivista oppimista koskeva kokeellinen tutkimus (Psycharis 2008). Tutkimuksen mukaan käsitekarttaohjelman (CmapTools) avulla tapahtuneen fysiikan opetuksen yhteyteen liitetyt avointen vastausten tehtävät paransivat oppijoiden kykyä tunnistaa fysiikan käsitteet ja niiden väliset yhteydet yksivastuksellisiin tehtäviin verrattuna. Avointen vastausten tehtävät lisäsivät myös oppijoiden välistä keskinäistä vuorovaikutusta verkossa.

2.3.3. Esimerkkejä fysiikan verkko-opetuksesta aikuisopetuksessa

Smith ja Taylor (1995) ratkaisivat fysiikan harjoitustehtävien palauttamiseen ja käsittelyyn verkkoympäristössä liittyvän ongelman käyttäen menettelyä, jossa oppijat joutuivat lähettämään tehtäviensä ratkaisut opettajille kahteen kertaan. Ensimmäisellä kerralla oppijat lähettivät opettajille vain tehtäviensä tulokset, ja opettajat pelkästään kirjasivat tehtävät palautetuksi niitä lähemmin tarkastamatta. Sen jälkeen opettajat palauttivat tulokset oppijoille malliratkaisujen ja korvaavien

tehtävien kera. Oppijat tarkastivat tehtävänsä itse ja palauttivat opettajille väärin ratkaisemiensa tehtävien sijasta niitä korvaavien tehtävien ratkaisut täydellisinä. Opettajat tarkastivat vain näiden korvaavien tehtävien ratkaisut. Korvaavasta tehtävästä saatava pistemäärä oli pienempi kuin heti aluksi oikein ratkaistusta tehtävästä saatava pistemäärä. Ensimmäisellä kerralla ratkaisemattomaksi jääneestä tehtävästä ei saanut pisteitä lainkaan. Kirjoittajien mukaan tämä menettely vähensi pieneen osaan alkuperäisestä sen ajan, minkä opettajat tarvitsivat tehtävien tarkastamiseen. Harjoitustehtävien tarkastus oli opettajille silti työläin ja eniten aikaa vievä osa kursseista.

Suson ym. (1999) kuvasivat fysiikan BSc-tasoisesta, taulukon 1 tason 6 verkko-opetuksesta saatuja kokemuksia tilanteessa, jossa verkko-opetukseen jouduttiin siirtymään pakon edessä fysiikan opiskelijamäärien vähentymisen vuoksi. Oppimisen taso oli muutoksen jälkeen verrattavissa muutosta edeltäneeseen oppimisen tasoon, minkä tuottaneita järjestelyjä kirjoittajat eivät kyseenalaistaneet. Kirjoittajat rajasivat usean yliopiston yhteisessä opetuksessa kohtaamansa ongelmat neljään ryhmään, jotka olivat opetusmenetelmän valinta, kotitehtävien ja niiden ratkaisujen jakelu ja kokeiden toteutus, oppijoiden välisen ja oppija-opettaja-vuorovaikutuksen toteutuminen opetustilan ulkopuolella ja harjoitustöiden toteutus verkossa. Kurssit perustuivat aluksi videoverkon välittämään tavanomaiseen luento- ja muuhun opetukseen ja telefaxin käyttöön harjoitus- ja koetehtävien lähetyksessä. Pelkän videoverkon käyttö opetuksessa todettiin kuitenkin varsin pian opetusmenetelmänä epätydyttäväksi. Useiden kokeilujen jälkeen opetus päätettiin toteuttaa Internetiä pääasiallisena opetustyökaluna käyttäen. Tämä valinta ratkaisi useimmat informaation jakeluun ja kotitehtävien tekoon, samoin kuin opetuksen vuorovaikutteisuuden ja ajan käyttöön liittyneet ongelmat. Internet tarjosi mahdollisuuden myös harjoitustöiden teon seuraamiseen reaaliaikaisena videokameran välityksellä sekä laboratoriossa työskentelevien henkilöiden ohjaamiseen samalla keskusteluin. Näiden toimintojen ja tietokonesimulaatioiden liittäminen opetukseen olivat julkaisun kirjoittamisen aikaan vielä suunnitteilla, eikä niistä ollut kertynyt kokemuksia. Suunnitelmien on myöhemmin ilmoitettu toteutuneen kokeiden teon osalta siten, että monet laboratoriokokeet on automatisoitu. Tietokone kerää niissä mittausdatan videokameran nauhoittaessa havainnot, minkä jälkeen tulosten käsittely suoritetaan muualla (Balasubramanya ym. 2004). Tällaisen menetelmän on katsottu olevan etäopetuksessa ylivoimaisen muihin laboratorioskokeita korvaaviin menetelmiin, kuten simulaatioihin, verrattuna (Lemckert ja Florance 2002).

Jönssön (2005) on kuvannut yksityiskohtaisesti taulukon 1 tasolle 4-5 sijoittuvan, lukion opettajille tarkoitetun lääketieteellisen fysiikan verkkokurssin järjestelyjä ja niistä saatuja hyviä kokemuksia. Kurssin toteutuksen taustalla oli Susonin ym. (1999) kuvaamasta tilanteesta poiketen pedagoginen näkemys, joka perustui Coomeyn ja Stevensonin (2001) esittämään nelikenttään verkkokursseissa vaikuttavista tekijöistä (taulukko 4). Kurssin rakenne oli tiukka ja kiinteä siten, että siihen kuului kaksi kahden päivän pituista lähiopetusjaksoa, joihin sisältyi helppotajuisia luentoja ja demonstraatioita, sekä ensimmäistä lähiopetusjaksoa lukuun ottamatta opiskelua verkkoympäristössä siellä olevaa oppimateriaalia käyttäen. Lähiopetusjaksojen tärkeänä tavoitteena oli oppijoiden motivointi ja ryhmähengen luominen pienryhmissä verkkoympäristössä tehtäviä harjoitustehtäviä ja kirjallisia ryhmätöitä varten. Yhteyden pito kurssin opettajiin ja oppijoiden välillä tapahtui sähköpostitse, minkä lisäksi oppijoilla oli mahdollisuus käyttää chat-työkalua keskinäiseen kommunikointiin. Kurssi perustui oppijoiden omiin toimintoihin ja kollaboratiiviseen oppimiseen, jota erilaiset mikroverkon resurssit tukivat. Taulukon 4 nelikentässä se sijoittui Jönssonin (2005) mukaan oikeaan yläneljännekseen. Nelikentän muuttujien avulla luonnehdittuna opettaja määritteli kurssilla oppimistavoitteet ja päätehtävät (D), ja ohjeet, kurssimateriaali ja niitä tukeva tieto saatiin mikroverkosta (T). Oppijat valitsivat itse ja yhteistoiminnassa vertaisryhmänsä sisällä tarkemmin ne tavat, millä he suorittivat kurssitehtävät oppimistavoitteiden ja tehtävämäärittelyjen mukaisesti (I, S). Kurssin opettajat pysyttelivät kaikissa toiminnoissa taustalla antaen oppijoille palautetta pääasiassa ryhmien sisäisen sähköpostin välityksellä ja tarvittaessa yleisellä keskustelualueella (O).

3. KONSTRUKTIVISMIIN PERUSTUVAT OPETUSMALLIT VERKKO-OPETUKSESSA

Konstruktivistinen oppimisnäkemys on viime vuosina noussut lähes itsestään selvyytenä pidetyksi perustaksi oppimisen tarkastelussa (Fox 2001; Keeves 2002; Matthews 2002; Mayer 2004). Erityisesti luonnontieteessä ja matematiikassa konstruktivismiin perustuva opetus on ollut suosittua jo yli 20 vuoden ajan. Enkenbergin (2004) mukaan konstruktivismista näyttää sen seurauksena muodostuneen paradigman piirteitä omaava, oppimista ja opetusta ortodoksisesti tulkitseva valtanäkökulma. Vaatimuksesta sitoutua konstruktivistiseen näkemykseen aiheutuu hänen mukaansa ongelmia opetuksen suunnittelulle ja tutkimukselle ja opetuksen tutkimusperustaiselle ke-

hittämislle. Fysiikan opetuksen kannalta voidaan siksi esittää kysymys, onko konstruktivismi nykyiselläänkin sopiva näkemys ohjaamaan fysiikan verkko-opetusta, ja pitääkö se yhä ottaa fysiikan opetuksen kehittämisessä huomioon. Konstruktivistista oppimisenäkemyttä ja siihen perustuvaa opetusta on siksi käsitelty tässä PERin lähtökohtien kanssa tapahtuvan vertailun pohjaksi.

3.1. Konstruktivistinen oppimisenäkemyttä ja sen historia

Ainedidaktiikan vallitseva paradigma 1960-luvulle asti oli behaviorismi, minkä mukaan oppimisessa on kysymys ohjelmoidun opetuksen avulla tapahtuvasta tiedon siirtymisestä muuttumattomana opettajalta oppijalle. Behaviorismin mukaan yksilö oppii kokemuksistaan, ja käyttäytymisen määrättyy itsevahvistamisperiaatteen mukaan reaktiona myönteiseen tai kielteiseen ärsykeeseen (Nevgi ja Lindblom-Yläne 2004b). Oppiminen ymmärretään radikaalissa behaviorismissa siten oppijan käyttäytymisen muutoksena, ja opettajan tehtävänä on saada haluttu käyttäytymisen muutos aikaan.

Behaviorismi korvautui 1970- ja -80-luvuilla ainedidaktiikassa kognitivismilla, missä ihmisen tiedostamistoimintojen korostaminen syrjäytti näkemyksen oppijasta tiedon passiivisena vastaanottajana. Kognitivismi nosti oppijan oman ajattelun ja tavoitteellisen toiminnan oppimisprosessissa vaikuttaviksi keskeisiksi tekijöiksi (Engström 1981). Tavoitteiden asettamista ja toimintatapojen valintaa ohjaavat kognitivismiin mukaan yksilön aikaisempiin kokemuksiin perustuvat tiedot ja taidot eli skeemat, sekä skeemojen avulla tehdyt havainnot. Erotuksena behaviorismiin oppijan käyttäytymisessä ilmenevät muutokset tulkitaan kognitivismissa osoituksiksi muutoksista näissä tietoa käsittelevissä ja varastoivissa mielen rakenteissa. Kognitiivisissa oppimisteorioissa oppimisella tarkoitetaan siten ihmisen tiedonkäsittelyjärjestelmässä tapahtuvia laadullisia muutoksia, joissa tietorakenteet ja käsitteiden väliset suhteet muuttuvat. Käsitteellisten muutosten aikaan saamisen kognitiivisten konfliktien avulla katsotaan niissä olevan opetuksen syvimmän tarkoituksen. Kognitiivisella konfliktilla tarkoitetaan tilannetta, missä ihminen huomaa tietorakenteidensa soveltumattomuuden jonkin asian ymmärtämiseen tai ongelman ratkaisemiseen.

Konstruktivistinen oppimisenäkemyttä kehittyi nykyiseen valta-asemaansa kognitiivisen psykologian (kognitivismille perustuva psykologian osa-alue) ja kognitiivisten oppimisteorioiden pohjalta.

Kognitivismia ja konstruktivismia käsitellään siksi joskus synonyymeinä, ja etenkin amerikkalaisessa keskustelussa käytetään termiä kognitiivis-konstruktivinen. Konstruktivismi ei ole yhtenäinen oppimisenäkemyks, vaan yhteisnimitys ajatussuuntauksille, joilla on samankaltainen käsitys ihmisen tiedon muodostamisen prosessista (Nevgi ja Lindblom-Ylänne 2004b). Konstruktivismissa oppijan ajatellaan konstruoivan aktiivisesti omaa ymmärrystään maailmasta aikaisempien uskomustensa, kokemustensa ja tietojensa perusteella. Tästä lähtökohdasta seuraa se näkemys, että oppijan kuva maailmasta muodostuu ainakin jossain määrin subjektiivisesti, jolloin ihmiset ymmärtävät asiat eri tavoin (Matthews 1993, 2002). Vahva konstruktivismi (s. 28) kieltää sillä perusteella kokonaan ihmisen mahdollisuuden saada objektiivista tietoa maailmasta.

Tietoteoreettisesta näkökulmasta katsottuna konstruktivismi on pohjimmiltaan filosofis-epistemologinen teoria ja sellaisena synonyymi empirismille (mm. Matthews 1993; Tsaparlis 2001). Konstruktivistiseen oppimisenäkemykseen liittyy sen lisäksi mm. humanistis-kokemuksellisia näkemyksiä, joten filosofiset tarkastelut liittyvät luontevasti sen sisällöstä käytäviin keskusteluihin (Suchting 1992; Matthews 1992, 1993, 2000, 2002; Phillips 1995). Matthews (2000) jakaa konstruktivismiin kolmeen pääsuuntaukseen, mitkä suuntaukset ovat kasvatuksellinen, filosofinen ja sosiologinen konstruktivismi. Näistä pääsuuntauksista kukin voidaan jakaa edelleen useisiin eri konstruktivismiin alasuuntauksiin. Konstruktivismi on tähän moni-ilmeisyyteensä perustuen laajentunut viime vuosina alkuperäisestä merkityksestään opetuksen ja koulutuksen, ideoiden syntyminen ja henkilökohtaisen ja tieteellisen tiedon teoriaksi, samoin kuin eettiseksi ja poliittiseksi teoriaksi (Matthews 2000, 2002). Ongelmana siitä keskusteltaessa on se, että ne näkemykset, mitkä ovat yhden konstruktivismiin sovellusalueen piirissä hyväksyttäviä, eivät aina ole sellaisia toisen konstruktivismiin sovellusalueen näkökulmasta katsoen. Konstruktivismiin perusajatuksiakin arvioitaessa vaikeutena on siksi sen huomioon ottaminen, missä asiayhteydessä konstruktivismia milloinkin tarkastellaan (esim. Sjøberg 2007).

Konstruktivismista puhuttaessa on erotettava toisistaan myös konstruktivismi tieteenharjoituksen kohteena ja konstruktivismi sellaisena kuin se ilmenee tavalliselle oppijalle tai oppimisen ohjaajalle. Konstruktivismiin määrittely lyhyesti ”ei-behavioristiseksi oppimisenäkemykseksi”, millaiseksi se usein loppukäyttäjän tasolla ymmärretään, on asian yksinkertaistamista suuresti. Esimerkiksi Matthews (2000, 2002) jakaa konstruktivismiin kahdeksaan eri sovellusalueeseen, mitkä ovat

- konstruktivismi oppimisteoriana
- konstruktivismi opetusteoriana
- konstruktivismi kasvatusteoriana
- konstruktivismi kognition teoriana
- konstruktivismi henkilökohtaisen tiedon teoriana
- konstruktivismi tieteellisen tiedon teoriana
- konstruktivismi koulutuksen etiikan ja politiikan teoriana ja
- konstruktivismi maailmankatsomuksena.

Näistä sovellusalueista fysiikan opetusta koskevat eniten konstruktivismi oppimis- ja opetusteoriana sekä konstruktivismi tieteellisen ja henkilökohtaisen tiedon teoriana.

Oppiminen käsitetään vahvassa konstruktivismissa prosessiksi, minkä tarkoituksena on uuden kokemuksen sulauttaminen olemassa olevaan tietoon, eli ”ymmärrettävän merkityksen antaminen maailmalle” (Fox 2001). Oppiminen on konstruktivismin näkökulmasta katsoen siten merkityksen määrittelyprosessi, missä ihmiset tulkitsevat kokemuksiaan. Tämä käsitys ei olennaisesti poikkea jo Immanuel Kantin aikanaan esittämästä aisti-informaation ymmärrettäväksi tekemisen käsityksestä. Konstruktivistit kiistävät kuitenkin filosofisten käsitysten aseman konstruktivismin perustana ja esittävät konstruktivismin pohjautuvan aivojen fysiologian tutkimukseen (Terhart 2003). Konstruktivistiset oppimisteoreetikot näyttäisivät siltä pohjalta olevan suunnilleen yhtä mieltä seitsemästä oppimisprosessiin liittyvästä periaatteesta (Taber 2006; Sjøberg 2007):

1. Tieto on oppijan itsensä konstruoimaa, ei ulkopuolelta passiivisesti vastaan otettua. Oppiminen on jotakin, minkä oppija tekee, ei jotakin, mille oppija altistetaan.
2. Oppijat tuovat oppimistilanteeseen (esim. luonnontieteessä) omat ennakkokäsityksensä monista ilmiöistä. Jotkut näistä käsityksistä ovat *ad hoc*-tyyppisiä ja pysymättömiä, kun taas toiset ovat syvälle juurtuneita ja pitkälle kehittyneitä.
3. Oppijoilla on omat yksilölliset käsityksensä maailmasta, mutta näissä käsityksissä on monia samankaltaisuuksia ja yhteisiä piirteitä. Jotkut näistä käsityksistä ovat sosiaalisesti ja kulttuurisesti hyväksytyjä, ja oppijat jakavat ne muiden ihmisten kanssa. Nämä käsitykset ovat usein osa oppijan puhumaa kieltä, jolloin mm. metaforat tukevat niitä. Nämä käsitykset toimivat usein hyvinä työkaluina monien ilmiöiden ymmärtämisessä.
4. Oppijoiden yksilölliset käsitykset ovat usein yhteen sopimattomia yleisesti hyväksytyjen tieteellisten käsitysten kanssa. Jotkut näistä käsityksistä saattavat olla sitkeitä ja vaikeasti muutettavissa.
5. Tieto on olemassa aivoissa käsitteellisinä rakenteina. Näistä rakenteista on mahdollista laatia malleja, ja niitä voidaan jossakin määrin kuvaila.
6. Opettajien on otettava oppijoiden ennakkokäsitykset vakavasti, jos he haluavat muuttaa näitä ennakkokäsityksiä tai esittää niille vaihtoehtoja.

7. Vaikka tieto on henkilökohtaista ja yksilöllistä, oppijat konstruoivat tietonsa vuorovaikutuksessa fyysikaalisen maailman kanssa. Tämä tarkoittaa tiedon konstruointia kollaboratiivisesti erilaisissa sosiaalisissa, kulttuurisissa ja kielellisissä ympäristöissä. Eri ympäristöjen merkityksen painotus riippuu siitä, mistä konstruktivismiin suuntauksesta on kysymys.

Näiden periaatteiden ja konstruktivismiin tietokäsityksen on tässä tutkimuksessa katsottu muodostavan yhdessä konstruktivismiin perustuvan opetuksen ytimen. Tätä ydintä luonnehtii näkemys oppijan mentaalisen aktiivisuuden, oppimisen kollaboratiivisuuden ja oppijoiden ennakkokäsitysten huomioon ottamisen tärkeydestä opetuksessa.

3.2. Konstruktivismiin perustuva opetus

von Glaserfeld (1989) on kutsunut konstruktivismiin ensimmäistä periaatetta tiedon aktiivisesta rakentamisesta triviaaliksi konstruktivismiksi, koska kyseinen ajatus on ollut filosofiassa tunnettu Platonin kirjoituksista asti. Triviaaliin konstruktivismiin eri tavoin perustuva konstruktivistinen opetus on sekin kauttaaltaan historiallista perua, eikä se sisällä juuri uutta aikaisempiin opetusnäkemysiin tai -filosofioihin perustuvaan opetukseen verrattuna (Matthews 1992, 2002; Jenkins 2000; Terhart 2003). Esimerkiksi konstruktivistisessä opetuksessa keskeinen oppijalähtöisyyden ajatus esiintyy eri muodoissaan tärkeänä jo mm. Comeniuksen, Rousseauin, Pestalozzin, Fröbelin, Montessorin ja Deweyn kirjoituksissa. Muiltakin osin konstruktivismiin perustuva opetus koostuu käsityksistä, jotka jo konstruktivismiin syntymistä ennenkin on osattu liittää laadukkaaseen opetukseen. Konstruktivismiin ei voida siten katsoa edustavan paradigman muutosta sitä aikaisemmin vallinneisiin didaktisiin näkemysiin verrattuna (Terhart 2003; Liu ja Matthews 2005). Sen kutsuminen ”uudeksi oppimisenäkemykseksi”, kuten joskus tehdään (Tynjälä 2000, s. 28), ei myöskään ole tämän valossa perusteltua. Kysymyksessä on pikemminkin reformipedagogiikan tämänhetkinen ilmentymistapa opetuksessa kuin uusi opetusparadigma (Terhart 2003).

3.2.1. Opetuksen yleiset piirteet

Kasvatuksellinen konstruktivismi voidaan jakaa sosiaalisen konstruktivismiin ja yksilökonstruktivismiin suuntauksiin sen mukaisesti, minkälaisista filosofisperusteisista lähtökohdista käsin oppimista tarkastellaan (Matthews 2000; Tsaparlis 2001; Liu ja Matthews 2005). Yksilökonstruktivi-

vismi voidaan jakaa edelleen radikaalin konstruktivismiin ja oppimispsykologisesti painottuneen kognitiivisen konstruktivismiin suuntauksiin sen mukaisesti, minkälainen on kyseisten suuntausten käsitys ulkoista maailmaa koskevasta tiedosta. Kognitiivisella konstruktivismilla tarkoitetaan silloin informaation prosessointiin liittyviin kysymyksiin keskittyvää konstruktivismiin heikkoa muotoa, minkä lähtökohtana on ihmisen henkilökohtaisen tiedon ja ulkoisen todellisuuden vastaavuus (Doolittle 1999, Enkenberg 2004). Kognitiivista konstruktivismia ei tämän lähtökohtansa vuoksi aina lueta edes konstruktivismiin kuuluvaksi. Radikaalin ja sosiaalisen konstruktivismiin edustama vahva konstruktivismi tarkoittaa puolestaan konstruktivismiin muotoja, missä kognition lopputuloksen ei katsota olevan objektiivisen todellisuuden mukaisen (Doolittle 1999). Radikaalia konstruktivismia edustavat oppimisteoreetikot painottavat tarkasteluissaan oppijakeskeisiä ja keksimiseen suuntautuneita oppimisprosesseja, joissa sosiaalinen ympäristö ja vuorovaikutus toimivat vain virikkeinä kognitiivisen ristiriidan aikaan saamiseksi (Liu ja Matthews 2005). Sosiaalisen konstruktivismiin edustajat puolestaan katsovat oppimisen olevan tärkeimmiltä osiltaan tilannespesifistä ja kontekstiin sidottua toimintaa (Liu ja Matthews 2005). Nämä erilaiset näkemykset oppimisesta ja todellisuudesta ilmenevät erilaisina näkemyksinä siitä, mitä opetus on, ja miten se pitäisi järjestää.

Konstruktivismiin oppimista koskevista periaatteista ei voida johtaa opetuksellisia ratkaisuja tai toimintatapoja, ja sen sovellukset perustuvat siksi täydentäviin psykologisiin tai filosofisiin käsitteisiin ja teorioihin (Miettinen 2000a; Weller 2002, s. 65). Yksityiskohtaista kuvausta siitä, minkälaisille opetusjärjestelyille konstruktivismiin perustuva opetus rakentuu, ei voida siitä syystä, ja konstruktivismiin liittyvän pluralismin vuoksi, esittää. Konstruktivismiin perustuvasta opetuksesta on esitetty monia yleisluontoisia ja painotuksiltaan hieman toisistaan poikkeavia kuvauksia (esim. Jonassen 1994, 1999; Doolittle 1999; Enkenberg 2000; Terhart 2003; Palmer 2005). Doolittlen (1999) mukaan kognitiivisen, radikaalin ja sosiaalisen konstruktivismiin välillä vallitsee silti konsensus kahdeksasta konstruktivismiin perustuvan opetuksen yleisestä periaatteesta. Nämä periaatteet, joiden tärkeysjärjestys vaihtelee eri konstruktivismiin suuntauksista johdetussa opetuksessa, ovat seuraavat:

- oppimisen pitäisi tapahtua autenttisissa ja todellisen maailman ympäristöissä
- oppimiseen pitäisi liittyä sosiaalista neuvottelua ja sovittelua
- [opittava] sisältö ja taidot pitäisi tehdä merkityksellisiksi oppijalle

- [opittavan] sisällön ja taitojen pitäisi olla oppijan aikaisempaan tietoon perustuen ymmärrettävissä
- oppijoiden opintosuoritukset pitäisi arvioida formatiivisesti, jotta arviointi palvelisi myöhemmän oppimisen tarpeita
- oppijoita pitäisi rohkaista kehittymään itsesääteleviksi, itsemediatiivisiksi ja omista kognitiivisista toiminnoistaan tietoisiksi (self-aware) [yksilöiksi]
- opettajat toimivat pääasiassa oppimisen oppaina ja helpottajina, eivät oppimisen ohjaajina ja
- opettajien pitäisi tarjota oppijoille monia näkökulmia ja esitysmuotoja [opittavaan] sisältöön ja rohkaista oppijoita etsimään sellaisia.

Näistä periaatteista mikään ei ole vain konstruktivismille ominainen, vaan niillä kaikilla on oma historiallinen kehityksensä takanaan. Konstruktivistiksi ne tekee vain se asiayhteys, mikä sitoo ne opetuksen kysymyksessä ollessa yhteen (Doolittle 1999).

Enkenberg (2004) on kiinnittänyt huomiota siihen, että konstruktivismista puhuttaessa tai siihen viitattaessa sen sisältö, mitä täsmällisesti tarkoitetaan, jätetään usein kertomatta. Tämä on hänen mukaansa ongelmallista, koska kukin konstruktivismin suuntaus pohjautuu erilaiseen tulkintaan siitä, miten ja mitä ihminen tulee oppiessaan tietämään. Kiinnittyminen tiettyyn konstruktivismin tulkintaan tuottaa niin ollen muista sen tulkinnoista poikkeavan näkökulman hyvään opetukseen ja oppijalle merkitykselliseen oppimisympäristöön. Esimerkiksi kognitiivisessa konstruktivismissa oppiminen ymmärretään todellisuuden rekonstruointiprosessiksi, ja opetuksen katsotaan siksi olevan toimintaa, minkä tavoitteena on oppijan geneerisen ajattelun ja ympäristössä selviytymiskyvyn kehittäminen (Doolittle 1999; Enkenberg 2004). Kognitiivisen konstruktivismin opetukselle tarjoamat keinot kohdistuvat siksi esimerkiksi oppimateriaaleihin, pitkäaikaismuistin parantamiseen tähtääviin opiskelutekniikkoihin ja heuristiseen ohjeisiin oppimisprosessin ohjauksesta. Mm. ennakkojäsentäjien, käsitekarttojen ja ankkuroivien ideoiden hyödyntäminen opetuksessa ovat kognitiiviseen konstruktivismiin liitettäviä opetuskäytänteitä (Doolittle 1999). Sosiaaliseen konstruktivismiin perustuvassa opetuksessa oppiminen ymmärretään sen sijaan osallistumisena yhteiseen toimintaan, missä tärkeimmät välineet oppimisen edistämiseksi ovat kieli, vuorovaikutus ja merkityksistä neuvottelu (Enkenberg 2004). Vahvaan konstruktivismiin liittyy lisäksi näkemys oppimisesta merkityksen määrittelyprosessina (sense making, s. 26), mikä lähtökohta ei sisälly kognitiiviseen konstruktivismiin (Doolittle 1999). Mm. Palmer (2005) on tarkastellut useita konstruktivismiin perustuvia opetustapoja niihin sisältyvien ennako-oletusten perusteella arvioiden.

Terhart (2003) on hahmotellut kirjallisuudessa esitettyjen kuvausten perusteella konstruktivismiin perustuvan luokkaopetuksen piirteitä ja esittänyt kolme radikaalisuudeltaan eroavaa esimerkkiä konstruktivistisesta opetuksesta. Meixner (1997) on esittänyt yhtenä niistä sosiokonstruktivistiseksi tulkittavan luokkaopetuksen pohjaksi seuraavan Doolittlen (1999) kuvausta tarkemman ohjeen:

- sijoita opittavan tiedon rakenneosat tilannesidonnaiseen kontekstiin
- lisää tähän merkitykselliseen kontekstiin oppimateriaalit, jotka ovat niin autenttisia kuin mahdollista, ja huolehdi siitä, että oppija ottaa tehtäväkseen opittavaan materiaaliin paneutumisen
- käytä opetuksessa hyväksi niin monia oppijan motorisia kykyjä ja aistikanavia kuin mahdollista
- sijoita oppimistehtävä ympäröivään sosiaaliseen kenttään
- perusta maieuttinen [sokraattinen, ajatusten määrittelyyn ja tulkintaan pyrkivä] keskustelu vuoropuhelun muodossa luokkaan
- ohjaa oppijaa pääsemään siihen pisteeseen, missä hän rakentaa itsenäisesti tietoaan kontekstin ja vuorovaikutusten avulla, ja missä hän oppii omista erehdyksistään ja
- pyri joustavaan tiedon hyödyntämiseen ja luo oppimisympäristöjä, mitkä edistävät tiedon siirtovaikutusta.

Kuten tavallista, tämäkin luokkaopetus perustuu opettajan episteemiseen auktoriteettiin, sillä opettajan kysymysten tulee maieuttisessa vuoropuhelussa paljastaa virheitä oppijoiden ajattelussa ja tiedoissa. Meixnerin (1999) kuvaama opetus rakentuu kuitenkin sen lisäksi ajatukselle lähikehityksen vyöhykkeestä, mikä on tärkeimpiä sosiaalisesta konstruktivismista tai situationaalisesta oppimisnäkökymyksestä johdetun opetuksen perusteista. Oppiminen nähdään sen valossa oppijaa kyvykkäämmän henkilön (asiantuntijan tai ryhmän vertaisjäsenen) ja oppijan (noviisin) välisenä vuorovaikutuksena, minkä seurauksena oppija voi aikansa yhteisessä tilanteessa toimitetaan yltää oppimisen alueille, joihin hän ei yksinään yltäisi (Häkkinen ja Arvaja 1999). Opettajan tai oppimisen ohjaajan tehtävänä on tarjota siihen asti oppijoille oikea-aikaista tukea (scaffolding), mikä auttaa oppijoita etenemään pulmatilanteissa niihin juuttumatta. Lähikehityksen vyöhykkeellä katsotaan olevan erityisen tärkeän merkityksen syvätason oppimiselle opettajalähtöisessä oppimisympäristössä sekä pelkästään kollaboratiiviseen oppimismalliin perustuvassa oppimisessä, missä ryhmän vertaisjäsenet eivät vaihdu. Scaffolding on edelleen keskeinen työväline myös kognitiivisen mallioppimisen sovelluksissa.

3.2.2. *Ongelmanratkaisuun perustuva opetus*

Ongelmanratkaisun taidoilla tarkoitetaan korkea-asteiseen osaamiseen liittyviä monimutkaisia taitoja, kuten kykyä löytää vaihtoehtoisia ratkaisuja ongelmiin, kykyä arvioida edistymistä ongelman ratkaisemisessa ja kykyä tunnistaa yleisiä periaatteita erityisratkaisujen taustalta. Jonassen (1997) on esittänyt konstruktivismiin perustuvalla opetuksella oppimistehtävän monimutkaisuuteen perustuvan hierarkkisen mallin, minkä hän katsoo olevan suoraan myös verkko-oppimiseen sovellettavissa. Jonassen määrittelee tärkeimmäksi eroksi konstruktivistisen ja perinteisen oppimisympäristön välillä sen, että konstruktivistisessa oppimisympäristössä oppimistehtävän ratkaiseminen ohjaa oppimista (induktiivinen lähestymistapa), kun taas perinteisessä opetuksessa teoria opitaan ensin ja tehtävät toimivat esimerkkeinä teorian soveltamisesta (deduktiivinen lähestymistapa, vrt. perinteinen fysiikan opetus). Oppimistehtävä kuuluu konstruktivistisessa oppimisympäristössä Jonassenin mukaan johonkin neljästä tehtäväluokasta, mitkä ovat kysymys, tapaustutkimus, pitkäkestoinen projekti ja ongelma. Tapaustutkimuksessa oppijat hankkivat tietoa ja kehittävät ajattelutaitoaan autenttisissa konteksteissa toimimalla ammatinharjoittajien tavoin ja laatimalla tuloksistaan erilaisia yhteenvetoja ja diagnooseja. Projektit vuorostaan koostuvat useista toisiinsa liittyvistä tapaustutkimuksista, ja ongelmat koostuvat edelleen tapaustutkimuksista ja projekteista, jotka liittyvät oppikurssien tasolla toisiinsa. Ongelmaperustainen oppiminen (problem-based learning, PBL) edustaa Jonassenin luokituksessa oppimistehtävän ratkaisemista monimutkaisuuteen perustuvan hierarkian ylimmällä tasolla.

Yleisesti tunnetuista ongelmanratkaisuun perustuvista opetusmalleista keksivä oppiminen (discovery learning, DL) edustaa lähestymistapaa, missä opettajan opetusta ohjaava rooli rajoittuu kognitiivisen ristiriidan mahdollistavien tilanteiden tuottamiseen oppijoille. Puhtaassa keksivässä oppimisessa oppija käyttää vapaasti avoimen oppimisympäristön resursseja, kuten Internetiä tai simulaattoria, valitun avoimen oppimistehtävän suorittamiseen (Mayer 2004). Muista vastaavista opetusmalleista tutkiva oppiminen (inquiry learning, IL) ja ongelmaperustainen oppiminen perustuvat autenttisen tutkimus- tai ongelmanratkaisutehtävän suorittamiseen lähikehityksen vyöhykkeessä ja opettajan oppimista tukevan ohjauksen minimointiin. Molemmat oppimismallit suosivat oppimisessa kollaboratiivista työskentelyä, eikä niiden välillä käytännössä ole selvää eroa (Prince 2004; Prince ja Felder 2006; Hmelo-Silver ym. 2007). Schmidtin ym. (2007) mukaan ongelmaperustaista oppimista luonnehtivat seuraavat yleiset piirteet:

- oppijat järjestetään pieniin ryhmiin
- ryhmiä harjoitetaan kollaboratiivisen ryhmätyöskentelyn taidoissa
- ryhmien oppimistehtävänä on selittää ongelmassa kuvatut ilmiöt ongelmaan liittyvien periaatteiden tai mekanismien avulla
- ryhmä aktivoi ennakkotietonsa aiheesta keskustelemalla ensin ongelmasta
- oppimisen ohjaaja on läsnä helpottamassa oppimista
- ohjaaja helpottaa oppimista tarjoamalla oppijoiden käyttöön heidän tarvitsemaansa tietoa, esittämällä heille kysymyksiä ja tarjoamalla muuta ongelman kehittäjän tarpeelliseksi katsomaa apua
- oppijoiden käytettävissä on itsensäätelevässä oppimisessa tarvittavia muita resursseja, kuten kirjoja ja artikkeleita.

3.3. Konstruktivismiin perustuva verkko-opetus ja verkko-oppimisympäristö

Oppimisympäristö-ajattelu perustuu konstruktivismiin ja sen yhteen perusoletukseen oppimisesta tilannesidonnaisena yksilöllisenä tiedon konstruointiprosessina (Salovaara 1997). Vaikeuden määrittely yksiselitteisesti, minkälainen konstruktivistinen oppimisympäristö on, on arveltu olevan eräs keskeisin syy vaikeuteen luoda konstruktivistisesta oppimisnäkemyksestä lähtien opetuksen käytäntöä (Windschitl 2002). Koska konstruktivistinen opetus perustuu näkemykseen oppijasta aktiivisena tiedon konstruoijana, ja tietoa konstruoidaan kaiken aikaa, kaikki oppimisympäristöt ovat eräässä mielessä konstruktivistisia. Verkko-oppimisympäristöä pidetään konstruktivistisena erityisesti siksi, että sitä verrataan perinteiseen, oppijan passiiviseen rooliin perustuvaan oppimisympäristöön.

Konstruktivistisen opetuksen tärkein perusoletus on se, että oppija on aktiivinen, tehtäväsuuntautunut ja sisäisesti motivoitunut oppimaan. Konstruktivistisen verkko-oppimisympäristön avulla oppijalle pyritään tarjoamaan siksi mahdollisuus tiedon konstruointiin aktiivisen ajattelutoiminnan sekä avoimien, autenttisiin käytännön ongelmiin sidottujen oppimistehtävien avulla (Salovaara 1997; Martens ym. 2007). Oppijoiden motivoimiseksi verkkokurssit ja -tehtävät pyritään nykyisin rakentamaan hyvin usein konstruktivistisen oppimisnäkemuksen mukaisiksi (Weller 2002, s. 65; Martens ym. 2007). Ongelmina konstruktivistisen verkko-oppimisympäristön rakentamisessa on opettajien vaikeus ennakoida, miten oppijat ymmärtävät heille esitettävät oppimistehtävät, ja se, motivoivatko tehtävät todella oppijoita. Hyvä motivaatio on konstruktivismiin perustuvan opiskelun perusedellytys, koska tiedon konstruointi ja siihen liittyvä käsitteellinen muu-

tos edellyttävät oppijoilta aktiivista ponnistelua (Hickey 1997; Palmer 2005). Konstruktivistisen verkko-oppimisen vaikutuksesta oppijoiden motivaatioon on Martensin ym. (2007) mukaan silti olemassa hyvin vähän kokeellista ja luotettavaa tutkimustietoa. Oppijoiden motivaatioon vaikuttamiseen on yleisestikin kiinnitetty vähän eksplisiittistä huomiota konstruktivismiin perustuvassa opetuksessa ja sen tutkimuksessa (Hickey 1997; Palmer 2005). Monien konstruktivismiin perustuvien opetusmallien eräät piirteet eivät lisäksi Palmerin (2005) mukaan ole täysin nykyisten motivaatiota koskevien näkemysten mukaisia.

Verkko-opiskelun oppijaa aktivoivan luonteen, sen vuorovaikutteisuuden ja sille ominaisen kirjallisen esitystavan reflektiivisyyden voitaisiin ajatella tuottavan opetukseen luontaista konstruktivistista lisäarvoa perinteiseen opiskelutapaan verrattuna. Tämän lisäarvon myönteinen vaikutus oppimiseen, jos sellaista olisi, puoltaisi jo itsessään verkko-opetuksen käyttöä fysiikan opetuksessa yliopistoissa ja korkeakouluissa. Opettajien ja verkko-oppimisympäristöjen kehittäjien odotukset verkko-opiskelun tämän suuntaisista vaikutuksista oppimiseen jäävät kuitenkin tutkimusten mukaan usein täyttymättä. Mm. oppimisympäristön kehittäjien opiskeltavaa aineistoa ja sen tehokkuutta (Gros 2001) ja autenttisuutta (Martens ym. 2007) koskevien oletuksien on tutkimuksissa havaittu eronneen oppijoiden asiaa koskevista mielipiteistä. Itsenäisesti tapahtuvan opiskelun on lisäksi havaittu johtavan etäoppimisessa ennalta ennustamattomiin oppimistuloksiin (Martens ym. 1996; Martens ym. 1997). Nämä havainnot verkko-opiskelun tuloksista ovat omiaan hillitsemään ajatuksia esimerkiksi fysiikan perusopetuksen korvaamisesta yliopistoissa kokonaan verkko-opetuksella. Eräissä yliopistoissa Yhdysvalloissa niin on kaikesta huolimatta tehty (Suson ym. 1999; Balasubramanya ym. 2004), mikä ennustanee kehitystä laajemminkin.

Wellerin (2002, s. 64-78) luettelemista kuudesta yleisimmästä verkko-opetuksen pedagogisesta mallista (s. 14-15) kollaboratiivinen oppiminen, resurssiperustainen oppiminen ja narratiivinen oppiminen luetaan ongelmaperustaisen oppimisen lisäksi yleensä teoriataustaltaan konstruktivistin piiriin kuuluviksi (Poikela 1998; Weller 2002, s. 65). Myös situationaalisella oppimismallilla ja konstruktivismilla on paljon yhtymäkohtia, joiden perusteella situationaalista oppimista pidetään usein konstruktivistisen suuntauksen mukaisena (Miettinen 2002a; Enkenberg 2004). Situationaalinen oppimisenäkemys yhdistää sosiaalisen konstruktivistin tavoin konstruktivistisen oppimisenäkemysperiaatteita ja tiedon sosiaalista muodostumista ja kulttuurista alkuperää korostavia näkemyksiä. Situationaalinen oppiminen eroaa kuitenkin lähtökohdaltaan konstruktivistisesta oppimisesta.

vismin lähtökohdasta, koska tiedon ajatellaan siinä sijaitsevan pysyvästi oppijan ulkopuolisessa sosiaalisessa maailmassa oppijan mielen sijasta (Anderson ym. 2000). Situationaalisessa lähestymistavassa korostuvat lisäksi perspektiivin otto (ajattelu toisen näkökulmasta) ja tiedon rakentaminen, kun taas sosiaalinen konstruktivismi yhdistää oppimisen kielelliseen kulttuuriin ja siihen liittyviin tapoihin puhua ilmiöistä (Enkenberg 2004). Konstruktivistista ja situationaalista verkko-opetusta on kuitenkin niiden keskinäisten yhtymäkohtien vuoksi perusteltua käsitellä tässä yhdessä. Siten esim. taulukon 2 voidaan katsoa esittävän molempien kyseisten oppimisnäkemysten mukaisia pedagogisia muuttujia. Verkko-oppimisympäristö voidaan haluttaessa rakentaa teknisesti sellaiseksi, että kyseisten merkityksellisen oppimisen kriteerien on mahdollista toteutua verkko-opiskelussa kaikin osin (taulukko 6).

Taulukko 6. Verkko-opiskelu merkityksellisen oppimisen kriteerien valossa (Mannisenmäki 2000 lyhentäen)

Merkityksellisen oppimisen kriteeri	Kriteerin toteutus verkko-opiskelussa
Aktiivisuus	Oppijoiden on mahdollista tuottaa verkkoon uusia ajatuksia ja ajatusmalleja
Konstruktivisuus	Keskustelutiloja ajatusten vaihtoa sekä aiempien tietojen ja tehtävien jäsentämistä varten
Yhteisöllisyys	Yhteinen, prosessimainen projektien ja harjoitusten toteutus
Intentionaalisuus	Välineet oman oppimisen suunnitteluun ja seurantaan
Vuorovaikutteisuus	Yhteiset keskustelutilat, sähköposti
Kontekstuaalisuus	Simulaatiot, videot, linkit, pienoistodellisuudet, ongelma-keskeiset tehtävät, jne.
Reflektiivisyys	Oman oppimisen arviointiin välineitä, kuten päiväkirja, testit jne.
Siirrettävyys	Oppimisympäristöön rakennettavat tietopankit, asiantuntijajärjestelmät, oppimista tukevat välineet, jne.

Oppimisen apuvälineiden olemassa olo ei silti yksinään takaa oppimisen tehokkuutta. Doolittle (1999) on tarkastellut luettelemiensa konstruktivismiin perustuvan opetuksen kahdeksan periaatteen pohjalta sitä, missä määrin verkkoympäristö tukee mainittujen periaatteiden toteutumista. Tuen asteen ilmaisuna hän on käyttänyt kolmiportaista asteikkoa A-C, missä A tarkoittaa enimmäisen tuen määrää:

- *oppimisen pitäisi tapahtua autenttisisa ja todellisen maailman ympäristöissä (A)*
 - verkkoympäristö ei ole autenttinen ympäristö, mutta verkkoon voidaan luoda konstruktivismin vaatimukset monimutkaisuudesta, kulttuurisesta merkityksellisyydestä ja jäsentymättömyydestä (ill-structured) täyttäviä virtuaaliympäristöjä, joissa voidaan simuloida todellisen maailman tapahtumia
- *oppimiseen pitäisi liittyä sosiaalista neuvottelua ja sovittelua (A)*
 - verkko-opetus tarjoaa oppijalle ainutlaatuisen mahdollisuuden osallistua sosiaaliseen neuvotteluun ja sovitteluun joko asynkronisen (esim. sähköposti) tai synkronisen (esim. IRC tai video-neuvottelu) yhteyden avulla
- *[opittava] sisältö ja taidot pitäisi tehdä merkityksellisiksi oppijalle (A)*
 - verkko-opetus pystyy tarjoamaan oppijalle pääsyyn valtavaan määrään hyvin monenlaista informaatiota, tietoa ja taitoja, mikä on hänelle merkityksellistä, jos hän pystyy itse valitsemaan tarjonnasta itselleen merkitykselliset aiheet, prosessit ja taidot
 - oppijan tiedon tarpeen ja opettajan oppijalle tarjoaman tuen välillä saattaa verkko-opiskelussa olla viivettä erityisesti asynkronista yhteydenpitoa käytettäessä
- *[opittavan] sisällön ja taitojen pitäisi olla oppijan aikaisempaan tietoon perustuen ymmärrettävissä (C)*
 - tämän vaatimuksen toteutuminen on verkkoympäristössä kaikkein vaikeinta, sillä se edellyttää oppijan ennakkotietojen luotaamista ja häneltä saatavaa palautetta, mikä on vaikeaa toteuttaa joustavasti etenkin itsenäisessä verkko-opiskelussa tai asynkronista yhteyttä käytettäessä
- *oppijoiden opintosuoritukset pitäisi arvioida formatiivisesti, jotta arviointi palvelisi myöhemmän oppimisen tarpeita (C)*
 - verkko-oppimisympäristö tarjoaa opettajalle ja/tai oppijalle mahdollisuuden seurata oppimisen edistymistä erilaisten kysymysten tai tehtävien avulla, mutta tätä palautetta ei juuri käytetä muuttamaan palautteen jälkeistä opetusta
- *oppijoita pitäisi rohkaista kehittymään itsesäätelviksi, itsemediatiivisiksi ja omista kognitiivisista toiminnoistaan tietoisiksi (C)*
 - oppija tarvitsee näitä ominaisuuksia jo verkko-opiskelua aloittaessaan, koska ne ovat edellytyksiä sille, että oppija sitoutuu riittävässä määrin verkko-oppimisympäristöönsä
 - oppijaa pitäisi erityisesti verkko-opiskelun alkuvaiheissa ohjata ymmärtämään verkko-opiskelun tavanomaiseen opiskeluun verrattuna suurempaa sitoutumista ja sinnikkyyttä vaativa luonne, mutta tätä ohjausta ei yleensä ole järjestetty asianmukaisesti

- *opettajat toimivat pääasiassa oppimisen oppaina ja helpottajina, eivät oppimisen ohjaajina (A)*
 - luennointi tai suoran ohjauksen käyttö verkko-opetuksessa on vaikeampaa kuin tavanomaisessa opetuksessa, mikä yhdessä verkko-opiskelun muiden piirteiden kanssa suuntaa opettajan roolia oppaan tai oppimisen helpottajan roolin suuntaan.
- *opettajien pitäisi tarjota oppijoille monia näkökulmia ja esitysmuotoja [opittavaan] sisältöön ja rohkaista oppijoita etsimään sellaisia (A)*
 - verkko-opetus tarjoaa hyvän mahdollisuuden monien eri näkökulmien esittämiseen ja kokemiseen kansainväliset ja kulttuuriset erot ylittäen.

Esitetystä tarkastelusta ilmenee konstruktivistisen verkko-opetuksen hyvinä puolina verkko-opiskelun tarjoama mahdollisuus osallistua usein ja helposti kollaboratiiviseen työskentelyyn sekä mahdollisuus hyvin monipuolisen näkemyksen ja ymmärryksen hankkimiseen opittavasta, jos opiskeluun käytettävällä ajalla ei ole merkitystä. Sen haittapuolia ovat jo Smithin ja Taylorinkin (1995) mainitsema vaikeus reagoida nopeasti oppijan ohjauksen tarpeeseen (s. 18), joustamattomuus ohjata opetusta oppijan edistymisen edellyttämällä tavalla sekä erityisesti oppijan oppimiseen sitouttamisen ongelma, mikä on keskeinen seikka vaativassa opiskelumallissa.

Doolittlen (1999) luettelemilla kahdeksalla periaatteella on merkittävä vaikutus siihen, minkälaisen verkko-opetuksessa käytettävän oppimisympäristön tulisi konstruktivismiin ajattelutavan mukaisena olla. Lähtökohtaisesti oppijakeskeisenä konstruktivistisen verkko-oppimisympäristön olisi tuettava oppijalle merkityksellistä oppimista, sen olisi rakennuttava oppijoiden ennakkotiedoille käsiteltävistä aiheista ja sen olisi otettava huomioon oppijoiden opittavaa koskevat virhe-käsitykset ja heidän henkilökohtaiset oppimistapansa ja -mieltymyksensä. Hannafinin ja Landin (1997) mukaan opetuksessa käytettävien työkalujen pitäisi tämän tavoitteen saavuttamiseksi pystyä ottamaan joustavasti huomioon ainakin oppijoiden taustaan liittyvät tekijät, heidän oppimistavoitteensa ja heidän henkilökohtaiset oppimistyylinsä. Näistä vaatimuksista erityisesti viimeisin on yli kymmenen vuotta Hannafinin ja Landin artikkelin kirjoittamisen jälkeen edelleen vaikea täyttää käytännön opetustyössä (Coffield ym. 2004). Mm. käsitykselle eri aistikanavien käytön yksilöllisten erojen tärkeydestä oppimisessa (ns. VAK-teoria) ei sen lisäksi ole olemassa juurikaan tieteellistä tukea (Coffield ym. 2004; Kratzig ja Arbuthnott 2006).

4. KONSTRUKTIVISMIIN PERUSTUVA OPETUS JA FYSIIKAN OPPIMINEN

4.1. Konstruktivismiin perustuvan opetuksen kritiikki

Miettisen (2000b) mukaan konstruktivismi oppimiseen liittyvänä terminä on menettänyt paljon alkuperäisestä merkityksestään, eikä sen käyttö kuin yhtenäisen teorian nimityksenä ole siksi hänen mielestään enää perusteltua. Konstruktivismin eri suuntauksista puhumisesta pitäisi hänen mielestään näiden suuntausten merkittävien erojen vuoksi luopua ja tarkastella kutakin suuntausta erikseen omana kokonaisuutenaan. Koska konstruktivismiin perustuvassa opetuksessa on silti yhteisiäkin piirteitä, kyseisen opetuksen kritiikkiä on käsitelty tässä näiden yhteisten piirteiden (Doolittle 1999) pohjalta siltä osin kuin se liittyy fysiikan verkko-opetukseen.

4.1.1. *Konstruktivismiin filosofia ja fysiikan paradigmat*

Kasvatustiede on kiinteästi yhteydessä filosofiaan, sillä kasvatustoiminnan perusteilla ja niiden erittelyillä on vaikutuksia kasvatuksen käytäntöön ja sen tutkimiseen. Todellisuuden ja tiedon luonnetta koskevat ontologiset ja epistemologiset käsitykset ovat sen kautta osa opetuksenkin käytäntöä, eikä niitä voida erottaa siitä erilleen. Fysiikan todellisuuskäsityksen mukaan todellisuus on olemassa samanlaisena havaitisijasta riippumatta ja siten, että kaikki olevainen koostuu tai on palautettavissa aineeseen ja aineessa ilmeneviin fysikaalisiin vuorovaikutuksiin (ontologinen realismi ja materialismi). Fysiikka tieteenä lähtee lisäksi siitä postulaatista, että luonnontieteen pitää aina pyrkiä varmistamaan teoriansa havainnoilla, ja että teorioiden pitää kaikilta osiltaan liittyä havaintosuureisiin (epistemologinen positivismi). Fysiikan näkökulmasta katsottuna konstruktivistisen oppimisnäkemysten muut piirteet kuin ne, mitkä ovat havainnoin todennettavissa, ovat siksi hataralla pohjalla, ja ne ovat spekulatiota enemmän kuin tiedettä. Konstruktivismiin sisältyvä ajatus todellisuuden ilmenemisestä erilaisena eri yksilöille tai ryhmille (ontologinen empirismi) on sen lisäksi vastoin fysiikan perusnäkemystä maailmasta. Johdonmukaisesti huomioon otettuna konstruktivistinen tietokäsitys tekisi luonnontieteen opettamisen tietona objektiivisesta todellisuudesta mahdottomaksi. Samoin luonnontieteellisen metodin perustana oleva hypoteettis-deduktiivinen päättely olisi vailla pohjaa konstruktivistisen tietokäsityksen mukaisessa maailmassa.

Radikaali ja sosiaalinen konstruktivismi muodostavat opetuksen kannalta tarkasteltuna dikotomian, minkä lähtökohtana ovat näiden ajattelusuuntausten käsitykset yksilöllisen ja yhteisöllisen tiedon konstruoinnin merkityksestä oppimisessa. Kun radikaalissa konstruktivismissa katsotaan, ettei oppijoilla voida tiedon konstruointiprosessin seurauksena olettaa olevan samanlaisen tietoisuuden, sosiaalinen konstruktivismi perustuu käsitykseen, että kaikki tieto on yhteisöllisesti konstruointia, eikä oppimisen siirtovaikutukseen yhteisöjen välillä voida luottaa (Fox 2001; Liu ja Matthews 2005). Sosiaalinen konstruktivismi ei tietokäsitykseltään ole sen maltillisempaa kuin radikaalikaan konstruktivismi, sillä sosiaalisen konstruktivismin mukaan myös luonnontieteellinen tieto on tiedeyhteisön keskinäisiin kielellisiin sopimuksiin perustuvaa ja neuvoteltua (ks. esim. Driver ym. 1994). Jos edelleen tieteen edistyminen nähdään sosiaalisen konstruktivismin tavoin vain yhteisesti sovittujen näkemysten muuttumisena (Driver ym. 1994; Lawson 2000), mitään objektiivisen tiedon kertymistä ei luonnontieteen historian kuluessa ole tapahtunut. Sosiaalinen, samoin kuin radikaali, konstruktivismi johdonmukaisesti tulkittuna johtaisi relativismiin ja solipsismiin, mikä ilmenisi opetuksessa mm. täydellisenä yhteisön tai ryhmän vapautena valita oppimisensa tavat ja päämäärät. Sen lisäksi mitään perusteltua syytä oppimisen tuloksen arviointiin ei olisi kummankaan suuntauksen perusteella olemassa.

Useimmille konstruktivistisille ajattelijoille tieto ei merkitse tietoa maailmasta, vaan tietoa kokemuksistamme ja siitä, miten ne ovat mielessämme järjestyneet (Matthews 1993). Konstruktivistinen tietokäsitys on siten lähtökohtaisesti ristiriidassa sen käsityksen kanssa, mitä tiedolla luonnontieteessä ja yhteiskunnassa yleisesti tarkoitetaan. Tästä ristiriidasta seuraa se paradoksi, että konstruktivistista tietokäsitystä ei yleensä oteta johdonmukaisesti huomioon konstruktivismiin perustuvassa opetuksessa. Konstruktivistinen opetus painottuu yleisesti realistiseen lähestymistapaan, minkä mukaan oppimisen lähtökohtana on tieteen todeksi osoittamien tietojen ja teorioiden omaksuminen. Konstruktivistisen tietokäsityksen ja konstruktivismiin perustuvan opetuksen erillisyyden vuoksi oppijoiden on Puolimatkan (1999) mukaan mahdollista tarkentaa todellisuutta koskevien käsitystensä oikeellisuutta konstruktivistisenkin oppimisenäkemyksen puitteissa. Pitkälle trivialisoituna konstruktivismin tietokäsitys on kuitenkin kykenemätön ohjaamaan opetuksen suunnittelua mihinkään suuntaan, mikä ei olisi jo aikaisemmin historiasta tunnettu ja loppuun käsitelty. Konstruktivistinen käsitys tiedon ja todellisuuden suhteesta jää silloin hokeman asteelle, millä ei ole käytännön opetuksellisia seuraamuksia. Koska tietokäsityksellä silti on tärkeä osa konstruktivismin ytimessä, tämä ristiriita vähentää suuresti konstruktivismin uskotta-

vuotta opetuksen osviittana. Ristiriidan olemassa olon vuoksi olisi jopa järkevää välttää monien pedagogisten mallien määrittelyä konstruktivismiin perustuviksi, jolloin epistemologisilta ongelmilta vältytään. Sen sijasta voitaisiin puhua yleisesti esim. induktiivisesta tai aktiiviseen oppimiseen perustuvasta opetuksesta, niin kuin usein tehdäänkin (ks. esim. Prince 2004; Prince ja Felder 2006).

4.1.2. Konstruktivismiin perustuvan opetuksen kokeellinen tausta

Konstruktivistisen oppimisenäkemyksen valta-aseman vuoksi huomattavaa osaa opetuksesta käsitellään nykyisin konstruktivismiin perustuvana, vaikka se ei sitä epistemologisten postulaattiansa perusteella ehkä olisikaan. Esimerkiksi monet kollaboratiivisuuteen ja osallistumiseen perustuvat opetuksen muodot luetaan nykyisin konstruktivismin piiriin kuuluviksi, vaikka ne eivät olekaan modernien konstruktivistien kehittämiä (Puolimatka 2002, s. 82, 238, 241). Mm. ongelmaperustainen oppiminen ja yhteistoiminnallinen oppiminen (co-operative learning) ovat eräitä jo kauan käytössä olleita opetusmalleja, mitkä mainitaan usein ensimmäisten joukossa konstruktivistisista opetusmalleista puhuttaessa. Tällaisia induktiivisia opetusmalleja koskevien korkeatasoistenkin tutkimusten tulosten tulkintaan liittyy useita periaatteellisia ja käytännön vaikeuksia. Prince (2004) ja Prince ja Felder (2006) ovat tiivistäneet nämä vaikeudet neljään eri eri ryhmään kuuluviksi:

- Induktiivisia opetusmalleja on monia erilaisia (mm. DL, IL, PBL, projektioppiminen, tapausperustainen oppiminen ja just-in-time-teaching), ja niitä sovelletaan käyttöön eri tavoin. Kaksi eri julkaisua voi käsitellä samaa opetusmallia, mutta opetuksen toteutus voi olla hyvin erilainen. Siksi myös näiden menetelmien tuottamat oppimistulokset voivat erota paljon toisistaan.
- Opettajien tai oppimisen ohjaajien kokemus ja taito eri opetusmallien käytössä saattaa vaihdella. Kaksi opettajaa, jotka käyttävät samaa opetusmallia samassa luokassa, saattavat saada erilaiset tulokset opetuksestaan.
- Oppijaryhmät, jotka osallistuvat opetukseen, voivat erota paljon toisistaan. Esimerkiksi eri sukupolviin tai etnisiin ryhmiin kuuluvat tai eri ikäiset, eri kokemuksia omaavat tai eri tavoin motivoituneet oppijat voivat reagoida opetukseen eri tavoin. Sama opettaja voi käyttää samaa opetusmallia kahden erilaisen oppijaryhmän kanssa ja saada erilaiset tulokset opetuksestaan.
- Tutkimuksesta saatavat tulokset voivat riippua paljon siitä, mitä oppimistuloksia halutaan tutkia. Opittavan sisällön omaksumisen lisäksi opetusmalli voi mm. kehittää oppijoiden kykyä ongelmanratkaisuun, parantaa heidän vuorovaikutustaitojaan tai vaikuttaa heidän asenteisiinsa, itseluottamukseensa tai kurssin läpäisemiseen. Tietty opetusmalli voi olla erittäin tehokas yhdellä oppimiskriteerillä arvioituna ja hyvin huono jollakin muulla oppimiskriteerillä arvioituna. Selllaisten oppimistulosten kuten kriittisen ja luovan ajattelun ja jatkuvan oppimisen taitojen luotetta-

va ja oikea arviointi on lisäksi vaikeaa. Kaksi julkaisua, mitkä käyttävät eri arviointikriteereitä, saattavat päätyä siksi erilaisiin johtopäätöksiin saman opetusmallin tehokkuudesta.

Eri opetusmallien käyttöön soveltamisessa esiintyvän monimuotoisuuden vuoksi on siten yleisesti vaikeaa päätellä mitä nimettyä opetusmallia jossakin tietyssä opetussovelluksessa on lähemmin tarkasteltuna noudatettu. Mitä monimutkaisemmasta opetusmallista ja vaikeammin määriteltävistä oppimisen tavoitteista on kysymys sitä vaikeampaa on myös tehdä oikeita johtopäätöksiä siitä, mitkä opetuksen piirteet tuottavat halutun oppimistuloksen, ja minkälainen se tulos todellisuudessa on. Konstruktivistisen oppimisenäkemyksen periaatteita sovelletaan tämän seurauksena yleisesti käyttöön varsin löyhäänkin kokeelliseen näyttöön perustuen. Konstruktivismiin perustuvan opetuksen tehokkuudesta erityisesti opittavan sisällön omaksumisessa on olemassa lähestymistavan monimuotoisuuteen ja suosioon nähden huomattavan vähän kokeellisesti kiistatonta näyttöä (Kirschner ym. 2006; Hmelo-Silver ym. 2007; Sweller ym. 2007). Luotettavaa, PERiin perustuvaa, näyttöä tällaisen opetuksen tehokkuudesta on Haken (20007b) mukaan kuitenkin olemassa, ja se on ilmeisesti osalle konstruktivistista ja kognitiotieteen tutkijayhteisöä tuntematonta.

Kognitivismi on kasvatustieteellisen oppimisteorian ja metodologian lisäksi psykologian ja kognitiotieteen valtavirtaa edustava teoria ja tutkimussuunta. Konstruktivismin sovelluksissa opetukseen ei sen sijaan ole taustalla empiirisiin havaintoihin perustuvaa tieteellistä teoriaa. Siihen, että oppimiseen liittyy tiedon aktiivista konstruointia ei siten liity tieteellistä näyttöä siitä, että oppiminen olisi vahvan konstruktivismin mukaisesti idiosynkraattista (yksilölle tai ryhmälle erityislaatuista), ja että opettajan suoraan ohjaukseen perustuva opetus olisi siksi tehotonta. Triviaali konstruktivismi ei perustele myöskään sitä konstruktivismin näkemystä, että oppijoilla pitäisi olla mahdollisuus konstruoida tietoa vain oppimistehtävän tavoite tuntien ilman opettajan tarjoamaa tietämystä tehtävän ratkaisutavasta ja siinä vaikuttavista tekijöistä. Sellaiset pedagogiset mallit on Swellerin ym. (2007) mukaan kehitetty aikana, jolloin ihmisen kognition keskeisen osan ajateltiin olevan kyvyn keksiä uusia ongelmanratkaisu- ja ajattelustrategioita, mikä ajattelutapa ei ole nykyisen ihmisen kognitiota koskevan tietämyksen mukainen. Nykyisen kognitiotieteessä hyväksytyyn käsitykseen mukaan oppiminen on havaintoihin perustuvaa informaation koodautumista oppijan pitkäaikaismuistiin, mikä tapahtuma aiheuttaa hänessä tiedon tai taidon muutoksen (vrt. s. 4 ja vahva konstruktivismi, s. 26). Mm. tutkiva oppiminen, ongelmaperustainen oppiminen ja kokemuksellinen oppiminen perustuvat Swellerin ym. (2007) mukaan siten jo teo-

rialtaan vanhentuneeseen käsitykseen ihmisen tiedonkäsittelystä ja kognitiivisesta arkkitehtuurista.

Konstruktivistisen oppimisenäkemyksen kannattajat pyrkivät siitä huolimatta yleensä korostamaan konstruktivististen opetusmallien perustumista psykologian tutkimuksessa ja aivotutkimuksessa saavutettuihin tuloksiin. Väite on vahvan konstruktivismin osalta kiistanalainen siinä määrin, että sosiaalisen konstruktivismin lähtökohtia opetuksessa on suuntauksen painotusten vuoksi kutsuttu jopa ”oppimiseksi ilman aivoja”. P. Matthews (2000) on tarkastellut oppimis- ja opetusteorioita modernin kognitiotieteen näkökulmasta, ja havainnut mm. konstruktivismiin sisältyvän implisiittisen käsityksen ihmisen kognition perustumisesta informaation aihealueesta riippumattomaan (domainfree) käsittelyyn aivoissa. Tämän käsityksen hän toteaa olevan lasten varhaisesta oppimisesta saadun tutkimustiedon vastaisen, minkä tiedon hän katsoo tukevan näkemystä ihmisen kognition aihepesifisyydestä ja modulaarisuudesta. Erilaiset aihepesifiset tietorakenteet näyttäisivät nykyisen tietämyksen perusteella vaikuttavan myös oppijoiden fysiikan oppimiseen huomattavasti lapsuusikää myöhemminkin (Sabella ja Redish 2007). Matthews katsoo tutkimusten eläinten ja ihmisen oppimisesta tukevan edelleen sitä näkemystä, että osa oppimisesta perustuu synnynnäisten aihealueiden toimintaan, ja että osa ihmisen tiedon hankinnasta on ulkoisen ärsykkeen käynnistämää (triggered) eikä opittua. Nativistinen ajatus siitä, että osa ihmisen maailmaa koskevasta tiedosta on myötäsyttyistä, on konstruktivismin empiristisen tietokäsityksen vastainen. Kokeellinen tutkimus myös ihmisen kognition luonteesta tukee siten nykyisin käsitystä konstruktivismista jo vanhentuvana filofisena aatesuuntauksena.

4.1.3. Tavoitteiden asettelu konstruktivismiin perustuvassa opetuksessa

Pesonen (2000) nimeää verkkodidaktiikan osa-alueiksi yhtäältä opetuksen suunnitelmat ja tavoitteet ja toisaalta ne menetelmät ja keinot, joilla asetettuihin tavoitteisiin pyritään. Verkko-opetuksen suunnittelussa tulisi Nevgin ym. (2004) mukaan ottaa huomioon sekä opiskeltavan aineen sisältö ja didaktiikka että oppimiselle asetetut tavoitteet. Opetusmenetelmien ja -keinojen voidaan yleisestikin arvioida olevan oppimistavoitteille alisteisten, ja määräytyvän sen mukaisesti, mitä niillä on tarkoitus saavuttaa. Konstruktivistista oppimisenäkemyksestä on arvosteltu siitä, että se pyrkii ohjaamaan opetusta sen perusteella miten oppijat oppivat, mutta ei pidä ongelmana sitä, opitaanko asiat oikein (esim. Redish 1999; Tsaparlis 2001). Tämä ongelma seuraa konstruktivis-

miin perustuvan opetuksen siitä periaatteesta, että oppijoiden pitäisi antaa konstruoida itse tietonsa opittavasta, eikä opettaja saisi antaa suoria ratkaisuja ongelmiin. Oppija tuntee sellaisen oppimistehtävän edessä suurta epävarmuutta (Nevgi ja Lindblom-Ylänne 2004b) ja saattaa turhautua sitä suorittaessaan, vaikka omatoiminen oppiminen olisi ennakkotietojen riittävyden ja aiheen luonteen vuoksi mahdollistakin. Opitun sisältö on sellaisen omatoimisen oppimisen kannalta peruskysymys, koska oppija ei tee oppimisen tuloksena eroa todellisen tiedon ja itse konstruoimansa uskomuksen välillä (Matthews 2002). Kriittistä sen kannalta on myös kyseiseen lähestymistapaan liittyvä ajatus siitä, että aistihavainnoista voisi helposti tai induktiivisella menetelmällä johdattaa käsitteellistä tietoa. Mm. Matthews (1993) ja Jenkins (2000) ovat kärjistäneet tämän asian kysymykseksi siitä, pystyvätkö oppijat luomaan nykyaikaista luonnontiedettä pelkästään tarkkailemalla kohteita ja ajattelemalla kokemuksiaan niistä, kun vastaavan tiedon saavuttaminen on vaatinut ihmiskunnalta satojen vuosien kehityksen. Tavallisen riviopettajan kannalta nämä ongelmat pyrkivät siksi kääntymään kysymykseksi siitä, missä vaiheessa opetusta hän sitten saa kertoa tehtävän oikean ratkaisun.

Kurki-Suonio ja Kurki-Suonio (1998) ovat tarkastelleet asiaa fysiikan kannalta, ja he ovat todenneet, että opetuksessa ei ole samantekevää se, minkälaisiksi ja miten oppijan tiedot ja ajattelu fysiikassa muodostuvat. Heidän mukaansa fysiikan opetuksella on tavoitteita, jotka ovat fysiikan oppisisältöjen lisäksi lähtöisin myös fysiikan tiedollis-käsitteellisistä ja metodis-prosessuaalisista rakenteista. Tämä rakenteellisuus on Kurki-Suonioiden mukaan pitkälti absoluuttista, joten sitä voidaan pitää siksi eräänlaisena fysiikan tietokäsityksen ilmentymänä. Samantapainen rakenteellisuus on ominaista kaikelle luonnontieteelle, missä se ilmenee eri tieteenalojen käyttämien teoreettisten käsitteiden verkostona. Koska täsmälliset teoreettiset käsitteet eivät synny todellisia kohteita koskevista kokemuksista, oppija on mm. Matthews (1993) ja Solomonin (1994) mukaan nimenomaan ohjattava luonnontieteellisten käsitteiden ja menetelmien pariin. Kokemuksista syntyy Matthews (1993) mukaan vain ”aristoteelisesti tieteellisiä” käsitteitä, joita nykyinen luonnontiede ei käytä tai tunne.

Kurki-Suonioiden näkemys fysiikan opetuksesta perustuu siihen tosiseikkaan, että fysiikan tieto ja kokemukset maailmasta ovat hierarkkisesti rakentuneita. Hierarkian alimmalla tasolla ovat fyysisiin olioihin liittyvät aistein havaittavat ilmiöt ja ominaisuudet (kvalitatiivinen taso), ja ylimmällä tasolla ovat fysikaalisiin suureisiin ja malleihin perustuvat teoriat (kvantitatiivinen ta-

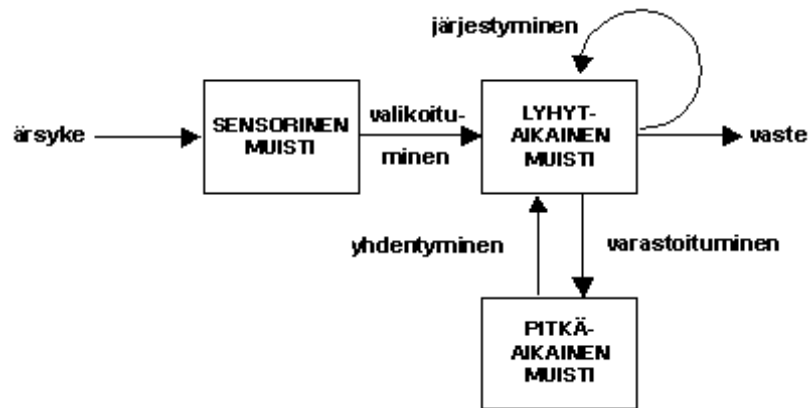
so). Opetuksen kannalta fysiikan hierarkkinen rakenne määrittelee fysikaalisen tiedon tasot, joista usein on käytetty nimitystä ”ymmärtämisen portaat”. Jokaisen aiheen käsittelyn tulisi fysiikassa antaa käsitys siitä, mitä havaittavia ilmiöitä (1) aihe koskee, millä suureilla (2) ilmiöitä esitetään, mitä lakeja (3) nämä suureet noudattavat ilmiöissä, mikä teoria (4) ja millaiset teoreettiset mallit selittävät nämä lait, ja mitä sovelluksia (5) tai mitä käytännön merkitystä ilmiöillä on (Kurki-Suonio ja Kurki-Suonio 1994, s. 287). Fysiikan suureet muodostavat siten käsitteiden verkoston, missä useimmat suureet määritellään toisten suureiden avulla, ja mikä määrittelee perusteet kokeille, joiden avulla kukin suure ja sen merkitys voidaan todentaa mittauksin. Suureiden ja käsitteiden merkitys on fysiikassa siten tarkoin määritelty ja rajattu ja siksi yksikäsitteinen. Fysiikan käsitteistöä tai metodia ei voida siksi oppia epätäsmällisesti, vaan opittavan sisältö on fysiikassa omaksuttava sellaisenaan fysiikan ymmärtämiseksi. Tätä tavoitetta puoltaa sekin, että fysiikan maailmankuvaan ei kuulu useita samanarvoisia käsityksiä fyysisestä maailmasta. Yksilöiden havaintoihin perustuva fysiikan tieto toimii samalla tavoin havaintojensa riippumatta, mikä on vahva argumentti objektiivisen tietokäsityksen puolesta.

Jopa Meixnerin (1997) kuvaama sosiokonstruktivistinen luokkaopetuskin (s. 30) perustuu opettajajohtoisuudestaan huolimatta opettajan suoran ohjauksen minimoinnin periaatteelle. Sen lisäksi kuvattuun opetukseen liittyy se Meixnerin ilmoittama piirre, että kuvatussa opetuksessa ei ole mitään etukäteen suunniteltuja oppimisen päätepisteitä. Meixnerin ohjeen mukainen opetus ei siksi voi rakentua myöskään millekään täsmällisesti määritellyille oppimistavoitteille. Tällainen ohje sopii huonosti noudatettavaksi opetussuunnitelmia toteuttavassa luokkaopetuksessa tai kursien suorittamiseen perustuvassa opiskelussa yleensä. Vaikeutena kuvatussa opetuksessa on edelleen sekin, miten ohjauksen minimointi voidaan käytännössä toteuttaa oppimistulosta vaarantamatta. Kokeneenkin opettajan on vaikeaa tietää, milloin ryhmän jäsenet ovat saavuttaneet sen tason, jolloin opettaja voi jättää heidät työskentelemään yksin ilman opettajan tukea. Nämä esitetyt ongelmat ovat paljolti yhteisiä muullekin sosiokonstruktivistiselle opetukselle.

4.1.4. Konstruktivismiin perustuvan opetuksen tehokkuus

Opetus on yleensä tavoitteellista toimintaa, joten sen tehokkuutta on pystyttävä jollakin tavalla arvioimaan. Luontevana opetuksen tehokkuuden mittana fysiikassa voidaan käyttää opittavan sisällön hallintaa ja ymmärtämistä suhteessa opiskelua edeltävään tilanteeseen tai opetus- ja oppi-

misponnistuksiin. Koska oppijoiden pitäisi konstruktivismiin perustuvassa opetuksessa etsiä itse usein vastauksia ongelmiin, asioiden oppimiseen tarvitaan siinä opetuksen tehokkuuden kannalta tarkasteltuna epäkäytännöllisen paljon aikaa (Redish, 1999). Omatoimiseen oppimiseen liittyy sen lisäksi se vaara, että oppijat eivät puutteellisten metakognitiivisten taitojensa vuoksi osaa erottaa olennaisia opittavaan liittyviä havaintoja muista, epäolennaisista, havainnoista. Mikään aktiivisuus, enempää käyttäytymisen kuin mentaaliselkään tasolla, ei silloin auta heitä oppimistehtävästä suoriutumisessa (Mayer 2004). Opiskelun lopputulos on Wellerin (2002, s. 65) mukaan epävarma etenkin silloin, jos oppijoiden itsensäätelevyyden oletukseen yhdistetään oppimisen ohjauksen vähäisyys, niin kuin usein tehdään. TIMSS 1999-tutkimuksessa erilaisilla ryhmä- ja projektityötavoilla havaittiin useimmissa maissa olevan jopa negatiivinen yhteys luonnontieteen osaamiseen (Reinikainen 2008). Tämä korostaa ryhmässä työskentelyn huolellisen ohjaamisen merkitystä kyseisissä oppimistavoissa.



Kuva 2. Ihmisen tiedonkäsittelyprosessi ja kognitiivinen arkkitehtuuri

Nykyisen kognitiotieteessä hyväksytyn käsityksen mukaan ihmisen kognition keskeisin osa on hänen pitkäkestoiseen muistiinsa havaintojen välityksellä tallentunut tieto. Muistilla tarkoitetaan silloin yksilön kognitiivista kykyä tallentaa informaatiota fyysiseen rakenteeseensa siten, että se on myöhemmin kognitiivisten prosessien käytettävissä. Kognitiivisessa psykologiassa käytettävän muistin monivarastomallin mukaan ulkoinen ärsyke otetaan ensin vastaan sensoriseen muistiin, mistä informaatio siirtyy ensin lyhytkestoiseen työmuistiin ja siitä edelleen pitkäkestoiseen säilömuistiin (kuva 2). Työmuistilla on keskeinen osa oppimisessa, koska se käsittelee sekä aisti-havaintojen tuomaa informaatiota että säilömuistista työmuistiin palautettua informaatiota. Työ-

muistin kapasiteetti on hyvin pieni, ja tieto säilyy siinä enintään 20-30 sekuntia. Nämä rajoitukset koskevat vain sensorisesta muistista tulevaa uutta informaatiota, mutta ei sitä informaatiota, mikä palautetaan säilömuistista työmuistiin käsiteltäväksi. Informaation tietoinen käsittely tapahtuu monivarastomallin mukaan työmuistissa. (Redish 2004; Sweller ja Sweller 2006).

Informaation katsotaan nykyisin tallentuvan ihmisen säilömuistiin tietorakenteina, mitkä edustavat eri asiayhteyksiin liittyviä ajatteluprosesseja. Oppiminen edellyttää muutoksia oppijan tietorakenteissa, mikä tapahtuu aluksi hitaasti ja haparoiden. Lukuisat tutkimukset osoittavat, että asiantuntijat pystyvät hyödyntämään tietorakenteitaan oppimisessa eri tavalla kuin asiaan vasta perehtyvät noviisit (Kirschner ym. 2006; Tuminaro ja Redish 2007). Silloinkin, kun asiantuntijat eivät tiedä asiasta enempää kuin noviisit, he oppivat noviiseja nopeammin, koska heidän tietorakenteensa ovat noviisien tietorakenteita järjestyneempiä (National Research Council 2004, s. 44-64). Kirschner ym. (2006) ja Sweller ym. (2007) ovat kritisoineet oppijan omatoimisuuteen perustuvaa opetusta siitä, että omatoiminen, asiantuntijoiden työskentelyä jäljittelevä ongelmanratkaisu kuormittaa noviisioppijan työmuistia yksipuolisesti uuden informaation käsittelyllä. Asioiden oppiminen edellyttäisi kognitiotieteen käsityksen mukaisesti sen sijaan informaation siirtymistä työmuistista säilömuistiin ja sen käsittelyä työmuistissa useaan kertaan, jotta oppimista tapahtuisi. Tältä pohjalta he ovat verranneet ohjatusta ja minimaalisesti ohjatusta oppimisesta (guided and minimal quided instruction) 50 vuoden aikana tehtyjä tutkimuksia keskenään ja havainneet minimaalisesti ohjatun opetuksen olevan oppimisen kannalta selvästi vähemmän tehokkaan kuin ohjatun opetuksen (Kirschner ym. 2006). Minimaalisesti ohjattuun opetukseen kuuluviaksi he lukevat konstruktivismiin perustuvan opetuksen kokonaisuudessaan sekä mm. keksivän oppimisen, tutkivan oppimisen, ongelmaperusteisen oppimisen ja kokemuksellisen oppimisen (experiental learning, EL) mallit. Mayer (2004) on vastaavan 1960-luvulta 1980-luvun lopulle ulottuvan vertailun perusteella päätenyt samaan johtopäätökseen ohjatun opetuksen ja keksivän oppimisen keskinäisestä tehokkuudesta kuin Kirschner ym. (2006). Mayerin mukaan ohjatun opetuksen paremmuus keksivään opetukseen verrattuna on havaittavissa oppimistehokkuuden lisäksi myös oppimisen siirtovaikutuksessa. Jonassenkin (1997), vaikka on konstruktivistinen, suosittelee jäsentyneitä ongelmia käytettäväksi noviisien ja jäsentymättömiä (ill-structured) ongelmia käytettäväksi pitemmälle edistyneiden oppijoiden opetuksessa. Samoin Schmidt ym. (2007) myöntävät opettajan tukeen perustumattoman keksivän oppimisen mallin olevan noviisien opetuksessa tehottoman.

Kirschnerin ym. (2006) artikkeli on aiheuttanut vastakritiikkiä (Hake 2007b; Hmelo-Silver ym. 2007; Schmidt ym., 2007) ja laajaa keskustelua konstruktivistisen ja instruktivistisen lähestymistavan keskinäisestä paremmuudesta opetuksessa. Mayerin (2004) ja Kirschnerin ym. (2006) artikkelien lisäksi silti muitakin laajapohjaisia konstruktivismiin perustuvan opetuksen kritiikkejä on esitetty viime vuosina. Esimerkiksi Keeves (2002) on tarkastellut matematiikan ja luonnontieteen opetuksessa viimeisten 50 vuoden aikana tapahtuneita uudistuksia sen kehityksen valossa, mikä samana aikana on tapahtunut kehitys- ja kognitiivisessa psykologiassa, neurotieteessä, oppimisen ja opetuksen tutkimuksessa ja fysikaalisia ja biologisia tieteitä koskevassa tiedossa. Tarkastelunsa tuloksena hän on esittänyt konstruktivismin olevan epätäydellisen ja epäsoveliaan lähtökohdan luonnontieteen ja matematiikan tehokkaaseen oppimiseen lukiotasolla. Anderson ym. (2000) ovat vastaavasti tarkastelleet kriittisesti konstruktivistiseen ja situationaaliseen oppimisenäkemykseen perustuvaa opetusta ihmisen informaationkäsittelyprosessin näkökulmasta useiden opetuksen peruspiirteiden osalta erityisesti matematiikan opetuksessa. Situationaalisen oppimisen he katsovat johtavan liian suppeisiin oppimistuloksiin ja konstruktivismin puolustavan hyvin tehottomia oppimis- ja arviointimenetelmiä. Fox (2001) on edelleen samanlaisen tarkastelun pohjalta katsonut konstruktivismin tarjoavan harhaanjohtavan ja epätäydellisen käsityksen ihmisen oppimisesta, mikä johtaa harhaanjohtaviin ohjeisiin luokkaopetuksesta.

Andersonin ym. (2000) näkemys saa fysiikan osalta tukea mm. Bennettin ym. (2003) meta-analyysistä, minkä mukaan sovelluksista liikkeelle lähteminen opetuksessa voi johtaa siihen, että omaksutut tiedot jäävät irrallisiksi, eivätkä ne kytkeydy osaksi fysiikan tai kemian tietorakennetta. Kontekstuaaliset lähestymistavat eivät kuitenkaan Bennettin ym. mukaan haittaa luonnontieteellisen tiedon oppimista, minkä lisäksi ne vaikuttavat jonkin verran oppijoiden kiinnostukseen fysiikkaa ja kemiaa ja niiden opiskelua kohtaan 11-18-vuotiaiden oppijoiden ikäryhmässä. Taasobshirazin ja Carrin (2008) mielestä nykyisestä tutkimuskirjallisuudesta ei kuitenkaan voida tehdä fysiikan kontekstiperustaista opetusta koskevia päätelmiä. Kaikissa aiheita käsittelevissä kokeellisissa tutkimuksissa on heidän mukaansa ollut merkittäviä menetelmällisiä puutteita.

4.1.5. Sosiaalisen kontekstin korostus konstruktivismiin perustuvassa opetuksessa

Näkyvin radikaali- ja sosiokonstruktivistisiin oppimismalleihin liittyvä ero perinteiseen opettaja-johtoiseen oppimiseen verrattuna on opettajan oppijaan kohdistaman suoran ohjauksen määrä.

Opetuksen instruktiivisuus nähdään vahvaan konstruktivismiin perustuvassa opetuksessa vastaakohtana oppijan itsenäisyydelle, eikä sitä pidetä tämän itsenäisyyden edellytyksenä, kuten muunlaisessa opetuksessa usein tehdään. Esimerkiksi kognitiivinen konstruktivismi tarkastelee oppimista yksilön tietorakenteiden kehittymisenä, jolloin oppimisprosessissa korostetaan sosiaalisen vuorovaikutuksen merkitystä. Oppimisprosessi on kuitenkin siinä yksilöllisten tietorakenteiden kehittämisen väline, ei oppimisen perusolemuksena, kuten sosiaalisessa konstruktivismissa.

Vastaanottavan oppimisen tarkoituksena on vahvan konstruktivismin näkökulmasta katsoen lisäksi indoktrinoida oppija jonkin annetun kaavan mukaisesti ajattelevaksi, mikä tavoite on konstruktivistiselle opetukselle vieras (Puolimatka 1999; Kuhn 2007). Ryhmän tai yhteisön yhdenmukaistavaa vaikutusta oppijan näkemyksiin pidetään sosiokonstruktivismiin perustuvassa opetuksessa silti nimenomaan hyvänä asiana, ja se on kyseisten opetusmallien ytimenä. Tämä ja yllä esitetty vastakkainasettelu perustelevat kysymyksen, miksi sosiokonstruktivismiin perustuva yhdenmukaistuminen olisi parempi asia kuin ohjatun oppimisen tuottama yhdenmukaistuminen, kun lopputuloksena kuitenkin on mukautuminen oppijan ulkopuolelta saadun ajattelutavan mukaisesti ajattelevaksi. Vastaus tähän kysymykseen näyttäisi ainakin luonnontieteen opetuksen osalta olevan tieteen sisäisistä kulttuurieroista ja tietokäsityksestä johdettavissa.

Kuhn (2007) tuo selvästi esille konstruktivistisen arvonäkökulman asiaan, kun hän vastakritiikissään Kirschnerin ym. (2006) artikkeliin kyseenalaistaa luonnontieteen sisältöjen opetuksen tarpeellisuuden ja painottaa argumentointiin ja tiedon hankkimiseen oppimisen tärkeyttä opetuksessa (julkaisun s. 110-111). Tällä näkemyksellään hän perustelee sosiaaliseen konstruktivismiin pohjautuvien oppimistapojen, kuten ongelmaperustaisen oppimisen ja tutkivan oppimisen, paremmuutta suoraan ohjaukseen perustuvaan oppimiseen verrattuna. Kuhn ei kritiikissään näytä kuitenkaan ymmärtävän tiedon rakenteellisuuden ja sisällön välistä yhteyttä luonnontieteessä, eikä tämän yhteyden merkitystä luonnontieteellisen tiedon hankkimiselle. Fysiikan tieteenalalla erityisesti SI-järjestelmän ja sen perus- ja johdannaisuureiden ymmärtäminen muodostavat fysiikan osaamisen ja tiedon hankinnan perustan. Kuhnin puolustamia argumentoinnin taitojakin voidaan perustellusti pitää vain toisarvoisina taitoina niitä tärkeämmän luonnontieteellisen asiantuntemuksen ohessa. Esimerkiksi Sweller ym. (2007) kiinnittävät Kirschnerin ym. (2006) artikkelista esitetyn kritiikin vastakritiikissään huomiota myös ongelmaperustaisen ja tutkivan oppimisen

kannattajien argumenteissaan käyttämien käsitteiden ja oppimisen tavoitteiden epämääräisyyteen:

”When Hmelo-Silver et al. (2007) state, “In PBL, students learn content, strategies, and self-directed learning skills through collaboratively solving problems, reflecting on their experiences, and engaging in self-directed inquiry,” which strategies and which self-directed learning skills are being referred to (p. 100)? What is an example of a “flexible thinking skill” and where is the evidence that it can be taught (p. 102)? How does one teach “sense making” (p. 101)? Has anyone ever tested whether learners who learn sense making, however defined, through inquiry-based techniques are better at sense making in a novel environment than learners who are presented the same information via, for example, problems and their solutions? Where does the newly learned sense making skill reside; in long-term memory? Is that where a flexible teaching skill resides as well? If we can describe these skills, why can we not teach them directly and explicitly? In our experience, they are rarely if ever described, let alone taught. If self-directed learning skills means learning to use the internet or learning to use a library, those skills can and should be taught directly and explicitly.”

Tämä Swellerin ym. (2007) kritiikki osoittaa valaisevasti kokeellisuuteen perustuvan päättelyn ja oppimisnäkemyksestä toimintaohjeensa johtavan ajattelutavan yhteismitattomuuden kollaboratiivisen oppimisen perusteluina. Sen lisäksi se perustelee tarpeen määrittellä selvästi ne psykologiset prosessit, mitkä vaikuttavat erilaisten opetusmenetelmien taustalla. Edelleen myös sen määrittely, mitä sosiaalinen tai muu konteksti tarkoittaa, on tarpeen, jotta kontekstin tai sen osatekijöiden merkitystä oppimisessa voidaan testata. Kontekstin käsite on nykyisin epätäsmällinen, eikä sen sisällöstä vallitse yksimielisyyttä (Finkelstein 2001, 2005; Redish 2004).

Oppimisen sosiaalisella kontekstilla tarkoitetaan yleisesti sitä sosiaalista ympäristöä ja niitä sosiaalisia suhteita, missä oppiminen tapahtuu. Kollaboratiivinen tai yhteistoiminnallinen opiskelu määrittelevät konstruktivismiin perustuvassa opetuksessa usein ne oppimisen ja muun toiminnan muodot, missä sosiaalinen konteksti ja sosiaaliset suhteet toteutuvat. Yhteistoiminnallisella oppimisella tarkoitetaan silloin oppijoiden työnjakoon perustuvaa oppimista pienryhmissä yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi. Kontekstuaalisuuden tai situationaalisuuden katsotaan vahvassa konstruktivismissa tukevan mm. oppimisen intentionaalisuutta, eli vaikuttavan oppijan sisäiseen motivaatioon opetusympäristön piirteiden kautta. Kollaboratiivisuuden korostaminen sosiaalisessa konstruktivismiin perustuvassa opetuksessa perustuu sen lisäksi näkemykseen, että lähes kaikki tehtävät ovat sosiaalisia luonteeltaan, ja että oppiminen on aina sidoksissa oppimiskontekstiin (Anderson ym. 2000). Tämän näkemysten tueksi ei liene olemassa tutkimustuloksia siitä, kuinka paljon ja minkälaista sosiaalista vuorovaikutusta erilaisissa tehtävissä tarvitaan. Vaik-

ka sellaisia tutkimustuloksia olisikin olemassa, tarve sosiaalisten taitojen hallintaan ei merkitse sitä, että kaikkia elämässä tarvittavia taitoja pitäisi opetella sosiaalisessa kontekstissa. Lawsonin (2000) mukaan jo lyhytkin tarkastelu osoittaa, että sosiaalinen ympäristö voi helpottaa oppimista, mutta ei ole sille välttämätön, mikä päätelmä on arkikokemuksenkin mukainen. Oppimisen sosiaalisen ulottuvuuden ylikorostamista opetuksessa ei voida perustella myöskään ”työelämässä tarvittavan sosiaalisuuden” kehittämällä (Häkkinen ja Arvaja 1999), jos sellaista käsitettä voidaan edes yksiselitteisesti määritellä. Mm. luonnontieteellisiin asiantuntijatehtäviin palkattaneen jatkossakin henkilöitä ensisijaisesti muun osaamisensa kuin sosiaalisten taitojensa perusteella. Ryhmätyöskentely ei työelämässä myöskään yleensä tarkoita sitä, että työn tulos syntyisi nimenomaan yhdessä työskentelyn, vaan henkilökohtaisten osatehtävien suorittamiseen perustuvan työskentelyn tuloksena. Ryhmätyöskentelyssäkin tarvittavia taitoja ja tekniikoita voidaan siksi harjoitella yliopisto- ja korkeakouluopinnoissa oppisisältöjen opiskelusta erillään (vrt. Sweller ym. 2007 edellä).

Anderson ym. (2000) ovat todenneet useisiin esimerkkeihin viitaten hyvin monien tutkimusten psykologiassa osoittavan, että oppimistehtävään sisältyvät toisistaan riippumattomat osatehtävät kannattaa oppimisen tehokkuuden vuoksi nimenomaan suorittaa erillään toisistaan. He viittaavat sosiaalisen oppimisympäristön merkitystä tarkastellessaan myös Yhdysvaltain National Research Councilin (1994) yhteistoiminnallista oppimista koskevaan katsaukseen, minkä mukaan kyseistä opetusmallia koskeva tutkimus on ollut usein huonosti kontrolloitua, ja että verrattain harvat tutkimukset ovat osoittaneet menetelmästä olevan etua yksilölliseen oppimiseen verrattuna. NRC:n katsauksen mukaan yhteistoiminnalliseen oppimiseen on lisäksi havaittu liittyvän joukon haitallisia piirteitä, jotka ovat monille opettajille tuttuja kaikkeen ryhmätyöskentelyyn liittyvinä. Sellaisia piirteitä ovat Salomonin ja Globersonin (1989) käyttämien termien mukaisesti

- *vapaamatkustajien ongelma (free rider effect)*
 - ryhmän kaikki jäsenet eivät työskentele aktiivisesti päämäärän saavuttamiseksi
- *alisuorittamisongelma (sucker-effect)*
 - ryhmän aktiivinen tai osaava jäsen alkaa työskennellä tehottomasti huomattessaan joutuvansa tekemään enemmän työtä kuin muut
- *jengiytyminen (ganging up effect)*
 - ryhmän jäsenet sopivat keskenään tavasta suoriutua tehtävästä mahdollisimman nopeasti ja helposti sekä

- *asemaero-ongelma (status differential effect)*
 - hyvin aktiivinen tai kyvykäs ryhmän jäsen asettuu johtamaan ryhmän toimintaa, ja vaikuttaa muun ryhmän aktiivisuuteen ja tuotoksiin.

Anderson ym. (2000) viittaavat edelleen myös valtavaan määrään yhteistoiminnallista oppimista koskevia käytännöllisistä artikkeleita, joissa heidän mukaansa pyritään kaunistelemaan malliin liittyviä vaikeuksia, ja lähestymistapa pyritään esittämään akateemisena patenttiratkaisuna oppimisen ongelmiin. Loppupäätelmänään he painottavat, että yhteistoiminnallinen oppiminen ei ole mikään opetuksen patenttiratkaisu, mikä aina tuottaa paremman tai edes yhtä hyvän lopputuloksen kuin yksilöllinen oppiminen.

Häkkinen ja Arvaja (1999) ovat tarkastelleet kollaboratiivista oppimista teknologiaympäristöissä erityisesti sosiokonstruktivistisesta ja -kulttuurisesta näkökulmasta katsoen. Kollaboratiivista oppimista tarkastellaan heidän mukaansa usein ongelmanratkaisuprosessina, jossa osallistujat neuvottelevat yhteisen käsitteellisen rakenteen ja käyttävät sitä yhteisen ongelman ratkaisuun. Yhteistä kollaboratiiviselle ja yhteistoiminnalliselle oppimiselle on heidän mukaansa se, että keskusteluissa ei ainoastaan välitetä jo olemassa olevaa tietoa, vaan luodaan kokonaan uutta tietoa sosiaalisen vuorovaikutuksen kautta. Ryhmässä tapahtuvan opiskelun ja työskentelyn kautta oletetaan silloin voitavan oppia monimutkaisiakin asioita ilman, että niitä opetetaan suoraan. Tällainen oppimismalli sopii kuitenkin huonosti kuvaamaan fysiikan oppimisessa vastaan tulevien ongelmatilanteiden ratkaisemista. Selkeän ja yksiselitteisen oppiaineksen käsittelyssä on yleisestikin vaikeaa luoda keskustelemalla mitään uutta. Lawsonin (2000) mukaan jo lähtökohtaisesti on lisäksi epäuskottavaa, että oppimismalli, mikä väheksyy ulkoisen maailman asemaa hypoteesien ja teorioiden testaajana, voisi yksinomaan auttaa oppijoita kehittämään luonnontieteellisen ajattelun kykyään. Opettajan suoran ohjauksen tärkeästä merkityksestä ongelmanratkaisun oppimisessa on sen lisäksi vahvaa näyttöä, ja sen vaikutus esimerkiksi PBL:n tehokkuuteen on samaa luokkaa kuin yhteistoiminnallisen oppimisen (Prince 2004). Ongelmanratkaisu perustuu edelleen fysiikassa lukuisien ennalta kuvattujen tyyppitilanteiden tuntemukseen, miltä osin fysiikan osaaminen on verrattavissa mm. shakin peluuseen. Sosiaalisen vuorovaikutuksen ei voida olettaa erityisesti helpottavan fysiikan noviisiopiskelijan tehtävää tyyppiratkaisujen mieleen painamisessa, eikä neuvotteluja fysiikan jo olemassa olevan käsitteistön tulkinnastakaan ole tarpeellista käydä.

4.2. PER ja konstruktivismiin perustuva opetus

Kokeellisuuteen perustuva opetuksen tutkimus on iältään nuorta, sillä laajahkoja tilastollisia menetelmiä hyödyntäviä koeasetelmia on toteutettu opetukseen kohdistuvina vasta 1970-luvulta lähtien (Pitkäniemi 2000). Opettamisella on kuitenkin pitkät perinteet, joten on luonnollista, että opetusta pidetään nykyisinkin enemmän taitona kuin tieteelliseen tutkimukseen perustuvana toimintana. Taidon harjoittajien on luontevaa tukeutua ajattelussaan ideologioihin ja käsityksiin, joissa hyvä opetus voidaan ymmärtää filosofisista tai muista, henkilökohtaisesti tärkeistä, lähtökohdista määräytyväksi. Konstruktivismiin perustuvassa opetuksen tutkimuksessakin elää voimakkaana humanistisen perinteen mukainen ”pehmeän tieteen” arvonäkökulma, mikä fysiikan näkökulmasta katsoen on metafysiikkaa tai perustuu ”romanttiseen näkemykseen opetuksesta”, niin kuin sitä on luonnehdittu (esim. Stone 1996). PER sanoutuu irti subjektiivisesta näkökulmasta pyrkiessään muuttamaan fysiikan opetuksen tieteenksi, minkä lähtökohdina ovat ”kovan tieteen” näkemykset tiedosta ja sen hankkimistavoista maailmassa, jossa elämme. Tämä on tärkein ero konstruktivismiin ja PERiin perustuvan lähestymistavan ja niiden tulosten käytäntöön soveltamisen välillä. Uskottavuuden vaatimus on Heronin ja Meltzerin (2005) mukaan, tutkimuksen relevanssin ja alan oppijoiden kanssa työskentelyn mahdollisuuden lisäksi, tärkein perustelu sille, että PER kuuluu yliopistojen fysiikan laitosten eikä kasvatustieteen tai psykologian laitosten toiminnan piiriin.

Konstruktivismiin perustuvassa opetuksessa on metafysisestä taustastaan huolimatta silti käytännön tasolla paljon yhdenmukaisuutta sen kanssa, mitä tehokkaalta fysiikan opetukselta voidaan PERissä saavutettujen tulosten perusteella odottaa. PER on Haken (2007b) mukaan mm. osoittanut kontrolloiduin tutkimuksin kaikkien muiden Kirschnerin ym. (2006) minimaaliseen ohjaukseen perustuviksi määrittelevien konstruktivististen oppimismallien (PBL, IL, EL) paitsi puhtaan keksivän oppimisen olevan opetuksessa suhteellisen tehokkaiden. PERin tuottamat tulokset kyseisten mallien osalta ovat sinänsä odotettuja, sillä oppijoiden ennakkokäsitysten ja oman aktiivisuuden korostaminen opetuksessa jo yksinäänkin edistänevät oppimista. Sen lisäksi mm. opettajan antaman suoran ohjauksen määrä voi kyseisissä malleissa vaihdella käytännössä paljonkin (Prince 2004; Prince ja Felder 2006; Hmelo-Silver ym. 2007; Schmidt ym. 2007). Konstruktivismiin ja PERiin perustuvan opetuksen voidaan siksi olettaa menevän kyseisten opetusmallien kohdalla opetuksen operaationaalisisella tasolla ainakin osittain toistensa kanssa pääl-

lekkäin. Tämä ei kuitenkaan tee PERiin perustuvasta opetuksesta konstruktivistista, vaan se päinvastoin korostaa PERin kokeellisen lähtökohdan tärkeyttä niiden opetuksellisten toimenpiteiden selvittämisessä, mitkä eri oppimisenäkemyksiin perustuvassa opetuksessa saavat aikaan sen, että tehokasta oppimista tapahtuu. Samoin se korostaa muidenkin yleisesti käytettyjen pedagogisten termien kuin PBL:n, IL:n ja DL:n operaationaalaisella tasolla määrittelyn tarpeellisuutta opetuksen tutkimuksen pohjaksi (Hake 2007b). Joitakin yrityksiä yhteisen käsitteistön luomiseksi on tämä tarve huomioon ottaen jo tehtykin (Finkelstein 2001; Dancy ja Henderson 2007).

Konstruktivismiin ja siihen perustuvan opetuksen ongelmana teoreettisella tasolla on konstruktivismiin kokeellisesti verifioitavien lähtökohdian vanhentuminen ihmisen kognitiivista arkkitehtuuria ja oppimista koskevan tiedon täsmentyessä. PERin etuna konstruktivistiseen tutkimukseen nähden on se, että PER ei sitoudu pysyviin oppimista koskeviin paradigmoihin siitäkään huolimatta, että konstruktivismiin ydinperiaatteilla on ollut tärkeä merkitys PERiin perustuvien opetusmallien kehittämisessä (esim. Redish 1997, 2004). Opetusreformististen näkemysten vaikutus voi siksi ilmetä PERissä hyvinkin vaihtelevissa määrin, mutta ilmentyen siinä PERin kokeellisuusperusteisuudesta lähtevällä tavalla. Esimerkiksi Dancy ja Henderson (2007) ovat tarkastelleet kolmea yleisesti tunnettua, hyvin dokumentoitua ja toimiviksi osoittautunutta PERiin perustuvaa opetusmenetelmää niiden eräiden yleisten piirteiden pohjalta viisiportaisella asteikolla perinteisestä vaihtoehtoiseen käsitykseen tai käytäntöön. Kaikissa menetelmissä (Washington Tutorials, Interactive Lecture Demonstrations, Workshop Physics) ilmeni voimakas käänneinen suhde menetelmän kehittäjien vahvan tai selvän konstruktivistisen oppimisenäkemyksen ja menetelmän vahvan (so. perinteisen) opettajajohtoisuuden välillä. Oppimisenäkemyksen vaihtoehtoisuuden asteen ja menetelmän vuorovaikutteisuuden asteen välillä oli kuitenkin havaittavissa vain vähän eroa. Tulos kertoo osaltaan ”todistetusti toimivaa” -ajattelun ensisijaisuudesta valtavirran oppimisenäkemyksiin nähden PERiin perustuvassa opetuksessa.

Konstruktivistisessa opetuksen tutkimuksessa ja PERissä käytettävät tutkimusmenetelmät eivät ole periaatteellisesti toisistaan eroavia. Opetuskäytäntöjen tutkimusperustainen kehittäminen, mikä on tärkeimpiä PERin aktiviteeteista, on kuitenkin perinteisessä kasvatustieteellisessä tutkimuksessa ollut varsin harvinaista (Heron ja Meltzer 2005). Painopiste perinteisessä oppimisen tutkimuksessa on lisäksi konstruktivistisen oppimisenäkemyksen yleistyessä siirtynyt oppimiseen vaikuttavien riippuvuussuhteiden analysoinnista merkitysten rakentamisiin oppimistilanteissa

(esim. Tynjälä 2000, s. 58). Tämä muutos on merkinnyt samalla vahvaa siirtymistä kvantitatiivisesta tutkimuksesta kvalitatiivisen tutkimuksen suuntaan. Valtavirran opetuskäytäntöjen tutkimusta luonnehtii edelleen tutkimuksissa käytettyjen koeasetelmien tai niiden raportointien puutteellisuus, mikä tekee alan julkaisuista usein epäluotettavia (Bernard ym. 2004; Sweller ym. 2007; Taasobshiraz ja Carr 2008). PERille on näistä syistä luonteenomaista kriittinen asenne useiden valtavirran opetuksen tutkimuksessa hyväksytyjen käsitysten kirjaimelliseen omaksumiseen tai hyödyntämiseen PERissä. PERin tietokäsitys on lisäksi fysiikan tietokäsityksen mukainen ja siten opetuksen tutkimuksessa lähinnä triviaalin tai kognitiivisen konstruktivismiin näkökulmaan rajoittuva. PER tutkimusperinteenä korostaa edelleen myös fysiikan matemaattisen esitystavan ja analyyttisen luonteen sekä fysiikan käsiterakenteen ja alan asiantuntemuksen huomioon ottamista fysiikan opetusta tutkittaessa. PERille ominainen lähestymistapa opetukseen ilmenee siinä tärkeissä *active learning*- ja *interactive engagement* -käsitteissä, joista jälkimmäinen on yhteisnimitys opetusmenetelmille, mitkä Haken (1998) mukaan

”... are designed at least in part to promote conceptual understanding through interactive engagement of student in heads-on (always) and hands-on (usually) activities that yield immediate feedback through discussion with peers and/or instructors.”

Aktiivisella oppimisella tarkoitetaan vastaavasti mitä tahansa toimintaa tai oppimisen ohjausmenetelmiä, mitkä sitouttavat oppijat oppimisprosessiin, yleensä luokkaopetuksessa (Prince 2004). Oppimiseen sitouttaminen, vuorovaikutteisuus ja fysiikan käsitteellisen ymmärtämisen tavoite ovat siten näyttöön perustuvuuden lisäksi PERiin perustuvan opetuksen selvimmät tuntomerkit.

PER pitää konstruktivismiin tavoin oppijan ennakkokäsitysten ja -tietojen huomioon ottamista opetuksessa tärkeänä, mutta painottaa samalla oppijan virheellisten ennakko- ja muiden käsitysten oikaisemisen (aina) ja oppimisen opettajajohtoisuuden (usein) tarpeellisuutta opetuksessa. Näiltä osin sen näkemykset poikkeavat selvästi radikaalin tai sosiaalisen konstruktivismiin opetusta koskevista näkemyksistä. Hellerin (1999) suorittaman PERin opetusmenetelmiä koskevan analyysin mukaan osa PERin tuottamista, fysiikan perinteisille opetustavoille rakentuvista opetusmenetelmistä (mm. Washington Tutorials ja Interactive Lecture Demonstrations) perustuvat vahvasti kokellisuuteen perustuviin kehitysteorioihin, kun taas osa niistä perustuu ensisijaisesti kognitiivisen mallioppimisen teoriaan (s. 9). Jälkimmäisten menetelmien osalta PERillä on siten

läheinen yhteys myös situationaaliseen oppimisenäkemykseen (Collins ym. 1989) ja eräisiin PBL:n mallioppimiseen perustuviin sovelluksiin.

Myös ryhmässä työskentelyllä on oppimiseen sitouttamisen kautta tärkeä merkitys suuressa osassa PERin tuottamaa opetusta (Bernhard 2000). Tälle asian tilalle on fysiikassa olemassa omat alakohtaisestikin perusteltavat syynsä. Fysiikan oppimisen ajatellaan usein nykyisin tapahtuvan peräkkäisissä vaiheissa samalla tavoin kuin asiantuntijat lähestyvät kvantitatiivista ongelmaa, minkä ratkaisua he eivät tunne ennestään. Dufresnen ym. (2000) mukaan asiantuntijoiden työskentely etenee tällöin neljän analyysivaiheen kautta, mitkä ovat

- käsitteellinen analyysi (ongelmaan suuntautuminen ja sen tutkiminen)
- strateginen analyysi (suunnitelmien ja valintojen teko)
- kvantitatiivinen analyysi (toiminnan käynnistäminen, ongelman ratkaiseminen, vastauksen tuottaminen ongelmaan) ja
- meta-analyysi (reflektointi, kyseenalaistaminen, tarkistusten ja vertailujen teko).

Perinteisessä instruktiivisessa opetuksessa käsitellään yleensä eksplisiittisesti vain ongelmien kvantitatiivista analyysia, joten oppijoiden on itse hankittava muissa ongelmanratkaisun vaiheissa tarvittavat taidot (Dufresne ym. 2000). Fysiikan ongelmanratkaisu on tästä lähtökohdasta käsin useimmille oppijoille vaikeaa, mikä johtaa siihen, että oppijat etsivät usein muita kuin ymmärtämiseen perustuvia keinoja ongelmien ratkaisemiseksi (McDermott 1991, 1993; Gerage ja Beatty 2005). Ryhmässä opiskelu sopivasti toteutettuna voi helpottaa fysiikassa käsitteellisen tiedon, so. luokkia, perusteita ja yleistyksiä sekä rakenteita, malleja ja teorioita koskevan tiedon, omaksumista (ks. esim. Chrouch ja Mazur 2001). Tällaisen käsitteellisen tiedon opiskelun pitäisi fysiikassa yleensä edeltää kvantitatiivisen tason tiedon opiskelua, jotta oppiminen helpottuisi ja oppimistulokset parantuisivat (McDermott 1991, 1993; Bernhard 1997). Tällaisen tietoa jäsentävän tiedon käsittelyssä myös keskusteluilla on tärkeä osa opittavan asian selventäjänä.

5. NÄKÖKOHTIA FYSIIKAN VERKKO-OPETUKSEN KEHITTÄMISEKSI

Fysiikan verkko-opetuksen toteutusta voidaan tarkastella mm. opetuksen ja oppimisen tavoitteiden, fysiikassa ja verkko-opetuksessa nykyisin käytettävien opetusmenetelmien ja opetuksen tek-

nisen toteutuksen näkökulmista. Nämä näkökulmat eivät ole toisiaan pois sulkevia, vaan ne menevät kaikissa tarkasteluissa osittain toistensa kanssa päällekkäin. Fysiikan kannalta kaikissa verkko-opetusta koskevissa tarkasteluissa on olennaista opetuksen perustuminen kokeelliseen näyttöön opetuksen tehokkuudesta ja fysiikan tietokäsityksen mukaiseen maailmankuvaan. Vahva konstruktivismi ei siihen liittyvien relativismin ja skeptismin vuoksi voi siksi tulla kysymykseen fysiikan verkko-opetusta ohjaavana periaatteena. Koska kaikki tieto on vahvassa konstruktivismissa saman arvoista ja pysymätöntä, tiedollisena ihanteena on siinä perimmäisten totuuksien sijasta ulkoisten vaatimusten keskellä mukautuva tiedon muuttumisprosessi. Oppiminen ei siinä siksi tarkoita objektiivista todellisuutta koskevien tosiasioiden sisäistämistä, vaan itsenäisesti ja yhteisön kanssa tehtävää tulkinta- ja jäsennystyötä. Tämä on huono lähtökohta fysiikan ja muun luonnontieteen opettamiselle tietona todellisuudesta.

Perinteisten induktiivisten oppimismallien käyttökelpoisuutta fysiikan opetuksessa on niiden monimuotoisuuden vuoksi perustellumpaa arvioida niihin liittyvien opetuksellisten toimenpiteiden kuin itse pedagogisten mallien kuvausten perusteella. Niin kauan kuin fysiikan verkko-opetuksesta on vain niukasti tutkimustietoa olemassa, tällainen lähtökohta opetuksen kehittämisessä on todennäköisesti hyödyllisempi kuin valmiiden opetusmallien soveltaminen käyttöön tietoverkossa, mihin niitä ei ole alunperin kehitetty. Opetuksen tärkeiksi piirteiksi nousevat tutkimuskirjallisuuden perusteella silloin oppimisen kollaboratiivisuus tai yhteistoiminnallisuus ja opettajan suora ohjaus ongelmanratkaisuun (Prince 2004). Näistä kollaboratiivisuuden ja yhteistoiminnallisuuden oppimista tehostava vaikutus voi olla edelleen palautettavissa alemman tason vaikutuksiin kuten erilaisten selitysten pukemiseen sanalliseen muotoon omassa mielessä ja muiden oppijoiden tai opettajan kanssa käytävissä keskusteluissa (Michel 2006). Näiden tekijöiden huomioon ottamisen lisäksi fysiikan verkko-opetuksen kehittämisessä korostuvat tähän mennessä fysiikan oppimista tehostaviksi havaitut verkko-opetuksen piirteet (kohta 2.3.2.).

Fysiikan verkko-opetuksessa käytettävät menetelmät voidaan myös valita muussa verkko-opetuksessa nykyisin käytettävien menetelmien joukosta, kunhan ne täyttävät PERin kokeelliseen näyttöön perustuvuudesta juontuvat vaatimukset. Verkko-opetuksen strategia (taulukko 5) voidaan Ihanaisen ym. (2004, s. 69-79) mukaan valita yleisesti oppijan henkilökohtaisen vastuun ja vaikutusmahdollisuuksien, opittavan sisällön sekä opiskeluun kuuluvan ohjauksen luonteen, määrän ja tavoitteiden perusteella. Eri strategioihin perustuviksi opetusmalleiksi Ihanainen ym.

nimeävät strukturoidut mallit, puolistrukturoidun mallin, avoimen vuorovaikutuksellisen mallin sekä emergenttimallin (liite A). Opetusteknologiseen opetusmalliin ja oppimisresursseihin perustuvat strukturoidut mallit tarkoittavat Ihanaisen ym. mukaan sellaisia verkko-opetuksen toteutuksia, missä kurssimateriaali ja tehtävät ovat mikroverkossa ja ohjaaja antaa palautteen verkossa suoraan oppijalle. Puolistrukturoiduissa malleissa käydään annettujen tehtävien pohjalta lisäksi oppimiskeskusteluita ja päädytään prosessin lopputuloksena yhteiseen tuotokseen. Dialogi oppijoiden kesken sekä oppijoiden ja opettajan välillä korostuu edelleen avoimissa vuorovaikutuksellisissa malleissa, mikä luokittelee nämä mallit kollaboratiiviseen oppimiseen perustuviksi. Kollaboratiivisuudella on tärkeä merkitys myös emergenteissa malleissa, missä oppijat määrittelevät ja tuottavat aineistoja verkossa sekä keskustelevat keskenään spontaanisti erilaisissa reaaliympäristöissä ja vuorovaikutustilanteissa oppien. Emergentit oppimismallit sijoittuvat Wellerin (2002) jaottelussa luontevoimmin konstruktivistisen tai situationaalisen organisointimallin viitekehyksiin (s. 14-15) niihin liittyvine piirteineen.

Kehitysteoriat ja kognitiivinen mallioppiminen tarjoavat PERin yleisinä viitekehyksinä luontevan lähtökohdan myös fysiikan verkko-opetuksen kehittämiseen. Näiden oppimisteorioiden perustalle rakennettavan fysiikan opetuksen toteuttaminen mikroverkossa on sen vaihteellisuuden ja eri oppimistapoja yhdistelevän luonteen vuoksi silti haastavampaa kuin mitä perinteisen erillisistä luennoista ja harjoituksista koostuvan opetuksen siirtäminen mikroverkkoon on. Esimerkiksi kognitiivinen mallioppiminen voi koostua kuudesta peräkkäisestä oppimisvaiheesta, joihin sisältyy itsenäistä työskentelyä, työskentelyä muiden oppijoiden kanssa ja opettajan antamaa ryhmä- ja henkilökohtaista ohjausta (Poikela 1998). Ongelmaksi voi muodostua eri työskentelyvaiheiden rytmittäminen eri oppijoiden osalta verkossa, sekä mm. kokeellisten mittausten teko, mihin erilaiset simulointiohjelmat tai valmiin datan käyttö tarjoavat ratkaisuja. Opetuksen toteuttaminen joustavasti edellyttäneeksi kiinteiden aikataulujen noudattamista Smithin ja Taylorin (1995) sekä Jönssonin (2005) kuvailemalla tavalla (s. 17-18, 23), mikä osittain kumoaa verkko-opetuksen asynkronisuusmahdollisuudesta koituvan hyödyn opintojen ajoituksen osalta. Opetuksen toteuttamista helpottanee kuitenkin se, että asynkroninen ja synkroninen vuorovaikutus näyttäisivät kirjallisuuden perusteella olevan yhtä tehokkaita menetelmiä verkko-opetuksessa oppijoiden oppimissuorituksilla mitaten (Allen ym. 2006). Tämä saattaa tarjota opetuksen kehittäjille mahdollisuuden vapautua osittain niistäkin opetuksen muodoista, joita vastaavassa lähiopetuksessa PERin tuloksina käytetään.

6. PÄÄTELMÄT

Tavoite ja vuorovaikutus ovat yleisesti hyväksytyyn käsityksen mukaisesti kaksi tärkeimmistä tekijöistä minkä tahansa oppiaineen opetuksessa. Jos opetus on tavoitteellista toimintaa, vuorovaikutuksen luonne opetusmenetelmien osana on kuitenkin oppimistavoitteille alisteista ja opittavan alan tai aiheen sisällön mukaisesti määräytyvää. Opetuksesta käytävässä keskustelussa näyttäisi silti tällä hetkellä päähuomio asiassa kohdistuvan yksipuolisesti vertaisvuorovaikutuksen toteutumiseen sosiokonstruktivismiin perustuvassa opetuksessa. Tämä on tilanne myös yliopisto-opetuksessa, missä opettajien pedagoginen osaaminen on vähäistä, eikä opetuksen asiantuntemus useinkaan riitä ulkoapäin annettujen kehittämistavoitteiden arviointiin. Opetuksen muodot ja menetelmät saattavat siksi valikoitua yliopisto-opetuksessa helposti toissijaisten kriteerien, kuten opetuksen modernisoinnin odotusten tai käytettävissä olevien opetusteknologisten apuvälineiden perusteella. Huonoimmissa tapauksissa kritiikiton sopeutuminen työyhteisön odotuksiin yhdessä epäluontevien opetusmenetelmien valinnan kanssa voi johtaa opetuskäytäntöihin, joissa opittavan asian luonnetta ja opetustutkimusta ei oteta huomioon järkevällä tavalla. Jos opetuksen tavoitteita ei sen lisäksi ole määritelty selvästi, tavoitteiden saavuttaminen ja oppimistuloksen mitaaminenkaan eivät ole oikeasti mahdollisia. Uuden opetusmenetelmän käyttöön otto voi johtaa silloin lopputulokseen, mikä palvelee huonosti oppimisen ja tieteen teon tavoitteita.

Jokainen taitavakin opettaja joutuu usein kohtaamaan sen tosiasian, että kaikki oppijat eivät aina opi määräajassa sitä, mitä heidän odotetaan ulkoisesti korkealaatuisessa oppimisympäristössä oppivan. Opetukseen liittyvät ulkoiset tekijät eivät siten selvästikään selitä kaikkea oppimista, vaan myös oppijalähtöiset sisäiset tekijät vaikuttavat paljon oppimisen tehokkuuteen. Näistä sisäisistä tekijöistä tärkeimpiä ovat, oppijan aiheeseen liittyvien ennakkotietojen lisäksi, oppijan motivaatio oppimiseen ja hänen metakognitiiviset (oman oppimisen ohjaamiseen liittyvät) taitonsa (National Research Council 2004, s. 28-30, 31-33, 74-76). Sekä perinteiseen vastaanottavaan oppimiseen että konstruktivismiin perustuva opetus näyttäisivät lähtevän implisiittisesti siitä oletuksesta, että ulkoisten osatekijöiden lisäksi myös oppimisessa vaikuttavien sisäisten tekijöiden taso oppimisprosessissa on korkea. Tämä oletus näyttäisi kuitenkin olevan vain harvoin hyvin perusteltavissa. Konstruktivismiin perustuvan opetuksen osalta syynä tähän on se, että kyseisten lähestymistapojen vaikutusta oppijan motivaatioon on tutkittu eksplisiittisesti vähän, ja se tunnetaan

siksi huonosti. Perinteisen opetuksen osalta ajatus näyttäisi olevan yleensä epärealistinen, kuten mm. Haken meta-analyysi (1998) on fysiikassa osoittanut.

Verkkokurssit ja -tehtävät pyritään tällä hetkellä rakentamaan hyvin usein konstruktivistisen oppimisen näkemyksen erilaisten tulkintojen mukaisiksi. Konstruktivistisen oppimisen näkemyksen ansioksi on luettava sen yleiseen tietoisuuteen nostamat näkemykset oppijan ennakkokäsitysten huomioon ottamisen sekä vuorovaikutuksen ja oppijan aktiivisen toiminnan tärkeydestä opetuksessa. Etenkin vahvasta konstruktivismista johdettuihin muihin opetusta koskeviin näkemyksiin on kuitenkin suhtauduttava fysiikan verkko- ja muussakin opetuksessa varoen. Tärkeimmät syyt siihen ovat seuraavat:

- Vahvan konstruktivismiin tietokäsitys on luonnontieteelle vieras, ja se perustuu osaksi virheellisiin filosofisperiäisiin oletuksiin ihmisen informaation käsittelyn ja tiedon muodostamisen prosesseista. Toisin kuin sosiaalinen ja radikaali konstruktivismi filosofioina väittävät, luonnontieteessä oikeaa ja väärää tietoa on olemassa.
- Konstruktivismiin opetussovellukset perustuvat konstruktivismiin tietokäsitystä ja ydinperiaatteita täydentäviin psykologisiin tai filosofisiin käsitteisiin ja teorioihin. Näistä rakennusosista koostuva opetus on aikaa ja oppimisresursseja kuluttavaa ja siksi luonnontieteen rakenteiden ja sisältöjen oppimisen kannalta usein tehotonta.
- Konstruktivistiseen ajatteluun liittyy ideologisia piirteitä, mitkä voivat ilmetä jyrkinä näkemyksinä mm. oppijan itsesäätelyn tärkeydestä ja ryhmän ja opettajan rooleista oppimisprosessissa. Keksivän oppimisen mallissa konstruktivismiin on katsottava johtaneen väärään käsitykseen opetuksen ohjauksesta ja sen suhteesta hyvään oppimiseen. Vahvaan konstruktivismiin perustuvassa opetuksessa tärkeän opettajan suoran ohjauksen minimoinnin periaatteen on samoin katsottava olevan nykyisin kiistanalaisen ja käytäntöön sovellettuna ainakin noviiseille sopimattoman.
- Oppiminen ei sosiaalisessa tai radikaalissa konstruktivismissa tarkoita objektiivista todellisuutta koskevien tosiasioiden sisäistämistä, vaan itsenäisesti ja yhteisön kanssa tehtävää tulkinta- ja jäsennystyötä. Perimmäisten totuuksien sijasta tiedollisena ihanteena on niissä dynaaminen ja ulkoisten vaatimusten keskellä mukautuva tiedon muuttumisprosessi. Vahvan konstruktivismiin nämä käsitykset oppimisesta ja sen tavoitteesta saattavat johtaa luonnontieteeseen soveltumattomiin käsityksiin hyvästä opetuksesta ja sen toteuttamistavoista.
- Tuloksellinen opetus ja oppiminen riippuvat sosiaaliseen ja radikaaliin konstruktivismiin perustuvia pedagogisia malleja käytettäessä suuresti oppijoiden kognitiivisesta kyvykkyydestä, sisäisestä motivaatiosta, oppijoiden kollaboratiivisista oppimistaidoista ja opetusmenetelmän aikaan saamasta ulkoisesta motivaatiosta. Kyseisiin malleihin perustuva opetus on siksi sekä oppijoiden että opettajien kannalta vaativaa ja etenkin yliopisto-opetuksessa opettajien pedagogisten taitojen puutteellisuuden vuoksi epäonnistumiselle altista.
- Sosiaalisen kontekstin merkitys oppimisessa on sosiaaliseen konstruktivismiin ja situationaaliiseen oppimisen näkemykseen perustuvissa pedagogisissa malleissa virheellisin perusteluin ylikorostunut. Mm. sosiaalisten taitojen ja opittavan sisällön opiskelu kannattaa oppimisen tehokkuuden vuoksi suorittaa toisistaan erillään.

- Sosiaalisen ja/tai sovelluskontekstin ensiarvoisuuden korostaminen sosiaaliseen konstruktivismiin ja situationaaliseen oppimisenäkemykseen perustuvassa opetuksessa merkitsee *ipso facto* luonnontieteellisen tiedon rakenteen ja syntymisprosessin toisarvoisena pitämistä opetuksessa. Tämä näkemys on fysiikan opetuksen tavoitteille täysin vastakkainen.

PER tutkimusperinteenä on saanut paljon vaikutteita konstruktivismista, ja konstruktivistisilla näkemyksillä on edelleen tärkeä merkitys tutkimushypoteeseina PERissa. PERin taustalla vaikuttava tietokäsitys on kuitenkin konstruktivismin heikon suuntauksen mukainen ja siten radikaalin ja sosiaalisen konstruktivismin tietokäsityksestä poikkeava. PER korostaa erityisesti oppimiseen sitouttamisen, käsitteellisen ymmärtämisen ja opetusmenetelmien kokeellisuuteen perustuvuuden merkitystä opetuksessa ja pitää konstruktivismin tavoin vuorovaikutteisuuden ja oppijan ennakkokäsitysten ja -tietojen huomioon ottamista opetuksessa tärkeänä. PER painottaa kuitenkin oppijan virheellisten ennakkokäsitysten oikaisemisen (aina) ja opettajajohtoisuuden (usein) tarpeellisuutta opetuksessa, miltä osin sen näkemykset eroavat suuresta osasta konstruktivistista opetusajattelua. PER on näistä lähtökohdista tuottanut kokeellisesti tehokkaaksi osoitettuja opetusmenetelmiä fysiikan luokkaopetukseen ja harjoitustöiden tekoon sekä mm. käytännöllisiä ohjeita opetuksen tueksi. PERin tuottama tietous fysiikan verkko-opetuksesta ja sen lähiopetukseen tuottamien opetusmallien soveltumisesta verkko-opetukseen on kuitenkin hyvin vähäistä. Maatalousmetsätieteellisen tiedekunnan fysiikan verkkokurssien rakentamisen on siksi nykyisin perustuttava muuhun verkko-opetusta koskevaan tietouteen, mikä tällä hetkellä on konstruktivistisesti värittynyttä ja usein luotettavasti kokeellisesti testaamatonta.

Verkko-opetuksen käytöstä fysiikan opetuksessa ei ole olemassa riittävästi kokeellisia tutkimuksia, jotta sen tehokkuudesta lähiopetukseen verrattuna voitaisiin tehdä yleistettäviä johtopäätöksiä. Mikroverkon ja sen työkalujen käytöllä opetuksessa on kuitenkin useita potentiaalisesti oppimisen tehokkuuteen vaikuttavia piirteitä, kuten jatkuvan näytön edellyttämä oppijan aktivointi, oppimisympäristöön liittyvän vuorovaikutteisuuden välttämättömyys, reflektiivisyys ja mahdollisuus luontevaan, paikasta riippumattomaan kollaboratiiviseen opiskeluun. Internetin näitä etuja on mahdollista hyödyntää tehokkaasti myös fysiikan yliopisto- ja korkeakoulutasoisessa verkko-opetuksessa. Mikroverkossa toimivaan verkko-oppimisympäristöön on mahdollista liittää mm. harjoitustehtävien ratkaisemiseen soveltuvia työkaluja ja opasohjelmia, joiden on kokeellisesti osoitettu tehostavan fysiikan oppimista. Opetus voidaan lisäksi toteuttaa usealla eri tavalla kursien erilaiset tavoitteet ja alan opetuksen kokonaistavoitteet huomioon ottaen. Yksittäisiä fysii-

kan kurseja voidaan järjestää pelkkään verkko-opetukseen perustuvina, mutta laajempien opetuskokonaisuuksien on perustuttava monimuoto-opetukselle fysiikan kokeellisuuden edellyttämien harjoitustöiden teon ja käytännön laitetuntemuksen tarpeellisuuden vuoksi. Erilaisten simulaatioiden, videoleikkeiden tai nettikameran välityksellä esitettyjen harjoitustöiden avulla verkkokurssien opetukseen voidaan liittää mukaan myös kokeellisuutta.

Mikroverkon ja sen työkalujen käytön opetuksessa ei silti yksinään voida odottaa parantavan oppimisen laatua. Mm. vuorovaikutteisuuden toteutuminen edellyttää verkko-opetuksessakin oppijoiden aktiivista osallistumista oppimistapahtumaan, mikä edellyttää heiltä hyvää opiskelumotivaatiota ja kurssilta sopivan pedagogisen mallin käyttöä opetuksessa. Hyvä opiskelumotivaatio on tehokkaan verkko-oppimisen tärkein edellytys, joten siihen vaikuttamiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota verkko-oppimisympäristöä rakennettaessa. Motivaatiota lisääviksi tarkoitettujen oppimisympäristön piirteiden vaikutukset oppimiseen voivat nykyisinkin olla ennalta arvaamattomat, mutta oppimisympäristö voitaneen silti aina rakentaa siten, ettei se vaikuta oppimismotivaatiota vähentävästi. Mm. opettajien ja oppijoiden roolit ja vastuut kurssilla on mahdollista harkita tarkoin etukäteen ennen kurssin alkua, jotta molempien osapuolien työmäärät pysyisivät kurssilla kohtuullisina. Fysiikassa myös verkkokurssien kiinteä rakenne ja tehtävien aikataulutus näyttäisivät olevan välttämättömiä hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi.

Luonnontieteen opetuksessa on edelleen perusteltua käyttää alanmukaisia opetusmenetelmiä oppiaineiden sisältä määräytyvien oppimistavoitteiden saavuttamiseksi. Fysiikan käsitteistöä tai metodeja erityisesti ei voida oppia epätäsmällisesti, vaan opittavan sisältö on fysiikassa omaksuttava sellaisenaan fysiikan osaamiseksi ja ymmärtämiseksi. Fysiikan verkko- ja muussa opetuksessa kannattaa siksi suosia opetusmenetelmiä, mitkä palvelevat nimenomaisesti kyseisen päämäärän saavuttamista. Kurssien verkko-oppimisympäristöissä suositaan tällä hetkellä avoimia, autenttisiin käytännön ongelmiin sidottuja oppimistehtäviä. Fysiikan verkko-opetuksessa on kuitenkin harkittava tarkoin myös sitä, missä määrin opiskelu on ennalta ohjelmoitua ja tiettyjen (suljettujen) harjoitustehtävien tekemiseen perustuvaa, ja missä määrin opiskelu perustuu esim. vapaaseen tiedon hakuun mikroverkosta.

Tiedekunnan fysiikan opetuksen voidaan katsoa fysiikka I- ja fysiikka II -kurseissa toteuttavan konstruktivistista näkemystä opittavan sisällön autenttisuuden ja sovelluksista liikkeelle lähtemi-

sen tärkeydestä oppimisessa. Tietoista tavoitetta konstruktivismiin perustuvien opetusmenetelmien soveltamiseksi näissä kursseissa ei kuitenkaan ole havaittavissa, vaan opetus on luonteeltaan varsin perinteistä. Tiedekunnan nykyiselle fysiikan opetukselle on leimaa antavana harjoitustöiden ja demonstraatioiden vähäisyys fysiikka I- ja fysiikka II-kursseissa, sekä huomattava käytännön opettama varovaisuus kurssien laskutehtävien käsittelyssä. Laskutehtävien ratkaisemisella on silti keskeinen osa annettavassa opetuksessa, mitä asian tilaa voidaan kurssien tukiaineluonne huomioon ottaen kritisoida. Fysiikan perusopetusta tiedekunnassa kehitettäessä on otettava huomioon tiedekunnassa hyväksytty näkemys opiskelijoiden fysiikan ennakkotietojen heterogeenisyydestä (Mmtdk 1995) ja monien opiskelijoiden huonot lähtökohdat opiskella fysiikan ongelmanratkaisua yliopistossa. Opetusta suunniteltaessa voi siksi olla sekä verkko- että tavanmukaisen opetuksen osalta järkevää harkita sitä, mikä on käsitteellisen ja kvantitatiivisen tason tiedon suhde kursseissa tiedon rakentumiseksi koko fysiikan opetuksen osalta hierarkkiseksi kokonaisuudeksi. Erityisesti fysiikka I -kurssi voisi kirjallisuuden perusteella painottua enemmän fysiikan periaatteiden ja rakenteiden ymmärtämiseen tähtäävään kvalitatiiviseen fysiikkaan sekä demonstraatioihin fysiikan laskutaidon opettamisen sijasta. Tämä muutos saattaisi olla ratkaisu kurssiin liittyvään ”paljon nopeasti”-ongelmaan, mikä kuormittaa erityisesti lukiossa vähän fysiikkaa opiskelleiden oppijoiden kykyä oppia soveltamaan eikä vain toistamaan oppimaansa ulkoa. Uudenlaisen lähestymistapansa vuoksi kurssi saattaisi motivoida silloin myös lukiossa paljon fysiikkaa opiskelleita oppijoita, joille heikoimpien oppijoiden erityinen huomioon ottaminen opetuksessa saattaa nykyisin olla rasite. Uusimuotoinen fysiikka I -kurssi voitaisiin yliopiston tietoteknisen infrastruktuurin nykytasolla järjestää jatkossa nykyisin opetusresurssein pääosin verkko-opetuksena. Tämä mahdollistaisi kurssilla myös fysiikan käsittekarttojen joustavan laatimisen kollaboratiivisesti uuden lähestymistavan osana Internetin työkaluja käyttäen.

Fysiikan opetus perustuu tiedekunnassa kolmen asiaa pohtineen työryhmän 1980- ja 1990-luvuilta tiedekunnalle jättämiin esityksiin. Viimeisen työryhmän näkemys siitä, että tiedekunnan yhteinen fysiikan kurssi

”...ei kertyneiden kokemusten valossa vielä anna riittäviä perusvalmiuksia fysiikan soveltamiseksi tiedekunnalle tärkeisiin fysiikan osa-alueisiin....”

on ikuisuusongelman kuvauksena yhä ajankohtainen. Kysymys ei nykyisin enää näyttäisi olevan ensisijaisesti kurssin sisältämän oppiaineen koostumuksesta, vaan fysiikan käsitteiden ja kielen

ymmärtämisestä. Tiedekunnan fysiikan opetuksen kehittämisessä päähuomio pitäisi siksi kohdistaa tämän perusongelman ratkaisemiseen työryhmän esityksen (Mmtdk 1995) mukaisesti opetusmenetelmiä edelleen kehittämällä. Fysiikan tutkimusperusteisia opetusmenetelmiä koskevan tietämyksen yleistyminen Suomessa viime vuosina perustelee tällaisen kehitystyön tarpeellisuuden tiedekunnassa ja tarjoaa keinoja perinteisen fysiikan opetuksen tehostamiseksi. PERin eräs tutkimuskohde on tehokkaan fysiikan oppimisen aikaan saaminen niukkojen opetusresurssien ja suurten oppijamäärien tilanteissa, minkälainen tilanne maatalous-metsätieteellisessä tiedekunnassakin vallitsee. PER tarjonnee siksi jatkossa keinoja tiedekunnan fysiikan opetuksen kehittämiseksi myös lähiopetuksen eikä vain verkko-opetuksen osalta, mitä tämä tutkimus ensisijaisesti koskee. Yhdessä kemian opetuksen tutkimuksesta (chemical education reserch, CER, ks. esim. Bunce ym. 1994) saatujen tulosten kanssa sen voidaan olettaa palvelevan opetuksen kehittämistä myös muissa tiedekunnan oppiaineissa, kuten teknologia-aineissa ja elintarvikekemiassa.

7. KIRJALLISUUSLUETTELO

- Aalst, J. van, 2000: An introduction to physics education research. *Canadian Journal of Physics*, **78**, 57-71.
- Aksela, M., 2005: *Supporting Meaningful Chemistry Learning and Higher-order Thinking through Computer-Assisted Inquiry: A Design Research Approach*. Academic Dissertation. University of Helsinki, Department of Chemistry. 204 siv.
- Allen, M., E. Mabry, M. Mattrey, J. Bourhis, S. Titsworth ja N. Burrell, 2006: Evaluating the effectiveness of distance learning: A comparison using meta-analysis. *Journal of Communication*, **54**, 402-420.
- Anderson, J.R., L.M. Reder ja H.A. Simon, 2000: Applications and misapplications of cognitive psychology to mathematical education. *Texas Educational Review*, **1**(2), 29-49. Saatavilla Internetissä: <http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~reder/publications/Applic.MisApp.pdf>.
- Anderson, T., 2003: Getting the mix right again: An updated and theoretical rationale for interaction. *International Review of Research in Open and Distance Learning*, **4**(2), article 13.
- , 2004: Toward a theory of online learning. Teoksessa: Anderson, T. ja F. Elloumi (Toim.): *Theory and Practice of Online Learning*. Athabasca University, Kanada. 33-60.
- Ausubel, D.P., 1968: (Ref. Nevgi ja Lindblom-Ylänne, 2002b).

- , J.D. Novak ja H. Hanesian, 1978: (Ref. Engeström, 1981).
- Balasubramanya, M.K., P.H. Cox, J. Espinosa, O. Gonzales, L.D. Hewett, P.J. Lawrence, H. Leckenby, D.K. Marble, Q. Ni, D.J. Suson ja V.L. Willson, 2004: Creating a distributed physics department. *American Journal of Physics*, **72**, 359-363.
- Barojas, J. ja J. Sierra, 2002: Teachers as architects of knowledge in e-learning. Teoksessa: Santana, G.A. ja V. Uskov (Toim.): *Proceedings of the IASTED 2002 Conference Computers and Advanced Technology in Education (CATE 2002)*. IASTED ACTA Press, Anaheim, Yhdysvallat. 186-190. Saatavilla Internetissä: <http://www.alexandria21.net/arts/art01.pdf>.
- Bennett, J., S. Hogarth ja F. Lubben, 2003: *A systematic review of the effects of context-based and Science-Technology-Society (STS) approaches in the teaching of secondary science*. University of York, Department of Educational Studies: Research Paper 2005/02, Iso-Britannia. 14 siv.
- Bernard, R.M., P.C. Abrami, Y. Lou ja E. Borokhovski, 2004: A methodological morass? How we can improve quantitative research in distance education. *Distance Education*, **25**, 175-198.
- Bernhard, J., 1997: Rationale for change in physics teaching. Some findings in physics education research. <http://webstaff.itn.liu.se/~jonbe/fou/didaktik/papers/rationale.pdf>. (Vierailtu 12.10.2008)
- , 2000: Improving engineering physics teaching – Learning from physics education research. Teoksessa: Pacher, P. ja J. Pipek (Toim.): *Proceedings of The Second European Conference on Physics Teaching in Engineering (PTEE 2000)*. Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Unkari. Saatavilla Internetissä: <http://www.bme.hu/ptee2000/papers/bernhai.pdf>.
- Bonham, S.W. ja R.J. Beichner, 2001: Online homework: Does it make a difference? *The Physics Teacher*, **39**, 293–296.
- , D.L. Deardorff ja R.J. Beichner, 2003: Comparison of student performance using web and paper-based homework in college-level physics. *Search in Science Teaching*, **40**, 1050–1071.
- Bunce, D., D. Gabel, J.D. Herron ja L.L. Jones, 1994: Chemical education research. *Journal of Chemical Education*, **71**, 850-852.
- Cañas, A.J., J.W. Coffey, M.J. Carnot, P. Feltovich, R.R. Hoffman, J. Feltovich ja J.D. Novak, 2003: *A summary of literature pertaining to the use of concept mapping techniques and technologies for education and performance support*. Institute for Human and Machine Cog-

- nition: Report to The Chief of Naval Education and Training, Yhdysvallat. Saatavilla Internetissä: <http://www.docstoc.com/docs/2320049/A-Summary-of-Literature-Pertaining-to-the-Use-of-Concept-Mapping>.
- Chang, E. ja D. Simpson, 1997: The circle of learning: Individual and group processes. *Education Policy Analysis Archives*, **5**(7).
- Christie, M.C, 2003: Towards a pedagogy of e-learning. *Paper presented at the International Conference on Network Universities and e-Learning, Valencia, Spain*. Saatavilla Internetissä: http://www.upv.es/menuconf/CD_MENU_CONFERENCE/1B_Education/michel_christie.pdf.
- Coffield, F., D. Moseley, E. Hall ja K. Ecclestone, 2004: *Learning styles and pedagogy in post-16 learning: a systematic and critical review*. Learning and Skills Research Centre: Technical Report 041543, Iso-Britannia. Saatavilla Internetissä: http://www.lerenleren.nu/bronnen/Learning_styles_by_Coffield_e.a..pdf.
- Collins, A., J.S. Brown ja P. Duguid, 1989: Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, **18**, 32-42.
- Coomey, M. ja J. Stevenson, 2001: Online learning: it is all about dialogue, involvement, support and control – according to research. Teoksessa: Stevenson, J. (Toim.): *Teaching and learning online pedagogies for new technologies*. Kogan Page, London, Iso-Britannia. 37-52.
- Crouch, C.H. ja E. Mazur, 2001: Peer Instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, **69**, 970-977.
- Dancy, M. ja C. Henderson, 2007: Framework for articulating instructional practices and conceptions. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, **3**, 010103.
- Doolittle, P.E., 1999: Constructivism and online education. Teoksessa: *Proceedings of 1999 Online Conference on Teaching Online in Higher Education. Fort Wayne, Indiana, Yhdysvallat*. 1-13. Saatavilla Internetissä: <http://edpsychserver.ed.vt.edu/workshops/tohe1999/text/doo2.pdf>.
- Driver, R., H. Asoko, J. Leach, E. Mortimer ja P. Scott, 1994: Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, **23**, 5–12.
- Dufresne, R..J., W.J. Gerace, J.P. Mestre ja W.J. Leonard, 2000: *ASK-IT/A2L: Assessing student knowledge with instructional technology*. University of Massachusetts, Physics Education Research Group: Technical report No. UMPERG-2000-09, Yhdysvallat. Saatavilla Internetissä: Cornell University Library, arXiv:physics/0508144v1.

- Engström, Y., 1981: *Mielekäs oppiminen ja opetus*. Valtion koulutuskeskus, Julkaisusarja B nro 17. Helsinki. 29 siv.
- Enkenberg, J., 2000: Oppimisesta ja opetusmalleista yliopistokoulutuksessa. Teoksessa: Enkenberg J., P. Väisänen ja E. Savolainen (Toim.): *Opettajatiedon kipinöitä: Kirjoituksia pedagogiikasta*. Joensuun yliopisto, Savonlinnan opettajakoulutuslaitos. 7-33. Saatavilla Internetissä: <http://sokl.joensuu.fi/verkkojulkaisut/kipinat/JormaE.htm>.
- , 2004: Yliopistopedagogiikka haasteena ja kehittämisen kohteena. Teoksessa: Enkenberg, J., E. Savolainen ja P. Väisänen (Toim.): *Tutkiva opettajakoulutus – taitava opettaja*. Joensuun yliopisto, Savonlinnan opettajakoulutuslaitos. 7-21. Saatavilla Internetissä: <http://sokl.joensuu.fi/verkkojulkaisut/tutkivaope/enkenberg.htm>.
- Esquembre, F., 2002: Computers in physics education. *Computer Physics Communications*, **147**, 13-18.
- Finkelstein, N.D., 2001: Context in the context of physics and learning. Teoksessa: Franklin, S., J. Marx ja K. Cummings (Toim.): *Physics Education Research Conference Proceedings*. PERC Publishing, Rochester, New York, Yhdysvallat. 1-4. Saatavilla Internetissä: <http://lhc.ucsd.edu/nfinkels/perc.context.pdf>.
- , 2005: Learning physics in context: a study of student learning about electricity and magnetism. *International Journal of Science Education*, **27**, 1187–1209.
- Fox, R., 2001: Constructivism examined. *Oxford Review of Education*, **27**, 23-35.
- Gao, H., E. Shen, S. Losh ja J. Turner, 2007: A review of studies on collaborative concept mapping: What have we learned about the technique and what is next? *Journal of Interactive Learning Research*, **18**, 479-492.
- Gerace, W.J. ja I.D. Beatty, 2005: Teaching vs. learning: Changing perspectives on problem solving on physics instruction. *An invited talk at the 9th Common Conference of the Cyprus Physics Association and Greek Physics Association: Developments and Perspectives in Physics – New Technologies and Teaching of Science, Nicosia, Cyprus*. Saatavilla Internetissä: Cornell University Library, arXiv:physics/0508131v1.
- Glaserfeld, E. von, 1989: Constructivism in education. Teoksessa: Husen, T. ja T.N. Postlethwaite (Toim.): *The International Encyclopedia of Education I*. Pergamon Press, Oxford, Iso-Britannia. 162-163.
- Greene, R.L., 2001: Illuminating physics via web-based self-study. *The Physics Teacher*, **39**, 356-360.

- Gros, B., 2001: Instructional design for computer-supported collaborative learning in primary and secondary school. *Computers in Human Behavior*, **17**, 439–451.
- Gustafsson, P., 2002: Physics teaching at a distance. *European Journal of Physics*, **23**, 469-474.
- Hake, R.R., 1998: Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, **66**, 64-74.
- , 2002: Lessons from the physics education reform effort. *Conservation Ecology*, **5**(2), article 28.
- , 2007a: Design-Based Research in Physics Education Research: A Review. Teoksessa: Kelly, A.E., R.A. Lesh ja J.Y. Baek (Toim.): *Handbook of Design Research Methods in Mathematics, Science, and Technology Education*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, Yhdysvallat. Painossa. Saatavilla Internetissä: <http://www.physics.indiana.edu/~hake/DBR-Physics3.pdf>.
- , 2007b: Cognitive science and physics education research: What we've got here is failure to communicate. Submitted to *Journal of Learning Science*. Saatavilla Internetissä: <http://www.physics.indiana.edu/~hake>.
- , 2007c: Six lessons from the physics education reform effort. *Latin American Journal of Physics Education*, **1**, 24-31.
- Hannafin, M.J., Hill, J.R. ja S.M. Land, 1997: Student centered learning and interactive multimedia: status, issues, and implications. *Contemporary Education*, **68**, 94-99.
- Heller, K.J., 1999: Introductory physics reform in the traditional format: An intellectual framework. *Newsletter of the Forum on Education of the American Physical Society*, Summer 1999, 7-9.
- Heron, P.R.L. ja D.E. Meltzer, 2005: The future of physics education research: Intellectual challenges and practical concerns. *American Journal of Physics*, **73**, 390-394.
- Hickey, D.T., 1997: Motivation and contemporary socio-constructivist instructional perspectives. *Educational Psychologist*, **32**, 175-193.
- Hmelo-Silver, C.E., R.G. Duncan ja C.A. Chinn, 2007: Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, **42**, 99–107.
- Häkkinen, P. ja M. Arvaja, 1999: Kollaboratiivinen oppiminen teknologiaympäristöissä. Teoksessa: Eteläpelto, A. ja P. Tynjälä (Toim.): *Oppiminen ja asiantuntijuus. Työelämän ja kou-*

- lutuksen näkökulmia*. WSOY, Juva. 206-221.
- Ihanainen, P., P. Hietala, P. Mäkinen, S. Rannikko ja A. Koskinen, 2004: *Verkko-oppimisen käytäntöjä, malleja ja työkaluja*. Opetushallitus, Helsinki. 156 siv.
- Jauhiainen, J., J. Lavonen, I. Koponen ja K. Kurki-Suonio, 2002: Experiences from long-term in-service training for physics teachers in Finland. *Physics Education*, **37**, 128-134.
- Jenkins, E.W., 2000: Constructivism in school science education: Powerful model or the most dangerous intellectual tendency? *Science & Education*, **9**, 599-610.
- Johnson, G., 2007: Restricted versus unrestricted learning: Synthesis of recent meta-analyses. *AACE Journal*, **15**, 267-278.
- Jonassen, D. H., 1994: Thinking technology. Toward a constructivist design model. *Educational Technology*, **34** (4), 34-37.
- , 1995: Supporting communities of learners with technology: a vision for integrating technology with learning in schools. *Educational Technology*, **35**, 60-63.
- , 1997: Instructional design models for well-structured and ill-structured problem-solving learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, **45**, 65-94.
- , 1999: Designing constructivist learning environments. Teoksessa: Reigeluth, C.M. (Toim.): *Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory. Vol. II*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey, Yhdysvallat. 215-239.
- Jönsson, B-A., 2005: A case study of successful e-learning: A web-based distance course in medical physics held for school teachers of the upper secondary level. *Medical Engineering & Physics*, **27**, 571-581.
- Keeves, J., 2002. Learning in schools: A modelling approach. *International Education Journal*, **3**, 114-125.
- Kirschner, P.A., J. Sweller ja R. E. Clark, 2006: "Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching". *Educational Psychologist*, **41**, 75-86.
- Kirstein, J. ja V. Nordmeier, 2007: Multimedia representation experiments in physics. *European Journal of Physics*, **28**, 115-126.
- Koponen, I.T., T. Mäntylä ja J. Lavonen, 2002: Challenges of web-based education in physics teachers' training. Teoksessa: *Proceedings of the International Conference on Information and Communication Technologies in Education (ICTE 2002), Badajoz, Spain*. 291-295. Saatavilla Internetissä: http://per.physics.helsinki.fi/eng/publications/proceedings/e_ed_inPTE.

PDF.

- Kratzig, G.P. ja K.D. Arbuthnott, 2006: Perceptual learning style and learning proficiency: A test of the hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, **98**, 238-246.
- Kuhn, D., 2007: Is direct instruction an answer to the right question? *Educational Psychologist*, **42**, 109-113.
- Kupiainen, A. Luonnontieteet ja postmodernismi. *Skeptikko*, 4/97, 2-9. Saatavilla Internetissä: <http://www.skepsis.fi/lehti/1997/1997-4-skeptikko.pdf>.
- Kurki-Suonio, K. ja R. Kurki-Suonio, 1994. *Fysiikan merkitykset ja rakenteet*. Limes, Helsinki. 401 siv.
- , 1998: Ajatuksia didaktisesta fysiikasta. Teoksessa: Lavonen, J. ja M. Erätuuli (Toim.): *Tuulta purjeisiin. Matemaattisten aineiden opetus 2000-luvulle*. Atena Kustannus, Jyväskylä. 62-82.
- Lappi, O., 2005. Opettaminen verkossa ja verkko-opiskelu. <http://home.edu.helsinki.fi/~olappi/yopeda/verkkoopas/verkkooopetusopas.htm> (Vierailtu 11.11.2006).
- Lawson, A.E., 2000: How do humans acquire knowledge? And what does that imply about the nature of knowledge? *Science & Education*, **9**, 577–598.
- Lehtiö, P., 1998: *Tietoverkot ja digitaaliset oppimateriaalit*. Sitran julkaisu 193, Helsinki. 38 siv. + 45 liitesiv.
- Lemckert, C. ja J. Florance, 2002: Real-time Internet mediated laboratory experiments for distance education students. *British Journal of Educational Technology*, **33**, 99-102.
- Levander, L.M. ja S. Repo-Kaarento, 2002: Educational development at the Faculty of Agriculture and Forestry – ‘JUONTO’ Programme 1998-2002. <http://www.mm.helsinki.fi/juonto/juontoenglish.html> (Vierailtu 27.12.2007).
- Lindblom-Ylänne, S. ja A. Nevgi, 2004: Oppimisympäristöt. Teoksessa: Lindblom-Ylänne, S. ja A. Nevgi (Toim.): *Yliopisto- ja korkeakouluopettajan käsikirja*. WSOY, Helsinki. 54-66.
- Liu, C.H. ja Matthews, R., 2005: Vygotsky’s philosophy: Constructivism and its criticisms examined. *International Education Journal*, **6**, 386-399.
- Mannisenmäki, E., 2000: Oppija verkossa – yksin ja yhdessä. Teoksessa: Matikainen, J. ja J. Manninen (Toim.): *Aikuiskoulutus verkossa: verkkopohjaisten oppimisympäristöjen teoriaa ja käytäntöä*. Helsingin yliopisto, Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus. 109-120.
- Martens, R., M. Valcke, P. Poelmans ja M. Daal, 1996: Functions, use and effects of embedded support devices in printed distance learning materials. *Learning and Instruction*, **6**, 77–93.

- , M. Valcke, S. Portier, H. Weges ja P. Poelmans, 1997: Research with interactive learning environments in three content domains: Descriptive statistics, continuous mathematics and substantive criminal law. *Distance Education*, **18**, 44–58.
- , T. Bastianes ja P.A. Kirschner, 2007: New learning design in distance education: The impact on student perception and motivation. *Distance Education*, **28**, 81-93.
- Matthews, M.R., 1992: Old wine in new bottles: A problem with constructivist epistemology. Teoksessa: Alexander, H.A. (Toim.): *Philosophy of Education Yearbook 1992*. Philosophy of Education Society, Urbana, Illinois, Yhdysvallat. 303–311. Saatavilla Internetissä: http://www.ed.uiuc.edu/EPS/PES-Yearbook/92_docs/Matthews.HTM.
- , 1993: Constructivism and science education: some epistemological problems. *Journal of Science Education and Technology*, **2**, 359-370.
- , 2000: Constructivism in science and mathematics education. Teoksessa: Phillips, D.C. (Toim.): *National Society for the Study of Education, 99th Yearbook*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, Yhdysvallat. 161-192. Saatavilla Internetissä: <http://www.wcsi.unian.it/educa/inglese/matthews.html>
- , 2002: Constructivism and science education: a further appraisal. *Journal of Science Education and Technology*, **11**, 121-134.
- Matthews, P.S.C., 2000: Learning science: Some insights from cognitive science. *Science and Education*, **9**, 507-535.
- Mayer, R., 2004: "Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction". *American Psychologist*, **59**, 14-19.
- McDermott, L.C., 1991: Millikan lecture 1990: What we teach and what is learned – *Closing the gap*. *American Journal of Physics*, **59**, 301-315.
- , 1993: Guest Comment: How we teach and how students learn - A mismatch? *American Journal of Physics*, **61**, 295-298.
- , 2001: Oersted medal lecture 2001: "Physics education research - The key to student learning". *American Journal of Physics*, **69**, 1127-1137.
- ja E.F. Redish, 1999: RL-PER1: resource letter on physics education research. *American Journal of Physics*, **67**, 755-767.
- Meixner, J., 1997: (Ref. Terhart, 2003).
- Michel, J., 2006: Where's the evidence that active learning works? *Advances in Physiology Education*, **30**, 159-167.

- Miettinen, R., 2000a: Konstruktivistinen oppimisenäkemys ja esineellinen toiminta. *Aikuiskasvatustus*, **20**, 276-292.
- , 2000b: Varieties of constructivism in education. Where do we stand? *Lifelong Learning in Europe*, **7**(1), 41-48.
- Mmtdk, 1995: Fysiikan opetuksen edelleen kehittäminen. Maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan nimittämän työryhmän 5.2.1995 tiedekunnalle jättämä esitys.
- Morote, E.-S. ja D.E. Pritchard, 2002: What course elements correlate with improvement on tests in introductory Newtonian mechanics? *Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching (NARST) 2002 Conference, New Orleans, U.S.A.* Saatavilla Internetissä: *ERIC Document Reproduction, Service no.* ED 463979.
- Mänty, I. ja P. Nissinen, 2005: *Ideasta toteutukseen - verkko-opetuksen suunnittelu ja hallinta*. Laurea-ammattikorkeakoulun julkaisusarja C9. Edita Prima, Helsinki. 77 siv. Saatavilla Internetissä: <http://markkinointi.laurea.fi/julkaisut/c/c09.pdf>.
- National Research Council, 2004: Miten opimme. Aivot, mieli, kokemus ja koulu. WSOY, Helsinki. 394 siv.
- Nesbit, J.C. ja O.O. Adesope, 2006: Learning with concept and knowledge maps: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, **76**, 413-448.
- Nevgi, A. ja S. Lindblom-Ylänne, 2004a: Johdanto yliopistopedagogiikkaan. Teoksessa: Lindblom-Ylänne, S. ja A. Nevgi (Toim): *Yliopisto- ja korkeakouluopettajan käsikirja*. WSOY, Helsinki. 14-28.
- , S. Lindblom-Ylänne, 2004b: Oppimisenäkemykset antavat perustan opetukselle. Teoksessa: Lindblom-Ylänne, S. ja A. Nevgi (Toim): *Yliopisto- ja korkeakouluopettajan käsikirja*. WSOY, Helsinki. 82-116.
- , S. Lindblom-Ylänne ja J. Kurhila, 2004: Yliopisto-opetusta verkossa. Teoksessa: Lindblom-Ylänne, S. ja A. Nevgi (Toim): *Yliopisto- ja korkeakouluopettajan käsikirja*. WSOY, Helsinki. 403-425.
- Nichols, M., 2003: A theory for eLearning. *Journal of Educational Technology & Society*, **6**(2), 1-10.
- Novak, J.D., 1990: Concept maps and Vee diagrams: Two metacognitive tools for science and mathematics education. *Instructional Science*, **19**, 29-52.
- ja D.B. Gowin, 1995: *Opi oppimaan*. Gaudeamus, Helsinki. 213 siv.

- , 2002: Meaningful learning: The essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science Education*, **86**, 548–571.
- Ogilvie, C., 2000: *Effectiveness of different course components in driving gains in conceptual understanding*. Internal report, Department of Physics at MIT, Cambridge, Yhdysvallat. 11 siv. Saatavilla Internetissä: <http://relate.mit.edu/ogilvie.pdf>.
- Opetushallitus, 2005: *Verkko-opetuksen kehittäminen ja vakiinnuttaminen lukiokoulutuksessa, ammatillisessa peruskoulutuksessa ja aikuiskoulutuksessa sekä vapaassa sivistystyössä*. Moniste 8/2005. Edita Prima, Helsinki. 61 siv.
- Osborne, J., 1996: Beyond constructivism. *Science Education*, **80**, 53-82.
- Palmer, D., 2005: A motivational view of constructivist-informed teaching. *International Journal of Science Education*, **27**, 1853-1881.
- Persin, R., 2002: Web-assisted instruction in physics: An enhancement to block scheduling. *American Secondary Education*, **30**(3), 61-69.
- Pesonen, S., 2000: Www-ympäristön erityispiirteet ja didaktiikka. Teoksessa: Matikainen, J. ja J. Manninen (Toim): *Aikuiskoulutus verkossa. Verkkopohjaisten oppimisympäristöjen teoriaa ja käytäntöä*. Helsingin yliopisto, Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus. 81-92.
- Phillips, D.C., 1995. The good, the bad, and the ugly: The many faces of constructivism. *Educational Researcher*, **24**(7), 5-12.
- Pitkäniemi, H., 2000. Teoreettinen metodologia opetuksen kokonaisuutena tutkimuksessa. *Didacta varia*, **5**(2), 43-65.
- Poikela, S., 1998: *Ongelma- ja projektiperustainen oppiminen. Uusi tapa oppia ja opettaa?* Ammattikasvatustsarja 19. Tampereen yliopisto, opettajankoulutuslaitos, Hämeenlinna. 97 siv.
- Prince, M., 2004: Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, **93**, 223–231.
- ja R.M. Felder, 2006: Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of Engineering Education*, **95**, 123–138.
- Psycharis, S., 2008: The relationship between task structure and collaborative group interactions in a synchronous peer interaction collaborative learning environment for a course of physics. *Education and Information Technologies*, **13**, 119-128.

- Puolimatka, T., 1999. Constructivism, knowledge, and manipulation. *Philosophy of Education Yearbook 1999*. Philosophy of Education Society, Urbana, Illinois, Yhdysvallat. Saatavilla Internetissä: <http://www.ed.uiuc.edu/eps/PES-Yearbook/1999/puolimatka.asp>.
- , 2002: *Opetuksen teoria. Konstruktivismista realismiin*. Tammi, Helsinki. 390 siv.
- Rapo, A., 2007: Ohjaus tekee verkko-oppimisesta onnistuneen elämyksen. *Ammatillisten Opettajakorkeakoulujen Verkkolehti Sisukas*. <http://sisukas.jamk.fi/content/view/36/69/> (Vierailtu 26.8.2007)
- Repo-Kaarento, S., 2006: *Yliopisto-opetuksen yhteistoiminnallinen kehittäminen*. Helsingin yliopisto, Avoimen yliopiston julkaisusarja 2. Helsinki. 116 siv.
- Redish, E.F., 1997: New models of physical instruction based on physics education research. Teoksessa: *Deutsche Physikalische Gesellschaft, Fachverband Didaktik der Physik (Hrsg.): Vorträge-Physikertagung 1997*. DPG GmbH, Berlin, Saksa. 51–66. Saatavissa Internetissä: *ERIC Document Reproduction, Service no. ED 438184*.
- , 1999: Building a science of teaching physics. Millikan award lecture 1998. *American Journal of Physics*, **67**, 562-573.
- , 2004: A theoretical framework for physics education research: Modeling student thinking. Saatavilla Internetissä: Cornell University Library, arXiv:physics/0411149v1.
- Reinikainen, P., 2008: *Sequential Explanatory Study of Factors Connected with Science Achievement in Six Countries: Finland, England, Hungary, Japan, Latvia and Russia. Study based on TIMSS 1999*. Academic dissertation. University of Jyväskylä, Institute for Educational Research, Research Reports 22. 262 siv.
- Rinne, R., 2000: *Yläasteen verkkoympäristössä toimivan valo-opin kurssin suunnittelu*. Pro gradu-työ. Helsingin yliopisto, fysiikan laitos. 55 siv.
- Riski, T.M., 2003: *Verkko-opetusohjelman monikriteerinen valintatyökalu*. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, teknillisen fysiikan ja matematiikan osasto. 96 siv.
- Ruokamo, H. ja S. Pohjolainen, 1999: *Etäopetus multimedieverkoissa (ETÄKAMU) –tavoitetutkimushanke*. Teoksessa: Ruokamo, H. ja S. Pohjolainen (Toim.): *Etäopetus multimedieverkoissa. Kansallisen multimediaohjelman ETÄKAMU-hanke. Digitaalisen median raportti 1*. Tekes, Helsinki. 1-63.
- Sabella, M.S. ja E.F. Redish, 2007: Knowledge organization and activation in physics problem solving. *American Journal of Physics*, **75**, 1017-1029.

- Salomon, G. ja T. Globerson, 1989: When teams do not function the way they ought to. *International Journal of Educational Research*, **13**, 89-100.
- Salovaara, H., 1997: Oppimisen teoriasta oppimisympäristöön. <http://www.edu.oulu.fi/okl/lo/kt2/oppymp.htm> (Vierailtu 6.1.2007).
- Sassi, E., 2005: Some views about research in physics education. *Paper presented at The First European Physics Education Conference EPEC-1, Bad Honnef, Germany*. Saatavilla Internetissä: <http://www.physik.uni-mainz.de/lehramt/epec/>.
- Schmidt, H.G., S.M.M. Loyens, T. van Gog and Paas, F., 2007: Problem-based learning is compatible with human cognitive architecture: Commentary on Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, **42**, 91-97.
- Silander, P., 2003: Pedagogiset mallit ja käytänteet verkko-oppimisprosessin suunnittelun työkaluna. Teoksessa: Silander, P. ja H. Koli (Toim.): *Verkko-opetuksen työkalupakki. Oppimisasihiosta oppimisprosessiin*. Finn Lectura, Helsinki. 137-138.
- , 2003: Oppimista edistävät elementit keskeisissä pedagogisissa malleissa. Teoksessa: Silander, P. ja H. Koli (Toim.): *Verkko-opetuksen työkalupakki. Oppimisasihiosta oppimisprosessiin*. Finn Lectura, Helsinki. 192-195.
- Sitzmann, T., K. Kraiger, D. Stewart ja R. Wisher, 2006: The comparative effectiveness of web-based and classroom instruction: A meta-analysis. *Personnel Psychology*, **59**, 623–664.
- Sjøberg, E.W., 2007: Constructivism and learning. Teoksessa: Baker, E., B. McGaw ja P. Peterson (Toim.): *International Encyclopaedia of Education (3rd Edition)*, Elsevier, Oxford, Iso-Britannia. Painossa. Saatavilla Internetissä: http://folk.uio.no/sveinsj/Constructivism_and_learning_Sjoberg.pdf.
- Smith, R.C. ja E.F. Taylor, 1995: Teaching physics on line. *American Journal of Physics*, **63**, 1090-1096.
- Solomon, J., 1994: The rise and fall of constructivism. *Studies in Science Education*, **23**, 1-19.
- Stone, J.E., 1996: Developmentalism: An obscure but pervasive restriction on educational improvement. *Education Policy Analysis Archives*, **4**(8).
- Suchting, W.A., 1992: Constructivism deconstructed. *Science & Education*, **1**, 223-254.
- Suson, D.J., L.D. Hewett, J. McCoy ja V. Nelson, 1999: Creating a virtual physics department. *American Journal of Physics*, **67**, 520-523.
- Sweller, J. ja S. Sweller, 2006: Natural information processing systems. *Evolutionary Psychology*, **4**, 434-458.

- , P.A. Kirschner ja R.E. Clark, 2007: Why minimally guided teaching techniques do not work: A reply to comments. *Educational Psychologist*, **42**, 112-121.
- Tabakov, S., 2005: e-Learning in medical engineering and physics. *Medical Engineering & Physics*, **27**, 543-547.
- Taber, K.S., 2006: Constructivism's new clothes: The trivial, the contingent, and a progressive research programme into the learning of science. *Foundations of Chemistry*, **8**, 189-219.
- Tammisalo, O., 2002: Konstruktivismi, postmodernismi ja sosiobiologia. *Tiedepolitiikka*, 4/02, 49-52.
- Terhart, E., 2003. Constructivism and teaching: a new paradigm in general didactics? *Journal of Curriculum Studies*, **35**, 25-44.
- Tsaparlis, G., 2001: Theories in science education at the threshold of the third millenium. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, **2**, 1-4.
- Tuminaro, J. ja E.F. Redish, 2007: Elements of a cognitive model of physics problem solving: Epistemic games. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, **3**, 020101.
- Tynjälä, P., 2000: *Oppiminen tiedon rakentamisena. Konstruktivistisen oppimiskäsityksen perusteita*. Tammi, Helsinki. 214 siv.
- Warnakulasooriya, R. ja D.E. Pritchard, 2005: Learning and problem-solving transfer between physics web-based homework tutor. Teoksessa: Kommers, P. ja G. Richards (Toim.): *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2005*. AACE, Chesapeake, Virginia, Yhdysvallat. 2976-2983. Saatavilla Internetissä: <http://relate.mit.edu/timea.pdf>.
- , D.J. Palazzo ja D.E. Pritchard, 2005: Evidence of problem-solving transfer in web-based Socratic tutor. Teoksessa: Heron, P., L. McCullough ja J. Marx, (Toim.): *Proceedings of the 2005 Physics Education Research Conference. AIP Conference Proceedings 818*. AIP, New York, Yhdysvallat. 41-44. Saatavilla Internetissä: <http://relate.mit.edu/perc05.pdf>.
- Weller, M., 2002: *Delivering Learning on the Net: The Why, What and How of Online Education*. RoutledgeFalmer, London, Iso-Britannia. 182 siv.
- Windschitl, M., 2002: Framing constructivism in practice as the negotiation of dilemmas: An analysis of the conceptual, pedagogical, cultural, and political challenges facing teachers. *Review of Educational Research*, **72**, 131–175.
- Yrjänäinen, S., 1998: Lukion kaikille yhteisen fysiikan kurssin suunnittelu ja toteutus tietoverkkoympäristössä. Laudatur-tutkielma. Helsingin yliopisto, fysiikan laitos. 50 siv.

Liite A. Verkko-opetuksen mallin valinta (Ihanainen ym. 2004)

	Strukturoitu malli	Puolistrukturoitu malli	Avoin vuorovaikutuksellinen malli	Emergentti malli
<p>Sisällöt</p> <p>Minkälaista tietoa?</p> <p>Mihin sisällöllä pyritään?</p> <p>Miten sisällöt tukevat henkilökohtaisten merkitysten syntyä / vahvistusta?</p> <p>Sisällön luonne?</p>	<p>Faktatieto ja -taito</p> <ul style="list-style-type: none"> - esine, paikka, aika, toimintatapa - yksiselitteinen määritelmä - materiaalit - työkalut - ennakolta sovitut toimintaperiaatteet - sopimukset <p>jne.</p> <p>Sisällön</p> <ul style="list-style-type: none"> - tunnistaminen - omaksuminen - toistaminen - suorittaminen - harjoittaminen - vahvistaminen <p>Oppimisen kohteena "valmis" tieto</p>	<p>Faktatieto ja -taito sekä sen käyttökokemukset</p> <p>Sisällön ymmärtäminen käyttökokemusten jakamisen avulla + strukturoidun mallin tavoitteet</p> <p>Oppimisen kohteena "valmis" tieto</p>	<p>Faktatiedon ja -taidon soveltaminen</p> <p>Prosessuaalinen tieto ja taito</p> <p>Emotionaalinen/inhimillinen käyttäytyminen ja asennoituminen</p> <p>Sisällön kommunikatiivinen prosessointi materiaalien, omien kokemusten ja tietojen ja vertais-toimijoiden käsitysten ja tietojen vuorovaikutuksessa.</p> <p>Oppimisen lähtökohtana voi olla "valmis" tieto, joka toimii prosessin katalysaattorina</p>	<p>Prosessuaalinen tieto ja taito</p> <p>Osallistujatiedon ja -osaamisen avulla luotu uusi (tilannesidonnainen) tieto ja taito</p> <ul style="list-style-type: none"> - osallistujatuotettu faktatieto ja -taito - osallistujatuotettu faktatiedon ja -taidon soveltaminen - osallistujatuotettu prosessuaalinen tieto ja taito <p>Emotionaalisen/inhimillisen käyttäytymisen ja asennoitumisen reflektio ja kehittäminen</p> <p>Oppimisen kohteena aidosti kompleksinen tieto</p>
<p>Mistä on kysymys?</p>	<p>Verkkoon toimitettu oppimateriaali + tehtävät (+ tehtäväkohtainen palaute) - lineaarinen.</p> <p>Verkkoon toimitettu oppimateriaali + tehtävät (+ tehtäväkohtainen palaute) sekä materiaalien ja tehtävien laajentava / syventävä uudelleenkäyttö – modulaarinen.</p>	<p>Verkkoon toimitettu oppimateriaali + tehtävät (+ tehtäväkohtainen palaute) lisättyinä keskustelumahdollisuudella</p>	<p>Materiaali, keskustelut ja tehtävät vuorovaikutteisesti ja tasavertaisesti samanaikaisesti mukana; niiden roolin ja merkityksen määrittelee toteutuva tavoitteellinen osallistuminen.</p>	<p>Materiaalit, tehtävät, keskustelut tms. otetaan käyttöön syntyvässä osallistumisprosessissa.</p>

<p><u>Henkilökohtaistaminen</u></p> <p>Opiskelijan mahdollisuudet vaikuttaa opiskelun kulkuun?</p> <p>Henkilökohtaisten tavoitteiden ja merkityssuhteiden saavuttamisen mahdollisuus?</p>	<p>a) lineaarinen</p> <p>Toimintaprosessissa</p> <ul style="list-style-type: none"> • ei yksilöllistä eriyttämistä <p>palautteessa</p> <ul style="list-style-type: none"> • mahdollisuus yksilölliseen palautteeseen (arviointi suhteessa suoritukseen) tai • ohjelmallinen palaute (oikein / väärin) <p>b) modulaarinen</p> <p>Toimintaprosessissa</p> <ul style="list-style-type: none"> • eriyttäminen toimii ohjelmallisesti /suoritukseen reagoivasti <p>palautteessa</p> <ul style="list-style-type: none"> • ohjelmallinen palaute (prosessia jatkava) • prosessin lopussa mahdollisuus yksilölliseen palautteeseen (arviointi suhteessa koko prosessiin) • yksilöllä mahdollisuus vaikuttaa omaan ajankäyttönsä ja tehdä suorituksia itsenäisesti (yksin). 	<p>Toimintaprosessissa</p> <ul style="list-style-type: none"> • opiskelijalla vaihtelevat mahdollisuudet osallistua ja vaikuttaa prosessiin (sekä sisällöllisesti että tuotosten eriytymiseen) • henkilökohtainen eriyttäminen kommunikaation avulla <p>palautteessa</p> <ul style="list-style-type: none"> • opettajan palaute yleensä prosessista erillinen ja henkilökohtainen • vertaistoimijoiden välistä palautteellisuutta – vastavuoroisuutta • ajallisesti vapaata ja/tai aikaraamittua 	<p>Toimintaprosessi ja palautteellisuus yhdistyvät</p> <ul style="list-style-type: none"> • opiskelijan mahdollisuudet vaikuttaa prosessin kulkuun ja tuotoksiin ovat suuret • opiskelija on rohkea ja aloitteellinen, etsii tietoisesti omia merkityksiään opittavasta • kommunikatiivinen työskentely (dialogisuus) on itsessään jatkuvaa, vastavuoroista palautetta • prosessi on ajassa etenevää (ajallinen raamitus) 	<p>Toimintaprosessi ja palautteellisuus yhdistyvät</p> <ul style="list-style-type: none"> • osallistumisen motiivi on sisäisesti koettu tarve - sisältö muokkautuu osallistujien yhteisen intressin pohjalta • jokainen osallistuja on prosessin kannalta keskeinen aloitteellinen toimija (valta ja vastuu) • kaaoksen kiteytyminen ja kehkeytyminen dialogisessa prosessissa johtavat niin yksilöllisten kuin yhteisöllisten merkityssuhteiden luomiseen • koulutusorganisaation järjestämänä ajalliset raamit (aidosti itseorganisoituneena prosessi etenee ajassa sattumanvaraisesti)
--	---	---	---	---

<p><u>Ohjaus</u></p> <p>Ohjauksen tavoitteet?</p> <p>Ohjauksen toteutus?</p> <p>Ohjauksen tehtävät?</p> <p>Ohjaukseen resurssointi?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktiivinen (ennalta määriteltäisiin toimintoihin reagoiva - muutokseen varautumaton) suorituksen onnistumiseen tähtäävä • Ohjelmallinen / tekninen (palautejärjestelmä), opiskelutoiminnan ohjaus • Informatiivinen • Suorituskeskeinen • Etukäteissuunnittelulla määräävä rooli - staattiset suoritusohjeet • (Inhimillinen ohjaus mahdollisesti vain palautteessa - loppuarviointi) • resurssointi palautejärjestelmän suunnitteluun ja toteutukseen, tekniseen tukeen ja sen saatavuuteen 	<ul style="list-style-type: none"> • Pääosin kuten strukturoidussa mallissa • Inhimillinen, didaktinen keskustelun ohjaus (tehtäväpalaute / avoin) • Inhimillinen, pedagoginen opiskelun ohjaus (suorituskeskeisyys / ongelmakeskeisyys) • Resurssointi kuten strukturoitu malli + mahdollinen henkilöresurssointi keskustelualueella 	<ul style="list-style-type: none"> • Ohjaus on sisään rakennettuna inhimilliseen vuorovaikutusprosessiin • Avoimet tehtävänannot ja ohjeistukset oppimistoiminnan tukena • Neuvoteltavuus • Yksilöllinen/yhteisöllinen ohjaus • Verkkodidaktiset ohjaukselliset toimintatavat: verkko-toimijataidot tutorina, mentorina ja vastuukouluttajana (verkkovuorovaikutus inhimillisenä toimintana) - tilanteiden taju, hiljaisuus, tauot, ohjauksen tarpeen havaitseminen jne. • Osallistuvaan, pedagogiseen ohjaukseen resurssointi 	<ul style="list-style-type: none"> • Ohjaaja luo mahdollisuuksia - rakenteet ja kontrolli syntyvät ja kehittyvät itseorganisoidusti, osallistujakeskeisesti • Ohjaaja vertainen rinnalla-kulkija • Ohjaus reflektiivistä ja dynaamisesta, se toteutuu dialogisessa prosessissa • Luovaa ja tuottavaa oppimista tukevaa • Ohjauksellinen ote proaktiivinen - muutokset kuuluvat luonnollisena osana prosessiin (ennakoimattomuus, johtajattomuus, keskeneräisyys...) • Sitoutuminen yhteisölliseen prosessiin • Resurssointi osallistuvaan ohjaukseen
<p><u>Oppijan toiminta</u></p> <p>Oppijan rooli?</p> <p>Oppijan työskentely?</p>	<p>Mahdollistaa opiskelijan itsenäisen, suorituskeskeisen opiskelun - tehtävien tekeminen</p>	<p>Materiaali- ja suorituskeskeisyys sitoo opiskelijan tuotoskeskeiseen opiskeluun; keskustelumahdollisuuksien hyödyntäminen laajentaa ja syventää tiedon käsittelyä</p> <ul style="list-style-type: none"> - tehtävien tekeminen - henkilökohtainen kommunikointi 	<p>Opiskelija on aktiivinen ja aloitteellinen toimija, jolla on osin yhteneväiset roolit ja tehtävät prosessissa kuin ohjaajallakin</p> <ul style="list-style-type: none"> - kommunikatiivinen ja reflektiivinen työskentely 	<p>Oppimisen prosessi tulee todeksi jokaisen osallistujan aktiivisista ja näkyvistä vuorovaikutusteoista</p> <ul style="list-style-type: none"> - prosessuaalinen ja reflektiivinen työskentely